

23.09.2019

ANTENNEN

[Abb 1]

Die Antenne dient als Anpassung der Impedanz unserer Sendeinheit an den leeren Raum. Auch fokussiert sie die Leistung in eine Richtung. Sie ist ein Wellenp-Wandler.

[Abb 2] ESB-Leistungstheorie

Einfachste Form einer Antenne: Isotroper Kugelstrahler
Theoretische Antenne, wird aufgrund der einfach auszurechnenden Kugelfläche immer für Vergleichszwecke verwendet.
(Leistung / Kugelfläche = Leistungsdichte)

Unterscheidung Nah- und Fernfeld:
Nahfeld: Blindleistung + Wirtleistung. Energie "haftet" an Antenne
Fernfeld: Wirtleistung

Übergang ist von Geometrie d. Antenne und der Frequenz abhängig
Unterscheidung elektrisch große & elektrisch kleine Antennen:
Gebilde im Verhältnis zur Wellenlänge klein/groß.
Elektron groß, max. Länge > lambda

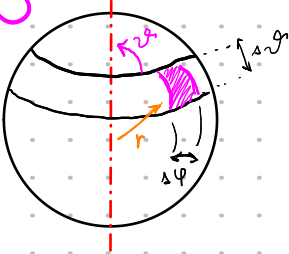
Transversal: Schwingung quer zur Ausbreitungsrichtung
Longitudinal: Schwingung in Ausbreitungsrichtung

Transversal-Elektromagnetische Welle (TEM-Welle)
Fernfeld: TEM-Welle

Nahfeld: Auch andere Wellen

Leistungsdichte nimmt mit r^2 ab.
Magnetische & Elektrische Energie nimmt ab.

Kugeloberfläche



$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi r^2 \cdot \sin(\vartheta) d\varphi d\vartheta =$$

$$r^2 \left(\varphi \Big|_0^{2\pi} \cdot (-\cos(\vartheta)) \Big|_0^\pi \right) =$$

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

Die Leistungsdichte mit Abstand r errechnet sich beim ISO-Kugelstrahler also aus:

$$\vec{P}_+ \xrightarrow{r} P(r) = \frac{P_+}{4\pi r^2}$$

\vec{S} ... Poyntingvektor (Leistungsdichte)

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Eigenschaften des Fernfelds

→ Buch S. 240

→ Inprodukt / Exprodukt Wikipedia

Isotroper Kugelstrahler

- Buch S. 241

- Leistungsdichte: siehe oben

- Horizontaler & Vertikaler Schnitt. Schnittfläche: Diagramm

- Alles was kein Kugelstrahler ist, ist eine Richtantenne

Kenngrößen für das Strahlungsfeld einer Antenne (bez. auf Kugelstrahler)

- Richtcharakteristik

- keine Abh. von r

- gleiches Ergebnis, egal ob 10m oder 1000m entfernt

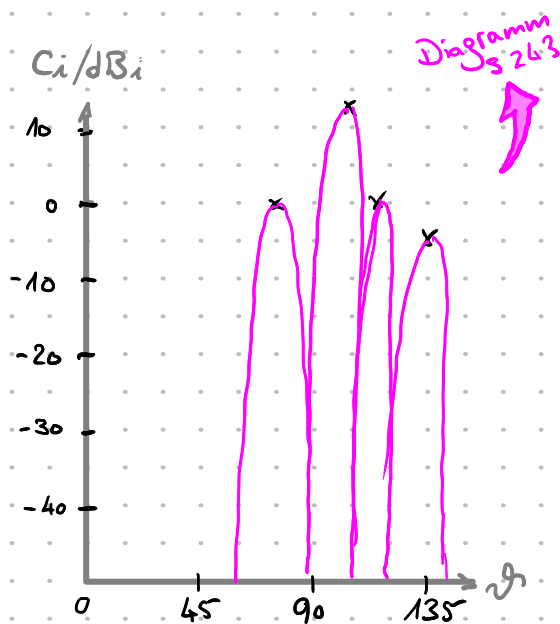
- Normierte Richtcharakteristik

- bezieht sich auf die maximale Elektromagn. Energie

S. 243

Diagramm

↳ Testfrage



dBi: dB genormt auf
isotropen Kugelstrahler
ansonsten auf Max. der Antenne

- Richtfunktion → Richtfaktor: Max. d. Richtfunktion

2.10.19

→ Wdh. S.243

- S.244 :

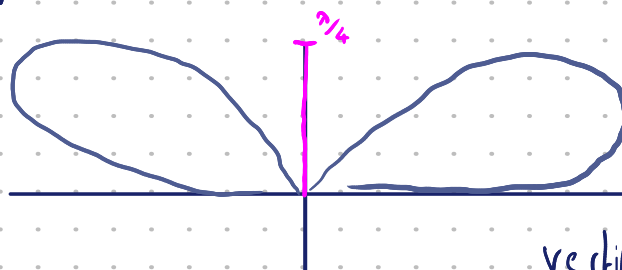
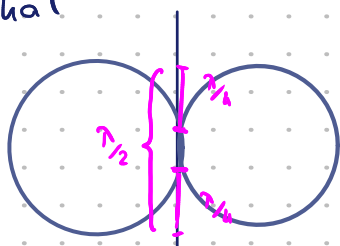
- Hertz'scher Dipol: Theoretische Antenne (Charakteristik S.251, 256)
- Richtungsdiagramm (vertikal polarisiert): Von oben kreisförmig
- Router: V-förmig
 - Eig. nie eine direkte Verbindung → Mehrwege-Ausbreitung
 - Diversity - Minimum & Maximum
 - Polarisation → Wellen können durch Reflexionen ihre Polarisationsrichtung ändern. (Kreuzpolarisation)
 - 3+ Antennen: MIMO
- S.253 : Nah- & Fernfeld: Glg.: 7.34 [wikipedia.org/wiki/dipolantenne]
- Was, wenn Antennenlänge verändert wird?
 - Antenne hat 10dB mit $\lambda/2$ -Dipol in Hauptstrahlrichtung
 - ↳ +2,15dB mehr als Kugelstrahler → Gewinn = 12,15dB
 - ↳ linear: Mit Faktor 2,15 multiplizieren
 - Antennenarrays S.270 || S.273
- Halbwellendipol S.256
- S.245
 - Größenordnungen ungefähr merken
 - Reziprozität: Sende- & Empfangscharakteristik gleich
 - Glg. 7.12, 7.13 Richtfaktor D und Gewinn unterscheiden sich durch den Wirkungsgrad.
 - Abb 7.5 → Wirkungsgrade auf S.246
- S.246
 - Wichtige Größe "EIRP"

7.10.2019

Bsp a) Geben Sie das Strahlungsdiagramm des $\lambda/2$ -Dipols und $\lambda/4$ -Monopols an.

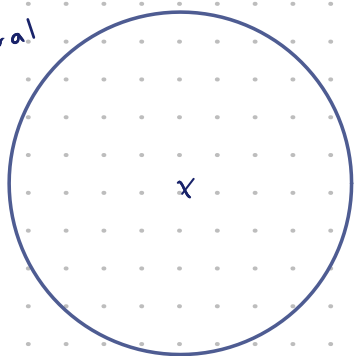
Monopol: 1 Schenkel, Erde als Reflektor
Dipol: 2 Schenkel

vertikal

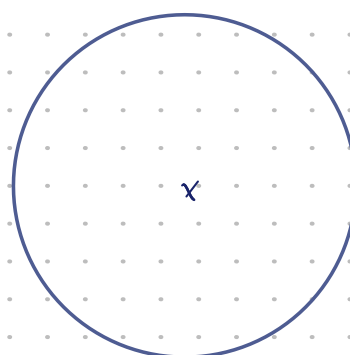


vertikal

horizontal



horizontal



Das Verhältnis des Abstrahl-Raumwinkels ist 2:1.

Der Gewinn des Monopols ist $\sim 3\text{dB}$ größer als der Antennengewinn des Dipols

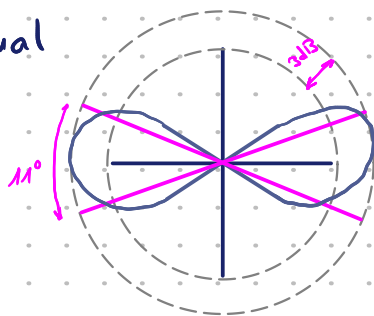
Bsp

Kalhreim bietet eine Rundstrahlantenne mit einem vertikalen 3dB -Öffnungswinkel von 11° an.

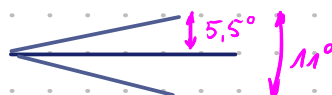
a) Zeichnen Sie das Strahlungsdiagramm (h/v)

b) Schätzen Sie den Antennengewinn (dBi) gegenüber einem isotropen Strahler ab.

a) vertikal



b) Fläche:

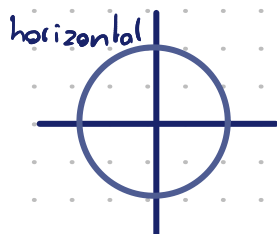


$$A = 2\pi \cdot 2 \cdot \sin(5,5^\circ)$$

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

Well Fläche

Radiant



Verhältnis zur Kugelfläche:

$$\frac{2\pi \cdot 2 \cdot \frac{5,5\pi}{180}}{4\pi}$$

$$\sim 10 \cdot \log\left(\frac{5,5\pi}{180}\right) = 10,2 \text{ dBi}$$

Bsp Satellit auf geostationärer Bahn:

$$d = 36\,000 \text{ km}$$
$$P = 100 \text{ W}$$
$$f = 4 \text{ GHz}$$

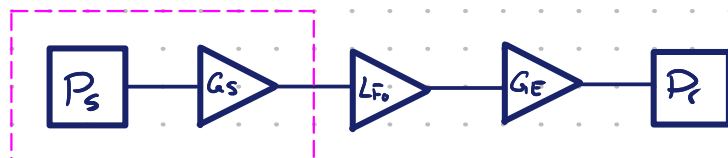
Gewinn der
Sendeantenne: $G_s = 18 \text{ dB}$

Empfangsstation: Parabolantenne
 $\varnothing = 3 \text{ m}$
Gewinn = $\frac{2}{3}$ von A_{eff}

ges.: Empfangsleistung P_r in dBm

S. 291
Freiraumdämpfung
$$L_{F_0} = 20 \cdot \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad [\text{dB}]$$

EIRP



$$A_{\text{eff}} = r^2 \pi \cdot \frac{2}{3} = 4,7 \text{ m}^2 \quad (\text{Parabol} \rightarrow \text{Kreis})$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 75 \text{ mm}$$

$$P_s = 100 \text{ W} \hat{=} 20 \text{ dB} \Rightarrow 50 \text{ dBm} = P_s'$$

$$G_s' = 18 \text{ dB}$$

$$\lambda = 0,075 \text{ m}$$

$$L_{F_0} = 20 \cdot \log\left(\frac{0,075}{4\pi \cdot 36\,000}\right) = -195,6 \text{ dB}$$

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_E \quad \sim \quad G_E = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{2}{3} \pi r^2$$
$$= \frac{4\pi}{0,075^2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot 1,5^2$$
$$= 10\,527,6 \hat{=} 40 \text{ dB} = G_E'$$

$$P_R' = P_s' + L_{F_0}' + G_s' + G_E' = 50 \text{ dBm} + 18 \text{ dB} + (-195,6 \text{ dB}) + 40 \text{ dB}$$

absoluter Pegel bezogen auf mW

$$= -87,6 \text{ dBm}$$

9.10.2019

Buch S. 282:

7.1) $EIRP \overset{\text{Isotrope Radiated Power}}{=} 100 \text{ mW} \hat{=} 20 \text{ dBm}$

$$\begin{aligned} D_1 &= 2,5 \text{ dB} & D_2 &= 1 \text{ dB} \\ G_1 &= 5 \text{ dB} & G_2 &= 15 \text{ dB} \end{aligned}$$

muss gleich sein $\rightarrow EIRP = P_s - D_1 + G_1 = 20 \text{ dBm} \leadsto P_s = 17,5 \text{ dBm}$

$EIRP = P_s' - D_2 + G_2 = 20 \text{ dBm} \leadsto P_s' = 6 \text{ dBm}$

Rauschzahl F: $\rightarrow \text{wikipedia.org}$

Veränderung des SNR vom Aus- zum Eingang

$$SNR_1 = \frac{S_1}{N_1} \quad \rightarrow \quad SNR_2 = \frac{S_2}{N_2}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= G \cdot S_1 \\ N_2 &\neq G \cdot N_1 \\ N_2 &= G \cdot N_1 + N_v \end{aligned}$$

\hookrightarrow Eigenrauschen Verstärker

$$F = \frac{SNR_1}{SNR_2} > 1$$

Bsp (Aufgaben zu Kapitel 1&2.pdf)

$$\begin{aligned} f &= 434 \text{ MHz} \\ B &= 100 \text{ kHz} \\ F &= 6 \text{ dB} \\ SNR_{\min} &= 24 \text{ dB} \\ (SNR &= P_r(d), \quad N = F \cdot kT \cdot B) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_0 &= kTB \quad \text{Konstante} \\ \eta_0 &= kT = -204 \text{ dBW/Hz} \hat{=} -174 \text{ dBm/Hz} \\ G_r &= 2 \text{ dB} \\ d &= 1000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$C_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

a) ges.: $A_{eff} (z=1)$, λ , P_{\min} in μW

$$\lambda = \frac{C_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{434 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0,691 \text{ m}, \quad A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_r \xrightarrow{2 \text{ dB}} \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot 10^{0,2} = 610 \text{ cm}^2$$

$$N_0 = -174 \text{ dBm/Hz} + 6 \text{ dB} + 10 \cdot \log(100 \cdot 10^3) = -118 \text{ dBm} \quad (N = kT \cdot F \cdot B)$$

$$\begin{aligned} SNR = \frac{S}{N} \hat{=} S' - N' &\leadsto S' = SNR' + N' \\ &= 24 \text{ dB} + (-118 \text{ dBm}) = -94 \text{ dBm} \xrightarrow{+30} -124 \text{ dBm} \\ &\hookrightarrow S = 10^{\frac{-124}{10}} = 0,4 \text{ pW} \end{aligned}$$

b) ges.: $EIRP$, um d gerade zu erreichen & P_s [W], [dBm], $G_s = 8 \text{ dB}$

$$L_{F_0} = 20 \cdot \log\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right) = -85,19 \text{ dB}$$

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

$$\hookrightarrow EIRP = 10^{\frac{-40,8}{10}} = 83,2 \text{ pW}$$

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

$$\hookrightarrow P_s = 10^{\frac{-48,8}{10}} = 13,2 \text{ pW}$$

14.10.2019

Bsp Folgendes 868 MHz-Modul ist im Handel und wird mit einer Patch-Antenne versehen:

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

Empfänger: $G_r' = 3 \text{ dB}$, $\text{SNR}'_{\min} = 10 \text{ dB}$, $B = 100 \text{ kHz}$, $F' = 14 \text{ dB}$

- a) Max. Lfö der Strecke $P_{L_{fs}}$ ^{Frequenzverluste} ^{+ Antennengewinne}
Dämpfung $P_{L_{se}}$ für Empfindlichkeitsgrenze ^{Sender-Empfänger}
- b) Max. d bei Best-Case (Freiraum)

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{868 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0,35 \text{ m} \hat{=} 345,6 \text{ mm}$$

L... Level [dBm]

$$P_{L_{se}} = P_{L_{fs}} = 10 \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right)$$

$$P_{L_{fs}} = P_{L_{se}} + G_t' + G_r'$$

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

$$P_{se}' = 10 \cdot \log\left(\frac{P_s}{P_e}\right) = P_s' - P_e' = 10 \text{ dBm} - (-100 \text{ dBm}) = 110 \text{ dBm}$$

$$P_{fs}' = P_{se}' + G_e' + G_r'$$

m... mW $\rightarrow \frac{\text{mW}}{\text{mW}} = 1$

$$= P_s' - P_e' + G_e' + G_r' = 10 \text{ dBm} + 50 \text{ dBm} + 100 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} = 118 \text{ dBm}$$

$$= 20 \cdot \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad \text{Freiwell dämpfung}$$

b) $d = \frac{\lambda}{4\pi \cdot 10^{\frac{-P_{fs}}{20}}} = \frac{0,346}{4\pi \cdot 10^{\frac{-118}{20}}} = 21\,849,99 \text{ m}$

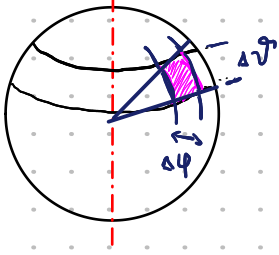
=> Unterlage 2: Ausbreitung von Radiowellen
Ab Seite 5

16.10.2019

Nächste Wdh: Richtfaktor und Richtfunktion!

Seite 251:

- Vektorpotential:



$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} r^2 \cdot \sin(\vartheta) d\varphi d\vartheta =$$

$$r^2 \left(\varphi \Big|_0^{2\pi} \cdot (-\cos(\vartheta)) \Big|_0^{\pi/2} \right) =$$

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

- Gradientenfeld:

Rotor: Exprodukt eines Vektors **rot**

Divergenz: Inprodukt eines Vektors **div**

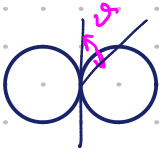
Gradient: „Ableitung“

↳ Zeigt in die Richtung der stärksten Änderung

↳ Macht aus Skalarfeld einen Vektor

253

H_φ ... Feldstärke in Richtung φ



- Fernfeldgleichungen herleiten können!

$$kr \gg 1$$

k ... Wellenzahl / Wellenvektor (S. 50)

↳ r wird immer größer

$$H_\varphi = \frac{I_L}{4\pi} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r^2} (1 + jkr) \cdot \sin(\vartheta)$$

$$= \frac{I_L}{4\pi} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r^2} \cdot \sin(\vartheta) + jkr \cdot \sin(\vartheta) \cdot \frac{I_L}{4\pi} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r^2}$$

$$+ j \cdot \sin(\vartheta) \cdot \frac{k I_L}{4\pi} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r^2}$$

$$+ j \cdot \sin(\vartheta) \cdot \frac{k I_L}{4\pi} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r}$$

$\rightarrow 0$

...

↳ S_r = Poyntingvektor / Leistungsdichte

254

- Gln auf dieser Seite müssen nicht hergeleitet werden.

255

- Halbwellendipol \rightarrow Diagramme interpretieren
- Imaginärteil = 0 \rightarrow Resonanz
- Bei nicht ganzzahligen Vielfachen von λ haben wir einen niedrigen Widerstand (Realteil)
- (d) = Stromverteilung

schöne Theoriefragen ~

256

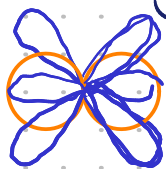
- Grafik (a) zeichnen können

21.10.2019

Schlagern vs. Aichweller
 * Ortskurven kann man
 * Genaue richtig des dund ma hat dunn
 * Des is dunn -
 * Ja!

256

- Strahlungsdiagramm a), b)



$\frac{3\lambda}{2}$ -Dipol

HF3-Beilage...

Bsp

Abb. Richtdiagramm:

Feldwellenwst: 377-2

- ges.: 1) Nebenkeulendämpfung
 2) Öffnungswinkel
 3) Richtfaktor

S. 244

$$1) C_{\max} - C_{\min} = 11,6 \text{ dBi} - 5 \text{ dBi} = \underline{6,6 \text{ dB}}$$

- 2) Winkel, in dem die Hauptkeule Werte von C_{\max} bis $C_{\max} - 3 \text{ dB}$ besitzt

$$112^\circ - 90^\circ = 22^\circ \quad \sim \quad \times 2 = \underline{44^\circ}$$

$$3) C_i^2(\vartheta, \varphi) = 11,59 \text{ dB} = D'$$

Bei dB
 ist das
 Quadrat $\sim 20 \cdot \log(\dots)$

Schon berücksichtigt! $\rightarrow \lg 7,11$ (S. 244)

23.10.2019

Äquivalenter Raumwinkel Ω :

Der Raumwinkel, in dem die Antenne ihre Gesamtleistung abgeben würde, wenn in ihm die größte Strahlungsdichte der Hauptkeule gleichmäßig vorhanden wäre und außerhalb keine.

$$D = \frac{S_r(\vartheta, \varphi)_{\max}}{P_s}$$

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

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

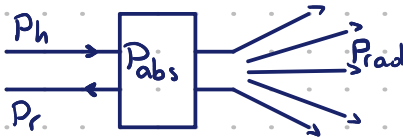
Je kleiner Raumwinkel
 \rightarrow kleiner Öffnungswinkel
 \rightarrow mehr Fokus

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

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

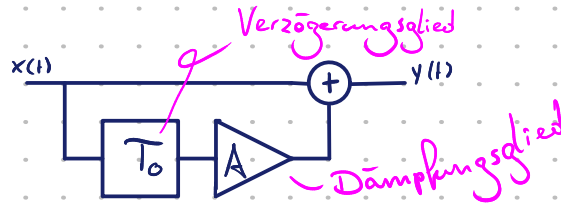
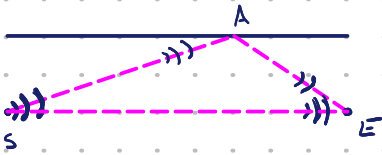
$$\Omega = \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} C^2(\vartheta, \varphi) \sin(\vartheta) d\vartheta d\varphi, \quad \Omega \leq 4\pi$$

quasi a Reflexionsfaktor
 $|S_{11}|^2 = \frac{P_r}{P_h}$ \nrightarrow siehe „Später“



$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{rad}}{P_h - P_r} = \frac{P_{rad}}{P_h(1 - |S_{11}|^2)}$$

Mehrwegausbreitung



$\delta(t)$... Unendlich hoch
unendlich kurze Zeit

δ ... Alle Frequenzen enthalten

$$h(t) = \delta(t) + A\delta(t - T_0) \quad \dots \text{Impulsantwort}$$

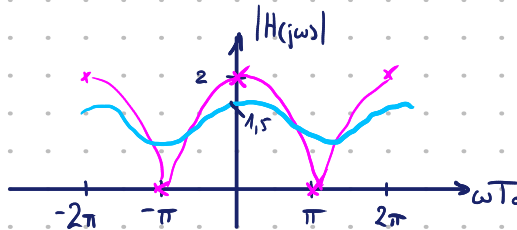
$$H(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt$$

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

$$= \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-j\omega t} dt}_1 + A \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - T_0) e^{-j\omega t} dt}_{A \cdot e^{-j\omega T_0}}$$

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

$$|H(j\omega)| :$$



für $A=1$
für $A=0,5$

$$H(j\omega) = 1 + A \cdot (\cos(\omega T_0) - j \sin(\omega T_0))$$

$$= 1 + A \cos(\omega T_0) - j A \sin(\omega T_0)$$

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

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

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

$$= \sqrt{1 + 2A \cos(\omega T_0) + A^2 \cdot 1}$$

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

$$\pi = \omega T_0 = 2\pi f T_0 = 2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot T$$

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

$$1 = c \frac{2}{\lambda} \cdot T$$

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{1}{cT}$$

Je nach Phasenverschiebung
ergibt sich eine Auslöschung

28.10.2019

Bsp

Zur Bestimmung der horizontalen Richtcharakteristik einer Antenne wurden folgende Werte gemessen:

Vergleichsmessung mit Halbwelldipol: 4mV

$\varphi \text{ in } ^\circ$	-180	-135	-90	-45	0	45	90	135	180
U	4mV	2mV	1μV	6mV	12mV	6mV	1μV	2mV	4mV
Charakteristik bez auf Dipol $C_d \text{ in dB}$	0	-6	-72	3,5	9,5	3,5	-72	-6	0

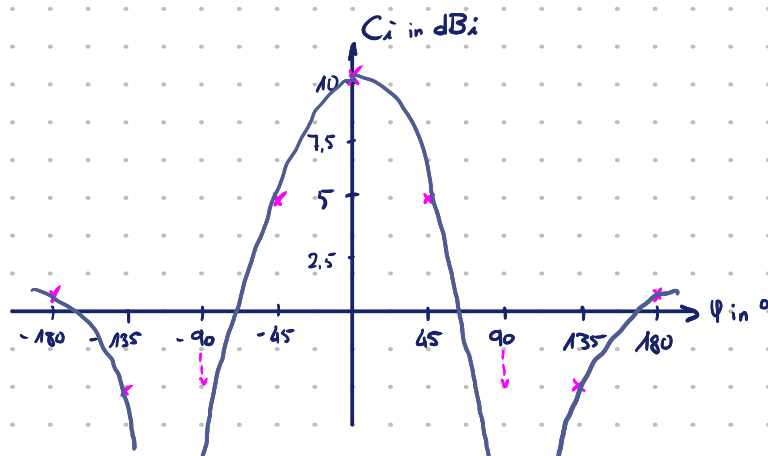
$$20 \cdot \log\left(\frac{U}{U_{4\text{mV}}}\right)$$

Faktor: 2,15 (Tabelle S. 244.)

ges.: Richtcharakteristik

(Übergänge Haupt-Nebenkeule haben sinus/cosinusförmigen Verlauf)

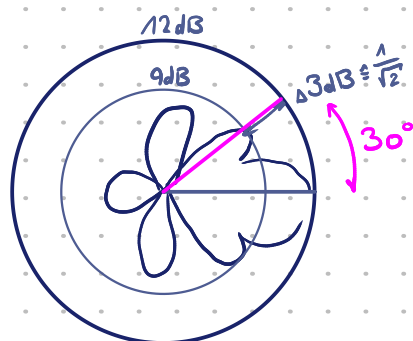
$C_i \text{ in dBi}$	2,15	-3,86	-69,85	5,65	11,65	5,65	-69,85	-3,85	2,15
----------------------	------	-------	--------	------	-------	------	--------	-------	------



Bsp

Bei idealer Ausrichtung erzeugt ein Sender an einer Antenne mit dem dargestellten Richtdiagramm eine Antennenspg von 8mV

Wie verändert sich die A-Spg., wenn die Antenne um 30° gedreht wird?



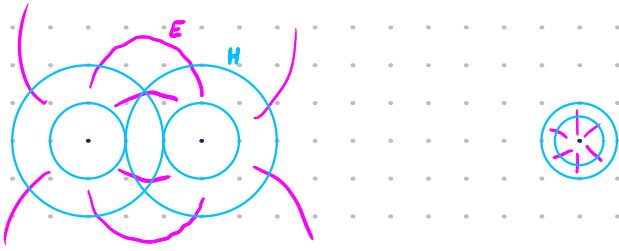
\Rightarrow Spannung verändert sich um -3dB

$$8\text{mV} \hat{=} 18\text{dBmV}$$

$$18\text{dBmV} - 3\text{dB} = \underline{\underline{15\text{dBmV}}}$$

Mantelwellen

- Symmetrisch und Asymmetrisch:



- PDF: **Balun_DL4ZAO.pdf** (Günther Fred Mandel)

- S. 5 Gleichstrom und Gegenstrom
- S. 4 Energietransport auf dem Koaxkabel
- S. 3 Skin-Effekt
- S. 6 Strom und Welle bei einem Dipol
- S. 7 - 9 Analyse Felder
- S. 10, 11 Mantelwellen
- S. 12 Strombalun \rightarrow tritt durch Feldlinien auf
- S. 13 Zweidrahtleitung (mit Kern)
zu einer Spule aufgewickelt
unterdrückt Gleichströme

Skizzieren
können

BALUN
Balanced / Unbalanced