

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort zur 6. Auflage	V
	Vorwort zur 1. Auflage	IX
	Formelzeichen	XVII
1	Wicklungen rotierender elektrischer Maschinen	1
1.1	Allgemeine Bezeichnungen und Gesetzmäßigkeiten	2
1.1.1	Allgemeine Bezeichnungen von am Energieumsatz beteiligten Wicklungen	3
1.1.2	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten von am Energieumsatz beteiligten Wicklungen	12
1.2	Wicklungen mit ausgebildeten Strängen	20
1.2.1	Wicklungsgesetze	21
1.2.2	Wicklungsentwurf	37
1.2.3	Bestimmung des Wicklungsfaktors	79
1.2.4	Aussagen des Görge-Diagramms	97
1.2.5	Bewertung der Entwürfe	101
1.2.6	Wicklungsdimensionierung	113
1.3	Kommutatorwicklungen	124
1.3.1	Wicklungsgesetze und Wicklungsbezeichnungen	125
1.3.2	Wicklungsentwurf	145
1.3.3	Wicklungsdimensionierung	161
1.4	Weitere Wicklungsarten	166
1.4.1	Wicklungen auf ausgeprägten Polen	167
1.4.2	In Nuten verteilt angeordnete Wicklungen	169
2	Magnetischer Kreis	175
2.1	Feldgleichungen und deren allgemeine Aussagen	176

2.1.1	Allgemeine Aussagen der Feldgleichungen für die Berechnung magnetischer Kreise	176
2.1.2	Prinzipieller Berechnungsgang bei der konventionellen Magnetkreisberechnung	180
2.2	Ermittlung magnetischer Felder	186
2.2.1	Feldgebiete konstanter Permeabilität ohne Durchflutung	186
2.2.2	Feldgebiete konstanter Permeabilität mit Durchflutung	191
2.3	Luftspaltfelder	194
2.3.1	Einfluss von Polform und Durchflutungsverteilung auf das Luftspaltfeld als ebenes Feld ohne Einfluss der Nutung	195
2.3.2	Einfluss der Unterbrechungen der Luftspaltbegrenzungsflächen auf das Luftspaltfeld	200
2.4	Charakteristische Abschnitte des ferromagnetischen Teils des magnetischen Kreises	212
2.4.1	Abschnitte mit annähernd homogenen Feldern	213
2.4.2	Abschnitte mit sich längs des Integrationswegs ändernder Querschnittsfläche	214
2.4.3	Abschnitte mit längs des Integrationswegs veränderlichem Fluss	219
2.5	Gegenseitige Beeinflussung der Abschnittsfelder	229
2.5.1	Einführende Betrachtung zur gegenseitigen Beeinflussung der Abschnittsfelder	230
2.5.2	Iterative Ermittlung der gegenseitigen Beeinflussung	235
2.5.3	Konzentrierte Erregerwicklung	237
2.5.4	Verteilte erregende Wicklung bei gleichmäßiger Nutung	241
2.5.5	Verteilte erregende Wicklung bei ungleichmäßiger Nutung	245
2.6	Bestimmung der Leerlaufkennlinie	249
2.6.1	Gleichstromerregung mit konzentrierter Erregerwicklung	250
2.6.2	Gleichstromerregung mit verteilt angeordneter Erregerwicklung	254
2.6.3	Mehrphasige Wechselstromerregung	256
2.6.4	Sonderfälle der Erregung	259
2.7	Einfluss der Belastungsströme auf das Feld der erregenden Wicklung	263
2.7.1	Maschinen mit linearer Durchflutungsverteilung der Belastungsströme	264
2.7.2	Maschinen mit konstantem Luftspalt und sinusförmiger Durchflutungsverteilung der Belastungsströme	268
2.7.3	Maschinen mit nicht konstantem Luftspalt und sinusförmiger Durchflutungsverteilung der Belastungsströme	275
2.8	Erregung durch permanentmagnetische Abschnitte	280
2.8.1	Entmagnetisierungskennlinie	281
2.8.2	Reversible Kennlinie	283
2.8.3	Hartmagnetische Werkstoffe	285
2.8.4	Dimensionierung von permanentmagnetischen Abschnitten	286
2.8.5	Flusskonzentration	288

2.8.6	Einfluss der Ankerrückwirkung	292
3	Streuung	295
3.1	Allgemeine Erscheinungen und ihre Bezeichnungen	295
3.2	Einführung der Teilstreufelder	297
3.3	Spaltstreuung als Teil der Gesamtstreuung eines Wicklungspaares	299
3.4	Gesamtstreuung eines Wicklungspaares	302
3.5	Prinzipielle Vorgehensweise zur Berechnung der Streuung	309
3.5.1	Prinzipielle Vorgehensweise zur Berechnung von Streuflüssen	309
3.5.2	Prinzipielle Vorgehensweise zur Berechnung von Streuflussverkettungen	311
3.6	Ermittlung von Streuflüssen in der Berechnungspraxis	318
3.6.1	Nut-Zahnkopf-Streufluss	318
3.6.2	Polstreufluss ausgeprägter Pole	321
3.7	Ermittlung von Streuflussverkettungen in der Berechnungspraxis	323
3.7.1	Nut- und Zahnkopfstreuung	323
3.7.2	Wicklungskopfstreuung	332
3.7.3	Oberwellenstreuung	335
3.7.4	Polstreuung	341
4	Stromwendung	345
4.1	Stromwendevorgang	346
4.1.1	Phasen des Stromwendevorgangs	346
4.1.2	Prinzipieller Verlauf der Stromwendung	349
4.1.3	Beanspruchung des Bürstenkontakts	353
4.2	Prinzipielle analytische Behandlung der Stromwendung	354
4.2.1	Maschengleichung der kommutierenden Masche	354
4.2.2	Wendezone	355
4.2.3	Gleichungssystem zur Berechnung der Stromwendung	359
4.2.4	Betrachtungen zur Lösung des Gleichungssystems	360
4.3	Genäherte Berechnung der Stromwendung	364
4.3.1	Verlauf der Ankerreaktanzspannung	364
4.3.2	Mittlere Ankerreaktanzspannung	367
4.3.3	Wendepolwicklung	369
4.4	Möglichkeiten zur Beeinflussung der Stromwendung	378
4.4.1	Einfluss der Bürsten	378
4.4.2	Einfluss der Wicklungsdimensionierung und der Wendepolgestaltung	382
5	Stromverdrängung	385
5.1	Prinzipielle Abhängigkeiten der Stromverdrängung	385
5.1.1	Ermittlung der prinzipiellen Abhängigkeiten	386

5.1.2	Gesichtspunkte für die Wicklungsdimensionierung	388
5.2	Veranschaulichung der Erscheinung der Stromverdrängung	391
5.2.1	Einseitige Stromverdrängung	392
5.2.2	Zweiseitige Stromverdrängung	396
5.2.3	Definition von Parametern	397
5.3	Analytisch geschlossene Berechnung der Stromverdrängung	400
5.3.1	Entwicklung der Grundgleichungen	401
5.3.2	Massive Leiter	404
5.3.3	Unterteilte Leiter	414
5.3.4	Kunststäbe	421
5.3.5	Kommutatorwicklungen	423
6	Verluste	427
6.1	Energiebilanz der elektrischen Maschine	427
6.1.1	Verluste und Wirkungsgrad	427
6.1.2	Nachweis des Wirkungsgrads	430
6.2	Mechanische Verluste	432
6.2.1	Verluste durch Gas- und Lagerreibung	432
6.2.2	Verluste durch Bürstenreibung	433
6.3	Grundverluste in den Stromkreisen	434
6.3.1	Eigenschaften der Leitermaterialien	434
6.3.2	Wicklungswiderstände	435
6.3.3	Wicklungsverluste	438
6.3.4	Bürstenübergangsverluste	439
6.4	Grundverluste im magnetischen Kreis	440
6.4.1	Eigenschaften des Magnetmaterials	441
6.4.2	Ermittlung der Ummagnetisierungsgrundverluste in der Berechnungspraxis	452
6.5	Zusätzliche Verluste	453
6.5.1	Zusätzliche Verluste durch Oberwellen im Luftspaltfeld	454
6.5.2	Zusätzliche Stromwärmeverluste in Ständer- und Läuferwicklungen durch Oberschwingungen des speisenden Stroms	464
6.5.3	Zusätzliche Verluste durch Stromverdrängung in Wicklungen	465
6.5.4	Quellen weiterer zusätzlicher Verluste	465
7	Kräfte	467
7.1	Allgemeine Beziehungen zur Ermittlung der Kräfte	467
7.1.1	Ermittlung der Kräfte auf stromdurchflossene Leiter, ausgehend von den Feldgrößen	468
7.1.2	Ermittlung der Grenzflächenkräfte	468
7.1.3	Ermittlung der Kräfte aus der Induktivitätsänderung	469

7.2	Tangentiale Kräfte auf Blechpakete	470
7.3	Radiale Kräfte auf Blechpakete	472
7.3.1	Allgemeine Erscheinungen	472
7.3.2	Zugspannungswellen des resultierenden Luftspaltfelds und ihre Wirkung	476
7.3.3	Magnetische Geräusche	478
7.3.4	Einseitiger magnetischer Zug	481
7.4	Axiale Kräfte auf Blechpakete	485
7.4.1	Allgemeine Erscheinungen	485
7.4.2	Axiale Kräfte aufgrund des Luftspaltfelds	486
7.4.3	Axiale Kräfte aufgrund des Streufelds des Wicklungskopfs	493
7.5	Kräfte auf in Nuten eingebettete Leiter	494
7.5.1	Tangentiale Kräfte	494
7.5.2	Radiale Kräfte	496
7.6	Kräfte auf die Leiter im Wicklungskopf	500
7.6.1	Allgemeine Erscheinungen und Beziehungen	500
7.6.2	Vereinfachte Berechnung	504
8	Induktivitäten, Reaktanzen und Zeitkonstanten	511
8.1	Induktivitäten und Reaktanzen	511
8.1.1	Grundlegende Zusammenhänge	511
8.1.2	Induktivitäten und Reaktanzen des Luftspaltfelds	515
8.1.3	Streuinduktivitäten und Streureaktanzen	532
8.1.4	Charakteristische Induktivitäten und Reaktanzen	539
8.2	Zeitkonstanten	550
8.2.1	Eigenzeitkonstanten	551
8.2.2	Charakteristische Zeitkonstanten	555
9	Entwurfs- und Berechnungsgänge	563
9.1	Grobentwurf	564
9.1.1	Entwurfsgleichung	565
9.1.2	Entwurfsrichtwerte	578
9.2	Detaillierte Dimensionierung und analytische Nachrechnung	588
9.2.1	Grundsätzliches Vorgehen	588
9.2.2	Gleichstrommaschinen	590
9.2.3	Induktionsmaschinen	595
9.2.4	Synchronmaschinen	601
9.2.5	Kleinmaschinen	606
9.2.6	Optimierung des Entwurfs	610
9.3	Nachrechnung mit Hilfe numerischer Feldberechnung von K. Reichert	613
9.3.1	Grundlagen	613

9.3.2	Numerische Feldberechnungsmethoden	620
9.3.3	Anwendung numerischer Feldberechnungsmethoden	627
9.3.4	Praktischer Einsatz der Finite-Elemente-Methode zur numerischen Feldberechnung	638
9.4	Wicklungsumrechnung	649
9.4.1	Anpassung an eine andere Bemessungsspannung	649
9.4.2	Beeinflussung der charakteristischen Reaktanzen	650
9.4.3	Berechnung einer Maschinenreihe	651

Literaturverzeichnis	655
-----------------------------	-----

Sachverzeichnis	659
------------------------	-----