

TU WIEN

WELLENAUSBREITUNG

VU-389.064

Prüfungen

Theorie

Hybrid

Wir können die Unterlagen von denen wir gelernt haben nicht ändern,
aber wir können der Nachwelt bessere hinterlassen.

Lizenz:

GNU GPLv3

1. April 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
	Freiraumausbreitung 1.	6
	Leistungsvergleich Freiraum/Leitung 2.	7
	Strom und Spannungsverteilung 3.	8
	Vektorpotential 4.	9
2	Maxwell Theorie	10
	Dielektrizitätskonstante 5.	10
	Gedämpfte Welle 6.	11
	Koninutätsgleichung 7.	12
	Kraftgleichung 8.	13
	Ladungsfreiheit und Relaxationszeit 9.	14
	Maxwell differenziell 10.	15
	Maxwell harmonisch 11.	16
	Poynting 1 12.	17
	Poynting 2 13.	18
	Separationsansatz 2 14.	19
	Seperationsbedingung 15.	20
	Seperatoinsansatz 1 16.	21
3	Die homogene ebene Welle (HEW)	22
	Depolarisation 17.	22
	Eindringtiefe 18.	23
	Gesamtstromdichte 19.	24
	Eindimensionale homogene Wellengleichung 20.	25
	Mediumswellenwiderstand 21.	26
	Wellenlänge 22.	27
	Wellenwiderstand 23.	28
	Wellenzahl 1 24.	29
	Wellenzahl 2 25.	30
	Wellenzahl 3 26.	31
	Widerstand 27.	32
	Feldbild 28.	33

4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung	34
Brewsterwinkel 2 29.	34
Brewsterwinkel 30.	35
Entartung 31.	36
Grundmodus allgemein 32.	37
5 Die Oberflächenwelle	38
Oberflächenwiderstand 33.	38
6 Rechteckhohlleiter und Resonatoren	39
Grundmodus 34.	39
Grundmodus vergleichen 35.	40
Mikrowellenofen 36.	41
Phasen und Gruppengeschwindigkeit 37.	42
Dispersionsdiagramm 38.	43
7 Koaxialleitungen	44
Dämpfung von Koaxialkabeln 39.	44
Feldbild 40.	45
8 Dielektrische Wellenleiter	46
Übertragungsgrenzen 41.	46
9 Streifenleitung	47
Microstripleitung 42.	47
10 Wellen und Hindernisse	48
Antennengewinn 1 43.	48
11 Antennen	49
Anpassungsnetzwerk 44.	49
Antennenfläche & Antennengewinn 45.	50
Antennen 46.	51
Bandbreite 47.	52
Breitbandantennen 48.	53
Drehkreuzantenne 1 49.	54

Effektive Antennenfläche 50.	55
Effektiver Antennengewinn 51.	56
Kreuzpolarisation 52.	57
LNB und LNC 53.	58
Logarithmisch Periodisch 54.	59
Strahlengang Offset Parabolantenne 55.	60
Antennen ordnen 56.	61
Rayleighdistanz 57.	62
Reziprozitätstheorem 58.	63
Richtcharakteristik 59.	64
Schmalbandantennen 60.	65
Strom und Spannungsverteilung 1 61.	66
Strom und Spannungsverteilung 3 62.	67
Stehwellenverhältnis VSWR 63.	68
Beverage-Antenne 64.	69
Antennengewinn 2 65.	70
Drehkreuzantenne 2 66.	72
Strom-/Spannungsverteilung auf Dipol 67.	74
Helmholtz 68.	75
12 Wellen im freien Raum	76
Radarquerschnitt 69.	76
Radarsystem 70.	77
13 Mehrwegeausbreitung	78
LOS Bedingung 71.	78
Mean Effektive Gain 72.	79
Mobilfunkantennen 73.	80
Ausbreitungsphänomene 74.	81
Schwund 75.	82
Weibull-Plot 76.	83

Werter Student!

Diese Unterlagen werden dir **kostenlos** zur Verfügung gestellt, damit sie dir im Studium behilflich sind. Sie wurden von vielen Studierenden zusammengetragen, digitalisiert und aufgearbeitet. Ohne der Arbeit der Studierenden wären diese Unterlagen nicht entstanden und du müsstest dir jetzt alles selber zusammensuchen und von schlecht eingescannten oder abfotografierten Seiten lernen. Zu den Beispielen gibt es verschiedene Lösungen, welche du dir auch erst mühsamst raussuchen und überprüfen müsstest. Die Zeit die du in deine Suche und Recherche investierst wäre für nachfolgende Studenten verloren. Diese Unterlagen leben von der Gemeinschaft die sie betreuen. Hilf auch du mit und erweitere diese Unterlagen mit deinem Wissen, damit sie auch von nachfolgenden Studierenden genutzt werden können. Geh dazu bitte auf <https://github.com/Painkilla/VO-389.064-Wellenausbreitung/issues> und schau dir in der TODO Liste an was du beitragen möchtest. Selbst das Ausbessern von Tippfehlern oder Rechtschreibung ist ein wertvoller Beitrag für das Projekt. Nütze auch die Möglichkeit zur Einsichtnahme von Prüfungen zu gehen und die Angaben Anderen zur Verfügung zu stellen, damit die Qualität der Unterlagen stetig besser wird. \LaTeX und Git sind nicht schwer zu lernen und haben auch einen Mehrwert für das Studium und das spätere Berufsleben. Sämtliche Seminar oder Bachelorarbeiten sind mit \LaTeX zu schreiben. Git ist ideal um gemeinsam an einem Projekt zu arbeiten und es voran zu bringen. Als Student kann man auf GitHub übrigens kostenlos unbegrenzt private Projekte hosten.

Mit dem Befehl:

```
$ git clone recursive https://github.com/Painkilla/VO-389.064-Wellenausbreitung.
```

erstellst du eine lokale Kopie des Repositoriums. Du kannst dann die Dateien mit einem \LaTeX -Editor deiner Wahl bearbeiten und dir das Ergebnis ansehen. Bist du auf GitHub registriert, kannst du einen Fork (englisch für Ableger) erstellen und mit den Befehlen:

```
$ git commit -m "Dein Kommentar zu den Änderungen"
```

```
$ git push
```

werden deine Ergänzungen auf deinen Ableger am Server gesendet. Damit deine Ergänzungen auch in das zentrale Repository gelangen und allen

Studierenden zur Verfügung stehen, musst du nur noch einen Pull-Request erstellen.

1 Einleitung

Freiraumausbreitung 1.

Nennen Sie je zwei Vor- und Nachteile von Freiraumausbreitung im Vergleich zur Übertragung über Leitungen! Nennen Sie drei wesentliche Vorteile der drahtlosen Übertragung!

Hinweis:

Skript Seite 9

Lösung 1.

Vorteile:

- Kommunikation mit entlegenen Gebieten möglich
- Kommunikation mit bewegten Teilnehmern möglich (Mobilfunk).
- Kommunikation mit Schiffen, Satteliten, Flugzeugen möglich
- Verbindung zu vielen Teilnehmern gleichzeitig möglich
- Geringere Dämpfung bei großen Entfernungen
- Geringere Kosten (Leitungen und Trassen entfallen)

Nachteile:

- Geringe Abhörsicherheit
- Große Dämpfung bei kleinen und mittleren Entfernungen
- Größere Störanfälligkeit
- Nur geringe Leistungen übertragbar, daher muss die entfernte Station i. d. R. extra versorgt werden

Leistungsvergleich Freiraum/Leitung 2.

Welcher grundsätzliche Zusammenhang (Proportionalität) besteht zwischen Empfangsleistung und Sendeleistung als Funktion der Distanz bei leitungsgeführter Strahlung und bei Freiraumausbreitung?

Hinweis:

Skript Seite 9

Lösung 2.

Für die Freiraumausbreitung nimmt der Verlust mit Verdopplung der Entfernung nur um 6 dB zu, wohingegen sich bei Leitungen der in dB gemessene Dämpfungswert verdoppelt.

Leitung: $\frac{P_e}{P_s} \propto e^{-\alpha r}$

Freiraum: $\frac{P_e}{P_s} \propto \frac{1}{r^2}$

Strom und Spannungsverteilung 3.

Wie hängt die in Dezibel ausgedrückte Dämpfung eines Wellenleiters mit seiner Länge zusammen? Welche Dämpfung hat ein unter optimalen Bedingungen eingesetztes, 100km langes Stück Glasfaserleitung

Hinweis:

Lösung 3.

Die doppelte Länge bedeutet die doppelte Dämpfung in dB gemessen
 $0,2 \text{ dB} \cdot 100 \text{ km} = 20 \text{ dB}$ Wobei angenommen wird das die typische Dämpfung eines Glasfaserwellenleiters bei $0,2 \text{ dB}$ liegt.

Vektorpotential 4.

Definieren Sie das Vektorpotential \vec{A} !

Hinweis:

Lösung 4.

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$$

2 Maxwell Theorie

Dielektrizitätskonstante 5.

Wie schreibt man die komplexe Dielektrizitätskonstante δ zweckmässig bei Ohmschen Verlusten und bei Umpolarisierungsverlusten an?

Hinweis:

Lösung 5.

$$\delta = \varepsilon - j\frac{\sigma}{\omega} = \varepsilon(1 - j\cdots)$$

$$s = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon} = \tan \Theta = \frac{1}{Q}$$

Gedämpfte Welle 6.

Worin unterscheidet sich eine gedämpfte Welle von einem abklingenden evaneszenten Feld? (2 P.)

Lösung 6.

Eine gedämpfte Welle wird durch eine Schwingung und durch eine Dämpfung beschreiben $e^{-\alpha z} \cdot e^{j\beta z}$, wohingegen ein evaneszenes Feld nur durch eine Dämpfung beschrieben wird. $e^{-\alpha z}$

Koninutätsgleichung 7.

Was ist die Kontinuitätsgleichung? (Erklären Sie die auftretenden Größen und geben Sie ihre Einheiten an!)

Hinweis:

Skript Seite 12

Lösung 7.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \varrho = 0 \quad (2.0.1)$$

$\vec{S} \dots$ Stromdichte [A/m]

$\varrho \dots$ Ladungsdichte [As/m]

Kraftgleichung 8.

Wie lautet die Kraftgleichung für ein Elektron, auf welches sowohl eine elektrostatische als auch eine Lorentz-Kraft einwirkt?

Hinweis:

Skript Seite 13

Lösung 8.

$$\vec{F} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right) \quad (2.0.2)$$

Ladungsfreiheit und Relaxationszeit 9.

Was bedeutet der Begriff „effektive Ladungsfreiheit“? Durch welche Formel wird die dielektrische Relaxationszeit τ_D angegeben und wie gross ist diese näherungsweise bei Kupfer?

Hinweis:

Skript Seite 14

Lösung 9.

Effektive Ladungsfreiheit gilt unter der Voraussetzung, dass große Zeiten gegenüber τ_D betrachtet werden. Die dielektrische Relaxationszeit für Kupfer ist:

$$\tau_D = \frac{\varepsilon}{\sigma} \approx 10^{-19} \quad (2.0.3)$$

Maxwell differenziell 10.

Schreiben Sie die vier Maxwellgleichungen in differentieller Form an!

Hinweis:

Skript Seite 13

Lösung 10.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (2.0.4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.0.5)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \quad (2.0.6)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.0.7)$$

Maxwell harmonisch 11.

Schreiben Sie die vier Maxwellschen Gleichungen für harmonische Vorgänge in komplexer Schreibweise an! Es sei Ladungsfreiheit angenommen. Verwenden Sie wenn möglich lediglich E und H .

Hinweis:

Skript Seite 15

Lösung 11.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu\vec{H} \quad (2.0.8)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.0.9)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = j\omega\delta\vec{E} \quad (2.0.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.0.11)$$

Poynting 1 12.

Wie lautet der Satz von Poynting (Erhaltung der elektromagnetischen Energie)?

Hinweis:

Skript Seite 16, Edyn Seite 53.

Lösung 12.

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_{\mathcal{V}} (w_e(t) + w_m(t)) dV = \oint_{\Sigma} \vec{P}(t) \cdot d\vec{F} + \int_{\mathcal{V}} p_v(t) dV. \quad (2.0.12)$$

Abnahme der elektromagnetischen Energie = Abstrahlung + Dissipation

Poynting 2 13.

Wie sind die Poyntingvektoren \vec{P} und \vec{T} definiert? Wie berechnet man aus \vec{T} die Wirkleistungsflussdichte / Blindleistungsflussdichte?

Hinweis:

Skript Seite 15–16.

Lösung 13.

$$\vec{P}(t) = \vec{E}(t) \times \vec{H}(t) \quad (2.0.13)$$

$$\vec{T} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^* = \vec{T}_w + j\vec{T}_b \quad (2.0.14)$$

Die Wirkleistungsflussdichte $\vec{T}_w = \Re\{\vec{T}\}$.

Die Blindleistungsflussdichte $\vec{T}_b = \Im\{\vec{T}\}$.

Separationsansatz 2 14.

Wie lautet der Separationsansatz für die Wellenfunktion $\psi(x, y, z)$

Hinweis:

Skript Seite 21

Lösung 14.

$$\Psi(x, y, z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) \quad (2.0.15)$$

Seperationsbedingung 15.

Wie lautet die Separationsbedingung in kartesischen Koordinaten?

Hinweis:

Skript Seite 21

Lösung 15.

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = k^2 = \omega^2 \mu \delta \quad (2.0.16)$$

Seperatoinsansatz 1 16.

Wie sieht der Separationsansatz für eine von den Koordinaten x, y, z abhängige Wellenfunktion aus?

Hinweis:

Skript Seite 21

Lösung 16.

$$\Psi(x, y, z) = X(x) \cdot Y(y) \cdot Z(z) \quad (2.0.17)$$

3 Die homogene ebene Welle (HEW)

Depolarisation 17.

Beschreiben sie stichwortartig drei Depolarisationsmechanismen bei der Funkübertragung!

Hinweis:

Skript Seite 33

Lösung 17.

- Reflexion: der Reflexionskoeffizient ist für TE und TM-Fall unterschiedlich. Daher werden die Polarisationsseigenschaften geändert.
- Induzierte Ströme bei Antennen: in leitfähigen Elementen (nicht primär Teil der Antenne, z. B.: Befestigungselemente), können als Sekundärstrahler wirken.
- Bei Antenne knapp über dem Erdboden können Ströme im Erdboden induziert werden, die als Sekundärstrahler wirken (siehe Spiegelungsprinzip der Elektrostatik).
- Medien mit unterschiedlicher Dämpfung für horizontale und vertikale Polarisation (z. B.: Wälder dämpfen vertikal polarisierte Felder stärker als horizontal polarisierte).
- Beugung: In der unmittelbaren Nähe von beugenden Kanten sind polarisationsabhängige Beugungseffekte zu beobachten.
- In der Ionosphäre erfolgt eine Drehung der Polarisationsrichtung. Faradayeffekt

Eindringtiefe 18.

Geben sie die Formel für die Eindringtiefe in einen Quasileiter an! Erklären Sie alle Größen und nennen Sie deren Einheiten!

Hinweis:

Lösung 18.

$$d = \frac{1}{\alpha} \approx \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

ω ... Kreisfrequenz [1/s]

μ ... Tiefe [Vs/Am]

σ ... spezifische Leitfähigkeit [S/m]

Gesamtstromdichte 19.

Aus welchen Komponenten setzt sich die Gesamtstromdichte in einem Quasielektrikum zusammen?

Hinweis:

Lösung 19.

$\vec{S} = \sigma \vec{E} \dots$ Leitungsstromdichte (lokales Ohmsches Gesetz)

$\vec{S}_v = \rho \vec{v} \dots$ Konvektionsstromdichte

$\vec{S} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \dots$ Gesamtstromdichte

Eindimensionale homogene Wellengleichung 20.

Wie lautet der allgemeine Lösungsansatz der eindimensionalen homogenen Wellengleichung?

Hinweis:

Skript Seite 25

Lösung 20.

$$e_x(z, t) = c_1 f_1(z - vt) + c_2 f_2(z + vt) \quad (3.0.1)$$

$$\nabla^2 \Psi + \omega^2 \mu \delta \Psi = 0 \quad (3.0.2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi_x + k_x \Psi_x = 0 \quad (3.0.3)$$

Mediumswellenwiderstand 21.

Erklären Sie die Begriffe Mediumswellenwiderstand und Leitungswellenwiderstand sowie ihren Zusammenhang bei einer Leitung.

Lösung 21.

Wellenlänge 22.

Wie groß ist die Wellenlänge einer sich im Vakuum ausbreitenden HEW mit $f = 1 \text{ GHz}$?

Lösung 22.

Wellenwiderstand 23.

Geben sie den Leitungswellenwiderstand Z_{PV} der Parallelplattenleitung an!
Erklären Sie alle Größen und nennen Sie deren Einheiten!

Hinweis:

Lösung 23.

$$Z_{PV} = \eta \frac{d}{w} \quad (3.0.4)$$

d ... Abstand [m]

w ... Tiefe [m]

$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$... Mediumswiderstand [Ω]

Wellenzahl 1 24.

Was geben Wellenzahl und Kreisfrequenz an?

Hinweis:

Skript Seite 29

Lösung 24.

Die Wellenzahl $k = \frac{\omega}{v} = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$ beschreibt, wie die Wellenlänge $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ die räumliche Periodizität einer Welle.

Die Kreisfrequenz ω beschreibt die zeitliche Periodizität der Welle.

Wellenzahl 2 25.

Was beschreibt der Imaginärteil der Wellenzahl k_z bei einer sich in z -Richtung ausbreitenden Welle?

Hinweis:

Skriptum Seite 35

Lösung 25.

$\gamma k_z = \alpha + j\beta$ deshalb ist $k_z = \beta - j\alpha$ Der Imaginärteil der Wellenzahl beschreibt die Dämpfung α der Welle.

Wellenzahl 3 26.

Wie groß ist die Wellenzahl einer HEW im Vakuum bei $f = 500 \text{ MHz}$?

Lösung 26.

$$k = \frac{\omega}{c_0} = \frac{2\pi f}{c_0}$$

Widerstand 27.

Geben Sie die verschiedenen Widerstände an.

Lösung 27.

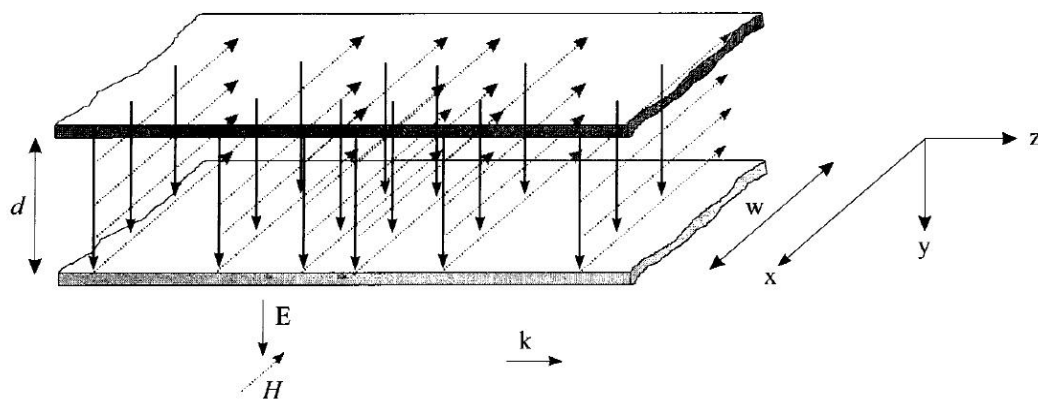
Leitungswellenwiderstand, Mediumswiderstand, Feldwellenwiderstand

Feldbild 28.

Skizzieren sie, wie das elektrische und das Magnetische Feld einer Parallelplattenleitung praktisch (d.h. ohne Idealisierung) aussieht!

Hinweis:

Lösung 28.



Die Elektrischen Feldlinien schließen sich über den rechten und linken Raum.

4 Reflexion an glatten Grenzflächen, die Parallelplattenleitung

Brewsterwinkel 2 29.

Was ist der Brewsterwinkel und unter welchen Bedingungen tritt er auf?

Lösung 29.

Der Brewsterwinkel ist jener Winkel, bei dem der Reflexionsfaktor Γ_{TM} verschwindet und die gesamte Leistung transmittiert wird. Er tritt auf allen glatten Grenzflächen auf. $\arctan\left(\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}\right) = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

$$\Gamma_{TM} = 0$$

Brewsterwinkel 30.

Eine TM Welle möge auf eine Grenzschicht zwischen Vakuum ($n_1 = 1.0$) und Fensterglas ($n_2 = 1.5$) auftreffen. Geben sie den Brewsterwinkel im Vakuum und im Glas an!

Lösung 30.

$$\theta_B = \arctan \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} = \arctan \frac{n_2}{n_1}$$

für den anderen fall n_1 und n_2 vertauschen \Rightarrow der Winkel ändert sich!

Entartung 31.

Wann sind zwei Wellentypen entartet? Was ist ein Modus?

Hinweis:

Skriptum Seite 51

Lösung 31.

Entartet: Unterschiedliches Feldbild bei gleichen Ausbreitungseigenschaften.

Modus: Wellentyp (TE, TM, TEM) und Wellengestalt (TE_{10}, TE_{11}).

Grundmodus allgemein 32.

Was verstehen Sie allgemein unter dem Grundmodus eines beliebigen Wellenleiters?

Hinweis:

Seite 43

Lösung 32.

Unter **allen** ausbreitungsfähigen Wellen eines Wellenleiters gibt es stets einen Wellentyp mit der niedrigsten Grenzfrequenz (größten Grenzwellenlänge). Er heißt **Grundwelle**.

5 Die Oberflächenwelle

Oberflächenwiderstand 33.

Erklären Sie den Begriff des Oberflächenwiderstandes. Wo tritt dieser bei der Power Loss Methode auf?

Lösung 33.

6 Rechteckhohlleiter und Resonatoren

Grundmodus 34.

Was ist der Grundmodus des Rechteckhohlleiters?

Hinweis:

Skript Seite 61

Lösung 34.

Rechteckhohlwellenleiter: TE_{10} -Modus, auch als H_{10} -Modus bezeichnet.

$$\lambda_G = 2 \cdot a \quad (6.0.1)$$

$$\lambda_H = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}} \quad (6.0.2)$$

Grundmodus vergleichen 35.

Geben Sie den Grundmodus der Parallelplattenleitung, des Rechteckhohlwellenleiters und des Koaxialkabels an!

Hinweis:

Skript Seite 68, 43, 61

Lösung 35.

Als Grundmodus wird der Wellentyp mit der niedrigsten Grundfrequenz bezeichnet.

Die Grundfrequenz ist von den geometrischen Abmessungen und der Dielektrizität bzw. Permeabilität bestimmt.

Parallelplattenleitung: TEM-Welle, Grenzfrequenz ist 0.

Rechteckhohlwellenleiter: TE₁₀-Modus, auch als H₁₀-Modus bezeichnet.

$$\lambda_G = 2 \cdot a \quad (6.0.3)$$

$$\lambda_H = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}} \quad (6.0.4)$$

Koaxialkabel: wie bei Parallelplattenleitung \Rightarrow TEM-Welle, keine untere Grundfrequenz.

Mikrowellenofen 36.

Warum haben Mikrowellenöfen, die bei $2,45\text{ GHz}$ arbeiten, immer einen etwa 3 cm breiten Türpfalz?

Lösung 36.

Bei dem Türrahmen handelt es sich um eine Resonanzdichtung. Die Breite des Türspalts beträgt ein Viertel der Wellenlänge ($\lambda/4$), also ca. 3 cm . Der Abstand zwischen Tür und Rahmen ist unkritisch. Der Spalt wirkt ohne elektrischen Kontakt als frequenzselektive Dichtung für die elektromagnetischen Felder im Ofen.

Phasen und Gruppengeschwindigkeit 37.

Wie hängen in einem Rechteckhohlleiter die Phasengeschwindigkeit v_P und die Gruppengeschwindigkeit v_G von der Grenzwellenlänge ab?

Hinweis:

Lösung 37.

$$v_P = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}}$$

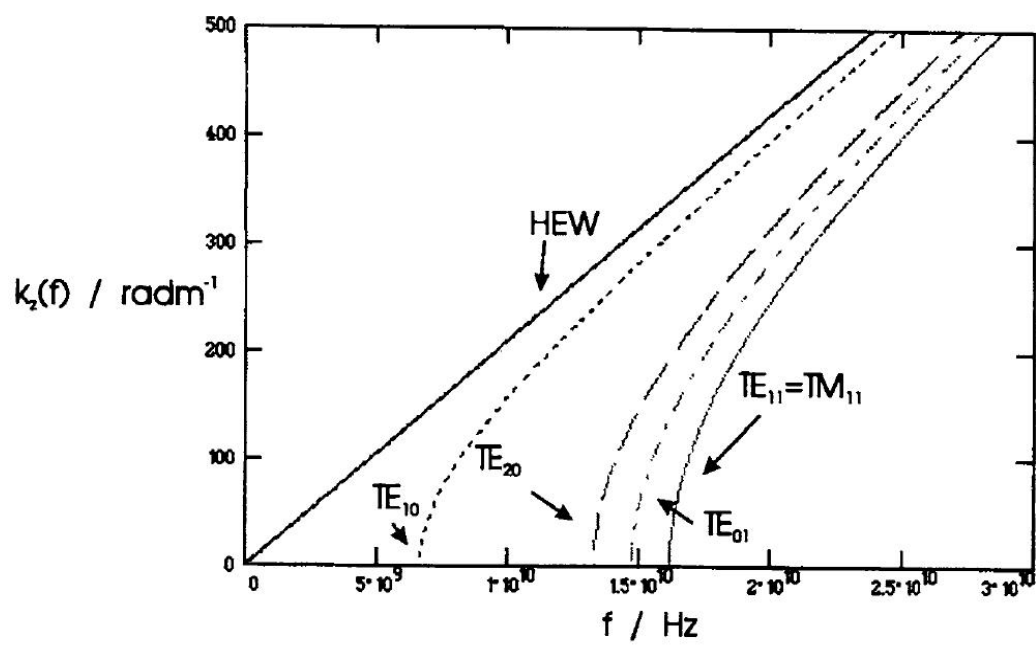
$$v_G = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right)^2}$$

Dispersionsdiagramm 38.

Zeichnen Sie das Dispersionsdiagramm einer TE_{10} -Welle im Rechteckhohlleiter. (Beschriftung, keine Zahlenwerte)

Hinweis:

Lösung 38.



7 Koaxialleitungen

Dämpfung von Koaxialkabeln 39.

Wie lässt sich die Dämpfung von Koaxialkabeln für ein gegebenes Signal verringern ohne die verwendeten Materialien oder den Wellenwiderstand zu verändern? Ist die Methode beliebig steigerbar? (Begründung) (2 P.)

Lösung 39.

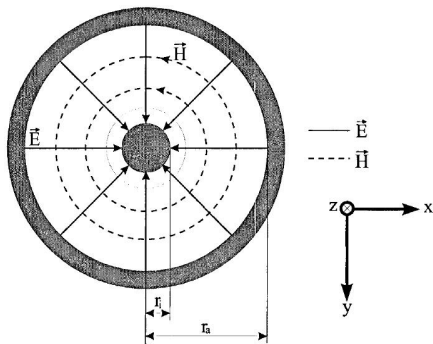
Das Verhältnis r_a/r_i verändern oder die Frequenz erhöhen. Die Dämpfung erreicht bei einem Verhältnis von 3,5 ein minimum.

Feldbild 40.

Skizzieren sie die Felddbilder des TEM-Modus für E und H in einem Koaxialkabel!

Hinweis:

Siehe Abb. 7.1 u. Skript Seite 78

Lösung 40.

E-Feld radial nach innen gerichtet, H-Feld konzentrisch um den Innenleiter im Innenraum.

8 Dielektrische Wellenleiter

Übertragungsgrenzen 41.

Erklären Sie die Unterschiede zwischen Dispersionsbegrenzung und Dämpfungsbegrenzung bei Nachrichtenübertragung über Wellenleiter!

Hinweis:

Lösung 41.

Dispersionsbegrenzung: Begrenzung durch Verzerrung der Signale. Es bezeichnet auch das breiter werden von schmalen Pulsen und schlussendlich ineinander laufen. (ISI)

Dämpfungsbegrenzung: Begrenzung durch Signalstärke, Signal geht im Rauschen unter.

9 Streifenleitung

Microstripleitung 42.

Wie hängen bei der Microstripleitung die Verluste von der Frequenz ab?

Lösung 42.

Die Dielektrischen Verluste sind proportional zur Frequenz. Abstrahlungsverluste sind hauptsächlich geometrieabhängig. $\alpha_D = K_E \frac{s}{2}$

10 Wellen und Hindernisse

Antennengewinn 1 43.

Schreiben Sie zwei Definitionen des Antennengewinns an! Erklären Sie die verwendeten Größen und geben Sie ihre Einheiten an!

Hinweis:

Übungsskript Seite 179

Lösung 43.

$$\frac{P_{L,2}}{P_{L,q}} \frac{\Phi_{1,max}}{\Phi_{2,max}} \quad (10.0.1)$$

$$\frac{P_{L,2}}{P_{L,1}} \frac{\Omega_{,2}}{\Omega_{,1}} \quad (10.0.2)$$

$$\frac{G_{1(ISO)}}{G_{2(ISO)}} \quad (10.0.3)$$

$$\frac{P_{L,2} |E_{\vartheta}|_{max,1}^2}{P_{L,1} |E_{\vartheta}|_{max,2}^2} \quad (10.0.4)$$

P ... Leistung []

Φ ... Strahlungsintensivität [/sr]=[]

Ω ... Äquivalenter Raumwinkel [sr]=[1]

G ... Gewinn [1]

E ... Feldstärke []

11 Antennen

Anpassungsnetzwerk 44.

Eine Antenne mit $4000\ \Omega$ Fusspunktimpedanz soll mit einem Koaxialkabel von $50\ \Omega$ Impedanz gespeist werden. Welche Aufgabe hat hierbei ein Anpassungsnetzwerk, und wo wäre es im Idealfall anzuordnen?

Hinweis:

Seite 127

Lösung 44.

Anzuordnen: Zwischen Antenne und Leitung

Das Anpassungsnetzwerk wirkt als Impedanzwandler der auf der einen Seite $50\ \Omega$ und auf der Anderen $4000\ \Omega$ Wellenwiderstand besitzt. Anpassung für maximale Wirkleistungsübertragung $Z'_G = Z_A^*$

Antennenfläche & Antennengewinn 45.

Wie lautet der Zusammenhang zwischen wirksamer Antennenfläche und dem Antennengewinn für einen Flächenwirkungsgrad $w = 1$?

Hinweis:

Skript Seite 109

Lösung 45.

$$G_{\text{ISO}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \cdot w \quad (11.0.1)$$

$$G_{\text{ISO}} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \quad (11.0.2)$$

Antennen 46.

Nennen Sie fünf wichtige Eigenschaften von Antennen! (2 P.)

Hinweis:

Skript Kapitel 11

Lösung 46.

- Polariation
- Gewinn
- Bandbreite
- (Grund-) Frequenz
- EIRP/ERP
- Richtdiagramm
- Impedanz
- Direktivität
- Befestigung / Stabilität
- Baugröße
- Kosten

Bandbreite 47.

Wie kann man die Bandbreite einer Antenne definieren?

Hinweis:

Skript Seite 116

Lösung 47.

Die Bandbreite einer Antenne ist jener Frequenzbereich, in dem sie die an sie gestellten Anforderungen hinsichtlich

- Gewinn
- Richtcharakteristik
- Eingangsimpedanz
- Polarisation

erfüllt.

Breitbandantennen 48.

Nennen Sie zwei breitbandige Antennen!

Hinweis:

Skript Seite 119

Lösung 48.

- Langdrahtantenne
- Logarithmische Spiralantenne
- Logarithmische periodische Antenne
- winkelkonstante konische Antenne

Drehkreuzantenne 1 49.

Welches Anwendungsgebiet hat eine Drehkreuzantenne?

Hinweis:

Skript Seite 112

Lösung 49.

Drehpolarisationen. Man kann auch jede linear polarisierte Welle empfangen, unter Verlust von 3.

Effektive Antennenfläche 50.

Was sagt die effektive Antennenfläche über eine beliebige Antenne aus?

Lösung 50.

Effektiver Antennengewinn 51.

Was ist der effektive Antennengewinn und wie wirkt er sich aus?

Lösung 51.

Kreuzpolarisation 52.

Was verstehen Sie im Laborjargon unter Kreuzpolarisation?

Hinweis:

Skript Seite 112

Lösung 52.

Kreuzpolarisation ist das Verhältnis der abgestrahlten Leistung in der beabsichtigten Polarisation zur abgestrahlten Leistung in der orthogonalen Polarisation.

LNB und LNC 53.

Was ist ein LNB bzw. LNC? Aus welchen Komponenten besteht er und wo wird er verwendet?

Lösung 53.

Logarithmisch Periodisch 54.

Sie wollen bei einem bestehenden Design einer Logarithmisch-Periodischen-Antenne die Bandbreite zu tiefen Frequenzen hin vergrößern: Wo fügen Sie ein Element hinzu? (Skizze!)

Lösung 54.

Wenn das längste Element die Länge l hat und das zweitlängste die Länge l/τ , so muss das neue Element $l \cdot \tau$ lang sein. Gleiches gilt auch für die Position!

Strahlengang Offset Parabolantenne 55.

Skizzieren Sie den Strahlengang einer Offset-Feed Parabolantenne.

Lösung 55.

Antennen ordnen 56.

Ordnen Sie folgende Antennen aufsteigend nach (a) Länge, (b) Betrag der Eingangsimpedanz:

$\lambda/2$ -Dipol, λ -Dipol, Herz'scher Dipol

Lösung 56.

Rayleighdistanz 57.

Mit Hilfe welcher Größe (Name) unterscheidet man Nah- und Fernzone einer Antenne und welchen Wert hat sie (Formel)? Geben Sie Bedeutung und Einheit der verwendeten Größen an.

Hinweis:

Skript Seite 101

Lösung 57.

Rayleighdistanz:

$$r_R = \frac{2D^2}{\lambda} (+\lambda) \quad (11.0.3)$$

$$r_R > d \rightarrow \text{Nahfeld} \quad (11.0.4)$$

$$r_R < d \rightarrow \text{Fernfeld} \quad (11.0.5)$$

D ... maximale Antennenquerabmessung []

λ ... Wellenlänge []

d ... Abstand zum Sender []

Reziprozitätstheorem 58.

Was besagt das Reziprozitätstheorem bei Antennen? Welche Voraussetzungen müssen gelten, damit es anwendbar ist?

Lösung 58.

Richtcharakteristik 59.

Welche Richtcharakteristik hat ein Hertz'scher Dipol? Welchen Gewinn hat er über dem Isotropstrahler?

Hinweis:

Skript Seiten 102, 108

Lösung 59.

$$\frac{E_{\vartheta}}{E_{\vartheta}(\pi/2)} = \frac{H_{\vartheta}}{H_{\vartheta}(\pi/2)} = HD(\vartheta, \varphi) = \sin(\vartheta) \quad (11.0.6)$$

$$G_{ISO}(HD) = \frac{3}{2} \hat{=} 1,76 \text{ dBi} \quad (11.0.7)$$

Schmalbandantennen 60.

Nennen Sie zwei schmalbandige Antennen!

Hinweis:

Skript Seite 118–119

Lösung 60.

Schmalband ist Definiert als $B_s \cdot \Delta\tau_{max} \ll 1$

- Halbwellendipol
- Ganzwellendipol

Strom und Spannungsverteilung 1 61.

Skizzieren sie die Stromverteilung und die Spannungsverteilung auf einem in der Mitte gespeisten Dipol der Länge $3\lambda/2$!

Hinweis:

Lösung 61.

bitte ergänzen!!!!

Strom und Spannungsverteilung 3 62.

Skizzieren sie die Stromverteilung und die Spannungsverteilung auf einem in der Mitte gespeisten Dipol der Länge λ !

Hinweis:

Lösung 62.

bitte ergänzen!!!!

Stehwellenverhältnis VSWR 63.

Was gibt das Stehwellenverhältnis VSWR an, und wo wird es verwendet?

Hinweis:

Skript Seite 127

Lösung 63.

Das Stehwellenverhältnis (VSWR Voltage standing wave ratio) ist ein Güte-merkmal der Anpassung einer Antenne an die Speiseleitung.

$$m = VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} = \frac{|U_{max}|}{|U_{min}|} \quad (11.0.8)$$

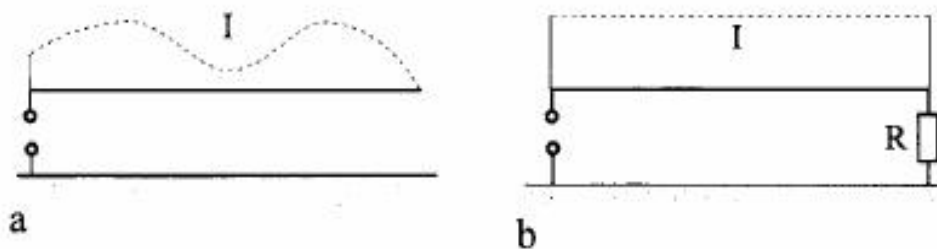
$$\rho = \frac{Z_G - Z_A}{Z_G + Z_A} \quad (11.0.9)$$

Beverage-Antenne 64.

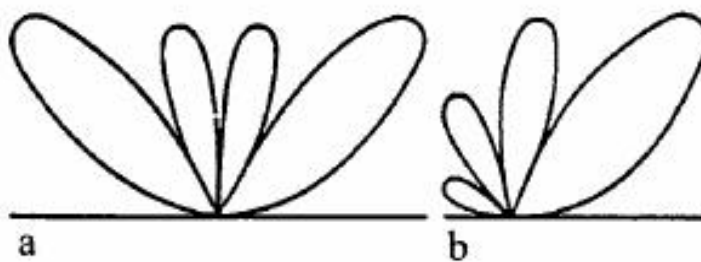
Beschreiben und skizzieren Sie den Aufbau und die Eigenschaften einer Beverage-Antenne. Warum wird diese Antenne nur für Sender kleiner Leistung verwendet?

Lösung 64.

Die Beverage-Antenne (Langdrahtantenne) hat kein festes Verhältnis von Abmessung zu Wellenlänge. Die Länge beträgt üblicherweise 5 bis 10λ . Durch einen Abschlusswiderstand erhält die Welle eine ausgeprägte Richtwirkung. Die Antenne wird nur für Sender kleiner Leistungen eingesetzt, weil durch den Abschlusswiderstand der Wirkungsgrad niedrig ist.



a am Ende offen; b abgeschlossen



Vertikalcharakteristik

a bei offenem; b bei abgeschlossenem Ende

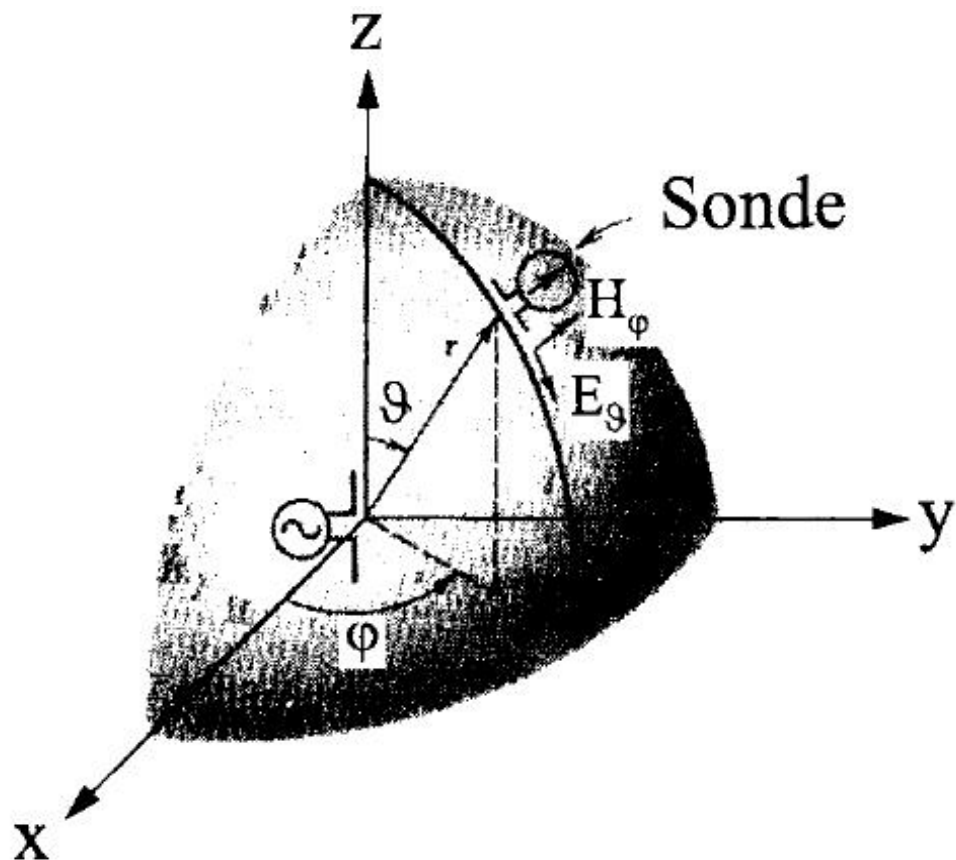
Antennengewinn 2 65.

Geben Sie zwei praxisgerechte Verfahren für die Bestimmung des Antennengewinnes an (Skizze). Welche Länge muss das für die Messung verwendete Funkfeld haben?

Hinweis:

Skript Seite 107

Lösung 65.



Da es sich um das Fernfeld handelt, muss die Distanz größer als die Rayleigh-distanz sein.

- Feldstärke (im Fernfeld) zur Feldstärke der Vergleichsantenne bei gleicher Leistung am Eingang.
- Einsparung an verfügbarer Leistung für die Versuchsantenne gegenüber Vergleichsantenne bei gleicher Fernfeldstärke

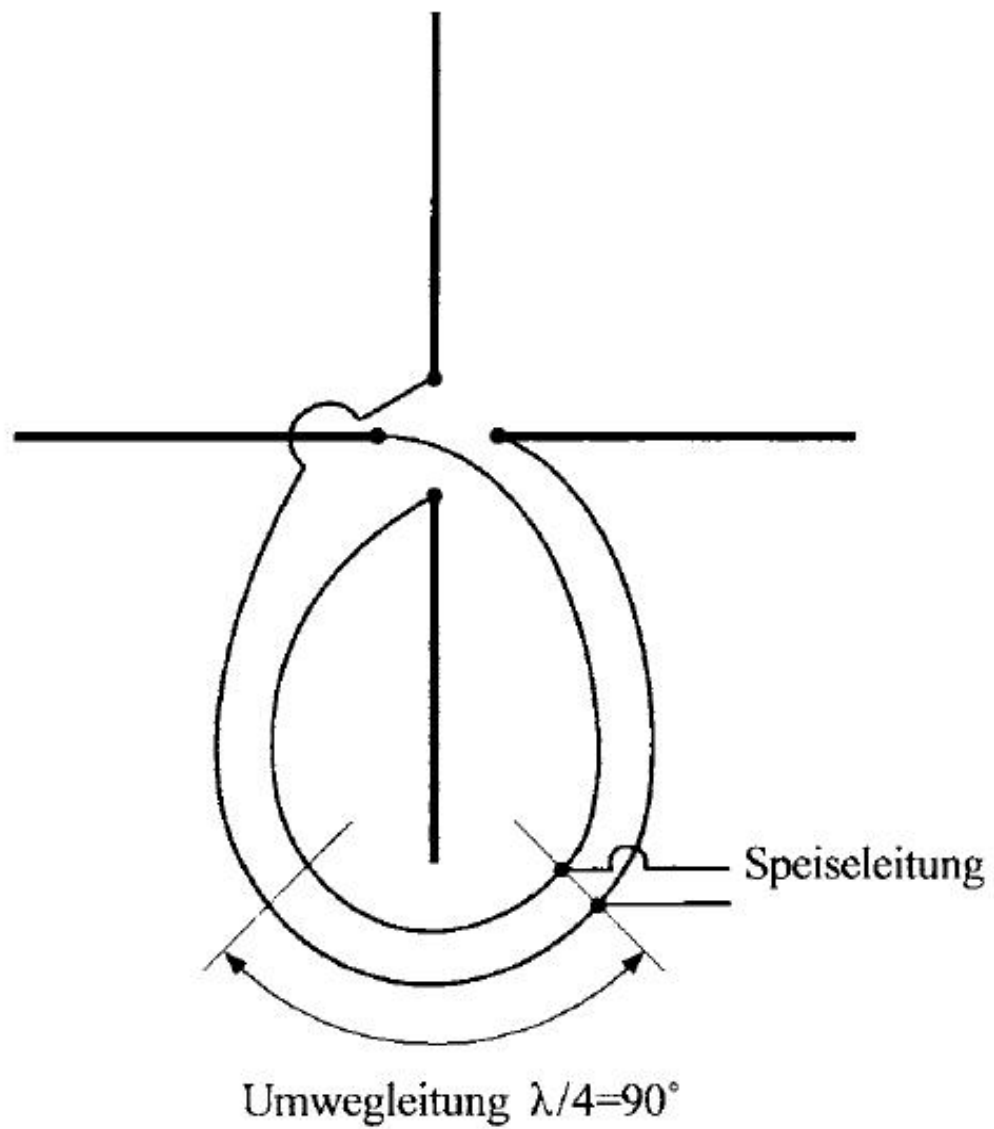
Drehkreuzantenne 2 66.

Skizzieren Sie eine Drehkreuzantenne inklusive der Speiseleitung!

Hinweis:

Skript Seite 112

Lösung 66.



Zwei Dipole um 90° gegeneinander verdreht. Die Speiseleitung eines Dipols ist um $\lambda/4$ länger. Dadurch ergibt sich eine Phasenverschiebung um 90° , und eine Drehpolarisation.

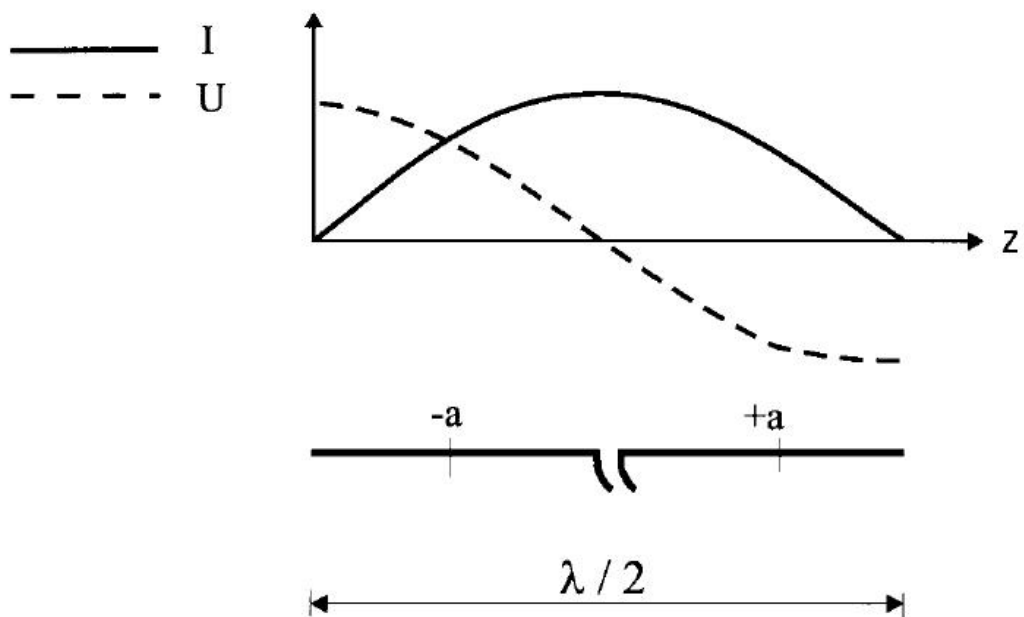
Strom-/Spannungsverteilung auf Dipol 67.

Skizzieren Sie die Stromverteilung und die Spannungsverteilung auf einem in der Mitte gespeisten Dipol der Länge $\lambda/2$!

Hinweis:

Skript Seite 118–119

Lösung 67.



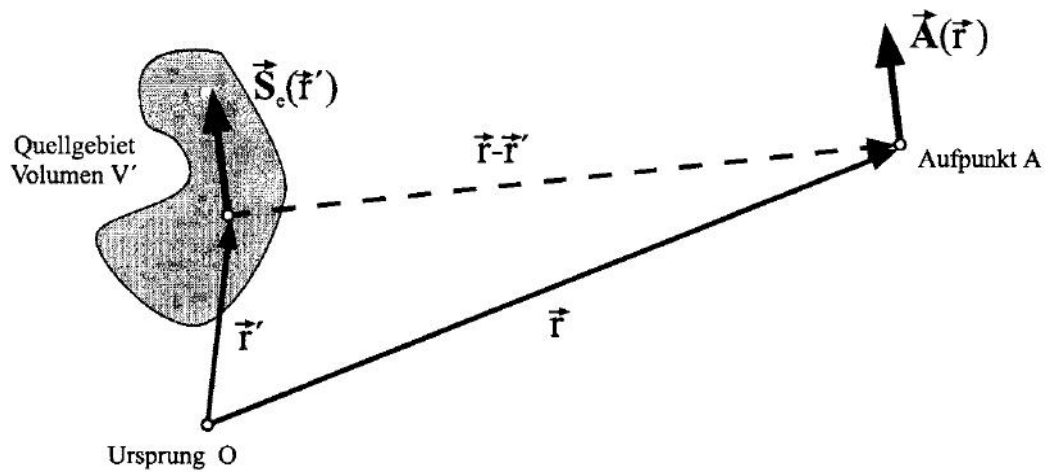
Helmholtz 68.

Wie lautet die Lösung der inhomogenen Helmholtzgleichung für das Vektorpotential \vec{A} bei bekannter Dichte der eingepprägten Ströme \vec{S}_e ? Zeichnen sie eine Skizze der Geometrie!

Hinweis:

Lösung 68.

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \int \frac{\vec{S}_e(\vec{r}') \cdot e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} dV'$$



12 Wellen im freien Raum

Radarquerschnitt 69.

Was ist der Radarquerschnitt eines Objektes? Erläutern Sie das zu Grunde liegende Konzept hinsichtlich der äquivalenten Abstrahlung.

Hinweis:

Lösung 69.

$$\sigma = G_{iso} \cdot A = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A^2 \quad (12.0.1)$$

Radarsystem 70.

Ein Radarsystem arbeitet mit einer Impulssendeleistung von 1 kW . Welche Sendeleistung benötigen Sie bei sonst gleichbleibender Spezifikation, wenn das SNR um 6 dB verbessert werden soll?

Lösung 70.

13 Mehrwegeausbreitung

LOS Bedingung 71.

Was ist die Bedingung für eine Line-Of-Sight (LOS) Verbindung?

Hinweis:

Lösung 71.

Geraten: Dass die erste Fresnelzone frei ist.

$$r = \sqrt{\frac{d\lambda}{4}} \quad (13.0.1)$$

Mean Effektive Gain 72.

Was ist der Mean Effektive Gain und in welchem Zusammenhang wird er verwendet?

Lösung 72.

Wenn mehrere Wellen auf die Antenne einfallen (z.B. im Mobilfunk), kann nicht mehr der ursprüngliche Gewinn für HEW verwendet werden. Die Gewinndefinition wird mit Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(\theta, \varphi)$ der HEW über alle möglichen Empfangsrichtungen zu einem richtungsabhängigen Gewinn erweitert. MEG kommt vorallem im Mobilfunk zur Anwendung. Im Pegelplan wird der ideale Gewinn der Handy-Antenne durch den MEG ersetzt. Ein typischerweise liegt der Wert bei ca. -10dBi, welcher den Effekt der Mehrwegeausbreitung in Kombination mit der Handy-Antenne, Hand, Kopf und Schulter des Benützers vereint.

$$MEG = \int_{4\pi} G(\vartheta, \varphi) p(\vartheta, \varphi) d\Omega \quad (13.0.2)$$

Mobilfunkantennen 73.

Warum sind Mobilfunkantennen hoch und schlank, während hingegen Radarantennen niedrig und breit sind?

Lösung 73.

Bei Mobilfunkantennen möchte man um den Masten möglichst viele Antennen positionieren, um voneinander getrennte Zellen zu haben, welche eine möglichst hohe Reichweite erzielen sollen. Radarantennen sind niedrig und breit um das reflektierte Signal möglichst gut empfangen zu können, da es durch reflexionen auch aus verschiedenen Richtungen kommen kann.

Ausbreitungsphänomene 74.

Welche Ausbreitungsphänomene werden durch eine Rayleigh- bzw. durch eine Rice-Verteilung beschrieben?

Lösung 74.

Orts- und Zeitabhängiger Schwund, Zeitmarkante 2-Wegeausbreitung, Inter-symbolinterferenz (ISI)

Schwund 75.

Wann ist ein System bezüglich des Schwundes schmalbandig und wann breitbandig?

Lösung 75.

Breitbandiges System: Wenn mehrere Schwundlöcher innerhalb des Systembandbreite sind. Verschiedene Frequenzbereiche schwinden unabhängig voneinander, der Schwund ist frequenzselektiv. $B_S \cdot \Delta\tau_{max} \gg 1$

Schmalbandiges System: Wenn das Übertragungsband als Ganzes schwindet. Außerdem, wenn die Bandbreite des Systems wesentlich kleiner als der Frequenzabstand der Schwundlöcher ist. $B_S \cdot \Delta\tau_{max} \ll 1$

Weibull-Plot 76.

Was ist ein Weibull-Plot und wie sieht darin eine Rayleigh-Verteilung aus?

Lösung 76.

Statistik der Empfangspegel (Unterschreitungswahrscheinlichkeit über Empfangsleistung in dB) bei kleinräumigen Schwund wird dann recht gut durch die Rayleigh-Verteilung beschrieben. Man kann sehen, ob eine Rayleigh Verteilung vorliegt, wenn man die Messwerte in ein Weibull-Papier einträgt. Dann erscheint die Rayleigh-Verteilung als eine Gerade.