

Berechnung und Bemessung elektrischer Maschinen

Asynchronmotor, Synchronmaschine,
Gleichstrommaschine, elektrische Schlupfkupplung

Von

Dr.-Ing. Johannes Klamt

Oberingenieur

Mit 233 Abbildungen und 24 Tabellen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1962

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einführung (Allgemeines)	1
A. Der magnetische Kreis	1
1. Grundbegriffe des magnetischen Feldes	1
2. Die magnetischen Teilspannungen	2
a) Die magnetische Luftspaltspannung	2
α) ideale Polbreite b_l S. 2. — β) ideale Ankerlänge l_l S. 4.	
γ) Der CARTERSche Faktor S. 5.	
b) Die magnetische Zahnspannung	6
c) Die magnetische Jochspannung	7
d) Die magnetische Spannung am Einzelpol	7
B. Die Streuung	8
1. Definition der magnetischen Streuung	8
2. Definition der induktiven Streuung	9
3. Die praktische Berechnung der Streuung umlaufender elektrischer Maschinen	11
a) Die Nutstreuung	11
α) Einschichtwicklung S. 11. — β) Zweischichtwicklung S. 13.	
b) Die Spulenkopfstreuung	15
α) Einschichtwicklung S. 15. — β) Zweischichtwicklung S. 16. —	
γ) Kurzschlußwicklung S. 16.	
c) Die doppelt verkettete Streuung	17
d) Die Zahnkopfstreuung	21
C. Die Verluste	22
1. Die Eisenverluste im Leerlauf	22
a) Die Verluste in Eisenblechen	22
b) Die Zahn- und Jochverluste	23
c) Die Oberflächen- und Zahnpulsationsverluste	24
2. Die Reibungsverluste	27
a) Die Lager- und Luftreibungsverluste	27
b) Die Bürstenreibungsverluste	29
3. Die Verluste bei Last	29
a) Die Wicklungsverluste	29
α) Ohmsche Verluste S. 29. — β) Zusätzliche Wicklungsver-	
luste S. 30.	
b) Die zusätzlichen Eisenverluste	33
c) Die Bürstenübergangsverluste	34
D. Die Erwärmung	34
1. Die Wärmeleitfähigkeiten der aktiven Materialien und Isolierstoffe	35
2. Die Wärmeübertragung durch Leitung	40
3. Die Wärmeübertragung durch Strahlung	41
4. Die Wärmeübertragung durch Konvektion	42
a) Die Wärmeabgabeziffer bei freier Konvektion	43
b) Die Wärmeabgabeziffer bei erzwungener Konvektion	43
α) Die Wärmeübergangszahl der radialen Kühlschlitze S. 44. —	
β) Die Wärmeübergangszahl der Spulenköpfe S. 46. — γ) Die	
Wärmeübergangszahl der konzentrierten Erregerwicklungen	
(Polwicklungen) S. 47. — δ) Die Wärmeübergangszahl des	
Kommutators S. 48.	

	Seite
5. Die Erwärmung und Abkühlung eines homogenen Körpers	49
6. Die Gleichungen der Wärmeströmung und der Erwärmung des Wicklungsmetalles und des aktiven Eisens elektrischer Maschinen	52
a) Die Erwärmung des Wicklungsmetalles und des aktiven Eisens im Ständer	52
α) Der Spulenkopf S. 52. — β) Der im aktiven Eisen liegende Spulenteil und das aktive Eisen S. 53. — γ) Der im Kühlschlitz liegende Spulenteil S. 55. — δ) Der im Kühlschlitz und der in einem Blechpaket liegende Spulenteil S. 56.	
b) Die Erwärmung des Wicklungsmetalles und des aktiven Eisens im Läufer	57
c) Der Einfluß verschiedener Parameter auf die Wärmeströmung und die Erwärmung	58
II. Sonderabschnitte	59
A. Darstellung sinusförmiger Ströme und Spannungen durch Vektoren und komplexe Zahlen	59
B. Die Gleichungen der gewöhnlichen Asynchronmaschine	61
C. Die Gleichungen der Asynchronmaschine mit Kommutator-Hintermaschine	65
D. Die Gleichungen des Asynchronmotors mit Stromverdrängungsläufer	66
1. Hochstabläufer	66
2. Doppelkäfigläufer	70
3. Stromverdrängungsläufer mit zwei Stäben je Nut und getrennten Kurzschlußringen	74
a) Die Stromdichteverteilung	75
α) 1 Stab je Nut S. 76. — β) 2 Stäbe je Nut S. 76.	
b) Die Widerstandsvermehrung und die Induktivitätsverminderung	77
E. Der Asynchronmotor mit Massivläufer	80
F. Die Anlaufdauer und die Anlaufwärme des Käfigläufers von Asynchronmotoren und des Läufers mit Käfigwicklung von Synchronmotoren	82
G. Das Anlaufdrehmoment und der Anlaufstrom von Schenkelpol-Synchronmotoren mit Käfigwicklung	85
H. Die Drehmomentschwankungen von Synchron- und Asynchronmotoren beim Antrieb von Kolbenverdichtern	90
J. Das asynchrone Umsteuern der Synchronmotoren bei einem turboelektrischen bzw. dieselektrischen Schraubenantrieb	93
1. Turboelektrischer Antrieb	94
2. Dieselektrischer Antrieb	100
K. Die Beziehungen bei unsymmetrischen Mehrphasensystemen	101
L. Die Reaktanzen (Blindwiderstände) und Zeitkonstanten von Synchronmaschinen	105
1. Definitionen	105
2. Formeln zur Berechnung	108
III. Die Asynchronmaschine (Drehstrom-)	114
A. Der Entwurf und die Bemessung	114
1. Die gegebenen und die zunächst angenommenen Werte	114
a) Der Wirkungsgrad und der Leistungsfaktor normaler Motoren	115

	Seite
b) Der Höchstwert des Leistungsfaktors und die Überlastbarkeit	118
c) Der relative Magnetisierungsstrom und die relative Streuspannung	120
2. Die Ausnutzungsziffer und der mittlere Drehschub	121
3. Die Bestimmung der Hauptabmessungen	123
4. Die magnetischen und elektrischen Beanspruchungen	126
5. Die Ständerwicklung und die Ständernutung	127
a) Die induzierte EMK der Wechselstromwicklung	127
b) Die Wicklung	130
c) Die Nutung	132
6. Die Läuferwicklung und die Läufernutung	133
a) Die Stillstandsspannung, der Strom und der Schlupf des Schleifringläufers	133
b) Die Wicklung und die Nutung des Schleifringläufers	134
c) Die Stillstandsspannung, der Strom und der Schlupf des Kurzschlußläufers	135
d) Die Wicklung und die Nutung des Kurzschlußläufers	136
α) Zusätzliche asynchrone Drehmomente S. 137. — β) Synchrone Drehmomente S. 138. — γ) Rüttelkräfte S. 139.	
7. Der Magnetisierungsstrom	140
a) Die Felderregerkurve der Wechselstromwicklungen	140
b) Die praktische Berechnung des Magnetisierungsstromes	142
8. Das Kreisdiagramm (der HEYLAND-Kreis) als praktisches Mittel zur Kontrolle vorausberechneter Werte	145
B. Berechnungsbeispiele	146
1. Berechnung eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer	146
2. Berechnung eines Drehstrommotors mit Hochstabläufer	165
3. Berechnung eines Drehstrommotors mit Doppelkäfigläufer	178
IV. Die Schenkelpolmaschine für Drehstrom	183
A. Der Entwurf und die Bemessung	183
1. Die Ausnutzungsziffer und die Bestimmung der Hauptabmessungen	183
2. Die magnetischen und elektrischen Beanspruchungen	185
3. Die Ständerwicklung und die Ständernutung	186
a) Die induzierte EMK der Wechselstromwicklung	186
b) Die Streureaktanzspannungen	187
c) Die Wicklung und die Nutung	188
α) Die Ganzlochwicklungen S. 188. — β) Die Bruchlochwicklungen S. 191. — γ) Das Wicklungersatzbild S. 196.	
4. Die Erregerwicklung	198
5. Die Erregerdurchflutung	198
a) Die Erregerdurchflutung bei Leerlauf	198
b) Die Erregerdurchflutung bei Belastung	201
α) Rechteckpole S. 201. — β) Sinuspole S. 203. — γ) Das Spannungs- und Durchflutungsdiagramm S. 207.	
B. Berechnungsbeispiele	209
1. Beispiel der Berechnung eines Kompressor-Synchronmotors	209
2. Entwurf des Anlaufkäfigs und Vorausberechnung der Anlaufverhältnisse	228
3. Berechnung der Drehmomenten- und Stromschwankungen	235
4. Vorausberechnung der Ständererwärmung bei Nennbetrieb	241

	Seite
5. Vorausberechnung der Erwärmung der Erregerwicklung bei Nennbetrieb	248
6. Reaktanzen eines Synchron-Schenkelpolgenerators	250
V. Die elektrische Schlupfkupplung	252
A. Zweck, Aufbau, Arbeitsweise und Vorzüge	252
1. Die Bedeutung für den Dieselschiffsantrieb	252
2. Der Aufbau und die Arbeitsweise	254
3. Die Drehmomentkennlinien	255
4. Das Umsteuern der Schiffsschraube	259
5. Die Abschaltbarkeit	261
B. Richtlinien für den Entwurf	262
1. Analytische Beziehungen	262
2. Die Wahl des Nennbetriebsschlupfes und des Luftspaltes	264
3. Die Bestimmung der Schwingungsdämpfung	265
C. Berechnungsbeispiel	271
VI. Die Gleichstrommaschine	281
A. Der Entwurf und die Bemessung	281
1. Die Ausnutzungsziffer und die Bestimmung der Hauptabmessungen	281
a) Die Ausnutzungsziffer und der Wirkungsgrad	281
b) Der Ankerdurchmesser und die Ankerlänge	283
c) Die Polzahl, der Polbogen und der Hauptpolluftspalt	284
d) Die Kommutatorabmessungen und die Lamellenspannung	288
α) Der Kommutatordurchmesser und die Kommutatorlänge S. 288. — β) Die Lamellenspannung S. 289.	
2. Die magnetischen und elektrischen Beanspruchungen	290
3. Die Ankerwicklung und die Ankernutung	291
a) Die Wicklungsregeln	291
b) Die Symmetriebedingungen	292
c) Das Spannungsvieleck	293
d) Wicklungsbeispiele	293
e) Die mittlere Leiterlänge, die Isolierung und die Nuttiefe	296
4. Die Wendepolwicklung und der magnetische Wendepolkreis	297
a) Die Reaktanzspannung	297
b) Die Stromwendespannung und der Wendepolfluß	299
c) Die Wendepolerregung und die Windungszahl je Polpaar	300
α) bei unkompenzierten Maschinen S. 300. — β) bei kompenzierten Maschinen S. 301.	
d) Der Wendepolluftspalt	302
5. Die Hauptpolwicklung	303
6. Die Ankerrückwirkung und die Kompensationswicklung	303
a) Die Ankerrückwirkung	303
b) Die Kompensationswicklung	304
B. Berechnungsbeispiel	305
VIa. Der Einankerumformer	323
Schrifttum	326
Sachverzeichnis	332