

Wilfried Weißgerber

# Elektrotechnik für Ingenieure Formelsammlung

Formeln, Beispiele, Lösungswege

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Physikalische Grundbegriffe der Elektrotechnik</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Gleichstromtechnik</b>	<b>4</b>
2.1	Der unverzweigte Stromkreis	4
2.1.1	Der Grundstromkreis	4
2.1.2	Zählfeilsysteme	6
2.1.3	Die Reihenschaltung von Widerständen	6
2.1.4	Anwendungen der Reihenschaltung von Widerständen	6
2.1.5	Die Reihenschaltung von Spannungsquellen	7
2.2	Der verzweigte Stromkreis	7
2.2.1	Die Maschenregel	7
2.2.2	Die Knotenpunktregel	7
2.2.3	Die Parallelschaltung von Widerständen	8
2.2.4	Anwendungen der Parallelschaltung von Widerständen	9
2.2.5	Ersatzspannungsquelle und Ersatzstromquelle	9
2.2.6	Die Parallelschaltung von Spannungsquellen	11
2.2.7	Messung von Widerständen	12
2.2.8	Der belastete Spannungsteiler	13
2.2.9	Kompensationsschaltungen	14
2.2.10	Umwandlung einer Dreieckschaltung in eine Sternschaltung und umgekehrt	15
2.3	Verfahren zur Netzwerkberechnung	16
2.3.1	Netzwerkberechnung mit Hilfe der Kirchhoffschen Sätze	16
2.3.2	Netzwerkberechnung mit Hilfe des Überlagerungssatzes	17
2.3.3	Netzwerkberechnung mit Hilfe der Zweipoltheorie	18
2.3.4	Netzwerkberechnung nach dem Maschenstromverfahren	21
2.3.5	Netzwerkberechnung nach dem Knotenspannungsverfahren	22
2.4	Elektrische Energie und elektrische Leistung	23
2.4.1	Energie und Leistung	23
2.4.2	Energieumwandlungen	23
2.4.3	Messung der elektrischen Energie und Leistung	23
2.4.4	Wirkungsgrad in Stromkreisen	25
2.4.5	Anpassung	26

# Inhaltsverzeichnis

Das elektromagnetische Feld . . . . .	27
3.1 Der Begriff des Feldes . . . . .	27
3.2 Das elektrische Strömungsfeld . . . . .	29
3.2.1 Wesen des elektrischen Strömungsfeldes . . . . .	29
3.2.2 Elektrischer Strom und elektrische Stromdichte . . . . .	29
3.2.3 Elektrische Spannung und elektrische Feldstärke, elektrischer Widerstand und spezifischer Widerstand . . . . .	31
3.3 Das elektrostatische Feld . . . . .	33
3.3.1 Wesen des elektrostatischen Feldes . . . . .	33
3.3.2 Verschiebungsfluß und Verschiebungsflußdichte . . . . .	33
3.3.3 Elektrische Spannung und elektrische Feldstärke, Kapazität und Permittivität (Dielektrizitätskonstante) . . . . .	35
3.3.4 Verschiebestrom — Strom im Kondensator . . . . .	41
3.3.5 Energie und Kräfte des elektrostatischen Feldes . . . . .	42
3.3.6 Das Verhalten des elektrostatischen Feldes an der Grenze zwischen Stoffen verschiedener Dielektrizitätskonstanten . . . . .	43
3.4 Das magnetische Feld . . . . .	44
3.4.1 Wesen des magnetischen Feldes . . . . .	44
3.4.2 Magnetischer Fluß und magnetische Flußdichte . . . . .	44
3.4.3 Durchflutung, magnetische Spannung und magnetische Feldstärke (magnetische Erregung), magnetischer Widerstand und Permeabilität . . . . .	47
3.4.4 Das Verhalten des magnetischen Feldes an der Grenze zwischen Stoffen verschiedener Permeabilitäten . . . . .	53
3.4.5 Berechnung magnetischer Kreise . . . . .	54
3.4.5.1 Berechnung geschlossener magnetischer Kreise . . . . .	54
3.4.5.2 Berechnung des nichteisengeschlossenen magnetischen Kreises einer Doppelleitung und mehrerer paralleler Leiter . . . . .	60
3.4.5.3 Berechnung magnetischer Kreise mit Dauermagneten . . . . .	61
3.4.6 Elektromagnetische Spannungserzeugung — das Induktionsgesetz . . . . .	63
3.4.6.1 Bewegte Leiter in einem zeitlich konstanten Magnetfeld — die Bewegungsinduktion . . . . .	63
3.4.6.2 Zeitlich veränderliches Magnetfeld und ruhende Leiter — die Ruheinduktion . . . . .	67
3.4.7 Selbstinduktion und Gegeninduktion . . . . .	70
3.4.7.1 Die Selbstinduktion . . . . .	70
3.4.7.2 Die Gegeninduktion . . . . .	73
3.4.7.3 Haupt- und Streuinduktivitäten, Kopplungs- und Streu- faktoren . . . . .	81
3.4.8 Magnetische Energie und magnetische Kräfte . . . . .	82
3.4.8.1 Magnetische Energie . . . . .	82
3.4.8.2 Magnetische Kräfte . . . . .	83

<b>4 Wechselstromtechnik</b> .....	84
4.1 Wechselgrößen und sinusförmige Wechselgrößen .....	84
4.2 Berechnung von sinusförmigen Wechselgrößen mit Hilfe der komplexen Rechnung .....	86
4.3 Wechselstromwiderstände und Wechselstromleitwerte .....	91
4.4 Praktische Berechnung von Wechselstromnetzen .....	101
4.5 Die Reihenschaltung und Parallelschaltung von ohmschen Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten .....	102
4.5.1 Die Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen - die Reihen- oder Spannungsresonanz .....	102
4.5.2 Die Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen - die Parallel- oder Stromresonanz .....	107
4.6 Spezielle Schaltungen der Wechselstromtechnik .....	112
4.6.1 Schaltungen für eine Phasenverschiebung von $90^\circ$ zwischen Strom und Spannung .....	112
4.6.2 Schaltungen zur automatischen Konstanthaltung des Wechselstroms - die Boucherot-Schaltung .....	113
4.6.3 Wechselstrom-Meßbrückenschaltungen .....	113
4.7 Die Leistung im Wechselstromkreis .....	116
4.7.1 Augenblicksleistung, Wirkleistung, Bundleistung, Scheinleistung und komplexe Leistung .....	116
4.7.2 Die Messung der Wechselstromleistung .....	120
4.7.3 Verbesserung des Leistungsfaktors - Blindleistungskompensation .....	122
4.7.4 Wirkungsgrad und Anpassung .....	123
<b>5 Ortskurven</b> .....	124
5.1 Begriff der Ortskurve .....	124
5.2 Ortskurve „Gerade“ .....	125
5.3 Ortskurve „Kreis durch den Nullpunkt“ .....	125
5.4 Ortskurve „Kreis in allgemeiner Lage“ .....	126
5.5 Ortskurven höherer Ordnung .....	126
<b>6 Der Transformator</b> .....	127
6.1 Übersicht über Transformatoren .....	127
6.2 Transformatorgleichungen und Zeigerbild .....	127
6.3 Ersatzschaltbilder mit galvanischer Kopplung .....	130
6.4 Messung der Ersatzschaltbildgrößen des Transformators .....	132
6.5 Frequenzabhängigkeit der Spannungsübersetzung eines Transformators .....	134
<b>7 Mehrphasensysteme</b> .....	135
7.1 Mehrphasensysteme .....	135
7.2 Symmetrische verkettete Dreiphasensysteme .....	136
7.3 Unsymmetrische verkettete Dreiphasensysteme .....	138
7.4 Messung der Leistungen des Dreiphasensystems .....	143

<b>8 Ausgleichsvorgänge in linearen Netzen</b> .....	144
8.1 Grundlagen für die Behandlung von Ausgleichsvorgängen.....	144
8.2 Berechnung von Ausgleichsvorgängen durch Lösung von Differentialgleichungen.....	145
8.3 Berechnung von Ausgleichsvorgängen mit Hilfe der Laplace-Transformation.....	
8.3.1 Grundlagen für die Behandlung der Ausgleichsvorgänge mittels Laplace-Transformation.....	150
8.3.2 Lösungsmethoden für die Berechnung von Ausgleichsvorgängen Zusammenfassung der Laplace-Operationen und der Laplace-Transformierten (Korrespondenzen).....	153
<b>9 Fourieranalyse von nichtsinusförmigen periodischen Wechselgrößen und nichtperiodischen Größen</b> .....	163
9.1 Fourierreihenentwicklung von analytisch gegebenen nichtsinusförmigen periodischen Wechselgrößen.....	163
9.2 Reihenentwicklung von in diskreten Punkten vorgegebenen nichtsinusförmigen periodischen Funktionen.....	170
9.3 Anwendungen der Fourierreihen.....	176
9.4 Die Darstellung nichtsinusförmiger periodischer Wechselgrößen durch komplexe Reihen.....	178
9.5 Transformation von nichtsinusförmigen nichtperiodischen Größen durch das Fourierintegral.....	178
<b>10 Vierpoltheorie</b> .....	180
10.1 Grundlegende Zusammenhänge der Vierpoltheorie.....	180
10.2 Vierpolgleichungen, Vierpolparameter und Ersatzschaltungen.....	180
10.3 Vierpolparameter passiver Vierpole.....	185
10.4 Betriebskenngrößen von Vierpolen.....	188
10.5 Leistungsverstärkung und Dämpfung.....	190
10.6 Spezielle Vierpole.....	191
10.7 Zusammenschalten zweier Vierpole.....	192
10.7.1 Grundsätzliches über Vierpolzusammenschaltungen.....	192
10.7.2 Die Parallel-Parallel-Schaltung zweier Vierpole.....	193
10.7.3 Die Reihen-Reihen-Schaltung zweier Vierpole.....	194
10.7.4 Die Reihen-Parallel-Schaltung zweier Vierpole.....	195
10.7.5 Die Parallel-Reihen-Schaltung zweier Vierpole.....	197
10.7.6 Die Ketten-Schaltung zweier Vierpole.....	198
10.8 Die Umrechnung von Vierpolparametern von Dreipolen.....	199
10.9 Die Wellenparameter passiver Vierpole.....	200