

Heinz Ulrich Seidel  
Edwin Wagner

# Allgemeine Elektrotechnik

**Band 2**



Carl Hanser Verlag München Wien

# Inhaltsverzeichnis

## Band 1

- 1 Vorgänge in elektrischen Netzwerken bei Gleichstrom
  - 1.1 Grundbegriffe und Grundgesetze
  - 1.2 Berechnungsmethoden elektrischer Gleichstromkreise
  - 1.3 Elektrothermische Energiewandlungsvorgänge in Gleichstromkreisen
  
- 2 Elektrische Erscheinungen in räumlichen Leitern und Nichtleitern
  - 2.1 Die Darstellung des elektrischen Feldes durch ein Skalarfeld, das Potential
  - 2.2 Das stationäre elektrische Strömungsfeld
  - 2.3 Das elektrostatische Feld, elektrische Erscheinungen in Nichtleitern
  - 2.4 Vorgänge bei zeitlichen Änderungen der Feldgrößen im Nichtleiter, Verschiebungsstrom
  
- 3 Magnetische Feldanordnungen, technischer Magnetkreis
  - 3.1 Kraftwirkungen, Magnetflußdichte  $B$ , Magnetfluß  $\Phi$
  - 3.2 Durchflutungsgesetz, magnetische Feldstärke  $H$  und magnetische Spannung  $V$
  - 3.3 Stoffe im Magnetfeld
  - 3.4 Berechnung technischer Magnetkreise
  - 3.5 Elektromagnetische Induktion
  - 3.6 Selbstinduktion, Induktivität  $L$
  - 3.7 Gegeninduktivität  $M$ , Gegeninduktion
  - 3.8 Kräfte im magnetischen Feld
  - 3.9 Gleichstrommaschinen

## Band 2

Vorwort	V
4 Wechselstromnetzwerke bei einwelliger Erregung	1
4.1 Kenngrößen und Darstellung sinusförmiger Zeitfunktionen	2
4.1.1 Kenngrößen sinusförmiger Zeitfunktionen	2
4.1.2 Darstellung im Liniendiagramm, Polardiagramm und Zeigerdiagramm	4

4.2	Analyse von Wechselstromschaltungen im Zeitbereich. . . . .	5
4.2.1	Kirchhoffsche Sätze zur Netzwerkberechnung. . . . .	5
4.2.2	Schaltelemente $R, L, C$ an Wechselspannung. . . . .	6
4.2.3	Addition zweier Wechselgrößen. . . . .	11
4.2.4	Zusammengesetzte Schaltung. . . . .	13
4.2.5	Leistungsumsatz im passiven Zweipol. . . . .	17
4.3	Netzwerkberechnung mittels komplexer Rechnung. . . . .	20
4.3.1	Darstellung der Sinusfunktion durch Exponential- funktionen, Eulersche Formel. . . . .	20
4.3.2	Symbolische Darstellung der Spannungs- und Stromzeit- funktionen durch Drehzeiger und Festzeiger. . . . .	22
4.3.3	Widerstandsoperator $Z$ , Leitwertoperator $Y$ . . . . .	24
4.3.4	Rechenschema "Symbolische Methode". . . . .	26
4.3.5	Beispiele zur Analyse von Wechselstromschaltungen. . . . .	27
4.3.6	Zweipol-Ersatzschaltungen von Zusammenschaltungen, komplexe Leistungsbeziehungen. . . . .	34
4.4	Ortskurven. . . . .	40
4.4.1	Ortskurven von Reihen- und Parallelschaltungen von Grundzweipolen. . . . .	40
4.4.2	Inversionsätze für Gerade und Kreis. . . . .	41
4.5	Schaltungen mit frequenzselektiven Eigenschaften. . . . .	46
4.5.1	Ä-C-Schaltungen. . . . .	46
4.5.2	Reihenresonanzkreis. . . . .	49
4.5.3	Parallelresonanzkreis. . . . .	55
4.5.4	Technischer Parallelresonanzkreis. . . . .	57
4.5.5	Frequenzverhalten technischer Schaltelemente. . . . .	61
4.6	Brückenschaltungen. . . . .	64
4.6.1	Phasendrehbrücke. . . . .	64
4.6.2	Abgleichbedingungen von Wechselstrommeßbrücken. . . . .	66
4.6.3	Resonanzmeßbrücke. . . . .	67
4.6.4	Induktive (kapazitive) Vergleichsbrücke. . . . .	69
4.6.5	Induktivitätsmeßbrücke nach Maxwell-Wien. . . . .	72
4.7	Schaltungen mit Gegeninduktivitäten. . . . .	77
4.7.1	Spannungs-Stromzusammenhang magnetisch verkoppelter Spulen. . . . .	77
4.7.2	Transformatorprinzip. . . . .	78
4.7.3	Spartransformator. . . . .	81
4.7.4	Gegeninduktivitätsmeßbrücke. . . . .	82
4.7.5	Resonanzverfahren. . . . .	84

4.8	Drosselspule . . . . .	85
4.8.1	Vorschaltgerät, Speicherdrossel . . . . .	85
4.8.2	Verluste im Eisenkern . . . . .	86
4.8.3	Ermittlung der Elemente der Ersatzschaltung . . . . .	90
4.8.4	Dimensionierungsrichtlinien . . . . .	92
4.9	Transformator . . . . .	97
4.9.1	Aufbau und Wirkprinzip . . . . .	97
4.9.2	Bemessungsgleichungen . . . . .	99
4.9.3	Ersatzschaltbild des realen Transformators . . . . .	100
4.9.4	Bestimmung der Elemente des Ersatzschaltbildes . . . . .	103
4.9.5	Vereinfachtes Ersatzschaltbild . . . . .	105
4.10	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) . . . . .	107
4.10.1	Vierleiternetz . . . . .	107
4.10.2	Verbraucherschaltungen . . . . .	110
4.10.3	Leistungsmessung im Drehstromsystem . . . . .	114
4.11	Asynchronmotor . . . . .	117
4.11.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	117
4.11.2	Betriebskennlinien des Asynchronmotors . . . . .	120
5	Grundzüge der Vierpoltheorie . . . . .	124
5.1	Grundbegriffe, Vierpolgleichungen und Vierpolparameter . . . . .	124
5.1.1	Der Vierpolbegriff, die Vierpolgleichungen . . . . .	124
5.1.2	Die Bestimmung der Vierpolparameter . . . . .	131
5.1.3	Vierpolarten . . . . .	135
5.2	Elementarvierpole und Vierpolzusammenschaltungen . . . . .	138
5.2.1	Die Vierpolmatrizen aktiver und passiver Elementarvierpole . . . . .	138
5.2.2	Zusammenschaltung von Vierpolen . . . . .	143
5.2.3	Beispiele zur Vierpoltheorie . . . . .	152
5.3	Die Betriebsparameter von Vierpolen . . . . .	163
5.3.1	Die Eingangs- und Ausgangsimpedanz eines belasteten Vierpols . . . . .	164
5.3.2	Spannungs-, Strom- und Wirkleistungsverstärkung . . . . .	165
5.4	Die Wellenparameter von Vierpolen . . . . .	171
5.4.1	Der Wellenwiderstand eines Vierpols . . . . .	171
5.4.2	Das Vierpolübertragungsmaß . . . . .	173
5.4.3	Die Vierpolgleichungen in Wellenparameterform . . . . .	174

6	Die Berechnung von Netzwerken bei nichtsinusförmiger periodischer Erregung . . . .	176
6.1	Kennwerte und Darstellung periodischer nichtsinusförmiger Wechselgrößen ..	176
6.1.1	Die Darstellung periodischer Wechselgrößen durch Fourier-Reihen . . . .	176
6.1.2	Die Kennwerte der Wechselstromtechnik für nichtsinusförmige periodische Wechselgrößen. . . . .	189
6.2	Behandlung linearer Netze bei nichtsinusförmiger periodischer Erregung . . . .	193
6.3	Der Einfluß nichtlinearer Elemente auf sinusförmige Wechselgrößen, nichtlineare Verzerrungen. . . . .	199
7	Die Analyse von Vorgängen in linearen Netzwerken bei nichtsinusförmiger nichtperiodischer Erregung. . . . .	205
7.1	Die Anwendung der Fourier-Transformation zur Netzwerkanalyse. . . . .	205
7.1.1	Die Grundgleichungen und Eigenschaften der Fourier-Transformation ..	205
7.1.2	Spektren technisch üblicher Funktionen. . . . .	210
7.1.3	Die Berechnung von Systemen mit Hilfe der Fourier-Transformation . . .	220
7.2	Die Berechnung linearer Systeme unter Anwendung der Laplace-Transformation. . . . .	226
7.2.1	Definitionsgleichungen der Laplace-Transformation. . . . .	226
7.2.2	Grundeigenschaften der Laplace-Transformation. . . . .	227
7.2.3	Die praktische Ausführung der Laplace-Transformation und ihrer Umkehrung. . . . .	229
7.2.4	Die Anwendung der Laplace-Transformation zur Analyse linearer zeitinvarianter Netzwerke mit konzentrierten Elementen. . . . .	235
7.2.5	Die Berechnung des Übertragungsverhaltens linearer Systeme aus Sprungantwort und Gewichtsfunktion, die Übertragungsfunktion. . . . .	242
7.2.6	Eigenschaften und Darstellung der Übertragungsfunktion. . . . .	248
7.3	Die Methode der Zustandsvariablen. . . . .	257
8	Elektrische Vorgänge auf Leitungen . . . . .	273
8.1	Leitungsgleichungen. . . . .	273
8.1.1	Ersatzschaltbild des Leitungselementes. . . . .	273
8.1.2	Leitungsgleichungen. . . . .	276
8.1.3	Leitungsgleichungen bei sinusförmigen Zeitfunktionen. . . . .	277
8.1.4	Wellenwiderstand und Ausbreitungskonstante. . . . .	278
8.1.5	Momentanwerte von Spannung und Strom. . . . .	279
8.1.6	Ermittlung der Integrationskonstanten $U_{-1}$ , $U_{-2}$ . . . . .	282

8.1.7	Beispiele zur Anwendung der Leitungsgleichungen. . . . .	285
8.1.8	Leitungsnachbildungen. . . . .	287
8.2	Die verlustiose Leitung. . . . .	292
8.2.1	Eigenschaften der verlustiosen Leitung. . . . .	292
8.2.2	Eingangswiderstand, Folgerungen. . . . .	293
8.2.3	Spannungsverteilung auf der Leitung. . . . .	295
8.3	Ausgleichsvorgänge auf verlustiosen Leitungen. . . . .	300
8.3.1	Reflexionsfaktor am Leitungsanfang und Leitungsende. . . . .	300
8.3.2	Bildfunktionen $U(xj)$ , $I(xj>)$ für die verlustiose Leitung. . . . .	303
8.3.3	Anschalten einer Gleichspannung. . . . .	303
	Literaturverzeichnis. . . . .	313
	Sachwortverzeichnis. . . . .	316