

Vorwort

Das Buch behandelt, im Gegensatz zu Fach- und Lehrbüchern über elektronische Bauelemente und Schaltungen, die technische Realisierung elektronischer Geräte.

Die Neigung zur Lösung konstruktiver Probleme ist bei den Entwicklern elektronischer Schaltungen oft nicht sehr ausgeprägt. Andererseits wird die Tätigkeit eines Konstrukteurs häufig durch die unzureichende Kenntnis der elektronischen Funktion des von ihm zu bearbeitenden Gerätes eingeschränkt. Die hier entstehende Lücke versucht dieses Buch zu schließen.

Das Buch entstand aus der Vorlesung «Feinwerktechnik/Elektronische Gerätetechnik» des Verfassers an der Fachhochschule Hannover. Da hier bewußt auf die Wiedergabe der mathematischen Ableitungen verzichtet wurde, eignet sich das Buch für jeden Leser mit Grundlagenkenntnissen der Mathematik, Physik und Elektrotechnik/Elektronik. Das Buch soll nicht — im Sinne eines «Kochbuches» — erprobte Lösungen anbieten, sondern auf Probleme aufmerksam machen und Lösungswege aufzeigen.

Die wichtigsten Problemkreise bei der Entwicklung elektronischer Geräte zeigt Bild 1, das gleichzeitig die Struktur dieses Buches aufzeigt.

Durch die wachsende Notwendigkeit, Lösungen bzw. Geräte schnell und kostengünstig zu realisieren, bedarf auch die Entwicklungstätigkeit besonderer Techniken der *Planung*. Diese von Entwicklern und Konstrukteuren oft zu Unrecht als beengender Zwang angesehene Forderung wird im 1. Kapitel behandelt.

Für den Konstrukteur steht zunächst die *Bauweise* der Geräte im Vordergrund. Das ist die funktionelle Zusammenfassung der elektronischen *Bauelemente* durch *Leiterplatten* und *Verdrahtungen*. Dabei spielen *Kontakte* und *Verbindungen* eine wichtige Rolle. Von den dabei auftretenden Problemen handelt das 3. Kapitel dieses Buches.

Der Kunde erwartet die Erfüllung aller geforderten Gerätefunktionen. Darüber hinaus ist es wichtig, daß diese Funktionen unter den geplanten Einsatzbedingungen über eine lange Zeit fehlerfrei zur Verfügung stehen. Mit anderen Worten: Es wird eine hohe *Zuverlässigkeit* gefordert. Die Einflüsse auf die Zuverlässigkeit von Geräten und ihre überschlägige Vorausberechnung werden im 2. Kapitel beschrieben.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Zuverlässigkeit der Geräte hat die *Temperatur* der Bauelemente. Die physikalischen Zusammenhänge der *Wärmeableitung* sowie die Probleme bei elektronischen Bauelementen und Geräten behandelt das 4. Kapitel.

Die durch *klimatechnische* und *mechanische Umwelteinflüsse* ausgelösten Probleme sowie mögliche Gegenmaßnahmen sind im Kapitel 6 dargestellt.

Stromkreise und Geräte können sich gegenseitig galvanisch, kapazitiv, induktiv oder elektromagnetisch beeinflussen. Durch die enge Nachbarschaft von Bauelementen und Baugruppen sowie von Geräten der Elektronik, der Nachrichtentechnik und der Energietechnik stellt sich die Frage nach der gegenseitigen *elektromagnetischen Verträglichkeit*. Die physikalischen Zusammenhänge beim Auftreten von *Störungen* sowie eine Anzahl von gerätespezifischen Problemen werden im Kapitel 5 behandelt. *Sicherheitsvorschriften* zum Schutz von Menschen und Sachwerten gegen die Gefährdung durch schädliche Wirkungen der elektrischen Energie werden im 7. Kapitel angesprochen.

Die Gerätetechnik wird, wie bisher, einem ständigen Wandel unterworfen sein. Verfasser und Verlag sind daher für Hinweise, die der Weiterentwicklung des Buches dienen, stets dankbar.

Springer

Hans Brümmer

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
1	Hinweise für systematisches Entwickeln und Konstruieren	13
1.1	Entwicklungsplanung	16
1.2	Projektphasen	16
1.2.1	Informationsfluß	18
1.2.2	Durchführbarkeitsstudie	19
1.2.3	Vorstudie	20
1.3	Pflichtenheft	21
1.4	Bemerkungen zur Terminplanung	22
2	Die Zuverlässigkeit elektronischer Geräte	27
2.1	Allgemeine Einführung	27
2.2	Grundlagen	28
2.2.1	Begriff der Wahrscheinlichkeit	28
2.2.2	Begriff der Zuverlässigkeit	29
2.2.2.1	Zuverlässigkeitskenngrößen	31
2.2.3	Wichtige mathematische Modelle	32
2.3	Elektronische Geräte	33
2.3.1	Allgemeine Bemerkungen	33
2.3.1.1	Redundanz	35
2.3.2	Ausfallraten von Bauelementen	36
2.3.2.1	Drift	37
2.3.2.2	Näherung für die Ausfallraten	37
2.3.2.3	Derating	39
2.3.2.4	Genauigkeit von Ausfallratenangaben	40
2.3.3	Elektronische Geräte ohne Reparatur	41
2.3.4	Elektronische Geräte mit Reparatur	45
2.3.5	Wartung elektronischer Geräte	46
2.4	Anwendungsbeispiel	47
2.5	Maßnahmen zur Zuverlässigkeitserhöhung	53
3	Bauweisen elektronischer Geräte	55
3.1	Wichtige Eigenschaften von Bauelementen	58
3.1.1	Allgemeines	58
3.1.2	Widerstände	60

3.1.2.1	Lineare Widerstände	61
3.1.2.2	Nichtlineare Widerstände und Sonderformen	69
3.1.3	Kondensatoren	70
3.1.4	Halbleiter	75
3.1.4.1	Stoffeigenschaften	75
3.1.4.2	Dioden	76
3.1.4.3	Bipolare Transistoren	78
3.1.4.4	Feldeffekttransistoren (FET)	80
3.1.4.5	Thyristor und Triac	82
3.1.4.6	Planartechnik	83
3.1.4.7	Integrierte Schaltungen	83
3.1.5	Schicht- und Hybridschaltungen	87
3.1.5.1	Dickschicht-Siebdrucktechnik	88
3.1.5.2	Dünnschicht-Tantal-Aufstäub-Fotoätztechnik	90
3.1.5.3	Dünnschicht-Nickelchrom-Aufdampf-Maskentechnik	91
3.2	Kontakte	91
3.2.1	Übersicht	91
3.2.2	Kontaktwiderstand	92
3.2.3	Kontaktbelastung und Kontaktwerkstoffe	95
3.2.3.1	Elektrische Kontaktbelastung	95
3.2.3.2	Mechanische Kontaktbelastung	99
3.2.3.3	Kontaktbelastung durch Umwelteinflüsse	102
3.2.4	Ausführung von Kontaktbauelementen	103
3.2.5	Zuverlässigkeit	107
3.3	Verbindungen	107
3.3.1	Löten	108
3.3.1.1	Flußmittel	109
3.3.1.2	Weichlote	110
3.3.1.3	Lötverfahren	112
3.3.1.4	Prüfung von Lötstellen	113
3.3.2	Schweißen	114
3.3.3	Crimpen	115
3.3.4	Wickeln	117
3.3.5	Federhülsenverbinder (Termi-Point)	119
3.4	Leiterplattentechnik	121
3.4.1	Aufbauprinzipien	121
3.4.1.1	Einseitige Schaltungen	123
3.4.1.2	Doppelseitige Schaltungen	123
3.4.1.3	Mehrlagen-Leiterplatten	126
3.4.1.4	Feinleitertechnik	126
3.4.1.5	Additivtechnik	127
3.4.1.6	Eingeebnete Schaltungen	127
3.4.1.7	Oberflächenschutz	127
3.4.2	Elektrische Kenngrößen	130

3.4.2.1	Elektrischer Widerstand	130
3.4.2.2	Strombelastbarkeit	130
3.4.2.3	Isolationswiderstand	132
3.4.2.4	Spannungsfestigkeit, Leiterabstände	132
3.4.2.5	Kriechstromfestigkeit	133
3.4.2.6	Kapazität	134
3.4.2.7	Induktivität	135
3.4.2.8	Wellenwiderstand	136
3.4.3	Unterlagenerstellung	136
3.4.3.1	Abmessungen und Toleranzen	139
3.4.3.2	Voraussetzungen für den Entwurf	141
3.4.3.3	Grundsätzliches zur Entwurfstechnik	141
3.4.3.4	Entwerfen einseitiger Leiterplatten	144
3.4.3.5	Entwerfen mehrlagiger Leiterplatten	144
4	Wärmeableitung bei elektronischen Geräten	147
4.1	Einführung	147
4.2	Physikalische Grundlagen	150
4.2.1	Verlustleistung, Energie und Temperatur	150
4.2.2	Thermischer Widerstand	152
4.2.3	Wärmeübertragung durch Wärmeleitung	154
4.2.4	Wärmeübergang durch Konvektion	156
4.2.5	Wärmeübertragung durch Strahlung	160
4.3	Beispiele aus der Gerätetechnik	167
4.3.1	Hinweise zur Berechnung	167
4.3.2	Zusammenhang zwischen Leistungsdichte und Art der Wärmeableitung	169
4.3.3	Äußere Wärmeableitung bei Gehäusen	171
4.3.3.1	Oberflächentemperatur offener Gehäuse	171
4.3.3.2	Oberflächentemperatur geschlossener Gehäuse	173
4.3.3.3	Wände	180
4.3.4	Wärmeableitung im Innern von Gehäusen und Schränken	184
4.3.4.1	Offene Gehäuse	185
4.3.4.2	Geschlossene Gehäuse	188
4.3.4.3	Erzwungene Konvektion	189
4.3.4.4	Wärmeleitbleche	195
4.3.4.5	Absorptionsbleche	202
4.3.5	Wärmeableitung bei Bauelementen	205
4.3.5.1	Innerer Wärmewiderstand	207
4.3.5.2	Spannungsabhängiger innerer Wärmewiderstand	209
4.3.5.3	Innerer Wärmewiderstand bei Impulsbetrieb	211
4.3.5.4	Wärmekontaktwiderstand	212
4.3.5.5	Kühlkörper, Kühlbleche	212
4.4	Hinweise zur Meßtechnik	216

5	Störungen in elektronischen Geräten	217
5.1	Ursachen der unerwünschten Verkopplung von Stromkreisen	218
5.1.1	Galvanische Verkopplung	218
5.1.2	Kapazitive Verkopplung	220
5.1.3	Induktive Verkopplung	221
5.1.4	Elektromagnetische Verkopplung	223
5.2	Die Bedeutung von Bezugspotentialen	224
5.2.1	Empfehlungen für die Führung des Rückleiters zum Bezugspunkt	226
5.2.1.1	Digitale Signale	226
5.2.1.2	Analoge Signale	227
5.2.1.3	Erdschleifen	228
5.3	Schirmungen	229
5.3.1	Schirmung elektrischer Felder	229
5.3.2	Schirmung magnetischer Felder	231
5.3.2.1	Materialeigenschaften	231
5.3.2.2	Schirmung statischer Magnetfelder	234
5.3.2.3	Schirmung magnetischer Wechselfelder	236
5.3.3	Schirmung elektromagnetischer Felder	238
5.4	Elektrische Filter und Überspannungsableiter	242
5.4.1	Vorschriften für Funkstörungen	242
5.4.2	Entstörschaltungen gegen Hf-Störungen	243
5.4.3	Maßnahmen gegen kurzzeitige Überspannungen	246
5.4.3.1	Bauelemente und Schaltungsmaßnahmen	248
5.4.3.2	Schutz von Schaltkontakten	250
5.5	Empfehlungen für den Aufbau von Schränken und Baugruppen	252
5.6	Empfehlungen für digitale Systeme	255
5.6.1	Störsicherheit integrierter digitaler Schaltkreise	256
5.6.2	Maßnahmen in der Stromversorgung	257
5.6.3	Eigenschaften von Übertragungsleitungen	259
5.6.3.1	Übersprechen	259
5.6.3.2	Reflexionen	262
5.6.4	Anschluß externer Geräte	265
5.7	Prüfliste	266
6	Umwelteinflüsse	269
6.1	Übersicht	269
6.2	Art und Wirkung der Umwelteinflüsse	269
6.2.1	Tiefemperaturen	271
6.2.2	Wärme und Licht	271
6.2.3	Feuchte	272
6.2.4	Wasser	274
6.2.5	Kondensation	274
6.2.6	Korrosion	275
6.2.7	Mechanische Beanspruchungen	277

6.2.8	Sonstige Umwelteinflüsse	279
6.3	Schutz gegen Umwelteinflüsse	280
6.3.1	Tauchverfahren	280
6.3.2	Gießen	281
6.3.3	Sinterverfahren	281
6.3.4	Härtung	281
6.3.5	Silikone	282
6.3.6	Epoxidharze	283
6.3.7	Ungesättigte Polyesterharze	283
6.3.8	Polyurethanharze	283
6.4	Pflichtenhefte für Umweltbedingungen	284
6.5	Simulation der Umwelteinflüsse	286
7	Wichtige Vorschriften	287
7.1	VDE 0100	288
7.2	VDE 0800	289
	Literaturverzeichnis	293
	Stichwortverzeichnis	300