

Inhaltsverzeichnis

1	Erste Schritte in MATLAB	1
1.1	Programmstart und einfache Befehle	1
1.1.1	MATLAB-Entwicklungsumgebung	1
1.1.2	Einfache arithmetische Operationen	1
1.1.3	Konstanten und Variablen	3
1.1.4	MATLAB help-Kommando	4
1.1.5	Vektoren und Matrizen	4
1.1.6	Vordefinierte MATLAB-Funktionen und einfache Grafiken	9
1.2	Schreiben eines MATLAB-Programms im Editor/ Debugger-Window	10
1.2.1	MATLAB-Editor	10
1.2.2	Programmkontrolle und logische Operatoren	12
1.2.3	Verkettete Programme und Unterprogramme	13
1.3	MATLAB HELP und MATLAB DEMO	15
2	Zeitdiskrete Signale	18
2.1	Elementare zeitdiskrete Signale	18
2.1.1	Grundlagen	18
2.1.2	Vorbereitende Aufgaben	21
2.1.3	Versuchsdurchführung	22
2.2	Audiosignale	22
2.2.1	Töne, Klänge und Geräusche	22
2.2.2	Beispiel: Synthese eines Audiosignals	23
2.2.3	ADSR-Profil	24
2.2.4	Harmonische	26
2.2.5	Vorbereitende Aufgaben	26
2.2.6	Versuchsdurchführung	26
3	Diskrete Fourier-Transformation (DFT)	29
3.1	Grundlagen	29
3.1.1	Diskrete Fourier-Transformation	30
3.1.2	Eigenschaften der diskreten Fourier-Transformation	34
3.2	Vorbereitende Aufgaben	36
3.3	Versuchsdurchführung	37
4	Schnelle Fourier-Transformation (FFT)	40
4.1	Komplexität	40
4.2	Radix-2-FFT-Algorithmus	41
4.3	Programmierung der DIT- Radix-2-FFT	46
4.3.1	Ordnen der Eingangsfolge	46
4.3.2	Signalverarbeitung im Signalflussgraphen	49
4.4	Vorbereitende Aufgaben	51
4.5	Versuchsdurchführung	53

5	Kurzzeit-Spektralanalyse: Grundlagen	55
5.1	Grundlagen	55
5.1.1	Abtastung.....	56
5.1.2	Spektrum des zeitdiskreten Signals	58
5.1.3	Fensterung	59
5.1.4	Diskrete Fourier-Transformation	62
5.1.5	Auffüllen mit Nullen.....	64
5.1.6	Leckphänomen.....	66
5.1.7	Fensterfolgen	66
5.2	Vorbereitende Aufgaben.....	68
5.3	Versuchsdurchführung.....	69
6	Kurzzeit-Spektralanalyse: Beispiele	72
6.1	Mehrtonsignal	72
6.1.1	Mehrfrequenzwahlverfahren.....	72
6.1.2	Vorbereitende Aufgaben	73
6.1.3	Versuchsdurchführung.....	74
6.2	Audiosignale	75
6.2.1	Kurzzeit-Spektralanalyse	75
6.2.2	Vorbereitende Aufgaben.....	76
6.2.3	Versuchsdurchführung.....	79
7	Lernkontrollfragen zur DFT, FFT und Kurzzeit-Spektralanalyse	82
7.1	Aufgabenkatalog A	82
7.2	Aufgabenkatalog B	84
7.3	Auswahlfragen	86
8	Faltung, Differenzgleichungen und Systeme	88
8.1	Faltung.....	88
8.1.1	Grundlagen	88
8.1.2	Vorbereitende Aufgaben.....	90
8.1.3	Versuchsdurchführung.....	91
8.2	Differenzgleichung 1. Ordnung.....	92
8.2.1	Goertzel-Algorithmus 1. Ordnung	92
8.2.2	Versuchsdurchführung.....	95
8.3	Lineare zeitinvariante Systeme	95
8.3.1	Impulsantwort und Frequenzgang von LTI-Systemen.....	95
8.3.2	Lineare Differenzgleichung und z-Transformation	97
8.3.3	Goertzel-Algorithmus 2. Ordnung	100
8.3.4	Vorbereitende Aufgaben.....	101
8.3.5	Versuchsdurchführung.....	102
9	Finite-duration-impulse-response-Systeme (FIR-Systeme)	103
9.1	Eigenschaften von FIR-Systemen.....	103
9.2	Vorbereitende Aufgaben.....	107
9.3	Versuchsdurchführung.....	112

10	Entwurf digitaler FIR-Filter	114
10.1	FIR-Filterstruktur.....	114
10.2	Entwurfsvorschriften im Frequenzbereich.....	116
10.2.1	Toleranzschema für den Tiefpassentwurf.....	116
10.2.2	Vorbereitende Aufgaben.....	117
10.3	Fourier-Approximation.....	118
10.3.1	Fourier-Reihe des Frequenzganges.....	118
10.3.2	Vorbereitende Aufgaben.....	119
10.3.3	Versuchsdurchführung.....	119
10.4	Fourier-Approximation mit Fensterung.....	120
10.4.1	Glättung durch Fensterung	120
10.4.2	Vorbereitende Aufgaben.....	121
10.4.3	Versuchsdurchführung.....	121
10.5	Chebyshev-Approximation.....	121
10.5.1	Equiripple-Methode.....	121
10.5.2	Versuchsdurchführung.....	123
11	Infinite-duration-impulse-response-Systeme (IIR-Systeme)	128
11.1	Einfluss der Pole auf den Frequenzgang.....	128
11.2	Blockdiagramm	129
11.3	Impulsantwort.....	131
11.4	Partialbruchzerlegung mit MATLAB	131
11.5	Vorbereitende Aufgaben.....	133
11.6	Versuchsdurchführung.....	136
12	Entwurf digitaler IIR-Filter	138
12.1	IIR-Filter.....	138
12.2	Entwurf eines Butterworth-Tiefpassfilters.....	139
12.2.1	Toleranzschema und Filtertyp	139
12.2.2	Zeitkontinuierliches Butterworth-Tiefpassfilter	141
12.2.3	Dimensionierung des zeitkontinuierlichen Butterworth-Tiefpassfilters	142
12.2.4	Vorbereitende Aufgaben – Butterworth-Tiefpassfilter.....	143
12.2.5	Bilineare Transformation.....	145
12.2.6	Frequenztransformation	146
12.3.7	Vorbereitende Aufgaben – Transformation.....	148
12.3.8	Versuchsdurchführung.....	149
12.3	Entwurf digitaler Tiefpassfilter nach Standardapproximationen analoger Tiefpassfilter	150
13	Lernkontrollfragen zu FIR- und IIR-Systemen	154
13.1	Aufgabenkatalog A.....	154
13.2	Aufgabenkatalog B.....	157
13.3	Auswahlfragen.....	160
14	Kenngrößen stochastischer Signale	162
14.1	Stochastischer Prozess	162
14.2	Zufallssignale.....	166
14.2.1	Zufallszahlen am Digitalrechner.....	166
14.2.2	Vorbereitende Aufgaben.....	167

14.2.3	Versuchsdurchführung.....	168
14.3	Korrelationsfunktion stochastischer Prozesse.....	170
14.3.1	Korrelation, Korrelationsfunktion und Leistungsdichtespektrum.....	170
14.3.2	Weißes Rauschen.....	171
14.3.3	Schätzung der Autokorrelationsfunktion	172
14.3.4	Schätzung des Leistungsdichtespektrums.....	173
14.3.5	Vorbereitende Aufgaben.....	174
14.3.6	Versuchsdurchführung.....	175
15	Stochastische Signale und LTI-Systeme.....	179
15.1	Lineare Abbildung stochastischer Signale.....	179
15.1.1	Grundlagen	180
15.1.2	Vorbereitende Aufgaben.....	181
15.1.3	Versuchsdurchführung.....	182
15.2	Abbildung stochastischer Signale an LTI-Systemen	182
15.2.1	Grundlegende Beziehungen	182
15.2.2	Vorbereitende Aufgaben.....	184
15.2.3	Versuchsdurchführung.....	185
16	Analog-Digital-Umsetzung	188
16.1	Digitalisierung	188
16.2	Abtastung.....	189
16.2.1	Abtasttheorem.....	189
16.2.2	Vorbereitende Aufgaben.....	190
16.2.3	Versuchsdurchführung.....	191
16.3	Quantisierung.....	191
16.3.1	Quantisierungskennlinie	191
16.3.2	Maschinenzahlen	193
16.3.3	Quantisierungsfehler.....	196
16.3.4	Vorbereitende Aufgaben.....	198
16.3.5	Versuchsdurchführung.....	200
17	Reale digitale Filter: Koeffizientenquantisierung	203
17.1	Wortlängeneffekte	203
17.2	FIR-Filter mit quantisierten Koeffizienten	204
17.2.1	Fehlermodell und Fehlerfrequenzgang	204
17.2.2	Vorbereitende Aufgaben.....	206
17.2.3	Versuchsdurchführung.....	206
17.3	IIR-Filter mit quantisierte Koeffizienten	207
17.3.1	Kaskadenform.....	207
17.3.2	Koeffizientenquantisierung und Polausdünnung	209
17.3.3	Vorbereitende Aufgaben.....	211
17.3.4	Versuchsdurchführung.....	215
18	Reale digitale Filter: Quantisierte Arithmetik.....	217
18.1	Quantisierte Arithmetik	217
18.1.1	Addierer – Überlauf und große Grenzyklen.....	217
18.1.2	Multiplizierer – Inneres Rauschen und kleine Grenzyklen.....	218
18.1.3	Nichtlineares Blockdiagramm für ein System 2. Ordnung	222
18.2	Vorbereitende Aufgaben.....	223
18.3	Versuchsdurchführung.....	226

19 Lernkontrollfragen zu stochastischen Signalen und realen Systemen	234
19.1 Aufgabenkatalog A	234
19.2 Aufgabenkatalog B	236
19.3 Auswahlfragen	238
20 Lösungen zu den Versuchen	240
20.1 Vorbemerkungen	240
20.2 Lösungen: Zeitdiskrete Signale	240
20.3 Lösungen: Diskrete Fourier-Transformation	241
20.4 Lösungen: Schnelle Fourier-Transformation	245
20.5 Lösungen: Kurzzeit-Spektralanalyse: Grundlagen	247
20.6 Lösungen: Kurzzeit-Spektralanalyse: Beispiele	249
20.7 Lösungen: Lernkontrollfragen zur DFT, FFT und Kurzzeit-Spektralanalyse	254
20.7.1 Aufgabenkatalog A	254
20.7.2 Aufgabenkatalog B	255
20.7.3 Auswahlfragen	257
20.8 Lösungen: Faltung, Differenzgleichung und LTI-Systeme	257
20.9 Lösungen: Finite-duration-impulse-response-Systeme	260
20.10 Lösungen: Entwurf digitaler FIR-Filter	263
20.11 Lösungen: Infinite-duration-impulse-response-Systeme	271
20.12 Lösungen: Entwurf digitaler IIR-Filter	276
20.13 Lösungen: Lernkontrollfragen zu FIR- und IIR-Systemen	280
20.13.1 Aufgabenkatalog A	280
20.13.2 Aufgabenkatalog B	282
20.13.3 Auswahlfragen	283
20.14 Lösungen: Stochastische Signale – Kenngrößen	284
20.15 Lösungen: Stochastische Signale und LTI-Systeme	291
20.16 Lösungen: Analog-Digital-Umsetzung	297
20.17 Lösungen: Reale digitale Filter: Koeffizientenquantisierung	299
20.18 Lösungen: Reale digitale Filter: Quantisierte Arithmetik	302
20.19 Lösungen: Lernkontrollfragen zu stochastischen Signalen u. realen Systemen	306
20.19.1 Aufgabenkatalog A	306
20.19.2 Aufgabenkatalog B	308
20.19.3 Auswahlfragen	309
Formelzeichen und Abkürzungen	310
Literaturverzeichnis	313
Sachwortverzeichnis	315