

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Aufgaben der Netzwerktheorie	1
1.2 Realisierungsmöglichkeiten von Filtern	2
1.3 Normierung	4
2 Pol-Nullstellen-Schemata	11
2.1 Analoge Übertragungssysteme	11
2.1.1 Einige systemtheoretische Grundlagen	11
2.1.2 Die Ermittlung von Betrag und Phase aus dem PN-Schema	13
2.2 Folgerungen aus dem PN-Schema	22
2.2.1 Der Begriff des Mindestphasensystems	22
2.2.2 Bemerkungen zu PN-Schemata von Zweipolfunktionen	25
2.2.3 Die Erzeugung eines frequenzempfindlichen Verhaltens	26
2.2.4 Polynomfilter	30
2.2.5 PN-Schemata bei speziellen Übertragungscharakteristiken	34
2.2.5.1 Der Allpaß	34
2.2.5.2 Der Tiefpaß	36
2.2.5.3 Der Hochpaß	37
2.2.5.4 Der Bandpaß	39
2.2.5.5 Die Bandsperr	41
2.3 Pol-Nullstellenschemata bei zeitdiskreten Systemen	42
2.3.1 Systemtheoretische Grundlagen	42
2.3.2 Die Ermittlung von Betrag und Phase aus dem PN-Schema	44
2.3.3 Einige spezielle PN-Schemata zeitdiskreter Systeme	47
3 Die Synthese von Zweipolen	51
3.1 Notwendige und hinreichende Bedingungen für Zweipolfunktionen	51
3.1.1 Ein Satz über Zweipolfunktionen	51
3.1.2 Bemerkungen und einige Beweise	52
3.1.3 Zusammenstellung von Eigenschaften von Zweipolfunktionen	56
3.1.4 Der Weg zur Synthese von Zweipolschaltungen	58
3.2 Die Synthese von verlustfreien Zweipolen	62
3.2.1 Spezielle Eigenschaften von Reaktanzzweipolfunktionen	62
3.2.2 Partialbruchsaltungen	66
3.2.3 Kettenbruchsaltungen	74
3.2.3.1 Vorbemerkungen zu den Schaltungen	74
3.2.3.2 Die Kettenbruchsaltungen nach Cauer	76
3.2.3.3 Nichtkanonische Kettenbruchsaltungen	80
3.3 Die Synthese induktivitätsfreier Zweipole	84
3.4 Bemerkungen zur Synthese allgemeiner Zweipole	90
4 Die Synthese passiver Zweitorschaltungen	92
4.1 Einige Grundlagen aus der Netzwerktheorie	92
4.1.1 Die Beschreibung von Zweitoren durch Strom- Spannungsmatrizen	92
4.1.2 Die Beschreibung von Zweitoren mit Wellengrößen	94

4.1.3 Einige Netzwerkumwandlungen	99
4.1.3.1 Äquivalenz-Transformationen	99
4.1.3.2 Duale Netzwerke	102
4.2 Realisierbarkeitsbedingungen für Zweitore	107
4.2.1 Die Eigenschaften von Impedanzmatrizen	107
4.2.2 Bedingungen für Reaktanzzweitore	110
4.2.3 Bedingungen für induktivitätsfreie Zweitore	113
4.3 Einfache Realisierungsschaltungen für Zweitore	114
4.3.1 Die T- und die Π -Ersatzschaltung	114
4.3.2 Die symmetrische Kreuzschaltung	116
4.3.2.1 Die Schaltung und ein Realisierungssatz	116
4.3.2.2 Der Symmetriesatz von Bartlett	119
4.4 Die Realisierung von Übertragungs- und Betriebsübertragungsfunktionen	122
4.4.1 Definition und Eigenschaften der Betriebsübertragungsfunktion	122
4.4.2 Die Realisierung durch symmetrische Kreuzschaltungen	124
4.4.2.1 Die Realisierung mit dualen kanonischen Impedanzen	125
4.4.2.2 Die Realisierung durch Kettenschaltungen	128
4.4.2.3 Die Synthesemethode nach Darlington	129
4.4.3 Die Realisierung von Mindestphasensystemen durch die überbrückte T-Schaltung	130
4.4.4 Die Realisierung mit Reaktanzzweitoren	131
4.4.4.1 Vorbemerkungen zu den Syntheseverfahren	131
4.4.4.2 Die Synthese von Polynomfiltern	133
4.4.4.3 Die Synthese bei Nullstellen auf der imaginären Achse	142
4.4.4.4 Spezielle Realisierungen von Übertragungsfunktionen	146
4.4.4.5 Bemerkungen zur Verlustberücksichtigung	152
5 Die Realisierung von speziellen Übertragungscharakteristiken	154
5.1 Der Entwurf von Allpässen	154
5.2 Der Entwurf von Tiefpässen	159
5.2.1 Vorbemerkungen	159
5.2.1.1 Entwurfsvorschriften	159
5.2.1.2 Die charakteristische Funktion	161
5.2.1.3 Tiefpaßarten	163
5.2.2 Potenz- oder Butterworth-Tiefpässe	164
5.2.3 Tschebyscheff-Tiefpässe	170
5.2.3.1 Tschebyscheffpolynome	170
5.2.3.2 Der Entwurf der Tiefpässe	172
5.2.4 Bessel- oder Thomson-Tiefpässe	180
5.2.5 Cauer-Filter	185
5.2.5.1 Theoretische Grundlagen	186
5.2.5.2 Cauer-Tiefpässe ungeraden Grades	192
5.2.5.3 Cauer-Tiefpässe geraden Grades	195
5.2.6 Ein Vergleich der Tiefpässe	199

5.3 Der Entwurf von Hochpässen	202
5.3.1 Die Transformationseigenschaften	202
5.3.2 Der Entwurf	207
5.4 Der Entwurf von Bandpässen	210
5.4.1 Die Transformationsbeziehungen	210
5.4.2 Der Entwurf	215
5.5 Der Entwurf von Bandsperren	219
6. Aktive Filter	222
6.1 Einleitung und Überblick	222
6.2 Grundlagen zum Entwurf aktiver Filter	224
6.2.1 Die aktiven Elemente	224
6.2.1.1 Der Operationsverstärker	224
6.2.1.2 Grundschaltungen mit Operationsverstärkern	226
6.2.1.3 Eine grundlegende Schaltungsstruktur	228
6.2.2 Konverter	233
6.2.2.1 Definition und Vorbemerkung	233
6.2.2.2 Der Gyrtator	236
6.2.2.3 Ein allgemeiner Immittanzkonverter	238
6.2.3 Bemerkungen zur Empfindlichkeitsanalyse von Netzwerken	242
6.3 Direkte Realisierungsverfahren für aktive Filter	246
6.3.1 Empfindlichkeitseigenschaften der passiven Referenzfilter	246
6.3.2 Gyrtator C-Filter	250
6.3.2.1 Die unmittelbare Simulation der Induktivitäten	250
6.3.2.2 Die Verwendung von ausschließlich einseitig geerdeten Gyrtatoren	251
6.3.2.3 Abschließende Bemerkungen zu den Gyrtator-Filtern	254
6.3.3 Aktive Filter mit Superkapazitäten	256
6.3.3.1 Die Bruton-Transformation	256
6.3.3.2 Der Entwurf der Filterschaltungen	259
6.3.3.3 Die Realisierung von Spannungs-Übertragungsfunktionen	261
6.3.3.4 Abschließende Bemerkungen	262
6.3.4 Leapfrog-Filter	262
6.3.4.1 Vorbemerkung	262
6.3.4.2 Die Grundstrukturen der LF-Filter	263
6.3.4.3 Realisierungsbeispiele für LF-Filter	265
6.4 Kaskaden-Realisierungen	273
6.4.1 Das Syntheseverfahren	273
6.4.2 Zusammenstellung einiger Realisierungsschaltungen	276
6.4.2.1 Blöcke 1. Grades	276
6.4.2.2 Blöcke 2. Grades	277
6.4.2.3 Ein Entwurfsbeispiel	280
6.4.2.4 Schlußbemerkung	281

7 Zeitdiskrete und digitale Filter	282
7.1 Grundlagen	282
7.1.1 Vorbemerkungen	282
7.1.2 Strukturen zeitdiskreter Filter	284
7.1.2.1 Direktstrukturen	284
7.1.2.2 Die Parallelstruktur	288
7.1.2.3 Die Kaskadenstruktur	290
7.1.2.4 Hinweise auf andere Strukturen	292
7.1.3 Besonderheiten bei digitalen Systemen	292
7.1.3.1 Ein Überblick	292
7.1.3.2 Quantisierungsfehler bei der A/D-Umwandlung	296
7.1.3.3 Fehler bei Zwischenergebnissen in digitalen Systemen	302
7.1.3.4 Skalierung	306
7.2 Der Entwurf rekursiver digitaler Filter	308
7.2.1 Die Impulsinvarianz-Methode	309
7.2.1.1. Das Verfahren und seine Einschränkungen	309
7.2.1.2 Ein Entwurfsbeispiel	313
7.2.2 Die Bilinear-Methode	316
7.2.2.1 Grundlagen	316
7.2.2.2 Das Entwurfsverfahren	321
7.2.2.3 Entwurfsbeispiele	324
7.3 Der Entwurf nichtrekursiver digitaler Filter	331
7.3.1 Linearphasige Filter	332
7.3.2 Ein Entwurfsbeispiel nach Vorschriften im Zeitbereich	338
7.3.3 Der Entwurf bei Vorschriften im Frequenzbereich	341
7.3.3.1 Die Fourier-Approximation	341
7.3.3.2 Die Verwendung von Fensterfunktionen	345
7.3.4 Bemerkungen zu weiteren Entwurfsmethoden	348
7.4 Wellendigitalfilter	349
7.4.1 Vorbemerkungen	349
7.4.2 Die Elemente eines Wellendigitalfilters	350
7.4.3 Das Entwurfsverfahren	355
7.5 Schalter-Kondensator-Filter	358
Anhang: Programmbeschreibung	360
A.1 Allgemeine Hinweise	360
A.1.1 Vorbemerkungen	360
A.1.2 Informationen über die Programmgröße und die erforderliche Gerä- tausstattung	361
A.2 Die Beschreibung der Teilprogramme	362
A.2.1 Netzwerkfunktionen	362
A.2.2 Kaskadenfilter (analog/digital)	363
A.2.2.1 Analoge (aktive) Kaskadenfilter	364
A.2.2.2 Digitale Kaskadenfilter	366

A.2.3 Standardfilter (analog/digital)	367
A.2.3.1 Passive analoge Filter	367
A.2.3.2 Leapfrog-Filter	369
A.2.3.3 Wellendigitalfilter	369
A.2.4 Schaltungsentwurf	369
A.2.5 Schaltungseditor	370
A.2.5.1 Die Eingabe einer Schaltung	371
A.2.5.2 Die Übernahme einer schon vorhandenen Schaltung	372
A.2.6 Nichtrekursive digitale Filter	372
A.2.6.1 Ideale Tiefpässe mit linearer Phase	372
A.2.6.2 Freie Eingabe der Impulsantwort	373
A.2.7 Reaktanz-Zweipole	373
A.2.8 Dateiverwaltung	374
A.2.8.1 Die Erweiterungen "pns", "sch" und "rzp"	374
A.2.8.2 Die Erweiterungen "pnz", "ndf" und "wdf"	375
Literaturverzeichnis	376
Sachregister	377