
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zum Inhalt	1
1.2	Zur Methodik	3
1.3	Besonderheiten	4
2	Polarkoordinaten in der komplexen Ebene	7
3	Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung	19
3.1	Signale	20
3.1.1	Elementare Signale	23
3.1.2	Bildung neuer Signale durch Argumenttransformationen	26
3.1.3	Ein Beispiel zur Berechnung von Faltungen	29
3.1.4	Das Replizieren finiter Signale mit Faltungen	31
3.1.5	Komplexe Signale	34
3.1.6	Konvergenz von Signalfolgen	36
3.2	Systeme	43
3.2.1	Systeme, die linear und stetig sind	48
3.2.2	Systeme, die linear, stetig und shift-invariant sind	57
3.2.3	Der Median als Beispiel eines nicht-LSI-Systems	67
3.2.4	Die Einheitsimpulsantwort von LSI-Systemen	70
3.2.5	Die Frequenzantwort von LSI-Systemen	78
3.2.6	Frequenzantwort und diskrete Fourier-Transformation	96
3.3	Fenster	100
3.3.1	Die Faltung 2π -periodischer Funktionen	100
3.3.2	Die multiplikative Fensteroperation und die Fensterfunktion	102
3.3.3	Das Rechteckfenster und das Gibbssche Phänomen	105
3.3.4	Das Dämpfen der Restwelligkeit mit Sigma-Faktoren	110
3.3.5	Das von Hann-Fenster	113
3.4	Die Bedeutung der Phase von LSI-Systemen	118
3.5	Frequenzen und Abtasten	130
3.6	Die Konstruktion von LSI-Systemen über Fourier-Entwicklungen	141

3.7	Die z -Transformation	150
3.7.1	Vorbereitungen	150
3.7.2	Definition	154
3.7.3	Eigenschaften	155
3.7.4	Beispiele	158
3.7.5	Die Bestimmung der Umkehrung	160
3.8	Die Systemfunktion	168
3.9	Pole	173
3.10	Die Berechnung von Amplituden- und Phasengang für LSI-Systeme mit rationaler Systemfunktion	177
3.11	Kausale Systeme	179
3.12	Stabile Systeme	187
3.13	Die Verknüpfung von Systemen	191
3.13.1	Das Hintereinanderschalten von Systemen	192
3.13.2	Das Parallelschalten von Systemen	207
3.13.3	Verknüpfte Systeme mit Rückkopplung	208
3.13.4	Die Korrektur von Systemeigenschaften mit Allpässen	213
3.13.5	Signale und LSI-Systeme als isomorphe Algebren	216
4	Die Konstruktion digitaler Filter	223
4.1	Systemfunktion und Differenzengleichung	223
4.2	Nullstellen und Pole	224
4.3	Anleihen aus der analogen Welt	227
4.3.1	Ein Butterworth-Tiefpass zweiten Grades	228
4.3.2	Eine Bessel-Bandsperre vierten Grades	233
4.4	Kerbfilter	238
4.5	Hochpässe	251
4.6	Gruppenlaufzeit und Verschiebungsfunktion	264
4.7	Filter mit stückweise linearem Phasengang	266
4.8	Filter mit Wunschfrequenzgängen	277
4.8.1	Ein idealer Tiefpass	278
4.8.2	Eine logarithmische Wunschkurve	287
4.8.3	Die RIAA-Entzerrerkurve als Wunschkurve	290
4.9	Konstruktion eines Filters aus einer Einheitsimpulsantwort (die Padé-Methode)	298
5	Die Realisierung digitaler Filter mit AVR-Mikrocontrollern	305
5.1	Die numerische Berechnung des gefilterten Signals	306
5.2	Die Implementierung eines Hochpasses	313
5.3	Die Implementierung eines Filters mit RIAA-Kennlinie	328

6 Numerische Verfahren zur Filterkonstruktion	335
6.1 Das Integrationsverfahren nach Romberg	335
6.2 Der QD-Algorithmus zur Nullstellenbestimmung	339
6.3 Die Padésche Tafel	348
6.4 Partialbruchzerlegung	352
6.5 Der Einsatz von Fixkommaarithmetik	357
Anhang	367
A.1 Entwicklungskoeffizienten und Tabellen	367
A.1.1 Die Koeffizienten der Entwicklung von $\prod_{v=1}^n \Phi_{r_v, \phi_v}$	367
A.1.2 Die Berechnung der Fourier-Entwicklung des Wellenzuges w	368
A.1.3 Tabelle der Sigma-Faktoren in Fixkommaformaten	371
A.2 Formelsammlung	375
A.3 Bezeichnungen	376
Literatur	383
Sachverzeichnis	385