

Elektrotechnik

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

Netzwerke

G. Wiesemann

1 Elektrische Stromkreise	1
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	
2 Wechselstrom	7
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
3 Lineare Netze	10
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	
4 Schwingkreise	20
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	
5 Leistung in linearen Schaltungen	24
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	
6 Der Transformator	27
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 streuungsfreier Transformator – 6.2.4 Idealer Transformator – 6.2.5 Streufaktor und Kopplungsfaktor – 6.2.6 Vierpolersatzschaltung – 6.2.7 Zweipolersatzschaltung	

6.3	Transformator mit Eisenkern	29
7	Drehstrom	29
7.1	Spannungen symmetrischer Drehstromgeneratoren	29
7.2	Die Spannung zwischen Generator- und Verbraucherstempunkt	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
8	Nichtlineare Schaltungen	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 VerbraucherKennlinie – 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>		
H.	Clausert	
9	Leitungen	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
10	Elektrostatische Felder	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
11	Stationäre elektrische Strömungsfelder	49
11.1	Die Grundgesetze	49
11.2	Methoden zur Berechnung von Widerständen	49
11.3	Bedingungen an Grenzflächen	50
12	Stationäre Magnetfelder	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
13	Zeitlich veränderliche Magnetfelder	55
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
14	Elektromagnetische Felder	60
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
15	Elektromagnetische Wellen	61
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

16	Grundlagen der Energiewandlung	67
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
17	Übertragung elektrischer Energie	77
17.1	Leistungsdichte, Spannungsabfall	77
17.2	Stabilitätsprobleme	79
18	Umformung elektrischer Energie	79
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

19	Grundbegriffe	90
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 Grundschema 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 Störerminderung	
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	Leitunggebundene Übertragungswege	112
23.2.1	Symmetrische und unsymmetrische Leitungen – 23.2.2 Hohlleiter- und Glasfaserarten – 23.2.3 Kabelnetze	
23.3	Datennetze, integrierte Dienste	114
23.3.1	Netzgestaltung, Vermittlungsprotokoll – 23.3.2 Fernschreiben, Bildfernübertragung – 23.3.3 Verbundnetze mit Dienstintegration	

23.4	Richtfunk, Rundfunk, Sprechfunk	115
23.4.1	Funkwege, Antennen, Wellenausbreitung – 23.4.2 Punkt-zu-Punkt-Verbindung, Systemparameter – 23.4.3 Ton- und Fernsehurdfunk – 23.4.4 Stationärer und mobiler Sprechfunk	
24	Signalverarbeitung	117
24.1	Dektionsverfahren, Funkmessung	117
24.1.1	Dektionsprinzipien, Auflösungsgrenze – 24.1.2 Aussteuerung und Verzerrungen – 24.1.3 Amplituden- und Frequenzdemodulation –	
24.1.4	Pulsdemodulation, Augendiagramm – 24.1.5 Funkmessprinzip und Signalauswertung	
24.2	Signalrekonstruktion, Signalspeicherung	120
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	
24.3	Signalverarbeitung und Signalvermittlung	122
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		
25	Analoge Grundschaltungen	125
25.1	Passive Netzwerke (RLC-Schaltungen)	125
25.1.1	Tief- und Hochpassschaltung – 25.1.2 Differenzier- und Integrierglieder –	
25.1.3	Bandpässe, Bandsperrern, Allpässe – 25.1.4 Resonanzfilter und Übertrager	
25.2	Nichtlineare Zweipole (Dioden)	128
25.2.1	Diodenverhalten (Beschreibung) – 25.2.2 Gleichrichterschaltungen –	
25.2.3	Mischer und Demodulatoren – 25.2.4 Besondere Diodeschaltungen	
25.3	Aktive Dreipole (Transistoren)	132
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 Relaxationsoszillatoren	
25.4	Operationsverstärker	143
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)	
26	Digitale Grundschaltungen	151
26.1	Gatter	151
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 Schaltnetze	
26.2	Ein-Bit-Speicher	157
26.2.1	Einfache Kippschaltungen – 26.2.2 Getaktete SR-Flipflops – 26.2.3 Flipflops mit Zwischenspeicherung (Master-Slave-Flipflops, Zählerflipflops)	
26.3	Schaltwerke	161
26.3.1	Auffang- und Schieberegister – 26.3.2 Zähler	
27	Halbleiterbauelemente	163
27.1	Grundprinzipien elektronischer Halbleiterbauelemente	163
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	
27.2	Halbleiterdioden	167
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 Tunnelelektronen – 27.2.8 Kapazitätsdioden („Varaktoren“) –	
27.2.9	Leistungsgleichrichterdioden, PIN-Dioden – 27.2.10 Mikrowellendiode, Rückwärtsdioden	

27.3 Bipolare Transistoren	172
27.3.1 Prinzip und Wirkungsweise – 27.3.2 Universaltransistoren.	
Kleinleistungstransistoren – 27.3.3 Schaltransistoren	
27.4 Halbleiterleistungsbauelemente	175
27.4.1 Der Thyristor – 27.4.2 Der abschaltbare Thyristor –	
27.4.3 Zweirichtungs-Thyristordiode (Diac) – 27.4.4 Bidirektionale Thyristordiode (Triac)	
27.5 Feldeffektbauelemente	178
27.5.1 Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren (Junction-FET, PN-FET, MSFET oder JFET) – 27.5.2 Feldeffektortransistoren mit isoliertem Gate (IG-FET, MISFET, MOSFET oder MNSFET)	
27.6 Optoelektronische Halbleiterbauelemente	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)	
Literatur	185