

Übungsaufgaben zur Messtechnik und Sensorik

G. Lebelt und F. Puente León

Berichte über Verteilte Messsysteme

Band 2

Gerhard Lebelt, Fernando Puente León

Übungsaufgaben zur Messtechnik und Sensorik

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7110-7

ISSN 1864-6379

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
I Aufgaben	11
1 Messtechnische Grundlagen	13
1.1 Maßeinheiten	13
1. Rechnung mit Einheiten	13
2. Kostenberechnung	13
1.2 Beschreibung linearer Systeme	13
3. Zeitverhalten eines Tiefpass-Messgliedes	13
4. Zeitverhalten eines Hochpass-Messgliedes	14
5. Frequenzverhalten eines Tiefpass-Messgliedes	15
6. Frequenzverhalten eines Hochpass-Messgliedes	16
1.3 Messfehler	18
7. Messung der Leerlaufspannung einer Spannungsquelle	18
8. Messfehler bei einer Widerstandsmessung 1	18
9. Messfehler bei einer Widerstandsmessung 2	19
10. Messfehler bei einer Durchflussmessung	19
11. Berechnete Messgröße	20
12. Messfehler und Messunsicherheit	21
13. Messdatenauswertung	21
14. Prozesskontrolle	22
2 Schaltungstechnische Grundlagen	23
2.1 Messbrücken	23
15. Ausschlag-Widerstandsmessbrücke	23
16. Fehlereinflüsse bei einer Wheatstone-Brücke	25
17. Induktivitätsmessbrücke	26
2.2 Messverstärker	27
18. Messverstärker zur Messung von Spannungen	27

19.	Spannungsverstärker mit Stromausgang	29
20.	Anpassung eines Messwerkes	31
21.	Subtrahierender Messverstärker	31
22.	Integrationsverstärker	33
23.	Differenzierverstärker	34
24.	Messverstärkerschaltung für Widerstandsthermometer	35
3	Messung elektrischer Größen	37
3.1	Messung von Strom und Spannung	37
25.	Spannungsquelle	37
26.	Analyse eines Sensors	37
27.	Messbereichserweiterung 1	38
28.	Messbereichserweiterung 2	39
29.	Vielfachmessinstrument mit Strom- und Spannungs- bereichsumschaltung (Multavischaltung)	40
30.	Kenngrößen von Wechselsignalen	41
3.2	Widerstandsmessung	42
31.	Strom- und spannungsrichtige Messschaltung	42
4	Messinstrumente	45
4.1	Drehspulmesswerk	45
32.	Drehspulmesswerk	45
4.2	Oszilloskop	47
33.	Elektronenstrahlloszilloskop	47
34.	Frequenzkompensierter Spannungsteiler (Tastkopf)	48
5	Analoge Messung nichtelektrischer Größen	51
5.1	Mechanische Größen	51
35.	Messbrücke für Dehnungsmessstreifen	51
36.	Dehnungsmessung mit Temperaturkompensation	52
37.	Linearisierung bei einer DMS-Halbbrücke	54
38.	Piezoelektrische Kraftsensoren	54
39.	Piezoelektrische Kraftmessung	55
5.2	Temperatur	57
40.	Auslegung eines Widerstandsthermometers	57
41.	NTC-Widerstandsthermometer (Heißleiter)	58
42.	Temperaturmessung mit Thermoelement und Ver- gleichsstelle	58

43.	Temperaturmessung mit Thermoelement und Kompensationsdose	59
44.	Messung von Differenztemperaturen mit zwei Thermoelementen	61
6	Digitale Messung nichtelektrischer Größen	63
6.1	Grundlagen der Digitaltechnik	63
45.	Antivalenzgatter	63
46.	Logische Schaltungen	64
47.	Bistabile Kippstufen	64
6.2	Zeit- und Frequenzmessung	65
48.	Digitale Messung der Periodendauer	65
49.	Digitaler Universalzähler	66
50.	Digitale Geschwindigkeitsmessung	68
6.3	Längenmessung	70
51.	Inkrementaler Längengeber	70
52.	Absolut codierte Längenmaßstäbe	71
7	Umsetzer	73
7.1	Digital/Analog-Umsetzer	73
53.	Konzept eines einfachen Digital/Analog-Umsetzers	73
54.	Digital/Analog-Umsetzer mit Kettenleiter	74
7.2	Analog/Digital-Umsetzer	74
55.	Allgemeine Fragen	74
56.	Kennlinien von Analog/Digital-Umsetzern	75
57.	Signal/Rausch-Verhältnis und effektive Bits	76
58.	Nachlaufumsetzer	77
59.	Umsetzer mit sukzessiver Approximation	78
60.	Parallel-Umsetzer (Flash-Umsetzer)	78
61.	Zweirampen-A/D-Umsetzer (Dual-slope-ADU)	79
62.	Delta-Sigma-Umsetzer	81
8	Digitale Verarbeitung von Messsignalen	83
8.1	Digitale Signale	83
63.	Bilddigitalisierung	83
64.	Übertragung digitaler Signale	83
8.2	Signalverarbeitung	84
65.	Faltungsintegral	84

66.	Fourier-Transformation	84
67.	Diskrete Fourier-Transformation	85
68.	Filterung von Bildsignalen	85
II	Lösungen	87
9	Messtechnische Grundlagen	89
9.1	Maßeinheiten	89
1.	Rechnung mit Einheiten	89
2.	Kostenberechnung	90
9.2	Beschreibung linearer Systeme	90
3.	Zeitverhalten eines Tiefpass-Messgliedes	90
4.	Zeitverhalten eines Hochpass-Messgliedes	93
5.	Frequenzverhalten eines Tiefpass-Messgliedes	96
6.	Frequenzverhalten eines Hochpass-Messgliedes	101
9.3	Messfehler	105
7.	Messung der Leerlaufspannung einer Spannungsquelle	105
8.	Messfehler bei einer Widerstandsmessung 1	106
9.	Messfehler bei einer Widerstandsmessung 2	107
10.	Messfehler bei einer Durchflussmessung	108
11.	Berechnete Messgröße	109
12.	Messfehler und Messunsicherheit	111
13.	Messdatenauswertung	113
14.	Prozesskontrolle	116
10	Schaltungstechnische Grundlagen	119
10.1	Messbrücken	119
15.	Ausschlag-Widerstandsmessbrücke	119
16.	Fehlereinflüsse bei einer Wheatstone-Brücke	127
17.	Induktivitätsmessbrücke	132
10.2	Messverstärker	134
18.	Messverstärker zur Messung von Spannungen	134
19.	Spannungsverstärker mit Stromausgang	140
20.	Anpassung eines Messwerkes	146
21.	Subtrahierender Messverstärker	148
22.	Integrationsverstärker	152
23.	Differenzierverstärker	157

24. Messverstärkerschaltung für Widerstandsthermometer	161
11 Messung elektrischer Größen	163
11.1 Messung von Strom und Spannung	163
25. Spannungsquelle	163
26. Analyse eines Sensors	163
27. Messbereichserweiterung 1	165
28. Messbereichserweiterung 2	166
29. Vielfachmessinstrument mit Strom- und Spannungsbereichsumschaltung (Multivisichaltung)	168
30. Kenngrößen von Wechselsignalen	172
11.2 Widerstandsmessung	180
31. Strom- und spannungsrichtige Messschaltung	180
12 Messinstrumente	183
12.1 Drehspulmesswerk	183
32. Drehspulmesswerk	183
12.2 Oszilloskop	188
33. Elektronenstrahloszilloskop	188
34. Frequenzkompensierter Spannungsteiler (Tastkopf)	191
13 Analoge Messung nichtelektrischer Größen	195
13.1 Mechanische Größen	195
35. Messbrücke für Dehnungsmessstreifen	195
36. Dehnungsmessung mit Temperaturkompensation	199
37. Linearisierung bei einer DMS-Halbbrücke	200
38. Piezoelektrische Kraftsensoren	202
39. Piezoelektrische Kraftmessung	209
13.2 Temperatur	215
40. Auslegung eines Widerstandsthermometers	215
41. NTC-Widerstandsthermometer (Heißleiter)	217
42. Temperaturmessung mit Thermoelement und Vergleichsstelle	220
43. Temperaturmessung mit Thermoelement und Kompensationsdose	222
44. Messung von Differenztemperaturen mit zwei Thermoelementen	225

14	Digitale Messung nichtelektrischer Größen	227
14.1	Grundlagen der Digitaltechnik	227
45.	Antivalenzgatter	227
46.	Logische Schaltungen	227
47.	Bistabile Kippstufen	229
14.2	Zeit- und Frequenzmessung	230
48.	Digitale Messung der Periodendauer	230
49.	Digitaler Universalzähler	231
50.	Digitale Geschwindigkeitsmessung	239
14.3	Längenmessung	242
51.	Inkrementaler Längengeber	242
52.	Absolut codierte Längenmaßstäbe	245
15	Umsetzer	249
15.1	Digital/Analog-Umsetzer	249
53.	Konzept eines einfachen Digital/Analog-Umsetzers	249
54.	Digital/Analog-Umsetzer mit Kettenleiter	250
15.2	Analog/Digital-Umsetzer	251
55.	Allgemeine Fragen	251
56.	Kenmlinien von Analog/Digital-Umsetzern	253
57.	Signal/Rausch-Verhältnis und effektive Bits	256
58.	Nachlaufumsetzer	258
59.	Umsetzer mit sukzessiver Approximation	260
60.	Parallel-Umsetzer (Flash-Umsetzer)	261
61.	Zweirampen-A/D-Umsetzer (Dual-slope-ADU)	265
62.	Delta-Sigma-Umsetzer	267
16	Digitale Verarbeitung von Messsignalen	273
16.1	Digitale Signale	273
63.	Bilddigitalisierung	273
64.	Übertragung digitaler Signale	274
16.2	Signalverarbeitung	274
65.	Faltungsintegral	274
66.	Fourier-Transformation	275
67.	Diskrete Fourier-Transformation	276
68.	Filterung von Bildsignalen	277

III Formeln und Tabellen	279
A Messtechnische Grundlagen	281
A.1 Maßeinheiten	281
A.2 Lösung von Differentialgleichungen	282
A.3 Systembeschreibung im Frequenzbereich	284
A.4 Fehlerrechnung	284
A.4.1 Systematische Fehler	284
A.4.2 Fehlerfortpflanzung	285
A.4.3 Zufällige Fehler	286
B Schaltungstechnische Grundlagen	289
C Digitale Messung nichtelektrischer Größen	291
D Digitale Verarbeitung von Messsignalen	293
D.1 Faltungsintegral	293
D.2 Fourier-Transformation	293
D.3 Diskrete Fourier-Transformation (DFT)	293
Literatur	295
Index	297