

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Der Drehtransformator bei Vernachlässigung der Oberwellen	1
1. Der einphasige Drehtransformator	1
2. Der mehrphasige Drehtransformator	5
a. Vergleich mit dem einphasigen Drehtransformator 5 — b. Vor- gänge am Luftspalt 8 — c. Verdrehung des Läufers 10 — d. Die Spannungsgleichungen 12 — e. Das Drehmoment 13 — f. Schaltung des Drehtransformators 13.	
B. Wirkungsweise der mehrphasigen Induktionsmaschine bei Vernachlässigung der Oberwellen	14
1. Die Induktionsmaschine im engeren Sinne	14
a. Bei ruhendem Läufer 14 — b. Bei umlaufendem Läufer 15 — c. Spannungsgleichungen der umlaufenden Induktionsmaschine 17.	
2. Das Vektordiagramm der Induktionsmaschine	18
a. Zusammenhang zwischen den sekundären und primären Größen im Vektordiagramm 18 — b. Mechanische Leistung und Dreh- moment 20.	
3. Das vereinfachte Kreisdiagramm der Induktionsmaschine .	22
a. Vernachlässigung des Magnetisierungsstromes 22 — b. Berück- sichtigung des Magnetisierungsstromes 24 — c. Leistungsfaktor, Leistung, Drehmoment und Schlüpfung 25 — d. Betrieb der Maschine als Generator und Bremse 29 — e. Vereinfachte Darstellung der Leistungen 32.	
4. Beziehungen zwischen Strom, Drehmoment und Schlüpfung	33
a. Sekundär- und Primärstrom; Leistungsfaktor 33 — b. Dreh- moment 36.	
5. Das „genaue“ Kreisdiagramm	40
a. Die Lage des Kreises 40 — b. Vergleich mit dem vereinfachten Diagramm 42 — c. Leistung, Drehmoment und Schlüpfung 44 — d. Aufzeichnung des Kreisdiagramms 46 — e. Drehmoment und Schlüpfung 48.	
6. Abweichungen von der Wirklichkeit.	49
a. Die genauere Berücksichtigung der Eisenverluste im Kreis- diagramm 49 — b. Einfluß der magnetischen Beanspruchungen im Eisen 52 — c. Andere Abweichungen von der Wirklichkeit 57.	
7. Selbsterregung der Induktionsmaschine.	57
a. Leerlauf 57 — b. Belastung 59.	
C. Die Wirkungsweise der einphasigen Induktionsmaschine bei Vernach- lässigung der Oberwellen	63
1. Die Einphasenmaschine ohne Kondensator und ohne Anlauf- wicklung	63
a. Quersfeld- und Drehfeldtheorie 63 — b. Aufstellung der Spannungs- gleichungen 64 — c. Das Drehmoment 66 — d. Der Ersatzstrom- kreis 68 — e. Einfluß von R'_2 und X'_2 auf die Drehmomentkurve 70.	
2. Die Mehrphasenmaschine mit Kondensator am einphasigen Netz	71

	Seite
a. Die zweiphasige Schaltung bei symmetrischem Betrieb 71 —	
b. Die dreiphasige Schaltung bei symmetrischem Betrieb 74 — c. Rechnerische Ermittlung der Ströme und Drehmomente 76 — d. Zeichnerische Ermittlung der Ströme und Drehmomente 82 — e. Leerlauf und Stillstand 86.	
3. Die Anlaufschaltungen des Einphasenmotors	90
a. Gleichung für das Anzugsmoment 90 — b. Kondensator im Hilfsstrang 91 — c. Vergrößerter Wirkwiderstand im Hilfsstrang 92.	
4. Induktionsmaschine mit Zwischenläufer	93
5. Der Phasenumformer.	94
D. Kurzschlußläufer.	94
1. Der Käfigläufer	94
2. Kurzschlußläufer mit mehreren Stäben im Strang	96
a. Zahl der Leiter in der Nut gleich der Zahl der Leiter im Strang 96 —	
b. In jeder Nut nur ein Stab 98.	
3. m_1 -phasige Ersatzwicklung	99
E. Der Magnetisierungsstrom.	100
1. Einphasenwicklung	100
a. Klemmenspannung und Spulenfluß 100 — b. Strom, Ankernspannung vernachlässigt 102 — c. Berücksichtigung der Ankernspannung 104 — d. Magnetisierungsstrom bei kurzgeschlossener Läuferwicklung 106.	
2. Mehrphasenwicklung	107
a. Die EMK bei gegebener Stromkurve 107 — b. Der Strom bei Sternschaltung und vorgeschriebener verketteter EMK 109 — c. Dreieckschaltung 111 — d. Verfahren nach Stäblein bei Einlochwicklungen und Dreieckschaltung 113 — e. Einlochwicklung und Sternschaltung 115 — f. Angenäherte Ermittlung des Effektivwertes 116.	
F. Die Einzelwellen der Luftspaltinduktion	119
1. Der Wicklungsfaktor	119
a. Spulenwicklungen 119 — b. Kurzschlußwicklungen 122 — c. Nutschrägungsfaktor 122.	
2. Die fiktiven Einzelwellen der Ständerwicklung	123
a. Einzelwellen der Felderregerkurve 123 — b. Die praktisch vorkommenden Ordnungszahlen 125 — c. Die Feldkurve 126.	
3. Die fiktiven Einzelwellen der Läuferwicklung	127
a. Läuferwicklung für Polzahl der Ständerwicklung 127 — b. Läuferwicklung für beliebige Polzahl 129 — c. Sonderfälle 130 — d. Feldkurve 131.	
G. Die Blindwiderstände der Streuung	132
1. Die Spaltstreuung	132
a. Umlaufender und ruhender Läufer 132 — b. Spaltstreuung bei Vernachlässigung der Rückwirkung, der Nutschlitzbreite und der Eisenbeanspruchung 136 — c. Die Berechnung von σ_0 aus der magnetischen Energie 138 — d. Die symmetrischen Mehrphasenwicklungen mit unverkürzter Spulenweite 139 — e. Zweischichtige Sehnenwicklungen 142 — f. Läuferwicklung 144 — g. Einfluß der Nutschlitzbreite 146 — h. Einfluß der Rückwirkung 148 — i. Einphasenmaschine 155.	
2. Die Nutstreuung	157
a. Ständerwicklung 157 — b. Läuferwicklung 158.	
3. Die Stirnstreuung	161
a. Berechnung des Blindwiderstandes 161 — b. Dreiphasige Zweifeld- (A bis D) oder Dreietagenwicklung (F bis H) in Ständer und Läufer	

164 — c. Dreiphasige zweischichtige Zylinderwicklung (Z) in Ständer und Läufer 167 — d. Dreiphasige Zylinderwicklung (Z) im Läufer und Zwei- (A bis D) oder Dreietagenwicklung (F bis H) oder Evolventenwicklung (E_1 , E_2) im Ständer 168 — e. Kurzschlußkäfigwicklung (K) im Läufer und dreiphasige Zwei- (A bis D) oder Dreietagenwicklung (F bis H) oder Evolventenwicklung (E_1 , E_2) im Ständer 170 — f. Kurzschlußkäfigwicklung (K) im Läufer, Zylinderwicklung (Z) im Ständer 171 — g. Einphasenwicklung im Ständer 172.	
4. Zahnkopfstreuung	173
5. Zusammenfassung über die Berechnung der Blindwiderstände bei Mehrphasenmaschinen	174
a. Spaltstreuung 174 — b. Angenäherte Spaltstreuung 174 — c. Nutstreuung 175 — d. Stirnstreuung 175 — e. Einfluß der Eisenbeanspruchung 175.	
H. Die Momente und Kräfte der Oberwellen.	176
1. Der Läuferstrom	177
2. Die asynchronen Momente	178
a. Berechnung des asynchronen Momentes 178 — b. Kurze Zusammenfassung über die praktische Berechnung der asynchronen Oberwellenmomente 181 — c. Berücksichtigung der Rückwirkung bei der Berechnung der asynchronen Oberwellenmomente 182 — d. Berechnungsbeispiele mit Berücksichtigung der Rückwirkung 184 — e. Mittel zur Unterdrückung der Oberwellenmomente 186.	
3. Die synchronen Momente	188
a. Auftreten von synchronen Momenten 188 — b. Berechnung der synchronen Momente 190 — c. Ungünstige Stabzahlen 194 — d. Beispiele für günstige Stabzahlen 195 — e. Beispiele für ungünstige Stabzahlen 196 — f. Unterdrückung der synchronen Momente 199.	
4. Die Rüttelkräfte	200
a. Ursache von Rüttelkräften 200 — b. Auftreten von Rüttelkräften 201 — c. Berechnung der Rüttelkräfte 203 — d. Beispiel 204.	
5. Wahl der Nutenzahl bei Käfigläufern	206
a. Zusammenstellung der Gleichungen 206 — b. Beispiele 208.	
6. Unregelmäßigkeiten im Netz und in den Wicklungen	212
a. Unregelmäßigkeiten im Netz 212 — b. Unsymmetrien der Ständerwicklung 212 — c. Unsymmetrien der Läuferwicklung 213.	
7. Beurteilung des Maschinengeräusches	214
a. Schalldruck und Schallempfindung 214 — b. Ursachen des Geräusches 216 — c. Maßnahmen zur Geräuschunterdrückung 217.	
J. Die Stromverdrängungsmotoren	218
1. Widerstandserhöhung und Induktivitätsverringerung	218
a. Die Berechnung der Stromverdrängungserscheinungen in Nuten 218 — b. Einige Sonderfälle 220 — c. Stromverdrängung in den Querverbindungen 223.	
2. Allgemeine Beziehungen	223
a. Gleichwiderstand R_s und innerer Blindwiderstand X_{iG} 224 — b. Strom und Drehmoment 224 — c. Vergleich mit dem stromverdrängungsfreien Motor 225.	
3. Der Hochstabläufer (Rechteckstab)	227
a. Die Ortskurve des Anlaufstromes bei Stillstand 227 — b. Das Anzugsmoment 229 — c. Die Ortskurve des Stromes bei beliebigem Schlupf 230 — d. Vergleich mit dem stromverdrängungsfreien Motor 232 — e. Entwurf des Motors mit Hochstabläufer 235.	

	Seite
4. Abarten des Hochstabläufers	235
a. Der unterteilte Stab 235 — b. Der unten verstärkte Stab 238 —	
c. Der trapezförmige Stab 242 — d. Der nicht vom Hauptstrom durch-	
flossene Stromverdrängungsstab 243.	
5. Die Doppelkäfigmotoren	246
a. Die Ausführungsformen 246 — b. Sekundärstrom und Dreh-	
moment 248 — c. Die Widerstandsverhältnisse k und k_i bei Vernach-	
lässigung von x_A und x_g 251 — d. Die Widerstandsverhältnisse mit	
Berücksichtigung von x_A und x_g 254 — e. Die Ortskurve des Anlauf-	
stromes bei Stillstand 256 — f. Die Stromkurve bei beliebigem Schlupf	
259 — g. Entwurf des Doppelkäfigläufers 261.	
K. Anlauf und Bremsung	262
1. Der Anlauf mit Schleifringläufer	263
2. Der schleifringlose Motor mit Schaltung im Läuferkreis	266
a. Widerstandsschaltung und Umschaltung von Wicklungsteilen	
266 — b. Gegenschaltung 268 — c. Motoren für Anlaufbetrieb 270 —	
d. Andere Anlaßeinrichtungen 271.	
3. Schaltung im Ständerkreis	271
a. Verringerung der Klemmenspannung durch Anlaßtransformator	
271 — b. Vorschaltwiderstand 273 — c. Umschaltung der Ständer-	
wicklung; Stern-Dreieck-Umschaltung 273 — d. Gemischte Schaltung	
277 — e. Der Doppelständermotor 281 — f. Anlauf mit Anwurfmotor 283.	
4. Ständerwicklungen verschiedener Polpaarzahlen	286
a. Reihenschaltung mit Anlaufwicklung kleinerer Polpaarzahl 286 —	
b. Reihenschaltung mit polumschaltbarer Anlaufwicklung kleinerer	
Polpaarzahl 289 — c. Anlauf mit einer Wicklung größerer Polpaar-	
zahl 290 — d. Reihenschaltung mit einer Anlaufwicklung größerer	
Polpaarzahl ohne Unterbrechung des Stromkreises 293.	
5. Die Fliehkraftkupplungen	294
a. Zweck der Fliehkraftkupplung 294 — b. Fliehkraftkupplung	
mit Federvorspannung 295 — c. Fliehkraftkupplungen mit verspäteter	
Auslösung. Albo-Knorr 297.	
6. Brems- und Verzögerungsschaltungen	300
a. Abkürzung der Auslaufzeit 300 — b. Hubwerke 301 — c. Über-	
synchrone und Gegenstrom-Senkbremsschaltung 302 — d. Einphasige	
Bremschaltung 303 — e. Doppelmotorschaltung und übersynchrone	
Bremschaltung 304 — f. Verzögerungsschaltung bei Aufzügen 305.	
7. Anlauf- und Bremsvorgang unter dem Einfluß zu beschleuni-	
gender Massen	306
a. Anlauf und Bremsung mit Last 306 — b. Anlauf und Bremsung	
mit Last bei der Induktionsmaschine 308 — c. Induktionsmotor bei	
reiner Massenbeschleunigung 312.	
L. Drehzahlregelung	315
1. Stetige Regelung	316
a. Durch Wirkwiderstand im Läuferkreis 316 — b. Durch praktisch	
verlustfreie primäre Spannungsänderung 318 — c. Durch Vorschalt-	
widerstände im Ständerkreis 321 — d. Durch Erregung eines gegen-	
laufenden Drehfeldes 322 — e. Durch Überlagerung eines Drehfeldes	
größerer Polpaarzahl 325.	
2. Regelung durch Änderung der primären Frequenz	326
a. Die Frequenzänderung. Der asynchrone Frequenzumformer 326 —	
b. Antrieb des asynchronen Frequenzumformers durch Induktions-	
motor 328 — c. Stetige Regelung 330.	

	Seite
3. Regelung durch Polumschaltung	331
4. Doppelläufermotoren	332
a. Motor mit Zwischenläufer 332 — b. Tandemmotor 335 — c. Vereinigung mit dem Frequenzumformer 335.	
5. Kaskadenschaltung zweier Induktionsmaschinen	336
a. Schaltung und Leerlaufdrehzahl 336 — b. Ströme und Drehmoment 339 — c. Die Ortskurve des Netzstromes 341.	
6. Die doppeltgespeiste Induktionsmaschine.	343
a. Ruheschaltung und Laufschtaltung 343 — b. Die Ruheschaltung 344 — c. Laufschtaltung 345.	
7. Gleichlaufschaltungen	348
a. Gleichlauf mit Induktionsmaschinen als Hilfsmaschinen 349 — b. Gleichlauf zweier selbständiger Induktionsmaschinen 350.	
M. Verluste der Induktionsmaschine.	352
1. Eisenverluste.	352
a. Unterscheidung der Eisenverluste 352 — b. Verluste des Hauptflusses 352 — c. Oberflächenverluste durch die Nutung 353 — d. Zahnpulsationsverluste durch die Nutung 353 — e. Oberflächenverluste durch die Nutdurchflutungen 354 — f. Zahnpulsationsverluste durch die Nutdurchflutungen 355 — g. Gesamte Eisenverluste 357.	
2. Wicklungsverluste	358
a. Hauptverluste 358 — b. Zusätzliche Wicklungsverluste in Käfigläufern durch die Oberwellen der Ständerwicklung 359 — c. Zusätzliche Verluste in Käfigwicklungen durch Zahnpulsationen 361.	
N. Experimentelle Untersuchung	363
1. Leerverluste	363
a. Praktischer und ideeller Leerlauf 363 — b. Q_{mech} — Q_{H_2} aus Schlupfmessungen bei kleiner Leistung 364 — c. Reibungs- und Lüftungsverluste durch Änderung der Klemmenspannung 365 — d. Trennung der Leerverluste durch einfache Leistungsmessung 365 — e. Trennung der Leerverluste mit Hilfsmotor 366.	
2. Das Auslaufverfahren	367
a. Das Auslaufverfahren im allgemeinen 367 — b. Die Auslaufmessung 368 — c. Bestimmung von Θ durch elektrische Messungen 369 — d. Bestimmung von Θ aus Schwingungen 371 — e. Trennung der Verluste nach dem Auslaufverfahren 375.	
3. Lastverluste	376
a. Stromwärmeverluste bei Stillstand 377 — b. Stromwärmeverluste der Ständerwicklung 378 — c. Stromwärmeverluste der Läuferwicklung 378 — d. „Zusätzliche“ Eisenverluste Q_{Ez} 380 — e. Gesamtverluste 383.	
4. Wirkungsgrad nach REM	384
5. Schlupfmessung	385
a. Aus der Läuferfrequenz 385 — b. Mit Kontaktscheibe 386 — c. Mit Drehzahlmaschinen 386 — d. Stroboskopische Messung 387.	
6. Messung der Blindwiderstände	390
a. Angenäherte Messung der Blindwiderstände 390 — b. Messung der gesamten Streuziffer 390.	
7. Drehmomentmessungen	392
a. Anzugsmoment 392 — b. Anlaufkurven; Drehmoment als Funktion der Drehzahl 394.	
8. Erwärmungsprobe	396
9. Kurzer Überblick über Geräuschmessungen.	399

	Seite
0. Entwurf	401
1. Hauptabmessungen und Beanspruchungen	401
a. Drehschub und Polteilung 401 — b. N_{si} und λ 403 — c. Ma- gnetische und elektrische Beanspruchungen 404 — d. Luftspalt 405.	
2. Überlastbarkeit und Schlupf	405
3. Ständer und Läufer	406
a. Aufbau 406 — b. Nutung und Nutisolierung 406 — c. Wick- lungen 408 — d. Stababmessungen bei Käfigwicklungen 409.	
4. Berechnungsbeispiel	410
a. Hauptabmessungen 410 — b. Ständer mit halbgeschlossenen Nuten 411 — c. Ständer mit ganz offenen Nuten und Sehnwicklung 412 — d. Läufer 412 — e. Magnetisierungsstrom 413 — f. Blindwider- stände 414 — g. Verluste 415 — h. Die zur Beurteilung des Motors maßgebenden Größen 416 — i. Doppelkäfigläufer 417.	
Literaturverzeichnis	419
Abkürzungen	424
Bedeutung der verwendeten Formelzeichen	425
Sachverzeichnis	435