

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>V</b>
<b>1      Analoge und digitale Multimetersysteme</b>	<b>1</b>
1.1    Zeigermessgeräte .....	1
1.1.1    Aufbau von Zeigermessgeräten .....	2
1.1.2    Beschriftung von Skalen .....	5
1.1.3    Genauigkeitsklassen und Fehler .....	7
1.1.4    Messungen mit Zeigermessgeräten .....	10
1.1.5    Leistungsmessungen .....	12
1.1.6    Widerstandsmessungen .....	14
1.2    Digitale Multimetersysteme.....	18
1.2.1    3½-stelliges Digital-Voltmeter ICL7106 mit LCD-Anzeige .....	18
1.2.2    Umschaltbares Multimeter mit dem ICL7106 .....	21
1.3    Arbeiten mit dem simulierten Multimeter.....	25
1.3.1    Grundeinstellungen des Multimeters .....	26
1.3.2    Arbeiten mit simulierten Betriebsmessgeräten .....	30
1.3.3    Messen von Kondensatoren und Induktivitäten.....	31
1.4    Mikrocontroller als Multimeter.....	35
1.4.1    8-Bit-Mikrocontroller ATtiny26.....	36
1.4.2    Grundfunktionen des 8-Bit-Mikrocontrollers ATtiny26 .....	36
1.4.3    Absolute und relative Genauigkeit.....	37
1.4.4    Integraler Linearitätsfehler.....	38
1.4.5    Differentielle Nichtlinearität .....	38
1.4.6    Offsetfehler .....	39
1.4.7    Verstärkungsfehler .....	39
1.4.8    Aufbau eines digitalen Systems .....	40
1.4.9    Unterscheidungsmerkmale zwischen analogen und digitalen Systemen .....	41
1.4.10    Systemfehler der AD-Umsetzung .....	43
1.4.11    Statische Signale .....	44
1.4.12    Quasistatische Signale .....	44
1.4.13    Dynamische Signale .....	44
1.4.14    Signalparameter .....	45
1.4.15    Statistische Methoden der Signalauswertung.....	46
1.4.16    Arithmetischer Mittelwert .....	47
1.4.17    Fortlaufende Mittelwertbildung .....	47
1.4.18    Schrittweise Mittelwertbildung.....	48

1.4.19	Quadratischer Mittelwert.....	50
1.4.20	Effektivwert.....	50
1.4.21	Abtasttheorem und Aliasing .....	50
<b>2</b>	<b>Funktionsgenerator und Signalquellen</b>	<b>55</b>
2.1	Simulierter Funktionsgenerator .....	56
2.1.1	Augenblickswert, Scheitelwert und Effektivwert.....	57
2.1.2	Rechteck- und Dreieckspannung .....	58
2.1.3	Messung der Phasenverschiebung .....	60
2.1.4	RC-Glied an symmetrischer Rechteckspannung .....	61
2.1.5	Messung einer Schwebung .....	63
2.1.6	Messung einer Amplitudenmodulation (AM).....	65
2.1.7	Messung einer Frequenzmodulation (FM) .....	66
2.1.8	Messung einer Rauschspannung.....	68
2.1.9	Messung einer FSK-Spannung .....	69
2.2	Realer Funktionsgenerator.....	71
2.2.1	Blockschaltung des Funktionsgenerators MAX038 .....	71
2.2.2	Funktionsgenerator mit dem MAX038.....	73
2.2.3	Wobbler mit dem MAX038 .....	76
2.3	Mikrocontroller ATtiny26 als Frequenzgenerator.....	78
2.3.1	Mikrocontroller als Rechteckgenerator .....	78
2.3.2	Mikrocontroller ATtiny26 als Sinusgenerator .....	79
<b>3</b>	<b>Wattmeter</b>	<b>85</b>
3.1	Elektrodynamisches Messwerk .....	85
3.2	Elektrodynamisches Quotienten-Messwerk.....	87
3.3	Messverfahren in der Starkstromtechnik .....	88
3.3.1	Leistungsmessung im Einphasennetz .....	89
3.3.2	Leistungsmessung im Drehstromnetz.....	92
3.3.3	Blindleistungsmessung .....	94
3.3.4	Leistungsfaktormessung .....	95
3.4	Messpraktikum .....	97
3.4.1	Leistungsmessung einer Glühlampe .....	97
3.4.2	Leistungsmessung einer Spule.....	98
3.4.3	Leistungsmessung einer RL-Schaltung .....	99
3.4.4	Leistungsmessung einer RC-Schaltung .....	100
3.4.5	Leistungsmessung einer Kompensation.....	101
3.4.6	Leistungsmessung einer Sternschaltung (Drehstrom).....	103
3.4.7	Leistungsmessung an Drehstrom .....	104
3.5	Leistungsmesser mit Mikrocontroller ATtiny26 .....	105

<b>4</b>	<b>Oszilloskope</b>	<b>107</b>
4.1	Elektronenstrahlröhre.....	107
4.1.1	Y-Verstärker mit Abschwächer .....	109
4.1.2	X-Verstärker mit Abschwächer .....	110
4.1.3	Zeitablenkschaltung .....	111
4.1.4	Elektronischer Schalter .....	112
4.1.5	Vorverstärker.....	112
4.2	Digitale Speicheroszilloskope.....	113
4.2.1	Analog-Digital-Wandler .....	113
4.2.2	Genauigkeit und Auflösung .....	114
4.2.3	Digitale Zeitbasis .....	116
4.2.4	Digitalisierung der Daten.....	116
4.2.5	Aliasing und Anti-Aliasing .....	117
4.2.6	Impuls-Interpolation .....	120
4.2.7	Vergleich zwischen Digital- und analogem Speicheroszilloskop.....	122
4.2.8	Messmerkmale eines digitalen Speicheroszilloskops .....	123
4.2.9	Auswahl eines digitalen Speicheroszilloskops.....	126
4.3	Messübungen mit simuliertem Zweikanal-Oszilloskop.....	131
4.3.1	Oszilloskopeinstellungen .....	131
4.3.2	Messungen von unsymmetrischen Spannungen.....	133
4.3.3	Messung der Phasenverschiebung .....	137
4.3.4	Messung einer Frequenz mit Lissajous-Figur.....	139
4.3.5	Messung der Blindleistung .....	141
4.3.6	Messung der Phasenverschiebung an einer RCL-Reihenschaltung .....	142
4.3.7	Messung einer Signalkopplung in einem Kleinsignalverstärker.....	143
4.4	Messübungen mit simuliertem Vierkanal-Oszilloskop .....	146
4.4.1	Messung von unterschiedlichen Spannungen .....	146
4.4.2	Sinusgenerator mit RC-Phasenschieber .....	146
<b>5</b>	<b>Bode-Plotter</b>	<b>149</b>
5.1	Arbeiten mit dem Bode-Plotter .....	150
5.1.1	Verhalten eines passiven RC-Tiefpass-Filters.....	152
5.1.2	Verhalten eines Reihenschwingkreises .....	153
5.1.3	Verhalten eines Parallelschwingkreises .....	154
5.1.4	Reale Schwingkreise.....	156
5.1.5	Güte und Bandbreite .....	156
5.1.6	Untersuchung eines LC-Filters .....	158
5.1.7	Untersuchung eines T- und $\pi$ -Filters .....	159
5.1.8	Untersuchung eines Tiefpass-Doppelsiebgliedes.....	161
5.1.9	Untersuchung eines Bandpasses nach Wien .....	162

<b>6</b>	<b>Frequenzmessgeräte</b>	<b>165</b>
6.1	Praxis der Dekadenzählung .....	165
6.1.1	Mengenzählung .....	165
6.1.2	Zeitmessung.....	166
6.1.3	Frequenzmessung .....	168
6.1.4	Frequenzverhältnismessung.....	168
6.1.5	Frequenzuntersetzung .....	169
6.1.6	Realisierung einer Zählerdekade .....	170
6.2	Messungen mit dem simulierten Frequenzzähler .....	171
6.3	Multifunktionszähler und Frequenzzähler .....	174
6.3.1	Multifunktionszähler ICM7216A/B und Frequenzzähler ICM7216C/D .....	174
6.3.2	Funktionen des ICM7216A/B.....	177
6.3.3	Multifunktionszähler mit dem ICM7216A bis 10 MHz.....	177
6.3.4	Frequenzzähler bis 10 MHz mit dem ICM7216C/D.....	177
6.3.5	Erweiterte Schaltungen mit dem ICM7216C/D.....	178
<b>7</b>	<b>Logikanalysator und Bitmustergenerator</b>	<b>183</b>
7.1	Digitale Messgeräte .....	183
7.1.1	Simulierter Bitmustergenerator.....	185
7.1.2	Simulierter Logikanalysator .....	186
7.1.3	Untersuchung des Dezimalzählers 7490 .....	188
7.1.4	Untersuchung des Schieberegisters 74164 .....	190
7.1.5	Untersuchung eines 8-Bit-DA-Wandlers .....	191
7.1.6	Untersuchung eines 8-Bit-AD-Wandlers .....	194
7.1.7	Mikrocontroller mit LED-Baranzeige .....	195
7.1.8	Mikrocontroller am Logikanalysator .....	196
7.1.9	Mikrocontroller mit DA-Wandler.....	199
7.1.10	Mikrocontroller mit AD-Wandler .....	200
7.1.11	Mikrocontroller mit AD- und DA-Wandler .....	200
<b>8</b>	<b>Logikkonverter</b>	<b>203</b>
8.1	Arbeiten mit dem Logikkonverter .....	203
8.1.1	Verfahren nach Quine und McCluskey .....	205
8.1.2	Untersuchung einer negierten UND-Verknüpfung .....	205
8.1.3	Untersuchung einer UND-ODER-Verknüpfung mit zwei Eingängen .....	206
8.1.4	Untersuchung einer UND-ODER-Verknüpfung mit drei Variablen .....	207
8.1.5	Untersuchung einer UND-ODER-Verknüpfung mit vier Variablen .....	208
8.2	Schaltungsanalyse von TTL-Bausteinen.....	210
8.2.1	Untersuchung des NAND-Gatters 7400 .....	210
8.2.2	Untersuchung des Exklusiv-ODER-Gatters 7486 .....	212
8.2.3	Inhibition und Implikation.....	213
8.2.4	Untersuchung des UND/NOR-Gatters 7451.....	215

<b>9</b>	<b>Kennlinienschreiber (I/U-Analyse)</b>	<b>217</b>
9.1	Kennlinie.....	217
9.1.1	Statische Kennlinienaufnahme einer Diode .....	219
9.1.2	Dynamische Kennlinienaufnahme einer Diode .....	220
9.1.3	Kennlinienschreiber mit Diode .....	223
9.1.4	Statischer und dynamischer Wert einer Diode .....	224
9.2	Kennlinienschreiber für Transistoren.....	226
9.2.1	Einfache Messungen und Prüfungen an bipolaren Transistoren .....	226
9.2.2	Messung des Gleichstromverstärkungsfaktors B .....	228
9.2.3	Messung der Eingangskennlinie $I_B = f(U_{BE})$ .....	230
9.2.4	Ausgangskennlinien eines Transistors .....	233
9.2.5	Dynamische Aufnahme von Ausgangskennlinien.....	235
<b>10</b>	<b>Klirrfaktormessgerät</b>	<b>239</b>
10.1	Messen einer Bandsperre mit Klirrfaktormessgerät.....	241
10.1.1	Klirrfaktor .....	241
10.1.2	Zweistufiger Verstärker mit kapazitiver Kopplung .....	242
10.1.3	Intermodulations-Verzerrungen .....	244
<b>11</b>	<b>Spektrumanalysator und Netzwerkanalysator</b>	<b>247</b>
11.1	Grundlagen der Spektrumanalyse .....	247
11.1.1	Frequenzbereiche .....	247
11.1.2	Empfindlichkeit .....	248
11.1.3	Signalanzeigebereich .....	248
11.1.4	Dynamikbereich.....	249
11.1.5	Messung eines AM-Demodulators.....	251
11.2	Netzwerkanalysator .....	253
11.2.1	Smith-Kreisdiagramm.....	255
11.2.2	Messen mit dem Netzwerkanalysator .....	256
11.2.3	Messen eines Collins-Filters .....	259
11.2.4	Anpassschaltungen in der HF-Technik .....	262
<b>12</b>	<b>Simulierte Industriemessgeräte</b>	<b>265</b>
12.1	HP-Funktionsgenerator 33120A .....	265
12.2	HP-Multimeter 34401A .....	270
12.3	HP-Oszilloskop 54622D .....	273
12.4	Tektronix-Oszilloskop TDS 2024 .....	276
<b>13</b>	<b>Analysemethoden bei Simulationen mit MultiSim und PSPICE</b>	<b>279</b>
13.1	Analysiermethoden .....	284
13.2	Simulation und Analyse .....	285
13.3	AC-Frequenzanalyse.....	287

13.4	Zeitbereichs-Transientenanalyse.....	293
13.5	Fourier-Analyse .....	296
13.6	Rausch- und Rauschzahlanalyse.....	301
13.7	Verzerrungsanalyse .....	307
13.8	Analyse mit linear variabler Gleichspannung (DC-Wobbeln der Übertragungsfunktion).....	312
13.9	Empfindlichkeitsanalyse.....	314
13.10	Parameterdurchlauf-Analyse (lineare variable Parameterwerte) .....	316
13.11	Temperaturdurchlauf-Analyse (variable Temperaturen).....	319
13.12	Monte-Carlo-Analyse .....	321
13.13	Pol-/Nullstellenanalyse .....	324
13.14	Worst-Case-Analyse (ungünstige Bedingungen) .....	328
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>331</b>