

Name: _____

Formelsammlung

für die Funkamateurrprüfung

© Stephan Bolli 2006

Widerstand

Serieschaltung $R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ $R_{ges} = \sum_{i=1}^n R_i$

Parallelschaltung $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ $R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ $\frac{1}{R_{ges}} = \sum \frac{1}{R_i}$

Kondensator

Serieschaltung: $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ $C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ $\frac{1}{C_{ges}} = \sum \frac{1}{C_i}$

$X_{C_{ges}} = X_{C1} + X_{C2} + \dots + X_{Cn}$ $X_{C_{ges}} = \sum X_{Ci}$

Parallelschaltung $C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ $C_{ges} = \sum C_i$

$\frac{1}{X_{C_{ges}}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \dots + \frac{1}{X_{Cn}}$ $X_{C_{ges}} = \frac{X_{C1} \cdot X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}}$ $\frac{1}{X_{C_{ges}}} = \sum \frac{1}{X_{Ci}}$

Spule

Serieschaltung $L_{ges} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ $L_{ges} = \sum L_i$

$X_{L_{ges}} = X_{L1} + X_{L2} + \dots + X_{Ln}$ $X_{L_{ges}} = \sum X_{Li}$

Parallelschaltung $\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$ $L_{ges} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$ $\frac{1}{L_{ges}} = \sum \frac{1}{L_i}$

$\frac{1}{X_{L_{ges}}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \dots + \frac{1}{X_{Ln}}$ $X_{L_{ges}} = \frac{X_{L1} \cdot X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}$ $\frac{1}{X_{L_{ges}}} = \sum \frac{1}{X_{Li}}$

URI

$U = R \cdot I$ $I = \frac{U}{R}$ $R = \frac{U}{I}$

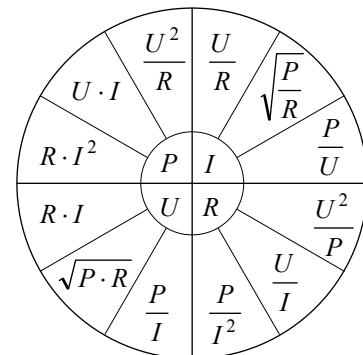


PUI

$P = U \cdot I$ $U = \frac{P}{I}$ $I = \frac{P}{U}$

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

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



U	Spannung	V	C	Kapazität	F		
R	Widerstand	Ω	L	Induktivität	H	X_C	Kapazitiver Blindwiderstand Ω
I	Strom	A	P	Leistung	W	X_L	Induktiver Blindwiderstand Ω

Widerstand in Drähten

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \Delta R = \alpha \cdot \Delta T \cdot R_{20}$$

$$R = R_{20} + \Delta R = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$R_{20} = \frac{R}{1 + \alpha \cdot \Delta T}$$

$$G = \frac{1}{R}$$

R	Widerstand (bei Temperatur T)	Ω
R_{20}	Widerstand bei 20 °C	Ω
ΔR	Widerstandsänderung zu 20 °C	Ω
ΔT	Temperaturdifferenz zu 20 °C	K oder °C
ρ	spezifischer Widerstand	$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
	$\rho_{\text{Kupfer}} = 0.0178$	
α	Temperaturkoeffizient	K^{-1}
l	Leiterlänge	m
A	Leiterquerschnitt	mm^2
G	Leitwert	S

Kirchhoffsche Gesetze

1. Kirchhoffsches Gesetz – Knotenregel

Die Summe aller Ströme an einem Knoten ist Null:

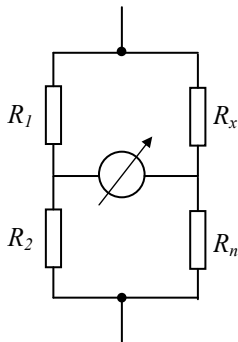
$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

2. Kirchhoffsches Gesetz – Maschenregel

Die Summe aller Spannungen in einer Masche ist Null:

$$U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = 0$$

Messbrücke



$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_n}$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_n$$

$$R_n = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_x$$

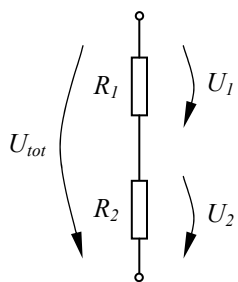
(Wheatstone-Brücke)

R_x unbekannter Widerstand Ω

R_n Vergleichswiderstand Ω

R_1, R_2 bekannte Widerstände Ω

Spannungsteiler



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

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{R_1}{R_2} = U_{tot} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = U_{tot} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_{tot} = U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$U_{tot} = U_1 + U_2$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_{tot}}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_2} - 1 \right) = R_2 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_1} - 1 \right)^{-1}$$

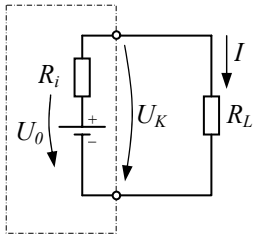
$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_1} - 1 \right) = R_1 \cdot \left(\frac{U_{tot}}{U_2} - 1 \right)^{-1}$$

U Spannung V

R Widerstand Ω

I Strom A

Innenwiderstand



$$U_K = U_0 - I \cdot R_i = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

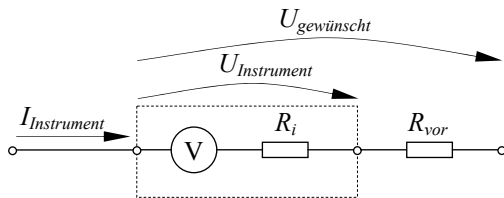
$$I = \frac{U_0}{R_i + R_L} \quad I_k = \frac{U_0}{R_i}$$

$$R_i = \frac{U_0 - U_K}{I} = \frac{U_0}{I} - R_L = \frac{U_0}{I_k}$$

U_0	Elektromotorische Kraft U_{EMK}	V
	auch Quellenspannung (Leerlaufspannung)	
U_K	Klemmenspannung	V
I	Strom	A
I_k	Kurzschlussstrom	A
R_i	Innenwiderstand	Ω
R_L	Lastwiderstand	Ω

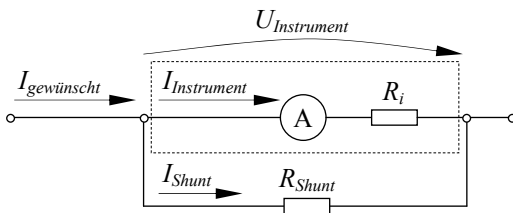
Messbereichserweiterung

Spannungsmessung



$$R_{vor} = R_i \cdot \left(\frac{U_{gewuenscht}}{U_{Instrument}} - 1 \right) = \frac{U_{gewuenscht} - U_{Instrument}}{I_{Instrument}}$$

Strommessung



$$R_{Shunt} = R_i \cdot \frac{I_{Instrument}}{I_{gewuenscht} - I_{Instrument}} = \frac{U_{Instrument}}{I_{gewuenscht} - I_{Instrument}}$$

$$R_i = \frac{U_{Instrument}}{I_{Instrument}}$$

R_{Shunt} : Nebenwiderstand Ω

Transformator

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$P_1 = P_2 \quad \Theta_1 = \Theta_2$$

Wirkungsgrad

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

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

1	Eingangsseite / primär	–
2	Ausgangsseite / sekundär	–
\ddot{u}	Übersetzungsverhältnis	–
N	Windungszahl	–
U	Spannung	V
I	Strom	A
R	Widerstand	Ω
Z	Impedanz	Ω
C	Kapazität	F
L	Induktivität	H
P	Wirkleistung	W
Θ	Durchflutung	A
η	Wirkungsgrad	–
P_{zu}	zugeführte Leistung	W
P_{ab}	abgegebene Leistung	W
P_V	Verlustleistung	W

Leistungsanpassung

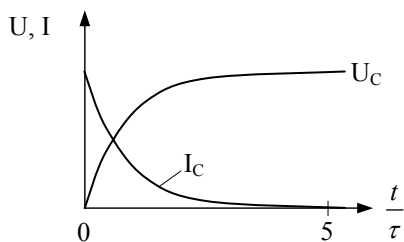
$$R_i = R_{Last} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \quad U_k = \frac{U_0}{2} \quad I = \frac{I_k}{2}$$

$$P_{max} = \frac{U_0^2}{4 \cdot R_i} \quad P_{Last} = \frac{U_0^2 \cdot R_{Last}}{(R_i + R_{Last})^2} = P_{max}$$

R_i	Innenwiderstand	Ω
R_{Last}	Lastwiderstand	Ω
U_k	Klemmenspannung	V
U_0	Leerlaufspannung	V
I	Laststrom	A
I_k	Kurzschlussstrom	A
P_{Last}	abgegebene Leistung	W
P_{max}	maximale Leistung	W
U_1	Spannung im Lastfall 1	V
U_2	Spannung im Lastfall 2	V
I_1	Stromstärke im Lastfall 1	A
I_2	Stromstärke im Lastfall 2	A
U_0	Spannung Spannungsquelle	V

Kondensator

Aufladung



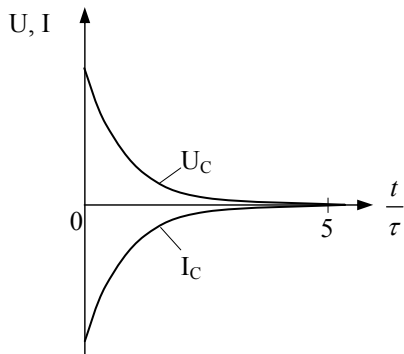
$$\tau = R \cdot C$$

$$U_C = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$$

$$I_C = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \text{ am Zeitpunkt } 0$$

Entladung



$$\tau = R \cdot C$$

$$U_C = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$I_C = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$U_0 \text{ Anfangsspannung Kond. } V$$

$$I_0 = -\frac{U}{R} \text{ am Zeitpunkt } 0$$

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

$$Q = C \cdot U = I \cdot t \quad \rightarrow \quad I = C \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

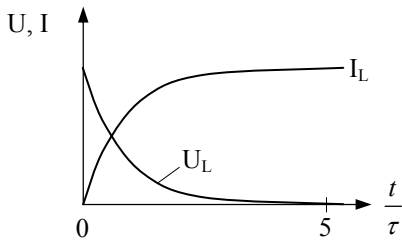
$$C = \frac{I \cdot t}{U} = \frac{Q}{U} \quad C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

τ	Zeitkonstante	s
R	Widerstand	Ω
C	Kapazität	F
U_C	Spannung am Kondensator	V
t	Ladezeit	s
I_C	Strom (Laden bzw. Entladen)	A
E	Elektrische Feldstärke	$\frac{V}{m}$
d	Plattenabstand	m
F	Kraft auf Ladung	N
Q	Ladung	C
A	Plattenoberfläche	m^2
ϵ_0	physikalische Dielektrizitätskonstante	$= 8.854187871 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} = \frac{F}{m}$
ϵ_r	Material-Dielektrizitätskonstante	
	Luft = 1	

Spule und magnetisches Feld

Aufladung



$$\tau = \frac{L}{R}$$

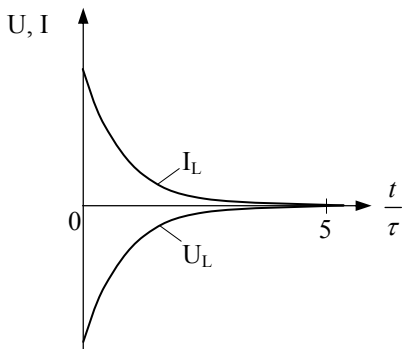
$$U_L = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot R}{L}}$$

$$I_L = I_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = I_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot R}{L}}\right)$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \text{ am Zeitpunkt } 0$$

L	Induktivität	H
τ	Zeitkonstante	s
R	Widerstand	Ω
U_L	Augenblickswert Spulenspannung	V
U_0	Anfangsspannung Spule	V
I_L	Augenblickswert Spulenstrom	A
I_0	Anfangsstrom Spule	V
t	Zeit	s

Entladung



$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$U_L = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot R}{L}}$$

$$I_L = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot R}{L}}$$

$$I_0 = \frac{U}{R} \text{ am Zeitpunkt } 0$$

$$L = \frac{N^2}{R_M} = U \cdot \frac{\Delta t}{\Delta I} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot N^2}{l} = \frac{\Phi \cdot N}{I}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$Q = \frac{X_L}{R_V} = \frac{\omega \cdot L}{R_V} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R_V}$$

$$U_i = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = N \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$U_{Si} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{N^2}{R_M} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

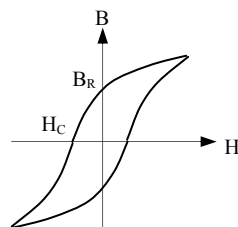
$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$$H = \frac{\Theta}{l}$$

$$\Theta = I \cdot N$$

$$R_M = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

$$\Lambda_M = \frac{1}{R_M}$$



L	Induktivität	$H = \frac{Vs}{A}$
N	Windungszahl	-
A	Spulenquerschnitt	m^2
l	Spulenlänge (Feldlinienlänge)	m
μ_0	magnetische Feldkonstante	$= 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$
μ_r	Permeabilität (Material)	-
Φ	magnetischer Fluss	Wb
Q	Güte	-
X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
R_V	Verlustwiderstand	Ω
R_M	magnetischer Widerstand	$\frac{A}{Vs}$
R_V	Verlustwiderstand	Ω
U_i	induzierte Spannung	V
U_{Si}	Selbstinduktionsspannung	V
B	magn. Flussdichte, Induktion	T
Θ	Durchflutung	A
H	magn. Feldstärke	$\frac{A}{m}$
Λ_M	magnetischer Leitwert	H
B_R	Remanenzflussdichte	T
H_C	Koerzitivfeldstärke	A/m

Impedanz und Blindwiderstand

Sinusschwingung: $U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}}$ $U_S = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$ $U_{SS} = 2 \cdot U_S = 2\sqrt{2} \cdot U_{eff}$

allgemein: $U_{eff} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U^2(t) dt$

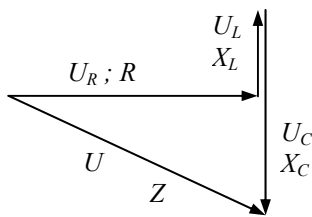
U_{eff}	Effektivspannung (auch U_{RMS})	V
U_S	Spitzenspannung (auch \hat{U})	V
U_{SS}	Spitzen-Spitzenspannung	V

Kapazitiver Blindwiderstand: $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$

$$X_C = \frac{U_C}{I_C} \quad \frac{U_C}{I_C} = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad I_C = \frac{U_C}{X_C} \quad U_C = X_C \cdot I_C$$

Induktiver Blindwiderstand: $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

$$X_L = \frac{U_L}{I_L} \quad \frac{U_L}{I_L} = \omega \cdot L \quad I_L = \frac{U_L}{X_L} \quad U_L = X_L \cdot I_L$$



$$U = Z \cdot I$$

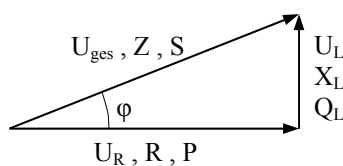
$$\vec{Z} = \vec{R} + \vec{X}_L + \vec{X}_C$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Z	Impedanz	Ω
R	Reeller (ohmscher) Widerstand	Ω
X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
C	Kapazität	F
L	Induktivität	H
ω	Kreisfrequenz	s^{-1}

Merksatz: Bei Induktivitäten die Ströme sich verspäten.

Leistung im Wechselstromkreis



$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U_{ges}}$$

U	Spannung	V
I	Strom	A
P	Wirkleistung	W
S	Scheinleistung	VA
Q_L	induktive Blindleistung	var
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor	-

Schwingung

Resonanzbedingung:

$$X_C = X_L$$

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

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_{res} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

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

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

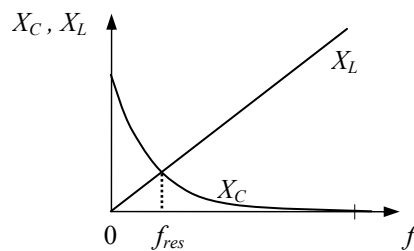
$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L}$$

$$X_C = X_L = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω
X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
ω	Kreisfrequenz	s^{-1}
L	Induktivität	H
C	Kapazität	F
f_{res}	Resonanzfrequenz	Hz

→ Thomsonsche Schwingkreisformel



Schwingkreise

Allgemein

$$b = \frac{f_{res}}{Q} = \frac{R_V}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

$$b = f_o - f_u$$

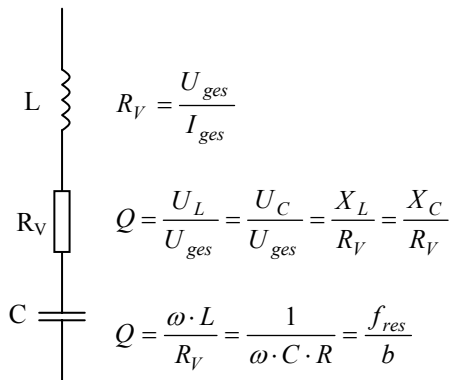
$$f_{res} = \frac{f_o + f_u}{2}$$

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{f_{res}}{b} = \frac{f_o + f_u}{2 \cdot (f_o - f_u)}$$

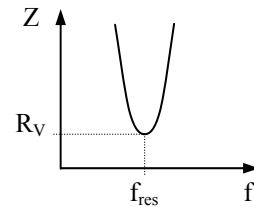
$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

b	Bandbreite (-3 dB Punkt)	Hz
f_o	obere Grenzfrequenz	Hz
f_u	untere Grenzfrequenz	Hz
f_{res}	Resonanzfrequenz	Hz
d	Dämpfungsfaktor	–
T	Schwingungsdauer (Resonanz)	s
Q	Güte	–
L	Induktivität	H
C	Kapazität	F

Reihen- / Serieschwingkreis



Z_0	Resonanzwiderstand	Ω
R_V	Serie-Verlustwiderstand	Ω
Q	Güte	-
X	Blindwiderstand	Ω
f_{res}	Resonanzfrequenz	Hz
b	Bandbreite	Hz



Serie-Schwingkreiswiderstand

Resonanz: $Z_S = R_V \quad \varphi = 0$

Betrag: $|Z_S| = \sqrt{R_V^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$

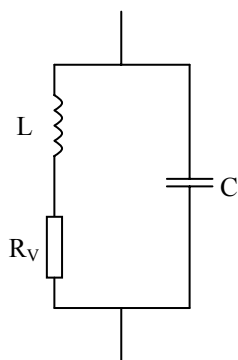
Phase: $\tan \varphi = \frac{\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}}{R_V}$

Z_S	Serie-Resonanzwiderstand	Ω
R_V	Serie-Verlustwiderstand	Ω
φ	Phasenwinkel	rad
U_C	Spannung über Kondensator	V
U_L	Spannung über Induktivität	V
U_{ges}	Spannung über Serieschwingkreis	
I_{ges}	Spannung durch Serieschwingkreis	

Teilspannungen: $U_C = X_C \cdot \frac{U_{ges}}{\sqrt{R_V^2 + (X_L - X_C)^2}} = X_C \cdot \frac{U_{ges}}{|Z_S|} = X_C \cdot I_{ges}$

$U_L = X_L \cdot \frac{U_{ges}}{\sqrt{R_V^2 + (X_L - X_C)^2}}$

Parallelschwingkreis



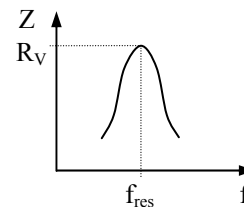
$Z_0 = \frac{L}{C \cdot R_V} = \frac{U_{ges}}{I_{ges}} = R_p$

$Z_0 = \frac{(\omega \cdot L)^2}{R_V} = Q \cdot X_L$

$Q = \frac{I_L}{I_{ges}} = \frac{I_C}{I_{ges}} = \frac{Z_0}{X_L} = \frac{Z_0}{X_C}$

$Q = \omega \cdot C \cdot Z_0 = \frac{Z_0}{\omega \cdot L} = \frac{f_{res}}{b}$

Z_0	Resonanzwiderstand	Ω
R_p	Parallelwiderstand	Ω
R_V	Serie-Verlustwiderstand	Ω



Parallel-Schwingkreiswiderstand

Betrag:
$$\left| Z_p \right| = \sqrt{R_p^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C \right)^2}$$

Phase:
$$\tan \varphi = \frac{\frac{1}{\omega \cdot L} - \omega \cdot C}{\frac{1}{R_p}}$$

Resonanz:
$$Z_p = R_p \qquad \varphi = 0$$

Shape-Faktor:
$$F = \frac{B_{-60dB}}{B_{-6dB}}$$

$$R_p \cdot R_V = \frac{L}{C}$$

- Z_p Parallel-Resonanzwiderstand Ω
- R_p Parallelwiderstand Ω
- R_V Serie-Verlustwiderstand Ω
- ω Kreisfrequenz s^{-1}
- L Induktivität H
- C Kapazität F
- φ Phasenwinkel rad
- F Shape-Faktor (Formfaktor) $-$
- b_{60dB} Bandbreite bei -60 dB Hz
- b_{6dB} Bandbreite bei -6 dB Hz

Oszillator

$k \cdot v = 1$

- k Rückkopplungsfaktor $-$
- v Verstärkungsfaktor $-$



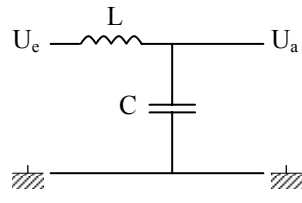
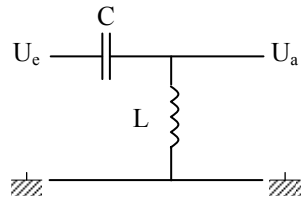
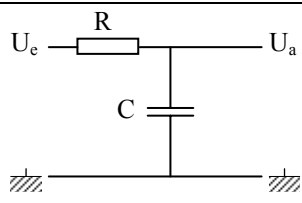
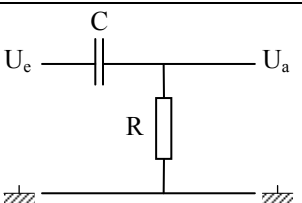
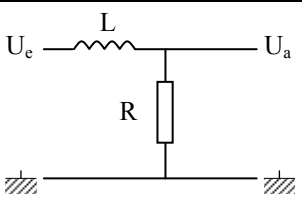
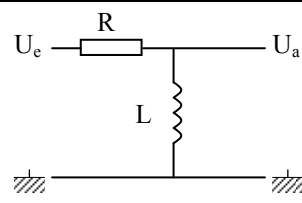
Dezibel-Pegel

Pegel	Leistungsverhältnis P_2 / P_1	Spannungsverhältnis U_2 / U_1
40 dB	10000	100
30 dB	1000	31.6
20 dB	100	10
10 dB	10	3.16
6 dB	4	2
3 dB	2	1.41
2.15 dB	1.64	1.28
1.5 dB	1.41	1.19
1 dB	1.26	1.12
0 dB	1	1
-1 dB	0.794	0.891
-1.5 dB	0.708	0.841
-2.15 dB	0.61	0.781
-3 dB	0.5	0.708
-6 dB	0.25	0.5
-10 dB	0.1	0.316
-20 dB	0.01	0.1
-30 dB	0.001	0.0316
-40 dB	0.0001	0.01

Filter

- Kondensator an Gleichspannung $\rightarrow Z \approx \infty$ (sperrt)
- Kondensator an Hochfrequenz $\rightarrow Z \approx 0$ (leitet)
- Spule an Gleichspannung $\rightarrow Z \approx 0$ (leitet)
- Spule an Hochfrequenz $\rightarrow Z \approx \infty$ (sperrt)

f_{grenz}	Grenzfrequenz	s^{-1}
L	Induktivität	H
C	Kapazität	F
U_e	Eingangsspannung	V
U_a	Ausgangsspannung	V
R	Widerstand	Ω
X_C	kapazitiver Blindwiderstand	Ω
X_L	induktiver Blindwiderstand	Ω

	Tiefpass $f_{\text{grenz}} = -3 \text{ dB}$ 	Hochpass $f_{\text{grenz}} = -3 \text{ dB}$ 
LC	 $f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$	 $f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$
RC	 $f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ $U_a = U_e \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$	 $f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ $U_a = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$
RL	 $f_{\text{grenz}} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$ $U_a = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$	 $f_{\text{grenz}} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$ $U_a = U_e \cdot \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$

Transistor

$$I_C = B \cdot I_B$$

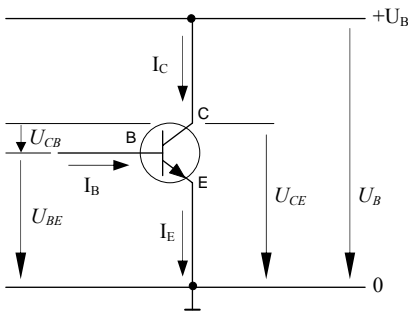
$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B = (B+1) \cdot I_B$$

$$P_V = U_{CE} \cdot I_C + U_{BE} \cdot I_B \approx U_{CE} \cdot I_C$$

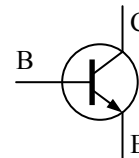
$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

U_B	Betriebsspannung	V
U_{BE}	Basis-Emitter-Spannung (Basisvorspannung)	V
U_{CE}	Kollektor-Emitter-Spannung	V
I_B	Basisstrom	A
I_C	Kollektorstrom	A
I_E	Emitterstrom	A
B	Gleichstromverstärkung	-
P_V	Verlustleistung	W

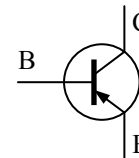


Schaltzeichen

Bipolar NPN



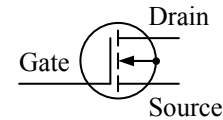
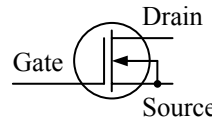
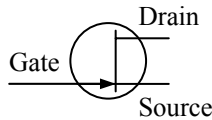
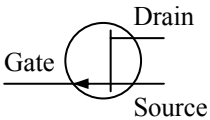
Bipolar PNP



J-FET P-Kanal
(Sperrschicht)

J-FET N-Kanal
(Sperrschicht)

Isolierschicht-FET, IG-FET, MOS-FET
(Verarmungstyp) (Anreicherungstyp)



(selbstleitend)

(selbstsperrend)

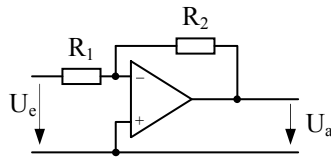
Grundsaltungen bipolarer Transistoren

Schaltungsname	Emitterschaltung	Kollektorschaltung	Basisschaltung
Schaltungsbeispiel			
Spannungsverstärkungsfaktor v_U	gross, z.B. 300	< 1, z.B. 0.5	gross, z.B. 100
Stromverstärkungsfaktor v_I	gross, z.B. 300	gross, z.B. 300	< 1, z.B. 0.5
Leistungsverstärkungsfaktor v_P	sehr gross, z.B. 30000	gross, z.B. 300	gross, z.B. 200
Phasenlage von $U_{c\sim}$ zu $U_{a\sim}$	entgegengesetzt	gleich	gleich
Eingangswiderstand R_{ie}	mittel, z.B. 5 k Ω	gross, z.B. 50 k Ω	klein, z.B. 50 Ω
Ausgangswiderstand R_{ia}	gross, z.B. 10 k Ω	klein, z.B. 100 Ω	gross, z.B. 10 k Ω
Anwendungsbeispiel	NF-Verstärker	NF-Eingangsverstärker	HF-Verstärker

Operationsverstärker

Invertierende

$$v = \frac{R_2}{R_1} = - \frac{U_a}{U_e}$$

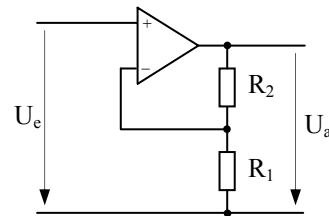
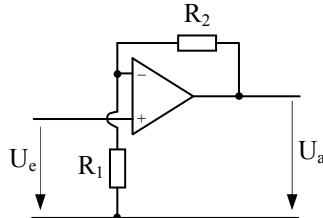


v	Verstärkungsfaktor	–
U_a	Ausgangsspannung	V
U_e	Eingangsspannung	V
R	Widerstand	Ω

Nicht-Invertierende

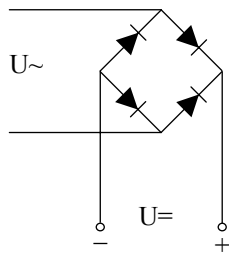
$$v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_a = U_e \cdot v$$



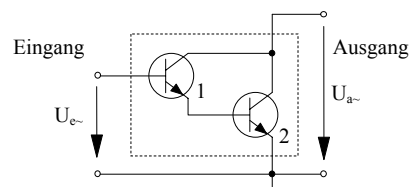
Graetz-Schaltung

(Zweipuls-Brückenschaltung)



Darlington-Schaltung

$$B_{total} = B_1 \cdot B_2$$



B	Gleichstromverstärkung	–
-----	------------------------	---

Elektronenröhren

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \qquad R = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$D = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} = \frac{1}{\mu} \qquad \mu = \frac{1}{D}$$

$$P_V = U_a \cdot I_a$$

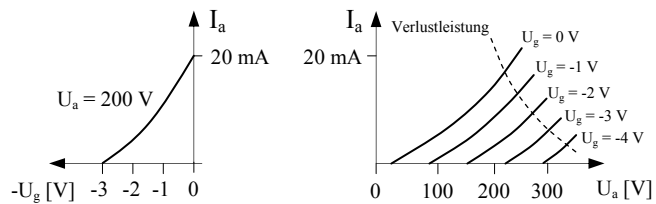
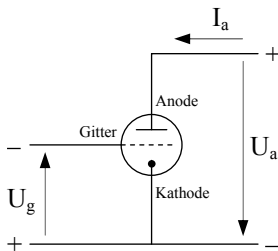
Barkhausensche Röhrenformel

$$S \cdot R \cdot D = 1$$

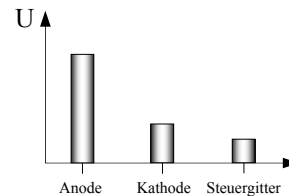
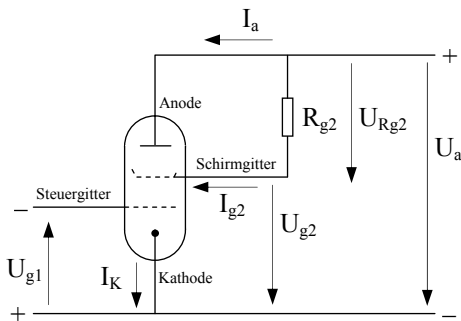
Bedingung: S: $U_a = \text{const}$ R: $U_g = \text{const}$ D: $I_a = \text{const}$

S	Steilheit	A/V
ΔI_a	Anodenstromänderung	A
ΔU_g	Gittervorspannungsänderung	V
R	Innenwiderstand	Ω
ΔU_a	Anodenspannungsänderung	V
D	Durchgriff	-
μ	Verstärkungsfaktor	-
P_V	Verlustleistung	W
U_a	Anodenspannung (Betrieb-)	V
I_a	Anodenstrom	A

Triode



Tetrode

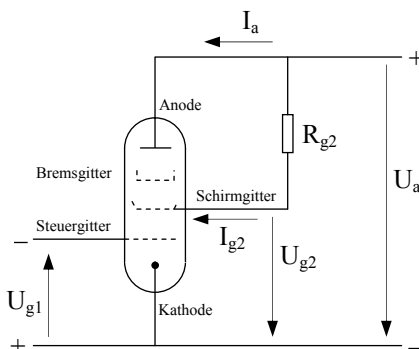


$$R_{g2} = \frac{U_a - U_{g2}}{I_{g2}}$$

$$U_{Rg2} = U_a - U_{g2}$$

$$I_K = I_a + I_{g2}$$

Pentode



Das Bremsgitter ist in der Regel mit der Kathode verbunden.

Dezibel

Leistungsverstärkung

$$v = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$$

v : Verstärkung [dB]

$$P_2 = P_1 \cdot 10^{\frac{v}{10}}$$

F : Verstärkungsfaktor []

$$P_2 = P_1 \cdot F \quad F = 10^{\frac{v}{10}}$$

Spannungsverstärkung

$$v = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \log \frac{I_2}{I_1}$$

v : Verstärkung [dB]

$$U_2 = U_1 \cdot 10^{\frac{v}{20}}$$

F : Verstärkungsfaktor []

$$U_2 = U_1 \cdot F \quad F = 10^{\frac{v}{20}}$$

Leistungsdämpfung *

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

a : Dämpfung [dB]

$$P_2 = P_1 \cdot 10^{-\frac{a}{10}}$$

F : Verstärkungsfaktor []

$$P_2 = P_1 \cdot F \quad F = 10^{-\frac{a}{10}}$$

Spannungsdämpfung *

$$a = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} = 20 \cdot \log \frac{I_1}{I_2}$$

a : Dämpfung [dB]

$$U_2 = U_1 \cdot 10^{-\frac{a}{20}}$$

F : Verstärkungsfaktor []

$$U_2 = U_1 \cdot F \quad F = 10^{-\frac{a}{20}}$$

* Achtung: negative Exponenten!

Antennengewinn

dBd – Antennengewinn bezüglich $\lambda/2$ -Dipol

$$G = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{\max}}{U_{\text{Dipol}}} \right)$$

Das i in dBi steht für isotrop (isotroper Kugelstrahler)

Das d in dBd steht für Dipol

Das c in dBc steht für Carrier (bezüglich dem Träger)

ERP: Effective Radiated Power (bezüglich Dipol)

EIRP: Effective Isotropic Radiated Power

(bezüglich isotropem Kugelstrahler)

dBd – Antennengewinn bezüglich Kugelstrahler

Ein Dipol hat gegenüber einem Kugelstrahler bereits 2.15 dB Gewinn.

$$G_{\text{bez. Kugelstrahler}} = G_{\text{bez. Dipol}} + 2.15$$

$$P_{\text{EIRP}} = 1.64 \cdot P_{\text{ERP}}$$

Absolute Pegel

Absolute Leistungspegel

$$a_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log \frac{P}{P_{\text{ref}}} \quad P = P_{\text{ref}} \cdot 10^{\frac{a_{\text{dBm}}}{10}}$$

Bezugswert: 0 dBm = 1 mW (oft an 50 Ω)

a_{dBm} absoluter Leistungspegel dBm

P Leistung W

P_{ref} Bezugsleistungspegel 1 mW W

Absoluter Spannungspegel

$$a_{\text{dB}\mu\text{V}} = 20 \cdot \log \frac{U}{U_{\text{ref}}} \quad U = U_{\text{ref}} \cdot 10^{\frac{a_{\text{dB}\mu\text{V}}}{20}}$$

Bezugswert: 0 dB μ V = 1 μ V (oft an 50 Ω)

$a_{\text{dB}\mu\text{V}}$ absoluter Spannungspegel dB μ V

U Spannung V

U_{ref} Bezugsspannungspegel 1 μ V V

Absoluter Feldstärkepegel

$$a_{\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})} = 20 \cdot \log \frac{E}{E_{\text{ref}}} \quad E = E_{\text{ref}} \cdot 10^{\frac{a_{\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})}}{20}}$$

Bezugswert: 0 dB(μ V/m) = 1 μ V/m

$a_{\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})}$ absolute Feldstärkepegel dB(μ V/m)

E Feldstärke V/m

E_{ref} Bezugsfeldstärkepegel 1 μ V/m V/m

Modulation

$$U_M(t) = \hat{U}_M \cdot \sin(\omega_M \cdot t \pm \varphi_M)$$

$$U_T(t) = \hat{U}_T \cdot \sin(\omega_T \cdot t \pm \varphi_T)$$

$$U_{AM}(t) = \underbrace{k \cdot U_M(t)}_{AM} \cdot \sin(\omega_T \cdot t \pm \varphi_T)$$

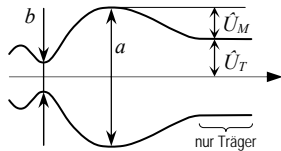
$$U_{FM}(t) = \hat{U}_T \cdot \sin(\underbrace{k \cdot U_M(t)}_{FM} \cdot t \pm \varphi_T)$$

$$U_{PM}(t) = \hat{U}_T \cdot \sin(\omega_T \cdot t \pm \underbrace{k \cdot U_M(t)}_{PM})$$

AM Amplitudenmodulation

$$m = \frac{\hat{U}_M}{\hat{U}_T} = \frac{\hat{U}_{NF}}{\hat{U}_{HF}} \cdot (100\%) \quad 0 \leq m \leq 1$$

$$m = \frac{a-b}{a+b}$$



$$U_{SB} = U_{LSB} = U_{USB} = \frac{m}{2} \cdot U_T$$

$$\hat{P}_{AM} = \frac{U_{eff}^2}{R} = \frac{U_{SS}^2}{8 \cdot R} = (1+m)^2 \cdot P_T$$

$$\bar{P}_{AM} = P_T + 2 \cdot P_{SB} = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \cdot P_T$$

$$P_{SB} = P_{USB} = P_{LSB}$$

$$P_{SB} = \frac{P_{AM} - P_T}{2} = \frac{1}{4} \cdot m^2 \cdot P_T = \frac{1}{2 + \frac{4}{m^2}} \cdot \bar{P}_{AM}$$

$$\bar{P}_{SB} = \frac{U_{SB}^2}{R} = \frac{1}{6} \cdot \bar{P}_{AM} \quad \text{bei } m = 1$$

$$P_{NF} = 2 \cdot (P_{LSB} + P_{USB}) = 2 \cdot P_{SB}$$

$$B_{AM} = 2 \cdot f_{NF \max}$$

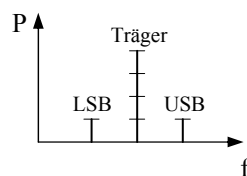
SSB Einseitenband-AM

$$B_{SSB} = f_{NF \max} - f_{NF \min} \quad B_{H3E} = f_{NF \max}$$

FM Frequenzmodulation

$$B_{FM} = 2 \cdot (\Delta f_T + f_{NF \max}) = 2 \cdot (M + 1) \cdot f_{NF \max}$$

U	Augenblickswert		V
\hat{U}	Scheitelwert	→ AM	V
ω	Kreisfrequenz (= $2\pi f$)	→ FM	s^{-1}
φ	Phasenlage	→ PM	rad
t	Zeit		s
k	Konstante		–
T	Träger (im Index)		
M	Modulation (im Index)		
m	Modulationsgrad		–
U_{SS}	Spitzen-Spitzenspannung (in Skizze: a)		V
U_{eff}	Effektivspannung		V
\hat{P}_{AM}	Spitzenleistung		
	PEP Peak Envelope Power		W
\bar{P}_{AM}	Mittlere Leistung (Mean Power)		W
P_T	Trägerleistung		W
P_{SB}	Seitenbandleistung (eines Bandes)		W
P_{USB}	Leistung oberes Seitenband		W
P_{LSB}	Leistung unteres Seitenband		W
$f_{NF \max}$	höchste Modulationsfrequenz (NF-Signal)		Hz
$f_{NF \min}$	kleinste Modulationsfrequenz (NF-Signal)		Hz
B	Bandbreite		Hz
B_{AM}	Bandbreite Zweiseitenband-AM		Hz
B_{SSB}	Bandbreite Einseitenband ohne Träger		Hz
B_{H3E}	Bandbreite Einseitenband mit Träger		Hz
B_{CW}	Bandbreite Morsetelegraphie		Hz
WPM	Worte ("paris") Pro Minute		
B_{FM}	Bandbreite FM (nach Carson)		Hz
Δf_T	Frequenzhub (des Trägers)		Hz
M	Modulationsindex		–



CW

$$B_{CW} \approx \frac{WPM \cdot 5}{1.2}$$

$$M = \frac{\Delta f_T}{f_{NF \max}} = \frac{B_{FM}}{2 \cdot f_{NF \max}} - 1$$

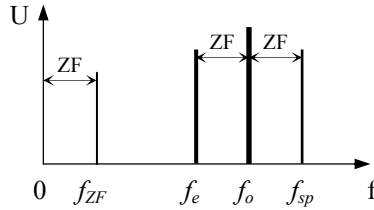
Spiegelfrequenz

$$f_{sp} > f_o :$$

$$f_{sp} = f_o + f_{ZF} = f_e + 2 \cdot f_{ZF}$$

$$f_{sp} < f_o :$$

$$f_{sp} = f_o - f_{ZF} = f_e - 2 \cdot f_{ZF}$$



f_{sp}	Spiegelfrequenz	Hz
f_o	Oszillatorfrequenz	Hz
f_e	Eingangsfrequenz	Hz
f_{ZF}	Zwischenfrequenz = const.	Hz

Intermodulationsprodukte

2. Ordnung

$$f_1 \pm f_2$$

3. Ordnung

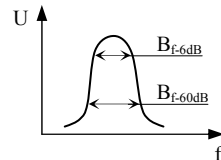
$$2 \cdot f_2 \pm f_1 \quad \text{und} \quad 2 \cdot f_1 \pm f_2$$

f_1	Frequenz Sender 1	Hz
f_2	Frequenz Sender 2	Hz

besonders störend, wenn f_1 und f_2 innerhalb
Nutzfrequenzbereich: $2f_2 - f_1$ und $2f_1 - f_2$

Trennschärfe

$$\text{Formfaktor } F = \frac{B_{f-60dB}}{B_{f-6dB}}$$



Feldstärke

im Fernfeld: $r > 4\lambda \dots 10\lambda$:

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

für gleichstark empfangene Sender:

$$\frac{P_1}{d_1^2} = \frac{P_2}{d_2^2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$\frac{U_1^2}{P_1} = \frac{U_2^2}{P_2}$$

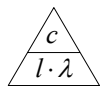
E	Feldstärke	V/m
U	Empfangsspannung	V
d	Distanz	m
P	Senderleistung	W

Wellenlänge

$$c = f \cdot \lambda$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$



[f] = MHz , [\lambda] = m :

$$f = \frac{300}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{300}{f}$$

$$l_m = \frac{k_V \cdot c}{2 \cdot f}$$

$$k_V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

c	Geschwindigkeit	m/s
	Licht im Vakuum: 299'792'458 m/s	
f	Frequenz	Hz
λ	Wellenlänge	m

l_m	mech. Länge des $\lambda/2$ -Dipols	m
k_V	Verkürzungsfaktor	-
	typischer Verkürzungsfaktor = 0.97	
ϵ_r	relative Dielektrizitätszahl	
	(Luft = 1)	

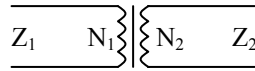
Wellenwiderstand

$$Z_L = Z_W = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Z_L	Wellenwiderstand / Wellenimpedanz	Ω
L	Kabelinduktivität	H
C	Kabelkapazität	F

HF-Anpassung (reflexionsfrei)

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$



\ddot{u}	Übersetzungsverhältnis	–
N	Windungszahl	–
Z	Impedanz	Ω
1	Primärseite	
2	Sekundärseite	

Stehwellen

$$SWR = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_V + U_R}{U_V - U_R} = \frac{\sqrt{P_V} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_V} - \sqrt{P_R}} = \sqrt{\frac{1 + \rho}{1 - \rho}}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{P_R}{P_V}} = \left(\frac{SWR - 1}{SWR + 1} \right)^2 \cdot 100\%$$

$$SWR = \frac{R_a}{Z} \quad \text{für } R_a \geq Z$$

$$SWR = \frac{Z}{R_a} \quad \text{für } R_a \leq Z$$

SWR Standing Wave Ratio

Stehwellenverhältnis

U_{\max}	max. Spannung auf Leitung	V
U_{\min}	min. Spannung auf Leitung	V
U_V	hinlaufende Spannung	V
U_R	rücklaufende Spannung	V
P_V	hinlaufende Leistung	W
P_R	rücklaufende Leistung	W
ρ	Reflexionsfaktor	

$$SWR = 2 \rightarrow 11\% \quad SWR = 3 \rightarrow 25\%$$

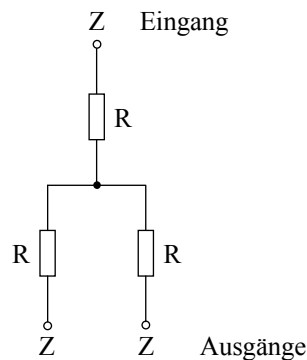
R_a	Antennen- / Abschlusswiderstand	Ω
Z	Wellenwiderstand Zuleitung	Ω

HF-Verteiler

$$R = Z \cdot \frac{n-1}{n+1}$$

$$U_A = \frac{U_E}{n}$$

$$a = 20 \cdot \log n$$



Bedingung: impedanzrichtige Verteilung.
Symmetrische Schaltung (alle
Anschlüsse/Tore sind gleich)

R	Entkopplungswiderstand	Ω
Z	Impedanz	Ω
n	Anzahl Ausgänge (n Ausgänge + 1 Eingang = Anzahl Anschlüsse/Tore)	
U_A	Ausgangsspannung	V
U_E	Eingang	V
a	Dämpfung	dB

Rauschen

$$P_R = 4 \cdot k \cdot T \cdot B$$

$$U_N = 2 \cdot \sqrt{k \cdot T \cdot B \cdot R}$$

$$F = \frac{SNR_{Eingang}}{SNR_{Ausgang}}$$

$$NF = SNR_{Eingang} - SNR_{Ausgang}$$

$$NF = 10 \cdot \log(F) \quad F = 10^{\frac{NF}{10}}$$

$$SNR = 20 \cdot \log \frac{U_S}{U_N} = 10 \cdot \log \frac{P_S}{P_N}$$

$$SINAD = 20 \cdot \log \left(\frac{U_S + U_N + U_D}{U_N + U_D} \right)$$

P_S	Signalleistung	W
P_R	Rauschleistung	W
k	Boltzmann-Konstante	$1.380658 \cdot 10^{-23}$ J/K
T	Temperatur	K
U_S	Signalspannung	V
U_N	Rauschspannung	V
U_D	Verzerrungsspannung	V
R	Widerstand, welcher rauscht	Ω
F	Rauschfaktor, Rauschzahl	–
NF	Noise Figure (Rauschzahl)	dB
B	Bandbreite	Hz
SNR	Signal-Rausch-Abstand	dB
$SINAD$	Signal, Noise and Distortion	dB

Klirrfaktor und Übersprechen

$$d = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots}}$$

$$a_d = 10 \cdot \log \frac{1}{d}$$

$$a_{ct(2 \rightarrow 1)} = 20 \cdot \log \frac{U_{Nutz(Kanal1)}}{U_{Stör(Kanal2)}}$$

d	Klirrfaktor	–
U_1	Grundschwingung	V
$U_2 \dots$	Oberschwingungen	V
a_d	Klirrdämpfungsmass	dB
$a_{ct(2 \rightarrow 1)}$	Übersprechdämpfungsmass	dB

S-Meter – Wertvorzeichen

S-Stufe	KW	UKW
S9+60dB	50 mV	5 mV
S9+40dB	5 mV	500 μ V
S9+20dB	500 μ V	50 μ V
S9	50 μV	5 μV
S8	25 μ V	2.5 μ V
S7	12.5 μ V	1.25 μ V
S6	6.25 μ V	0.63 μ V
S5	3.13 μ V	0.31 μ V
S4	1.56 μ V	0.16 μ V
S3	0.78 μ V	0.08 μ V
S2	0.39 μ V	0.04 μ V
S1	0.19 μ V	0.02 μ V

Zehnerpotenz	Abkürzung	Bezeichnung
10^{15}	P	Peta
10^{12}	T	Tera
10^9	G	Giga
10^6	M	Mega
10^4	Ma	Myria
10^3	k	Kilo
10^2	h	Hekto
10^1	da	Deka
10^{-1}	d	Dezi
10^{-2}	c	Zenti
10^{-3}	m	Milli
10^{-6}	μ	Mikro
10^{-9}	n	Nano
10^{-12}	p	Pico
10^{-15}	f	Femto
10^{-18}	a	Atto

Inhaltsverzeichnis

Geordnet nach Seitenzahl

Widerstand	2
Kondensator	2
Spule	2
URI	2
PUI	2
Kirchhoffsche Gesetze	3
Messbrücke	3
Spannungsteiler	3
Innenwiderstand	4
Messbereichserweiterung	4
Transformator	4
Wirkungsgrad	4
Leistungsanpassung	5
Kondensator	5
Spule und magnetisches Feld	6
Impedanz und Blindwiderstand	7
Leistung im Wechselstromkreis	7
Schwingung	8
Schwingkreise	8
Oszillator	10
Dezibel-Pegel	10
Filter	11
Transistor	12
Operationsverstärker	13
Graetz-Schaltung	13
Darlington-Schaltung	13
Elektronenröhren	14
Dezibel	15
Antennengewinn	15
Absolute Pegel	15
Modulation	16
Spiegelfrequenz	17
Intermodulationsprodukte	17
Trennschärfe	17
Feldstärke	17
Wellenlänge	17
Wellenwiderstand	18
HF-Anpassung (reflexionsfrei)	18
Stehwellen	18
HF-Verteiler	18
Rauschen	19
Klirrfaktor und Übersprechen	19
S-Meter – Wertvorzeichen	19
Inhaltsverzeichnis	20

Alphabetisch geordnet

Absolute Pegel	15
Antennengewinn	15
Darlington-Schaltung	13
Dezibel	15
Dezibel-Pegel	10
Elektronenröhren	14
Feldstärke	17
Filter	11
Graetz-Schaltung	13
HF-Anpassung (reflexionsfrei)	18
HF-Verteiler	18
Impedanz und Blindwiderstand	7
Inhaltsverzeichnis	20
Innenwiderstand	4
Intermodulationsprodukte	17
Kirchhoffsche Gesetze	3
Klirrfaktor und Übersprechen	19
Kondensator	2
Kondensator	5
Leistung im Wechselstromkreis	7
Leistungsanpassung	5
Messbereichserweiterung	4
Messbrücke	3
Modulation	16
Operationsverstärker	13
Oszillator	10
PUI	2
Rauschen	19
Schwingkreise	8
Schwingung	8
S-Meter – Wertvorzeichen	19
Spannungsteiler	3
Spiegelfrequenz	17
Spule	2
Spule und magnetisches Feld	6
Stehwellen	18
Transformator	4
Transistor	12
Trennschärfe	17
URI	2
Wellenlänge	17
Wellenwiderstand	18
Widerstand	2
Wirkungsgrad	4

Potenzen, Pegel, Kennfarben

	Pegel	Leistungsverhältnis	Spannungsverhältnis	Kennfarbe	Wert	Multiplikator	Toleranz
·							
·							
$10^{-3} = 0,001$	-20 dB	0,01	0,1	Silber	-	10^{-2}	±10%
	-10 dB	0,1	0,32	Gold	-	10^{-1}	±5%
$10^{-2} = 0,01$	-6 dB	0,25	0,5	schwarz	0	10^0	-
	-3 dB	0,5	0,71	braun	1	10^1	±1%
$10^{-1} = 0,1$	-1 dB	0,8	0,89	rot	2	10^2	±2%
$10^0 = 1$	0 dB	1	1	orange	3	10^3	-
	1 dB	1,26	1,12	gelb	4	10^4	-
$10^1 = 10$	3 dB	2	1,41	grün	5	10^5	±0,5
	6 dB	4	2	blau	6	10^6	±0,25%
$10^2 = 100$	10 dB	10	3,16	violett	7	10^7	±0,1%
	20 dB	100	10	grau	8	10^8	-
·				weiß	9	10^9	-
·				keine	-	-	±20%

Wertkennzeichnung durch Buchstaben

p	Pico	10^{-12}
n	Nano	10^{-9}

μ	Mikro	10^{-6}
m	Milli	10^{-3}

		10^0
k	Kilo	10^3

M	Mega	10^6
G	Giga	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

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A_{Dr}} \quad A_{Dr} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$$

Widerstände in Reihenschaltung

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

Bei 2 Widerständen gilt

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \quad U_G = U_1 + U_2$$

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

$$R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad I_G = I_1 + I_2$$

Innenwiderstand

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

Effektiv- und Spitzenwerte bei sinusförmiger Wechselspannung

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

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)

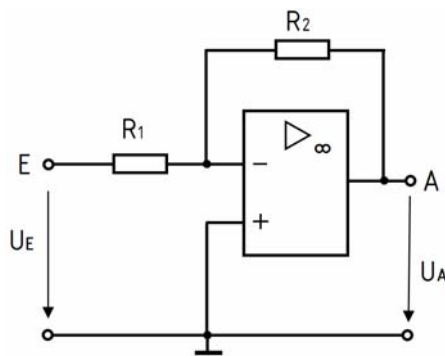
Schwingkreis $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ $Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_p}{X_L} = \frac{X_L}{R_s}$

Transistor

Für Gleichstrom gilt $B = \frac{I_C}{I_B}$ $I_E = I_C + I_B$ *B ... Gleichspannungsverstärkung*

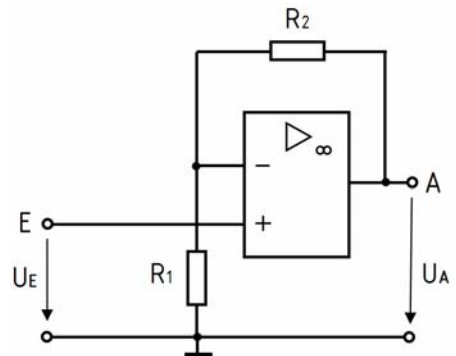
Für Wechselstrom gilt $v_I = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ $v_U = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$ $v_P = v_U \cdot v_I$

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 $f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF}$ *für $f_{OSZ} > f_E$*
 $f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF}$ *für $f_{OSZ} < f_E$*

Thermisches Rauschen $P_R = k \cdot T_K \cdot B$ $\Delta p_R = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B_2}$ $P_R \dots$ Rauschleistung
 $U_R = 2 \cdot \sqrt{P_R \cdot R}$ $\Delta p_R \dots$ 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 $F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{EINGANG}}{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{AUSGANG}}$ $a_F = 10 \cdot \lg F$
 $a_F = (S/N)_{EINGANG} - (S/N)_{AUSGANG}$

ERP/EIRP $p_{ERP} = p_S - a + g_d$ $P_{ERP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a}{10}}$ $g_d \dots$ Antennengewinn bezogen auf den Halbwellendipol in dB
 $p_{EIRP} = p_{ERP} + 2,15dB$ $P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15dB}{10}}$ $a \dots$ Verluste (Kabel, Koppler etc.)

Gewinnfaktor von Antennen $G_i = G_d \cdot 1,64$ $g_i = g_d + 2,15dB$ $G = 10^{\frac{g}{10}}$
 Halbwellendipol $G_i = 1,64$ $g_i = 2,15 dBi$
 $\lambda/4$ -Vertikalantenne $G_i = 3,28$ $g_i = 5,15 dBi$

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

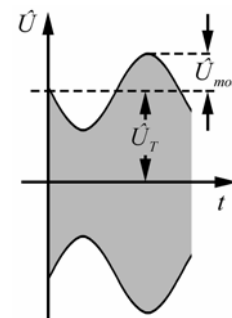
Amplitudenmodulation

Modulationsgrad

$$m = \frac{\hat{U}_{mod}}{\hat{U}_T}$$

Bandbreite

$$B = 2 \cdot f_{mod max}$$



Frequenzmodulation

Modulationsindex

$$m = \frac{\Delta f_T}{f_{mod}}$$

$\Delta f_T \dots$ Frequenzhub

Carson-Bandbreite (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

Strommesser

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

R_V ... Vorwiderstand

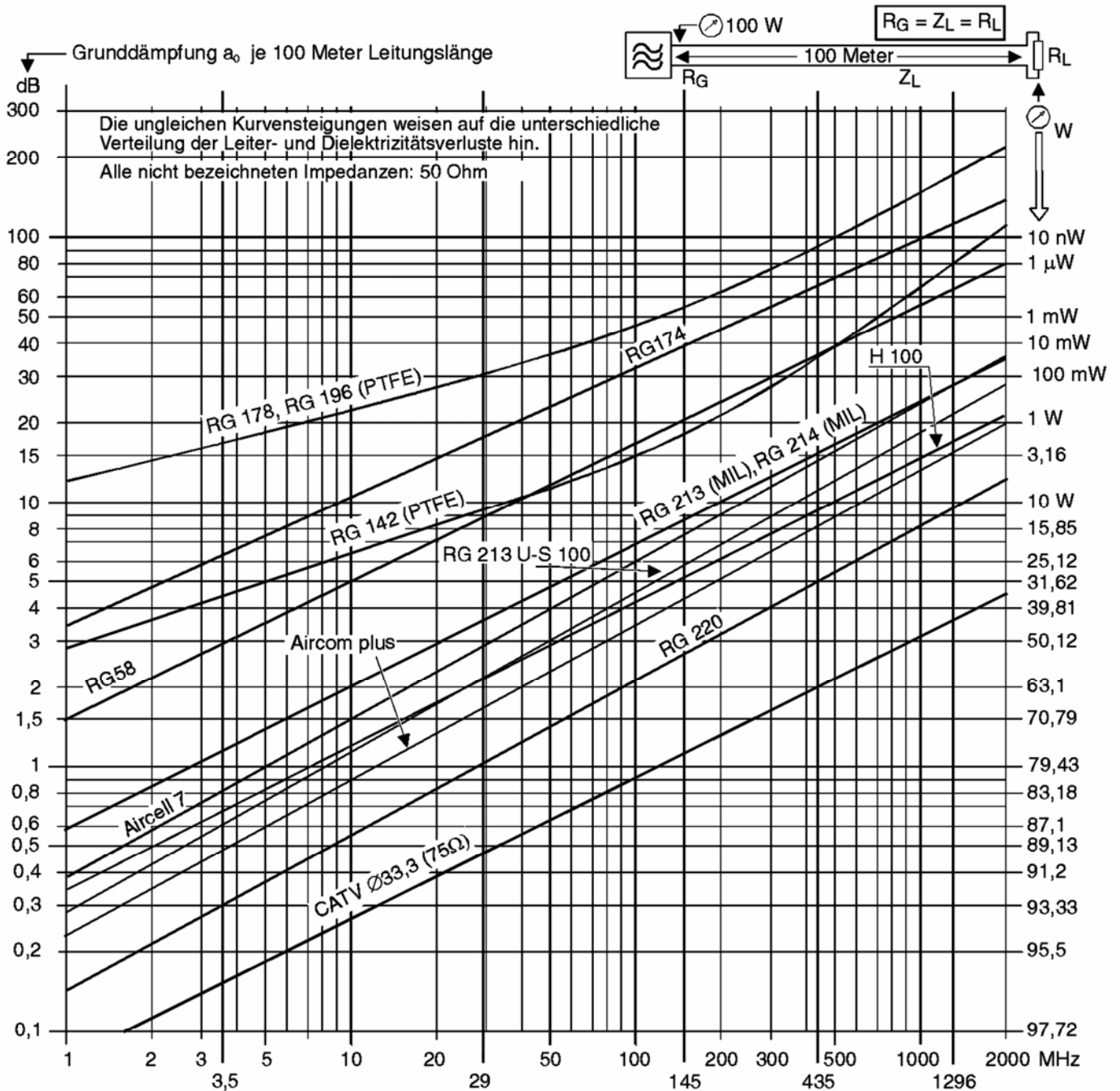
R_P ... Parallelwiderstand (Shunt)

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 Halbwelldipol

G_i ... Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler

g ... Verstärkungsmaß/Gewinn in dB

g_d ... Gewinn in dB bezogen auf den Halbwelldipol

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

H ... magnetische Feldstärke

I ... Stromstärke

I_B ... Basisgleichstrom

I_C ... Kollektorgleichstrom

I_E ... Emittergleichstrom

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