

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... V

## A Aufgaben und Lösungen

7.	Wechselstromtechnik	3
7.1	Sinusgrößen, Effektivwerte	3
	Aufgabe 7.1/1 Effektivwert	3
	Aufgabe 7.1/2 Effektivwert	5
	Aufgabe 7.1/3 Mittelwert, Effektivwert	6
	Aufgabe 7.1/4 Gleichrichtwert	8
	Aufgabe 7.1/5 Effektivwert	9
7.2	Netzwerkgleichung im Zeitbereich	11
	Aufgabe 7.2/1 Netzwerk-Differentialgleichung, <i>RL</i> -Anordnung	11
	Aufgabe 7.2/2 Netzwerk-Differentialgleichung, <i>RC</i> -Anordnung	13
	Aufgabe 7.2/3 Netzwerk-Differentialgleichung, <i>RLC</i> -Anordnung	15
7.3	Netzwerke im Frequenzbereich	16
	Aufgabe 7.3/1 Komplexer Scheitel- und Effektivwert	16
	Aufgabe 7.3/2 Transformation ruhender Zeiger $\leftrightarrow$ Zeit- funktion	18
	Aufgabe 7.3/3 Netzwerkberechnung, Transformation Zeit-, Frequenzbereich	19
7.4	Einfache Wechselstromkreise	22
	Aufgabe 7.4/1 Komplexer Widerstand	22
	Aufgabe 7.4/2 Transformation der Schaltung	24
	Aufgabe 7.4/3 Transformation der Schaltung, <i>RL</i> -Anordnung	27
	Aufgabe 7.4/4 Zweipol, Ersatzgrößen	28
	Aufgabe 7.4/5 Grundstromkreis	29
	Aufgabe 7.4/6 Zweipol mit Gegeninduktivität	31
	Aufgabe 7.4/7 Überlagerungssatz	32
7.5	Zeigerbilder, Inversion und Ortskurven	35

## VIII Inhaltsverzeichnis

Aufgabe 7.5/1	Zeigerbild . . . . .	35
Aufgabe 7.5/2	Grundstromkreis, Zeigerbild (Dreispannungsverfahren) . . . . .	36
Aufgabe 7.5/3	Ortskurve . . . . .	37
7.6 Leistungsbetrachtungen	Leistung, Ersatzschaltung . . . . .	38
Aufgabe 7.6/1	Leistung, Ersatzschaltung . . . . .	38
Aufgabe 7.6/2	Wirk- und Blindleistungsbestimmung, Dreispannungsverfahren . . . . .	40
Aufgabe 7.6/3	Leistung im Gleich- und Wechselstromkreis . . . . .	42
Aufgabe 7.6/4	Komplexe Leistung . . . . .	43
Aufgabe 7.6/5	Tellegenscher Satz . . . . .	44
7.7 Typische Wechselstromschaltungen	Typische Wechselstromschaltungen . . . . .	45
Aufgabe 7.7/1	Parallelresonanz, Spule mit Verlusten . . . . .	45
Aufgabe 7.7/2	Strom-Übertragungsfunktion des Parallelresonanzkreises . . . . .	47
Aufgabe 7.7/3	Betrags-, Phasenresonanz, Parallelschwingkreis . . . . .	50
Aufgabe 7.7/4	Betrags-, Phasenresonanz . . . . .	53
Aufgabe 7.7/5	Resonanzkreis, normierte Darstellung . . . . .	55
Aufgabe 7.7/6	RC-Bandpaß . . . . .	58
Aufgabe 7.7/7	Wechselstrom-Paradoxon . . . . .	60
Aufgabe 7.7/8	Zweipolersatzgrößen . . . . .	62
8. Netzwerke	Netzwerke . . . . .	64
8.1 Gesteuerte Quellen in Netzwerken	Gesteuerte Quellen in Netzwerken . . . . .	64
Aufgabe 8.1/1	Quellenwandlung . . . . .	64
Aufgabe 8.1/2	Gesteuerte Quellen und Zweipolersatzwiderstände . . . . .	65
Aufgabe 8.1/3	Spannungsgesteuerte Stromquellen im Stromkreis . . . . .	68
Aufgabe 8.1/4	Gesteuerte Quellen in einfachen Stromkreisen	70
Aufgabe 8.1/5	Quellentransformation . . . . .	71
Aufgabe 8.1/6	Transformation der Steuergröße . . . . .	72
Aufgabe 8.1/7	Zweipolersatzschaltung . . . . .	73
Aufgabe 8.1/8	Gesteuerte Quelle, Leistungsbilanz . . . . .	75
Aufgabe 8.1/9	Netzwerk mit zwei gesteuerten Quellen . . . . .	76
Aufgabe 8.1/10	Transistorschaltung . . . . .	78
8.2 Netzwerke mit Operationsverstärkern	Operationsverstärkern . . . . .	81
Aufgabe 8.2/1	Nichtinvertierender Operationsverstärker . . . . .	81
Aufgabe 8.2/2	Nichtinvertierender realer Operationsverstärker (OP) . . . . .	84
Aufgabe 8.2/3	Invertierender Operationsverstärker . . . . .	88
Aufgabe 8.2/4	Umkehrverstärker mit realem Operationsverstärker . . . . .	91
Aufgabe 8.2/5	Integrator . . . . .	94

Aufgabe 8.2/6	Mitkopplung in einer OP-Schaltung . . . . .	95
Aufgabe 8.2/7	Invertierende und nichtinvertierende Mit- kopplung . . . . .	97
8.3 Netzwerkanalyse . . . . .		99
Aufgabe 8.3/1	Überlagerungssatz . . . . .	99
Aufgabe 8.3/2	Maschenstromanalyse, gesteuerte Spannungs- quelle . . . . .	100
Aufgabe 8.3/3	Supermasche . . . . .	102
Aufgabe 8.3/4	Supermasche . . . . .	103
Aufgabe 8.3/5	Superknoten, Grundprinzip . . . . .	105
Aufgabe 8.3/6	Superknoten, gesteuerte Quelle . . . . .	107
Aufgabe 8.3/7	Superknoten, gesteuerte Quelle . . . . .	109
Aufgabe 8.3/8	Netzwerk-Differentialgleichung, Superknoten	111
Aufgabe 8.3/9	Arbeitspunktorschaltung . . . . .	112
Aufgabe 8.3/10	Unbestimmte Admittanzmatrix . . . . .	115
Aufgabe 8.3/11	Spannungsfolger, Nullorkonzept . . . . .	119
Aufgabe 8.3/12	Operationsverstärker, Nullormodell . . . . .	120
Aufgabe 8.3/13	Nullor-Konzept . . . . .	123
Aufgabe 8.3/14	Operationsverstärkerschaltung, Nullor-Konzept . . . . .	124
Aufgabe 8.3/15	Operationsverstärker mit symmetrischen Aus- gang, Nullor-Konzept . . . . .	125
8.4 Nichtlineare Netzwerkelemente . . . . .		127
Aufgabe 8.4/1	Zusammenschaltung von nichtlinearen Zwei- polen . . . . .	127
Aufgabe 8.4/2	Leistungsumsatz aktiver, passiver nicht- linearer Zweipol . . . . .	131
Aufgabe 8.4/3	Nichtlinearer aktiver und passiver Zweipol, Arbeitspunkt, Kleinsignalverhalten . . . . .	136
Aufgabe 8.4/4	Temperatureinfluß auf ein lineares Netzwerk	140
Aufgabe 8.4/5	Temperaturkoeffizient von Heiß- und Kalt- leitern . . . . .	143
Aufgabe 8.4/6	Thermistorkennlinie, Selbstauftheizung eines Bauelementes . . . . .	146
Aufgabe 8.4/7	Kennlinie eines nichtlinearen resistiven Zwei- pols bei Selbstauftheizung . . . . .	149
Aufgabe 8.4/8	Nichtlinearer Grundstromkreis, graphische Lösung . . . . .	151
8.5 Übertrager in Netzwerken . . . . .		153
Aufgabe 8.5/1	Transformatorbestimmung . . . . .	153
Aufgabe 8.5/2	Anpassung mit Transformator . . . . .	157
Aufgabe 8.5/3	Transformatorzusammenschaltung . . . . .	159
Aufgabe 8.5/4	Transformatoranwendung . . . . .	161
Aufgabe 8.5/5	Maschenstrom- und Knotenspannungs- analyse mit idealem Übertrager . . . . .	164

Aufgabe 8.5/6	Transformatoranwendung . . . . .	167
Aufgabe 8.5/7	Transformator im Netzwerk . . . . .	170
Aufgabe 8.5/8	Transformatorschaltung . . . . .	173
Aufgabe 8.5/9	Spartransformator . . . . .	175
8.6	Übertragungsfunktion . . . . .	178
Aufgabe 8.6/1	Skalierung . . . . .	178
Aufgabe 8.6/2	Skalierung, Normierung . . . . .	180
Aufgabe 8.6/3	PN-Plan, Übertragungsfunktion . . . . .	184
Aufgabe 8.6/4	Bode-Darstellung, Skalierung . . . . .	186
Aufgabe 8.6/5	Übertragungsfunktion, Frequenzgang . . . . .	188
Aufgabe 8.6/6	Bode-Diagramm, komplexes Polpaar . . . . .	190
Aufgabe 8.6/7	Gewinnung der Übertragungsfunktion . . . . .	192
Aufgabe 8.6/8	Bode-Diagramm . . . . .	194
Aufgabe 8.6/9	Bode-Diagramm, Impedanzfunktion . . . . .	195
Aufgabe 8.6/10	Übertragungsfunktion . . . . .	197
Aufgabe 8.6/11	Übertragungsfunktion zusammengeschalteter Anordnungen . . . . .	199
Aufgabe 8.6/12	Doppeldifferenzierglied, PN-Kompensation . . . . .	203
Aufgabe 8.6/13	Verstärker, Übertragungsfunktion . . . . .	205
Aufgabe 8.6/14	Umkehrverstärker, Frequenzgang . . . . .	207
Aufgabe 8.6/15	Bode-Diagramm, Pole, Nullstellen, Stabilität . . . . .	210
Aufgabe 8.6/16	RC-Filter 2. Ordnung . . . . .	212
Aufgabe 8.6/17	Bandpaßfilter, Nullorkonzept . . . . .	214
8.7	Zustandsgleichungen . . . . .	216
Aufgabe 8.7/1	Zustandsgleichungen aus Differentialgleichung . . . . .	216
Aufgabe 8.7/2	Aufstellung der Zustandsgleichungen . . . . .	219
Aufgabe 8.7/3	Transitionsmatrix . . . . .	222
Aufgabe 8.7/4	Übergangsfunktion, Übergangsmatrix . . . . .	226
Aufgabe 8.7/5	Systemmatrix, Eigenwerte, Fundamentalmatrix . . . . .	228
Aufgabe 8.7/6	Jordansche Normalform . . . . .	230
Aufgabe 8.7/7	Zustandsgleichungen, Übertragungsfunktion . . . . .	232
Aufgabe 8.7/8	Zustandsgleichungen, Eigenvektoren . . . . .	236
Aufgabe 8.7/9	Zustandsgleichungen . . . . .	239
Aufgabe 8.7/10	Zustandsgrößendarstellung . . . . .	242
Aufgabe 8.7/11	Schaltvorgang . . . . .	246
Aufgabe 8.7/12	Nullzustandsverhalten . . . . .	248
Aufgabe 8.7/13	Zustandsgleichungen mit Kondensatormasche	250
9.	Mehrphasensysteme . . . . .	253
9.1	Drehstromsysteme . . . . .	253
Aufgabe 9.1/1	Stern-Dreieckschaltung . . . . .	253
Aufgabe 9.1/2	Unsymmetrisch belastetes Dreiphasensystem	254
Aufgabe 9.1/3	Erzeugung eines symmetrischen Drehstromsystems . . . . .	257

Aufgabe 9.1/4	Stern-Sternschaltung mit Mittelpunktzweig	258
9.2	Anwendungen	261
Aufgabe 9.2/1	Phasenfolgeschaltung	261
Aufgabe 9.2/2	Phasenfolgeschaltung	263
Aufgabe 9.2/3	Magnetisch verkoppelte Lastimpedanzen	265
Aufgabe 9.2/4	Anwendung symmetrischer Komponenten	267
Aufgabe 9.2/5	Leistungsumsatz, Blindleistungskompensation	269
<b>10. Fourierreihe, Fourier-Transformation</b>		<b>272</b>
10.1	Fourierreihe	272
Aufgabe 10.1/1	Fourierreihe und Spektrum	272
Aufgabe 10.1/2	Fourierreihe, Symmetriebeziehungen	273
Aufgabe 10.1/3	Fourierreihe, Effektivwert, Klirrfaktor	274
Aufgabe 10.1/4	Tiefpaßfilterung, Klirrfaktor	276
Aufgabe 10.1/5	<i>RC</i> -Tiefpaß	279
10.2	Fourier-Transformation	281
Aufgabe 10.2/1	Rechteckimpuls, Impulsfolge Fourier-Transformation	281
Aufgabe 10.2/2	Exponentialsignal, Fourier-Transformation	284
Aufgabe 10.2/3	Fourier-Transformation, Netzwerke erster Ordnung	286
Aufgabe 10.2/4	Fourier-Transformation, <i>RC</i> -Anordnung	290
Aufgabe 10.2/5	Fourier-Transformation, Exponentialsignal	292
Aufgabe 10.2/6	Fourier-Transformation, Gewichtsfunktion	295
<b>11. Laplace-Transformation</b>		<b>297</b>
11.1	Erregerfunktionen	297
Aufgabe 11.1/1	Faltung	297
11.2	Anfangswerte	298
Aufgabe 11.2/1	Anfangswerte	298
Aufgabe 11.2/2	Berechnung der Anfangswerte	299
11.3	Schaltvorgänge in Systemen erster Ordnung	301
Aufgabe 11.3/1	Einschalten einer Gleichspannung am Kondensator, Übergangsfunktion $h(t)$	301
Aufgabe 11.3/2	Impulsfunktion	305
Aufgabe 11.3/3	Periodisches Umschalten in einer <i>RC</i> -Schaltung	309
Aufgabe 11.3/4	Periodisches Umschalten einer Verstärkerschaltung	311
11.4	Schaltvorgänge in Systemen zweiter Ordnung	313
Aufgabe 11.4/1	Integrier-Differenzierglied	313
Aufgabe 11.4/2	Einschaltverhalten eines Stromkreises mit gekoppelten Spulen	316
Aufgabe 11.4/3	Verstärkerersatzschaltung, dynamisches Verhalten	319

11.5 Laplace-Transformation, Anwendungen .....	320
Aufgabe 11.5/1 Laplace-Transformation von Netzwerkerungen .....	320
Aufgabe 11.5/2 Kondensatoraufladung und -entladung .....	322
Aufgabe 11.5/3 Kondensatorumladung .....	326
Aufgabe 11.5/4 Geschalteter Kondensator, Anfangswerte ..	328
Aufgabe 11.5/5 Netzwerk mit Kondensatormasche .....	330
Aufgabe 11.5/6 Induktivität im Schaltkreis, Anfangswerte ..	334
Aufgabe 11.5/7 Abschalten einer Induktivität .....	340
Aufgabe 11.5/8 Induktivitätsknoten .....	342
Aufgabe 11.5/9 Kompensierter Spannungsteiler .....	344
Aufgabe 11.5/10 Periodische Impulsspannung .....	346
Aufgabe 11.5/11 Einschalten einer Wechselspannung .....	349
Aufgabe 11.5/12 $RC$ -Netzwerk, Übergangsverhalten .....	350
Aufgabe 11.5/13 Integrier-Differenzierglied .....	354
Aufgabe 11.5/14 Einschaltverhalten gekoppelter Spulen .....	356
Aufgabe 11.5/15 Zustandsgleichung, Übergangsverhalten, Trajektorie .....	360

---

**B    Selbstkontrolle**

---

<b>1. Selbstkontrolle der Kenntnisse .....</b>	<b>367</b>
7 Wechselstromtechnik .....	367
8 Netzwerke .....	370
9 Drehstrom .....	376
10 Fourierreihe, Fourier-Transformation .....	376
11 Übergangsverhalten, Laplace-Transformation .....	378
<b>2. Lösungen .....</b>	<b>381</b>
7 Wechselstromtechnik .....	383
8 Netzwerke .....	387
9 Drehstrom .....	388
10 Fourierreihe, Fourier-Transformation .....	388
11 Übergangsverhalten, Laplace-Transformation .....	389
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>393</b>