

1. Allgemeines

Frequenz und Wellenlänge

Lichtgeschwindigkeit: $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$

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

dBm

dBm (Dezibel Milliwatt) ist die Einheit des Leistungspegels LP, der das Verhältnis einer Leistung P im Vergleich zur Bezugsleistung von 1 mW beschreibt.

$$L_p[\text{dBm}] = 10 \lg \left(\frac{P}{1\text{ mW}} \right)$$

$$P[\text{mW}] = 10^{\left(\frac{L_p[\text{dBm}]}{10} \right)} \cdot 1\text{ mW}$$

Rechnen mit dBm oder dBW

$$dB \pm dB = dB$$

$$dBm \pm dB = dBm$$

$$dBm - dBm = dB$$

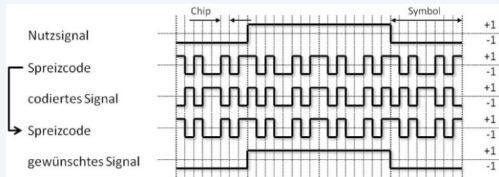
$$dBm + dBm : \text{nicht definiert}$$

2. (Wideband) Code Division Multiple Access

Signalspreizung

Direct Sequence CDMA.

Datenstrom wird bei Sender & Empfänger mit Spreizcode multipliziert. Mehrere Datenströme können im gleichen Frequenzband übertragen werden.



Das Spektrum des gespreizten Nutzsymbols ist um ein vielfaches breiter, als das originäre Signal.

Formelzeichen

Spreizfaktor: SF

Processing Gain: PG

Chiprate: b_c

Nutzdatenrate: b_n

Störabstand: SIR

Signalleistung: S

Anzahl der aktiven Signale in der Funkzelle: N

Mittlere Nutzenergie pro Bit: E_b

Rauschenergie pro Bit: N_0

$$PG = 10 \lg SF \text{ dB}$$

$$SF = \frac{b_c}{b_n}$$

$$SIR = \frac{S}{(N-1)S} = \frac{1}{N-1}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/b_n}{((N-1)S)/b_c} = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{b_c}{b_n} = SIR \cdot SF$$

$$10 \cdot \lg \left(\frac{E_b}{N_0} \right) = 10 \cdot \lg(SIR) + PG \text{ dB}$$

$$N = \frac{b_c}{E_b/N_0 \cdot b_n} + 1$$

3. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Formelzeichen

Bandbreite: W

Anzahl der Unterträger: n

Breite der Unterträger: $B_U +$

Symboldauer: T_D

Zeitintervall: T_S

Datensymbole: $D_0 \dots D_{L-1}$

Grundfrequenz: f_G

Kanalfrequenz: f_k

Abtastrate: f_A

Formeln

$$B_U = \frac{W}{n}$$

$$f_k = k \cdot f_G \quad k \text{ ganzzahlig mit } -\frac{n}{2} \geq k \geq \frac{n}{2} - 1$$

$$f_A = f_G = \frac{1}{T_S}$$

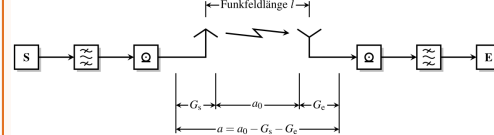
$$T_S = n \cdot T_D$$

$$\Delta f = f_k - f_{k-1} = k \cdot f_G - (k-1) \cdot f_G = f_G$$

4. Funkfeldämpfung

4.1. Allgemeines

Formelzeichen



Gewinn der Sendeanenne: G_s

Gewinn der Empfangsanenne: G_e

Sendeleistung: P_s

Empfangsleistung: P_e

Funkfeldämpfung: a

Freiraumdämpfung: a_0

Formeln

$$a = \frac{P_s}{P_e} = \frac{(4\pi l)^2}{\lambda^2 G_s G_e} \text{ als Faktor.}$$

$$a = P_s - P_e = 20 \lg \frac{4\pi l}{\lambda} - G_s - G_e \text{ in dB.}$$

$$a_0 = 20 \lg \frac{4\pi l}{\lambda} = 20 \lg \frac{4\pi \cdot f}{c}$$

4.2. Einwegausbreitung

Einwegausbreitung

Übertragungsfunktion (Einwegausbreitung):

$$H(f) = a_1 e^{j\varphi_1} = a_1 e^{-j2\pi f \tau_1}$$

Laufzeit: τ_1

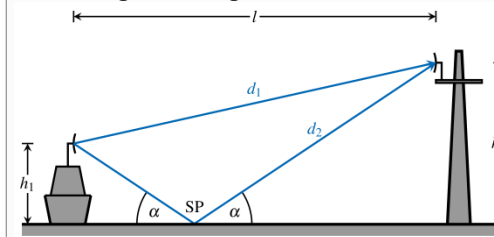
$$\text{Komplexe Amplitude der Übertragungsfunktion: } a_1 = \frac{4\pi d_1}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{G_s G_e}}$$

Phasenwinkel der Übertragungsfunktion: φ_1

$$|H(f)| = a_1$$

$$\text{Laufweg: } d_1 \tau_1 \cdot c$$

4.3. Zweiwegausbreitung



Impulsantwort: $h(t) = a_1 \delta(t - \tau_1) + a_2 \delta(t - \tau_2)$

Phasendifferenz: $\Delta\varphi = 2n\pi$ mit $n \in \mathbb{N} \rightarrow$ Feldstärke verdoppelt.

Phasendifferenz: $\Delta\varphi = (2n+1)\pi$ mit $n \in \mathbb{N} \rightarrow$ Feldstärke ausgelöscht.

5. Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit

5.1. Verfügbarkeit



$$\text{Verfügbarkeit: } V = \frac{T_B}{T_{ges}} = \frac{T_B}{T_B + T_A} = 1 - \frac{T_A}{T_{ges}}$$

$$\text{Verfügbarkeit Serienschaltung: } V_{ges} = \prod_{i=1}^N V_i$$

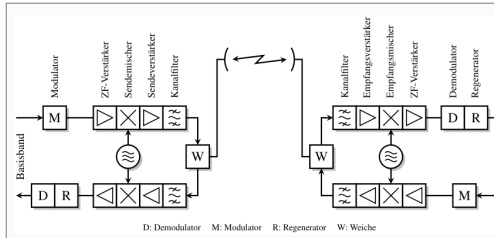
$$\text{Verfügbarkeit Parallelschaltung: } V_{ges} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - V_i)$$

5.2. Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein System innerhalb eines gegebenen Zeitabschnitts keinen Ausfall aufweist. Eine Messgröße für die Zuverlässigkeit ist die mittlere Abstand zwischen zwei Ausfällen, die Mean Time Between Failures (MTBF). Zusammen mit der mittleren Instandsetzungsdauer (Mean Time To Repair) ergibt sich:

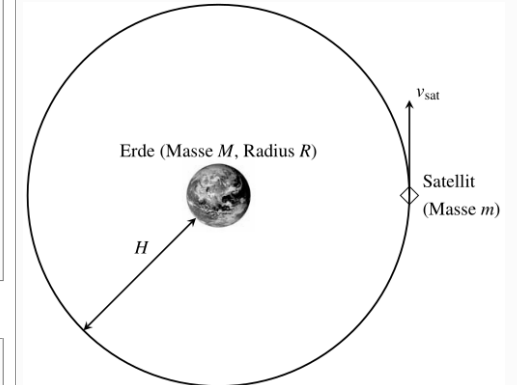
$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

6. Richtfunksysteme



7. Satellitenfunk

7.1. Satellitenbahnen



Gravitationskonstante: $\gamma_s = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$$\text{Umlaufzeit: } T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+H)^3}{\gamma_s M_E}}$$

$$\text{Bahngeschwindigkeit: } v_{sat} = 2\pi \frac{R+H}{T}$$

$$\text{Umlaufzeit Erde: } T \approx 1,4 \text{ h} \left(1 + \frac{H}{6378 \text{ km}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{T^2}{4\pi^2 \gamma_s M_E} - R}$$

EIRP

Alles in dB!

Boltzmann-Konstante: $k_B = 228,6 \text{ dB}(1\text{ K}/\text{W})$

Güte: $(G_E - T_E)$

Margin: M

Zusatzdämpfung: a_z

Rauschbandbreite: $B_r = 10 \lg(\text{Bandbreite})$

Rauschleistung: $N = k_B T_e$

Trägerleistung: $C = P_s G_s G_e / a_0 a_z$

Störabstand dez: $C/N = \frac{P_s G_s G_e}{k_B T_e a_0 a_z M}$

Störabstand log: $C/N = EIRP + (G_e - T_e) - a_0 - a_z - M - B_r + k_B$

Gewinn: $G = EIRP - P$

Bei $\lim_{C/N \rightarrow 0} : EIRP = -(G_E - T_E) + a_0 + B_r + M + a_z - k_B$

8. Mikrowellentechnik

Ebene Wellen im Leiter

Permeabilität: μ

Permeabilität für Vakuum: μ_0

Leitwert für Kupfer: $\kappa_{Cu} = 5,8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$

Leitwert für Aluminium: $\kappa_{Al} = 3,66 \cdot 10^7 \text{ S/m}$

$$\text{Eindringtiefe: } \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \kappa \mu}}$$

$$\text{Eindringtiefe für Kupfer: } \delta_{Cu} = \frac{66,085 \mu\text{m}}{\sqrt{f \text{ MHz}}}$$

$$\text{Eindringtiefe für Aluminium: } \delta_{Al} = \frac{83,249 \mu\text{m}}{\sqrt{f \text{ MHz}}}$$

$$\text{Oberflächenwiderstand: } R_0 = \frac{1}{\kappa \cdot \delta} = \sqrt{\frac{\omega \mu}{2 \kappa}}$$

Geführte Wellen

Bandleitungshöhe: h

Relative Permeabilität eines Substrats: ϵ_r

$$\text{Feldwellenwiderstand: } Z_F = Z_0 \cdot \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$$