

Inhaltsverzeichnis

1	Zeitabhängige elektrische und magnetische Felder	11
1.1	Quasistationäre Vorgänge	11
1.1.1	Konzentrierte Bauelemente	11
1.1.2	Grundeintore	12
1.2	Erweiterung des Strombegriffs	14
1.2.1	Ideales kapazitives Eintor	14
1.2.2	Verschiebungsstrom	15
1.2.3	Knotensatz bei zeitabhängigen Strömen	17
1.2.4	Durchflutungsgesetz bei zeitabhängigen Strömen	18
1.3	Bewegungsinduktion	20
1.3.1	Bewegter Leiter im Magnetfeld	20
1.3.2	Zeitliche Änderung des magnetischen Flusses in der Schleifenfläche	23
1.3.3	Rotation einer Leiterschleife im homogenen Magnetfeld	26
1.4	Ruheinduktion	28
1.4.1	Induktive Spannung bei zeitabhängigem Magnetfeld	28
1.4.2	Spannungsstoß	30
1.5	Elektromagnetisches Feld	32
1.5.1	Induktionsgesetz	32
1.5.2	Das LENZsche Gesetz	33
1.5.3	Elektrisches Wirbelfeld	34
1.5.4	Die 2. MAXWELLSche Gleichung	36
1.6	Selbstinduktion	38
1.6.1	Selbstinduktive Spannung	38
1.6.2	Selbstinduktivität	40
1.6.3	Induktivität von Leiteranordnungen	43
1.6.4	Ideales induktives Eintor	46
1.7	Gegenseitige Induktion	49
1.7.1	Induktive Kopplung	49
1.7.2	Gegenseitige Induktivität	50
1.7.3	Gleichsinnige und gegensinnige Kopplung	51
1.7.4	Kopplungsfaktor	53
1.7.5	Reihenschaltung gekoppelter Spulen	54
1.7.6	Wirbelströme	55
2	Kraft und Energie in elektromagnetischen Feldern	57
2.1	Energie im elektromagnetischen Feld	57
2.1.1	Energie eines Kondensators	57
2.1.2	Elektrische Energiedichte	58
2.2	Kräfte im elektromagnetischen Feld	59
2.2.1	Kräfte auf Punktladungen	59
2.2.2	Kräfte auf einen Dipol	60
2.2.3	Kräfte auf die Platten eines Plattenkondensators	60
2.3	Energie im magnetischen Feld	62
2.3.1	Energie einer Leiteranordnung	62
2.3.2	Energiedichte im Magnetfeld	63
2.3.3	Innere Induktivität	64

2.3.4	Hysteresearbeit	65
2.3.5	Magnetischer Kreis mit Dauermagnet	66
2.4	Kräfte auf Magnetpole	67
2.5	Energietransport im elektromagnetischen Feld	70
3	Periodisch zeitabhängige Größen	73
3.1	Periodische Schwingungen	73
3.2	Mittelwerte periodischer Größen	75
3.2.1	Gleichwert	75
3.2.2	Wirkleistung	77
3.2.3	Effektivwert	78
3.2.4	Gleichrichtwert	79
3.2.5	Verhältniszahlen	81
3.3	Sinusförmige Schwingungen	82
3.3.1	Kenngrößen	82
3.3.2	Mittelwerte	84
3.3.3	Überlagerung von Sinusgrößen	86
3.3.4	Zeigerdarstellung	89
3.3.5	Komplexe Symbole	92
4	Netze mit Sinusquellen konstanter Frequenz	94
4.1	Komplexer Widerstand und Leitwert	94
4.2	Leistung	96
4.2.1	Leistungsschwingung	96
4.2.2	Komplexe Leistung	99
4.3	Grundeintore an Sinusspannung	100
4.3.1	Grundeintor R	100
4.3.2	Grundeintor L	102
4.3.3	Grundeintor C	104
4.4	Verbindung von Grundeintoren	107
4.4.1	Reihenschaltung von Grundeintoren	107
4.4.2	Parallelschaltung von Grundeintoren	109
4.5	Ersatzeintore	110
4.5.1	Netze ohne unabhängige Quellen	110
4.5.2	Netze mit unabhängigen Quellen	116
4.6	Resonanz	118
4.6.1	Reihenresonanz	118
4.6.2	Parallelresonanz	121
4.6.3	Resonanz linearer Netze	122
4.6.4	Widerstandstransformation	123
4.7	Leistungsanpassung und Blindleistungskompensation	125
4.7.1	Leistungsanpassung	125
4.7.2	Blindleistungskompensation	127
4.8	Netze mit linearen Zweitoren	129
4.8.1	Verlustloser Übertrager	130
4.8.2	Idealer Übertrager	130
4.8.3	Netzwerktransformation	131
4.9	Transformator	133
4.9.1	Idealisierter Transformator	133

4.9.2	Realer Transformator	133
4.9.3	Leerlauf und Kurzschluss	135
4.9.4	Spannungsänderung	137
4.9.5	Kleintransformator	138
5	Netze mit Sinusquellen veränderlicher Frequenz	139
5.1	Frequenzabhängigkeit der Netzeigenschaften	139
5.1.1	Wirkung von L und C	139
5.1.2	Komponentendarstellung	141
5.1.3	Ortskurvendarstellung	143
5.1.4	Ortskurven zueinander inverser Funktionen	144
5.1.5	Sinusanalyse	146
5.2	Frequenzgang	148
5.2.1	Amplitudengang und Phasengang	148
5.2.2	Übertragungsfaktor und Dämpfungsfaktor	149
5.2.3	Symmetrieeigenschaften von Zweitoren	152
5.2.4	Logarithmierte Größenverhältnisse	152
5.2.5	BODE-Diagramm	155
5.2.6	Äquivalente Netze	157
5.2.7	Duale Netze	157
5.3	Passive Filter	160
5.3.1	Grenzfrequenz	160
5.3.2	Filterarten	161
5.3.3	Hochpass 1. Ordnung	161
5.3.4	Tiefpass 1. Ordnung	163
5.3.5	Bandpass	164
5.3.6	Bandsperre	167
5.4	Operationsverstärker an Sinusspannung	169
5.5	Aktive Filter	170
5.5.1	Filter 1. Ordnung	170
5.5.2	Bandpass 2. Ordnung	172
5.5.3	Bandsperre 2. Ordnung	173
6	Drehstrom	174
6.1	Symmetrische Spannungen	174
6.1.1	Das symmetrische Dreiphasensystem	174
6.1.2	Prinzip des Synchrongenerators	175
6.1.3	Sternschaltung	177
6.1.4	Dreieckschaltung	178
6.2	Symmetrische Belastung	179
6.2.1	Sternschaltung	179
6.2.2	Dreieckschaltung	181
6.2.3	Drehfeld	184
6.3	Unsymmetrische Belastung	186
6.3.1	Sternschaltung am Vierleiternetz	187
6.3.2	Sternschaltung am Dreileiternetz	188
6.3.3	Dreieckschaltung	190
6.4	Symmetrische Komponenten	192
6.4.1	Geschlossenes Zeigerdreieck	192
6.4.2	Beliebige Lage der Zeiger	193

7 Nichtsinusförmige Größen	195
7.1 Harmonische Synthese	195
7.1.1 Teilschwingungen	195
7.1.2 Reelle FOURIER-Reihen	197
7.1.3 Sonderfälle der Synthese	198
7.1.4 Komplexe FOURIER-Reihen	200
7.1.5 Spektrum periodischer Größen	202
7.2 Eigenschaften periodischer Größen	204
7.2.1 Leistung und Effektivwert	204
7.2.2 Leistung bei Sinusspannung und nichtsinusförmigem Strom	205
7.2.3 Kennwerte für die Verzerrung von Wechselgrößen gegenüber der Sinusform	207
7.3 Harmonische Analyse	209
7.3.1 Berechnung der FOURIER-Koeffizienten	209
7.3.2 Verschiebungssatz	210
7.4 Nichtperiodische Größen	213
7.4.1 FOURIER-Transformation	213
7.4.2 Diskrete FOURIER-Transformation eines zeitbeschränkten Signals	215
7.4.3 Diskrete FOURIER-Transformation eines zeitlich unbeschränkten Signals	217
7.5 Nichtsinusförmige Schwingungen in linearen Netzen	219
7.5.1 Überlagerungsprinzip	219
7.5.2 Verzerrungsfreie Übertragung	221
7.5.3 Lineare Verzerrungen	222
7.6 Nichtlineare Verzerrungen	224
7.6.1 Spulenstrom bei verlustfreiem Eisenkern	224
7.6.2 Spulenstrom beim Kern mit Eisenverlusten	225
8 Schaltvorgänge	226
8.1 Netz an Gleichspannung	226
8.1.1 Netz mit einem Grundeintor C	226
8.1.2 Netz mit einem Grundeintor L	231
8.1.3 LAPLACE-Transformation	234
8.1.4 Schwingkreis	238
8.1.5 Netz mit zwei gleichartigen Energiespeichern	242
8.2 Netz an Sinusspannung	244
8.2.1 Netz mit einem Grundeintor C	244
8.2.2 Netz mit einem Grundeintor L	247
8.2.3 Schwingkreis	248
8.3 Transientanalyse	250
8.3.1 BDF-Verfahren	250
8.3.2 Netz an Gleichspannung	251
8.3.3 Netz an Sinusspannung	253
9 Lineare Übertragungssysteme	254
9.1 Stabilität	254
9.1.1 Grundlegendes Stabilitätskriterium	254
9.1.2 System mit konjugiert komplexen Polen	255
9.2 Hoch- und Tiefpass 2. Ordnung	256
9.2.1 Tiefpass 2. Ordnung	256
9.2.2 Hochpass 2. Ordnung	259
9.2.3 Realisierung von Hoch- und Tiefpass	260

10 Reale Bauelemente	264
10.1 Bauformen	264
10.2 Widerstand	264
10.2.1 Nenndaten	264
10.2.2 Temperatureinfluss	265
10.2.3 Widerstandsformen	266
10.2.4 Wechselstrom-Ersatzschaltung	267
10.3 Kondensator	270
10.3.1 Bauformen	270
10.3.2 Verluste bei Gleichspannungsbetrieb	273
10.3.3 Verluste bei Wechselspannungsbetrieb	275
10.3.4 Wechselstrom-Ersatzschaltungen	276
10.3.5 Temperatureinfluss	277
10.3.6 Eigenschaften von Elektrolytkondensatoren	278
10.4 Spule	280
10.4.1 Berechnung der Induktivität	281
10.4.2 Verlustwinkel und Gütefaktor	282
10.4.3 Kupferverluste	284
10.4.4 Kernverluste	285
Anhang	290
A1 Beziehungen zwischen Winkelfunktionen	290
A2 Komplexe Rechnung	291
A3 Wichtige Konstanten	293
A4 Verwendete Formelzeichen	293
A5 FOURIER-Koeffizienten	295
A6 LAPLACE-Transformation	296
A7 Magnetisierungskurven	300
Lösungen der Aufgaben	301
Literatur	314
Sachwortverzeichnis	316
Namenverzeichnis	320