

Potenzen, Pegel, Kennfarben

	Pegel	Leistungs- verhältnis	Spannungs- verhältnis	Kenn- farbe	Wert	Multi- plikator	Toleranz
$10^{-3} = 0,001$	-20 dB	0,01	0,1	Silber	-	10^{-2}	$\pm 10\%$
$10^{-2} = 0,01$	-10 dB	0,1	0,32	Gold	-	10^{-1}	$\pm 5\%$
$10^{-1} = 0,1$	-6 dB	0,25	0,5	schwarz	0	10^0	-
$10^0 = 1$	-3 dB	0,5	0,71	braun	1	10^1	$\pm 1\%$
$10^1 = 10$	-1 dB	0,8	0,89	rot	2	10^2	$\pm 2\%$
$10^2 = 100$	0 dB	1	1	orange	3	10^3	-
$10^3 = 1000$	1 dB	1,26	1,12	gelb	4	10^4	-
	3 dB	2	1,41	grün	5	10^5	$\pm 0,5\%$
	6 dB	4	2	blau	6	10^6	$\pm 0,25\%$
	10 dB	10	3,16	violett	7	10^7	$\pm 0,1\%$
	20 dB	100	10	grau	8	10^8	-
				weiß	9	10^9	-
				keine	-	-	$\pm 20\%$

Wertkennzeichnung durch Buchstaben

<i>p</i>	<i>Pico</i>	10^{-12}
<i>n</i>	<i>Nano</i>	10^{-9}

μ	<i>Mikro</i>	10^{-6}
<i>m</i>	<i>Milli</i>	10^{-3}

		10^0
<i>k</i>	<i>Kilo</i>	10^3

<i>M</i>	<i>Mega</i>	10^6
<i>G</i>	<i>Giga</i>	10^9

Ohmsches Gesetz

$$U = I \cdot R$$

Leistung

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Arbeit

$$W = P \cdot t$$

Widerstand von Drähten

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A_{Dr}}$$

$$A_{Dr} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$$

Widerstände in Reihenschaltung

$$R_G = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n$$

Bei 2 Widerständen gilt

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_G = U_1 + U_2$$

Widerstände in Parallelschaltung

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n}$$

Bei 2 Widerständen gilt

$$R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$I_G = I_1 + I_2$$

Innenwiderstand

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Effektiv- und Spitzenwerte bei sinusförmiger Wechselspannung

$$\hat{U} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

$$U_{ss} = 2 \cdot \hat{U}$$

Periodendauer

$$T = \frac{1}{f}$$

Kreisfrequenz

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Induktiver Widerstand

$$X_L = \omega \cdot L$$

Induktivitäten in Reihenschaltung

$$L_G = L_1 + L_2 + L_3 + \dots L_n$$

Induktivitäten in Parallelschaltung

$$\frac{1}{L_G} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots \frac{1}{L_n}$$

Induktivität der Ringspule(auch für Zylinderspule wenn $l > D$)

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A_S}{l_m}$$

Induktivität von Schalenkernspulen

(auch für mehrlagige Spulen)

$$L = N^2 \cdot A_L$$

Magnetische Feldstärke in einer Ringspule

$$H = \frac{I \cdot N}{l_m}$$

Magnetische Flussdichte

$$B_m = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

Transformator / Übertrager*Übersetzungsverhältnis*

$$\ddot{u} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{Z_P}{Z_S}}$$

Netztrafo

$$P_P \approx 1,2 \cdot P_S \quad A_{Fe} \approx \sqrt{P_P} \cdot \frac{cm^2}{\sqrt{W}} \quad N_V \approx \frac{42}{A_{Fe}} \cdot \frac{cm^2}{V}$$

 P_P ... Primärleistung; P_S ... Sekundärleistung*Belastbarkeit von Wicklungen*

$$I = S \cdot A_{Dr} \quad \text{mit } S \approx 2,5 A/mm^2$$

Kapazitiver Widerstand

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Kondensatoren in Reihenschaltung

$$\frac{1}{C_G} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \frac{1}{C_n}$$

Kondensatoren in Parallelschaltung

$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n$$

Kapazität eines Kondensators

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

 A ... Kondensatorplattenfläche**Elektrische Feldstärke**

$$E = \frac{U}{d}$$

RC-Tiefpass / RC-Hochpass

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

 f_g ... Grenzfrequenz**RL-Tiefpass / RL-Hochpass**

$$f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

(Frequenz am -3-dB-Punkt)

Schwingkreis $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ $Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_p}{X_L} = \frac{X_L}{R_s}$

Transistor

Für Gleichstrom gilt

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

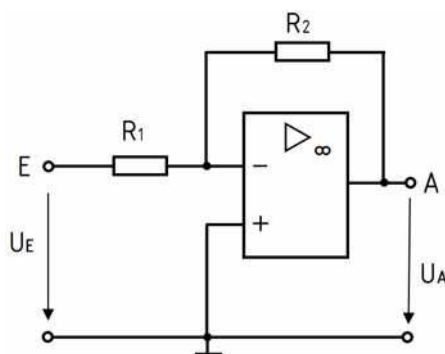
*B ... Gleichspannungs-
verstärkung*

Für Wechselstrom gilt

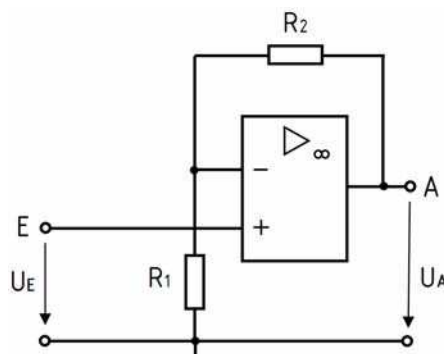
$$v_I = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$v_U = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$$

$$v_P = v_U \cdot v_I$$

Operationsverstärker*Invertierender Verstärker*

$$v_U = -\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1}$$

Nicht-invertierender Verstärker

$$v_U = \frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Pegel

$$u = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0}$$

$$p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$

Relativer Pegel: Als Spannungs- oder Leistungspegel bezogen auf beliebige Werte von U_0 oder P_0 (z.B. $1\mu V$, $1V$, $1W$, $1pW$)Absoluter Pegel: 0 dB (dBm, dBu) liegt bei $P_0 = 1mW$ oder der Spannung $U_0 = 775mV$ bei einem System mit $R_I = R_L = 600\Omega$ vor.

Der absolute Leistungspegel ist auch bei Systemen mit anderen Impedanzen gleich.

Dämpfung

$$a = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2}$$

$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$$

U_1 ... Eingangsspannung
 U_2 ... Ausgangsspannung
 P_1 ... Eingangsleistung
 P_2 ... Ausgangsleistung

Verstärkung/Gewinn

$$g = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$$

$$g = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta_{\%} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100\%$$

$$P_{ab} = P_{zu} - P_v$$

Zwischenfrequenz

$$f_{ZF} = f_E \pm f_{OSZ}$$

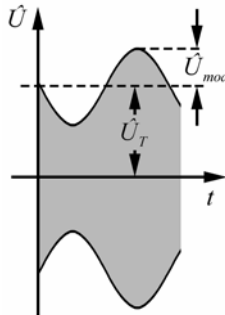
Spiegelfrequenz

$$f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF}$$

$$\text{für } f_{OSZ} > f_E$$

$$f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF}$$

$$\text{für } f_{OSZ} < f_E$$

Thermisches Rauschen	$P_R = k \cdot T_K \cdot B$ $U_R = 2 \cdot \sqrt{P_R \cdot R}$	$\Delta p_R = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B_2}$	$P_R \dots$ Rauschleistung $\Delta p_R \dots$ Pegelunterschied der Rauschleistungen in B_1 und B_2
Signal-Rauschverhältnis	$S/N = 10 \cdot \lg \frac{P_S}{P_N} = 20 \cdot \lg \frac{U_S}{U_N}$		$P_S \dots$ Signalleistung $P_N \dots$ Rauschleistung $U_S \dots$ Signalspannung $U_N \dots$ Rauschspannung
Rauschzahl	$F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{\text{EINGANG}}}{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{\text{AUSGANG}}}$	$a_F = 10 \cdot \lg F$ $a_F = (S/N)_{\text{EINGANG}} - (S/N)_{\text{AUSGANG}}$	
ERP/EIRP	$p_{ERP} = p_S - a + g_d$ $p_{EIRP} = p_{ERP} + 2,15\text{dB}$	$P_{ERP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a}{10}}$ $P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15\text{dB}}{10}}$	$g_d \dots$ Antennengewinn bezogen auf den Halbwelldipol in dB $a \dots$ Verluste (Kabel, Koppler etc.)
Gewinnfaktor von Antennen	$G_i = G_d \cdot 1,64$ $G_i = 1,64$ $G_i = 3,28$	$g_i = g_d + 2,15\text{dB}$ $g_i = 2,15\text{ dBi}$ $g_i = 5,15\text{ dBi}$	$G = 10^{\frac{g}{10}}$
<i>Halbwelldipol</i>			
<i>$\lambda/4$-Vertikalantenne</i>			
Feldstärke im Fernfeld einer Antenne^{*)}	$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_A \cdot G_i}}{d} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$		
^{*)} für Freiraumausbreitung ab $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$;	$P_A \dots$ Leistung an der Antenne		
Amplitudenmodulation			
<i>Modulationsgrad</i>	$m = \frac{\hat{U}_{mod}}{\hat{U}_T}$		
<i>Bandbreite</i>	$B = 2 \cdot f_{mod\ max}$		
Frequenzmodulation			
<i>Modulationsindex</i>	$m = \frac{\Delta f_T}{f_{mod}}$	$\Delta f_T \dots$ Frequenzhub	
<i>Carson-Bandbreite</i> (Ungefähre FM-Bandbreite)	$B = 2 \cdot (\Delta f_T + f_{mod\ max})$	B enthält etwa 99 % der Gesamtleistung eines FM-Signals.	
Phasengeschwindigkeit	$c = f \cdot \lambda$		
Verkürzungsfaktor von HF-Leitungen	$k_v = \frac{l_G}{l_E} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{c_0}$	$l_G \dots$ geometrische Länge $l_E \dots$ elektrische Länge	

Stehwellenverhältnis/VSWR

$$s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_v + U_r}{U_v - U_r} \quad s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \quad \text{mit} \quad r = \frac{R_2 - Z}{R_2 + Z}$$

$$s = \frac{R_2}{Z} \text{ wenn } R_2 > Z \quad \text{und} \quad s = \frac{Z}{R_2} \text{ wenn } R_2 < Z$$

Reflektionsfaktor

$$|r| = \frac{s-1}{s+1} = \frac{U_r}{U_v} = \sqrt{\frac{P_r}{P_v}}$$

Rücklaufende Leistung

$$P_r = P_v \cdot r^2 \quad \text{mit} \quad P_r \neq P_v$$

An R_2 abgegebene Leistung

$$P_{ab} = P_v \cdot (1 - r^2)$$

Dämpfung durch Fehlanpassung

$$a_s = -10 \cdot \lg(1 - r^2)$$

U_v ... Spannung der hinlaufenden Welle; U_r ... Spannung der rücklaufenden Welle;

Z ... Wellenwiderstand der HF-Leitung; R_2 ... reeller Abschlusswiderstand der HF-Leitung;

P_v ... vorlaufende Leistung; P_r ... rücklaufende (reflektierte) Leistung; P_{ab} ... Leistung an R_2

Wellenwiderstand**HF-Leitungen**

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

Koaxiale Leitungen

$$Z = \frac{60\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d}$$

D ... Innendurchmesser Außenleiter
 d ... Durchmesser des Innenleiters

Symmetrische Zweidraht-Leitungen mit $a/d > 2,5$

$$Z = \frac{120\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{2 \cdot a}{d}$$

a ... Mittenabstand der Leiter
 d ... Durchmesser der Leiter

Viertelwellentransformator

$$Z = \sqrt{Z_E \cdot Z_A}$$

Z ... erforderlicher Wellenwiderstand einer $\lambda/4$ -Transformationsleitung

Höchste brauchbare Frequenz

$$MUF = \frac{f_c}{\sin \alpha}$$

$$f_{opt} = MUF \cdot 0,85$$

Empfindlichkeit von Messsystemen

$$E_{MESS} = \frac{R_i}{U_i} = \frac{1}{I_i}$$

E_{MESS} ... Empfindlichkeit in Ω/V

U_i ... Spannung am System bei Vollausschlag

I_i ... Strom durch das System bei Vollausschlag

Messbereichserweiterung**Spannungsmesser**

$$R_V = \frac{U - U_M}{I_M} = \frac{U_M}{I_M} \cdot (n - 1) = R_M \cdot (n - 1)$$

n ... Erweiterungsfaktor

U ... neuer Spannungsmessbereich

U_M ... Spannungsmessbereich des Instruments

I ... neuer Strommessbereich

I_M ... Strom bei Vollausschlag des Instruments

R_V ... Vorwiderstand

R_P ... Parallelwiderstand (Shunt)

Strommesser

$$R_P = \frac{R_M \cdot I_M}{I - I_M} = \frac{R_M}{n - 1}$$

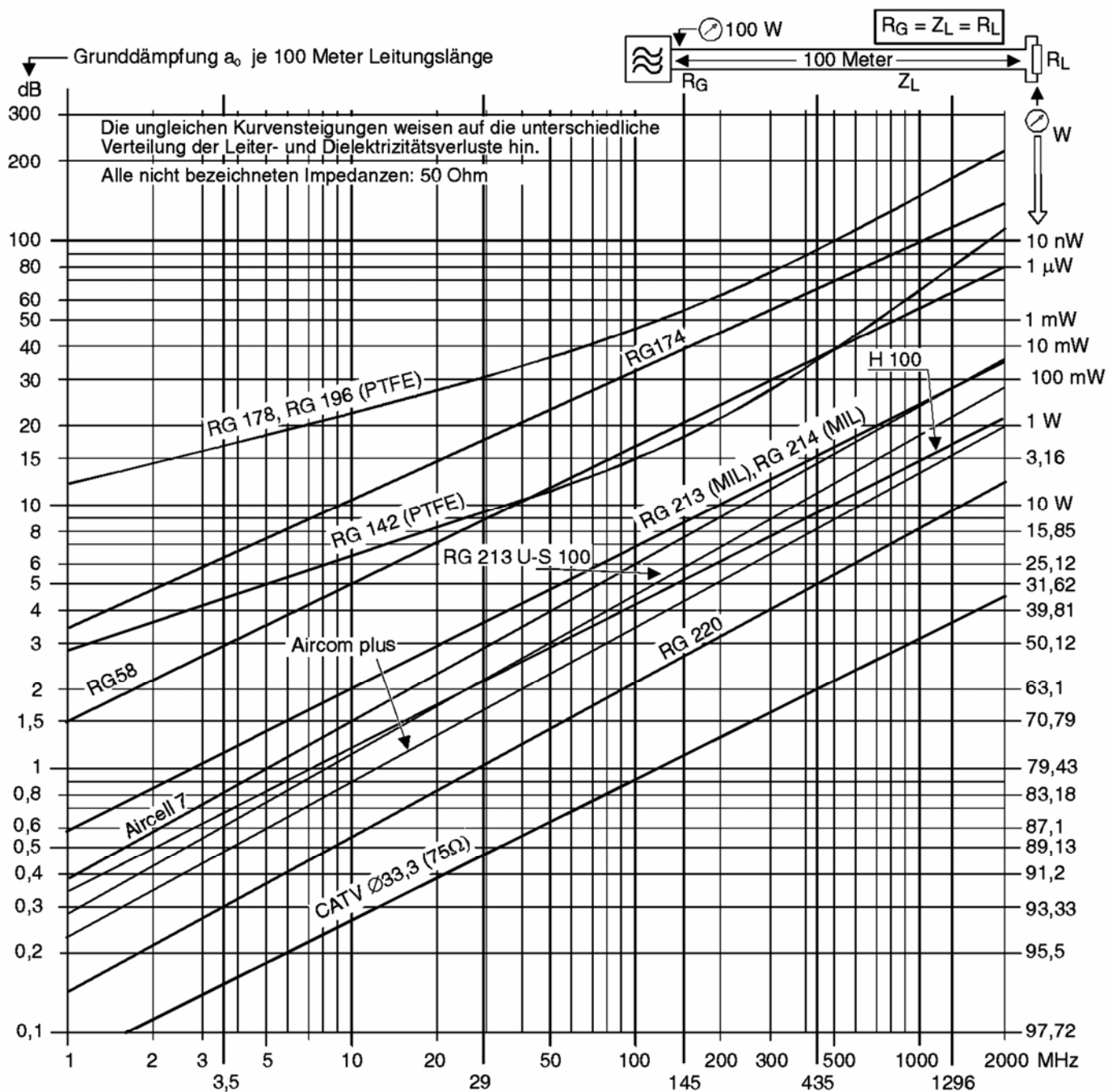
Relativer maximaler Fehler

$$F_W = \pm \frac{G}{100} \cdot \frac{W_E}{W_M}$$

F_W ... relativer maximaler Fehler (in %); G ... Genauigkeitsklasse des Messinstrumentes;

W_E ... Endwert des Messbereichs;

W_M ... abgelesener Wert (Istwert)

Kabeldämpfungsdiagramm

Grunddämpfung verschiedener gebräuchlicher Koaxleitungen in
Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz für eine Länge von 100 m.

Formelzeichen, Konstanten und Tabellen

Sofern bei der jeweiligen Formel nicht anders angegeben, gilt:

A ... Querschnitt, Fläche

A_{Dr} ... Drahtquerschnitt

A_{Fe} ... Eisenkernquerschnitt

A_L ... Induktivitätsfaktor in nH

A_S ... Querschnittsfläche der Spule

a ... Dämpfungsmaß in dB

a_F ... Rauschzahl in dB gemessen mit Eingangsabschluss bei 290 K

B, B_1, B_2 ... Bandbreiten

B_m ... magnetische Flussdichte

C ... Kapazität

C' ... Kapazitätsbelag (Kapazität pro Meter)

C_G ... Gesamtkapazität

C_1, C_2, C_3, C_n ... Teilkapazitäten

c ... Phasengeschwindigkeit

c_0 ... Vakuumlichtgeschwindigkeit, $c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

d ... Abstand, Entfernung

E ... elektrische Feldstärke

$EIRP$... äquivalente isotrope Strahlungsleistung

ERP ... äquivalente (effektive) Strahlungsleistung

e ... Eulersche Zahl, $e=2,718...$

F ... Rauschzahl (Eingangsabschluss bei 290 K)

f ... Frequenz

f_c ... Höchste Frequenz, bei der senkrecht in die Ionosphäre eintretende Strahlung von der gegebenen Schicht noch reflektiert wird

f_E ... eingestellte Empfangsfrequenz

f_g ... Grenzfrequenz

f_{mod} ... Modulationsfrequenz

f_{modmax} ... höchste Modulationsfrequenz

f_{opt} ... optimale Frequenz

f_{osz} ... Oszillatorfrequenz

f_s ... Spiegelfrequenz

f_{ZF} ... Zwischenfrequenz

f_0 ... Resonanzfrequenz

G ... Gewinnfaktor

G_d ... Gewinnfaktor bezogen auf den Halbwellendipol

G_i ... Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler

g ... Verstärkungsmaß/Gewinn in dB

g_d ... Gewinn in dB bezogen auf den Halbwellendipol

g_i ... Gewinn in dB bezogen auf den isotropen Strahler

H ... magnetische Feldstärke

I ... Stromstärke

I_B ... Basisgleichstrom

I_C ... Kollektorgleichstrom

I_E ... Emittorgleichstrom

I_G ... Gesamtstrom

I_P ... Primärstromstärke

I_S ... Sekundärstromstärke

I_1, I_2 ... Teilströme

k ... Boltzmann-Konstante, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{Ws} / \text{K}$

k_v ... Verkürzungsfaktor

L ... Induktivität

L' ... Induktivitätsbelag (Induktivität pro Meter)

L_G ... Gesamtinduktivität

L_1, L_2, L_3, L_n ... Teilinduktivitäten

l ... Länge

l_m ... mittlere Feldlinienlänge

MUF ... Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung

m ... Modulationsindex

N ... Windungszahl

N_P ... Primärwindungszahl

N_S ... Sekundärwindungszahl

N_V ... Windungszahl pro Volt

P ... Leistung

P_R ... Rauschleistung

P_S, P_{ERP}, P_{EIRP} ... Sender-/ Strahlungsleistungen

P_V ... Verlustleistung

P_{ab} ... abgegebene Leistung

P_{zu} ... zugeführte Leistung

p ... Pegel der Leistung in dB...

p_S, p_{ERP}, p_{EIRP} ... Pegel der Sender-/ Strahlungsleistungen in dBm

Q ... Güte

R ... Widerstand

R_G ... Gesamtwiderstand

R_i ... Innenwiderstand

R_1, R_2, R_3, R_n ... Teilwiderstände

R_p ... paralleler Verlustwiderstand R_s ... serieller Verlustwiderstand r ... Reflektionsfaktor S ... Stromdichte S/N ... Signal-Rauschverhältnis in dB, auch als SNR oder $\frac{S+N}{N}$ bezeichnet s ... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit T ... Periodendauer T_K ... Temperatur in Kelvin bezogen auf den absoluten Nullpunkt T_0 ($T_0 = 0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$; d.h. $20^\circ\text{C} \approx 293 \text{ K}$) t ... Zeit U ... Spannung U_{eff} ... Effektivspannung U_G ... Gesamtspannung U_P ... Primärspannung U_R ... effektive Rauschspannung an R U_S ... Sekundärspannung U_{SS} ... Spannung von Spitze zu Spitze U_1, U_2 ... Teilspannungen \hat{U} ... Spitzenspannung \hat{U}_{mod} ... Amplitude der Modulationsspannung \hat{U}_T ... Amplitude der HF-Trägerspannung u ... Pegel der Spannung in dB... \ddot{u} ... Übersetzungsverhältnis $VSWR$... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit v_I ... Wechselstromverstärkung v_U ... Wechselspannungsverstärkung v_P ... Leistungsverstärkung für Wechselstrom W ... Arbeit X_C ... kapazitiver Blindwiderstand X_L ... induktiver Blindwiderstand Z ... Wellenwiderstand Z_A ... Ausgangsscheinwiderstand Z_E ... Eingangsscheinwiderstand Z_{F0} ... Feldwellenwiderstand des freien Raumes,

$$Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \cdot \pi \cdot \Omega$$

 Z_P ... Primärer Scheinwiderstand Z_S ... Sekundärer Scheinwiderstand ΔI ... Stromänderung ΔI_B ... Basisstromänderung ΔI_C ... Kollektorstromänderung ΔU ... Spannungsänderung ΔU_{CE} ... Kollektor-Emitter-Spannungsänderung ΔU_{BE} ... Basis-Emitter-Spannungsänderung α ... Abstrahlwinkel der Antenne β ... Wechselstromverstärkung ϵ_0 ... elektrische Feldkonstante,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} = 0,885 \cdot 10^{-11} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

 ϵ_r ... relative Dielektrizitätszahl (siehe Tabelle 2) η ... Wirkungsgrad $\eta_{\%}$... Wirkungsgrad in Prozent λ ... Wellenlänge μ_0 ... magnetische Feldkonstante,

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

 μ_r ... relative Permeabilität ρ ... spezifischer elektrischer Widerstand (siehe Tabelle 1) ω ... Kreisfrequenz**Tabelle 1: Spezifischer elektrischer Widerstand ρ**

Material	Kupfer	Aluminium	Eisen
ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ bei 20°C	0,0178	0,030	0,17

Tabelle 2: Relative Dielektrizitätszahl ϵ_r

Dielektrikum / Isolierstoff	Luft (trocken)	Voll-PE (Polyäthylen)	Schaum-PE	PTFE (Teflon)
ϵ_r	1,00059	2,29	1,5	2,0