

Schriftliche Prfung im Fach

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

- Bitte beachten Sie die Hinweise auf der folgenden Seite
- Beginnen Sie mit den Aufgaben, die Ihnen am leichtesten fallen

Einzelresultate

Aufgabe	1	2	3	4	5
erreichbare Punkte	18	20	16	20	20
erzielte Punkte					

Gesamtbewertung

Punkte maximal:	Gesamtpunkte:	Note:
94		



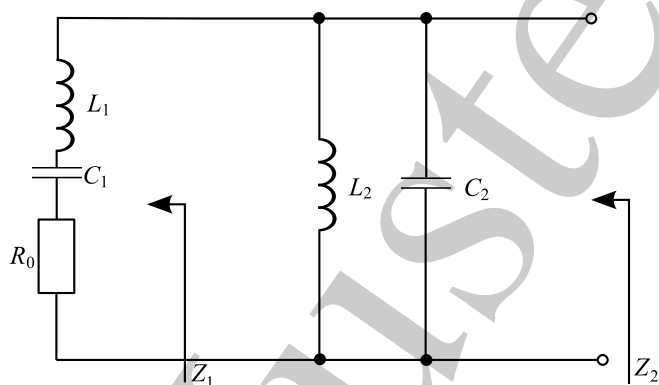
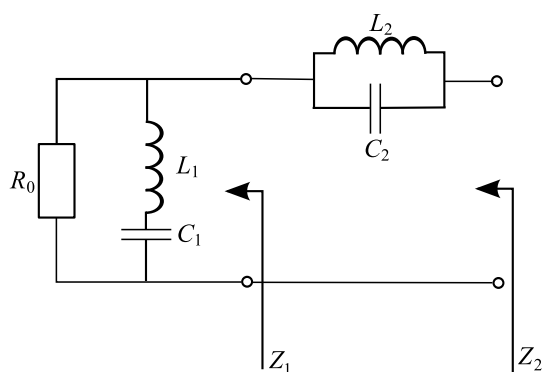
1. Die Prüfungsdauer beträgt 2 Stunden.
2. Zur Bearbeitung der Klausur sind **keine Hilfsmittel** zugelassen, ausser Schreibzeug, Zirkel, Lineal und ein **nicht-programmierbarer, komplexer** Taschenrechner.
3. Die Lösungen müssen auf den ausgegebenen Blättern in den dafür vorgesehenen **Lösungskästen** niedergeschrieben werden. Falls der Platz nicht ausreicht, muss auf dem Lösungsblatt ein Hinweis auf die Fortsetzung gegeben werden und von der Aufsicht ein gestempeltes Zusatzblatt angefordert werden. Alternativ darf auch die Rückseite der Lösungsblätter verwendet werden, wobei auch hier der zugehörige Aufgabenkontext eindeutig anzugeben ist. Bei zweifelhafter Zuordnung kann die Lösung nicht gewertet werden. Benutzen Sie **kein eigenes Papier**.
4. **Bei allen Aufgaben muss der Lösungsweg klar erkennbar und eindeutig dargestellt werden.** In einigen Aufgaben ist dies die wesentliche Prüfungsleistung. Lösungen ohne ausreichende Begründung werden nicht gewertet. Das Gleiche gilt für mehrdeutige Lösungen oder Formulierungen.
5. Diagramme werden nur gewertet, wenn der Datenteil mit Name und Aufgabennummer vollständig ausgefüllt ist. Bei Bedarf können von der Aufsicht zusätzliche Diagramme angefordert werden. **Ungültige Lösungen** müssen klar erkenntlich **durchgestrichen** werden. Liegt mehr als eine Lösung vor, erfolgt keine Wertung.
6. Verwenden Sie bei der Lösung der Aufgaben **weder rote Farbe noch Bleistift** und kennzeichnen Sie Ihre Ergebnisse deutlich. Lösungen in roter Farbe oder Bleistift können nicht gewertet werden. Zeichnungen in Diagrammen dürfen mit Bleistift gemacht werden.
7. Tragen Sie vor Beginn der Klausur Nachname, Vorname und Matrikelnummer auf dem Deckblatt ein und **beschriften Sie jedes Lösungsblatt** mit Ihrem Namen. **Alle** Blätter, auch die Zusatzblätter, müssen den Namen des Kandidaten tragen. Wer diese Regeln, die einer raschen Bearbeitung dienen, nicht einhält, kann nicht erwarten, dass er kurzfristig über das Ergebnis seiner Prüfung informiert wird. Die Lösungsblätter müssen **vollständig**, also zusammen mit allen zusätzlich ausgeteilten Blättern abgegeben werden. Heften Sie alle Blätter mit der beiliegenden Faltklammer zusammen.
8. Legen Sie Ihren Studentenausweis und den Zulassungsschein bereit.
9. Der Umfang der gesamten Klausur beträgt 30 Seiten und besteht aus 5 Aufgaben. **Prüfen Sie** diese direkt nach Erhalt **auf Vollständigkeit**.
10. Die Ergebnisse der Klausur werden nach der Korrektur am schwarzen Brett des Instituts (Foyer, Geb. 30.10) veröffentlicht. Der Zeitpunkt der Veröffentlichung wird im Internet bekannt gegeben.

Aufgabe 1

(gesamt 18 Punkte)

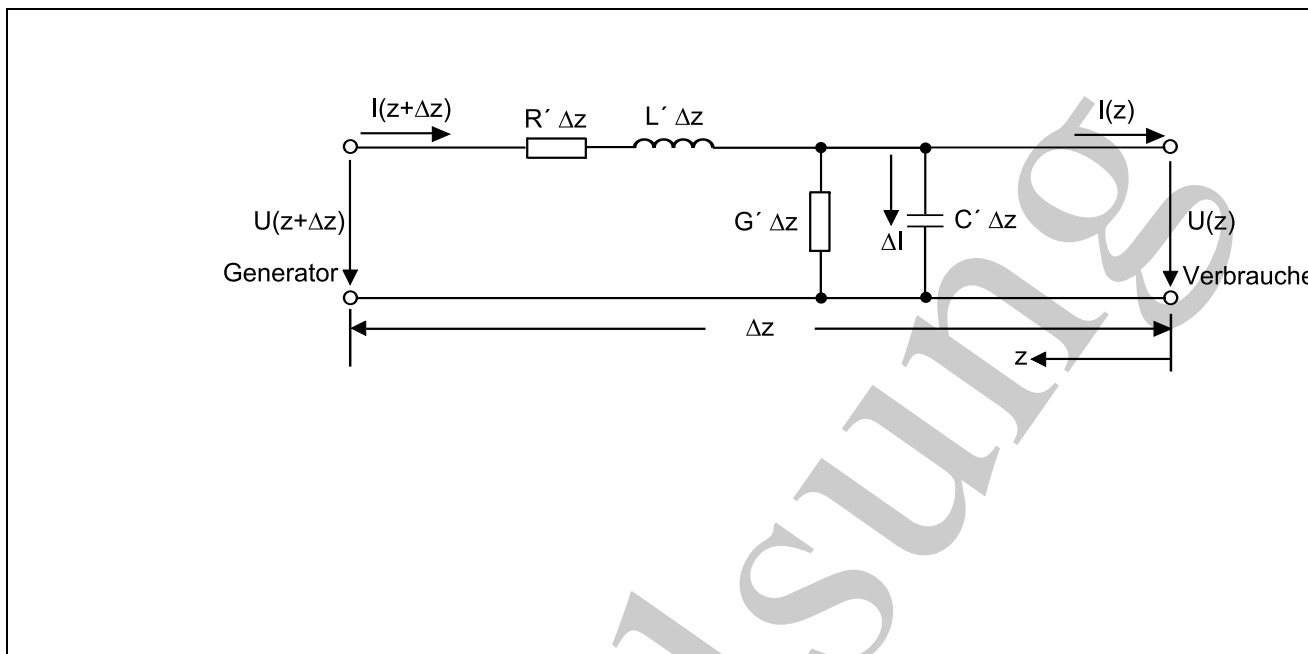
Allgemeines

- a) Bei den unten abgebildeten Schaltungen müssen jeweils die unerwünschten Blindelemente L_1 und C_1 kompensiert werden. Wählen Sie eine geeignete Kompensation bestehend aus einer Kapazität C_2 und einer Induktivität L_2 und zeichnen Sie diese in die Schaltbilder ein. Wie nennt man eine solche Kompensation? (3 P.)

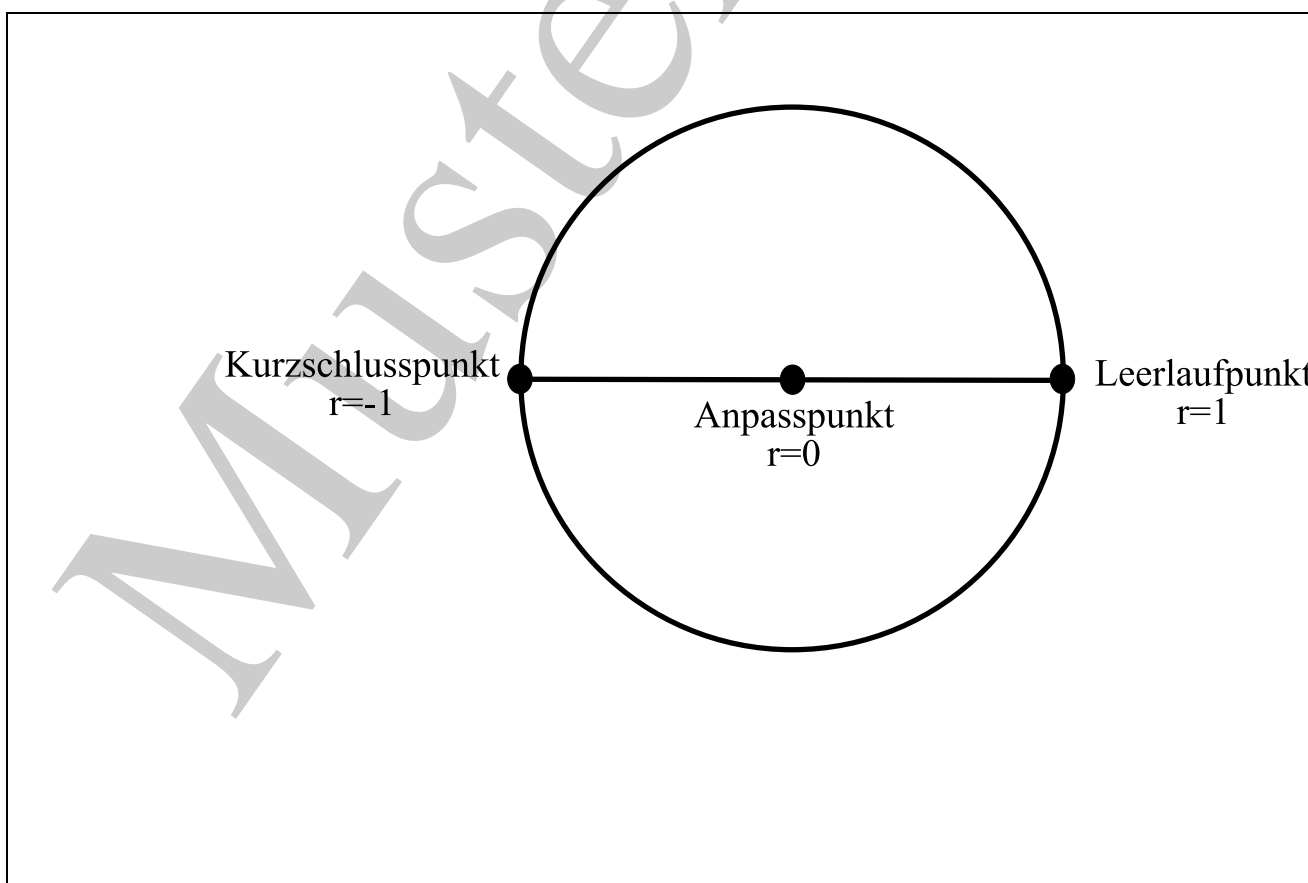


Es handelt sich um eine Bandpasskompensation.

b) Zeichnen Sie ein vollständiges Ersatzschaltbild eines kurzen Stücks verlustbehafteter Leitung. (2 P.)



c) Zeichnen Sie in das schematische Smith Diagramm den Leerlauf-, Kurzschluss-, und Anpasspunkt ein und geben Sie den dazugehörigen Reflexionsfaktor an. (1 P.)



d) Nennen Sie zwei verschiedene Rauscharten.

(2 P.)



2 mögliche aus:
Thermisches Rauschen
Schrotrauschen
Funkelrauschen
Plasmarauschen
Quantenrauschen

e) Welche Funktion erfüllt ein Mischer in einem Mikrowellensystem? Mit welcher Art Bauelement kann er realisiert werden?

(2 P.)



Ein Mischer wird zur Frequenzumsetzung genutzt. Er kann mit einem nichtlinearen Bauelement realisiert werden (z.B. Diode oder Transistor)

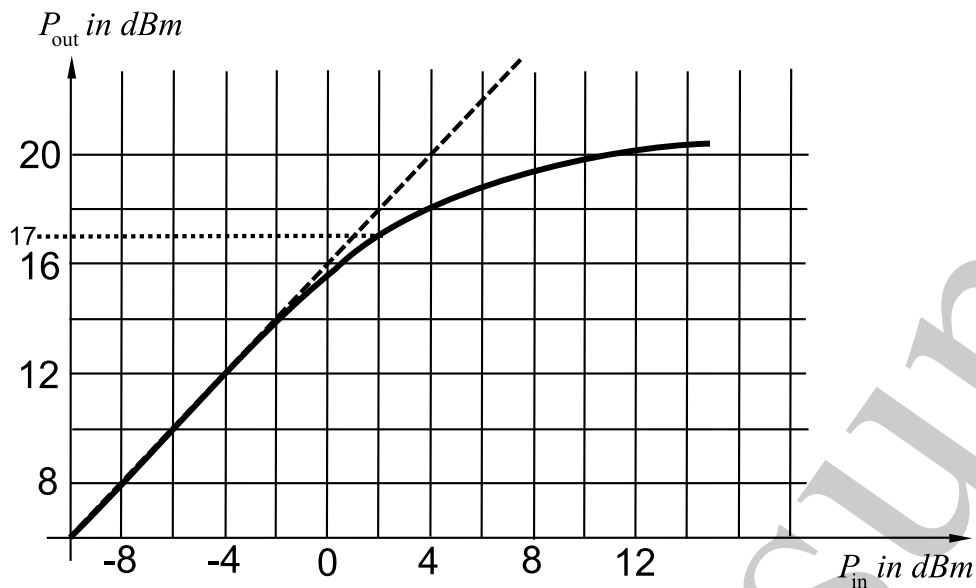
f) Welches Radar-Grundprinzip würden Sie in einem möglichst kostengünstigen Gerät verwenden, das als Bewegungsdetektor an einer Kaufhaus-Eingangstür verwendet werden soll. Begründen Sie die Wahl.

(2 P.)



Ein Bewegungsdetektor soll feststellen ob sich eine Person auf die Tür zubewegt, d.h. die relative Geschwindigkeit eines Ziels zur Tür bestimmen. Dies ist bereits mit dem einfachsten Prinzip, dem Dopplerradar (bzw. CW-Radar) möglich. Dieses stellt somit die kostengünstigste Variante dar.

- g) Gegeben ist die folgende Verstärkerkennlinie. Geben Sie die Verstärkung im linearen Bereich und den P_{1dB} -Punkt bezogen auf den Ausgang an. Ergänzen Sie dazu die Grafik. (2 P.)



Die Verstärkung beträgt 16 dB.

Der 1dB Kompressionspunkt bezogen auf den Ausgang beträgt 17 dBm.

- h) Einem Empfänger mit einer Rauschzahl von 7 dB und einer Verstärkung von 6 dB soll zur Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnis ein Verstärker vorgeschaltet werden. Wählen Sie aus der folgenden Tabelle den geeignetsten Verstärker aus. Begründen Sie die Auswahl und geben Sie die sich ergebende Gesamt-Rauschzahl in dB an. (3 P.)



Verstärker	Verstärkung	Rauschzahl
A	20 dB	5 dB
B	12 dB	2 dB
C	9 dB	2 dB

Verstärker C kann direkt ausgeschlossen werden, da er bei gleicher Rauschzahl eine geringere Verstärkung hat.

Für Verstärker A & B müssen jeweils die Rauschzahlen berechnet werden und verglichen.

In Lineare Werte umrechnen:

Verstärkung Empfänger: 3,98 (linear)

Rauschzahl Empfänger: 5,01 (linear)

Verstärkung A: 100 (linear)

Rauschzahl A: 3,16 (linear)

Verstärkung B: 15,85 (linear)

Rauschzahl B: 1,58 (linear)

Mittels Formel für kaskadierte Rauschzahl:

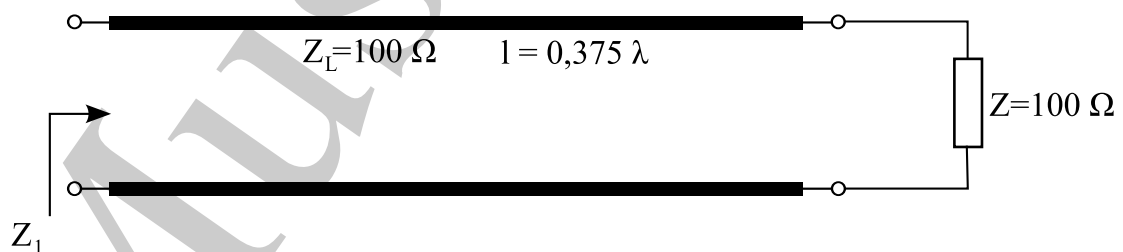
Rauschzahl Gesamt mit A: 3,20 (linear)

Rauschzahl Gesamt mit B: 1,83 (linear)

Mit Verstärker B bekommt man die geringste Gesamt-Rauschzahl und somit das beste Signal-zu-Rauschverhältnis. Die Gesamtrauschzahl beträgt 2,6 dB.

i) Geben Sie die Klemmenimpedanz Z_1 an.

(1P)



Der Leitungswellenwiderstand entspricht der Abschlussimpedanz, somit herrscht Anpassung und folglich wird Z nicht transformiert.

$$Z_1 = 100 \Omega$$

Aufgabe 2

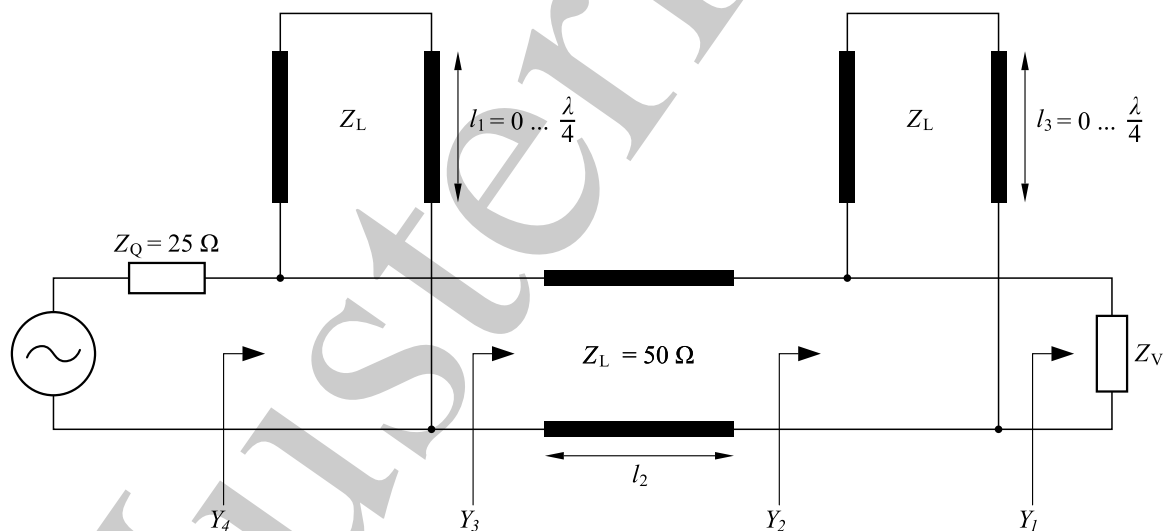
(gesamt 20 Punkte)

Smithdiagramm

- a) Wie nennt man die Ebene, welche in einem Smithdiagramm dargestellt wird. Worin liegt der wesentliche Unterschied zwischen einem Smithdiagramm in Leitwertform und einem solchen in Widerstandsform? (2 P.)

Reflexionsfaktorebene

Der Unterschied liegt in den eingezeichneten Hilfslinien. Bei der Widerstandsform sind die Kreise $R = \text{const}$ und $X = \text{const}$, bei der Leitwertform $G = \text{const}$ und $B = \text{const}$ eingezeichnet.



Die Impedanz $Z_V = (80 + j60) \Omega$ soll an eine Quelle mit dem Innenwiderstand $Z_Q = 25 \Omega$ reflexionsfrei angeschlossen werden. Dazu dienen zwei kurzgeschlossene Stichleitungen mit den variablen Leitungslängen l_1 und l_3 , sowie eine Leitung mit der festen Länge $l_2 = 0,33\lambda$. Siehe dazu das obige Schaltbild.

Alle Leitungen haben einen Wellenwiderstand von $Z_L = 50 \Omega$. Aus konstruktiven Gründen müssen die Längen l_1 und l_3 der beiden Stichleitungen kleiner als $\lambda/4$ sein.

- b) Zeichnen Sie den zugehörigen Transformationsweg in ein Smithdiagramm ein und bestimmen Sie daraus die benötigten Leitungslängen l_1/λ und l_3/λ , so daß Sie Anpassung erhalten. Alle Transformationsschritte sind aufzuführen und zu begründen. Die Zuordnung der Bauelemente zu den einzelnen Transformationsschritten muß nachvollziehbar sein. Begründen Sie welche Diagrammart und welchen Bezugswiderstand Sie wählen. (11 P.)

Smithdiagramm in Leitwertform wegen parallelen Stichleitungen, bezogen auf $Z_B = Z_L = 50 \Omega$ wegen der 50Ω Leitungstransformation.

$$Y_1 Z_B = \frac{Z_B}{Z_V} = \frac{50 \Omega}{(80 + j60) \Omega} = 0,4 - j0,3 \text{ (Startpunkt)}$$

Parallelschaltung eines Blindleitwertes (Stichleitung) $l_3 \Rightarrow$ Transformation auf $GZ_B = 0,4 = \text{const-Kreis}$. Wegen $l_3 < \lambda/4$ kann nur der induktive Teil (obere Hälfte) erreicht werden.

Drehung des Kreises um Ursprung durch Leitung 2 um $l_2 = 0,33\lambda \hat{=} 237,6^\circ$ im Uhrzeigersinn $\Rightarrow Y_2$

$$\text{Einzeichnen der Impedanz } Y_Q^* Z_B = \frac{50 \Omega}{25 \Omega} = 2 \text{ (Zielpunkt)}$$

Schnittpunkt des gedrehten $G = \text{const}$ -Halbkreises mit Kreis $GZ_B = 2 \Rightarrow GZ_B = 2 + j2,134$

Schnittpunkt auf m -Kreis zurückdrehen um $0,33\lambda$ und ermitteln des Schnittpunktes mit Kreis $GZ_B = 0,4 \Rightarrow GZ_B = 0,4 - j0,866$

Bestimmung der Leitungslänge l_1 :

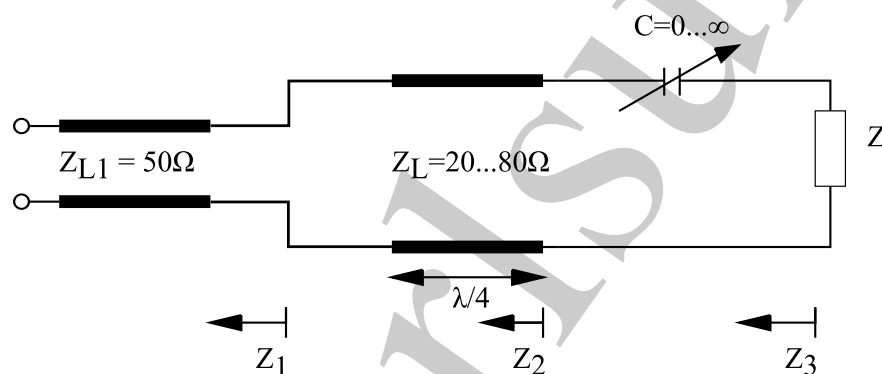
$$B_1 Z_B = 0 - 2,134 = -2,134 = -\cot\left(2\pi \frac{l_1}{\lambda}\right) \Rightarrow \frac{l_1}{\lambda} = 0,0697$$

(oder ablesen auf Außenskala des Smith-Diagramms)

Bestimmung der Leitungslänge l_3 :

$$B_3 Z_B = -0,866 - (-0,3) = -0,566 = -\cot\left(2\pi \frac{l_3}{\lambda}\right) \Rightarrow \frac{l_3}{\lambda} = 0,168$$

(oder ablesen auf Außenskala des Smith-Diagramms)



Die Impedanz Z soll mit Hilfe einer $\lambda/4$ - Leitung und eines Serienkondensators an 50Ω angepasst werden. Der Wellenwiderstand der $\lambda/4$ - Leitung darf aus konstruktiven Gründen nur zwischen 20Ω und 80Ω betragen:

- c) Schraffieren Sie in einem auf 50Ω normierten Smith-Diagramm den Bereich der Impedanzen Z , der an 50Ω angepasst werden kann. Alle Transformationsschritte sind aufzuführen und zu begründen. Die Zuordnung der Bauelemente zu den einzelnen Transformationsschritten muss nachvollziehbar sein. Begründen Sie welche Diagrammart Sie wählen. (7P.)



Smith-Diagramm in Widerstandsform wegen dem seriellen C, bezogen auf (50Ω) (vorgegeben)

Transformationsrichtung: Beginn bei $Z_{L1} \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \Rightarrow Z_3 = Z^*$
 Z_{L1} , in S.D. eintragen.

$\lambda/4$ -Transformation - 2 Lösungsmöglichkeiten

- rechnerisch:
für Kettenschaltung einer Leitung gilt (verlustfrei):

$$Z(1) = Z_L \frac{Z(0) + jZ_L \tan(\beta l)}{Z_L + jZ(0) \tan(\beta l)} \text{ für } l = \lambda/4 \Rightarrow Z(\lambda/4) = \frac{Z_L^2}{Z(0)}$$

$$\rightarrow Z(\lambda/4) = 8 \Omega \dots 128 \Omega = 0,16 \cdot 50 \Omega \dots 2,56 \cdot 50 \Omega = Z_{2u} \dots Z_{2o}$$

- zeichnerisch:
graphisch im Smith-Diagramm: Drehung auf m-Kreis um 180°

$$\text{S.D. mit } Z_L = 20 \Omega : \frac{50 \Omega}{20 \Omega} = 2,5$$

$$\text{Drehung auf m-Kreis um } 180^\circ \Rightarrow Z_{2u} = 0,4 \cdot 20 \Omega = 8 \Omega$$

$$\text{S.D. mit } Z_L = 80 \Omega : \frac{50 \Omega}{80 \Omega} = 0,625$$

$$\text{m-Kreis Drehung um } 180^\circ \Rightarrow Z_{2o} = 1,6 \cdot 80 \Omega = 128 \Omega$$

$\Rightarrow r_2$ im Smith-Diagramm

Serien C(variable)

Drehung entgegen Uhrzeigersinn auf $R=\text{const.}$ -Kreisen bis in den Leerlaufpunkt $\Rightarrow r_3$ im Smith-Diagramm

Im zu r_3 konjugiert komplexen Gebiet liegen die Impedanzen Z, die anpassbar sind.

Aufgabe 3

(gesamt 12 Punkte)

Stehende Wellen und Leitungsdämpfung

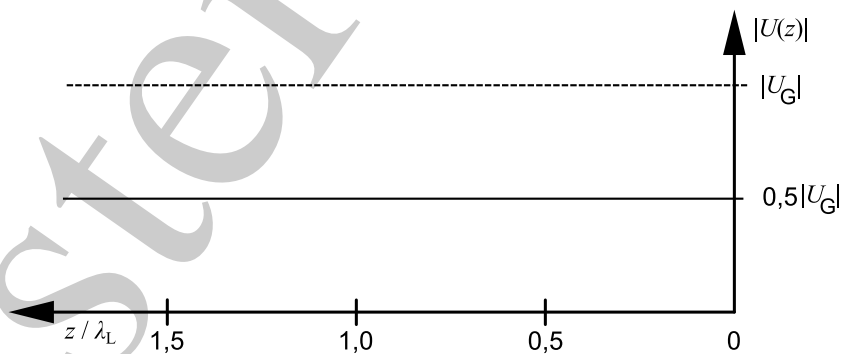
Zeichnen Sie die Verteilung des Betrages $|U(z)|$ der komplexen Spannungsamplitude $U(z)$ auf der skizzierten Meßleitung (Wellenwiderstand $Z_L = \text{reell}$) für die Lastimpedanzen Z_V nach den Teilaufgaben a) und b) in die dafür vorgesehenen Diagramme ein. Die Generatorimpedanz sei $Z_G = Z_L$.

Benennen Sie die wesentlichen Punkte (Minima, Maxima) an den Achsen.



a) Lastfall $Z_V = Z_L$:

(3 P.)

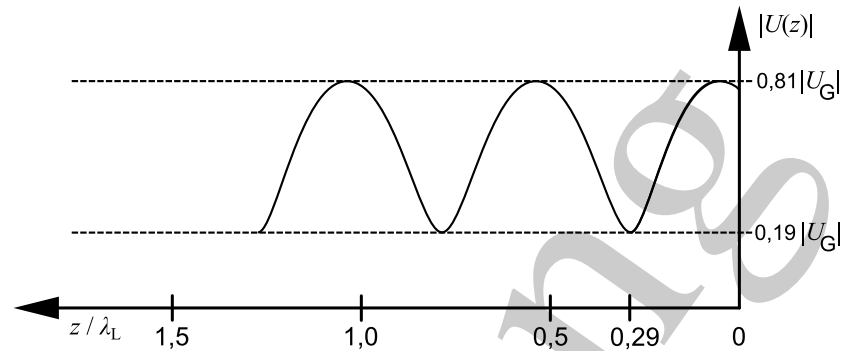


$$r(0) = 0 \Rightarrow |U(z)| = \text{const}$$

$$|U(z)| = |U_G| \frac{Z_L}{Z_L + Z_G} = \frac{1}{2} |U_G|$$

b) Lastfall $Z_V = (2 + j2)Z_L$:

(4P.)



$$r(0) = \frac{2+j2-1}{2+j2+1} = \frac{1+j2}{3+j2}$$

$$|r(0)| = 0,62 \quad \arg r(0) = 0,17\pi$$

$$|U(z)| = \left| \frac{U_G}{2} \cdot \left| 1 + 0,62e^{-j(4\pi\frac{z}{\lambda} - 0,17\pi)} \right| \right|$$

$$\text{Minima: } 4\pi\frac{z_{\min}}{\lambda} - 0,17\pi \stackrel{!}{=} \pi$$

$$\Rightarrow \frac{z_{\min}}{\lambda} = 0,29$$

c) Welche Frequenzabhängigkeiten haben die Längs- und die Querdämpfung einer Leitung und welche physikalischen Effekte sind für die jeweilige Dämpfung verantwortlich?

(2P.)

Längsdämpfung $\propto \sqrt{\omega}$ verursacht durch ohmschen Widerstand und SkineneffektQuerdämpfung $\propto \omega$ verursacht durch dielektrische Verluste

d) Erläutern Sie den Begriff Übernahmefrequenz.

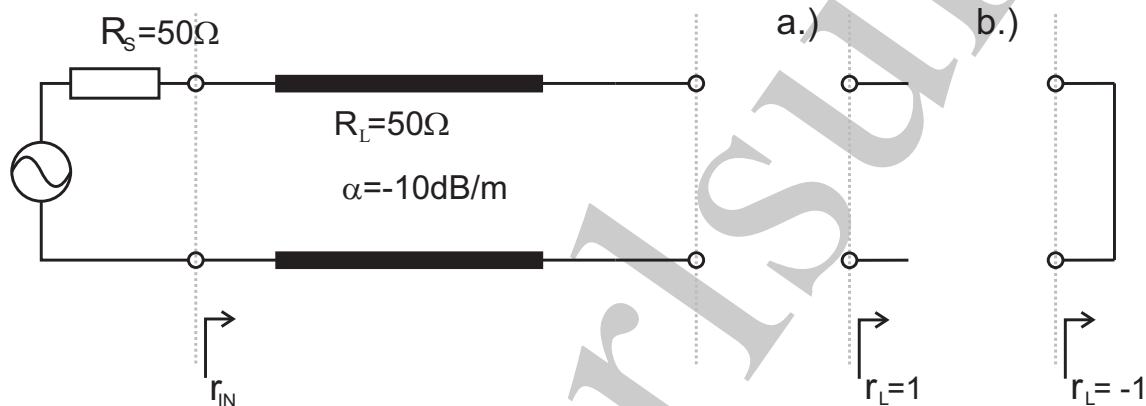
(1P.)



Bei der Übernahmefrequenz ist die Querdämpfung einer Leitung gleich der Längsdämpfung.

e) Gegeben sei die folgende Reihenschaltung aus Quelle, Leitung und Abschluss:

(2P.)



Die Leitung besitzt eine Dämpfung von 10 dB/m.

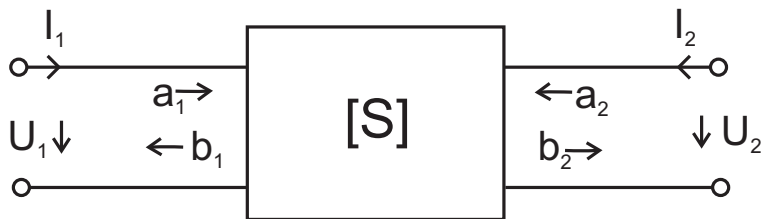
Bestimmen Sie die minimale Leitungslänge l ab der $|r_{IN}| \leq -30$ dB gilt für den Fall das die Leitung entweder mit einem Leerlauf [a.)] oder einem Kurzschluss [b.)] abgeschlossen wird.

In beiden Fällen (Kurzschluss und Leerlauf) wird sämtliche Leistung am Ende der Leitung reflektiert. \Rightarrow Da hier nur der Betrag betrachtet wird, muss keine Unterscheidung zwischen a.) und b.) vorgenommen werden.

Ein in das Kabel eingespeistes Signal wird sowohl beim Hin- wie auch beim Rückweg durch die Leitung um 10 dB/m gedämpft. \Rightarrow Um also einen Reflexionsfaktor von ≤ -30 dB zu erreichen muss die Leitung mindestens 1,5 m lang sein.

Aufgabe 4

(gesamt 20 Punkte)

S-Parameter

a) Wie sind die folgenden Parameter definiert?

(3 P.)

- Z_{11}
- Y_{12}
- S_{21}

- $Z_{11} = \frac{U_1}{I_1} \Big|_{I_2=0}$

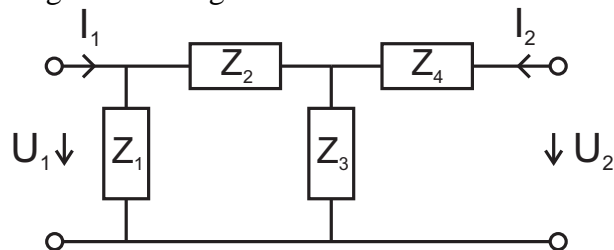
- $Y_{12} = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{U_1=0}$

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

Musterlösung

b) Gegeben sei folgendes 2-Tor:

(8 P.)

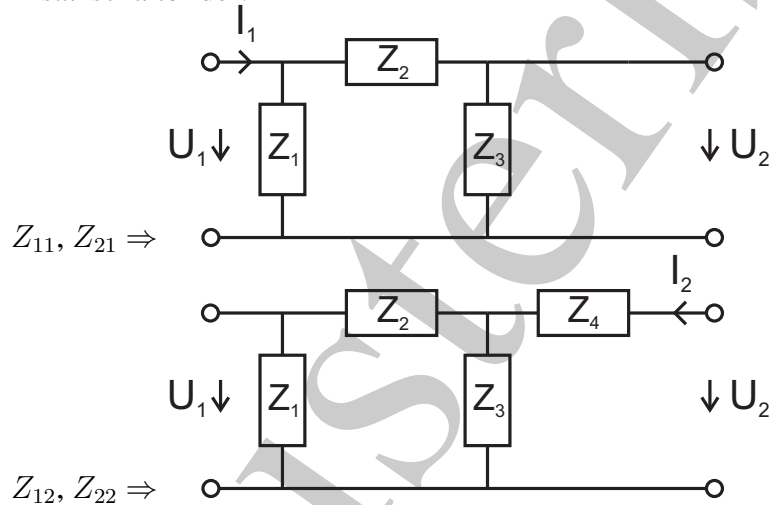


Bestimmen Sie die Z-Parameter des 2-Tors und zeichnen Sie zwei Ersatzschaltbilder (Bild1: Z_{11}, Z_{21} ; Bild2: Z_{12}, Z_{22}) mit sämtlichen Vereinfachungen.

Ist das 2-Tor umkehrbar wenn folgendes gilt: $Z_1 = Z_3$ und $Z_2 = Z_4$?

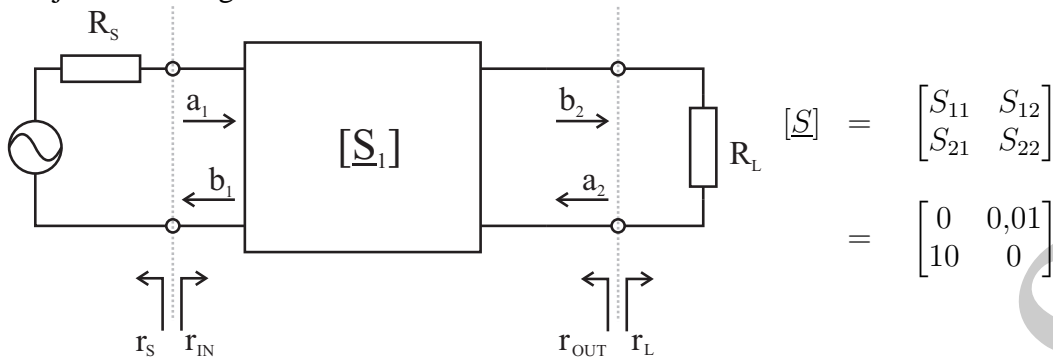
$$\begin{aligned}
 Z_{11} &= \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \Rightarrow Z_{11} = \frac{Z_1 \cdot (Z_2 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\
 Z_{12} &= \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \Rightarrow U_1 = I_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \cdot Z_1 \Rightarrow Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\
 Z_{21} &= \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \Rightarrow U_2 = I_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \cdot Z_3 \Rightarrow Z_{21} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\
 Z_{22} &= \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0} \Rightarrow Z_{22} = Z_4 + \frac{Z_3 \cdot (Z_1 + Z_2)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}
 \end{aligned}$$

Ersatzschaltbilder:



- Da $Z_{12} = Z_{21}$ ist das 2-Tor umkehrbar.

Ab jetzt wird folgendes 2-Tor betrachtet:



Der Bezugswellenwiderstand ist als $Z_0 = 50 \Omega$ definiert. Auf der Seite von Port 2 sei das Tor mit einer Last $R_L = 100 \Omega$ abgeschlossen. Das 2-Tor wird bei der Frequenz $f = 100 \text{ MHz}$ untersucht.

- c) Wird weniger als $\frac{1}{100}$ der an Port 1 eingespeisten Leistung (a_1) reflektiert? Geben Sie (3 P.) zusätzlich den Reflexionsfaktor in dB an.

Da das durch die S-parameter charakterisierte System reflexionsfrei ($S_{11} = 0$) ist, muss nur die Transmission des 2-Tors sowie die Reflexions zwischen Port 2 des 2-Tors und der Last r_L untersucht werden.

$$r_L = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0} = 0,333$$

$$P_r P_h = \frac{1/2 |b_1|^2}{1/2 |a_1|^2} = |r_{IN}|^2 = \left| S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} r_L}{1 - S_{22} r_L} \right|^2 = (0,01 \cdot 10 \cdot 0,333)^2 = 1,111 \cdot 10^{-3} < \frac{1}{100}$$

$$r_{IN} = r_{IN} = 20 \cdot \log_{10}(|r_{IN}|) = -29,54 \text{ dB}$$

d) Ändert sich die Anpassung (r_{IN}) an Port 1 wenn S_{22} von 0 auf 0,1 verändert wird? Warum?

(1P.)



Ja, da in diesem Fall Mehrfachreflexionen auftreten. ($r_{IN} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}r_L}{1-S_{22}r_L}$)

$$r_{IN}|_{S_{22}=0} = S_{12}S_{21}r_L \neq r_{IN}|_{S_{22} \neq 0} = \frac{S_{12}S_{21}r_L}{1-S_{22}r_L}$$

e) Wie groß ist die Spannungsverstärkung für ein Signal welches das 2-Tor von Tor 1 nach Tor 2 durchläuft?

(1P.)



$$\frac{|U_{2,r}|}{|U_{1,h}|} = |S_{21}| = 10$$

f) Kann der Reflexionsfaktor eines passiven 1-Tors größer als 1 werden? Warum?

(1P.)



Um einen Reflexionsfaktor > 1 zu erreichen muss mehr Signalleistung aus dem Tor zurückfließen als hineingesteckt wird. Dies ist nur mit aktiven Elementen zu erreichen. Es ist also nicht möglich.

g) Gegeben sei folgende S-Parameter Matrix eines verlustlosen, passiven und umkehrbaren

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} |S_{11}| & |S_{12}| \\ |S_{21}| & |S_{22}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |0,5| & |S_{12}| \\ |S_{21}| & |S_{22}| \end{bmatrix}$$

(3 P.)



Bestimmen Sie die fehlenden S-Parameter: $|S_{12}|$, $|S_{21}|$ und $|S_{22}|$

Da das 2-Tor verlustlos und passiv ist muss die Energieerhaltung erfüllt werden:

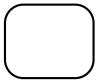
$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = 1 \Rightarrow |0,5|^2 + |S_{21}|^2 = 1 \Rightarrow |S_{21}| = 0,866 = |S_{12}|$$

Da das 2-Tor umkehrbar ist muss $|S_{12}| = |S_{21}|$ gelten.

$$\text{Energieerhaltung: } |S_{22}|^2 + |S_{12}|^2 = 1 \Rightarrow |S_{22}|^2 + |0,866|^2 = 1 \Rightarrow |S_{22}| = 0,5 = |S_{11}|$$

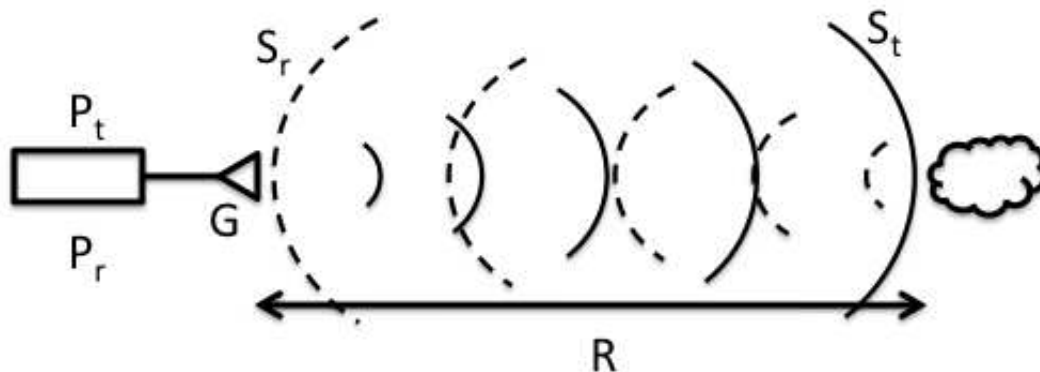
Aufgabe 5

(gesamt 20 Punkte)

Mikrowellensysteme

- a) Leiten Sie die monostatische Radargleichung her, ausgehend von einem Sender mit der Sendeleistung P_t , dem Antennengewinn G (gleich für Sender und Empfänger), sowie dem Abstand R und dem Radarrückstreuquerschnitt σ eines Zielobjekts. Beschreiben Sie dabei die einzelnen Herleitungspunkte mit Stichpunkten und fertigen Sie eine passende Skizze an.

(5 P.)



Strahlt ein Sender eine Leistung P_t durch eine Antenne mit dem Gewinn G ab, so beträgt die Leistungsdichte S_t an einem Ziel in der Entfernung R

$$S_t = \frac{P_t G}{4\pi R^2}$$

Das Ziel streut die eingestrahlte Leistung in alle Raumrichtungen. Die Leistungsdichte des zum Radarsystem zurückgestreuten Signals ergibt sich mit dem Radarrückstreuquerschnitt zu

$$S_r = \frac{S_t \sigma}{4\pi R^2} = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2}$$

Mit der Antennenwirkfläche

$$A_w = \frac{\lambda^2}{4\pi} G$$

resultiert die Empfangsleistung zu

$$P_r = S_r A_w = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

Gegeben ist ein Schiffsradar, das bei einer Frequenz von 10 GHz eine Sendeleistung von 30 dBm aufweist. Die Antenne, die sowohl zum Senden als auch zum Empfangen genutzt wird, hat einen Gewinn von 20 dBi. Die Radar-Schaltung ist ein 50Ω -System.

- b) Im Abstand 3 km zum Radar befindet sich ein Segelboot mit einem Rückstreuquerschnitt von $4 m^2$. Welche effektive Empfangsspannung in $dB\mu V$ wird durch dieses Schiff am Radar erzeugt?

(3 P.)



Wellenlänge $\lambda = c/f$: 0,03 m
Sendeleistung: 30 dBm entspricht 1 W
Antennengewinn: 20 dBi entspricht 100

Werte mit $R = 3000$ m in Radargleichung einsetzen.

Es folgt eine Empfangsleistung von $2,24 \cdot 10^{-16} W$.

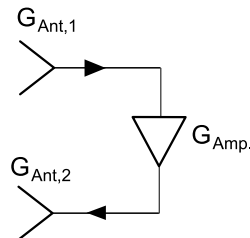
Die effektive Empfangsspannung ergibt sich als

$$U_{r,eff} = \sqrt{P_r Z_0} = 1,05 \cdot 10^{-7} V$$

Und somit -19,5 $dB\mu V$.

Musterlösung

Um besser erkannt zu werden, wird auf dem Segelboot ein sogenannter Radar-Verstärker angebracht. Dieser besteht aus einer Empfangsantenne mit einem Gewinn von $G_{\text{Ant},1} = 6 \text{ dBi}$, einem Verstärker mit einer Verstärkung von $G_{\text{Amp.}} = 43 \text{ dB}$ und einer Sendeantenne mit einem Gewinn von $G_{\text{Ant},2} = 6 \text{ dBi}$ (siehe Abbildung). Das Segelboot befindet sich dabei weiterhin 3 km entfernt vom Radar.



- c) Berechnen Sie welche Empfangsleistung in dBm diese Anordnung am Radar erzeugt. Das Radar detektiert das empfangene Signal als ein Ziel im Abstand von 3 km. Welchen Radar-rückstreuquerschnitt weist es diesem Ziel zu? (8 P.)



Antennengewinn jeweils 3,98 (auch 4 o.k.)

Verstärkung des Verstärkers: 40 dB entspricht 19952,6 (auch 20000 o.k.)

Für Hinweg und Rückweg jeweils die Friis-sche Gleichung verwenden und zusätzliche Verstärkung berücksichtigen.

$$\text{Eingangsleistung in Verstärker: } P_{\text{amp},in} = \frac{P_t \cdot G \cdot G_{\text{Ant},1} \cdot \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

$$\text{Somit folgt: } 2,52 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$

$$\text{Ausgangsleistung aus dem Verstärker: } P_{\text{amp},out} = P_{\text{amp},in} \cdot G_{\text{Amp.}} = 5,03 \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

$$\text{Empfangsleistung des Radars: } P_{r,2} = \frac{P_{\text{amp},out} \cdot G \cdot G_{\text{Ant},2} \cdot \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

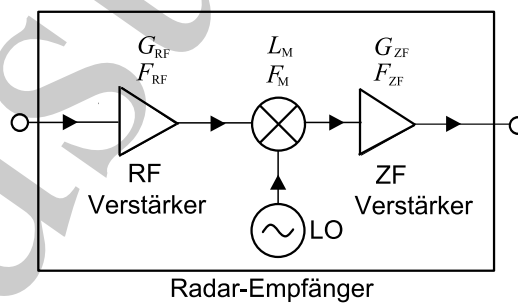
$$\text{Somit folgt: } P_{r,2} = 1,28 \cdot 10^{-15} \text{ W und somit } -118,96 \text{ dBm.}$$

Das imitierte RCS folgt aus Umstellung der Radargleichung und einsetzen der Sende- und Empfangsleistung:

$$\sigma = \frac{P_{r,2} (4\pi)^3 R^4}{P_t G^2 \lambda^2} = 22,64 \text{ m}^2$$



Der Radarempfänger besteht aus den in der Abbildung dargestellten Komponenten, einem rauscharmen Verstärker, einem Abwärtsmischer, sowie einem ZF-Verstärker.



Die Kennwerte der einzelnen Komponenten lauten:

$$G_{\text{RF}} = 16 \text{ dB}, F_{\text{RF}} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{M}} = 10 \text{ dB}, F_{\text{M}} = 6 \text{ dB}$$

$$G_{\text{ZF}} = 30 \text{ dB}, F_{\text{ZF}} = 6 \text{ dB}$$

- d) Berechnen Sie die Gesamtverstärkung und die Gesamtrauschzahl des Systems und geben Sie die Werte in dB an.

(4P.)



Berechnung der Gesamtverstärkung direkt aus Addition der DB-Werte:

$$G_{ges}|_{dB} = 16dB - 10dB + 30dB = 36dB$$

Umrechnung in lineare Werte für Rauschzahlberechnung:

Verstärkung RF: 39.8107 (linear) - (auch 40 o.k.)

Rauschzahl RF: 1.9953 (linear) - (auch 2 o.k.)

Verstärkung Mischer: 0.1 (linear)

Rauschzahl Mischer: 3.9811 (linear) - (auch 4 o.k.)

Verstärkung ZF: 1000 (linear)

Rauschzahl ZF: 3.9811 (linear) - (auch 4 o.k.)

Rauschzahl mittels Formel für kaskadierte Rauschzahl (lineare Werte einsetzen!)

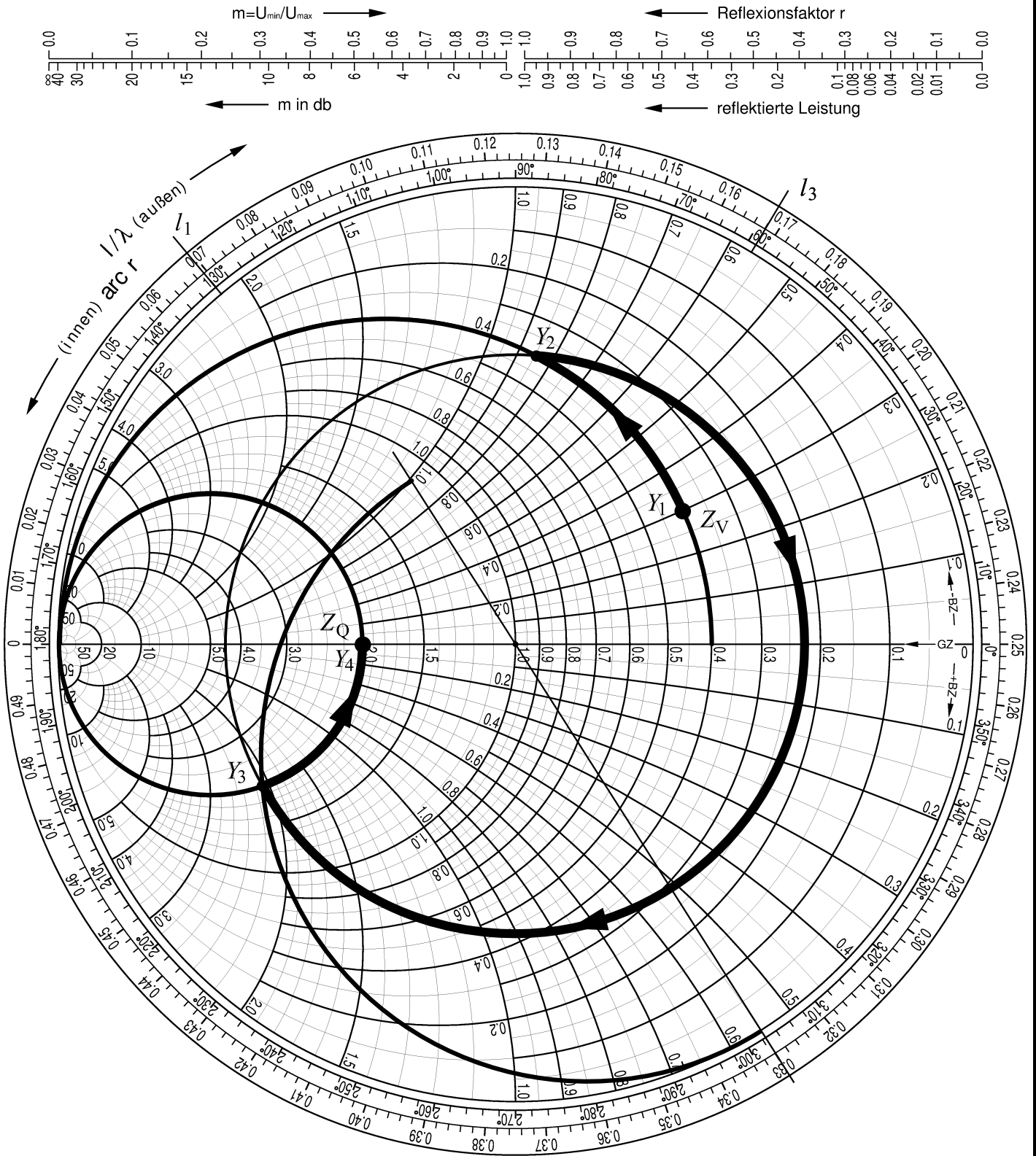
$$F_{ges} = F_{RF} + \frac{F_M - 1}{G_{RF}} + \frac{F_{ZF} - 1}{G_{RF}G_M}$$

Rauschzahl Gesamt: 2.819 (linear)

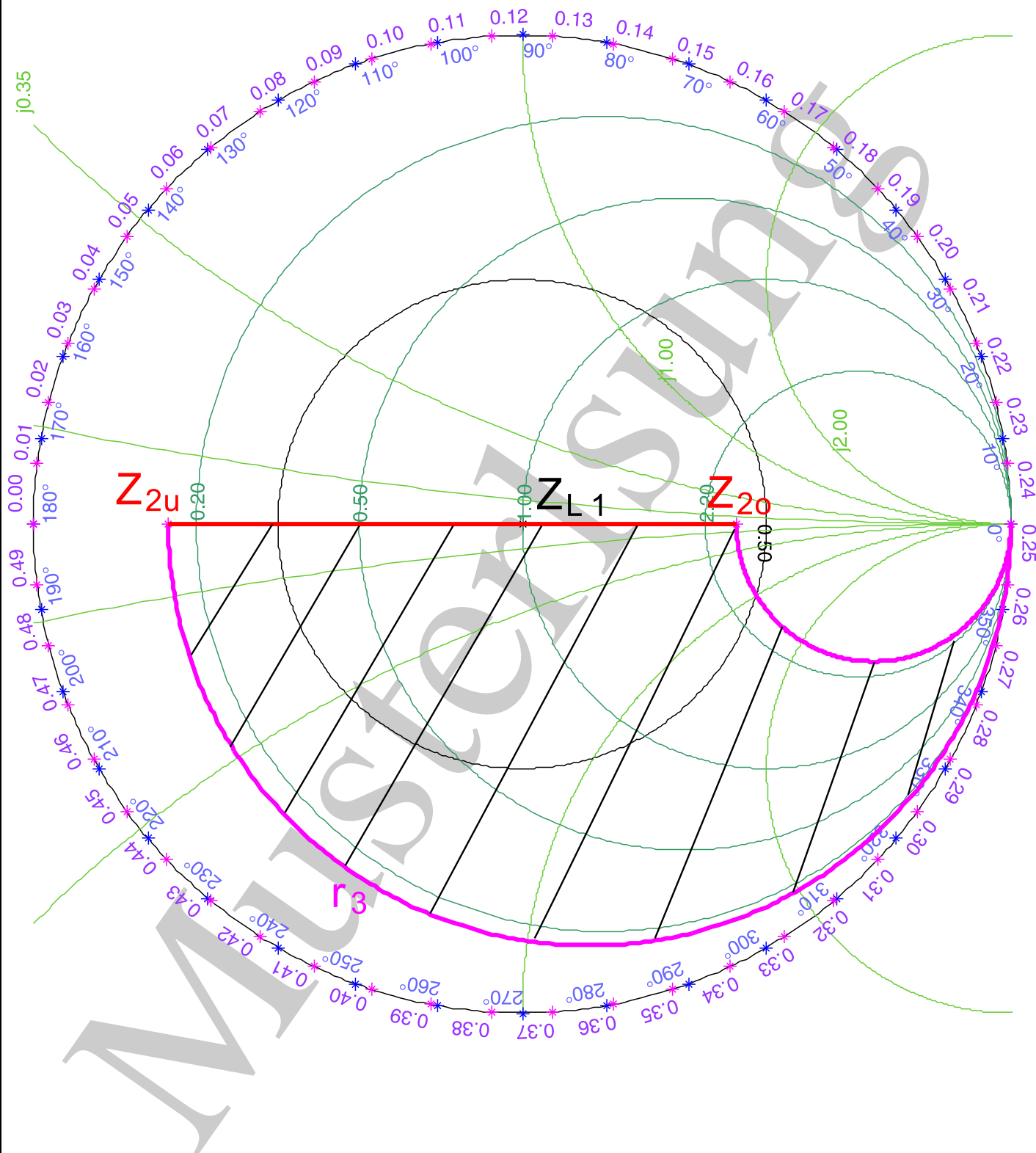
Rauschzahl Gesamt: 4.5009 dB

zugehörige
Aufgabennummer: 2b

Leitwertform
Bezugswiderstand $Z_B = 50 \Omega$



Wichtig: Diagramm wird nur gewertet, wenn der obenstehende Datenteil mit Name und Aufgabennummer korrekt ausgefüllt ist. Bezugswiderstand nicht vergessen!

zugehörige
Aufgabennummer: 2cWiderstandsform
Bezugswiderstand $Z_B = 50 \Omega$ 

Wichtig: Diagramm wird nur gewertet, wenn der obenstehende Datenteil mit Name und Aufgabennummer korrekt ausgefüllt ist. Bezugswiderstand nicht vergessen!