

Inhalt

Vorwort	5
Inhaltsverzeichnis	6

I. Grundgesetze des Wechselstromes

1. Einleitung	11
2. Stromarten	11
a) Gleichstrom	11
b) Zerhackter Gleichstrom	12
c) Kommutierter Gleichstrom	13
d) Dreieckförmiger Wechselstrom	13
e) Sinusförmiger Wechselstrom	14
3. Die zweckmäßigste Kurvenform des Wechselstromes	15
4. Die sinusförmige Wechselspannung	16
a) Erzeugung einer sinusförmigen Wechsel-EMK durch Drehen einer Leiterschleife im homogenen Magnetfeld	16
b) Erzeugung einer EMK mit Hilfe einer sinusförmig schwingenden Tauchspule	23
c) Zusammenfassung zur Erzeugung einer sinusförmigen EMK in einer Spule	26
5. Der sinusförmige Wechselstrom	27
a) Ohmscher Widerstand	28
b) Induktiver Widerstand	30
c) Kapazitiver Widerstand	32
d) Gegeninduktiver Widerstand	35
6. Meßwerte des Wechselstromes	37
a) Der arithmetische Mittelwert	38
b) Der quadratische Mittelwert und der Effektivwert	40
7. Der Wechselstromkreis mit Reihen- und Parallelwiderständen	42
a) Reihenschaltung	43
b) Parallelschaltung	50
8. Leistung und Arbeit des Wechselstromes	57
a) Leistung	57
b) Arbeit	62

II. Symbolische Rechnung

A. Grundlagen	65
1. Komplexe Zahlen	65
a) Reelle Zahlen	65
b) Imaginäre Zahlen	65
c) Komplexe Zahlen	65
2. Die Gaußsche Zahlenebene	65
3. Darstellung eines Zeigers in der Gaußschen Zahlenebene	66
a) Durch eine komplexe Zahl	66
b) Die trigonometrische Darstellungsform	67
c) Die Exponentialform	67
d) j als Symbol einer Drehung	70
4. Symbolische Darstellung von Wechselstromgrößen mit konstanter Amplitude	72
a) Drehzeiger	72
b) Übergang vom Drehzeiger zur trigonometrischen Darstellung	73
c) Differentiation eines Drehzeigers nach der Zeit	76
d) Integration eines Drehzeigers	76
B. Praktische Anwendung der symbolischen Rechnung auf Wechselgrößen mit konstanter Amplitude	77
1. Vorbemerkungen	77
2. Einzelwiderstände	78
a) Rein Ohmscher Widerstand	78
b) Rein induktiver Widerstand	78
c) Rein kapazitiver Widerstand	79
d) Gegeninduktiver Widerstand	80
3. Zusammengesetzte Widerstände	80
a) Vorbemerkungen	80
b) Ohmscher und induktiver Widerstand in Reihe	80
c) Ohmscher und kapazitiver Widerstand in Reihe	85
d) Ohmscher, induktiver und kapazitiver Widerstand in Reihe	91
e) Spule mit Verlusten und Kondensator parallel	97
4. Induktive Kopplung zweier Stromkreise (allgemeiner Transformator)	105
a) Die Grundgleichungen	105
b) Umformung der Grundgleichungen	111
c) Ersatzschaltung des Transformators	113
d) Bemerkungen zu den Strom- und Spannungsbezugspfeilen	123
e) Formelzusammenstellung für den allgemeinen Transformator	126
f) Formelzusammenstellung für die Ersatzschaltung des Transformators	126
5. Der eisengeschlossene Transformator	127
a) Vorbemerkungen	127
b) Leerlauf	128

c) Belastung	132
d) Zusammenhang zwischen der Scheinleistung und den Kern- abmessungen	134

III. Erweiterte symbolische Rechnung

A. Grundlagen	138
1. Vorbemerkungen	138
2. Der Drehstrekker	138
3. Die Zeitfunktion als Summe von zwei Drehstreckern	147
a) Die Summe \mathfrak{A}_1 und \mathfrak{A}_2	147
b) Die Differenz von \mathfrak{A}_1 und \mathfrak{A}_2	148
4. Differentiation und Integration eines Drehstreckers	150
a) Differentiation	150
b) Integration	151
5. Anwendung des Drehstreckers auf Einzelwiderstände	151
a) Vorbemerkungen	151
b) Ohmscher Widerstand	152
c) Induktiver Widerstand	152
d) Kapazitiver Widerstand	152
e) Gegeninduktiver Widerstand	153
6. Rechenschema für die Berechnung von Schaltvorgängen	153
a) Voraussetzung	153
b) Spannungsgleichung	154
c) Beseitigung der Amplituden	154
d) Ausrechnung der komplexen Winkelgeschwindigkeiten	155
e) Die Drehstrekker	156
f) Der zeitliche Verlauf	157
g) Bestimmung der Amplituden	158
B. Anwendungen	159
1. Ein Kondensator wird über einen Widerstand an eine Gleichspannung geschaltet	159
2. Ein auf die Spannung U aufgeladener Kondensator wird über einen Widerstand entladen	161
3. Ein Kondensator mit Parallelwiderstand wird über einen Widerstand an eine Gleichspannung gelegt	162
4. Eine Selbstinduktion mit Widerstand wird an eine Gleichspannung geschaltet	167
5. Eine vom Gleichstrom $I = \frac{U}{R}$ durchflossene Selbstinduktion wird kurz- geschlossen	168
6. Eine Selbstinduktion mit dem Widerstand R_1 , zu der der Widerstand R_2 parallel liegt, wird über den Widerstand R_3 an eine Gleichspannung geschaltet	170

7. Ein Kondensator wird über eine Selbstinduktion mit Widerstand an eine Gleichspannung gelegt	175
a) Der periodische Fall	177
b) Der aperiodische Fall	180
c) Der aperiodische Grenzfall	181
8. Ein Kondensator wird über eine Selbstinduktion mit Widerstand entladen	188
a) Periodischer Entladungsfall	191
b) Aperiodischer Fall	191
c) Aperiodischer Grenzfall	192
9. Eine Wechselspannung wird auf einen Reihenschwingkreis geschaltet	200
10. Stromverdrängung bei hohen Frequenzen (Skineffekt)	212
a) Vorbemerkungen	212
b) Ansatz	213
c) Lösung	214
d) Leistungsverlust im Leiter	219
e) Effektive Eindringtiefe, wirksamer Widerstand und Widerstands- erhöhung	221

IV. Mehrwellige Wechselströme

A. Harmonische Analyse	224
1. Grundsätzlicher Aufbau mehrwelliger Wechselströme	224
a) Allgemeine Darstellung	224
b) Beispiel eines verzerrten Wechselstromes	225
2. Analyse eines verzerrten Wechselstromes	227
a) Grundsätzliche Ermittlung der Konstanten	227
b) Praktische Ermittlung der Konstanten aus einer zeichnerisch vor- liegenden Wechselstromkurve	234
c) Analyse einer formal gegebenen periodischen Strom- oder Spannungs- kurve	264
B. Das Verhalten mehrwelliger Ströme in frequenzabhängigen Stromkreisen	273
1. Vorbemerkungen	273
a) Frequenzspektrum	274
b) Effektivwert	275
c) Klirrfaktor	277
d) Leistung	277
2. Die Spannung an Widerständen mit verzerrten Wechselströmen . . .	278
a) Ohmscher und induktiver Widerstand in Reihe	279
b) Gleichstromwiderstand R_0 und beliebiger komplexer Widerstand R_n	283

V. Gemodelte Wechselströme

Vorbemerkungen	286
A. Amplitudengemodelte Schwingung	286
1. Der zeitliche Verlauf	286
2. Zeigerdarstellung	288
3. Das Frequenzspektrum	289
B. Frequenz- und Phasenmodelung	290
1. Frequenzmodelung	290
2. Phasenmodelung	292
3. Darstellung der periodischen Phasenschwankung durch Pendelzeiger .	296
4. Fourieranalyse der Funktion $\sin(m \cdot \sin x)$ und $\cos(m \cdot \sin x)$	299
5. Der Pendelzeiger wird durch Drehzeiger dargestellt	304
6. Frequenzspektrum der frequenz- und phasengemodelten Schwingung .	307

VI. Mathematischer Anhang

1. Die binomische Reihe	310
2. Einige Reihenentwicklungen	313
3. Exponentialreihe	316
4. e^x-Reihe	318
5. e^{ix}-Reihe	319
6. Kosinus- und Sinusreihe	320
7. Reihenentwicklung der Funktion des Pendelzeigers $\delta = e^{j m \cdot \sin x}$	321
a) Reihenentwicklung mit Hilfe der e -Funktion	321
b) Umwandlung der Potenzen von $\sin x$ in Vielfache des Winkels .	321
c) Ordnen der Koeffizienten der $\sin nx$ - und $\cos nx$ -Glieder	323
d) Einführung der Besselfunktion	324
e) Darstellung von $e^{j m \cdot \sin x}$ durch Besselfunktionen	324
f) Zerlegung von $e^{j m \cdot \sin x}$ in zwei harmonische Reihen	325
g) Numerische Berechnung der Besselfunktion $J_n(m)$	325
h) Einige Nullstellen der Besselfunktionen	328