

Inhaltsverzeichnis

1 Energiespeichernde Komponenten	1
1.1 Einführung	1
1.1.1 Schaltungen mit Widerständen	1
1.1.2 Schaltungen mit Widerständen, Induktoren und Kondensatoren	4
1.2 Kondensatoren	5
1.2.1 Didaktische Beispiele	6
1.2.2 Ersatzkapazität parallel geschalteter Kondensatoren	9
1.2.3 Ersatzkapazität in Reihe geschalteter Kondensatoren	9
1.3 Induktoren	10
1.3.1 Ersatzinduktivität in Reihe geschalteter Induktoren	13
1.3.2 Ersatzinduktivität parallel geschalteter Induktoren	14
1.3.3 Didaktische Beispiele	15
1.4 Gegeninduktivität	19
1.4.1 Der Transformator mit T-Ersatzschaltung	23
1.4.2 Anwendungen für Transformatoren	27
1.5 Antwort energiespeichernder Elemente auf Gleichstromquellen	30
1.6 Numerische Lösung der Differentialgleichungen erster Ordnung	31
1.7 Zeitantwort der Schaltungen erster Ordnung	33
1.8 Die RC-Reihenschaltung	34
1.8.1 Homogene Lösung	35
1.8.2 Partikuläre Lösung für eine konstante Anregung	36
1.8.3 Gesamtlösung für eine konstante Anregung	36
1.8.4 Partikuläre Lösung für eine sinusförmige Anregung	41
1.8.5 Gesamtlösung für eine sinusförmige Anregung	48
Experiment 1.8.1: Glättung pulsartiger Spannungen mit RC-Glied	50
Experiment 1.8.2: RC-Glied angeregt mit zwei Quellen	56
Experiment 1.8.3: Dissipierte Leistung in einer RC-Reihenschaltung	62
Experiment 1.8.4: Energiebilanz für einen MOSFET-Inverter	68
1.9 Die RL-Reihenschaltung	76
1.9.1 Partikuläre Lösung für eine konstante Anregung	77

1.9.2	Gesamtlösung für eine konstante Anregung	78
1.9.3	Partikuläre Lösung für eine sinusförmige Anregung	80
1.9.4	Gesamtlösung für eine sinusförmige Anregung	82
	Experiment 1.9.1: Glättung pulsartiger Spannungen mit RL-Glied	84
1.10	Zeitantwort der Schaltungen zweiter Ordnung	87
1.11	Die RLC-Reihenschaltung	88
1.11.1	Homogene Lösung der Differentialgleichung	90
1.11.2	Partikuläre und Gesamtlösung für eine konstante Anregung	92
1.11.3	Differentialgleichung des Stroms der RLC-Reihenschaltung	97
	Experiment 1.11.1: DC-DC-Wandler mit RLC-Schaltung	98
1.11.4	Partikuläre und Gesamtlösung für eine sinusförmige Anregung der RLC-Reihenschaltung	105
1.11.5	Resonanz der RLC-Reihenschaltung	107
	Experiment 1.11.2: Prinzip eines Oszillators mit Reihenresonanzkreis	107
1.12	Die RLC-Parallelschaltung	114
1.12.1	Homogene Lösung für die RLC-Parallelschaltung	116
1.12.2	Partikuläre und Gesamtlösung für eine konstante Anregung	118
1.12.3	Partikuläre Lösung der RLC-Parallelschaltung für sinusförmige Anregung	120
1.12.4	Gesamtlösung der RLC-Parallelschaltung für sinusförmige An- regung	122
	Experiment 1.12.1: Prinzip eines Oszillators mit Parallelresonanzkreis	128
1.13	Zusätzliche Experimente	133
	Experiment 1.13.1: Einschwingvorgang einer RL-Schaltung mit Gleich- stromquelle	133
	Experiment 1.13.2: Einschwingvorgang einer RL-Schaltung mit Gleich- stromquelle und nicht idealem Schalter	136
	Experiment 1.13.3: Einschwingvorgang einer RL-Schaltung mit zwei Gleichstromquellen	136
	Experiment 1.13.4: Einschwingvorgang einer RL-Schaltung mit Wech- selstromquelle	139
	Experiment 1.13.5: Einschwingvorgang einer RLC-Schaltung mit Wech- selstromquelle	142
	Experiment 1.13.6: Simulation des Zeit- und Frequenzverhaltens eines Tastkopfes	145
	Experiment 1.13.7: Invertierender DC-DC-Wandler	155
	Experiment 1.13.8: Untersuchung eines Transformators	162
	Experiment 1.13.9: Transformatormodell mit Gegeninduktivität	173
2	Sinusförmige Anregung elektrischer Schaltungen	177
2.1	Kenngrößen sinusförmiger Schwingungen	177
2.1.1	Mittelwert sinusförmiger Schwingungen	178
2.1.2	Effektivwert sinusförmiger Schwingungen	178
2.1.3	Leistung in Netzwerken mit sinusförmiger Anregung	179

2.1.4	Die Leistung in den passiven Komponenten R, L, C	184
2.2	Zeigerdarstellung	184
2.2.1	Zeigerdiagramm des Reihenresonanzkreises.....	188
2.2.2	Zeigerdiagramm des Parallelresonanzkreises	192
2.2.3	Frequenzabhängigkeit der Impedanz in RLC-Parallelschaltung ..	193
2.2.4	Identifikation eines Induktors	195
2.2.5	Bestimmung der Kapazität eines Kondensators.....	197
2.2.6	Wechselstrombrücke	198
	Experiment 2.2.1: Reale Induktoren.....	199
	Experiment 2.2.2: Realer Kondensator	202
	Experiment 2.2.3: Realer Widerstand	205
	Experiment 2.2.4: Ersatzschaltung einer Piezodose ausgehend vom me- chanischen Verhalten	207
2.3	Mehrphasensysteme	213
2.3.1	Zweiphasensystem	215
2.3.2	Das symmetrische Dreiphasensystem. Stern- und Dreieckschal- tung.....	218
2.3.3	Einfacher ohmscher Dreiphasenverbraucher	224
2.3.4	Einfacher ohmscher Einphasen- und Dreiphasenverbraucher ..	225
	Experiment 2.3.1: Verschiedene Verbraucher am Dreiphasensystem mit festem Sternpunkt	225
2.4	Zusätzliche Beispiele und Experimente.....	230
	Experiment 2.4.1: Leistung im Wechselstromkreis	230
	Experiment 2.4.2: Wirkleistungsanpassung	234
	Experiment 2.4.3: Zusammenschalten zweier Netzsysteme	237
	Experiment 2.4.4: Leistungsfaktorkompensation	242
	Experiment 2.4.5: Zuschalten des Kompensationskondensators	247
	Experiment 2.4.6: Blindleistungskompensation	251
3	Beschreibung elektrischer Schaltungen im Frequenzbereich	255
3.1	Einführung	255
3.2	Frequenzgang linearer elektrischer Schaltungen	257
3.2.1	Frequenzgang eines Produkts von Übertragungsfunktionen ..	267
3.3	Filterschaltungen	269
3.3.1	Einfache passive Filter	272
3.3.2	Beispiel für die Entwicklung eines passiven Tiefpassfilters	282
3.3.3	Beispiel für die Entwicklung eines passiven Bandpassfilters	286
3.3.4	Aktive Filter	288
	Experiment 3.3.1: Zeitverhalten eines Hochpassfilters 3. Ordnung	295
3.4	Integrierte Filterschaltungen	300
3.4.1	Universal-Filter	300
3.4.2	Filter mit geschalteten Kapazitäten (<i>Switched Capacitor Filter</i>)	302
3.4.3	OTA-Filter (<i>Operational-Transconductance-Amplifier-Filters</i>)	303

3.5	Zusätzliche Experimente	308
	Experiment 3.5.1: Übertragungsfunktion eines Tiefpassfilters 3. Ordnung mit drei Spannungsfolgern	308
	Experiment 3.5.2: Numerische Ermittlung der Sprungantwort des Tiefpassfilters 3. Ordnung	311
	Experiment 3.5.3: Numerische Identifikation der Übertragungsfunktion aus dem Frequenzgang	313
	Experiment 3.5.4: Bestimmung der Zustands- und Ausgangsgleichung für das Filter aus dem vorherigen Experiment	317
4	Nichtsinusförmige Ströme und Spannungen	321
4.1	Einführung	321
4.2	Fourier-Zerlegung periodischer Zeitfunktionen	321
4.2.1	Fourier-Reihe eines rechteckigen, periodischen Signals	328
4.2.2	Gibbs-Phänomen	331
4.2.3	Annäherung der Fourier-Reihe mit Hilfe der FFT	333
	Experiment 4.2.1: Das DFT-Spektrum für zwei periodische Signale	338
4.2.4	Fehler bei der Schätzung der Fourier-Reihe über die DFT	346
4.3	Lineare Schaltungen mit harmonischen Anregungen	350
4.3.1	Diskrete Fourier-Reihe	350
	Experiment 4.3.1: Filtern der Oberwellen eines Umrichters mit Saugkreisen	356
4.4	Kenngrößen	361
4.4.1	Effektivwert	361
4.4.2	Schwingungsgehalt und Klirrfaktor	362
	Experiment 4.4.1: Kenngrößen über die DFT ermitteln	362
4.5	Zusätzliche Experimente	367
	Experiment 4.5.1: Simulation einer Dimmer-Schaltung	367
	Experiment 4.5.2: Simulation eines Wechselrichters	373
5	Nichtlineare Schaltungen im Wechselbetrieb	379
5.1	Einführung	379
5.2	Nichtlineare Widerstände	379
5.2.1	Die Newton-Raphson'sche Methode	385
	Experiment 5.2.1: Spannungsbegrenzung mit VDR-Widerstand	386
5.3	Nichtlineare Induktivitäten	390
	Experiment 5.3.1: DC-DC Wandler mit nichtlinearer Induktivität	391
5.4	Die Halbleiterdiode als nichtlineare Komponente	396
5.5	Gleichrichterschaltungen	402
5.5.1	Einweggleichrichtung mit Glättung über Induktivität	402

5.5.2	Einweggleichrichtung mit Glättung über Induktivität und Kapazität	409
5.6	Mischer mit einer Diode	415
5.7	Mischer mit geschalteter Spannung	420
5.8	Zusätzliche Experimente.....	424
	Experiment 5.8.1: Einfache Reihenschaltung eines Widerstands und eines Induktors mit nichtlinearer Magnetisierungskennlinie	424
	Experiment 5.8.2: DC-DC Abwärtswandler mit nichtlinearer Magnetisierungskennlinie des Induktors	429
	Experiment 5.8.3: Transformator mit Einweggleichrichtung im Sekundär	433
6	Vierpolschaltungen	447
6.1	Einführung	447
	6.1.1 Zweipolersatzschaltung für Verstärker mit JFET-Transistor	447
6.2	Vierpolersatzschaltungen	450
	6.2.1 Vierpol mit Leitwertparametern	450
	Experiment 6.2.1: Vierpol mit Leitwertparametern für JFET-Verstärker ..	454
	6.2.2 Vierpol mit Impedanzwertparametern	458
	6.2.3 Vierpol mit Hybrid-Parametern	459
	Experiment 6.2.2: Vierpol mit Hybrid-Parametern für Verstärker mit Bipolartransistor	461
	6.2.4 Weitere Vierpolmodelle	467
	Experiment 6.2.3: FET-Transistor mit Rückkopplung über Source-Widerstand	469
7	Ausblick	475
7.1	Beispiel einer Simulation mit LTSPICE	475
Literaturverzeichnis		479
Index		481