

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Diskrete Modellierung passiver elektrischer Netzwerke	5
1.1 Vorbemerkungen	5
1.2 Wellengrößen	6
1.3 Wellendigitalbausteine	8
1.3.1 Quellen	8
1.3.2 Lineare nichtreaktive Elemente	9
1.3.3 Lineare reaktive Elemente	11
1.3.4 Adaptoren	15
1.4 Eigenschaften von Wellendigitalstrukturen	17
2 Passive lineare Mehrschritt-Verfahren	25
2.1 Vorbemerkungen	25
2.2 Charakteristische Impedanz	26
2.3 Entwurf passiver Verfahren	29
2.3.1 Konsistenzbedingungen	29
2.3.2 Maximal erreichbare Konsistenzordnung	32
2.4 Synthese passiver Verfahren	34
2.4.1 Elektrische Repräsentation der Verfahrensparameter	34
2.4.2 Synthese eines Wellendigitalmodells	37
2.4.3 Implementierung passiver Verfahren	38
3 Passive Runge-Kutta-Verfahren	41
3.1 Vorbemerkungen	41
3.2 Charakteristische Impedanzmatrix	42
3.3 Entwurf passiver Verfahren	47
3.3.1 Konsistenzbedingungen	47

3.3.2	Realisierbarkeitsbedingungen	53
3.3.3	Maximal erreichbare Konsistenzordnung	54
3.4	Synthese passiver Verfahren	57
3.4.1	Elektrische Repräsentation der Verfahrensparameter	57
3.4.2	Synthese eines Wellendigitalmodells	61
3.4.3	Implementierung passiver Verfahren	64
3.5	Weiterführende Verfahren	66
3.5.1	Steif genaue PDIRK-Verfahren	66
3.5.2	Verfahren mit Stufeneinsparung	68
3.5.3	Generelle lineare Methoden	70
4	Eigenschaften passiver Verfahren	73
4.1	Vorbemerkungen	73
4.2	Stabilitätseigenschaften	74
4.2.1	Nullstabilität	74
4.2.2	A-Stabilität	76
4.2.3	L-Stabilität	78
4.3	Kontraktivitätseigenschaften	84
4.4	Verlustfreiheit	87
4.5	Gütemaße für Integrationsmethoden	88
4.5.1	Approximationsgüte der Frequenzvariablen	88
4.5.2	Approximationsgüte des transienten Verhaltens	92
4.5.3	Approximationsgüte des stationären Verhaltens	97
4.5.4	Ein Maß für die Verluste	102
5	Behandlung verzögerungsfreier gerichteter Schleifen	107
5.1	Das Entstehen verzögerungsfreier gerichteter Schleifen	107
5.2	Iterationsverfahren	110
6	Simulationsbeispiele	119
6.1	Vorbemerkungen	119
6.2	Ein Abzweigfilter	119
6.3	Nichtlineare Oszillatoren	123
6.3.1	Federschwinger als DUFFING-Oszillator	124
6.3.2	Mathematisches Pendel	129
	Zusammenfassung und Ausblick	135

Abbildungsverzeichnis

1.1	Definition eines Tores	7
1.2	Kopplung zweier Tore	8
1.3	Nachzubildendes elektrisches Netzwerk	18
1.4	Referenzschaltung	18
1.5	Wellendigitalmodell	19
1.6	Kopplung zweier Wellendigitalnetzwerke	20
2.1	Referenzschaltung für ein LMS-Verfahren	28
2.2	Realisierung der charakteristischen Impedanz	35
2.3	Realisierung einiger charakteristischen Impedanzen	36
2.4	Wellendigitalmodell der charakteristischen Impedanz	37
3.1	Signalflussdiagramm eines RUNGE-KUTTA-Verfahrens	43
3.2	Referenzschaltung für ein RUNGE-KUTTA-Verfahren	46
3.3	Komplexität der Konsistenzbedingungen	50
3.4	Reaktiver Teil der charakteristischen Impedanzmatrix	58
3.5	Resistiver Teil der charakteristischen Impedanzmatrix	59
3.6	Energieneutraler Teil der charakteristischen Impedanzmatrix	60
3.7	Realisierung der Impedanzmatrix Z_p	62
3.8	Wellendigitalmodelle für 1- bzw. 2-stufige PDIRK-Verfahren	63
3.9	Wellendigitalmodell für 3-stufige PDIRK-Verfahren	64
3.10	Erläuterung des Wellendigitalmodells aus Abbildung 3.9	65
4.1	Testschaltung zur a) Nullstabilität bzw. b) A-Stabilität	75
4.2	Referenzschaltungen: Explizites / implizites EULER-Verfahren	76
4.3	Testschaltung zur L-Stabilität	79
4.4	Wellendigitalmodelle: Nicht L-stabiles/L-stabiles Verfahren	80
4.5	Testschaltungen zur Beurteilung der Approximationsgüte	89

4.6	Approximationsgüte der Frequenzvariablen	91
4.7	Approximationsgüte des transienten Verhaltens	94
4.8	Approximationsgüte des spektralen Verhaltens	99
4.9	Energieverluste einiger Integrationsverfahren	104
5.1	Modell einer energetischen Kapazität	109
5.2	Testschaltung für Iterationsverfahren	110
5.3	Approximative LIPSCHITZ-Konstanten	114
5.4	Ergebnisse: Fixpunktiteration / STEFFENSEN-Verfahren . . .	116
6.1	Ein Abzweigfilter	120
6.2	Simulationsergebnisse zum Abzweigfilter	121
6.3	Simulationsfehler von PDIRK-Verfahren zum Abzweigfilter .	123
6.4	Realisierung eines nichtlinearen elektrischen Oszillators . . .	124
6.5	Federschwinger als DUFFING-Oszillator	124
6.6	Lösungsverläufe der DUFFING-Differentialgleichung	126
6.7	Simulationsfehler des Weges beim Federschwinger	128
6.8	Mathematisches Pendel	130
6.9	Trajektorien des Pendels	132

Tabellenverzeichnis

1.1	Wellenflussdiagramme einiger Quellen	9
1.2	Wellenflussdiagramme einiger nichtreaktiver linearer Elemente	10
1.3	Wellenflussdiagramme einiger reaktiver linearer Elemente . .	13
1.4	Wellenflussdiagramme und Symbole einiger Adaptoren	16
2.1	Konsistenzbedingungen für lineare Mehrschritt-Verfahren . .	32
2.2	Erzeugende Polynome für lineare Mehrschritt-Verfahren . . .	32
3.1	Konsistenzbedingungen für RUNGE-KUTTA-Verfahren	49
4.1	Kritische Werte ausgewählter Integrationsmethoden	96