

INHALTSVERZEICHNIS

0	Abkürzungen und Formelzeichen	13
1	Einleitung	17
1.1	Problemstellung	17
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	18
2	Ausgangssituation	19
2.1	Begriffe und Definitionen	19
2.2	Stand der Technik	22
2.2.1	Relaisjustage	22
2.2.2	Biegejustage	23
2.2.3	Regelsysteme für multifunktional verflochtene Justagekreise	24
3	Analyse und Ableitung von Anforderungen	25
3.1	Analyse des Produktspektrums	25
3.2	Analyse der Justage von Balanced-Force-Relais	26
3.2.1	Analyse des manuellen Justageablaufes	29
3.2.2	Analyse der Sensorikfunktionen	31
3.2.2.1	Messen elektrischer Parameter	31
3.2.2.2	Messen der Kontaktkräfte	31
3.2.2.3	Messen der Kontaktabstände	33
3.2.3	Analyse der Aktorikfunktionen	34
3.2.3.1	Justage der Magnetfelder von Permanentmagneten	34
3.2.3.2	Justage von Bauteilpositionen durch plastische Verformungen	35
3.3	Folgerungen aus den Analyseergebnissen	37

3.4	Anforderungen an automatisierte Justagesysteme für Balanced-Force-Relais	38
3.4.1	Gesamtsystem	38
3.4.2	Steuerungssystem zur Justage	39
3.4.3	Messen der Kontaktkräfte	39
3.4.4	Messen der Kontaktabstände	40
3.4.5	System zur Justage von Bauteilpositionen durch plastische Verformungen	41
4	Konzeption eines Gesamtsystems für die automatische Justage von Balanced-Force-Relais	42
4.1	Konzeption eines Steuerungssystems zur multifunktional verflochtenen Justage	43
4.2	Messen von Kontaktabständen	44
4.3	Messen von Kontaktkräften	46
4.4	Verändern von Bauteilpositionen durch Biegejustieren	47
4.4.1	Untersuchungen zur Genauigkeit der Konzepte zum Biegejustieren	51
4.4.1.1	Analytische Beschreibung der Biegejustage am Biegebalken	51
4.4.1.2	Untersuchung des Biegejustageprozesses mit Hilfe der FEM- Methode	54
4.4.1.3	Bewertung der konzipierten Verfahren zum Biegejustieren	59
5	Entwicklungen zum Verfahren des fließkurvengeregelten Biegejustierens	61
5.1	Genauigkeitsbeeinträchtigende Faktoren für das fließ- kurvengeregelte Biegejustieren und Möglichkeiten zu deren Berücksichtigung	61
5.1.1	Kinematikbedingte Faktoren	62
5.1.1.1	Winkeländerungen	62
5.1.1.2	Reibung an den Kontaktstellen	63
5.1.2	Werkstoffmechanikbedingte Faktoren	

5.1.2.1	Bauschinger-Effekt	65
5.1.2.2	Dämpfung durch innere Reibung	67
5.1.2.3	Vorverformungsbewirkte Anelastizität	68
5.1.3	Aktorbedingte Faktoren	69
5.1.3.1	Statische Nachgiebigkeiten und Spiele des Aktors	69
5.1.3.2	Dynamische Eigenschaften des Aktors	70
5.1.3.3	Meßgenauigkeit der Sensoren	73
5.1.3.4	Geschwindigkeit des Regelprozesses	73
5.1.4	Gesamtheitliche Fehlerquellenberück-sichtigung	73
5.1.5	Steigerung der Biegegenauigkeit durch dedizierte Entlastungssteifigkeit	74
5.2	Positionsübergreifende Direktjustage	75
6	Entwicklung eines Justagesteuerungsverfahrens auf der Basis von Fuzzy-Logik	78
6.1	Struktur des Steuerungssystems	78
6.2	Einrichtung und Abarbeitung des Fuzzy-Systems	79
6.3	Entwicklung von Verfahren zur Adaption des Fuzzy-Reglers auf schwankendes Bauteilverhalten	81
6.3.1	Skalenadaption	81
6.3.2	Plausibilitäts- und Termadaption	83
6.3.3	Einsatzgebiete der entwickelten Adaptionverfahren	84
7	Versuchsaufbau und Versuchsergebnisse	86
7.1	Mechanischer Aufbau	86
7.2	System zum Biegejustieren und zur Kontaktkraftmessung	88
7.2.1	System zum Messen der Kontaktabstände	90
7.3	Steuerung	91
7.4	Justageablauf	92
7.5	Versuche zum fließkurvengeregelten Biegejustieren	94
7.5.1	Verringerung der winkelbedingten Fehler	94

7.5.2	Verringerung der reibungsbedingten Fehler	95
7.5.3	Verringerung der Fehler durch werkstoffmechanische Dämpfung	96
7.5.4	Verringerung der Fehler durch die durch Vorverformung bewirkte Anelastizität	98
7.5.5	Verringerung der Fehler durch statische Nachgiebigkeiten und Spiele des Aktors	99
7.5.6	Bewertung der Ergebnisse mit dedizierter Entlastungssteifigkeit	100
7.5.7	Bewertung der Ergebnisse der positionsübergreifenden Direktjustage	101
7.6	Versuche mit der Steuerung auf der Basis von Fuzzy-Logik	102
7.6.1	Vergleich mit den Ergebnissen einer Steuerung ohne Fuzzy-Logik	102
7.6.2	Ergebnisse mit den entwickelten Adaptionungsverfahren	103
8	Zusammenfassung und Ausblick	106
9	Literaturverzeichnis	108