Technische Universität Berlin
Fachbereich Elektrotechnik
Fachgebiet Hochfrequenztechnik

Klausur zur Rechenübung Hochfrequenztechnik I
WS 2008/09

Name, Vorname	Gmiha, Wajdi
Matrikelnummer	311460
Studiengang	E.T. Bachelor.

Aufgabe Nr.	Punkte
1	3,5
2	—
3	4
4	1+1
Summe	9 ~~8~~,5
Note	

Bitte die Rückseite der Aufgabenblätter benutzen und nur bei Bedarf weiteres Papier verwenden!
Keinen Bleistift und auch kein Rot verwenden!

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Smithdiagramm (12 Punkte)

In der verlustlosen Anpaßschaltung nach Abbildung 1 können die Leitungslängen l_1 und l_2 nur in bestimmten Grenzen verändert werden:

$$\boxed{\frac{1}{8} \leq \frac{l_1}{\lambda} \leq \frac{1}{4}} \quad \text{und} \quad \boxed{\frac{1}{8} \leq \frac{l_2}{\lambda} \leq \frac{1}{4}}$$

Die Wellenwiderstände der beiden Leitungen betragen Z_{L1}. Der Generatorwiderstand habe den Wert $R_G = 2\,Z_{L1}$

1. Die parallele Stichleitung sei kurzgeschlossen, $\underline{Z}_E = 0$. Schraffieren Sie im Smithdiagramm den Bereich, in dem alle Admittanzen $Z_{L1}/\underline{Z}$ liegen, die mit der angegebenen Schaltung anpaßbar sind. (7 Punkte)
2. Die parallele Stichleitung sei leerlaufend, $\underline{Z}_E = \infty$. Schraffieren Sie im Smithdiagramm den Bereich, in dem alle Admittanzen $Z_{L1}/\underline{Z}$ liegen, die mit der angegebenen Schaltung anpaßbar sind. (5 Punkte)

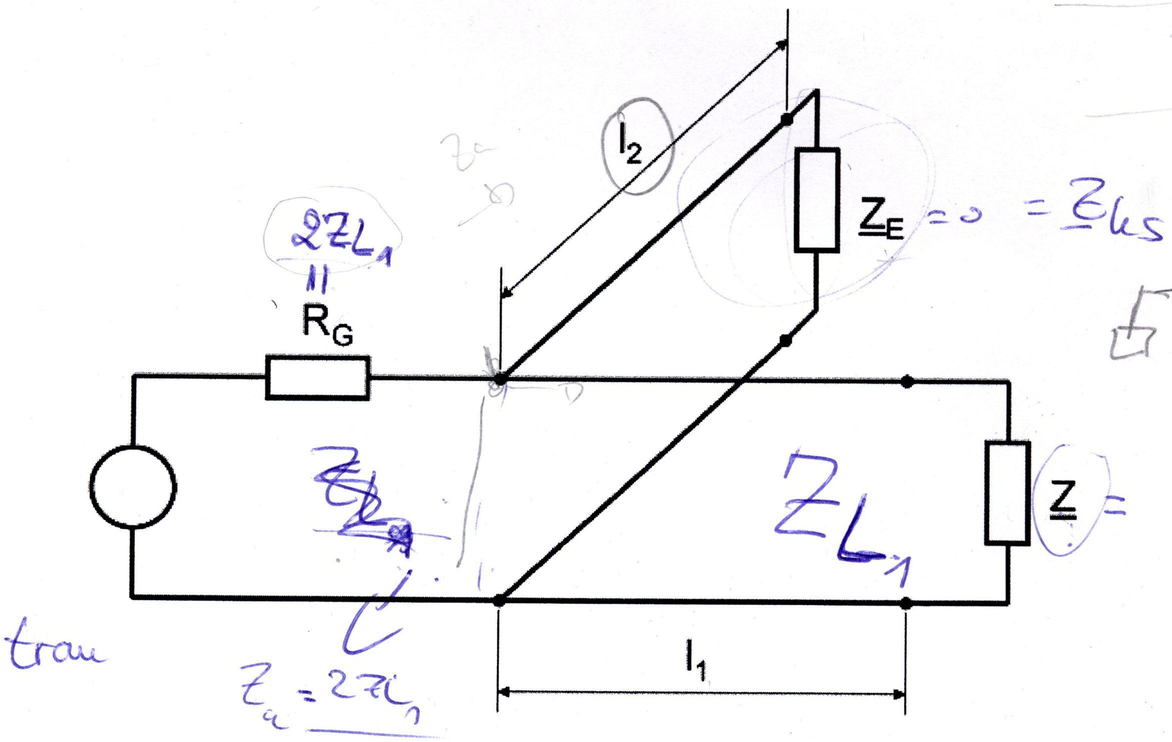


Abb. 1: Anpaßschaltung

Wichtig: Alle Schritte des Lösungsweges im Smithdiagramm müssen stichpunktartig dokumentiert werden.

Lösung 1: Smithdiagramm

Bekannte Größen

$\underline{Z}L =$

$\underline{Z} =$

$\underline{Z}_E = \underline{Z}_{ks} = 0\Omega$ (Kurzschluss)

Anpassung $r_1 \overset{!}{=} 0$

$R_G = 2Z_{L1}$

- transformierter Widerstand muss gleich R_G, also gleich $2Z_{L1}$

$$\underline{z}_a = \frac{2Z_{L1}}{Z_{L1}} = 2 \quad \text{1P}$$

→ normiert Widerstand $\underline{z}_a$ wird ins Smith-Diagramm eingetragen.

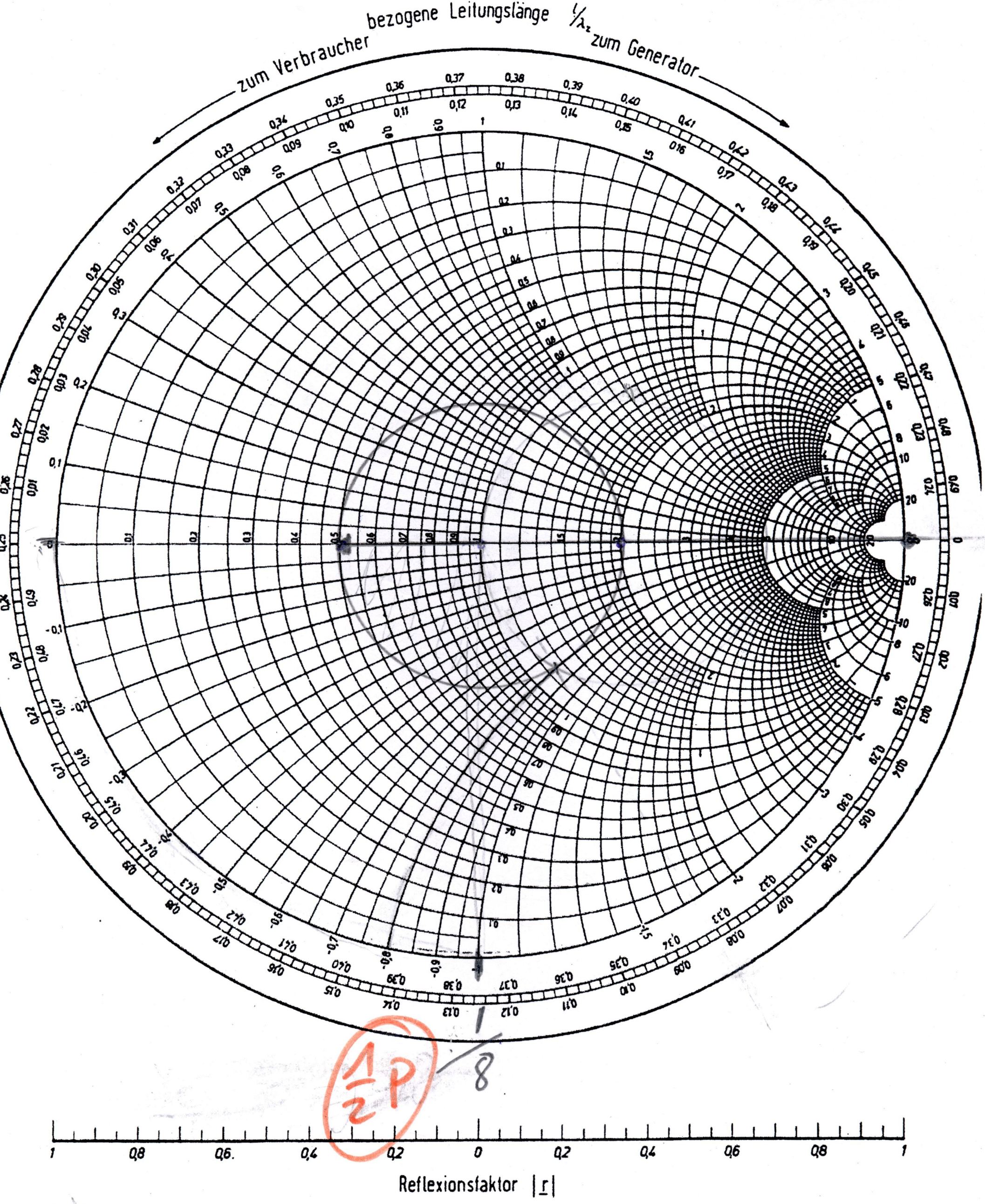
→ Impedanz in Admittanz umwandeln ⇒ Spiegeln am Mittelpunkt

⇒ $\underline{y} = 0{,}5$ 1P

$$\underline{Y}_{\text{gesucht}} \overset{!}{+} \underline{Y}_{\underset{\text{gefunden}}{\text{Stichleitung}}} = \underline{Y}_{\underset{\text{gefunden}}{\text{gesamt}}}$$

Smith-Diagramm

TU Berlin
Institut für
Hochfrequenztechnik



$\frac{1}{4}$

$\frac{1}{2}$ P

$\frac{1}{8}$

$\frac{1}{2}$ P

l_2/λ

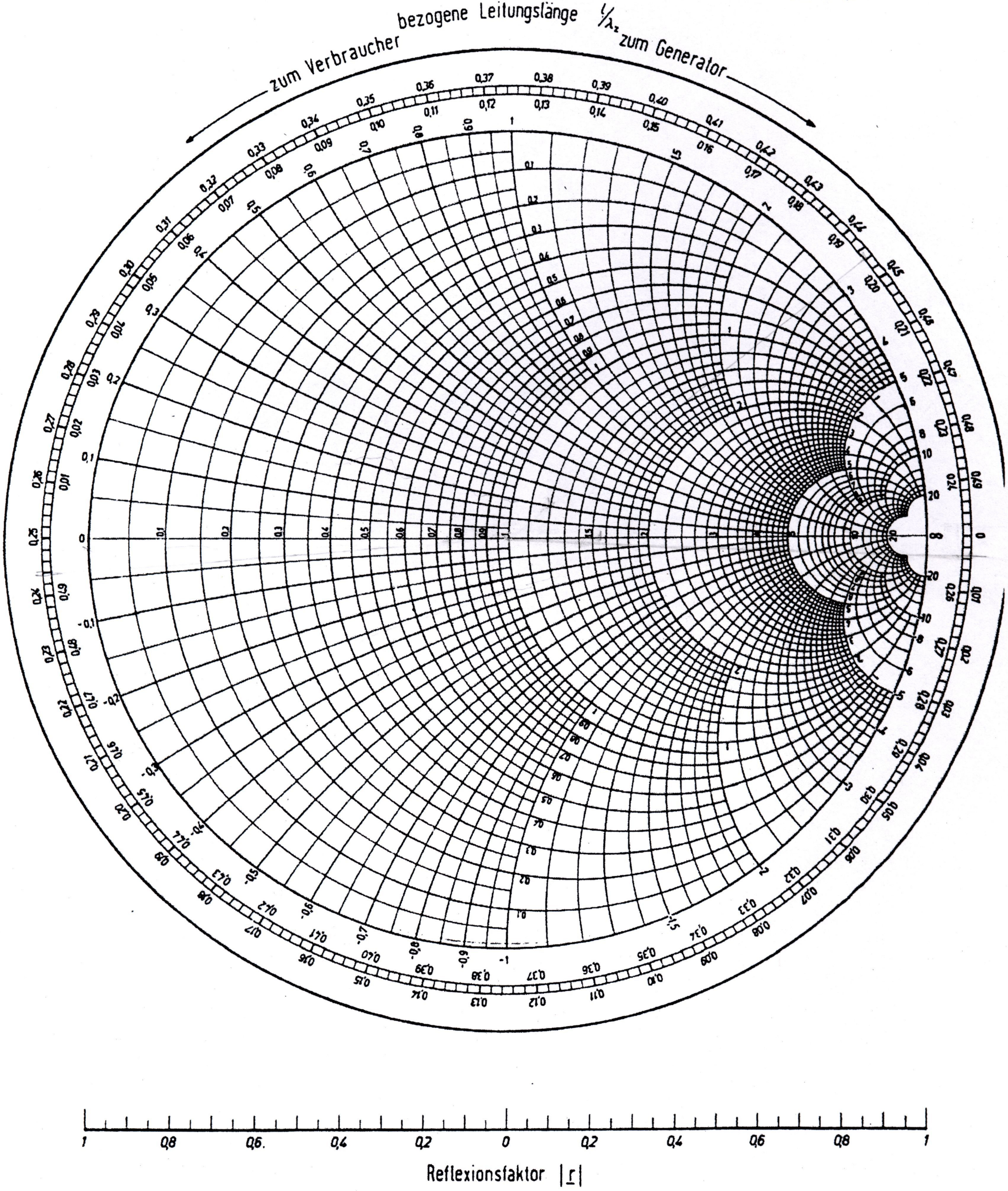
$Y^? + \boxed{Y_s} = \boxed{Y_w}$

$\underline{\zeta}_c = \underline{Y}_{ks} = \frac{Y_{ks}}{Y_L}$

Leitwert des Kurzschluss normieren: $\underline{Y}_{ks} = \frac{Y_{ks}}{Y_L} = \frac{\infty}{Y_L} = \infty$ $\frac{1}{2}$ P

Smith-Diagramm

T U Berlin
Institut für
Hochfrequenztechnik



$\cdot 2U$ $+2U$

Aufgabe 2: Streuparameter (12 Punkte)

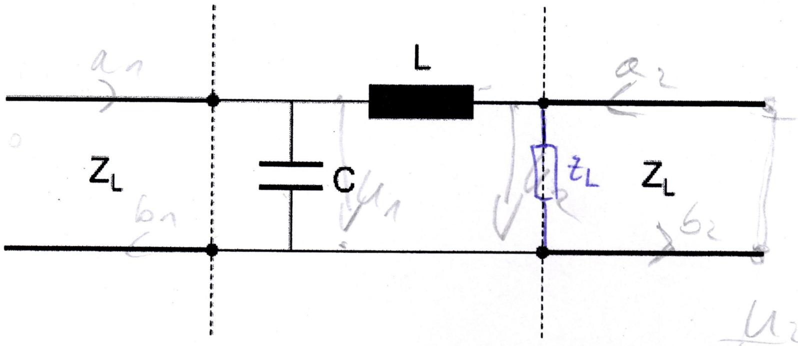
Gegeben sei ein Netzwerk aus konzentrierten Elementen L und C gemäß Abbildung 2. S_{11}

$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}\Big|_{a_2=0}$

$\Gamma_1 = S_{11}$

$\Gamma_2 = S_{22}$

$\Gamma_1 = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L}$



$a_2 = 0$

$U_2 = U_{h_2} + U_{r_2}$

$U_2 = U_r$

$\frac{U_2}{U_1} = \cancel{\frac{1}{\sqrt{Z_L}}} \sqrt{Z_L} \cdot b_2$

$b_2 = \frac{1}{\sqrt{Z_L}} \cdot U_r$

Abb. 2: Netzwerk aus konzentrierten Elementen

1. Berechnen Sie die Streuparameter $\underline{S}_{11}$ und $\underline{S}_{21}$ bezogen auf den Wellenwiderstand $\underline{Z}_L$ der Anschlußleitungen in Abhängigkeit von ω und bringen Sie sie auf die Form

$$\underline{S}_{k1} = \frac{a_{k1} + \mathrm{j}\, b_{k1}}{c_{k1} + \mathrm{j}\, d_{k1}} \quad \text{mit } a_{k1}, b_{k1}, c_{k1}, d_{k1} \text{ reell}$$

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_L}{(Z_L + j\omega L) // C}$

(8 Punkte)

2. Welche Werte für $\underline{S}_{11}$ und $\underline{S}_{21}$ ergeben sich für die Grenzfälle $\omega = 0$ und $\omega \to \infty$? (2 Punkte)

3. Erklären Sie das Ergebnis physikalisch anhand des gegebenen Netzwerks. (2 Punkte)

angeschlossene Leitung

Eingang

$\Gamma = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L}$ ud. $\frac{(Z_0 + Z_L) - Z_L}{Z_0 + Z_L + Z_L}$

$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}\Big|_{a_2=0}$

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{U_{h2}}{U_{h1} + U_{r1}}$

$S_{11} = \Gamma_1 = \frac{(j\omega L + Z_L) // C - Z_L}{(j\omega L + Z_L) // C + Z_L}$

$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}\Big|_{a_2=0}$

$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}\Big|_{a_2=0}$

S_{22} $S_{21} = S_{12}$

~~S_{12}~~ Γ_{21} $S_{21} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_L}{j\omega L + Z_L}$

Lösung 2: Streuparameter

$r = \frac{V_r}{V_h} \Leftrightarrow V_r = r V_h$

Aufgabe 3: Impulse auf Leitungen (12 Punkte)

Gegeben ist eine Leitungsanordnung (verlustlos, dispersionsfrei, luftgefüllt) wie in Abbildung 3 dargestellt.

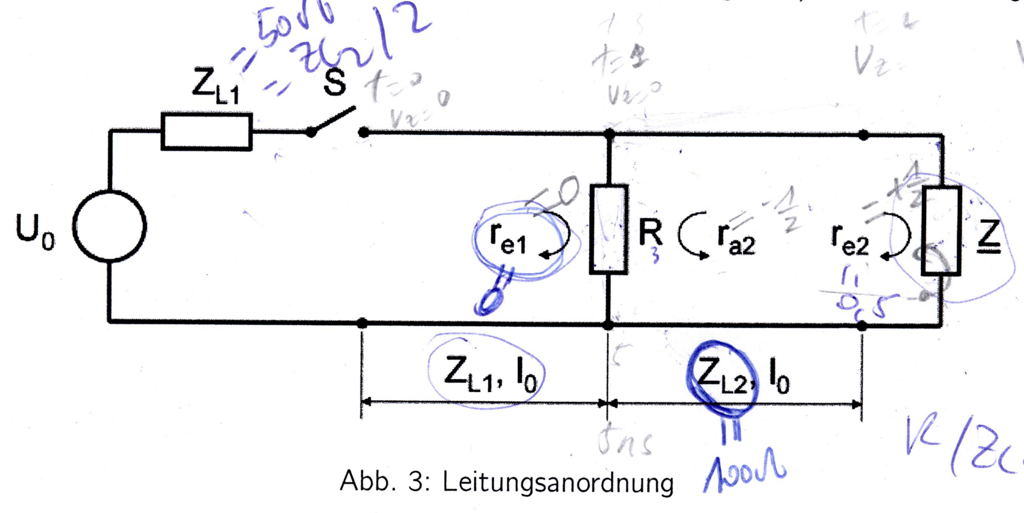


Abb. 3: Leitungsanordnung

$V = V_h + V_h$

$\frac{V_0}{2} + r_{e2} V_h$

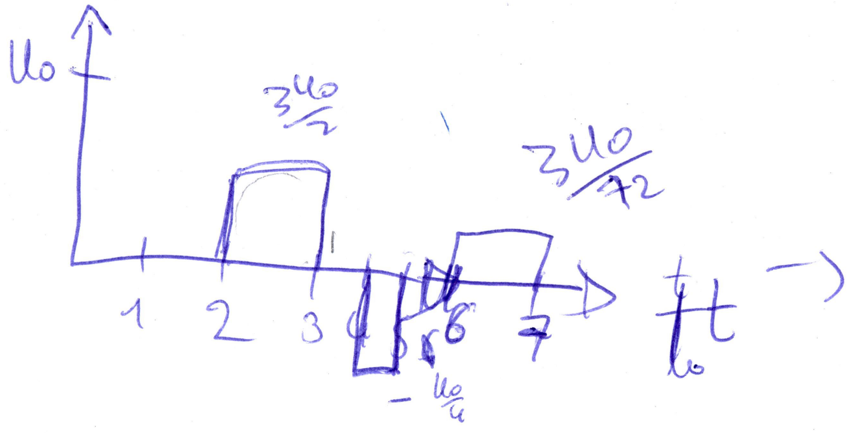
$\frac{V_0}{2} + \frac{V_0}{4} =$

$\frac{3V_0}{4}$

$R / Z_{L2} -$

Es gelte $Z_{L1} = Z_{L2}/2 = 50\Omega$. Zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ wird der Schalter S geschlossen.

1. Bestimmen Sie die Leitungslänge l_0 so, dass die steigende Spannungsflanke den Sprung der Wellenwiderstände zum Zeitpunkt t=1ns erreicht. (1 Punkt) 0,3 ? bitte beachten
2. Bestimmen Sie den parallelgeschalteten Widerstand R so, dass am Sprung der Wellenwiderstände keine Reflexion auftritt, $r_{e1} = 0$. (2 Punkte) = 80 Ω ? bitte beachten
3. Bestimmen Sie die Abschlußimpedanz $\underline{Z}$ so, dass am Ende der Leitung ein Reflexionsfaktor $r_{e2} = 0.5$ auftritt. (1 Punkt) = 300 Ω ? Bitte beachten
4. Bestimmen Sie den Reflexionsfaktor r_{a2}. (1 Punkt) $-\frac{1}{3}$? Bitte beachten.
5. Skizzieren Sie für die oben berechneten Werte den zeitlichen Verlauf der Spannung U_Z über der Impedanz $\underline{Z}$ für $0 \leq t \leq 7ns$. (5 Punkte)
6. Bestimmen Sie die Spannung U_Z für $t \to \infty$. (2 Punkte) → $U_Z = 0$ → bitte beachten.



→ Bitte beachten

Lösung 3: Impulse auf Leitungen

1) · Ausbreitungsgeschwindigkeit

$v = c_0$

$l_0 = \tau \cdot c_0$

$l_0 = 1 \cdot 10^{-9}\,s \cdot 3 \cdot 10^{8}\,\frac{m}{s}$

$= 0{,}3\,m$ ①P

2) R?

$r_{e_1} = 0$

~~$r_{e_1} = \frac{R - Z_{L_1}}{R + Z_{L_1}} = 0$~~

~~$R - Z_{L_1} = 0$~~

~~$R = Z_{L_1}$~~

~~$R = 50\,\Omega$~~

$R = 50\,\Omega$

$r_{e_1} = \frac{Z_{L_2} \,||\, R - Z_{L_1}}{Z_{L_2} \,||\, R - Z_{L_1}} = 0$ ①P

$= Z_{L_2} \,||\, R - Z_{L_1} = 0$

$\frac{Z_{L_2} \cdot R}{Z_{L_2} + R} - Z_{L_1} = 0$

$\frac{R \cdot 2Z_{L_1}}{R + 2Z_{L_1}} - Z_{L_1} = 0$

$R = 2Z_{L_1} = 2 \cdot 50\,\Omega = 100\,\Omega$ ✓ $\frac{1}{2}$P

$\frac{2Z_L \cdot R}{2Z_L + R} - Z_L = 0$

3) Z? mit $r_{e_2} = 0{,}5 = \frac{1}{2}$

~~$r_{e_2} = \frac{Z - Z_{L_2}}{Z + Z_{L_2}} = \frac{1}{2}$~~

~~$= \frac{Z - 100\,\Omega}{Z + 100\,\Omega} = \frac{1}{2}$~~

~~$Z - 100\,\Omega = \frac{Z}{2} + 50\,\Omega$~~

~~$Z - 50\,\Omega = \frac{Z}{2}$~~

~~$Z = 50\,\Omega$~~

$\frac{1}{2}$P

$Z = 300\,\Omega$

$r_{e_2} = \frac{Z_{L_1} \,||\, R - Z_{L_2}}{Z_{L_1} \,||\, R + Z_{L_2}} = \frac{1}{2}$

~~$r_{e_2} = Z_{L_1} \,||\, R - Z_{L_2} = \frac{1}{2}$~~

$r_{e_2} = \frac{\frac{Z_{L_1} \cdot R}{Z_{L_1} + R} - Z_{L_2}}{\frac{Z_{L_1} \cdot R}{Z_{L_1} + R} + Z_{L_2}} = \frac{1}{2}$

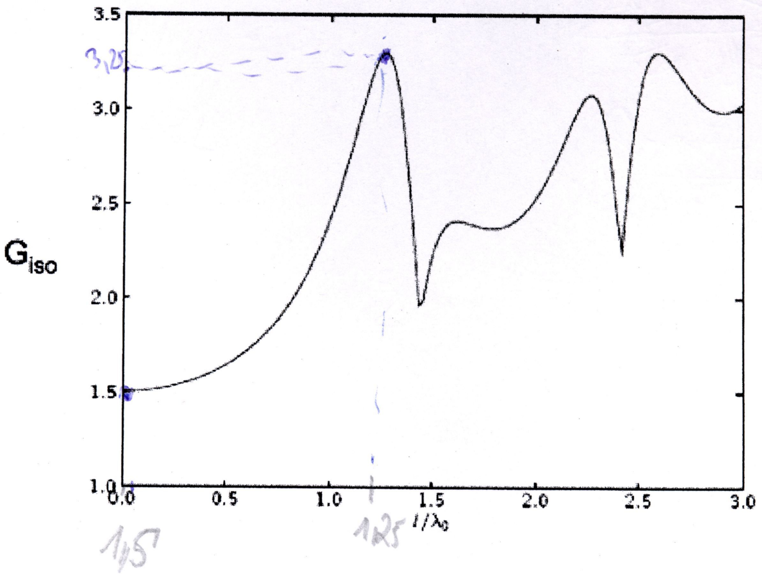
4) ~~r_{a_2}~~?

$r_{a_2} = \frac{Z_{L_1} \,||\, R - Z_{L_2}}{Z_{L_1} \,||\, R - Z_{L_2}} = \frac{1}{3}$ ①P f

Aufgabe 4: Antennen (12 Punkte)

Bei einer Freiraumübertragung strahlt ein Sender bei einer Frequenz von $f = 10GHz$ mit einer Leistung von $P_s = 10W$. Die Empfangsstation befindet sich in einer Entfernung von $r = 20km$. Der Sender sei mit einer Parabolantenne ausgestattet, die einen Durchmesser von $d = 0.5m$ hat. Am Empfänger stehen ideale Dipolantennen variabler Gesamtlänge $\lambda/8 \leq L \leq 1.25\lambda$ zur Verfügung. Verluste sollen vernachlässigt werden und die Antennen seien unabhängig von ihrer Länge immer ideal angepaßt.

1. Wie sollten die Antennen zueinander ausgerichtet sein, um eine maximale Empfangsleistung sicher zu stellen (Orientierung im Raum)? Fertigen Sie eine Skizze an und begründen Sie Ihr Ergebnis. (2 Punkte) l?
2. Welche Länge des Empfangsdipols führt zu maximaler Empfangsleistung? Wie groß ist diese Empfangsleistung? (6 Punkte) P_e? mit $P_s = 100\,W$
3. Statt einer Parabolantenne werden senderseitig nun 2 optimal ausgerichtete Parabolantennen mit dem Durchmesser $d = 0.5m$ eingesetzt. Beide Antennen strahlen jeweils $P_s = 10W$ ab und werden phasengleich angeregt. Wie groß ist nun die Empfangsleistung? Begründen Sie Ihr Ergebnis! (4 Punkte)



- $L \geq \frac{\lambda}{8}$

$\frac{L}{\lambda} \geq \frac{1}{8} = 0{,}125$

- $L \leq \frac{1{,}25}{\cancel{1\lambda}}\lambda$

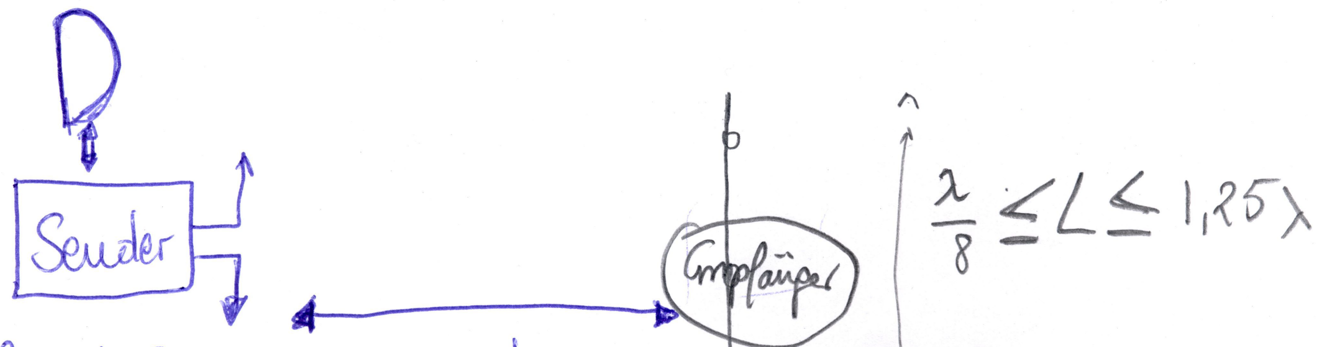
$\frac{L}{\lambda} \leq 1{,}25$

$\frac{1}{8} \leq L \leq 1{,}25$

Gewinn der Dipolantenne liegt zwischen $\frac{3}{2}$ und 3,25

$\frac{1}{8}$ 1,25

Lösung 4: Antennen



$\frac{\lambda}{8} \leq L \leq 1{,}25\lambda$

$f = 10\,GHz$ $r = 20\,km$

1P

$P_s = 10\,W$

$D_s = 0{,}5\,m$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{10 \cdot 10^9 \frac{1}{s}} = 0{,}03\,m$$

1) nach Abb 8. liegt die maximale Empfindlichkeit bei $\vartheta^0 = 90^0$

1P

2)