

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Grundbegriffe der Elektrizität</b>	
1.1.	Atome und Elektronen	13
1.2.	Elektrische Ladung – Ladungsträger	14
1.2.1.	Neutrale Atome – Atomaufbau	15
1.2.2.	Ionen	16
1.3.	Elektrischer Strom	17
1.3.1.	Elektrische Leiter, Nichtleiter, Halbleiter	17
1.3.1.1.	Leiter – Leitungsmechanismus	17
1.3.1.2.	Nichtleiter	19
1.3.1.3.	Halbleiter	19
1.3.2.	Stromkreis	21
1.3.3.	Stromrichtung	21
1.3.3.1.	Richtung des Elektronenstromes	21
1.3.3.2.	Technische Stromrichtung	22
1.3.4.	Stromstärke	23
1.3.5.	Elektrizitätsmenge	24
1.3.6.	Stromdichte in Leitern	25
1.3.7.	Stromarten	26
1.3.8.	Wirkungen des elektrischen Stromes	27
1.4.	Elektrische Spannung	30
1.4.1.	Potential	32
1.4.2.	Spannungsrichtung	33
1.5.	Elektrischer Widerstand	35
1.5.1.	Spezifischer Widerstand	35
1.5.2.	Elektrischer Widerstand von Leitungen	37
1.5.3.	Leitwert und Leitfähigkeit	40
1.5.4.	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	43
<b>2.</b>	<b>Stromkreisgesetze</b>	
2.1.	Ohmsches Gesetz	51
2.1.1.	Strom-Spannungs-Kennlinien (Widerstandskennlinien)	52
2.2.	Reihenschaltung von Widerständen	55
2.2.1.	Unbelasteter Spannungsteiler	59
2.2.2.	Vorwiderstand	61
2.2.3.	Spannungsfall in Leitungen	62
2.3.	Parallelschaltung von Widerständen	65
2.4.	Kirchhoffsche Regeln	72
2.4.1.	Erste Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)	72
2.4.2.	Zweite Kirchhoffsche Regel (Maschenregel)	73

2.5.	Gemischte Schaltungen	76
2.5.1.	Erweiterte Reihenschaltung	76
2.5.2.	Erweiterte Parallelschaltung	77
2.5.3.	Belasteter Spannungsteiler	79
2.5.4.	Widerstandsbrücke	80
<b>3.</b>	<b>Arbeit und Leistung</b>	
3.1.	Elektrische Arbeit – Energie	83
3.1.1.	Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie	85
3.2.	Elektrische Leistung	86
3.3.	Energieumwandlung	88
3.3.1.	Einheiten für Energie und Arbeit – Umrechnungen	89
3.3.2.	Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme	89
3.4.	Wirkungsgrad	91
<b>4.</b>	<b>Spannungserzeuger</b>	
4.1	Arten und Prinzip der Spannungserzeugung	95
4.1.1.	Spannungserzeugung durch chemische Vorgänge	95
4.1.2.	Spannungserzeugung durch Wärme	96
4.1.3.	Spannungserzeugung durch Licht	97
4.1.4.	Spannungserzeugung durch Verformung von Kristallen	98
4.1.5.	Spannungserzeugung durch Induktion	98
4.1.6.	Spannungserzeugung durch Reibung	99
4.2.	Verhalten von Spannungserzeugern	99
4.2.1.	Quellenspannung und Klemmenspannung	99
4.2.1.1.	Leerlauf	99
4.2.1.2.	Belastung	100
4.2.1.3.	Kurzschluß	101
4.2.2.	Leistungsanpassung	101
4.3.	Schaltung von Spannungserzeugern	103
4.3.1.	Reihenschaltung	103
4.3.2.	Parallelschaltung	104
4.3.2.1.	Parallelschaltung von ungleichen Spannungsquellen	105
<b>5.</b>	<b>Chemische Wirkung des Stromes</b>	
5.1.	Elektrolyse	109
5.2	Technische Anwendung der Elektrolyse	110
5.3	Galvanische Elemente	111
5.3.1.	Primärelemente	112
5.3.1.1.	Zink-Kohle-Elemente	112
5.3.1.2.	Alkali-Braunstein-Zink-Elemente (Alkali-Mangan-Element)	113
5.3.1.3.	Quecksilberoxid-Knopfzellen	113
5.3.1.4.	Weitere Primärelemente	114
5.4.	Sekundärelemente	114
5.4.1.	Bleiakkumulator	114
5.4.1.1.	Aufbau des Bleiakkumulators	116

5.4.1.2.	Kapazität des Akkumulators .....	117
5.4.1.3.	Betrieb des Bleiakkumulators .....	117
5.4.2.	Stahlakkumulator .....	118
5.4.3.	Vergleich von Stahlakkumulatoren mit Bleiakkumulatoren .....	118
5.5.	Elektrochemische Korrosion .....	119
5.5.1.	Elektrochemische Korrosion durch Elementbildung .....	119
5.5.2	Streustromkorrosion .....	120
<b>6.</b>	<b>Magnetismus</b>	
6.1.	Erscheinungsformen des Magnetismus .....	121
6.1.1.	Magnete .....	121
6.1.2.	Kraftwirkung zwischen Magnetpolen .....	122
6.1.3.	Molekularmagnetismus .....	122
6.1.4.	Magnetfelder .....	123
6.2.	Größen und Einheiten des Magnetismus .....	126
6.2.1.	Magnetische Durchflutung (magnetische Urspannung) .....	126
6.2.2.	Magnetische Feldstärke .....	127
6.2.3.	Magnetischer Fluß .....	129
6.2.4.	Magnetische Flußdichte .....	129
6.3.	Magnetisches Verhalten von Werkstoffen .....	131
6.3.1.	Magnetischer Widerstand .....	131
6.3.2.	Permeabilität (magnetische Leitfähigkeit) .....	132
6.3.3.	Beziehungen zwischen magnetischer Flußdichte und Feldstärke .....	134
6.3.3.1.	Magnetisierungskennlinien .....	134
6.3.3.2.	Ummagnetisierungskennlinie (Hysteresekurve) .....	136
6.3.3.3.	Magnetwerkstoffe .....	138
6.4.	Kraftwirkungen im Magnetfeld .....	140
6.4.1.	Kraftwirkung zwischen zwei Magneten .....	140
6.4.2.	Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld .....	142
6.4.3.	Kraftwirkung zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern .....	144
6.5.	Induktionsvorgänge .....	147
6.5.1.	Induktion der Bewegung (Generatorprinzip) .....	147
6.5.2.	Induktion der Ruhe (Transformatorprinzip) .....	149
6.5.3.	Wirbelströme .....	152
6.5.3.1.	Wirbelströme infolge Induktion der Bewegung .....	152
6.5.3.2.	Wirbelströme infolge Induktion der Ruhe .....	153
6.5.4.	Selbstinduktion .....	154
6.5.5.	Induktivität .....	156
<b>7.</b>	<b>Elektrisches Feld und Kondensator</b>	
7.1.	Elektrisches Feld .....	159
7.1.1.	Elektrische Feldlinien .....	160
7.1.2.	Elektrische Feldstärke .....	161
7.1.3.	Influenz .....	163
7.1.4.	Abschirmung elektrischer Felder .....	164
7.1.5.	Dielektrische Polarisierung .....	165

7.2.	Kondensator	166
7.2.1.	Laden und Entladen des Kondensators	166
7.2.2.	Kapazität und Ladungsmenge	167
7.2.3.	Kondensatorarten	171
7.2.3.1.	Kondensatoren mit fester Kapazität	171
7.2.3.2.	Kondensatoren mit veränderlicher Kapazität	173
7.2.3.3.	Beschriftung von Kondensatoren	174
7.2.4.	Schaltung von Kondensatoren	175
7.2.4.1.	Parallelschaltung von Kondensatoren	175
7.2.4.2.	Reihenschaltung von Kondensatoren	175
<b>8.</b>	<b>Wechselstrom</b>	
8.1.	Grundbegriffe des Wechselstromes	181
8.1.1.	Arten von Wechselgrößen	182
8.1.2.	Erzeugung einer sinusförmigen Wechselspannung	183
8.1.3.	Kennwerte der Sinusspannung	185
8.1.3.1.	Amplitude, Augenblickswert	185
8.1.3.2.	Periode, Frequenz, Phase	186
8.1.3.3.	Kreisfrequenz	188
8.1.3.4.	Gleichrichtwert	189
8.1.3.5.	Effektivwert	190
8.1.3.6.	Grafische Darstellungen von Wechselspannungen und Wechselströmen	192
8.1.3.7.	Phasenverschiebung	193
8.2.	Wechselstromwiderstände	195
8.2.1.	Ohmscher Widerstand an Wechselspannung (Wirkwiderstand)	195
8.2.2.	Spule an Wechselspannung (induktiver Blindwiderstand und Wirkwiderstand)	197
8.2.2.1.	Ideale Spule (rein induktiver Blindwiderstand)	198
8.2.3.	Scheinwiderstand	200
8.2.4.	Kondensator an Wechselspannung (kapazitiver Blindwiderstand)	201
8.2.5.	Frequenzabhängigkeit der Wechselstromwiderstände	205
8.2.5.1.	Wirkwiderstand	205
8.2.5.2.	Induktiver Blindwiderstand	205
8.2.5.3.	Kapazitiver Blindwiderstand	206
8.3.	Schaltung von Wechselstromwiderständen	207
8.3.1.	Reihenschaltung von Wirkwiderstand und induktivem Widerstand (Spule)	207
8.3.1.1.	Zeigerbild	207
8.3.1.2.	Spannungsdreieck	209
8.3.1.3.	Widerstandsdreieck	210
8.3.2.	Reihenschaltung von Wirkwiderstand und kapazitivem Widerstand	213
8.3.2.1.	Zeigerbild	213
8.3.2.2.	Spannungsdreieck	213
8.3.2.3.	Widerstandsdreieck	214

8.3.3.	Reihenschaltung von Wirk-, induktivem und kapazitivem Widerstand .....	215
8.3.3.1.	Zeigerbild, Spannungsdreieck .....	215
8.3.3.2.	Widerstandsdreieck .....	216
8.3.4.	Parallelschaltung von Wirkwiderstand und kapazitivem Widerstand .....	217
8.3.4.1.	Zeigerbild, Spannungsdreieck .....	218
8.3.4.2.	Stromdreieck .....	219
8.3.4.3.	Leitwertdreieck .....	220
8.3.5.	Parallelschaltung von Wirk-, induktivem, kapazitivem Widerstand .....	221
8.3.5.1.	Zeigerbild, Stromdreieck .....	221
8.3.5.2.	Leitwertdreieck .....	222
8.4.	Resonanz im Wechselstromkreis .....	224
8.4.1.	Spannungsresonanz (Reihenresonanz) .....	224
8.4.2.	Resonanzfrequenz (Thomsonsche Schwingungsformel) .....	227
8.4.3.	Stromresonanz (Parallelresonanz) .....	228
8.5.	Leistung und Arbeit bei Wechselstrom .....	231
8.5.1.	Leistung bei Wirklast .....	231
8.5.2.	Leistung bei induktiver Belastung .....	232
8.5.3.	Leistung bei kapazitiver Belastung .....	233
8.5.4.	Leistung bei Belastung durch Wirkwiderstand und induktiven Widerstand .....	234
8.5.5.	Leistungsdreieck – Leistungsgleichungen .....	235
8.5.6.	Leistungsfaktor .....	237
8.5.7.	Arbeit bei Wechselstrom .....	238
<b>9.</b>	<b>Dreiphasenwechselstrom – Drehstrom</b>	
9.1.	Erzeugung und Darstellung .....	241
9.2.	Verkettungsschaltungen .....	242
9.2.1.	Sternschaltung .....	243
9.2.2.	Dreieckschaltung .....	247
9.3.	Leistung bei Drehstrom .....	249
9.4.	Drehfeld .....	252
9.5.	Vorteile von Drehstrom gegenüber Wechselstrom .....	253
<b>10.</b>	<b>Transformatoren</b>	
10.1.	Aufbau und Wirkungsweise .....	255
10.2.	Bauformen von Transformatoren .....	256
10.3.	Verhalten von Transformatoren bei Leerlauf und bei Belastung .....	257
10.4.	Spannungsübersetzung .....	258
10.5.	Stromübersetzung .....	260
10.6.	Übersetzungsverhältnis, Nennübersetzung .....	261
10.7.	Widerstandsübersetzung .....	262
10.8.	Leistung, Verluste und Wirkungsgrad .....	263
10.9.	Arten und Verwendung von Transformatoren .....	266

10.9.1.	Spartransformatoren	266
10.9.2.	Kleintransformatoren	267
10.9.2.1.	Sicherheits- oder Schutztransformatoren	267
10.9.2.2.	Spielzeugtransformatoren	268
10.9.2.3.	Klingeltransformatoren	268
10.9.2.4.	Trenntransformatoren	269
10.9.2.5.	Handleuchtentransformatoren	269
10.9.2.6.	Netzanschlußtransformatoren	269
10.9.3.	Meßwandler	269
10.9.3.1.	Spannungswandler	270
10.9.3.2.	Stromwandler	270

## **11. Elektrische Meßtechnik**

11.1.	Meßtechnische Grundbegriffe	273
11.1.1.	Analoge und digitale Meßgeräte	273
11.1.2.	Vor- und Nachteile von Analog- und Digitalanzeigen	273
11.2.	Analoge Meßgeräte	274
11.2.1.	Meßfehler, Genauigkeitsklassen	274
11.2.2.	Empfindlichkeit, Eigenverbrauch, innerer Widerstand	275
11.2.3.	Kennzeichnung von Meßgeräten	276
11.2.4.	Meßwerke von analogen Meßgeräten	277
11.2.4.1.	Dreheisenmeßwerk	277
11.2.4.2.	Drehspulmeßwerk	279
11.2.4.3.	Elektrodynamisches Meßwerk	281
11.2.4.4.	Elektronenstrahl-Oszilloskop	282
11.3.	Messen mit analogen Meßgeräten	286
11.3.1.	Strommessung	286
11.3.2.	Spannungsmessung	287
11.3.3.	Meßbereichserweiterung	288
11.3.3.1.	Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern	288
11.3.3.2.	Meßbereichserweiterung von Strommessern	290
11.3.4.	Widerstandsmessung	292
11.3.4.1.	Indirekte Widerstandsmessung mit Strom- und Spannungsmeßgerät	292
11.3.4.2.	Direkte Widerstandsmessung mit Widerstandsmesser	293
11.3.4.3.	Widerstandsmeßbrücke	293
11.3.5.	Leistungsmessung	294
11.3.5.1.	Leistungsmessung durch Strom- und Spannungsmessung	294
11.3.5.2.	Leistungsmessung mit Leistungsmesser	295
11.3.6.	Messung mit Vielfachmeßgeräten (Universal-Meßinstrumente)	296
11.4.	Digitale Meßgeräte	297
11.4.1.	Aufbau und Wirkungsweise von Digitalmeßgeräten	297
11.4.2.	Meßfehler, Genauigkeit	298
11.5.	Messen mit digitalen Meßgeräten	300

11.5.1.	Gleichspannungsmessung	300
11.5.2.	Gleichstrommessung	300
11.5.3.	Wechselspannungs- und Wechselstrommessung	300
11.5.4.	Widerstandsmessung	300
11.5.5.	Vielfachmeßgeräte (digitale Multimeter)	300
11.5.6.	Leistungsmessung	301
11.6.	Messen und darstellen mit dem Oszilloskop	301
11.6.1.	Spannungsdarstellung und -messung	301
11.6.2.	Stromdarstellung und -messung	302
11.6.3.	Frequenzmessung	302
11.6.4.	Darstellung von zwei Größen	303
<b>12.</b>	<b>Elektrische Unfälle und deren Verhütung</b>	
12.1.	Ursachen elektrischer Unfälle	305
12.2.	Unfallgefahren des elektrischen Stromes	306
12.3.	Maßnahmen bei Stromunfällen	308
12.4.	Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme	308
12.4.1.	Schutz gegen direktes Berühren	309
12.4.2.	Schutz bei indirektem Berühren	309
12.4.2.1.	Fehlerarten, Fehlerstrom, Fehler- und Berührungsspannung	310
12.4.3.	Schutzmaßnahmen ohne Schutzleiter	311
12.4.3.1.	Schutzisolierung	311
12.4.3.2.	Schutzkleinspannung	312
12.4.3.3.	Schutztrennung	313
12.4.4.	Schutzmaßnahmen mit Schutzleiter	314
12.4.4.1.	Leiterarten	314
12.4.4.2.	Netzformen	316
12.4.4.3.	Schutzmaßnahmen im TN-Netz	316
12.4.4.4.	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	318
12.4.4.5.	Schutzmaßnahmen im TT-Netz	319
12.4.4.6.	Schutzmaßnahmen im IT-Netz	320
<b>13.</b>	<b>Größen, Einheiten und Kurzzeichen</b>	
13.1.	Grundbegriffe	321
13.2.	Basisgrößen und Basiseinheiten	322
13.3.	Dezimale, Vielfache und Teile von Einheiten	323
13.4.	Gesetzlich abgeleitete Einheiten	324
<b>14.</b>	<b>Anhang</b>	
14.1.	Spezifischer Widerstand, el. Leitfähigkeit, Temperaturkoeffizient	327
<b>15.</b>	<b>Lösungen zu den Aufgaben</b>	329
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	355