

Buch mitnehmen

Tests

2. Dez. 2019

20. Jänner 2020

16. März 2020

20.11. Fernmelde -besichtigung

Lichtwellenleiter

c_0 (Lichtgeschwindigkeit)

$$n_1 = \frac{c_0}{c_1} \quad (\text{Brechungsindex})$$

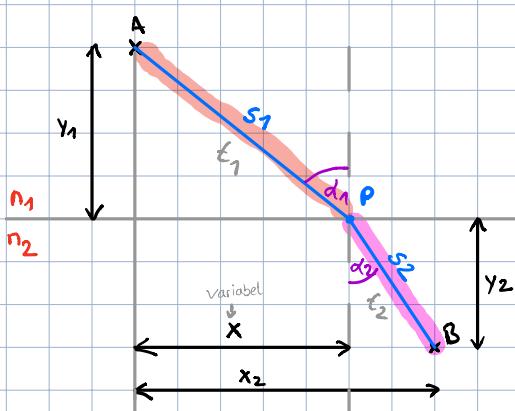
c_1 (Ausbreitungsgeschwindigkeit)

LED \rightarrow Bandbreite 1))

Laser \rightarrow (fixe) Frequenz 1111

ebene Welle (Monochromatisches Licht)

Aufbau LWL



$$t_n = \frac{s_n}{c_n}$$

$$s_1 = \sqrt{x^2 + y_1^2}$$

$$s_2 = \sqrt{y_2^2 + (x_2 - x)^2}$$

$$t = t_1 + t_2 = \frac{s_1}{c_1} + \frac{s_2}{c_2}$$

$$= \frac{\sqrt{x^2 + y_1^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}{c_2}$$

$$\frac{\sin d_1}{c_1} = \frac{\sin d_2}{c_2}$$

$$\frac{\sin d_1}{\sin d_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{dt}{dx} = 0 = \frac{1}{c_1 \sqrt{x^2 + y_1^2}} + \frac{1}{c_2 \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}$$

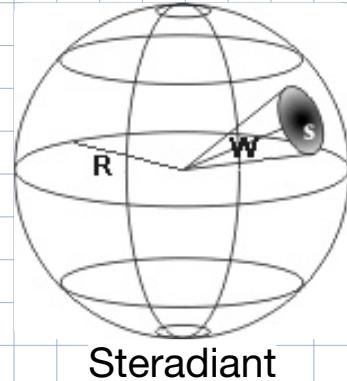
$$\frac{x}{c_1 \sqrt{x^2 + y_1^2}} = \frac{x_2 + x}{c_2 \sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}$$

Lichtstrom $[\Phi] = 1 \text{ lm}$... Lumen

Lichtstärke $[I] = 1 \text{ cd}$... Candela

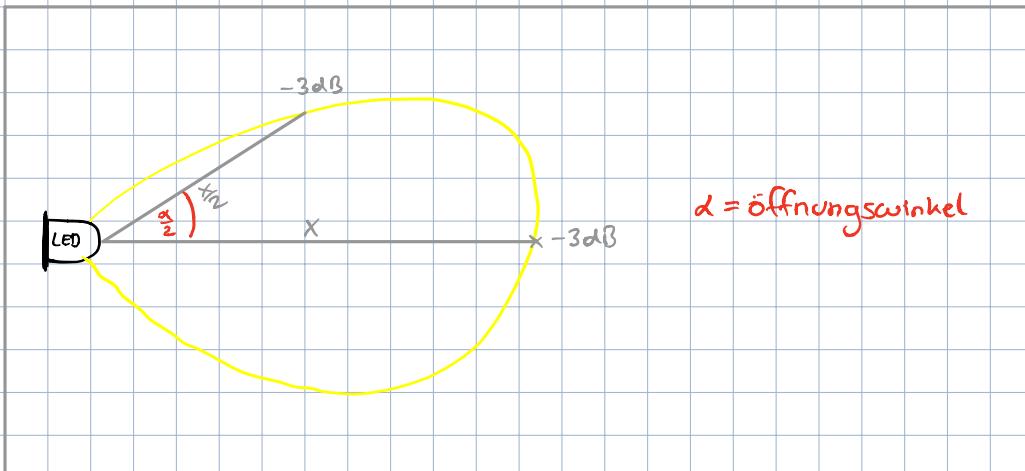
Leuchtdichte $[i] = \frac{1 \text{ cd}}{\text{m}^2}$

Raumwinkel $[\Omega] = 1 \text{ sr}$... Steradian

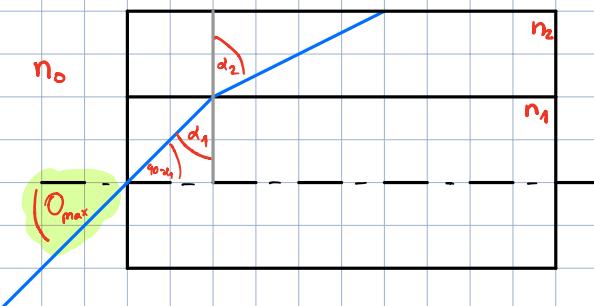


Steradian

$$\Phi = I \cdot \Omega$$



Einkopplungswinkel



$$\begin{aligned} n_0 \cdot \sin(\Theta_{\max}) &= n_1 \cdot \sin(90^\circ - \alpha_1) \\ &= n_1 \cdot \cos(\alpha_1) \\ &= n_1 \sqrt{\cos^2(\alpha_1)} \\ &= n_1 \sqrt{1 - \sin^2(\alpha_1)} \end{aligned}$$

NA ... Apertur
 $NA = \sin(\Theta_{\max}) = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

bei Luft : $n_0 = 1$

$\hookrightarrow NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

$$\alpha_2 = 90^\circ \rightarrow \alpha_1 = \Theta_c \rightarrow \sin \alpha_2 = \sin 90^\circ = 1$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{\sin \Theta_c}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \sin \Theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_0 \cdot \sin(\Theta_{\max}) = n_1 \sqrt{1 - \sin(\arcsin(\frac{n_2}{n_1}))^2}$$

$$= n_1 \sqrt{1 - (\frac{n_2}{n_1})^2}$$

$$= n_1 \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Grundlagen (HPS).pdf

Dispersions können

chromatisch: verschiedene Wellenlänge \Rightarrow unterschiedliche Dämpfung

spektral:

Monomode: $\emptyset \mu\text{m}$ -Bereich

Multimode: $\emptyset 50 \sim 100 \mu\text{m}$ -Bereich

Beispiel:

Die Kernbrechzahl n_1 eines LWL beträgt 1,55, die des Mantels $n_2 = 1,51$ $n_0 = 1$

Der Kern durchmesser $d_1 = 50 \mu\text{m}$

Wellenlänge $\lambda = 0,8 \mu\text{m}$

- a) c_1 (Lichtgeschw. im Kern)
- b) d_1
- c) NA numerische Apertur $= \sin \theta_{\max}$
- d) θ_{\max}
- e) was sind die Vorteile eines LWL

a) $n_1 = \frac{c_0}{c_1} \rightarrow c_1 = \frac{c_0}{n_1} = 19355 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

b) $d_1 = \arcsin \left(\frac{n_0}{n_1} \right) = 76,95^\circ$

c) $NA = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,350$

d) $\sin(\theta_{\max}) = AP$

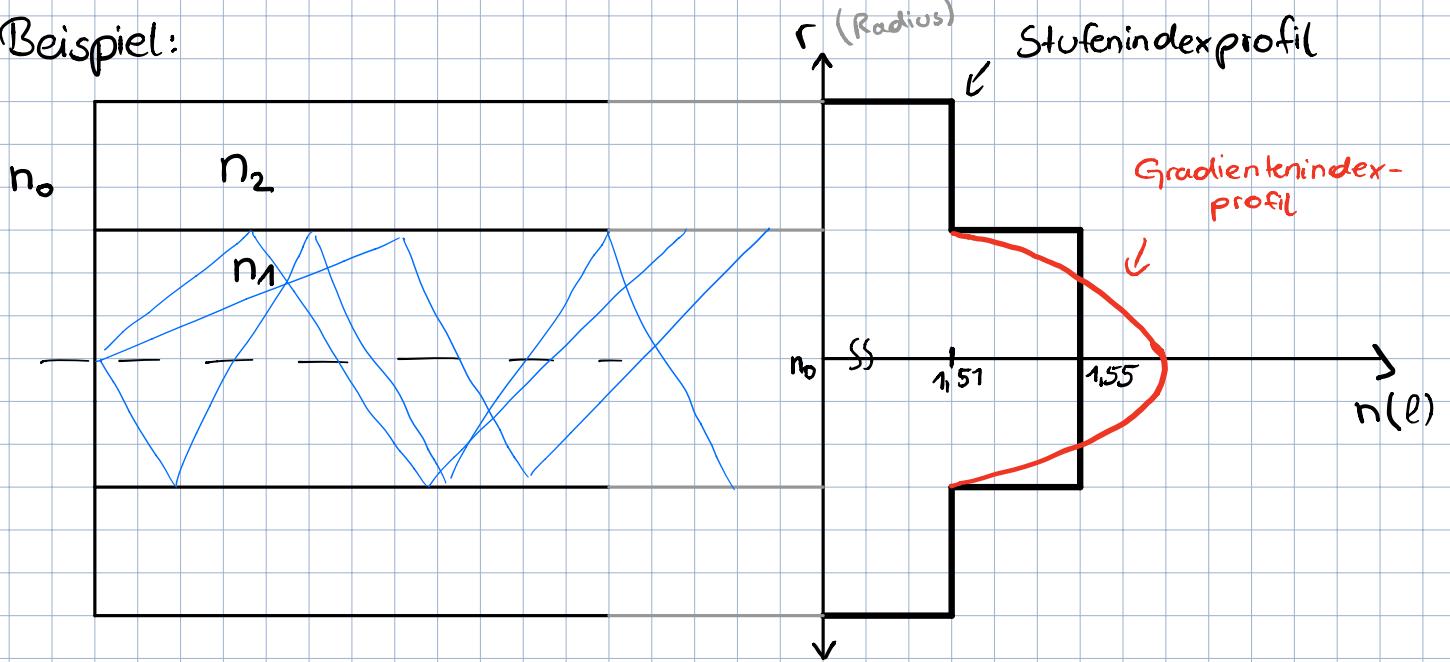
$$\theta_{\max} = \sin^{-1} AP$$

$$\theta_{\max} = 20,49^\circ$$

e) Gewicht, Bandbreite, galv. Trennung, Reichweite

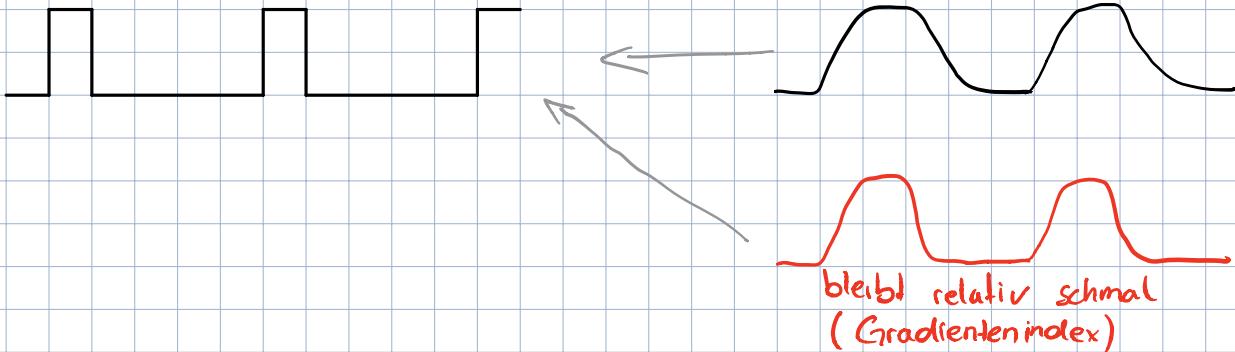
Dispersion: In der Optik ist dies speziell die von der Frequenz abhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in Medien

Beispiel:



Bandbreite: / Impulsverbreitung

(Stufenindex)
wird relativ breit

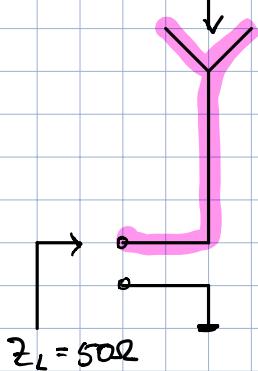


Antennen

(Ab Buch Seite 238)

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12}}} \approx 377 \Omega$$

$$Z_F = 377 \Omega$$



Die Ant. dient der Anpassung an den leeren Raum

Eingangsimpedanz

Isotrope Kugelstrahler: Theoretisches Modell, strahlt in alle Richtungen gleich ab

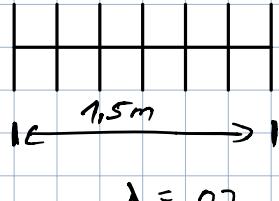
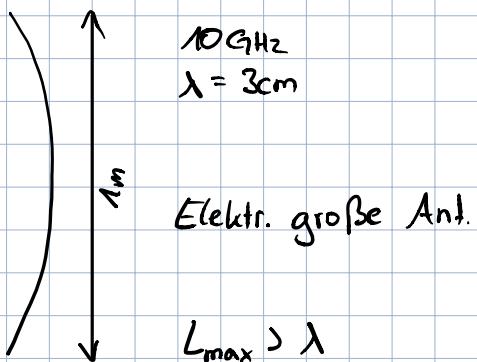
Wellentypwandler

Man unterscheidet Nah- und Fernfeld

Nah \rightarrow Blindleistung (Energie "haftet" an der Ant) + Wirkleistung

Fern \rightarrow Wirkleistung

Satelliten: groÙenordnung 10...12 - GHz



$$r \geq \frac{2L_{\max}^2}{\lambda}$$

$$r \geq 2\lambda$$

NFC - Durch die Nähe kann der Chip aus mit Strom versorgt werden.

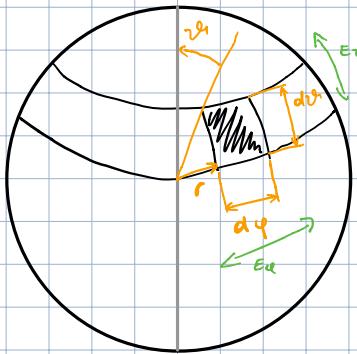
$$P = \frac{P_T}{A}$$

A ... Kugeloberfläche $= 4\pi r^2$

P_T ... Leistung an d. Kugel

P ... Leistungsdichte in einer Entfernung

Kugeloberfläche



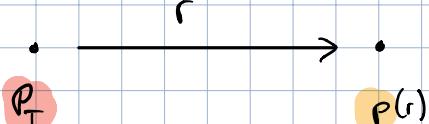
$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi r^2 \sin \vartheta_1 d\varphi d\vartheta_1$$

$$r^2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (-\cos \vartheta_1) d\varphi d\vartheta_1$$

?

$$r^2 2\pi \cdot (-1) = 4\pi r^2$$

Anwendung: Isotroper Kugelstrahler



$$\rho(r) = \frac{P_T}{A} = \frac{P_T}{4\pi r^2}$$



Gilt nur für Iso-Kugelstrahl

\vec{s} ... pointingvektor

$$\vec{s} = E \times H^*$$

(Kreuzprodukt)

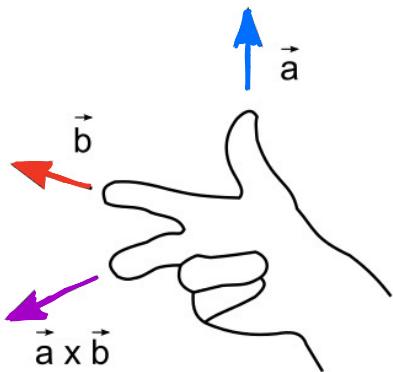
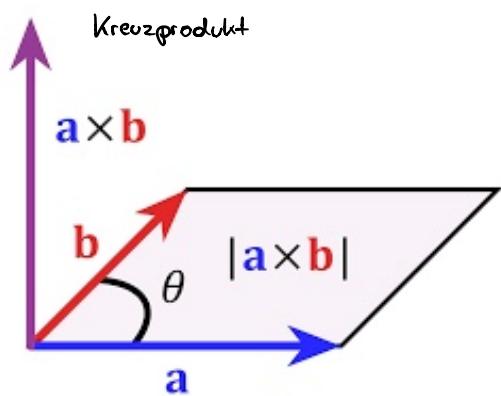
$$\vec{s}_i = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \vec{e}_r = \frac{E_i^2}{Z_{F0}} \quad \vec{e}_r = H_i^2 Z_{F0} \vec{e}_r \quad (7.5)$$

\vec{e}_r ... einheitsvektor (länge 1)

$$E = Z_{F0} \cdot H$$

H... aus Stim
E... aus Spg

Buch S. 240



Vektoren:

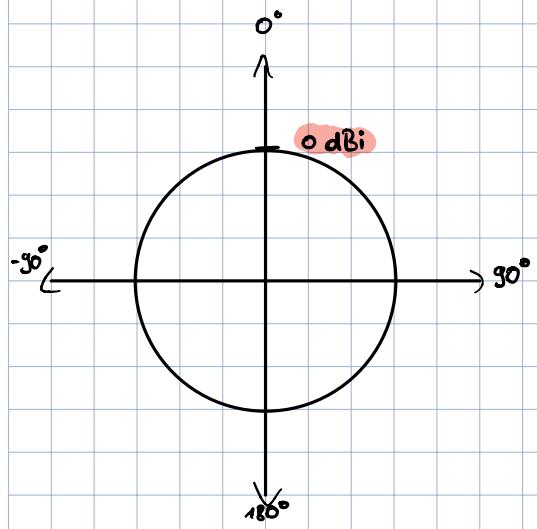
In- Produkt

cX - Produkt



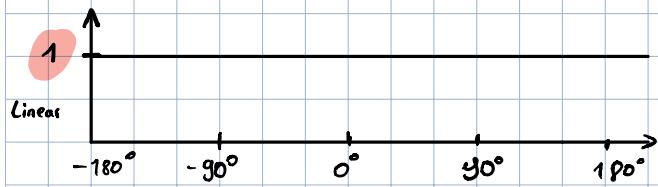
20 log (wert)

7.8 (formel)



Bezogen auf den Isotropen-Kugelstrahler

Horizontal- & Vertikalcharakteristik



Isotropen-Kugelstrahler

Herzscher Dipol

$\lambda/2$ Dipol

$\lambda/4$ Monopol

0 dBi

1

1,76 dBi

1,5

2,15 dBi

1,64

5,15 dBi

3,28

10 dBi \rightarrow 12,15 dBi

Reziprozität: Sendee- und Empfangscharakteristik ist gleich.

$$P_A = A_{\text{eff}} \cdot S$$

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

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D$$

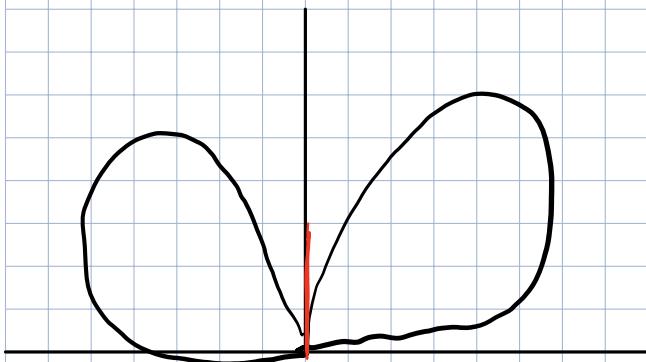
$$G = \eta D$$

D... Richtfaktor

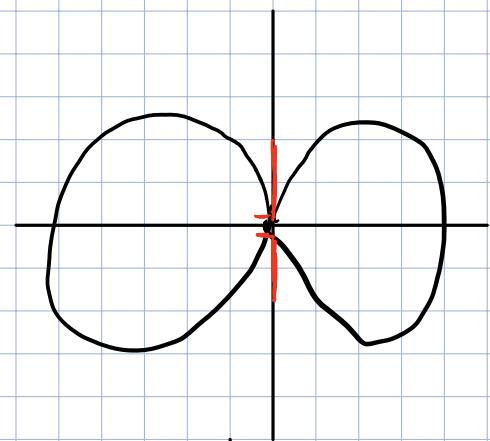
$$EIRP = 10 \log \left(\frac{G \cdot P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ in dBm}$$

$\frac{\lambda}{4}$ - Monopol

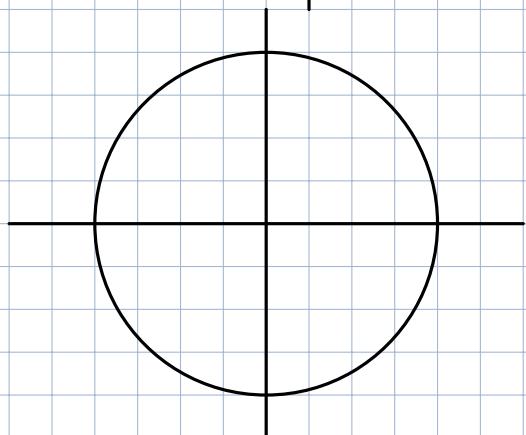
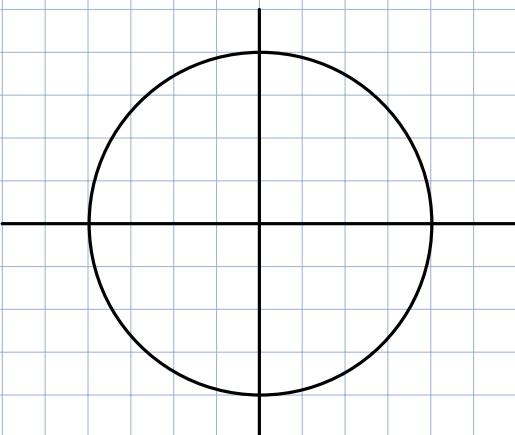
$\frac{\lambda}{2}$ - Dipol



vertikal



horizontal

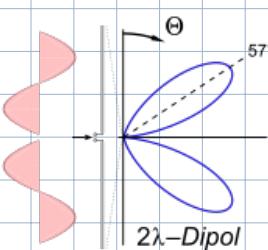
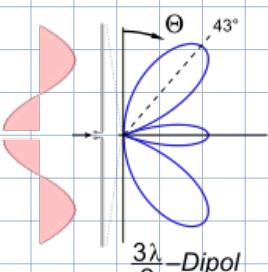
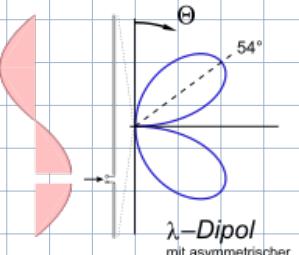
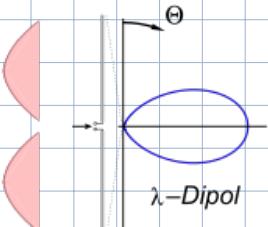
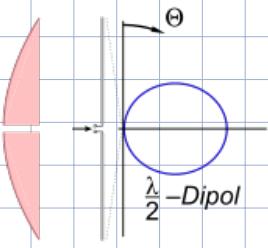


$$D = 5,15 \text{ dBi}$$

$$D = 2,15 \text{ dBi}$$

Das Verhältnis des Abstrahlraumwinkel liegt bei 2:1

Der Monopol hat ca. den doppelten Gewinn (+3dBi)



omni- directional - strahler

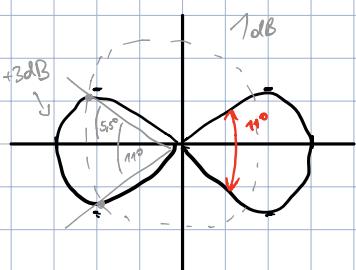


Ein Ant. hersteller bietet eine Rundstrahlantenne mit einem vertikalen $3dB$ - Öffnungswinkel von 11° an

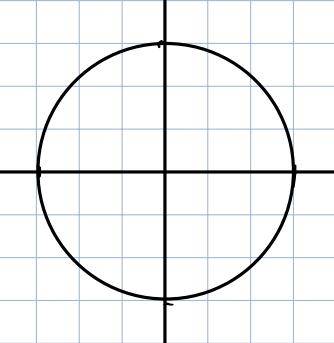
A: Ermitteln / zeichnen Sie das Vertikale und horizontale Strahlungsbild

B: Schätzen Sie den Antennengewinn (dBi) gegenüber eines ISKS ab

A: Vertikal



Horizontal

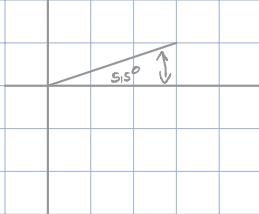


$$90^\circ = 1$$

$$11^\circ = 9$$

$4\pi \rightarrow$ raumwinkel ISKS

12,56637



$$A = 2\pi \cdot 2 \sin(5,5^\circ)$$

$$= 2\pi \cdot 2 \sin\left(\frac{5,5\pi}{180}\right) = 0,021053$$

$$\beta = 10,2 \text{ dBi}$$

$$20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)$$

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G$$

Buch S.

$$\text{EIRP} = 100 \text{ mW} \quad \stackrel{\triangle}{=} 20 \text{ dBm}$$

(EIRP) \rightarrow equivalent isotropically radiated power / Effektive Strahlungsleistung

$$D_1 = 2,5 \text{ dB}$$

$$D_2 = 1 \text{ dB}$$

$$G_1 = 5 \text{ dBi}$$

$$G_2 = 15 \text{ dBi}$$

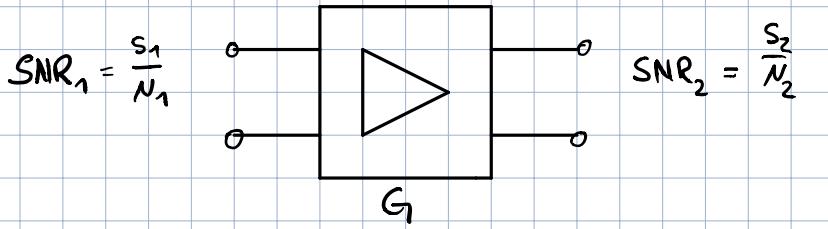
$$\text{EIRP} = P_s - D_1 + G_1 = 20 \text{ dBm}$$

$$P_s - D_1 + G_1 = P'_s - D_2 + G_2$$

$$P_s = 17,5 \text{ dBm}$$

$$\text{EIRP} = P'_s - D_2 + G_2 = 20 \text{ dBm}$$

$$P'_s = 6 \text{ dBm}$$



$$SNR_2 \leq SNR_1 \quad (\text{Durch Eigenrauschen des Verstärkers})$$

4) Bandbreite: 100 kHz

$$f = 434 \text{ MHz}$$

$$S = P(d) \quad \& \quad N = F kT \cdot B$$

$$\frac{S}{N} = 24 \text{ dB}$$

$$N_o = k \cdot T \cdot B$$

$$n_s = kT \left(-\frac{204 \text{ dBW}}{\text{Hz}} \right)$$

$$G_A = 2 \text{ dB}$$

$$-174 \text{ dBm / Hz}$$

$$r = 1 \text{ km}$$

$$2 \text{ dB}$$

$$a) \lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{434 \cdot 10^9} = 0,69 \text{ m}$$

$$c_0 = 3 \cdot 10^8$$

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G = 610 \text{ cm}^2$$

$$N = F \cdot k \cdot T \cdot B$$

$$F \quad B$$

$$N = -174 \text{ dBm / Hz} + 6 \text{ dB} + 10 \log(10^5) = -118 \text{ dBm}$$

$$S' = SNR' + N'$$

Logarithmisch

$$S = 24 \text{ dB} - 118 \text{ dBm} = -94 \text{ dBm} = -124 \text{ dBW}$$

$$S = 10^{\frac{-124}{10}} = 0,4 \text{ pW}$$

b) EIRP 83 nW

$$L_{F_0} = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) = -85,2 \text{ dB}$$

$$\text{EIRP} = P_e - L_{F_0} - G = 94 \text{ dBm} - (-85,2 \text{ dB}) - 2 \text{ dB} = -10,8 \text{ dBm} \stackrel{\wedge}{=} -40,8 \text{ dBW}$$

$$L = 10^{-\frac{40,8}{10}} = 83,2 \mu\text{W}$$

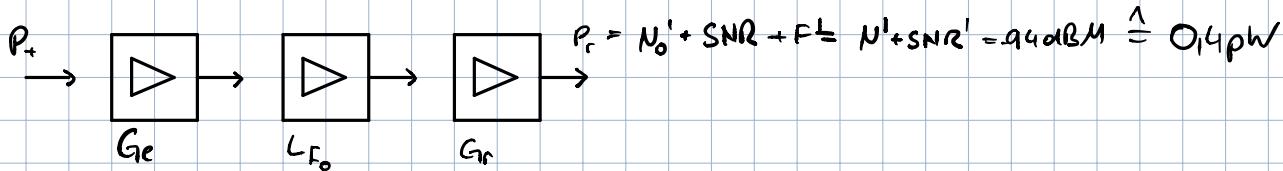
$$P_s = P_e - G_s - L_{F_0} - G_r = 94 \text{ dBm} - 8 \text{ dB} + 85,2 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = -18,8 \text{ dBm} \stackrel{!}{=} -48,8 \text{ dBW}$$

$$\hookrightarrow P_s = 13,2 \text{ W}$$

$$\text{b neu)} \quad F' = 6 \text{ dB} \quad \text{SNR}' = 24 \text{ dB} \quad \eta_0' = -174 \text{ dBm/Hz} \quad B = 100 \text{ kHz} \quad G_r' = 2 \text{ dB}$$

$$d = 1000 \text{ m} \quad G_t = 8 \text{ dB}$$

$$F' + N_o' = F' + \eta_0' + B' \xrightarrow{\text{Rauschleistung}} = 6 - 174 + 50 = -118 \text{ dBm}$$



$$\lambda = 0,691 \text{ m}$$

$$L_{F_0}' = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) = 85,2 \text{ dB}$$

$$P_t' = P_0' - G_r - L_{F_0} - G_r = -18,8 \text{ dBm} \stackrel{!}{=} 13,2 \mu\text{W}$$

$$\text{EIRP} = P_+ + G_t = -10,8 \text{ dBm} \stackrel{!}{=} 83,2 \mu\text{W}$$

Aufgabe 5)

$$f = 868 \text{ MHz}$$

$$\alpha B_m + \alpha B_m = \alpha B$$

(linear würde multipliziert werden...)

$$\text{Sender: } P_t = 10 \text{ dBm} \quad G_t = 5 \text{ dB}$$

$$\text{Empfänger: } G_t = 3 \text{ dB} \quad \min S/N = 10 \text{ dB} \quad B = 100 \text{ kHz}$$

$$N = 14 \text{ dB}$$

Maximale Freifeld-Dämpfung

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{868 \cdot 10^6} = 34,6 \text{ cm}$$

$$S' = SNR' + N' = 10 \text{ dB} + 14 \text{ dB} = 24 \text{ dB}$$

$$S = 10^{\frac{24}{10}} = 251,19 \text{ W}$$

$$\text{Cl. 5 a)} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{868 \cdot 10^6} = 34,6 \text{ cm}$$

$$P_e' = F'(kT)' + B + SNR = 14 \text{ dB} - 174 \text{ dBm/Hz} + 50 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = 100 \text{ dBm}$$

$$PL_{SE}' = P_{SE}' = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_e'} \right)$$

$$PL_{fs} = P_{SE}' + G_e' + G_r'$$

$$PL_{fs}' = P_s' + G_s' - P_e' + G_e' = 10 \text{ dBm} + 5 \text{ dBm} + 100 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} = 118 \text{ dBm}$$

$$PL_{SE} = P_s' - P_e' = 10 \text{ dBm} + 100 \text{ dBm} = 110 \text{ dB}$$

$$PL_{fs} = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

$$\text{b) } d = \frac{\lambda}{4\pi \cdot 10^{-\frac{118}{20}}} \approx 22 \text{ km}$$

A) Nebenkeulenlämpfung

Haupt: 11,59 dB

Öffnungswinkel

Neben: 5 dB

Richtfaktor

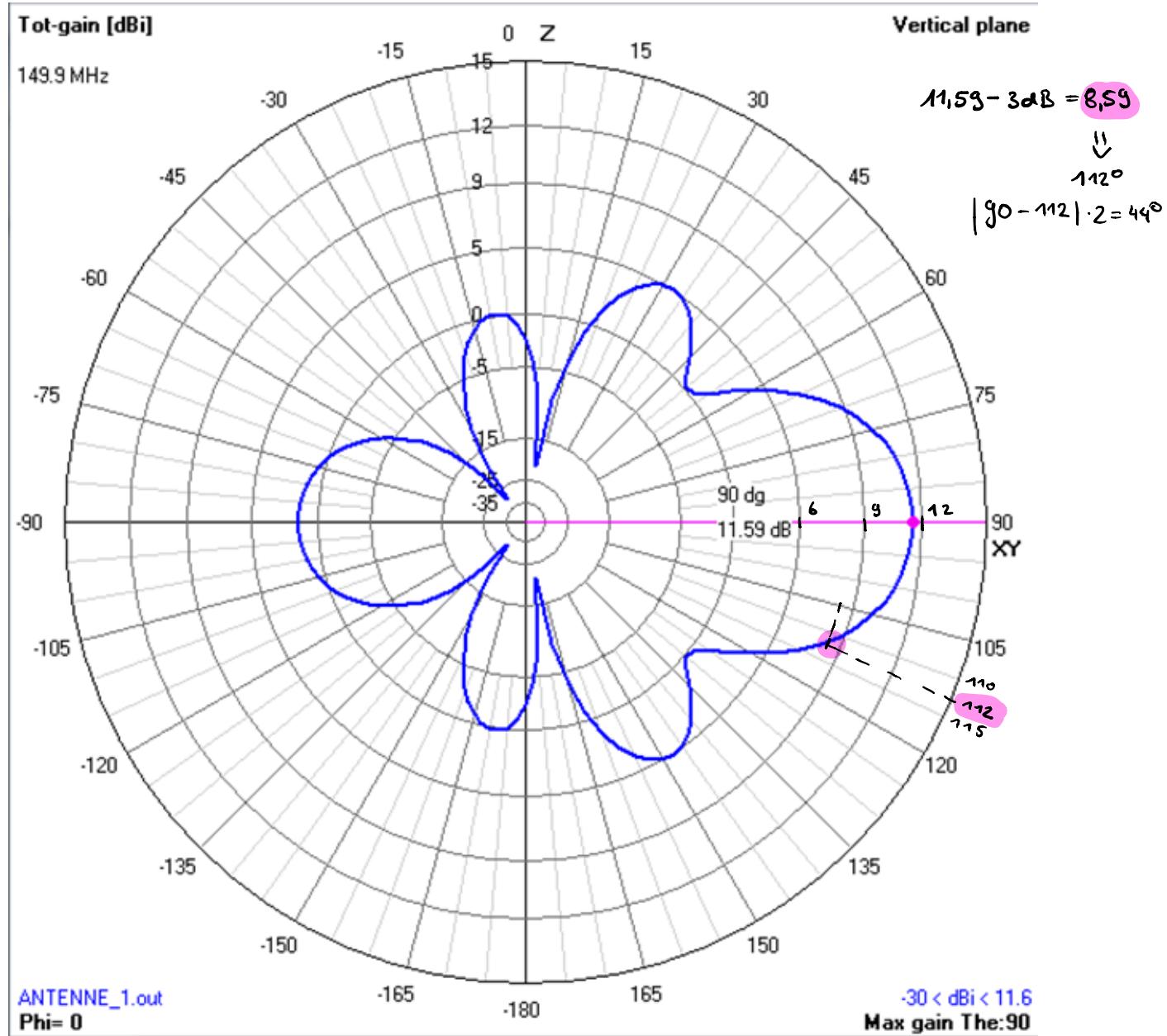
Dämpfung 6,59 dB

$$\text{bei } 8,6 \text{ dB} \quad \text{bei } 112^\circ \rightarrow 112 - 90 = 22^\circ$$
$$\downarrow$$
$$\times 2 = 44^\circ$$

Öffnungswinkel: Hauptstrahlrichtung -3 dB

↪ 11,

Beilage Richtcharakteristik:



Der Äquivalente Raumwinkel

Unter dem Äquivalenter Raumwinkel kann man sich denjenigen Winkel vorstellen, indem die Antenne ihre gesamte Leistung abstrahlen würde, wenn in ihm die größte Strahlungsdichte oder Hauptkeule gleichmäßig vorhanden wäre und außerhalb keine.

$$D = A \cdot \frac{S_r(\vartheta_1, \varphi)_{\max}}{P_s}$$

wobei

$$P_s = r^2 \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} S_r(\vartheta_1, \varphi) \sin(\vartheta_1) d\vartheta_1 d\varphi$$

$$D = \frac{\cancel{4\pi r^2} \cdot S_r(\vartheta_1, \varphi)_{\max}}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} S_r(\vartheta_1, \varphi) \sin(\vartheta_1) d\vartheta_1 d\varphi} = \frac{4\pi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} S_r(\vartheta_1, \varphi) \sin(\vartheta_1) d\vartheta_1 d\varphi}$$

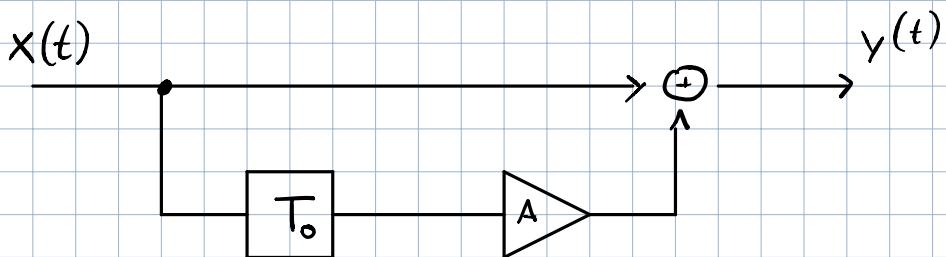
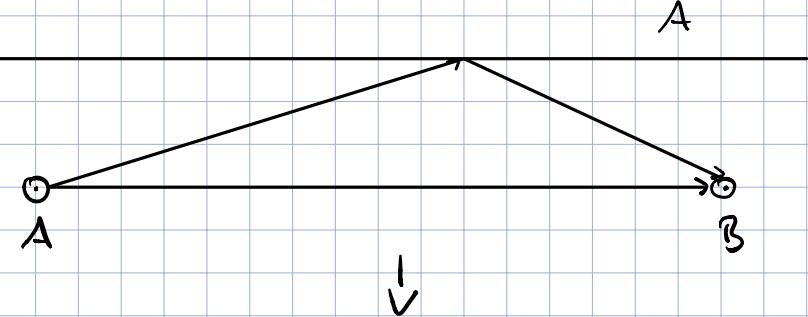
$$= \frac{\frac{4\pi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} S_r(\vartheta_1, \varphi) \sin(\vartheta_1) d\vartheta_1 d\varphi}}{S_r(\vartheta_1, \varphi)_{\max}}$$

$$= \frac{4\pi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} C^2(\vartheta_1, \varphi) \sin(\vartheta_1) d\vartheta_1 d\varphi}$$

Äquivalenter Raumwinkel Ω

$$\Omega = \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} C^2(\vartheta_1, \varphi) \sin(\vartheta_1) d\vartheta_1 d\varphi \leq 4\pi$$

Wirkungsgrad:



$$h(t) = \delta(t) + A\delta(t - T_0)$$

$$H(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} [\delta(t) + A\delta(t - T_0)] e^{-j\omega t} dt$$

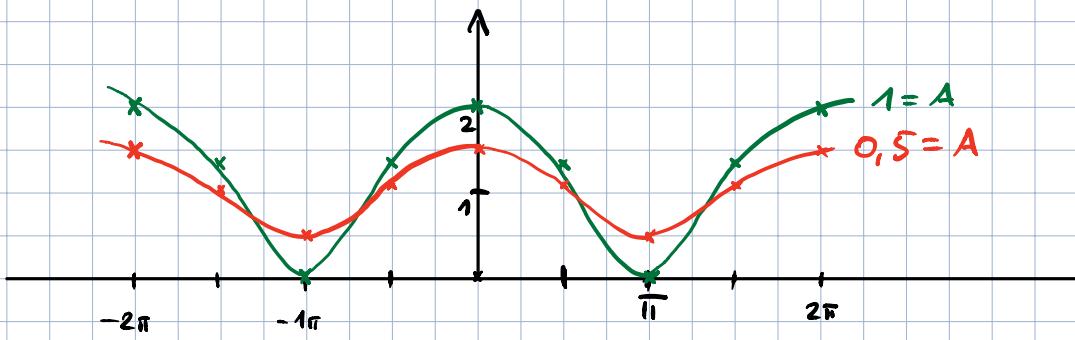
$$= \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-j\omega t} dt}_{1} + A \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - T_0) e^{-j\omega t} dt}_{e^{-j\omega T_0}}$$

$$H(j\omega) = 1 + A e^{-j\omega T_0}$$

$$H(j\omega) = 1 + A \cdot e^{-j\omega T_0}$$

$$H(j\omega) = \underbrace{1 + A \cos(\omega T_0)}_{Re} - j \underbrace{A \sin(\omega T_0)}_{Im}$$

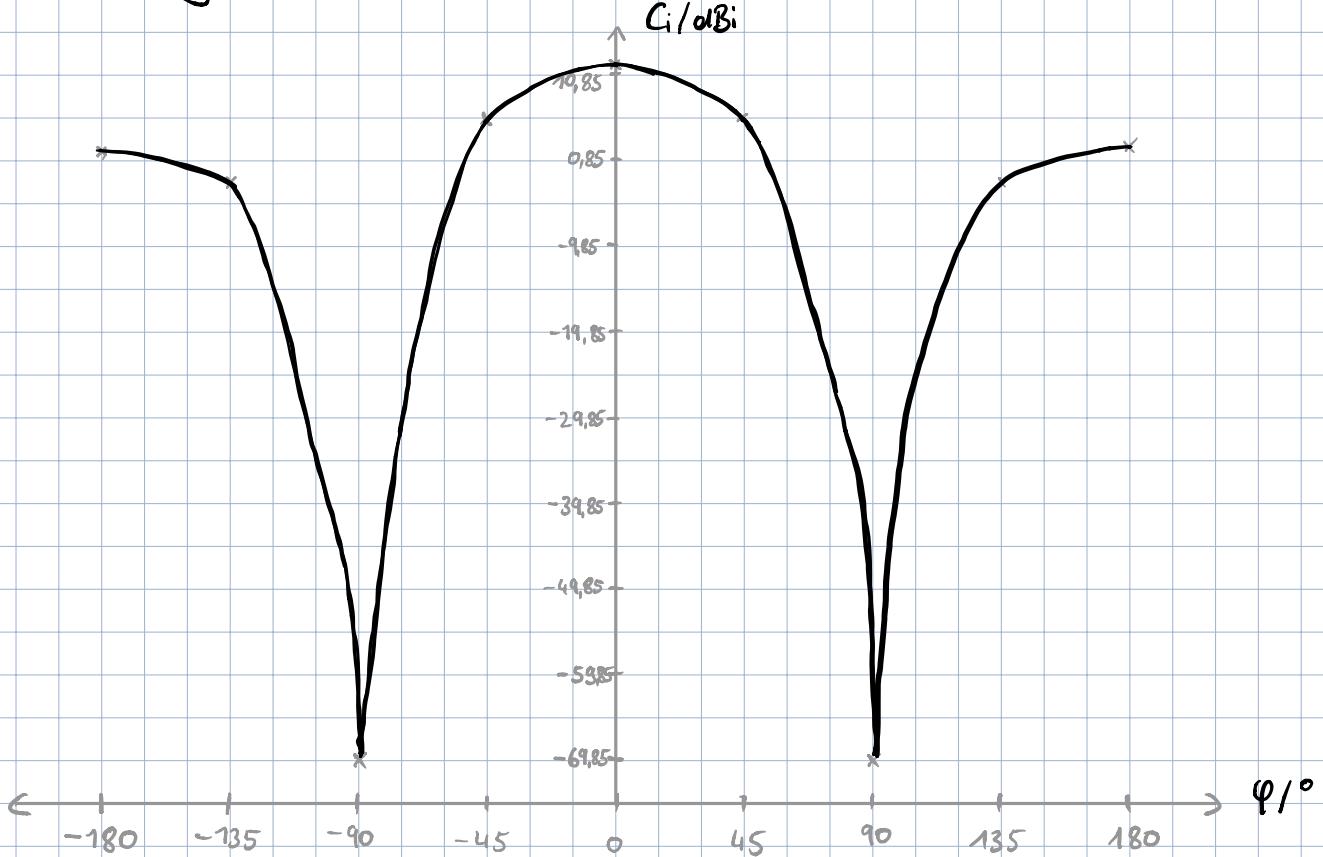
$$|H(j\omega)| = \sqrt{(1 + A \cos(\omega T_0))^2 + (A \sin(\omega T_0))^2}$$



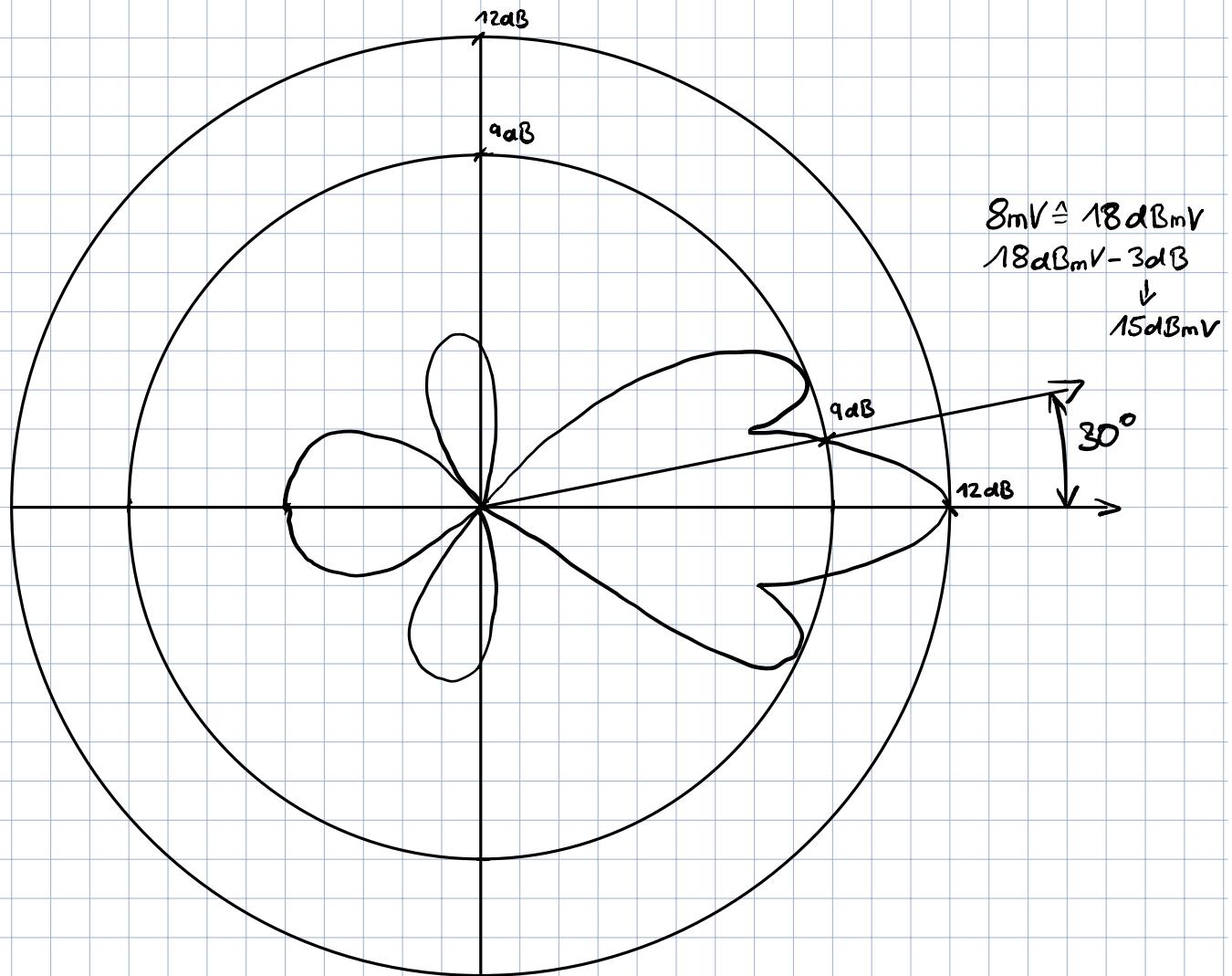
Bsp: Zur bestimmung einer horizontalen Richtcharakteristik wurden folgende Werte gemessen:

φ°	-180°	-135°	-90°	-45°	0°	45°	90°	135°	180°
U	4mV	2mV	1μV	6mV	12mV	6mV	1μV	2mV	4mV
C_D/dBd ($20 \log(\frac{U}{4\text{mV}})$)	0	-6	-72	3,5	9,5	3,5	-72	-6	0
C_i/dBi	2,15	-3,85	-69,85	5,65	11,65	5,65	-69,85	-3,85	2,15

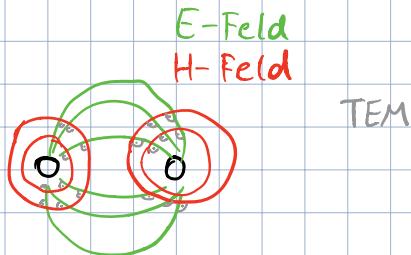
Vergleichsmessung mit Halbwelldipol: 4mV



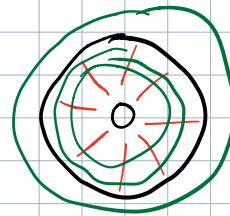
Bsp: Bei idealer Annahme erzeugt ein Sender am Empfänger eine Spg von 8mV. Auf welchen Wert ändert sich diese, wenn der Sender um 30° gedreht wird.



Symmetrische Leitungen



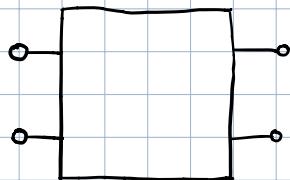
Asymmetrische Leitung



Gleichakt



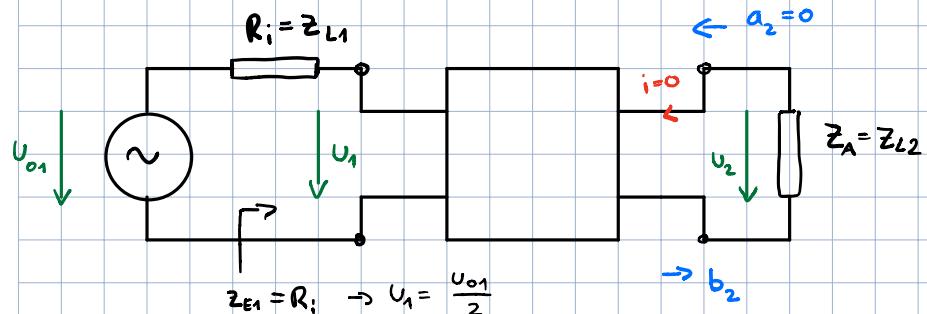
Gegentakt



$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0}$$

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0}$$



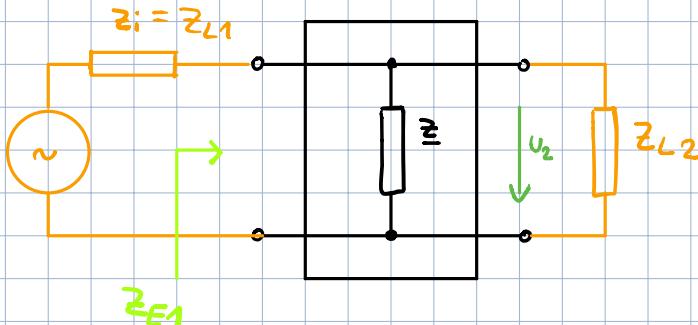
$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} = \frac{\sqrt{Z_{L1}}}{U_1} \cdot \frac{U_2}{\sqrt{Z_{L2}}} = \frac{U_2}{\frac{U_{o1}}{2}} \cdot \frac{\sqrt{Z_{L1}}}{\sqrt{Z_{L2}}}$$

$$S_{ji} = \frac{2 \cdot U_j}{U_{o1}} \frac{z_{Lj}}{z_{Li}}$$

Bsp: $Z_{L1} = Z_{L2}$

ges: S-parameter

$$S_{ii} = \frac{Z_{Ei} - Z_{Li}}{Z_{Ei} + Z_{Li}}$$

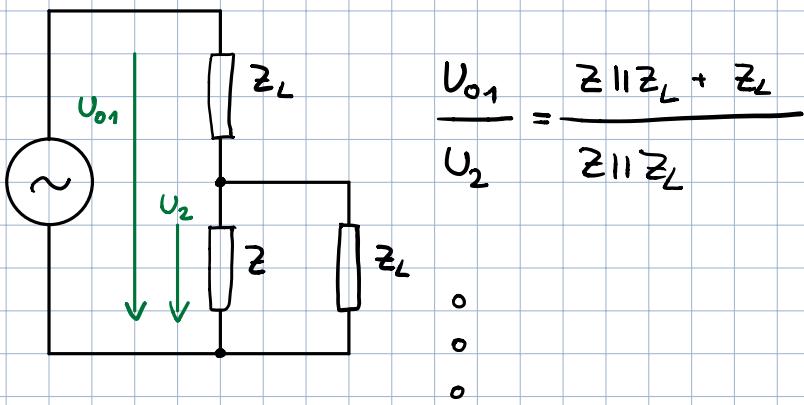


$$Z_{E1} = Z_L \parallel Z = \frac{Z_L \cdot Z}{Z_L + Z}$$

$$S_{11} = \frac{z_{E1} - z_L}{z_{E1} + z_L} = \frac{\frac{z_L \cdot z}{z_L + z} - z_L}{\frac{z_L \cdot z}{z_L + z} + z_L} = \frac{z_L \cdot z - z_L(z_L + z)}{z_L \cdot z + z_L(z_L + z)}$$

$$= \frac{-z_L}{2z + z_L} = S_{22}$$

$$S_{12} = S_{21} = \frac{2U_2}{U_{01}} \sqrt{\frac{z_L}{z}} = \frac{2U_2}{U_{01}}$$



$$\frac{2z + z_L}{z} = \frac{U_{01}}{U_2} \rightarrow \frac{2U_2}{U_{01}} = 2 \cdot \frac{z}{2z + z_L}$$

$$S = \frac{1}{2z + z_L} \begin{pmatrix} -z_L & 2z \\ 2z & -z_L \end{pmatrix}$$

$$s_{ii} = \frac{z_{Ei} - z_L}{z_{Ei} + z_L}$$

$$s_{ij} = \frac{2U_j}{U_{0i}} \sqrt{\frac{z_{Lj}}{z_{Lj}}}$$

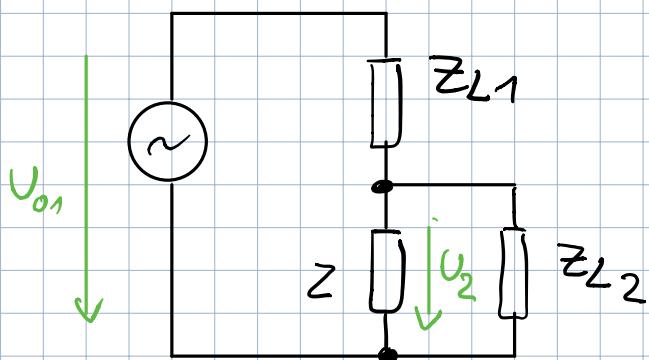
Zweitor

$$s_{11} = \frac{z_{E1} - z_L}{z_{E1} + z_L}$$

$$s_{12} = \frac{U_2}{U_{01}} \sqrt{1}$$

$$z_{E1} = Z \parallel z_L = \frac{Z \cdot z_L}{Z + z_L} \rightarrow s_{11} = \frac{\frac{zz_L}{Z+z_L} - z_L}{\frac{zz_L}{Z+z_L} + z_L} = \frac{zz_L - z_L(z+z_L)}{zz_L + z_L(z+z_L)} = \frac{zz_L - zz_L - z_L^2}{zz_L + zz_L + z_L^2}$$

$$= \frac{-z_L^2}{z_L(2z + z_L)} = s_{22}$$



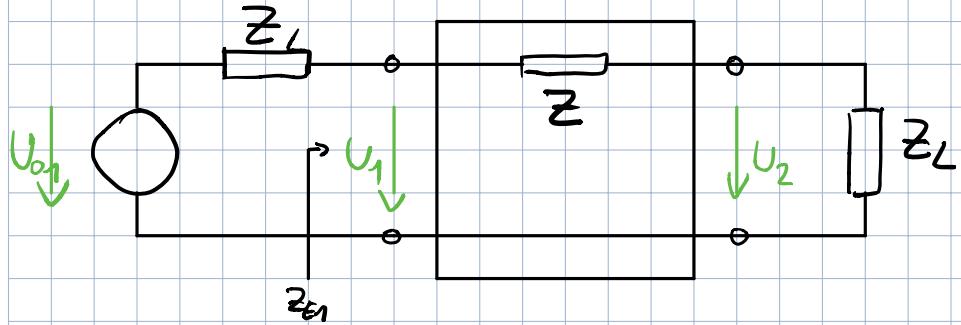
$$\frac{U_2}{U_{S1}} = \frac{Z1 \parallel Z_{L2}}{Z_{L1} + Z1 \parallel Z_{L2}}$$

$$= \frac{\cancel{Z1} Z_{L2}}{\cancel{Z1} + Z_{L2}} = \frac{Z Z_{L2}}{Z Z_{L2} + Z_{L1}(Z + Z_{L2})}$$

$Z_{L1} = Z_{L2}$

$$\frac{U_2}{U_{S1}} = \frac{Z Z_L}{Z Z_L + Z_L Z + Z_L^2} = \frac{Z}{2Z Z_L + Z_L}$$

BSP:



$$S_{11} = S_{22} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = \frac{Z_{E1} - Z_L}{Z_{E2} + Z_L} = \frac{Z}{Z + 2Z_L}$$

$$S_{12} = S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a=0} = \frac{U_2}{\sqrt{Z_L}} \cdot \frac{2\sqrt{Z_L}}{U_{01}} = 2 \frac{Z_L}{Z + 2Z_L}$$

$$S = \frac{1}{Z + 2Z_L} \begin{pmatrix} Z & 2Z_L \\ 2Z_L & Z \end{pmatrix}$$

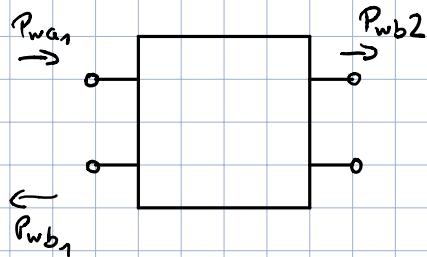
Beispiel 5.2)

$$|S_{11}| = 0,3 \rightarrow R_L \dots \text{return loss} \quad 20 \log \frac{1}{|S_{11}|} = 10,46 \text{ dB}$$

Unter der Bedingung der Verlustlosigkeit u. Passivität

$$\rightarrow |S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = 1 \rightarrow |S_{21}|^2 = 1 - |S_{11}|^2 \\ = 1 - 0,3^2 = 0,91$$

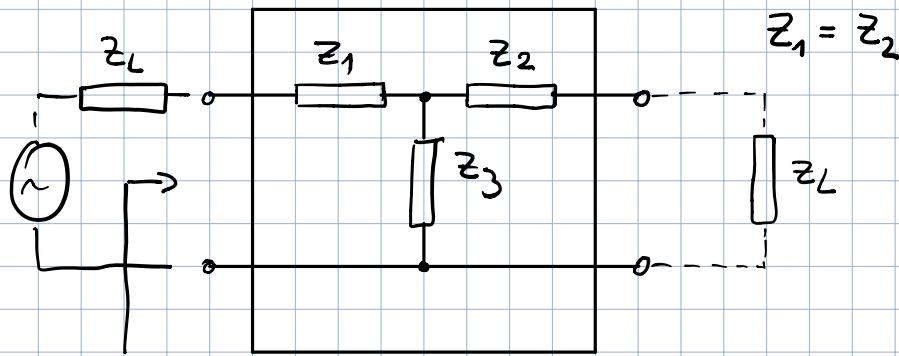
$$20 \log \frac{1}{|S_{21}|} = 0,41 \text{ dB}$$



$$P_{wa2} = P_{wb1} + P_{wb2}$$

$$1 = \frac{P_{wb1}}{P_{wa1}} + \frac{P_{wb2}}{P_{wa1}}$$

$$S_{11} = \left| \begin{array}{c} b_1 \\ a_1 \\ a_2=0 \end{array} \right| \quad 1 = |S_{11}|^2 + |S_{21}|^2$$



$$Z_E = ((Z_2 + Z_L) \parallel Z_3) + Z_1$$

$$S_{11} = \frac{Z_E - Z_L}{Z_E + Z_L} = \frac{\frac{(Z_2 + Z_L) Z_3}{Z_2 + Z_L + Z_3} + Z_1 - Z_L}{\frac{(Z_2 + Z_L) Z_3}{Z_2 + Z_L + Z_3} + Z_1 - Z_L}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Z_2 Z_3 + \cancel{Z_L Z_3} + Z_1 Z_2 + Z_1 Z_L + Z_1 Z_3 - (Z_L Z_2 + Z_L^2 + \cancel{Z_L Z_3})}{Z_2 Z_3 + \cancel{Z_L Z_3} + Z_1 Z_2 + \cancel{Z_1 Z_L} + Z_1 Z_3 + Z_L Z_2 + Z_L^2 + \cancel{Z_L Z_3}} \\
 &= \frac{Z_2 Z_3 + Z_1 Z_2 + Z_1 Z_L + Z_1 Z_3 - Z_L Z_2 - Z_L^2}{2 Z_L Z_3 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_2 + Z_1 Z_L + Z_1 Z_3 + Z_L Z_2 + Z_L^2}
 \end{aligned}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0$$

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= \frac{\cancel{Z_2 Z_3} + \cancel{Z_1 Z_2} + \cancel{Z_1 Z_L} + \cancel{Z_1 Z_3} - \cancel{Z_L Z_2} - \cancel{Z_L^2}}{2 Z_L Z_3 + \cancel{Z_2 Z_3} + \cancel{Z_1 Z_2} + \cancel{Z_1 Z_L} + \cancel{Z_1 Z_3} + \cancel{Z_L Z_2} + \cancel{Z_L^2}} \\
 &= \frac{-Z_L^2}{2 Z_L Z_3 + Z_L^2} = \frac{Z_L}{Z_L + 2 Z_3}
 \end{aligned}$$

Teststoff: LWL, Antennen, S-Parameter

S.174 / 5.1)

$$S_{50,2} = \begin{pmatrix} 5/13 & j 12/13 \\ j 12/13 & 5/13 \end{pmatrix}$$

nicht angepasst: $S_{11} \text{ u. } S_{22} \neq 0$

reziproq wegen $S_{12} = S_{21}$

symmetrisch dar $S_{12} = S_{21}$ und $S_{11} = S_{22}$

$$E \begin{pmatrix} E_{11} & E_{21} \\ E_{12} & E_{22} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 E_{11} &= \frac{5}{13} \cdot \frac{5}{13} + \left(\frac{j 12}{13} \cdot -\frac{j 12}{13} \right) \\
 &= 0,148
 \end{aligned}$$

$$S^T \begin{pmatrix} \frac{5}{13} & \frac{12j}{13} \\ \frac{12j}{13} & \frac{5}{13} \end{pmatrix} \quad S^* \begin{pmatrix} \frac{5}{13} & -\frac{12j}{13} \\ -\frac{12j}{13} & \frac{5}{13} \end{pmatrix}$$

$$\left(\frac{5}{13}\right)^2 + \left(\frac{12j}{13} \cdot -\frac{12j}{13}\right) = \frac{25}{169} + \frac{144}{169} = 1$$

$$\frac{5}{13} \cdot \left(-\frac{12j}{13}\right) + \left(\frac{12j}{13} + \frac{5}{13}\right) = 0$$

$$R_L = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{\frac{5}{13}} \right) = 8,3 \text{ dB}$$

$$T_L = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{\frac{12j}{13}} \right) = 0,7 \text{ dB}$$

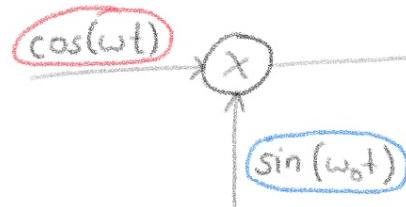
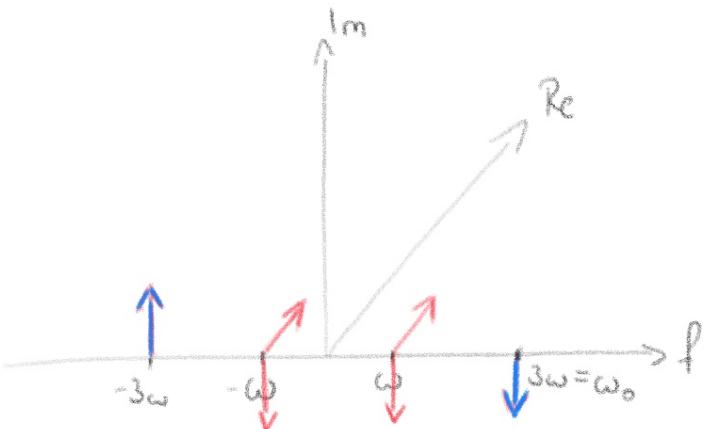
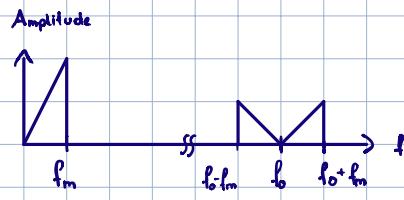
M_0 - WIR
 M_1 - KSM
 F_R - FSK

Modulation

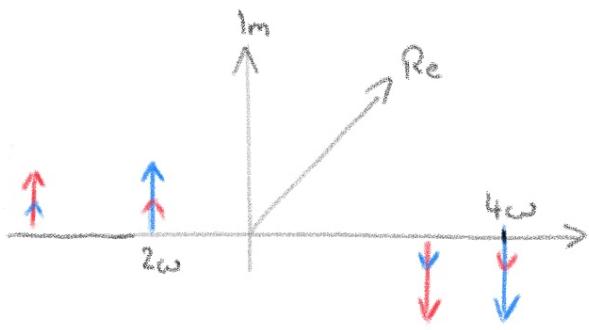
$$y(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$$

$$y_{AM}(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) \rightarrow \varphi \dots \text{konstant} \text{ (frequenz)}$$

$$y_{WM}(t) = a \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) \rightarrow a \dots \text{konstant} \text{ (amplitude)}$$

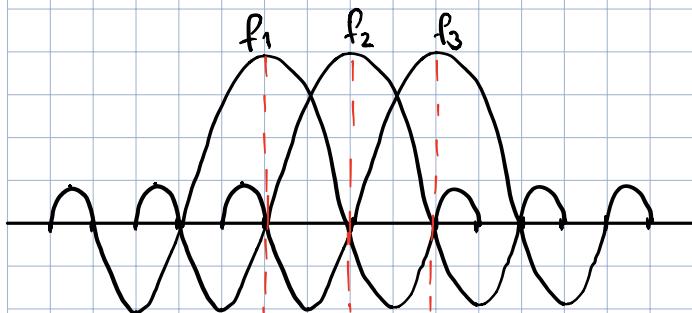


$$\begin{aligned} & \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega_0 t) \\ &= \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} \cdot \frac{e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}}{2j} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} & \sin(\omega t) \cdot e^{j\omega t} \\ & \sin(\omega t) \cdot e^{-j\omega t} \\ & -j \cos(\omega t) \cdot e^{j\omega_0 t} \\ & j \cos(\omega t) \cdot e^{-j\omega_0 t} \end{aligned}$$

Orthogonal:



beim Maximum von f_1 sind alle anderen Frequenzen im Nulldurchgang!
↳ keine Beeinflussung!

Kohärent: RX nimmt im Bezug auf Trägersignal in Frequenz und Phase

↳ Matched Filter implementation auch für Träger anstreben.

Ein 2,4 GHz Funkmodul soll zur Datenübertragung zwischen 2 Häusern

in Sicht

$$G_T = 7 \text{ dB} \quad f = 2,4 \text{ GHz} \quad G_R = 7 \text{ dB}$$

R_x = Receiver
 T_x = Transmitter

$$P_T = 100 \text{ mW}$$

Empfänger:

$$B_R = 500 \text{ kHz}$$

$$SNR = 12 \text{ dB}$$

$$F = 16 \text{ dB}$$

A) Wellenlänge : λ

äquivalente Antennenfläche : A_{eff}

Sendeleistung in dBm $\rightarrow P_T' [\text{dBm}]$

EIRP'

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = 12,49 \text{ cm}$$

$$P_T' = 10 \log \left(\frac{100 \text{ mW}}{1 \text{ mV}} \right) = 20 \text{ dBm}$$

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_R = 62 \text{ cm}^2$$

$$10 \log_{10} (x) = 7$$

$$\log_{10} (x) = \frac{7}{20}$$

$$10^{\frac{7}{20}} = x = 5$$

$$EIRP = P_T' + G_T = 27 \text{ dBm}$$

$$G = 5$$

$$P = 0,1$$

B) Berechnen Sie die Empfindlichkeit des Empfängers und die maximale Freifelddämpfung PL_{FS}
für EIRP = 20 dBm

$$P_E = S_E = N \cdot SNR = 12 \text{ dB} - 101 \text{ dBm} = -89 \text{ dBm} \hat{=} 1,26 \mu\text{W}$$

$$N = F \cdot K \cdot T \cdot B = 16 \text{ dB} + 57 \text{ dB} - 174 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} = -101 \text{ dBm}$$

$$EIRP' - PL_{fs}' + G_s' - SNR' - F' = N_b' \quad PL_{fs} =$$

$$10 \cdot \log (500.000) \rightarrow B \text{ in dB} = 57$$

$$k \cdot T = \text{Konst} ! \quad (-174 \text{ dBm})$$

$$PL_{fs} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$PL_{fs}' = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \rightarrow d = 6 \text{ km}$$

C) Eine Messung ergibt eine Pfad-dämpfung von P_L = 100 dB
max Distanz:

$$100 = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad | : -20$$

$$-5 = \log_{10} (x)$$

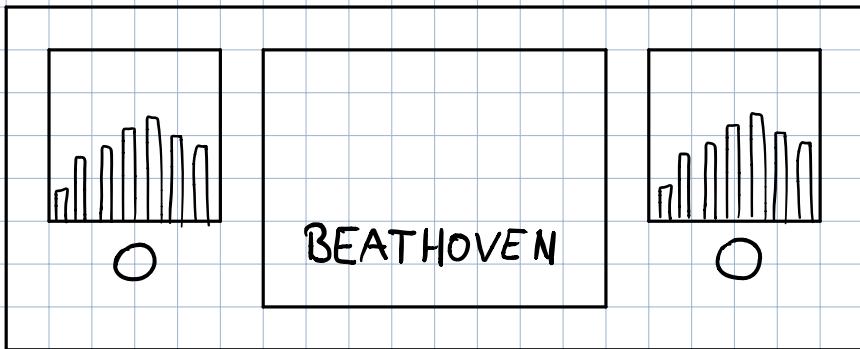
$$10^{-5} = \frac{\lambda}{4\pi d}$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi 10^{-5}} = 994,7 \text{ m} \approx 1 \text{ km}$$

$$P = 10 \log(x)$$

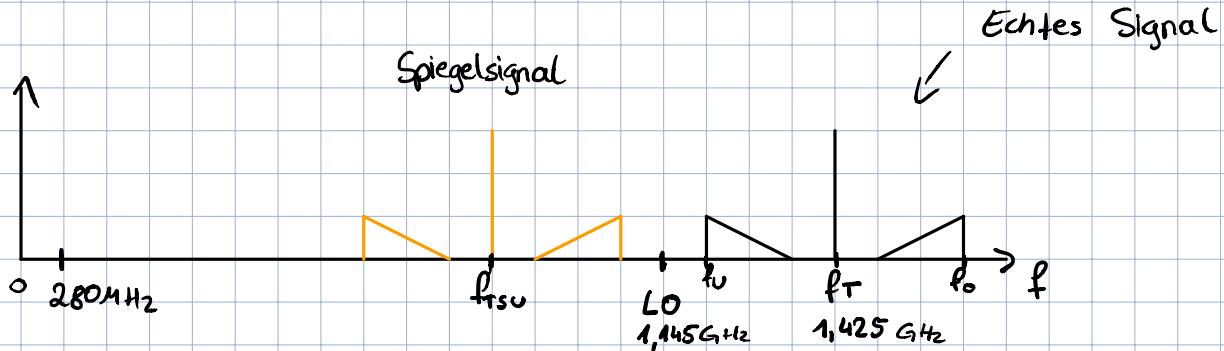
$$P = \frac{U}{I}$$

$$U = 20 \log(x)$$



Digi Mod - Antennen - Streuparameter
 ↑
 keine Streung

$$\begin{array}{r} 1,425 + 0,28 \\ - 0,28 \end{array} \quad \begin{array}{l} 1,705 \text{ MHz} \\ 1,145 \text{ MHz} \end{array}$$



$$\begin{aligned} f_u &= 1,4 \text{ GHz} \\ f_o &= 1,45 \text{ GHz} \end{aligned}$$

$$\rightarrow f_T = 1,425 \text{ GHz} = \frac{f_u + f_o}{2}$$

$$f_{TSU} \quad 1,145 - 280 = 865 \text{ MHz}$$

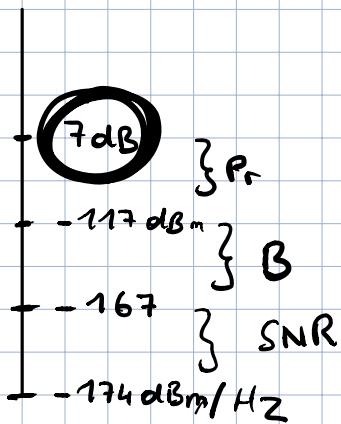
$$f_{TS0} \quad 1,705 + 0,280 = 1,985 \text{ GHz}$$

$$P_r = -110 \text{ dBm} \quad (\text{Rauschleistung})$$

$$\text{SNR} = 7 \text{ dB}$$

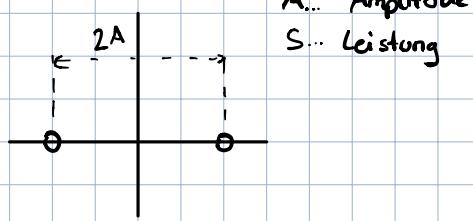
$$B = 100k = 50 \text{ dB}$$

$$-174 \text{ dBm} \quad (\text{Konstante } \sigma^2)$$

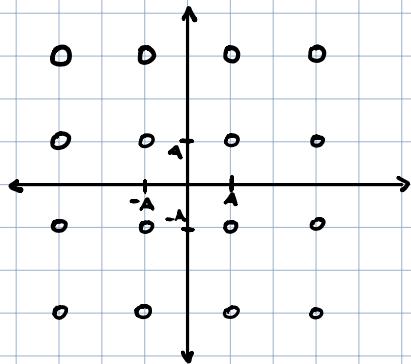


Impulsverzerrungen

$$S = \frac{A^2}{2}$$

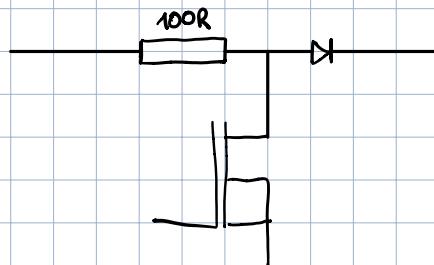


A... Amplitude
S... Leistung



$$S = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{A^2}{2} + \frac{3A^2}{2} + \frac{3A^2}{2} + \dots \right)$$

$$\frac{10A^2}{2}$$



$$\tan(11,25) = \frac{A}{R}$$

$$R = \frac{A}{\tan(11,25)}$$

$$R = 0,199$$

Faltung Beispiele:

Auto-Korelationsfunktion

(signal mit sich selbst falten)

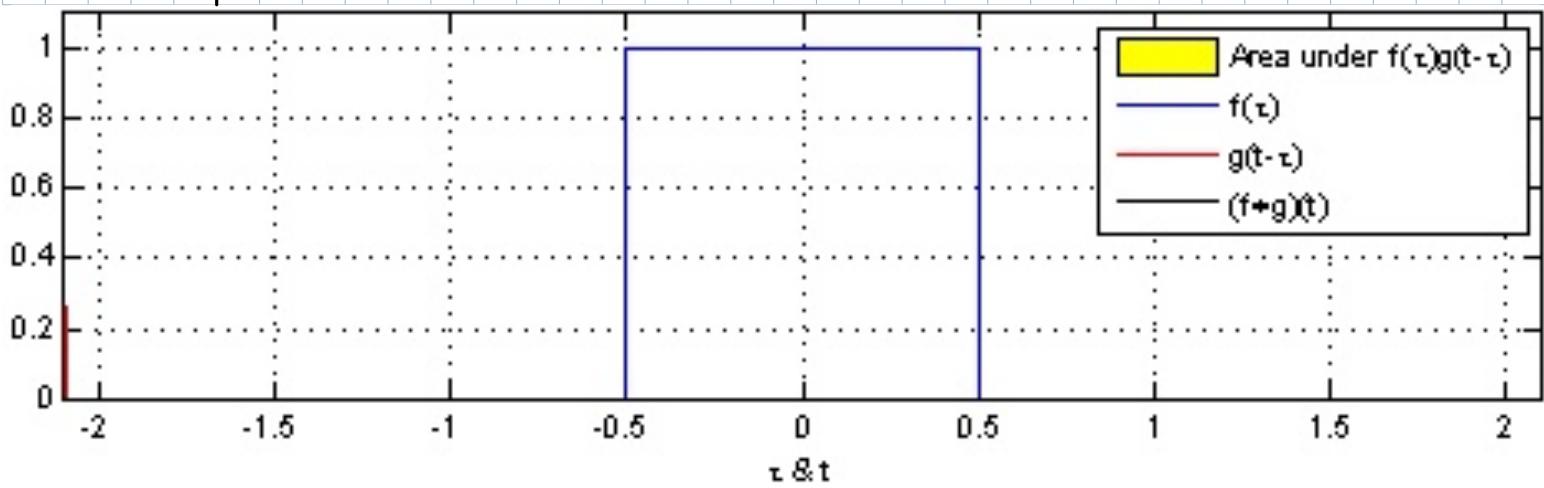
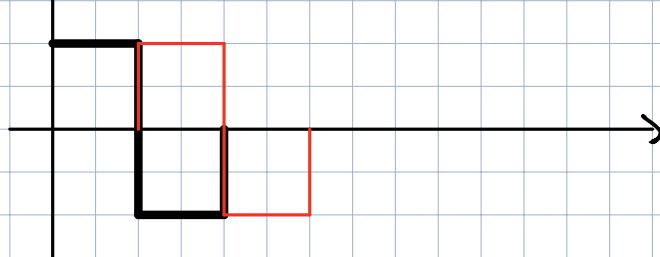
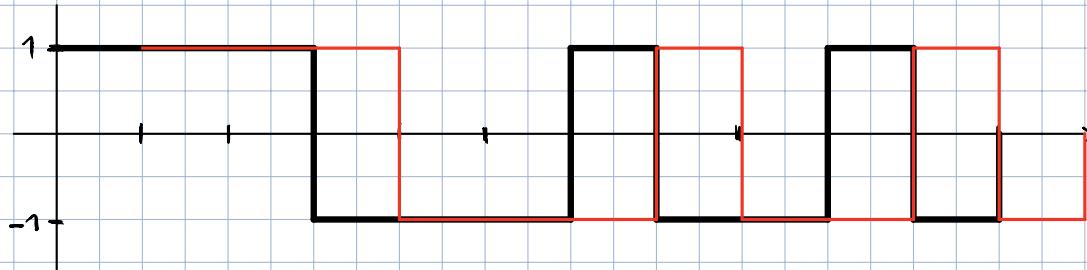
Kreuz-Korelationsfunktion

(signal mit anderem Signal falten)

Signal
(Auto-Korrelation)

Kreuzkorelation / Vergleich

Code



Quellcodierung → Kanalcodierung → Modulation → STRECKE

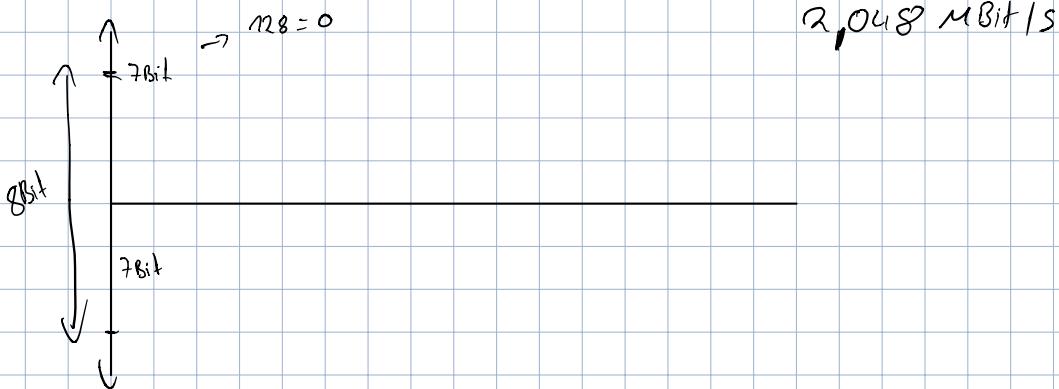
Quelldecodierung ← Kanaldecodierung ← DeModulation

S. 14

(Telefonie)

PCM - 30

32 Kanäle (2 davon Steuersignale) → $32 \times 8 \text{ Bit}$



1,5 MBit/s bei CD MHz

Bandbreite AT&T - 5 MHz

Salamon Code

16.03

DVB - Vorteile

Flugverkehr ~ 120 / 130 MHz

(Video, Audio, Daten) \rightarrow Transportstrom

① gleichmä^ß wird entföhrt

② Verteilung des Signals um höhere Zuverlässigkeit zu erreichen

③ Codierung FEC 1/2 (Forward-Error-Correction)

Fußnote mit Name!
PDF Abgabe

0,01 \rightarrow jedes 100ste

0,0002 \rightarrow jedes 5000ste

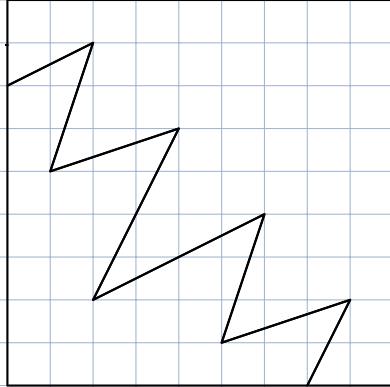
QAM

PSK

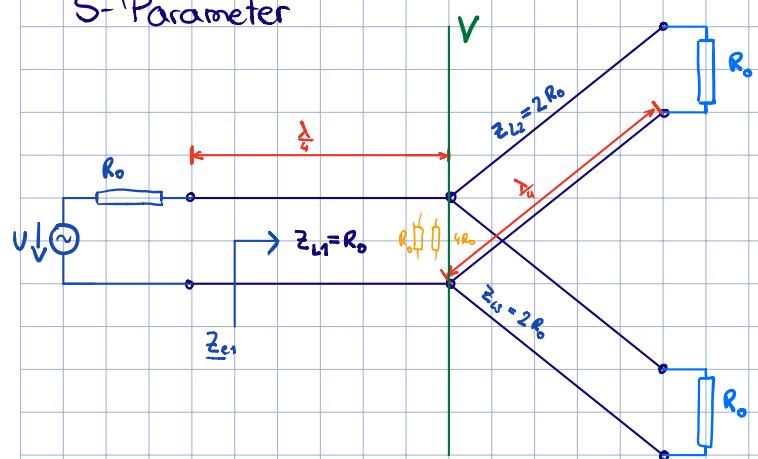
QPSK

Zwischenfrequenz:

- nur ein filter



S-Parameter



$$Z_e(l, Z_A, Z_L, \beta) = \frac{Z_A}{1 + j \frac{Z_L}{Z_A} \cdot \tan(\beta l)} \quad \left. \begin{array}{l} 1 + j \frac{Z_L}{Z_A} \cdot \tan(\beta l) \\ 1 + j \frac{Z_A}{Z_L} \cdot \tan(\beta l) \end{array} \right\} \text{aus:}$$

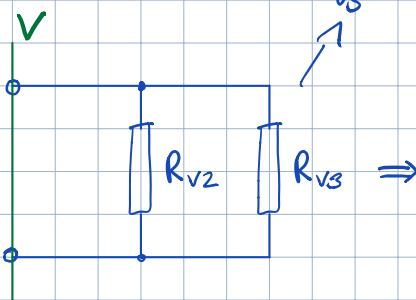
$$U(l) = U_0 \cos(\beta l) + j I_0 \cdot Z_L \sin(\beta l)$$

$$I(l) = I_0 \cos(\beta l) + j \frac{U_0}{Z_L} \sin(\beta l)$$

für $l = \frac{\lambda}{4}$:

$$Z_e = \frac{Z_A}{1 - \frac{1}{\tan(\frac{\pi}{2})} + j \frac{Z_L}{Z_A}} = \frac{Z_L^2}{Z_A}$$

$$R_{V3} = \frac{Z_L^2}{Z_A} = \frac{2R_o}{R_o} = 4R_o = R_{V2}$$



$$r_{e1} = \frac{\frac{R_o}{2} - R_o}{\frac{R_o}{2} + R_o} = -\frac{1}{3} = S_{11}$$

$$S_{21} = \frac{2}{3} = S_{31}$$

S₂₃

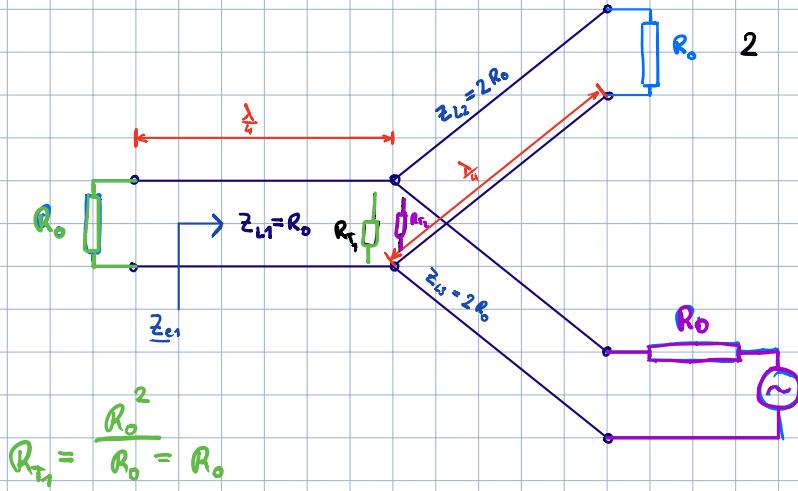
$$R_{e2} = \frac{(2R_o)^2}{\frac{4}{5}R_o} = 5R_o$$

$$r_{e2} = \frac{5R_o - R_o}{5R_o + R_o} = \frac{2}{3} = S_{22} = S_{33}$$

$$S_{23} = S_{32}$$

$$U_a = j \frac{U_o}{4R_o} \cdot R_o = j \frac{U_i}{4}$$

Soll: - $\frac{1}{3}$



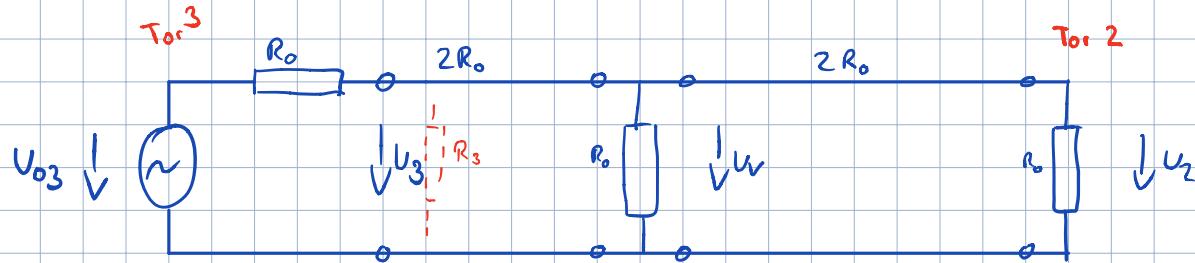
Innenes Netzwerk \Rightarrow Tor 1 mit Tor 3 \Rightarrow

$$R_{T_2} = 4R_o ?$$

$$R_T = \frac{4R_o^2}{5R_o} = \frac{4}{5}R_o$$

$$r_e = \frac{\frac{4}{5}R_o - 4R_o}{\frac{4}{5}R_o + 4R_o} = \frac{-\frac{16}{5}R_o}{\frac{24}{5}R_o} = -\frac{2}{3}$$

PDF- Seite 39



$$R'_v = R_o || R_o \cdot 4 = \frac{4}{5}R_o \quad // \quad R_o \text{ vom Tor 1 in die Mitte transformieren.}$$

und R_o von Tor 2 in die Mitte, diese sind parallel

$$U_v = j R_o 2 \frac{U_2}{R_o} = j 2 U_2$$

$$R_3 = \frac{Z_L^2}{R_v} = \frac{4 R_o^2}{4 R_o} = 5R_o$$

$$U_3 = j I_o Z_L = j 2 R_o \frac{U_v}{\frac{4}{5} R_o} = j \frac{5}{2} U_v$$

$$\frac{U_3}{U_{03}} = \frac{R_3}{R_3 + R_o} = \frac{5R_o}{5R_o + R_o} = \frac{5}{6}$$

$$S_{23} = \frac{2U_2}{U_{03}} = -\frac{2}{5} \frac{U_3}{U_{03}} = -\frac{1}{3} = S_{32}$$

$$\dot{P}_{e3} = P_2 + P_1$$

mit

$$P_1 = \frac{|U_1|^2}{R_o} = \frac{|U_v|^2}{R_o}$$

$$P_2 = \frac{|U_2|^2}{R_o} = \frac{|U_v|^2}{R_o}$$

Teststoff für 11.03.20

- Wdh. S-Parameter λ_4 Transformator
- DVB, MPEG, Wahrnehmung Audiosignal
- Wdh. Quellcodierung
- Matched Filter
- Signalprocessing FEC A1 Energievermischung
- Bitfehlerraten
- Orthogonale Signale bis S. 42

Leitungscodierung:

- Bandbreite

- Datenrate

- NRZ - Code

None Return to Zero

⊖ Taktwiederherstellung

⊖ Verschiebung des Durchschnitts (es sollten eigentlich gleich viele 1 wie 0 haben)

- NRZI - Code

None Return to Zero Inverted

⊖ Taktwiederherstellung

⊖ Verschiebung des Durchschnitts

- MLT-3

Multi Level Transmission Encoding

⊖ Verschiebung des Durchschnitts

⊖ Taktwiederherstellung

- RZ

Return to Zero

⊕ Taktrückgewinnung

⊖ Verschiebung des Durchschnitts

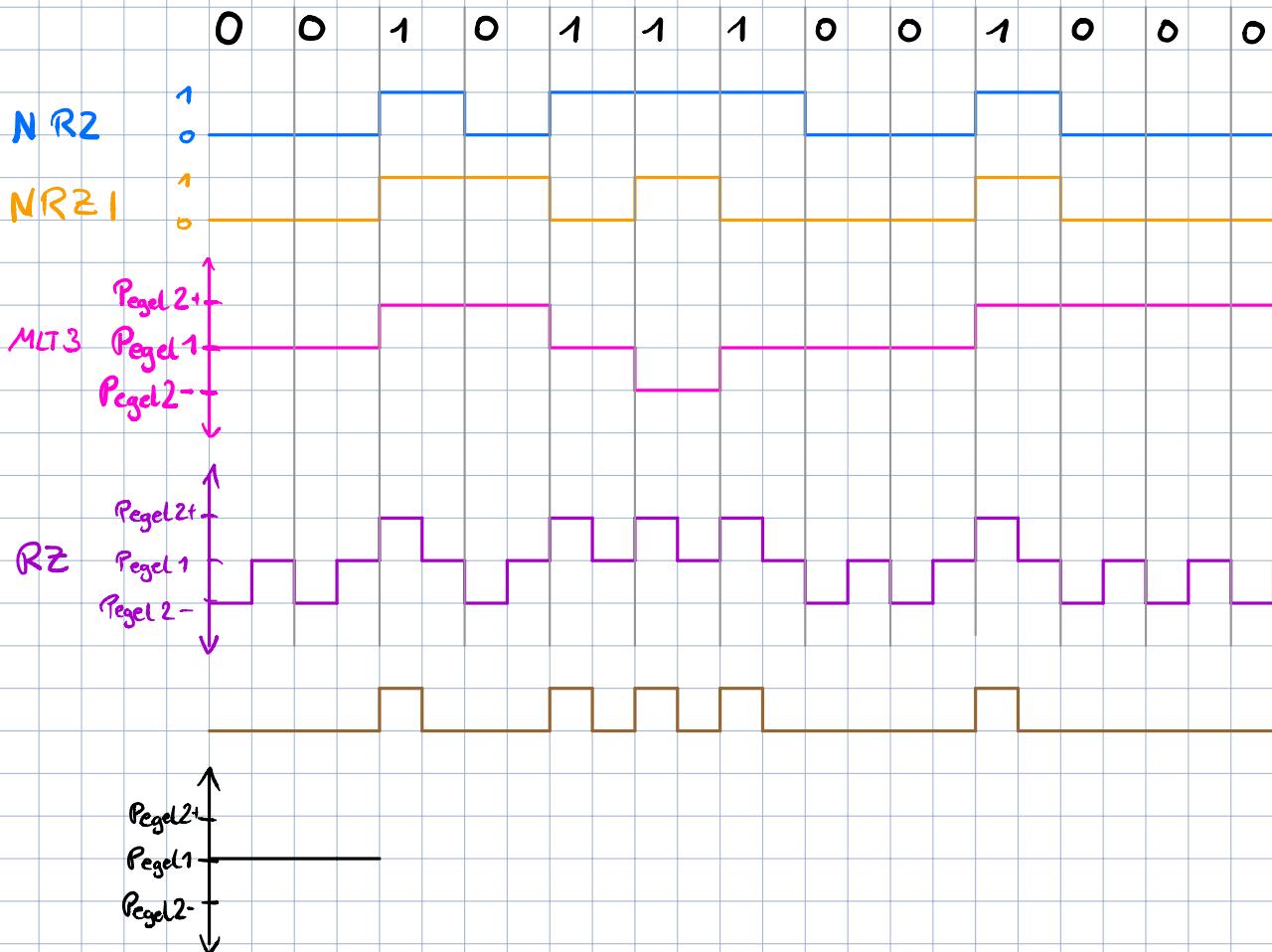
- RZ-Unipolar

⊖ Verschiebung des Durchschnitts

⊕ Taktrückgewinnung

• AMI-Code

Alternative Marke



Wiederholung VLSM

$$8\text{bit} \rightarrow 256$$

			NID	erst	letzte	Broadcast
Gelsenkirchen	5 7	62	192.47.114.0	192.47.114.1	192.47.114.62	192.47.114.63
Recklinghausen	2 7	30	192.47.114.64	192.47.114.65	192.47.114.94	192.47.114.95
Essen	2 6	30	192.47.114.96	192.47.114.97	192.47.114.126	192.47.114.127
Solingen	2 6	30	192.47.114.128	192.47.114.129	192.47.114.158	192.47.114.159

			NID	erste	letzte	Broadcast	CIDR
Oldenburg	60	62	.0	.1	.62	.63	26
Koblenz	58	62	.64	.65	.126	.127	26
Bonn	30	30	.128	.129	.58	.59	27
Berlin	13	14	.60	.61	.74	.75	28

CIDR

CIDR

IP : 216.40.64.13 / 18

-> 14

IP : 11011000.001010000010000001101

Sub : 1111111111111111000000000000

Net : 11011000.00101000.01000000.00000000

NID : 216.40.64.0

Broadcast :

Broad : 216.40.127.255

mask : 216.40.64.1

NetId : 216.40.127.254

Add : 16.382

IP : 111.122.136.60 /28

-> 4 16

Sub : 255.255.255.240

NID : 111.122.136.48

erst : 111.122.136.49

Letz: 111.122.136.62

Broad 111.122.136.63

n1

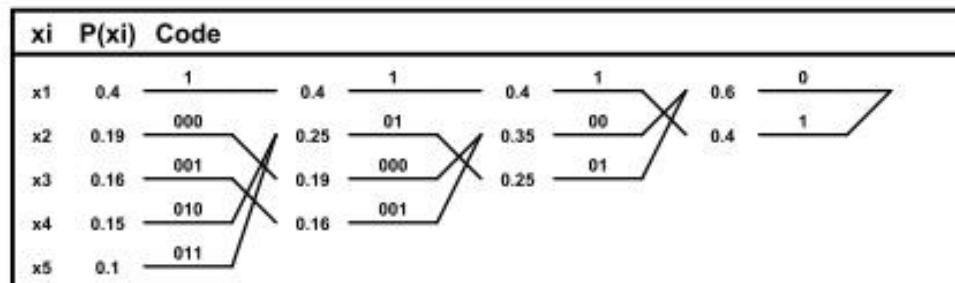
9.5.3 Shannon - Fano Codierung

1. Symbole nach absteigender Wahrscheinlichkeit anordnen.
2. Mit Trennung 2 Teilmengen möglichst gleicher Wahrscheinlichkeit bilden.
3. Oberer Teilmenge 0, unterer Teilmenge 1 zuordnen.
4. Weiter bei Schritt 2., um Teilmengen weiter zu unterteilen, bis alle Einzelsymbole codiert sind.

x_i	$P(x_i)$	Step 1	Step 2	Step 3	Code
x_1	0.4	0	0		00
x_2	0.19	0	1		01
x_3	0.16	1	0		10
x_4	0.15	1	1	0	110
x_5	0.1	1	1	1	111

9.5.4 Huffman Codierung

1. Symbole (bzw. Symbolgruppen) nach absteigender Wahrscheinlichkeit anordnen.
2. Unterste zwei Symbole als Symbolgruppe zusammenfassen (Reduktionsschritt).
3. Weiter bei 1. bis nur noch zwei Symbolgruppen vorliegen.
4. Der Symbolgruppe mit grösserer Wahrscheinlichkeit 0, der anderen 1 zuordnen.
5. Letzten Reduktionsschritt rückgängig machen.
6. Weiter bei 4. bis für alle Einzelsymbole ein Codewort vorliegt.



bei Wsk von 2^n kommt bei beiden Codes das selbe raus

0,25 0,25 0,125 0,125 0,5 z.B.

Entropie
Redundanz
Entscheidungsgehalt

A = 0,12

Alpha

Huffman

B = 0,3

Bravo

C = 0,21

Charlie

$$D = 0,2\ 4$$

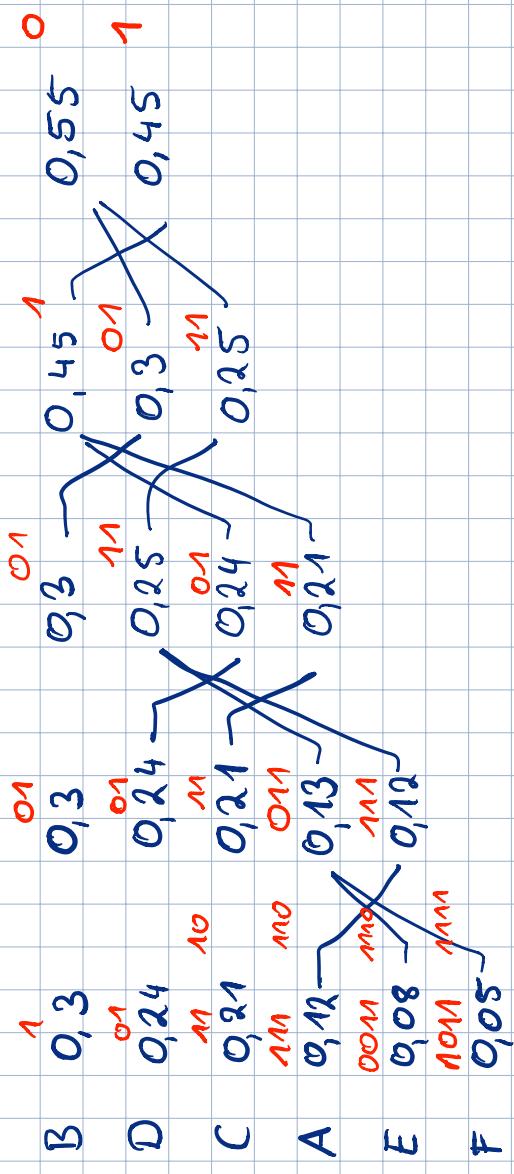
Delta

$$E = 0,08$$

Echo

$$F = 0, 05$$

Foxtrot



LOSSLESS

8 Buchstaben

$$f_{\text{d}}(4) = 2 \text{ Bit pro Symbol}$$

$$S = 0,5$$

$$L = 0,25$$

$$O = 0,125$$

$$E = 0,125$$

$$0,5 \quad 0,5 \quad 0,5$$

$$0,25 \quad 0,25 \quad 0,5$$

$$0,125 \quad 0,25 \quad 0,125$$

$$\begin{aligned} 1 & A = 0,12 = 0,3102 & \text{Entscheidungsgeschall } n = 2,585 \text{ Bit/Symbol} \rightarrow 3 \text{ Bit/Symbol} \\ 2 & B = 0,3 = 0,7355 & \text{Entropie } H_0 = 2,363 \\ 3 & C = 0,21 = 0,54285 & \text{Redundanz } R = 0,2222 \\ 4 & D = 0,24 = 0,6204 \\ 5 & E = 0,08 \approx 0,2068 \\ 6 & F = 0,05 = 0,12025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 & 1,75 \text{ Bit/Symbol} & \text{Entropie } H_0 = 1,585 \\ 2 & 0,25 \text{ Bit / Symbol} & \text{Redundanz } R = 0,2222 \end{aligned}$$

Lauflängencodierung