

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 Be- | |
| schaltung | 63 |
| 1.4.2.3 Abschließende Bemerkungen über weitere Übertragerarten | 66 |
| 1.5 Piezoelektrische und magnetostriktive Schwinger | 67 |
| 1.5.1 Der piezoelektrische Effekt | 68 |
| 1.5.2 Schwingungsformen und elektrische Ersatzbilder von Schwingkristallen . | 69 |
| 1.5.3 Der magnetostriktive Effekt | 71 |
| 1.5.4 Magnetostriktive 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 TSCHEBYSCHEF-Tiefpässe | 93 |
| 2.3.4 Berechnung von Hochpässen und Bandpässen mittels Frequenzachsentransforma- | |
| tion | 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 Pupinleitungen | 253 |
| 6.3.4.2 Phantombildung | 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 polyadiatische 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 Block Sicherung | 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 Pulscodemodulation | 353 |
| 8.6.1 Erzeugung von Pulscodemodulation | 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 Primimplikanden | 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, Auswahlschaltungen | 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 Programmbeispiele | 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 |