

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abtastung und Mehrdeutigkeit zeitdiskreter Signale</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung .....	1
1.2	Gleichmäßige Abtastung kontinuierlicher Signale .....	1
	Experiment 1.1: Rekonstruktion des kontinuierlichen Signals aus den Abtastwerten ....	2
1.3	Gleichmäßige Abtastung als Ursache der Mehrdeutigkeit .....	6
	Experiment 1.2: Kontinuierliche Signale mit gleichen Abtastwerten .....	7
	Experiment 1.3: Untersuchung eines Anti-Aliasing-Tiefpassfilters .....	13
	Experiment 1.4: Anti-Aliasing-Tiefpassfilterung bei Überabtastung .....	19
<b>2</b>	<b>Spektrum kontinuierlicher und zeitdiskreter deterministischer Signale</b>	<b>23</b>
2.1	Einführung .....	23
2.2	Spektrum periodischer Signale über die Fourier-Reihe .....	23
2.3	Amplitudenspektrum .....	25
2.4	Annäherung der Fourier-Reihe mit Hilfe der DFT .....	28
2.4.1	Der Schmiereffekt ( <i>Leakage</i> ) der DFT .....	37
	Experiment 2.1: Die Fourier-Reihe über die DFT für ein Signal mit begrenzter Anzahl von Harmonischen .....	41
	Experiment 2.2: Modal-Analyse eines Hochhauses mit 3 Stockwerken .....	48
	Experiment 2.3: Fourier-Reihe über die FFT für ein rechteckiges Signal .....	54
	Experiment 2.4: Testen der A/D-Wandler mit Hilfe der FFT .....	64
2.5	Spektrum aperiodischer Signale über die Fourier-Transformation .....	71
2.6	Annäherung der Fourier-Transformation kontinuierlicher Signale mit Hilfe der DFT .....	74
	Experiment 2.5: Die Annäherung der Fourier-Transformation einer abklingenden Schwingung über die DFT .....	78
2.7	Erweiterte Fourier-Transformation .....	82
2.8	DFT-Annäherung der Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale .....	89
	Experiment 2.6: Fourier-Transformation des Ausschnitts eines periodischen Signals über die DFT .....	92

2.9	Spektrum komplexer Signale .....	95
2.10	Zusammenfassung .....	99
2.10.1	Annäherung der komplexen Fourier-Reihe .....	100
2.10.2	Annäherung der Fourier-Transformation kontinuierlicher Signale über die DFT .....	101
2.10.3	Annäherung der Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale (DTFT) über die DFT .....	102
<b>3</b>	<b>Spektrum kontinuierlicher und zeitdiskreter stochastischer Signale</b>	<b>103</b>
3.1	Einführung .....	103
3.2	Zufallsvariablen .....	103
3.2.1	Normal verteilte Zufallsvariablen .....	104
3.2.2	Gemeinsame Zufallsvariablen .....	107
3.3	Nichtstationäre, stationäre und ergodische Zufallsprozesse .....	110
3.4	Die Schätzung der spektralen Leistungsdichte zufälliger Signale .....	112
3.4.1	Der Einsatz der DFT in der Schätzung der spektralen Leistungsdichte ..	116
3.5	Weitere Verfahren zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte .....	117
3.5.1	Die Bartlett-Methode: Gemittelte Periodogramme .....	117
3.5.2	Die Welch-Methode: Gemittelte modifizierte Periodogramme .....	117
3.5.3	Die Blackman-Tukey-Methode: Gewichtete Periodogramme .....	118
	Experiment 3.1: Welch-Schätzung der spektralen Leistungsdichte über MATLAB- Funktion .....	119
	Experiment 3.2: Blackman-Tukey-Schätzung der spektralen Leistungsdichte .....	122
3.6	Der Einfluss linearer Systeme auf stochastische ergodische Prozesse .....	123
	Experiment 3.3: Identifikation des Frequenzgangs mit Hilfe von spektralen Leistungs- dichten .....	126
	Experiment 3.4: Einschwingvorgang für Mittelwert und Varianz bei Anregung mit weißem Rauschen .....	129
	Experiment 3.5: Untersuchung eines mechanischen Systems angeregt durch eine Zu- fallsbewegung .....	131
	Experiment 3.6: Einsatz der MATLAB-Funktionen für die Ermittlung der spektralen Kreuzleistungsdichte zur Identifikation eines mechanischen Systems .....	137
3.7	<i>Multitaper</i> -Verfahren zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte .....	146
	Experiment 3.7: Einsatz der MATLAB-Funktionen für das <i>Multitaper</i> -Verfahren .....	147
3.8	Parametrische Methoden zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte .....	150
3.8.1	Beziehung zwischen den Parametern des Modells und der Autokorre- lationsfunktion .....	152
3.9	Das Yule-Walker-Verfahren für die Schätzung der Parameter des AR-Modells ..	155

<i>Experiment 3.8: Schätzung der Parameter eines AR-Modells mit dem Yule-Walker-Verfahren</i> .....	156
3.10 Das Burg-Verfahren für die Schätzung der Parameter eines AR-Modells .....	164
<i>Experiment 3.9: Schätzung der Parameter der AR-Modelle mit dem Burg-Verfahren</i> .....	167
3.11 Das Kovarianz-Verfahren für die Schätzung des AR-Modells .....	170
<i>Experiment 3.10: Schätzung der Parameter eines AR-Modells mit dem Kovarianz-Verfahren</i> .....	172
3.12 Das Verfahren des kleinsten quadratischen Fehlers .....	174
<i>Experiment 3.11: Schätzung der Parameter eines AR-Modells mit dem Least-Square-Verfahren</i> .....	175
3.13 Das MA-Modell zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte .....	182
<i>Experiment 3.12: Schätzung der Parameter eines MA-Modells über ein AR-Modell</i> .....	183
3.14 Schätzung der spektralen Leistungsdichte für ARMA-Prozesse .....	188
<i>Experiment 3.13: Schätzung der spektralen Leistungsdichte eines ARMA-Prozesses</i> .....	190
<b>4 Eigenwertanalyse-Verfahren zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte</b> .....	<b>195</b>
4.1 Eigenwertzerlegung für die Analyse dynamischer Systeme .....	195
4.1.1 Eigenwertzerlegung für die Analyse kontinuierlicher Systeme .....	195
4.1.2 Eigenwertzerlegung für die Analyse zeitdiskreter Systeme .....	200
4.2 Eigenwertanalyse-Verfahren zur spektralen Schätzung .....	204
4.2.1 Pisarenko-Verfahren der Eigenwertzerlegung .....	208
<i>Experiment 4.1: Einsatz des Pisarenko-Verfahrens</i> .....	209
4.2.2 MUSIC-Verfahren der Eigenwertzerlegung .....	212
<i>Experiment 4.1: Einsatz des MUSIC-Verfahrens</i> .....	213
4.2.3 ESPRIT-Verfahren der Eigenwertzerlegung .....	219
<b>5 Spektrale Analyse mit Simulink-Modellen</b> .....	<b>223</b>
5.1 Statistik-Blöcke .....	223
<i>Experiment 5.1: Gemittelte Autokorrelation einer gefilterten Sequenz</i> .....	224
5.2 Blöcke zur Ermittlung der spektralen Leistungsdichte .....	230
5.2.1 Einsatz des <i>Periodogram</i> -Blocks .....	230
<i>Experiment 5.2: Spektrale Leistungsdichte mit Periodogram-Block</i> .....	231
5.2.2 Einsatz des Blocks <i>Yule-Walker Method</i> .....	235
<i>Experiment 5.3: Spektrale Leistungsdichte mit Yule-Walker-Block</i> .....	235
5.2.3 Einsatz der Blöcke <i>Covariance Method, Modified Covariance Method</i> und <i>Burg Method</i> .....	238
<i>Experiment 5.4: Spektrale Leistungsdichte mit den restlichen parametrischen Verfahren</i> .....	238
<i>Experiment 5.5: Spektrale Leistungsdichte mit Spectrum Scope-Block</i> .....	241

5.3	Schätzung der spektralen Leistungsdichte mit <i>Pre-Whitening</i> .....	247
	<i>Experiment 5.6: Simulation der Schätzung der spektralen Leistungsdichte mit</i> <i>Pre-Whitening</i> .....	248
5.4	Das Prinzip eines FFT-Zooms .....	250
	<i>Experiment 5.7: Simulation des Zoom-Verfahrens</i> .....	253
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>261</b>
<b>Index</b>		<b>265</b>
<b>Index der MATLAB-Funktionen</b>		<b>267</b>