

Webinar Mikrowellen

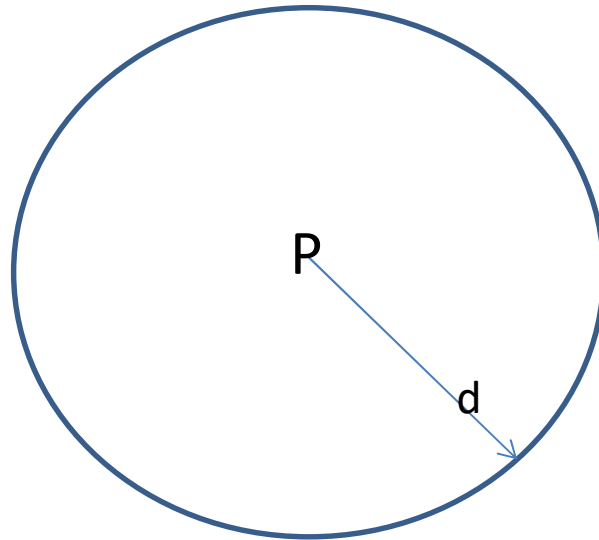
HB9BBD Dominique Fässler

HB9BAT Emil Zellweger

21. Juni 2021

Ausbreitung elektromagnetischer Wellen

- Punktförmiger Strahler mit der Leistung P



- Die Leistung verteilt sich auf die Kugeloberfläche $A=4\pi d^2$

- Die Leistungsdichte ist $S = \frac{P}{4\pi d^2} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$
- RX: $P_{RX} = S \times A_w$; A_w = Wirkfläche der Antenne
- Isotropenstrahler: $A_w = \frac{\lambda^2}{4\pi}$
- $P_{RX} = P \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$

- Streckendämpfung = $\frac{P}{P_{RX}} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$
- In dB: $D = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$
 $= 20 \log \left(\frac{12.566d}{\lambda}\right)$ für zwei Isotropenstrahler
- Für zwei Dipole (+ 2 x 2.15 dB):
- $D = 20 \log \left(\frac{7.662d}{\lambda}\right)$ d und λ in gleichen Einheiten
- ---

Brechung in der Atmosphäre

- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen (Licht gehört auch dazu) ist in einem Medium mit der Dielektrizitätskonstante ϵ_r kleiner als im Vakuum.
- $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{n}$ $c =$ Lichtgeschwindigkeit; $n =$ Brechungsindex
- Bsp: Wasser: $\epsilon_r = 81 \rightarrow v = \frac{c}{9}$

- Atmosphäre: $n = 1.003$ wegen Wasserdampf
- n nimmt mit der Höhe ab (Druck, Wasserdampf)
- Elektromagnetische Wellen nehmen den Weg, der die kürzeste Zeit beansprucht, d.h. sie bleiben länger im Medium mit tiefem n
- Der Ausbreitungsweg ist leicht gekrümmt und folgt ein bisschen der Erdoberfläche je nachdem wie stark n mit der Höhe abnimmt
- Ist zum Zeichnen einer Funkstrecke mühsam

- Abhilfe: Einführung des Faktors k

- $k = \frac{1}{1 + a \frac{dn}{dh}}$ $a = \text{Erdradius}$

- Da $\frac{dn}{dh}$ negativ ist, ist k immer grösser als 1
- Wenn man jetzt den Erdradius um den Faktor k vergrössert zeichnet, kann man als Verbindung eine gerade Linie zeichnen.
- Standardatmosphäre: $k = \frac{4}{3}$

RX-Empfindlichkeit

- Rauschleistung eines Widerstandes:
- $P = kTB$ [W] k = Boltzmann-Konstante; T =absolute Temperatur
- Für $B=1$ Hz: $kT = 1.38 \times 10^{-23} \times 293$
 $= 4.043 \times 10^{-21} \left[\frac{W}{Hz} \right] = -174 \left[\frac{dBm}{Hz} \right]$
- SSB-Bandbreite 2.4 kHz: $\triangleq +34$ dB
- Rauschen im SSB-RX: -140 dBm bei NF = 0 dB

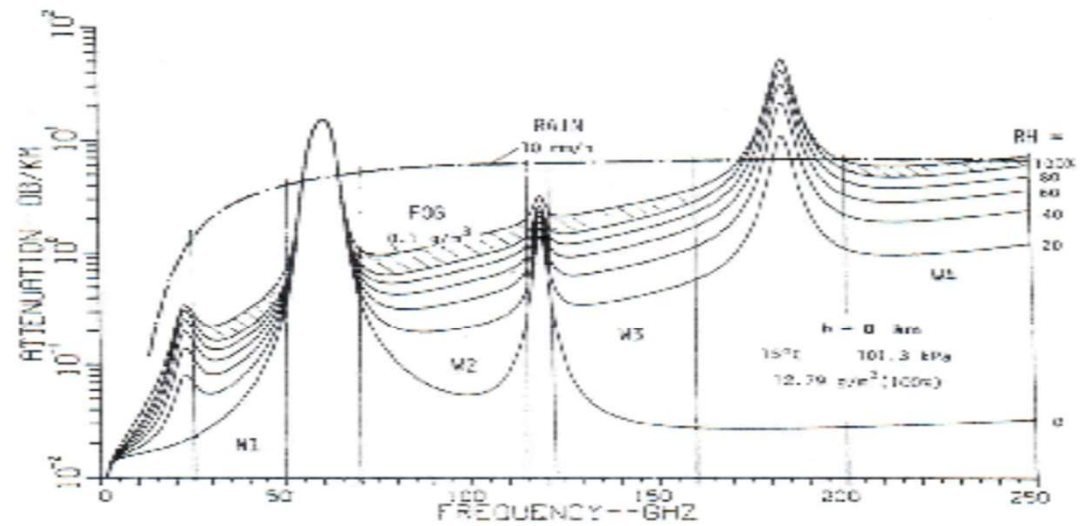
Reichweite einer 10 GHz-Station

- $P = 2 \text{ W}$; Antennen RX und TX je 25 dBD,
- $NF = 2 \text{ dB}$; $\frac{S}{N} = 20 \text{ dB}$
- Systemwert: $33 \text{ dBm} - (-118 \text{ dBm}) + 2 \times 25 \text{ dB} = 201 \text{ dB}$
- Freiraumdämpfung $D = \frac{7.662d}{\lambda} \rightarrow d = 42'370 \text{ km}$
- Die Freiraumdämpfung ist bei 10 GHz bei terrestrischen qso's nicht der begrenzende Faktor

Reichweite 24 GHz

- Distanz = 200 km; $P=2W$; Antennen: je + 30 dBD
- Systemwert: $151 \text{ dB} + 2 \times 30 \text{ dB} = 211 \text{ dB}$
- Freiraumdämpfung: 161.8 dB
Absorption Sauerstoff: 0.0235 dB/km : 4.7 dB
Absorption H_2O : (20°C/ 60% rel. Feuchte): $0.2/\text{km}$: 40 dB
- Summe: 206.5 dB ok (SNR = 24.5 dB)
- 25°C/80% rel. Feuchte: 0.35 dB/km : 70 dB
- Summe: 236.5 dB nok (SNR = -5.5 dB)

Zusatzdämpfung für höhere Frequenzen



Specific attenuation at sea level over the frequency range 1-250 GHz for various relative humidities (0 to 100 percent), including fog (0.1 g/m³) and rain ($R = 10$ mm/h).

Antennen für Mikrowellen

- Yagis: bis 13 cm
- Scheibenyagis: bis 6 cm
- Logper auf PCB: bis 3 cm
- WLAN Flachstrahler: für 13 cm und 6 cm
- Horn Antennen
- Parabolspiegel

Gewinn/Oeffnungswinkel

- Optimumgain Horn: $G \text{ [dBi]} = 10(0.808 + \log \frac{ab}{\lambda^2})$
- Parabol: $G \text{ [dBi]} = 10 \log \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$
- Für verlustlose Antennen gilt:
- $G \text{ [dBi]} = 10 \log \left(\frac{44'300}{\alpha_E \times \alpha_H}\right)$
- Für Parabol: $\alpha \approx \frac{67\lambda}{D}$
- Wichtig für Parabol: Erreger muss an $\frac{f}{D}$ angepasst sein

Sequenz, warum?

- Umschalten von RX auf TX:
- Antennenrelais ist mechanisch, braucht ms
Speisung PA ist elektronisch, braucht μs
- Unbenutzte Kontakte von Mikrowellenrelais sind an Masse wegen besserer Isolation
- D.h.: PA sieht zuerst Kurzschluss, dann Leerlauf und nachher die Antenne (mit Phasenverschiebung wegen Leitung)
- Ist Stabilitätstest für PA, schwingt eventuell mit Sättigungsleistung

Transiente Isolation Relais

- CX-520D: ist bis 2GHz spezifiziert, Isolation bei 1296 MHz: 45 dB, Pmax: 200 W
- Aber: Isolation während dem Umschalten nur 20 dB, bei P=100 W sind 1 W am RX oder LNA
- RLC-Electronics (SMA-Relais):
gemessene Isolation bei 10 GHz: 81 dB
transient: nur 31 dB (peaks bei 24 dB)
- PA: 10 W → 40 mW am LNA

Folgen

- PA kann zerstört werden
- LNA kann zerstört werden
- Klicks über das Band, da das Relais unter Last schaltet
- Reduzierte Lebensdauer des Relais
(Spezifikation: hot switching max. 1 W bei SMA-Relais)

Korrekte Sequenz

- 1. Antennenrelais schalten und LNA aus
- 2. PA ein
- 3. Transverter ein
- Bei TX auf RX: umgekehrte Reihenfolge
Achtung: wenn bei CW die VOX benützt wird,
ist das erste CW-Zeichen verstümmelt

Frequenzgenauigkeit

- Ein mittelguter Telecom-Quarz hat +/- 5 ppm im Bereich 0°C bis 50°C; \triangleq +/- 50 kHz bei 10 GHz
- TCXO: +/- 1 ppm; \triangleq +/- 10 kHz bei 10 GHz oder +/- 100 kHz bei 100 GHz
- Einfacher OCXO: +/- 0.1 ppm, ist ok für 10 GHz
- Luxus: GPS-Referenz
- Problem OCXO und GPS-Referenz: Zeit bis stabil

RX/TX Hardware

- 23 cm: Fertiggeräte oder Transverter
- Höhere f: Transverter, Nachsetzer meist 144 MHz
- Nachsetzer: beliebige Geräte, portabel z.B.:
FT-817, FT-290, IC-202, KX3 usw.
- Problem bei Höhenstandorten:
ZF-Durchschlag von starken 144 MHz
Konteststationen

Aktivitäten

- Einige Aktivitäten ausserhalb Kontesten (10 GHz am Sonntagvormittag, journées d'activités in F)
- Hauptaktivität an Kontesten, qso's beginnend bei der tiefsten Frequenz
- Chat: Signal, ON4KST zum Abmachen von qso's
- Wichtig: je höher die Frequenz, desto wichtiger ist Standort (Höhe) für quasioptische Ausbreitung; Reflexion an Bergen geht auch