

Formelsammlung

für die HB3/9 Prüfung

Charpoan Kong HB9HJN

February 21, 2023

1 SI-Präfixe & Einheiten

1.1 SI-Präfixe

T	Tera	10^{12}	1000000000000
G	Giga	10^9	1000000000
M	Mega	10^6	1000000
k	Kilo	10^3	1000
m	Milli	10^{-3}	0.001
μ	Mikro	10^{-6}	0.000001
n	Nano	10^{-9}	0.000000001
p	Pico	10^{-12}	0.000000000001

1.2 Einheiten

Ladung	Q	Coulomb	$C = As$
Spannung	U	Volt	V
Leistung	L	Watt	W
Arbeit	W	Wattsekunde	VAs
Impedanz	R	Ohm	$\Omega = \frac{V}{A}$
Leitwert	G	Siemens	$S = \frac{1}{\Omega}$
Kapazität	C	Farad	$F = \frac{As}{V}$
Induktivität	L	Henry	$H = \frac{Vs}{A}$
El. Feldstärke	E	Volt pro Meter	$\frac{V}{m}$
Mag. Feldstärke	H	Ampere pro Meter	$\frac{A}{m}$
Flussdichte	B	Tesla	$T = \frac{Vs}{m^2}$
Frequenz	f	Herz	$Hz = \frac{1}{s}$

2 Ohmisches/Leistungs Dreieck & Wellenlänge

2.1 Spannung

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

2.2 Strom

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

2.3 Widerstand

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

2.4 Leistung

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

2.5 Wellenlänge & Frequenz

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

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

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8$$

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

3 Widerstand & Leistung

3.1 Serieschaltung

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

3.2 Parallelschaltung

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

3.3 Leiterwiderstand

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

$$\rho = \text{spezifischer Widerstand}$$

3.4 Spannungsteiler

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

3.5 Wirkungsgrad

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

$$P_V = \text{Verlustleistung}$$

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

4 Wechselstrom

4.1 Effektivspannung

4.1.1 Sinus

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

4.1.2 Dreieck

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

4.1.3 Rechteck

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

5 Kondensator

5.1 Kapazität

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

$$\varepsilon_0 = \text{Elektrische Feldkonstante}$$

$$\varepsilon_r = \text{Permittivität}$$

$$\varepsilon_0 = 8.854187817 \cdot 10^{-12}$$

5.2 Serieschaltung

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

5.3 Parallelschaltung

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

5.4 τ /Zeitkonstante

$$\tau = RC$$

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

5.5 Dreh-/Plattenkondensator

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

$$C_p = \text{Paralellkapazität}$$

$$C_a = \text{Anfangskapazität}$$

$$f_u = \text{untere Frequenz}$$

$$f_o = \text{obere Frequenz}$$

$$\Delta C = \text{Kapazität des Drehko}$$

5.6 Kapazitiver Blindwiderstand

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

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

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

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

5.7 Verlustfaktor/Güte

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

R_p = paralleler Verlustwiderstand
 I_R = Strom durch R_v
 I_C = Strom durch Kondensator

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

6 Spule

6.1 Induktivität

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

μ_0 = Permeabilität im luftleeren Raum
 μ_r = Permeabilität des Kernmaterials
 A_L = Wert vorgefertigter Kerne

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

6.2 Induktion- & Selbstinduktionspannung

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

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

6.3 Serieschaltung

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

6.4 Parallelschaltung

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

6.5 τ /Zeitkonstante

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

6.6 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

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

6.7 Induktiver Blindwiderstand

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

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

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

7 Impedanz

7.1 Serieschaltung

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

7.2 Parallelschaltung

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

8 Transformator/Übertrager

8.1 Spannungs-/Strom-/Windungs-/Widerstands-übersetzung

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

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

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

8.2 Stromdichte

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

9 RC-Glied

9.1 Grenzfrequenz

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

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

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

9.2 Shape-Faktor

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

10 Dezibel

10.1 Dezibel bei Leistug

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

10.2 Dezibel bei Spannung

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

11 LC-Schwingkreis

11.1 Resonanzfrequenz

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

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

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

11.2 Bandbreite

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

11.3 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 Verlustwieders.
 R_p = paralleler Verlustwieders.

12 Diode

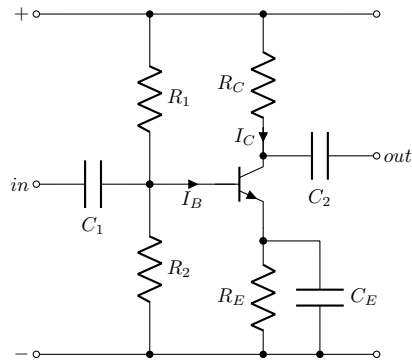
12.1 Vorwiderstand

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

12.2 Spannungsfestigkeit/Max. Spannung

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

13 Transistor/FET



13.1 Stromverstärkungsfaktor

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

13.2 R_1

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

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

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

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

13.3 R_C

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

$$I_C = I_B \beta$$

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

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C}$$

13.4 I_C

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

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

$$I_C = I_B \beta$$

13.5 P_V

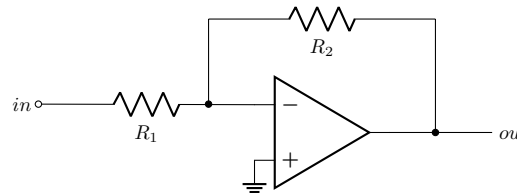
$$U_{RC} = R_C I_C$$

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

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

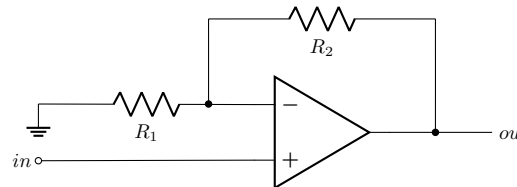
14 Operationsverstärker

14.1 Invertierender Verstärker



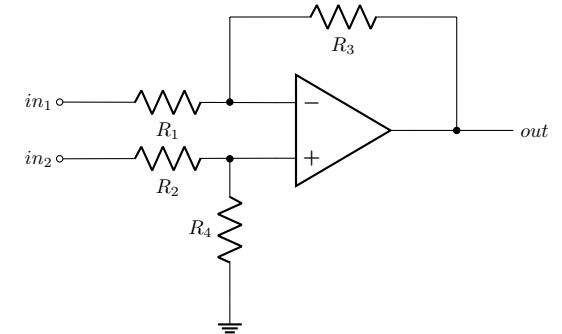
$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_2}{R_1}$$

14.2 Nichtinvertierender Verstärker



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

14.3 Differenzialverstärker



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

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

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

15 Elektromagnetisches Feld

15.1 Elektrische Feldstärke

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

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

15.2 Magnetische Feldstärke

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

15.3 Magnetische Flussdichte

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

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

15.4 Strahlungsdichte Kugelstrahler

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

P_{ERP}
Leistung isotroper Strahler

15.5 Feldwellenwiderstand

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi\Omega$$

$Z_0 = \text{Feldwellenwiderstand}$

15.6 Ersatzfeldstärke

15.6.1 Allgemein

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega P_{ERIP}}}{r}$$
$$E = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{Z_0}{4\pi} P_{ERIP}} \quad \begin{matrix} P_{ERIP} \\ \text{Leistung isotroper Strahler} \end{matrix} =$$

15.6.2 Dipol

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

15.7 Brauchbare Grenzfrequenz

$$MUF \approx \frac{f_k}{\sin \alpha} \quad \begin{matrix} MUF \\ \text{maximum usable frequency} \\ f_k = \text{kritische Frequenz} \end{matrix} =$$

15.8 Optimale Grenzfrequenz

$$f_{opt} \approx 0.85 MUF \quad \begin{matrix} MUF \\ \text{maximum usable frequency} \\ f_{opt} = \text{optimale Frequenz} \end{matrix} =$$

16 Antennentechnik

16.1 Dipol

16.1.1 Länge

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

16.1.2 Verkürzung

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

16.2 Antennengewinn

16.2.1 zum Dipol

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

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

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

16.2.2 zum isotropen Strahler

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

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

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

16.2.3 ERP

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

$$P_{ERP} = G_D P_S$$

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

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

16.2.4 ERIP

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

$$P_{ERIP} = G_i P_S$$

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

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

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

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

17 Leitungen

17.1 Wellenwiderstand

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

17.1.1 Paralleldrahtleitung

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

17.1.2 Koaxialleitung

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

17.2 Verkürzungsfaktor

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

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

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

17.3 Dämpfung

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

17.4 Transformationsleitung

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

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

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

17.4.1 Koaxialleitung

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

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

18 Signale

18.1 Effektivspannung

18.1.1 Sinus

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

18.1.2 Dreieck

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

18.1.3 Rechteck

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

18.2 Wellenlänge & Frequenz

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

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

$$u = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$c = \text{Lichtgeschwindigkeit} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

18.3 Bandbreite

18.3.1 DSB

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

18.3.2 SSB

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

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

18.3.3 FM

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

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

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

18.3.4 CW

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

18.3.5 RTTY

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

18.4 Modulationsindex FM

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

18.5 Besselfunktion

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

18.6 Peak Envelope Power

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

$PEP = \text{Peak Envelope Power}$
 $P_c = \text{Carrier Power (Trägerleistung)}$
 $m = \text{Modulationsgrad bei AM}$

19 Modulation - Demodulation

19.1 Modulationsgrad

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

20 Frequenzaufbereitung

20.1 Überlagerung

20.1.1 $f_{osc} > f_e$

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

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

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

20.1.2 $f_{osc} < f_e$

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

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

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

20.2 Frequenz 3.Ordnung

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

21 Übertragungstechnik

21.1 Nquisttheorem

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

21.2 Dynamik

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

21.3 Baudrate

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

21.4 FSK

21.4.1 Bandbreite

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

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

21.5 PSK

21.5.1 Bandbreite

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

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

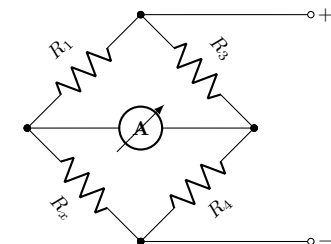
21.6 Totales Verbindungssystem

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

$N = \text{Strecken}$
 $S = \text{Stationen}$

22 Messtechnik

22.1 Wheatstonsche Messbrücke



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

22.2 Shunt

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

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

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

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

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

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

22.3 SWR/VSWR

$s = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{U_v + U_r}{U_v - U_r} =$

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

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

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

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

$s = \text{SWR/VSWR}$
 $r = \text{Reflexionsfaktor}$
 $Z = \text{Leitungswellenwiderstand}$
 $R_2 = \text{Abschlusswiderstand}$
 $U_v = \text{hinlaufende Welle}$
 $U_r = \text{rücklaufende Welle}$

23 Gerätetechnik

23.1 Empfindlichkeit

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ (Boltzmann Konstante)}$

$P_R = kT_0 b F$

$U_R = \sqrt{kT_0 b R F}$

$T_0 = \text{Temperatur [K]}$
 $b = \text{Bandbreite [Hz]}$
 $R = \text{Eingangswiderstand}$
 $F = \text{Rauschfaktor}$
 $P_R = \text{Rauschleistung}$
 $U_R = \text{Rauschspannung}$

24 EMV

24.1 Sicherheitsabstand

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