

**Elektrotechnik**

H. Clausert, K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann, H.-P. Beck

**Netzwerke**

G. Wiesemann

<b>1 Elektrische Stromkreise</b>	<b>1</b>
1.1 Elektrische Ladung und elektrischer Strom	1
1.1.1 Elementarladung – 1.1.2 Elektrischer Strom – 1.1.3 1. Kirchhoff'scher Satz (Satz von der Erhaltung der Ladungen: Strom-Knotengleichung)	
1.2 Energie und elektrische Spannung; Leistung	2
1.2.1 Definition der Spannung – 1.2.2 Energieaufnahme eines elektrischen Zweipols – 1.2.3 Elektrisches Potenzial – 1.2.4 Spannungsquellen – 1.2.5 2. Kirchhoff'scher Satz (Satz von der Erhaltung der Energie: Spannungs-Maschengleichung)	
1.3 Elektrischer Widerstand	4
1.3.1 Ohm'sches Gesetz – 1.3.2 Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit – 1.3.3 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	
<b>2 Wechselstrom</b>	<b>7</b>
2.1 Beschreibung von Wechselströmen und -spannungen	7
2.2 Mittelwerte periodischer Funktionen	8
2.3 Wechselstrom in Widerstand, Spule und Kondensator	8
2.4 Zeigerdiagramm	9
2.5 Impedanz und Admittanz	10
2.6 Kirchhoff'sche Sätze für die komplexen Effektivwerte	10
<b>3 Lineare Netze</b>	<b>10</b>
3.1 Widerstandsnetze	10
3.1.1 Gruppenschaltungen – 3.1.2 Brückenschaltungen – 3.1.3 Stern-Dreieck-Umwandlung	
3.2 Strom- und Spannungsberechnung in linearen Netzen	13
3.2.1 Der Überlagerungssatz (Superpositionsprinzip) – 3.2.2 Ersatz-Zweipolquellen – 3.2.3 Maschen- und Knotenanalyse	
3.3 Vierpole	19
3.3.1 Vierpolgleichungen in der Leitwertform – 3.3.2 Vierpolgleichungen in der Widerstandsform – 3.3.3 Vierpolgleichungen in der Kettenform	
<b>4 Schwingkreise</b>	<b>20</b>
4.1 Phasen- und Betragsresonanz	20
4.2 Einfache Schwingkreise	20
4.2.1 Reihenschwingkreis – 4.2.2 Parallelschwingkreis – 4.2.3 Spannungsüberhöhung am Reihenschwingkreis – 4.2.4 Bandbreite	
4.3 Parallelschwingkreis mit Wicklungsverlusten	22
4.4 Reaktanzzweipole	22
4.4.1 Verlustloser Reihen- und Parallelschwingkreis – 4.4.2 Kombinationen verlustloser Schwingkreise	
<b>5 Leistung in linearen Schaltungen</b>	<b>24</b>
5.1 Leistung in Gleichstromkreisen	24
5.1.1 Wirkungsgrad – 5.1.2 Leistungsanpassung – 5.1.3 Belastbarkeit von Leitungen	
5.2 Leistung in Wechselstromkreisen	25
5.2.1 Wirk-, Blind- und Scheinleistung – 5.2.2 Wirkleistungsanpassung	
<b>6 Der Transformator</b>	<b>27</b>
6.1 Schaltzeichen	27
6.2 Der eisenfreie Transformator	27
6.2.1 Transformator-Gleichungen – 6.2.2 Verlustloser Transformator – 6.2.3 Verlust- und stromfreier Transformator – 6.2.4 Idealer Transformator – 6.2.5 Streufaktor und Kopplungsfaktor – 6.2.6 Vierpolersatzschaltungen – 6.2.7 Zweipolersatzschaltung	

6.3	Transformator mit Eisenkern .....	29
<b>7</b>	<b>Drehstrom</b> .....	29
7.1	Spannungen symmetrischer Drehstromgeneratoren .....	29
7.2	Die Spannung zwischen Generator- und Verbrauchersternpunkt .....	31
7.3	Symmetrische Drehstromsysteme (symmetrische Belastung symmetrischer Drehstromgeneratoren) .....	31
7.4	Asymmetrische Belastung eines symmetrischen Generators .....	32
	7.4.1 Verbraucher-Sternschaltung – 7.4.2 Verbraucher-Dreieckschaltung	
7.5	Wirkleistungsmessung im Drehstromsystem (Zwei-Leistungsmesser-Methode, Aronschaltung) .....	33
<b>8</b>	<b>Nichtlineare Schaltungen</b> .....	33
8.1	Linearität .....	33
8.2	Nichtlineare Kennlinien .....	34
	8.2.1 Beispiele nichtlinearer Strom-Spannungs-Kennlinien von Zweipolen –	
	8.2.2 Verstärkungskennlinie des Operationsverstärkers	
8.3	Graphische Lösung durch Schnitt zweier Kennlinien .....	35
	8.3.1 Arbeitsgerade und Verbraucherkenlinie – 8.3.2 Stabile und instabile Arbeitspunkte einer Schaltung mit nichtlinearem Zweipol – 8.3.3 Rückkopplung von Operationsverstärkern	
8.4	Graphische Zusammenfassung von Strom-Spannungs-Kennlinien ....	38
	8.4.1 Reihenschaltung – 8.4.2 Parallelschaltung	
8.5	Lösung durch abschnittweises Linearisieren .....	39
<i>Felder</i>		
<b>H. Clausert</b>		
<b>9</b>	<b>Leitungen</b> .....	40
9.1	Die Differenzialgleichungen der Leitung und ihre Lösungen .....	40
9.2	Die charakteristischen Größen der Leitung .....	41
9.3	Die Leitungsgleichungen .....	41
9.4	Der Eingangswiderstand .....	42
9.5	Der Reflexionsfaktor .....	42
<b>10</b>	<b>Elektrostatische Felder</b> .....	42
10.1	Skalare und vektorielle Feldgrößen .....	42
10.2	Die elektrische Feldstärke .....	42
10.3	Die elektrische Flussdichte .....	43
10.4	Die Potenzialfunktion spezieller Ladungsverteilungen .....	45
10.5	Influenz .....	45
10.6	Die Kapazität .....	45
10.7	Die Kapazität spezieller Anordnungen .....	46
10.8	Energie und Kräfte .....	47
10.9	Bedingungen an Grenzflächen .....	48
<b>11</b>	<b>Stationäre elektrische Strömungsfelder</b> .....	49
11.1	Die Grundgesetze .....	49
11.2	Methoden zur Berechnung von Widerständen .....	49
11.3	Bedingungen an Grenzflächen .....	50
<b>12</b>	<b>Stationäre Magnetfelder</b> .....	50
12.1	Die magnetische Flussdichte .....	50
12.2	Die magnetische Feldstärke .....	51
12.3	Der magnetische Fluss .....	53

12.4	Bedingungen an Grenzflächen . . . . .	53
12.5	Magnetische Kreise . . . . .	53
<b>13</b>	<b>Zeitlich veränderliche Magnetfelder . . . . .</b>	<b>55</b>
13.1	Das Induktionsgesetz . . . . .	55
13.2	Die magnetische Energie . . . . .	56
13.3	Induktivitäten . . . . .	57
	13.3.1 Die Selbstinduktivität – 13.3.2 Die Gegeninduktivität – 13.3.3 Berechnung von Selbst- und Gegeninduktivitäten – 13.3.4 Die gespeicherte Energie	
13.4	Kräfte im Magnetfeld . . . . .	59
<b>14</b>	<b>Elektromagnetische Felder . . . . .</b>	<b>60</b>
14.1	Die Maxwell'schen Gleichungen in integraler und differenzieller Form	60
14.2	Die Einteilung der elektromagnetischen Felder . . . . .	60
14.3	Die Maxwell'schen Gleichungen bei harmonischer Zeitabhängigkeit . .	61
<b>15</b>	<b>Elektromagnetische Wellen . . . . .</b>	<b>61</b>
15.1	Die Wellengleichung . . . . .	61
15.2	Die Anregung elektromagnetischer Wellen . . . . .	63
15.3	Die abgestrahlte Leistung . . . . .	64
15.4	Die Phase und aus dieser abgeleitete Begriffe . . . . .	64

## *Energietechnik*

H.-P. Beck

<b>16</b>	<b>Grundlagen der Energiewandlung . . . . .</b>	<b>67</b>
16.1	Grundbegriffe . . . . .	67
	16.1.1 Energie, Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad – 16.1.2 Energietechnische Betrachtungsweisen – 16.1.3 Definitionen	
16.2	Elektrodynamische Energiewandlung . . . . .	68
	16.2.1 Energiedichte in magnetischen und elektrischen Feldern – 16.2.2 Energiewandlung in elektrischen Maschinen – 16.2.3 Kommutatormaschinen – 16.2.4 Magnetisches Drehfeld – 16.2.5 Synchronmaschine – 16.2.6 Asynchronmaschinen	
16.3	Elektromagnete . . . . .	75
16.4	Thermische Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .	75
	16.4.1 Widerstandserwärmung – 16.4.2 Bogenentladung	
16.5	Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .	76
	16.5.1 Primärelemente – 16.5.2 Sekundärzellen	
16.6	Direkte Energiewandlung, fotovoltaischer Effekt, Solarzellen . . . . .	77
<b>17</b>	<b>Übertragung elektrischer Energie . . . . .</b>	<b>77</b>
17.1	Leistungsdichte, Spannungsabfall . . . . .	77
17.2	Stabilitätsprobleme . . . . .	79
<b>18</b>	<b>Umformung elektrischer Energie . . . . .</b>	<b>79</b>
18.1	Schalten und Kommutieren . . . . .	79
18.2	Gleichrichter, Wechselrichter, Umrichter . . . . .	81
	18.2.1 Leistungselektronik – 18.2.2 Grundfunktionen der Energieumformung – 18.2.3 Umrichtertypen – 18.2.4 Halbleiterschalter und -steller (nichtkommutierende Stromrichter) – 18.2.5 Netzgeführte Stromrichter mit natürlicher Kommutierung – 18.2.6 Selbstgeführte Stromrichter mit Zwangskommutierung mittels abschaltbarer Ventile	

## *Nachrichtentechnik*

K. Hoffmann, W. Mathis

<b>19</b>	<b>Grundbegriffe . . . . .</b>	<b>90</b>
19.1	Signal, Information, Nachricht . . . . .	90
	19.1.1 Beschreibung zeitabhängiger Signale – 19.1.2 Deterministische und stochastische Signale – 19.1.3 Symbolische Darstellungsweise, Bewertung – 19.1.4 Unverschlüsselte und codierte Darstellung	

19.2	Aufbereitung, Übertragung, Verarbeitung	91
19.2.1	Grundprinzip der Signalübertragung – 19.2.2 Eigenschaften von Quellen und Senken – 19.2.3 Grundschemata der Kommunikation – 19.2.4 Betriebsweise der Vielfachnutzung	
19.3	Schnittstelle, Funktionsblock, System	92
19.3.1	Konstruktive und funktionelle Abgrenzung – 19.3.2 Mathematische Beschreibungsformen – 19.3.3 Darstellung in Funktionsblockbildern – 19.3.4 Zusammenwirken und Betriebsverhalten	
20	Signaleigenschaften	93
20.1	Signaldynamik, Verzerrungen	93
20.1.1	Dämpfungsmaß und Pegelangaben – 20.1.2 Lineare und nichtlineare Verzerrungen	
20.2	Auflösung, Störungen, Störabstand	94
20.2.1	Empfindlichkeit und Aussteuerung – 20.2.2 Störungsarten und Auswirkungen – 20.2.3 Maßnahmen zur Störverminderung	
20.3	Informationsfluss, Nachrichtengehalt	95
20.3.1	Herleitung des Entscheidungsbaumes – 20.3.2 Darstellung mit Nachrichtenquader – 20.3.3 Grenzwerte und Mittelungszeitraum – 20.3.4 Kanalkapazität und Informationsverlust	
20.4	Relevanz, Redundanz, Fehlerkorrektur	96
20.4.1	Erkennungssicherheit bei Mustern – 20.4.2 Störeinflüsse und Redundanz – 20.4.3 Fehlererkennung und Fehlerkorrektur	
21	Beschreibungsweisen	97
21.1	Signalfilterung, Korrelation	97
21.1.1	Reichweite des Filterungsbegriffes – 21.1.2 Lineare und nichtlineare Verzerrungen – 21.1.3 Redundanzverteilung in Mustern – 21.1.4 Kreuz- und Autokorrelation – 21.1.5 Änderung der Redundanzverteilung	
21.2	Analoge und digitale Signalbeschreibung	98
21.2.1	Lineare Beschreibungsweise, Überlagerung – 21.2.2 Beschreibung nichtlinearer Zusammenhänge – 21.2.3 Parallele und serielle Bearbeitung	
22	Aufbereitungsverfahren	99
22.1	Basisbandsignale, Signalwandler	99
22.1.1	Dynamik der Signalquellen – 22.1.2 Direktwandler, Steuerungswandler	
22.2	Abtastung, Quantisierung, Codierung	101
22.2.1	Zeitquantisierung, Abtasttheorem – 22.2.2 Amplitudenquantisierung – 22.2.3 Differenz- und Blockcodierung – 22.2.4 Quellen- und Kanalcodierung	
22.3	Sinusträger- und Pulsmodulation	103
22.3.1	Modulationsprinzip und Darstellungsarten – 22.3.2 Zwei-, Ein- und Restseitenbandmodulation – 22.3.3 Frequenz- und Phasenmodulation – 22.3.4 Zeitkontinuierliche Umtastmodulation – 22.3.5 Kontinuierliche Pulsmodulation – 22.3.6 Pulscode-, Delta- und Sigma-Delta Modulation	
22.4	Raum-, Frequenz- und Zeitmultiplex	108
22.4.1	Baum- und Matrixstruktur – 22.4.2 Durchschalt- und Speicherverfahren – 22.4.3 Zugänglichkeit und Blockierung – 22.4.4 Trägerfrequenzverfahren – 22.4.5 Geschlossene und offene Systeme – 22.4.6 Zeitschlitz- und Amplitudenauswertung	
23	Signalübertragung	111
23.1	Kanaleigenschaften, Übertragungsrate	111
23.1.1	Eigenschaften, Verzerrungen, Entzerrung – 23.1.2 Nutzungsgrad und Kompressionssysteme	
23.2	Leitungsgebundene Übertragungswege	112
23.2.1	Symmetrische und unsymmetrische Leitungen – 23.2.2 Hohlleiter- und Glasfaserarten – 23.2.3 Kabelnetze	
23.3	Datenetze, integrierte Dienste	114
23.3.1	Netzgestaltung, Vermittlungsprotokoll – 23.3.2 Fernschreiben, Bildfernübertragung – 23.3.3 Verbundnetze mit Dienstintegration	

<b>23.4</b>	<b>Richtfunk, Rundfunk, Sprechfunk</b> . . . . .	<b>115</b>
	23.4.1 Funkwege, Antennen, Wellenausbreitung – 23.4.2 Punkt-zu-Punkt-Verbindung, Systemparameter – 23.4.3 Ton- und Fernsehrundfunk – 23.4.4 Stationärer und mobiler Sprechfunk	
<b>24</b>	<b>Signalverarbeitung</b> . . . . .	<b>117</b>
<b>24.1</b>	<b>Detektionsverfahren, Funkmessung</b> . . . . .	<b>117</b>
	24.1.1 Detektionsprinzipien, Auflösungsgrenze – 24.1.2 Aussteuerung und Verzerrungen – 24.1.3 Amplituden- und Frequenzdemodulation – 24.1.4 Pulsdemodulation, Augendiagramm – 24.1.5 Funkmessprinzip und Signalauswertung	
<b>24.2</b>	<b>Signalrekonstruktion, Signalspeicherung</b> . . . . .	<b>120</b>
	24.2.1 Systemadaption und Umsetzalgorithmen – 24.2.2 Speicherdichte, Schreib- und Leserate – 24.2.3 Flüchtige und remanente Speicherung – 24.2.4 Magnetische, elektrische und optische Speicher	
<b>24.3</b>	<b>Signalverarbeitung und Signalvermittlung</b> . . . . .	<b>122</b>
	24.3.1 Strukturen für die Verarbeitung analoger und digitaler Signale – 24.3.2 Signalauswertung und Parametersteuerung – 24.3.3 Rekursion, Adaption, Stabilität, Verklemmung – 24.3.4 Netzarten, Netzführung, Ausfallverhalten – 24.3.5 Belegungsdichte, Verlust und Wartezeitsysteme	

## Elektronik

K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann

<b>25</b>	<b>Analoge Grundsaltungen</b> . . . . .	<b>125</b>
<b>25.1</b>	<b>Passive Netzwerke (RLC-Schaltungen)</b> . . . . .	<b>125</b>
	25.1.1 Tief- und Hochpassschaltung – 25.1.2 Differenzier- und Integrierglieder – 25.1.3 Bandpässe, Bandsperren, Allpässe – 25.1.4 Resonanzfilter und Übertrager	
<b>25.2</b>	<b>Nichtlineare Zweipole (Dioden)</b> . . . . .	<b>128</b>
	25.2.1 Diodenverhalten (Beschreibung) – 25.2.2 Gleichrichterschaltungen – 25.2.3 Mischer und Demodulatoren – 25.2.4 Besondere Diodenschaltungen	
<b>25.3</b>	<b>Aktive Dreipole (Transistoren)</b> . . . . .	<b>132</b>
	25.3.1 Transistorverhalten – 25.3.2 Lineare Kleinsignalverstärker – 25.3.3 Lineare Großsignalverstärker (A- und B-Betrieb) und Sinusoszillatoren – 25.3.4 Nichtlineare Großsignalverstärker, Flip-Flop und Relaxationsozillatoren	
<b>25.4</b>	<b>Operationsverstärker</b> . . . . .	<b>143</b>
	25.4.1 Verstärkung – 25.4.2 Idealer und realer Operationsverstärker – 25.4.3 Komparatoren – 25.4.4 Anwendungen des Umkehrverstärkers – 25.4.5 Anwendungen des Elektrometerverstärkers – 25.4.6 Mitkopplungsschaltungen (Schmitt-Trigger)	
<b>26</b>	<b>Digitale Grundsaltungen</b> . . . . .	<b>151</b>
<b>26.1</b>	<b>Gatter</b> . . . . .	<b>151</b>
	26.1.1 Diodengatter – 26.1.2 Der Transistor als Inverter – 26.1.3 DTL-Gatter – 26.1.4 TTL-Gatter – 26.1.5 Schaltkreisfamilien (Übersicht) – 26.1.6 Beispiele digitaler Schaltetze	
<b>26.2</b>	<b>Ein-Bit-Speicher</b> . . . . .	<b>157</b>
	26.2.1 Einfache Kippschaltungen – 26.2.2 Getaktete SR-Flipflops – 26.2.3 Flipflops mit Zwischenspeicherung (Master-Slave-Flipflops, Zählflipflops)	
<b>26.3</b>	<b>Schaltwerke</b> . . . . .	<b>161</b>
	26.3.1 Auffang- und Schieberegister – 26.3.2 Zähler	
<b>27</b>	<b>Halbleiterbauelemente</b> . . . . .	<b>163</b>
<b>27.1</b>	<b>Grundprinzipien elektronischer Halbleiterbauelemente</b> . . . . .	<b>163</b>
	27.1.1 Ladungsträger in Silizium – 27.1.2 Das Bändermodell – 27.1.3 Stromleitung in Halbleitern – 27.1.4 Ausgleichsvorgänge bei der Injektion von Ladungsträgern	
<b>27.2</b>	<b>Halbleiterdioden</b> . . . . .	<b>167</b>
	27.2.1 Aufbau und Wirkungsweise des PN-Überganges – 27.2.2 Der PN-Übergang in Flusspolung – 27.2.3 Der PN-Übergang in Sperrpolung – 27.2.4 Durchbruchmechanismen – 27.2.5 Kennliniengleichung des PN-Überganges – 27.2.6 Zenerdioden – 27.2.7 Tunneldioden – 27.2.8 Kapazitätsdioden („Varaktoren“) – 27.2.9 Leistungsgleichrichterdioden, PIN-Dioden – 27.2.10 Mikrowellendioden, Rückwärtsdioden	

27.3	Bipolare Transistoren . . . . .	172
27.3.1	Prinzip und Wirkungsweise – 27.3.2 Universaltransistoren. Kleinleistungstransistoren – 27.3.3 Schalttransistoren	
27.4	Halbleiterleistungsbaulemente . . . . .	175
27.4.1	Der Thyristor – 27.4.2 Der abschaltbare Thyristor – 27.4.3 Zweirichtungs-Thyristordiode (Diac) – 27.4.4 Bidirektionale Thyristor- diode (Triac)	
27.5	Feldeffektbaulemente . . . . .	178
27.5.1	Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren (Junction-FET, PN-FET, MSFET oder JFET) – 27.5.2 Feldeffekttransistoren mit isoliertem Gate (IG-FET, MISFET, MOSFET oder MNSFET)	
27.6	Optoelektronische Halbleiterbaulemente . . . . .	182
27.6.1	Innerer Fotoeffekt – 27.6.2 Der Fotowiderstand – 27.6.3 Der PN-Übergang bei Lichteinwirkung – 27.6.4 Der Fototransistor – 27.6.5 Die Lumineszenzdiode (LED)	
	<b>Literatur</b> . . . . .	185