
Elektrische Schrittmotoren und -antriebe

Funktionsprinzip – Betriebseigenschaften – Messtechnik

Prof. Dr. Erich Rummich

Dipl.-Ing. (FH) Hermann Ebert
Dr.-Ing. Ralf Gfrörer
Dipl.-Ing. Friedrich Traeger

3., durchgesehene Auflage

Mit 225 Bildern



Kontakt & Studium
Band 365

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz
Technische Akademie Esslingen
Weiterbildungszentrum
Dipl.-Ing. Elmar Wippler, expert verlag

expert  **verlag**

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort
Autoren-Vorwort

1	Grundlagen der Schrittantriebe	1
	Erich Rummich	
1.1	Einführung	1
1.2	Grundtypen von Schrittmotoren	4
1.2.1	Reluktanzschrittmotoren	4
1.2.2	Permanentmagnetisch erregte Schrittmotoren	4
1.2.3	Hybridschrittmotoren	6
1.3	Erzeugung des Schrittfeldes	7
1.3.1	Gegenüberstellung Drehfeld – Schrittfeld	7
1.3.2	Ständerwicklungen für Schrittmotoren	10
1.3.3	Vollschrittbetrieb	12
1.3.4	Halbschrittbetrieb	12
1.3.5	Mikroschrittbetrieb	14
1.3.6	Bestromungstabellen	14
1.3.7	Unipolare und bipolare Anspeisung der Ständerwicklung	16
1.4	Statischer Drehmomentenverlauf	17
1.4.1	Haltemoment der PM-Motoren	18
1.4.2	Haltemoment bei VR-Motoren	21
1.5	Einzelschritt-Betrieb	22
1.6	Berechnung des magnetischen Kreises	25
1.7	Energetische Betrachtungen, Ermittlung des statischen Drehmomentes	30
1.8	Kennlinien bei variabler Schrittfrequenz im Stationärbetrieb	35
1.9	Schrittmotorantrieb	37
2	Reluktanzmotoren und Sonderbauarten	42
	Erich Rummich	
2.1	Reluktanzmotoren	42
2.1.1	Einständerbauweise	42
2.1.2	Mehrständerausführung	44

2.1.3	Schrittwinkel und Ausführbarkeitsbedingungen	46
2.1.3.1	Einständer-VR-Motoren mit Einzelzähnen im Ständer	47
2.1.3.2	Einständer-VR-Motoren mit hoher Schrittauflösung	48
2.1.4	Optimale Zahn- und Nutform	49
2.1.5	Betriebsarten von Reluktanzmotoren	51
2.2	Scheibenmagnet-Schrittmotoren	56
2.3	Einsträngige PM-Schrittmotoren	59
2.4	Linearschrittantriebe	63
2.4.1	Elektromagnetische Linearschrittantriebe	63
2.4.2	Piezoelektrische Schrittmotoren	64
3	Permanentmagnetisch erregte Schrittmotoren	68
	Friedrich Traeger	
3.1	Einleitung	68
3.2	Aufbau der Schrittmotoren mit Wechselläufer	68
3.3	Klauenpolschrittmotor	68
3.3.1	Konstruktive Details	71
3.3.2	Magnetqualität	72
3.3.3	Drehmoment und Schrittwinkelbereich	74
3.4	Schrittmotor mit Polwicklung	75
3.5	Funktionsweise	76
3.5.1	Vollschritt-Halbschritt-Minischrittbetrieb	76
3.5.2	Steuerschaltungen des Schrittmotors	79
3.5.3	Haltemoment	81
3.5.4	Positioniergenauigkeit	84
3.5.5	Betriebskennlinien	90
3.5.6	Messung der Betriebskennlinien	91
3.6	Klauenpolschrittmotor mit Lagegeber	94
3.7	Anwendungsgebiete	98
4	Hybrid-Schrittmotoren	100
	Ralf Gfrörer	
4.1	Einleitung	100
4.2	Aufbau und Funktion des Hybrid-Schrittmotors	100
4.2.1	Grundfunktion – Erhöhung der Schrittzahl	100
4.2.2	Klauenpolprinzip – Aufbau des Rotors	102
4.2.3	Stator des Hybrid-Schrittmotors	104
4.2.4	Einfluß der Strangzahl	106
4.2.5	Magnetisches Modell	107
4.3	Eigenschaften von 2-Phasen- und 5-Phasen-Schrittmotoren	109

4.3.1	Anzahl der Schrittpositionen	109
4.3.2	Haltemoment – Zeigerdarstellung	111
4.3.3	Vergleich der Haltemomente	112
4.3.4	Rastmoment	114
4.3.5	Schrittmotor als schwingungsfähiges System	118
4.3.5.1	Parametererregte Pendelungen	119
4.3.5.2	Selbsterregte Pendelungen	125
4.4	Kennlinien und Kenngrößen	129
4.4.1	Darstellung der Betriebskennlinien	129
4.4.2	Lastwinkel/Schleppfehler	132
4.4.3	Verhältnis von Geschwindigkeit zu Auflösung	135
	Liste der verwendeten Formelzeichen und Symbole	136
5	Leistungselektronik und Signalverarbeitung	138
	Ralf Gfrörer	
5.1	Einleitung	138
5.2	Betrieb von Schrittmotoren	138
5.2.1	Elektrisches Ersatzschaltbild	138
5.2.2	Aufbau des Stromes	139
5.2.3	Betriebsarten von Schrittmotoren	141
5.2.4	Ansteuerschaltungen	143
5.2.5	Grundsaltungen von Fünfphasen-Schrittmotoren	145
5.2.6	Mikroschrittbetrieb	149
5.3	Komponenten des Schrittmotorantriebs	154
5.3.1	Leistungsansteuerung	154
5.3.2	Schaltungsbeispiele	159
5.3.3	Pulserzeugung	159
5.4	Schrittmotor im geschlossenen Lageregelkreis	167
5.4.1	Motivation	167
5.4.2	Erfassung der Rotorlage	168
5.4.3	„Drehüberwachung“	171
5.4.4	Stellgrößen zur Beeinflussung des Drehmoments	173
5.4.5	Schrittmotor im geregelten Betrieb	174
	Liste der verwendeten Formelzeichen und Symbole	178
6	Untersuchung der Bewegungsvorgänge von Schrittmotoren in der Phasenebene	180
	Erich Rummich	
6.1	Nichtlineare Bewegungsgleichung	180
6.2	Bewegungsvorgänge in der Phasenebene	182

6.3	Phasenporträt des nichtlinearen Schwingers	186
6.4	Einzel-schritt-Fortschaltung	191
6.5	Bewegungsvorgänge bei Schrittsequenzen	192
6.6	Stabilitätsgrenze bei Schrittsequenzen	195
6.7	Resonanz-zonen im Stationärbetrieb	197
7	Auslegung von Schrittmotorantrieben	205
	Ralf Gfrörer	
7.1	Einleitung	205
7.2	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Motorauswahl	205
7.2.1	Abschätzung des Antriebs	205
7.2.2	Umrechnung der Lastdaten	206
7.2.3	Ermittlung der Start/Stop-Frequenz	207
7.2.4	Wahl der Fahrgeschwindigkeit bei linearer Rampe	208
7.2.5	Getriebe	213
7.3	Optimierung des Antriebs	218
7.3.1	Rampen für hohe Fahrgeschwindigkeit	218
7.3.2	Optimierung der Schrittfolge für kurze Wege	218
7.3.3	Einfluß von Strom, Spannung und Wicklung auf das Betriebsverhalten	222
7.3.4	Einfluß der Schaltungsart	226
7.3.5	Erwärmung von Schrittmotoren	229
7.4	Praktische Hinweise	231
7.4.1	Temperaturmessung bei der Inbetriebnahme	231
7.4.2	Ankuppung von Schrittmotoren	231
7.4.3	Lebensdauer	235
8	Messung und Optimierung von Schrittmotorantrieben	239
	Hermann Ebert	
8.1	Einleitung	239
8.2	Statische Momente am Schrittmotor	243
8.2.1	Selbsthaltungsmoment M_S	244
8.2.2	Haltemoment M_H	246
8.2.3	Statischer Lastwinkel β	249
8.3	Dynamische Momente am Schrittmotor	252
	Betriebsgrenzmoment M_{Bm}	
8.4	Einzel-schrittverhalten (Single step response)	256
8.5	Schrittwinkeltoleranzen	257

8.6	Dynamischer Lastwinkel	268
8.7	Optimierung von Schrittprogrammen	277
Literaturverzeichnis		288
Sachregister		290
Autorenverzeichnis		292
