Inhalt

Notation VIII

1 Einleitung 1

1.1 Entwurfskreislauf mechatronischer Systeme 2
1.2 Charakteristische Begriffe des Entwurfs mechatronischer Systeme 5
1.3 Motivation 8
1.4 Gliederung der Arbeit 9

2 Modellbildung mechatronischer Systeme 10

2.1 Mechatronische Systeme 10
2.2 Objektorientiertes Mechatronik-Modell 11
2.3 Handhabung komplexer Modelle mechatronischer Systeme 13
2.3.1 Handhabung technischer Systeme in der Konstruktionssystematik 14
2.3.2 Analogien zwischen Konstruktion und Modellbildung mechatronischer Systeme 14
2.3.3 Objektorientierte Modellbildung mechatronischer Systeme 16
2.3.4 Strukturierung mechatronischer Systeme 18
2.4 Modellierungswerkzeuge mechatronischer Systeme: Stand der Technik 20
2.4.1 Aufgabe von Modellierungswerkzeugen mechatronischer Systeme 21
2.4.2 Single-Domain-Modellierung 21
2.4.3 Verkopplung der Single-Domain-Modellierung 22
2.4.4 Multi-Domänen-Modellierung 24

3 Modellbildung hydraulischer Systeme mit Objective-DSS 25

3.1 Einführung in die Beschreibungselemente von Objective-DSS 25
3.1.1 Sprachdefinition von Objective-DSS 26
3.1.2 Beschreibungselemente der Regelungstechnik 28
3.1.3 Beschreibungselemente der Mehrkörpersysteme 30
3.1.4 Hierarchische Elemente 32
3.2 Einführung in die Hydraulik 33
3.2.1 Hydraulische Systeme 34
3.2.2 Anwendungsgebiete 36
3.2.2.1 Stationärhydraulik 36
3.2.2.2 Mobilhydraulik 36
3.2.2.3 Flughydraulik 37
3.2.3 Kategorisierung hydraulischer Komponenten 38
3.2.3.1 Hydraulische Komponenten zur Energieumwandlung 38
3.2.3.2 Hydraulische Komponenten zur Energieübertragung 38
3.2.3.3 Hydraulische Komponenten zur Energiesteuerung und -regelung 39
3.2.3.4 Zubehör 39
3.3 Bauelementklassen der Hydraulik in Objective-DSS 39
3.3.1 Physikalisch-topologische Verkopplung hydraulischer Beschreibungselemente 41
3.3.2 Objective-DSS-Metaklassen hydraulischer Systeme 42
3.3.2.1 Katalog "Motor/Pump" 44
3.3.2.2 Katalog "Cylinder" 45
3.3.2.3 Katalog "Valves" 45
3.3.2.4 Katalog "Accessories" 46
3.3.3 Ableitung der mathematischen Repräsentation 48

4 Das "ausgewogene Modell" 52

4.1 Beschreibungsformen zur Auslegung mechatronischer Systeme 54
4.1.1 Reduzierte physikalische Beschreibungsformen 54
4.1.1.1 Mechanik 54
4.1.1.2 Hydraulik 56
4.1.1.3 Regelungstechnik 56
4.1.2 Mathematische Beschreibungsformen 57
4.2 Detaillierungsgrad und Güte von Modellkomponenten 58
4.2.1 Bewertung anhand physikalischer Effekte und Eigenschaften 59
4.2.2 Bewertung anhand mathematischer Charakteristika 60
4.2.3 Bewertung anhand der Funktionen von Komponenten 60
4.2.4 Modellgüte, Parametergüte und Parameterempfindlichkeit 61
4.3 Anforderungen an ein "ausgewogenes Modell" 63
4.4 Beispiel: Leistungsverzweigtes Getriebe 66
4.4.1 Vereinfachende Annahmen für das physikalisch-topologische Modell 68
4.4.2 Mathematische Repräsentation 73
4.4.3 Beurteilung des Detaillierungsgrads und der Ausgewogenheit 82

5 Modell als "Wissensspeicher" 83

5.1 Elemente der Gedächtnispsychologie 85
5.1.1 Definition und Beschreibung von (technischen) Problemen und Problemräumen 86
5.1.2 Kategorisierung von Problemen 89
5.1.3 Problemlösung 91
5.1.4 Rolle des Gedächtnisses bei der Problemlösung 96
5.2 Anforderungen an ein "selbsterklärendes Modell" 98
5.2.1 Anforderungen an die Struktur von Modellen 99
5.2.2 Anforderungen an die Modellierung von Bauteilen 101
5.2.3 Das "selbsterklärende Modell" in Objective-DSS 103
5.3 Automatische Modelldokumentation 106
5.3.1 Anforderungen an die automatische Modelldokumentation 106
5.3.2 Struktur der automatischen Modelldokumentation 108
5.4 Modellverwaltung und -versionierung 113
5.4.1 Modellverwaltung 113
5.4.2 Versionierung und Rücksicherung von Modellen 114
5.4.3 Benutzerrechte für Modelle 115

6 Anwendungsbeispiel hydrostatisches Getriebe 117

6.1 Entwurf eines alternativen hydrostatischen Getriebes 117
6.1.1 Funktionsorientierte Betrachtung des konventionellen hydrostatischen Getriebes 118
6.1.2 Strukturorientierte Betrachtung 118
6.1.3 Entwicklung alternativer Lösungen auf Basis der objektorientierten Betrachtung 120
6.1.4 Blockorientierte Betrachtung 122
6.2 Analyse der konventionellen Verstellung 125
6.3 Regelungstechnische Auslegung der alternativen Verstellung 128
6.3.1 MFM-Spule-Ventil 128
6.3.2 MFM-Verstelleinheit 129
6.4 Bewertung der Ergebnisse 132

7 Zusammenfassung und Ausblick 134

Anhang A:EBNF 138

Anhang B:Objective-DSS-Metaklassen für Beschreibungselemente der Hydraulik 138

B.1 Katalog "Motor Pump" 138
B.1.1 PumpConstantVolumeHydr 139
B.1.2 PumpVariableVolumeHydr 140
B.1.3 MotorConstantVolumeHydr 142
B.1.4 MotorVariableVolumeHydr 144
B.2 Katalog "Cylinder" 146
B.2.1 CylinderHydr 146
B.2.2 CylinderWithMassHydr 148
B.2.3 CylinderWithChamberHydr 150
B.2.4 CylinderWithMassAndChamberHydr 152
B.3 Katalog "Valves" 154
B.3.1 OrificeHydr 154
B.3.2 ThrottleHydr 156
B.3.3 PressureReliefValveHydr / BackPressureValveHydr 157
B.3.4 ServoValve22Hydr 158
B.3.5 ServoValve32Hydr 159
B.3.6 ServoValve43Hydr 161
B.4 Katalog "Accessories" 163
B.4.1 ChamberHydr 163
B.4.2 HydrPneuAccumulatorHydr 164
B.4.3 PressureSourceHydr 166
B.4.4 FlowSourceHydr 166
B.4.5 PSpoolDynamicHydr 167
B.4.6 PT1SpoolDynamicHydr 168
B.4.7 PT2SpoolDynamicHydr 169
B.4.8 FlowActuatorHydr 170
B.4.9 VolumeActuatorHydr 171
B.4.10FlowrateSummationHydr 172

Literatur 174