

Name:
.....

Matrikel-Nr.:
.....

Platz-Nr.:

GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 1 von 32

Schriftliche Prüfung 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	17	17	16	18	17
erzielte Punkte					

Gesamtbewertung

Punkte maximal:	Gesamtpunkte:	Bonus:	Note:
85		Ja: ☐ Nein: ☐	



Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik

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 32 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**Aufgabe 1**

(gesamt 17 Punkte)

Allgemeines☐

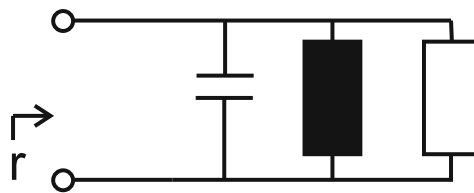
- a) Zeichnen Sie das vollständige Ersatzschaltbild einer Spule. Nennen Sie zwei mögliche Ursachen für Verluste in der Spule.

(3 P.)

☐

- b) Gegeben ist folgender Schaltkreis:

(3 P.)

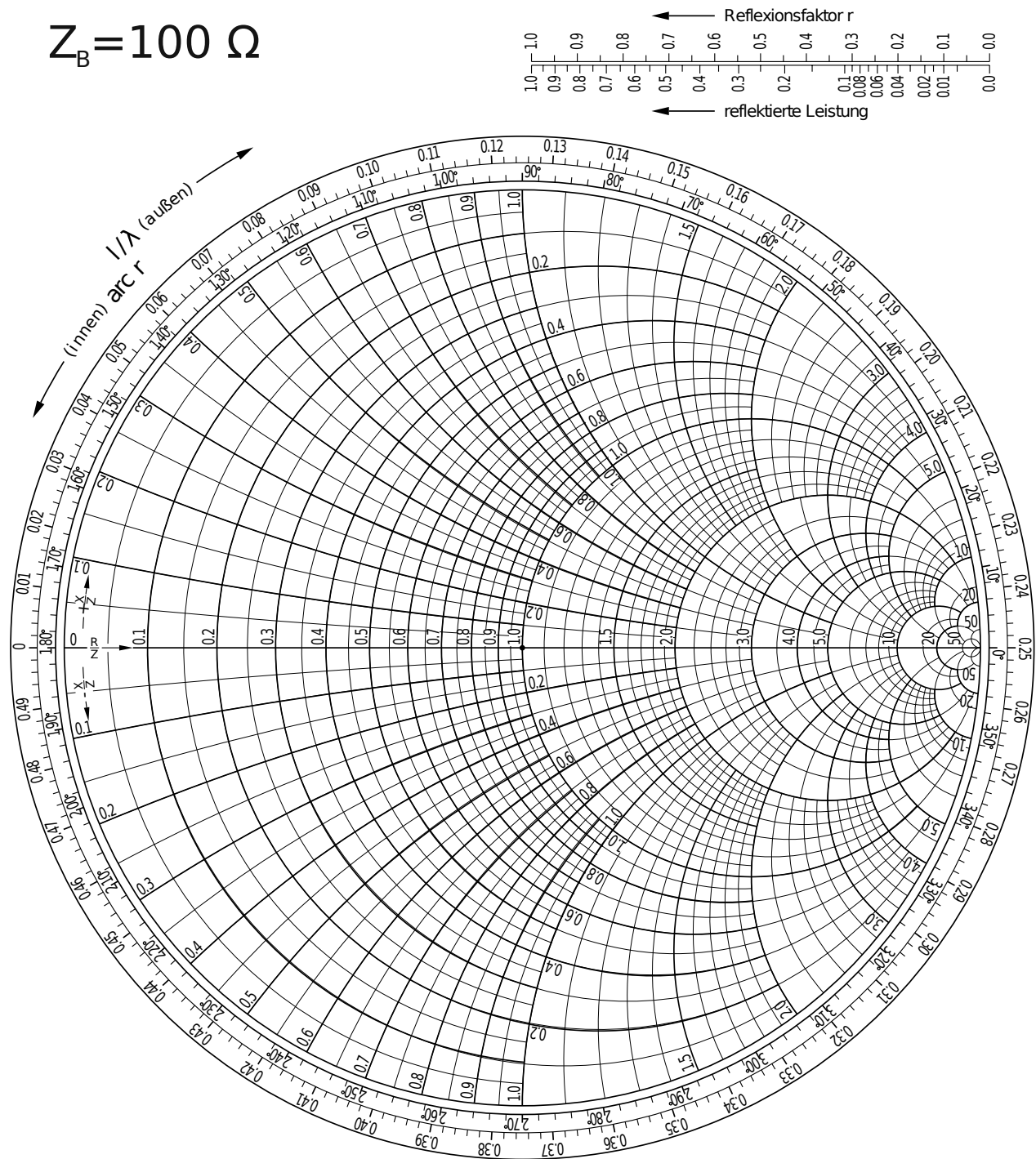
☐

$$L = 10 \text{ nH}, C = 10 \text{ pF}, R = 150 \Omega$$

Zeichnen Sie den Verlauf des Reflexionsfaktors von $f = 0$ bis $f \rightarrow \infty$ in das gegebene Smithdiagramm für einen Bezugswiderstand von $Z_B = 100 \Omega$ ein und kennzeichnen Sie die Umlaufrichtung für zunehmende Frequenzen.

Bei welcher Frequenz schneidet der Reflexionsfaktor die reelle Achse?

.....

$$Z_B = 100 \, \Omega$$


- c) Welche geometrische Form durchläuft der Reflektionsfaktor am Eingang im Smithdiagramm, wenn die Länge einer schwach verlustbehafteten Leitung variiert wird? Der Bezugswiderstand des Smithcharts entspricht hierbei dem Wellenwiderstand der Leitung.

(2 P.)



Welchen Reflektionsfaktor weist eine verlustbehaftete Leitung am Eingang auf, wenn sie unendlich lang ist?

In beiden Fällen ist die Leitung mit einer beliebigen Impedanz ungleich dem Wellenwiderstand der Leitung abgeschlossen.

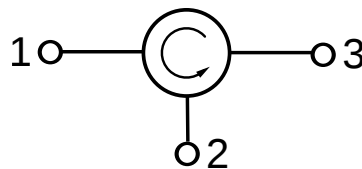
- d) Einem Mischer werden die beiden Signale $s_1(t) = A_1 \cdot \cos(2\pi \cdot 2,5 \text{ GHz} \cdot t + \frac{\pi}{4})$ und $s_2(t) = A_2 \cdot \sin(2\pi \cdot 2,4 \text{ GHz} \cdot t)$ zugeführt. Bei welchen Frequenzen befinden sich die Intermodulations- bzw. Mischprodukte 2. Ordnung?

(2 P.)



- e) Geben Sie die S-Matrix eines idealen Zirkulators an, der verlustlos und perfekt angepasst ist.

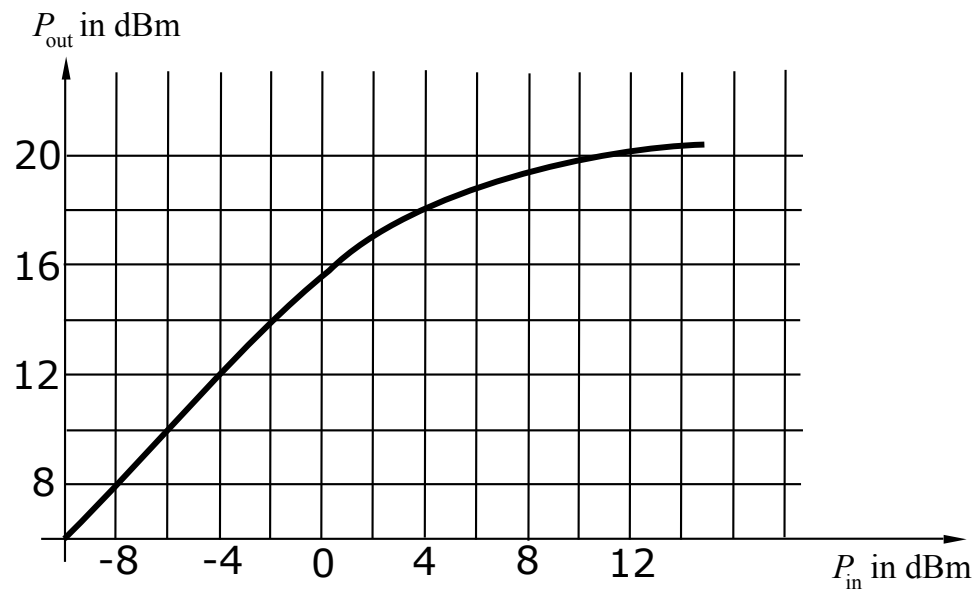
(1 P.)



$$S_{\text{Zirkulator}} = \begin{bmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{bmatrix}$$

Aufgabe 1

- f) Gegeben ist die folgende Verstärkerkennlinie. Geben Sie die Verstärkung im linearen Bereich und den 1 dB Kompressionspunkt bezogen auf den Ausgang an. Ergänzen Sie dazu die Grafik und zeichnen Sie den 1 dB Kompressionspunkt ein.

(2 P.)

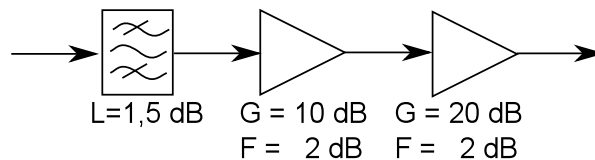
- g) In nachfolgender Abbildung ist ein WLAN-Empfänger als Blockschaltbild gezeichnet. Das Bandpassfilter besitzt eine Bandbreite von 20 MHz bei einer Mittenfrequenz von 2,4 GHz. Bestimmen Sie die Rauschzahl des Gesamtsystems bei einer Raumtemperatur von 290 K in dB.

(4P.)



Mit welcher Anordnung der Einzelkomponenten wird die beste Rauschzahl erreicht? Geben Sie die sich neu ergebende Rauschzahl an.

Warum kann es in der Praxis dennoch sinnvoll sein, den ursprünglichen Aufbau einzusetzen?



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 2

GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 8 von 32

Aufgabe 2

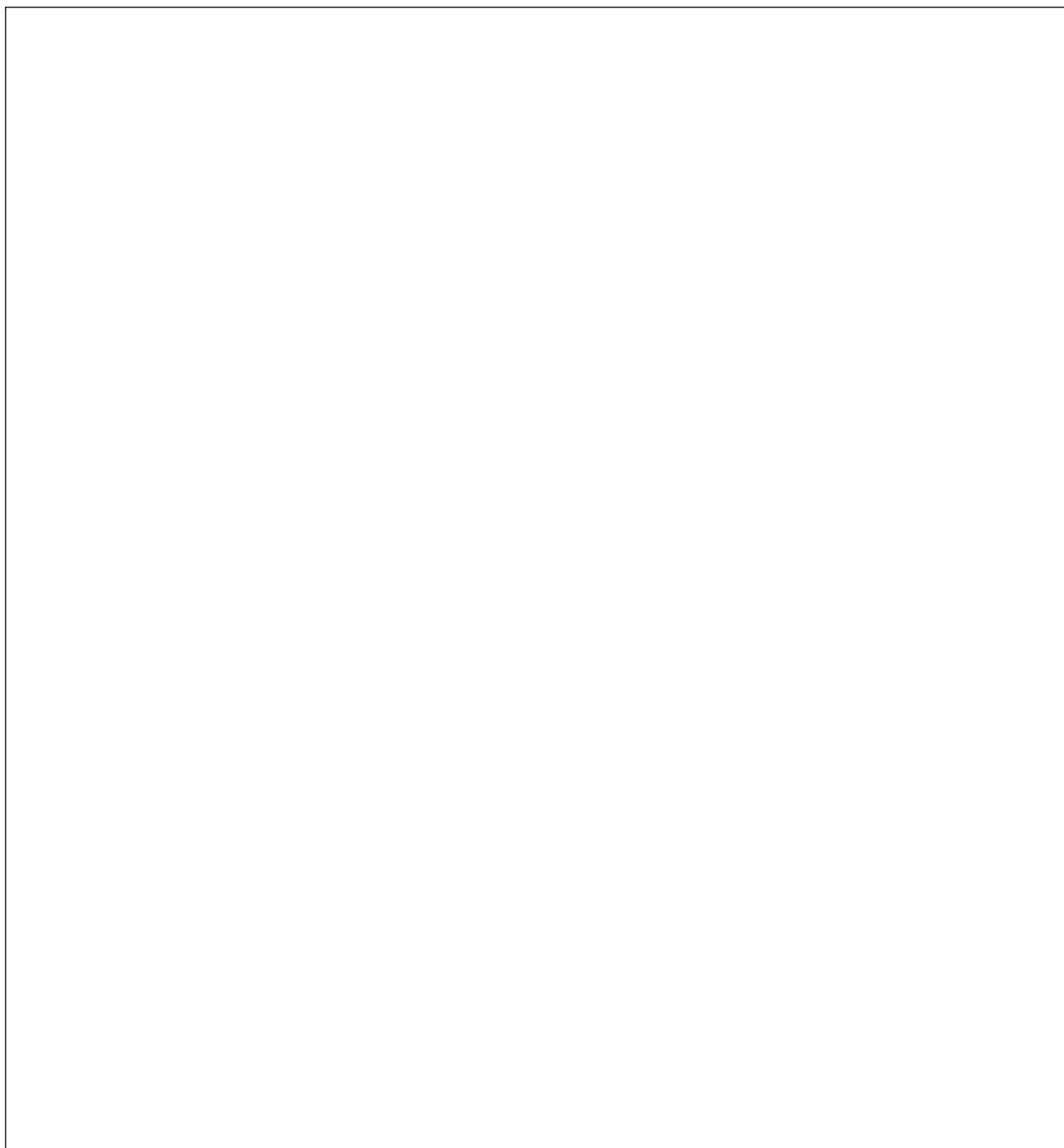
(gesamt 17 Punkte)

Radar

☐

- a) Welches Radarprinzip wählen Sie, um ein Radar als Türöffner im Kaufhaus zu entwickeln?
Wählen Sie ein möglichst einfaches und günstiges Prinzip. Zeichnen Sie die wichtigsten Komponenten in ein Blockschaltbild und beschriften Sie diese.

(4P.)

☐

Name:
.....

Aufgabe 2

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

(4P.)

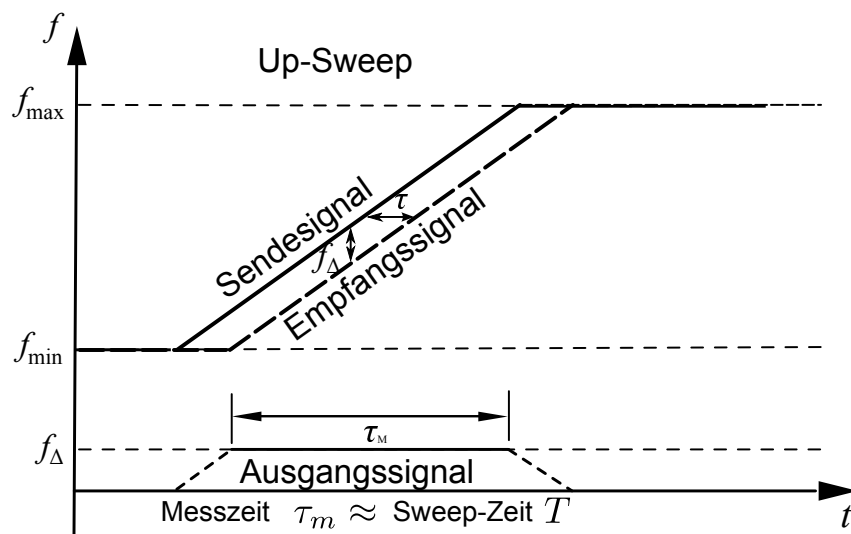


Aufgabe 2

c) Ein 24 GHz FMCW-Radar mit einer Bandbreite von $B = 150$ MHz und einer Mess- bzw. Sweepdauer von $T = 5$ ms wird eingesetzt, um Messungen im Medium Luft ($\epsilon_r = 1$) durchzuführen.

(3 P.)

- Wie groß ist die Entfernungsauflösung Δr des Radars in m?
- Wie groß ist die Dopplerauflösung Δf des Radars in Hz?
- Wie groß ist der maximale Eindeutigkeitsbereich $d_{\max}$ des Radars?



Name:
.....

Aufgabe 2

- d) Ein monostatisches FMCW-Radar soll im Automobilbereich als Automatic Cruise Control (ACC) Radar bei 24 GHz eingesetzt werden. Die Sendeleistung beträgt $P_{\text{Tx}} = 12 \text{ dBm}$, der Gewinn von Sende- und Empfangsantenne $G = 8 \text{ dBi}$ und das kleinste zu detektierende Ziel weist einen Radarrückstreuquerschnitt (RCS) von $\sigma = 1 \text{ m}^2$ auf. Wie hoch ist die Reichweite R_{max} des Radars, wenn dieses eine minimale Empfangsleistung von $P_{\text{Rx}} = -125 \text{ dBm}$ benötigt?

(4P.)



Name:

Aufgabe 2

- e) Um welchen Faktor muss der Gewinn G erhöht werden, wenn die maximale Reichweite $R_{\max}$ des Radars verdoppelt werden soll? Alle anderen Parameter bleiben konstant.

(1P.)



- f) Wofür steht die Abkürzung „Radar“?

(1P.)

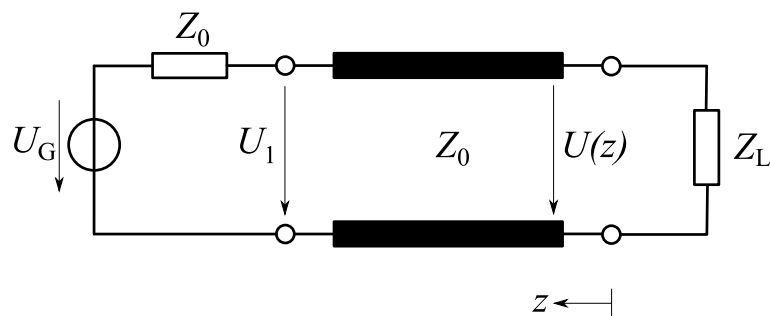


Aufgabe 3**Aufgabe 3**

(gesamt 16 Punkte)

Stehende Wellen und Leitungen

Gegeben sei die in der Skizze gezeigte verlustfreie Leitung mit Leitungswellenwiderstand $Z_0 = 50 \Omega$. Die Leitung wird von einer Wechselspannungsquelle gespeist, die eine Leerlaufspannungsamplitude von $U_G = 2 \text{ V}$ aufweist. Der auf Z_0 bezogene Reflexionsfaktor der Lastimpedanz Z_L beträgt $r_L = 0,25e^{j\frac{\pi}{4}}$.



- a) Berechnen Sie die Werte $\frac{z}{\lambda}$, für die $|U(z)|$ minimal bzw. maximal wird.

(4P.)



Name:

Aufgabe 3

- b) Für die Spannung U_1 am Eingang der Leitung gilt $U_1 = U_{1,\text{Hin}} + U_{1,\text{Rück}}$. Leiten Sie allgemein die komplexe Amplitude der zur Lastimpedanz laufenden Spannungswelle $U_{1,\text{Hin}}$ in Abhängigkeit der Generatorspannung U_G her.

(3 P.)



- c) Berechnen Sie das Minimum und Maximum von $|U(z)|$ auf der Leitung.

(2 P.)



- d) Berechnen Sie den Wert für $|U(z)|$ an der Stelle $z = 0$.

(1 P.)

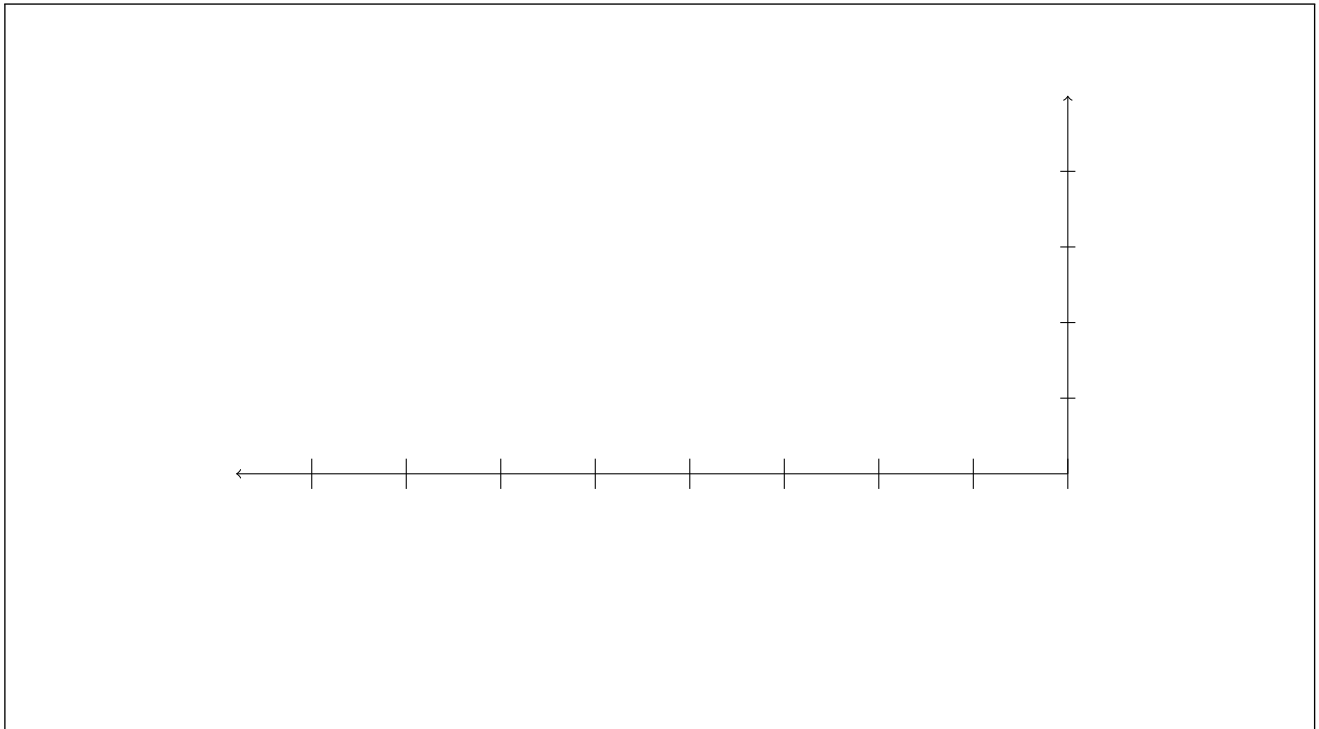


Name:

Aufgabe 3

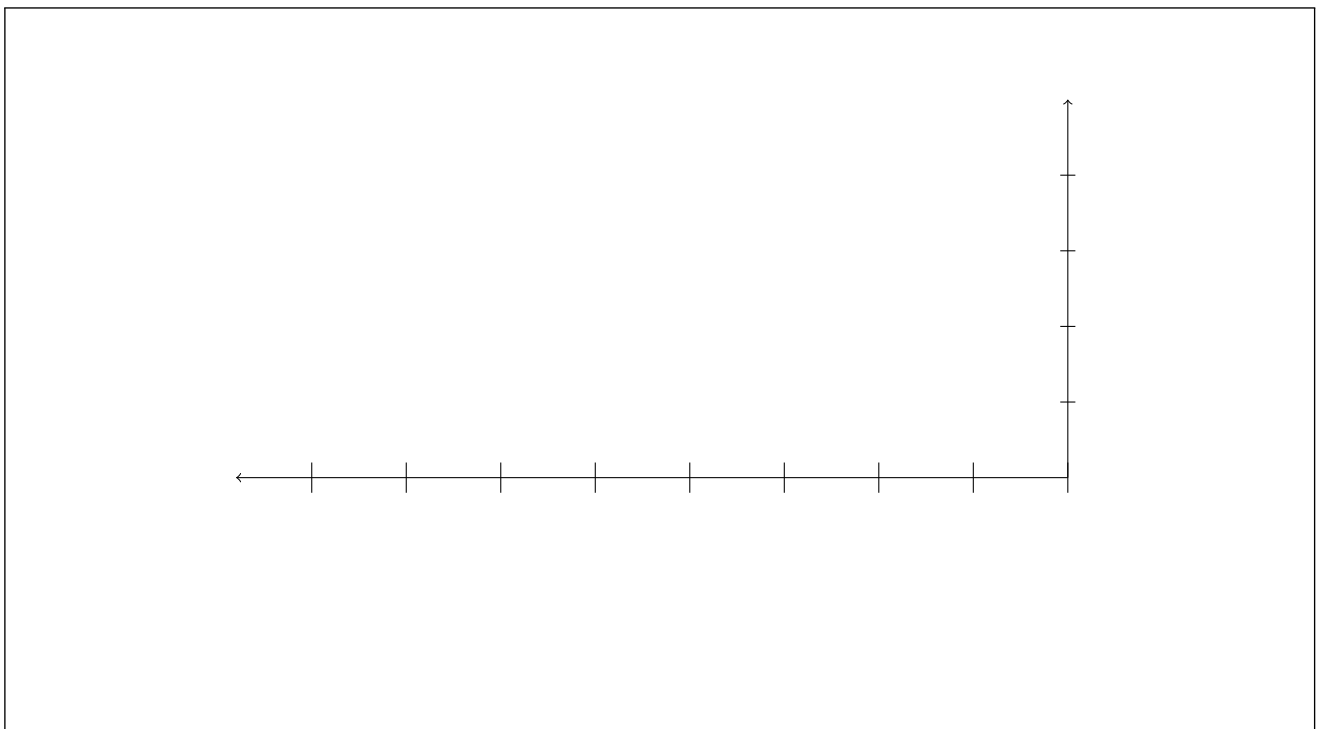
- e) Skizzieren Sie mithilfe Ihrer Ergebnisse aus a) - d) den Spannungsverlauf auf der Leitung. Achten Sie auf korrekte Achsenbeschriftungen inklusive Einheiten.

(2 P.)



- f) Skizzieren Sie nun den Spannungsverlauf auf der Leitung für den Fall $Z_L = Z_0$. Achten Sie auf korrekte Achsenbeschriftungen inklusive Einheiten.

(2 P.)



Name:

.....

Aufgabe 3

- g) Welche Frequenzabhängigkeit hat die Querdämpfung einer Leitung und welcher physikalische Effekt ist für die Querdämpfung verantwortlich?

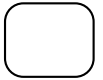
(2 P.)



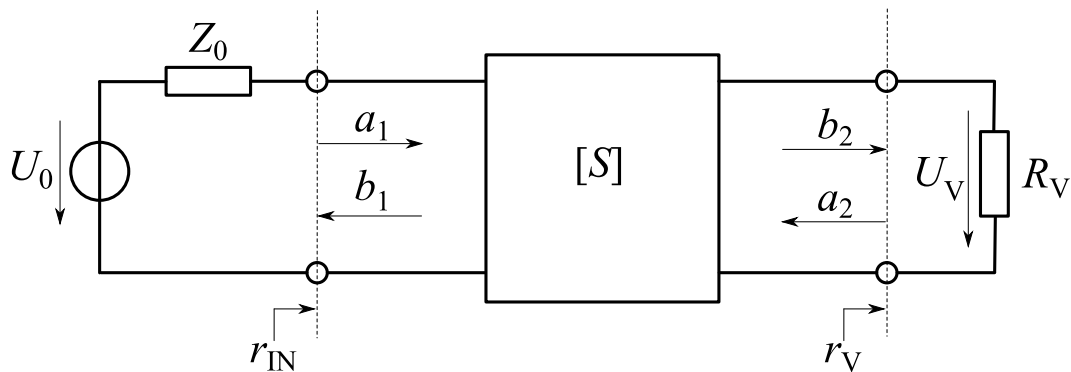
Aufgabe 4

Aufgabe 4

(gesamt 18 Punkte)

Mikrowellen-Netzwerkanalyse

Das unten gezeigte Zweitor wird durch die Streumatrix $[S] = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,1 \\ 8 & 0,3 \end{pmatrix}$ beschrieben. Der Bezugswiderstand für die Streuparameter ist $Z_0 = 50 \Omega$. Das Zweitor wird so gespeist, dass sich $a_1 = 1 \sqrt{W}$ ergibt. Der Lastwiderstand beträgt $R_V = 100 \Omega$.



a) Berechnen Sie den Wert der Streuvariablen b_2 in obiger Anordnung.

(4P.)



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 4

GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 18 von 32

- b)** Ermitteln Sie die von R_V aufgenommene Wirkleistung (in W) mithilfe des in Teil a) berechneten Wertes für b_2 .

(2 P.)



- c)** Berechnen Sie die komplexe Spannungsamplitude U_V , die in obiger Anordnung über dem Lastwiderstand R_V abfällt.

(2 P.)



- d)** Ermitteln Sie nun die von R_V aufgenommene Wirkleistung (in W) mithilfe der in Teil c) berechneten Spannung U_V .

(2 P.)



Name:

.....

Aufgabe 4

- e) Leiten Sie allgemein den Reflexionsfaktor r_{IN} als Funktion von r_{V} und den S -Parametern des Zweitorts her.

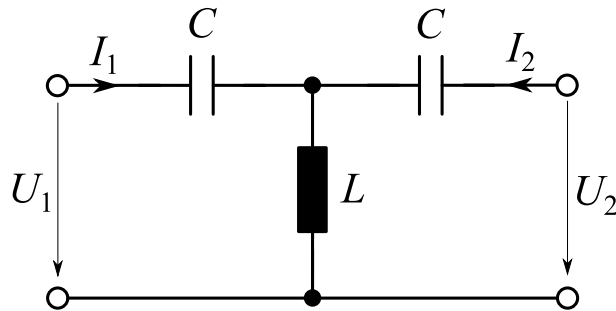
(3 P.)



Name:

Aufgabe 4

Gegeben sei folgendes Zweitor.



f) Bestimmen Sie die Z -Parameter des Zweitors.

(4P.)



Empty box for the solution to part f).

g) Um welchen Filtertyp handelt es sich bei obigem Zweitor (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandstop)?

(1P.)



Empty box for the solution to part g).

Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 5

GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 21 von 32

Aufgabe 5

(gesamt 17 Punkte)

Smithdiagramm



a)

(5 P.)

Ein Verbraucher mit der Impedanz $Z_V = (25 + j50) \Omega$ soll an eine Quelle mit der Impedanz $Z_Q = 50 \Omega$ reflexionsfrei angeschlossen werden. Zur Verfügung stehen Ihnen folgende Elemente:

- Kondensatoren mit beliebiger Kapazität

Zeichnen Sie eine möglichst einfache Anpassschaltung mit genau zwei Elementen in obiges Schaltbild. Zeichnen Sie den Transformationsweg in ein Smith Diagramm ein und geben Sie die Werte der verwendeten Elemente an, für die bei einer Frequenz von $f = 5 \text{ GHz}$ Anpassung herrscht. Alle Leitungen sind verlustfrei und besitzen eine relative Dielektrizitätszahl von $\epsilon_r = 1$.

Name:
.....

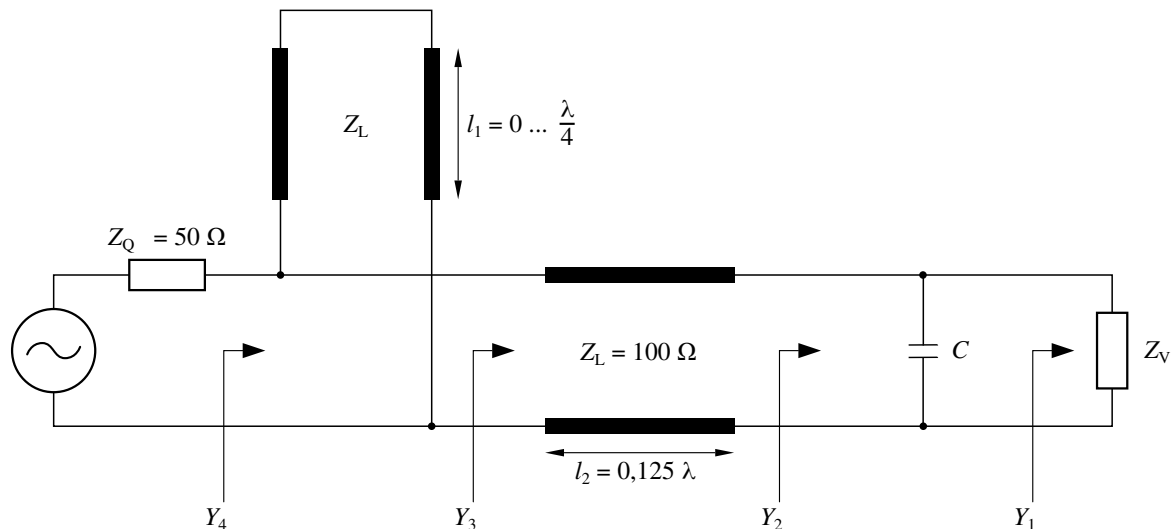
Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Aufgabe 5

GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 22 von 32

Aufgabe 5

- b) Die Impedanz $Z_V = (160 + j120) \Omega$ soll bei der Frequenz $f = 5 \text{ GHz}$ an eine Quelle mit dem Innenwiderstand $Z_Q = 50 \Omega$ reflexionsfrei angeschlossen werden. Dazu dient eine parallele Kapazität C , eine kurzgeschlossene Stichleitung mit der variablen Leitungslänge l_1 sowie eine Leitung mit der festen Länge $l_2 = 0,125\lambda$. (12 P.)



Alle Leitungen haben einen Wellenwiderstand von $Z_L = 100 \Omega$. Aus konstruktiven Gründen muss die Länge l_1 der Stichleitung kleiner als $\lambda/4$ sein.

Falls Sie zwei alternative Lösungen finden, wählen Sie diejenige aus, bei der die kleinere Kapazität C benötigt wird.

Zeichnen Sie den zugehörigen Transformationsweg in ein Smith-Diagramm ein und bestimmen Sie daraus den Wert für die benötigte Kapazität C sowie die Leitungslänge l_1/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.

Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Aufgabe 5

GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 24 von 32

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Smith-Diagramm

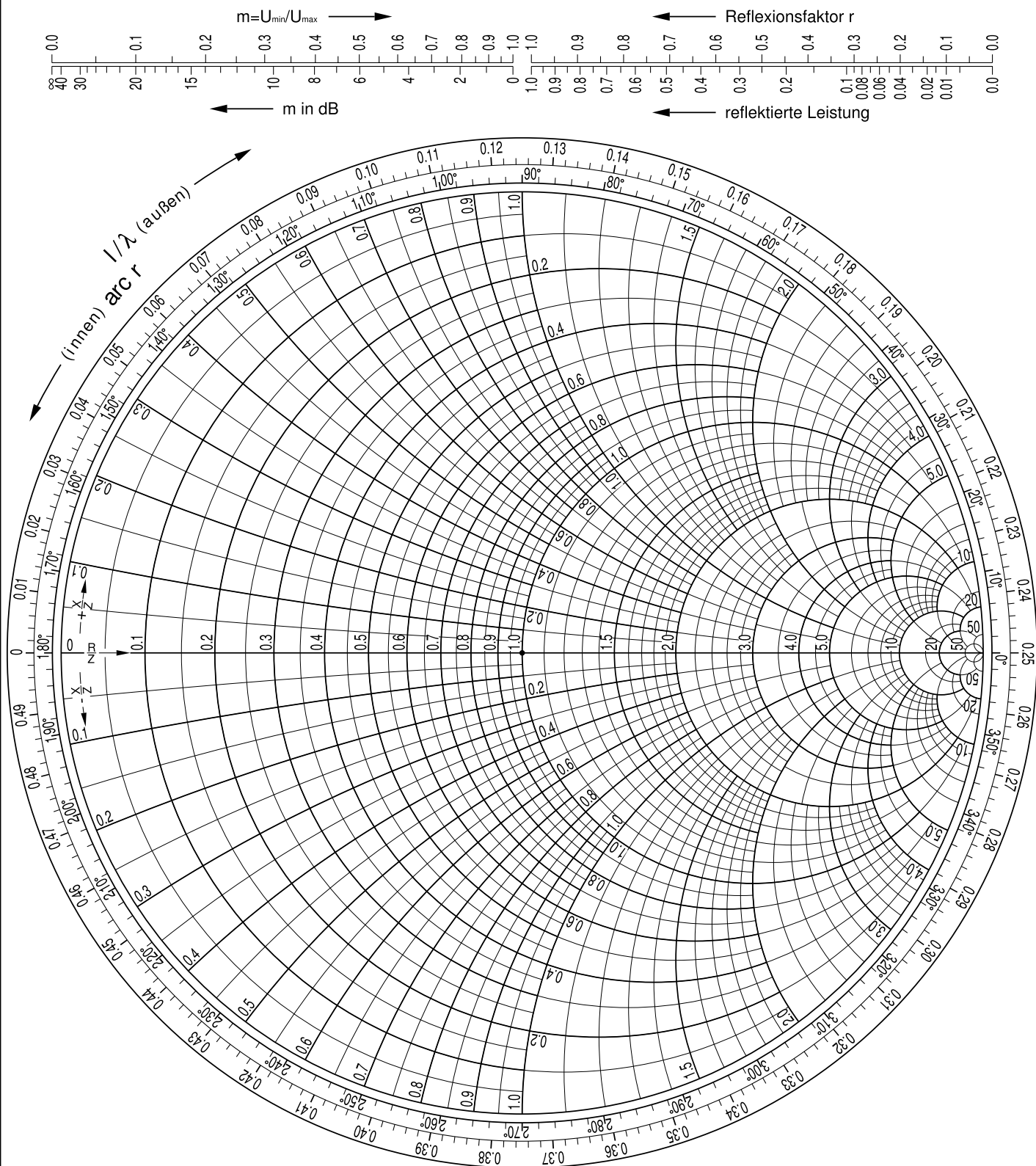
GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 25 von 32

zugehörige

Aufgabennummer:

Widerstandsform

Bezugswiderstand $Z_B =$ _____



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

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Smith-Diagramm

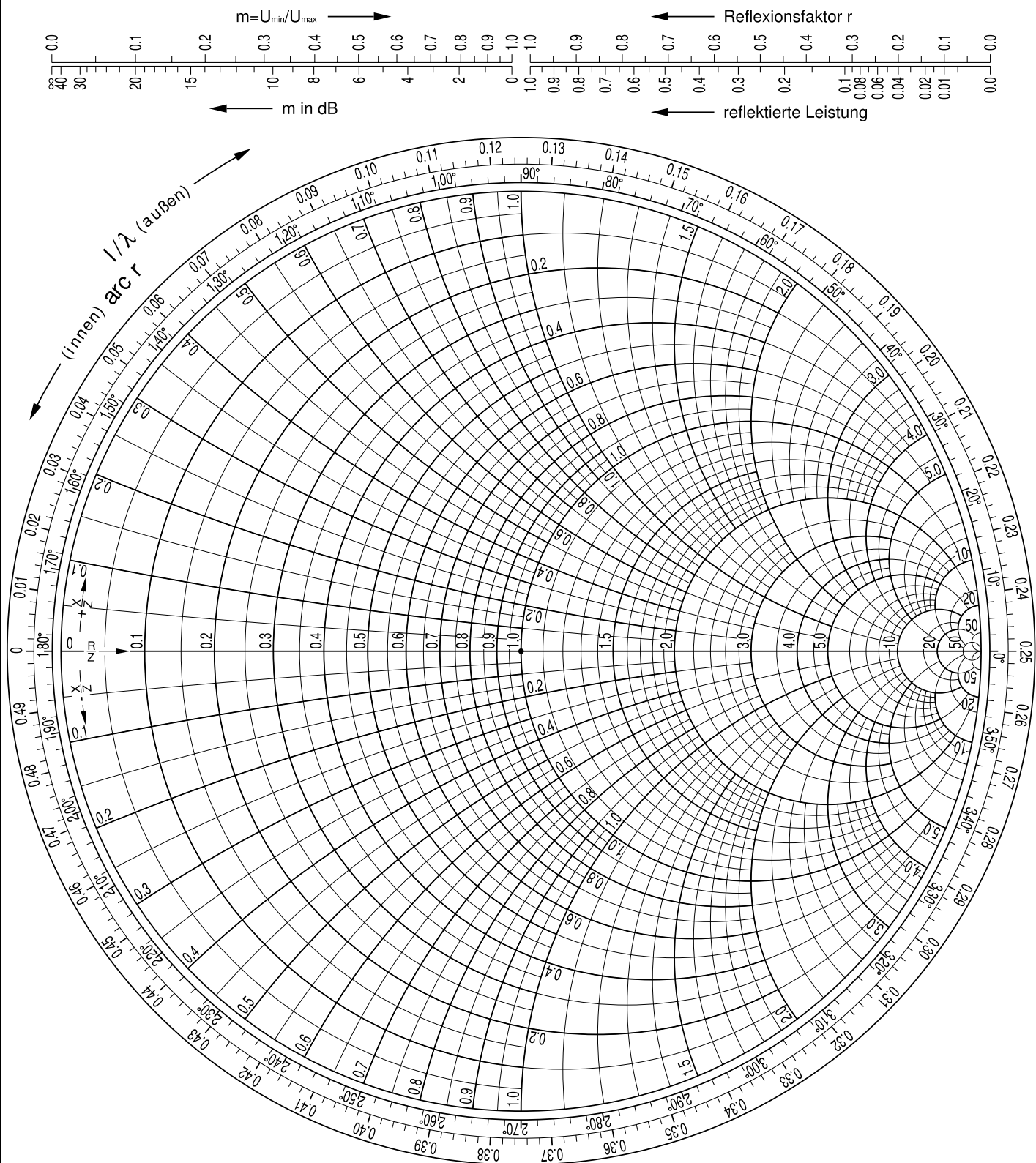
GHF F'17
13. Februar 2017
Seite 26 von 32

zugehörige

Aufgabennummer:

Widerstandsform

Bezugswiderstand $Z_B =$ _____



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

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

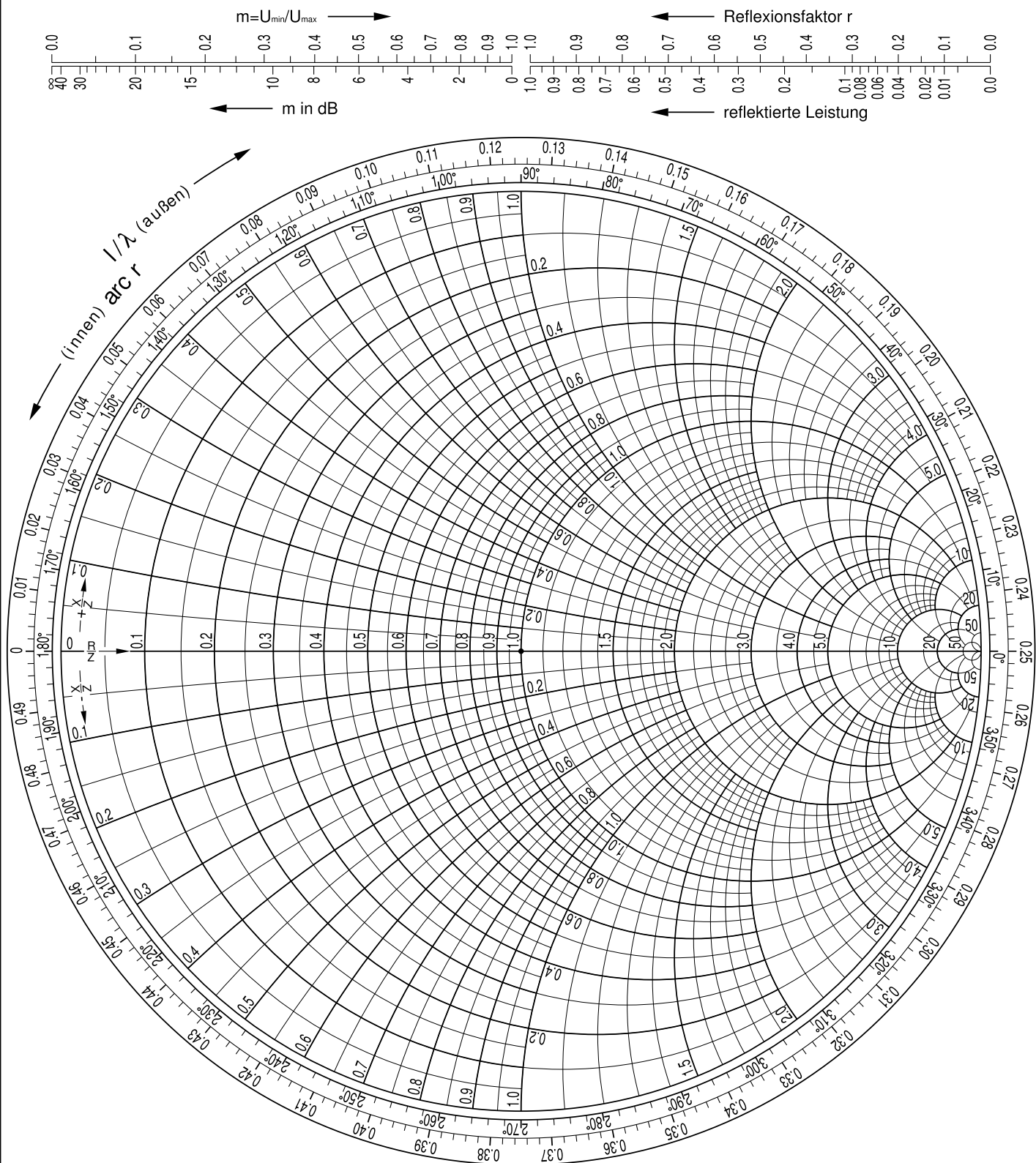
Smith-Diagramm

GHF F'17
 13. Februar 2017
 Seite 27 von 32

zugehörige
 Aufgabennummer:

Widerstandsform

Bezugswiderstand $Z_B =$ _____



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

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

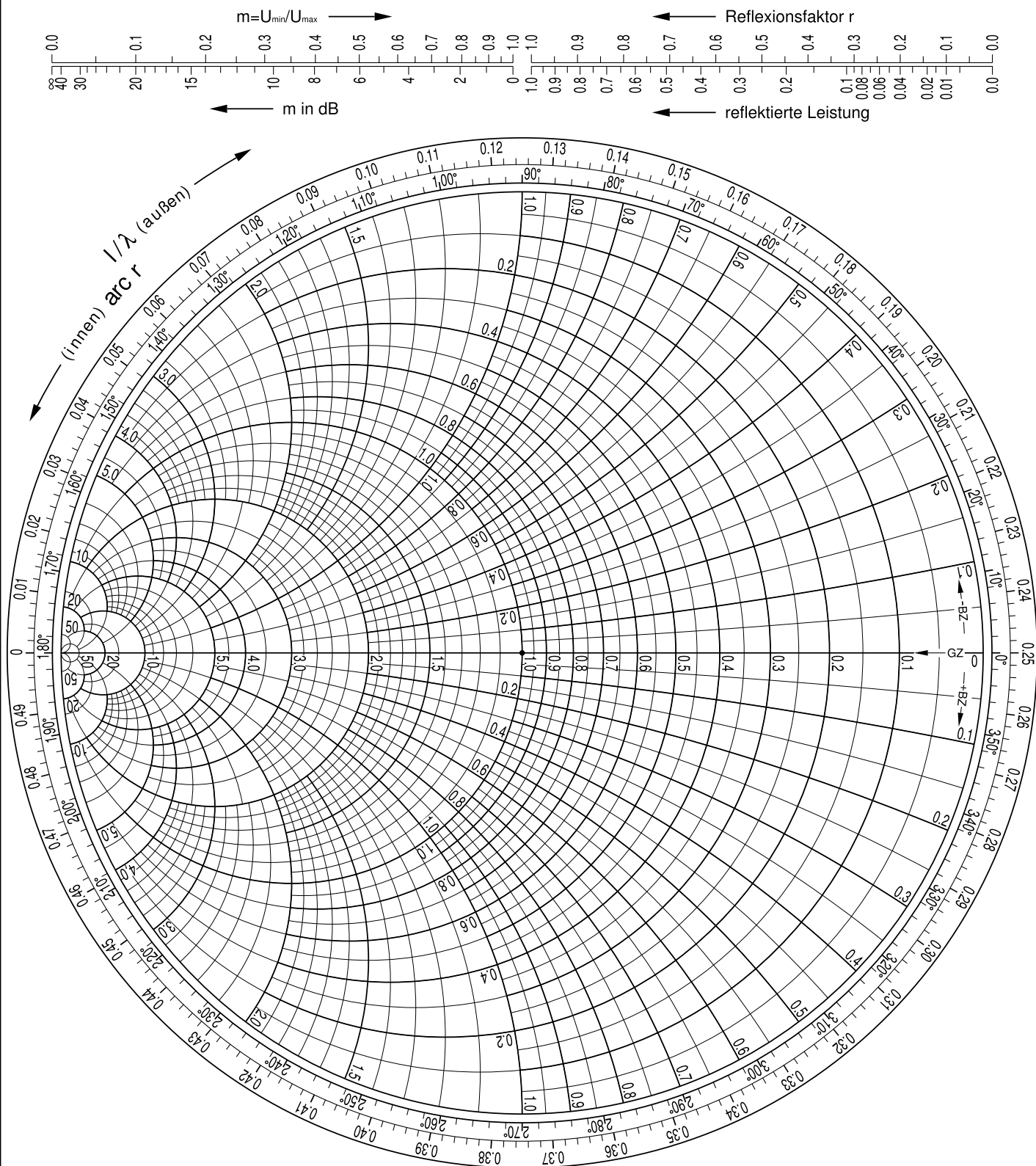
Smith-Diagramm

GHF F'17
 13. Februar 2017
 Seite 28 von 32

zugehörige
 Aufgabennummer:

Leitwertform

Bezugswiderstand $Z_B =$ _____



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

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

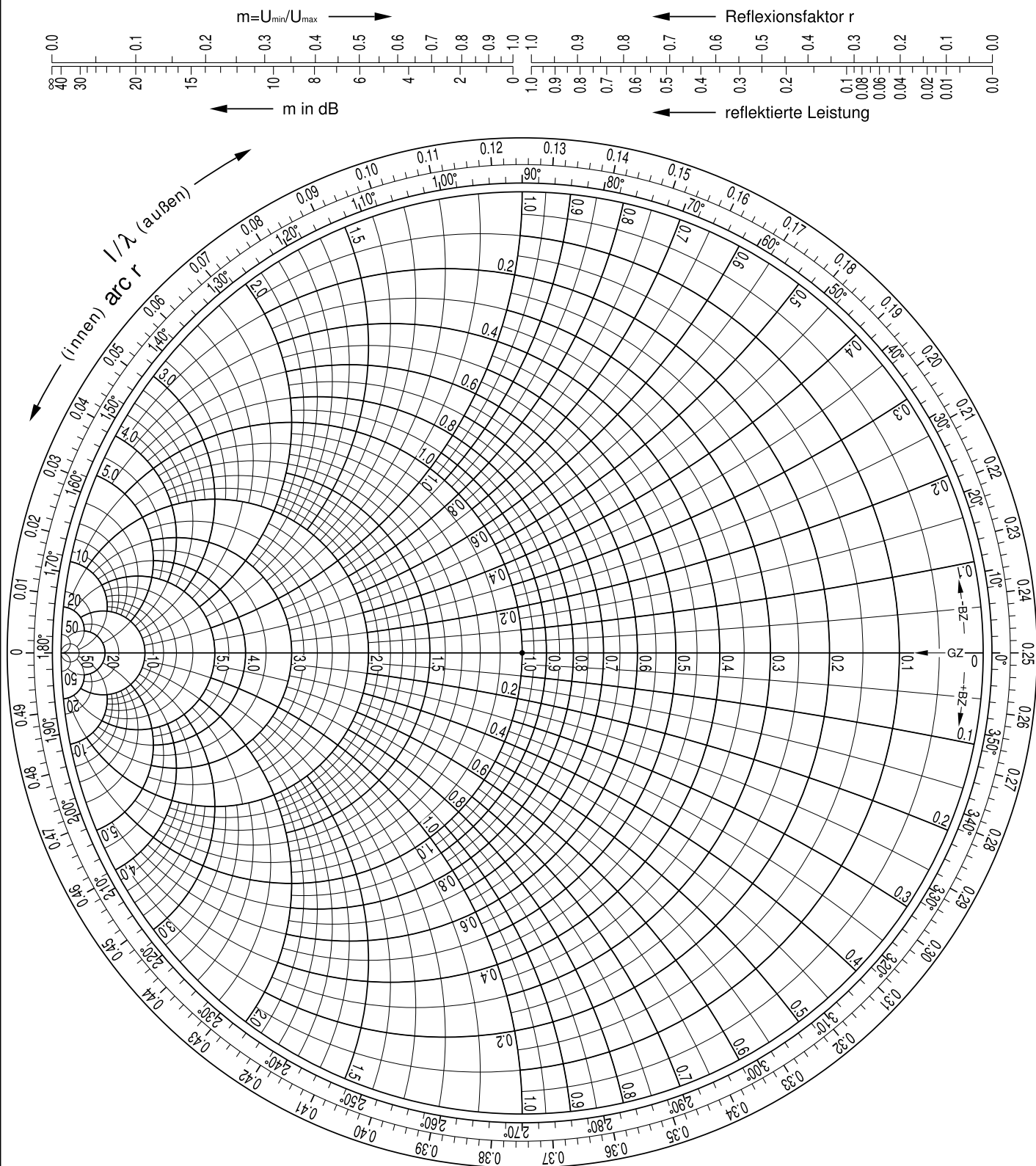
Smith-Diagramm

GHF F'17
 13. Februar 2017
 Seite 29 von 32

zugehörige
 Aufgabennummer:

Leitwertform

Bezugswiderstand $Z_B =$ _____



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

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

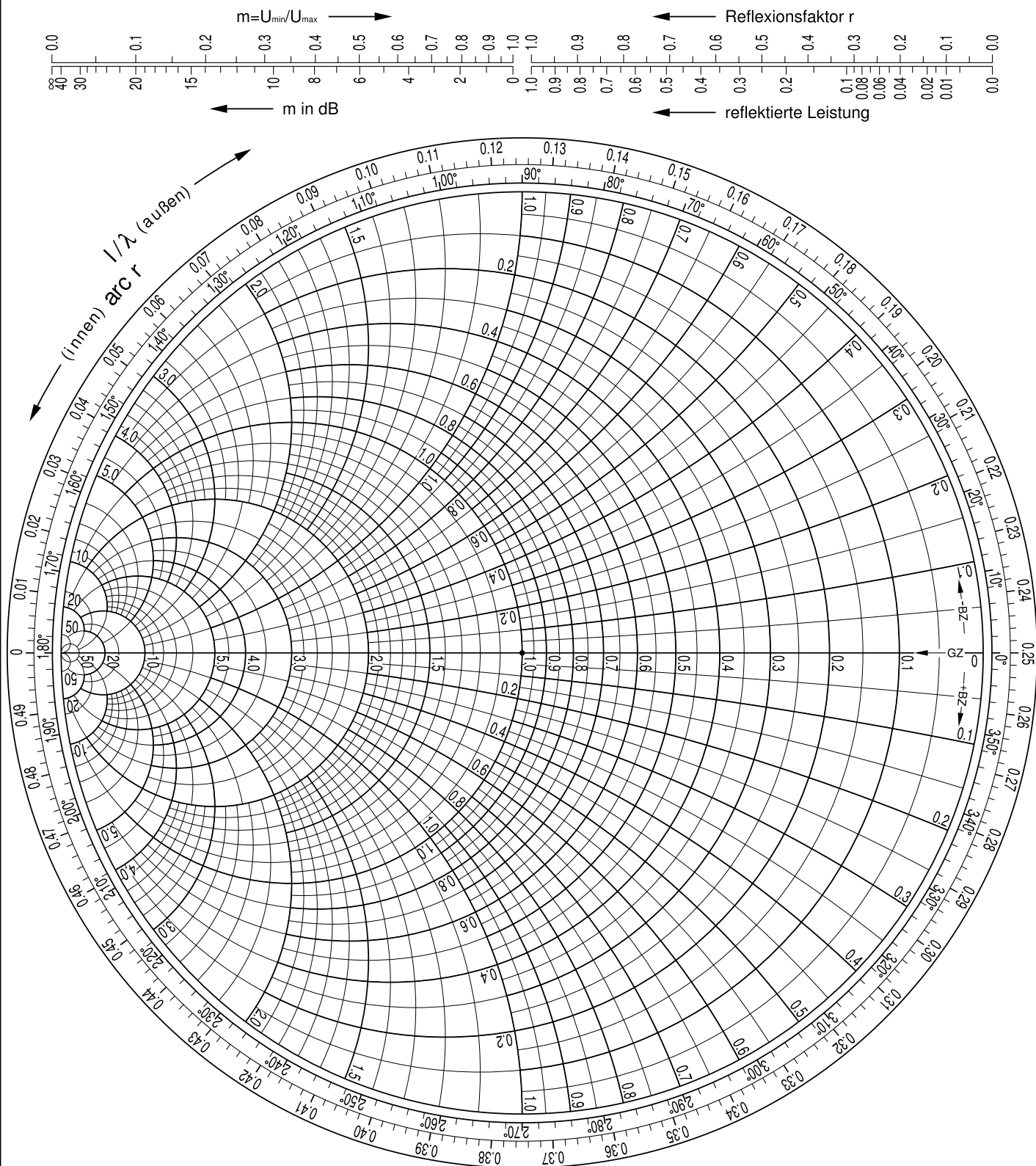
Smith-Diagramm

GHF F'17
 13. Februar 2017
 Seite 30 von 32

zugehörige
 Aufgabennummer:

Leitwertform

Bezugswiderstand $Z_B =$ _____

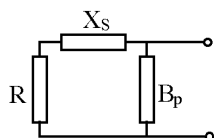
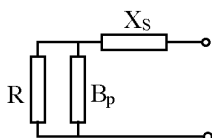
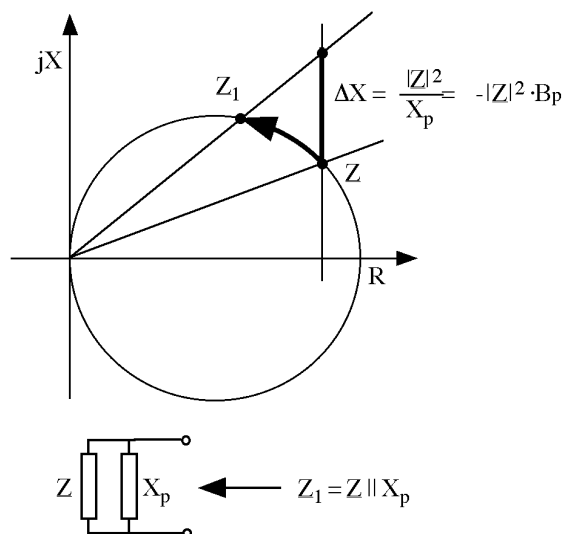
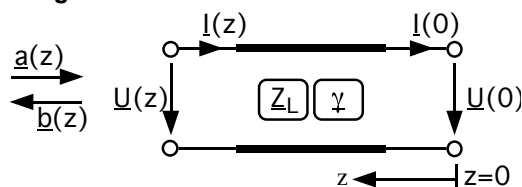


Wichtig: Diagramm wird nur gewertet, wenn der obenstehende Datenteil mit Name und Aufgabennummer korrekt ausgefüllt ist. Bezugswiderstand nicht vergessen!

Impedanz $\longleftrightarrow \frac{Z=1/Y}$ **Admittanz**

$$\underline{Z} = R + jX \quad \underline{Y} = G + jB$$

$$\underline{Z} = \frac{G}{G^2 + B^2} - j \frac{B}{G^2 + B^2} \quad \underline{Y} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2}$$

Kompensation mit dualen ElementenBedingungen für Kompensation: $X_s = R^2 \cdot B_p$ Frequenzfaktor: $F(f) = \sqrt{X_s \cdot B_p}$ krit. Frequenz, Grenzfrequenz: $|F(f_k)| = 1$ **Hilfskonstruktion zur Transformation****Leitungen**

$$\underline{U}(z) = \underline{U}_H(0)e^{\gamma z} + \underline{U}_R(0)e^{-\gamma z} = \sqrt{Z_L}(\underline{a}(z) + \underline{b}(z))$$

$$\underline{I}(z) = \frac{\underline{U}_H(0)}{Z_L}e^{\gamma z} - \frac{\underline{U}_R(0)}{Z_L}e^{-\gamma z} = \frac{1}{\sqrt{Z_L}}(\underline{a}(z) - \underline{b}(z))$$

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}; \quad \underline{Z}_L = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

Koaxialleitung

$$Z_L = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

ungedämpfte Leitung (homogenes Dielektrikum und konst. Querschnitt)

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{L' C'} = \omega \cdot \sqrt{\mu \epsilon}; \quad \lambda = \frac{2\pi}{\beta}; \quad C' = \frac{\sqrt{\mu \epsilon}}{Z_L}; \quad L' = Z_L \cdot \sqrt{\mu \epsilon}; \quad v_\varphi = \frac{\omega}{\beta}$$

schwach gedämpfte Leitungen ($R' \ll \omega L'; G' \ll \omega C'$)

$$\alpha \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R'}{Z_L} + G' \cdot Z_L \right); \quad G' = \omega C' \cdot \tan(\delta_c); \quad R' \sim \frac{1}{\kappa \cdot s}$$

Dämpfung einer Leitung der Länge l (für hinlaufende Welle a)

$$D/dB = 10 \cdot \log\left(\frac{P_a(l)}{P_a(0)}\right) = 10 \cdot \log(e^{2\alpha l})$$

Eindringtiefe s

$$s = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu}}$$

Reflexionsfaktor r

$$\underline{r}(z) = \frac{\underline{U}_R(z)}{\underline{U}_H(z)} = \frac{\underline{b}(z)}{\underline{a}(z)} = \frac{\underline{b}(0)}{\underline{a}(0)} \cdot e^{-2\gamma z}$$

Reflexionsfaktor → Impedanz

$$\underline{r}(\ell) = \frac{\underline{Z}(\ell) - \underline{Z}_L}{\underline{Z}(\ell) + \underline{Z}_L}; \quad \underline{Z}(\ell) = \frac{\underline{U}(\ell)}{\underline{I}(\ell)} = \frac{1 + \underline{r}(\ell)}{1 - \underline{r}(\ell)} \cdot \underline{Z}_L$$

Anpassungsfaktor, Stehwellenverhältnis

$$m = \frac{1}{VSWR} = \frac{1 - |\underline{r}|}{1 + |\underline{r}|} = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}$$

Dem Verbraucher zugeführte Wirkleistung P_w

$$\text{mit: } \underline{a}(z) = \frac{\underline{U}_H(z)}{\sqrt{Z_L}} = \sqrt{Z_L} \cdot \underline{I}_H(z)$$

$$P_w = P_a(0) - P_b(0) = \frac{1}{2} (|\underline{a}(0)|^2 - |\underline{b}(0)|^2)$$

$$= \frac{1}{2} |\underline{a}(0)|^2 \cdot (1 - |\underline{r}(0)|^2)$$

Transformation durch Kettenschaltung einer Leitung

$$\underline{Z}(\ell) = \underline{Z}_L \cdot \frac{\underline{Z}(0) + \underline{Z}_L \tanh(\underline{\gamma} \ell)}{\underline{Z}_L + \underline{Z}(0) \tanh(\underline{\gamma} \ell)} = \underline{Z}(0) \cdot \frac{1 + j \frac{\underline{Z}_L}{\underline{Z}(0)} \tan(\beta \ell)}{1 + j \frac{\underline{Z}(0)}{\underline{Z}_L} \tan(\beta \ell)} \Big|_{\alpha=0}$$

Konstanten

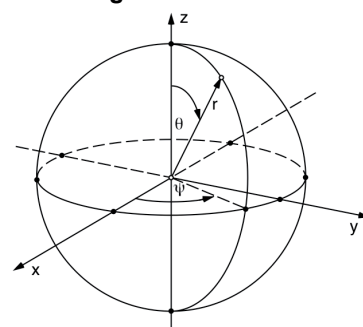
$$Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} = 120\pi \Omega$$

$$c_o = 2,997925 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

$$k = 1,38065 \cdot 10^{-23} \frac{Ws}{K}$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$\epsilon_o = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

KugelkoordinatenAzimuth: ψ Elevation: θ

$$\text{Volumen: } V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\text{Oberfläche: } F = 4\pi r^2$$

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Formelblatt Zweitorparameter

	[S]	[Z]	[Y]	[A] (ABCD)	[T]
S_{11}	S_{11}	$\frac{(Z_{11} - Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}$	$\frac{(Y_0 - Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) + Y_{12}Y_{21}}{(Y_{11} + Y_0)(Y_{22} + Y_0) - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{A + B/Z_0 - CZ_0 - D}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$	$\frac{T_{12}}{T_{22}}$
S_{12}	S_{12}	$\frac{2Z_{12}Z_0}{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}$	$\frac{-2Y_{12}Y_0}{(Y_{11} + Y_0)(Y_{22} + Y_0) - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{2(AD - BC)}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$	$\frac{T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21}}{T_{22}}$
S_{21}	S_{21}	$\frac{2Z_{21}Z_0}{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}$	$\frac{-2Y_{21}Y_0}{(Y_{11} + Y_0)(Y_{22} + Y_0) - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{2}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$	$\frac{1}{T_{22}}$
S_{22}	S_{22}	$\frac{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} - Z_0) - Z_{12}Z_{21}}{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}$	$\frac{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 - Y_{22}) + Y_{12}Y_{21}}{(Y_{11} + Y_0)(Y_{22} + Y_0) - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{-A + B/Z_0 - CZ_0 + D}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$	$\frac{-T_{21}}{T_{22}}$
Z_{11}	$Z_0 \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	Z_{11}	$\frac{Y_{22}}{Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{A}{C}$	
Z_{12}	$Z_0 \frac{2S_{12}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	Z_{12}	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{AD - BC}{C}$	
Z_{21}	$Z_0 \frac{2S_{21}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	Z_{21}	$\frac{-Y_{21}}{Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{1}{C}$	
Z_{22}	$Z_0 \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	Z_{22}	$\frac{Y_{11}}{Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}}$	$\frac{D}{C}$	
Y_{11}	$Y_0 \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}$	Y_{11}	$\frac{D}{B}$	
Y_{12}	$Y_0 \frac{-2S_{12}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{-Z_{12}}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}$	Y_{12}	$\frac{BC - AD}{B}$	
Y_{21}	$Y_0 \frac{-2S_{21}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{-Z_{21}}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}$	Y_{21}	$\frac{-1}{B}$	
Y_{22}	$Y_0 \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}$	Y_{22}	$\frac{A}{B}$	
A	$\frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	A	
B	$Z_0 \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}{Z_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	B	
C	$\frac{1}{Z_0} \frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Y_{12}Y_{21} - Y_{11}Y_{22}}{Y_{21}}$	C	
D	$\frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	D	
T_{11}	$\frac{S_{12}S_{21} - S_{11}S_{22}}{S_{21}}$				T_{11}
T_{12}	$\frac{S_{11}}{S_{21}}$				T_{12}
T_{21}	$\frac{-S_{22}}{S_{21}}$				T_{21}
T_{22}	$\frac{1}{S_{21}}$				T_{22}