



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische Berufe

Methodische Lösungswege zum Rechenbuch Elektrotechnik

Gültig ab 12. Auflage

Bearbeitet von

Peter Bastian, Walter Eichler, Siegfried Riefler, Hans Rinn,
Otto Spielvogel, Klaus Tkotz, Ulrich Winter

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Klaus Tkotz

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co.
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 30960

Inhaltsverzeichnis

1 Mathematische Grundlagen

| | | |
|-------|---|----|
| 1.1 | Elektronischer Taschenrechner (ETR) ¹ | |
| 1.2 | Summieren und Multiplizieren von Zahlen, Variablen und Summen | 6 |
| 1.3 | Rechnen mit Brüchen | 7 |
| 1.4 | Potenzen und Wurzeln | 10 |
| 1.5 | Logarithmen | 11 |
| 1.6 | Gleichungen und Formeln | 12 |
| 1.6.1 | Lineare, reinquadratische Gleichungen, Exponentialgleichungen, Formeln | 12 |
| 1.6.2 | Verhältnisgleichungen, Dreisatzrechnen | 14 |
| 1.6.3 | Verhältnisgleichungen, Prozentrechnen | 14 |
| 1.6.4 | Gemischtquadratische Gleichungen | 14 |
| 1.7 | Funktionen | 15 |
| 1.8 | Rechnen am Dreieck | 17 |
| 1.8.1 | Satz des Pythagoras | 17 |
| 1.8.2 | Winkelfunktionen | 17 |
| 1.8.3 | Winkel im Bogenmaß | 17 |
| 1.8.4 | Rechnen am beliebigen Dreieck | 17 |
| 1.9 | Runden und Fehlerrechnung | 18 |

2 Physikalische Grundlagen

| | | |
|-------|--|----|
| 2.1 | Vorsätze, Zollmaße | 21 |
| 2.2 | Kreisumfang und gestreckte Länge | 21 |
| 2.3 | Flächen | 22 |
| 2.4 | Rauminhalt und Masse | 23 |
| 2.5 | Berechnung von Spulen | 23 |
| 2.6 | Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit | 25 |
| 2.6.1 | Gleichförmige Bewegung | 25 |
| 2.6.2 | Kreisförmige Bewegung | 26 |
| 2.7 | Kräfte | 26 |
| 2.8 | Moment und Hebel | 28 |
| 2.9 | Mechanische Arbeit | 29 |
| 2.10 | Mechanische Leistung | 30 |

3 Elektrotechnische Grundlagen

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Stromstärke und Ladung | 31 |
| 3.2 | Elektrische Spannung | 31 |
| 3.3 | Widerstand und Leitwert | 31 |
| 3.4 | Ohmsches Gesetz | 32 |
| 3.5 | Stromdichte | 32 |
| 3.6 | Elektrischer Widerstand | 33 |
| 3.6.1 | Leiterwiderstand | 33 |
| 3.6.2 | Widerstand und Temperatur | 34 |
| 3.6.3 | Thermistoren | 35 |
| 3.7 | Schaltung von Widerständen | 36 |
| 3.7.1 | Reihenschaltung von Widerständen | 36 |
| 3.7.2 | Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern | 38 |
| 3.7.3 | Parallelschaltung von Widerständen | 39 |
| 3.7.4 | Meßbereichserweiterung von Strommessern | 42 |
| 3.7.5 | Gemischte Schaltungen (Gruppenschaltungen) | 44 |

1 siehe Rechenbuch

| | | |
|--------|--|----|
| 3.7.6 | Meßbrücken; abgegliche Brückenschaltung | 53 |
| 3.7.7 | Unabgegliche Brückenschaltung | 54 |
| 3.7.8 | Spannungsteiler | 56 |
| 3.8 | Elektrische Leistung und Arbeit | 59 |
| 3.8.1 | Elektrische Leistung | 59 |
| 3.8.2 | Elektrische Arbeit | 61 |
| 3.8.3 | Leistungsbestimmung mit dem Zähler | 61 |
| 3.8.4 | Wirkungsgrad | 62 |
| 3.9 | Wärmeenergie | 63 |
| 3.9.1 | Wärmedehnung | 63 |
| 3.9.2 | Wärmemenge und Wassermischung | 64 |
| 3.9.3 | Elektrowärme und Nutzungsgrad | 65 |
| 3.10 | Spannungserzeuger | 67 |
| 3.10.1 | Galvanische Elemente | 67 |
| 3.10.2 | Schaltung von Spannungserzeugern | 67 |
| 3.10.3 | Anpassung | 69 |
| 3.10.4 | Ersatzquellen | 69 |
| 3.11 | Elektrochemie | 71 |
| 3.11.1 | Elektrolyse | 71 |
| 3.11.2 | Laden und Entladen von Akkumulatoren | 71 |

4 Arbeiten mit Kennlinien

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Lineare Widerstände | 73 |
| 4.2 | Nichtlineare Widerstände | 74 |
| 4.3 | Ermittlung des Arbeitspunktes | 75 |
| 4.3.1 | Reihenschaltung linearer Widerstände | 75 |
| 4.3.2 | Reihenschaltung linearer und nichtlinearer Widerstände | 76 |
| 4.4 | Statischer und differentieller Widerstand | 78 |

5 Elektrisches Feld

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | Elektrische Feldstärke | 79 |
| 5.2 | Kapazität von Plattenkondensatoren | 79 |
| 5.3 | Ladung und Energie bei Kondensatoren | 80 |
| 5.4 | Schaltungen von Kondensatoren | 81 |
| 5.5 | Laden und Entladen von Kondensatoren | 82 |
| 5.5.1 | Kondensatorspannung und Zeit | 82 |
| 5.5.2 | Kondensatorstrom und Zeit | 82 |

6 Magnetisches Feld

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1 | Größen des magnetischen Feldes | 84 |
| 6.1.1 | Durchflutung und Feldstärke | 84 |
| 6.1.2 | Magnetischer Fluß, magnetische Flußdichte, Permeabilität | 84 |
| 6.1.3 | Arbeiten mit Magnetisierungskennlinien | 85 |
| 6.2 | Magnetische Kreise | 86 |
| 6.3 | Magnetische Feldkräfte | 88 |
| 6.4 | Elektromagnetische Induktion | 88 |
| 6.5 | Spule an Gleichspannung | 89 |

| | | | | |
|----------|---|-----|-------------|--|
| 7 | Wechselstrom | | | |
| 7.1 | Winkel, Winkelfunktionen | 91 | | |
| 7.2 | Wechselspannung und Wechselstrom mit Sinusform | 92 | | |
| 7.2.1 | Periodendauer, Frequenz und Kreisfrequenz | 92 | | |
| 7.2.2 | Scheitelwert und Effektivwert | 92 | | |
| 7.3 | Scheitelwert und Augenblickswert sinusförmiger Wechselspannungen und Wechselströme | 92 | | |
| 7.4 | Addition sinusförmiger Wechselgrößen gleicher Frequenz | 93 | | |
| 7.4.1 | Addition im Zeigerdiagramm | 93 | | |
| 7.4.2 | Addition sinusförmiger Wechselgrößen im Liniendiagramm | 95 | | |
| 7.5 | Wechselstromkreis mit idealen Widerständen | 96 | | |
| 7.5.1 | Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand) | 96 | | |
| 7.5.2 | Induktivität im Wechselstromkreis (ideale Spule) | 97 | | |
| 7.5.3 | Kapazität im Wechselstromkreis (idealer Kondensator) | 98 | | |
| 7.5.4 | Schaltungen von idealen Induktivitäten und idealen Kapazitäten | 99 | | |
| 7.6 | Reihenschaltungen bei gemischter Belastung | 101 | | |
| 7.6.1 | Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand in Reihe | 101 | | |
| 7.6.2 | Verlustwinkel und Gütefaktor einer Spule | 104 | | |
| 7.6.3 | Reihenschaltung realer Spulen | 105 | | |
| 7.6.4 | Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe | 106 | | |
| 7.6.5 | Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe | 109 | | |
| 7.7 | Parallelschaltungen bei gemischter Belastung | 111 | | |
| 7.7.1 | Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand parallel | 111 | | |
| 7.7.2 | Parallelschaltung mehrerer Spulen | 114 | | |
| 7.7.3 | Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel | 117 | | |
| 7.7.4 | Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators | 119 | | |
| 7.7.5 | Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel | 120 | | |
| 7.8 | Schwingkreise | 123 | | |
| 7.8.1 | Reihenschwingkreis | 123 | | |
| 7.8.2 | Parallelschwingkreis | 123 | | |
| 7.9 | Siebschaltungen | 124 | | |
| 7.9.1 | RL-Hochpaß und RL-Tiefpaß | 124 | | |
| 7.9.2 | RC-Hochpaß und RC-Tiefpaß | 126 | | |
| 7.10 | Kompensation bei Wechselstrom | 127 | | |
| | | | 8.1.2 | Sternschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last |
| | | | | 129 |
| | | | 8.1.3 | Sternschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last |
| | | | | 131 |
| | | | 8.2 | Dreieckschaltung |
| | | | | 132 |
| | | | 8.2.1 | Dreieckschaltung, symmetrische Last |
| | | | | 132 |
| | | | 8.2.2 | Dreieckschaltung, unsymmetrische und gleichartige Last |
| | | | | 133 |
| | | | 8.2.3 | Dreieckschaltung, unsymmetrische und ungleichartige Last |
| | | | | 134 |
| | | | 8.3 | Leistung bei Dreiphasenwechselstrom |
| | | | | 137 |
| | | | 8.4 | Kompensation bei Drehstrom |
| | | | | 141 |
| | | | 9 | Elektrische Maschinen |
| | | | 9.1 | Transformatoren |
| | | | | 142 |
| | | | 9.1.1 | Einphasentransformatoren |
| | | | | 142 |
| | | | 9.1.2 | Transformatoren für Dreiphasenwechselstrom |
| | | | | 148 |
| | | | 9.2 | Antriebstechnik |
| | | | | 150 |
| | | | 9.2.1 | Leistung, Drehzahl und Drehmoment |
| | | | | 150 |
| | | | 9.2.2 | Übersetzungen, Riementrieb |
| | | | | 151 |
| | | | 9.2.3 | Zahnradtrieb |
| | | | | 152 |
| | | | 9.2.4 | Schneckentrieb |
| | | | | 152 |
| | | | 9.2.5 | Mehrfache Übersetzung |
| | | | | 153 |
| | | | 9.3 | Umlaufende elektrische Maschinen |
| | | | | 154 |
| | | | 9.3.1 | Drehfelddrehzahl |
| | | | | 154 |
| | | | 9.3.2 | Synchronmaschine |
| | | | | 154 |
| | | | 9.3.3 | Zahnläufer und Schrittmotoren |
| | | | | 155 |
| | | | 9.3.4 | Asynchronmaschine |
| | | | | 156 |
| | | | 9.3.5 | Asynchrone Frequenzumformer |
| | | | | 159 |
| | | | 9.3.6 | Gleichstrommotoren |
| | | | | 160 |
| | | | | Fremderregter Gleichstrommotor |
| | | | | 160 |
| | | | | Gleichstrom-Nebenschlußmotor |
| | | | | 160 |
| | | | | Gleichstrom-Reihenschlußmotor |
| | | | | 161 |
| | | | 9.3.7 | Gleichstromgeneratoren |
| | | | | 162 |
| | | | 10 | Meßtechnik |
| | | | 10.1 | Anzeige, Anzeigefehler |
| | | | | 164 |
| | | | 10.1.1 | Analog-Multimeter |
| | | | | 164 |
| | | | 10.1.2 | Digital-Multimeter |
| | | | | 164 |
| | | | 10.2 | Eigenverbrauch von Meßinstrumenten |
| | | | | 165 |
| | | | 10.3 | Indirekte Widerstandsermittlung |
| | | | | 166 |
| | | | 10.4 | Messen über Meßwandler |
| | | | | 167 |
| | | | 10.5 | Messen mit dem Oszilloskop |
| | | | | 168 |
| | | | 11 | Elektrische Anlagen |
| | | | 11.1 | Schutzmaßnahmen |
| | | | | 170 |
| | | | 11.1.1 | Fehlerstromkreis |
| | | | | 170 |
| | | | 11.1.2 | Isolationswiderstand von Fußböden und Wänden |
| | | | | 170 |
| | | | 11.1.3 | Schutzmaßnahmen im TN-System |
| | | | | 171 |
| | | | 11.1.4 | Schutzmaßnahmen im TT-System |
| | | | | 172 |
| | | | 11.1.5 | Fehlerstrom-Schutzeinrichtung |
| | | | | 173 |
| | | | 11.2 | Leitungen |
| | | | | 174 |
| | | | 11.2.1 | Unverzweigte Leitungen für Gleichstrom |
| | | | | 174 |
| | | | 11.2.2 | Unverzweigte Leitungen für Wechselstrom |
| | | | | 175 |
| 8 | Dreiphasenwechselstrom | | | |
| 8.1 | Sternschaltung | 129 | | |
| 8.1.1 | Sternschaltung, symmetrische Last | 129 | | |

| | |
|---|-----|
| 11.2.3 Unverzweigte Leitungen für Drehstrom | 177 |
| 11.2.4 Verzweigte Leitungen für Wechselstrom .. | 178 |
| 11.2.5 Verzweigte Leitungen für Drehstrom | 181 |
| 11.2.6 Ringleitungen | 183 |
| 11.3 Beleuchtungstechnik | 184 |
| 11.3.1 Lichtstrom und Lichtausbeute | 184 |
| 11.3.2 Beleuchtungsstärke und Beleuchtungswirkungsgrad | 185 |
| 11.3.3 Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung | 186 |
| 11.3.4 Leuchtdichte | 187 |
| 11.3.5 Raumindex | 187 |
| 11.3.6 Beleuchtungswirkungsgrad bei Innenraumbeleuchtung | 187 |
| 11.3.7 Ermittlung der Lampenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren | 188 |
| 11.4 Antennentechnik | 189 |
| 11.4.1 Verstärkungsfaktor, Dämpfungsfaktor | 189 |
| 11.4.2 Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß | 189 |
| 11.4.3 Pegel | 190 |
| 11.4.4 Mechanische Festigkeit von Antennenstandrohren | 191 |
| 11.5 Tarife | 192 |

12 Digitaltechnik

| | |
|--|-----|
| 12.1 Zahlensysteme | 198 |
| 12.1.1 Umwandlung von Dual- und Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen | 198 |
| 12.1.2 Umwandlung von Dezimalzahlen in Dual- oder in Sedezimalzahlen | 199 |
| 12.1.3 Umwandlung von Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen | 199 |
| 12.2 Rechnen mit Dualzahlen | 200 |
| 12.3 BCD-Code | 201 |
| 12.4 Schaltalgebra | 202 |
| 12.4.1 Rechenregeln für eine Variable und Umkehrterme | 202 |
| 12.4.2 Kommutativgesetz | 202 |
| 12.4.3 Assoziativgesetz | 202 |
| 12.4.4 Distributivgesetz | 203 |
| 12.4.5 Umkehrgesetze für mehrere Variablen | 203 |
| 12.4.6 Schaltungen in NAND- oder in NOR-Technik | 204 |
| 12.5 Analyse und Synthese von Binärschaltungen | 205 |
| 12.5.1 Analyse von Binärschaltungen | 205 |
| 12.5.2 Synthese von Binärschaltungen | 206 |
| 12.6 Minimieren von Schaltnetzwerken | 208 |
| 12.6.1 Algebraisches Minimieren | 208 |
| 12.6.2 KV-Diagramm | 209 |

13 Elektronik

| | |
|---|-----|
| 13.1 Kühlung elektronischer Bauelemente | 213 |
| 13.2 Dioden | 214 |
| 13.3 Gleichrichter | 216 |
| 13.3.1 Gleichrichterschaltungen | 216 |
| 13.3.2 Glättung und Siebung | 219 |
| 13.4 Bipolarer Transistor | 220 |
| 13.4.1 Kennwerte | 220 |
| 13.4.2 Arbeiten mit Transistorkennlinien | 221 |
| 13.4.3 Arbeitspunkteinstellung | 224 |
| 13.4.4 Arbeitspunktstabilisierung | 225 |
| 13.4.5 Wechselstromverstärker in Emitterschaltung | 227 |
| 13.5 Spannungsstabilisierung | 230 |
| 13.5.1 Z-Diode | 230 |
| 13.5.2 Parallelstabilisierung | 231 |
| 13.5.3 Reihenstabilisierung | 233 |
| 13.5.4 Spannungsstabilisierung mit Festspannungsreglern | 234 |
| 13.6 Transistor als Schalter | 236 |
| 13.7 Kippschaltungen | 237 |
| 13.7.1 Astabile Kippschaltung | 237 |
| 13.7.2 Monostabile Kippschaltung | 238 |
| 13.7.3 Schmitt-Trigger | 240 |
| 13.8 Feldeffekttransistor (FET) | 242 |
| 13.8.1 Kenngrößen des Feldeffekttransistors | 242 |
| 13.8.2 Einstellung des Arbeitspunktes | 242 |
| 13.8.3 Arbeiten mit Kennlinien beim FET | 243 |
| 13.9 Operationsverstärker | 244 |
| 13.9.1 Invertierender Operationsverstärker | 244 |
| 13.9.2 Nichtinvertierender Operationsverstärker | 244 |
| 13.9.3 Summierverstärker (Addierer) | 245 |
| 13.9.4 Differenzverstärker (Subtrahierer) | 247 |
| 13.9.5 Integrierer | 248 |
| 13.9.6 Differenzierer | 251 |
| 13.10 Thyristor und Triac | 252 |
| 13.10.1 Gesteuerte Gleichrichter | 252 |
| 13.10.2 Wechselstromsteller, Schwingungspaketsteuerung | 254 |

14 Regelungstechnik

| | |
|---|-----|
| 14.1 Unstetiges Regeln | 255 |
| 14.2 Stetiges Regeln | 257 |
| 14.2.1 Regeln mit Proportionalverhalten | 257 |
| 14.2.2 Regelverhalten von Operationsverstärkern | 258 |
| 14.2.3 Einstellen eines stetigen Reglers | 259 |

15 Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung

| | |
|----------------|-----|
| Aufgaben | 260 |
|----------------|-----|