

Burkhard Kainka/Herbert Bernstein

Grundwissen **Elektronik**

Die Grundlagen für Hobby, Ausbildung und Beruf

Teil A: Analogtechnik

Teil B: Messtechnik

Teil A

Analogtechnik

Vorwort

Die Elektronik ist ein breit gefächertes und in den letzten Jahrzehnten stark angewachsenes Fachgebiet, in dem man als Neuling leicht den Überblick verlieren kann. Besonders schwierig ist es daher, einen geeigneten Einstieg zu finden. Obwohl heute die digitale Elektronik zum Beispiel in der Computertechnik weiter verbreitet ist, finden sich in der analogen Elektronik, die bereits seit den Anfängen der Radiotechnik entwickelt wurde, die entscheidenden Grundlagen, an denen man nicht vorbeigehen sollte. Es werden zunächst keine Grundkenntnisse vorausgesetzt. Vielmehr soll der Analogteil des Buches ein solides Fachwissen von Grund auf vermitteln.

Teil 1 behandelt die erforderlichen Theorien, beschränkt sich aber nicht auf theoretische Grundlagen, sondern bietet immer auch praktisch erprobte Schaltungen für konkrete Projekte. Zahlreiche Schaltungen können zum Ausgangspunkt für eigene Entwicklungen werden.

Es wurde versucht, einen umfassenden Überblick der wichtigsten Bereiche zu geben. Viele in der praktischen Arbeit auftretende Probleme führen dazu, dass man häufig auf der Suche nach konkreten Fachinformationen ist. Die Zusammenstellung der Inhalte wurde daher auch von dem Ziel geleitet, die Suche nach praktisch relevanten Informationen zu vereinfachen.

Ich wünsche allen Lesern viel Erfolg bei der praktischen Arbeit mit dem Analogteil des Buches!

Burkhard Kainka

Inhalt

1	Einleitung	11
2	Der Gleichstromkreis	13
2.1	Ladung und Strom	13
2.2	Leistung und Spannung	14
2.3	Der elektrische Widerstand, Ohmsches Gesetz	16
2.4	Drahtwiderstand	20
2.5	Reihenschaltung	24
2.6	Parallelschaltung	26
2.7	Vorwiderstände	27
2.8	Innenwiderstand	28
3	Der Wechselstromkreis	30
3.1	Effektivspannung und Leistung	30
3.2	Das Dezibel	32
3.3	Transformatoren.....	34
3.4	Kondensatoren	36
3.5	RC-Glieder	37
3.6	Kondensator-Bauformen	43
3.7	Induktivitäten	46
3.8	Spulen-Bauformen	49
3.9	Schwingkreise	51
4	Dioden-Sperrschichten	55
4.1	Leitfähigkeit und Dotierung	55
4.2	Die Diode	57
4.3	Anwendung der Diode als Gleichrichter	58
4.4	Dioden-Kennlinien	59
4.5	Dioden-Bauformen	63
5	Der bipolare Transistor	69
5.1	Aufbau und Grundfunktion	69
5.2	Der Stromverstärkungsfaktor	71
5.3	Transistor-Kennlinien	73
5.4	Transistor-Bauformen	77

Inhalt

6	Feldeffekttransistoren	81
6.1	Der J-FET	82
6.2	Doppelgate-MOS-FET	83
6.3	VMOS-Leistungstransistoren	85
7	Verstärker-Grundsaltungen	87
7.1	Der Verstärker in Emitterschaltung	87
7.2	Gegenkopplung	91
7.3	Steilheit und Innenwiderstand	94
7.4	Breitbandverstärker	96
7.5	Gleichstromgekoppelte Stufen	99
7.6	Die Kollektorschaltung (Der Emitterfolger)	102
7.7	Die Basisschaltung	104
7.8	Die Darlington-Schaltung	106
7.9	Der Differenzverstärker	107
7.10	Der Gegentaktverstärker	111
7.11	Die Konstantstromquelle	115
8	Transistor-Kippstufen	118
8.1	Statische Flip-Flops	118
8.2	Monoflops	120
8.3	Schmitt-Trigger	121
9	Transistor-Oszillatoren	122
9.1	Der Multivibrator	122
9.2	RC-Oszillatoren	123
9.3	LC-Oszillatoren	124
10	Operationsverstärker	126
10.1	Prinzipschaltung	126
10.2	Der OPV als Komparator	128
10.3	OPV-Grundsaltungen	130
10.4	Invertierende Verstärker	131
10.5	OPVs mit einfacher Spannungsversorgung	132
10.6	NF-Vorverstärker	132
10.7	Leistungsverstärker	133
10.8	Feldeffekt-OPV	135
10.9	Der OTA	141
11	Hochfrequenz-Anwendungen	144
11.1	Modulation und Demodulation	144
11.2	Das Diodenradio	145
11.3	Das Audion	146
11.4	UKW-Pendelaudion	150
11.5	HF-Oszillatoren	151

12	Stromversorgungen	154
12.1	Batterieversorgung	154
12.2	Netzteil-Grundsaltungen	155
12.3	Spannungs-Vervielfachung	158
12.4	Spannungsstabilisierung mit Z-Dioden	159
12.5	Längsregler	166
12.6	Integrierte Spannungsregler	169
12.7	Bandgap-Referenzen	172
12.8	Entkopplung der Spannungsversorgung	177
13	Spannungswandler und Schaltnetzteile	180
13.1	Spannungswandler	180
13.2	Schaltregler	183
13.3	Spannungswandler mit geschalteten Kondensatoren	186
14	Messtechnik	190
14.1	Messbereichserweiterungen beim Voltmeter	190
14.2	Messbereichserweiterung beim Amperemeter	193
14.3	Das Ohmmeter	195
14.4	Messfehler	198
14.5	Messgleichrichter	199
14.6	Logarithmierer	202
14.7	Messbrücken	204
15	Signalgeneratoren	207
15.1	Rechteck-Generatoren mit OPV	207
15.2	Rechteckgenerator mit dem 555	209
15.3	CMOS-Oszillatoren	213
15.4	Wien-Brücken-Oszillator	215
15.5	Integrierte Funktionsgeneratoren	217
15.6	Spannungsgesteuerte Oszillatoren	220
15.7	Steuerbarer Sinusgenerator mit OTA	222
16	Sensoren	227
16.1	NTC-Sensoren	227
16.2	PT100-Messwiderstände	231
16.3	KTY-Sensoren	231
16.4	Dioden und Transistoren als Temperatursensoren	233
16.5	Integrierte Temperatursensoren	234
16.6	Thermoelemente	235
16.7	Lichtsensoren: LDR	237
16.8	Fotodioden und Fototransistoren	238
16.9	Kraftsensoren und Drucksensoren	240
16.10	Piezo-Sensoren	241
16.11	Magnetfeld-Sensoren	242

Inhalt

17	Leistungselektronik	244
17.1	Lineare Leistungsregler	244
17.2	Leistungsschalter	247
17.3	Leistungs-MOS-FETs	254
17.4	PWM-Regler	258
17.5	Integrierte Leistungsschalter	260
17.6	Brückentreiber	262
17.7	Power-OPV	263
18	Filter	266
18.1	Entstörmaßnahmen	266
18.2	Passive RC-Filter	270
18.3	LC-Filter	273
18.4	Quarzfilter	276
18.5	Aktive Filter	277
18.6	Universalfilter	280
18.7	Spannungsgesteuerte Filter	280
19	Mischer und Modulatoren	283
19.1	Empfängerkonzepte	283
19.2	Multiplikative Mischer	286
19.3	Additive Mischer	289
19.4	Ringmischer	291
19.5	Integrierte Balance-Mischer	292
	Literatur	296

Teil B

Messtechnik

Vorwort

Die messtechnische Erfassung der Umwelt ist für den Physiker und Ingenieur von jeher die Voraussetzung für seine Arbeit. Seit 1970 ist bei der immer umfangreicher werdenden Arbeit in der Praxis und im Betrieb auch für den Facharbeiter, Techniker und Meister die Anwendung der Messgeräte und die Kenntnis der Messverfahren unentbehrlich. Das Buch ist ideal für die Prüfungsvorbereitung. Der Autor hat sich bemüht, selbst für komplexe Vorgänge oder Formeln praktische, kurze Erklärungen bzw. Näherungsrechnungen zu entwickeln, ohne die Darstellungen zu simplifizieren.

Aus dieser Überlegung heraus entstand das vorliegende Buch, das im Unterricht an der Technikerschule und bei der IHK eingesetzt wird. Es soll jedem, der in der Elektrotechnik während der Ausbildungszeit oder in der Berufsausübung zu messen hat, behilflich sein, die Zusammenhänge zu verstehen und die richtigen Verfahren auszuwählen. Es soll den Auszubildenden in der Berufsschule, den Facharbeiter in der Praxis und den Meister beim Entwurf beraten. Es wird auch dem Techniker im Betrieb nützlich sein und in vielen Fällen sogar dem Fachmann anderer Berufe Hinweise auf die vielfältigen Möglichkeiten der elektrischen und elektronischen Messtechnik geben können.

Der Umfang des Buches reicht im Interesse der Vollständigkeit über das hinaus, was in der Berufs-, Meister- und Technikerschule zum Thema „Elektro-Messtechnik“ vermittelt werden kann. Dem Fachlehrer und Dozenten bleibt daher die Auswahl überlassen. Dafür kann aber das gleiche Buch in Fachkursen, Meisterkursen und Technikerschulen weiter verwendet werden.

Bei meiner Frau Brigitte möchte ich mich für die Erstellung der Zeichnungen bedanken.

München, Sommer 2010

Herbert Bernstein

Inhaltsverzeichnis

1	Zeigerinstrumente (analoge Messtechnik).....	11
1.1	Analoge Messinstrumente	11
1.1.1	Messwerk, Messinstrument und Messgerät	16
1.1.2	Beschriftung der Messgeräte	18
1.1.3	Messinstrumentengehäuse	22
1.1.4	Skalen	23
1.1.5	Drehmomente und Einschwingen	27
1.1.6	Zeiger, Lager und Dämpfung	29
1.1.7	Genauigkeitsklassen und Fehler	32
1.1.8	Justierung (Eichung) von Betriebsmessgeräten	36
1.1.9	Bedienungsregeln und Beurteilung	46
1.2	Arbeitsweise von Zeigermessgeräten	49
1.2.1	Dreheisen-Messwerk.....	49
1.2.2	Drehmagnet- und Eisennadel-Messwerk.....	52
1.2.3	Drehspul-Messwerk	54
1.2.4	Zeiger-Galvanometer.....	57
1.2.5	Drehspul-Quotientenmesswerk	59
1.2.6	Elektrodynamisches Messwerk	60
1.2.7	Elektrodynamisches Quotienten-Messwerk	63
1.2.8	Elektrostatisches Messwerk.....	65
1.2.9	Induktions-Messwerk	67
1.2.10	Hitzdraht-Messwerk	70
1.2.11	Bimetall-Messwerk	70
1.2.12	Vibrations-Messwerk	71
1.2.13	Elektrizitätszähler	72
1.3	Messungen elektrischer Grundgrößen.....	74
1.3.1	Messwiderstände	74
1.3.2	Universal-Messinstrumente	76
1.3.3	Strommessung	79
1.3.4	Spannungsmessung.....	82
1.3.5	Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung. .	84
1.3.6	Widerstandsmessung mit Ohmmetern	87
1.3.7	Brückenmessungen	88
1.3.8	Kompensationsmessungen	91
1.3.9	Kapazitätsmessung.....	92
1.3.10	Induktivitätsmessung.....	94

1.3.11	Wechselstrom-Messbrücken	97
1.4	Messverfahren in der Starkstromtechnik.....	100
1.4.1	Leistungsmessung im Einphasennetz	101
1.4.2	Leistungsmessung im Drehstromnetz	105
1.4.3	Blindleistungsmessung	107
1.4.4	Leistungsfaktormessung.....	108
1.4.5	Messen der elektrischen Arbeit	111
1.4.6	Isolationsmessung	113
1.4.7	Fehlerort-Bestimmung	116
1.4.8	Erdwiderstandsmessung	120
1.5	Vom elektrischen zum elektronischen Stromzähler	122
1.5.1	Umstellung auf elektronische Zähler.....	123
1.5.2	Arten von Stromzählern	124
1.5.3	Elektronische Stromzähler	124
1.5.4	Elektronischer Stromzähler mit Mikrocontroller	126
2	Analoge und digitale Oszilloskope	130
2.1	Aufbau eines analogen Oszilloskops.....	132
2.1.1	Elektronenstrahlröhre.....	133
2.1.2	Horizontale Zeitablenkung und X-Verstärker.....	140
2.1.3	Triggerung	143
2.1.4	Y-Eingangskanal mit Verstärker	146
2.1.5	Zweikanaloszilloskop	150
2.1.6	Tastköpfe	153
2.1.7	Inbetriebnahme des Oszilloskops.....	155
2.2	Praktische Handhabung eines Oszilloskops.....	159
2.2.1	Einstellen der Empfindlichkeit	160
2.2.2	Anschluss eines Oszilloskops an eine Messschaltung.....	164
2.2.3	Triggerverhalten an einer Messschaltung	170
2.3	Digitales Speicheroszilloskop	175
2.3.1	Merkmale eines digitalen Oszilloskops.....	175
2.3.2	Interne Funktionseinheiten	176
2.3.3	Digitale Signalspeicherung.....	177
2.3.4	Analog-Digital-Wandler.....	179
2.3.5	Zeitbasis und horizontale Auflösung.....	180
2.3.6	Möglichkeiten des Abtastbetriebs	184
2.3.7	Speicherung von Signalinformationen	188
2.4	Funktionen und Bedienelemente.....	192
2.4.1	Parametereinstellungen	192
2.4.2	Triggerfunktionen	194
2.4.3	Spezielle Triggerfunktionen	198
2.4.4	Triggermethoden für Störimpulse	202

2.4.5	Auswertung von Messsignalen.....	204
2.4.6	Digitale Filterung.....	208
2.4.7	Verarbeitung von Messsignalen.....	211
2.4.8	Spezialfunktionen eines digitalen Speicheroszilloskops.....	213
2.4.9	Automatische Messung mit der Cursorsteuerung.....	217
2.4.10	Arbeiten mit dem Messcursor	220
3	Digitale Messgeräte	225
3.1	3½-stelliges Digital-Voltmeter mit LCD-Anzeige	225
3.1.1	Arbeiten mit Flüssigkristall-Anzeigen.....	228
3.1.2	Aufbau und Funktionen von Flüssigkristall-Anzeigen.....	230
3.1.3	3½-stelliges Digital-Voltmeter ICL7106 LCD (und ICL7107 LED) ..	232
3.1.4	Betriebsfunktionen ICL7106 und ICL7107	234
3.1.5	Auswahl der externen Komponenten für ICL7106 und ICL7107 ..	239
3.1.6	Praktische Anwendungshinweise	241
3.1.7	Schaltung für den ICL7106.....	247
3.1.8	Umschaltbares Multimeter mit dem ICL7106	249
3.1.9	Digital-Voltmeter mit elektronischer Bereichsumschaltung.....	253
3.2	3½-stelliges Digitalvoltmeter mit LED-Anzeige.....	262
3.2.1	Digitalvoltmeter mit LED-Anzeige.....	263
3.2.2	3½-stelliges LED-Thermometer mit dem ICL7107	265
3.3	3½-stelliges Digitalvoltmeter mit dem ICL7116 und ICL7117....	268
3.4	4½-stelliges Digitalvoltmeter mit dem ICL7129	268
3.4.1	Triplex-LCD-Anzeige für den ICL7129.....	271
3.4.2	Anwendungen mit dem ICL7129	274
3.5	4½-stelliges Digitalvoltmeter mit dem ICL7135	276
3.5.1	Betriebsarten des ICL7135.....	276
3.5.2	Anschlussbelegung des ICL7135.....	280
3.5.3	Auswahl der Komponenten für den ICL7135.....	281
3.5.4	Schaltungen mit dem ICL7135.....	287
3.6	3½-stelliges Digitalvoltmeter mit dem ICL7137	291
3.6.1	Messzyklen des ICL7137	292
3.6.2	Anschlussbelegung des ICL7137.....	294
3.6.3	Auswahl der Komponenten	296
3.7	Vierstelliger Vor-Rückwärtszähler mit dem ICM7217	297
3.7.1	Vierstelliger Ereigniszähler mit dem ICM7217	299
3.7.2	Vierstelliger Tachometer mit dem ICM7217	304
3.7.3	IC-Zeitgeber 555	305
3.7.4	Vierstellige Uhr	310
3.7.5	Vierstelliger Präzisionszähler bis 1 MHz	314
3.8	Multifunktionszähler und Frequenzzähler.....	320
3.8.1	Multifunktionszähler ICM7216A/B und Frequenzzähler ICM7216C/D	320

3.8.2	Funktionen des ICM7216A/B.....	323
3.8.3	Multifunktionszähler mit dem ICM7216A bis 10 MHz	327
3.8.4	Frequenzzähler bis 10 MHz mit dem ICM7216.....	330
3.8.5	Erweiterte Schaltungen mit dem ICM7216	333
3.8.6	Universalzähler ICM7226A/B.....	345
3.8.7	Steuerfunktionen des Universalzählers ICM7226A/B	349
3.8.8	Genauigkeit des Universalzählers ICM7226A/B.....	355
3.8.9	100-MHz-Universalzähler ICM7226A.....	355
3.8.10	100-MHz-Frequenzzähler ICM7226A.....	360
3.9	Funktionsgeneratoren.....	363
3.9.1	Funktionsgenerator ICL8038	363
3.9.2	Funktionsgenerator und Wobbler.....	367
3.9.3	Schaltungen mit dem ICL8038.....	368
3.9.4	Funktionsgenerator mit Endstufe.....	373
3.10	Präzisions-Funktionsgenerator MAX038	379
3.10.1	Blockschaltung des Funktionsgenerators MAX038.....	379
3.10.2	Funktionsgenerator mit dem MAX038.....	382
3.10.3	Wobbler mit dem MAX038	387
3.11	Integrierter Funktionsgenerator XR2206	391