

Formelsammlung Amateurfunk

1. Grundlegendes

1.1 Ohmsches Gesetz

$$U = R * I$$

U Spannung in Volt [V]
R Widerstand in Ohm [Ω]
I Strom in Ampère [A]

1.2 Leistung

$$P = U * I = U^2 / R = I^2 * R$$

P Leistung in Watt [W]

1.3 Arbeit

$$W = P * t$$

W Arbeit in Joule [J]
t Zeit in Sekunden [s]

1.4 Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

η Wirkungsgrad [%]
P_{out} Abgeführte Leistung [W]
P_{in} Zugeführte Leistung [W]

1.5 Kirchhoffs Knotenpunktregel

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

I_{in} In Knoten hineinfließende Ströme
I_{out} Aus Knoten herausfließende St.

1.6 Kirchhoffs Maschenregel

$$\sum U_{teil} = 0$$

U_{teil} Teilspannungen in der Masche

1.7 Frequenz, Periodendauer, Winkelgeschwindigkeit, Wellenlänge

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{c}{\lambda}$$

f Frequenz in Hertz [Hz]
T Periodendauer in Sekunden [s]
ω Winkelgeschwindigkeit [2π/s]
c Lichtgeschwindigkeit [300000km/s]
λ Wellenlänge [m]

1.8 Spitzenwert bei sinusförmiger Wechselspannung

$$U_{max} = U_{eff} * \sqrt{2}$$

$$U_{ss} = 2 * U_{max}$$

U_{max} Spitzenwert der Spannung [V]
U_{eff} Effektivwert der Spannung [V]
U_{ss} Span. von pos. zu neg. Spitze [V]

1.9 S–Stufen (Angabe der Empfangsfeldstärke im RST System)

$$1 \text{ S–Stufe} \Leftrightarrow 6 \text{ dB (Faktor 2 bei Spannungen)}$$

KW: S9 = 50μV
UKW: S9 = 5μV

1.10 Zusammenhang magnetische / elektrische Feldstärke

$$E = Z_0 * H$$

E elektrische Feldstärke [V/m]
H Magnetische Feldstärke [A/m]
Z₀ Feldwellenwiderstand

1.11 Feldwellenwiderstand im freien Raum

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376.7 \Omega$$

1.12 PPM (part per million)

$$1 \text{ PPM} = 10^{-6}$$

2. Widerstände

2.1 Serieschaltung

$$R_{ges} = \sum R_i$$

2.2 Parallelschaltung

$$\frac{1}{R_{ges}} = \sum \frac{1}{R_i}$$

2.3 Widerstand eines Drahtes

$$R = \frac{\rho * l}{A}$$

ρ spezifischer elektrischer Widerstand
l Drahtlänge [m]
A Drahtquerschnitt [mm²/m²]

3. Spulen

3.1 Serieschaltung

$$L_{ges} = \sum L_i$$

3.2 Parallelschaltung

$$\frac{1}{L_{ges}} = \sum \frac{1}{L_i}$$

3.3 Transformatoren

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

N Windungszahlen
U Spannungen [V]
I Ströme [A]
R Impedanzen [Ω]

3.4 Wechselstromwiderstand (bei idealer Spule)

$$Z_L = \omega L = 2\pi f L \quad \text{Komplex: } Z_L = i \omega L$$

L Induktivität in Henry [H]

3.5 Güte

$$Q = \frac{Z_L}{R_S} (\text{Serienkreis}) \quad Q = \frac{R_P}{Z_L} (\text{Parallelkreis})$$

Z_L Wechselstromwiderstand [Ω]
R_S Gleichstromwiderstand Serie [Ω]
R_P Gleichstromwiderst. Parallel [Ω]

3.6 Verlustfaktor

$$\tan \delta = \frac{1}{Q}$$

3.7 Das magnetische Feld

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

I Strom [A]
N Windungszahl
l_m Länge der mittleren Feldlinie [m]

3.8 Magnetische Flussdichte

$$B = \mu_0 * \mu_r * H$$

B Magn. Flussdichte in Tesla [T]
μ₀ Magnetische Feldkonstante 4πE–7
μ_r Materialabhängiger Faktor

3.9 Induktivität einer Ringspule

$$L = \frac{\mu_0 * \mu_r * N^2 * A}{l_m}$$

N Windungszahl
l_m Länge der mittleren Feldlinie [m]
A Querschnittsfläche der Spule [m²]

4. Kondensatoren

4.1 Serieschaltung

$$\frac{1}{C_{ges}} = \sum \frac{1}{C_i}$$

4.2 Parallelschaltung

$$C_{ges} = \sum C_i$$

4.3 Kapazität eines Plattenkondensators

$$C = \frac{\epsilon_0 * \epsilon_r * A}{d}$$

ϵ_0 elektr. Feldkonstante $8,85 * 10E-12$
 ϵ_r Materialabhängiger Faktor
A Flächeninhalt einer Platte [m²]
d Plattenabstand [m]

4.4 Zeitkonstante Tau

$$\tau = R * C$$

4.5 Ladung

$$U_C = U * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad I_C = \frac{U}{R} * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

4.6 Entladung

$$U_C = U * e^{-\frac{t}{\tau}} \quad I_C = -\frac{U}{R} * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

4.7 Wechselstromwiderstand

$$Z_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{Komplex: } Z_C = \frac{1}{i \omega C}$$

ω Kreisfrequenz [2 π /s]
f Frequenz [Hz]

4.8 Verlustfaktor

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{Z_C}{R_V}$$

I_R Verluststrom [A]
 I_C Strom durch C [A]
 R_V Angenommener Verlustwiderstand

4.9 Grenzfrequenz RC-Glied (Ausgangsspannung auf 70.7%/-3dB)

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

4.10 Das statische elektrische Feld

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

U Spannung [V]
d Abstand [m]

5. Schwingkreise

5.1 Resonanzfrequenz

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

f_{res} Resonanzfrequenz [Hz]

5.2 Bandbreite

$$B = \frac{f_{res}}{Q}$$

Q Güte

5.3 Shape Faktor (Formfaktor)

$$F = \frac{B_{60dB}}{B_{3dB}}$$

B_{60dB} Bandbreite bei -60dB [Hz]
 B_{3dB} Bandbreite bei -3dB (manchmal -6dB) [Hz]

6. Oszillatoren

6.1 Schwingbedingung

$$K * v = 1$$

K Rückkoppelungsfaktor

v Verstärkungsfaktor

6.2 Anschlagbedingung

$$K * v > 1$$

7. Transistoren

7.1 Stromverstärkung

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

I_C Kollektorstrom [A]
 I_B Basisstrom [A]

7.2 Emmitterstrom

$$I_E = I_C + I_B$$

I_E Emmitterstrom [A]

7.3 Wechselstromverstärkung

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

ΔI_C Kollektorstromänderung [A]
 ΔI_B Basisstromänderung [A]

7.4 Kollektor-Emmitter-Spannung

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

U_{CB} Kollektor-Basis-Spannung [V]
 U_{BE} Basis-Emmitter-Spannung [V]

7.5 Verlustleistung

$$P_V = U_{CE} * I_C$$

U_{CE} Kollektor-Emmitter-Spannung [V]

7.6 Stromverstärkung bei Darlingtonschaltung

$$B_{tot} = B_1 * B_2$$

B Stromverstärkungen

7.7 Steilheit (FET)

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

ΔI_D Drainstromänderung [A]
 ΔU_{GS} Gate-Source-Span.-Änd. [V]

8. Röhren

8.1 Steilheit

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}$$

ΔI_a Anodenstromänderung [mA]
 ΔU_g Gittervorspannungsänderung [V]

8.2 Innenwiderstand

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

ΔU_a Anodenspannungsänderung [V]
 ΔI_a Anodenstromänderung [A]

8.3 Durchgriff

$$D = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a}$$

ΔU_g Gittervorspannungsänderung [V]
 ΔU_a Anodenspannungsänderung [V]

8.4 Verstärkungsfaktor

$$\mu = \frac{1}{D}$$

D Durchgriff

8.5 Barkhauserische Röhrenformel

$$S * R_i * D = 1$$

8.6 Verlustleistung einer Röhre

$$P_v = U_a * I_a$$

U_a Anodenspannung [V]
I_a Anodenstrom [A]

9. Operationsverstärker

9.1 Verstärkungsfaktor vom invertierenden Verstärker

$$v = \frac{R_k}{R_e}$$

R_k Rückkoppelungswiderstand [Ω]
R_e Widerstand am Eingang [Ω]

9.2 Verstärkungsfaktor vom nicht invertierendem Verstärker

$$v = 1 + \frac{R_k}{R_m}$$

R_k Rückkoppelungswiderstand [Ω]
R_m Widerstand zu Masse [Ω]

10. Sende- und Modulationstechnik

10.1 Modulationsgrad bei AM

$$m = \frac{2U_M}{U_T} = \frac{2U_{NF}}{U_{HF}}$$

U_M Modulationsspannung [V]
U_T Trägerspannung [V]

Achtung: Für U_M und U_T nur entweder Spitzenwerte oder Spitzen-Spitzenwerte einsetzen – nie vermischen!

10.2 Seitenbandspannung

$$U_{LSB} = U_{USB} = \frac{m}{2} U_{TSS}$$

U_{TSS} Spitzen-Spitzen Spannung des Trägers [V]

10.3 MUF (maximum usable frequency)

$$MUF \approx \frac{f_k}{\sin(\alpha)} = f_k * \sin(\varphi)$$

f_k kritische Frequenz für Reflexion einer senkrecht auf die Ionosphäre eintreffenden Raumwelle

10.4 FOT (fréquence optimale de travail)

$$FOT \approx 0.85 * MUF$$

MUF maximal usable frequency

11. Antennentechnik

11.1 Dipollänge

$$l = k * n * \gamma / 2 \quad n \in \mathbb{N}$$

γ Wellenlänge [m]
k Verkürzungsfaktor (0.93..0.97)

11.2 Seitenlänge einer quadratischen Schleifenantenne

$$l = \gamma / 4$$

11.3 Längen der Groundplane Antenne

$$l_{\text{Strahler}} = \gamma / 4$$

$$l_{\text{Radials}} = \gamma / 4$$

11.4 Längen und Entfernungen der Yagi Antenne (Richtantenne)

$$l_{\text{Strahler}} = \gamma / 2$$

$$l_{\text{Direktor}} = (\gamma / 2) * 0.95$$

$$d_{\text{Direktor}} = 0.1 \gamma$$

$$l_{\text{Reflektor}} = (\gamma / 2) * 1.05$$

$$d_{\text{Reflektor}} = 0.2 \gamma$$

11.5 Gewinn einer Antenne

$$G_D = \frac{P_v}{P_D}$$

$$g_D = 10 \lg G_D$$

$$G_i = \frac{P_v}{P_i}$$

$$g_i = 10 \lg G_i$$

$$g_D = g_i + 2.15 \text{ dB}$$

G_D Gewinn gegenüber Dipol
P_v Strahlungsleistung in Vorwärtsrichtung [W]
P_D Strahlungsleistung Dipol [W]
g_D Gewinn gegenüber Dipol [dBd]
G_i Gewinn gegenüber Kugelstrahler (isotrop)
P_i Strahlungsleistung Kugelstrahler
g_i Gewinn gegenüber Kugelstrahler [dBi]

11.6 ERP (effective radio power) und EIRP (effective isotrope radio power)

$$P_{ERP} = G_D * P_s$$

$$P_{EIRP} = G_i * P_s$$

P_s Sendeleistung [W]

12. Hochfrequenzleitungen

12.1 Wellenwiderstand

$$Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

12.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$v = \frac{1}{\sqrt{L' * C'}}$$

L' Induktivitätsbelag [H/m]
C' Kapazitätsbelag [F/m]

12.3 Verkürzungsfaktor

$$k = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

v Ausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]
c Lichtgeschwindigkeit [3*10⁹ m/s]
ε_r relative Dielektrizitätszahl (materialabhängig)

12.4 Dämpfung eines Leiters bei Frequenz f_x

$$a = \sqrt{\frac{f_x}{f_o}} * a_{f_o}$$

a_{f_o} Dämpfung des Leiters bei Frequenz f_o in deziBel [dB]

12.5 Stehwellenverhältnis SWR/VSWR (voltage standing wave ratio) bzw. Welligkeit s

$$SWR = s = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{\sqrt{P_v} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_v} - \sqrt{P_R}}$$

$$= \frac{R_a}{Z} |R_a \geq Z| \quad = \frac{Z}{R_a} |Z \geq R_a$$

Z Wellenwiderstand d. Zuleitung [Ω]
R_a Abschlusswiderstand [Ω]
P_v Vorwärtsleistung [W]
P_R Reflektierte Leistung [W]

12.6 Wellenwiderstand einer Paralleldrahtleitung

$$Z_w = \frac{276 \Omega}{\sqrt{(\epsilon_r)}} * \lg \left(\frac{2a}{d} \right)$$

a Abstand der Leiter [m]
d Durchmesser des Innenleiters [m]

12.7 Wellenwiderstand eines Koaxialkabels

$$Z_w = \frac{138 \Omega}{\sqrt{(\epsilon_r)}} * \lg \left(\frac{D}{d} \right)$$

D Durchmesser des Aussenleiters [m]

12.8 Impedanz des Koaxialkabels eines $\lambda/4$ Anpasstrafos (Q-Match)

$$Z_{Q-Match} = \sqrt{Z_1 * Z_2}$$

Z Impedanzen [Ω]

12.9 Länge des Koaxialkabels in einem Saugkreis (Notch) nach Stub-Methode

$$l = \frac{\lambda}{4} * k$$

k Verkürzungsfaktor
 λ Wellenlänge [m]

12.10 Geschwindigkeit einer elektrischen Schwingung in einem Kabel

$$v_r = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

ϵ_r relative Dielektrizitätszahl
(materialabhängig)
c Lichtgeschwindigkeit [$3 * 10^9$ m/s]

13. Signale

13.1 Rechteckschwingung

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sin((2n+1)t)/(2n+1) \quad y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n * \cos((2n+1)t)/(2n+1)$$

13.2 Sägezahnschwingung

$$y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin(n*t)/n$$

13.3 Dreieckschwingung

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n * \sin((2n+1)t)/(2n+1)^2 \quad y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \cos((2n+1)t)/(2n+1)^2$$

13.4 Bandbreite bei DSB

$$b_{AM} = 2 * f_{mod}$$

f_{mod} höchste Modulationsfrequenz [Hz]

13.5 Bandbreite bei SSB

$$b_{SSB} = f_{NFmax} - f_{NFmin} \approx f_{mod}$$

f_{NFmax} höchste Modulationsfreq. [Hz]
 f_{NFmin} tiefste Modulationsfrequenz [Hz]

13.5 Modulationsindex bei FM

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

Δf_T Frequenzhub [Hz]

13.6 Bandbreite bei FM

$$b_{FM} = 2 * (\Delta f_T + f_{modmax})$$

14. Übertragungstechnik

14.1 Shannon-Theorem (Abtasttheorem)

$$f_{abt} > 2 * f_{max}$$

f_{abt} Abtastfrequenz [Hz]
 f_{max} Grösste im ursprünglichen
Signal vorkommende Frequenz [Hz]

14.2 Dynamik

$$D = 20 * \lg\left(\frac{U_{max}}{U_{min}}\right) = 20 * \lg(n)$$

D Dynamik [dB]
 U_{max} grösste Spannung [V]
 U_{min} kleinste Spannung [V]
n Stufenzahl

14.3 Übertragungsgeschwindigkeit

$$v_{ii} = \frac{1}{t_{1Bit}}$$

v_{ii} Übertragungsgeschwindigkeit [bps]
 t_{1Bit} Übertragungszeit für 1 Bit [s]

14.4 Bandbreite bei FSK (frequency shift keying)

$$b_{FSK} \approx 2 * \left(\frac{\Delta F}{2} + 1.6 * v_{ii}\right)$$

ΔF Shift

14.5 Bandbreite bei PSK (phase shift keying)

$$b_{PSK} \approx 2 * (\Delta F + f_{imax}) \approx v_{ii}$$

ΔF Hub = 0

f_{imax} höchste Vorkommende Frequenz
 $\approx v_{ii}/2$

14.6 Bandbreite bei AMTOR (amateur microprocessor teleprinting over radio)

$$b_{AMTOR} \approx 2 * \left(\frac{\Delta F}{2} + 1.6 * v_{ii}\right)$$

ΔF Shift

v_{ii} Übertragungsgeschwindigkeit [bps]

14.7 Bandbreite von CW (A1A)

$$B_{CW} \approx 5 * WPM / 1.2$$

WPM words per minute

14.8 Bandbreite von RTTY

$$B_{RTTY} \approx 160 + \Delta F$$

ΔF Shift

15 Empfangstechnik

15.1 Spiegelfrequenz bei Zweifach Überlagerungsempfänger

$$f_{Spiegel} = f_{Empf} + (2 * ZF)$$

f_{Empf} Empfangsfrequenz [Hz]
ZF Zwischenfrequenz

15.2 SINAD (Signal, Noise and Distortion)

$$SINAD = 20 * \lg\left(\frac{Signal + Ger\ddot{a}usch + Verzerrung}{Ger\ddot{a}usch + Verzerrung}\right) \quad SINAD [dB]$$

15.3 Frequenzen von Intermodulationsprodukten

$$f_{Intermodulation} = k * f_1 \pm l * f_2 \quad k, l \in \mathbb{N} \setminus 0$$

f Empfangsfrequenzen [Hz]
k+1, l+1 Ordnungszahl der Int.prod.

15.4 Frequenz des 1. lokalen Oszillators (Überlagerungssosz.) bei einem Doppelsuperhet-Empfänger

$$f_{LO} = f_{Empf} \pm f_{ZF}$$

f_{Empf} Empfangsfrequenz [Hz]
 f_{ZF} Zwischenfrequenz [Hz]
+ bei Überlagerungssoszillator
(Supradyne), - bei Infradyne