

Messtechnik

H.-R. Tränkle, G. Fischerauer

1	Grundlagen der Messtechnik	1
1.1	Übersicht	1
1.1.1	Messsysteme und Messketten – 1.1.2 Anwendungsgebiete und Aufgabenstellungen der Messtechnik	
1.2	Übertragungseigenschaften von Messgliedern	2
1.2.1	Statische Kennlinien von Messgliedern – 1.2.2 Dynamische Übertragungseigenschaften von Messgliedern – 1.2.3 Testfunktionen und Übergangsfunktionen für Übertragungsglieder – 1.2.4 Das Frequenzverhalten des Übertragungsgliedes 1. Ordnung – 1.2.5 Das Frequenzverhalten des Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.6 Sprungantwort eines Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.7 Frequenzgang eines Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.8 Kenngrößen für Messglieder höherer Ordnung	
1.3	Messfehler	9
1.3.1	Zufällige und systematische Fehler – 1.3.2 Definition von Fehlern, Fehlerkurven und Fehleranteilen – 1.3.3 Linearitätsfehler und zulässige Fehlergrenzen – 1.3.4 Einflussgrößen und Einflusseffekt – 1.3.5 Diskrete Verteilungsfunktionen zufälliger Messwerte – 1.3.6 Die Normalverteilung – 1.3.7 Gauß'sche Fehlerwahrscheinlichkeit – 1.3.8 Wahrscheinlichkeitspapier – 1.3.9 Fehlerfortpflanzung zufälliger Fehler – 1.3.10 Fehlerfortpflanzung systematischer Fehler	
2	Strukturen der Messtechnik	15
2.1	Messsignalverarbeitung durch strukturelle Maßnahmen	15
2.1.1	Die Kettenstruktur – 2.1.2 Die Parallelstruktur (Differenzprinzip) – 2.1.3 Die Kreisstruktur	
2.2	Das Modulationsprinzip	18
2.3	Struktur eines digitalen Instrumentierungssystems	19
2.3.1	Erhöhung des nutzbaren Informationsgehalts – 2.3.2 Struktur von Mikroelektroniksystemen mit dezentraler Intelligenz	
3	Messgrößenaufnehmer (Sensoren)	21
3.1	Sensoren und deren Umfeld	21
3.1.1	Aufgabe der Sensoren – 3.1.2 Messeffekt und Einflusseffekt – 3.1.3 Anforderungen an Sensoren – 3.1.4 Signalform der Sensorsignale	
3.2	Sensoren für geometrische und kinematische Größen	22
3.2.1	Resistive Weg- und Winkelaufnehmer – 3.2.2 Induktive Weg- und Längenaufnehmer – 3.2.3 Kapazitive Aufnehmer für Weg und Füllstand – 3.2.4 Magnetische Aufnehmer – 3.2.5 Codierte Weg- und Winkelaufnehmer – 3.2.6 Inkrementale Aufnehmer – 3.2.7 Laser-Interferometer – 3.2.8 Drehzahlaufnehmer – 3.2.9 Beschleunigungsaufnehmer	
3.3	Sensoren für mechanische Beanspruchungen	31
3.3.1	Dehnungsmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.2 Kraftmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.3 Druckmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.4 Drehmomentmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.5 Messung von Kräften über die Auslenkung von Federkörpern – 3.3.6 Messung von Drücken über die Auslenkung von Federkörpern – 3.3.7 Kraftmessung über Schwingsaiten – 3.3.8 Waage mit elektrodynamischer Kraftkompensation – 3.3.9 Piezoelektrische Kraft- und Druckaufnehmer	
3.4	Sensoren für strömungstechnische Kenngrößen	36
3.4.1	Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren – 3.4.2 Schwebekörper-Durchflussmessung – 3.4.3 Durchflussmessung über magnetische Induktion – 3.4.4 Ultraschall-Durchflussmessung – 3.4.5 Turbinen-Durchflussmesser (mittelbare Volumenzähler mit Messflügeln) – 3.4.6 Verdrängungszähler (unmittelbare Volumenzähler)	
3.5	Sensoren zur Temperaturmessung	39
3.5.1	Platin-Widerstandsthermometer – 3.5.2 Andere Widerstandsthermometer – 3.5.3 Thermoelemente als Temperaturlaufnehmer – 3.5.4 Strahlungsthermometer (Pyrometer)	

3.6	Mikrosensorik	44
3.6.1	Herstellungstechnologien – 3.6.2 Mikrosensoren für mechanische Größen –	
3.6.3	Mikrosensoren für Temperatur – 3.6.4 Mikrosensoren für (bio)chemische	
	Größen – 3.6.5 Mikrosensoren für magnetische Größen	
3.7	Sensorspezifische Messsignalverarbeitung	47
3.7.1	Analoge Messsignalverarbeitung – 3.7.2 Inkrementale Messsignalverarbeitung –	
3.7.3	Digitale Grundverknüpfungen und Grundfunktionen – 3.7.4 Physikalische	
	Modellfunktionen für einen Sensor – 3.7.5 Skalierung und Linearisierung von	
	Sensorkennlinien durch Interpolation – 3.7.6 Interpolation von Sensorkennlinien	
	mit kubischen Splines – 3.7.7 Ausgleichskriterien zur Approximation von	
	Sensorkennlinien – 3.7.8 Korrektur von Einflusseffekten auf Sensorkennlinien –	
	3.7.9 Dynamische Korrektur von Sensoren	
4	Messschaltungen und Messverstärker	53
4.1	Signalumformung mit verstärkerlosen Messschaltungen	53
4.1.1	Strom-Spannungs-Umformung mit Messwiderstand – 4.1.2 Spannungsteiler	
	und Stromteiler – 4.1.3 Direktanzeigende Widerstandsmessung	
4.2	Messbrücken und Kompensatoren	56
4.2.1	Qualitative Behandlung der Prinzipschaltungen – 4.2.2 Spannungs- und	
	Stromkompensation – 4.2.3 Messbrücken im Ausschlagverfahren (Teilkompensation) –	
	4.2.4 Wheatstone-Brücke im Abgleichverfahren – 4.2.5 Wechselstrombrücken	
4.3	Grundsaltungen von Messverstärkern	60
4.3.1	Operationsverstärker – 4.3.2 Anwendung von Operationsverstärkern	
	als reine Nullverstärker – 4.3.3 Das Prinzip der Gegenkopplung am Beispiel	
	des reinen Spannungsverstärkers – 4.3.4 Die vier Grundsaltungen gegengekoppelter	
	Messverstärker	
4.4	Ausgewählte Messverstärker-Schaltungen	63
4.4.1	Vom Stromverstärker mit Spannungsausgang zum Invertierer – 4.4.2 Aktive	
	Brückenschaltung – 4.4.3 Addier- und Subtrahierverstärker – 4.4.4 Der	
	Elektrometerverstärker (Instrumentation Amplifier) – 4.4.5 Präzisionsgleichrichtung –	
	4.4.6 Aktive Filter – 4.4.7 Ladungsverstärker – 4.4.8 Integrationsverstärker für	
	Spannungen	
5	Analoge Messtechnik	67
5.1	Analoge Messwerke	67
5.1.1	Prinzip des linearen Drehpulmesswerks – 5.1.2 Statische Eigenschaften	
	des linearen Drehpulmesswerks	
5.2	Funktionsbildung und Verknüpfung mit Messwerken	69
5.2.1	Kemmagnetmesswerk mit radialem Sinusfeld – 5.2.2 Quotientenbestimmung mit	
	Kreuzpulsesswerken – 5.2.3 Bildung von linearen Mittelwerten und Extremwerten –	
	5.2.4 Bildung von quadratischen Mittelwerten – 5.2.5 Multiplikation mit	
	elektrodynamischen Messwerken – 5.2.6 Integralwertbestimmung mit Induktionszählern	
5.3	Prinzip und Anwendung des Elektronenstrahloszilloskops	75
5.3.1	Elektronenstrahlröhre, Ablenkempfindlichkeit – 5.3.2 Darstellung des zeitlichen	
	Verlaufs periodischer Messsignale – 5.3.3 Blockschaltbild eines Oszilloskops	
	in Standardausführung – 5.3.4 Anwendung eines Oszilloskops im x,y-Betrieb –	
	5.3.5 Frequenzkompensierter Eingangsteiler	
6	Digitale Messtechnik	79
6.1	Quantisierung und digitale Signaldarstellung	79
6.1.1	Informationsverlust durch Quantisierung – 6.1.2 Der relative Quantisierungsfehler	
6.2	Abtasttheorem und Abtastfehler	80
6.2.1	Das Shannon'sche Abtasttheorem – 6.2.2 Frequenzgang bei Extrapolation nullter	
	Ordnung – 6.2.3 Abtastfehler eines Haltekreises	
6.3	Digitale Zeit- und Frequenzmessung	82
6.3.1	Prinzip der digitalen Zeit- und Frequenzmessung – 6.3.2 Der Quarzoszillator –	
	6.3.3 Digitale Zeitmessung – 6.3.4 Digitale Frequenzmessung – 6.3.5 Auflösung und	
	Messzeit bei der Periodendauer- bzw. Frequenzmessung – 6.3.6 Reziprokwertbildung	
	und Multiperiodendauermessung	

6.4	Analog-Digital-Umsetzung über Zeit oder Frequenz	
	als Zwischengrößen	86
	6.4.1 Charge-balancing-Umsetzer – 6.4.2 Dual-slope-Umsetzer – 6.4.3 Integrierende Filterung bei integrierenden Umsetzern	
6.5	Analog-Digital-Umsetzung nach dem Kompensationsprinzip	89
	6.5.1 Prinzip – 6.5.2 Digital-Analog-Umsetzer mit bewerteten Leitwerten – 6.5.3 Digital-Analog-Umsetzer mit Widerstandskettenleiter – 6.5.4 Nachlaufumsetzer mit Zweirichtungszähler – 6.5.5 Analog-Digital-Umsetzer mit sukzessiver Approximation	
6.6	Schnelle Analog-Digital-Umsetzung und Transientenspeicherung	93
	6.6.1 Parallele Analog-Digital-Umsetzer (Flash-Converter) – 6.6.2 Transientenspeicherung	
	Literatur	95