

Skriptum zu den

Grundlagen

der

Elektrotechnik

von Prof. Dr. rer. nat. Hartmann

Bearbeitet von:

Thorsten Parketny

Stand: 02.10.2002

1. Grundbegriffe und Werkzeuge	1
1.1. Elektrische Ladungen	1
1.2. Kraftwirkungen zwischen Ladungen	2
1.3. Der Begriff Feld	3
1.4. Werkzeuge für den Umgang mit Vektorfeldern	6
1.4.1 Der Fluß eines Vektorfeldes	6
1.4.2 Die Zirkulation eines Vektorfeldes	11
2. Der Stromkreis	16
2.1. Bewegte Ladungen	16
2.2. Quellen	17
2.3. Stromstärke und Stromdichte	18
2.4. Potentielle Energie einer Ladung und Spannung	20
2.5. Metallische Leiter	21
2.5.1 Leitungsmechanismen	21
2.5.2 Anwendung des Ohm'schen Gesetzes	22
2.5.3 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	23
3. Gleichstromschaltungen	25
3.1. Strom und Spannung im einfachen Stromkreis	25
3.2. Zweipole	27
3.3. Die Kirchhoffschen Regeln	28
3.4. Serien- und Parallelschaltung von Widerständen	31
3.4.1 Serienschaltung	31
3.4.2 Parallelschaltung	32
3.4.3 Einfache Widerstandsnetzwerke	33
3.5. Ersatzquelle	33
3.5.1 Ersatzspannungsquelle	33
3.5.2 Ersatzstromquelle	35
3.5.3 Allgemeine Ersatzquelle	36
3.5.4 Spannungsteiler	37
3.6. Energieumsetzung im Stromkreis	39
3.6.1 Energie und Leistung	39
3.6.2 Leistungsanpassung und Wirkungsgrad	41
3.7. Schaltung mit nichtlinearen Zweipolen	42
4. Lineare Netzwerke	45
4.1. Definition linearer Netze	45
4.2. Darstellung linearer Netze durch Graphen	46
4.3. Können beliebige lineare Netze berechnet werden?	48
4.3.1 Wieviele Gleichungen sind notwendig?	48
4.3.2 Gibt es genügend unabhängige Gleichungen?	48
4.3.3 Gibt es eine optimale Strategie?	51
4.4. Netzwerkstopologie	51
4.4.1 Der vollständige Baum	51
4.4.2 Die Baumzweigspannungen als unabhängige Variablen	52
4.4.3 Die Verbindungs-zweigströme als unabhängige Variablen	53

4.5. Maschenanalyse	54
4.5.1 Schritte des Rechenverfahrens	54
4.5.2 Herleitung des Gleichungssystems	55
4.5.3 Unmittelbare Aufstellung des Gleichungssystems	58
4.5.4 Berechnung eines Beispiels.....	62
4.6. Knotenanalyse	64
4.6.1 Schritte des Rechenverfahrens	64
4.6.2 Herleitung des Gleichungssystems	65
4.6.3 Unmittelbare Aufstellung des Gleichungssystems	68
4.6.4 Berechnung eines Beispiels:	70
4.7. Berechnung von Netzwerken nach dem Überlagerungsprinzip	73
5. Elektrostatik	77
5.1. Vereinfachung der Grundgesetze für die Elektrostatik	77
5.2. Berechnung symmetrischer Felder	78
5.2.1 Das \vec{E} -Feld einer Punktladung	78
5.2.2 Feld einer „Linienladung“	81
5.2.3 Feld einer gleichförmigen Flächenladung	83
5.3. Berechnung beliebiger Felder mit bekannter Ladungsverteilung	84
5.3.1 Superposition der \vec{E} -Felder aller Einzelladungen	84
5.3.2 Superposition der Potentiale aller Einzelladungen	85
5.4. Das elektrostatische Potential ϕ	86
5.4.1 Arbeit einer im \vec{E} -Feld bewegten Ladung	86
5.4.2 Potential einer Punktladung	87
5.4.3 Potential beliebiger, bekannter Ladungsverteilungen	89
5.4.4 Das \vec{E} -Feld als Gradient des Potentials	90
5.5. Berechnung von \vec{E} -Feldern bei unbekannter Ladungsverteilung	92
5.6. Kapazität und Influenzerscheinungen	94
5.6.1 Definition der Kapazität	94
5.6.2 Schaltungen mit Kondensatoren	95
5.7. Influenz und Verschiebungsdichte \vec{D}	96
5.8. Energie im elektrischen Feld	98
5.8.1 Die Gesamtenergie elektrostatischer Systeme	98
5.8.2 Berechnung von Kräften aus der Gesamtenergie	99
5.8.3 Das \vec{E} -Feld als Sitz der elektrostatischen Energie	100
5.9. Der elektrische Dipol	101
5.9.1 Kräfte und Drehmomente am elektrischen Dipol	101
5.9.2 Potential und \vec{E} -Feld des Dipols	102
5.10. Materie im elektrischen Feld	103
5.10.1 Dielektrika	103
5.10.2 Die Polarisierung	105
5.10.3 \vec{E} -Feld und Verschiebungsdichte \vec{D} im Dielektrikum	106
5.10.4 Felder an Grenzflächen von Dielektrika	108
6. Magnetostatik	111
6.1. Vereinfachung der Grundgesetze für die Magnetostatik	111
6.2. Die Lorentz-Kraft	112
6.2.1 Regeln für den Umgang mit äußeren Vektorprodukten (Kreuzprodukten)	112

6.2.2 Kraft auf stromdurchflossene Leiter	114
6.2.3 Drehmoment auf stromdurchflossenen Schleifen im homogenen Feld \vec{B}	115
6.3. Berechnung von \vec{B} -Feldern	117
6.3.1 Es gibt keine magnetischen Ladungen	117
6.3.2 Durchflutungsgesetz, Ampere'sches Gesetz	117
6.3.3 Berechnung symmetrischer Felder aus dem Durchflutungsgesetz	118
6.3.4 Berechnung beliebiger Magnetfelder mit bekannter Stromverteilung (Biot-Savart'sches Gesetz)	122
6.4. Materie im magnetischen Feld	123
6.4.1 Magnetische Werkstoffe und deren Eigenschaften	123
6.4.2 Der Magnetisierungsvektor	124
6.4.3 Magnetische Induktion \vec{B} und Magnetfeld \vec{H} in Materie	126
6.4.4 Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus	127
6.5. Der magnetisc	130
6.5.1 Die Konstanz des magnetischen Flusses	130
6.5.2 Das „sog. Ohm'sche Gesetz des magnetischen Kreises“	131
6.5.3 Berechnung magnetischer Kreise	132
7. Elektrodynamik	135
7.1. Die Grundgesetze der Elektrodynamik	135
7.2. Die Induktionsvorgänge	136
7.2.1 Der im Magnetfeld bewegte Leiter	136
7.2.2 Änderung des magnetischen Flusses in Leiterschleifen	137
7.2.3 Induktionsgesetz und Flußregel	139
7.2.4 Anwendung des Induktionsgesetzes	140
7.3. Selbstinduktion und Gegeninduktion	142
7.3.1 Selbstinduktion	142
7.3.2 Gegeninduktion	143
7.3.3 Abschätzung von Induktivitäten	144
7.4. Energie im magnetischen Feld	145
7.4.1 Die magnetische Energie einer stromdurchflossenen Spule	145
7.4.2 Energie mehrerer (gekoppelter) Spulen	146
7.4.3 Das magnetische Feld als Sitz der magnetischen Energie	148
7.4.4 Energieverluste durch Ummagnetisierung	149
7.4.5 Berechnung von Kräften aus der magnetischen Energie	150
7.5. Wirbelströme	151
7.6. Der Verschiebungsstrom und sein Magnetfeld	152
8. Stromkreis im quasistationären Zustand	154
8.1. Der quasistationäre Zustand	154
8.2. Idealisierte Bauelemente und Quellen	155
8.2.1 Ideale Induktivität	155
8.2.2 Ideale Kapazität	156
8.2.3 Idealer Widerstand	157
8.2.4 Idealer Generator	158
8.2.5 Kirchhoff'schen Gleichungen im quasistationären Fall	159
8.2.6 Reale Bauelemente und deren Ersatzschaltung	160

9. Lineare Netze im eingeschwungenen Zustand	163
9.1. Zeitveränderliche Vorgänge	163
9.2. Wichtige Mittelwerte	165
9.2.1 Arithmetischer Mittelwert	165
9.2.2 Gleichrichtwert	166
9.2.3 Effektivwerte	167
9.2.4 Weitere Definitionen	167
9.3. Zeigerdarstellung	168
9.3.1 Drehzeiger	168
9.3.2 Zeigerdiagramm	168
9.4. Darstellung sinusförmiger Vorgänge in der komplexen Ebene	171
9.4.1 Rechnen mit komplexen Zahlen	171
9.4.2 Komplexe Schwingung, komplexe Amplitude	173
9.4.3 Rechenvorteile bei komplexer Schreibweise	174
9.4.4 Neue Beschreibung sinusförmiger Wechselgrößen	175
9.5. Ideale Schaltelemente im Wechselstromkreis	177
9.5.1 Der ohm'sche Widerstand	177
9.5.2 Die Induktivität	177
9.5.3 Der Kondensator	178
9.5.4 Frequenzabhängige Widerstände	179
9.6. Netzwerke aus komplexen Widerständen	180
9.6.1 Komplexer Widerstand und komplexer Leitwert	180
9.6.2 Serien- und Parallelschaltung komplexer Widerstände	182
9.7. Ortskurven	184
9.8. Wechselstrommeßbrücken	189
9.8.1 Maxwellbrücke (Z_{ind})	190
9.8.2 Frequenzmeßbrücke nach Wien-Robinson	191
9.9. Schwingkreise	192
9.10. Leistung im Wechselstromkreis	200
9.10.1 Zeitabhängige Leistung	200
9.10.2 Spezialfälle: Rein ohm'sche, induktive oder kapazitive Schaltelemente	201
9.10.3 Beliebige Impedanz	202
9.10.4 Die Scheinleistung S	203
10. Lineare Zweipole und Zweitore	206
10.1. Grundüberlegung	206
10.2. Leistungsberechnung an linearen Zweipolen	207
10.3. Leistungsanpassung bei Zweipolen	208
10.4. Beschreibung von Vierpolen durch Matrizen	209
10.4.1 Die Widerstandsmatrix	210
10.4.2 Die Leitwertmatrix	212
10.4.3 Die Kettenmatrix	214
10.4.4 Die Reihen-Parallelmatrix	216
10.4.5 Die Parallel-Reihenmatrix	217
10.4.6 Umrechnung der Matrizen und	218
10.5. Zusammenschaltung von Zweitoren	221
10.5.1 Reihenschaltung	221

10.5.2 Parallelschaltung	222
10.5.3 Reihen-Parallelschaltung	223
10.5.4 Parallel-Reihenschaltung	224
10.5.5 Kettenschaltung	224
10.5.6 Beispiele und Anwendungsgrenzen	225
10.6. Der Übertrager (Transformator)	228
10.6.1 Beschreibung durch u und i	228
10.6.2 Ersatzschaltbild des verlustfreien Übertragers	230
10.6.3 Der Übertrager mit Eisenkern	235
10.6.4 Übertrager mit Verlusten	236
10.6.5 Die Transformationseigenschaften des Übertragers	237