

Dipl.-Phys. Andreas Laudenbach,
Darmstadt

Strukturierte System- und Chipentwurfsmethodik für den Maschinenbau am Bei- spiel eines hochkomplexen Bausteines zur Ottomotor- Brennverlaufberechnung

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik Nr. **343**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufgabenstellung und Lösungsansätze	3
1.3	Inhaltsübersicht	6
2	Mechatronische Systeme	8
2.1	Mechatronik - Definition und Überblick	8
2.2	Beispiele mechatronischer Systeme	10
2.2.1	Intelligenter Sensor (smart sensor)	10
2.2.2	Aktive magnetische Lagerung	12
2.2.3	Regelung eines Roboterarmes	14
2.3	Anforderungen an die Mikroelektronik	16
2.3.1	Klassifizierung anhand der Informationsverarbeitung	16
2.3.2	Prozessrechnersysteme	18
3	Entwurf mikroelektronischer Komponenten für mechatronische Systeme	20
3.1	Entwurf mechatronischer Systeme	20
3.2	Entwurf mikroelektronischer Systeme	24
3.2.1	Problemstellungen und Lösungsansätze	24
3.2.2	Stand der Technik	25
3.2.3	Entwickelte Systementwurfsmethodik	27
3.3	Entwurf anwendungsspezifischer integrierter Schaltungen	29
3.3.1	Überblick über Entwurfsmethoden	30
3.3.2	ASIP-Entwurfsmethodik für Anwendungen in der Mechatronik	38
3.4	Makrozellentwurf	42

3.4.1	Modulgenerierung	42
3.4.2	Physikalischer Chipentwurf	45
4	CAD-Unterstützung der Entwurfsmethodik	48
4.1	Approximation von Funktionen	49
4.1.1	Geeignete mathematische Methoden	50
4.1.2	VLSI-Implementierung von Funktionen	56
4.2	Funktionelle Simulation	58
4.3	Analyse des Rauschens auf Versorgungsbahnen	61
4.3.1	Makromodellierung und Extraktion von Teilschaltungen	62
4.3.2	Power-Ground-Simulation	64
4.4	Digitaltest	65
5	Entwicklung komplexer Makrozellen	69
5.1	Multiplikations/Divisionsrechenwerk für Gleitkommazahlen	69
5.1.1	Optimiertes Gleitkommazahlenformat für mechatronische Anwendungen	70
5.1.2	Multiplikation und Division von Gleitkommazahlen	73
5.1.3	Funktionsbeschreibung des realisierten Mantissenrechenwerkes	78
5.1.4	Funktionsbeschreibung des realisierten Exponentenrechenwerkes	81
5.1.5	Parameterisierbarkeit und Test	84
5.2	Additions/Subtraktionsrechenwerk für Gleitkommazahlen	85
5.2.1	Berechnungsalgorithmen	85
5.2.2	Realisierung des Rechenwerkes	87
5.2.3	Parameterisierbarkeit und Test	91
5.3	Register und Vektorspeicher	92
5.3.1	Speichergrundzelle	92
5.3.2	Statische und dynamische Register	94
5.3.3	Vektorspeichermodul	94
5.4	Programmable Logic Array	96
5.5	Weitere Makrozellen	97
5.5.1	Multiplexer	97
5.5.2	Pads	97
5.5.3	Logikschaltungen	98

6	Thermodynamische Analyse und Regelung von Verbrennungsmotoren	99
6.1	Allgemeine Thermodynamik des Verbrennungsmotors	99
6.2	Prozeßrechnung für den Ottomotor	100
6.2.1	Verwendete thermodynamische Grundgleichungen	100
6.2.2	Modellbildung zur Heizverlaufberechnung	101
6.2.3	Modellbildung zur Brennverlaufberechnung	103
6.3	Kontrolle von Zündzeitpunkt und Einspritzung	108
6.3.1	Arbeitsweise existierender Systeme	108
6.3.2	Neuer regelungstechnischer Ansatz	109
7	Funktionelle Verifikation durch die Berechnung des Heizverlaufs mit einem Signalprozessor	111
7.1	Algorithmus und zeitliche Anforderungen	112
7.2	Funktionen des Heizverlaufrechners	114
7.3	Architektur des Heizverlaufrechners	114
7.4	Softwareentwicklung	117
7.5	Ergebnisse der Implementierung mit dem Signalprozessor	118
8	Chipentwurf zur Brennverlaufberechnung	121
8.1	Entwicklung eines VLSI-gerechten Brennverlaufalgorithmus	122
8.1.1	Integrationsverfahren und Iterationsverfahren	122
8.1.2	Optimierung des Brennverlaufalgorithmus	125
8.2	Architekturentwicklung	128
8.2.1	Datenformat und Rechenleistung	128
8.2.2	Auswahl einer Architektur zur Parallelverarbeitung	130
8.2.3	Synthese der Vektorarchitektur	137
8.3	Multichipprojekt	143
8.3.1	Entwurf der Testchips	143
8.3.2	Digitaltest	146
8.4	Entwurf des Einchipvektorprozessors	150
8.4.1	Layoutgenerierung	150
8.4.2	Verifikation des Entwurfes	153
8.4.3	Test des Vektorprozessors	153

9 Systementwicklung zur Brennverlaufberechnung	159
9.1 Prototypgenerierung und Emulation des Vektorprozessors	161
9.2 Brennverlaufrechner	163
9.2.1 Systemanforderungen und Funktionen	163
9.2.2 Hardwarekomponenten des Brennverlaufrechners	165
9.2.3 Software zum Betrieb des Brennverlaufrechners	170
9.3 Entwicklung eines Makro-Assemblers	172
9.3.1 Struktureller Aufbau des Makro-Assemblers	174
9.3.2 Eigenschaften des Makro-Assemblers	176
9.4 Mechatronisches System	178
9.5 Zusammenfassung der Systemaspekte	181
10 Einsatz des Brennverlaufrechners	183
10.1 Inbetriebnahme am Motorprüfstand	183
10.2 Verifikation des Brennverlaufalgorithmus	186
10.3 Analyse der zyklischen Schwankungen im Verbrennungsmotor	190
11 Zusammenfassung und Ausblick	192
11.1 Ergebnisse der Arbeit	192
11.2 Ausblick	193
Literaturangaben	195
A Syntaxdefinition der VPASS-Sprache für den Makro-Assembler	204
B Brennverlaufalgorithmus als Makro-Assemblerprogramm	207
C Architekturbeschreibung des Vektorprozessors in der ALGIC-HDL211	