

# Formelsammlung

für die  
HB3/9 Prüfung

**Charpoan Kong HB9HJN**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ohmisches/Leistungs Dreieck &amp; Wellenlänge</b>	<b>1</b>
1.1	Spannung . . . . .	1
1.2	Strom . . . . .	1
1.3	Widerstand . . . . .	1
1.4	Leistung . . . . .	1
1.5	Wellenlänge & Frequenz . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Widerstand &amp; Leistung</b>	<b>2</b>
2.1	Serieschaltung . . . . .	2
2.2	Parallelschaltung . . . . .	2
2.3	Leiterwiderstand . . . . .	2
2.4	Spannungsteiler . . . . .	2
2.5	Wirkungsgrad . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Wechselstrom</b>	<b>3</b>
3.1	Effektivspannung . . . . .	3
3.1.1	Sinus . . . . .	3
3.1.2	Dreieck . . . . .	3
3.1.3	Rechteck . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Kondensator</b>	<b>4</b>
4.1	Kapazität . . . . .	4
4.2	Serieschaltung . . . . .	4
4.3	Parallelschaltung . . . . .	4
4.4	$\tau$ /Zeitkonstante . . . . .	4
4.5	Dreh-/Plattenkondensator . . . . .	4
4.6	Kapazitiver Blindwiderstand . . . . .	5
4.7	Verlustfaktor/Güte . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Spule</b>	<b>6</b>
5.1	Induktivität . . . . .	6
5.2	Induktion- & Selbstinduktionsspannung . . . . .	6

5.3	Serieschaltung . . . . .	6
5.4	Parallelschaltung . . . . .	6
5.5	$\tau$ /Zeitkonstante . . . . .	6
5.6	Verlustfaktor/Güte . . . . .	7
5.7	Induktiver Blindwiderstand . . . . .	7
<b>6</b>	<b>Impedanz</b>	<b>8</b>
6.1	Serieschaltung . . . . .	8
6.2	Parallelschaltung . . . . .	8
<b>7</b>	<b>Transformator/Übertrager</b>	<b>9</b>
7.1	Spannungs-/Strom-/Windungs-/ Widerstandsübersetzung . . . . .	9
7.2	Stromdichte . . . . .	9
<b>8</b>	<b>RC-Glied</b>	<b>10</b>
8.1	Grenzfrequenz . . . . .	10
8.2	Shape-Faktor . . . . .	10
<b>9</b>	<b>Dezibel</b>	<b>11</b>
9.1	Dezibel bei Leistug . . . . .	11
9.2	Dezibel bei Spannung . . . . .	11
<b>10</b>	<b>LC-Schwingkreis</b>	<b>12</b>
10.1	Resonanzfrequenz . . . . .	12
10.2	Bandbreite . . . . .	12
10.3	Güte . . . . .	12
<b>11</b>	<b>Diode</b>	<b>13</b>
11.1	Vorwiderstand . . . . .	13
11.2	Spannungsfestigkeit/Max. Spannung . . . . .	13
<b>12</b>	<b>Transistor/FET</b>	<b>14</b>
12.1	Stromverstärkungsfaktor . . . . .	14

12.2	$R_1$	14
12.3	$R_C$	14
12.4	$I_C$	15
12.5	$P_V$	15
<b>13</b>	<b>Operationsverstärker</b>	<b>16</b>
13.1	Invertierender Verstärker	16
13.2	Nichtinvertierender Verstärker	16
13.3	Differenzialverstärker	17
<b>14</b>	<b>Elektromagnetisches Feld</b>	<b>18</b>
14.1	Elektrische Feldstärke	18
14.2	Magnetische Feldstärke	18
14.3	Magnetische Flussdichte	18
14.4	Strahlungsdichte Kuglestrahler	18
14.5	Feldwellenwiderstand	18
14.6	Ersatzfeldstärke	19
14.6.1	Allgemein	19
14.6.2	Dipol	19
14.7	Brauchbare Grenzfrequenz	19
14.8	Optimale Grenzfrequenz	19
<b>15</b>	<b>Antennentechnik</b>	<b>20</b>
15.1	Dipol	20
15.1.1	Länge	20
15.1.2	Verkürzung	20
15.2	Antennengewinn	20
15.2.1	zum Dipol	20
15.2.2	zum isotropen Strahler	21
15.2.3	ERP	21
15.2.4	ERIP	22
15.2.5	Q-Match/ $\frac{\lambda}{4}$ - Trafo	22

<b>16 Leitungen</b>	<b>23</b>
16.1 Wellenwiderstand . . . . .	23
16.1.1 Paralleldrahtleitung . . . . .	23
16.1.2 Koaxialleitung . . . . .	23
16.2 Verkürzungsfaktor . . . . .	23
16.3 Dämpfung . . . . .	23
16.4 Transformationsleitung . . . . .	24
16.4.1 Koaxialleitung . . . . .	24
<b>17 Signale</b>	<b>25</b>
17.1 Effektivspannung . . . . .	25
17.1.1 Sinus . . . . .	25
17.1.2 Dreieck . . . . .	25
17.1.3 Rechteck . . . . .	25
17.2 Wellenlänge & Frequenz . . . . .	25
17.3 Bandbreite . . . . .	25
17.3.1 DSB . . . . .	25
17.3.2 SSB . . . . .	26
17.3.3 FM . . . . .	26
17.3.4 CW . . . . .	26
17.3.5 RTTY . . . . .	26
17.4 Modulationsindex FM . . . . .	26
17.5 Besselfunktion . . . . .	26
17.6 Peak Envelope Power . . . . .	27
<b>18 Modulation - Demodulation</b>	<b>28</b>
18.1 Modulationsgrad . . . . .	28
<b>19 Frequenzaufbereitung</b>	<b>29</b>
19.1 Überlagerung . . . . .	29
19.1.1 $f_{osc} > f_e$ . . . . .	29
19.1.2 $f_{osc} < f_e$ . . . . .	29
19.2 Frequenz 3.Ordnung . . . . .	29

<b>20 Übertragungstechnik</b>	<b>30</b>
20.1 Nquisttheorem . . . . .	30
20.2 Dynamik . . . . .	30
20.3 Baudrate . . . . .	30
20.4 FSK . . . . .	30
20.4.1 Bandbreite . . . . .	30
20.5 PSK . . . . .	31
20.5.1 Bandbreite . . . . .	31
20.6 Totales Verbindungssystem . . . . .	31
<b>21 Messtechnik</b>	<b>32</b>
21.1 Wheatstonsche Messbrücke . . . . .	32
21.2 Shunt . . . . .	32
21.3 SWR/VSWR . . . . .	32
<b>22 Gerätetechnik</b>	<b>33</b>
22.1 Empfindlichkeit . . . . .	33
<b>23 EMV und Sicherheit</b>	<b>34</b>
23.1 Windlast . . . . .	34
23.2 Biegemoment . . . . .	34
23.3 Sicherheitsabstand . . . . .	34

# 1 Ohmisches/Leistungs Dreieck & Wellenlänge

## 1.1 Spannung

$$U = RI = \frac{P}{I} = \sqrt{PR}$$

## 1.2 Strom

$$I = \frac{P}{U} = \frac{U}{R} = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

## 1.3 Widerstand

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

## 1.4 Leistung

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = RI^2$$

## 1.5 Wellenlänge & Frequenz

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

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

$$c = \text{Lichtgeschwindigkeit} \approx 3 * 10^8$$

$$c = 2.99792458 * 10^8$$

## 2 Widerstand & Leistung

### 2.1 Serieschaltung

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

### 2.2 Parallelschaltung

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

### 2.3 Leiterwiderderstand

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad \rho = \text{spezifischer Widerstand}$$

### 2.4 Spannungsteiler

$$U_x = R_x \frac{U}{R_{ges}}$$

### 2.5 Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad P_V = \text{Verlustleistung}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_V$$



## 3 Wechselstrom

### 3.1 Effektivspannung

#### 3.1.1 Sinus

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

#### 3.1.2 Dreieck

$$U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{3}}$$

#### 3.1.3 Rechteck

$$U_{eff} = \hat{U} \sqrt{DutyCycle}$$

## 4 Kondensator

### 4.1 Kapazität

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

$\varepsilon_0$  = Elektrische Feldkonstante  
 $\varepsilon_r$  = Permittivität  
 $\varepsilon_0 = 8.854187817 * 10^{-12}$

### 4.2 Serieschaltung

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

### 4.3 Parallelschaltung

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

### 4.4 $\tau$ /Zeitkonstante

$$\tau = RC$$

$$\lim_{U \rightarrow 0\%/100\%} \Delta t = 5\tau$$

### 4.5 Dreh-/Plattenkondensator

$$C_p = \frac{f_u^2 \Delta C}{f_o^2 - f_u^2} - C_a$$

$C_p$  = Parallellkapazität  
 $C_a$  = Anfangskapazität  
 $f_u$  = untere Frequenz  
 $f_o$  = obere Frequenz  
 $\Delta C$  = Kapazität des Drehko

## 4.6 Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_c = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

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

$$f = \frac{1}{2\pi X_c C}$$

$$I = \frac{U}{X_c}$$

## 4.7 Verlustfaktor/Güte

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_c} = \frac{X_c}{R_p}$$

$$Q = \frac{R_p}{X_c}$$

$R_p$  = paralleler Verlustwiderstand

$I_R$  = Strom durch  $R_p$

$I_C$  = Strom durch Kondensator

## 5 Spule

### 5.1 Induktivität

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r A N^2}{l} = A_L N^2$$

$\mu_0$  = Permeabilität im luftleeren Raum  
 $\mu_r$  = Permeabilität des Kernmaterials  
 $A_L$  = Wert vorgefertigter Kerne

$$A_L = \frac{\mu_0 \mu_r A}{l}$$

### 5.2 Induktion- & Selbstinduktionsspannung

$$U_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L = -U_{ind} \frac{\Delta t}{\Delta I}$$

### 5.3 Serieschaltung

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

### 5.4 Parallelschaltung

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

### 5.5 $\tau$ /Zeitkonstante

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

## 5.6 Verlustfaktor/Güte

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_L} = \frac{R_s}{X_L}$$

$R_s$  = serielle Verlustwiderstand

$I_R$  = Strom durch  $R_v$

$I_L$  = Strom durch Spule

$$Q = \frac{X_L}{R_s}$$

## 5.7 Induktiver Blindwiderstand

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

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

$$f = \frac{X_L}{2\pi L}$$

## 6 Impedanz

### 6.1 Serieschaltung

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

### 6.2 Parallelschaltung

$$Z = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

## 7 Transformator/Übertrager

### 7.1 Spannungs-/Strom-/Windungs-/ Widerstands- übersetzung

$$\ddot{u} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

$$I_1 = I_2 \frac{U_2}{U_1} = I_2 \frac{N_2}{N_1} = I_2 \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}$$

$$I_2 = I_1 \frac{U_1}{U_2} = I_1 \frac{N_1}{N_2} = I_1 \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

### 7.2 Stromdichte

$$S = \frac{I}{A}$$

## 8 RC-Glied

### 8.1 Grenzfrequenz

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

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

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

### 8.2 Shape-Faktor

$$ShapeFaktor = \frac{Bandbreite\ bei\ 60db}{Bandbreite\ bei\ 6db}$$



## 9 Dezibel

### 9.1 Dezibel bei Leistung

$$\nu = 10 \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

### 9.2 Dezibel bei Spannung

$$\nu = 20 \log \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right)$$

## 10 LC-Schwingkreis

### 10.1 Resonanzfrequenz

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{f_{max} + f_{min}}{2}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$$

### 10.2 Bandbreite

$$b = f_{max} - f_{min} = \frac{f_{res}}{Q}$$

### 10.3 Güte

$$Q = \frac{1}{R_s} * \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{f_{res}}{b} = \frac{R_p}{X_L} = \frac{X_L}{R_s}$$

$$b = \frac{R_s}{2\pi L}$$

$$R_s = \frac{1}{Q} * \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_{res} = \frac{2\pi f_{res} L}{Q}$$

$R_s$  = serieller Verlustwiderstand  
 $R_{res}$  = Resonanz Verlustwiderstand  
 $R_p$  = paralleler Verlustwiderstand

## 11 Diode

### 11.1 Vorwiderstand

$$R = \frac{U_{cc} - U_F}{I_F}$$

### 11.2 Spannungsfestigkeit/Max. Spannung

$$U = U_{in} * \sqrt{2} \text{ oder anderer Faktor Spitzenspannung}$$

## 12 Transistor/FET

### 12.1 Stromverstärkungsfaktor

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

### 12.2 $R_1$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$I_{R_1} = 11 * I_B$$

$$U_{R_1} = U - U_{BE}$$

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{R_1}}$$

### 12.3 $R_C$

$$I_B = \frac{I_2}{9}$$

$$I_C = I_B \beta$$

$$U_{R_C} = U - U_C$$

$$R_C = \frac{U_{R_C}}{I_c}$$

## 12.4 $I_C$

$$I_E = \frac{U_E}{R_E}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$I_C = I_B \beta$$

## 12.5 $P_V$

$$U_{R_C} = R_C I_C$$

$$U_{Transistor} = U - U_{R_C}$$

$$P_{Verlust} = U_{Transistor} * I_C$$

## 13 Operationsverstärker

### 13.1 Invertierender Verstärker

$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_2}{R_1}$$

### 13.2 Nichtinvertierender Verstärker

$$U_{out} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

### 13.3 Differenzialverstärker

$$\nu_{U1} = \frac{R_3}{R_1}$$

$$\nu_{U2} = \frac{1 + \frac{R_3}{R_1}}{1 + \frac{R_2}{R_4}}$$

$$U_{out} = U_{in2} * \nu_{U2} - U_{in1} * \nu_{U1}$$

## 14 Elektromagnetisches Feld

### 14.1 Elektrische Feldstärke

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

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

### 14.2 Magnetische Feldstärke

$$H = \frac{I}{d}$$

### 14.3 Magnetische Flussdichte

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$\mu_0 = \text{Permeabilität } 4\pi * 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$   
 $\mu_r = \text{Permeabilität des Materials}$

### 14.4 Strahlungsdichte Kuglestrahler

$$S = \frac{P_{ERP}}{4\pi r^2}$$

$P_{ERP} = \text{Leistung isotroper Strahler}$

### 14.5 Feldwellenwiderstand

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi\Omega$$

$Z_0 = \text{Feldwellenwiderstand}$



## 14.6 Ersatzfeldstärke

### 14.6.1 Allgemein

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega P_{ERIP}}}{r}$$

$$E = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{Z_0}{4\pi}} P_{ERIP}$$

$P_{ERIP}$  = Leistung isotroper Strahler

### 14.6.2 Dipol

$$E \approx 7 \frac{\sqrt{P}}{r}$$

## 14.7 Brauchbare Grenzfrequenz

$$MUF \approx \frac{f_k}{\sin \alpha}$$

$MUF$  = maximum usable frequency  
 $f_k$  = kritische Frequenz

## 14.8 Optimale Grenzfrequenz

$$f_{opt} \approx 0.85 MUF$$

$MUF$  = maximum usable frequency  
 $f_{opt}$  = optimale Frequenz

## 15 Antennentechnik

### 15.1 Dipol

#### 15.1.1 Länge

$$l = n \frac{\lambda}{2} \quad n \in \mathbb{N}$$

#### 15.1.2 Verkürzung

$$l = k \frac{\lambda}{2} \quad n \in [0.93, 0.97]$$

### 15.2 Antennengewinn

#### 15.2.1 zum Dipol

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

$$g_d = 10 \log_{10} \left( \frac{P_V}{P_D} \right) \text{ dbd}$$

$$g_d = 20 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_D} \right) \text{ dbd}$$

### 15.2.2 zum isotropen Strahler

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

$$g_i = 10 \log_{10} \left( \frac{P_V}{P_i} \right) \text{ dbd}$$

$$g_i = 20 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_i} \right) \text{ dbd}$$

### 15.2.3 ERP

$$P_{ERP} = \frac{P_{ERIP}}{1.64}$$

$$P_{ERP} = G_D P_S$$

$$P_{ERP} = P_S \overline{10 \frac{g_d}{10 \text{ db}}}$$

$$P_{ERP} = G_D (P_{Sender} - P_{Verlust})$$

### 15.2.4 ERIP

$$P_{ERIP} = 1.64 P_{ERP}$$

$$P_{ERIP} = G_i P_S$$

$$P_{ERIP} = P_S \frac{g_i}{10^{10} \text{db}}$$

$$P_{ERIP} = G_i (P_{Sender} - P_{Verlust})$$

### 15.2.5 Q-Match/ $\frac{\lambda}{4}$ - Trafo

$$Z_{Kabel} = \sqrt{Z_{Ant} Z_{Leitung}}$$

## 16 Leitungen

### 16.1 Wellenwiderstand

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

#### 16.1.1 Paralleldrahtleitung

$$Z_w = \frac{120\Omega}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \left( \frac{2a}{d} \right)$$

#### 16.1.2 Koaxialleitung

$$Z_w = \frac{60\Omega}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln \left( \frac{D}{d} \right)$$

### 16.2 Verkürzungsfaktor

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$$

$$k = \frac{\nu}{c}$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

### 16.3 Dämpfung

$$n = \sqrt{\frac{f_{hoch}}{f_{niedrig}}}$$

## 16.4 Transformationsleitung

$$R_i = Z_w = Z_{ant}$$

$$Z = \sqrt{Z_1 Z_2}$$

$$l = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} k$$

### 16.4.1 Koaxialleitung

$$Z = \frac{138\Omega}{\sqrt{\varepsilon_r}} \left( \frac{D}{d} \right)$$

$$D = d \sqrt{\frac{Z}{138\Omega}}$$

## 17 Signale

### 17.1 Effektivspannung

#### 17.1.1 Sinus

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

#### 17.1.2 Dreieck

$$U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{3}}$$

#### 17.1.3 Rechteck

$$U_{eff} = \hat{U} \sqrt{DutyCycle}$$

### 17.2 Wellenlänge & Frequenz

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

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

$$u = \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\begin{aligned} c &= \text{Lichtgeschwindigkeit} \approx 3 * 10^8 \\ c &= 2.99792458 * 10^8 \end{aligned}$$

### 17.3 Bandbreite

#### 17.3.1 DSB

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

### 17.3.2 SSB

$$b_{SSB} = f_{NFmax} - f_{NFmin}$$

$$b_{SSB} \approx f_{mod}$$

### 17.3.3 FM

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

$$b_{FM} \approx 2 \Delta f_T \quad f_{mod} \ll \Delta f_T$$

$$b_{FM} \approx 2 f_{mod} \quad m < 0.5$$

### 17.3.4 CW

$$b_{CW} = \frac{5 * WPM}{1.2}$$

### 17.3.5 RTTY

$$b_{RTTY} = 2 \left( \frac{\Delta f}{2} + 1.6Bd \right)$$

## 17.4 Modulationsindex FM

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

## 17.5 Besselfunktion

$$u = {}_0 \sin(\omega_t t - m \cos(\omega_m t))$$



## 17.6 Peak Envelope Power

$$PEP = P_c(1 + m)^2$$

*PEP = PeakEnvelopePower*

*P<sub>c</sub> = Carrier – Power (Trägerleistung)*

*m = Modulationsgrad bei AM*

## 18 Modulation - Demodulation

### 18.1 Modulationsgrad

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

## 19 Frequenzaufbereitung

### 19.1 Überlagerung

#### 19.1.1 $f_{osc} > f_e$

$$f_z = \frac{f_{sp} - f_e}{2}$$

$$f_{osc} = f_e + f_z$$

$f_e$  = Eingangsfrequenz  
 $f_{osc}$  = Überlagerungsfrequenz  
 $f_z$  = Zwischenfrequenz  
 $f_{sp}$  = Spiegelfrequenz

#### 19.1.2 $f_{osc} < f_e$

$$f_z = f_e - f_{osc}$$

$$f_{sp} = f_e - 2f_z$$

$f_e$  = Eingangsfrequenz  
 $f_{osc}$  = Überlagerungsfrequenz  
 $f_z$  = Zwischenfrequenz  
 $f_{sp}$  = Spiegelfrequenz

### 19.2 Frequenz 3.Ordnung

$$2f_1 - f_2 \wedge 2f_2 - f_1$$

## 20 Übertragungstechnik

### 20.1 Nquisttheorem

$$f_{abt} > 2f_{imax}$$

### 20.2 Dynamik

$$D = 20 \log \left( \frac{U_{max}}{U_{min}} \right) dB$$

### 20.3 Baudrate

$$\nu_u = \frac{1}{t_{1bit}} Bd$$

### 20.4 FSK

#### 20.4.1 Bandbreite

$$b_{FSK} = 2(\Delta f_T + f_{mod})$$

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

## 20.5 PSK

### 20.5.1 Bandbreite

$$b_{PSK} = 2(\Delta f_T + f_{mod})$$

$$b_{PSK} = 2 \frac{\nu_u}{2} = \nu_u$$

## 20.6 Totales Verbindungssystem

$$N = S \frac{S-1}{2}$$

$$\begin{aligned} N &= \text{Strecken} \\ S &= \text{Stationen} \end{aligned}$$

## 21 Messtechnik

### 21.1 Wheatstonsche Messbrücke

$$R = \frac{R_4 R_1}{R_3}$$

### 21.2 Shunt

$$U = R_{Instr} I_{Instr} = R_p I_p$$

$$I_p = I_{Messbereich} - I_{Instrument}$$

$$R_p = \frac{U}{I_p}$$

$$R_p = \frac{R_{Instr}}{n - 1}$$

$$R_s = R_{Instr}(n - 1)$$

$R_{Instr}$  = Instrumentwiderstand  
 $R_p$  = Shuntwiderstand parallel  
 $R_s$  = Shuntwiderstand seriell  
 $I_p$  = Strom durch Shunt  
 $I_{instr}$  = Instrumentenstrom  
 $n$  = Messbereichserweiterungsfraktor

### 21.3 SWR/VSWR

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

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

$$s = \frac{R_2}{Z} \quad R_2 \geq Z$$

$$s = \frac{Z}{R_2} \quad R_2 \leq Z$$

$s$  = SWR/VSWR  
 $r$  = Reflexionsfaktor  
 $Z$  = Wellenwiderstand (der Leitung)  
 $R_2$  = Abschlusswiderstand  
 $U_v$  = hinlaufende Welle  
 $U_r$  = rcklaufende Welle

## 22 Gerätetechnik

### 22.1 Empfindlichkeit

$$P_R = kT_0bF$$

$$U_R = \sqrt{kT_0bRF}$$

$k = 1.38 * 10^{-23}$  (Boltzmann Konstante)

$T_0$  = Temperatur [K]

$b$  = Bandbreite [Hz]

$R$  = Eingangswiderstand

$F$  = Rauschfaktor

$P_R$  = Rauschleistung

$U_R$  = Rauschspannung

## 23 EMV und Sicherheit

### 23.1 Windlast

$$F_A = pA$$

$$p = \text{Staudruck} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$A = \text{Wirckflche} [\text{m}^2]$$

### 23.2 Biegemoment

$$M_A = \sum F_i l_i$$

### 23.3 Sicherheitsabstand

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega P_{ERIP}}}{E}$$