

Inhaltsverzeichnis.

I. Grundbegriffe und Gesetze.

	Seite
A. Mathematisch-physikalische Begriffe	1
1. Vektor	1
2. Vektorfeld	1
3. Linienintegral eines Vektors	2
4. Fluß eines Vektors	2
5. Wirbelfreies und quellenfreies Feld	3
6. Vektorröhre	4
7. Diagrammvektoren	5
B. Magnetische und elektrische Begriffe und Gesetze	8
1. Elektromagnetische Verkettung. Schraubenregel	8
2. Magnetische Feldstärke und magnetische Induktion	8
3. Das Durchflutungsgesetz	10
4. Brechung der Induktionslinien	12
5. Magnetischer Widerstand und Leitwert	16
6. Das Induktionsgesetz	18
7. EMK der Ruhe und EMK der Bewegung	21
8. Der Richtungssinn der induzierten EMK.	24
9. Die Induktivitäten	25
10. Die magnetische Energie.	28
11. Die mechanische Arbeit eines Elektromagneten	32
12. Die Zugkraft eines Elektromagneten	34
13. Kraftäußerung einer von Strom durchflossenen Spule im magnetischen Felde	36
14. Kraftwirkung zwischen zwei Stromkreisen	40
C. Strom- und Krafterzeugung	42
1. Wechselstrom	42
2. Gleichstrom	44
3. Zweiphasenstrom	46
4. Dreiphasenstrom und Mehrphasenstrom	48
5. Wechselstromgrößen	50
6. Die Klemmenspannung und ihre Darstellung im Vektordiagramm	53
7. Die Entstehung von Drehfeldern	57
8. Die Motoren	62
9. Die Umformer und Transformatoren	65

II. Einführung in den Elektromaschinenbau.

	Seite
A. Der Aufbau der elektrischen Maschinen	68
1. Die Gleichstrommaschine	68
2. Die Synchronmaschine	74
3. Die asynchronen Motoren	77
4. Die Transformatoren	80
B. Die Ankerwicklungen	83
1. Gleichstrom-Ankerwicklungen	83
a) Allgemeine Begriffe 83 – b) Schleifenwicklungen 86 – c) Ausgleichs- verbindungen bei Schleifenwicklungen 91 – d) Wellenwicklungen 92 – e) Ausgleichsverbindungen bei mehrgängigen Wellenwicklungen 96.	
2. Wechselstromwicklungen	97
a) Die angezapften und aufgeschnittenen Gleichstrom-Ankerwicklungen 97 – b) Die Spulenbreite und die Nutenzahl auf Pol und Strang 101 – c) Die gewöhnlichen Wechselstromwicklungen 104.	
C. Die induzierte EMK	111
1. Induzierte EMK und Formfaktor bei periodisch veränderlichem In- duktionsfluß	111
2. Der Wicklungsfaktor	113
3. Wicklungsfaktor einer Spule bei ungenutetem Anker	115
4. Wicklungsfaktor einer Spulengruppe und eines Wicklungsstrangs	118
5. Die EMK in verketteten Mehrphasenwicklungen	122
6. Der Effektivwert der resultierenden EMK	124
7. Die EMK einer Gleichstrom-Ankerwicklung	125
D. Die Felderregerkurve	126
1. Begriff der Felderregerkurve	126
2. Die Erregerkurve einer Spule; stehende Welle und fortschreitende Welle (Wechselfeld und Drehfeld)	130
3. Die Felderregerkurve bei Gleichstrom und Einphasenstrom	132
4. Die Felderregerkurve der Mehrphasenwicklungen	134
E. Drehmoment und mittlerer Drehschub	137
1. Drehmoment	137
2. Mittlerer Drehschub und Ausnutzung des Ankermantels	139
3. Strombelag und Induktion	140
4. Drehschub und Größe der Maschine	141
F. Die magnetischen Eigenschaften des Eisens	144
1. Die Magnetisierungskurven	144
2. Die Ummagnetisierungswärme	150
a) Hysteresewärme 150 – b) Wirbelstromwärme 152 – c) Gesamte Um- magnetisierungswärme und Verlustziffer 157.	
G. Die magnetische Charakteristik bei Leerlauf	160
1. Ankern	161
2. Luftspalt	170
a) Glatter Anker 167 – b) Sinusförmige Feldkurve 170 – c) Einfluß der Nutung 173 – d) Einfluß der Stirnflächen 180 – e) Einfluß der Permea- bilität im Eisen 185.	

Inhaltsverzeichnis.		XI
		Seite
3. Ankerzähne		186
4. Feldmagnet		190
a) Das Feldbild im Querschnitt der Maschine 190 – b) Der Streufluß 193		
– c) Polkerne 198 – d) Joch 198.		
5. Zusammenfassung		199
H. Berechnung der Eisenwärme in elektrischen Maschinen		203
1. Ankerkern		204
a) Hysteresewärme 205 – b) Wirbelstromwärme 206.		
2. Zähne		208
3. Einfluß der Bearbeitung auf die Eisenwärme; Zusammenfassung . . .		212
4. Oberflächenwärme (Polschuhwärme)		214
5. Zahnpulsationswärme		221
J. Reibungswärme und Lüftungsleistung		230
1. Lager		230
2. Lüftung		231
3. Bürsten		232
K. Spannungsverlust und Stromwärme der Bürsten		232
L. Stromwärme in Wicklungen		239
1. Die Stromwärme		239
2. Widerstandsverhältnis der in Nuten eingebetteten Wicklungsteile bei		
sinusförmigem Wechselstrom		241
3. Widerstandsverhältnis der Querverbindungen und der ganzen Wicklung		247
4. Widerstandsverhältnis bei Gleichstrom-Ankerwicklungen.		251
5. Widerstandsverhältnis bei Transformatorwicklungen		254
a) Scheibenwicklung 255 – b) Zylinderwicklung 255.		
6. Die Wirbelstromwärme des Nutenhauptfeldes		257
a) Unendlich große Zahnpermeabilität 257 – b) Endliche Permeabilität		
in den Zähnen; Nutenlängsfeld 261 – c) Endliche Permeabilität; Nuten-		
querfeld 264 – d) Abschätzung der resultierenden Stromwärme 266.		
M. Die Streuinduktivitäten		267
1. Nutenstreuung		268
a) Einschichtwicklung 268 – b) Zweischichtwicklung 271 – c) Verringe-		
rung der Induktivität durch Stromverdrängung 275.		
2. Zahnkopfstreuung		278
3. Stirnstreuung		281
a) Das Stirnfeld 281 – b) Stirnfluß und Streufluß 285 – c) Selbstinduk-		
tivität eines Spulenkopfes 286 – d) Die Gegeninduktivität 287 – e) Resul-		
tierende Induktivität und Blindwiderstand 290 – f) Die resultierende		
Leitwertzahl bei m-phasig gespeisten Gleichstrom-Ankerwicklungen		
(Zweischichtwicklungen) 294 – g) Gegeninduktivität und resultierende		
Induktivität bei Spulen mit schmalem Spulenseitenquerschnitt 295.		
N. Lüftung		297
1. Lüftungsarten		297
2. Berechnung der Luftströmung		302

	Seite
O. Erwärmung	312
1. Äußere Wärmeleitung	312
a) Wärmeabgabe durch Strahlung 313 – b) Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion 314 – c) Wärmeabgabe bei künstlich bewegter Luft 318 – d) Wärmeabgabe in Kanälen 322.	
2. Innere Wärmeleitung	327
a) Die Gleichung der stationären Wärmeleitung 327 – b) Temperaturverteilung im Spulenquerschnitt. Mittlere Temperatur und Höchsttemperatur 329 – c) Temperaturverteilung im Blechpaket 334.	
3. Temperaturverteilung von in Eisen eingebetteten Spulen.	335
a) Radiale Lüftung 336 – b) Berechnungsbeispiel 341 – c) Axiale Lüftung	344
4. Die Gleichung der Erwärmungs- und Abkühlungskurve	350
5. Kurzzeitige Belastung	356
6. Aussetzende Belastung	359
7. Beliebige Belastung	361
a) Zeichnerisches Verfahren 361 – b) Rechnerisches Verfahren; die Erwärmungskurve bei zeitlich linearer Belastung 362.	

III. Die Gleichstrommaschine.

A. Ankerrückwirkung	366
1. Die Feldkurve bei Belastung	366
2. Einfluß der Permeabilität	370
3. Nachteile der Feldverzerrung	373
a) Spannungsverlust durch Feldverzerrung 373 – b) Erhöhung der Eisenwärme 376 – c) Rundfeuer 376.	
4. Verschiebung der neutralen Zone	377
a) Sinn der Bürstenverschiebung 378 – b) Ankerrückwirkung bei verschobenen Bürsten 379.	
5. Kompensationswicklung und Wendepolwicklung	383
a) Kompensationswicklung 383 – b) Wendepolwicklung 385.	
B. Stromwendung	388
✓ 1. Vernachlässigung der induzierten EMKe	388
a) Widerstand der Wicklung und der Verbinder Null 388 – b) Einfluß der Widerstände von Wicklung und Verbinder 390.	
✓ 2. Berücksichtigung der induzierten EMKe	393
a) Die Differentialgleichung der Stromwendung 393 – b) Die Bedingung $T \frac{r}{L} > 1$ 396.	
✓ 3. Bürstenbreite und Wicklung	398
✓ a) Stromdichte bei breiteren Bürsten. Bürstenspannungskurve 398 – b) Einfluß der Wicklung und der Dicke des Isolierstegs auf die Kurzschlußdauer 400 – c) Mehrgängige Wicklung und Wellenwicklung bei geradliniger Stromwendung 401 – d) Die Breite der Wendezone 404.	
4. Zusammenfassung	405
5. Die EMK des Ständerfeldes	409
6. Die EMK des Ankermantelfeldes	414
a) Glatter Anker im freien Luftraum. Bürstenbreite gleich Stegbreite 414	
b) Anker im Feldmagneten 419 – c) Bürstenbreite beliebig 421 – d) Nutenanker 423.	

7. Die resultierende EMK des Anker- und Ständerfeldes bei Wendepolmaschinen	430
a) Die mittlere Anker-Felderregerkurve 431 – b) Das Feldbild 434 – c) Axial verkürzte Wendepolschuhe 438.	
8. Die EMK des Nutenquerfeldes	440
a) Die Induktivitätszahl bei Durchmesserwicklungen 441 – b) Die Induktivitätszahl bei Sehnenwicklungen 444 – c) Die Induktivitätszahl bei Treppenwicklungen 449 – d) Mehrgängige Schleifenwicklung und Wellenwicklung 454.	
9. Die EMK des Stirnfeldes	455
10. Unterdrückung des Bürstenfeuers	458
a) Zusammenfassung über die Berechnung der EMKe der Stromwendung 458 – b) Maschinen ohne Wendepole 461 – c) Wendepolmaschinen 463.	
11. Die zusätzlichen Kurzschlußströme	466
C. Der magnetische Kreis der Wendepole	470
1. Überlagerung von Hauptfluß und Wendepolfluß	470
2. Die magnetische Charakteristik des Wendepolkreises	473
3. Umrechnung der Ergebnisse des Feldbildes auf andere Durchflutungen	477
D. Die Betriebseigenschaften der Gleichstrommaschinen	479
1. Die fremderregte Maschine	479
a) Generator 479 – b) Motor 482 – c) Drehzahlregelung 485.	
2. Die Nebenschlußmaschinen	487
a) Generator 487 – b) Motor 496.	
3. Die Reihenschlußmaschine	498
a) Generator 498 – b) Motor 500.	
4. Die Doppelschlußmaschine	504
a) Generator 505 – b) Motor 508.	
5. Maschinen für konstanten Strom	510
a) Die Krämersche Maschine 510 – b) Die Rosenbergsche Maschine 511.	
6. Schwingungen bei Gleichstrommaschinen	513
a) Pendelerscheinungen bei unstabilen Gleichstrommotoren 513 – b) Die Gleichstrommaschine als elektrischer Starkstromkondensator 517 – c) Schwingungen bei Nebenschlußgeneratoren 521 – d) Der Reihenschlußgenerator im Stromkreis mit Kapazität und Induktivität 523.	
E. Experimentelle Untersuchung der Gleichstrommaschinen	524
1. Widerstände, Bürstenstellung und Betriebskurven	524
a) Messung der Widerstände 524 – b) Einstellung der Bürsten 526 – c) Aufnahme der Betriebskurven 526.	
2. Bestimmung des Wirkungsgrades nach den REM	527
a) Direkte Messung des Wirkungsgrades 527 – b) Indirekt gemessener Wirkungsgrad 529.	
3. Trennung der Verluste	534
4. Stromwendung	535
a) Kurzschlußversuch 535 – b) Bürstenspannungskurve 536.	
5. Feldkurve	537
6. Erwärmung und Isolierfestigkeit	539
a) Erwärmung 539 – b) Isolierfestigkeit 539.	

	Seite
F. Entwurf der Gleichstrommaschine	540
1. Abmessungen	540
a) Maschinen kleiner und mittlerer Leistung 540 – b) Wahl der Polzahl 543 – c) Große Maschinen und Maschinen großer Drehzahl 546.	
2. Magnetische und elektrische Beanspruchungen	547
a) Luftspaltinduktion und Strombelag 547 – b) Zulässige magnetische Beanspruchungen in den Eisenteilen 549 – c) Zulässige elektrische Beanspruchungen in den Wicklungen 550.	
3. Nutung	552
a) Nutenzahl 552 – b) Nuttiefe 552 – c) Nutbreite 554.	
4. Anker und Gehäuse	554
a) Anker 554 – b) Gehäuse 561.	
5. Stromwender und Bürsten	563
a) Stromwender 563 – b) Bürsten 565 – c) Erwärmung 567.	
6. Polschuhform und Luftspalt	568
a) Polschuhform 568 – b) Luftspaltbreite 570.	
7. Feldmagnetwicklung	572
a) Hauptschlußwicklungen 572 – b) Nebenschlußwicklung 574.	
8. Gang der Berechnung	578
Zusammenstellung der Formeln zur Berechnung kleiner und mittlerer Gleichstrommaschinen 585.	
Bemerkungen über die Schreibweise der Gleichungen und die Wahl der Einheiten	591
Umrechnungstafel. Zusammenstellung der wichtigsten Einheitengleichungen 592.	
Literaturverzeichnis	593
Abkürzungen 601.	
Bedeutung der verwendeten Formelzeichen	602
Namen- und Sachverzeichnis	610