



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 1:

Gegeben sind die Parallelschaltungen folgender Impedanzen:

- I. $300 \, \Omega \parallel j20 \, \Omega$
- II. $10 \, \Omega \parallel j150 \, \Omega$
- III. $25 \, \Omega \parallel -j5 \, \Omega$

- a) Wandeln Sie die gegebenen Parallelschaltungen in entsprechende Serienschaltungen um (exakt).
- b) Wandeln Sie die gegebenen Parallelschaltungen mit Hilfe von Näherungen in entsprechende Serienschaltungen um.
- c) Wie groß ist der durch die Näherungen entstandene Fehler des Betrags in Prozent?



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 2:

Ein Generator mit der Leerlaufspannung U_0 (Scheitelwert) und dem Innenwiderstand \underline{Z}_i speist die nachstehende Kettenschaltung aus Vierpolen mit dem reellen Verbraucher Z_3 .

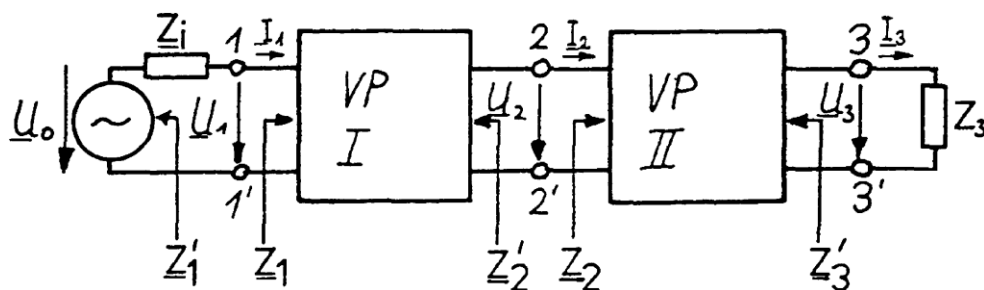
Gegeben:

$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$\underline{Z}_i = (100 + j \cdot 100) \Omega$$

$$Z_3 = 50 \Omega$$

Die Vierpole I und II sind verlustlos.



\underline{Z}_1 und \underline{Z}_2 sind die komplexen Impedanzen, die man am Eingang der Vierpole misst, wenn die Schaltung links von den entsprechenden Klemmen abgetrennt ist.

$$\underline{Z}_1 = (100 - j \cdot 100) \Omega,$$

$$\underline{Z}_2 = (80 + j \cdot 40) \Omega$$

- Wie groß ist die Wirkleistung P_1 , die der Generator an den Klemmen 1 und 1' an die Schaltung abgibt und wie groß ist die Leistung P_3 im Verbraucher Z_3 ?
- Ermitteln Sie die Stromamplituden $|I_1|$, $|I_2|$ und $|I_3|$ sowie die Spannungsamplituden $|U_1|$, $|U_2|$ und $|U_3|$!
- Welche Impedanzen \underline{Z}_3' , \underline{Z}_2' und \underline{Z}_1' misst man, wenn die Schaltung jeweils nach rechts von den entsprechenden Klemmen abgetrennt ist?
- Ermitteln Sie die Kurzschlussstromamplituden $|I_1'|$, $|I_2'|$ und $|I_3'|$ sowie die Leerlaufspannungsamplituden $|U_1'|$, $|U_2'|$ und $|U_3'|$!



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 3:

Mit Hilfe eines Kondensators und einer Spule soll ein Hochpassfilter aufgebaut werden. Im ersten Schritt können beide Elemente als ideale Bauteile angenommen werden.

Die Bauteilwerte sind gegeben mit:

$$C_s = 10\text{nF}$$

und

$$L_p = 10\text{nH}.$$

- a) Skizzieren Sie das Schaltbild des unbelasteten Hochpassfilters und geben Sie dessen Resonanzfrequenz an.
- b) Bestimmen Sie den Betrag des Quotienten $U_{\text{Ausgang}}/U_{\text{Eingang}}$ und skizzieren Sie dessen Verlauf über der Frequenz

Für eine genauere Betrachtung des Verhaltens des Filters sollen nun Verluste sowie parasitäre Effekte der Bauelemente berücksichtigt werden. Die auftretende parasitären Kapazitäten der Spule werden in $C_p=5\text{nH}$ und die auftretende parasitären Induktivitäten des Kondensators in $L_s=5\text{nH}$ zusammengefasst. Die Verluste der Elemente werden gemäß der Vorlesung durch die Widerstände $R_{cp} = 10 \Omega$ beziehungsweise $R_{ls} = 0,1 \Omega$ berücksichtigt.

- c) Geben Sie das Schaltbild des Filters bestehend aus C_s , L_p , C_p , C_s sowie den beiden Widerständen an.
- d) Unter der Annahme, dass die Verluste klein sind (hohe Güte) können die aus der Vorlesung bekannten „Näherungsformeln zur Inversion“ verwendet werden. Wenden Sie diese bei den entsprechenden Elementen an, damit sich ein Schaltbild aus abwechselnder Serien- und Parallelschaltung ergibt.
- e) Bestimmen Sie nun den Quotienten $U_{\text{Ausgang}}/U_{\text{Eingang}}$
- f) Skizzieren Sie dessen Betragsverlauf über der Frequenz ohne Berücksichtigung der Verluste
- g) Skizzieren Sie nun den Betragsverlauf über der Frequenz unter Berücksichtigung der Verluste



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 4:

Eine Hochfrequenzstromquelle mit frequenzunabhängigem Strom I_0 und dem Innenleitwert G_i speist mit Hilfe der Koppelkapazität C_k einen Empfänger, dessen Eingangsimpedanz durch die Parallelschaltung von C , L und G gegeben ist. Sämtliche Blindwiderstände sind verlustlos.

Gegeben:

$$f = 1 \text{ MHz}$$

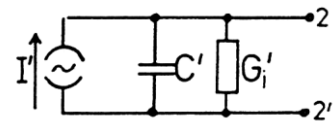
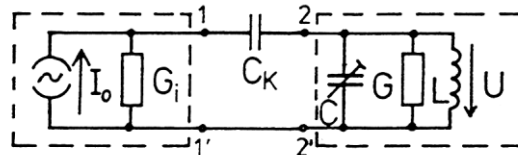
$$I_0 = 0,1 \text{ mA}$$

$$G_i = 3,55 \text{ mS}$$

$$C_k = 30 \text{ pF}$$

$$G = 0,1 \text{ mS}$$

$$L = 50 \text{ }\mu\text{H}$$



- a) Der Empfänger ist bei den Klemmen 2-2' vom Generator abgetrennt.
 - α) Wie groß ist die Güte Q_e des Empfängereingangskreises?
 - β) Welche Kapazität $C = C_1$ muss man für Resonanz bei $f = 1 \text{ MHz}$ einstellen?
- b) Die Klemmen 1 und 2 und die Klemmen 1' und 2' sind direkt miteinander verbunden. Die Kapazität C behält dieselbe Einstellung wie unter a).
 - α) Welche Güte Q besitzt die Schaltung bei dieser Betriebsart?
 - β) Welche maximale Spannung U stellt sich bei Resonanz am Parallelkreis ein?
- c) Die Klemmen 1, 2 sind nun nicht mehr direkt, sondern über C_k miteinander verbunden (wie in der Schaltung oben). Für die Schaltung links von den Klemmen 2-2' lässt sich die nebenstehende Ersatzschaltung finden.

Ermitteln Sie näherungsweise die Werte für I' , C' , G_i' !
- d) Für die Betriebsart nach Frage c) soll bei $f = 1 \text{ MHz}$ Resonanz herrschen.
 - α) Welchen Wert $C = C_2$ muss man nun einstellen?
 - β) Wie groß ist die Spannung U am Parallelkreis?
 - γ) Welche Bandbreite b_k besitzt die Schaltung?



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 5:

Bild 1 zeigt die Schaltung eines elektronisch abstimmbaren Schwingkreises, der im Frequenzbereich zwischen $f_{R1} = 100 \text{ MHz}$ und $f_{R2} = 150 \text{ MHz}$ abgestimmt werden soll.

Der Kondensator C_∞ verhindert einen Kurzschluss der Gleichspannung U_0 . Seine Kapazität ist so groß, dass sein Blindwiderstand in diesem Frequenzbereich vernachlässigt werden kann.

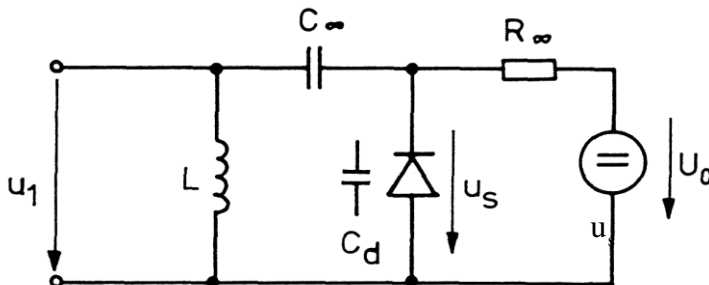


Bild 1: Schwingkreis mit Kapazitätsdiode

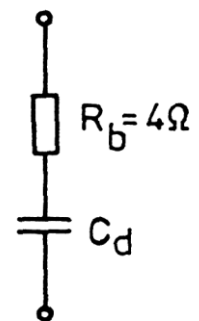


Bild 2: ESB der Kapazitätsdiode

Für Spannungen $u_s > 0,2 \text{ V}$ gilt für die Kapazität C_d :

$$C_d = \frac{C_{d0}}{\sqrt{1 + \frac{u_s}{U_d}}}$$

mit $U_d = 0,6 \text{ V}$ (Diffusionsspannung) und $C_{d0} = 10 \text{ pF}$

- Stellen Sie den Verlauf der Kapazität C_d in Abhängigkeit von u_s im Bereich $0,2 \text{ V} < u_s < 20 \text{ V}$ dar!
- Die Induktivität L soll so gewählt werden, dass sich bei der Frequenz f_{R1} zusammen mit der Kapazität $C_d = 5 \text{ pF}$ Resonanz einstellt.



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

- c) Zeichnen Sie ein HF-ESB des Resonanzkreises, in dem die Diode durch ihr Ersatzschaltbild (Bild 2) dargestellt ist!

Die Induktivität L sei verlustlos. Wandeln Sie das ESB der Kapazitätsdiode in eine Parallelschaltung um und berechnen Sie die Schwingkreisgüte Q_k !

- d) Innerhalb welcher Grenzen muss die Gleichspannung U_0 einstellbar sein, damit sich der geforderte Abstimmbereich ergibt?

- e) Entwickeln Sie den Blindwiderstand $|X_C| = \frac{1}{\omega_{R1} C_d u_s}$

in eine Taylorreihe um $u_s = U_0$ mit $\Delta u = u_s - U_0$ und brechen Sie die Reihe nach dem quadratischen Glied ab!

$$|X_C| = X_{C0} + S_x \Delta u + k_{x2} \Delta u^2 + \dots$$

Die Vorspannung U_0 der Kapazitätsdiode sei im Folgenden so eingestellt, dass sich die Resonanzfrequenz f_{R1} ergibt.

- f) Berechnen Sie die Koeffizienten der Taylorreihe!

Am Schwingkreis liege nun eine zusätzliche Wechselspannung an:

$$u_1 = U_1 \cos \omega_{R1} t \quad \text{mit} \quad U_1 = 1 \text{ V}$$

- g) Geben Sie die zeitliche Abhängigkeit der Diodenkapazität $C_d t$ an! Ermitteln Sie die Verschiebung der Resonanzfrequenz durch das quadratische Glied der Taylorreihe!
- h) Berechnen Sie die Schwingkreisgüte und die Verschiebung der Resonanzfrequenz, wenn die bisher betrachtete Schaltung nach Bild 3 ersetzt wird! Hierbei seien die beiden Kapazitätsdioden identisch (Kenndaten wie oben).

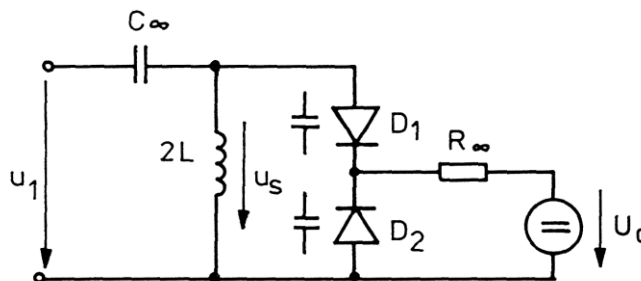


Bild 3: Abstimmung des Resonanzkreises mit zwei Kapazitätsdioden



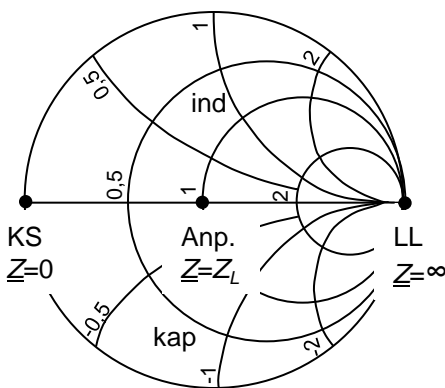
Ergänzungsblatt zu den Übungen „Hochfrequenztechnik I“

Zur Anwendung des Smith- Diagramms

Normierung grundsätzlich auf Wellenwiderstand Z_L (bzw. –leitwert Y_L) der transformierenden Leitung!

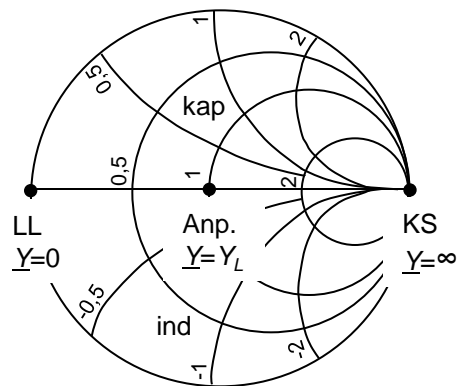
Impedanz-Smith-Diagramm

(komplexe \underline{z} -Ebene)



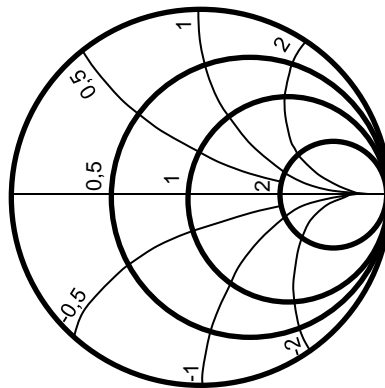
Admittanz-Smith-Diagramm

(komplexe $(-\underline{y})$ -Ebene)



Kreise durch $\underline{z}=1$ mit Mittelpunkten auf reeller Achse zwischen $\underline{z}=0$ und $\underline{z}=1$

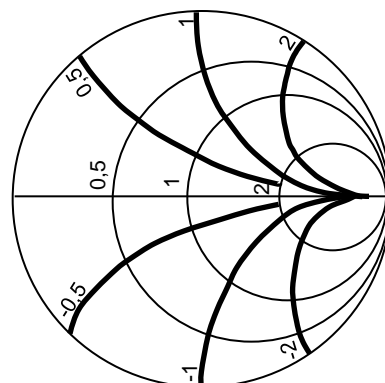
Konstanter Realteil R des
kompl. Widerstands \underline{Z}



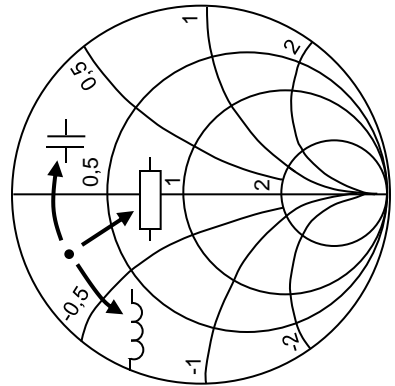
Konstanter Realteil G des
kompl. Leitwerts \underline{Y}

Kreise durch $\underline{z}=1$ mit Mittelpunkten auf der Geraden $\text{Re}\{\underline{z}\}=1$

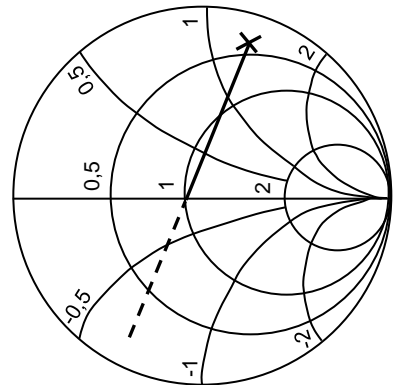
Konstanter Imag.-Teil X des
kompl. Widerstandes \underline{Z}



Konstanter Imag.-Teil B
des kompl. Leitwerts \underline{Y}

$(G/Y_L, 1/\omega LY_L, \omega C/Y_L)$ 

(Umwandlung komplexer Widerstand – komplexer Leitwert)

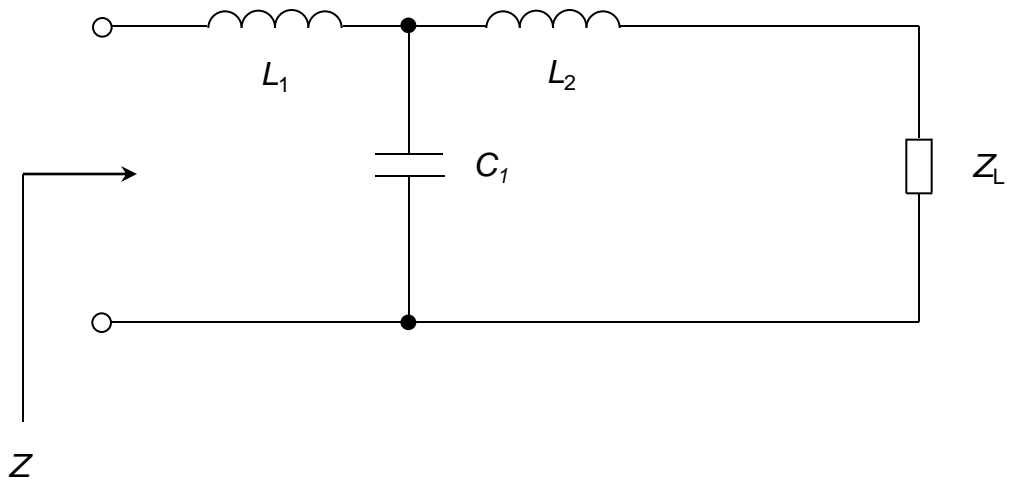


Spiegelung am Mittelpunkt

(gilt sowohl im Impedanz- als auch im Admittanz-Smith-Diagramm)

-----→ Kreisbewegung gegen Uhrzeigersinn
(math. positiv)

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 6:

Gegeben ist der oben abgebildete, als T-Glied realisierte Phasenschieber .
Es soll gelten: $L_1 = L_2$ und $Z_L = 50\Omega$.

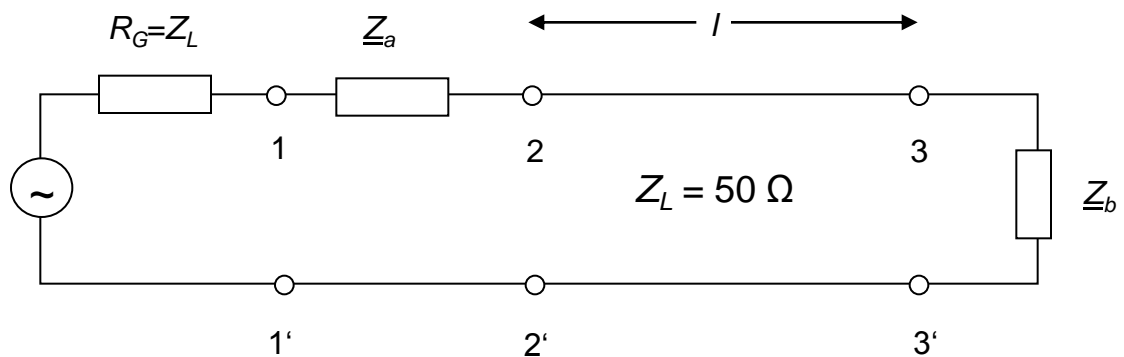
- Entwerfen Sie qualitativ das Zeigerdiagramm für Strom und Spannung. Tragen Sie darin alle auftretende Ströme und Spannungen ein.
- Wie groß muss die Kapazität C_1 in Abhängigkeit von der Frequenz gewählt werden, damit keine Transformation des Widerstands Z_L auftritt, d.h. $Z = Z_L$ ist?
- Bestimmen Sie mit Hilfe des Zusammenhangs aus b) C_1 für $L_1 = L_2 = 0,636\text{nH}$ und $f = 10\text{GHz}$.
- Zeichnen Sie die Transformationswege in das auf Z_L normierte Smith-Diagramm ein und vergleichen Sie die Ergebnisse.



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 7:

Die verlustlose Luftleitung 2-3 ist mit dem Widerstand \underline{Z}_b , der bei der Betriebsfrequenz 600 MHz den Wert $\underline{Z}_b = (65 + j 85) \Omega$ hat, abgeschlossen.



- Auf welchen Widerstand muss man das Smith- Diagramm normieren? Tragen Sie die Impedanz \underline{Z}_b ein.
- Auf welchem geometrischen Ort transformiert die Leitung 2-3 im Smith- Diagramm, wenn die Länge l variiert wird? Welche reellen Eingangswiderstände können dabei an den Klemmen 2-2' auftreten?
- Welchen Wert nimmt der (von den Klemmen 2-2' nach rechts gemessene) Widerstand \underline{Z}_2 an, wenn $l = 6,7 \text{ cm}$ ist?
- Tragen Sie in das Smithdiagramm die Transformationsrichtungen ein, wenn \underline{Z}_a
 - ein Serienwiderstand
 - eine Serieninduktivität
 - einen Serienkapazität ist.
- Wie groß muss \underline{Z}_a sein, damit an den Klemmen 1-1' Anpassung herrscht?

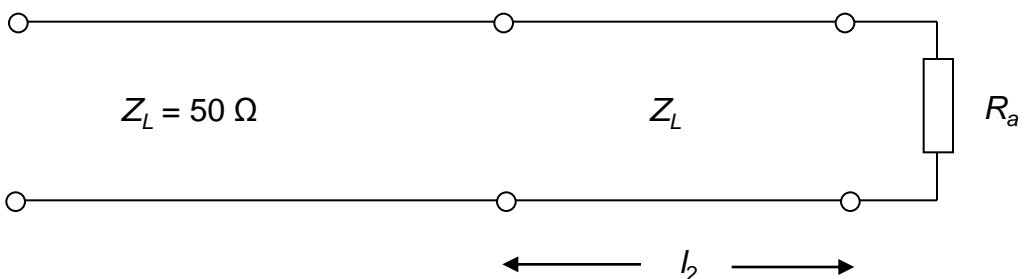
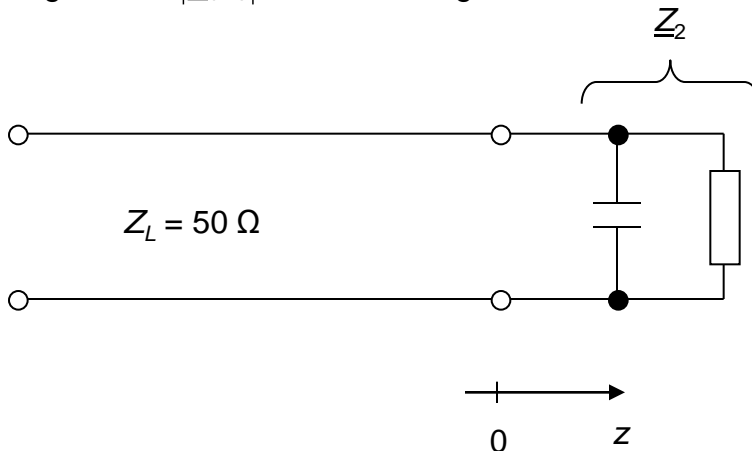


Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 8:

Eine Leitung der Länge l mit dem Wellenwiderstand Z_L sei mit einem komplexen Widerstand $\underline{Z}_2 = (1 - j 0,7) \cdot 50 \, \Omega$ abgeschlossen.

- Der komplexe Widerstand \underline{Z}_2 lässt sich als reeller Widerstand R_a mit einem vorgeschaltetem Leitungsstück (Wellenwiderstand Z_L) der Länge l_2 darstellen. Bestimmen Sie R_a und l_2/λ mit Hilfe des Smith-Diagramms (R_a soll kleiner als Z_L sein).
- Zeichnen Sie gemäß dem Prinzip der „durchgehenden Wirkleistung“ den Spannungsverlauf $|\underline{U}(z)|$ auf der Leitung.





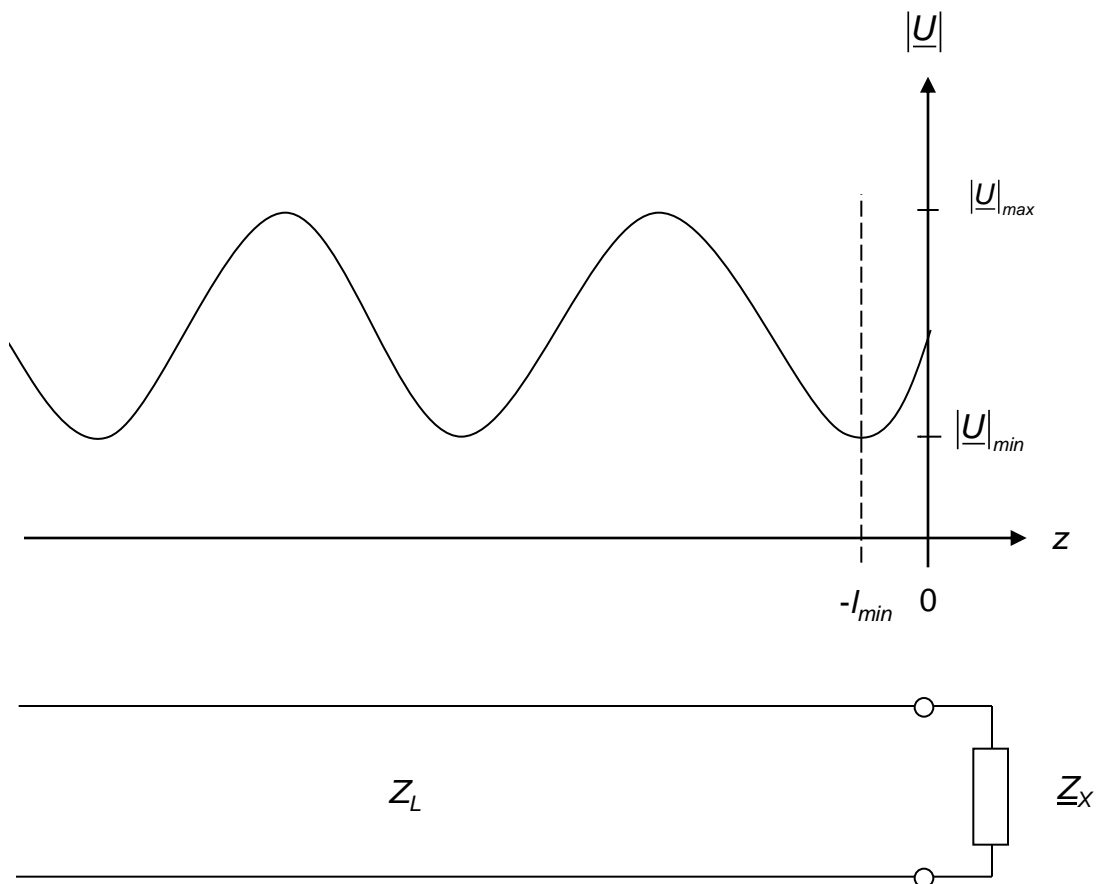
Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 9:

Mit Hilfe einer geschlitzten Messleitung ($Z_L = 50 \, \Omega$) soll eine unbekannte Impedanz Z_X bestimmt werden. Mit einer Sonde wurde der Verlauf des Betrages der Spannung $|\underline{U}|$ entlang der Leitung gemessen, wobei sich die folgenden Werte ergaben:

$$\frac{|\underline{U}|_{\max}}{|\underline{U}|_{\min}} = 3$$

$$\frac{l_{\min}}{\lambda} = 0,193$$



Berechnen Sie aus dem Verhältnis der maximalen zur minimalen Spannung und der Leitungslänge l_{\min}/λ den komplexen Widerstand Z_X .

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 10:

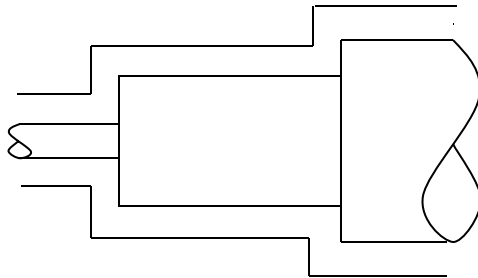


Bild 1

Gegeben sei die koaxiale Leiterstruktur gemäß Bild 1 mit annähernd konstantem Wellenwiderstand. Durch Messung ergab sich, dass dieser Übergang durch die Ersatzschaltung nach Bild 2 beschrieben werden kann.

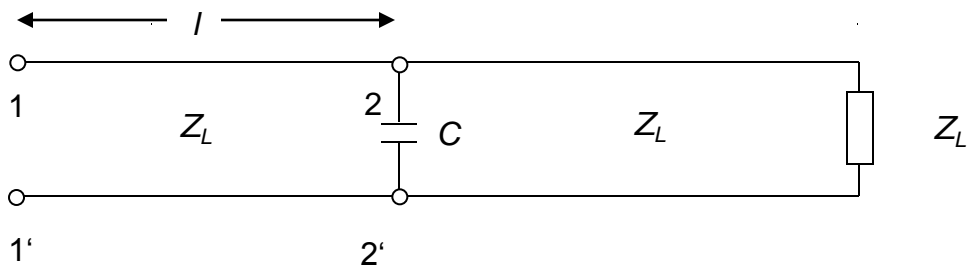


Bild 2

Es soll im Folgenden untersucht werden, welchen Einfluss eine Kapazität im Abstand l von den Eingangsklemmen hat.

- Stellen Sie die rechts von den Punkten 2-2' liegende Anordnung durch ein Ersatzschaltbild dar. Welchen Widerstand „sieht“ der Kondensator und welche Zeitkonstante τ_{Ca} ergibt sich daraus?
- An den Klemmen 1-1' werde nun ein Generator mit dem Innenwiderstand $Z_i = Z_L$ angeschlossen, der einen Spannungssprung nach Bild 3 abgibt. Welche Zeitkonstante τ_{Cb} ergibt sich nun? Ermitteln Sie die Spannung $u_1(t)$ an den Klemmen 1-1'.

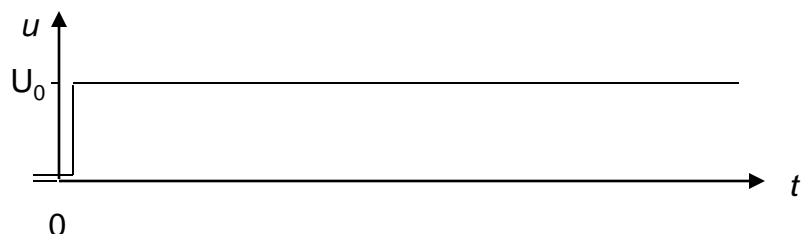
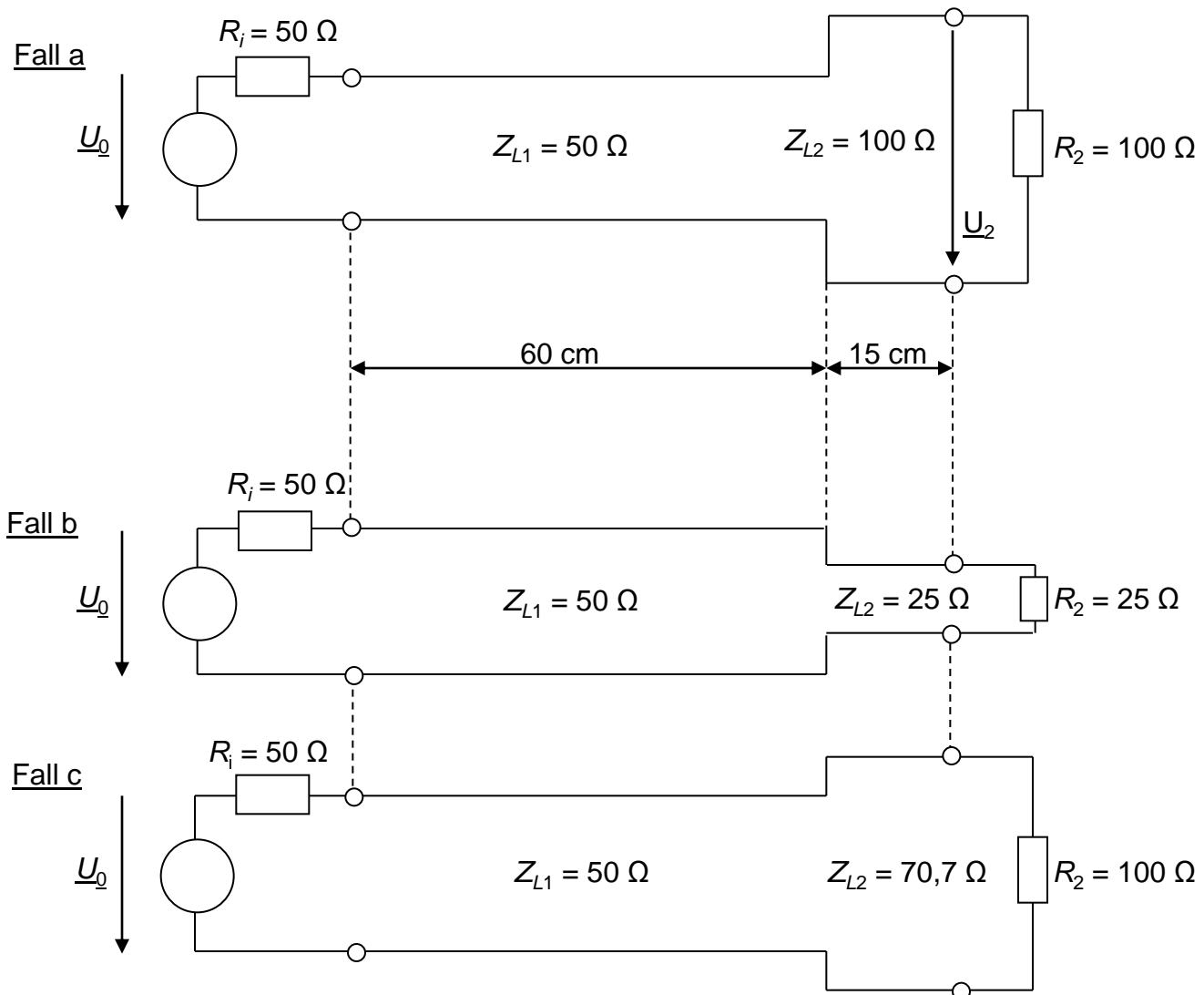


Bild 3

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 11:



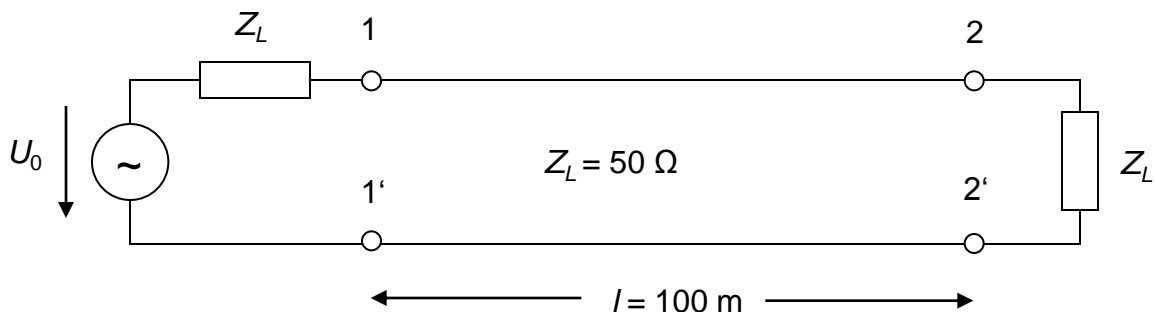
- Für die oben dargestellten Fälle a-c ist der Verlauf der Spannung $|\underline{U}(z)|$ sowie des Stromes $|\underline{I}(z)|$ längs der Leitung bei einer Betriebsfrequenz von $f = 500 \text{ MHz}$ und $U_0 = 10 \text{ V}$ zu bestimmen.
- Welche Verläufe von $|\underline{U}(z)|$ und $|\underline{I}(z)|$ ergeben sich bei den gleichen Betriebsbedingungen und $R_2 = 0$ im Fall a ?



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 12:

Es wird eine Koaxialleitung der Länge $l = 100 \text{ m}$ mit dem Wellenwiderstand $Z_L = 50 \Omega$ näher untersucht. Die Leiter sind aus Kupfer ($\kappa = 58 \cdot 10^6 \text{ S/m}$), das Dielektrikum Polyäthylen mit der relativen Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r = 2,2$ wird als verlustfrei angenommen.

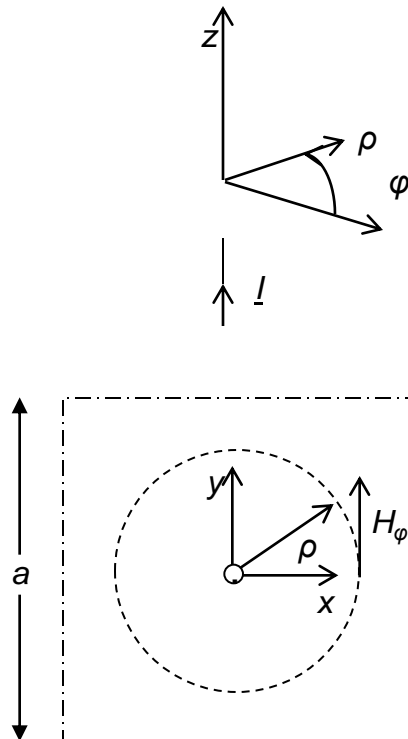


- Wie groß ist der Durchmesser D des Außenleiters zu wählen, wenn der Außendurchmesser des Innenleiters $d = 1 \text{ mm}$ beträgt?
- Wie groß ist die an den Klemmen 1-1' in die Leitung einströmende Leistung P für $U_0 = 10 \text{ V}$?
- Wie groß ist die Dämpfungskonstante α des Kabels bei $f = 300 \text{ MHz}$?
- Geben Sie die Dämpfung a des Kabelstücks bei dieser Frequenz in dB an.
- Welcher Reflexionsfaktor $|\underline{r}_1|$ wird an den Klemmen 1-1' gemessen, wenn das Kabel an den Klemmen 2-2' kurzgeschlossen wird?

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 13:

In dem nachstehend gezeigten, in z -Richtung unendlich ausgedehnten Draht fließt (zunächst) ein Gleichstrom I_{gl} .



- Wenden Sie das Durchflutungsgesetz auf das gestrichelt gezeichnete kreisförmige Flächenstück $\rho = \text{const.}$ in der Ebene $z = \text{const.}$ an und ermitteln Sie unter Berücksichtigung der Rotationssymmetrie des magnetischen Feldes die Abhängigkeit $H_\varphi(\rho, I)$!
- Überprüfen Sie mit dem Ergebnis aus a) die Aussage des Durchflutungsgesetzes für das strichpunktiert gezeichnete quadratische Flächenstück mit der Seitenlänge a !

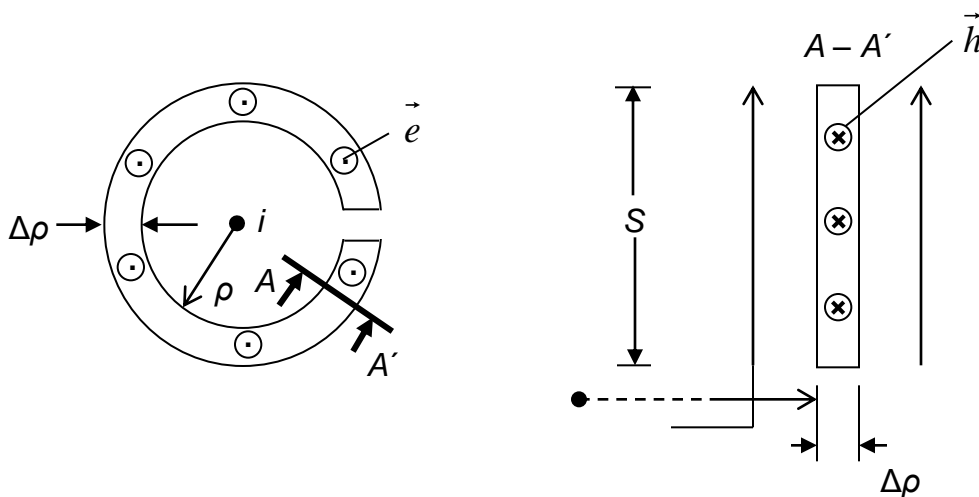
Der Strom sei im folgenden ein hochfrequenter Wechselstrom mit der komplexen Amplitude \underline{I} .

- Welcher zusätzliche Term muss beim Durchflutungsgesetz berücksichtigt werden?

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

- d) Welcher Zusammenhang ergibt sich zwischen den Feldstärken bei Anwendung des Durchflutungs- (linkes Bild) und des Induktionsgesetzes (rechtes Bild) auf die nachstehend gezeichneten Flächenbereiche?

Das Feld kann als rotationssymmetrisch vorausgesetzt werden.



- e) Ermitteln Sie aus d) eine Differentialgleichung für $H_\varphi(\rho, i)$!
- f) Lösen Sie diese Differentialgleichung näherungsweise für $\rho \rightarrow \infty$!
- g) Welcher Zusammenhang ergibt sich zwischen den beiden Feldstärken für $\rho \rightarrow \infty$?

Die allgemeine Lösung der Differentialgleichung nach e) ist durch

$$H(\beta_0 \rho) = C \cdot H_1^{(2)}(\beta_0 \rho)$$

gegeben, wobei $H_1^{(2)}$ die Hankelfunktion 1. Ordnung, zweiter Art darstellt. Für kleine Argumente $\beta_0 \rho \ll 1$ ist sie näherungsweise durch

$$H_1^{(2)}(\beta_0 \rho) = j \frac{2}{\pi} \frac{1}{\beta_0 \rho}$$

darstellbar.

- h) Bestimmen Sie die Konstante C unter der Annahme, dass sich das Magnetfeld in unmittelbarer Nähe des Drahtes nicht vom statischen unterscheidet!



Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 14:

Eine ebene Welle breitet sich in einem verlustbehafteten Medium mit den Materialdaten ϵ_r , $\tan \delta_\epsilon$, μ_r aus.

- a) Berechnen Sie allgemein den Feldwellenwiderstand Z_F , die Wellenlänge λ , die Ausbreitungskonstante $\gamma = \alpha + j\beta$ und die Phasengeschwindigkeit v_p .

Anleitung: Die (geringen) Verluste werden zweckmäßigerweise durch Einführen der komplexen Dielektrizitätskonstanten $\underline{\epsilon}_r$ mit $\underline{\epsilon}_r \approx \epsilon_r (1 - j \tan \delta_\epsilon)$ für $\tan \delta_\epsilon \ll 1$ berücksichtigt.

- b) Berechnen Sie die Größen unter a) für die Ausbreitung einer ebenen Welle bei $f = 10$ MHz in Süßwasser.

Es gilt: $\underline{\epsilon}_r = 80 \cdot (1 - j 0,05)$

- c) Berechnen Sie näherungsweise die Größen unter a) für die Ausbreitung einer ebenen Welle bei $f = 10$ kHz in Seewasser.

Es gelten: $\epsilon_r = 80$, Leitfähigkeit $\kappa = 1$ S/m

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 15:

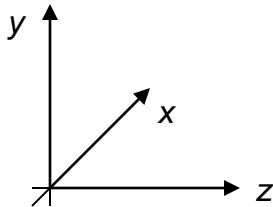


Bild 1.1

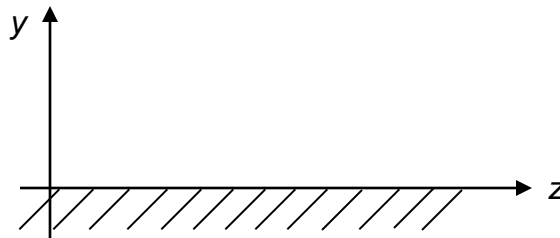


Bild 1.2

Über einem leitenden Halbraum ($y \leq 0$, Bild 1.2) breitet sich eine linear polarisierte ebene Welle mit den Feldstärken

$$\vec{e} \cdot t = \text{Re } \vec{E} \cdot e^{j\omega t} \quad \text{und} \quad \vec{h} \cdot t = \text{Re } \vec{H} \cdot e^{j\omega t}$$

und der Frequenz $f = \omega/2\pi = 100 \text{ MHz}$ in positiver z -Richtung aus (Wahl des Koordinatensystems siehe Bild 1.1). Der Halbraum werde zunächst als ideal leitend ($\kappa \rightarrow \infty$) angenommen. (Hinweis: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$)

- a) In der Ebene $z = 0$ liegen zum Zeitpunkt $t = 0$ Maximalfeldstärken vor, wobei die elektrische e_y -Feldkomponente positiv ist. Die Welle weist eine Leistungsflussdichte von 377 W/m^2 auf.

Bestimmen Sie die Komponenten \underline{E}_x , \underline{E}_y und \underline{E}_z sowie \underline{H}_x , \underline{H}_y und \underline{H}_z der komplexen Amplitudenvektoren \underline{E} und \underline{H} für $z = 0$.

Nun sei der Halbraum nicht mehr ideal leitend, sondern bestehe aus einem Metall mit endlicher Leitfähigkeit. Feldverteilung und Feldstärken der ebenen Welle werden hierdurch - abgesehen von der E_z -Komponente in unmittelbarer Nähe der Oberfläche $y = 0$ - nicht mehr nennenswert verändert.

- b) Geben Sie allgemein den Zusammenhang an zwischen Magnetfeldstärke \underline{H} und Stromdichte \underline{J}_L im Metall.
- c) Berechnen Sie für Messing ($\kappa = 15 \cdot 10^6 \text{ S/m}$) die Eindringtiefe δ_{MS} , den Oberflächen-Wirkwiderstand R_{MS} sowie die komplexe Amplitude \underline{J}_L ($y=0, z=0$) der Stromdichte an der Stelle $z = 0$ der Metalloberfläche und geben Sie die Abhängigkeit der Stromdichte \underline{J}_L ($y, z=0$) von y an.
- d) Wie hoch ist der Betrag der Stromdichte $|\underline{J}_L|$ für $y = -30 \text{ } \mu\text{m}$ und wie groß ist ihre Phasenverschiebung zur Stromdichte an der Oberfläche?

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 16:

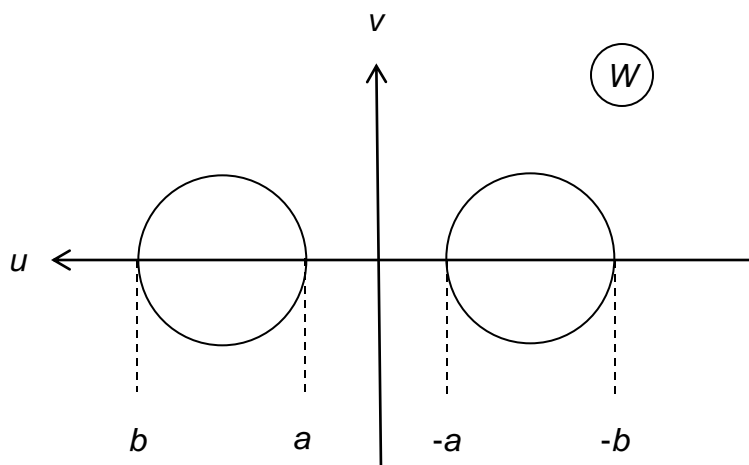
Der nachstehen gezeigte Querschnitt einer Doppelleitung in der w - Ebene mit

$$a/\text{mm} = 1 \text{ und } b/\text{mm} = 4$$

kann mit Hilfe der Funktion

$$q/\text{mm} = \frac{2+w}{2-w}$$

Auf einen Koaxialquerschnitt in der q - Ebene abgebildet werden. Das Dielektrikum ist in beiden Fällen Luft.



- Zeichnen Sie die Lage der Koaxialleitung in der q -Ebene.
- Welche Gleichung $v(u)$ ergibt sich für die H -Feldlinien der Doppelleitung bei Ausbreitung einer TEM-Welle?
- Ermitteln Sie den Wellenwiderstand Z_L der Doppelleitung.

Auf der Leitung breitet sich nun eine (rein vorwärts laufende) TEM- Welle mit der Spannungsamplitude $|\underline{U}| = 100 \text{ V}$ aus.

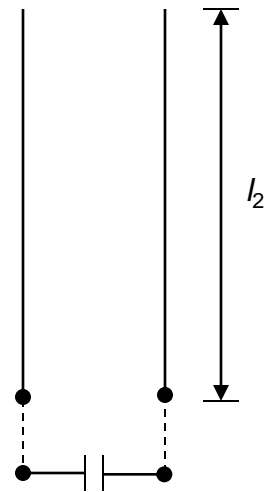
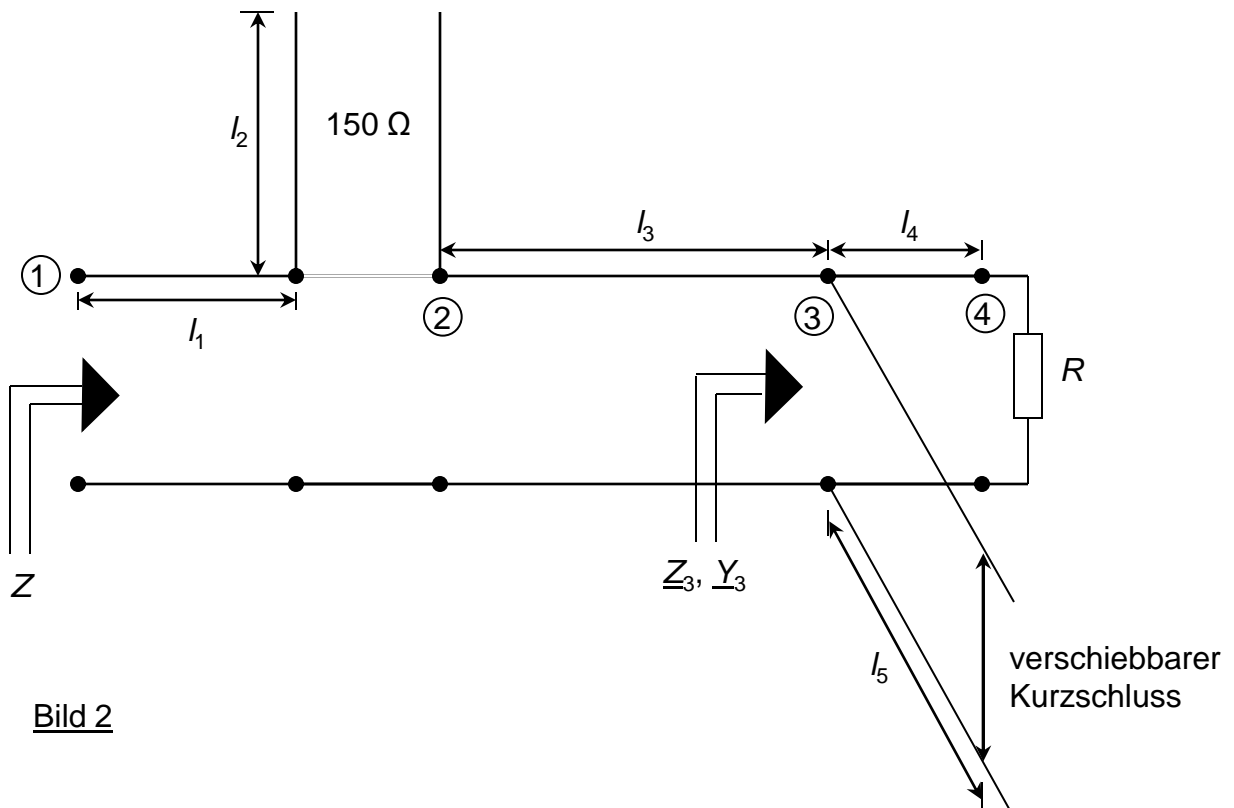
- Welche Wirkleistung P wird auf der Leitung transportiert?
- Wo tritt die maximale elektrische Feldstärke $|\underline{E}_*|_{\max}$ im Querschnitt der Doppelleitung auf und wie groß ist $|\underline{E}_*|_{\max}$?
- Wie groß ist die maximal auftretende magnetische Feldstärke $|\underline{H}_*|_{\max}$?

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Ergänzungsaufgabe 1:

- a) Eine an ihrem Ende leerlaufende Zweidrahtleitung mit dem Wellenwiderstand $Z_L = 150 \, \Omega$ (Bild 1) soll bei einer Frequenz von $f = 300 \, \text{MHz}$ eine Kapazität mit $|X_C| = 25 \, \Omega$ darstellen. Ermitteln Sie mit Hilfe des Smith-Diagramms die Länge l_2 dieser Leitung.
- b) Für die in Bild 2 dargestellte Anpassschaltung, einen so genannten „Stub-Tuner“, gelten die folgenden Werte: $f = 300 \, \text{MHz}$, $Z_L = 50 \, \Omega$, $\epsilon_r = 1$ (alle Leitungen), $R = 100 \, \Omega$, $l_1 = 10 \, \text{cm}$, $l_3 = 10 \, \text{cm}$; l_2 nach Teil a).

Geben Sie die minimal mögliche Länge von l_4 und l_5 an, wenn der Eingangswiderstand der Schaltung $Z = Z_L$ sein soll.

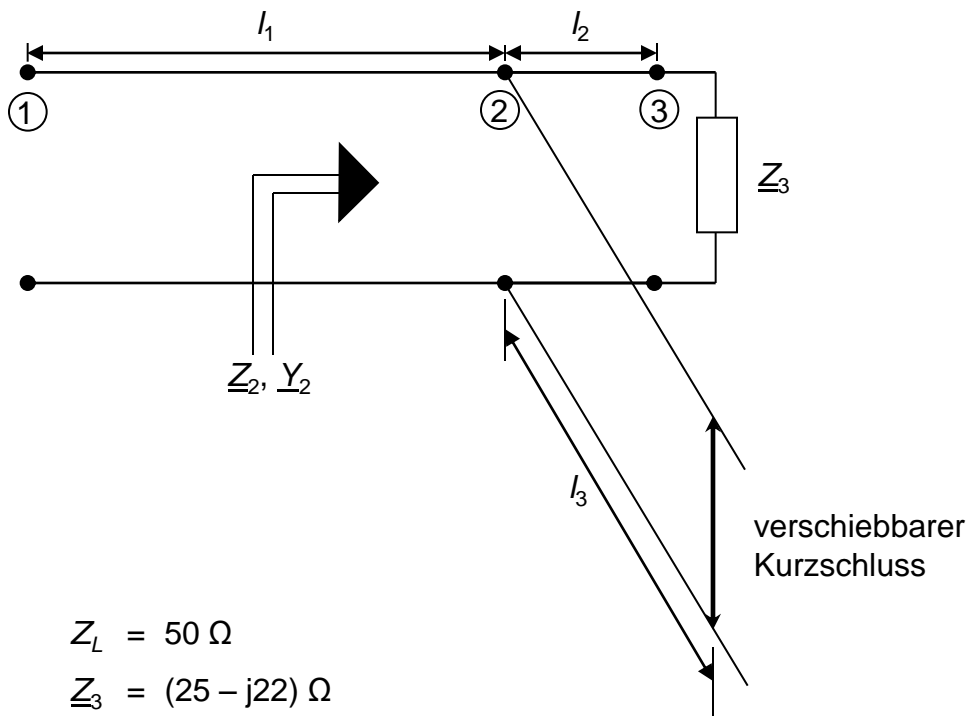
Bild 1Bild 2

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Ergänzungsaufgabe 2:

Bei der vorliegenden Leitungsschaltung kann die Länge der Blindleitung l_3 verändert werden.

- Wie groß muss l_3/λ eingestellt werden, damit der Betrag des Reflexionsfaktors $|\Gamma_1|$ am Eingang minimal wird?
- Wie groß ist $|\Gamma_1|_{\min}$?
- Erklären Sie die Besonderheit der Leitung l_1 ($\lambda/4$ -Transformator).



$$Z_L = 50 \, \Omega$$

$$Z_3 = (25 - j22) \, \Omega$$

$$l_1/\lambda = 0,25$$

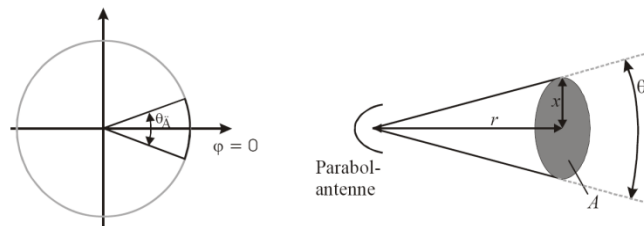
$$l_2/\lambda = 0,18$$

$$l_3/\lambda \text{ veränderlich}$$

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 17:

Eine gegebene Richtfunkverbindung soll untersucht werden. Die verwendete Parabolantenne habe ein rotationssymmetrisches Strahlungsdiagramm (s. Bild) mit konstanten Werten innerhalb eines Kegels mit dem Öffnungswinkel θ_A und verschwindend geringen Beiträgen außerhalb dieses Kegels.



Es kann von einer konstanten Leistungsdichte im Flächensegment A ausgegangen werden.

- a) Berechnen Sie die durch die Fläche A hindurchströmende Leistungsdichte S in Abhängigkeit von der Entfernung r von der Parabolantenne, dem äquivalenten Öffnungswinkel θ_A und der abgestrahlten Sendeleistung P_t .

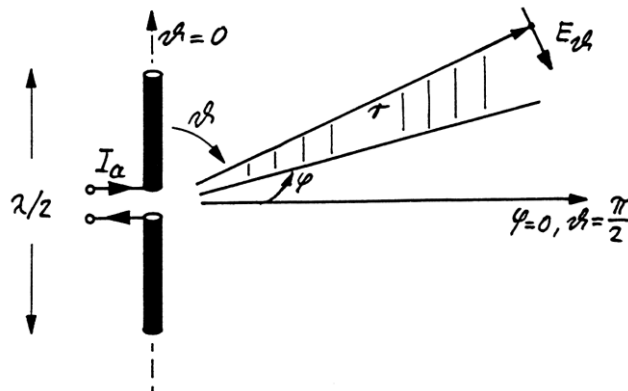
Hinweis: Die Fläche A kann für die bei Parabolantennen üblichen kleinen Öffnungswinkel als ebene Kreisfläche angenommen werden.

- b) Bestimmen Sie damit den Richtfaktor D der Antenne (in Abhängigkeit von θ_A).
 c) Welchen äquivalenten Öffnungswinkel θ_A besitzt die Antenne, wenn ihr Richtfaktor bezogen auf den isotropen Kugelstrahler 37 dB ist?
 d) Berechnen Sie den Radius des Parabolspiegels der Antenne für einen Flächenwirkungsgrad der Antenne von $q = 0,85$ bei der eingesetzten Frequenz von $f = 23 \text{ GHz}$

Der Wirkungsgrad der Antenne ist $\eta = 1$. Für die Richtfunkverbindung soll nun angenommen werden, dass die Entfernung zwischen den beiden Richtfunkstationen $d = 8 \text{ km}$ beträgt und es direkte Sicht zwischen den Stationen gibt. In diesem Fall kann aufgrund der stark bündelnden Antennen mit Freiraumbedingungen gerechnet werden.

- e) Wie groß ist die Freiraumdämpfung in dB zwischen der Sende- und der Empfangsantenne?
 f) Die auf der Empfangsseite verwendete Antenne entspricht der Sendeantenne und beide sind ideal aufeinander ausgerichtet. Welche Sendeleistung P_t (in mW) ist bei der Frequenz $f = 23 \text{ GHz}$ erforderlich, wenn das Signal am Empfänger mindestens eine Leistung von -60 dBm erreichen soll?

Übungen zur Vorlesung „Hochfrequenztechnik I“

Aufgabe 18

Die elektrische Feldstärke E_ϑ im Fernfeld eines Halbwellendipols ist gegeben durch:

$$|E_\vartheta| = \frac{60 \Omega}{r} |I_a| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \vartheta\right)}{\sin \vartheta}$$

- Bestimmen Sie die Werte für E_ϑ !
Hinweis: Aufgrund von Symmetrie können Sie sich auf das Intervall $0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{2}$ beschränken. Benutzen Sie Stützstellen im Abstand $\frac{\pi}{8}$.
- Wie lautet der Ausdruck $C_{\vartheta, \varphi}$ für die Richtcharakteristik dieser Antenne?
- Zeichnen Sie das Richtdiagramm C_{ϑ} für $\varphi = \text{const}$ und C_{φ} für $\vartheta = \frac{\pi}{2}$!
- Welche Abhängigkeit von ϑ hat die Leistungsdichte S_ϑ im Fernfeld?
Zeichnen Sie $\frac{S_\vartheta}{S_{\max}}$!
- Berechnen Sie die von der Antenne abgestrahlte Wirkleistung P_t durch Integration von S_ϑ über eine Kugeloberfläche $r = \text{const.}$ im Fernfeld!
Das auftretende bestimmte Integral ist analytisch nicht lösbar. Mit numerischen Verfahren erhält man

$$\int_0^\pi \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \vartheta\right)}{\sin \vartheta} d\vartheta \approx 1,219$$
- Ermitteln Sie mit Hilfe von e) den Richtfaktor D und den Realteil R_a der Antennenimpedanz, wenn die Antenne verlustlos ist!