

mit Winkeln zwischen z und $z+dz$ proportional dem Raumwinkel $2\pi\sin z dz$. Der Mittelwert der wirksamen Stromkomponenten ist daher

$$(dI)^2 = 12kT \frac{z^2 F}{l} df \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 z \sin z dz$$

$$= 4kT \frac{z^2 F}{l} df,$$

oder

$$(dI)^2 = \frac{4kT}{R} df, \quad (1427)$$

wenn der Widerstand R des Leiters eingeführt wird. Der Störstrom, der durch die Teilschwingungen eines Frequenzbereiches zwischen f_1 und f_2 hervorgerufen wird, ergibt sich durch Integration

$$I_w^2 = \frac{4kT}{R} (f_2 - f_1) = \frac{4kT}{R} \Delta f. \quad (1428)$$

Für das Quadrat der Störspannung folgt

$$U_w^2 = 4kTR \Delta f \quad (1429)$$

und für die Störleistung

$$N_w = 4kT \Delta f. \quad (1430)$$

Zahlenbeispiel: In einem Frequenzbereich von 10000 Per/s ist bei der absoluten Temperatur $T = 291^\circ$ (18° C) eine Störleistung von $N_w = 1,6 \cdot 10^{-16}$ W enthalten. An Widerständen verschiedener Größe ergeben sich daher die in der folgenden Tabelle angegebenen Störspannungen:

$R = 10$	10^2	10^3	10^4	10^5	$10^6 \Omega$
$U_w = 0,04$	0,126	0,40	1,26	4,0	12,6 μ V

Diese Störspannung des Wärmerauschens gibt eine untere Grenze für die Spannungen an, die noch fehlerfrei gemessen oder verwertet werden können (Grenze für die mögliche Verstärkung in der Fernmeldetechnik).

Anhang. Maßsysteme.

In der Literatur werden z. T. noch die alten absoluten elektromagnetischen und elektrostatischen Maßeinheiten benützt. Zur Umrechnung der Zahlenangaben dient die folgende Tabelle.

Größe	praktische Einheit	eine elektrostatische Einheit ist gleich	eine elektromagnetische Einheit ist gleich
Spannung	V	300 V	$0,999 \cdot 10^{-8}$ V
Stromstärke	A	$0,334 \cdot 10^{-9}$ A	10 A
Widerstand	$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{1}{S}$	$0,898 \cdot 10^{12} \Omega$	$0,999 \cdot 10^{-9} \Omega$
Induktivität	H = Ωs	$0,898 \cdot 10^{12}$ H	1[cm] = $0,999 \cdot 10^{-9}$ H
Kapazität	F = $S s$	1[cm] = $1,113 \cdot 10^{-12}$ F	$1,001 \cdot 10^9$ F

Literatur.

1. Einführende Literatur.

- Habeland, G.: Elektrotechnische Lehrbücher, 1937/38.
 Hoerner, K.: Grundzüge der Starkstromtechnik, Berlin 1923.
 Linker, A.: Grundlagen der Wechselstromtheorie, Berlin 1928.
 Michaelke, G.: Allgemeine Grundlagen der Elektrotechnik, Berlin 1925.
 Oberdorfer, G.: Lehrbuch der Elektrotechnik, 1939.
 Pohl, R. W.: Einführung in die Elektrizitätslehre, Berlin 1935.
 Schumann, W. O.: Elektromagnetische Grundbegriffe, München 1931.
 Viduar, M.: Vorlesungen über die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik, Berlin 1928.

2. Ergänzungs- und Spezialliteratur.

- Abraham-Fopp-Becker: Theorie der Elektrizität, Berlin 1939.
 Arnold, E.: Theorie der Wechselströme, Berlin 1910.

- Barkhausen, H.: Elektronenröhren. Leipzig 1935/1938.
 Biermanns, J.: Überströme in Hochspannungsanlagen. Berlin 1926.
 Breisig, F.: Theoretische Telegraphie. Braunschweig 1924.
 Brüche, E., u. O. Scherzer: Geometrische Elektronenoptik. Berlin 1934.
 Buttler, K.: Aufgaben aus der Fernmeldetechnik. Berlin 1929.
 Carson, J. R.: Elektrische Ausgleichsvorgänge und Operatorenrechnung. Berlin 1929.
 Casper, L.: Einführung in die komplexe Behandlung von Wechselstromaufgaben. Berlin 1929.
 Cauer, W.: Siebschaltungen. Berlin 1931. Theorie der linearen Wechselstromschaltungen. Leipzig 1941.
 Engel, A. v., u. M. Steenbeck: Elektrische Gasentladungen.
 1. Teil: Grundgesetze. Berlin 1932.
 2. Teil: Entladungseigenschaften, Technische Anwendung. Berlin 1934.
 Faßbender, H.: Physik und Technik der Gegenwart. Leipzig 1937/41.
 Feldtkeller, R.: Einführung in die Vierpoltheorie der elektrischen Nachrichtentechnik. Leipzig 1937.
 Feldtkeller, R.: Einführung in die Siebschaltungstheorie der elektrischen Nachrichtentechnik. Leipzig 1939.
 Glaser-Müller: Theorie der Stromrichter. Berlin 1935.
 Güntherschulze, A.: Elektrische Gleichrichter und Ventile. Berlin 1929.
 Handbuch der Experimentalphysik von W. Wien und F. Harms:
 Bd. 10: Elektrostatik, Hochspannungstechnik. Leipzig 1927.
 Bd. 11, 1. Teil: Elektrodynamik.
 Bd. 11, 2. Teil: Elektronenleitung, magnetische und thermoelektrische Effekte.
 Bd. 11, 3. Teil: Elektrische Beleuchtung, Schwachstromtechnik.
 Bd. 12: Elektrochemie.
 Bd. 13, 1. Teil: Ionenleitung in Gasen.
 Bd. 13, 2. Teil: Glühelktronen.
 Bd. 13, 3. Teil: Gasentladungen.
 Bd. 14: Kathodenstrahlen, Kanalstrahlen.
 Handbuch der Physik von H. Geiger und K. Scheel:
 Bd. 12: Theorie der Elektrizität, Elektrostatik. Berlin 1927.
 Bd. 13: Elektrizitätsbewegung in festen und flüssigen Körpern. Berlin 1928.
 Bd. 14: Elektrizitätsbewegung in Gasen. Berlin 1927.
 Bd. 15: Magnetismus, Elektromagnetisches Feld. Berlin 1927.
 Bd. 22: Elektronen, Atome, Moleküle. Berlin 1926.
 Hecht, H.: Schaltschemata und Differentialgleichungen elektr. u. mech. Schwingungsgebilde. Leipzig 1939.
 Herzog, J., u. C. Feldmann: Elektrische Leitungsnetze. Berlin 1927.
 Jasse, E.: Elektromagnete. Berlin 1930.
 Joos, G.: Lehrbuch der theoretischen Physik. Leipzig 1932.
 Möller, G.: Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen. Braunschweig 1929.
 Möller, G.: Behandlung von Schwingungsaufgaben. Leipzig 1937.
 Moeller-Bolz: Elektrotechnik. Band I: Grundlagen des Gleich- und Wechselstromes.
 Moeller-Werr: Elektrotechnik. Band II: Gleich- und Wechselstrommaschinen. Leipzig 1935.
 Oberdorfer, G.: Ortskurventheorie. 1934.
 Oberdorfer, G.: Rechnen mit symmetrischen Komponenten. 1929.
 Richter, R.: Elektrische Maschinen. Berlin 1924/36.
 Riemann-Weber: Differentialgleichungen der Physik. Braunschweig 1927.
 Roth, A.: Hochspannungstechnik. 1938.
 Rothé, Ollendorf-Pohlhausen: Funktionentheorie und ihre Anwendungen in der Technik. Berlin 1931.
 Schering, H.: Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Berlin 1924.
 Schilling, W.: Gleichrichteranlagen. Berlin 1938.
 Schumann, W. O.: Elektrische Durchbruchfeldstärke von Gasen. Berlin 1923.
 Schwaiger, A.: Hochspannungsleitungen. München 1931.
 Schwaiger, A.: Festigkeitslehre. Berlin 1925.
 Thomälen, A.: Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik. Berlin 1929.
 Vidmar, M.: Wirkungsweise elektrischer Maschinen. Berlin 1928.
 Vieweg, R.: Elektrotechnische Isolierstoffe. Berlin 1937.
 Vieweger, H.: Aufgaben und Lösungen aus der Gleich- und Wechselstromtechnik. Berlin 1926.
 Vilbig, F.: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik. Leipzig 1939.
 Wagner, K. W.: Operatorenrechnung. Leipzig 1940.
 Wallot, J.: Theorie der Schwachstromtechnik. Berlin 1940.
 Wallot, J.: AEF-Verhandlungen 1907 ... 1927. Berlin 1928.
 Zenneck, J.: Bücherei der Hochfrequenztechnik. Leipzig 1940.

Sachverzeichnis.

- Ableitungsbelag 283.
Ableitungsdämpfung 288, 292.
Abschirmung elektrischer Felder 56.
Äther 51.
Ampèresche Formel 190.
Amplitudenmodulation 264.
Anfangsfeldstärke 143.
Anfangspermeabilität 173.
Anfangsspannung 143.
Anlaufspannung 97.
Anodenfall 145.
Atomkern 44.
Aufladung eines Kondensators 100.
Ausgleichsfunktionenpaar 330.
Ausgleichsvorgang 322.
Austrittsarbeit 119.
Austrittsgeschwindigkeit 119.
Austrittspotential 119.
- Beeinflussung von Leitungen 86.
Betriebsdämpfung 300.
Betriebsinduktivität der Drehstromleitung 285.
Betriebskapazität 86.
— der Drehstromleitung 285.
Beweglichkeit der Ladungsträger 140.
Bifilare Drahtschleifen 296.
Bildkraft 119.
Blindleistung 265.
Blindwiderstand 252.
Blitzentladung bei Leitungen 342.
Bogenentladung 147.
Boltzmannsche Konstante 120.
Braunsche Röhre 96.
—, elektrische Ablenkung 97.
—, magnetische Ablenkung 159.
Brechung einer ebenen Welle 317.
Brechungs faktor 345.
Bremscheibe 161.
Bündelfluß 162.
- Coulombsches Gesetz 89.
- Dämpfung 271.
Dämpfungsbelag 284.
Dämpfungskonstante 284.
Dämpfungsmaß 271.
Dämpfungsverzerrung 336.
Dauermagnet, Berechnung 178.
Diamagnetismus 168.
Dichte des wahren Stromes 127, 302.
Dielektrische Verluste 133.
Dielektrizitätskonstante 53.
Divergenz 105.
Doppelleitung, elektrisches Feld 74.
- Drehstromfreileitung, elektrisches Feld 83.
Drehstromkabel, Teilkapazitäten 87, 285.
Drehstromleitungen 285.
Dreileitersystem 16.
Dreiphasensystem 258.
Dunkelentladung 145.
Durchflutung 167.
Durchflutungsgesetz 167, 188.
Durchschlag von Isolierstoffen 149.
- Effektivwert 129, 253, 265.
Eindringen des Feldes in Leiter 219.
Eindringtiefe 219.
Eingeschwungener Zustand 322.
Einheiten, Definition 5.
Einheitensystem von Giorgi 9.
Einleiterkabel 41, 61, 202.
Einschalten einer Drosselspule 199, 327.
— einer Eisenkernspule 337.
Einschwingzeit 336.
Eisenpulverkern 227.
Elektrische Feldstärke 29, 54.
Elektrische Linse 97.
— —, Brennweite 99.
— —, Maschinen 165, 238.
Elektrischer Dipol 66.
Elektrisches Bild 65.
— Potential 11, 27, 55.
Elektromagnet, Berechnung 175.
Elektromagnetische Welle 307, 309.
— —, Elementarform 309, 313.
Elektromagnetischer Schirm 225.
Elektromotorische Kraft 12, 48.
Elektronen 44.
Elektronenauslösung an der Kathode 143.
Elektronenaustritt aus Leitern 120.
Elektronengeschwindigkeit 97.
Elektronenhülle des Atoms 44.
Elektronenleitung in Metallen 47.
Elliptischer Zylinderkondensator 112.
Elliptisches Drehfeld 321.
Energie des elektrischen Feldes 93.
Entkopplung von Leitungen 88.
Entladung eines Kondensators 101.
Entmagnetisierungszahl 179.
Erdschlußspule 260.
Erdschl, Schutzwirkung 79.
Ersatzbild der langen Leitung 297.
— elektrisch-mechanischer Systeme 251.
Ersatzstromquelle 18.
- Fehlerdämpfung 289.
Feldgleichungen 302.

Feldstärke im Kugelkondensator 63.
 Feldverdrängung 214.
 Fernhörer 249.
 Flüchtiger Vorgang 324.
 Flußverkettung 162.
 Fouriersche Reihe 262.
 Frequenz 129.
 Frequenzcharakteristik 333.

Galvanische Kopplung 38.
 Gasentladungen 137.
 Gegeninduktion 203.
 Gegeninduktivität 203.
 — zweier Doppelleitungen 206.
 Generator 165.
 Gesamtfluß 162.
 Gleichstrommaschine 239.
 Glimmentladung 144.
 Glimmspannungsteiler 146.
 Gradient 29, 108.
 Graphische Feldberechnung 123.
 Grenzfrequenz eines Blechpaketes 225.
 Grenzbedingungen im elektrischen Feld 55.
 — im elektromagnetischen Feld 307.
 — im magnetischen Feld 174.
 — im Strömungsfeld 41.
 Größengleichungen 8.
 Grundschiebungswinkel 265.
 Gütezahl eines Magnetstabes 181.
 — einer Spule 258.

Halbkugelerder 35.
 Hilfsbrücke 136.
 Hintereinanderschaltung von Kondensatoren 135.
 Hüllfläche 32.
 Hysterese 134.
 Hystereseschleife 171.
 Hystereseverluste 228.

Induktionsbelag 282.
 Induktionsfaktor 167.
 Induktionsgesetz 160, 163.
 Induktivität 197.
 —, äußere 198.
 —, innere 202.
 — einer Doppelleitung 198.
 — einer Ringspule 197.
 — einer zylindrischen Spule 198.
 — eines Drahttringes 198.
 — eines konzentrischen Kabels 202.
 Induzierte elektromotorische Kraft 160.
 Influenzwirkung 56.
 Ionenstrom 139.
 Ionisierungszahlen 142.
 Isolationswiderstand 126.

Joulesches Gesetz 7, 34, 46.

Kapazität 58.
 — des Kugelkondensators 63.
 — einer Antenne 70.
 — einer Doppelleitung 77.
 — einer Einfachleitung 70, 77.
 — einer Kugel 63.
 — von Einleiterkabeln 61.
 — zwischen zwei parallelen Zylindern 76.

Kapazitäts- und Isolationswiderstand, Zusammenhang 60.
 Kapazitätsbelag 283.
 Kapazitätsmeßbrücke 136.
 Kathodendunkelraum 144.
 Kathodenfall 144.
 Kathodenfall, normaler 146.
 Kettenleiter, Berechnung 256, 269.
 Kippschaltung 146.
 Kippschwingung 146.
 Kirchhoffsche Sätze 13, 15.
 — — im Strömungsfeld 32, 33.
 Klirrfaktor 265.
 Koerzitivkraft 171.
 Komplexe Funktionen 109.
 — Rechnung 131, 252.
 — Wechselstromgrößen 131.
 Komplexer Widerstand 132, 252.
 Kommutierungskurve 172.
 Komponenten, symmetrische 260.
 Kondensator 58.
 Kondensatordurchführung 74.
 Konforme Abbildung 110.
 Kopplungskapazität 87.
 Korona-Entladung 77.
 Kräfte im elektrischen Feld 89.
 — im magnetischen Feld 206.
 — in einem Schalter 207.
 — in einem Stromkreis 209.
 — in elektrischen Maschinen 211.
 — in Isolierstoffen 90.
 — zwischen Stromleitern und magnetischen Stoffen 208.
 Krümmung 203, 292.
 Kreisfrequenz 129.
 Kugel im elektrischen Feld 117.
 Kugelerder 35.
 Kugelfunkenstrecke 67.

Ladestrom 129, 294.
 Laufzeit 336.
 Laufzeitwinkel 281.
 Lautsprecher 249.
 Leistungsanpassung 21.
 Leistungsfaktor 265.
 Leitfähigkeit, elektrische 10.
 Lineares System 323.
 Liniendipol 78.
 Linienintegral 30, 33.
 Linienladung 69.
 Linienquelle 39.
 Löschkennlinie 282.

Magnetische Energie 200.
 — Erregung 167.
 — Feldstärke 167.
 — Induktion, Definition 156.
 — Induktionslinien 155.
 — Kräfte an Grenzflächen 211.
 — Kraftlinien 155.
 — Linse 159.
 — Spannung 182.
 Magnetischer Induktionsfluß 155, 157.
 — Kreis 175.
 — Leitwert 178.
 — Schwund 163.

Magnetischer Spannungsmesser 166.
 — Widerstand 178.
 Magnetisches Feld der Doppelleitung 186.
 — — eines Drahtinges 191.
 — — eines Stabes 185.
 — — eines Stromleiters in Eisenkörper 193.
 — — paralleler Leiter 183.
 — Potential 182.
 Magnetisierungskurve 171.
 Magnetron 158.
 Maßsysteme 352.
 Mathematik 3.
 Matrizenrechnung 269.
 Maximalleistung einer Stromquelle 21.
 Metallkugel im elektrischen Feld 67.
 Metallzylinder im elektrischen Feld 79.
 Mikrophon 249.
 Modulationsgrad 264.
 Motor 165.

 Nachladung 102.
 Nachwirkungsverluste 231.
 Nadelektrometer 95.
 Netzumwandlung 21.
 Netzwerk 252.
 Nichtlinearität 263, 337.
 Nichtsinusförmige Wechselströme 262.
 Niveauflächen 27.
 Niveaulinien 26.

 Oberschwingungsgehalt 265.
 Oersted 168.
 Ohmsches Gesetz 12.
 — —, Elementarform 31.
 Ortskurve 214, 261.

 Parallelbetrieb von Stromerzeugern 15.
 Parallelschaltung von Kondensatoren 135.
 Parallelschwingkreis 258, 262.
 Paramagnetismus 169.
 Permeabilität 167.
 Phasenbelag 284.
 Phasengeschwindigkeit 288.
 Phasenkonstante 284.
 Phasenverzerrung 336.
 Physik 3.
 Plasma 144.
 Polarisation von Nichtleitern 51, 54.
 Polarlicht 158.
 Positive Säule 144.
 Potentialfeld 27.
 Potentialgleichung 107.
 Punktladung 62.
 Punktquelle 34.
 Pupilleitung 292.

 Raumladekennlinie der Elektronenröhre 122.
 Raumladung 105.
 Raumladungsdichte 105.
 Raumladungsgleichung 118.
 Reflexion von ebenen Wellen 317.
 Reflexionsfaktor 289, 318, 345.
 Reihenschwingkreis 257, 323.
 Remanenz 171.
 Resonanz 258.

Reversible Permeabilität 173.
 Rohrerder 40.
 Rotation eines Vektors 186.
 Rückstandsbildung 102.

 Sättigungsinduktion 172.
 Schaltvorgänge 322.
 Schaltvorgang bei einem Wellensieb 336.
 Scheinleistung 254, 265.
 Schirmgitter 114.
 Schränkstab 222.
 Schwingkreis 257, 258, 262, 323
 Selbstinduktion 197.
 Siebkette 271.
 Skineffekt 215.
 Spannungserhöhung von Leitungen 294.
 Spannungstrichter 36.
 Spezifischer Widerstand 10.
 Spiegelung 42.
 — an der Kugel 65.
 Sprungfunktion 333.
 Stammgleichung 323.
 Stoßionisierung 141.
 Strahlung 313.
 Strahlungsdichte 315.
 Strahlungswiderstand 314.
 Streufaktor 234.
 Streufeld 195.
 Streufluß 204.
 — und gemeinsamer Fluß 235.
 Streuinduktivität, Definition 234.
 Stromdichte 27.
 Stromleitung 43.
 Stromquelle 48.
 Stromrichter 281.
 Stromtore 281.
 Stromverdrängung 214.
 — in Ankerstäben 220.
 Stromwandler 257.
 Symmetrische Komponenten 260.

 Teilkapazität, Definition und Messung 80.
 Teilkapazitäten von Leitungen 84.
 Temperaturkoeffizient 10.
 Tensor 174, 269.
 Theorie, Zweck und Aufgabe 2.
 Thomson-Brücke 25.
 Tiefenerder 42.
 Trägerfrequenz 264.
 Transformator 233.
 —, Ersatzbild 236.
 Triebseibe eines Wechselstromzählers 226.

 Übergangsfunktion 326.
 Überlagerungsgesetz 18.
 Überschlag 149, 154.
 Übertragungsfaktor 335.
 Übertragungsmaß 271.
 Übertragungswinkel 271, 335.
 Umlaufspannung 163.
 Umwandlung elektrischer in mechanische Arbeit 96.
 Unipolarmaschine 161.
 Urspannung 20.
 Urstrom 20.

- Vektorpotential 189.
 Vektorrechnung, äußeres Produkt 158.
 —, inneres Produkt 29.
 — Divergenz 105.
 — Gradient 29, 108.
 — Rotation 186.
 Verdrillen von Leitungen 89.
 Verlustwiderstand 231.
 Verlustwinkel eines Kondensators 131.
 — eines Zweischichtenkondensators 134.
 — von Isolierstoffen 137.
 Verschiebungsfluß 50.
 Verschiebungsstrom 100.
 Verstärkerröhre 276.
 —, Ersatzbild 279.
 Verstärkung 279.
 Vierpol 265.
 Vierpolgleichungen 267, 269.
 Vorzeichendefinition 212.
- Wärmedurchschlag 152.
 Wärmetauscher 48, 350.
 Wanderwelle 343.
 Wechselstrominduktionsmaschine 246.
 Wechselstromsynchronmaschine 242.
 Wellenanpassung 271.
 Wellen, ebene 316.
 —, gebrochene 344.
 —, reflektierte 344.
 —, stehende 291.
- Wellensiebe 271.
 Wellenwiderstand 270, 284.
 — des leeren Raumes 312.
 Wheatstonesche Brücke 16.
 Wicklungsfaktor 214.
 Widerstand 13.
 Widerstandsbelag 283.
 Widerstandsämpfung 288, 292.
 Widerstandserhöhung bei Wechselstrom 217.
 Widerstandsreziproke Gebilde 275.
 Widerstandsthermometer 17.
 Winkelmaß 271.
 Wirbelströme 214.
 — in Eisenblechpaketen 223.
 Wirbelstromverluste 214, 231.
 Wirkleistung 254, 265.
 Wirkwiderstand 213, 252.
- Zahlenwertgleichungen 8.
 Zeigerdiagramm 130.
 Zeitkonstante 101.
 Zündkennlinie 281.
 Zündspannung 145.
 Zugkraft eines Elektromagneten 209.
 Zugspannung im elektrischen Feld 91.
 — im magnetischen Feld 211.
 Zweidimensionale Felder 108.
 Zweipol 20.
 Zweipolquelle 20.
 Zylinderkondensator 61, 72, 73.