

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Einführung zu den theoretischen Grundlagen..... | 1 |
| 2 | Einleitung zur Elektrotechnik | 5 |
| 2.1 | Die Ladung..... | 6 |
| 2.2 | Die Ladung als Ausgangspunkt..... | 7 |
| 3 | Erster Exkurs Mathematik..... | 9 |
| 3.1 | Vektorrechnung..... | 9 |
| 3.2 | Ableitung und Integration nach Weg, Fläche und Volumen..... | 10 |
| 3.3 | Partielle Ableitungen* | 11 |
| 4 | Vorgänge in elektrischen Leitern..... | 13 |
| 4.1 | Grundbegriffe im Leiter – Strom, Spannung | 13 |
| 4.1.1 | Darstellung der Grundgrößen aus physikalischen Überlegungen | 13 |
| 4.1.2 | Messung der Größen in Leitern – Ladung, Strom, Spannung..... | 17 |
| 4.1.3 | Übungsaufgaben zur Verdeutlichung praktischer Größenordnungen..... | 19 |
| 4.1.4 | Wichtige Formen und Kenngrößen | 20 |
| 4.1.5 | Messung und Darstellung von Feldern in leitenden Medien – Feldlinien | 21 |
| 4.2 | Strom-Spannungs-Beziehung am Widerstand | 25 |
| 4.2.1 | Driftbewegung und Ohm'sches Gesetz..... | 25 |
| 4.2.2 | Bauformen und Kenngrößen | 27 |
| 4.2.3 | Messung von Widerständen | 28 |
| 4.2.4 | Nichtlineare Widerstände | 29 |
| 4.2.5 | Übungsaufgaben zum Widerstand | 30 |
| 4.3 | Kirchhoff'sche Sätze sowie Reihen- und Parallelschaltung | 31 |
| 4.3.1 | Knotenpunkt und Maschensatz | 31 |
| 4.3.2 | Parallel- und Reihenschaltung, Strom- und Spannungsteilung | 32 |
| 4.3.3 | Übungsaufgaben zu einigen praktischen Anwendungen | 34 |
| 4.4 | Energieumwandlung und Leistung..... | 35 |
| 4.4.1 | Energie, Leistung und Wirkungsgrad..... | 35 |
| 4.4.2 | Messung von Energie und Leistung | 36 |
| 4.4.3 | Übungsaufgaben zur Leistung..... | 38 |
| 4.4.4 | Anwendung in der Elektrochemie (Batterien, Akkus, Elektrolyse)* | 39 |
| 4.4.5 | Anwendung in der Wärmelehre* | 42 |
| 4.4.6 | Anwendung in der Lichttechnik* | 44 |
| 4.4.7 | Übungsaufgaben zu Chemie, Wärme, Licht * | 46 |
| 5 | Vorgänge in elektrischen Nichtleitern | 47 |
| 5.1 | Grundbegriffe im Nichtleiter – Verschiebungstransport | 47 |
| 5.1.1 | Darstellung der Grundgrößen aus physikalischen Überlegungen | 47 |
| 5.1.2 | Messung und Darstellung von elektrostatischen Feldern..... | 49 |
| 5.2 | Ladung, Strom und Spannung am Kondensator..... | 49 |
| 5.2.1 | Zusammenhang von Ladung und Spannung sowie Strom und Spannung | 49 |
| 5.2.2 | Zeitverhalten von I und U an der Kapazität | 53 |
| 5.2.3 | Bauformen und Kenngrößen | 54 |
| 5.2.4 | Messung der Kapazität | 54 |
| 5.2.5 | Übungsaufgaben zur Kapazität | 55 |
| 5.2.6 | Messung des Zeitverlaufes mit einem Messoszilloskop | 56 |
| 5.2.7 | Anmerkungen zu Dielektrika* | 57 |
| 5.3 | Energie und Kräfte im elektrischen Feld des Nichtleiters..... | 58 |
| 5.3.1 | Beschreibung von Energie und Kräften | 58 |
| 5.3.2 | Anwendungsbeispiel zu Energie und Kräften | 60 |
| 5.3.3 | Übungsaufgabe zu Energie und Kräften | 61 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 6 | Vorgänge im Magnetfeld | 63 |
| 6.1 | Grundbegriffe: magnetische Urspannung, Fluss, Widerstand | 63 |
| 6.1.1 | Darstellung der Grundgrößen aus physikalischen Überlegungen | 63 |
| 6.1.2 | Der magnetische Kreis | 64 |
| 6.1.3 | Übungsaufgaben zum magnetischen Kreis | 67 |
| 6.1.4 | Das Durchflutungsgesetz | 67 |
| 6.1.5 | Messung und Darstellung von magnetischen Feldern – Feldlinien | 69 |
| 6.1.6 | Lorentzkraft | 70 |
| 6.1.7 | Das Induktionsgesetz | 71 |
| 6.1.8 | Übungsaufgaben zur Durchflutung und Induktion | 74 |
| 6.2 | Koppelfluss, Strom und Spannung an der Induktivität (Spule) | 76 |
| 6.2.1 | Zusammenhang zwischen Koppelfluss, Spannung und Strom | 76 |
| 6.2.2 | Anmerkungen zu magnetischen Materialien* | 80 |
| 6.2.3 | Bauformen und Kenngrößen | 82 |
| 6.2.4 | Messung der Induktivität | 82 |
| 6.2.5 | Übungsaufgaben zur Induktivität | 83 |
| 6.2.6 | Messung von Zeitverläufen an der Induktivität | 85 |
| 6.3 | Energie und Kräfte im magnetischen Feld | 86 |
| 6.3.1 | Beschreibung von Energie und Kräften | 86 |
| 6.3.2 | Anwendungen zu Kräften im Magnetfeld | 88 |
| 6.3.3 | Übungsaufgaben zu Kräften im Magnetfeld | 89 |
| 7 | Zusammenfassung und Gegenüberstellung | 91 |
| 7.1 | Gegenüberstellung der Grundgrößen | 91 |
| 7.2 | Erweiterungen zu den theoretischen Grundlagen | 94 |
| 7.2.1 | Beispiele verkoppelter Felder (Skineffekt, Wellenleitung)* | 95 |
| 7.2.2 | Zusammenfassende Aspekte der Messtechnik | 97 |
| 7.2.3 | Messoszilloskop | 99 |
| 8 | Zweiter Exkurs Mathematik | 101 |
| 8.1 | Lösung linearer Gleichungssysteme | 101 |
| 8.2 | Lösung linearer Differentialgleichungen* | 102 |
| 9 | Analyse elektrischer Stromkreise und Netzwerke | 105 |
| 9.1 | Grundstromkreis | 105 |
| 9.1.1 | Analyse eines Grundstromkreises | 105 |
| 9.1.2 | Interpretation der Kenngrößen für verschiedene Anwendungen | 110 |
| 9.1.3 | Messungen am Grundstromkreis | 112 |
| 9.1.4 | Übungsaufgaben zu Anwendungen des Grundstromkreises | 114 |
| 9.2 | Netzwerke – verzweigte und vermaschte Schaltungen | 115 |
| 9.2.1 | Analyse verzweigter und vermaschter Schaltungen | 115 |
| 9.2.2 | Übungsaufgaben mit Beispielen zur Schaltungsberechnung | 119 |
| 9.3 | Überlagerungsprinzip | 121 |
| 9.3.1 | Schaltungsanalyse mit Hilfe des Überlagerungssatzes | 121 |
| 9.3.2 | Übungsaufgaben zu Anwendungen des Überlagerungssatzes | 123 |
| 9.4 | Ersatzzweipole (Ersatzschaltungen) | 124 |
| 9.4.1 | Schaltungsanalyse mit Hilfe von Ersatzzweipolen | 124 |
| 9.4.2 | Übungsaufgaben zur Anwendung von Ersatzzweipolen | 125 |
| 9.5 | Modellierung und Simulation | 126 |
| 9.5.1 | Grundlagen der Modellierung für Simulationsprogramme | 126 |
| 9.5.2 | Beispielaufgabe für eine Rechnersimulation | 127 |
| 9.6 | Ausblick auf weitere Analysemethoden | 127 |
| 10 | Dritter Exkurs Mathematik | 129 |
| 10.1 | Komplexe Zahlen | 129 |

| | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.2 | Rechnen mit komplexen Zahlen..... | 129 |
| 10.3 | Grafische Darstellung komplexer Zahlen | 130 |
| 10.4 | Fourierreihe | 131 |
| 10.5 | Unstetige Zeitfunktionen (Distributionen)* | 133 |
| 10.6 | Fouriertransformation* | 133 |
| 10.7 | Diskrete Signale und diskrete Fouriertransformation* | 134 |
| 10.8 | Laplacetransformation* | 135 |
| 10.9 | Rechnen mit logarithmischen Pegeln | 137 |
| 11 | Analyse bei zeitveränderlichen Signalen | 139 |
| 11.1 | Schaltungen und Geräte mit sinusförmigen Signalen | 140 |
| 11.1.1 | Behandlung mit Hilfe der komplexen Rechnung..... | 140 |
| 11.1.2 | Behandlung mit grafischen Methoden | 143 |
| 11.1.3 | Analyse des Frequenzverhaltens wichtiger Schaltungen | 147 |
| 11.1.4 | Parameter für elektrische Stromkreise | 150 |
| 11.1.5 | Kennwerte und Übungsaufgaben | 152 |
| 11.1.6 | Messung des Frequenzgangs eines Schwingkreises..... | 154 |
| 11.2 | Nichtsinusförmige periodische Signale..... | 155 |
| 11.2.1 | Mehrere sinusförmige Quellen..... | 155 |
| 11.2.2 | Behandlung mit Hilfe der Fourierreihe | 156 |
| 11.2.3 | Wichtige Testsignale zur Analyse von Schaltungen | 157 |
| 11.2.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben | 159 |
| 11.3 | Nichtperiodische Signale..... | 159 |
| 11.3.1 | Behandlung mit der Fouriertransformation..... | 159 |
| 11.3.2 | Diskrete Signale und diskrete Fouriertransformation | 160 |
| 11.4 | Schalt- und Übergangsvorgänge | 161 |
| 11.4.1 | Behandlung mit Hilfe der Laplacetransformation..... | 161 |
| 11.4.2 | Beispiel: Analyse des Ein- und Ausschaltens eines Schwingkreises | 162 |
| 11.4.3 | Übertragungsfunktionen von Systemen | 168 |
| 11.4.4 | Kennwerte und Aufgaben..... | 170 |
| 11.4.5 | Messung des Ein- und Ausschaltens eines Schwingkreises..... | 171 |
| 12 | Halbleiterbauelemente..... | 175 |
| 12.1 | Physikalische Grundlagen für Festkörper | 176 |
| 12.1.1 | Leitungsmechanismus in Festkörpern | 176 |
| 12.1.2 | Dotierung von Halbleitermaterial..... | 180 |
| 12.1.3 | Kennwerte von Halbleitermaterialien und Übungsaufgaben | 182 |
| 12.2 | PN-Übergang..... | 183 |
| 12.2.1 | Gleichgewicht von Diffusion und Feld | 183 |
| 12.2.2 | Einfluss einer äußeren Spannung | 185 |
| 12.2.3 | Kennlinie eines PN-Übergangs | 187 |
| 12.2.4 | Metall-Halbleiter-Übergang | 189 |
| 12.2.5 | Ersatzschaltungen für eine Halbleiterdiode | 191 |
| 12.2.6 | Kennwerte und Übungsaufgaben zu Halbleiterdioden..... | 192 |
| 12.2.7 | Messung und Auswertung der Kennlinie von Dioden | 194 |
| 12.3 | Bipolartransistor | 196 |
| 12.3.1 | Steuerung durch Trägerinjektion..... | 196 |
| 12.3.2 | Kennlinie des Bipolartransistors | 198 |
| 12.3.3 | Grundschaltungen, Vierpoldarstellung und Kleinsignalverhalten | 199 |
| 12.3.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben zum Transistor | 203 |
| 12.3.5 | Messungen am Transistorverstärker..... | 205 |
| 12.4 | Feldeffekttransistor..... | 205 |
| 12.4.1 | Trägeranreicherung und -verarmung im Kanal | 205 |

| | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.4.2 | Kennlinien, Ersatz- und Grundschaltungen des FET | 207 |
| 12.4.3 | Kennwerte und Beispiele zum Feldeffekttransistor | 208 |
| 12.5 | Weitere wichtige Halbleiterbauelemente | 209 |
| 13 | Analoge Schaltungstechnik | 211 |
| 13.1 | Einteilung von Verstärkerschaltungen | 211 |
| 13.1.1 | Arbeitspunkt, Eigenschaften und Betriebsverhalten | 211 |
| 13.1.2 | Anforderungen der Anwendung | 213 |
| 13.2 | Operationsverstärkertechnik | 213 |
| 13.2.1 | Differenzverstärker, Operationsverstärker und seine Parameter | 213 |
| 13.2.2 | Prinzip der Gegenkopplung | 217 |
| 13.2.3 | Dimensionierung von Operationsverstärkerschaltungen | 219 |
| 13.2.4 | Messen von Parametern bei Operationsverstärkern | 221 |
| 13.2.5 | Schaltungsbeispiele mit Operationsverstärkern | 222 |
| 13.3 | Übungsaufgaben zum Operationsverstärker | 225 |
| 14 | Vierter Exkurs Mathematik | 227 |
| 14.1 | Mathematische Grundlagen – Zahlensysteme | 227 |
| 14.2 | Rechnen mit verschiedenen Zahlensystemen | 229 |
| 15 | Digitale Schaltungstechnik | 231 |
| 15.1 | Grundlagen digitaler Signale | 231 |
| 15.1.1 | Informationstechnische Grundlagen digitaler Signale | 231 |
| 15.1.2 | Quantisierung von Signalen und Codierung | 233 |
| 15.1.3 | Grundlagen digitaler Signalverarbeitung – Schaltalgebra | 236 |
| 15.1.4 | Übungsaufgaben zu Zahlen, Codierung und Schaltalgebra | 238 |
| 15.2 | Kombinatorische Schaltungen (Schaltnetze) | 239 |
| 15.2.1 | Entwurf kombinatorischer Schaltungen | 239 |
| 15.2.2 | Wichtige Beispiele zu Schaltnetzen | 241 |
| 15.2.3 | Übungsaufgaben und Versuch zu Schaltnetzen | 243 |
| 15.3 | Sequentielle Schaltungen (Schaltwerke) | 243 |
| 15.3.1 | Wichtige Speicheranordnungen | 243 |
| 15.3.2 | Beispiel für den Entwurf einer Ablaufsteuerung | 247 |
| 15.3.3 | Versuch zur Schrittfolge * | 250 |
| 15.4 | Richtungen der weiteren Entwicklung | 250 |
| 16 | Analyse von Signalen und Systemen | 253 |
| 16.1 | Wichtige Signale und Systeme in der Elektronik | 255 |
| 16.1.1 | Kennwerte für Audiosignale und -geräte | 255 |
| 16.1.2 | Messungen an einem analogen Mischpult | 258 |
| 16.1.3 | Kennwerte und Beispiele für Videosignale und -geräte | 260 |
| 16.1.4 | Messung der Eigenschaften an RGB-Signalen | 263 |
| 16.2 | Analyse analog modulierter Signale | 263 |
| 16.2.1 | Amplitudenmodulation | 263 |
| 16.2.2 | Frequenzumsetzung mit dem Überlagerungsverfahren | 265 |
| 16.2.3 | Frequenzmodulation | 266 |
| 16.2.4 | Phasenmodulation | 268 |
| 16.2.5 | Stereo- und Videosignalmodulation | 268 |
| 16.2.6 | Kennwerte, Übungsaufgaben und Simulation modulierter Signale | 270 |
| 16.3 | Diskrete Signale | 272 |
| 16.3.1 | Diskrete Signale und diskrete Fouriertransformation | 272 |
| 16.3.2 | Digitale Modulationsverfahren | 275 |
| 16.3.3 | Codierung, Kompression und Fehlerkorrektur digitaler Signale | 277 |
| 16.3.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben für diskrete (digitale) Signale | 280 |

| | | |
|--------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 17 | Zusammenfassung zur Regelungstechnik | 283 |
| 17.1 | Wichtige Regelkreisglieder und -strategien | 285 |
| 17.1.1 | Regelstrecken | 286 |
| 17.1.2 | Regeleinrichtungen | 286 |
| 17.1.3 | Reglerstrukturen | 288 |
| 17.2 | Regelungstechnische Analyse, Entwurf und Implementierung | 292 |
| 17.3 | Übungsaufgaben zur Steuerung und Regelung | 293 |
| 18 | Fünfter Exkurs Mathematik* | 295 |
| 18.1 | Raumzeigertransformation* | 295 |
| 18.2 | Drehstrom und -felder in der Raumzeigerdarstellung* | 295 |
| 19 | Energiewandlung und Antriebe | 297 |
| 19.1 | Maschinen bei Gleichstrom | 298 |
| 19.1.1 | Aufbau und Funktion der Gleichstrommaschine | 298 |
| 19.1.2 | Schaltungen und Betrieb der Gleichstrommaschine | 299 |
| 19.1.3 | Kennwerte und Übungsaufgaben | 304 |
| 19.1.4 | Messen der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie | 304 |
| 19.2 | Maschinen für Wechselstrom | 305 |
| 19.2.1 | Transformator als ruhende Maschine | 305 |
| 19.2.2 | Universalmotor | 309 |
| 19.2.3 | Kennwerte und Übungsaufgaben | 310 |
| 19.2.4 | Messen der Kennwerte eines Transformators | 311 |
| 19.3 | Drehfeldmaschinen | 311 |
| 19.3.1 | Dreiphasensysteme für Strom und Spannung | 311 |
| 19.3.2 | Das Drehfeld | 315 |
| 19.3.3 | Asynchronmaschine | 316 |
| 19.3.4 | Synchronmaschine | 322 |
| 19.3.5 | Parallelbetrieb eines Synchrongenerators zum Netz | 325 |
| 19.3.6 | Inselbetrieb und Betriebsverhalten der Synchronmaschine | 327 |
| 19.3.7 | Kennwerte Übungs- und Messaufgaben | 328 |
| 19.4 | Auswahl eines Motors für eine Antriebsaufgabe | 330 |
| 19.5 | Ausblick, weitere elektrische Maschinen | 331 |
| 20 | Leistungselektronische Energiewandler | 333 |
| 20.1 | Arbeitsweise von Stromrichtern | 333 |
| 20.1.1 | Grundprinzip und Eigenschaften | 333 |
| 20.1.2 | Steueralgorithmen für selbstgesteuerte Stromrichter | 338 |
| 20.1.3 | Steueralgorithmen für fremdgesteuerte Stromrichter | 340 |
| 20.1.4 | Kennwerte und Übungsaufgaben | 341 |
| 20.2 | Beispiele für Stromrichter | 342 |
| 20.2.1 | Phasenanschnittsteuerung für Wechselstromsteller | 342 |
| 20.2.2 | Messungen an einem Dimmer mit Phasenanschnitt | 343 |
| 20.2.3 | Mit Frequenzumrichter gesteuerter Asynchronmotor | 343 |
| 20.2.4 | Netzgelöschter Wechselrichter | 344 |
| 20.2.5 | Messen an einem netzgelöschten Wechselrichter | 346 |
| 20.3 | Entwicklungstrends | 347 |
| 21 | Kurzes Fazit zur Arbeit im Beruf | 349 |
| 22 | Lösungen der Übungsaufgaben | 351 |
| 22.1 | Lösungen zu Abschnitt 4 | 351 |
| 22.2 | Lösungen zu Abschnitt 5 | 355 |
| 22.3 | Lösungen zu Abschnitt 6 | 357 |
| 22.4 | Lösungen zu Abschnitt 9 | 364 |
| 22.5 | Lösungen zu Abschnitt 11 | 370 |

| | | |
|-------|-------------------------------|-----|
| 22.6 | Lösungen zu Abschnitt 12..... | 378 |
| 22.7 | Lösungen zu Abschnitt 13..... | 385 |
| 22.8 | Lösungen zu Abschnitt 15..... | 386 |
| 22.9 | Lösungen zu Abschnitt 16..... | 390 |
| 22.10 | Lösungen zu Abschnitt 17..... | 394 |
| 22.11 | Lösungen zu Abschnitt 19..... | 395 |
| 22.12 | Lösungen zu Abschnitt 20..... | 399 |
| | Literaturverzeichnis..... | 401 |
| | Sachverzeichnis..... | 403 |