

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. Auflage	v
Vorwort zur 1. Auflage von 1972	ix
Formelzeichen	xvi

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	11
1.2	Wicklungen mit ausgebildeten Strängen	19
1.2.1	Wicklungsgesetze	20
1.2.2	Wicklungsentwurf	34
1.2.3	Bestimmung des Wicklungsfaktors	74
1.2.4	Aussagen des Görges-Diagramms	88
1.2.5	Bewertung der Entwürfe	94
1.2.6	Wicklungsdimensionierung	105
1.3	Kommutatorwicklungen	115
1.3.1	Wicklungsgesetze und Wicklungsbezeichnungen	116
1.3.2	Wicklungsentwurf	134
1.3.3	Wicklungsdimensionierung	137
1.4	Weitere Wicklungsarten	143
1.4.1	Wicklungen auf ausgeprägten Polen	143
1.4.2	In Nuten verteilt angeordnete Wicklungen	145
2	Magnetischer Kreis	151
2.1	Feldgleichungen und deren allgemeine Aussagen	151
2.1.1	Allgemeine Aussagen der Feldgleichungen für die Berechnung magnetischer Kreise	152
2.1.2	Prinzipieller Berechnungsgang bei der konventionellen Magnetkreisberechnung	154
2.2	Ermittlung magnetischer Felder	161
2.2.1	Feldgebiete konstanter Permeabilität ohne Durchflutung	161

2.2.2	Feldgebiete konstanter Permeabilität mit Durchflutung	166
2.3	Luftspaltfelder	168
2.3.1	Einfluss von Polform und Durchflutungsverteilung auf das Luftspaltfeld als ebenes Feld ohne Einfluss der Nutung	169
2.3.2	Einfluss der Unterbrechungen der Luftspaltbegrenzungsflächen auf das Luftspaltfeld	174
2.4	Charakteristische Abschnitte des ferromagnetischen Teils des magnetischen Kreises	185
2.4.1	Abschnitte mit annähernd homogenen Feldern	185
2.4.2	Abschnitte mit sich längs des Integrationswegs ändernder Querschnittsfläche	186
2.4.3	Abschnitte mit längs des Integrationswegs veränderlichem Fluss	190
2.5	Gegenseitige Beeinflussung der Abschnittsfelder	199
2.5.1	Einführende Betrachtung zur gegenseitigen Beeinflussung der Abschnittsfelder	200
2.5.2	Iterative Ermittlung der gegenseitigen Beeinflussung	205
2.5.3	Konzentrierte Erregerwicklung	206
2.5.4	Verteilte erregende Wicklung bei gleichmäßiger Nutung	210
2.5.5	Verteilte erregende Wicklung bei ungleichmäßiger Nutung	214
2.6	Bestimmung der Leerlaufkennlinie	217
2.6.1	Gleichstromerregung mit konzentrierter Erregerwicklung	217
2.6.2	Gleichstromerregung mit verteilt angeordneter Erregerwicklung	222
2.6.3	Mehrphasige Wechselstromerregung	223
2.6.4	Sonderfälle der Erregung	225
2.7	Einfluss der Belastungsströme auf das Feld der erregenden Wicklung	229
2.7.1	Maschinen mit linearer Durchflutungsverteilung der Belastungsströme	230
2.7.2	Maschinen mit konstantem Luftspalt und sinusförmiger Durchflutungsverteilung der Belastungsströme	234
2.7.3	Maschinen mit nicht konstantem Luftspalt und sinusförmiger Durchflutungsverteilung der Belastungsströme	241
2.8	Erregung durch permanentmagnetische Abschnitte	245
2.8.1	Entmagnetisierungskennlinie	245
2.8.2	Reversible Kennlinie	247
2.8.3	Hartmagnetische Werkstoffe	248
2.8.4	Dimensionierung von permanentmagnetischen Abschnitten	250
2.8.5	Anordnung der permanentmagnetischen Abschnitte	252
2.8.6	Einfluss der Ankerrückwirkung	255
3	Streuung	259
3.1	Allgemeine Erscheinungen und ihre Bezeichnungen	259
3.2	Einführung der Teilstreifelder	261
3.3	Spaltstreuung als Teil der Gesamtstreuung eines Wicklungspaares	262
3.4	Gesamtstreuung eines Wicklungspaares	266
3.5	Prinzipielle Vorgehensweise zur Berechnung der Streuung	271
3.5.1	Prinzipielle Vorgehensweise zur Berechnung von Streuflüssen	272

3.5.2	Prinzipielle Vorgehensweise zur Berechnung von Streuflussverkettungen	274
3.6	Ermittlung von Streuflüssen in der Berechnungspraxis	279
3.6.1	Nut-Zahnkopf-Streufluss	280
3.6.2	Polstreufluss ausgeprägter Pole	282
3.7	Ermittlung von Streuflussverkettungen in der Berechnungspraxis	284
3.7.1	Nut- und Zahnkopfstreuung	284
3.7.2	Wicklungskopfstreuung	293
3.7.3	Oberwellenstreuung	296
3.7.4	Polstreuung	300
4	Stromwendung	305
4.1	Stromwendevorgang	306
4.1.1	Phasen des Stromwendevorgangs	306
4.1.2	Prinzipieller Verlauf der Stromwendung	308
4.1.3	Beanspruchung des Bürstenkontakts	312
4.2	Prinzipielle analytische Behandlung der Stromwendung	313
4.2.1	Maschengleichung der kommutierenden Masche	313
4.2.2	Wendezone	314
4.2.3	Gleichungssystem zur Berechnung der Stromwendung	317
4.2.4	Betrachtungen zur Lösung des Gleichungssystems	319
4.3	Genäherte Berechnung der Stromwendung	322
4.3.1	Verlauf der Ankerreaktanzspannung	322
4.3.2	Mittlere Ankerreaktanzspannung	325
4.3.3	Wendepolwicklung	327
4.4	Möglichkeiten zur Beeinflussung der Stromwendung	334
4.4.1	Einfluss der Bürsten	335
4.4.2	Einfluss der Wicklungsdimensionierung und der Wendepolgestaltung	338
5	Stromverdrängung	341
5.1	Prinzipielle Abhängigkeiten der Stromverdrängung	341
5.1.1	Ermittlung der prinzipiellen Abhängigkeiten	342
5.1.2	Gesichtspunkte für die Wicklungsdimensionierung	344
5.2	Veranschaulichung der Erscheinung der Stromverdrängung	347
5.2.1	Einseitige Stromverdrängung	347
5.2.2	Zweiseitige Stromverdrängung	351
5.2.3	Definition von Parametern	352
5.3	Analytisch geschlossene Berechnung der Stromverdrängung	355
5.3.1	Entwicklung der Grundgleichungen	355
5.3.2	Massive Leiter	359
5.3.3	Unterteilte Leiter	367
5.3.4	Kunststäbe	374
5.3.5	Kommutatorwicklungen	376
6	Verluste	379
6.1	Energiebilanz der elektrischen Maschine	379
6.1.1	Verluste und Wirkungsgrad	379
6.1.2	Nachweis des Wirkungsgrads	382

6.2	Mechanische Verluste	384
6.2.1	Verluste durch Gas- und Lagerreibung	384
6.2.2	Verluste durch Bürstenreibung	385
6.3	Grundverluste in den Stromkreisen	386
6.3.1	Eigenschaften der Leitermaterialien	386
6.3.2	Wicklungswiderstände	386
6.3.3	Wicklungsverluste	389
6.3.4	Bürstenübergangsverluste	390
6.4	Grundverluste im magnetischen Kreis	391
6.4.1	Eigenschaften des Magnetmaterials	392
6.4.2	Ermittlung der Ummagnetisierungsverluste in der Berechnungspraxis	404
6.5	Zusätzliche Verluste	407
6.5.1	Zusätzliche Verluste durch Oberwellen im Luftspaltfeld	407
6.5.2	Zusätzliche Verluste durch Oberschwingungen der speisenden Spannung und des speisenden Stroms	417
6.5.3	Zusätzliche Verluste durch Stromverdrängung in Wicklungen	419
6.5.4	Zusätzliche Verluste durch Wirbelströme in Permanentmagneten	420
6.5.5	Quellen weiterer zusätzlicher Verluste	424
6.6	Wärmeabführung	425
6.6.1	Kühlungskonzepte	426
6.6.2	Erwärmung eines homogenen Körpers	428
6.6.3	Wärmewiderstände bei Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung	430
6.6.4	Vorausberechnung der Übertemperatur	432
7	Kräfte	437
7.1	Allgemeine Beziehungen zur Ermittlung der Kräfte	437
7.1.1	Ermittlung der Kräfte auf stromdurchflossene Leiter ausgehend von den Feldgrößen	437
7.1.2	Ermittlung der Grenzflächenkräfte	438
7.1.3	Ermittlung der Kräfte aus der Induktivitätsänderung	439
7.2	Tangentiale Kräfte auf Blechpakete	439
7.3	Radiale Kräfte auf Blechpakete	442
7.3.1	Allgemeine Erscheinungen	442
7.3.2	Zugspannungswellen des resultierenden Luftspaltfelds und ihre Wirkung	445
7.3.3	Magnetische Geräusche	447
7.3.4	Einseitiger magnetischer Zug	449
7.4	Axiale Kräfte auf Blechpakete	453
7.4.1	Allgemeine Erscheinungen	453
7.4.2	Axiale Kräfte aufgrund des Luftspaltfelds	454
7.4.3	Axiale Kräfte aufgrund des Streufelds des Wicklungskopfs	460
7.5	Kräfte auf in Nuten eingebettete Leiter	461
7.5.1	Tangentiale Kräfte	461
7.5.2	Radiale Kräfte	462
7.6	Kräfte auf die Leiter im Wicklungskopf	466

7.6.1	Allgemeine Erscheinungen und Beziehungen	466
7.6.2	Vereinfachte Berechnung	469
8	Induktivitäten, Reaktanzen und Zeitkonstanten	477
8.1	Induktivitäten und Reaktanzen	477
8.1.1	Grundlegende Zusammenhänge	477
8.1.2	Induktivitäten und Reaktanzen des Luftspaltfelds	481
8.1.3	Streuinduktivitäten und Streureaktanzen	496
8.1.4	Charakteristische Induktivitäten und Reaktanzen	503
8.2	Zeitkonstanten	513
8.2.1	Eigenzeitkonstanten	513
8.2.2	Charakteristische Zeitkonstanten	517
9	Entwurfs- und Berechnungsgänge	525
9.1	Grobentwurf	526
9.1.1	Entwurfsgleichung	527
9.1.2	Entwurfsrichtwerte	539
9.2	Detaillierte Dimensionierung und analytische Nachrechnung	549
9.2.1	Grundsätzliches Vorgehen	549
9.2.2	Gleichstrommaschinen	551
9.2.3	Induktionsmaschinen	555
9.2.4	Synchronmaschinen	562
9.2.5	Kleinmaschinen	567
9.2.6	Optimierung des Entwurfs	571
9.3	Nachrechnung mit Hilfe numerischer Feldberechnung von K. Reichert	573
9.3.1	Grundlagen	573
9.3.2	Numerische Feldberechnungsmethoden	579
9.3.3	Anwendung numerischer Feldberechnungsmethoden	586
9.3.4	Praktischer Einsatz der Finite-Elemente-Methode zur numerischen Feldberechnung	595
9.4	Wicklungsumrechnung	605
9.4.1	Anpassung an eine andere Bemessungsspannung	605
9.4.2	Beeinflussung der charakteristischen Reaktanzen	606
9.4.3	Berechnung einer Maschinenreihe	607
	Literaturverzeichnis	609
	Stichwortverzeichnis	615