

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Allgemeine Grundlagen</b>	<b>I</b>
1.1 Zählpeile und physikalische Grundgesetze	1
1.2 Wechselströme, Wechselspannungen und ihre Darstellung in Zeigerform	2
1.3 Räumliche Wellen und ihre Darstellung	4
1.4 Symmetrische Komponenten	10
1.5 Umformung von Ersatzschaltbildern	12
1.6 Umrechnung von Wicklungen	13
<b>2. Aufbau kleiner Asynchronmotoren</b>	<b>17</b>
2.1 Bauteile und Baustoffe	17
2.2 Kondensatoren	25
2.3 Thermischer Schutz von Wicklungen	27
2.4 Ständerwicklungen von Einphasenasynchronmotoren	29
2.4.1 Auslegung und Darstellung der Wicklungen	29
2.4.2 Drehstromwicklungen	30
2.4.3 Zweiphasenwicklungen	30
2.4.4 Einphasenwicklungen mit Hilfsstrang	30
2.4.5 Einphasenwicklungen für zwei Spannungen	33
2.4.6 Polumschaltbare Wicklungen	34
2.4.7 Bruchlochwicklungen	35
<b>3. Grundlegende Theorie des Betriebsverhaltens</b>	<b>36</b>
3.1 Vereinfachende Annahmen	36
3.2 Grundlegende Eigenschaften der Mehrphasenmotoren bei symmetrischer Speisung	37
3.2.1 Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm	37
3.2.2 Kreisdiagramm	40
3.2.3 Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie	43
3.3 Schaltungen der Asynchronmotoren am Einphasennetz	43
3.3.1 Ersatz eines Drehstromnetzes	44
3.3.2 Ersatz eines Zweiphasennetzes	45
3.3.3 Verschiedene Ständerschaltungen von Einphasenasynchronmotoren	46
3.3.3.1 Zweisträngige Schaltungen	46
3.3.3.2 Dreisträngige Schaltungen	52
3.4 Der einsträngige Einphasenmotor (Anwurfmotor)	53
3.4.1 Wirkungsweise	53
3.4.2 Ersatzschaltbild	55
3.4.3 Läuferströme, Drehmoment und Energiefluß	58
3.4.4 Ortskurve des Ständerstroms	62
3.5 Einphasenmotor mit Hilfsstrang	65
3.5.1 Grundgleichungen	66

3.5.2	Anzugsmoment und Anzugsstrom . . . . .	68
3.5.3	Graphisch-analytische Lösung von Kronld . . . . .	70
3.5.4	Der Betriebskondensatormotor . . . . .	73
3.5.4.1	Kreisfeld im Kondensatormotor (Dauerbetrieb) . . . . .	75
3.5.4.2	Anzugsmoment des Kondensatormotors . . . . .	77
3.5.4.3	Betriebsverhalten des Betriebskondensatormotors . . . . .	81
3.5.4.4	Ortskurven der Ströme . . . . .	82
3.5.5	Der zweisträngige Anlaßkondensatormotor . . . . .	84
3.5.6	Motor mit Widerstandshilfsstrang . . . . .	89
3.5.6.1	Anzugsmoment beim Widerstandsanlauf . . . . .	91
3.5.6.2	Erwärmung der Hilfswicklung bei Widerstandshochlauf . . . . .	96
3.5.7	Abschalten von Anlaßimpedanzen . . . . .	97
3.6	Die Steinmetzschaltung . . . . .	101
3.7	Drehfeldtheorie als Überlagerung von Einphasenmotoren . . . . .	105
3.8	T-Schaltung von Kondensatormotoren . . . . .	109
3.8.1	Bedeutung und Betriebsverhalten . . . . .	109
3.8.2	Aufteilung des Hauptstranges . . . . .	112
3.9	Der Spaltpolmotor . . . . .	115
3.9.1	Aufbau . . . . .	115
3.9.2	Wirkungsweise . . . . .	117
3.9.3	Stufenpol und gesättigte Zonen als Zusatzstränge . . . . .	122
3.9.4	Grundgleichungen . . . . .	124
<b>4.</b>	<b>Abweichungen von der Grundwellentheorie . . . . .</b>	<b>126</b>
4.1	Oberwellen der Wicklungsverteilung . . . . .	126
4.2	Asynchrone Zusatzmomente der Ständeroberwellen . . . . .	127
4.2.1	Physikalischer Hintergrund . . . . .	127
4.2.2	Erweitertes Ersatzschaltbild des einsträngigen Einphasenmotors . . . . .	127
4.2.3	Asynchrone Momente von unsymmetrischen Asynchronmotoren . . . . .	129
4.2.4	Asynchrone Zusatzmomente der wichtigsten Ständerschaltungen . . . . .	131
4.2.4.1	Zweisträngiger Kondensatormotor . . . . .	132
4.2.4.2	Die Steinmetzschaltung . . . . .	132
4.2.4.3	Einphasenmotor mit Widerstandshilfsstrang . . . . .	132
4.2.4.4	Die T-Schaltung . . . . .	133
4.2.4.5	Der Spaltpolmotor . . . . .	133
4.3	Synchrone Oberwellenmomente . . . . .	136
4.4	Pendelmomente . . . . .	140
4.4.1	Pendelmomente der Arbeitsgrundwelle . . . . .	140
4.4.2	Pendelmomente der Oberwellen . . . . .	141
4.5	Radiale Zugkräfte . . . . .	141
4.6	Einfluß der Nutöffnungen . . . . .	143
4.7	Querströme in Käfigläufern . . . . .	146
4.7.1	Querströme der Arbeitsgrundwelle . . . . .	146
4.7.2	Querströme der Nutharmonischen . . . . .	146
4.7.3	Übergangswiderstand zwischen Käfig und Eisen . . . . .	147
4.7.4	Rechnerische Erfassung von Querstromerscheinungen . . . . .	150
4.7.4.1	Der reelle und komplexe Schrägungsfaktor . . . . .	150
4.7.4.2	Einfluß der Baugröße und Läuferlänge . . . . .	152
<b>5.</b>	<b>Vorläufiger Entwurf des Motors . . . . .</b>	<b>154</b>
5.1	Entwurf des magnetischen Kreises . . . . .	154
5.2	Entwurf der Wicklungen . . . . .	157

5.2.1 Die Luferwicklung . . . . .	157
5.2.2 Die Standerwicklung . . . . .	158
5.2.2.1 Schaltung und Verteilung der Strange . . . . .	158
5.2.2.2 Bestimmung der Leiterzahl . . . . .	158
<b>6. Berechnung von Einphasenasynchronmotoren . . . . .</b>	<b>164</b>
6.1 Impedanzen. . . . .	164
6.1.1 Leitfahigkeit des Materials . . . . .	164
6.1.2 Digitale Beschreibung der Standerwicklung . . . . .	165
6.1.3 Widerstand eines Standerstranges . . . . .	165
6.1.4 Wirkwiderstand des Kafiglaufers . . . . .	167
6.1.5 Die effektive Leiterzahl und der Wicklungsfaktor. . . . .	167
6.1.6 Der Schragungsfaktor . . . . .	168
6.1.7 Umrechnungsfaktor der Luferimpedanzen . . . . .	168
6.1.8 Reaktanzen des Luftspaltfeldes . . . . .	168
6.1.8.1 Der Cartersche Faktor . . . . .	168
6.1.8.2 Die Hauptreaktanz . . . . .	169
6.1.9 Streureaktanz des Standers . . . . .	169
6.1.9.1 Die Nutstreuung eines Standerstranges . . . . .	169
6.1.9.2 Die Oberwellenstreuung . . . . .	170
6.1.9.3 Die Stirnstreuung . . . . .	172
6.1.9.4 Streureaktanz eines Stranges . . . . .	172
6.1.10 Die Streuung des Kafiglaufers . . . . .	172
6.1.10.1 Streuung in Laufernuten . . . . .	173
6.1.10.2 Streuung der Oberwellen und der Nutschragung . . . . .	173
6.1.10.3 Luferstreuung im Stirnraum . . . . .	174
6.1.10.4 Die Streureaktanz des Laufers . . . . .	175
6.1.11 Magnetischer Kreis . . . . .	175
6.1.11.1 Induzierte Spannung und magnetischer Fluß . . . . .	176
6.1.11.2 Magnetische Spannung am Luftspalt. . . . .	176
6.1.11.3 Magnetische Spannung im Standerjoch . . . . .	177
6.1.11.4 Die Magnetisierungskurve und der Einfluß der Luftwege . . . . .	178
6.1.11.5 Magnetische Spannung in den Standerzahnen. . . . .	179
6.1.11.6 Magnetische Spannung in den Luferzahnen . . . . .	180
6.1.11.7 Magnetische Spannung im Luferjoch . . . . .	180
6.1.11.8 Überprüfung des Abflachungsfaktors . . . . .	181
6.1.11.9 Korrektur der Hauptreaktanz. . . . .	181
6.1.12 Eisen- und Zusatzverluste . . . . .	181
6.2 Grundgleichungen für Rechenprogramme . . . . .	183
6.2.1 Impedanzen $Z'_{mv}$ , $Z'_{gv}$ . . . . .	183
6.2.2 Gleichungen des zweistrangigen Motors mit Oberwellen. . . . .	184
<b>7. Einige praktische Hinweise . . . . .</b>	<b>185</b>
7.1 Experimentelle Ermittlung der günstigsten Leiterzahl. . . . .	185
7.2 Klemmenbezeichnungen . . . . .	186
7.3 Die Drehrichtung und ihre Umkehr . . . . .	187
<b>8. Anhang. . . . .</b>	<b>189</b>
8.1 Strombelagsfunktion des Standers . . . . .	189
8.1.1 Strombelag einer Nut . . . . .	189
8.1.2 Zeigerdarstellung der Strombelagswellen . . . . .	190
8.1.3 Der komplexe Wicklungsfaktor . . . . .	191

8.1.4 Die Nutharmonischen. . . . .	191
8.1.5 Strombelagswellen einer vielsträngigen Wicklung. . . . .	192
8.1.6 Symmetrische Komponenten . . . . .	193
8.2 Der Schrägungsfaktor . . . . .	193
8.2.1 Die Bedeutung des Schrägungsfaktors in Gleichungen. . . . .	193
8.2.2 Der komplexe Schrägungsfaktor . . . . .	195
8.3 Pendelmomente der Arbeitsgrundwelle im einsträngigen Motor . . . . .	196
8.4 Systematische Herleitung der Maschinengleichungen . . . . .	198
8.4.1 Zusammenhang der elektromagnetischen Grundgrößen . . . . .	198
8.4.2 Gleichungen für die Arbeitsgrundwelle . . . . .	199
8.4.3 Gleichungen des symmetrischen Zweiphasenmotors . . . . .	201
<b>Schrifttum. . . . .</b>	<b>205</b>
<b>Bedeutung der wichtigsten Formelzeichen . . . . .</b>	<b>208</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>212</b>