



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische Berufe

Rechenbuch Elektrotechnik

Methodische Lösungswege

Gültig ab 21. Auflage

Bearbeitet von Lehrern an beruflichen Schulen und von Ingenieuren (siehe Rückseite)

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat: Klaus Tkotz

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

Europa-Nr.: 30960

Autoren der Methodischen Lösungswege zum Rechenbuch Elektrotechnik:

| | |
|-----------------|----------------|
| Eichler, Walter | Otterberg |
| Feustel, Bernd | Kirchheim |
| Isele, Dieter | Lauterach |
| Käppel, Thomas | Münchberg |
| König, Werner | Boxberg |
| Tkocz, Klaus | Kronach |
| Winter, Ulrich | Kaiserslautern |

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Klaus Tkocz

Bildentwürfe und Layoutentwurf:

Die Autoren

Hinweise zur Buchbenützung:

1. Die Bezeichnungen der Lösungen erfolgte jeweils durch eine Zahlengruppe, gebildet aus der Seriennummer der betreffenden Aufgabe im Rechenbuch Elektrotechnik und aus der Aufgabennummer.
So bedeutet z. B. **39/4.: Rechenbuch Elektrotechnik, Seite 39, Aufgabe 4.**
Kommen gelegentlich Aufgabennummern auf einer Seite doppelt vor, so erhalten die Nummern der obenstehenden Aufgaben den Buchstaben „o“ für oben, die Nummern der untenstehenden Aufgaben den Buchstaben „u“ für unten angefügt, z. B. 30/1.o. und 30/1.u.
2. Bei der Beurteilung von Aufgaben, in denen der Wert π vorkommt, können bei den Ergebnissen kleine Schwankungen auftreten.
3. Beim Auf- bzw. Abrunden der Ergebnisse wurden folgende Regeln für das Runden von Zahlen nach DIN 1333 angewandt:
Ist die auf die letzte mitzuteilende Stelle folgende Ziffer 5 oder größer, so wird aufgerundet.
Beispiele: $16,75 \approx 16,8$ $16,752 \approx 16,8$ $1,76 \approx 1,8$
Ist die betreffende Ziffer kleiner als 5, so wird abgerundet.
Beispiele: $41,34 \approx 41,3$ $41,349 \approx 41,3$
Diese Regeln gelten nicht für das Geldwesen.

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel GmbH & Co.KG, 73760 Ostfildern

21. Auflage 2017

Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-3545-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagidee: Klaus Tkocz
Umschlagfoto: Casio Europe GmbH
Druck: Medienhaus Plump GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Wegweiser Rechenbuch Elektrotechnik

Methodische Lösungswege

● Inhaltsverzeichnis Kurzform

| | | |
|----|--------------------------------------|-----|
| 1 | Technische Mathematik | 7 |
| 2 | Physikalische Grundlagen | 20 |
| 3 | Elektrotechnische Grundlagen | 30 |
| 4 | Arbeiten mit Kennlinien | 69 |
| 5 | Elektrisches Feld | 76 |
| 6 | Magnetisches Feld | 81 |
| 7 | Wechselstrom- und Drehstromtechnik . | 88 |
| 8 | Messtechnik | 142 |
| 9 | Elektronik | 148 |
| 10 | Schutzmaßnahmen in elektr. Anlagen . | 204 |
| 11 | Anlagen- und Gebäudetechnik | 209 |
| 12 | Elektrische Maschinen | 236 |
| 13 | Regelungstechnik | 263 |
| 14 | Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung .. | 268 |

● Nützliches

- ▶ Hinweise zur Buchbenützung
 - ▶ Griechisches Alphabet:
 - ▶ Grundformeln Gleichstrom:
- vordere
Innenumschlagseite
hintere
Innenumschlagseite

| | | | |
|---|-----------|--|--|
| 1 Technische Mathematik | 7 | | |
| 1.1 Elektronischer Taschenrechner (ETR) (siehe Rechenbuch) | | | |
| 1.2 Grundrechnungsarten | 7 | | |
| 1.2.1 Zahlen, Addition und Subtraktion | 7 | | |
| 1.2.2 Multiplikation und Division | 7 | | |
| 1.3 Rechnen mit Brüchen | 8 | | |
| 1.4 Potenzen und Wurzeln | 9 | | |
| 1.4.1 Potenzen | 9 | | |
| 1.4.2 Wurzeln | 10 | | |
| 1.5 Logarithmen | 10 | | |
| 1.5.1 Rechnen mit Logarithmen | 10 | | |
| 1.5.2 Logarithmische Maßstäbe | 11 | | |
| 1.6 Gleichungen und Formeln | 12 | | |
| 1.6.1 Arbeiten mit Gleichungen | 12 | | |
| 1.6.2 Arbeiten mit Formeln | 13 | | |
| 1.6.3 Verhältnisgleichungen, Dreisatzrechnen | 13 | | |
| 1.6.4 Verhältnisgleichungen, Prozentrechnen | 13 | | |
| 1.7 Funktionen | 14 | | |
| 1.8 Rechnen am Dreieck | 14 | | |
| 1.8.1 Satz des Pythagoras | 14 | | |
| 1.8.2 Winkelfunktionen | 15 | | |
| 1.8.3 Winkel im Grad- und Bogenmaß | 16 | | |
| 1.8.4 Rechnen am beliebigen Dreieck | 17 | | |
| 1.9 Runden | 18 | | |
| 2 Physikalische Grundlagen | 20 | | |
| 2.1 Vorsätze | 20 | | |
| 2.2 Kreisumfang, gestreckte Länge | 20 | | |
| 2.3 Flächen | 21 | | |
| 2.4 Rauminhalt und Masse | 22 | | |
| 2.5 Berechnung von Spulen | 22 | | |
| 2.6 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit | 24 | | |
| 2.6.1 Gleichförmige Bewegung | 24 | | |
| 2.6.2 Kreisförmige Bewegung | 25 | | |
| 2.7 Kräfte | 26 | | |
| 2.8 Moment und Hebel | 27 | | |
| 2.9 Mechanische Arbeit | 28 | | |
| 2.10 Mechanische Leistung | 28 | | |
| 3 Elektrotechnische Grundlagen | 30 | | |
| 3.1 Umrechnen von Einheiten | 30 | | |
| 3.2 Stromstärke und Ladung | 30 | | |
| 3.3 Elektrische Spannung | 30 | | |
| 3.4 Widerstand und Leitwert | 30 | | |
| 3.5 Ohmsches Gesetz | 31 | | |
| 3.6 Stromdichte | 32 | | |
| 3.7 Elektrischer Widerstand | 33 | | |
| 3.7.1 Leiterwiderstand | 33 | | |
| 3.7.2 Widerstand und Temperatur | 33 | | |
| 3.7.3 Übertemperatur | 35 | | |
| 3.8 Schaltung von Widerständen | 35 | | |
| 3.8.1 Reihenschaltung von Widerständen | 35 | | |
| 3.8.2 Parallelschaltung von Widerständen | 37 | | |
| 3.8.3 Gemischte Schaltungen (Gruppenschaltungen) | 40 | | |
| 3.8.4 Spannungsteiler | 48 | | |
| 3.8.5 Abgeglichene Brückenschaltung | 51 | | |
| 3.8.6 Unabgeglichene Brückenschaltung | 52 | | |
| 3.9 Elektrische Leistung und Arbeit | 53 | | |
| 3.9.1 Elektrische Leistung | 53 | | |
| 3.9.2 Elektrische Arbeit | 56 | | |
| 3.9.3 Leistungsbestimmung mit dem Zähler | 56 | | |
| 3.9.4 Wirkungsgrad | 57 | | |
| 3.10 Wärmeenergie | 58 | | |
| 3.10.1 Wärmemenge und Wassermischung | 58 | | |
| 3.10.2 Elektrowärme und Wärmenutzungsgrad | 59 | | |
| 3.11 Spannungserzeuger | 60 | | |
| 3.11.1 Galvanische Elemente | 60 | | |
| 3.11.2 Schaltung von Spannungserzeugern | 60 | | |
| 3.11.3 Anpassung | 62 | | |
| 3.11.4 Ersatzquellen | 63 | | |
| 3.11.5 Laden und Entladen von Akkumulatoren | 64 | | |
| 3.11.6 Fotovoltaik und Solarmodul | 65 | | |
| 4 Arbeiten mit Kennlinien | 69 | | |
| 4.1 Lineare Widerstände | 69 | | |
| 4.2 Logarithmische Darstellung | 70 | | |
| 4.3 Nichtlineare Widerstände | 70 | | |
| 4.4 Ermittlung des Arbeitspunktes | 72 | | |
| 4.4.1 Reihenschaltung linearer Widerstände | 72 | | |
| 4.4.2 Reihenschaltung linearer und nichtlinearer Widerstände | 73 | | |
| 4.5 Statischer und differentieller Widerstand | 75 | | |
| 5 Elektrisches Feld | 76 | | |
| 5.1 Elektrische Feldstärke | 76 | | |
| 5.2 Kapazität von Platten- kondensatoren | 76 | | |
| 5.3 Ladung und Energie bei Kondensatoren | 77 | | |
| 5.4 Schaltungen von Kondensatoren | 78 | | |
| 5.5 Laden und Entladen von Kondensatoren | 79 | | |
| 5.5.1 Kondensatorspannung und Zeit | 79 | | |
| 5.5.2 Kondensatorstrom und Zeit | 79 | | |
| 6 Magnetisches Feld | 81 | | |
| 6.1 Größen des magnetischen Feldes | 81 | | |
| 6.1.1 Durchflutung und Feldstärke | 81 | | |
| 6.1.2 Magnetischer Fluss, magnetische Flussdichte, Permeabilität | 82 | | |
| 6.1.3 Arbeiten mit Magnetisierungskennlinien | 82 | | |
| 6.2 Magnetische Kreise | 83 | | |
| 6.3 Magnetische Feldkräfte | 85 | | |
| 6.4 Elektromagnetische Induktion | 86 | | |
| 6.5 Spule an Gleichspannung | 87 | | |
| 7 Wechselstrom- und Drehstromtechnik | 88 | | |
| 7.1 Kenngrößen der Wechselstromtechnik | 88 | | |

7.2 Winkel und Winkelfunktionen 88

7.3 Augenblickswert sinusförmiger Wechselspannungen und -ströme 89

7.4 Addition sinusförmiger Wechselgrößen gleicher Frequenz 91

7.4.1 Addition von Wechselgrößen im Zeigerbild 91

7.4.2 Addition sinusförmiger Wechselgrößen im Liniendiagramm 92

7.5 Wechselstromkreis mit idealen Widerständen 94

7.5.1 Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis (Wirkwiderstand) 94

7.5.2 Induktivität im Wechselstromkreis (ideale Spule) 95

7.5.3 Kapazität im Wechselstromkreis (idealer Kondensator) 96

7.5.4 Schaltungen von idealen Induktivitäten und idealen Kapazitäten .. 97

7.6 Reihenschaltungen bei gemischter Belastung 100

7.6.1 Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand in Reihe 100

7.6.2 Verlustwinkel und Gütefaktor einer Spule 102

7.6.3 Reihenschaltung realer Spulen 103

7.6.4 Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe 104

7.6.5 Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand in Reihe 107

7.7 Parallelschaltungen bei gemischter Belastung 110

7.7.1 Wirkwiderstand und induktiver Blindwiderstand parallel 110

7.7.2 Parallelschaltung mehrerer Spulen 112

7.7.3 Wirkwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel 115

7.7.4 Verlustwinkel und Gütefaktor eines Kondensators 117

7.7.5 Wirkwiderstand, induktiver Blindwiderstand und kapazitiver Blindwiderstand parallel . 118

7.8 Schwingkreise 121

7.8.1 Reihenschwingkreis 121

7.8.2 Parallelschwingkreis 121

7.9 Leistung bei Wechselstrom 122

7.10 Siebschaltungen 124

7.10.1 RL-Hochpass und RL-Tiefpass 124

7.10.2 RC-Hochpass und RC-Tiefpass 125

7.11 Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) 127

7.11.1 Sternschaltung 127

 Sternschaltung, symmetrische Last 127

 Sternschaltung, unsymmetrische, gleichartige Last 127

 Sternschaltung, unsymmetrische, ungleichartige Last 129

7.11.2 Dreieckschaltung 130

 Dreieckschaltung, symmetrische Last ... 130

 Dreieckschaltung, unsymmetrische und gleichartige Last 131

 Dreieckschaltung, unsymmetrische und ungleichartige Last 133

7.11.3 Leistung bei Dreiphasenwechselstrom ... 135

7.12 Kompensation 139

7.12.1 Kompensation bei Wechselstrom-verbrauchern 139

7.12.2 Kompensation bei Drehstrom-verbrauchern 140

8 Messtechnik 142

8.1 Analoge Messgeräte 142

8.1.1 Anzeigefehler bei analogen Messgeräten 142

8.1.2 Eigenverbrauch von analogen Messgeräten 142

8.2 Digitale Messgeräte 143

Anzeige und Messfehler 143

8.3 Echtheffektivwertmessung und Messkategorie 143

8.4 Indirekte Widerstandsermittlung 144

8.5 Messen über Messwandler 145

8.6 Messen mit dem Oszilloskop 146

9 Elektronik 148

9.1 Kühlung elektronischer Bauelemente 148

9.2 Leuchtdioden 149

9.3 Gleichrichter 151

9.3.1 Gleichrichterschaltungen 151

9.3.2 Glättung und Siebung 153

9.4 Bipolarer Transistor 154

9.4.1 Kennwerte 154

9.4.2 Arbeiten mit Transistorkennlinien 155

9.4.3 Arbeitspunkteinstellung 158

9.4.4 Arbeitspunktstabilisierung 160

9.4.5 Wechselstromverstärker in Emitterschaltung 161

9.5 Spannungsstabilisierung 164

9.5.1 Z-Dioden 164

9.5.2 Parallelstabilisierung mit Z-Diode 165

9.5.3 Reihenstabilisierung 166

9.5.4 Spannungsstabilisierung mit Spannungsreglern 168

9.6 Transistor als Schalter 169

9.7 Kippschaltungen 171

9.7.1 Astabile Kippschaltung 171

9.7.2 Monostabile Kippschaltung 172

9.7.3 Schmitt-Trigger 173

9.8 Feldeffekttransistor (FET) 175

9.8.1 Kenngrößen des Feldeffekttransistors ... 175

9.8.2 Einstellung des Arbeitspunktes 175

9.8.3 Arbeiten mit Kennlinien beim FET 176

9.9 Operationsverstärker 177

9.9.1 Invertierender Operationsverstärker 177

9.9.2 Nichtinvertierender Operationsverstärker 177

9.9.3 Summierverstärker (Addierer) 178

9.9.4 Differenzverstärker (Subtrahierer) 180

9.9.5 Integrierer 181

9.9.6 Differenzierer 183

9.10 Thyristor und Triac 184

9.10.1 Zünden von Thyristor und Triac 184

9.10.2 Gesteuerte Gleichrichter 184

| | | | |
|--|------------|--|------------|
| 9.10.3 Wechselstromsteller, Vielperiodensteuerung | 186 | 11.2.1 Lichtstrom und Lichtausbeute | 223 |
| 9.11 Digitaltechnik | 187 | 11.2.2 Energieeffizienzklasse | 223 |
| 9.11.1 Zahlensysteme | 187 | 11.2.3 Beleuchtungsstärke und Beleuchtungswirkungsgrad | 224 |
| • Umwandlung von Dual- und Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen | 188 | 11.2.4 Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung | 225 |
| • Umwandlung von Dezimal- in Dual- oder in Sedezimalzahlen | 189 | 11.2.5 Entfernungsgesetz | 225 |
| • Umwandlung von Sedezimalzahlen und Dualzahlen | 189 | 11.2.6 Leuchtdichte | 226 |
| 9.11.2 Rechnen mit Dualzahlen | 190 | 11.2.7 Raumindex | 227 |
| 9.11.3 BCD-Code | 191 | 11.2.8 Beleuchtungswirkungsgrad bei Innenraumbelichtung | 227 |
| 9.11.4 Schaltalgebra | 192 | 11.2.9 Ermittlung der Lampenzahl nach dem Wirkungsgradverfahren | 227 |
| • Rechenregeln für eine Variable und Umkehrterme | 192 | 11.3 Antennentechnik | 228 |
| • Kommutativgesetze | 192 | 11.3.1 Verstärkungsfaktor, Dämpfungsfaktor | 228 |
| • Assoziativgesetze | 192 | 11.3.2 Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß | 229 |
| • Distributivgesetze | 192 | 11.3.3 Pegel | 229 |
| • Umkehrgesetze für mehrere Variablen | 193 | 11.3.4 Mechanische Sicherheit von Antennenstandrohren | 231 |
| • Schaltungen in NAND- oder in NOR-Technik | 193 | 11.4 Kostenrechnen | 232 |
| 9.11.5 Analyse und Synthese von Binär- schaltungen | 194 | 11.4.1 Rechnungspreis und Gewinn | 232 |
| • Analyse von Binärschaltungen | 194 | 11.4.2 Kostenarten | 232 |
| • Synthese von Binärschaltungen | 196 | 11.5 Handelskalkulation | 232 |
| 9.11.6 Minimieren von Schaltnetzwerken | 197 | 11.6 Angebotserstellung | 233 |
| • Algebraisches Minimieren | 197 | | |
| • KV-Diagramm | 199 | | |
| 9.12 Datenmengen und Datenüber- tragungsrate | 203 | | |
| 9.12.1 Datenmengen | 203 | | |
| 9.12.2 Datenübertragungsrate | 203 | | |
| 10 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen | 204 | | |
| 10.1 Schutzmaßnahmen | 204 | | |
| 10.1.1 Fehlerstromkreis | 204 | | |
| 10.1.2 Isolationswiderstand von Fußböden oder Wänden | 204 | | |
| 10.1.3 Schutzmaßnahmen im TN-System | 205 | | |
| 10.1.4 Schutzmaßnahmen im TT-System | 206 | | |
| 10.1.5 Kurzschlusschutz von isolierten Leitungen und Kabeln | 207 | | |
| 10.1.6 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) | 208 | | |
| 11 Anlagen- und Gebäudetechnik | 209 | | |
| 11.1 Leitungen | 209 | | |
| 11.1.1 Unverzweigte Leitungen für Gleichstrom | 209 | | |
| 11.1.2 Unverzweigte Leitungen für Wechselstrom | 210 | | |
| 11.1.3 Unverzweigte Leitungen für Drehstrom | 212 | | |
| 11.1.4 Verzweigte Leitungen für Wechselstrom | 214 | | |
| 11.1.5 Verzweigte Leitungen für Drehstrom | 216 | | |
| 11.1.6 Ringleitungen | 218 | | |
| 11.1.7 Leitungen mit Oberschwingungen | 219 | | |
| 11.2 Beleuchtungstechnik | 223 | | |
| | | 12 Elektrische Maschinen | 236 |
| | | 12.1 Transformatoren | 236 |
| | | 12.1.1 Einphasentransformatoren | 236 |
| | | 12.1.2 Transformatoren für Dreiphasenwechselstrom | 244 |
| | | 12.2 Antriebstechnik | 247 |
| | | 12.2.1 Leistung, Drehzahl und Drehmoment | 247 |
| | | 12.2.2 Übersetzungen, Riemtrieb | 248 |
| | | 12.2.3 Zahnradtrieb | 249 |
| | | 12.2.4 Schneckentrieb | 250 |
| | | 12.2.5 Mehrfache Übersetzung | 251 |
| | | 12.3 Umlaufende elektrische Maschinen | 251 |
| | | 12.3.1 Drehfelddrehzahl | 251 |
| | | 12.3.2 Synchronmaschine | 252 |
| | | 12.3.3 Zahnläufer und Schrittmotor | 253 |
| | | 12.3.4 Drehstromasynchronmotor | 254 |
| | | 12.3.5 Wechselstromasynchronmotor | 257 |
| | | 12.3.6 Asynchrone Frequenzumformer | 258 |
| | | 12.3.7 Gleichstrommotoren | 259 |
| | | • Fremderregter Gleichstrommotor | 259 |
| | | • Gleichstrom-Nebenschlussmotor | 260 |
| | | • Gleichstrom-Reihenschlussmotor | 261 |
| | | 12.3.8 Gleichstromgeneratoren | 262 |
| | | 13 Regelungstechnik | 263 |
| | | 13.1 Unstetiges Regeln | 263 |
| | | 13.2 Stetiges Regeln | 265 |
| | | 13.2.1 Regeln mit Proportionalverhalten | 265 |
| | | 13.2.2 Operationsverstärker als Regler | 266 |
| | | 13.2.3 Einstellen eines stetigen Reglers | 267 |
| | | 14 Aufgaben zur Prüfungsvor- bereitung | 268 |
| | | Aufgaben | 268 |