

Sammlung Götschen

---

# Elektrotechnik

Einführung  
in die moderne Gleich- und  
Wechselstromtechnik

III

Die Wechselstromtechnik

von

Prof. J. Herrmann

Mit 108 Figuren

## Verzeichnis der erschienenen Bände.

- Ackerbau- u. Pflanzenbaulehre** von Dr. Paul Rippert in Berlin u. Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 282.
- Akustik. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik u. Akustik.** Von Dr. Gust. Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.
- **Musikalische,** v. Dr. Karl L. Schäfer, Dozent an der Universität Berlin. Mit 35 Abbild. Nr. 21.
- Algebra. Arithmetik u. Algebra** v. Dr. H. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- Alpen, Die,** von Dr. Rob. Steger, Priv.-Doz. an der Universität u. Professor a. d. Exportakademie des k. k. Handelsmuseums in Wien. Mit 19 Abbild. und 1 Karte. Nr. 129.
- Altertümer, Die deutschen,** v. Dr. Franz Fuhse, Dir. d. städt. Museums i. Braunschweig. Mit 70 Abb. Nr. 124.
- Altertumskunde, Griech. u.** v. Prof. Dr. Rich. Maisch, neu bearbeitet von Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.
- **Römische,** von Dr. Leo Bloch, Dozent an der Universität Zürich. Mit 8 Vollb. Nr. 45.
- Analyse, Techn.-Chem.,** von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgen. Polytechn. Schule i. Zürich. Mit 16 Abb. Nr. 195.
- Analysis, Höhere, :** Differentialrechnung. Von Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Realgymn. u. an der Realanstalt in Ulm. Mit 68 Fig. Nr. 87.
- — — **Repetitorium und Aufgabensammlung z. Differentialrechnung** v. Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 88.
- — — **II: Int. Friedr. Junfer, Prof. am Realgymnasium und an der Realanstalt in Ulm.** Mit 89 Fig. Nr. 89.
- — — **Repetitorium und Aufgabensammlung z. Differentialrechnung** v. Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 88.
- Analysis, Niedere,** von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Ehingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.
- Arbeiterfrage, Die gewerbliche,** von Werner Sombart, Professor an der Universität Breslau. Nr. 209.
- Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Professor an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- — **Beispielsammlung zur Arithmetik und Algebra.** 2765 Aufgaben, systematisch geordnet, von Dr. Hermann Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 48.
- Astronomie. Größe, Bewegung und Entfernung der Himmelskörper** von A. S. Möbius, neu bearb. v. Dr. W. S. Wislicenus, Prof. a. d. Univers. Straßburg. Mit 36 Abb. u. 1 Sternl. Nr. 11.
- Astrophysik. Die Beschaffenheit der Himmelskörper** von Dr. Walter S. Wislicenus, Prof. an der Universität Straßburg. Mit 11 Abbild. Nr. 91.
- Aufgabensammlung, Physikalische,** von G. Mahler, Professor der Mathematik und Physik am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.
- Auffahrtwürfe** von Oberstudienrat Dr. L. W. Straub, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart. Nr. 17.
- Baukunst, Die, des Abendlandes** von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbild. Nr. 74.
- Betriebskraft, Die zweckmäßigste,** von Dr. E. Kohlmann, Oberingenieur Teil: Die mit Motoren. Mit 12 Abbild. Nr. 224.
- — — **von Dr. E. Kohlmann Kgl. Kaiser-Techn. Hochschule zu Hannover.** Nr. 96.
- — — **von Dr. W. Wislicenus, Prof. an der Techn. Hochschule in Straßburg.** Mit 127 Abbild. Nr. 127.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296067

# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Biologie der Tiere I:** Entstehung u. Weiterbild. d. Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur v. Dr. Heinr. Simroth, Professor a. d. Universität Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.
- Biologie der Tiere II:** Beziehungen d. Tiere zur organ. Natur v. Dr. Heinr. Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Gleicherz.** Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Wilhelm Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Brant.** Hans Sachs und Johann Fischart nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgew. u. erläut. von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- Buchführung.** Lehrgang der einfachen u. dopp. Buchhaltung von Rob. Stern, Oberlehrer der Öff. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule 3. Leipzig. Mit vielen Formulare. Nr. 115.
- Buddha** von Professor Dr. Edmund Hardy in Bonn. Nr. 174.
- Surgenkunde, Abriss der,** von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbild. Nr. 119.
- Chemie, Allgemeine und physikalische,** von Dr. Max Rudolph, Doz. a. d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Figuren. Nr. 71.
- **Anorganische,** von Dr. Jos. Klein in Waldhof. Nr. 37.
- — siehe auch: Metalle. — Metalloide.
- **Organische,** von Dr. Jos. Klein in Waldhof. Nr. 38.
- **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.
- — III: Karbocyclische Verbindungen. Nr. 193.
- — IV: Heterocyclische Verbindungen. Nr. 194.
- Chemie, Physiologische.** I: Assimilation von Dr. med. A. Legahn in Berlin. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.
- — II: Dissimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 241.
- Chemisch-Technische Analyse** von Dr. G. Lunge, Professor an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.
- Eid, Der.** Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen von Bivar. Von J. G. Herder. Hrsg. und erläutert von Prof. Dr. E. Naumann in Berlin. Nr. 36.
- Dampfkessel, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 67 Figuren. Nr. 9.
- Dampfmaschine, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch m. Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 48 Figuren. Nr. 8.
- Dichtungen a. mittelhochdeutscher Frühzeit.** In Auswahl m. Einltg. u. Wörterb. herausgegeben v. Dr. Herm. Jantzen in Breslau. Nr. 137.
- Dietrichheven.** Kudrun u. Dietrichheven. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.
- Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymn. u. a. d. Realanst. in Ulm. Mit 68 Fig. Nr. 87.
- Repetitorium u. Aufgabensammlung 3. Differentialrechnung von Dr. Frdr. Junker, Prof. am Realgymnasium und an der Realanstalt in Ulm. Mit 42 Figuren. Nr. 146.
- Eddalieder** mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasial-Oberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.
- Eisenhüttenkunde** von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Tafeln. Nr. 152.
- II. Teil: Das Schmiedeeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Elektrizität.** Theoret. Physik III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gust. Jäger, Professor a. d. Univerf. Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.
- Elektrotechnik.** Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor der Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 47 Fig. Nr. 196.
- II: Die Gleichstromtechnik. Mit 74 Figuren. Nr. 197.
- III: Die Wechselstromtechnik. Mit 109 Figuren. Nr. 198.
- Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht** von Dr. A. Nippoldt jr., Mitgl. d. Kgl. Preuß. Meteorol. Inst. 3. Potsdam. M 14 Abb. u. 3 Taf. Nr. 175.
- Ethik** von Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.
- Färberei.** Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei u. ihre Hilfsstoffe v. Dr. Wilh. Massot, Lehrer a. d. Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie. Krefeld. M. 28 Fig. Nr. 186.
- Eisensprengwesen, Das,** von Dr. Ludwig Reilstab in Berlin. Mit 47 Figuren und 1 Tafel. Nr. 155.
- Filzfabrikation.** Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Finanzwissenschaft v. Geh. Reg.-Rat Dr. R. van der Borght** in Friedenau-Berlin. Nr. 148.
- Fischart, Johann.** Hans Sachs u. Joh. Fischart nebst e. Anh.: Brant u. Hutten. Ausgewählt u. erläutert. von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- Fischerei und Fischzucht** v. Dr. Karl Eckstein, Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.
- Formelsammlung. Mathemat., u. Repetitorium d. Mathematik,** enth. die wichtigsten Formeln und Lehrsätze d. Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen u. sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie d. Ebene u. d. Raumes, d. Different.- u. Integralrechn. v. O. Th. Dürfler, Prof. am Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig. Nr. 51.
- **Physikalische,** von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.
- Forstwissenschaft** von Dr. Ad. Schwappach, Professor an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 106.
- Fremdwort, Das, im Deutschen** von Dr. Rudolf Kleinpauf in Leipzig. Nr. 55.
- Gardinenfabrikation.** Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.
- Geodäsie** von Dr. C. Reinherz, Professor an der Technischen Hochschule Hannover. Mit 66 Abbild. Nr. 102.
- Geographie, Astronomische,** von Dr. Siegm. Günther, Professor a. d. Technischen Hochschule in München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.
- **Physische,** von Dr. Siegm. Günther, Professor an der Königl. Technischen Hochschule in München. Mit 32 Abbildungen. Nr. 26.
- f. auch: Landeskunde. — Länderkunde.

# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Geologie** v. Professor Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. und 4 Tafeln mit über 50 Figuren. Nr. 13.
- Geometrie, Analytische, der Ebene** v. Professor Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 57 Figuren. Nr. 65.
- **Analytische, des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Mit 28 Abbildungen. Nr. 89.
- **Darstellende**, v. Dr. Rob. Haufner, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. I. Mit 110 Figuren. Nr. 142.
- **Ebene**, von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarb. Fig. Nr. 41.
- **Projektive**, in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 85 zum Teil zweifarb. Figuren. Nr. 72.
- Geschichte, Sächsische**, von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnasium in Pforzheim und Privatdozent der Geschichte an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.
- **Bayerische**, von Dr. Hans Oefel in Augsburg. Nr. 160.
- **des Byzantinischen Reiches** von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.
- **Deutsche, im Mittelalter** (bis 1500) von Dr. S. Kurze, Oberl. am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 33.
- **— im Zeitalter der Reformation u. der Religionskriege** von Dr. S. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 34.
- **Französische**, von Dr. R. Sternfeld, Prof. a. d. Univerf. Berlin. Nr. 85.
- **Griechische**, von Dr. Heinrich Swoboda, Professor an der deutschen Universität Prag. Nr. 49.
- Geschichte des 19. Jahrhunderts** v. Oskar Jäger, o. Honorarprof. a. d. Univerf. Bonn. 1. Bdchn.: 1800—1852. Nr. 216.
- — 2. Bdchn.: 1853 bis Ende d. Jahrhunderts. Nr. 217.
- **Israels** bis auf die griech. Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.
- **Lothringens**, von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.
- **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Prof. a. d. Univerf. München. M. 6 Bild. u. 1 Kart. Nr. 43.
- **Österreichische, I:** Von der Urzeit bis 1526 von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. a. d. Univ. Graz. Nr. 104.
- — **II:** Von 1526 bis zur Gegenwart von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. an der Univ. Graz. Nr. 105.
- **Römische**, Neubearb. von Realgymnasial-Dir. Dr. Jul. Koch. Nr. 19.
- **Russische**, v. Dr. Wilh. Reeb, Oberl. am Ostergymnasium in Mainz. Nr. 4.
- **Sächsische**, von Prof. Otto Kaemmel, Rektor des Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.
- **Schweizerische**, von Dr. K. Dändliker, Prof. a. d. Univ. Zürich. Nr. 188.
- **der Malerei** siehe: Malerei.
- **der Mathematik** s.: Mathematik.
- **der Musik** siehe: Musik.
- **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.
- **des deutschen Romans** s.: Roman.
- **der deutschen Sprache** siehe: Grammatik, Deutsche.
- Gesundheitslehre.** Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberreal-Gesundheitslehrer in Freiburg i. B. Mit Schulgesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagsbandlung, Leipzig.

- Gewerbewesen** von Werner Sombart, Professor an d. Universität Breslau. I. II. Nr. 203. 204.
- Gletscherkunde** von Dr. Fritz Machäfel in Wien. Mit 5 Abbild. im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.
- Götter- und Heldensage, Griechische und römische**, von Dr. Herm. Steuding, Professor am Kgl. Gymnasium in Würzen. Nr. 27.
- siehe auch: Heldensage. — Mythologie.
- Gottfried von Straßburg**. Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach u. Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Kgl. Friedrichscollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Grammatik, Deutsche**, und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Professor Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.
- **Griechische, I:** Formenlehre von Dr. Hans Melzer, Professor an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 117.
- **II:** Bedeutungslehre und Syntax von Dr. Hans Melzer, Professor an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 118.
- **Lateinische**. Grundriß der lateinischen Sprachlehre von Professor Dr. W. Voßsch in Magdeburg. Nr. 82.
- **Mittelhochdeutsche**. Der Nibelunge Nôt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Goltzer, Prof. a. d. Universität Rostod. Nr. 1.
- **Russische**, von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 66.
- — siehe auch: Russisches Gesprächsbuch. — Lesebuch.
- Handelskorrespondenz, Deutsche**, von Prof. Th. de Beaur, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 182.
- **Englische**, von E. E. Whitfield, M. A., Oberlehrer an King Edward VII Grammar School in King's Lynn. Nr. 237.
- **Französische**, von Professor Th. de Beaur, Oberlehrer a. d. Öffentlichen Handelslehranstalt u. Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 183.
- **Italienische**, von Professor Alberto de Beaur, Oberlehrer am Kgl. Institut S. S. Annunziata in Florenz. Nr. 219.
- Handelspolitik, Auswärtige**, von Dr. Heinz Sieveking, Prof. an der Universität Marburg. Nr. 245.
- Harmonielehre** von A. Halm. Mit vielen Notenbeilagen. Nr. 120.
- Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg**. Auswahl aus dem höfischen Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Professor am Königlichen Friedrichscollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Hauptliteraturen, Die, d. Orients** v. Dr. M. Haberlandt, Privatdoz. a. d. Universität Wien. I. II. Nr. 162. 163.
- Heldensage, Die deutsche**, von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Prof. an der Universität Münster. Nr. 32.
- siehe auch: Götter- und Heldensage. — Mythologie.
- Herder, Der Eid**. Geschichte des Don Ruy Diaz, Grafen von Bivar. Herausgegeben u. erläutert von Prof. Dr. Ernst Naumann in Berlin. Nr. 36.
- Hutten**. Hans Sachs und Johann Sifchart nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt u. erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Industrie, Anorganische Chemische** v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I.: Die Leblancjodaindustrie und ihre Nebenzweige. Mit 12 Tafeln. Nr. 205.
- II.: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie und Verwandtes. Mit 6 Tafeln. Nr. 206.
- III.: Anorganische Chemische Präparate. Mit 6 Tafeln. Nr. 207.
- **der Silikate, der künstl. Bausteine und des Mörtels.** I.: Glas- und keramische Industrie von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Tafeln. Nr. 233.
- II.: Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Mit 12 Tafeln. Nr. 234.
- Integralrechnung** von Dr. Friedr. Junker, Professor am Realgymn. und an der Realanstalt in Ulm. Mit 89 Figuren. Nr. 88.
- Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Friedrich Junker, Professor am Realgymn. und an der Realanstalt in Ulm. Mit 50 Figuren. Nr. 147.
- Gartenkunde**, geschichtlich dargestellt von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Lussinpiccolo und F. Sauter, Professor am Realgymnasium in Ulm, neu bearbeitet von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abbildungen. Nr. 30.
- Kirchenlied.** Martin Luther, Thom. Murner, und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Professor G. Berlitz, Oberlehrer am Nikolai-gymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Klimalehre** von Professor Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Tafeln und 2 Figuren. Nr. 114.
- Kolonialgeschichte** von Dr. Dietrich Schäfer, Professor der Geschichte an der Universität Berlin. Nr. 156.
- Kompositionslehre.** Musikalische Formenlehre von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.
- Körper, der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten**, von E. Rebmann, Oberrealschuldirektor in Freiburg i. B. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. Nr. 18.
- Kristallographie** von Dr. W. Brühns, Professor an der Universität Straßburg. Mit 190 Abbild. Nr. 210.
- Kudrun und Dietrichsagen.** Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. E. Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 10.
- siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.
- Kultur, Die, der Renaissance.** Gesittung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 189.
- Kulturgegeschichte, Deutsche**, von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.
- Künste, Die graphischen**, von Carl Kampmann, Fachlehrer a. d. k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 3 Beilagen und 40 Abbildungen. Nr. 75.
- Kurzschrift** siehe: Stenographie.
- Länderkunde von Europa** von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeineinteilung. Nr. 62.
- **der außereuropäischen Erdteile** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textärtchen und Profilen. Nr. 63.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Landeskunde von Baden** von Prof. Dr. O. Kienitz in Karlsruhe. Mit Profilen, Abbildungen und 1 Karte. Nr. 199.
- **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 176.
- **von Elsaß-Lothringen** von Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbildgn. u. 1 Karte. Nr. 215.
- **der Iberischen Halbinsel** von Dr. Fritz Regel, Professor an der Universität Würzburg. Mit 8 Kartchen und 8 Abbildung. im Text und 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.
- **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen und Dänemark) v. Heinr. Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbild. und 1 Karte. Nr. 202.
- **des Königreichs Württemberg** von Dr. Kurt Hassert, Professor der Geographie an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 157.
- Landwirtschaftliche Betriebslehre** von Ernst Langenbeck in Bochum Nr. 227.
- Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.** Kulturhistorische Erläuterungen zum Nibelungenlied und zur Kudrun. Von Professor Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. Mit 1 Tafel und 30 Abbildungen. Nr. 93.
- Lessings Emilia Galotti.** Mit Einleitung und Anmerkungen von Oberlehrer Dr. Votsch. Nr. 2.
- **Miina v. Sarnhelm.** Mit Anm. von Dr. Tomaschek. Nr. 5.
- Gicht. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme.** Von Dr. Gust. Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.
- Literatur, Althochdeutsche, mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen** von Th. Schauffele Professor am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.
- Literaturdenkmale des 14. u. 15. Jahrhunderts.** Ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Janke in Breslau. Nr. 181.
- Literaturen, Die, des Orients**  
I. Teil: Die Literaturen Ostasiens und Indiens v. Dr. M. Haberlandt Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 162.  
— II. Teil: Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken, von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. Nr. 163.
- Literaturgeschichte, Deutsche, von** Dr. Max Koch, Professor an der Universität Breslau. Nr. 31.
- **Deutsche, der Klassikerzeit** von Carl Weitbrecht, Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart Nr. 161.
- **Deutsche, des 19. Jahrhunderts** von Carl Weitbrecht, Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart I. II. Nr. 134. 135.
- **Englische,** von Dr. Karl Weiskopf in Wien. Nr. 69.
- **Griechische,** mit Berücksichtigung der Geschichte der Wissenschaften von Dr. Alfred Gerde, Professor an der Universität Greifswald Nr. 70.
- **Italienische,** von Dr. Karl Vogler Professor a. d. Universität Heidelberg. Nr. 125.

*Subl.*

Sammlung Göschen

---

# Elektrotechnik

Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik

von

**J. Herrmann**

a. o. Prof. der Elektrotechnik a. d. K. Technischen Hochschule Stuttgart

Dritter Teil

## **Die Wechselstromtechnik**

Kurze Darstellung der Gesetze des Wechselstromes und Beschreibung der Generatoren, Transformatoren und Motoren für Wechselstrom

Mit 108 Figuren

Neudruck



**Leipzig**

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung

1905

#  
522/4

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht, von  
der Verlagshandlung vorbehalten.



I 301727

## Literatur.

- Arnold, E., Die Wechselstromtechnik 1902/04.  
Feldmann, C. P., Wechselstromtransformatoren 1901.  
Handbuch der Elektrotechnik 1900.  
Heubach, J., Der Drehstrommotor 1903.  
Kapp, Dynamomaschinen für Gleich- und Wechselstrom 1904.  
Rößler, G., Elektromotoren für Wechselstrom und Drehstrom 1901.  
Steinmetz, C., Die Wechselstromerscheinungen 1899.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

~~I 380~~

Akc. Nr. \_\_\_\_\_

~~3746~~ 49

Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.

BPK-B-190/2017

# Inhaltsübersicht.

## Dritter Teil:

### Die Wechselstromtechnik.

	Seite
I. Die Gesetze des Wechselstromes.	
1. Definition des Wechselstromes . . . . .	5
2. Erzeugung von Wechselstrom . . . . .	7
3. Mehrphasiger Wechselstrom . . . . .	10
4. Verketteter Mehrphasenstrom . . . . .	16
5. Dreieckschaltung . . . . .	16
6. Sternschaltung . . . . .	18
7. Das Vektordiagramm . . . . .	19
8. Zusammensetzung von Wechselströmen . . . . .	26
9. Zusammensetzung von Wechselspannungen . . . . .	30
10. Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Einfluß des magnetischen Feldes . . . . .	32
11. Einfluß der Hysterisis . . . . .	35
12. Der Effektivwert eines Wechselstromes . . . . .	36
13. Die Leistung des Wechselstromes . . . . .	38
14. Die Eisenverluste. . . . .	40
15. Einfluß der Kapazität auf den Wechselstromkreis . . . . .	43
16. Induktive Reaktanz . . . . .	46
17. Kapazitätsreaktanz . . . . .	48
18. Impedanz. . . . .	50
II. Die Wechselstromgeneratoren.	
19. Die verschiedenen Typen . . . . .	53
20. Die Wechselstrommaschinen mit feststehendem Anker und Innenpolen.	
Die Ankerwicklung . . . . .	55
Die Magnetformen. . . . .	60

	Seite
21. Wechselstromgenerator mit seitlichen Polen . . . . .	63
22. Wechselstromgeneratoren mit feststehender Anker- und Magnetwicklung . . . . .	64
23. Wechselstromgeneratoren mit rotierendem Anker . . . . .	67
24. Die elektromotorische Kraft von Wechselstrom- maschinen. Fortlaufende Ringwicklung . . . . .	70
25. Die elektromotorische Kraft von Wechselstrom- maschinen. Spulenwicklung . . . . .	74
26. Klemmenspannung der Wechselstrommaschine. Ankerrückwirkung . . . . .	78
27. Parallelschalten von Wechselstromgeneratoren . . . . .	83
III. Die Transformatoren.	
28. Einfachster Transformator . . . . .	86
29. Formen von Transformatoren . . . . .	90
30. Feld- und Amperewindungsdiagramm des Trans- formators ohne Streuung . . . . .	91
31. Feld- und Amperewindungsdiagramm des Trans- formators mit Streuung . . . . .	94
32. Diagramm des leerlaufenden Transformators . . . . .	95
33. Diagramm des belasteten Transformators mit Sreuung . . . . .	98
34. Diagramm des belasteten Transformators ohne Sreuung . . . . .	101
35. Verluste. Erwärmung. Spannungsänderung . . . . .	103
36. Mehrphasentransformatoren . . . . .	105
IV. Die Wechselstrommotoren . . . . .	109
Der Asynchronmotor.	
37. Das Drehfeld . . . . .	110
38. Der Kurzschlußanker . . . . .	116
39. Der Phasenanker . . . . .	118
40. Der Stator . . . . .	120
41. Das Feld- und Amperewindungsdiagramm des Asynchronmotors . . . . .	122
Der Synchronmotor.	
42. Der Betrieb des Synchronmotors . . . . .	127
43. Das Feld- und Amperewindungsdiagramm des Synchronmotors . . . . .	130
Verzeichnis der Gleichungen . . . . .	134
Bedeutung der benutzten Buchstaben . . . . .	136
Alphabetisches Register . . . . .	138

# Die Wechselstromtechnik.

---

## I. Die Gesetze des Wechselstromes.

### 1. Definition des Wechselstromes.

Unter Wechselstrom versteht man einen elektrischen Strom, der in einem Leiter sowohl seine Stärke wie seine Richtung periodisch und gesetzmäßig wechselt. Ein solcher Wechselstrom hat in einem bestimmten Moment die Größe Null, wächst dann in der einen Richtung, der positiven, auf ein Maximum und sinkt nach einer bestimmten Zeit wieder auf Null zurück. Sodann wächst er in der entgegengesetzten, negativen Richtung wieder auf ein Maximum an, welches dem ersten gleich ist, und nimmt endlich bis auf Null wieder ab. Darauf beginnt das Spiel von neuem.

Wesentlich dabei ist, daß die Momente, in welchen der Strom durch Null geht, zeitlich gleich weit auseinanderliegen, ferner daß das positive und das negative Maximum gleich groß sind, und endlich, daß das Wachsen und Abnehmen des Stroms in jeder Richtung in gleicher Weise verläuft\*).

---

\*) Wechselstrom, wie er hier definiert und im folgenden vorausgesetzt ist, wird von den üblichen Wechselstrommaschinen geliefert. Funkeninduktoren und andere Apparate erzeugen Wechselstrom etwas anderer Art.

Graphisch dargestellt ergibt ein Wechselstrom das Bild von Fig. 1. Auf der Abszissenachse sind die Zeiten aufgetragen. Zu den Zeiten 0, 1, 2, 3 usw. geht der Strom durch Null hindurch und es ist  $01 = 12 = 23$  usw. Die Stärke des Stromes in einer bestimmten Zeit  $t$  ist dargestellt durch die Ordinate

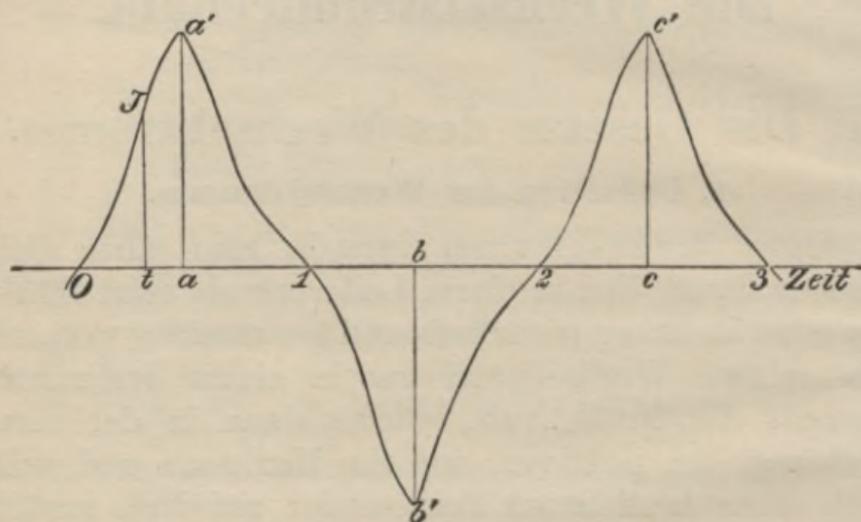


Fig. 1.

$tJ$  im Punkte  $t$ . Das Maximum erreicht der Strom zur Zeit  $a$ ,  $b$  und  $c$ , und es ist die Stromstärke

$$aa' = bb' = cc'.$$

Den Kurvenzug  $0a'1b'2$  nennt man eine Welle des Wechselstroms. Die Zeit, welche eine Welle zu ihrem Verlaufe nötig hat, nennt man eine Periode. Man bezeichnet diese Zeit gewöhnlich mit  $T$ . Die Zahl der Perioden pro Sekunde oder die Anzahl der Wellen, welche ein Wechselstrom in der Sekunde durchläuft, nennt man seine Frequenz oder seine Periodenzahl (Zykelzahl). Man bezeichnet sie mit  $N$ .

Die Beziehung zwischen der Periode  $T$  und der Frequenz  $N$  ist nach dem Vorstehenden:

$$(1) \quad \frac{1}{T} = N.$$

Das Gesetz, nach welchem der Wechselstrom während einer Welle sich ändert, kann ein beliebiges sein. Im folgenden wird jedoch, der Einfachheit halber, vorausgesetzt, daß die Änderung nach dem Sinusgesetze vor sich geht, daß also die Stromkurve eine Sinuslinie ist.

## 2. Erzeugung von Wechselstrom.

Ein solcher sinusförmiger Wechselstrom entsteht (s. Teil I, S. 42 ff.), wenn man eine Windung in einem homogenen Kraftlinienfelde um eine senkrecht zu den Kraftlinien gerichtete Achse rotieren läßt. Die EMK, welche bei der sekundlichen Umdrehungszahl  $N_s$  in der Windung induziert wird, hat in jedem Moment die Größe

$$E_{\text{mom}} = 2 \pi N_s \Phi_{\text{max}} \sin \alpha \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Hierbei ist unter  $\Phi_{\text{max}}$  diejenige Kraftlinienzahl verstanden, welche von der Windung im Maximum umfaßt wird.

Man führt nun statt des Winkels  $\alpha$  die Zeit  $t$  ein, welche die Windung zu einer Drehung um den Winkel  $\alpha$  braucht. Wenn eine ganze Umdrehung, um den Winkel  $2\pi$ , in der Zeit  $T$  vollzogen wird, so ergibt sich

$$(2) \quad \alpha = 2\pi \frac{t}{T} = 2\pi N_s t,$$

wo  $N_s$  die sekundliche Umdrehungszahl und für diesen Fall zugleich die Periodenzahl bedeutet, also auch durch  $N$  ersetzt werden kann.

Wickelt man auf einen Eisenring eine Spule mit  $z$  Windungen und dreht den Ring in dem homogen gedachten Felde zwischen zwei Polen  $N$  und  $S$  (Fig. 2),

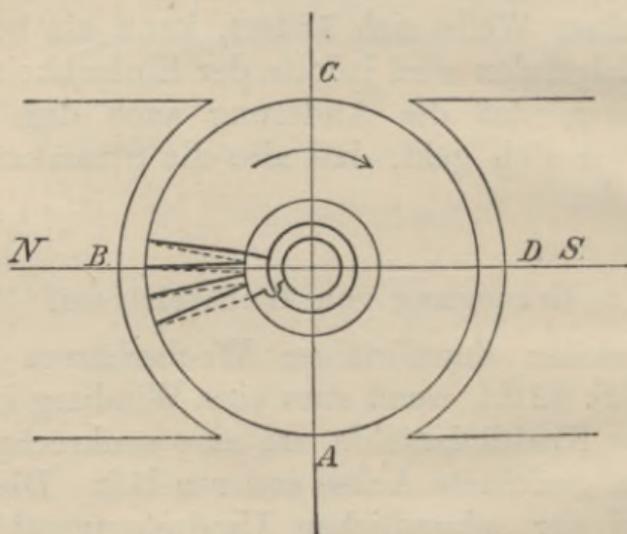


Fig. 2.

dann wird auch in dieser Spule eine EMK induziert, welche dem Sinusgesetze folgt:

$$(3) \quad E_{\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Befindet sich die Spule bei A, so ist  $E$  Null. Bei B tritt das Maximum der EMK auf

$$E_{\text{max}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Bei C wird die EMK wieder zu Null, um bei D das negative Maximum zu erreichen:

$$E_{\text{max}} = -2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Der Verlauf der EMK während einer Umdrehung ist graphisch in Fig. 3 durch die E-Kurve dargestellt.

Macht der Ring in der Minute 3000 Umdrehungen, also in der Sekunde 50, so werden pro Sekunde 50 Wellen beschrieben. Die Frequenz  $N$  ist demnach 50. Die Zeitdauer  $T$  einer einzelnen Welle ist  $\frac{1}{50}$  Sekunde.

Die halbe Welle wird beschrieben, während die Spule vor einem Pol vorbeistreicht. Während einer ganzen Welle findet dieses zweimal statt, man hat zwei Polwechsel pro Welle. Sehr häufig wird für einen Wechselstrom statt der Frequenz die Zahl der Polwechsel oder die Zahl der Halbwellen pro Sekunde angegeben. Sie würde für unseren Fall 100 betragen.

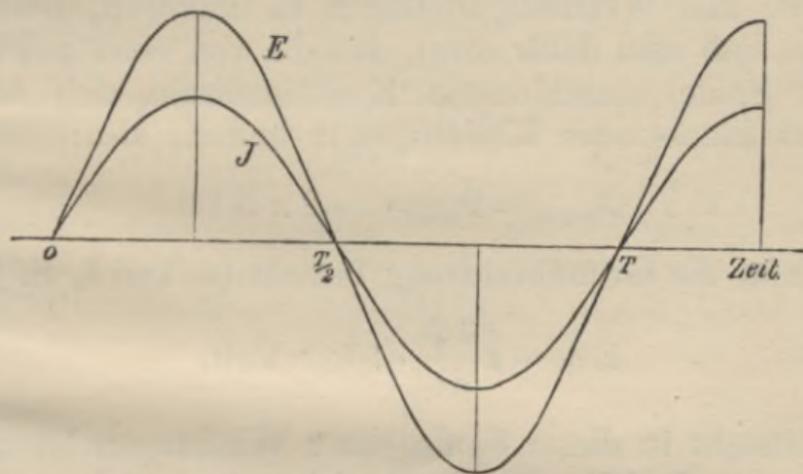


Fig. 3.

Verbindet man die Enden der Spule mit Schleifringen (Fig. 2), so kann man mittels Bürsten einen Strom abnehmen und diesen z. B. in Glühlampen schicken. Haben diese eine Leitfähigkeit  $G$  Mho (oder einen Widerstand  $W$  Ohm), so ist der Strom, der durch sie fließt, nach dem Ohmschen Gesetz (Teil I, S. 52) in jedem Moment

$$J_{\text{mom}} = E_{\text{mom}} G = \frac{E_{\text{mom}}}{W} \text{ Amp.}$$

oder (unter Benutzung von Gl. (3) S. 8)

$$J_{\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t \cdot G \cdot 10^{-8} \text{ Amp.}$$

Der Strom ändert sich also ebenfalls nach dem Sinusgesetze. Außerdem wird er im gleichen Moment wie die Spannung zu Null und ebenso erreichen beide ihr Maximum zur selben Zeit. Strom und Spannung haben in diesem Falle, wie man sagt, gleiche Phase miteinander. Der Verlauf des Stromes ist in Fig. 3 durch die J-Kurve dargestellt.

Eine andere Möglichkeit, sinusförmige Wechselströme und Wechselspannungen zu erzeugen, besteht darin, daß man dafür sorgt, daß die von einer ruhenden Spule umschlossene Kraftlinienzahl sich nach einem Sinus- oder Kosinusgesetz ändert, also:

$$(4) \quad \Phi_{\text{mom}} = \Phi_{\text{max}} \cdot \cos 2 \pi N t.$$

Da nun die Grundbeziehung besteht (s. Teil I, S. 86)

$$(5) \quad E = -z \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt,}$$

so entsteht in dieser Spule, die  $z$  Windungen besitzen soll, eine EMK, die durch folgende Gleichung bestimmt ist:

$$(6) \quad E_{\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Der Maximalwert dieser EMK ist

$$(7) \quad E_{\text{max}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} 10^{-8} \text{ Volt.}$$

### 3. Mehrphasiger Wechselstrom.

Wickelt man auf den Ring von Fig. 2 weitere Spulen, so wird in jeder derselben eine EMK in-

duziert, deren Größe nach einem Sinusgesetz sich ändert und deren Verlauf durch eine Sinuslinie dargestellt wird.

In Fig. 4 sind 2 Spulen mit je  $z$  Windungen, um 90 Grad versetzt, aufgewickelt. Spule I hat in der gezeichneten Stellung das Maximum ihrer EMK, während Spule II zur selben Zeit die EMK Null besitzt. Eine Viertelumdrehung nachher ist die EMK

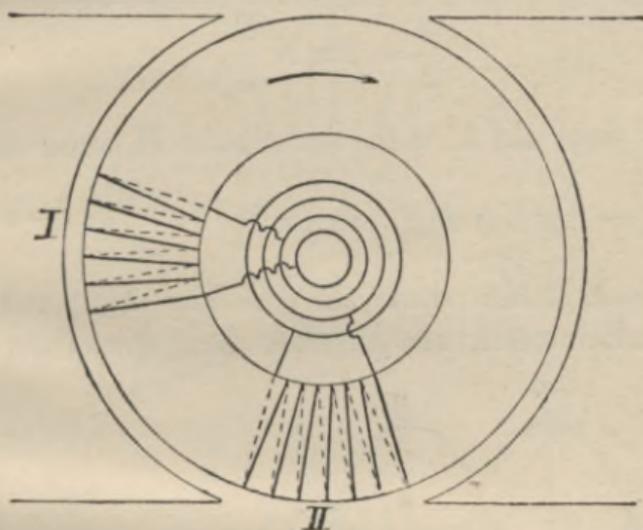


Fig. 4.

der Spule I zu Null, die der Spule II zum Maximum geworden.

Die EMK der Spule I hat in einem bestimmten Zeitpunkt  $t$ , in welchem sie sich um den Winkel  $2\pi N t$ , gerechnet von der neutralen Zone (Teil II, S. 7) an, gedreht hat, die Größe:

$$E_{I\text{mom}} = 2\pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2\pi N t 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Im gleichen Moment hat die Spule II einen um  $\frac{\pi}{2}$

kleineren Winkel zurückgelegt, besitzt also eine EMK von der Größe

$$E_{II\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin \left( 2 \pi N t - \frac{\pi}{2} \right) 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Drückt man  $\frac{\pi}{2}$  durch die Zeit aus, so entspricht dem Drehungswinkel  $\frac{\pi}{2}$  die Zeit  $\frac{T}{4}$  oder

$$\frac{\pi}{2} = 2 \pi N \frac{T}{4},$$

also läßt sich die EMK der Spule II auch schreiben

$$E_{II\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N \left( t - \frac{T}{4} \right) 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Beide EMKe sind zu gleicher Zeit vorhanden, besitzen aber nicht zu gleicher Zeit dieselben Werte.

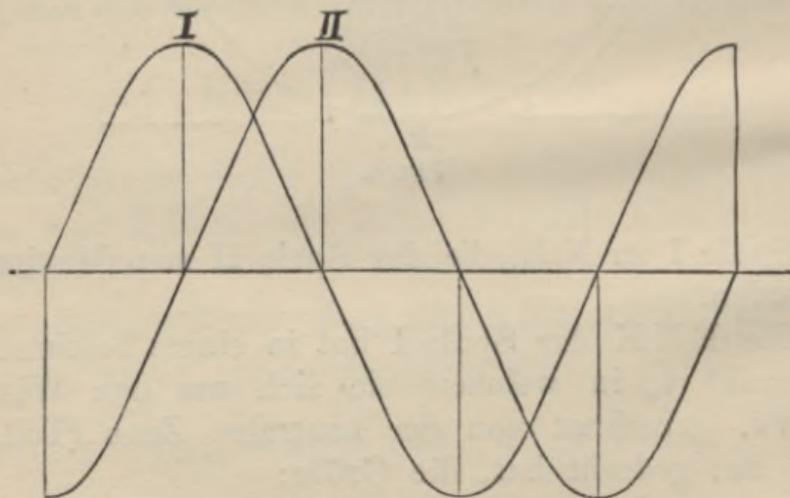


Fig. 5.

Trägt man sie — in Fig. 5 — graphisch auf, so ist Kurve I die EMK der Spule I und Kurve II die

der Spule II. Beide Kurven haben nicht die gleiche Phase, sondern haben eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  oder von  $\frac{\pi}{2}$ . Statt des Winkels kann auch die Zeit zur Bestimmung der Phasenverschiebung eingeführt werden. Man sagt dann: die EMK der Spule II läuft der anderen um  $\frac{1}{4}$  Periode hinterdrein.

Legt man auf den Ring noch zwei weitere Spulen mit je  $z$  Windungen, ebenfalls gegen sich und gegen

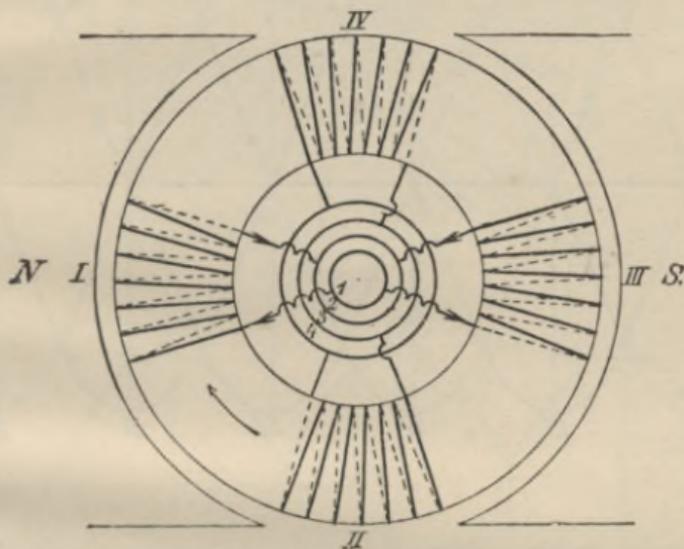


Fig. 6.

die andern je um  $90^\circ$  versetzt (Fig. 6), so entsteht in Spule III eine Wechselspannung

$E_{III\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin(2 \pi N t - \pi) 10^{-8}$  Volt  
und in Spule IV eine solche:

$$E_{IV\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin\left(2 \pi N t - \frac{3 \pi}{2}\right) 10^{-8} \text{ Volt.}$$

$E_{III}$  ist gegen  $E_{II}$  um  $90^\circ$ , gegen  $E_I$  um  $180^\circ$  phasenverschoben.  $E_{IV}$  ist wieder gegen  $E_{III}$  um  $90^\circ$  ver-

setzt. Oder: zuerst erreicht die EMK der Spule I ihr Maximum, nach einer Viertelsumdrehung bezw. Viertelperiode kommt Spule II auf dasselbe Maximum, nach einer weiteren Viertelperiode erreicht Spule III diesen Wert und endlich nach wieder einer Viertelperiode kommt Spule IV auf denselben Wert.

Graphisch ergibt sich für die vier EMKe die Fig. 7.

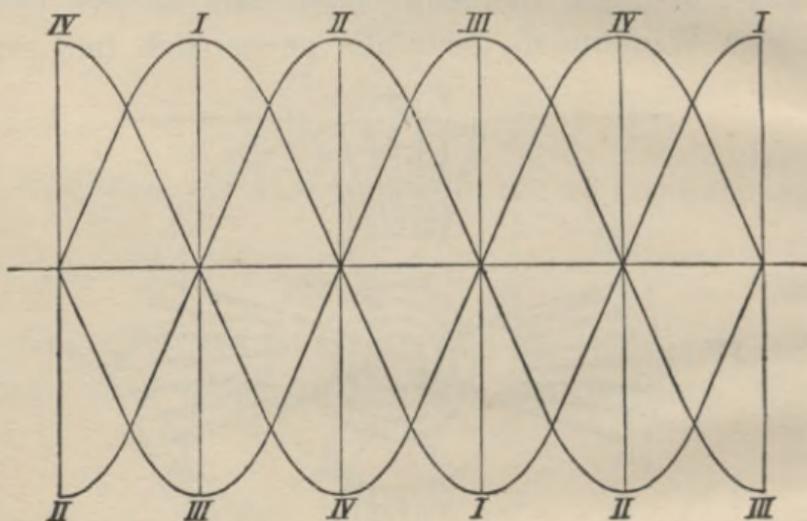


Fig. 7.

Würde man jede der vier Spulen mit je zwei Schleifringen verbinden, im ganzen also 8 Schleifringe verwenden, so würde man vierphasigen Wechselstrom erhalten. Man kann aber vier Schleifringe sparen dadurch, daß man Spule I und III und ebenso Spule II und IV je mit denselben zwei Schleifringen verbindet. Spule I und III erreichen nämlich zur selben Zeit ihr Maximum und ebenso zur gleichen Zeit Null. Allerdings sind die beiden Maxima entgegengesetzt gerichtet. Man kann die Spulen aber doch parallel schalten, wenn man sie entgegengesetzt

mit den Schleifringen verbindet (s. Fig. 6). Die Maschine gibt bei dieser Schaltung nicht mehr vier-, sondern zweiphasigen Wechselstrom.

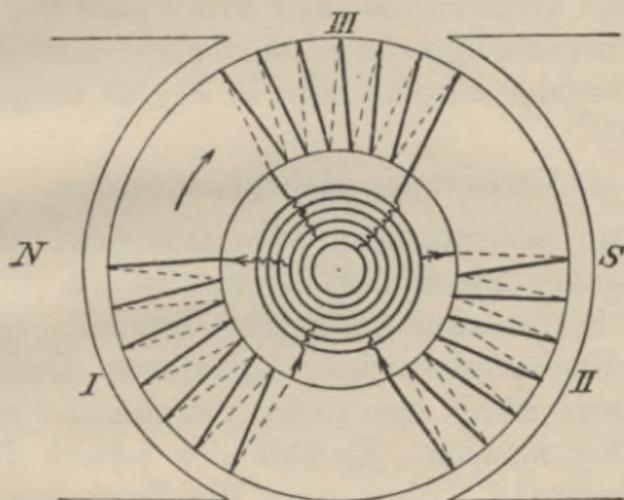


Fig. 8.

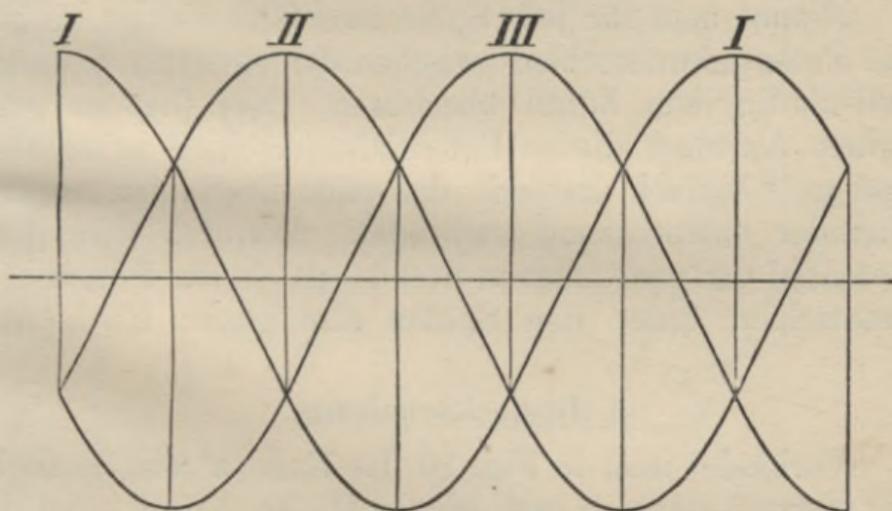


Fig. 9.

Dreiphasigen Wechselstrom, sog. Drehstrom, erhält man, wenn man drei Spulen symmetrisch auf dem Ringe verteilt, also um je  $120^\circ$  auseinanderlegt (s. Fig. 8).

Die EMKe dieser Spulen sind dann um je  $120^\circ$  oder  $\frac{2\pi}{3}$  bzw.  $\frac{T}{3}$  gegeneinander phasenverschoben und können ihren Strom über drei Paare von Schleifringen in drei Zweige von Stromverbrauchern schicken. Die Kurven der Ströme sind in Fig. 9 dargestellt.

#### 4. Verketteter Mehrphasenstrom.

Bei dem mehrphasigen Wechselstrom, wie er im vorhergehenden geschildert wurde, ist ein Übelstand, daß jede Spule zwei Leitungen braucht, um ihren Strom den Stromverbrauchern zuzuführen. Dreiphasiger Wechselstrom würde also sechs, vierphasiger acht Leitungen nötig machen. Es läßt sich jedoch durch die sog. verkettete Schaltung die Zahl der nötigen Leitungen auf die Hälfte reduzieren.

Nimmt man für jede Spule zwei Schleifringe, so ist der Potentialunterschied zwischen den einzelnen Spulen vollständig dem Zufall überlassen. Nun hat es gar keinen Anstand, diesen Potentialunterschied zu regeln und zwar einfach dadurch, daß man die Spulen untereinander entsprechend verbindet. Dadurch wird das Potential der verbundenen Stellen gleich, der Potentialunterschied unter den Spulen also genau bestimmt.

#### 5. Dreieckschaltung.

Verbindet man in Fig. 10 das Ende  $a'$  von Spule I mit dem Anfang  $b$  von Spule II, so hat  $a'$  und  $b$  in jedem Moment dasselbe Potential. Die Spannung zwischen  $a$  und  $a'$  ist dieselbe wie die zwischen  $a$  und  $b$ . Im übrigen aber hat sich nichts geändert. Es ist für  $a'$  und  $b$  nur noch ein einziger gemein-

samer Schleifring nötig. Ebenso wird  $b'$  mit  $c$  und  $c'$  mit  $a$  verbunden. Die Maschine erhält dann nur

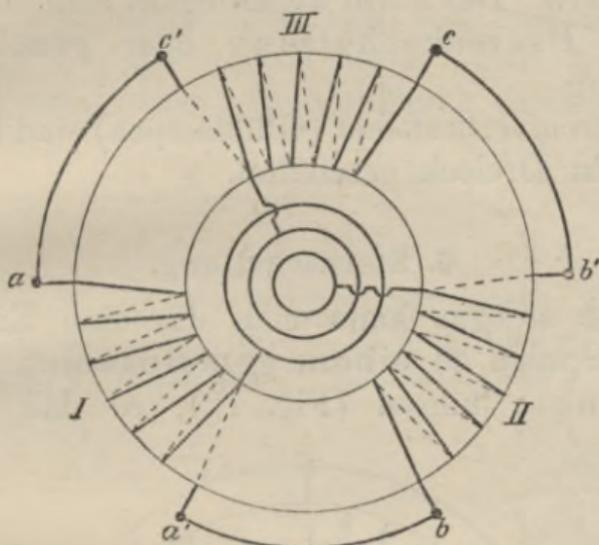


Fig. 10.

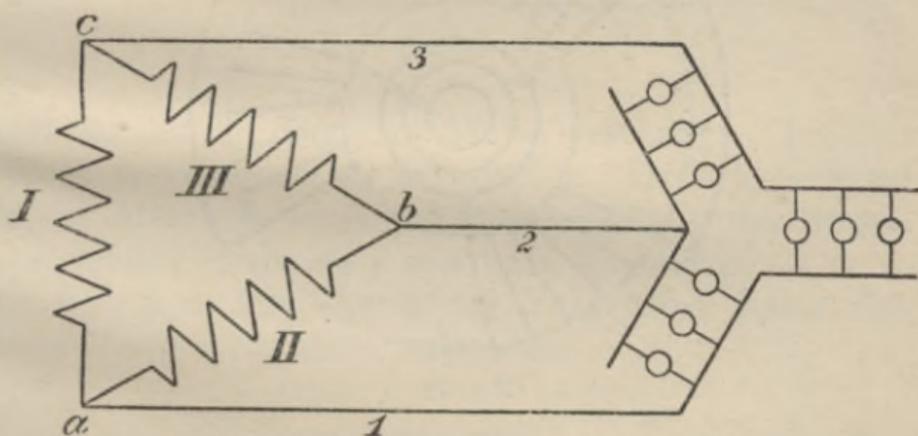


Fig. 11.

drei Schleifringe und von ihren drei Klemmen führen nur drei Leitungsdrähte fort.

Schematisch wird eine derartige Schaltung so aufgezeichnet wie Fig. 11 zeigt. I, II, III sind die

Spulen der Maschine, a, b, c die Verbindungspunkte ihrer Enden, 1, 2, 3 die Leitungen zu den Stromverbrauchern. Der Form wegen nennt man diese Schaltung die Dreieckschaltung oder geschlossene Schaltung.

Die Stromverbraucher (Glühlampen) sind in Fig. 11 ebenfalls in Dreieck geschaltet.

### 6. Sternschaltung.

Gerade so gut kann man das eine Ende jeder der drei Spulen zu einem gemeinsamen Verbindungspunkte führen (Fig. 12), so daß also alle

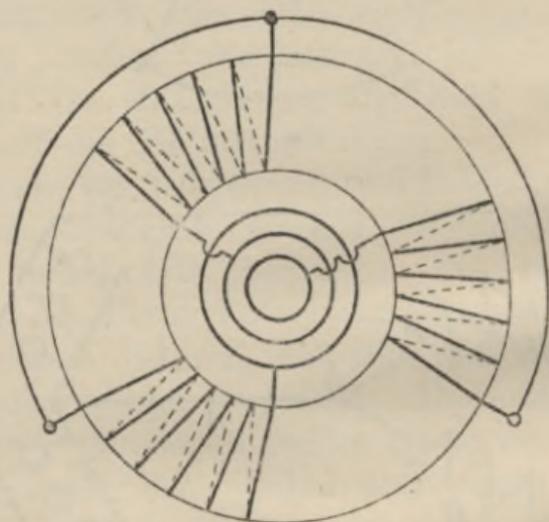


Fig. 12.

Spulen an ihrem einen Ende in jedem Moment dasselbe Potential haben. Führt man diese Verbindungsstelle sowie die drei anderen Spulenenden zu Schleifringen, so hat die Maschine vier Schleifringe und vier Leitungen nötig. Von diesen ist aber die Leitung, die vom Verkettungspunkte ausgeht, in der Regel

stromlos und kann entbehrt werden. Auch hier sind deshalb nur drei Schleifringe und drei Leitungen nötig.

Stellt man diese Schaltung schematisch dar, so ergibt sich Fig. 13. Nach ihrer Form nennt man sie Sternschaltung. In der Figur sind die Strom-

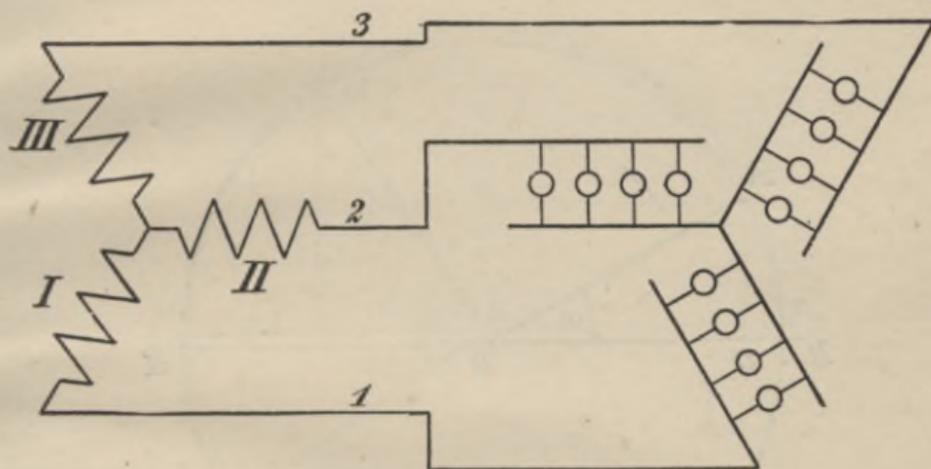


Fig. 13.

verbraucher in derselben Weise geschaltet. Dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich. Dreieckschaltung in der Maschine kann mit Sternschaltung der Stromverbraucher verbunden sein und umgekehrt.

Dieselben zwei Arten der Verkettung lassen sich beim Vierphasenstrom anwenden.

## 7. Das Vektordiagramm.

Ein sinusförmiger Wechselstrom kann nach dem Vorstehenden durch eine Sinuslinie graphisch dargestellt werden. Ein ebenso anschauliches, für viele Fälle zweckmäßigeres Bild liefert das Vektordiagramm.

Stellt man sich in Fig. 14 den Vektor  $AB$  um  $B$  im Uhrzeigersinn rotierend vor, so gibt für jeden Moment das von  $A$  aus gefällte Lot  $AC$  auf die Horizontale  $HH$  einen Wert an

$$AC = AB \cdot \sin \alpha.$$

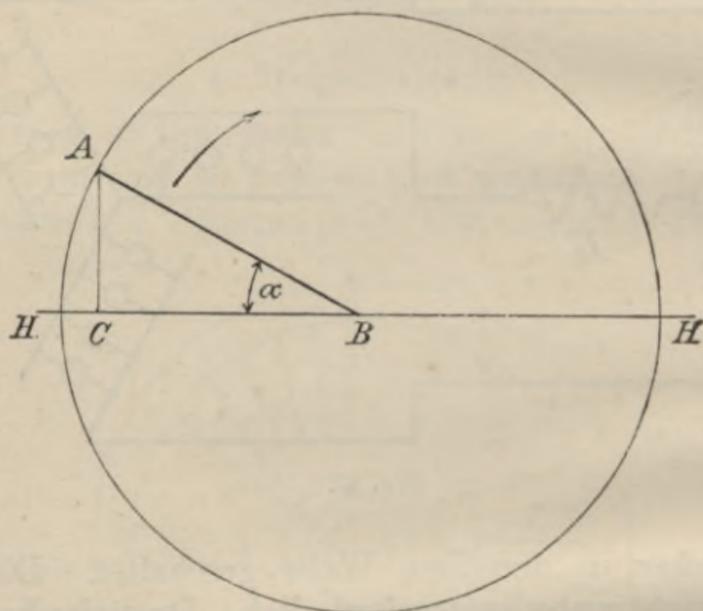


Fig. 14.

Ist nun

$$AB = 2 \pi N z \Phi_{\max} 10^{-8},$$

d. h. die Amplitude der Wechselspannungskurve, und setzt man den Drehungswinkel

$$\alpha = 2 \pi N t,$$

so gibt die Strecke  $AC$  jederzeit ein Maß für die momentane EMK des Wechselstromes.

Ebensogut kann man sich auch den Vektor  $AB$  fest und  $HH$  in umgekehrtem Sinne rotierend denken.

Auch dann gibt das Lot von A auf die jedesmalige Lage von HH die EMK des Wechselstromes an.

Hat man zwei Wechselströme, die um  $90^\circ$  gegeneinander versetzt sind (s. S. 12), wie beim zwei-phasigen Wechselstrom, so ist Wechselstrom I dargestellt durch Vektor DE in Fig. 15, während

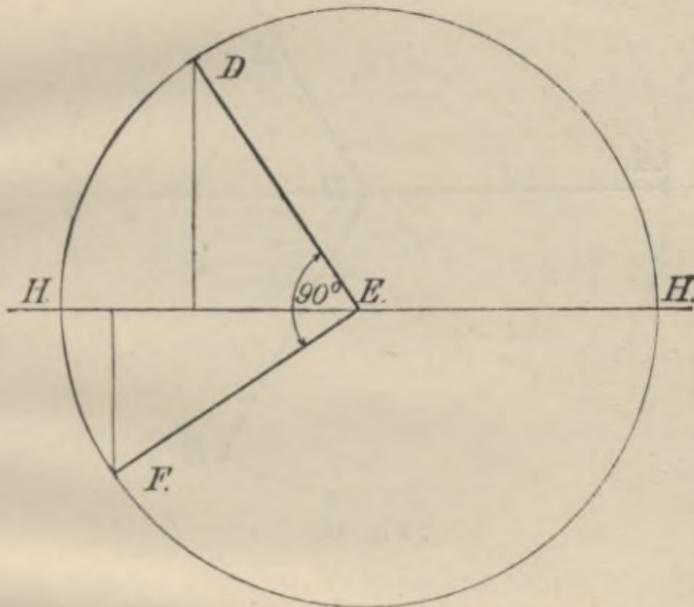


Fig. 15.

Wechselstrom II von einem Vektor FE, der einen Winkel von  $90^\circ$  mit jenem bildet, angedeutet wird. Auch hier sind die Lote von D bzw. F auf die mit der Winkelgeschwindigkeit  $2\pi N$  rotierende Gerade HH in jedem Zeitpunkt ein Maß für die Größe des Wechselstromes oder der Wechselspannung in der betreffenden Spule.

Der dreiphasige Wechselstrom wird dargestellt durch drei Vektoren, welche je einen Winkel von

120° miteinander bilden (Fig. 16). Vektor AD stellt den Strom der Spule I von Fig. 8 dar, BD denjenigen von Spule II und CD den von III.

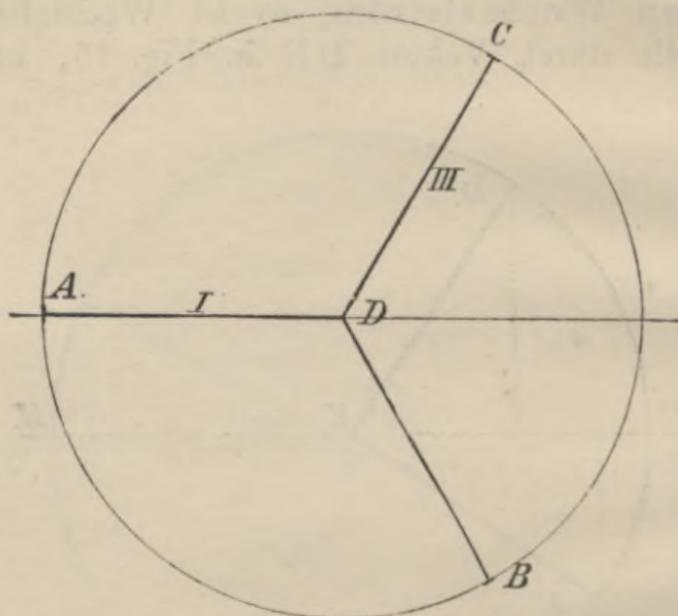


Fig. 16.

In ein und dasselbe Diagramm lassen sich auch verschiedenartige Größen eintragen, die in Beziehung zueinander stehen, vorausgesetzt, daß sie sich nach dem Sinusgesetz ändern und die gleiche Frequenz haben. So z. B. Kraftlinien und EMK. In Fig. 17 ändert sich die Kraftlinienzahl, die von der Spule umfaßt wird, unter der Voraussetzung eines homogenen Feldes nach dem Sinus- bzw. Kosinusgesetz. Es ist

$$\Phi_{\text{mom}} = \Phi_{\text{max}} \cos 2 \pi N t.$$

Dann ist (nach Gleichung (6), S. 10)

$$\begin{aligned}
 E_{\text{mom}} &= 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t 10^{-8} \text{ Volt,} \\
 &= 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \cos \left( 2 \pi N t - \frac{\pi}{2} \right) 10^{-8} \text{ Volt.}
 \end{aligned}$$

Die EMK hat also gegen das sie erzeugende Kraftlinienfeld eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  und zwar so, daß die EMK dem Felde um eine Viertelperiode nacheilt.

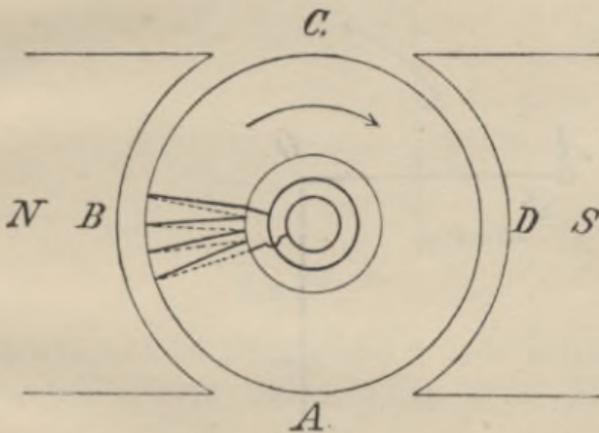


Fig. 17.

Dies macht sich im Vektordiagramm so, daß, wenn Vektor  $AO$  (Fig. 18) das Feld  $\Phi_{\text{max}}$  darstellt, der Vektor  $OB$  senkrecht dazu und nacheilend die EMK  $E_{\text{max}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} 10^{-8}$  darstellt.

Ebenso läßt sich Magnetisierungsstrom und Kraftlinienfeld in einem Diagramm darstellen. Es ist aus Teil I, S. 26 bekannt, daß bei der zyklischen Magnetisierung eines Eisenkörpers, bei welcher der Strom von Null ansteigt auf ein positives Maximum, dann durch Null hindurch ein negatives Maximum erreicht, dann wieder das positive Maximum annimmt usf., das Kraftlinienfeld im Eisen nicht mit dem magnetisierenden Strom gleichen Schritt hält,

sondern erst einige Zeit, nachdem dieser durch Null gegangen ist, auch seinerseits zu Null wird. Nimmt man nun an, die Magnetisierung des Eisens folge dem Sinusgesetz ebenso wie der Strom, so hat der Strom eine gewisse Phasenvoreilung vor dem Felde. Der Phasenwinkel sei  $\psi$ . Es folgt der Strom dem Gesetz

$$J_{\text{mom}} = J_{\text{max}} \cdot \sin 2 \pi N t,$$

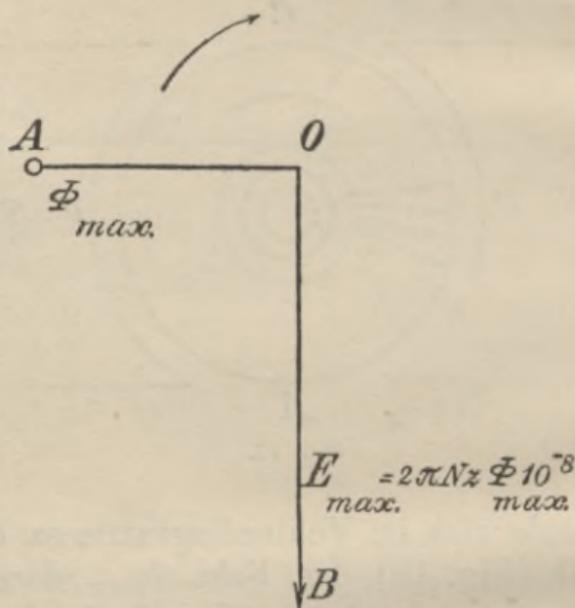


Fig 18.

während das Feld dem anderen folgt

$$\Phi_{\text{mom}} = \Phi_{\text{max}} \cdot \sin(2 \pi N t - \psi).$$

Im Vektordiagramm (Fig. 19) stellt sich dieses Verhältnis so dar, daß der Stromvektor  $AO = J_{\text{max}}$  um den  $\angle \psi$  dem Feldvektor  $OB = \Phi_{\text{max}}$  vorausseilt. In das gleiche Diagramm läßt sich noch eine dritte Größe aufnehmen. Das Feld hat nämlich seinerseits wieder in den Windungen eine EMK zur Folge, welche  $90^\circ$

hinter derselben dreinläuft, somit durch Vektor  $OC$  dargestellt wird (Fig. 19) (s. S. 23).

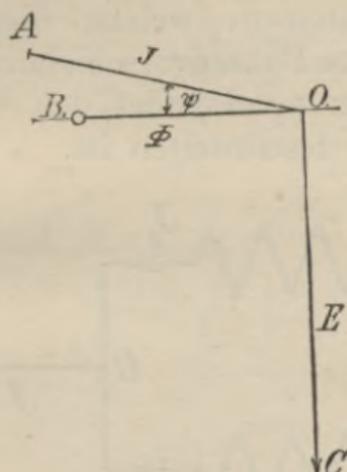


Fig. 19.

Mit Sinuskurven dargestellt würde letzteres Diagramm folgende Form haben (Fig. 20). Man sieht,

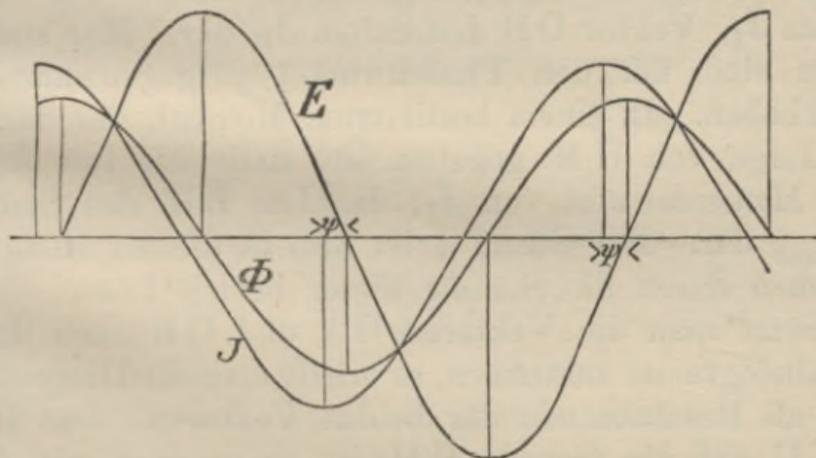


Fig. 20.

das Vektordiagramm zeigt die gegenseitige Beziehung von Strom, Kraftfeld und EMK in viel übersichtlicherer Weise als das Sinuskurvendigramm.

## 8. Zusammensetzung von Wechselströmen

In einem Punkte  $O$  (Fig. 21) kommen zwei Ströme  $J_I$  und  $J_{II}$  zusammen, welche dieselbe Frequenz, aber eine bestimmte Phasenverschiebung gegeneinander haben. Sie bilden miteinander den Strom  $J$ , dessen Größe und Phase festzustellen ist.

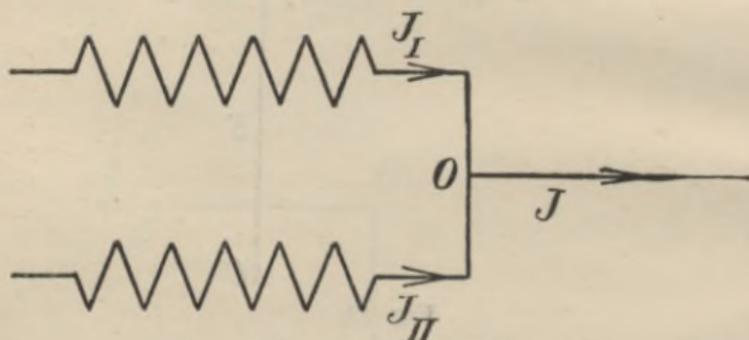


Fig. 21.

Im Diagramm (Fig. 22) stellt Vektor  $OA$  den Strom  $J_I$ , Vektor  $OB$  den Strom  $J_{II}$  dar. Man sieht: beide sind um den Phasenwinkel  $\varphi$  gegeneinander verschoben. In einem bestimmten Moment, der durch die Lage von  $HH$  gegeben ist, stellt das Lot  $AA'$  den Momentanwert von  $J_I$ , das Lot  $BB'$  den Strom  $J_{II\text{mom}}$  dar. Der Strom  $J$  ist also in diesem Moment gegeben durch die Summe dieser beiden Lote.

Setzt man die Vektoren  $OA$  und  $OB$  nach dem Parallelogramm zusammen, so erhält man die Diagonale  $OC$  als Resultierende der beiden Vektoren. Das Lot von  $C$  auf die Gerade  $HH$  ist ebensogroß wie die beiden Lote  $AA'$  und  $BB'$  zusammengenommen. Dies ist für jede Lage von  $HH$  der Fall. Es ist also  $OC$  die Amplitude des Summenstroms  $J$ . Man sieht: der Strom  $J$  erreicht sein Maximum eine gewisse Zeit

nach  $J_I$  und vor  $J_{II}$ . Er eilt dem Strom  $J_I$  in der Phase nach und läuft dem Strom  $J_{II}$  in der Phase voraus.

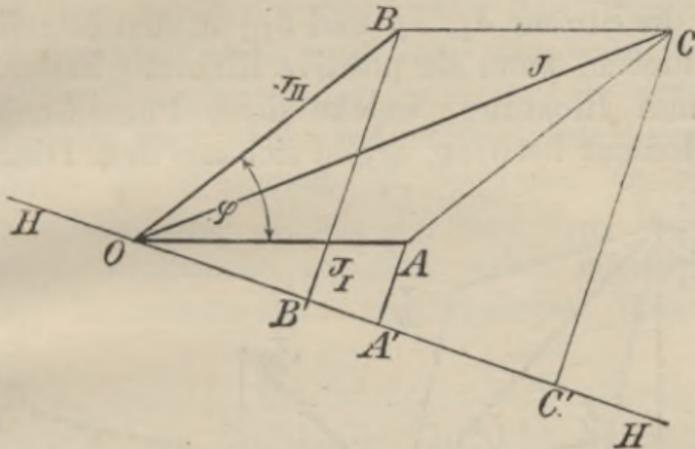


Fig. 22.

Bei einem Dreiphasenstromgenerator in Dreieckschaltung fließt, wie man aus Fig. 23 sieht, in

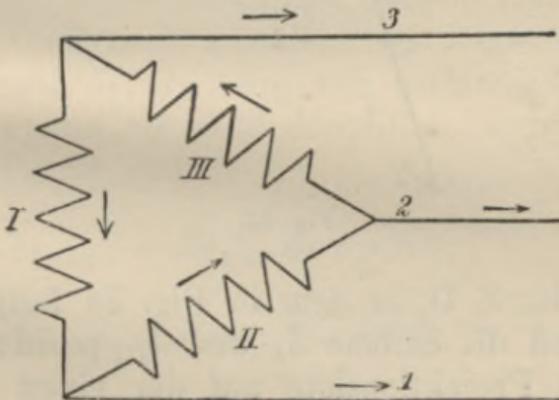


Fig. 23.

jedem Moment in den Spulen (Phasen) I, II und III der Maschine ein anderer Strom als in den von der Maschine ausgehenden Netzleitungen 1, 2, 3. (Vergl.

auch Fig. 11, S. 17.) Wie verhalten sich die Phasenströme zu den Leitungsströmen?

In Fig. 23 (vergl. Fig. 10, S. 17) geben die Pfeile an, wie die Ströme  $J_I$ ,  $J_{II}$  und  $J_{III}$  in den betreffenden Spulen fließen, wenn sie positive Richtung haben. Die Größe und Richtung, welche diese Phasenströme in jedem Moment besitzen, ergibt sich aus dem Diagramm

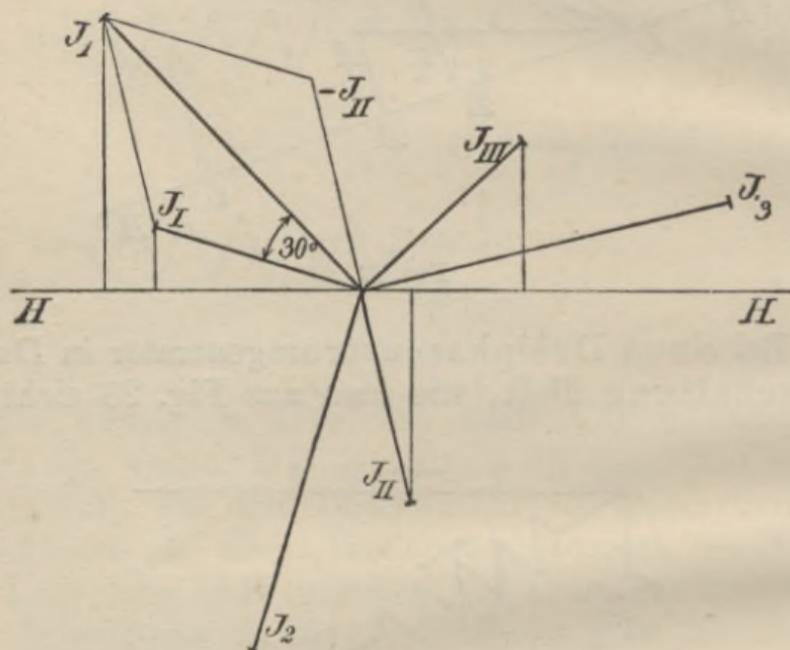


Fig. 24.

der Fig. 24. Z. B. in dem in Fig. 24 festgehaltenen Moment sind die Ströme  $J_I$  und  $J_{III}$  positiv, weil die bezüglichen Projektionslote auf der einen Seite von  $HH$  liegen, während  $J_{II}$  einen negativen Momentanwert hat, da sein Projektionslot auf der andern Seite von  $HH$  liegt.  $J_I$  und  $J_{III}$  fließen also in diesem Moment in Richtung der Pfeile (Fig. 23) durch die Spulen,  $J_{II}$  dagegen entgegengesetzt.

Leitungsstrom  $J_1$  setzt sich nun (Fig. 23) in jedem Moment zusammen aus dem positiv genommenen  $J_I$  und dem negativ genommenen  $J_{II}$ . Seine Amplitude findet man also, wenn man die Vektoren dieser beiden Ströme geometrisch addiert.  $J_I$  positiv,  $J_{II}$  negativ, also nach rückwärts um sich selbst verlängert: zusammen die Diagonale  $J_1$ . Genau in derselben Weise erhält man  $J_2$  aus  $J_{II}$  und  $J_{III}$ , indem man  $J_{III}$  nach rückwärts um sich selbst verlängert und mit  $J_{II}$  zusammensetzt. In analoger Weise findet man  $J_3$ .

$J_1$ ,  $J_2$  und  $J_3$  haben unter sich ebenso wie die Phasenströme  $J_I$ ,  $J_{II}$ ,  $J_{III}$  je  $120^\circ$  Phasenverschiebung.  $J_1$  läuft dem Strom  $J_I$  um  $30^\circ$  voraus. Seine Amplitude ist, wie aus den geometrischen Verhältnissen hervorgeht,  $\sqrt{3}$ mal größer als die des Stromes  $J_I$ . Ebenso verhält es sich mit den anderen Strömen.

Die Zusammensetzung der Ströme läßt sich natürlich auch analytisch machen. Im folgenden sind die Phasenströme  $J_I$ ,  $J_{II}$ ,  $J_{III}$  wie vorhin gleichgroß angenommen und als ihre Amplitude durchweg  $J_{I\max}$  gesetzt. Es ist dann:

$$J_{I\text{mom}} = J_{I\max} \sin 2 \pi N t,$$

$$J_{II\text{mom}} = J_{I\max} \sin \left( 2 \pi N t - \frac{2 \pi}{3} \right),$$

$$J_{III\text{mom}} = J_{I\max} \sin \left( 2 \pi N t - \frac{4 \pi}{3} \right).$$

Daraus ergibt sich:

$$J_{1\text{mom}} = J_{I\max} \left[ \sin 2 \pi N t - \sin \left( 2 \pi N t - \frac{2 \pi}{3} \right) \right], \bullet$$

$$J_{2 \text{ mom}} = J_{I \text{ max}} \left[ \sin \left( 2 \pi N t - \frac{2 \pi}{3} \right) - \sin \left( 2 \pi N t - \frac{4 \pi}{3} \right) \right],$$

$$J_{3 \text{ mom}} = J_{I \text{ max}} \left[ \sin \left( 2 \pi N t - \frac{4 \pi}{3} \right) - \sin 2 \pi N t \right].$$

Entwickelt man diese Ausdrücke nach den Regeln der Goniometrie, so ergibt sich:

$$J_{1 \text{ mom}} = J_{I \text{ max}} \sqrt{3} \cdot \sin \left( 2 \pi N t + \frac{\pi}{6} \right),$$

$$J_{2 \text{ mom}} = J_{I \text{ max}} \sqrt{3} \cdot \sin \left( 2 \pi N t - \frac{\pi}{2} \right),$$

$$J_{3 \text{ mom}} = J_{I \text{ max}} \sqrt{3} \cdot \sin \left( 2 \pi N t - \frac{7 \pi}{6} \right).$$

### 9. Zusammensetzung von Wechselspannungen.

Ist der Dreiphasenstrom in Sternschaltung (Fig. 25), so fließen die Ströme der drei Spulen auch in den zugehörigen Netzleitungen. Dagegen ist die Spannung zwischen a und b, b und c, c und a eine andere als die Phasenspannung zwischen den Enden O und A, O und B, O und C der Spulen I, II und III. Um z. B. die Spannung zwischen den Klemmen a und c der Maschine zu erhalten, müssen die Phasenspannungen I und III zusammengesetzt werden. Da diese gegeneinander in der Phase verschoben sind, so dürfen sie nicht einfach algebraisch, sondern sie müssen, wie im vorhergehenden Abschnitt die Wechselströme, in geometrischer Weise addiert werden.

Die Phasenspannungen  $E_I$ ,  $E_{II}$ ,  $E_{III}$  sind gleichgroß und im Diagramm (Fig. 26) durch die drei Vektoren dargestellt. Die Pfeile in der Fig. 25 geben

wieder den Sinn an, in welchem die Spannungen des Diagramms zu verstehen sind (vergl. Fig. 12).

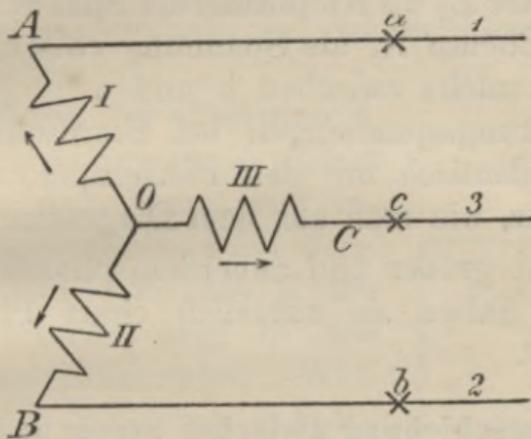


Fig. 25.

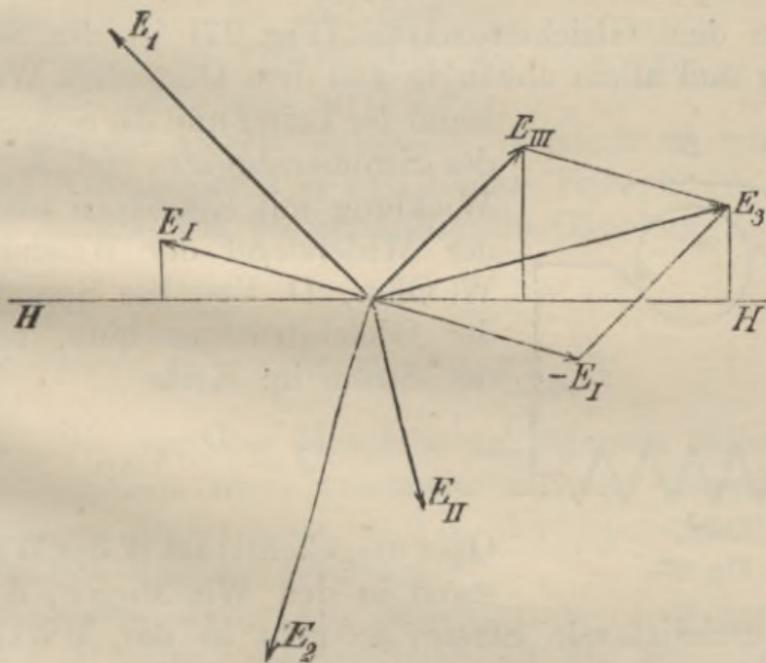


Fig. 26.

Man sieht: um z. B. die Spannung zwischen  $c$  und  $a$  zu erhalten, muß  $E_{III}$  in positivem,  $E_I$  in negativem

Sinne genommen werden. Es ergibt sich demnach, durch Zusammensetzung dieser beiden im Parallelogramm, Vektor  $E_3$  als Amplitude der Spannung zwischen  $c$  und  $a$ . Ebenso  $E_1$  als Spannung zwischen  $a$  und  $b$  und  $E_2$  als solche zwischen  $b$  und  $c$ .

Die Leitungsspannungen bei Sternschaltung sind also nicht identisch mit den Phasenspannungen. Sie sind vielmehr, wie man aus dem Diagramm entnehmen kann,  $\sqrt{3}$  mal größer und außerdem phasenverschoben. Unter sich haben sie natürlich einen Phasenwinkel von je  $120^\circ$ .

### 10. Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Einfluß des magnetischen Felds.

In dem Gleichstromkreis (Fig. 27) ist der Strom einzig und allein abhängig von dem Ohmschen Widerstand der Leiter und der Spannung des Stromerzeugers. Ist  $A$  eine Wicklung mit Eisenkern und ist der Widerstand der Windungen  $W$  Ohm,  $D$  Volt die Spannung der Gleichstrommaschine, so ist der Strom im Kreis

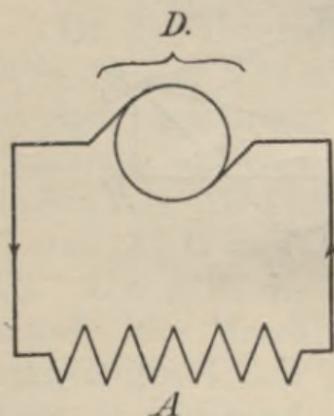


Fig. 27.

$$J = \frac{D}{W} \text{ Amp.}$$

Oder umgekehrt: Ist  $W$  der Widerstand in den Windungen,  $J$  der sie durchfließende Strom, so geht in der Wicklung die Spannung

$$D = JW \text{ Volt}$$

verloren. Diese Spannung muß von der Maschine geliefert werden.

In dem Eisenkern wird durch den Gleichstrom ein starkes magnetisches Feld erzeugt, das aber, wenn einmal vorhanden, infolge des konstanten Stroms konstant bleibt und deshalb auf den Stromkreis keinerlei Einfluß ausübt.

Fließt durch die Wicklung A (Fig. 28) Wechselstrom, so ändert sich das in dem Eisenkerne befindliche magnetische Feld fortwährend. Ein variables Kraftlinienfeld erzeugt aber in den dasselbe einschließenden Windungen (s. S. 10) eine EMK, die sich wie das Wechselfeld sinusförmig ändert. Es tritt also in den Windungen eine EMK E auf. Man kann also nicht mehr

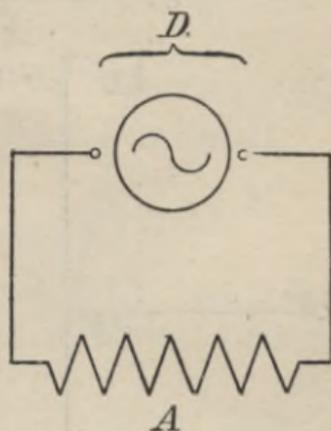


Fig. 28.

das Ohmsche Gesetz anwenden, sondern es tritt das zweite Kirchhoffsche in sein Recht (Teil I, S. 62). Für einen bestimmten Moment gilt die Gleichung:

$$D_{\text{mom}} + E_{\text{mom}} - J_{\text{mom}} W = 0$$

oder

$$D_{\text{mom}} = -E_{\text{mom}} + J_{\text{mom}} W,$$

d. h.: Die von der Maschine zu liefernde Klemmenspannung setzt sich zusammen aus der negativ genommenen induzierten EMK der Spule und dem Ohmschen Spannungsverlust.

Zunächst werde nun angenommen, daß das Feld in der Wicklung phasengleich sei mit dem Strome, d. h. daß das Feld Null ist, wenn der Strom Null ist, und daß beide zur gleichen Zeit ihr Maximum erreichen. Außerdem sollen beide einander proportional

sein und dem Sinusgesetz folgen. Im Vektordiagramm fällt dann die Richtung des Stromes und des Feldes zusammen.

Es sei in Fig. 29  $J$  die Amplitude des in der Wicklung fließenden Stromes,  $\Phi$  die des von ihm erzeugten Feldes. Die EMK, welche in der Spule von dem Felde induziert wird, eilt demselben um einen Phasenwinkel von  $90^\circ$  nach. Ihre Amplitude sei  $E$ . Der Vektor  $-E$ , gleich und entgegengesetzt  $E$ , bildet also nach der obigen Gleichung eine Komponente der Klemmenspannung.

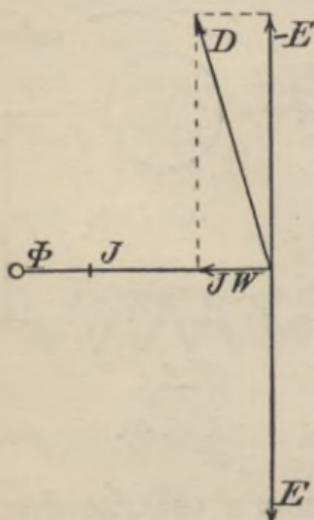


Fig. 29.

Der Ohmsche Spannungsverlust ist in jedem Moment  $J_{\text{mom}} W$  Volt. Er ist in Phase mit dem Strom, also dargestellt durch den Vektor  $JW$ .

Die Klemmenspannung  $D$  ist die geometrische Summe von  $-E$  und  $JW$ , also dargestellt durch Vektor  $D$ .

Man sieht hieraus vor allem: Um in einem Wechselstromkreise mit starkem magnetischem Felde einen Strom von bestimmtem Maximalwerte zu erzeugen, ist eine bedeutend größere Spannung erforderlich als in einem Gleichstromkreise. Außerdem ergibt sich aus dem Diagramm, daß durch die Wirkung des magnetischen Feldes oder, wie auch gesagt werden kann, durch die Selbstinduktion im Wechselstromkreise, d. h. durch die Induktion, welche das von einer Wicklung geschaffene Feld auf diese Wicklung ausübt, eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung eintritt.

Will man statt des Vektordiagrammes die analytischen Ausdrücke für Strom und Spannung, so ergibt sich, wenn der Strom

$$J_{\text{mom}} = J_{\text{max}} \sin 2 \pi N t,$$

die Spannung

$$D_{\text{mom}} = D_{\text{max}} \sin(2 \pi N t + \varphi),$$

worin  $\varphi$  den Winkel zwischen  $D$  und  $J$  bedeutet.

### 11. Einfluß der Hystereseis.

Strom und Feld sind nicht phasengleich, wenn das geschaffene Kraftlinienfeld im Eisen verläuft. Infolge der magnetischen Hystereseis eilt der Strom um einen Winkel  $\psi$  vor dem Felde voraus (s. S. 25). Das Diagramm der Fig. 29 ändert sich in diesem Falle noch etwas. Ist  $J$  in Fig. 30 Größe und Richtung des Stromes, so ist  $\Phi$  das Feld. Die vom Felde induzierte EMK steht nun wieder senkrecht auf dem Vektor des Feldes, nicht aber senkrecht auf demjenigen des Stromes.

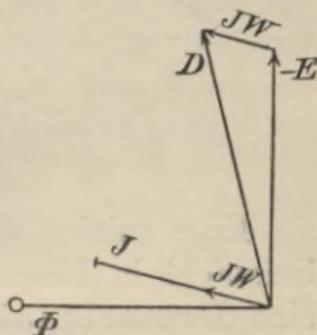


Fig. 30.

Statt nun diese EMK nach unten abzutragen, kann man gleich sagen: die eine Komponente der von dem Stromerzeuger zu liefernden Spannung muß der vom Felde herrührenden EMK  $E$  das Gleichgewicht halten, muß also die Größe und Richtung  $-E$  besitzen. Die andere Komponente muß den Strom durch den Widerstand  $W$  der Spule treiben, also die Größe  $JW$  haben. Die Gesamtspannung der Maschine ist somit  $D$ , die geometrische Summe von  $-E$  und  $JW$ .

Zwischen Strom und Spannung herrscht also wieder eine Phasenverschiebung, die ausgedrückt ist durch den Winkel  $\varphi$  zwischen  $D$  und  $J$ .

In Sinuskurven dargestellt sieht sich Spannung und Strom an wie Fig. 31 zeigt.

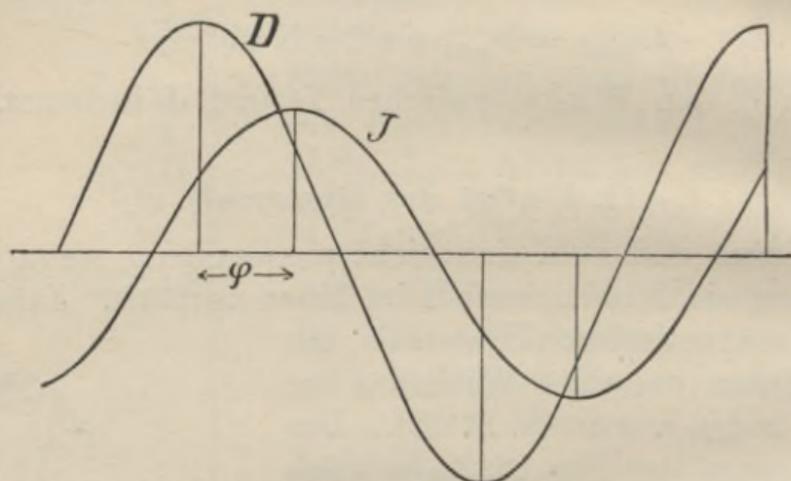


Fig. 31.

Eine solche Wicklung, deren wechselndes Kraftlinienfeld in Eisen oder in Luft verläuft, nennt man eine Drosselspule.

## 12. Der Effektivwert eines Wechselstromes.

Die Stärke eines Wechselstromes oder die Größe einer Wechselspannung wird durch den sog. Effektivwert gemessen:  $J_{\text{eff}}$ ,  $E_{\text{eff}}$ . Um zu begreifen, was man darunter versteht, kann man folgende Überlegung anstellen:

Die in Joulesche Wärme umgesetzte Energie eines veränderlichen Stromes ist in jedem Moment

$$dA = J_{\text{mom}}^2 W dt \text{ Joule.}$$

Nun ist für einen sinusförmig sich ändernden Wechselstrom

$$J_{\text{mom}} = J_{\text{max}} \cdot \sin 2 \pi N t \text{ Amp.},$$

also

$$d A = J_{\text{max}}^2 W \sin^2 2 \pi N t dt \text{ Joule.}$$

Während einer Periode, also während der Zeit  $T = \frac{1}{N}$ , wird also eine Wärme erzeugt:

$$\begin{aligned} A &= J_{\text{max}}^2 W \int_0^T \sin^2 2 \pi N t dt \text{ Joule,} \\ &= \frac{1}{2} J_{\text{max}}^2 \cdot W \cdot T \text{ Joule.} \end{aligned}$$

Man nennt nun denjenigen Wert  $J_{\text{eff}}$ , den ein Gleichstrom haben muß, um während derselben Zeit  $T$  dieselbe Wärmewirkung zu erzielen, den Effektivwert des Wechselstromes. Die Wärmewirkung des Gleichstromes  $J_{\text{eff}}$  während der Zeit  $T$  ist

$$A = J_{\text{eff}}^2 W T \text{ Watt.}$$

Man setzt also

$$J_{\text{eff}}^2 W T = \frac{1}{2} J_{\text{max}}^2 W T,$$

also ist

$$\begin{aligned} (8) \quad J_{\text{eff}} &= \frac{1}{\sqrt{2}} J_{\text{max}}, \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{2} J_{\text{max}}. \end{aligned}$$

Ebenso kann gezeigt werden, daß der Effektivwert einer sinusförmigen Wechselspannung ist

$$9) \quad E_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \sqrt{2} E_{\text{max}}.$$

Es besteht also zwischen Maximal- und Effektivwerten eine ganz bestimmte Beziehung.

Im Vektordiagramm wurden seither immer die Maximalwerte als Vektoren eingeführt. Es können ebensogut auch die Effektivwerte als Vektoren eingesetzt und mit ihnen ebenso verfahren werden wie mit den Maximalwerten.

Der Maximalwert der EMK kann nach Gleichung (7) (S. 10) durch das erzeugende Kraftlinienfeld ausgedrückt werden:

$$E_{\max} = 2 \pi N z \Phi_{\max} 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Der Effektivwert derselben ist also

$$(10) \quad \begin{aligned} E_{\text{eff}} &= \sqrt{2} \pi N z \Phi_{\max} 10^{-8} \text{ Volt,} \\ &= 4,44 N z \Phi_{\max} 10^{-8} \text{ Volt.} \end{aligned}$$

### 13. Die Leistung des Wechselstromes.

Die Arbeit im Zeitelement  $dt$  ist gegeben durch das Produkt aus momentaner Spannung, momentaner Stromstärke und Zeitelement  $dt$ . Also

$A_{\text{mom}} = J_{\max} \sin(2 \pi N t) D_{\max} \sin(2 \pi N t + \varphi) dt$  Joule, worin  $\varphi$  den Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung bedeutet (s. S. 34 f.). Die Arbeit während einer Periode ergibt sich, wenn man obigen Ausdruck über eine Welle der Strom- oder der Spannungskurve integriert. Es ist

$$\begin{aligned} A &= \int_{t=0}^{t=T} J_{\max} D_{\max} \sin 2 \pi N t \cdot \sin(2 \pi N t + \varphi) dt, \\ &= \int_{t=0}^{t=T} J_{\max} D_{\max} (\sin^2 2 \pi N t \cos \varphi \\ &\quad + \sin 2 \pi N t \cos 2 \pi N t \sin \varphi) dt. \end{aligned}$$

Führt man die Integration aus, so ergibt sich für die Arbeit des Wechselstromes während einer Periode

$$A = \frac{1}{2} J_{\max} D_{\max} \cos \varphi \cdot T \text{ Joule.}$$

$J_{\max}$  und  $D_{\max}$  bedeuten in dieser Gleichung die Amplitüden der Strom- und Spannungskurven.

Nach dem vorhergehenden Abschnitt ist der Effektivwert eines sinusförmigen Wechselstromes mit der Amplitude  $J_{\max}$

$$J_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \sqrt{2} J_{\max}.$$

Ebenso die effektive Spannung, wenn  $D_{\max}$  die Amplitude der Spannungskurve ist,

$$D_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \sqrt{2} D_{\max}.$$

Setzt man in die Arbeitsgleichung diese Effektivwerte ein, so ergibt sich die Arbeit während der Zeit  $T$

$$A = J_{\text{eff}} D_{\text{eff}} \cos \varphi T \text{ Joule,}$$

und der Effekt oder die Leistung

$$(11) \quad A_s = J_{\text{eff}} D_{\text{eff}} \cos \varphi \text{ Watt.}$$

Ist  $OA$  der Stromvektor (Fig. 32),  $OB$  der Vektor der Spannung, so ist der Effekt gegeben durch

$$A_s = OB \cdot OC,$$

worin  $OC$  die Projektion von  $OA$  auf  $OB$  bedeutet. Sieht man  $OC$  als eine Komponente des Stromes  $OA$  an, so ist  $OD$  die andere Komponente. Die Größe der Arbeit bleibt gleich, wenn außer der Spannung  $OB$  die Strecke  $OC$ , d. h. die Projektion des Stromvektors auf den Spannungsvektor gleichbleibt. Die

Komponente  $OD$  trägt nichts zur Arbeit bei. Man nennt deshalb  $OD$  die wattlose Komponente des Wechselstromes,  $OC$  seine Wattkomponente.

Die wattlose Komponente sucht man bei Kraftübertragungen möglichst klein zu halten, weil sie den

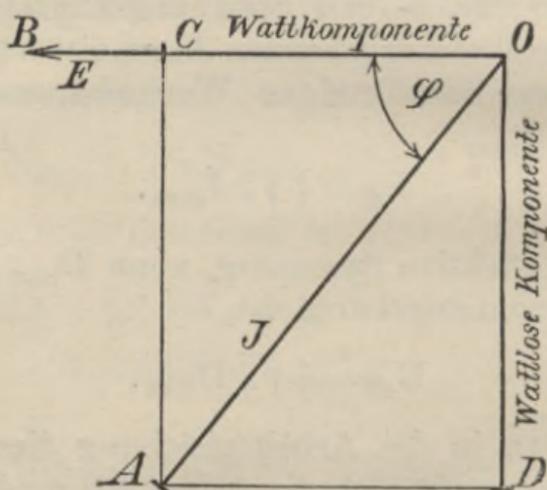


Fig. 32.

Strom vergrößert, also mehr Leitungsquerschnitt verlangt, ohne zugleich die nutzbringende Arbeit zu erhöhen. Mit anderen Worten: man sucht den Winkel  $\varphi$  möglichst klein, oder  $\cos \varphi$  möglichst nahe bei 1 zu halten.  $\cos \varphi$  wird auch der Leistungsfaktor genannt.

#### 14. Die Eisenverluste.

In einem Wechselstromkreise sei kein anderer Stromverbraucher als eine Wicklung mit Eisenkern. Diese Wicklung habe einen so kleinen Ohmschen Widerstand, daß der Spannungsabfall  $JW$  und der Joulesche Wärmeeffekt  $J^2W$  vernachlässigt werden können.

Infolge des Wechselfeldes in dem Eisenkerne wird in den Windungen der Wicklung eine EMK wachgerufen, welche die Größe  $E$  haben möge. Die Spannung an den Klemmen der Spule muß ebenso groß sein und ebenfalls  $E$  Volt betragen.

Würde nun das Entstehen und Verschwinden des Wechselfeldes ohne Energieverluste vor sich gehen, so würde die von dem Strom  $J$  und der Spannung  $E$  aufgewendete Leistung Null sein müssen. Wenn also zwischen den beiden Vektoren  $J$  und  $E$  ein Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$  besteht, so müßte gelten

$$J E \cos \varphi = 0.$$

Es müßte also der Phasenwinkel  $\varphi$   $90^\circ$  betragen,  $J$  und  $E$  würden demnach im Diagramm senkrecht aufeinander stehen, also  $J$  in dieselbe Richtung fallen wie das Kraftlinienfeld  $\Phi$ .

Dies ist nun tatsächlich nicht der Fall (s. S. 23f.). Vielmehr besteht zwischen  $J$  und  $\Phi$  der Hysteresiswinkel  $\psi$ . Der Winkel zwischen dem Felde und der EMK ist  $90^\circ$ , es muß also der Winkel zwischen dem Strome und der EMK kleiner sein als  $90^\circ$ . Daraus folgt nun, daß das Produkt  $J E \cos \varphi$  oder  $J E \sin \psi$  nicht mehr Null ist, sondern eine bestimmte Größe besitzt, die Größe des Hysteresiseffektes  $A_h$ .

$$A_h = J E \cos \varphi.$$

Ein Maß für diesen Hysteresiseffekt ist (s. Teil I, S. 94ff.) die Hysteresisschleife. Er läßt sich durch Messung bestimmen. Steinmetz hat für seine Größe eine Formel aufgestellt:

$$(12) \quad A_h = \eta N V B_{\max}^{1,6} 10^{-7} \text{ Watt,}$$

worin  $N$  die Periodenzahl,  $B_{\max}$  die maximale magnetische Induktion,  $V$  das Volumen des Eisenkörpers und  $\eta$  einen Erfahrungskoeffizienten bedeutet, der durch den Versuch zu bestimmen ist.

Hat man den Hysteresiseffekt bestimmt und ist die Größe des Stromes  $J$  und der Spannung  $E$  bekannt, so läßt sich  $\varphi$  oder  $\psi$  ermitteln und damit das

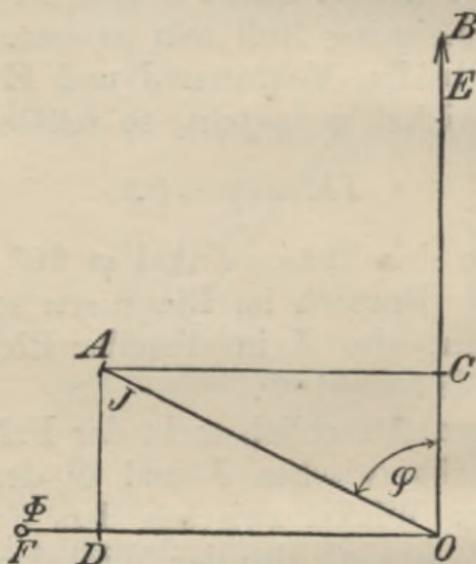


Fig. 33.

Diagramm konstruieren. Aus Hysteresiseffekt und Spannung  $E$  läßt sich  $J \cos \varphi$  bestimmen. Dies ist aber nichts anderes als die Komponente des Stromes  $J$ , welche in die Richtung von  $E$  fällt, die Wattkomponente.

Außer den Hysteresisverlusten treten in dem Eisen noch Verluste auf, welche von den Wirbelströmen herühren. Man sucht letztere durch die Unterteilung des Eisens möglichst gering zu halten (s. Teil I, S. 47f.). Nichtsdestoweniger sind sie aber doch vorhanden.

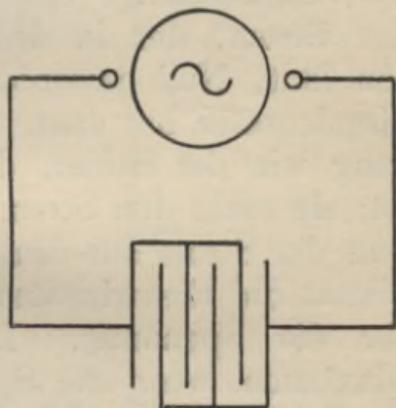
Man kombiniert diese Wirbelstromverluste in der Regel mit den Hysteresisverlusten und spricht von beiden gemeinsam als von den Eisenverlusten oder der Eisenarbeit. Es ist dann unter  $JE \cos \varphi$  nicht bloß der Hysteresiseffekt zu verstehen, sondern auch noch der Effekt der Wirbelstromverluste.

In der Fig. 33 bedeutet also  $OC$  die Wattkomponente des Stromes in dem Sinne, daß durch das Produkt  $OC \cdot OB$  die gesamten Wirbelstrom- und Hysteresisverluste im Eisen ausgedrückt sind.

### 15. Einfluß der Kapazität auf den Wechselstromkreis.

Eine Kapazität und ihr elektrisches Feld, also z. B. ein Kondensator (s. Teil I, S. 108 ff.), hat auf einen Wechselstromkreis (Fig. 34) gerade die entgegengesetzte Wirkung wie das magnetische Feld eines Stromverbrauchers.

Ähnlich, wie beim magnetischen Wechselfeld die von ihm induzierte EMK zu unterscheiden ist von der ihr das Gleichgewicht haltenden Komponente der Klemmenspannung (s. S. 34), so sind auch hier zu unterscheiden diejenige EMK, welche im Kondensator infolge seiner Ladung auftritt, seine Eigenspannung (s. Teil I, S. 110) und die von außen auf ihn wirkende Spannung, welche der Eigenspannung in jedem Moment gleich, aber entgegengesetzt ist.



*Kondensator*

Fig. 34.

Die Spannung an einem Kondensator ist ein Maximum, wenn die in den Kondensator hineingeladene

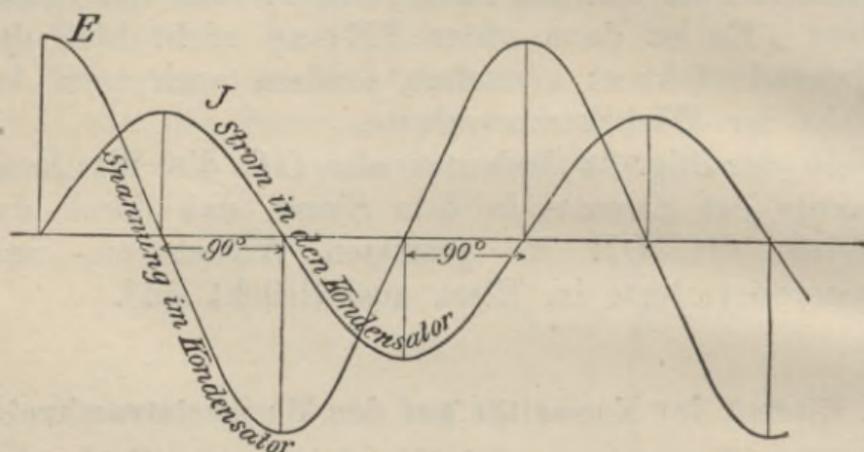


Fig. 35.

Elektrizitätsmenge ein Maximum ist, wenn also der Strom, der in den Kondensator fließt und ihn lädt, Null geworden ist. Die Spannung im Kondensator hat dann die entgegengesetzte Richtung wie der Strom, der in ihn hineingeflossen ist: sie sucht den Strom herauszudrücken. Wenn nun der Strom aus dem Kondensator herausfließt, nimmt die Elektrizitätsmenge in ihm ab und mit ihr die Spannung. Der Strom erreicht sein Maximum, wenn die Spannung Null wird.

Zeichnet man sich den Verlauf in Sinuslinien auf (Fig. 35), so sieht man, daß der Strom  $J$  der Spannung im Kondensator um  $90^\circ$  hintendrein läuft. Im Vektor-

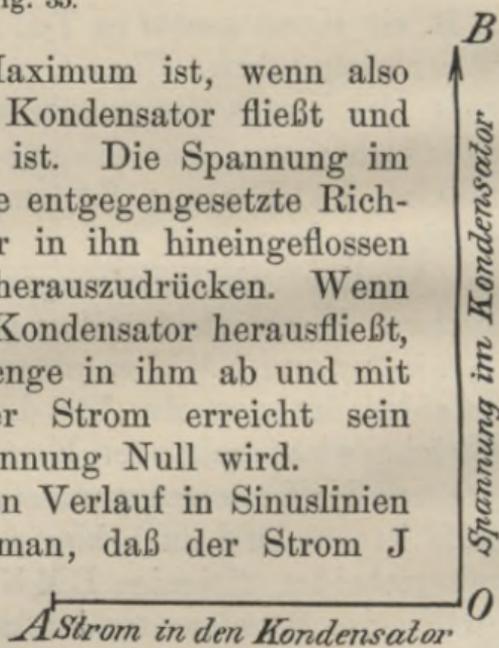


Fig. 36.

diagramm (Fig. 36) ergibt sich folgendes Bild:  $OA$  der Strom,  $OB$  die Spannung im Kondensator.

Die Maschine, welche den Strom in den Kondensator schickt (Fig. 34), muß nun eine Spannungskomponente liefern, welche der im Kondensator hervorgerufenen  $OB$  (Fig. 36) das Gleichgewicht hält. Sie ist in Fig. 37 dargestellt durch  $OC$ . Hat der Stromkreis außerdem noch Widerstand  $W$ , so muß die

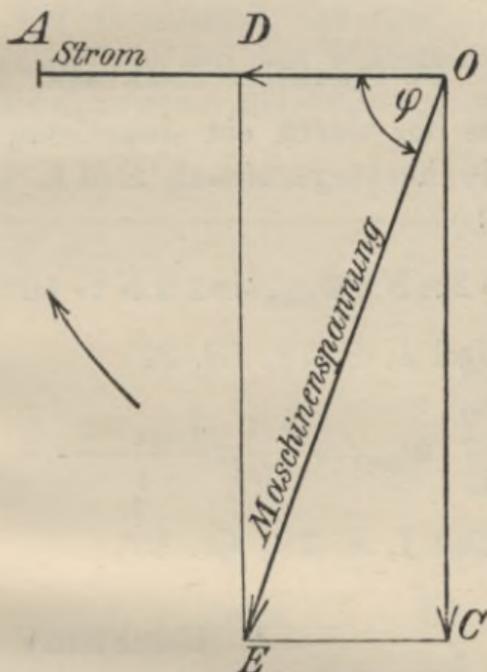


Fig. 37.

Maschinenspannung auch noch den Spannungsabfall  $JW$ , der in die Richtung des Stromes fällt, ersetzen, d. h. sie muß eine Komponente  $OD$  besitzen. Sie muß also insgesamt eine Spannung  $OE$  liefern (Fig. 37).

Wie man sieht, hat die Kapazität im Wechselstromkreise die Folge, daß der Strom vor der Spannung der Maschine vorausläuft um einen Winkel  $\varphi$ , der um so größer ist, je größer die Kapazität.

Wie beim Einfluß des magnetischen Feldes kann man auch hier den Strom in zwei Komponenten zerlegen, eine Wattkomponente  $J \cdot \cos \varphi$  und eine wattlose Komponente  $J \cdot \sin \varphi$ .

Der Effekt ist auch hier wieder

$$A = J_{\text{eff}} \cdot D_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi \text{ Watt.}$$

### 16. Induktive Reaktanz.

Die Größe der durch ein sinusförmig variierendes Kraftlinienfeld hervorgerufenen EMK bestimmt sich (s. S. 10) zu:

$$E_{\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Nun ist (s. Teil I, S. 78, Gl. 27)

$$\Phi_{\text{max}} = \frac{4 \pi}{10} \mu \frac{J_{\text{max}} z q}{l}.$$

Da nun (s. Teil I, S. 78, Gl. 30)

$$\frac{10}{4 \pi} \cdot \frac{1}{\mu q} = R \text{ (Reluktanz)}$$

und (s. Teil I, S. 88)

$$\frac{z^2}{R} \cdot 10^{-8} = L \text{ (Selbstinduktionskoeffizient),}$$

so läßt sich schreiben:

$$\Phi_{\text{max}} = \frac{L}{z} \cdot J_{\text{max}} \cdot 10^8.$$

Es ist also:

$$(13) \quad \begin{aligned} E_{\text{mom}} &= 2 \pi N L J_{\text{max}} \sin 2 \pi N t \text{ Volt,} \\ E_{\text{max}} &= 2 \pi N L J_{\text{max}} \text{ Volt,} \end{aligned}$$

wobei  $L$  in Henry,  $J$  in Ampere einzusetzen ist.

$L$  ist konstant, wenn die Reluktanz konstant ist. Tatsächlich ist das nicht der Fall, wenn die Kraftlinien im Eisen verlaufen. Der Einfachheit halber wird jedoch bei Benutzung des obigen Ausdruckes für die Reluktanz wie für den Selbstinduktionskoeffizienten ein konstanter Mittelwert vorausgesetzt.

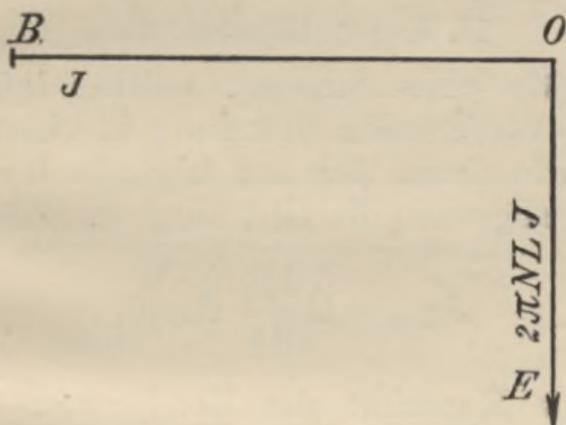


Fig. 38.

Aus Gleichung (13) ergibt sich

$$(14) \quad E_{\text{eff}} = 2 \pi N L J_{\text{eff}} \text{ Volt.}$$

Die rechte Seite dieser Gleichung kann in zwei Faktoren zerlegt werden. Der eine ist der Strom  $J_{\text{eff}}$  in Ampere, der andere ist  $2 \pi N L$  und wird induktive Reaktanz genannt. Der ganze Ausdruck ist ein Analogon zum Ohmschen Gesetz: an Stelle des Leitungswiderstandes tritt die Reaktanz. Sie wird wie der Widerstand in Ohm gemessen.

Zwischen  $E$  und  $J$  besteht jedoch eine Phasenverschiebung derart, daß die EMK, welche durch den Strom in dem mit Selbstinduktion behafteten Stromverbraucher, also z. B. einer Wicklung ohne Eisenkern, hervorgerufen wird, dem Strome um  $90^\circ$  nacheilt. Im Diagramm (Fig. 38) also ist  $OB$  der Stromvektor und  $OE$  der Vektor der von ihm hervorgerufenen EMK. Die Klemmenspannung muß deshalb eine Komponente besitzen, welche dieser EMK das Gleichgewicht hält, und somit dem Strome um  $90^\circ$  vorausläuft.

### 17. Kapazitätsreaktanz.

Die Größe eines Stromes, welcher infolge einer sinusförmig variierenden Spannung in einen Kondensator fließt, bestimmt sich auf folgende Weise:

Es gilt allgemein die Gleichung (s. Teil I, S. 110)

$$J_{\text{mom}} = C \frac{dE}{dt} \text{ Amp.},$$

wobei  $C$  die Kapazität des Kondensators in Farad bedeutet. Im Wechselstromkreise, dessen Frequenz  $N$  ist, geht diese Beziehung über in

$$J_{\text{mom}} = 2 \pi N C E_{\text{max}} \cos 2 \pi N t \text{ Amp.},$$

wenn die Wechselspannung dem Sinusgesetze folgt:

$$E_{\text{mom}} = E_{\text{max}} \sin 2 \pi N t.$$

Es ergibt sich dann

$$(15) \quad J_{\text{eff}} = 2 \pi N C E_{\text{eff}} \text{ Amp.}$$

Die Beziehung ist eine Parallele zum Ohmschen Gesetz in seiner zweiten Form. Der Faktor  $2 \pi N C$

tritt hier an Stelle der Leitfähigkeit (Konduktanz) und wird ebenfalls in Mho gemessen wie diese.

Um die Vorgänge mehr analog dem vorhergehenden Abschnitt zu betrachten, läßt sich auch so sagen: Fließt in einen Kondensator ein Wechselstrom  $J$ , so tritt in dem Kondensator eine EMK auf, welcher die von

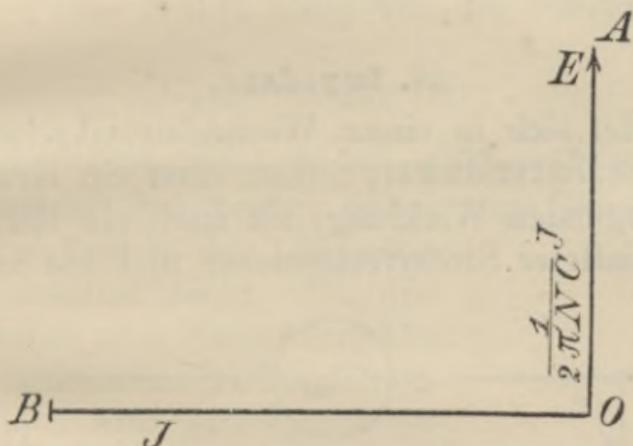


Fig. 39.

außen her auf ihn wirkende Spannung in jedem Moment das Gleichgewicht hält. Folgt der Strom dem Gesetze

$$J_{\text{mom}} = J_{\text{max}} \cos 2 \pi N t,$$

so die EMK des Kondensators dem andern

$$E_{\text{mom}} = - E_{\text{max}} \sin 2 \pi N t.$$

Die Beziehung dieser in dem Kondensator auftretenden EMK zum Strome  $J$  ist nach Gleichung (15)

$$E = \frac{1}{2 \pi N C} J.$$

Diese EMK läuft dem Strome  $J$  um  $90^\circ$  voraus, wie das Diagramm der Fig. 39 zeigt.

Die Komponente der Klemmenspannung, welche dieser EMK das Gleichgewicht hält, läuft also um  $90^\circ$  hinter dem Strome drein. Man nennt den Faktor

$\frac{1}{2\pi N C}$  die Kapazitätsreaktanz.

### 18. Impedanz.

Befindet sich in einem Wechselstromkreise sowohl ein mit Selbstinduktion (also einer ein Kraftlinienfeld erzeugenden Wicklung) als auch ein mit Kapazität behafteter Stromverbraucher und hat außerdem

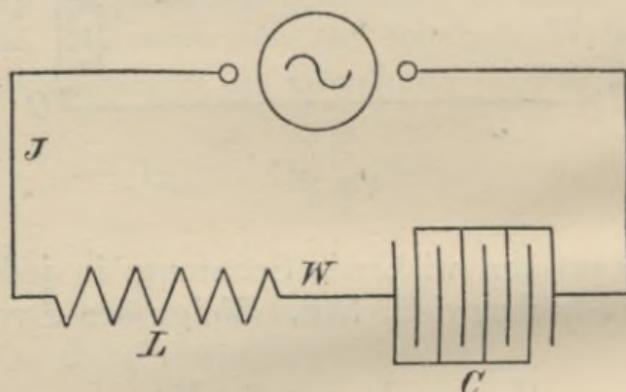


Fig. 40.

der ganze Kreis einen Ohmschen Widerstand  $W$ , so sieht das Schema des betreffenden Stromkreises aus wie Fig. 40.

Durch den ganzen Kreis fließt, da alle seine Teile hintereinandergeschaltet sind, derselbe Strom  $J$ . Das magnetische Feld von  $L$  erzeugt eine EMK, deren Maximalwert

$$E_{m \max} = 2\pi N L J_{\max},$$

die Kapazität hat eine EMK von der Größe

$$E_{c \max} = \frac{J_{\max}}{2 \pi N C}$$

zur Folge, und zur Überwindung des Ohmschen Widerstandes ist eine EMK nötig von der Stärke

$$E_{w \max} = J_{\max} \cdot W.$$

Die Wechselstrommaschine muß also eine Spannung liefern, welche den beiden ersten das Gleichgewicht hält und außerdem den Ohmschen Spannungsverlust deckt. Die drei Größen haben aber Phasenverschiebung gegeneinander. Die Zusammensetzung muß also geometrisch erfolgen wie im Diagramm Fig. 41.

$J$  sei der Stromvektor. Die zur Überwindung des Ohmschen Widerstandes nötige Spannung ist in gleicher Phase mit dem Strome und ist dargestellt durch  $JW$ . Dem Strome um  $90^\circ$  voraus eilt die zur Überwindung der EMK der Selbstinduktion  $2 \pi N L J_{\max}$  nötige Spannung  $E_m$ .  $90^\circ$  hinter dem Strome drein eilt die zur Überwindung der EMK des

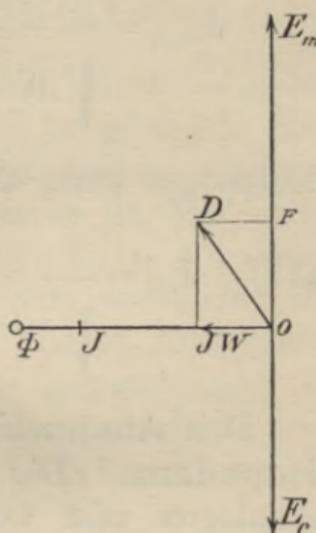


Fig. 41.

Kondensators  $\frac{J_{\max}}{2 \pi N C}$  nötige Spannung  $E_c$ . Die Resultante  $D$  aller dieser Spannungen ergibt sich, wenn man zunächst  $E_c$  auf  $E_m$  abträgt bis  $F$  und dann die Diagonale  $OD$  des Rechteckes zieht.

Entwickelt man die Größe von  $D$  analytisch, so ergibt sich

$$D^2 = J^2 W^2 + (E_m - E_c)^2,$$

oder wenn man die durch  $E_m$  und  $E_c$  repräsentierten Größen einsetzt

$$(16) \quad D_{\max} = J_{\max} \sqrt{W^2 + \left(2\pi N L - \frac{1}{2\pi N C}\right)^2} \text{ Volt.}$$

Kennt man die Spannung  $D$  des Stromerzeugers und will den Strom in einem Stromkreise mit  $W$ ,  $L$  und  $C$  wissen, so schreibt sich die Gleichung

$$J_{\max} = \frac{D_{\max}}{\sqrt{W^2 + \left(2\pi N L - \frac{1}{2\pi N C}\right)^2}} \text{ Amp.}$$

Ebensogut kann auch geschrieben werden

$$(17) \quad J_{\text{eff}} = \frac{D_{\text{eff}}}{\sqrt{W^2 + \left(2\pi N L - \frac{1}{2\pi N C}\right)^2}} \text{ Amp.}$$

Den Ausdruck unter der Wurzel nennt man die Impedanz. Die ganze Gleichung ist wieder ein Analogon zum Ohmschen Gesetze. An Stelle des Ohmschen Widerstandes tritt die Impedanz. Sie wird häufig scheinbarer Widerstand genannt.

Der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung ist  $\varphi$ . Analytisch bestimmt sich die Tangente dieses Winkels als:

$$(18) \quad \text{tg } \varphi = \frac{2\pi N L - \frac{1}{2\pi N C}}{W}.$$

Die in dem Kreise verzehrte Leistung ist

$$A_s = J_{\text{eff}} D_{\text{eff}} \cos \varphi \text{ Watt,}$$

in welcher Gleichung  $\cos \varphi$  ersetzt werden kann durch

$$\cos \varphi = \frac{W}{\sqrt{W^2 + \left(2 \pi N L - \frac{1}{2 \pi N C}\right)^2}}.$$

Fehlt, was häufig der Fall ist, in dem Stromkreise die Kapazität, dann reduziert sich die Impedanz auf den einfacheren Ausdruck:

$$(19) \quad \text{Impedanz} = \sqrt{W^2 + 4 \pi^2 N^2 L^2}.$$

Ist die EMK, welche von dem Kraftfelde des Stromverbrauchers herrührt, gerade so groß wie diejenige, welche von dem Kondensator erzeugt wird, so heben sich beide auf. Die Folge davon ist, daß trotz Selbstinduktion und Kapazität kein Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung vorhanden ist. Man hat auf diese Weise ein Mittel, durch Abstimmen von Selbstinduktion und Kapazität gegeneinander in einem Wechselstromkreis die Phasenverschiebung aufzuheben und damit den Leistungsfaktor 1 zu erzielen.

## II. Die Wechselstromgeneratoren.

### 19. Die verschiedenen Typen.

Wie die Gleichstromerzeuger bestehen auch die Wechselstromerzeuger (häufig Wechselstrommaschi-

nen schlechtweg, Wechselstromgeneratoren, Wechselstromdynamos, auch Alternatoren genannt) aus zwei Hauptbestandteilen: der Ankerwicklung, in welcher durch veränderliche Kraftlinienfelder eine EMK induziert wird, und der Magnetwicklung, welche von Gleichstrom durchflossen wird und die induzierenden Kraftlinien hervorrufft. Beide Wicklungen sind, wie bei der Gleichstrommaschine, auf Eisenkörper aufgebracht, so daß das nützliche Kraftlinienfeld zum größten Teile in Eisen sich befindet.

Man kann die Wechselstrommaschinen nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen.

Es gibt Wechselstromgeneratoren mit ruhendem Magnetgestell und rotierendem Anker und solche mit beweglichen Magneten und feststehendem Anker. Hierzu gesellt sich noch eine dritte Type, bei der sowohl der Anker als die Magnetwicklung feststeht und ein rotierender Eisenkörper für die nötige Kraftlinienänderung sorgt. Man nennt diese letztere die Induktortype.

Die beiden ersten Arten von Wechselstrommaschinen haben Schleifringe nötig: die eine, um den erzeugten Wechselstrom von dem rotierenden Anker abnehmen zu können; die andere, um der sich drehenden Magnetwicklung den Gleichstrom zuzuführen. Die Induktormaschinen dagegen, welche nur feststehende Wicklungen haben, brauchen keine Schleifringe.

Die Mehrphasenstromgeneratoren unterscheiden sich von den gewöhnlichen einphasigen Wechselstrommaschinen nur in der Anordnung der Wicklung auf dem Anker und eventuell der Zahl der Schleifringe.

Einen weiteren Einteilungsgrund bietet die Art und Weise, wie das Kraftlinienfeld sich ändert. Danach gibt es eine Wechseelpoltype, bei welcher die Ankerwicklung abwechselnd von entgegengesetzt gerichteten Feldern induziert wird, und eine Gleichpoltype, bei welcher das Feld stets dieselbe Richtung beibehält und nur in der Stärke variiert.

Dann kann man noch einteilen nach der Wicklung des Ankers, und Ringanker, Trommelanker, Scheibenanker und Zackenanker unterscheiden und dabei noch glatte, Nuten- und Lochanker mit Spulen- oder Stabwicklung aufzählen.

Endlich können die Polkerne mit der Magnetwicklung entweder innen oder außen oder seitlich am Polrad angeordnet sein.

Im folgenden sollen nur einige der am häufigsten vorkommenden, sowie einige historisch interessante Typen beschrieben werden.

Der Gleichstrom für die Magnetwicklung wird entweder von besonderen kleinen Gleichstromdynamomaschinen geliefert, die sehr häufig einfach auf einer Verlängerung der Welle der Wechselstrommaschine sitzen, oder von Akkumulatoren, oder (früher) auch dadurch, daß ein Teil des im Wechselstromgenerator erzeugten Wechselstromes mit Hilfe eines Kommutators in Gleichstrom verwandelt und den Magneten zugeführt wird.

## 20. Die Wechselstrommaschinen mit feststehendem Anker und Innenpolen.

### Die Ankerwicklung.

Viel mehr als rotierende werden feststehende Anker verwendet. Insbesondere findet man bei Hochspan-

nungsmaschinen der leichteren Isolation wegen fast ausschließlich ruhende Anker. Ein solcher feststehender Anker (Fig. 42) besteht aus papierisolierten Eisenblechen, welche aufeinander gelegt, durch Bolzen und

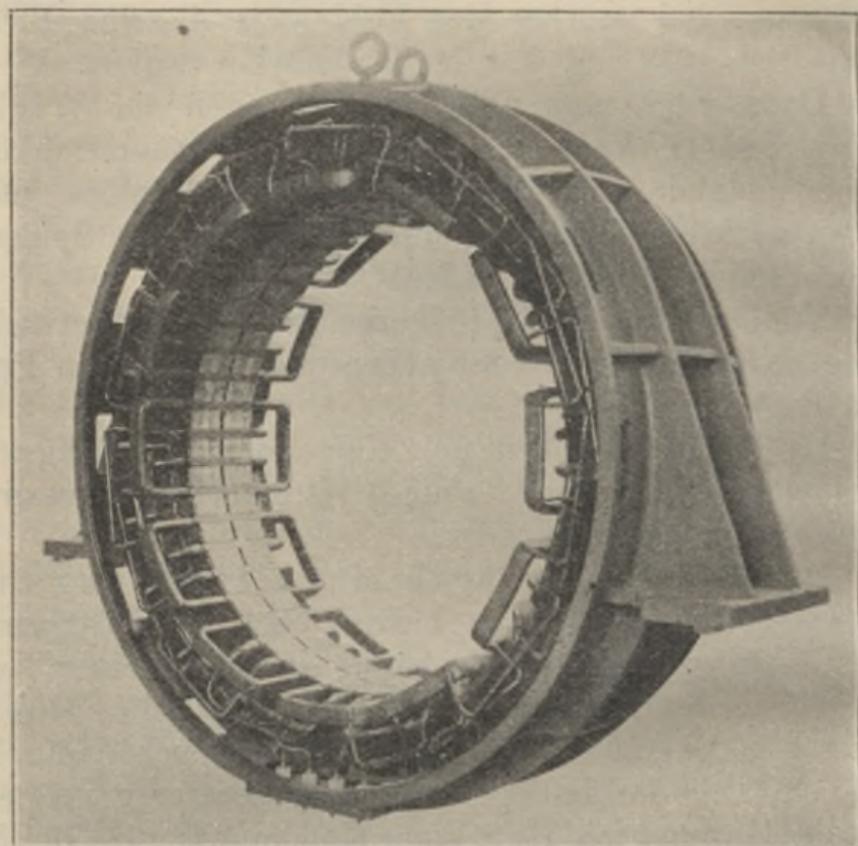


Fig. 42. Anker zu einem Generator für dreiphasigen Wechselstrom (Drehstromgenerator). [Maschinenfabrik Örlikon bei Zürich.]

Seitenplatten zusammengehalten und von einem gußeisernen, in neuerer Zeit auch genieteten Rahmen getragen werden. Auf dem inneren zylindrischen Mantel trägt der Anker Löcher oder Nuten, die durch Isolierrohre ausgekleidet sind und die Wicklung auf-

nehmen. Innerhalb dreht sich das Magnetrad mit seinen Magnetpolen. Ein Teil eines solchen Ankers samt den zugehörigen Magnetpolen ist in schematischer

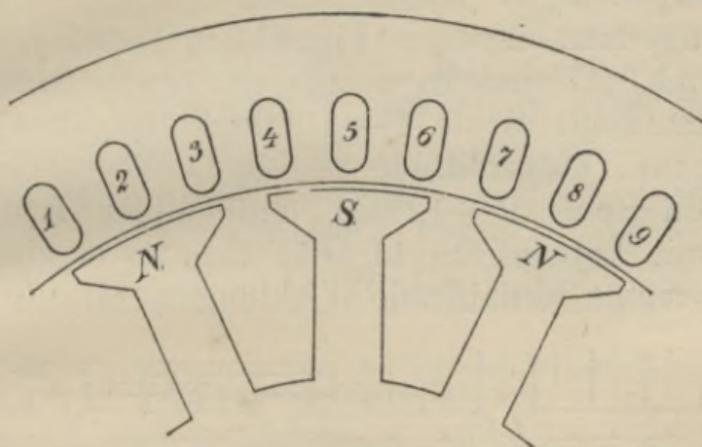


Fig. 43.

Weise durch Fig. 43 wiedergegeben. In eine gerade Linie ausgedehnt, ergibt sich das schematische Bild der Fig. 44 und 45. In diesen beiden Figuren sind die Magnetpole und die aus dem Anker nach dem Beschauer zu herausragenden, nach oben abgebogenen Spulenseiten dargestellt (vergl. Fig. 42).

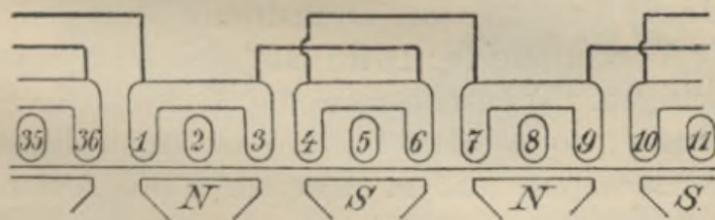


Fig. 44.

Bringt man (Fig. 44) in Nute 1 und 3, 4 und 6, 7 und 9 usw. je eine im selben Sinne gewickelte Spule unter und verbindet man das Ende der Spule I in Loch 3 mit dem Ende der Spule II in Loch 6,

Anfang von II in 4 mit Anfang von III in 7, so addieren sich alle von den Kraftlinien der Magnetpole in den Spulen induzierten EMKe. Die Maschine gibt einphasigen Wechselstrom.

Bringt man dagegen (Fig. 45) in 1 und 4, 3 und 6, 5 und 8, 7 und 10 usw. je eine Spule unter und verbindet Ende Spule 1—4 mit Anfang von Spule 7—10 usw., ebenso Ende von Spule 3—6 mit Anfang von Spule 9—12 usw. und endlich Ende von 5—8 mit Anfang von 11—14 usw., so ergeben sich drei getrennte fortlaufende Wicklungen. Die in ihnen

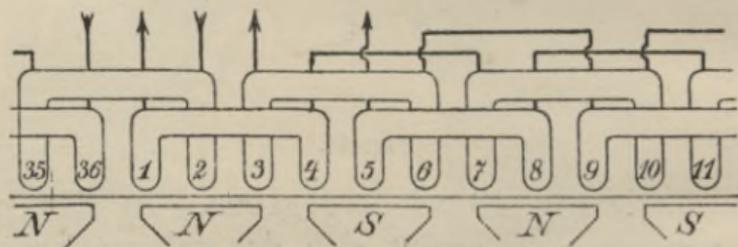


Fig. 45.

induzierten EMKe sind um  $120^\circ$  (um den dritten Teil einer Periode s. S. 15) gegeneinander versetzt, wie man sich leicht überzeugt. Die Maschine liefert also Dreiphasenstrom (Drehstrom).

Die Verkettung (S. 16 ff.) läßt sich sehr einfach bewerkstelligen. Wünscht man die Maschine in Sternschaltung, so werden einfach die einen Enden der drei Wicklungen, also in unserem Falle Anfang von 1—4, 3—6, 5—8 miteinander verbunden. Die drei anderen Enden werden an die Schleifringe geführt. Soll dagegen die Maschine in Dreieckschaltung sein, so hat man je das Ende der einen mit dem Anfang der nächsten Wicklung zu verbinden und die Verbindungspunkte zu den Schleifringen zu führen.

Die praktische Ausführung der Wicklung erfolgt so, daß die Drähte nacheinander durch die einen

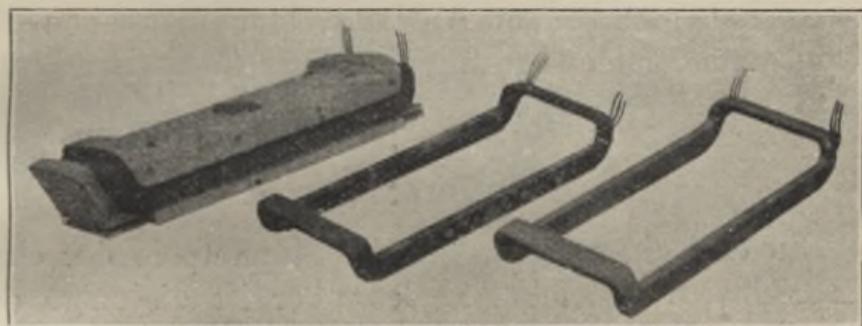


Fig. 46. Ankerspule in verschiedenen Fabrikationsstadien.  
(Maschinenfabrik Örlikon.)

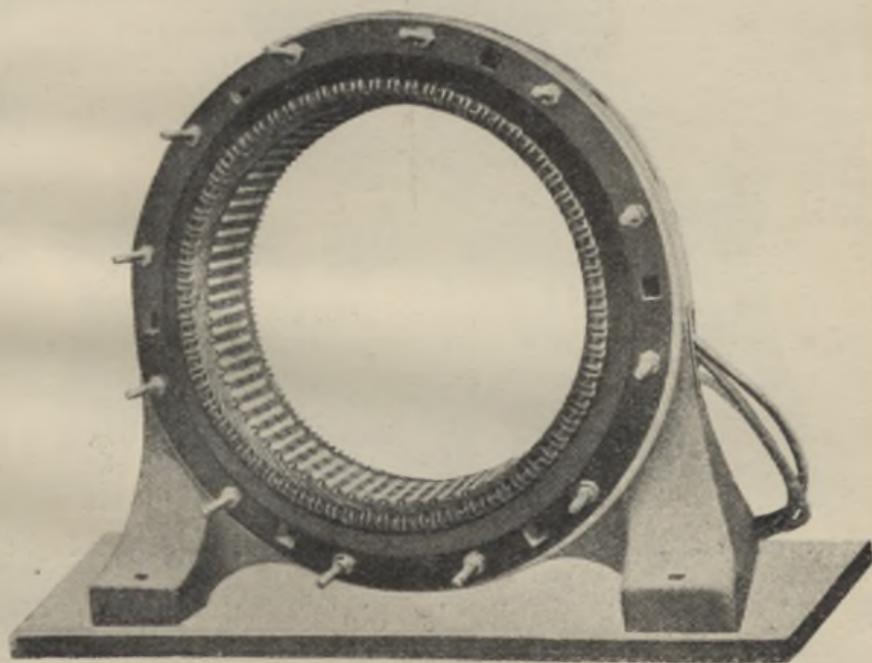


Fig. 47. Anker eines Drehstromgenerators der Union-E.-G. Berlin.

Löcher hindurchgezogen und über Schablonen nach den zugehörigen anderen Löchern herübergebogen werden. Angenehmer ist die Arbeit bei Nutenankern.

Man ist dabei in der Lage, eine Spule vorher auf der Schablone zu wickeln und als Ganzes in die entsprechenden Nuten einzusetzen (Fig. 46).

Es hat gar keinen Anstand, statt der oben beschriebenen Spulenwicklung eine einfache Stabwicklung anzuwenden (Fig. 47).

### Die Magnetformen.

Die einfachste Form für die Magnetpole der eben beschriebenen ruhenden Außenanker ist diejenige der

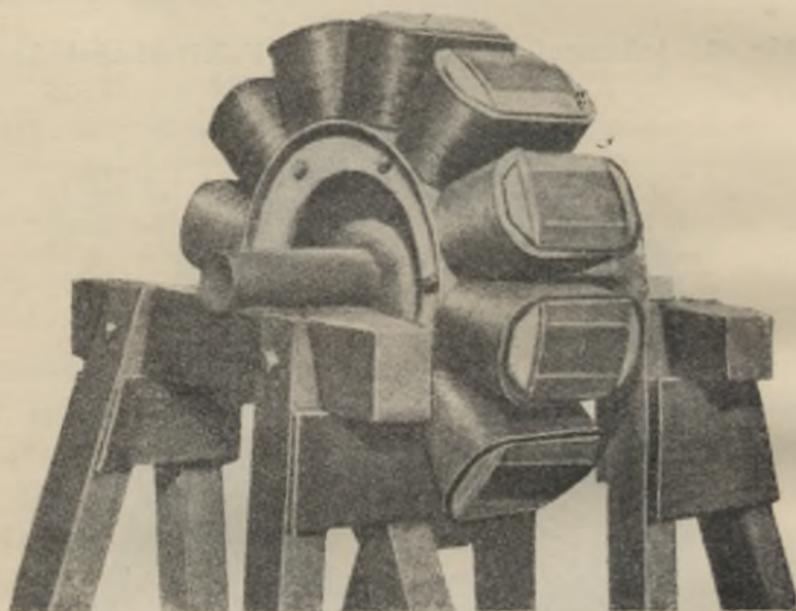


Fig. 48. Magnetrade der Union-E.-G. Berlin (zum Anker der Fig. 47).

Fig. 48. Auf die Welle ist ein Stahlgußkörper aufgesetzt, der mit Zähnen (Polkernen) versehen ist. Jeder dieser Zähne trägt eine Wicklung, die von Gleichstrom durchflossen wird. Dieser wird dem rotierenden Magnetrade über zwei Schleifringe zu- und abgeführt, und er durchfließt die Spulenwicklung so,

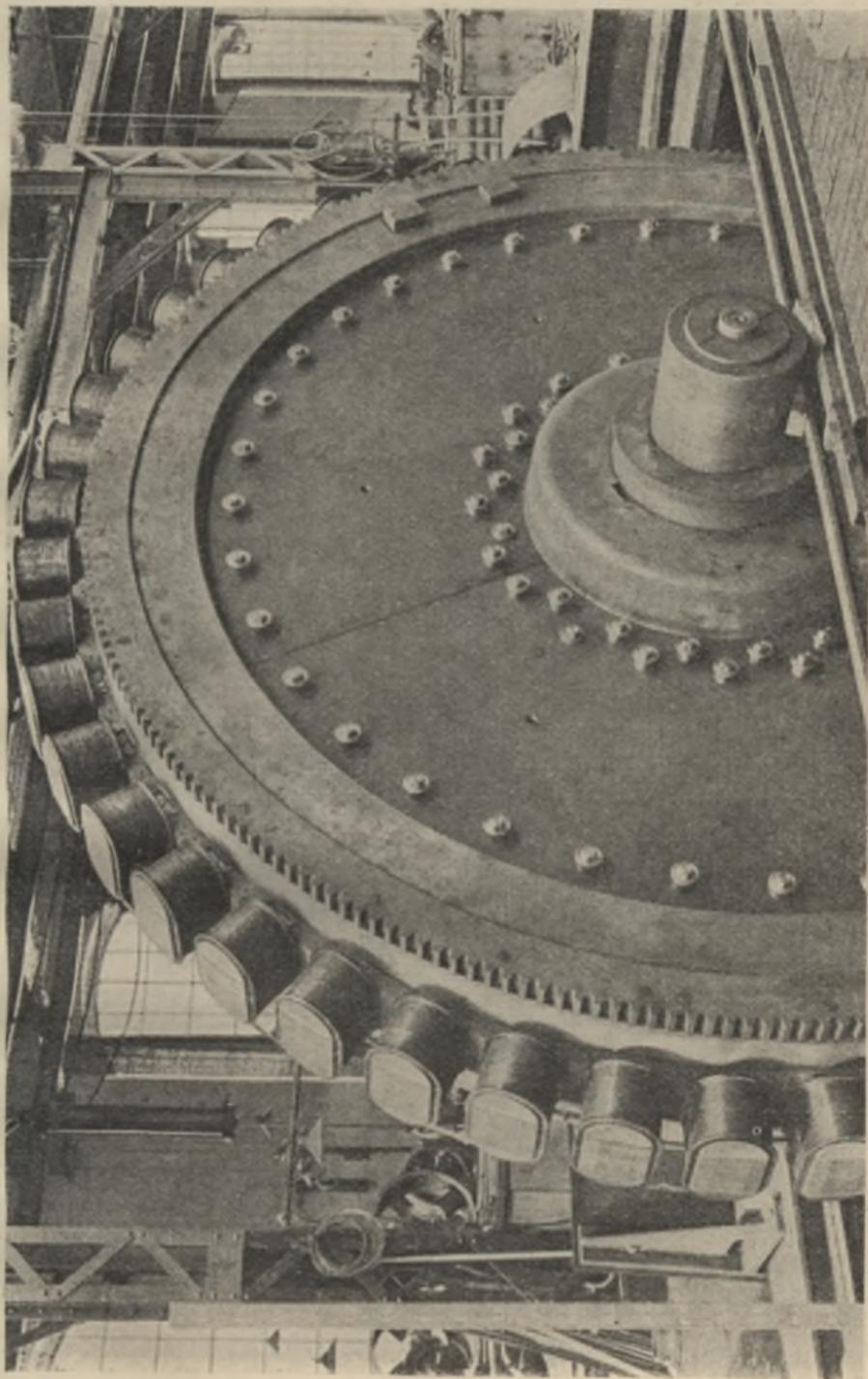


Fig. 49. Magnetrad zu einem Schwungradgenerator der Union-E.-G. Berlin.

daß die Polkerne abwechselnd einen Nord- und einen Südpol darstellen. Außen auf den Polkernen sitzt häufig noch ein Polschuh.

Bei großen Maschinen baut man solche Innenpolkränze zu einem Schwungrade aus. Fig. 49 zeigt ein

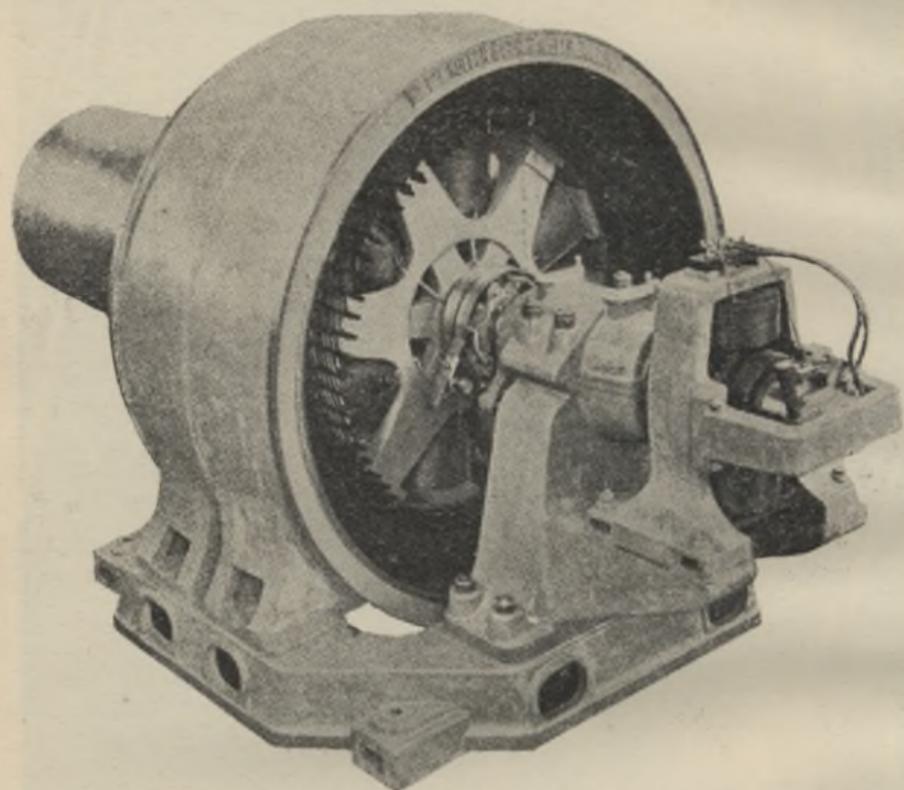


Fig. 50. Wechselstrommaschine der E.-A.-G., vorm. Kolben & Co., Prag-Vysocan.

solches Magnetrad, das zu einem Schwungradgenerator der Union-E.-G. gehört.

Es ist nun nicht nötig, alle einzelnen Polzähne mit einer Wicklung zu versehen. Es genügt, nur auf einen von je zwei aufeinanderfolgenden eine Spule aufzusetzen. Auch so entstehen abwechselnde Nord- und Südpole. Eine Ausführung dieser Art zeigt Fig. 50.

Diese Figur zeigt gleichzeitig eine kleine Gleichstrommaschine, welche auf der Hauptwelle sitzt und den Erregerstrom für die Magnetwicklung des Wechselstromgenerators liefert (s. S. 55).

## 21. Wechselstromgenerator mit seitlichen Polen.

Als Beispiel eines Wechselstromgenerators mit seitlich angeordneten Polen ist ein von Mordey angegebener Typus zu erwähnen. Das rotierende Magnet-system ist schematisch in Fig. 51 und 52 dargestellt.

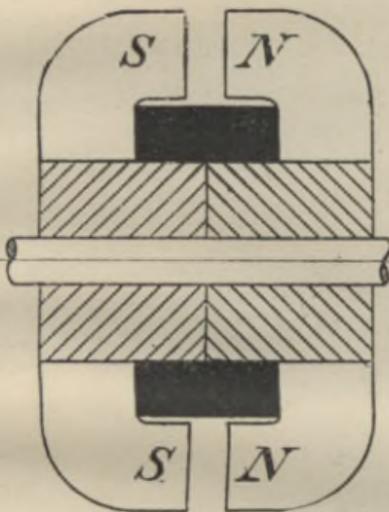


Fig. 51.

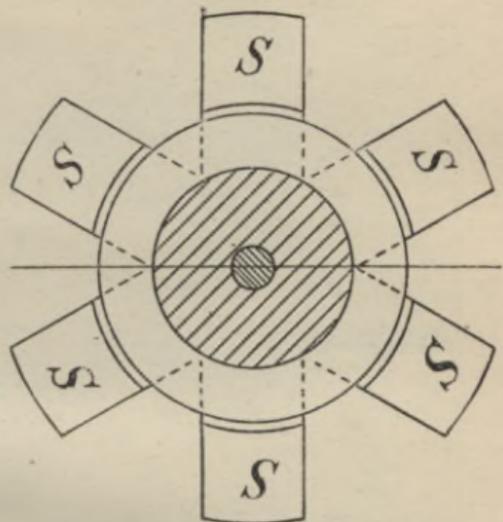


Fig. 52.

Sämtliche Magnetpole haben nur eine einzige gemeinsame Erregerwicklung, die um den inneren zylindrischen Teil des Eisenkörpers gewickelt ist. Infolgedessen treten auf der einen Seite lauter Nordpole, auf der anderen lauter Südpole auf, so daß überall je einem Nordpole ein Südpol gegenüber steht.

Die Ankerwicklung steht fest. Sie nimmt den Raum zwischen den beiden Polkränzen ein und besteht aus einzelnen Spulen, deren Achsen parallel

zur Hauptwelle der Maschine gehen. Eine solche Spule umfaßt, wenn sie gerade vor einem Süd- bzw. Nordpole steht, sämtliche vom Nord- zum Südpole herübergehenden Kraftlinien. Bei der Stellung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nord- bzw. Südpolen ist das umfaßte Kraftlinienfeld annähernd Null.

Man sieht, das Feld in den induzierten Spulen wechselt nur seine Stärke, nicht aber seine Richtung. Die Mordeymaschine gehört also zum Gleichpoltypus. Sie besitzt indessen nur noch historisches Interesse

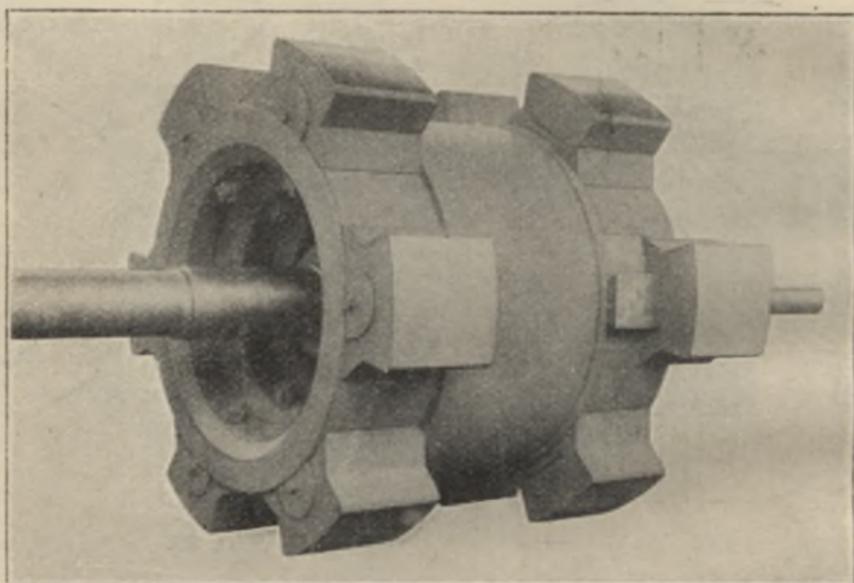


Fig. 53. Magnetrad eines Drehstromgenerators der Induktortype.  
(Maschinenfabrik Örlikon bei Zürich.)

## 22. Wechselstromgeneratoren mit feststehender Anker- und Magnetwicklung.

An den Mordeytypus erinnert die in Fig. 53 dargestellte Form der Magnete. Nur sind hier die Polhörner nicht nach einwärts gebogen, sondern sehen

radial nach außen. Die erregende Wicklung wird ähnlich wie in Fig. 51 untergebracht. Das Kraftlinienfeld geht also in dem zylindrischen Mittelteil des Magnet-

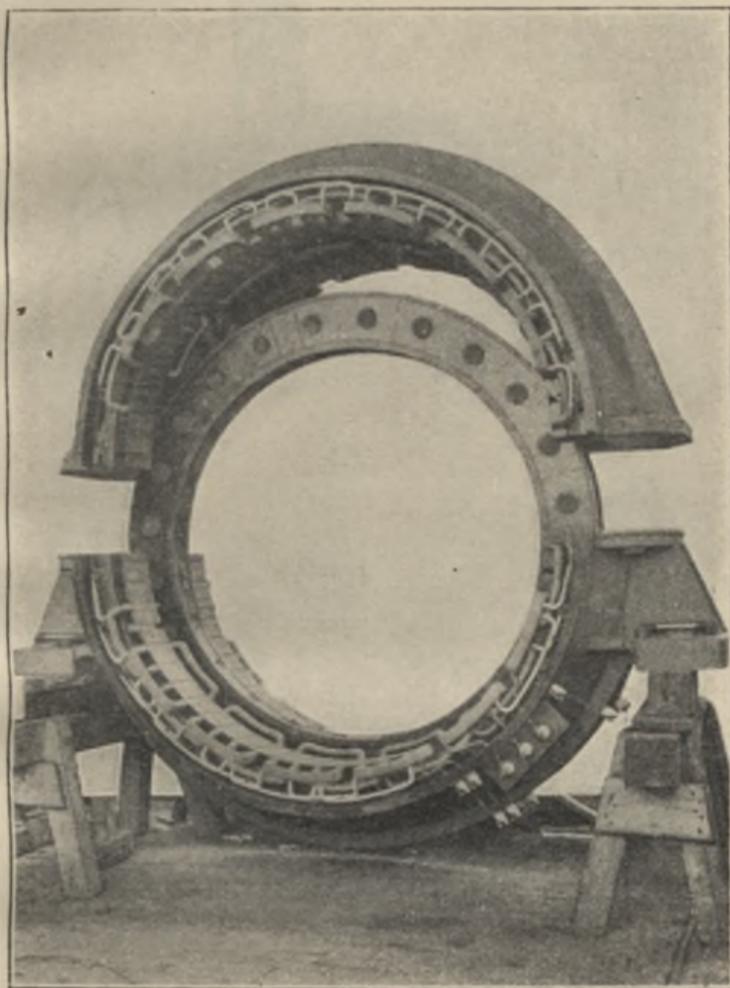


Fig. 54. Erregerspule und Anker eines Drehstromgenerators der Induktionstyp. (Maschinenfabrik Örlikon bei Zürich.)

körpers von rechts nach links, geht durch die Polhörner links zum feststehenden Anker und tritt rechts wieder aus der Armatur in die rechten Polhörner herüber.

Es sind also zwei Polkränze gleichnamiger Magnete vorhanden, und jedem Kranze entspricht eine be-

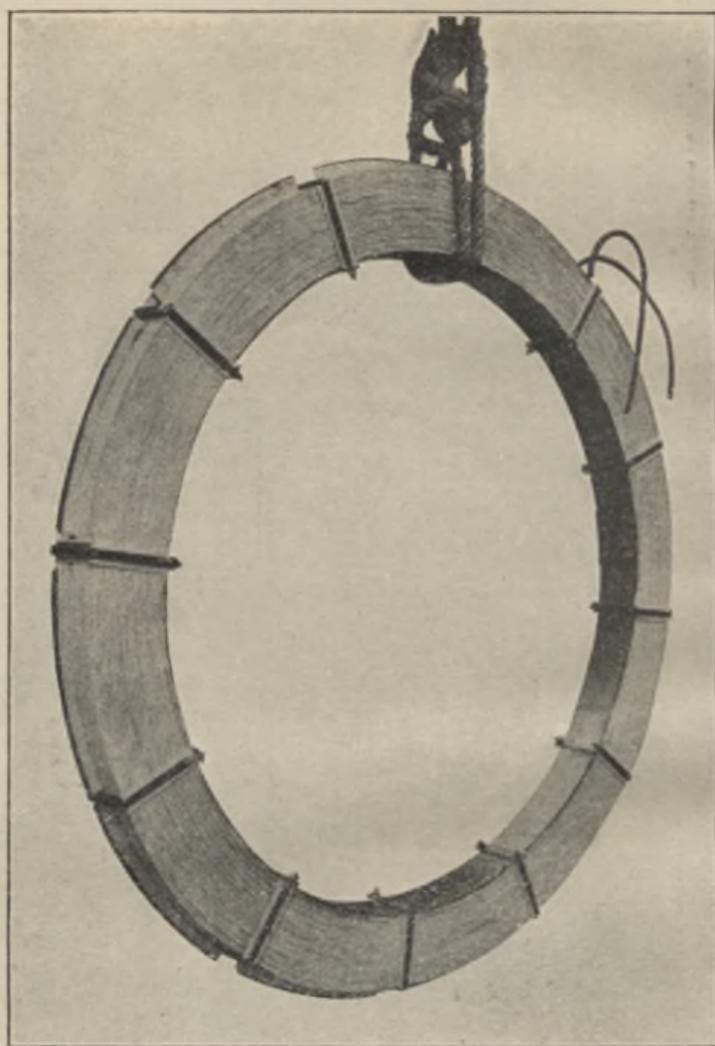


Fig. 55. Erregerspule eines Drehstromgenerators der Induktortype  
(Maschinenfabrik Örlikon bei Zürich.)

sondere Ankerwicklung. Jede ist ähnlich gewickelt, wie S. 56f. beschrieben (s. Fig. 54). Auch hier haben wir eine Maschine vom Gleichpoltypus vor uns.

Man sieht ohne weiteres, daß die Erregerwicklung sich gar nicht mit zu drehen braucht. Man bringt deshalb auch diese (Fig. 55) nicht auf dem Eisenkörper mit den Polhörnern an, sondern setzt sie in dem Anker fest. In dieser Stellung erzeugt sie die Kraftlinien in dem Magnetkörper ebenso, wie wenn sie mitrotieren würde. Wenn nur der Eisenkörper mit seinen zahnartigen Polschuhen sich dreht, so streicht das Kraftlinienfeld in der erforderlichen Weise durch die zu induzierende Ankerwicklung. Sobald aber die Gleichstromwicklung ruht, fallen die Schleifringe mit ihren Bürsten weg. Diese Maschine gehört also zum Induktortypus. Auch sie wird heute nur wenig mehr gebaut.

### 23. Wechselstromgeneratoren mit rotierendem Anker.

Wie aus Teil II hervorgeht, erzeugt jede Gleichstrommaschine im Grunde genommen eigentlich Wechselstrom. Jede Gleichstromwicklung kann also ohne weiteres in der Wechselstrommaschine Verwendung finden. Der Kommutator fällt dann fort und an seine Stelle treten Schleifringe. Diesen Maschinen kann Wechselstrom in ganz beliebiger Phasenzahl abgenommen werden. Auch hat es gar keine Schwierigkeit, gleichzeitig verschiedenphasigen Wechselstrom zu entnehmen und überdies noch Gleichstrom über einen Kommutator.

Derartige Maschinen mit feststehendem Magnetgestell und innen rotierendem Anker mit Gleichstromwicklung kommen indessen als reine Wechselstromerzeuger (s. Fig. 56) verhältnismäßig selten und nur für kleinere Typen vor. Eine größere Verbreitung

haben Maschinen dieser Bauart, welche dazu dienen, Gleichstrom in Wechselstrom oder Wechselstrom in Gleichstrom umzuwandeln, die sog. Umformer. Sie besitzen (Fig. 57) sowohl einen Kommutator als auch

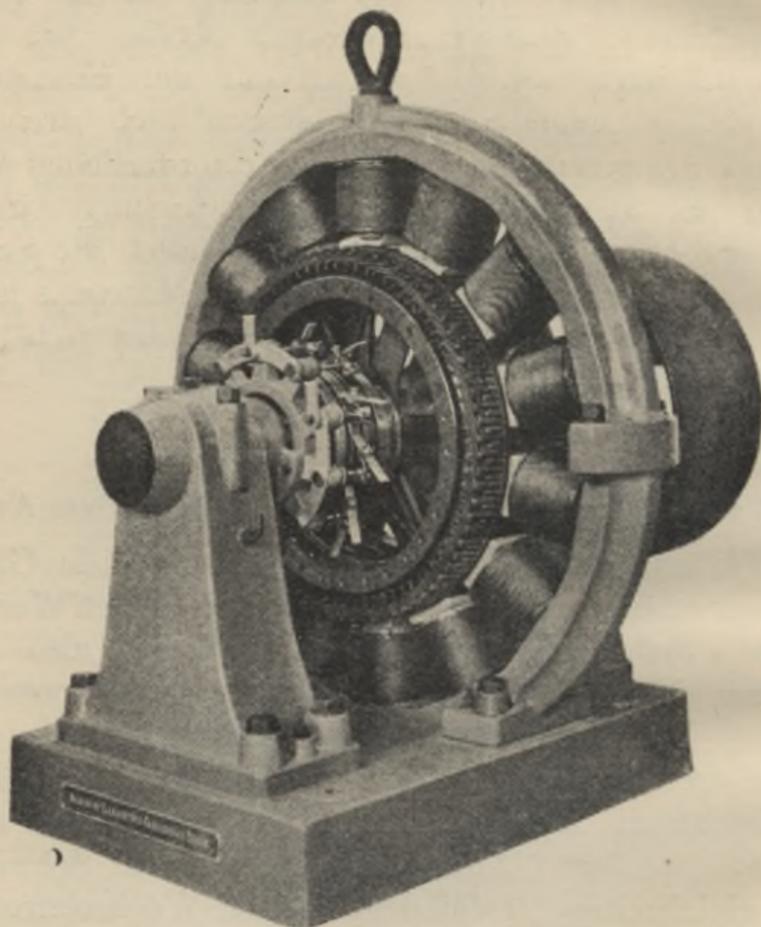


Fig. 56. Drehstromgenerator der Allg. Elektrizitäts-Ges. Berlin.

verschiedene Schleifringe. Dient eine solche Maschine als Gleichstrom-Wechselstromumformer, so wird ihm durch den Kommutator Gleichstrom zugeführt. Die Maschine setzt sich als Gleichstrommotor in Bewegung. Von bestimmten Punkten der Wicklung, die sich aus

der Phasenzahl des gewünschten Wechselstromes ergeben, führen Zuleitungen zu entsprechenden Schleifringen, und es kann nun an diesen Schleifringen Wechselstrom abgenommen werden.

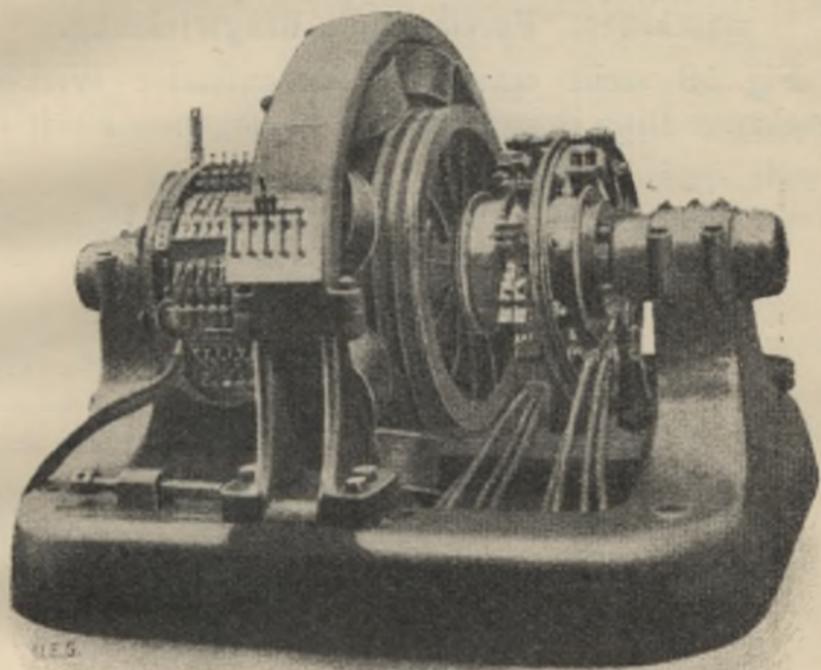


Fig. 57. Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer der Union-E.-G. Berlin.

Noch häufiger wird ein solcher Umformer benutzt, um Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln. Es wird ihm ein- oder mehrphasiger Wechselstrom zugeführt, so daß er als synchroner Wechselstrommotor (s. S. 127) läuft. Am Kommutator läßt sich dann Gleichstrom abnehmen.

Die Spannungen der zu- und abgeführten Ströme stehen in einem ganz bestimmten Verhältnis (s. S. 71 ff.).

Die Maschine kann also nicht gleichzeitig zur Spannungstransformation verwendet werden.

#### 24. Die elektromotorische Kraft von Wechselstrommaschinen. Fortlaufende Ringwicklung.

Fig. 58 stellt einen mit fortlaufender Wicklung versehenen Ring in zweipoligem, homogenem Felde dar.

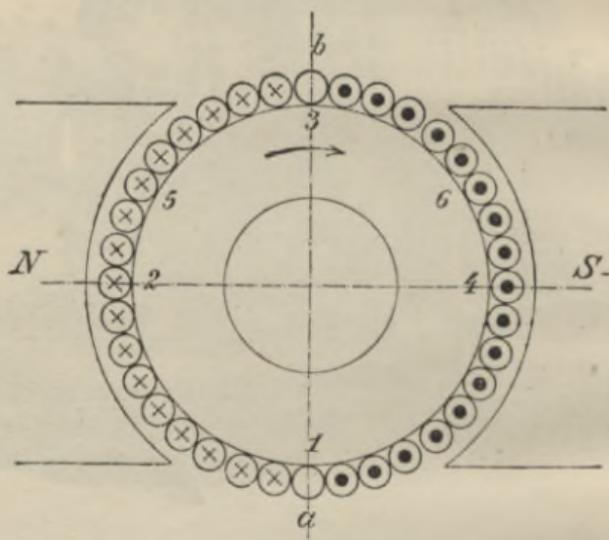


Fig. 58.

Der Einfachheit halber sind die Leiter am inneren Umfange des Ringes weggelassen. Zwischen den beiden, in der neutralen Zone befindlichen Leitern a und b herrscht dieselbe Spannung, welche an den Bürsten einer Gleichstrommaschine vorhanden ist (s. Teil II, S. 14):

$$E_{\max} = E_{gl} = 2 \Phi \cdot N_s \cdot z \cdot 10^{-8} \text{ Volt,}$$

wenn  $N_s$  die sekundliche Umdrehungszahl,  $z$  die Zahl der Windungen auf dem Ringe und  $\Phi$  das von einer

Windung umfaßte,  $2\Phi$  das von dem Pole austretende Feld bedeutet. Dabei sind die beiden Ankerhälften parallel geschaltet.

Befinden sich die Leiter a und b an Punkt 2 und 4, so herrscht zwischen beiden die Spannung Null. Denn es heben sich die EMKe der hintereinandergeschalteten Drähte, von 2 sowohl über 1 als über 3 nach 4, auf. Bei weiterer Drehung des Ankers wächst die Spannung zwischen beiden Leitern wieder, aber in entgegengesetzter Richtung. Die Spannung zwischen ihnen variiert etwa nach einem Sinusgesetz. Verbindet man a mit einem, b mit einem anderen Schleifringe, so liefert die Maschine über zwei Bürsten einphasigen Wechselstrom mit einer Spannung, deren Maximalwert gleich der konstanten Gleichstromspannung  $E_{gl}$  desselben Ankers ist, deren Effektivwert also (s. S. 36 f.)

$$E_{\text{eff}} = \frac{\sqrt{2}}{2} E_{gl} = \sqrt{2} \Phi N_s z 10^{-8} \text{ Volt,}$$

wenn man voraussetzt, daß die EMK nach einem Sinusgesetze sich ändert.

Ebensogut kann jedoch auch mehrphasiger Wechselstrom aus dem Anker erhalten werden. Verbindet man wie vorher zwei diametral gegenüberliegende Leiter 1 und 3 und außerdem zwei auf einem dazu senkrechten Durchmesser liegende Leiter 2 und 4 je mit einem Schleifringe, so hat man zwischen jedem Paar Schleifringe eine sinusförmige Wechselspannung. Sie sind jedoch gegeneinander in der Phase verschoben. Es läuft die Spannung zwischen 2 und 4 der anderen zwischen 1 und 3 um  $90^\circ$  voraus. Man erhält also zweiphasigen Wechselstrom (s. S. 15).

Die effektive Spannung jeder Phase ist gegeben, da die Amplitude der Sinuslinie bekannt ist (s. S. 70), und beträgt, wie beim einphasigen Strome,

$$E_{\text{eff}} = \sqrt{2} N_s z \Phi 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Demselben Anker mit denselben vier Schleifringen kann auch Vierphasenstrom abgenommen werden. Die Spannungen von 1 und 2, 2 und 3, 3 und 4, 4 und 1 laufen je um  $90^\circ$  hintereinander drein. Die Amplitude ihrer Sinuslinie ist

$$E_{\text{max}} = \sqrt{2} N_s z \Phi 10^{-8} \text{ Volt,}$$

somit die effektive Spannung

$$E_{\text{eff}} = N_s z \Phi 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Das Stromdiagramm dieses Vierphasenstromes zeigt Fig. 59 und die schematische Schaltung Fig. 60.

Dreiphasenstrom bekommt man von dieser Wicklung, wenn man drei je um  $120^\circ$  voneinander abliegende Punkte, 1, 5, 6, je mit einem Schleifringe verbindet. Die Spannungen sind dann je um  $120^\circ$  gegeneinander phasenverschoben. Die Schaltung des Ankers ist Dreieckschaltung. Der Effektivwert der Spannung zwischen zwei Schleifringen beträgt

$$\begin{aligned} E_{\text{eff}} &= \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E_{\text{gl}}, \\ &= \sqrt{\frac{3}{2}} N_s z \Phi 10^{-8} \text{ Volt.} \end{aligned}$$

Es hat gar keinen Anstand, einer solchen Maschine sowohl zwei-, als drei-, als vierphasigen Wechsel-

strom und gleichzeitig an einem Kommutator Gleichstrom zu entnehmen (s. S. 69).

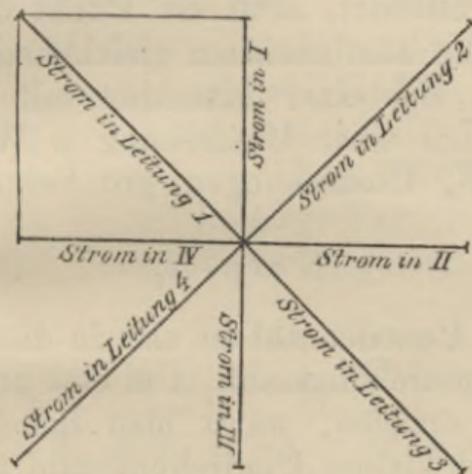


Fig. 59.

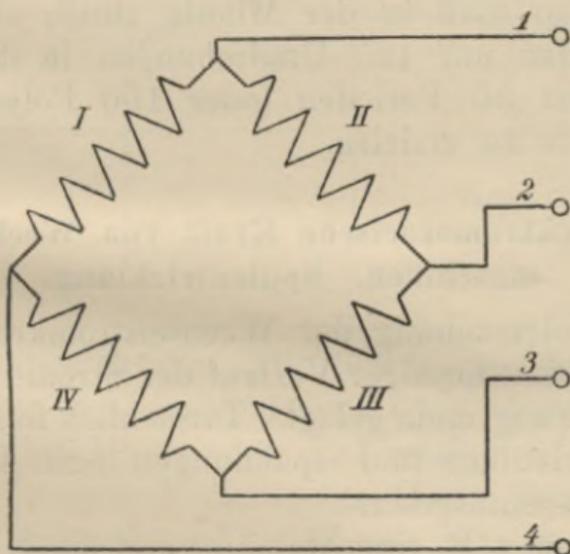


Fig. 60.

Was die Frequenz  $N$  solcher Wechselstrommaschinen betrifft, so ist dieselbe bei einer zweipoligen natürlich identisch mit der Umdrehungszahl pro Se-

kunde. Bei mehrpoligen Maschinen ist die Frequenz ein Mehrfaches der Tourenzahl. Eine Periode oder eine Welle wird vollendet, sooft ein Punkt der Wicklung von einem Pole zum nächsten gleichnamigen Pole gewandert ist. Bei einer Maschine mit  $p$  Polpaaren werden also bei einer Umdrehung  $p$  Wellen durchlaufen, bei  $N_s$  Umdrehungen pro Sekunde dementsprechend

$$N = p \cdot N_s$$

Wellen. Die Periodenzahl ist also in diesem Falle das  $p$  fache der Umdrehungszahl. Um eine hohe Frequenz, z. B. 50 zu erzielen, wählt man lieber mehrpolige Maschinen mit kleiner Umdrehungszahl als zweipolige mit der Tourenzahl 3000 pro Minute. Eine Maschine mit 6 Polen muß in der Minute 1000, eine solche mit 48 Polen nur 125 Umdrehungen in der Minute machen, um 50 Perioden (oder 100 Polwechsel) in der Sekunde zu erzielen.

## 25. Die elektromotorische Kraft von Wechselstrommaschinen. Spulenwicklung.

Der Untersuchung der Wechselstromkreise wurde immer ein sinusförmiger Verlauf der Strom- und Spannungskurve zugrunde gelegt. Tatsächlich folgen jedoch die Wechselströme und -spannungen meist keineswegs dem reinen Sinusgesetze.

Hat man z. B. eine Maschine mit einer Wicklung, wie sie schematisch in Fig. 61 angedeutet ist. Nordpole und Südpole wechseln miteinander ab. Der Abstand zweier benachbarter Polspitzen ist gleich der Polbreite. Eine Spule der Wicklung ist gerade so breit wie ein Polschuh. In der Figur ist eine Spule

in fünf verschiedenen nacheinander eintretenden Stellungen, bezeichnet mit I, II, III, IV und V, angegeben.

In Stellung I findet keine Induktion statt. Erfolgt die Relativbewegung der Windung, bezogen auf die Magnetpole, von links nach rechts, so wird gleich darauf (Stellung II) nur die linke Windungshälfte induziert und zwar — gleichmäßige Verteilung der Kraftlinien über den Polschuh vorausgesetzt — sofort in

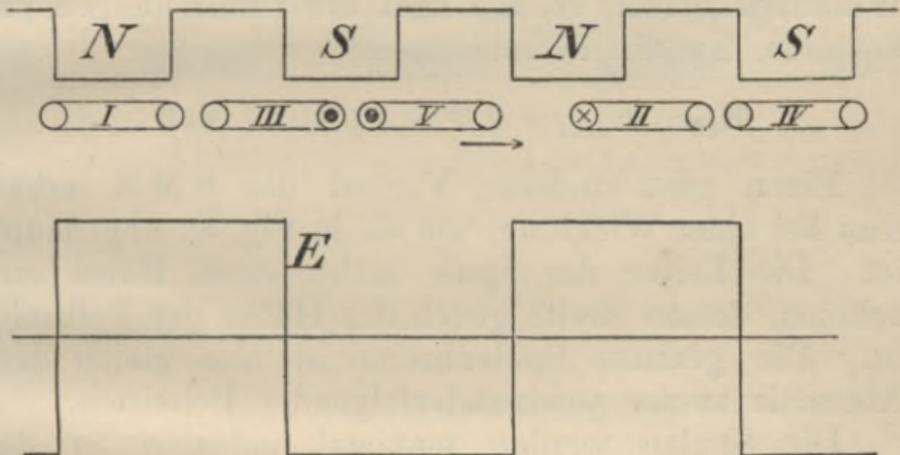


Fig. 61.

der maximalen Stärke. Die EMK erreicht von Null an sofort ihr Maximum. Dieser Wert bleibt bestehen, bis die linke Hälfte den Pol verläßt. Im selben Moment tritt jedoch die rechte Hälfte der Windung unter den Südpol und wird von ihm in entgegengesetztem Sinne induziert (Stellung III). Die EMK der Windung behält also ihre Größe und ihre Richtung bei.

Steht die ganze Windung unter dem Südpole (Stellung IV), so wird die EMK Null. Nachher

(Stellung V) unterliegt die linke Seite dem Einfluß des Südpoles. Infolgedessen kehrt sich die EMK der Windung um, erreicht aber momentan ihren Höchstwert und behält diesen bei, bis wieder Stellung I erreicht ist.

Die Kurve dieser EMK ist in Fig. 61 wiedergegeben. Ihr Effektivwert ist gleich ihrem Maximalwert. Wenn  $\Phi$  die Zahl der von einer Windung im Maximum umfaßten Kraftlinien ist,  $z$  die Zahl der hintereinandergeschalteten, gleichsinnig induzierten Windungsseiten,  $N_s$  die Zahl der Umdrehungen pro Sekunde,  $2p$  die Polzahl, so ist

$$E_{\text{eff}} = E_{\text{max}} = 2 \Phi N_s z p 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Einen ganz anderen Verlauf der EMK erhält man bei einer Wicklung, wie sie in Fig. 62 angedeutet ist. Die Leiter der Spule sollen einen Raum einnehmen, dessen Breite gleich der Hälfte der Polbreite ist. Die gesamte Spulenbreite ist also gleich dem Abstände zweier aufeinanderfolgender Polmitten.

Die Spulen werden maximal induziert in der Stellung I. Hier beträgt die Induktion

$$E_{\text{max}} = 4 \Phi N_s z p 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Gleich nachher wird jedoch ein Teil der Drähte nicht mehr induziert und die Zahl derselben nimmt stetig ab, bis in der Stellung II kein Draht mehr induziert wird, also  $E$  zu Null geworden ist. Nachher steigt die EMK wieder stetig an, jedoch in entgegengesetzter Richtung, bis das negative Maximum erreicht ist. Die Kurve der EMK ist in Fig. 62 wiedergegeben.

Um den Effektivwert dieser EMK zu finden, muß die Wurzel aus dem mittleren Spannungsquadrat ge-

sucht werden, d. h.: wenn eine beliebige momentane EMK mit  $e_x$  bezeichnet wird, so muß die Summe aller  $e_x^2$  gebildet, daraus das Mittel genommen und aus diesem die Wurzel gezogen werden. Solcher  $e_x$

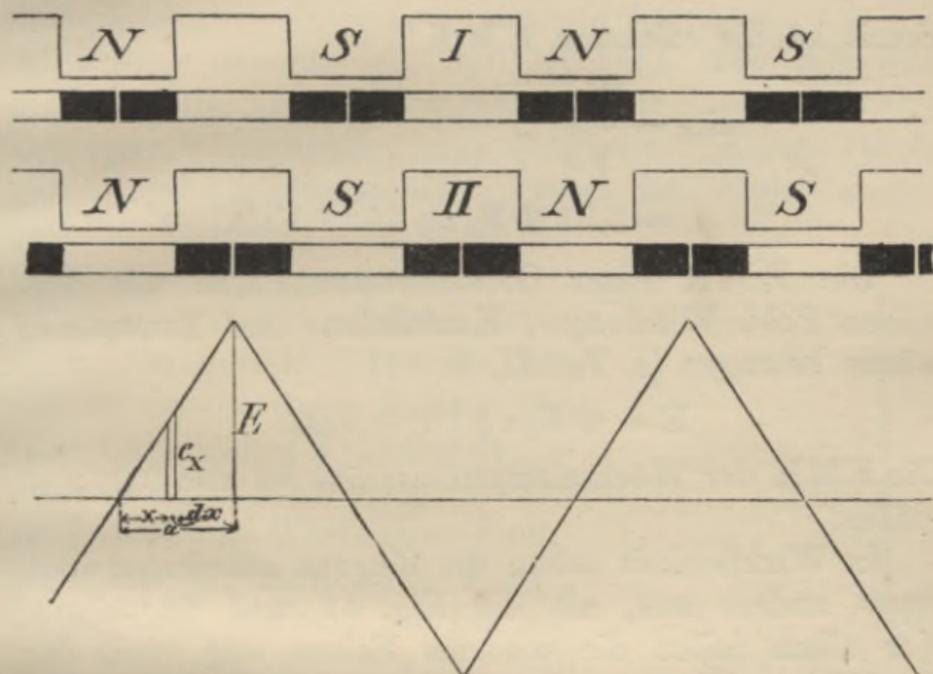


Fig. 62.

gibt es so viele, als  $dx$  in  $a$  enthalten ist. Das mittlere Spannungsquadrat ist also

$$\frac{1}{a} \int_0^a e_x^2 dx.$$

Da die maximale EMK bekannt ist, so kann statt  $e_x$  geschrieben werden

$$e_x = \frac{x}{a} E_{\max}.$$

Es ist also der obige Ausdruck zu ersetzen durch

$$\frac{1}{a} \int_0^a \frac{x^2}{a^2} E_{\max}^2 dx = \frac{E_{\max}^2}{3}.$$

Somit ist die effektive EMK

$$E_{\text{eff}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{3}},$$

$$= 2,31 \Phi N_s z p 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Die EMK einer Gleichstrommaschine mit derselben Pol-, Windungs-, Kraftlinien- und Tourenzahl würde betragen (s. Teil II, S. 35)

$$E = \Phi N_s z p 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Die EMK der Wechselstrommaschine ist also 2,31 mal größer.

In Wirklichkeit sehen die Kurven allerdings noch etwas anders aus, als die Fig. 61 und 62 zeigen. Vor allem fallen die scharfen Ecken weg, weil das Kraftlinienfeld unter dem Polschuh nicht vollständig homogen ist und auch an den Polecken nicht plötzlich, sondern allmählich aufhört.

Weiter übt das Feld des Ankers, sobald bei belasteter Maschine durch seine Wicklung Strom fließt, eine Wirkung aus, durch welche der Verlauf der EMK im Anker noch erheblich modifiziert wird.

## 26. Klemmenspannung der Wechselstrommaschine. Ankerrückwirkung.

Ebenso wie bei der Gleichstrommaschine (s. Teil II, S. 63f.) ist auch beim Wechselstromgenerator die Klem-

menspannung der belasteten Maschine verschieden von der EMK des Leerlaufes, wenn der Erregerstrom in beiden Fällen gleich ist.

Auch hier tritt einmal der Ohmsche Spannungsabfall in der stromdurchflossenen Ankerwicklung auf und drückt die Klemmenspannung herunter.

Ferner macht sich der Einfluß des Ankerstromes, die Ankerrückwirkung, geltend. Die dadurch bedingten Verhältnisse lassen sich am einfachsten durch ein Diagramm klarstellen. Dabei ist wieder sinusförmige Änderung aller variablen Größen voraus gesetzt.

Das mit dem Polrad rotierende Erregerfeld läßt sich darstellen durch einen Vektor  $\Phi_m$  (Fig. 63). Dieses Feld  $\Phi_m$  durchläuft ja für die induzierte Wicklung sämtliche Werte einer Sinuslinie mit der Amplitude  $\Phi_{m \max}$  in der Zeit, während welcher vor der Wicklung ein Nordpol und ein darauf folgender Südpol vorbeistreicht. Es ist dies die Zeit einer Periode  $T$ . In derselben Zeit  $T$  soll also der Vektor  $\Phi_m$  eine volle Umdrehung machen (s. S. 20 ff.).

Dieses Feld induziert bei stromlosem Anker in der Ankerwicklung eine EMK  $E$ , deren Vektor senkrecht dazu gerichtet ist und um  $90^\circ$  hinterdreinläuft (s. S. 22 f.).

Bei stromlosem Anker rührt dieses induzierende Feld einzig und allein von den Amperewindungen des Erregerstromes her und ist diesem proportional. Diese  $AW_m$  sind dargestellt durch den Vektor  $J_m z_m$ .

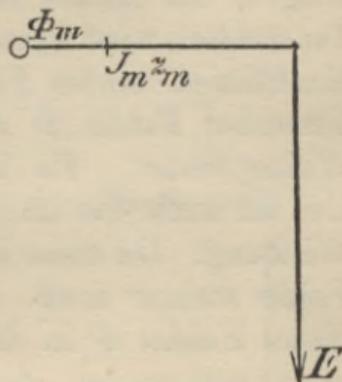


Fig. 63.

Wird die Maschine belastet und fließt durch die Ankerwicklung ein Wechselstrom  $J_a$ , so würde dieser, wenn man sich den Erregerstrom als nicht vorhanden annimmt, für sich ein Feld im Anker erzeugen. Da aber gleichzeitig die Erreger-AW wirken, so wird ein resultierendes Feld zustande kommen, dessen Entstehung man sich auf zweierlei Weise klarmachen kann.

Einmal durch das Felddiagramm (Fig. 64). Die Erreger-AW würden für sich allein das Feld  $\Phi_m$  erzeugen, die Anker-AW für sich allein das Feld  $\Phi_a$ . Tatsächlich wird keines von beiden erzeugt, sondern die Kraftlinien beider Felder setzen sich zu einem resultierenden Felde  $\Phi$  zusammen, das man in folgender Weise findet. Es ist nur dieses letzere vorhanden, also ist auch die im Anker induzierte EMK nur seine Wirkung. Da diese aber senkrecht zu dem erzeugenden Felde stehen muß, so weiß man, daß die Richtung dieses Feldes  $\Phi$  in die von OA fällt. Für die Fig. 64 ist angenommen, daß die Wechselstrommaschine induktionslos belastet ist, d. h. daß der Strom  $J_a$  mit der Klemmenspannung D, also auch mit E in Phase ist (s. S. 9). Außerdem ist vorausgesetzt, daß das fiktive Feld  $\Phi_a$  proportional und in Phase mit  $J_a$ , also nach Größe und Richtung bekannt ist.

Weiter soll die Größe des von den Magnet-AW herrührenden Feldes  $\Phi_m$  bekannt sein. Man beschreibe also um  $\Phi_a$  einen Kreisbogen, welcher OA in  $\Phi$  schneidet, und ergänze das Parallelogramm. Dann ist  $\Phi$  das wirklich vorhandene resultierende Feld,  $\Phi_a$  und  $\Phi_m$  seine beiden Komponenten.

Statt dieses Felddiagramms kann auch das Amperewindungsdiagramm (Fig. 65) entworfen werden.

Es wirken zweierlei AW:  $J_m z_m$  und  $J_a z_a$ . Beide setzen sich zu resultierenden AW  $J z$  zusammen. Diese haben dann ein Feld  $\Phi$  zur Folge, das in der Ankerwicklung die EMK  $E$  hervorruft.

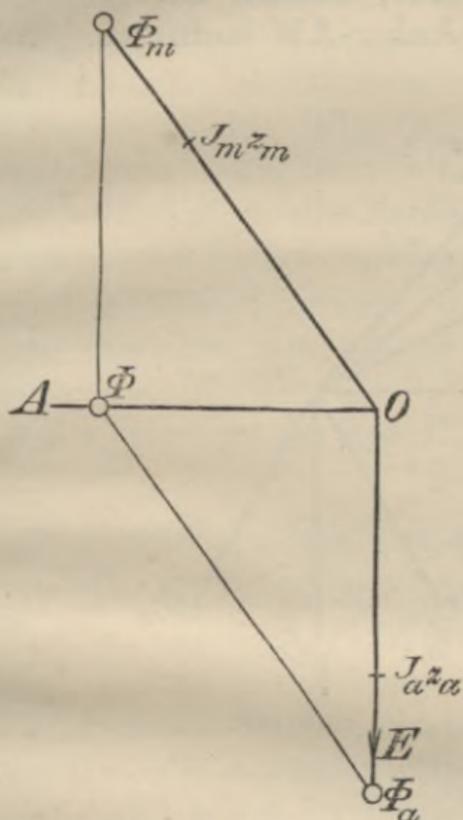


Fig. 64.

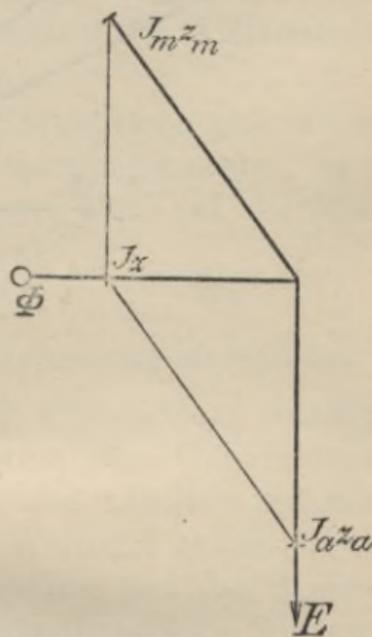


Fig. 65.

Beide Diagramme kommen auf dasselbe heraus, wenn man nur die Felder proportional zu den bezüglichen AW setzt (vergl. S. 23 unten).

Aus dem Diagramm sieht man nun ohne weiteres, was geschehen muß, um bei belasteter Maschine die Klemmenspannung konstant zu halten. Wir setzen voraus, daß der Ankerwiderstand, also auch der Ohm-

sche Spannungsabfall im Anker vernachlässigbar gering ist und daß deshalb die Klemmenspannung identisch mit der EMK ist. Soll diese konstant bleiben, so muß auch das sie erzeugende Feld  $\Phi$  (Fig. 66) konstant sein. Dazu müssen die Erreger-AW, also der Erregerstrom verändert werden, sobald Anker-AW auftreten. Bei

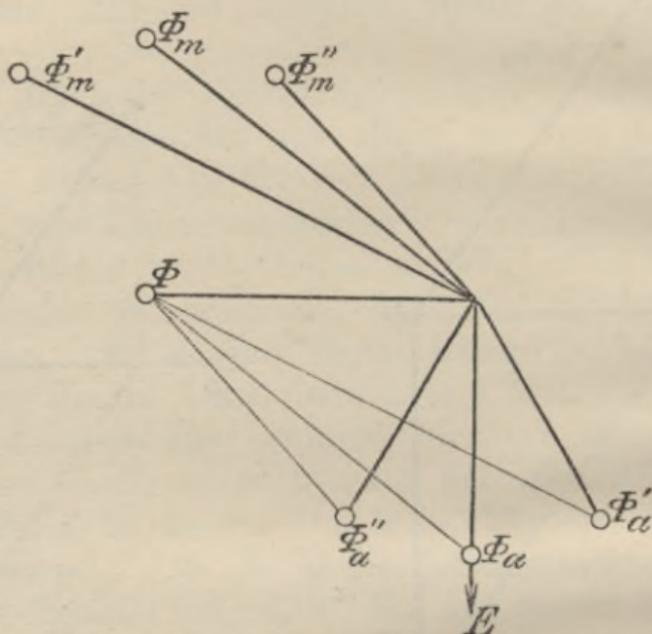


Fig. 66.

stromlosem Anker müssen die Erreger-AW das Feld  $\Phi$  liefern. Bei induktionsloser Belastung, wenn also der Strom in Phase ist mit  $E$ , muß der Erregerstrom gesteigert werden (siehe  $\Phi_a$  und  $\Phi_m$ ). Noch größer ist die Steigerung bei induktiver Belastung, wenn der — gleichgroße — Strom der Spannung nacheilt (siehe  $\Phi'_a$  und  $\Phi'_m$ ). Es kann aber auch der Fall eintreten, daß man  $J_m z_m$  verkleinern muß, um die Klemmenspannung konstant zu halten, dann nämlich, wenn

derselbe Ankerstrom der Klemmenspannung voraus-eilt (siehe  $\Phi_a''$  und  $\Phi_m''$ ).

Es muß also der Erregerstrom reguliert werden. Dies geschieht am einfachsten durch Ein- bzw. Ausschalten von Widerstand im Stromkreise der Magnetwicklung (vergl. Nebenschlußregulator bei Gleichstrommaschinen). Besitzt der Alternator eine besondere Erregermaschine (Fig. 50), so kann auch deren Erregerstrom verändert und auf diese Weise der von ihrem Anker in die Erregerwicklung des Alternators abgegebene Strom reguliert werden.

Die Energieverluste des Wechselstromgenerators sind derselben Art wie im Gleichstromgenerator, und auch der Wirkungsgrad bestimmt sich auf dieselbe Weise wie dort (s. Teil II, S. 53).

## 27. Parallelschalten von Wechselstromgeneratoren.

Ebenso wie in Zentralen mit Gleichstrom werden auch in solchen für Wechselstrom die Generatoren nach Bedarf parallel geschaltet und arbeiten auf die gemeinsamen Sammelschienen. Während es aber dort genügte, die zuzuschaltende Maschine auf die Spannung der schon im Betriebe befindlichen zu bringen, muß bei Wechselstromgeneratoren nicht nur diese, sondern auch die Frequenz und die Phase der Klemmenspannung im Moment des Parallelschaltens übereinstimmen.

Die Frequenz wird reguliert, indem man die Umdrehungszahl der Betriebsmaschine reguliert. Diese, in der Regel eine Dampfmaschine oder Turbine, besitzt zur Regelung der Tourenzahl einen Zentrifugalregulator. Ein solcher hält für eine bestimmte Be-

lastung die Tourenzahl konstant. Dagegen stellt er die Umdrehungsgeschwindigkeit für verschiedene Belastungen etwas ungleich ein. Dies kommt daher, daß er fast durchweg die Füllung beeinflusst. Um also z. B. eine Dampfmaschine bei jeder beliebigen Belastung, von Leerlauf bis zu Vollast, mit vollkommen konstanter Geschwindigkeit betreiben zu können, muß der Regulator willkürlich verstellbar sein.

Wechselstromgeneratoren, die parallel arbeiten sollen, müssen daher mit solchen Antriebsmaschinen gekuppelt sein, deren Regulator nach Bedarf eingestellt werden kann. Während man also bei Gleichstrommaschinen die ganze Regulierarbeit mit Hilfe der Erregung besorgen kann, ist die Sache bei Wechselstrommaschinen wesentlich komplizierter.

Wenn man z. B. bei zwei zusammenarbeitenden Wechselstrommaschinen die Spannung der einen durch Vergrößerung der Feldamperewindungszahl erhöht, so wird die Maschine nur wenig stärker belastet, auch die Spannung erhöht sich nur unwesentlich. Es treten aber wattlose Ausgleichsströme auf, welche zwischen den beiden Maschinen hin- und herfließen und den ruhigen Gang stören.

Stellt man dagegen auf größere Füllung bei derselben Geschwindigkeit ein, ohne zunächst an der Erregung zu ändern, so wird die Leistung der Antriebsmaschine größer. Der von ihr angetriebenen Wechselstrommaschine wird also mehr Energie zugeführt, sie kann also auch selbst mehr abgeben. Die andere Maschine wird dadurch entlastet, ihre Dampfmaschine hat weniger zu leisten und deren Regulator ist so zu verstellen, daß er bei der gleichen Geschwindigkeit kleinere Füllung gibt. Gleichzeitig muß durch Ände-

rung des Erregerstromes dafür gesorgt werden, daß die Spannung beider Generatoren konstant bleibt.

Eine gewisse Unterstützung erfährt die Regulierung dadurch, daß Maschinen, die einmal im Synchronismus sind, denselben aufrecht zu erhalten suchen. Wird nämlich eine etwas langsamer, so erhält sie von der andern Ströme zugeschickt, welche antreibend auf

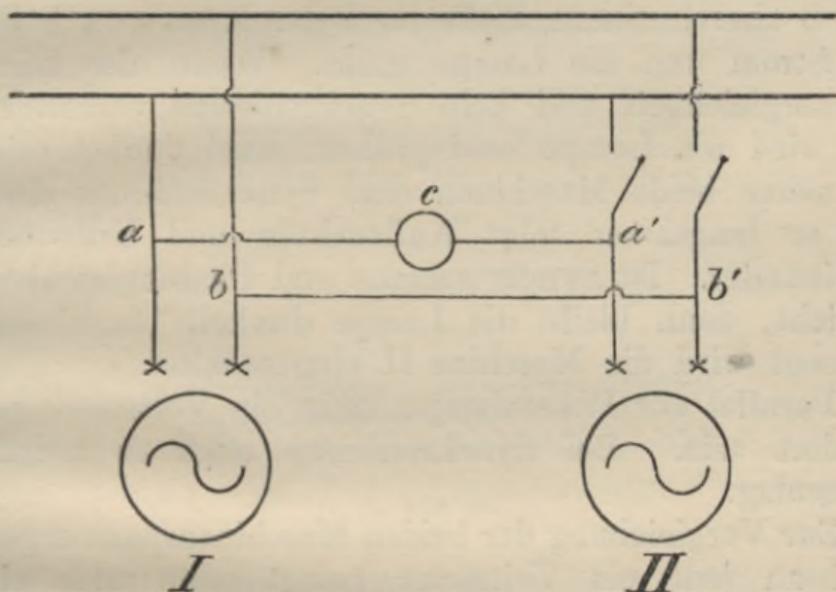


Fig. 67.

die zurückbleibende Maschine wirken, ihr also Arbeit zuführen. Es sind die Wattausgleichsströme.

Die Verstellung des Regulators wird entweder von einem Maschinenwärter besorgt, dem die nötigen Winke von der Schalttafel aus gegeben werden, oder aber ist die Einrichtung derart getroffen, daß diese Regulierung direkt von der Schalttafel aus stattfinden kann.

Um die Gleichheit der Phase zu erkennen, hat man die sog. Phasenlampen. In Fig. 67 sei I

die im Betriebe befindliche Maschine, zu welcher II parallel geschaltet werden soll. II ist zunächst ausgeschaltet. Die Klemmen a und a' gehören zu einer, b und b' zur anderen Sammelschiene. Zwischen a und a' liegt eine Glühlampe c, b und b' sind direkt miteinander verbunden.

In allen Momenten nun, in denen die Spannung zwischen a' und b' nicht ganz mit derjenigen zwischen a und b übereinstimmt, fließt durch den Kreis a c a' b' b a ein Strom und die Lampe glüht. Wenn also keine Phasengleichheit und kein Synchronismus vorhanden ist, wird die Lampe bald glühen, bald dunkel sein. Je näher beide Maschinen dem Synchronismus sind, um so langsamer folgt Aufleuchten und Erlöschen aufeinander. Ist Synchronismus und Phasengleichheit erreicht, dann bleibt die Lampe dunkel. In diesem Moment wird die Maschine II eingeschaltet.

Parallel zur Phasenlampe kann ein Voltmeter geschaltet sein. Bei Synchronismus zeigt es keinen Ausschlag.

Zur Vergleichung der beiden Maschinenspannungen wird an jede ein Voltmeter gelegt oder auch ein einziges Voltmeter benutzt, das mit Hilfe eines Voltmeterumschalters an die eine oder andere Maschine angeschlossen werden kann.

---

### III. Die Transformatoren.

#### 28. Einfachster Transformator.

Daß ein von einem Wechselstromer erzeugtes veränderliches Kraftlinienfeld in den dasselbe hervor-

rufenden stromdurchflossenen Drähten eine EMK erzeugt, welche der Änderung des Stromes entgegenwirkt und zugleich eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung zur Folge hat, wurde schon früher S. 33 erörtert. Aber nicht nur in der vom Strome durchflossenen Wicklung, sondern auch in einer beliebigen anderen wird eine EMK induziert, vorausgesetzt, daß diese zweite Wicklung jenes variable Feld ganz oder teilweise umschließt.

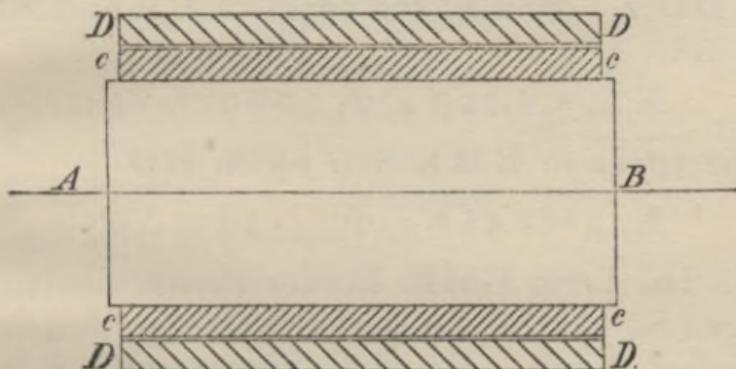


Fig. 68.

AB (Fig. 68) bedeute einen Eisenkörper, welcher mit zwei voneinander isolierten Spulen *cc* und *DD* bewickelt ist. Schickt man in die Spule *cc*, in diesem Falle Primärspule genannt, einen Wechselstrom, der nach dem Sinusgesetz sich ändert,

$$J_{\text{mom}} = J_{\text{max}} \sin 2 \pi N t,$$

so erzeugt dieser Strom ein Feld, dessen Stärke und Richtung unserer ständigen Voraussetzung nach auch nach dem Sinusgesetze variiert:

$$\Phi_{\text{mom}} = \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t.$$

In einer Windung der Spule  $cc$  erzeugt das variable Feld eine EMK, die sich nach dem Gesetze ändert:

$$E_{\text{mom}} = -2\pi N \Phi_{\text{max}} \cos 2\pi N t \cdot 10^{-8} \text{ Volt},$$

also um  $90^\circ$  hinter dem Felde drein läuft (s. S. 10).

Dasselbe variable Kraftfeld  $\Phi$  wird von der Spule  $DD$ , der sog. Sekundärspule, umschlossen. Deshalb wird auch in jeder Windung dieser Spule die gleiche EMK erzeugt wie in einer Windung von  $cc$ .

Es habe nun die Spule  $cc$   $z_1$  Windungen, die Spule  $DD$   $z_2$ , dann ist die effektive EMK der Spule  $cc$  (S. 38)

$$E_{1 \text{ eff}} = 4,44 N z_1 \Phi_{\text{max}} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

und die effektive EMK von Spule  $DD$

$$E_{2 \text{ eff}} = 4,44 N z_2 \Phi_{\text{max}} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}.$$

Die induzierte EMK  $E_1$  der Primärwicklung hat auf ihren Stromkreis die Wirkung einer gegen elektromotorischen Kraft. Es muß außer zur Überwindung des Ohmschen Widerstandes im Primärstromkreise vom Stromerzeuger auch noch eine Komponente der Spannung geliefert werden, welche dieser Gegenkraft  $E_1$  das Gleichgewicht hält. Im Diagramm (Fig. 69) also  $E'_1$  (s. S. 33f.).

Die in der Sekundärspule  $DD$  induzierte EMK  $E_2$  kann ihrerseits wieder zur Erzeugung eines Stromes in einem Sekundärkreise Verwendung finden, wenn man ihre Enden mit einem Stromverbraucher verbindet.

Die Größen der beiden EMK  $E_1$  und  $E_2$  verhalten sich untereinander wie die entsprechenden Windungszahlen:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{z_1}{z_2}.$$

Dies geht aus den obigen Gleichungen ohne weiteres hervor. Man ist also in der Lage, durch geeignete Wahl der Windungen  $z_1$  und  $z_2$  von einer niederen Spannung  $E_1$  auf eine beliebige höhere  $E_2$  und umgekehrt zu gelangen. Ein Transformator hat im allgemeinen keinen anderen Zweck als den, die Spannung eines Wechselstromes zu verändern, zu transformieren.

Bei einer Arbeitsübertragung über lange Leitungen ist es sehr vorteilhaft, nur einen kleinen Strom fortzuleiten zu müssen. Denn dann kann mit Rücksicht auf Spannungsverlust und Erwärmung der Querschnitt der Kupferleitung klein gehalten werden und die Anlage wird verhältnismäßig billig. Die sekundliche Arbeit ist gegeben durch die beiden Faktoren: Strom und Spannung. Soll der Strom klein werden, so muß die Spannung entsprechend groß werden, damit die Arbeit dieselbe bleibt. Man transformiert deshalb einen niedergespannten Strom in einen hochgespannten, wenn man ihn in die Ferne leiten will.

Andererseits bringt der hochgespannte Wechselstrom einige Unannehmlichkeiten mit sich. Die Isolation in den Hausleitungen, seine Verwendung für Beleuchtung und kleine Motoren würde viele Schwierigkeiten bieten. Ein zufälliges Berühren beider Leitungsdrähte kann das Leben gefährden. Es wird deshalb der von weit hergeleitete hochgespannte Strom zunächst von seiner

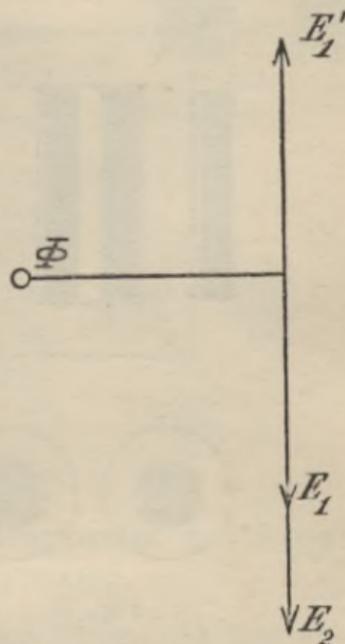


Fig. 69.

hohen Spannung auf niedere transformiert und erst der niedergespannte Strom den Stromverbrauchern zugeführt.

### 29. Formen von Transformatoren.

In einem Transformator ist ein Feld erwünscht, das mit möglichst wenig Aufwand von Strom erzeugt

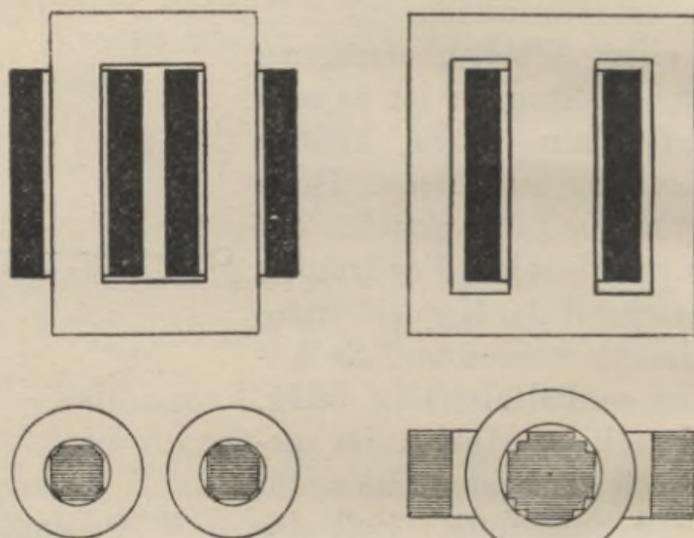


Fig. 70.

Fig. 71.

werden kann. Man läßt also die Kraftlinien nicht in Luft, sondern im Eisen von großer Permeabilität verlaufen. Der Transformator besteht also aus einem geschlossenen Eisenkörper, der an bestimmten Stellen von zwei Wicklungssystemen bedeckt ist, von einer Primär- und einer Sekundärwicklung. Die Fig. 70 bis 72 zeigen verschiedene Transformatorentypen. Die von Primär- und Sekundärwicklung ausgefüllten Räume sind schwarz gezeichnet.

Es ist üblich, zwei Arten von Transformatoren zu unterscheiden: Kern- und Manteltransformatoren.

Es ist aber nicht möglich, diese Scheidung in zwei Klassen streng durchzuführen. Fig. 70 ist ein sog. Kerntransformator, Fig. 71 ein Manteltransformator, Fig. 72 könnte der einen oder der anderen Type zugezählt werden.

Um Wirbelströme zu vermeiden bzw. möglichst klein zu halten, sind die Eisenkörper (wie die Anker der Dynamomaschinen) unterteilt. Sie bestehen aus Blechen mit Zwischenlagen von Papierisolation.

Um die Hysteresisarbeit, welche das fortwährende Wechseln des Kraftlinienfeldes in einem solchen Transformator zur Folge hat, gering zu halten, wird möglichst gutes Eisenblech verwendet.

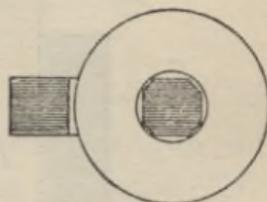
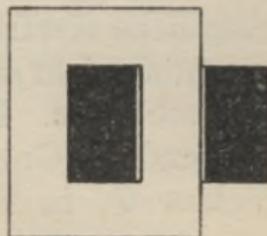


Fig. 72.

### 30. Feld- und Amperewindungsdiagramm des Transformators ohne Streuung.

Der umstehende Transformator (Fig. 73) hat zwei Schenkel, I und II. Auf dem Schenkel I ruhe die Primärwicklung, auf dem Schenkel II die Sekundärwicklung. Beide Wicklungen seien von einem Strome durchflossen, dessen Stärke sich nach dem Sinusgesetze ändert, und zwar Spule I von einem Strome, der von einer Wechselstrommaschine kommt, während Spule II ihren Strom in irgendeine Stromverbraucher abgibt. Die beiden Ströme sind gegeneinander phasenverschoben und zwar beträgt der Phasenwinkel zwischen ihnen, wie aus späterem hervorgeht, bei Vollbelastung des Transformators beinahe  $180^{\circ}$ .

Zunächst sei der Fall gesetzt, daß die beiden Ströme nicht gleichzeitig vorhanden sind. Wenn Strom I allein vorhanden ist, so erzeugen seine Amperewindungen ein sinusförmig veränderliches Feld  $\Phi_1$  im Schenkel I. Sämtliche Kraftlinien dieses Feldes sollen nun, da eine Streuung nicht angenommen wird, durch den Schenkel II sich schließen. Das Feld  $\Phi_1$  ist also auch im Schenkel II vorhanden. Größe und Richtung dieses Feldes ist durch Vektor  $\Phi_1$  in Fig. 74 dargestellt.

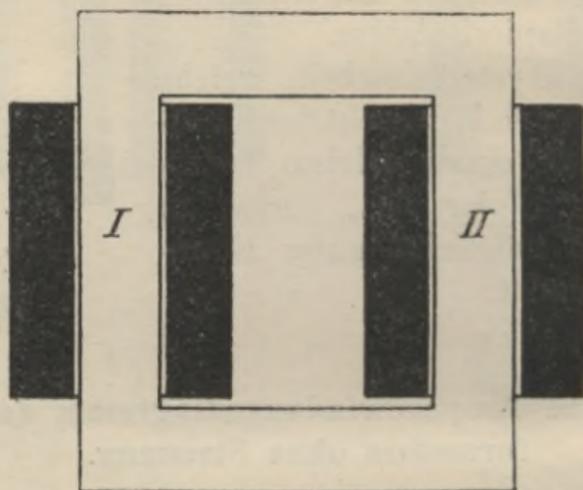


Fig. 73.

Ist nur der Strom II da, so erzeugt dieser mit seinen AW ein Feld  $\Phi_2$ , das sowohl im Schenkel II als auch in I vorhanden ist. Seine Größe und Richtung ist in Fig. 74 durch Vektor  $\Phi_2$  angegeben.  $\Phi_2$  ist um nicht ganz  $180^\circ$  gegen  $\Phi_1$  verschoben.

Tatsächlich sind beide Ströme gleichzeitig vorhanden. In diesem Fall wirken die AW des Stromes I ebenso wie vorher auf den Schenkel I, erzeugen also dort ein Kraftlinienfeld  $\Phi_1$ . Gleichzeitig senden aber die AW des Stromes II das gegen  $\Phi_1$  phasenverschobene

Kraftlinienfeld  $\Phi_2$  in den Schenkel I. Beide Felder bestehen nun tatsächlich nicht nebeneinander, sondern sie setzen sich zusammen zu einem resultierenden Felde  $F$  (s. Fig. 74), das sein Vorhandensein also dem Zusammenwirken der beiden AW  $J_1 z_1$  und  $J_2 z_2$  verdankt.

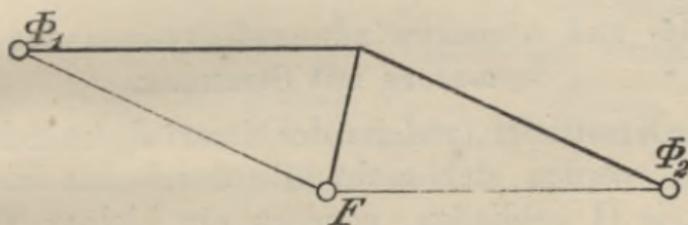


Fig. 74.

Ebenso wirken die beiden Amperewindungen auf den Schenkel II und erzeugen in ihm dasselbe Feld  $F$ , das sich aus den beiden Feldern  $\Phi_2$  und  $\Phi_1$  zusammensetzt.

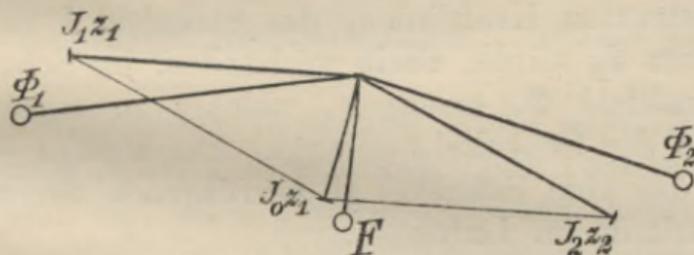


Fig. 75.

Man kann sich die Sache auch durch das AW-Diagramm vorstellen: Die AW  $J_1 z_1$  und die AW  $J_2 z_2$  sind gleichzeitig vorhanden. Statt nun die Wirkung dieser beiden AW, die Felder  $\Phi_1$  und  $\Phi_2$ , in Betracht zu ziehen und zu kombinieren, kann man auch die AW selbst zusammensetzen und sagen: die beiden AW setzen sich zu resultierenden AW  $J_0 z_1$

zusammen, und diese resultierenden AW erzeugen dann das Feld F.

Fig. 75 zeigt beide Diagramme ineinander gezeichnet, wobei die Ströme bzw. AW den entsprechenden Feldern vorausgehend angenommen sind (s. S. 25).

### 31. Feld- und Amperewindungsdiagramm des Transformators mit Streuung.

Die Kraftlinien, welche der Strom  $J_1$  im Schenkel I erzeugt, werden sich nicht alle durch das Eisen des Schenkels II schließen, sondern ein kleiner Teil von ihnen wird durch den Luftraum links von I und zwischen I und II verlaufen. Stellt  $\Phi_1$  das gedachte Feld vor, das sich im Schenkel I unter der Einwirkung von  $J_1$  allein bilden würde, so soll  $v_1 \Phi_1$  der Teil der Kraftlinien sein, der auch nach Schenkel II herüber kommt und dort nutzbar gemacht wird,  $(1 - v_1) \Phi_1$  also die gestreuten Kraftlinien, das Streufeld I bedeuten.

Strom  $J_2$  würde, allein vorhanden, im Schenkel II ein Kraftfeld  $\Phi_2$  erzeugen, welches zu einem Teile  $v_2 \Phi_2$  in den Schenkel I gelangt. Der Rest  $(1 - v_2) \Phi_2$  bildet das vom Schenkel II herrührende Streufeld II und verläuft im Luftraum.

Sind nun beide Ströme gleichzeitig vorhanden, so werden im Schenkel I gleichzeitig zweierlei Kraftlinienfelder erzeugt:  $\Phi_1$ , das sind die Kraftlinien, welche von der Primärwicklung herrühren und um einen Phasenwinkel  $\psi_1$  hinter dem Primärstrom  $J_1$  drein eilen mögen, und  $v_2 \Phi_2$ , welche vom Strom II herrühren und diesem um einen Phasenwinkel  $\psi_2$  nacheilen. Beide Felder,  $\Phi_1$  und  $v_2 \Phi_2$ , setzen sich im Schenkel I zu einem resultierenden Felde  $F_1$  zu-

sammen. Dieses Feld ist tatsächlich vorhanden und induziert in der Spule I die EMK  $E_1$ . Hat z. B. Strom I im Vektordiagramm (Fig. 76) die Richtung  $J_I$ , Strom II die Richtung  $J_{II}$ , so ist  $\Phi_1$  das gedachte Feld, das herrührt von der Wicklung I,  $\Phi_2$  dasjenige von Wicklung II. Im Schenkel I befindet sich also tatsächlich ein Feld  $F_1$ , das sich zusammensetzt aus  $\Phi_1$  einerseits, andererseits aus einem Teile  $v_2 \Phi_2$  des gedachten Feldes  $\Phi_2$ .

Dasselbe gilt für den Schenkel II. Dort existiert in Wirklichkeit weder das Feld  $\Phi_2$ , noch das Feld

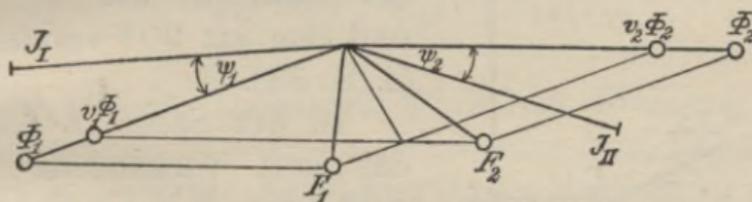


Fig. 76.

$v_1 \Phi_1$ , sondern ein resultierendes  $F_2$ , welches sich aus diesen beiden zusammensetzt.

Die vorstehende Erwägung ergibt also, daß bei einem Transformator, dessen beide Spulen Strom durchfließt, und der eine gewisse Streuung besitzt, die Felder innerhalb der Primär- und Sekundärspule durchaus nicht gleich, sondern sowohl der Phase wie der Größe nach verschieden sind.

### 32. Das Diagramm des leerlaufenden Transformators.

Wenn ein Transformator mit seiner Primärspule am Netz liegt, also mit Strom versorgt wird, dagegen seine Sekundärspule keinen Strom abgibt, so nennt man das seinen Leerlauf, gerade so, wie man von

einem Motor sagt, er laufe leer, wenn er wohl sich in Umdrehung setzt, aber keine mechanische Arbeit abgibt.

Zeichnet man hierfür das Diagramm, so fallen vor allem das Feld und die Amperewindungen des Schenkels II weg. Es besteht im Schenkel I nur das Feld  $\Phi_1$ , im Schenkel II nur das Feld  $v_1 \Phi_1$ . Beide Felder haben gleiche Richtung. In Spule I erzeugt Feld  $\Phi_1$  eine EMK, welcher das Gleichgewicht gehalten wird durch eine EMK  $E_1$ , die senkrecht auf  $\Phi_1$  steht und ihm um  $90^\circ$  vorausläuft (s. S. 34).

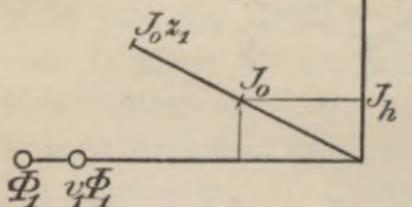


Fig. 77.

In der Spule II erzeugt das dort vorhandene Feld  $v_1 \Phi_1$  die EMK  $E_2$ . Sie läuft dem Felde  $v_1 \Phi_1$ , welches gleichgerichtet ist mit  $\Phi_1$ , um  $90^\circ$  hinterdrein.

Hat die EMK der Spule I die Größe  $E_{\text{eff}}$ , so ergibt sich aus der Beziehung

$$E_{\text{eff}} = 4,44 \cdot N \cdot z_1 \cdot \Phi_{\text{max}} 10^{-8} \text{ Volt}$$

die maximale Kraftlinienzahl  $\Phi_{\text{max}}$ , wenn die Periodenzahl  $N$  und die Windungszahl  $z_1$  bekannt sind. Dividiert man dieselbe mit dem Querschnitt, so erhält man die maximale Induktion im Eisen,  $B_{\text{max}}$ .

Der Wechselstrom, welcher die Wicklung durchfließen muß, um dieses wechselnde Kraftlinienfeld mit seinem maximalen Werte  $\Phi_{\text{max}}$  zu erzeugen, läßt sich in ähnlicher Weise berechnen, wie dies in Teil I, S. 80 ff. und Teil II, S. 47 ff. für Gleichstrommagnetisierung an-

gegeben ist. Die Grundlage der Berechnung bilden wie dort experimentelle Bestimmungen der Abhängigkeit zwischen den Amperewindungen und der magnetischen Induktion für das verwendete Eisen.

Dieser Magnetisierungsstrom  $J_0$  steht aber nicht einfach senkrecht zur EMK, welche das Feld erzeugt. Vielmehr tritt infolge der Hysteresis eine Wattkomponente des Stromes auf, die sich nach S. 40f. ergibt aus

$$J_{0\text{eff}} E_{\text{eff}} \cos \varphi = A_h,$$

$$J_{0\text{eff}} \cos \varphi = \frac{A_h}{E} = J_{h\text{eff}}.$$

Sie wird also im Diagramm 77 in der Richtung von  $E_1$  aufgetragen und  $J_{0\text{eff}}$  so, daß seine Projektion auf  $E_1$  eben  $J_{h\text{eff}}$  ergibt. Es ist also  $J_0$  der Magnetisierungsstrom bzw.  $J_0 z_1$  die magnetisierenden Amperewindungen,  $\Phi_1$  das durch sie geschaffene Feld und  $E_1$  die Komponente der Klemmenspannung, welche der induzierten EMK das Gleichgewicht hält.

Wie schon S. 42 ausgeführt, treten in derartigen Eisenkörpern neben den Hysteresisverlusten auch Wirbelstromverluste auf. Beide lassen sich nicht ohne weiteres trennen. Man kombiniert sie deshalb unter dem Namen Eisenverluste:

$$A_{h+w} = J_{\text{eff}} E_{\text{eff}} \cos \varphi.$$

Die Wattkomponente  $J_{h+w}$  im Diagramm 78 vertritt dann nicht nur die Hysteresis, sondern die gesamten Eisenverluste (s. S. 43).

Der Magnetisierungsstrom, auch Leerlaufstrom genannt, in Fig. 78  $J_1$ , ist in diesem Fall so gerichtet,

daß seine Projektion auf den  $E_1$ -Vektor die Größe  $J_{h+w}$  erhält.  $J_\mu$  ist die wattlose Komponente dieses Magnetisierungsstromes.

Beträgt der Ohmsche Widerstand von Spule I  $W_1$ , so ist  $J_1 W_1$  der Spannungsverlust in der Spule während des Leerlaufes. Dieser, zusammen mit  $E_1$ , ergibt die Betriebsspannung  $D_1$ , welche an den Primärklemmen des Transformators herrscht.

$\varphi$  ist der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung der Primärspule,  $\cos \varphi$  der Leistungsfaktor. Die verbrauchte Leerlaufleistung ist

$$A_1 = J_1 D_1 \cos \varphi.$$

Diese Leerlaufleistung besteht also (der Hauptsache nach) aus den Hysteresis- und Wirbelstromverlusten im Eisen und (zum kleineren Teil) aus den Stromwärmeverlusten in der Wicklung. Bei Transformatoren moderner Konstruktion betragen die Eisenverluste je

nach der Größe des Transformators 1÷4 % der Belastung, die dem Transformator zugemutet werden kann.

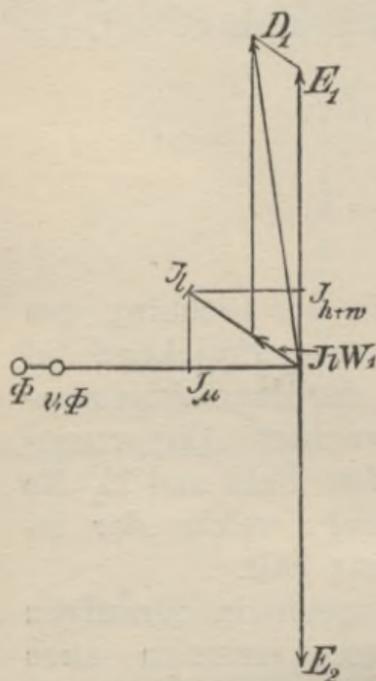


Fig. 78.

### 33. Das Diagramm des belasteten Transformators mit Streuung.

Im Sekundärkreis eines Transformators sollen sich Glühlampen befinden (Fig. 79). Glühlampen haben nur ein verschwindend kleines Kraftlinienfeld, es tritt

in ihnen also nur eine sehr geringe gegenelektromotorische Kraft auf. Sie bringen also keine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung hervor. Sekundärstrom  $J_2$  und -spannung  $D_2$  sind phasengleich.

$D_2$  ist nun kleiner als die in Spule II induzierte  $E M K E_2$ . Von letzterer wird nämlich ein Teil dazu

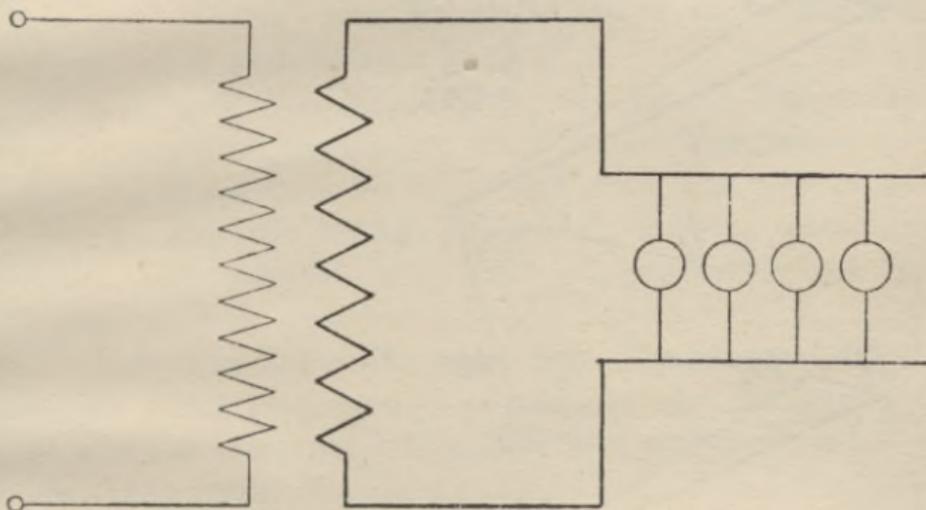


Fig. 79.

verbraucht, den Strom  $J_2$  durch den Widerstand  $W_2$  der Spule zu treiben. Es ist also

$$D_2 = E_2 - J_2 W_2.$$

$E_2$  wird von einem Felde  $F_2$  im Schenkel II erzeugt, das ihr um  $90^\circ$  vorausläuft. Fig. 80 a stellt das Diagramm für den Sekundärkreis dar, wobei zunächst von  $F_3$  und  $(1 - v_2) \Phi_2$  abzusehen ist.

Ist  $D_1$  (Fig. 80 b) die Klemmenspannung im Primärkreise,  $J_1$  der zugehörige Strom,  $\varphi_1$  ihr Phasenwinkel, so ist von  $D_1$  noch  $J_1 W_1$ , der mit dem Strom phasengleiche Ohmsche Spannungsverlust, abzuziehen, um  $E_1$

zu erhalten. Auf  $E_1$  steht das Kraftlinienfeld  $F_1$  im Schenkel I senkrecht, welches eine ihr entgegengesetzte

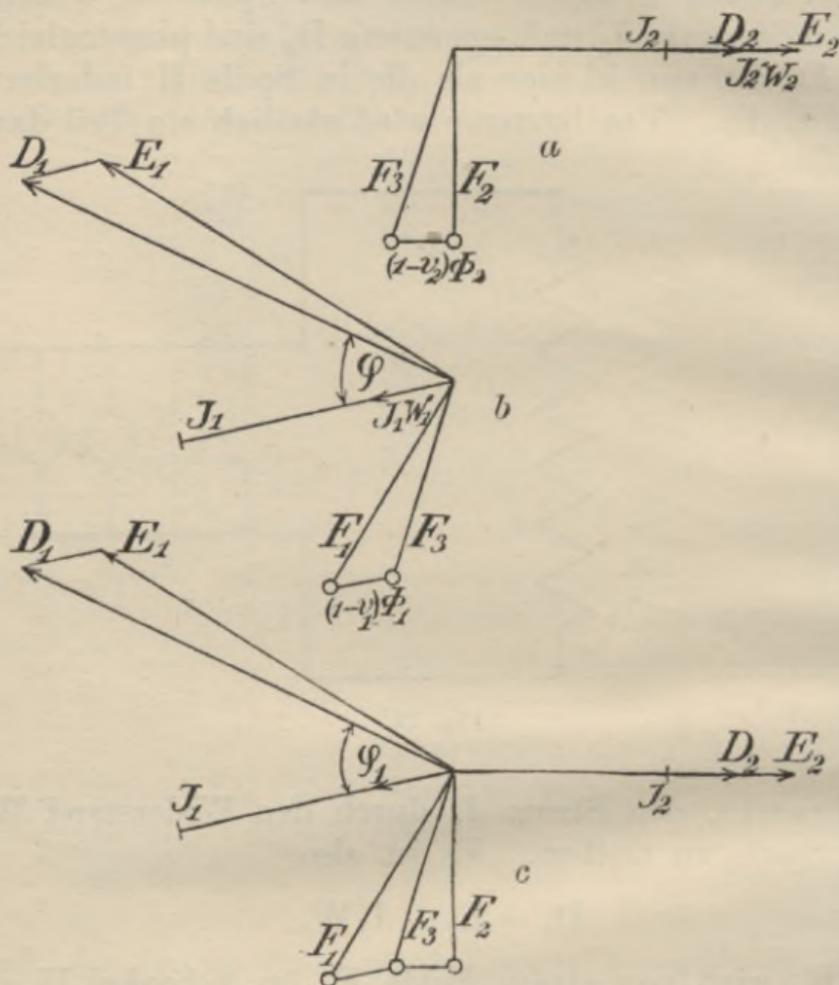


Fig. 80 a, b, c.

EMK erzeugt. Hieraus ergibt sich Fig. 80b, das Diagramm des Primärkreises, ohne  $F_3$  und  $(1 - v_1)\Phi_1$ .

Beide Diagramme vereinigen sich in eines, wenn man die Streukoeffizienten  $v_1$  und  $v_2$  kennt. Zieht man nämlich  $(1 - v_1)\Phi_1$ , das Streufeld des Schenkels I,

dessen Richtung mit sehr geringem Fehler parallel zu dem Vektor  $J_1$  genommen werden kann, von  $F_1$  ab, so erhält man eine Kraftlinienzahl  $F_3$ , welche sowohl im Schenkel I als auch in II vorhanden ist. Im Schenkel II kommt aber zu  $F_3$  das Streufeld dieses Schenkels noch hinzu,  $(1 - v_2)\Phi_2$ . Zieht man also dieses Streufeld von  $F_2$  ab — seine Richtung ist mit kleinem Fehler parallel zu  $J_2$  —, so erhält man wieder das gemeinsame Feld  $F_3$ .

Dies gibt die Möglichkeit, die beiden Diagramme in eins zusammenzuziehen (Fig. 80 c). (Vergleiche auch das Felddiagramm S. 95.) Man sieht aus diesem Diagramm, daß die beiden Ströme  $J_1$  und  $J_2$  tatsächlich nicht viel weniger wie  $180^\circ$  phasenverschoben sind (vergl. S. 91).

Hat der Sekundärstrom eine Phasenverschiebung gegen seine Spannung, so ändert das in geringem Grade das Diagramm Fig. 80 a und entsprechend auch das Diagramm Fig. 80 c.

### 34. Das Diagramm des belasteten Transformators ohne Streuung.

Sieht man von der Streuung ab, die bei den neueren Typen der Transformatoren sehr gering ist, so fällt  $F_1$  und  $F_2$  mit  $F_3$  zusammen. Ein Diagramm ohne Streuung, mit induktiver Belastung (bei welcher der Strom hinter der Spannung dreinläuft) im Sekundärkreis, zeigt Fig. 81, das auf nachstehende Weise entworfen wird.

Die Spannung  $D_2$  des Sekundärkreises, sein Strom  $J_2$  und der zugehörige Phasenwinkel  $\varphi_2$  sei gegeben. Es soll nun das Diagramm eines Transformators entworfen werden, der diese Spannung  $D_2$  aus einer noch

unbekannten Primärspannung  $D_1$  bei einer Periodenzahl  $N$  zu erzeugen hat. Die Windungszahlen seien  $z_1$  und  $z_2$ .

Die EMK  $E_2$  der Sekundärwicklung erhält man, wenn man zu  $D_2$  noch den Ohmschen Verlust  $J_2 W_2$  addiert. Das zur Erzeugung dieser EMK nötige Kraftfeld  $\Phi$  ergibt die Gleichung

$$E_2 = 4,44 N \Phi z_2 \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

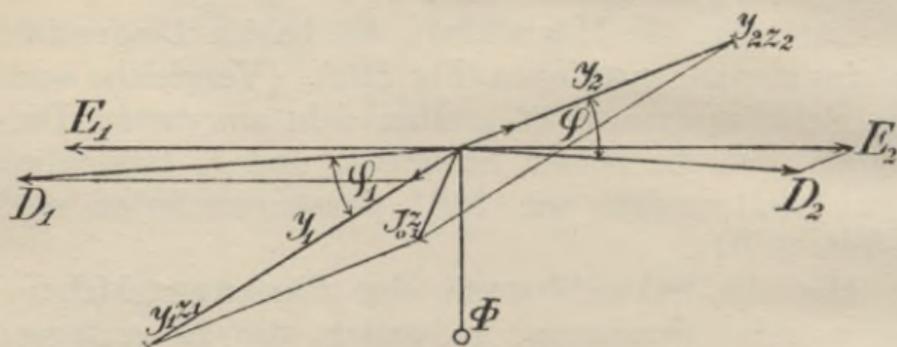


Fig. 81.

Im Primärkreise erzeugt dasselbe Feld  $\Phi$ , da keine Streuung vorhanden ist, ebenfalls eine EMK. Eine Komponente  $E_1$  der primären Klemmenspannung  $D_1$  muß ihr gleich und entgegengesetzt sein.

Das Feld  $\Phi$  hat zu seiner Entstehung eine Anzahl von Amperewindungen  $J_0 z_1$  nötig, d. h. bei der Windungszahl  $z_1$  muß ein Strom  $J_0$  durch die Spule fließen, um das Feld  $\Phi$  zu schaffen. Der Strom  $J_0$  seinerseits zerfällt in zwei Komponenten, wovon die eine, die Wattkomponente, die Hysterisis- und Wirbelstromarbeit leistet, die andere den wattlosen Strom darstellt.  $J_0$  fällt also mit dem Leerlaufstrom (s. S. 97) zusammen. Richtung und Größe von  $J_0$  ergibt sich nach dem dort Ausgeführten.

Nun existiert der Strom  $J_0$  im belasteten Transformator tatsächlich nicht. Vielmehr verhält sich die Sache so, daß der Primärstrom und der Sekundärstrom zusammenwirken und auf diese Weise miteinander das Feld  $\Phi$  schaffen. Wenn nun das Feld  $\Phi$  so von beiden Strömen abhängt, so muß Vektor  $J_2 z_2$ , aufgetragen auf dem Vektor  $J_2$ , zusammen mit einem noch unbekanntem Vektor  $J_1 z_1$ , aufgetragen auf dem noch nicht gefundenen Vektor  $J_1$ , die Ursache von Feld  $\Phi$  ergeben. Dies ist aber nichts anderes als  $J_0 z_1$ . Diesen Vektor hat man. Also findet sich aus  $J_2 z_2$  und  $J_0 z_1$  die Größe und Richtung von  $J_1 z_1$ . Damit ist auch der Vektor  $J_1$  nach Größe und Richtung gefunden. Man hat nun nur noch zu  $E_1$  den Ohmschen Spannungsabfall im Primärkreise  $J_1 W_1$  zu addieren, um die Klemmenspannung, die zum Betriebe des Transformators nötig ist, zu erhalten. Zugleich hat man nunmehr auch den Phasenwinkel  $\varphi_1$  zwischen Primärstrom und Primärspannung.

### 35. Verluste. Erwärmung. Spannungsänderung.

Die Hauptforderungen, die von einem modernen Transformator erfüllt sein müssen, sind:

- Geringe Eisen- und Kupferverluste.
- Geringe Temperaturerhöhung.
- Gute und dauerhafte Isolation.
- Gute Spannungsregulierung.

Die Verluste der Hysterisis und der Wirbelströme im Eisen wie die in den Wicklungen auftretende Joulesche Wärme sind von direktem Einfluß auf den Wirkungsgrad. Je geringer sie sind, um so besser ist der letztere. Um einen Anhaltspunkt zu geben,

von welcher Größenordnung diese Eisen- und Kupferverluste, sowie der Wirkungsgrad unter verschiedener Belastung bei den modernen Transformatoren sind,

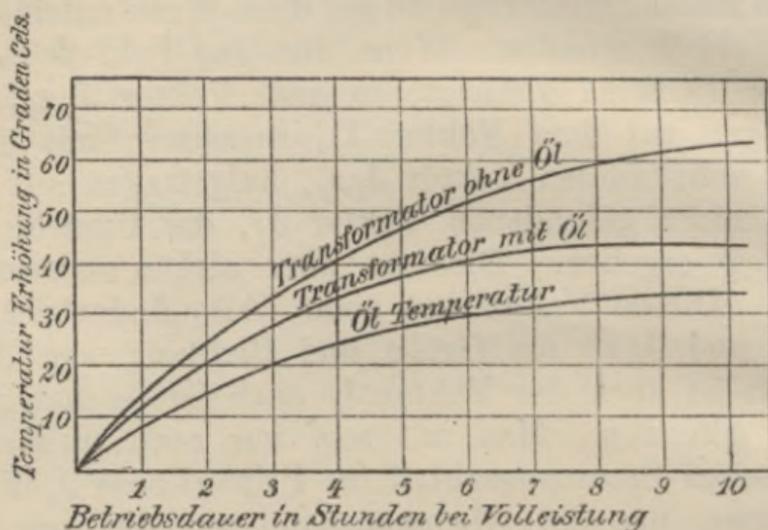


Fig. 82.

seien einer Tabelle der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin folgende Werte entnommen:

Normalleistung	Verluste		Wirkungsgrad der Transformatoren bei				Spannungsabfall bei induktionsfreier Belastung
	Eisen	Kupfer	100 %	75 %	50 %	25 %	
Kilowatt	Watt	Watt	%	%	%	%	%
50	590	600	97,75	97,7	97,1	95,2	1,14
30	405	358	97,6	97,4	96,8	94,6	1,14
15	226	216	97,1	97,0	96,4	94,0	1,24
5	92	141	95,5	95,6	95,2	92,4	2,26
1	40	29	93,6	93,0	91,3	85,6	3,21

Die letzte Spalte gibt die Spannungsänderung an den Sekundärklemmen zwischen Leerlauf und Vollbelastung, wenn an den Primärklemmen konstante Spannung gehalten wird.

Die im Eisen und im Kupfer verlorene Energie wird in Wärme umgewandelt. Diese erhöht die Temperatur des Transformators. Um die Isolation nicht zu gefährden, darf der Transformator nicht zu heiß werden. Ein sehr beliebtes Kühlmittel ist das

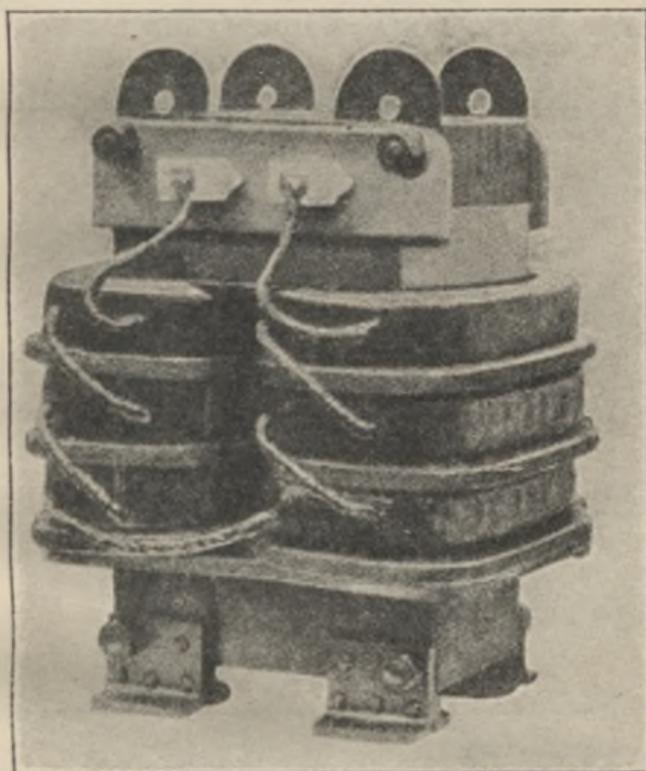


Fig. 83. Transformator der Helios E. G.

Öl: man stellt den Transformator in ein mit Öl gefülltes Gehäuse. Welchen Einfluß diese Ölkühlung hat, ergibt sich aus den Kurven Fig. 82.

### 36. Mehrphasentransformatoren.

Für Mehrphasenströme können ebenfalls die seit her besprochenen Einphasentransformatoren Verwen-

dung finden. Man hat dann in jede Phase einen besonderen Transformator zu legen. Oder aber es können besondere Transformatoren gebaut werden. So hat man für Dreiphasenstrom Transformatoren gebaut mit drei Schenkeln und gemeinsamem Joch. Jeder Schenkel trägt zwei Wicklungen, eine primäre und eine sekundäre. Diese Wicklungen können nun primär sowohl

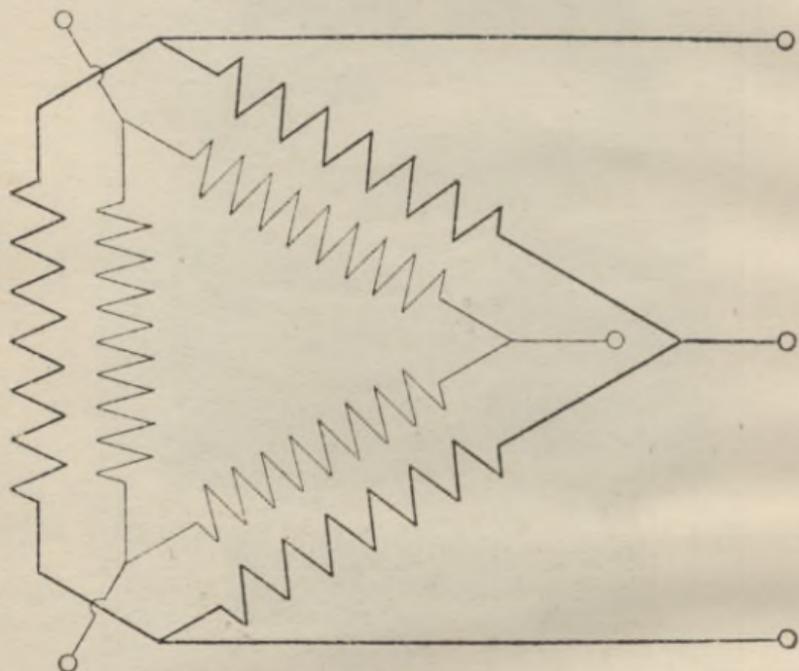


Fig. 84.

wie sekundär in Dreieck (Fig. 84) geschaltet sein oder beidemal in Stern, wobei der primäre und der sekundäre Verkettungspunkt vereinigt, wie Fig. 85, oder getrennt sein können, oder aber es kann die eine in Stern, die andere in Dreieck geschaltet sein. Das Eisen-gestell kann in verschiedener Weise angeordnet sein. Eine Ausführung zeigt Fig. 86, einen Transformator der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin.

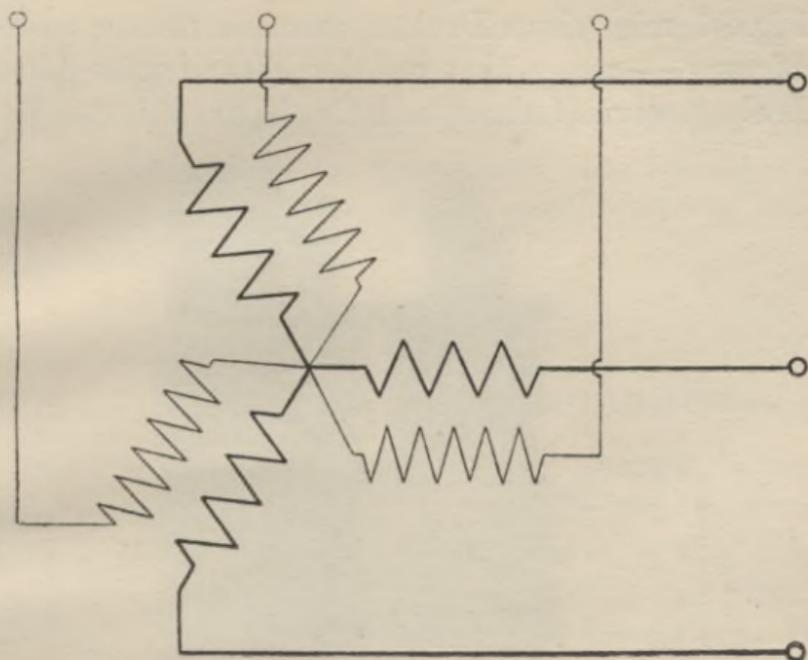


Fig. 85.

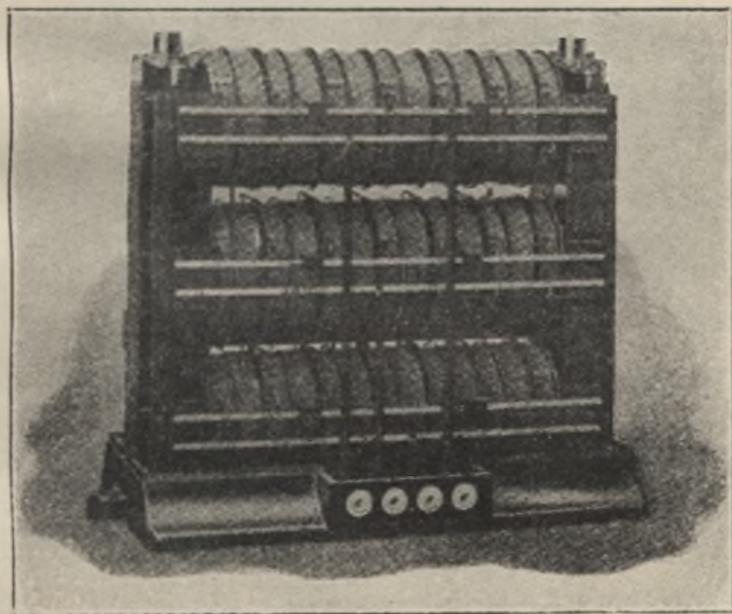


Fig. 86. Drehstromtransformator der Allg. Elektr.-Ges, Berlin.

Fig. 87 zeigt einen Drehstromtransformator anderer Anordnung — ausgeführt von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vorm. Lahmeyer & Co., in Frankfurt a. M. —

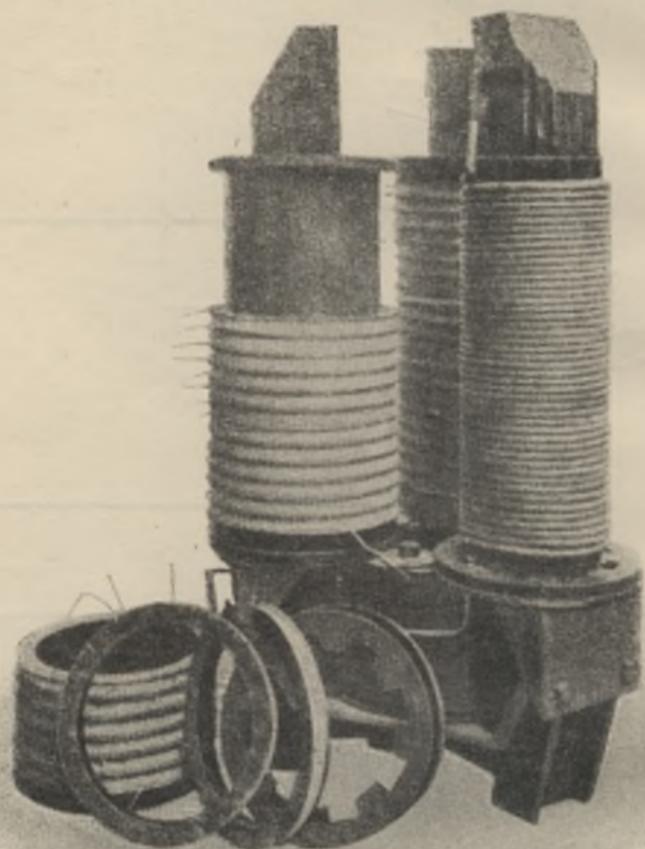


Fig. 87. Drehstromtransformator der E.-A.-G., vorm. W. Lahmeyer & Co., in Frankfurt a. M.

und gibt zugleich einen deutlichen Einblick in seinen Aufbau. Auf drei aus Eisenblech zusammengesetzte Kerne werden je die Primär- und Sekundärwicklung einer Phase aufgeschoben. Innen liegt die Niederspannungswicklung: eine fortlaufende Wicklung aus

diekem Draht. Darüber, durch eine Isolierhülse gut von ihr getrennt, wird die Hochspannungswicklung geschoben. Sie ist aus einzelnen gut isolierten Spulen zusammengesetzt. Die Eisenkerne werden an ihren beiderseitigen Enden zu einem geschlossenen magnetischen Kreise vereinigt.

#### IV. Die Wechselstrommotoren.

Die Umsetzung von elektrischer Energie in mechanische geschieht bei den Motoren für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom, ebenso wie bei den Gleichstrommotoren auf die Weise, daß man mit dem aus dem Netze entnommenen Strome auf irgend eine Weise ein magnetisches Kraftlinienfeld erzeugt und in dieses Feld stromdurchflossene Leiter bringt. Durch die gegenseitige Einwirkung zwischen Feld und Stromträgern (s. Teil I, S. 97 ff.) entsteht die Bewegung des drehbaren Teiles. Man hat nur dafür zu sorgen, daß diese Einwirkung stets in derselben Richtung erfolgt, um eine kontinuierliche und gleichförmige Drehung zu erhalten.

Bei den Gleichstrommotoren wird das Feld von der Magnetwicklung erzeugt, dessen Richtung naturgemäß konstant ist. Der Kommutator sorgt dafür, daß auch die jeweils unter einem Pole sich befindenden Leiter fortwährend, mag die Drehung langsam oder rasch vor sich gehen, in gleichem Sinn vom Strome durchflossen sind. Die Drehung erfolgt deshalb ganz von selbst nach derselben Richtung.

Bei Wechselstrom liegen die Verhältnisse für die Schaffung des Feldes und der Ströme wesentlich anders.

Es sollen im folgenden zunächst die Induktions- oder Asynchronmotoren und dann die Synchronmotoren kurz beschrieben werden.

## Der Asynchronmotor.

### 37. Das Drehfeld.

Eine von einphasigem Wechselstrome durchflossene Wicklung erzeugt ein Feld, welches seine Richtung

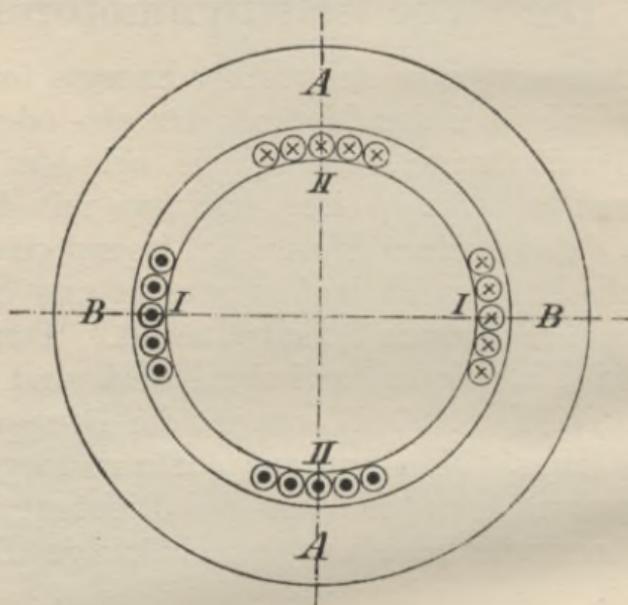


Fig. 88.

immer beibehält, aber Stärke und Sinn periodisch ändert. Durch Kombination verschiedener solcher pulsierender Felder kann jedoch ein Feld erzeugt werden, das seine Stärke beibehält, aber seine Richtung stetig ändert, also eine Drehbewegung ausführt, das Drehfeld.

Auf einem trommelförmigen Eisenkörper (Fig. 88), der von einem Eisenringe umgeben ist, befinden sich

zwei Wicklungen I und II, die senkrecht zueinander liegen. Die Wicklung I durchfließe ein Wechselstrom, welcher ein sinusförmig variierendes Feld erzeugt, dessen Richtung in der Vertikalen AA liegt. Das Feld sei ausgedrückt durch die Gleichung:

$$\Phi_I = \Phi_{\max} \cdot \sin 2 \pi N t.$$

Die Wicklung II sei durchflossen von einem Wechselstrom, der ebenfalls ein sinusförmiges Wechselfeld mit derselben Amplitude und mit derselben Frequenz erzeugt, aber dem anderen um  $90^\circ$  vorausläuft. Die Feldrichtung ist BB, seine Stärke variiert nach

$$\Phi_{II} = \Phi_{\max} \cdot \cos 2 \pi N t.$$

Wenn also  $\Phi_I$  Null ist, hat  $\Phi_{II}$  sein Maximum. Wenn  $\Phi_{II}$  ein Maximum, ist  $\Phi_I$  Null.

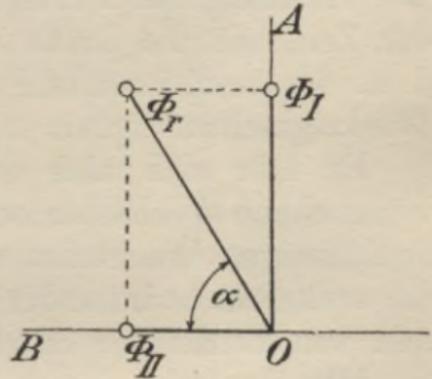


Fig. 89.

Sind nun beide Felder zu gleicher Zeit vorhanden, so setzen sie sich zu einem resultierenden Felde zusammen. In Fig. 89 ist OA die Richtung des von der Wicklung I geschaffenen Feldes, OB desjenigen der Wicklung II.  $\Phi_I$  und  $\Phi_{II}$  sind zwei zusammengehörige Momentanwerte der beiden Felder. Die momentane Größe des resultierenden Feldes  $\Phi_r$  ergibt sich also aus

$$\begin{aligned} \Phi_r &= \sqrt{\Phi_{I\text{mom}}^2 + \Phi_{II\text{mom}}^2}, \\ &= \Phi_{\max} \sqrt{\sin^2 2 \pi N t + \cos^2 2 \pi N t}, \\ &= \Phi_{\max}. \end{aligned}$$

Man sieht, das resultierende Feld hat zu jeder Zeit dieselbe Größe  $\Phi_{\max}$ . Seine Richtung zu einer beliebigen Zeit  $t$  ist gegeben durch den Winkel  $\alpha$  (Fig. 89). Die Tangente dieses Winkels ist

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\Phi_{\text{I}}}{\Phi_{\text{II}}} = \frac{\Phi_{\max} \cdot \sin 2 \pi N t}{\Phi_{\max} \cdot \cos 2 \pi N t}, \\ &= \operatorname{tg} 2 \pi N t. \end{aligned}$$

Die Richtung des Feldes ändert sich also ebenso mit der Zeit, wie die Größe der Einzelfelder  $\Phi_{\text{I}}$  und  $\Phi_{\text{II}}$ , d. h. das resultierende Feld dreht sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit  $2 \pi N$ .

Es läßt sich also durch zwei um  $90^\circ$  phasenverschobene Wechselströme, mit anderen Worten, durch zweiphasigen Wechselstrom, welcher zwei Wicklungen, die senkrecht aufeinander stehen, durchfließt, ein Drehfeld von konstanter Stärke herstellen.

Mit dreiphasigem Wechselstrom läßt sich ebenfalls ein Drehfeld erzeugen. Wird eine dreifache Wicklung auf einem Eisenzyylinder so aufgebracht, wie Fig. 90 schematisch zeigt, und schickt man in I, II und III Wechselströme, welche je um  $120^\circ$  in der Phase versetzt sind, so entsteht ein resultierendes Feld, dessen Größe sich ergibt aus der geometrischen Summe aller Felder in einem bestimmten Augenblick.

Die drei Felder sind

$$\Phi_{\text{I mom}} = \Phi_{\max} \sin 2 \pi N t,$$

$$\Phi_{\text{II mom}} = \Phi_{\max} \sin(120 + 2 \pi N t),$$

$$\Phi_{\text{III mom}} = \Phi_{\max} \sin(240 + 2 \pi N t).$$

Die Richtungen der einzelnen Felder im Raume sind entsprechend den Wicklungen in Fig. 90 je um  $120^\circ$  gegeneinander versetzt und durch die Strahlen I, II und III in Fig. 91 angedeutet. Um das resultierende Feld zu finden, werden die momentanen Einzelfelder auf den entsprechenden Richtungen abgetragen:  $\Phi_I$ ,  $\Phi_{II}$  und  $\Phi_{III}$ . Man zerlegt nun zweckmäßigerweise

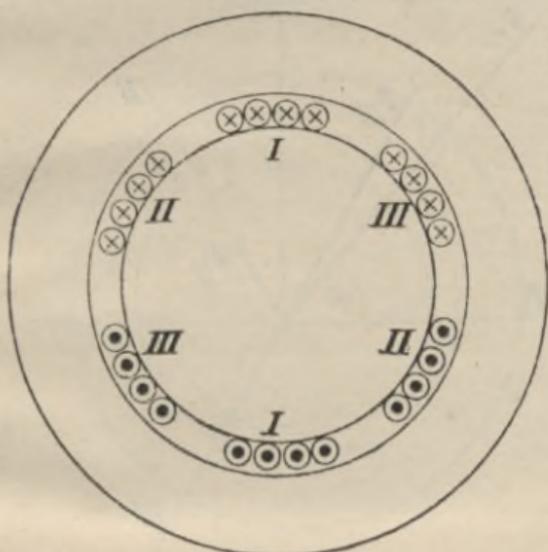


Fig. 90.

diese Felder in senkrechte Komponenten nach der X- und Y-Achse und setzt die Summe dieser Komponenten wieder zusammen zur Resultierenden.

Die Summe der Komponenten in der X-Achse ist dann

$$\begin{aligned}\Phi_x &= \Phi_{I \text{ mom}} - \Phi_{II \text{ mom}} \cos 60^\circ - \Phi_{III \text{ mom}} \cos 60^\circ, \\ &= \Phi_{\max} \sin 2\pi N t - \Phi_{\max} \sin(120^\circ + 2\pi N t) \cos 60^\circ \\ &\quad - \Phi_{\max} \sin(240^\circ + 2\pi N t) \cos 60^\circ, \\ &= \frac{3}{2} \Phi_{\max} \sin 2\pi N t.\end{aligned}$$

Die Summe der Komponenten in der Y-Achse ergibt sich als

$$\begin{aligned}\Phi_y &= \Phi_{\max} \sin(120^\circ + 2\pi N t) \sin 60^\circ \\ &\quad - \Phi_{\max} \sin(240^\circ + 2\pi N t) \sin 60^\circ, \\ &= \frac{3}{2} \Phi_{\max} \cos 2\pi N t.\end{aligned}$$

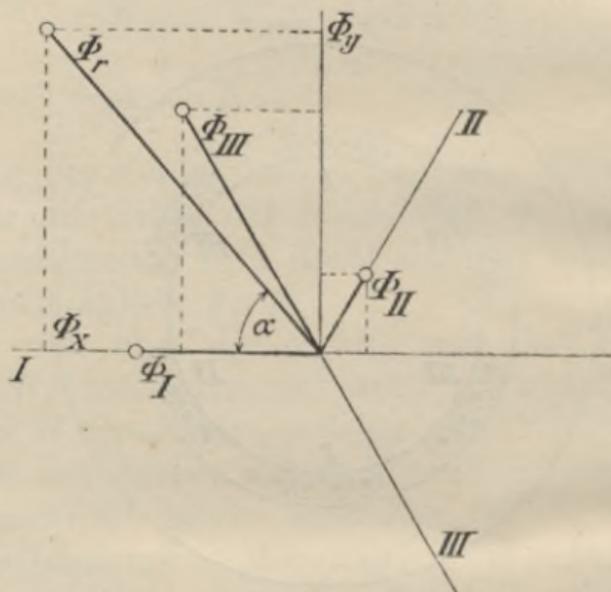


Fig. 91.

Die Größe des resultierenden Feldes ist dann

$$\begin{aligned}\Phi_r &= \sqrt{\Phi_x^2 + \Phi_y^2}, \\ &= \frac{3}{2} \Phi_{\max}.\end{aligned}$$

Also auch hier hat das resultierende Drehfeld eine konstante Größe. Seine Richtung ist wieder gegeben durch einen Winkel  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Phi_y}{\Phi_x} = \frac{\cos 2\pi N t}{\sin 2\pi N t} = \operatorname{ctg} 2\pi N t.$$

Auch dieses Drehfeld dreht sich, wie man sieht, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit.

Die beiden besprochenen Fälle betreffen zweipolige Drehfelder, d. h. das in den Eisenkörpern rotierende Drehfeld besitzt nur einen Nord- und einen Südpol. Es hat jedoch gar keinen Anstand, in derselben Weise auch mehrpolige Drehfelder zu erzeugen. Die Wicklungen sind dann eben nicht um  $90^\circ$  bzw.  $120^\circ$

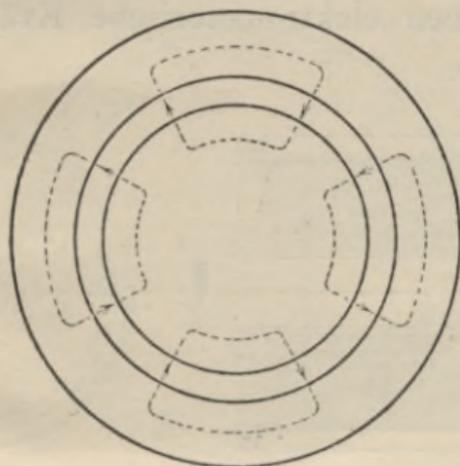


Fig. 92.

gegeneinander versetzt, sondern um Teile davon; beim vierpoligen zweiphasigen Drehfeld also um  $45^\circ$ , beim achtpoligen dreiphasigen Drehfeld um  $30^\circ$ . Den Kraftlinienverlauf eines vierpoligen Drehfeldes deutet Fig. 92 an. Ist die Frequenz des Wechselstromes  $N$ , so rotiert ein  $2p$ -poliges Drehfeld  $\frac{N}{p}$  mal in der Sekunde.

Statt die Wicklung auf dem Mantel einer Eisentrommel anzubringen, wie in Fig. 88 und 90 gezeichnet, läßt sie sich auch auf dem innern Mantel des diese Trommel umgebenden Eisenrings anbringen.

## 38. Der Kurzschlußanker.

Man bringt in ein Drehfeld einen trommelförmigen Körper, der wie der Trommelanker einer Gleichstrommaschine aus Eisenblechen zusammengesetzt ist, und der auf seinem Mantel Kupferstäbe trägt (Fig. 93). Diese Kupferstäbe sind vorn und hinten je mittels eines Kupferringes in leitende Verbindung gebracht. Durch die sich bewegenden Kraftlinien des Drehfeldes werden in diesen Stäben elektromotorische Kräfte induziert,

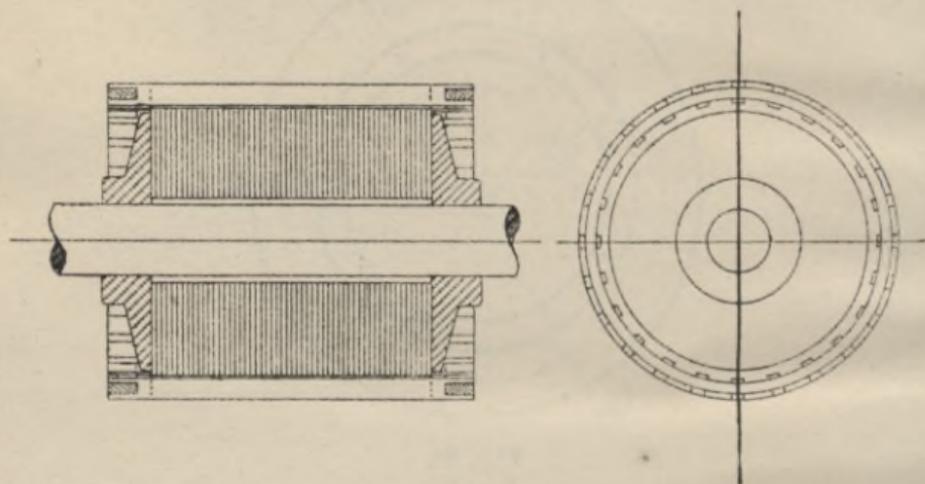


Fig. 93.

und diese haben Ströme zur Folge, welche in den Stäben und den beiden Ringen verlaufen.

Die Richtung dieser Ströme im Verhältnis zum rotierenden Felde ist stets die gleiche. Bewegt sich das Feld im Uhrzeigersinne, so kommt immer da, wo die Kraftlinien in die Trommel eintreten, der Strom in den Stäben von hinten nach vorn (Fig. 94). Auf diese stromdurchflossenen Stäbe, die sich in dem Drehfeld befinden, übt dieses letztere eine Zugkraft aus, deren Richtung sich nach der Dreifingerregel der

linken Hand (Teil I, S. 100) leicht bestimmen läßt. Dadurch wird ein Drehmoment auf die bewegliche Eisentrommel hervorgerufen, infolgedessen sich diese — Rotor genannt — mit ihrer Wicklung dreht, und zwar in der Richtung des Drehfeldes: sie wird von dem Drehfelde mitgenommen.

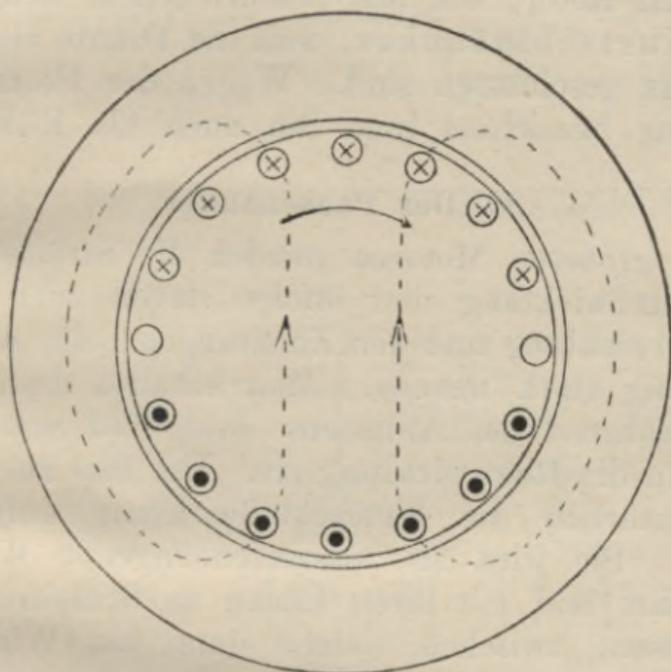


Fig. 94.

Sobald nun aber der Rotor sich gleichsinnig mit dem Drehfelde bewegt, ist die Relativbewegung zwischen Rotordraht und Kraftlinien nicht mehr so groß, wie im Ruhezustand, die EMKe und damit die Ströme werden kleiner. Könnte sich die Bewegung des Rotors bis zum Synchronismus steigern, d. h. so, daß er so schnell wie das Drehfeld rotiert, so würde keine Relativbewegung mehr zwischen Kraftlinien und Rotorstäben stattfinden, die Induktion aufhören, der Strom und

damit die Zugkraft verschwinden. Um also die Bewegung überhaupt aufrecht zu erhalten, muß die Drehgeschwindigkeit des Rotors geringer sein als die des Feldes, der Rotor muß „Schlüpfung“ haben. Er kann also nicht synchron laufen. Einen solchen Motor nennt man deshalb **Asynchronmotor**.

Einen Rotor, wie den beschriebenen, nennt man einen **Kurzschlußanker**, weil die Drähte alle unter sich kurz geschlossen sind. Wegen der Form seiner Wicklung bezeichnet man ihn auch als **Käfiganker**.

### 39. Der Phasenanker.

Bei größeren Motoren würden die Ströme in der Kurzschlußwicklung und infolge davon auch in der Drehfeldwicklung und den Zuleitungen beim Anlaufen übermäßig stark werden. Man schaltet deshalb bei ihnen während des Anlassens einen Widerstand (Anlasser) in die Rotorwicklung ein. Um dies zu können, muß natürlich die Kurzschlußwicklung aufgegeben werden. Sie wird als zusammenhängende Wicklung ausgeführt und mit ihren Enden an Schleifringe angeschlossen, zwischen welche dann ein Widerstand eingeschaltet werden kann.

Man wählt hierzu besonders gern eine dreiphasige Wicklung mit Sternschaltung (Fig. 95). Der eine Verkettungspunkt liegt im Rotor. Die drei freien Enden sind an drei Schleifringe — in der Figur nicht gezeichnet — geführt. An diesen schleifen Bürsten, welche ihrerseits mit den Kontakten eines ebenfalls in Sternschaltung angeordneten Anlaßwiderstandes verbunden sind. Beim Anlassen wird der ganze Widerstand ein- und allmählich, mit Erhöhung der Tourenzahl des Motors, ausgeschaltet.

Durch die Vergrößerung des Widerstandes im Rotorkreis während der Anlaufperiode wird außer

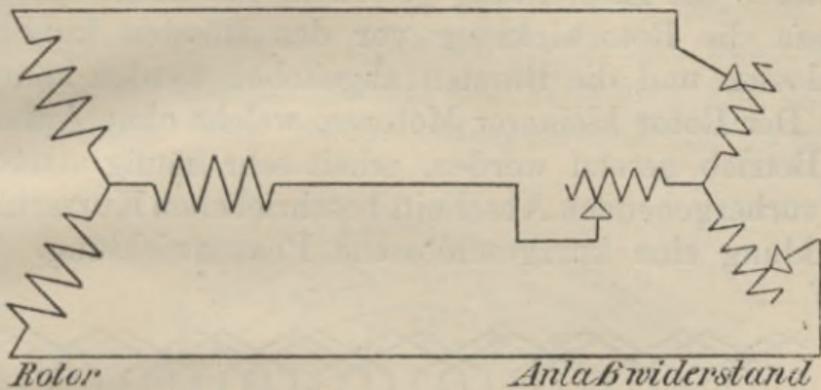


Fig. 95.

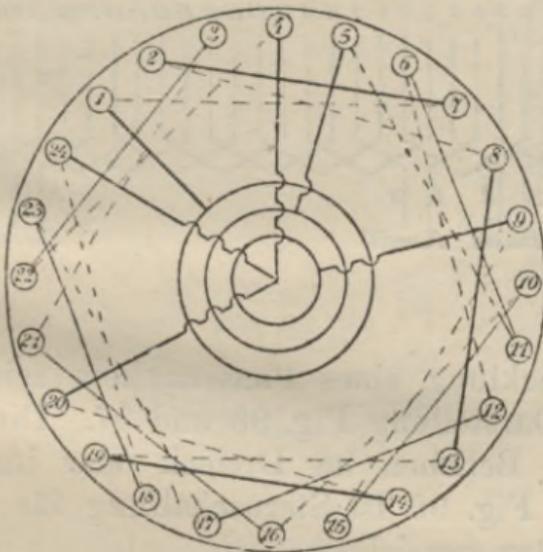


Fig. 96.

dem eben genannten Zweck noch eine Erhöhung des Anzugsmoments erzielt.

Während des Betriebes fließt nun der Rotorstrom aus der Rotorwicklung über die Bürsten zu den kurz-

geschlossenen Kontakten des Anlaßwiderstandes und wieder zurück. Um dies zu vermeiden, ist bei vielen Motoren die Einrichtung getroffen, daß nach dem Anlassen die Rotorwicklung vor den Bürsten kurz geschlossen und die Bürsten abgehoben werden können.

Der Rotor kleinerer Motoren, welche ohne Anlasser in Betrieb gesetzt werden, erhält sehr häufig statt der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Kurzschlußwicklung eine kurzgeschlossene Phasenwicklung.

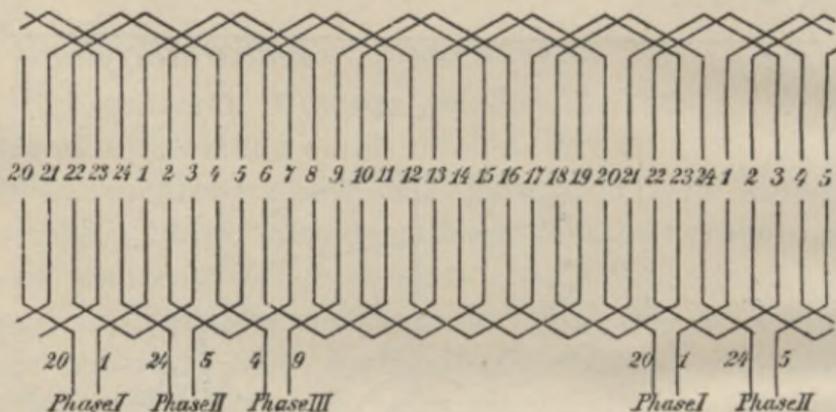


Fig. 97.

Die Wicklung eines Phasenankers zeigt in schematischer Darstellung Fig. 96 und 97. Die Schaltung kann nach Belieben im Dreieck oder im Stern erfolgen. In Fig. 96 ist Sternschaltung für einen acht-poligen Rotor gezeichnet.

#### 40. Der Stator.

Stator, auch Primäranker, nennt man den ruhenden Teil eines Induktionsmotors, dessen Wicklung den Strom aus dem Netze aufnimmt und das Drehfeld

erzeugt. Seine Wicklung muß also so beschaffen sein, daß ein Drehfeld entsteht, dessen Kraftlinien durch den Rotor verlaufen. Der Stator wird deshalb ausschließlich in Form eines Hohlzylinders ausgeführt, an dessen innerem Mantel die Wicklung gut isoliert in Löchern oder Nuten untergebracht ist. Fig. 98

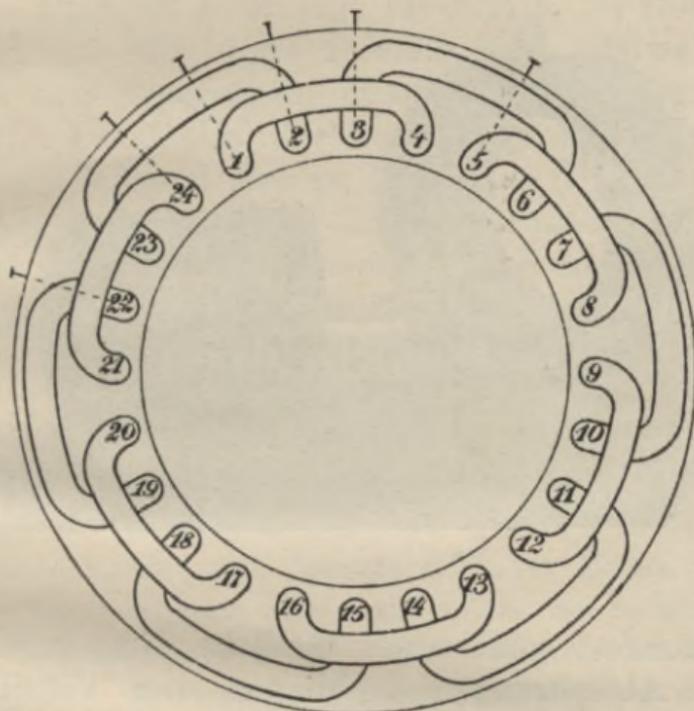


Fig. 98.

stellt einen derartigen Stator für dreiphasigen Wechselstrom dar. Es sind 24 Löcher mit 24 Leitern angenommen, welche ein achtpoliges Drehfeld erzeugen.

Die Verkettung der Wicklung kann in Stern oder Dreieck geschehen. 1 und 22 sind die Enden der ersten Phasenwicklung, 3 und 24 diejenigen der zweiten, 5 und 2 die der dritten Wicklung. Verbindet man 22

mit 3, 24 mit 5 und 2 mit 1, so hat man Dreieckschaltung. Will man dagegen Sternschaltung, so muß 1, 3 und 5 miteinander verbunden und 2, 24 und 2 zu den Klemmen geführt werden.

Wie der Rotor, so ist auch der Stator aus Eisenblechen zusammengesetzt, um die Wirbelstromverluste möglichst klein zu halten. Die Bleche sind in ein

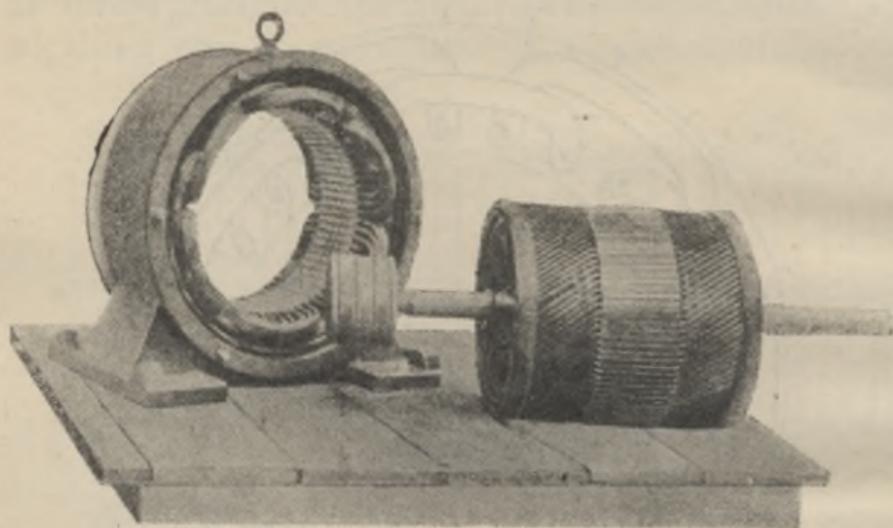


Fig. 99.

meist rundes, gußeisernes Gehäuse eingebaut. Geeignete Aussparungen in diesem und Ventilationschlitze im Anker selbst sorgen für gute Luftkühlung.

Fig. 99 zeigt einen Stator und zugehörigen Rotor mit Schleifringen, gebaut von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vorm. Lahmeyer & Co., in Frankfurt a. M.

#### 41. Das Feld- und Amperewindungsdiagramm des Asynchronmotors.

Nehmen wir zunächst an, der Rotor habe keine Streuung. Wenn er im Betriebe ist, fließen im Stator

und Rotor Ströme  $J_1$  und  $J_2$ , welche Kraftlinien erzeugen. Wären  $J_1$  und  $J_2$  je für sich vorhanden, so würden sie Drehfelder  $\Phi_1$  bzw.  $\Phi_2$  erzeugen. Da sie gleichzeitig da sind, so erzeugen sie miteinander ein resultierendes Drehfeld  $F$ . Dieses allein ist in Wirklichkeit vorhanden, die beiden anderen sind seine Komponenten.

Das Drehfeld  $F$  erzeugt die EMK im Rotor, die demnach um  $90^\circ$  hinter  $F$  drein läuft. Diese EMK erzeugt den Rotorstrom, dieser das gedachte Rotorfeld  $\Phi_2$ . Die EMK des Rotors und sein Strom sind in Phase.  $\Phi_2$  steht also im Diagramm (Fig. 100) senkrecht auf  $F$ .  $\Phi_2$  ist nun tatsächlich nicht vorhanden, sondern setzt sich mit einem vom Statorstrom her rührenden Felde  $\Phi_1$  zu dem Feld  $F$  zusammen. Dieses  $\Phi_1$  ist also (Fig. 100) nach Größe und Richtung gegeben, wenn  $F$  und  $\Phi_2$  bekannt sind.

Noch mehr als beim Transformator muß jedoch hier die Streuung berücksichtigt werden. (Vergl. S. 94 f.)

Bedeutet in Fig. 101  $\Phi_2$  das fiktive Feld, welches vom Rotorstrom und dessen AW im Rotor erzeugt würde, wenn dieser allein da wäre, so bedeutet die dazu senkrechte Linie  $F_2$  das wirklich vorhandene resultierende Rotorfeld. Dieses entsteht aus dem Zusammenwirken des fiktiven Rotorfeldes  $\Phi_2$  mit dem vom Stator herrührenden fiktiven Felde. Es muß also  $v_1 \Phi_1$  dieses vom Stator herrührende Feld bedeuten. (Vergl. das analoge Transformator diagramm S. 94 f.)

Nun ist  $v_1 \Phi_1$  nur derjenige Teil des fiktiven Statorfeldes, der vom Stator in den Rotor übertritt. Im Stator selbst würde durch die Stator-AW das etwas größere Feld  $\Phi_1$  erzeugt werden. Das im Stator wirklich vorhandene Feld  $F_1$  erhält man nun, wenn

man das fiktive Statorfeld  $\Phi_1$  mit demjenigen Teile des fiktiven Rotorfeldes  $v_2\Phi_2$ , der aus dem Rotor in den Stator übertritt, zusammensetzt. Man sieht, das

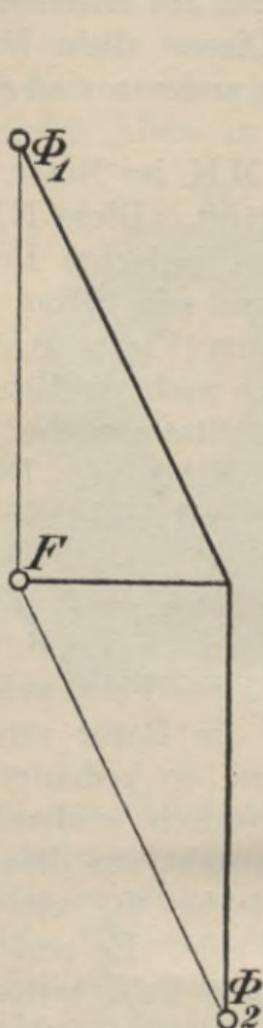


Fig. 100.

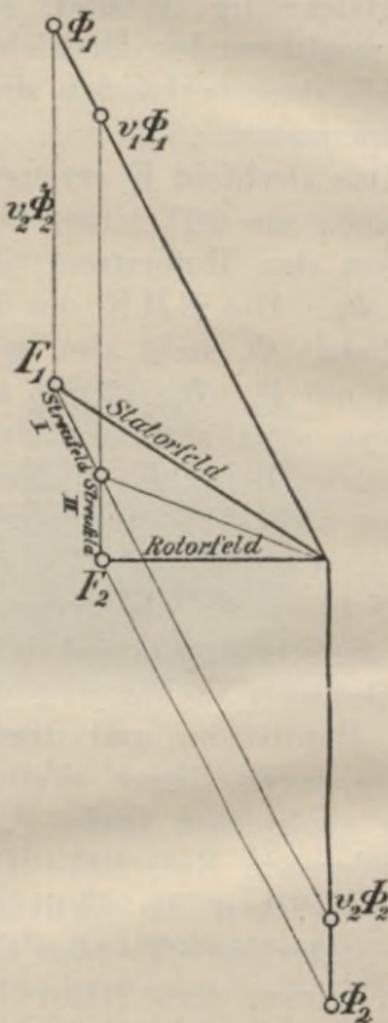


Fig. 101.

resultierende Rotorfeld ist nicht identisch mit dem Statorfelde (vergl. S. 95).

Die Streufelder sind aus der Figur ebenfalls ersichtlich. Es bedeutet Streufeld I diejenigen Kraft-

linien, welche aus dem Stator nicht in den Rotor übertreten, Streufeld II diejenigen, welche vom Rotor nicht in den Stator übergehen. Dieses Diagramm stellt gleichzeitig das AW-Diagramm dar, wenn man, wie S. 33 unten, die Felder proportional und gleichgerichtet mit den AW setzt. (Man vergleiche hiermit das Diagramm des Transformators Fig. 80 c, S. 100.)

Man kann aus dem Diagramm noch ein wichtiges Stück, das sog. Stromdreieck, herauschälen, welches die drei Ströme: Statorstrom  $J_1$ , Rotorstrom  $J_2$  und Leerlaufstrom  $J_0$  enthält.

Das Feld  $v_1 \Phi_1$  verläuft so, daß es sowohl die Statorwicklung als die Rotorwicklung durchsetzt. Genau ebenso das Feld  $v_2 \Phi_2$ . Beide Kraftlinienfelder verlaufen also im gleichen Raume. Die Aufnahme-

fähigkeit dieses Raumes für Kraftlinien sei  $M_f$  (siehe Teil I, S. 78), dann ist

$$v_1 \Phi_1 = M_f \cdot J_1 z_1,$$

$$v_2 \Phi_2 = M_f \cdot J_2 z_2.$$

Betrachtet man das Dreieck ABC (Fig. 102), so ist leicht zu sehen, daß

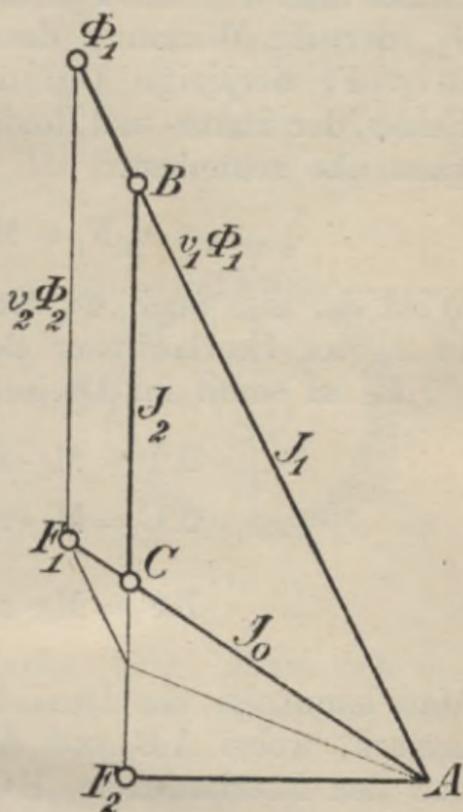


Fig. 102.

$$AB = v_1 \Phi_1,$$

$$BC = v_1 \cdot v_2 \Phi_2,$$

$$AC = v_1 F_1.$$

Denkt man sich nun  $F_1$  herrührend von einem Strome  $J_0$ , der die Wicklung des Stators durchfließt, dann ist  $v_1 F_1$  derjenige Teil des von ihm geschaffenen Feldes, der Stator- und Rotorwicklung durchsetzt. Man kann also schreiben:

$$v_1 F_1 = M_f \cdot J_0 z_1.$$

Wird  $J_2$ , also auch  $\Phi_2$  Null, so wird  $\Phi_1 = F_1$ , also ist  $J_0$  der Leerlaufstrom des Asynchronmotors.

Es ist somit im Dreieck ABC

$$AB = M_f \cdot z_1 \cdot J_1,$$

$$AC = M_f \cdot z_1 \cdot J_0,$$

$$BC = M_f \cdot z_1 \cdot v_1 \frac{z_2}{z_1} J_2.$$

Man kann also das Dreieck auffassen als ein Stromdreieck, wobei AB und AC direkt den Statorstrom und den Leerlaufstrom, BC den Rotorstrom multipliziert mit  $v_1 \cdot \frac{z_2}{z_1}$  darstellt.

Dieses Dreieck ist die Grundlage des von Heyland zuerst angegebenen und seither vielfach modifizierten Heylandschen Diagramms, das eine bequeme Übersicht über sämtliche für den Asynchronmotor wichtige Größen, wie Drehmoment, Schlüpfung, primär zuzuführende Leistung, Ströme bei verschiedenen Belastungen, gewährt.

## Der Synchronmotor.

### 42. Der Betrieb des Synchronmotors.

Schickt man in einen zweipoligen Ringanker mit Grammescher Wicklung über zwei Schleifringe Wechselstrom und erregt die beiden Pole mit Gleichstrom, so wird im ersten Moment (s. Fig. 103) ein Drehmoment im Uhrzeigersinne ausgeübt. Im nächsten Moment, nach der Zeit  $\frac{1}{2}T$ , wenn der Strom seine Richtung

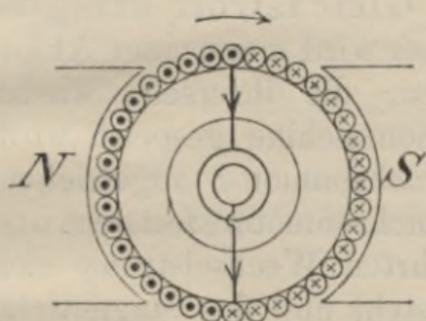


Fig. 103.

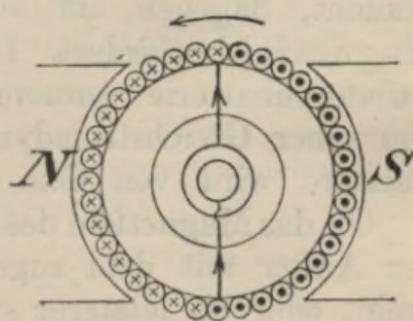


Fig. 104.

gewechselt hat (Fig. 104), der Anker aber noch ungefähr dieselbe Stelle wie zu Anfang einnimmt, wird ein Zug in entgegengesetztem Sinne erfolgen. Gleich darauf wieder einer in der ersten Richtung, dann in der zweiten usf. Es tritt also ein Oszillieren des Ankers, keine Drehung ein.

Hat jedoch der Anker während der ersten Halberiode Zeit gehabt, eine halbe Drehung zu vollziehen, so befinden sich nunmehr, nach dem Wechsel der Stromrichtung im Anker, unter jedem Pole wieder Leiter, die in derselben Richtung vom Strome durchflossen werden, wie zu Anfang. Das Drehmoment behält also seine alte Richtung, und der Drehsinn bleibt

konstant. Also: stimmt die Periodenzahl des Stromes und die Umdrehungszahl des Ankers einer zweipoligen Maschine miteinander überein, oder: ist die Umdrehungszahl des Motors und des Generators (gleichviel Pole bei beiden vorausgesetzt) gleich, laufen beide, wie man sagt, synchron, so ist ein geregelter Betrieb des Motors möglich.

Ein solcher Wechselstrommotor heißt ein Synchronmotor. Er ist vor allem dadurch gekennzeichnet, daß er zwar im Anker Wechselstrom verbraucht, dagegen ein von Gleichstrom erregtes Magnetfeld erfordert. Dieser wird meist einer Akkumulatorenbatterie entnommen, die ihrerseits wieder von einer Gleichstromdynamomaschine gespeist wird. Letztere wird von dem Synchronmotor angetrieben.

Ob das Magnetfeld des Synchronmotors feststeht und der Anker mit dem zugeführten Wechselstrom sich dreht, oder ob letzterer stillsteht und das Magnetfeld, als Innenpolfeld, rotiert, ist prinzipiell gleichgültig.

Aus dem Vorstehenden ist ersichtlich, daß ein Synchronmotor nicht ohne weiteres an ein Wechselstromnetz angeschlossen werden kann. Der Motor muß vielmehr vor dem Einschalten in Umdrehung versetzt werden, und zwar muß seine Tourenzahl den Synchronismus erreicht haben, ehe man ihn einschalten kann. Wird er übermäßig belastet, so kann der Fall eintreten, daß er aus dem Tritt kommt und schließlich stehen bleibt.

Die gewöhnliche Einrichtung bei großen Synchronmotoren ist die, daß mit einem solchen eine Gleichstrommaschine gekuppelt ist, die sowohl als Generator wie als Motor betrieben werden kann. Außerdem muß eine Gleichstromquelle vorhanden sein. Will

man den Betrieb aufnehmen, so wird zunächst die Gleichstrommaschine z. B. an Akkumulatoren an-

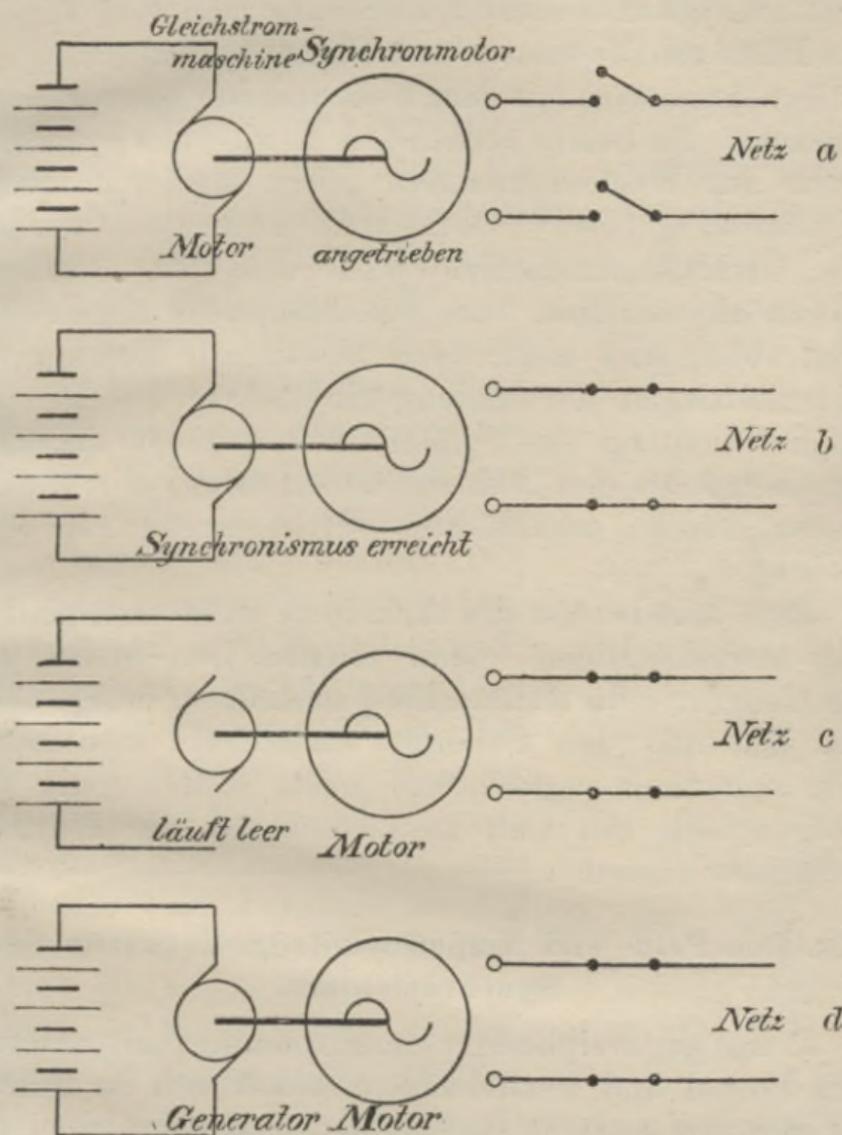


Fig. 105.

geschlossen und erhält von ihnen Strom. Sie läuft also als Motor (Fig. 105a) und versetzt den großen

Synchronmotor, der natürlich noch nicht belastet ist, in Umdrehung. Der Synchronmotor wird nun erregt, läuft also als unbelasteter Generator und wird nun — mit Hilfe von Voltmeter und Phasenlampen (S. 85) — auf Synchronismus mit dem Netz und auf Netzspannung gebracht. Ist beides vorhanden, so wird der Synchronmotor ans Wechselstromnetz gelegt und von diesem gespeist (Fig. 105b). Nun kann er belastet werden. Die Gleichstrommaschine wird von den Akkumulatoren abgeschaltet, vom Synchronmotor angetrieben (Fig. 105c) und kann nach Bedarf zur Ladung der Akkumulatoren Verwendung finden (Fig. 105d). Die Magnetwicklung des Synchronmotors steht natürlich fortgesetzt mit den Akkumulatoren bzw. der Gleichstrommaschine, sobald diese Strom erzeugt, in Verbindung.

Eine andere Art des Anlaufens kann man manchmal bewerkstelligen. Man schaltet den Motor und den Generator im Ruhezustand zusammen, erregt beide und läßt nun den Generator anlaufen. Der Motor setzt sich dann zugleich mit jenem in Bewegung und arbeitet sich mit ihm zusammen auf die Betriebs-tourenzahl hinauf.

#### 43. Das Feld- und Amperewindungsdiagramm des Synchronmotors.

Wenn ein dreiphasiger Synchronmotor mit rotierendem Polrad und feststehendem Anker sich im Betrieb befindet, so entsteht durch das Zusammenwirken der von den Erregeramperewindungen herrührenden rotierenden Polfeder und der stromdurchflossenen Dreiphasenwicklung des Ankers ein resultierendes Drehfeld  $\Phi$ , das im Diagramm (Fig. 106) die Größe und

Richtung OA haben möge. Wenn die Phasenspannung unter Vernachlässigung des Ohmschen Verlustes gleich  $E_{\text{eff}}$ , d. h. der in den Ankerdrähten induzierten EMK ist, so ist das Feld  $\Phi_{\text{max}}$  zu bestimmen aus der Gleichung

$$E_{\text{eff}} = 4,44 \cdot N z \Phi_{\text{max}} 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Diese Spannung läuft dem Felde um  $90^\circ$  voraus (s. S. 35) und ist durch den Vektor OB dargestellt.

Der Vektor OA soll nun gleichzeitig diejenigen AW vorstellen, welche nötig wären, um das wirklich vorhandene Feld  $\Phi_{\text{max}}$  zu erzeugen. In einem bestimmten Falle sei die Größe und Richtung des Ankerstromes gegeben durch den Vektor OC, der gleichzeitig auch die von ihm geschaffenen AW darstellen soll. Mit diesen Anker-AW zusammen wirken die Erreger-AW so, daß das Feld  $\Phi$  entsteht. Man erhält also diese Erreger-AW, wenn man die Schlußlinie des Dreiecks AC oder eine Parallele zu AC durch O, OD, zieht. Es stellt dann

- OC die Anker-AW,
- OD „ Erreger-AW,
- OA „ resultierenden AW

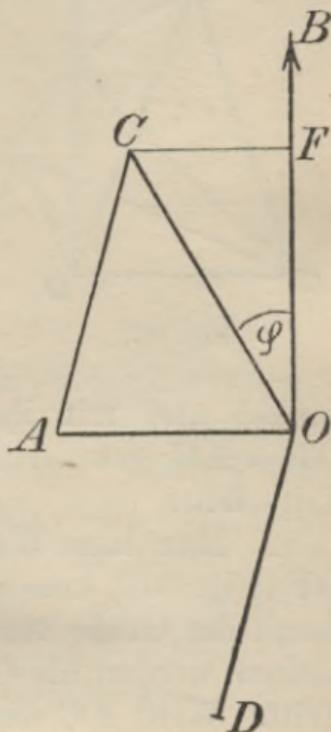


Fig. 106.

dar. Die letzteren erzeugen das Feld  $\Phi_{\text{max}}$  (vergl. S. 81).

Bei Belastung des Motors ist der ihm zugeführte elektrische Effekt proportional  $J_{\text{eff}} E_{\text{eff}} \cos \varphi$ . Ist  $E_{\text{eff}}$ , wie wir voraussetzen, bei jeder Belastung konstant, so ist  $J_{\text{eff}} \cos \varphi$  ein Maß für die Belastung des Motors.

Es liegt auf  $OB$ , dem Vektor von  $E$ .  $OF$  ist die Projektion von  $OC$  auf diesen, ist also ein Maß für  $J_{\text{eff}} \cos \varphi$  und damit für die Belastung des Motors.

Man sieht nun aus diesem Diagramm zweierlei:

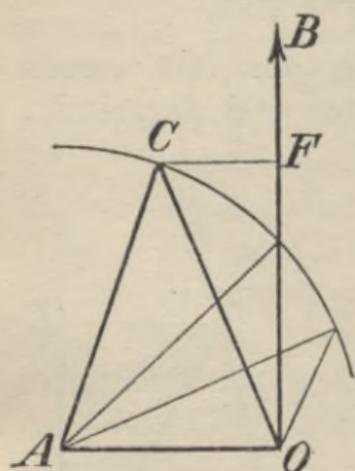


Fig. 107.

1. Man lasse  $OD$  bzw.  $AC$ , die Erreger-AW, konstant (Fig. 107), verkleinere aber die Belastung des Motors. Dadurch wird die Wattkomponente  $OF$  des Stromes immer kleiner; es wird aber auch der Gesamtstrom kleiner und mit ihm der Phasenwinkel. Letzterer wird schließlich Null, und es kann sogar dahin kommen, daß  $J$  vor der Spannung vorausläuft. Belastet man dagegen den Motor

mehr, so wird der Phasenwinkel und mit ihm der Gesamtstrom größer, bis  $OF = AC$  geworden ist, worauf der Motor aus dem Tritt fällt.

2. Man lasse die Belastung des Motors, also auch  $OF$  (Fig. 108) konstant, ändere aber die Erregung und damit die Größe von  $AC$ . Man sieht,  $AC$  kann nicht kleiner werden als  $OF$ , sonst fällt der Motor aus dem Tritt. Wird  $AC$  dagegen größer, so wird  $OC$  kleiner, ebenso der Winkel  $\varphi$ , bis dieser gleich Null geworden ist und  $OC = OF$ . Läßt man  $AC$  weiter wachsen, so erhält  $OC$  eine Phasenvoreilung, die beliebig groß gemacht werden könnte, wenn  $AC$  das erlauben würde.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß beim Synchronmotor jede beliebige Phasenverschiebung zwischen

Strom und Spannung erzielt werden kann, und besonders, daß der Motor mit Voreilung des Stromes vor der Spannung arbeiten, d. h. wie ein Kondensator wirken kann. Man benützt diese Eigentümlichkeit

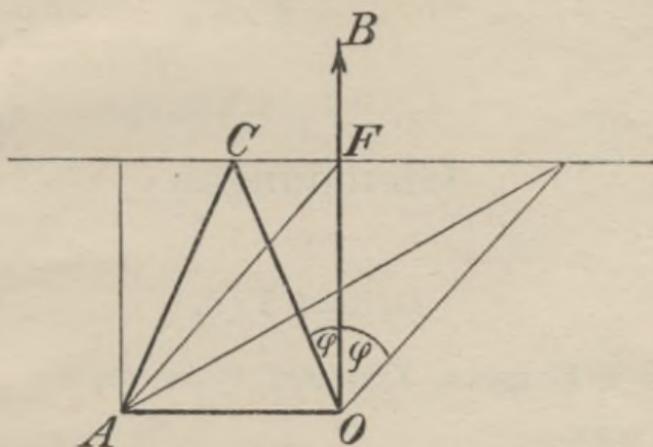


Fig. 108.

sehr häufig, um den Einfluß der Selbstinduktion in Wechselstromkreisen zu kompensieren und damit den Leistungsfaktor der Einheit zu nähern. Diese Phasenvoreilung ist zu erzielen durch Steigerung des Erregerstromes. Man nennt den Motor in diesem Falle übererregt.

# Gleichungen.

## Dritter Teil.

	Seite
1. $\frac{1}{T} = N$ Frequenz, Zykelzahl, Periodenzahl . . . . .	7
2. $a = 2 \pi N_s t$ . . . . .	7
3. $E_{\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t 10^{-8}$ Volt . . . . .	8
4. $\Phi_{\text{mom}} = \Phi_{\text{max}} \cos 2 \pi N t$ . . . . .	10
5. $E = -z \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8}$ Volt . . . . .	10
6. $E_{\text{mom}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} \sin 2 \pi N t 10^{-8}$ Volt . . . . .	10
7. $E_{\text{max}} = 2 \pi N z \Phi_{\text{max}} 10^{-8}$ Volt . . . . .	10
8. $J_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \sqrt{2} J_{\text{max}}$ . . . . .	37
9. $E_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \sqrt{2} E_{\text{max}}$ . . . . .	37
10. $E_{\text{eff}} = 4,44 N z \Phi_{\text{max}} 10^{-8}$ Volt . . . . .	38
11. $A_s = J_{\text{eff}} D_{\text{eff}} \cos \varphi$ Watt . . . . .	39
12. $A_h = \eta N V B^{1,6} 10^{-7}$ Watt . . . . .	41
13. $E_{\text{max}} = 2 \pi N L J_{\text{max}}$ Volt . . . . .	47
14. $E_{\text{eff}} = 2 \pi N L J_{\text{eff}}$ Volt . . . . .	47
15. $J_{\text{eff}} = 2 \pi N C E_{\text{eff}}$ Amp. . . . .	48
16. $D_{\text{max}} = J_{\text{max}} \sqrt{W^2 + \left(2 \pi N L - \frac{1}{2 \pi N C}\right)^2}$ Volt . . . . .	52

- |  | Seite |
|--|-------|
| 17. $J_{\text{eff}} = \frac{D_{\text{eff}}}{\sqrt{W^2 + \left(2\pi N L - \frac{1}{2\pi N C}\right)^2}}$ Amp. . . . . | 52    |
| 18. $\text{tg } \varphi = \frac{2\pi N L - \frac{1}{2\pi N C}}{W}$ . . . . .   | 52    |
| 19. Impedanz = $\sqrt{W^2 + 4\pi^2 N^2 L^2}$ . . . . .   | 53    |
-

# Bedeutung der benutzten Buchstaben.

## Dritter Teil.

l	Länge in Zentimetern
p	Zahl der Polpaare
q	Querschnitt in Quadratcentimetern
t	Zeit in Sekunden
v	Streuungskoeffizient
z	Windungszahl
A	Arbeit, Energie
$A_h$	Hysteresiseffekt
$A_h + w$	Hysteresis- und Wirbelstromeffekt
$A_{mom}$	Momentane Arbeit während der Zeit $dt$
$A_s$	Arbeit pro Sekunde, Effekt, Leistung
AW	Amperewindungen
B	Feldstärke, magnetische Induktion
C	Kapazität
D	Spannung, Klemmenspannung
$D_{eff}$	Effektivwert der Spannung
$D_{mom}$	Momentanwert der Spannung
$D_{max}$	Maximalwert der Spannung
E	EMK
$E_{eff}$	Effektivwert der EMK
$E_{max}$	Maximalwert der EMK
$E_{mom}$	Momentanwert der EMK
F	Kraftlinienfeld
EMK	Elektromotorische Kraft
G	Leitfähigkeit
J	Strom

$J_{\text{eff}}$	Effektivwert des Stromes
$J_{\text{max}}$	Maximalwert des Stromes
$J_{\text{mom}}$	Momentanwert des Stromes
$J_a$	Ankerstrom
$J_a Z_a$	Anker-AW
$J_m$	Erreger(Magnet)strom
$J_m Z_m$	Erreger-AW
$L$	Selbstinduktionskoeffizient
$M_t$	Magnetisierungsfähigkeit
$N$	Frequenz, Zykelzahl, Periodenzahl
$N_s$	Umdrehungen pro Sekunde
$R$	Reluktanz, magnetischer Widerstand
$T$	Periode eines Wechselstromes
$V$	Volumen in $\text{cm}^3$
$W$	Widerstand in Ohm
$\alpha$	Winkel
$\eta$	Steinmetzsche Konstante für Hysteresiseffekt
$\mu$	Permeabilität
$\pi$	Kreiskonstante
$\varphi$	Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung
$\Phi$	Kraftlinienzahl, Kraftlinienfeld
$\Phi_{\text{max}}$	Maximale Kraftlinienzahl
$\Phi_{\text{mom}}$	Momentane Kraftlinienzahl
$\Phi_a$	Ankerfeld
$\Phi_m$	Magnetfeld
$\Phi_r$	Resultierendes Feld

---

# Alphabetisches Register.

Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.

- Alternator 54.  
Amperewindungsdiagramm für den Asynchronmotor 122 ff.  
— — — Generator 80 ff.  
— — — Induktionsmotor 122 ff.  
— — — Synchronmotor 130 ff.  
— — — Transformator 91 ff.  
Amplitude der Sinuskurven 20.  
Anker des Generators 54 ff.  
— — Motors 116, 118, 120.  
—, Kurzschluß- 116.  
—, Phasen- 118.  
Ankerfeld 80.  
Ankerreaktion 79.  
Ankerrückwirkung 79.  
Ankerwicklung des Generators 54, 55 ff.  
Anlaufen des Synchronmotors 128.  
Anlasser 118.  
Anlaßwiderstand 118.  
Arbeitsübertragung 40, 89.  
Armatur 54 ff. s. Anker.  
Asynchronmotor 110 ff., 118.  
Ausgleichsströme, Watt- 85.  
—, wattlose 84.  
Darstellung, graphische, des Wechselstromes 6, 19 ff.  
Definition des Wechselstromes 5.  
Diagramm für Wechselströme 19.  
Diagramme des Asynchronmotors 122 ff.  
— — Generators 80 ff.  
— — Induktionsmotors 122 ff.  
— — Synchronmotors 130 ff.  
— — Transformators 91 ff.  
Drehfeld 110 ff.  
—, mehrpolig 115.  
Drehstrom 15.  
Drehstromgenerator 58.  
Drehstrommotor 110 ff.  
Drehstromtransformator 106 ff.  
Dreieckschaltung 16, 27.  
— eines Generators 58.  
— des Stators 121.  
Dreiphasenstrom 15, 72.  
—, Darstellung im Diagramm 22.  
Dreiphasenstromgenerator 58.  
Dreiphasiger Wechselstrom 15, 22.  
Drosselspule 35.  
Effekt des Wechselstromes 39.  
Effektivwert 36.  
Einfluß der Hysteresis 35.  
Einphasenstrom 71.  
Einphasenstromgenerator 58.  
Einphasentransformator 87 ff.  
Einphasiger Wechselstrom 8, 58, 71.  
Einschalten des Asynchronmotors 118 f.  
— — Synchronmotors 128.  
Eisenverluste 40.  
— beim Transformator 98, 104.  
EMK des Generators 70 ff.  
—, Grundgleichung 10.  
— des Transformators 88.  
Energieverluste im Transformator 104.  
Erreger-AW des Generators 80, des Synchronmotors 130 f.  
Erregerfeld des Generators 80, des Synchronmotors 131.  
Erregermaschine 55, 63.  
Erregung des Synchronmotors 130.  
Erwärmung von Transformatoren 104.  
Erzeugung von Wechselstrom 7.

- Feld, fiktives 123.  
 —, resultierendes 123.  
 Felddiagramm des Asynchronmotors 122 ff.  
 — — Generators 80 ff.  
 — — Induktionsmotors 122 ff.  
 — — Synchronmotors 130 ff.  
 — — Transformators 91 ff.  
 Feldmagnete 60.  
 Foucaultströme siehe Wirbelströme.  
 Frequenz 6, 9.
- Generator für Einphasenstrom** 58.  
 — — Dreiphasenstrom 58.  
 —, Aufbau des 56.  
 Generatordiagramm 80 f.  
 Geschlossene Verkettung 18.  
 Gesetze des Wechselstromes 5.  
 Gleichpoltype 55, 66.  
 Graphische Darstellung des Wechselstromes 6, 19.
- Halbwelle** 9.  
 Heylandsches Diagramm 126.  
 Hochspannung 89.  
 Hochspannungsmaschinen 56.  
 Hysterese beim Transformator 97.  
 —, Einfluß der 25, 35.  
 Hysteresiseffekt 41.  
 Hysteresisverlust 97.  
 Hysteresiswinkel 23, 35, 41.
- Impedanz** 50.  
 Induktionslose Belastung 9, 98 f.  
 Induktionsmotor 110.  
 Induktive Belastung 101.  
 Induktive Reaktanz 46.  
 Induktortype 54, 67.  
 Innenpolmaschine 56, 60.
- Käfiganker** 118.  
 Kapazität 43.
- Kapazitätsreaktanz 48.  
 Kerntransformator 90.  
 Klemmenspannung der Wechselstrommaschine 81 ff.  
 —, Änderung der, beim Transformator 104.  
 Kondensator 43.  
 Konduktanz 49.  
 Kraftlinienfeld siehe Feld.  
 Kraftübertragung 40, 89.  
 Kupferverluste 103.  
 Kurve der EMK beim Generator 75, 77.  
 Kurzschlußanker 116 f.
- Leerlauf eines Transformators** 95.  
 Leerlaufdiagramm des Transformators 95 f.  
 Leerlaufstrom des Asynchronmotors 126.  
 — — Transformators 97.  
 Leistung des Wechselstromes 38.  
 Leistungsfaktor 40, 53.  
 Leitfähigkeit 9, 49.  
 Leitungsstrom 29.
- Magnetfeld beim Generator** 80.  
 — — Synchronmotor 131.  
 Magnetformen 60 ff.  
 Magnetisierungsstrom 23.  
 — beim Transformator 97.  
 Magnetrad 56, 60.  
 Magnetwicklung 54, 62, 66.  
 Manteltransformator 91.  
 Mehrphasenstrom 10.  
 —, verkettet 16.  
 Mehrphasenstromgenerator 54.  
 Mehrphasentransformator 105 ff.  
 Mehrphasiger Wechselstrom 10 ff.  
 Mordeymaschine 63.  
 Motoren 109 ff.
- Ohmscher Spannungsabfall im Anker** 79.  
 Ölkühlung 105.
- Parallelschalten von Generatoren** 83.  
 Periode 6.  
 Periodenzahl 6, 9.  
 — von Generatoren 73 f.  
 Phase 9.  
 Phasenanker 118 ff.  
 Phasengleichheit zwischen Strom u. Spannung 9.  
 Phasenlampe 85 f.  
 Phasennacheilung 23, 34.  
 Phasenverschiebung zwischen Strom u. Spannung 32, 34.  
 — beim Synchronmotor 133.  
 — — zweiphasigen Wechselstrom 13.  
 — — dreiphasigen Wechselstrom 16.  
 Phasenvoreilung 45.  
 — beim Synchronmotor 132 f.  
 Phasenwinkel 34, 52.  
 Polkern 60.  
 Polschuh 62.  
 Polwechsel 9.  
 Primäranker 120.  
 Primärspule eines Transformators 87.
- Reaktanz, induktive** 46.  
 —, Kapazitäts- 48.  
 Regulierung d. Wechselstrommaschinen 81 ff.  
 Reluktanz 46.  
 Resultierende AW im Generator 81.  
 — — Induktionsmotor 125.  
 — — — Synchronmotor 131.  
 — — — Transformator 93.  
 Resultierendes Feld im Generator 80.  
 — — Induktionsmotor 123.  
 — — — Synchronmotor 131.  
 — — — Transformator 93.  
 Rotor 117.
- Neutrale Zone** 11.

- Scheinbarer Widerstand 52.  
 Schleifringe 9, 54, 60, 118.  
 Schlüpfung 118.  
 Schwungradgenerator 62.  
 Sekundärspule eines Transformators 88.  
 Selbstinduktion 34, 50.  
 Selbstinduktionskoeffizient 46.  
 Sinusgesetz 7.  
 Sinuslinie 7.  
 Spannung siehe Klemmenspannung, EMK.  
 Spannungsabfall, Ohmscher 79.  
 Spannungsänderung im Transformator 104.  
 Stator 120.  
 Steinmetz 41.  
 Sternschaltung 18, 30.  
 — eines Generators 58.  
 — — Stators 122.  
 Streufeld siehe Streuung.  
 Streuung beim Asynchronmotor 123.  
 — — Transformator 94.  
 Stromdreieck 125.  
 Stromwärme 36.  
 Synchronismus 85, 117, 128.  
 Synchronmotor 127 ff.  
 —, Diagramm des 130 ff.
- Temperaturerhöhung eines belasteten Transformators 104.  
 Transformator 86 ff.  
 Transformatorprogramme 91 ff.  
 Typen von Transformatoren 90 f.  
 — — Wechselstrommaschinen 53 ff.
- Überregter Synchronmotor 133.  
 Umdrehungszahl des Drehfeldes 115.  
 — der Generatoren 9, 74.  
 Umformer 68.
- Vektordiagramme 19 ff., 27 f., 31, 34, 35.  
 Verkettung von Mehrphasenströmen 16.  
 Verkettungspunkt 18.  
 Verluste im Generator 83.  
 — — Transformator 103 f.  
 Vierphasenstrom 13, 72.
- Wattkomponente 40, 46, 97.  
 Wattlose Komponente 40, 46, 98.  
 Wechselpoltype 55.  
 Wechselstrom, Definition 5.  
 —, Erzeugung 7, 10.
- Wechselstrommaschine siehe Generator.  
 Wechselstrommotoren 109 ff., siehe auch Asynchronmotor, Induktionsmotor, Synchronmotor.  
 Wechselstromtransformator siehe Transformator.  
 Welle des Wechselstromes 6.  
 Wicklung eines Generators 59.  
 — — Phasankers 119 f.  
 — — Transformators 87, 108.  
 Widerstand, scheinbarer 52.  
 —, Ohmscher 9.  
 Wirbelstromverluste 42.  
 — beim Transformator 97.  
 Wirkungsgrad des Generators 83.  
 — — Transformators 104.
- Zusammensetzung von Wechselspannungen 30.  
 — — Wechselströmen 26.  
 Zweiphasenstrom 11, 15, 71 f.  
 —, Darstellung im Diagramm 21.  
 Zykelzahl 6.

# Empfehlenswerte Lehranstalten

## **Rheinisch. Technikum Bingen.**

Höhere Fachschule für Elektrotechnik und Maschinenbau. Programme kostenfrei.

## **Städt. höheres technisches Institut zu Cöthen.**

Akadem. Lehranstalt. Ingenieur-Examen. 25 Dozenten. ca. 500 Studierende.

## **Elektrotechnische Lehr- und Untersuchungs-Anstalt des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M.**

Theoretische Ausbildung für Monteure, Revisoren, Werkmeister, Mechaniker, selbständige Installateure usw. — Dauer des Kursus 9 Monate. — Lehrplan und Aufnahmebedingungen durch das Sekretariat zu beziehen.

# Empfehlenswerte Lehranstalten

## **Technikum Mittweida** (K.Sachsen).

Direktor: Prof. Holzt.

**Höhere technische Lehranstalt für Elektro- und Maschinentechnik.** Lehrpläne für Elektro-Ingenieure, Masch.-Ingenieure, Bureau- u. Betriebstechniker u. Werkmeister. Reich ausgestattete Elektrotechnische und Maschinenbau-Laboratorien. Lehrfabrikwerkstätten. Frequenz: 3610 Besucher im 36. Schuljahr. Programme usw. kostenlos d. d. Sekretariat.

## **Technikum Strelitz, Strelitz** i.M.

**Höhere und mittlere Fachschule, Abteilung für Maschinen- und Elektro-Ingenieure, Techniker, Werkmeister usw.** Lehrwerkstatt, Laboratorien. Eintritt täglich. Einzelunterricht, Abgekürztes Studium. Programme kostenlos vom Sekretariat.

# Körting & Mathiesen

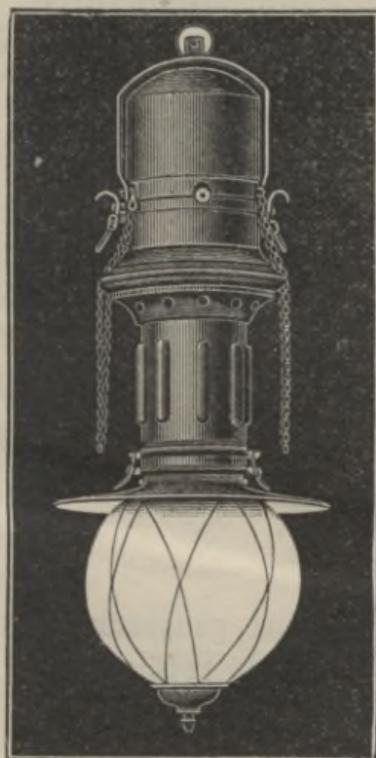
— Aktien-Gesellschaft —

Leutzsch=Leipzig.

Grösste und älteste Spezialfabrik für

## Bogenlampen.

**Excello-Flammenbogenlampe**  
mit nebeneinanderstehenden Kohlen  
für Gleich- und Wechselstrom.



**Excello-Flammenbogenlampe**  
mit nebeneinanderstehenden Kohlen  
für Gleich- und Wechselstrom.

16 Medaillen und Diplome.

— Vertreter in allen Kulturstaaten. —

Preisliste nur an Installateure.

# Dr. Alb. Lessing

Fabrik galvanischer Kohlen

NÜRNBERG

Spezialitäten :

Galvanische Kohlen für Elemente,  
Beleuchtungskohlen,  
Kohle - Schleifkontakte, Kohle - Elektroden.

Kohleformen  
zum Karbonisieren  
der  
Glühlampenfäden  
und  
Trocken - Elemente  
(Dr. Lessings  
Dauer-Elemente)



Anfertigung aller  
sonstigen Arten  
galvanischer und  
elektrischer Kohlen  
bis zu den größten  
Abmessungen unter  
höchstem Druck.

Preislisten und Muster gangbarer Arten unberechnet  
und postfrei.

Bei genauer Angabe des Gewünschten gebe ich auch  
für besonders anzufertigende Gegenstände den Preis  
im Voraus an.

# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Literaturgeschichte, Portugiesische,** von Dr. Karl v. Reinhardstoettner, Professor an der Kgl. Technischen Hochschule in München. Nr. 218.
- **Römische,** von Dr. Hermann Joachim in Hamburg. Nr. 52.
- **Russische,** von Dr. Georg Polonstij in München. Nr. 166.
- **Spanische,** von Dr. Rudolf Beer in Wien. I. II. Nr. 167, 168.
- Logarithmen.** Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches und trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Hermann Schubert, Professor an der Gelehrtenschule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 81.
- Logik.** Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Esenhans. Mit 13 Figuren. Nr. 14.
- Luther, Martin, Thom. Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- Magnetismus.** Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.
- Malerei, Geschichte der, I. II. III. IV. V.** von Dr. Rich. Muther, Professor an der Universität Breslau. Nr. 107—111.
- Maschinenelemente, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Fr. Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.
- Maschanalyse** von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Nr. 221.
- Mathematik, Geschichte der,** von Dr. A. Sturm, Professor am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.
- Mechanik.** Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- Meereskunde, Physische,** von Dr. Gerhard Schott, Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.
- Metalle, (Anorganische Chemie 2. Teil)** v. Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Königl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.
- Metalloide (Anorganische Chemie, 1. Teil)** von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.
- Meteorologie** von Dr. W. Trabert, Professor an der Universität Innsbruck. Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 54.
- Mineralogie** von Dr. R. Brauns, Professor an der Universität Gießen. Mit 130 Abbildungen. Nr. 29.
- Minnesang und Spruchdichtung.** Walthar v. d. Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Professor an der Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.
- Morphologie, Anatomie u. Physiologie der Pflanzen.** Von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbild. Nr. 141.
- Murner, Thomas.** Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberl. am Nikolaigymn. zu Leipzig. Nr. 7.
- Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen,** von Dr. A. Möhler. Mit zahlreichen Abbild. und Musikbeilagen. Nr. 121.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Musikalische Formenlehre (Kompositionenlehre)** v. Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

**Musikgeschichte des 17. und 18. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsh in Stuttgart. Nr. 239.

— **des 19. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsh in Stuttgart. I. II. Nr. 164. 165.

**Musiklehre, Allgemeine**, v. Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.

**Mythologie, Deutsche**, von Dr. Friedrich Kauffmann, Professor an der Universität Kiel. Nr. 15.

— siehe auch: Götter- u. Helden Sage. — Helden Sage.

**Nautik**. Kurzer Abriss des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Theils der Schifffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigations-Schule zu Lübeck. Mit 56 Abbildungen. Nr. 84.

**Nibelunge, Der, Nöt** in Auswahl und Mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Professor an der Universität Rostock. Nr. 1.

— — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.

**Nutzpflanzen** von Prof. Dr. J. Behrens, Vorst. d. Großh. landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Augustenberg. Mit 53 Figuren. Nr. 123.

**Pädagogik** im Grundriß von Professor Dr. W. Rein, Direktor des Pädagogischen Seminars an der Universität Jena. Nr. 12.

— **Geschichte der**, von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.

**Paläontologie** v. Dr. Rud. Hoernes, Prof. an der Universität Graz. Mit 87 Abbildungen. Nr. 95.

**Perspektive** nebst einem Anhang üb. Schattenkonstruktion und Parallelperspektive von Architekt Hans Freyberger, Fachlehrer an der Kunstgewerbeschule in Magdeburg. Mit 88 Abbildungen. Nr. 57.

**Petrographie** von Dr. W. Bruhns, Prof. a. d. Universität Straßburg i. E. Mit 15 Abbild. Nr. 173.

**Pflanze, Die**, ihr Bau und ihr Leben von Oberlehrer Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.

**Pflanzenbiologie** von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbild. Nr. 127.

**Pflanzen-Morphologie, -Anatomie und -Physiologie** von Dr. W. Migula, Professor an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

**Pflanzenreich, Das**. Einteilung des gesamten Pflanzenreichs mit den wichtigsten und bekanntesten Arten von Dr. S. Reineke in Breslau und Dr. W. Migula, Professor an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Figuren. Nr. 122.

**Pflanzenwelt, Die, der Gewässer** von Dr. W. Migula, Prof. an der Techn. Hochschule Karlsruhe. Mit 50 Abbildungen. Nr. 158.

**Pharmakognosie**. Von Apotheker F. Schmitthener, Assistent am Botan. Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe. Nr. 251.

**Philosophie, Einführung in die**. Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

**Photographie**. Von Prof. H. Kessler, Fachlehrer an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Tafeln und 52 Abbild. Nr. 94.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Physik, Theoretische, I. Teil: Mechanik und Akustik.** Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Univ. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Universität Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.
- Plastik, Die, des Abendlandes** von Dr. Hans Stegmann, Konservator am German. Nationalmuseum zu Nürnberg. Mit 23 Tafeln. Nr. 116.
- Poetik, Deutsche,** von Dr. K. Borinski, Dozent a. d. Univ. München. Nr. 40.
- Posamentiererei, Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Ind. zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Psychologie und Logik zur Einführ.** in die Philosophie, von Dr. Th. Elsenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.
- Psychophysik, Grundriß der,** von Dr. G. S. Lipps in Leipzig. Mit 3 Figuren. Nr. 98.
- Rechnen, Kaufmännisches,** von Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139. 140. 187.
- Rechtslehre, Allgemeine,** von Dr. Th. Sternberg in Charlottenburg. I: Die Methode. Nr. 169.
- II: Das System. Nr. 170.
- Redelehre, Deutsche,** v. Hans Probst, Gymnasiallehrer in München. Mit einer Tafel. Nr. 61.
- Religionsgeschichte, Indische,** von Professor Dr. Edmund Hardy in Bonn. Nr. 83.
- — siehe auch Buddha.
- Religionswissenschaft, Abriß der vergleichenden,** von Prof. Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.
- Roman, Geschichte d. deutschen Romans** von Dr. Hellmuth Mielke. Nr. 229.
- Russisch-Deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 68.
- Russisches Lesebuch** mit Glossar von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 67.
- — siehe auch: Grammatik.
- Sachs, Hans, u. Johann Fischart,** nebst einem Anhang: Brant und Hutten. Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 24.
- Schattenkonstruktionen** v. Prof. J. Vonderlinn in Breslau. Mit 114 Fig. Nr. 236.
- Schmaroker u. Schmarokertum in der Tierwelt.** Erste Einführung in die tierische Schmarokertunde v. Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. a. d. Univers. Gießen. Mit 67 Abbildungen. Nr. 161.
- Schulpraxis, Methodik der Volksschule** von Dr. R. Senfert, Schuldir. in Olsnitz i. V. Nr. 50.
- Simplicius Simplicissimus** von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgegeben von Prof. Dr. S. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.
- Sociologie** von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 101.
- Spitzenfabrikation, Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.
- Sprachdenkmäler, Gotische,** mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen v. Dr. Herm. Janßen in Breslau. Nr. 79.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Sprachwissenschaft, Germanische**, von Dr. Rich. Loewe, Dozent a. d. Humboldtakademie in Berlin. Nr. 238.
- **Indogermanische**, v. Dr. R. Meringer, Prof. a. d. Univ. Graz. Mit einer Tafel. Nr. 59.
- **Romanische**, von Dr. Adolf Zauner, k. k. Realschulprof. in Wien. Nr. 128.
- Stammeskunde, Deutsche**, von Dr. Rudolf Much, Privatdozent an d. Universität Wien. Mit 2 Karten und 2 Tafeln. Nr. 126.
- Statik, I. Teil: Die Grundlehren der Statik starrer Körper** v. W. Hauber, diplom. Ing. Mit 82 Fig. Nr. 178.
- **II. Teil: Angewandte Statik.** Mit 61 Figuren. Nr. 179.
- Stenographie nach dem System** von F. F. Gabelberger von Dr. Albert Schram, Mitglied des Kgl. Stenogr. Instituts Dresden. Nr. 246.
- **Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig-System Stolze-Schren)** nebst Schlüssel, Lesebüchern u. einem Anhang v. Dr. Amsel, Oberleh. d. Kad.-hauses, Oranienstein. Nr. 86.
- Stereochemie** von Dr. E. Wedekind, Privatdozent an der Universität Tübingen. Mit 34 Abbild. Nr. 201.
- Stereometrie** von Dr. R. Glaser in Stuttgart. Mit 44 Figuren. Nr. 97.
- Stilkunde** von Karl Otto Hartmann, Gewerbeschulvorstand in Lahr. Mit 7 Vollbildern und 195 Text-Illustrationen. Nr. 80.
- Technologie, Allgemeine chemische**, von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.
- Coerfarbstoffe, Die**, mit besonderer Berücksichtigung der synthetischen Methoden von Dr. Hans Bucherer, Privatdozent an der Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 214.
- Telegraphie, Die elektrische**, von Dr. Lud. Kellstab. III. 19 Fig. Nr. 172.
- Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Prof. Max Gürler, Dir. der königlichen Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- **III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Thermodynamik (Technische Wärmelehre)** von Dr. K. Waltherr und M. Röttinger, Dipl.-Ingenieuren. Mit 54 Fig. Nr. 242.
- Tierbiologie I: Entstehung und Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur** von Dr. Heinrich Simroth, Professor an der Universität Leipzig. Mit 33 Abbildungen. Nr. 131.
- **II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur** von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Tiergeographie**, von Dr. Arnold Jacobi, Professor der Zoologie an der Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.
- Tierkunde** v. Dr. Franz v. Wagner, Professor an der Universität Gießen. Mit 78 Abbildungen. Nr. 60.
- Tierrechtlehre, Allgemeine und spezielle**, von Dr. Paul Rippert in Berlin. Nr. 228.
- Trigonometrie, Ebene und sphärische**, von Dr. Gerh. Hessenberg, Privatdoz. an der Techn. Hochschule in Berlin. Mit 70 Figuren. Nr. 99.
- Unterrichtswesen, Das öffentliche, Deutschlands i. d. Gegenwart** von Dr. Paul Stöhrner, Gymnasialoberlehrer in Zwidau. Nr. 130.
- Uraeschichte der Menschheit** v. Dr. Moriz Hoernes, Prof. an der Univ. Wien. Mit 48 Abbild. Nr. 42.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

6. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Versicherungsmathematik** von Dr. Alfred Loewy, Prof. an der Univ. Freiburg i. B. Nr. 180.
- Völkerkunde** von Dr. Michael Haberlandt, Privatdozent an der Univ. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.
- Volkslied, Das deutsche**, ausgewählt und erläutert von Professor Dr. Jul. Sahr. Nr. 25.
- Volkswirtschaftslehre** v. Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Freiburg i. B. Nr. 133.
- Volkswirtschaftspolitik** von Geh. Regierungsrat Dr. R. van der Borgh, vortr. Rat im Reichsamt des Innern in Berlin. Nr. 177.
- Waltherlied, Das**, im Versmaße der Urschrift übersetzt und erläutert von Prof. Dr. H. Althof, Oberlehrer a. Realgymnasium i. Weimar. Nr. 46.
- Walther von der Vogelweide** mit Auswahl aus Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und a. d. Techn. Hochsch. in Stuttgart. Nr. 23.
- Warenkunde**, von Dr. Karl Hassaß, Professor an der Wiener Handelsakademie. I. Teil: Unorganische Waren. Mit 40 Abbildungen. Nr. 22.  
— II. Teil: Organische Waren. Mit 36 Abbildungen. Nr. 23.
- Wärme. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme.** Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Universität Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- Wärmelehre, Technische, (Thermodynamik)** von K. Walther u. M. Röttinger, Dipl.-Ingenieuren. Mit 54 Figuren. Nr. 242.
- Wäscherei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Weberei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Figuren. Nr. 185.
- Wechselkunde** von Dr. Georg Sunk in Mannheim. Mit vielen Formularen. Nr. 103.
- Wirkerei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Professor Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Wolfram von Eschenbach. Hartmann v. Aue, Wolfram v. Eschenbach und Gottfried von Straßburg.** Auswahl aus dem hof. Epos mit Anmerkungen u. Wörterbuch v. Dr. K. Marold, Prof. a. Kgl. Friedrichscolleg. 3. Königsberg i. Pr. Nr. 22.
- Wörterbuch, nach der neuen deutsch. Rechtschreibung** von Dr. Heinrich Klenz. Nr. 200.
- **Deutsches**, v. Dr. Ferd. Dettler, Prof. an d. Universität Prag. Nr. 64.
- Zeichenschule** von Prof. K. Kimmich in Ulm. Mit 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck u. 135 Voll- und Textbildern. Nr. 39.
- Zeichnen, Geometrisches**, von H. Becker, Architekt und Lehrer an d. Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearb. v. Prof. J. Vonderlinn, diplom. und staatl. gepr. Ingenieur in Breslau. Mit 290 Fig. und 23 Tafeln in Text. Nr. 58.
- Zuckerindustrie. Die**, von Dr. ing. Ernst Leher, Assistent am Chemischen Institut der Universität Bonn. Mit 11 Fig. Nr. 253.

# Sammlung Schubert.

Sammlung mathematischer Lehrbücher,  
die, auf wissenschaftlicher Grundlage beruhend, den Bedürfnissen des Praktikers Rechnung tragen und zugleich durch eine leicht faßliche Darstellung des Stoffs auch für den Nichtfachmann verständlich sind.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung in Leipzig.

## Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Bände:

- |   |   |
|---|---|
| 1 Elementare Arithmetik und Algebra von Prof. Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 2.80.   | 12 Elemente der darstellenden Geometrie von Dr. John Schröder in Hamburg. M. 5.—.   |
| 2 Elementare Planimetrie von Prof. W. Pflieger in Münster i. E. M. 4.80.  | 13 Differentialgleichungen von Prof. Dr. L. Schlesinger in Klausenburg. 2. Auflage. M. 8.—.   |
| 3 Ebene und sphärische Trigonometrie von Dr. F. Bohnert in Hamburg. M. 2.—.   | 14 Praxis der Gleichungen von Professor C. Runge in Hannover. M. 5.20.  |
| 4 Elementare Stereometrie von Dr. F. Bohnert in Hamburg. M. 2.40.   | 19 Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichungs-Rechnung von Dr. Norbert Herz in Wien. M. 8.—.  |
| 5 Niedere Analysis I. Teil: Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Kettenbrüche und diophantische Gleichungen von Professor Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 3.60. | 20 Versicherungsmathematik von Dr. W. Grossmann in Wien. M. 5.—.  |
| 6 Algebra mit Einschluß der elementaren Zahlentheorie von Dr. Otto Pund in Altona. M. 4.40.   | 25 Analytische Geometrie des Raumes II. Teil: Die Flächen zweiten Grades von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 4.40.                                       |
| 7 Ebene Geometrie der Lage von Prof. Dr. Rud. Böger in Hamburg. M. 5.—.   | 27 Geometrische Transformationen I. Teil: Die projektiven Transformationen nebst ihren Anwendungen von Professor Dr. Karl Doehlemann in München. M. 10.—.         |
| 8 Analytische Geometrie der Ebene von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 6.—.   | 29 Allgemeine Theorie der Raumkurven und Flächen I. Teil von Professor Dr. Victor Kommerell in Reutlingen und Professor Dr. Karl Kommerell in Heilbronn. M. 4.80. |
| 9 Analytische Geometrie des Raumes I. Teil: Gerade, Ebene, Kugel von Professor Dr. Max Simon in Straßburg. M. 4.—.  | 31 Theorie der algebraischen Funktionen und ihrer Integrale von Oberlehrer E. Landfriedt in Straßburg. M. 8.50.   |
| 10 Differentialrechnung von Prof. Dr. Frz. Meyer in Königsberg. M. 9.—.   |   |

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA

S-96

KRAKÓW

S. 61

# Sammlung Schubert.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- |  |   |
|--|---|
| 32 Theorie und Praxis der Reihen von Prof. Dr. C. Runge in Hannover. M. 7.—.   | tismus II. Teil: Magnetismus und Elektromagnetismus von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg. M. 7.—.  |
| 34 Liniengeometrie mit Anwendungen I. Teil von Professor Dr. Konrad Zindler in Innsbruck. M. 12.—.                                     | 44 Allgemeine Theorie der Raumkurven und Flächen II. Teil von Professor Dr. Victor Kommerell in Reutlingen u. Professor Dr. Karl Kommerell in Heilbronn. M. 5.80. |
| 35 Mehrdimensionale Geometrie I. Teil: Die linearen Räume von Prof. Dr. P. H. Schoute in Groningen. M. 10.—.                           | 45 Niedere Analysis II. Teil: Funktionen, Potenzreihen, Gleichungen von Professor Dr. Hermann Schubert in Hamburg. M. 3.80.                                       |
| 39 Thermodynamik I. Teil von Prof. Dr. W. Voigt, Göttingen. M. 10.—.   | 46 Thetafunktionen u. hyperelliptische Funktionen von Oberlehrer E. Landfriedt in Straßburg. M. 4.50.   |
| 40 Mathematische Optik von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg. M. 6.—.  | 48 Thermodynamik II. Teil von Prof. Dr. W. Voigt, Göttingen. M. 10.—.   |
| 41 Theorie der Elektrizität und des Magnetismus I. Teil: Elektrostatik und Elektrokinetik von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg. M. 5.—. | 49 Nicht-Euklidische Geometrie v. Dr. H. Liebmann, Leipzig. M. 6.50.  |
| 42 Theorie der Elektrizität u. d. Magne-   |   |

In Vorbereitung bzw. projektiert sind:

- |  |  |
|--|--|
| Integralrechnung von Professor Dr. Franz Meyer in Königsberg.  | Elliptische Funktionen.  |
| Elemente der Astronomie von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.  | Allgem. Formen- u. Invariantentheorie v. Prof. Dr. Jos. Wellstein in Gießen.         |
| Mathematische Geographie von Dr. Ernst Hartwig in Bamberg.   | Mehrdimensionale Geometrie II. Teil von Professor Dr. P. H. Schoute in Groningen.    |
| Darstellende Geometrie II. Teil: Anwendungen der darstellenden Geometrie von Professor Erich Geyger in Kassel. | Liniengeometrie II. Teil von Professor Dr. Konrad Zindler in Innsbruck.              |
| Geschichte der Mathematik von Prof. Dr. A. von Braunmühl und Prof. Dr. S. Günther in München.                  | Kinematik von Professor Dr. Karl Heun in Karlsruhe.                                  |
| Dynamik von Professor Dr. Karl Heun in Karlsruhe.  | Angewandte Potentialtheorie von Oberlehrer Grimsehl in Hamburg.                      |
| Technische Mechanik von Prof. Dr. Karl Heun in Karlsruhe.  | Elektromagnet. Lichttheorie von Prof. Dr. J. Classen in Hamburg.                     |
| Geodäsie von Professor Dr. A. Galle in Potsdam.  | Gruppen- u. Substitutionentheorie von Prof. Dr. E. Netto in Gießen.                  |
| Allgemeine Funktionentheorie von Dr. Paul Epstein in Straßburg.  | Theorie der Flächen dritter Ordnung.   |
| Räumliche projektive Geometrie.  | Mathematische Potentialtheorie.  |
| Geometrische Transformationen II. Teil von Professor Dr. Karl Doehle- mann in München.                         | Elastizitäts- und Festigkeitslehre im Bauwesen von Dr. ing. H. Reißner in Berlin.    |
| Theorie d. höh. algebraischen Kurven v. Dr. Heinr. Wieleitner in Speyer.                                       | Elastizitäts- und Festigkeitslehre im Maschinenbau von Dr. Rudolf Wagner in Stettin. |
|  | Graphisches Rechnen von Prof. Aug. Adler in Prag.                                    |
|  | Höhere Differentialgleichungen von Prof. J. Horn in Clausthal.                       |

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301727



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296067