

# Grundlagen der Elektrotechnik

Dipl.-Ing. Herbert Jüttemann

2. völlig überarbeitete Auflage  
von „Elektrotechnische Grundlagen  
für das Messen und Regeln“



**VDI-Verlag GmbH**  
Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure · Düsseldorf

# Inhalt

	Seite
<b>1. Die Grundgrößen der Elektrotechnik</b> .....	<b>1</b>
1.1. Die atomare Beschaffenheit der Elektrizität .....	1
1.1.1. Leiter .....	2
1.1.2. Nichtleiter .....	2
1.1.3. Halbleiter .....	2
1.2. Die Elektrizitätsmenge .....	3
1.3. Der elektrische Strom .....	4
1.4. Kreislauf des Stroms .....	7
1.5. Wirkungen des elektrischen Stroms .....	8
1.6. Die Stromarten .....	8
1.7. Die Spannung .....	9
1.8. Widerstand und Ohmsches Gesetz .....	10
1.9. Die elektrische Leistung .....	11
1.10. Die elektrische Arbeit .....	13
<b>2. Der elektrische Widerstand</b> .....	<b>15</b>
Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von verschie- denen Einflüssen .....	15
2.1. Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von seiner Form ...	15
2.2. Spezifischer Widerstand oder Leitfähigkeit .....	15
2.3. Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands ...	16
2.4. Einfluß der mechanischen Spannung auf den elektrischen Widerstand .....	19
2.5. Lichtabhängige Widerstände .....	20
2.6. Der Übergangswiderstand .....	20
Das Messen von Widerständen .....	21
2.7. Das Bestimmen des Widerstands durch eine Strom- und Spannungsmessung .....	21
2.8. Widerstandsmesser .....	21
2.9. Substitutionsverfahren .....	21
2.10. Widerstandsmeßbrücken .....	22

Ausführungsformen elektrischer Widerstände . . . . .	22
2.11. Festwiderstände . . . . .	22
2.12. Stetig stellbare Widerstände . . . . .	24
2.12.1. Spannungsteiler . . . . .	24
2.13. In Stufen verstellbare Widerstände . . . . .	24
2.14. Widerstände von Leitungen . . . . .	25
Kennwerte von Widerständen . . . . .	25
2.15. Widerstandswert . . . . .	25
2.16. Toleranz . . . . .	25
2.17. Kennzeichnung von Widerstandswert und Toleranz durch Farbringe . . . . .	26
2.18. Belastbarkeit . . . . .	26
Nichtlineare Widerstände . . . . .	27
2.19. Heißleiter . . . . .	27
2.20. Kaltleiter . . . . .	28
<b>3. Strömungsgesetze in Gleichstromkreisen . . . . .</b>	<b>31</b>
3.1. Richtungsregeln . . . . .	31
3.2. Der erste Kirchhoffsche Satz . . . . .	32
3.3. Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	33
3.4. Reihenschaltung von Widerständen . . . . .	34
3.5. Die Dreieck-Stern-Umwandlung . . . . .	37
3.6. Der Innenwiderstand einer Zweipolquelle . . . . .	38
3.7. Die Anpassung . . . . .	39
3.8. Reihenschaltung von Zweipolquellen . . . . .	41
3.9. Der zweite Kirchhoffsche Satz . . . . .	42
3.10. Parallelschaltung von Zweipolquellen . . . . .	45
3.11. Die Wheatstone-Brücke . . . . .	48
3.12. Der Kompensator . . . . .	51
<b>4. Gleichspannungsquellen . . . . .</b>	<b>53</b>
4.1. Galvanische Elemente . . . . .	53
4.1.1. Das Normalpotential . . . . .	53
4.1.2. Kupfer-Zink-Element . . . . .	53
4.1.3. Die Polarisation . . . . .	54
4.1.4. Korrosion . . . . .	56
4.2. Brennstoffzelle . . . . .	56
4.3. Der Sammler . . . . .	56

	Seite
4.4. Generatoren und Netzgleichrichter . . . . .	57
4.5. Thermoelektrizität . . . . .	57
4.6. Photoelektrizität . . . . .	60
<b>5. Das stationäre magnetische Feld . . . . .</b>	<b>61</b>
Dauermagnete . . . . .	61
5.1. Der molekulare Charakter des Magnetismus . . . . .	61
5.2. Die Magnetisierbarkeit . . . . .	61
5.3. Das magnetische Feld und die Feldlinien . . . . .	61
5.4. Abschirmen magnetischer Felder . . . . .	64
5.5. Die magnetische Induktion als physikalische Größe . . . . .	64
5.6. Der magnetische Fluß . . . . .	65
Elektromagnetische Erscheinungen . . . . .	66
5.7. Stromdurchflossener Leiter im magnetischen Feld . . . . .	66
5.8. Elektromagnet . . . . .	67
5.9. Die magnetische Feldstärke . . . . .	68
5.10. Die magnetische Hysteresis . . . . .	71
5.11. Der magnetische Kreis . . . . .	74
5.12. Unterschiedliche Werkstoffe im Spulenquerschnitt . . . . .	77
5.13. Streuung . . . . .	78
5.14. Magnetische Felder vom Strom durchflossener Leiter . . . . .	79
5.14.1. Das Feld eines Einzelleiters . . . . .	79
5.14.2. Das magnetische Feld einer Stromschleife . . . . .	80
5.14.3. Das magnetische Feld einer Paralleldrahtleitung . . . . .	81
5.14.4. Das magnetische Feld einer Koaxialleitung . . . . .	82
5.15. Die Kraftwirkung paralleler stromdurchflossener Leiter . . . . .	82
5.16. Der Hall-Effekt . . . . .	83
<b>6. Anzeigende Meßgeräte . . . . .</b>	<b>85</b>
6.1. Weicheisen-Meßgerät . . . . .	85
6.2. Drehspul-Meßgerät . . . . .	87
6.3. Stromstärkemessung . . . . .	89
6.3.1. Strommesser-Widerstand . . . . .	89
6.3.2. Erweitern des Meßbereichs . . . . .	90
6.3.3. Meßbedingung . . . . .	91
6.4. Die Spannungsmessung . . . . .	91
6.4.1. Meßprinzip . . . . .	91
6.4.2. Meßbereich-Erweiterung . . . . .	92
6.4.3. Meßbedingung . . . . .	92

6.5.	Kreuzspul-Meßgerät . . . . .	93
6.6.	Leistungsmesser . . . . .	94
6.7.	Anzeigefehler . . . . .	98
6.8.	Angaben auf Meßgeräten . . . . .	98
<b>7.</b>	<b>Das langsam veränderliche magnetische Feld . . . . .</b>	<b>99</b>
7.1.	Mathematische Vorbetrachtungen . . . . .	99
7.2.	Induzierte Spannung in einer Leiterschleife . . . . .	102
7.3.	Induktion durch Schneiden von Kraftlinien . . . . .	105
7.4.	Die Selbstinduktion . . . . .	107
7.5.	Durch ein Fremdfeld induzierter Strom in einem geschlossenen Stromkreis . . . . .	115
7.6.	Magnetisch verkettete Stromkreise ohne Streuung . . . . .	116
7.7.	Magnetisch verkettete Stromkreise mit Streuung . . . . .	118
7.8.	Wirbelströme . . . . .	121
7.9.	Die Energie eines magnetischen Felds . . . . .	123
7.10.	Die Zugkraft eines Magneten . . . . .	125
7.11.	Ausführungsformen von Magneten . . . . .	125
<b>8.</b>	<b>Das elektrostatische Feld . . . . .</b>	<b>127</b>
8.1.	Strömungsfeld und elektrisches Feld . . . . .	127
8.2.	Kräfte im elektrostatischen Feld . . . . .	128
8.3.	Die elektrische Feldstärke . . . . .	128
8.4.	Das elektrische Feld zwischen zwei ebenen Platten . . . . .	130
8.5.	Die Kapazität . . . . .	132
8.6.	Die elektrische Verschiebungsdichte . . . . .	132
8.7.	Beziehung zwischen elektrischer Feldstärke und Verschiebungs- dichte . . . . .	133
8.8.	Vergleich des elektrostatischen Felds mit dem magnetischen Feld . . . . .	135
8.9.	Bestimmung der Kapazität . . . . .	135
8.9.1.	Kapazität eines Plattenkondensators . . . . .	135
8.9.2.	Kapazität eines Zylinderkondensators . . . . .	136
8.9.3.	Kapazität einer Paralleldrahtleitung . . . . .	136
8.10.	Schaltung von Kondensatoren . . . . .	137
8.10.1.	Parallelschaltung . . . . .	137
8.10.2.	Reihenschaltung . . . . .	137

	Seite
8.11. Die allgemeine Kondensatorgleichung . . . . .	137
8.12. Die Energie des elektrischen Felds . . . . .	138
8.13. Richtungszuordnung von Spannung und Strom im Kondensator . . . . .	138
8.14. Influenzwirkungen . . . . .	139
8.15. Ausführungsformen von Kondensatoren . . . . .	140
8.15.1. Drehkondensatoren . . . . .	141
8.15.2. Trimmer . . . . .	141
8.15.3. Keramik-Kondensatoren . . . . .	142
8.15.4. Papier-Kondensatoren . . . . .	142
8.15.5. Metallpapier-Kondensatoren . . . . .	142
8.15.6. Elektrolyt-Kondensatoren . . . . .	142
8.15.7. Schaltkapazitäten . . . . .	143
<b>9. Grundgesetze des Wechselstroms . . . . .</b>	<b>145</b>
Die Wechselstromgrößen . . . . .	145
9.1. Erzeugen einer sinusförmigen Wechselspannung . . . . .	145
9.2. Das Linien- und Zeigerdiagramm . . . . .	148
9.3. Die Phasenlage . . . . .	149
9.4. Zusammensetzung sinusförmiger und gleichfrequenter Spannungswellen . . . . .	150
9.5. Der Effektivwert . . . . .	152
9.6. Das Effektivwert-Zeigerbild . . . . .	154
Einzelne Widerstände im Wechselstromkreis . . . . .	156
9.7. Ohmscher Widerstand in einem Wechselstromkreis . . . . .	156
9.8. Induktivität im Wechselstromkreis . . . . .	157
9.9. Verzerrung der Stromwelle auf Grund der Hysterese . . . . .	162
9.10. Die Kapazität im Wechselstromkreis . . . . .	163
Reihenschaltungen von Widerständen im Wechselstromkreis . . . . .	165
9.11. Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Induktivität . . . . .	165
9.12. Einführung der komplexen Rechnung . . . . .	167
9.13. Reihenschaltung von Kondensator und ohmschem Widerstand . . . . .	169
9.14. Der Reihenschwingkreis . . . . .	171
9.14.1. Die Resonanzkennlinie . . . . .	172
Parallelschaltung von Widerständen im Wechselstromkreis . . . . .	173
9.15. Parallelschaltung von ohmschem und induktivem Widerstand . . . . .	173
9.16. Parallelschaltung von ohmschem und kapazitivem Widerstand . . . . .	174
9.17. Der Parallelschwingkreis . . . . .	175
Die Wechselstromleistung . . . . .	177

	<b>Seite</b>
<b>10. Der Transformator</b> .....	181
10.1. Die Transformatorgleichungen mit Effektivwerten .....	181
10.2. Das Bilden der Hauptspannungen .....	183
10.3. Die Übersetzung des Transformators .....	185
10.4. Widerstandstransformation .....	187
10.5. Das Ersatzschaltbild des Transformators .....	188
10.6. Aufstellen des Spannungsdiagramms des Transformators .....	191
10.7. Durchgangsleistung .....	192
10.8. Leistungsverluste .....	192
10.9. Der Spartransformator .....	193
10.10. Ausführungsarten von Transformatoren .....	194
<b>11. Elektronenröhren</b> .....	195
11.1. Allgemeines .....	195
11.2. Die Diode .....	195
11.3. Die Triode .....	196
11.4. Kaltkathodenröhren .....	197
11.5. Photo-Diode .....	198
11.6. Elektronenstrahlröhren .....	198
11.7. Das magische Auge .....	200
<b>12. Halbleitung</b> .....	201
12.1. Vorgang der Halbleitung .....	201
12.2. Der pn-Übergang .....	202
12.3. Halbleiter Gleichrichter .....	206
12.4. Gleichrichterschaltungen .....	208
12.4.1. Einwegschaltung .....	208
12.4.2. Zweiwegschaltung .....	210
12.4.3. Brückenschaltung .....	211
12.4.4. Welligkeit .....	212
12.5. Die Zenerdiode .....	213
12.6. Der Transistor .....	213
12.6.1. Wirkungsweise .....	213
12.6.2. Eigenschaften .....	215
12.7. Vergleich zwischen Elektronenröhre und Transistor .....	217
12.8. Der Thyristor .....	217
12.8.1. Aufbau .....	217

	Seite
<b>13. Der Drehstrom</b> .....	221
13.1. Entstehung .....	221
13.2. Die Sternschaltung .....	222
13.3. Dreieckschaltung .....	224
13.4. Leistung .....	225
<b>14. Elektromotoren</b> .....	227
14.1. Erzeugen von Drehfeldern .....	227
14.2. Der Drehstrom-Asynchronmotor .....	229
14.3. Der Synchronmotor .....	230
14.4. Wechselstrommotoren mit Hilfsphase .....	230
14.5. Gleichstrommotoren .....	232
<b>15. Schaltvorgänge</b> .....	235
15.1. Der Beharrungszustand .....	235
15.2. Die e-Funktion .....	235
15.3. Anlegen einer Kapazität an eine Gleichspannung .....	237
15.4. Anlegen einer Induktivität an eine Gleichspannung .....	237
15.5. Anlegen eines Reihenschwingkreises an eine Gleichspannung ..	238
15.6. Anlegen einer Induktivität an eine Wechselspannung .....	238
<b>Register</b> .....	241