

Inhalt

1	Schwingungsüberwachungssysteme	11
1.1	Bedeutung von Überwachungssystemen	11
1.2	Schwingungsdiagnostische Überwachungssysteme	13
1.2.1	Konzepte	13
1.2.2	Messsysteme für die Zustandsüberwachung und Fehlerdiagnose von Maschinen	14
1.2.3	Schwingungsaufnehmer	17
1.2.3.1	Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit und Schwingbeschleunigung	18
1.2.3.2	Messung des Schwingwegs	20
1.2.3.3	Messung der Schwinggeschwindigkeit	21
1.2.3.4	Messung der Beschleunigung	22
1.2.4	Anordnung von Schwingungsaufnehmern	26
1.2.5	Betriebliche Randbedingungen	29
1.3	Rechnergestützte Zustandsüberwachung und Fehlerdiagnose an Maschinen	29
1.4	Softwarelösungen im Bereich der rechnergestützten Zustandsüberwachung und Fehlerdiagnose	33
1.4.1	Allgemeines	33
1.4.2	Virtuelle Instrumente	35
1.4.3	LabView-Programm	36
1.4.3.1	Programme unter LabView	37
1.4.3.2	Messwerterfassung unter LabView	38
1.4.3.3	Messwertverarbeitung unter LabView	41
1.4.3.4	Darstellung von Messdaten unter LabView	43
1.4.3.5	Archivierung von Messdaten unter LabView	47
1.4.3.6	Realisierung von Diagnoseverfahren mit dem LabView-Programm	50
2	Maschinenschwingungen	52
2.1	Einleitung	52
2.2	Beurteilung des Schwingverhaltens – Beurteilungsmaßstäbe	53
2.3	Fehler und Schwingungen an Rotoren und Wellen	55
2.4	Lagerfehler und ihr Erscheinungsbild	56
2.4.1	Wälzlager	56
2.4.2	Gleitlager	60

2.5	Fehler und Schwingungen in Zahnradgetrieben.....	62
2.5.1	Zahneingriffsschwingungen.....	63
2.5.2	Schwingungen durch fertigungsbedingte Anregungen	65
2.5.3	Schwingungen durch Verzahnungsfehler	66
2.6	Schwingungen bei Antriebsmaschinen	69
2.6.1	Elektrische Maschinen	69
2.6.2	Schwingungen bei Kolbenmaschinen.....	71
3	Messsignalverarbeitung	73
3.1	Aufgaben und Bedeutung der Signalverarbeitung in der Schwingungsüberwachung und Fehlerdiagnose.....	73
3.2	Signaltypen	75
3.3	Zeitkontinuierliche Signale und ihre Beschreibung.....	78
3.3.1	Periodische Signale und Fourier-Reihe	79
3.3.2	Aperiodische Signale und Fourier-Transformation	85
3.3.3	Stochastische Signale und ihre Beschreibung.....	87
3.3.3.1	Beschreibung stochastischer Signale im Zeitbereich.....	87
3.3.3.2	Beschreibung stochastischer Signale im Frequenzbereich.....	92
3.4	Abtasten und Messen von Signalen.....	94
3.4.1	Allgemeines.....	94
3.4.2.	Das Abtasttheorem	98
3.4.3.	Ein Beispiel für Datenerfassung mit Multifunktions-Einsteckkarten und ein virtuelles Instrument als Spektrumanalysator	101
3.5	Die diskrete Fourier-Transformation(DFT).....	103
3.5.1	Das Spektrum eines abgetasteten Signals.....	103
3.5.2	Diskrete Fourier-Transformation (DFT).....	105
3.5.3	Eigenschaften der Fourier-Transformierten	110
3.5.4	Schnelle Fourier-Transformation (FFT)	118
3.6	Spektralanalyse determinierter Signale	121
3.6.1	Einleitung	121
3.6.2	Auflösung im Zeit- und Frequenzbereich	122
3.6.3	Berechnete DFT eines periodischen Signals.....	123
3.6.3.1	DFT eines cosinusförmigen Signals ohne Leckeffekt	124
3.6.3.2	DFT eines cosinusförmigen Signals mit Leckeffekt.....	126
3.6.4	Unterdrückung des Leckeffekts durch Anwendung von Fensterfunktionen im Zeitbereich	127
3.6.5	Unterdrückung des Leckeffekts durch „ <i>Zeropadding</i> “	132
3.6.6	Berechnung der Fourier-Transformation mit Hilfe der FFT	134
3.6.7	Die z-Transformation	137
3.6.7.1	Definition der z-Transformation	137
3.6.7.2	Zusammenhänge mit anderen Transformationen	139

3.6.8	Die Chirp-z-Transformation(CZT).....	140
3.6.8.1	Einleitung	140
3.6.8.2	Algorithmus der Chirp-z-Transformation	141
3.6.8.3	Frequenzauflösung der CZT	143
3.6.9	Frequenz-Auflösungsvermögen der DFT/FFT.....	145
3.7	Spektralschätzung stochastischer Signale.....	152
3.7.1	Einleitung	152
3.7.2	Korrelationsschätzfunktion des Leistungsdichtespektrums	153
3.7.3	Spektralschätzung mit Hilfe des Periodogramms.....	154
3.7.4	Bartlett-Verfahren – Mittelung von Periodogrammen.....	156
3.7.5	Welch-Verfahren.....	158
3.7.6	Entwicklung eines Spektralanalysators mit LabVIEW.....	163
3.8	Digitale Filterung und ihre Anwendung	167
3.8.1	Einleitung	167
3.8.2	Grundbegriffe der Filtertechnik	169
3.8.3	Digitale Filter.....	172
3.8.3.1	IIR-Filter (Infinite Impulse Response Filter)	172
3.8.3.2	FIR-Filter (Finite Impulse Response Filter).....	177
3.8.4	Anwendungsbeispiele von digitalen Filtern.....	181
3.8.4.1	Schema zur Filterentwicklung	181
3.8.4.2	Überabtastung und Unterabtastung	182
3.8.4.3	Schwingungsstärkemessung mit virtuellen Messgeräten.....	183
4	Lösungsverfahren in der Zustandsüberwachung und Diagnose mit Hilfe des LabView-Programms	188
4.1	Einleitung	188
4.2	Spektralanalyse	189
4.2.1	Breitbandspektrum	190
4.2.2	Frequenzlupenanalyse (Zoom-Analyse)	195
4.2.3	Spektralanalyse von Hoch- und Ablaufvorgängen	200
4.2.3.1	Spektralfeld.....	200
4.2.3.2	Ordnungsanalyse.....	202
4.3	Cepstrum-Analyse.....	206
4.3.1	Modulationseffekte und Seitenbandanalyse.....	206
4.3.2	Praxis der Cepstrum-Analyse.....	208
4.3.2.1	Definition des Cepstrums	208
4.3.2.2	Realisierung mit dem LabView-Programm	210
4.3.2.3	Anwendungen der Cepstrum-Analyse	211
4.4	Hüllkurvenanalyse.....	215
4.4.1	Bildung der Hüllkurve.....	216
4.4.1.1	Gleichrichtung-Tiefpassfilterung-Verfahren.....	216

4.4.1.2	Hüllkurvenbildung mit Hilfe der Hilbert-Transformation	218
4.4.2	Hüllkurvenanalyse stoßförmiger Schwingungssignale.....	220
4.4.3	Anwendungen	224
5	Schlussbemerkung	232
6	Literatur	234
7	Stichwortverzeichnis.....	238