

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Analoge und digitale Multimetersysteme	1
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
2	Funktionsgenerator und Signalquellen	55
2.1	Simulierter Funktionsgenerator	56
2.1.1	Augenblickswert, Scheitelwert und Effektivwert	57
2.1.2	Rechteck- und Dreiecksspannung	58
2.1.3	Messung der Phasenverschiebung	60
2.1.4	RC-Glied an symmetrischer Rechtecksspannung	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
3	Wattmeter	85
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

4	Oszilloskope	107
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
5	Bode-Plotter	149
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 π -Filters	159
5.1.8	Untersuchung eines Tiefpass-Doppelsiebgliedes.....	161
5.1.9	Untersuchung eines Bandpasses nach Wien	162

6	Frequenzmessgeräte	165
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
7	Logikanalysator und Bitmuster-generator	183
7.1	Digitale Messgeräte	183
7.1.1	Simulierter Bitmuster-generator.....	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
8	Logikkonverter	203
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

9	Kennlinienschreiber (I/U-Analyse)	217
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
10	Klirrfaktormessgerät	239
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
11	Spektrumanalysator und Netzwerkanalysator	247
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
12	Simulierte Industriemessgeräte	265
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
13	Analysemethoden bei Simulationen mit MultiSim und PSPICE	279
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
Stichwortverzeichnis		331