

Inhaltsverzeichnis

0 Zusammenstellung einiger Hilfsmittel aus der theoretischen Elektrotechnik

0.1 Spannungen, Ströme	1
0.1.1 Gleichspannung, Gleichstrom	1
0.1.2 Sinusförmige Wechselspannungen und -ströme	1
0.1.2.1 Komplexe Darstellung sinusförmiger Wechselspannungen und -ströme	2
0.1.3 Nichtsinusförmige Spannungen und Ströme	2
0.1.3.1 Periodische nichtsinusförmige Spannungen, Pulse	2
0.1.3.1.1 Klirrfaktor	4
0.1.3.2 Unperiodische nichtsinusförmige Spannungen, Impulse	5
0.1.3.3 Zufällige Spannungen	6
0.1.4 Frequenzen, komplexe Frequenz	7
0.2 Leistung	8
0.2.1 Leistung bei Gleichstrom	9
0.2.2 Leistung bei sinusförmigem Wechselstrom	9
0.2.2.1 Komplexe Leistung	9
0.2.3 Leistung bei nichtsinusförmigen Strömen	9
0.2.4 Leistungen bei zufälligen Strömen	10
0.3 Zweipolige und vierpolige Schaltelemente	11
0.3.1 Zweipolige Schaltelemente	11
0.3.2 Vierpolige Schaltelemente	12
0.4 Analyse von Netzwerken	13
0.4.1 KIRCHHOFFsche Sätze	13
0.4.2 Schleifen- und Knotenanalyse	14
0.4.3 Anpassung von Zweipolquellen, Reflexionsfaktor, Echomaß	16
0.4.3.1 Anpassung	16
0.4.3.2 Reflexionsfaktor	16
0.4.3.3 Echomaß	17
0.5 Lineare Vierpole	17
0.5.1 Zusammenschaltung mehrerer Vierpole	18
0.5.2 Wellenparameter eines Vierpols	19
0.5.2.1 Anpassung von Vierpolen. Reflexionsfaktor	20
0.5.3 Betriebsparameter eines Übertragungssystems	20
0.5.4 Spezielle Vierpole	21
0.5.4.1 Umkehrbare und passive Vierpole	21
0.5.4.2 Symmetrische Vierpole	21
0.6 Weitere allgemeine Netzwerkeigenschaften	22
0.6.1 Verzerrungen	22
0.6.1.1 Nichtlineare Verzerrungen	22
0.6.1.2 Lineare Verzerrungen	22
0.6.2 Darstellungsformen komplexer Netzwerkgrößen	22
0.6.3 Ergänzende Bemerkungen	23
0.7 Magnetische Gesetze	23
0.7.1 Durchflutungs- und Induktionsgesetz	23
0.7.2 Der magnetische Kreis einer Toroidspule und die Selbstinduktion	24
0.7.3 Die Permeabilität	25
0.8 Einiges über Größen und Einheiten	26
Literatur	27

I Elemente der Nachrichtentechnik**1 Reale lineare passive Schaltelemente**

1.1 Ohmsche Widerstände	29
1.1.1 Widerstandsmaterial und technischer Aufbau von Widerständen	29
1.1.2 Temperaturabhängigkeit, Belastbarkeit und zeitliche Konstanz	30
1.1.3 Unerwünschte Kapazitäten und Induktivitäten, Verhalten bei Hochfrequenz	32
1.1.4 Veränderbare Widerstände, ergänzende Bemerkungen	34
1.2 Kondensatoren	34
1.2.1 Abhängigkeit der Kapazität von Geometrie und Dielektrikum	35
1.2.2 Technischer Aufbau und Temperaturabhängigkeit von Kondensatoren	35
1.2.3 Verlustfaktor und schädliche Induktivitäten	38
1.2.4 Veränderbare Kondensatoren	40
1.3 Spulen	41
1.3.1 Berechnung magnetischer Kreise mit ferromagnetischem Kern	41
1.3.2 Induktivität bei Kernen mit Luftspalt, Trägheitserscheinungen	43
1.3.3 Verluste und unerwünschte Kapazitäten der Spulen	45
1.3.4 Veränderbare Induktivitäten, Temperaturabhängigkeit	48
1.4 Übertrager	49
1.4.1 Allgemeine Übertragertheorie	49
1.4.1.1 Der verlustlose streufreie Übertrager	50
1.4.1.2 Der ideale Übertrager	53
1.4.1.3 Der verlustlose Übertrager mit Streuung	54
1.4.1.4 Vierpoleigenschaften des Übertragers	55
1.4.2 Der Übertrager in speziellen technischen Anwendungen	58
1.4.2.1 Übertrager für relativ breite Frequenzbänder und reelle Beschaltung	58
1.4.2.2 Der Übertrager mit relativ hochohmiger oder vorwiegend kapazitiver Beschaltung	63
1.4.2.3 Abschließende Bemerkungen über weitere Übertragerarten	66
1.5 Piezoelektrische und magnetostruktive Schwinger	67
1.5.1 Der piezoelektrische Effekt	68
1.5.2 Schwingungsformen und elektrische Ersatzbilder von Schwingkristallen	69
1.5.3 Der magnetostruktive Effekt	71
1.5.4 Magnetostruktive Schwinger	72
Literatur	73

2 Lineare passive Netzwerke

2.1 Lineare passive Zweipole	74
2.1.1 Elektrische Schwingkreise	74
2.1.1.1 Frequenzverhalten elektrischer Schwingkreise	74
2.1.1.2 Spannungs- und Stromüberhöhungen in Schwingkreisen	77
2.1.1.3 Zeitverhalten elektrischer Schwingkreise	78
2.1.2 Eigenschaften des allgemeinen linearen Zweipols	83
2.1.3 Reaktanzzweipole	84
2.2 Duale Netzwerke	87
2.3 Synthese einfacher Vierpole	88
2.3.1 Siebschaltungen	88
2.3.2 Verwirklichung ausgangsseitig beschalteter Polynomfilter	91
2.3.3 Normierte Potenz- und TSCHEBYSCHOFF-Tiefpässe	93
2.3.4 Berechnung von Hochpässen und Bandpässen mittels Frequenzachsentransformation	95
2.3.5 Berechnung von Laufzeitgliedern	96
2.3.6 Entzerrer	97
2.3.6.1 Dämpfungsentzerrung	98
2.3.6.2 Phasen- bzw. Laufzeitentzerrung	99

2.4 Theorie einfacher Bandfilter	102
2.4.1 Eigenschaften des induktiv gekoppelten Zweikreisbandfilters	103
2.4.2 Diskussion der Bandfilterselektion in einfachen Fällen	105
Literatur	107

3 Lineare Verstärker

3.1 Elektronenröhren	108
3.1.1 Gleichstromverhalten und Kennlinien der Triode	109
3.1.2 Die Triode mit ohmschem Arbeitswiderstand, Einstellung des Arbeitspunktes	110
3.1.3 Verstärkung kleiner Wechselspannungen, Röhrenersatzbilder der Triode	112
3.1.4 Pentoden	114
3.1.5 Berechnung einzelner einfacher Verstärkerstufen	115
3.1.6 Untere und obere Grenzfrequenz von Verstärkerstufen	117
3.1.7 Mehrstufige Verstärker	119
3.1.8 Grenzdaten	120
3.2 Transistoren	121
3.2.1 Grundlagen aus der Halbleiterphysik	121
3.2.2 Gleichstromverhalten und Kennlinienfelder des Transistors	126
3.2.3 Der Transistor als Kleinsignalverstärkerelement	131
3.2.3.1 Arbeitspunkteinstellung und Arbeitspunktstabilisierung	132
3.2.3.2 Kleinsignal-Vierpolparameter und Ersatzbilder bei niedrigen Frequenzen	136
3.2.3.3 Kleinsignal-Vierpolparameter und Ersatzbilder bei höheren Frequenzen	139
3.2.4 Berechnung einzelner Transistorverstärkerstufen	141
3.2.5 Feldeffekt-Transistoren	143
3.3 Allgemeine Probleme der Verstärkertechnik	146
3.3.1 Obere Aussteuerungsgrenze, nichtlineare Verzerrungen	146
3.3.2 Untere Aussteuerungsgrenze, Störeinflüsse	147
3.3.3 Gegenkopplung	150
3.3.3.1 Allgemeine Beschreibung gegengekoppelter Schaltungen	150
3.3.3.2 Berechnung einfacher GK-Schaltungen	154
3.3.3.3 Stabilitätsbedingungen insbesondere bei Gegenkopplung	159
3.4 Operationsverstärker	161
3.4.1 Eigenschaften des idealen Operationsverstärkers und Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern	162
3.4.2 Statische Unvollkommenheiten des realen Operationsverstärkers	164
3.4.3 Dynamische Unvollkommenheiten des realen Operationsverstärkers	166
Literatur	167

4 Impulstechnik

4.1 Lineare Impulstechnik	168
4.1.1 Lineare Formungsvorgänge	168
4.1.2 Lineare Impulsverstärkung	174
4.2 Nichtlineare Impulstechnik mit nichtspeichernden Elementen	177
4.2.1 Nichtspeichernde nichtlineare Formungsvorgänge	177
4.2.1.1 Scherung nichtlinearer Stromspannungskennlinien	178
4.2.1.2 Amplitudenfilter	179
4.2.2 Statische Betrachtung des Transistors im Schalterbetrieb	183
4.3 Nichtlineare Impulstechnik mit speichernden Elementen	187
4.3.1 Einfache Beispiele speichernder nichtlinearer Formungsvorgänge	188
4.3.2 Dynamische Eigenschaften von Halbleiterelementen	190
4.3.2.1 Dynamische Eigenschaften von Dioden	190
4.3.2.2 Dynamische Eigenschaften von Transistoren	192
4.3.3 Stabile Kippschaltungen mit Transistoren	202
4.3.3.1 Die bistabile Kippschaltung (Flipflop)	202
4.3.3.2 Die monostabile Kippschaltung (Monoflop)	207
4.3.3.3 Der SCHMITT-Trigger	209
4.3.4 Der astabile Multivibrator	211
Literatur	213

II Nachrichtenübertragung**5 Sprache und Wandler**

5.1 Spracherzeugung	215
5.1.1 Einige Eigenschaften von Sprachsignalen	217
5.2 Das Gehör	219
5.2.1 Lautstärke und Hörfläche	220
5.3 Elektroakustische Wandler	221
5.3.1 Das Mikrophon	221
5.3.1.1 Das Kondensatormikrophon und das Kristallmikrophon	222
5.3.1.2 Das Tauchspulmikrophon und das Bändchenmikrophon	223
5.3.1.3 Das Kohlemikrophon	224
5.3.1.4 Anwendung des Kohlemikrophons in der Fernsprechtechnik	226
5.3.2 Das Telefon (Hörkapsel)	230
5.4 Verständlichkeit	232
5.4.1 Resistenz des Sprachsignals gegen Veränderungen	233
5.5 Wichtige technische Einrichtungen zur Sprachübertragung	235
5.5.1 Die Gabelschaltung	235
5.5.2 Der Teilnehmerapparat	239
Literatur	240

6 Übertragungswege, Leitungen

6.1 Allgemeines	241
6.2 Homogene Leitungen	242
6.2.1 Sonderfälle	246
6.2.2 Beispiel einer Leitungsberechnung	248
6.3 Die Leitungsbeläge verschiedener Leitungen	248
6.3.1 Der Einfluß des Skineffektes auf die Leitungsbeläge	248
6.3.2 Die Leitungsbeläge von Freileitungen	249
6.3.3 Die Leitungsbeläge von Koaxialleitungen bei hohen Frequenzen	251
6.3.4 Einiges über symmetrische Kabel	253
6.3.4.1 Pulinleitungen	253
6.3.4.2 Phantomkreisbildung	255
6.3.4.3 Typische Daten neuerer symmetrischer Kabel	255
6.4 Wellenausbreitung auf der Leitung	256
6.4.1 Anschauliche Deutung des Reflexionsfaktors bei Leitungen	256
6.4.2 Phasen- und Gruppenlaufzeit	256
6.5 Nebensprechen	259
Literatur	262

7 Modulation und Selektion

7.1 Allgemeines	262
7.2 Selektionskennzeichen	263
7.3 Zweck und grundsätzliche Verfahren der Modulation	266
7.4 Amplitudenmodulation (AM) eines Sinusträgers	267
7.4.1 Lineare Modulation	267
7.4.2 Demodulation bei linearer Modulation	272
7.4.3 Gewöhnliche Zweiseitenband-AM	273
7.4.4 Demodulation von Zweiseitenband-AM	276
7.4.5 Einseitenband-, Restseitenband- und Quadratur-AM	278
7.4.6 Beeinflussung der AM durch lineare Verzerrungen	281
7.4.7 Nichtlineare Verzerrungen bei AM	284
7.4.7.1 Kreuzmodulation	286
7.4.8 Störbeeinflussung bei AM	287
7.4.9 Trägerfrequenz (TF)-Systeme für Frequenzselektion	290

7.5 Winkelmodulation	293
7.5.1 Frequenzmodulation (FM)	293
7.5.2 Phasenmodulation (PM), Vergleich von Phasen- und Frequenzmodulation	295
7.5.3 Spektrum der Frequenzmodulation	297
7.5.4 Verzerrungen bei FM durch Bandbegrenzung	301
7.5.5 Frequenzmodulatoren	301
7.5.6 Frequenzdemodulatoren	303
7.5.7 Störbeeinflussung bei FM und PM	308
7.6 Pulsmodulation	311
7.6.1 Das Abtasttheorem	312
7.6.2 Übertragungsverfahren	314
7.6.3 Pulsamplitudenmodulation (PAM)	316
7.6.3.1 Die Abtastfunktion	316
7.6.3.2 Die getastete Sinusschwingung	317
7.6.3.3 Abtastschaltungen	318
7.6.3.4 Demodulation von PAM	319
7.7 Selektion durch unterschiedliche Modulationsverfahren	320
Literatur	321

III Nachrichtenverarbeitung und Informationstheorie

8 Codes und Codierung

8.1 Analoge und digitale Darstellung	322
8.2 Allgemeine Grundbegriffe der Codierung	323
8.3 Darstellung und Übertragung von Codewörtern	325
8.4 Codes mit Codewörtern gleicher Länge	328
8.4.1 Codierung durch polyadische Zahlensysteme	328
8.4.2 Beispiele spezieller häufig verwendeter Codes	332
8.4.2.1 Codes für Digitalrechner	332
8.4.2.2 Codes für Analog-Digital-Umwandlungen	335
8.4.2.3 Schaltungen zur Analog-Digital-Umwandlung und Digital-Analog-Umwandlung	337
8.4.3 Prüfbare und korrigierbare Codes	339
8.4.3.1 Gleichgewichtige Codes	339
8.4.3.2 Ein-Fehler-prüfbare Codes mit geradzahligem Gewicht	341
8.4.3.3 Fehler-Korrigierbarkeit durch Blocksicherung	343
8.4.3.4 Ein-Fehler-korrigierbare Codes	343
8.4.3.5 Korrigierbare Gruppencodes höherer Distanz	347
8.5 Zur Auswahl des günstigsten Codes bei Übertragungssystemen	348
8.6 Pulsmodulation	353
8.6.1 Erzeugung von Pulsmodulation	353
8.6.2 Demodulation von PCM-Signalen	354
8.6.3 Der Einfluß von Störungen auf PCM-Signale	357
Literatur	358

9 Informationstheorie

9.1 Allgemeines	359
9.2 Diskrete Informationsquellen und Kanäle	360
9.2.1 Informationsgehalt diskreter Quellen statistisch unabhängiger Zeichen	360
9.2.1.1 Informationsgehalt gleichwahrscheinlicher Zeichen	360
9.2.1.2 Informationsgehalt nicht gleichwahrscheinlicher Zeichen	362
9.2.1.3 Bezogene Größen, Redundanz, Informationsfluß	364
9.2.1.4 Redundanzsparende („optimale“) Codes	366
9.2.2 Informationsgehalt diskreter Quellen statistisch verbundener Zeichen	370
9.2.2.1 Verbundwahrscheinlichkeit und bedingte Wahrscheinlichkeit	370
9.2.2.2 Entropie diskreter Quellen statistisch verbundener Zeichen	372
9.2.3 Informationsübertragung, Kanalkapazität diskreter Kanäle	373

9.3 Kontinuierliche Informationsquellen und Kanäle	375
9.3.1 Einiges zur Beschreibung kontinuierlicher statistischer Vorgänge	375
9.3.2 Entropie kontinuierlicher Quellen	377
9.3.3 Kanalkapazität gestörter kontinuierlicher Kanäle	379
9.4 Informationstheoretische Beurteilung einiger Modulationsverfahren	383
Literatur	385

10 Schaltalgebra und logische Schaltungen

10.1 Schaltalgebra	385
10.1.1 Grundverknüpfungen	386
10.1.2 Vollständige Beschreibbarkeit, Normalformen	389
10.1.3 VENN-Diagramme	390
10.1.4 Anzahl der möglichen Funktionen binärer Variabler	391
10.1.5 Weitere Verknüpfungsarten, insbesondere NAND und NOR	392
10.1.6 Schaltzeichen der Schaltalgebra	394
10.1.7 Die wichtigsten Sätze der Schaltalgebra	396
10.1.8 Vereinfachung logischer Schaltfunktionen	398
10.1.8.1 QUINESche Methode zur Auffindung der Primimplikanten	398
10.1.8.2 Graphische Methode nach KARNAUGH-VEITCH	400
10.1.9 Abschließende Bemerkungen zur Schaltalgebra	402
10.2 Logische Schaltungen	403
10.2.1 Allgemeiner Überblick	403
10.2.2 Logische Schaltungen mit Relais	404
10.2.3 Logische Schaltungen mit Dioden	406
10.2.4 Logische Schaltungen mit Transistoren	410
10.2.4.1 Schaltkreistechniken mit Widerstandskopplung	411
10.2.4.2 Schaltkreistechniken mit Diodenkopplung	412
10.2.4.3 Schaltkreistechniken mit Transistorkopplung	413
10.2.4.4 Logische Schaltungen in Stromschaltertechnik	414
Literatur	415

11 Theorie und Struktur digitaler nachrichtenverarbeitender Systeme

11.1 Allgemeine Einführung	416
11.2 Schaltnetze	417
11.2.1 Dualzahlenaddiernetz	418
11.2.2 Codewandler, Codeprüfer, Auswahl-schaltungen	424
11.3 Schaltwerke	426
11.3.1 Das Zeitproblem bei der digitalen Informationsverarbeitung	426
11.3.2 Grundzüge der Automatentheorie	431
11.3.3 Analyse vorgegebener Schaltwerke	436
11.3.4 Beschreibung und Klassifizierung von Speichergliedern	441
11.3.5 Synthese einfacher Schaltwerke vom MEDWEDEW-Typ	444
11.3.5.1 Register	444
11.3.5.2 Zähler	446
11.3.6 Synthese einfacher Schaltwerke vom MOORE- und MEALY-Typ	449
11.4 Nachrichtenverarbeitende Systeme	455
11.4.1 Funktionseinheiten digitaler Universalrechner	455
11.4.2 Organisation und Arbeitsablauf im Universalrechner	457
11.4.2.1 Maschinensprache	457
11.4.2.2 Informationsfluß innerhalb des Systems	458
11.4.2.3 Einfache Programmierbeispiele	460
11.4.3 Wirkungsweise der Funktionseinheiten	462
11.4.3.1 Rechenwerk	462
11.4.3.2 Steuerwerk	465
11.4.3.3 Speicher	467
11.4.3.4 Ein- und Ausgabe	475
Literatur	479
Sachverzeichnis	480