

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen	VIII
1 Einleitung	1
2 Funktionsprinzip und Charakteristik des Ultraschall-Wanderwellenmotors	3
2.1 Funktionsprinzip des Ultraschall-Wanderwellenmotors	3
2.2 Klemmen- und Übertragungsverhalten des Motors	6
2.2.1 Elektrisches Ersatzschaltbild des Motors	7
2.2.2 Gekoppelte Grundmoden-Approximation für den Schwingstator	9
2.2.3 Einfluß der Rotorrückwirkungen und Temperaturschwankungen auf das Schwingungsverhalten des Stators	10
2.2.4 Drehmomentbildung bei Ultraschall-Wanderwellenmotoren	11
3 Versuchsstand für Wanderwellenantriebe	16
3.1 Stromrichterentwicklung	16
3.2 Ansteuerschaltungen für den Resonanz-Stromrichter	19
3.2.1 Analoges Steuerkonzept zur Impulsbildung	19
3.2.2 Digitales Modulationskonzept	20
3.3 Meßwerterfassungssystem für die Ultraschallschwingungen	22
3.4 Antriebsversuchsstand mit digitaler Signalverarbeitung	24
4 Modellierung des elektromechanischen Gesamtsystems	27
4.1 Schematische Darstellung des zweisträngigen Ultraschall-Wanderwellenantriebs	27
4.2 Mathematische Beschreibung des Resonanz-Stromrichters	29
4.3 Modell des piezoelektrisch angeregten Schwingstators	30
4.4 Stator-Rotor-Kontaktmodell	32
4.4.1 Ellipsenbewegung und wellenorientierte Koordinaten	32
4.4.2 Kontaktmechanik für beliebige Biegevelle	36

4.5	Dynamik des Rotors	43
4.6	Wirkungsplanarstellung des Gesamtsystems	43
5	Betriebsverhalten des Wanderwellenantriebs	45
5.1	Parametrierung der Modelle	45
5.1.1	Parameter der mechanischen Grundmoden-Approximation	45
5.1.2	Parameter der Kontaktschicht und des Rotors	49
5.1.3	Parameter des elektrischen Ersatzschaltbildes	50
5.2	Übertragungsverhalten des Wanderwellenantriebs	51
5.2.1	Äquivalenzbeziehung für Phasen-Amplituden-Verstimmung bei nichtreiner Wanderwelle	53
5.2.2	Antriebsanalyse bei verschiedenen Betriebsarten der Biegewelle	57
5.2.3	Führungskonzept für optimierte Kontaktkraftübertragung	65
5.2.4	Beitrag zur Optimierung der Anpreßkraft	70
5.3	Transientenanalyse des Gesamtsystems	74
6	Dynamisches Mittelwertmodell	80
6.1	Mittelwertmodell des Ultraschall-Wanderwellenantriebs	81
6.1.1	Verallgemeinerte Mittelwertmethode mit Fourierkoeffizienten	81
6.1.2	Mittelwertmodell des Resonanz-Stromrichters	83
6.1.3	Mittelwertmodell des mechanischen Schwingungssystems	85
6.1.4	Mittelwertmodell für den Kontaktmechanismus	86
6.1.5	Mittelwertmodell für die Rotordynamik	90
6.1.6	Mittelwertmodell des Wanderwellenantriebs	91
6.1.7	Modellierung der Meßwerterfassung	95
6.2	Analyse der Resonanzkreisstrukturen	97
6.2.1	Grundswingungs-Übertragungsverhalten bei linearen Modellen	97
6.2.2	Einfluß der nichtlinearen Rotorrückwirkungen und Temperatur	104
6.2.3	Linearisierung des mechanischen Grundswingungsmodells	109
6.3	Antriebseigenschaften aufgrund der Rotorrückwirkungen	111
6.3.1	Kippeffekt und Hysteresephänomen bei Wanderwellenantrieben	112
6.3.2	Unsymmetrischer Spannungsbedarf bei nichtreiner Wanderwelle	115

7	Regelung des stromrichtergespeisten Ultraschall-Wanderwellenmotors	119
7.1	Gesamtkonzept des drehzahlgeregelten Antriebs	120
7.1.1	Unterlagerte Spannungs-Biegewellen-Regelung	122
7.1.2	Überlagerte Drehzahlregelung	124
7.2	Vektorregelung für die Resonanzkreisstrukturen	126
7.2.1	Struktur der Vektorregelung	127
7.2.2	Reglerentwurf mit Betragsoptimum im z-Bereich	130
7.2.3	Entwurf der Spannungsregler	134
7.2.4	Entwurf der Biegewellenregler	136
7.2.5	Experimentelle Validierung am elektrischen Ersatz-Schwingkreis	141
7.3	Maßnahmen zur Kompensation von Einflüssen der nichtlinearen Rotorrückwirkungen und Temperatur	142
7.3.1	Online-Identifikation der Schwingkreisparameter	142
7.3.2	Experimentelle Analyse der Resonanzkreissysteme	145
7.3.3	Frequenznachführung und Störgrößenkompensation	149
7.4	Validierung der Spannungs-Biegewellen-Regelung	152
7.4.1	Simulation des geregelten Gesamtsystems	152
7.4.2	Experimentelle Validierung der Spannungs- Biegewellen-Regelung	156
7.5	Entwurf des überlagerten Drehzahlregelkreises	160
7.5.1	Entwicklung des Sollwertrechners	161
7.5.2	Drehzahlregelkreis unter Verwendung des inversen Kontaktmodells	164
7.5.3	Validierung der Drehzahlregelung	166
7.6	Anmerkungen zu temperaturbedingten Begrenzungen	170
8	Zusammenfassung und Ausblick	171
	Anhang	174
	Literaturverzeichnis	176