

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur 6. Auflage</b>	<b>V</b>
<b>Vorwort zur 1. Auflage</b>	<b>VII</b>
<b>Formelzeichen</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Grundlegende Zusammenhänge</b>	<b>1</b>
1.1 Grundgleichungen	1
1.1.1 Gleichungen des elektromagnetischen Felds	1
1.1.2 Beziehungen für die Kräfte im magnetischen Feld	16
1.2 Systematisierung der rotierenden elektrischen Maschinen	31
1.2.1 Triviale Systematisierungen	31
1.2.2 Systematisierung nach der Lage der Feldwirbel	33
1.2.3 Systematisierung nach dem Mechanismus der Drehmomentbildung	40
1.3 Hilfsmittel zur Entwicklung anwendungsfreundlicher Modelle	43
1.3.1 Allgemeines zur Modellbildung	43
1.3.2 Behandlungsebenen aus Sicht der Feldgleichungen	44
1.3.3 Behandlungsebenen aus Sicht der Maschinenausführungen und Betriebszustände	46
1.3.4 Behandlungsebenen aus Sicht der Eigenschaften der Magnetwerkstoffe	47
1.3.5 Behandlungsebenen nichtstationärer Betriebszustände	49
1.3.6 Aufteilung des Magnetfelds in das Luftspaltfeld und Streufelder	54
1.3.7 Anwendung der Drehfeldtheorie	55
1.3.8 Anwendung des Prinzips der Hauptwellenverkettung	56
1.3.9 Anwendung der Methode der symmetrischen Komponenten	59
1.3.10 Anwendung des Prinzips der Flusskonstanz	60
1.4 Wicklungen	62
1.4.1 Wicklungen mit ausgebildeten Strängen	62
1.4.2 Kommutatorwicklungen	71
1.5 Feldaufbau	74

1.5.1	Problematik der Feldbestimmung	74
1.5.2	Beschreibung des Luftspaltfelds und der Größen zu seiner Ermittlung	77
1.5.3	Grundformen der Induktionsverteilung und der Größen zu ihrer Ermittlung	84
1.5.4	Reale Luftspaltfelder	89
1.5.5	Durchflutungsverteilungen von Wicklungen und Wicklungsteilen	92
1.5.6	Luftspaltleitwert	121
1.5.7	Bestimmung der Induktionsverteilung	126
1.6	Spannungsinduktion	138
1.6.1	Entwicklung der Spannungsgleichung aus dem Induktionsgesetz	138
1.6.2	Flussverkettung und induzierte Spannung einer einzelnen Spule aufgrund des Luftspaltfelds	141
1.6.3	Flussverkettung von gleichmäßig am Umfang verteilten Spulen	144
1.6.4	Flussverkettung und induzierte Spannung eines Wicklungszweigs aufgrund des Luftspaltfelds	145
1.6.5	Spannungsinduktion in einem Kommutatoranker aufgrund des Luftspaltfelds	150
1.6.6	Einfluss der Schrägung	154
1.6.7	Flussverkettungen und induzierte Spannungen aufgrund von Streufeldern	158
1.6.8	Spannungsinduktion in einem Kommutatoranker aufgrund von Streufeldern	159
1.7	Kräfte, Drehmomente und Bewegungsgleichungen	160
1.7.1	Allgemeine Grundlagen der elektromechanischen Energiewandlung	162
1.7.2	Methoden zur Ermittlung des Drehmoments	177
1.7.3	Beziehungen zur Ermittlung der Kräfte auf Bauteile	190
1.7.4	Drehmomente charakteristischer Ausführungsformen rotierender elektrischer Maschinen	193
1.7.5	Entstehung der Oberwellenmomente	202
1.7.6	Radialkräfte und Geräuschanregungen	206
1.7.7	Die elektrische Maschine im elektromechanischen System	209
1.8	Allgemeine Behandlung der magnetisch linearen und stromverdrängungsfreien Maschine	219
1.8.1	Maschinen mit zwei rotationssymmetrischen Hauptelementen mit Strangwicklungen	219
1.8.2	Maschinen mit Käfigwicklungen im Läufer	236
1.8.3	Maschinen mit ausgeprägten Polen	249
1.9	Rückwirkung kurzgeschlossener Wicklungsteile auf das Luftspaltfeld	256
1.9.1	Flüsse, Ströme und Durchflutungswellen einer Käfigwicklung	256
1.9.2	Spannungsgleichung einer Käfigwicklung	263
1.9.3	Einführung des Felddämpfungsfaktors	266
1.9.4	Ersatznetzwerke zur Berücksichtigung der Stromverdrängung	268

- 1.9.5 Felddämpfung durch parallele Wicklungszweige 270
- 1.10 Betrieb von Dreiphasenmaschinen am Umrichter 273
  
- 2 Dreiphasen-Induktionsmaschine 283**
- 2.1 Modelle für stromverdrängungsfreie Maschinen mit Schleifring- oder Einfachkäfigläufer 283
  - 2.1.1 Allgemeine Form der Spannungsgleichungen 283
  - 2.1.2 Gleichungssystem in der Schreibweise mit komplexen Augenblickswerten 285
  - 2.1.3 Beschreibung allgemeiner Betriebszustände in einem gemeinsamen Koordinatensystem 287
  - 2.1.4 Komplexe Augenblickswerte stationärer symmetrischer Dreiphasensysteme 302
  - 2.1.5 Spannungsgleichungen für den stationären Betrieb am starren, symmetrischen Netz 304
  - 2.1.6 Spannungsgleichungen für den stationären Betrieb ohne Ersatzwicklung für den Käfig 306
  - 2.1.7 Spannungsgleichungen für den stationären Betrieb mit transformierten Läufergrößen 309
- 2.2 Modelle für Maschinen mit Stromverdrängungsläufer 314
  - 2.2.1 Beziehung für das Drehmoment 315
  - 2.2.2 Maschinen mit Doppelkäfigläufer bei stromverdrängungsfreien Einzelkäfigen 316
  - 2.2.3 Maschinen mit stromverdrängungsbehaftetem Läufer 326
- 2.3 Stationäres Betriebsverhalten 327
  - 2.3.1 Stromverdrängungsfreie Maschinen mit Schleifring- oder Einfachkäfigläufer 327
  - 2.3.2 Maschine mit Doppelkäfigläufer 343
  - 2.3.3 Einfluss der Sättigung 353
- 2.4 Besondere stationäre Betriebszustände 355
  - 2.4.1 Betrieb am unsymmetrischen Spannungssystem 356
  - 2.4.2 Betrieb am Netz mit variabler Frequenz 365
  - 2.4.3 Betrieb mit nicht sinusförmigen Strömen und Spannungen 373
  - 2.4.4 Einphasenbetrieb 379
  - 2.4.5 Weitere unsymmetrische Schaltungen 389
- 2.5 Oberwellenerscheinungen im stationären Betrieb 393
  - 2.5.1 Oberwellenspektrum 393
  - 2.5.2 Asynchrone Oberwellenmomente 397
  - 2.5.3 Synchrone Oberwellenmomente 408
  - 2.5.4 Zusätzliche Verluste 414
  - 2.5.5 Magnetische Geräusche 415
- 2.6 Nichtstationäre Betriebszustände 418

2.6.1	Allgemeines zum Auftreten und zur Behandlung	418
2.6.2	Quasistationäre Drehzahländerungen am starren Netz	419
2.6.3	Allgemeine Näherungsbeziehungen	424
2.6.4	Einschalten der stillstehenden Maschine	430
2.6.5	Einschalten einer umlaufenden Maschine	437
2.6.6	Dreipoliger Stoßkurzschluss	438
2.6.7	Zweipoliger Stoßkurzschluss	443
2.6.8	Umschalten auf ein anderes Netz	447
2.6.9	Feldorientierte Regelung	450
<b>3</b>	<b>Dreiphasen-Synchronmaschine</b>	<b>465</b>
3.1	Modelle auf Basis der Hauptwellenverkettung	465
3.1.1	Allgemeine Form des Gleichungssystems mit einer Ersatzdämpferwicklung je Achse	465
3.1.2	Gleichungssystem der Schenkelpolmaschine unter Einführung der d-q-0-Komponenten	472
3.1.3	Gleichungssystem der Schenkelpolmaschine unter Einführung bezogener Größen	476
3.1.4	Komplexe Augenblickswerte der Ankergrößen und die d-q-0-Komponenten	485
3.1.5	Einführung der $\alpha$ - $\beta$ -0-Komponenten	487
3.1.6	Vereinfachte Vollpolmaschine	489
3.1.7	Klassifizierung der Betriebszustände	492
3.1.8	Allgemeine Behandlung der Spannungs- und Flussverkettungsgleichungen	496
3.1.9	Gleichungssystem bei kleinen Änderungen sämtlicher Größen	521
3.1.10	Flussverkettungsgleichungen unter Einführung transformierter Größen des Polsystems	525
3.2	Besondere stationäre Betriebszustände	532
3.2.1	Betrieb unter unsymmetrischen Betriebsbedingungen	533
3.2.2	Erzwungene Pendelungen bei Betrieb am starren Netz mit Bemessungsfrequenz	544
3.2.3	Betrieb am Netz variabler Frequenz	548
3.2.4	Betrieb mit nicht sinusförmigen Strömen und Spannungen	551
3.2.5	Stromrichtermotoren	555
3.3	Oberwellenerscheinungen im stationären Betrieb	571
3.3.1	Oberwellenspektrum	571
3.3.2	Asynchrone Oberwellenmomente	574
3.3.3	Synchrone Oberwellenmomente	575
3.3.4	Zusätzliche Verluste	575
3.3.5	Magnetische Geräusche	576

3.4	Nichtstationäre Betriebszustände	578
3.4.1	Allgemeines zum Auftreten und zur Behandlung	578
3.4.2	Asynchroner Anlauf und Intrittfallen	579
3.4.3	Synchronisation	590
3.4.4	Übergangsvorgänge in der Nähe des Synchronismus	591
3.4.5	Dreipoliger Stoßkurzschluss	611
3.4.6	Unsymmetrische Stoßkurzschlüsse	627
3.4.7	Feldorientierte Regelung	637
<b>4</b>	<b>Gleichstrommaschine</b>	<b>641</b>
4.1	Allgemeines Gleichungssystem und Betriebsverhalten	641
4.1.1	Allgemeines Gleichungssystem	641
4.1.2	Klassifizierung der Betriebszustände	644
4.1.3	Vereinfachte Behandlung des stationären Betriebs bei konstantem Fluss	646
4.2	Spezielle nichtstationäre Betriebszustände	649
4.2.1	Allgemeine Behandlung von Vorgängen mit $\Phi_B = \text{konst.}$	649
4.2.2	Vorgänge bei Änderung der Ankerspannung	652
4.2.3	Vorgänge bei Änderung des Widerstands im Ankerkreis	655
4.2.4	Vorgänge bei Änderung der Erregerspannung	657
4.2.5	Belastungsstoß	660
<b>5</b>	<b>Maschinen für Betrieb am Einphasennetz</b>	<b>665</b>
5.1	Einphasen-Induktionsmaschine	665
5.1.1	Allgemeine Behandlung des stationären Betriebs	666
5.1.2	Sonderfall der Einphasen-Induktionsmaschine ohne Hilfsstrang	675
5.1.3	Anzugsverhalten der Einphasen-Induktionsmaschine mit Hilfsstrang	677
5.1.4	Symmetrischer Betrieb	679
5.2	Einphasen-Synchronmaschine	682
	<b>Anhang</b>	<b>691</b>
I	Integralsätze	691
II	Beziehungen der Vektoranalysis	692
III	Fourier-Koeffizienten	693
IV	Trigonometrische Umformungen	694
V	Korrespondierende Funktionen der Laplace-Transformation	695
VI	Faltungen	696
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>697</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>701</b>