

Name:

Matrikel-Nr.:

Platz-Nr.:

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 1 von 42

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	16	17	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. 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 oder grüne Farbe noch Bleistift** und kennzeichnen Sie Ihre Ergebnisse deutlich. Lösungen in roter und grüner 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**, d.h. 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 42 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) bzw. im Campus System veröffentlicht. Der Zeitpunkt der Veröffentlichung wird im Internet bekannt gegeben.

Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 1

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 3 von 42

Aufgabe 1

(gesamt 17 Punkte)

Allgemeines

☐

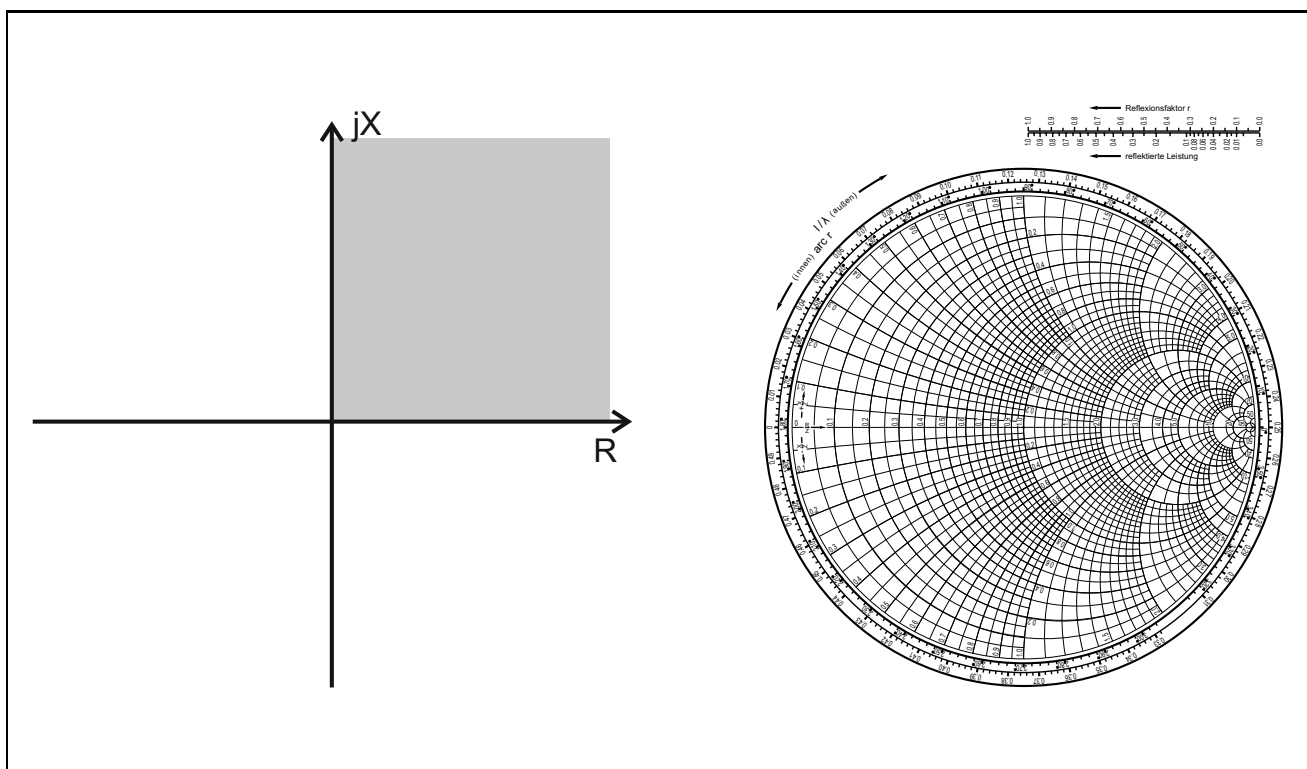
- a) Wie ist der Wellenwiderstand definiert? Geben Sie zusätzlich die Formel zur Berechnung aus Leitungsparametern an.

(2 P.)

☐

- b) Markieren Sie im Smithdiagramm den in der Widerstandsebene markierten Bereich.

(1 P.)

☐

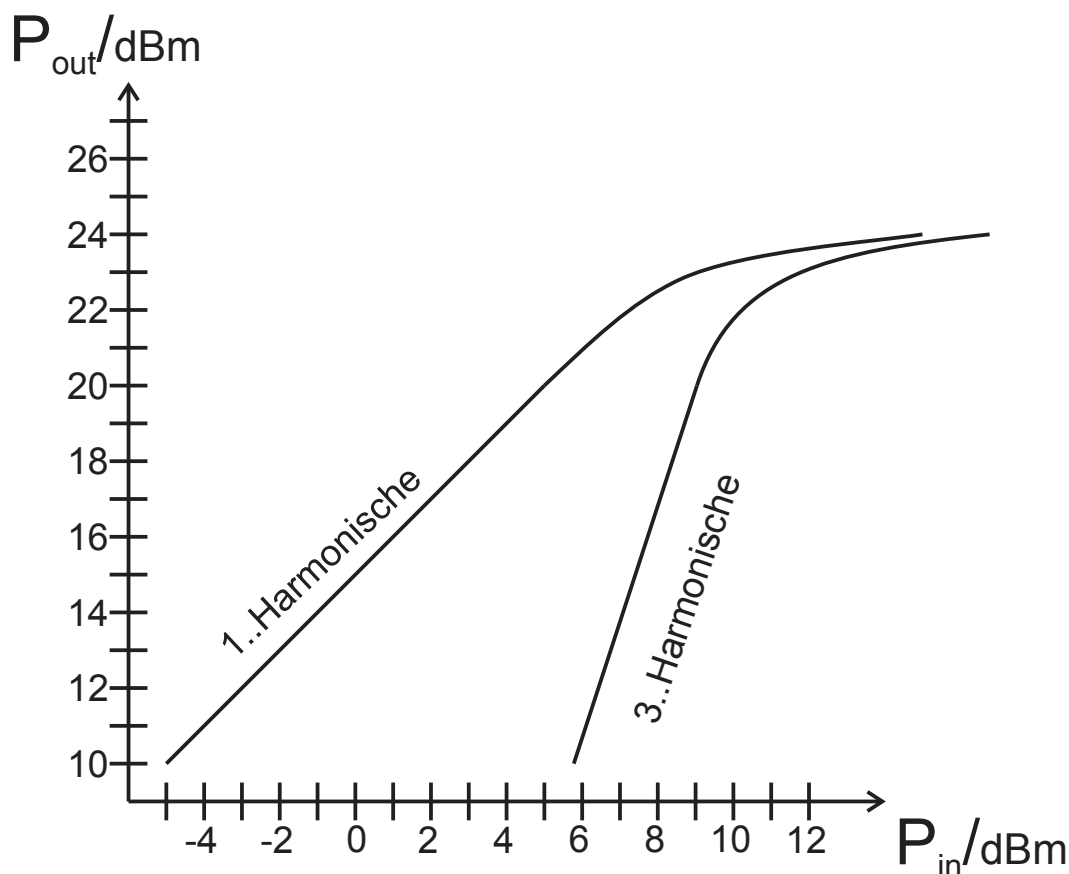
Aufgabe 1

c) Bei einem Verstärker wurden die Ausgangsleistung der 1. und 3. Harmonischen über der Eingangsleistung vermessen.

(3 P.)

- Wie groß ist die lineare Verstärkung des Verstärkers?
- Zeichnen Sie den „Third Intercept Point (IP3)“ in das in der Aufgabenstellung gegebene Diagramm ein.
- Wie groß ist der „Third Input Intercept Point (IIP3)“?

Zeichnen Sie alle notwendigen Informationen in das Diagramm ein. Es muss erkenntlich sein, wie Sie an Ihre Ergebnisse kommen.



Name:

Aufgabe 1

- d) Einem Empfänger mit einer Rauschzahl von 13 dB und einer Verstärkung von 30 dB soll zur Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses 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-Rauschtemperatur in Kelvin an.

(5 P.)

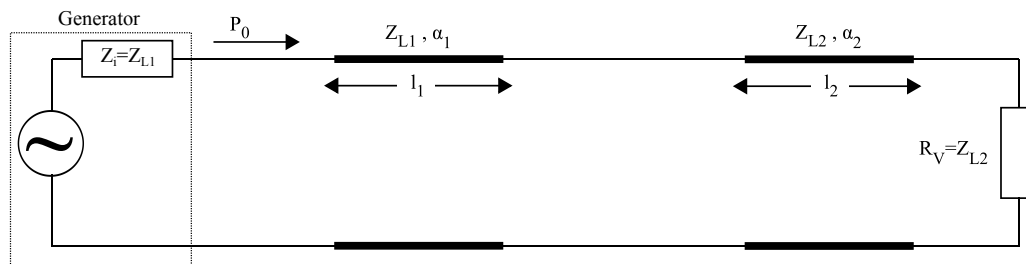


Verstärker	Verstärkung	Rauschzahl
A	23 dB	4 dB
B	17 dB	3 dB
C	13 dB	3 dB

Aufgabe 1

- e) Ein Generator speist die Leitungskonfiguration mit einer Leistung P_0 . Über zwei schwach verlustbehaftete Leitungen der Längen l_1 und l_2 wird ein reeller Verbraucher R_V angeschlossen.

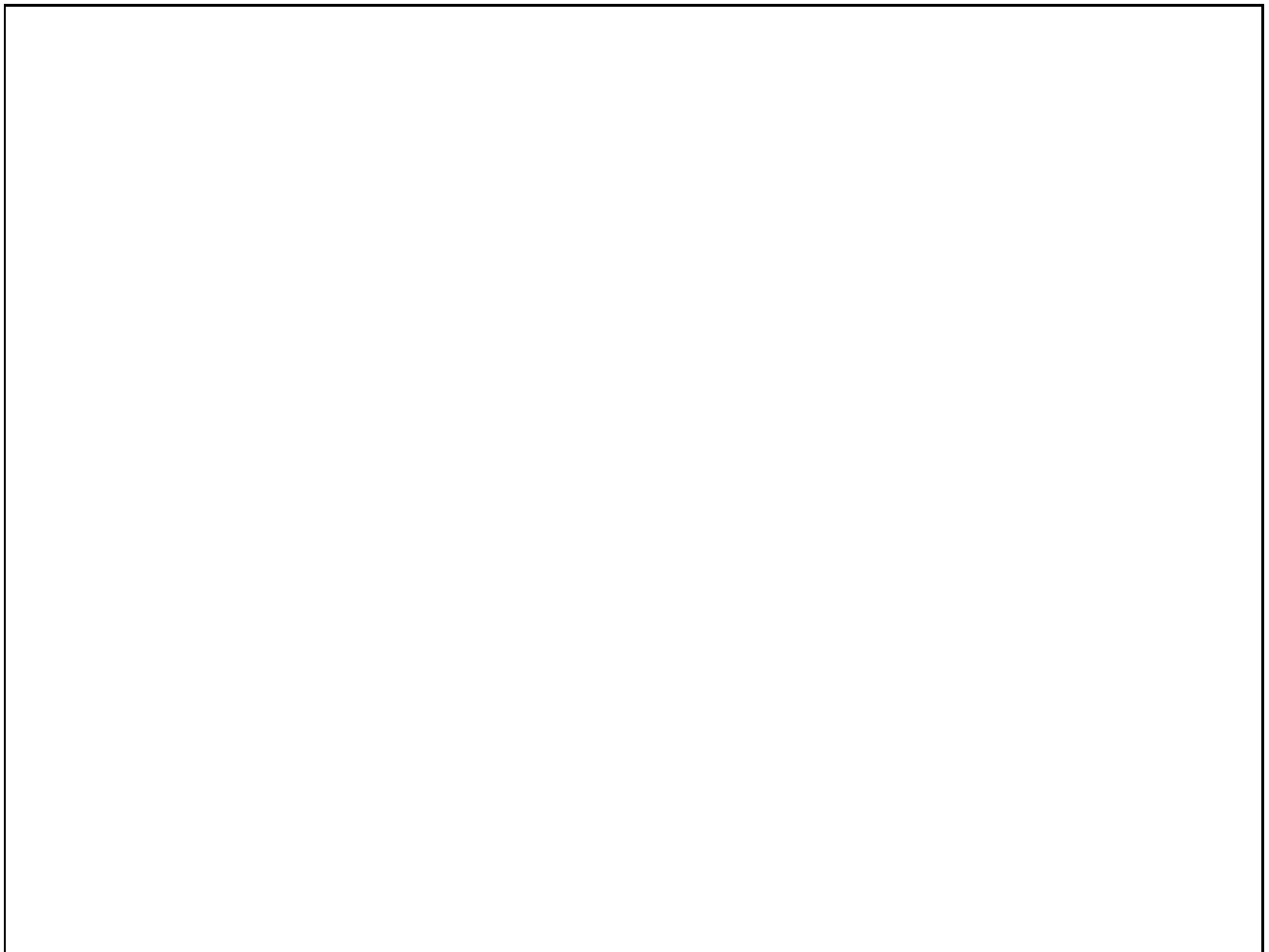
(6 P.)



$$\begin{aligned}
 Z_{L1} &= 50 \, \Omega, & \alpha_1 &= 0,2 \, \text{dB/m}, & l_1 &= 15 \, \text{m} \\
 Z_{L2} &= 150 \, \Omega, & \alpha_2 &= 1,2 \, \text{dB/m}, & l_2 &= 5 \, \text{m} \\
 P_0 &= 1 \, \text{W}, & f &= 300 \, \text{MHz}
 \end{aligned}$$

- Wie viel Leistung erreicht den Verbraucher?
- Wie viel Leistung wird in Leitung 1 verbraucht?
- Wie groß ist $|S_{11}|$ der Gesamtschaltung in dB?

Hinweis: Für diese Aufgabe benötigen Sie kein Smithdiagramm.



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Aufgabe 1

GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 7 von 42

Name:

.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 8 von 42

Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 2

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 9 von 42

Aufgabe 2

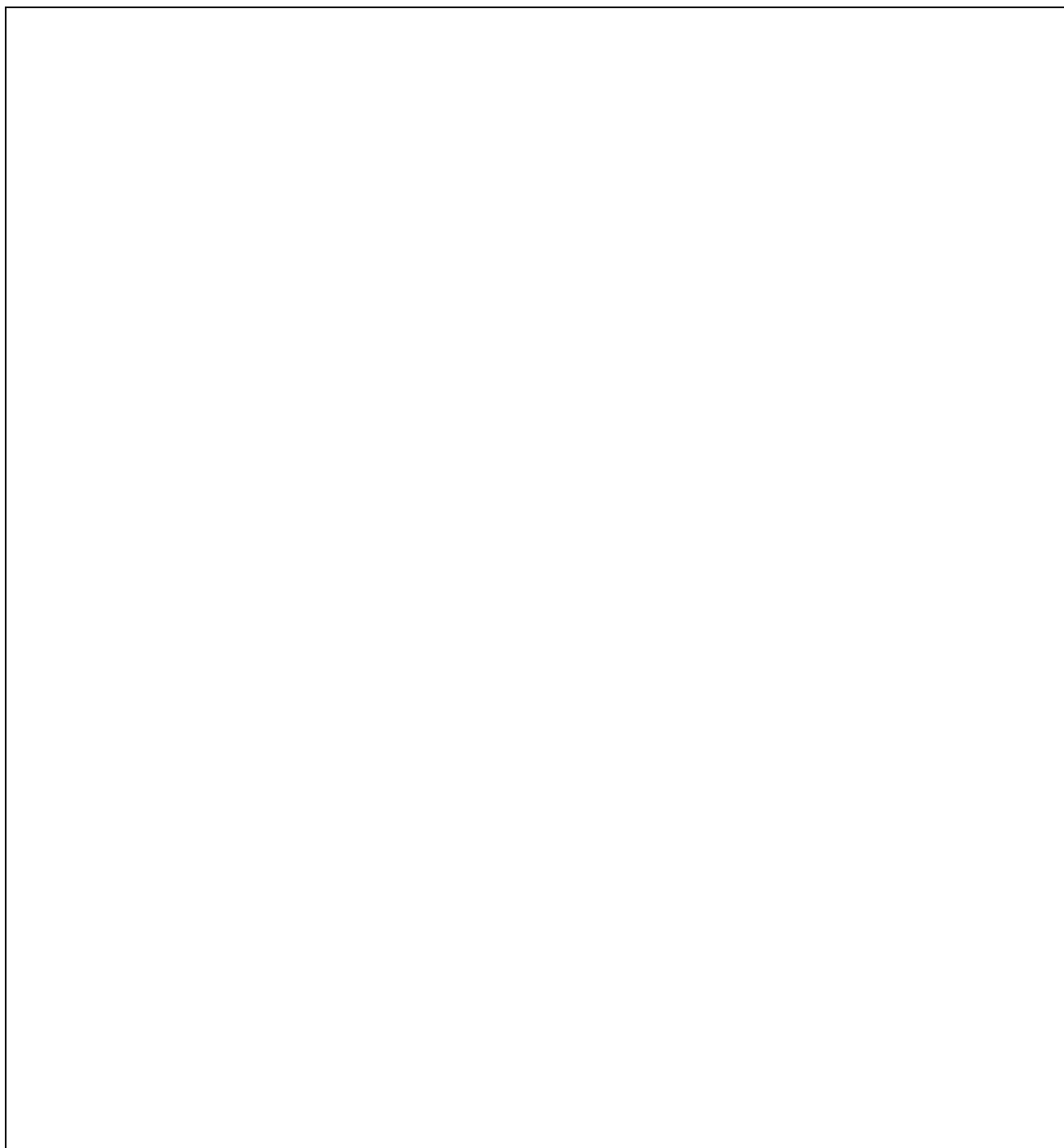
(gesamt 16 Punkte)

Radar

☐

- a) Zeichnen Sie die wichtigsten Komponenten eines monostatischen FMCW Radars in ein Blockschaltbild.

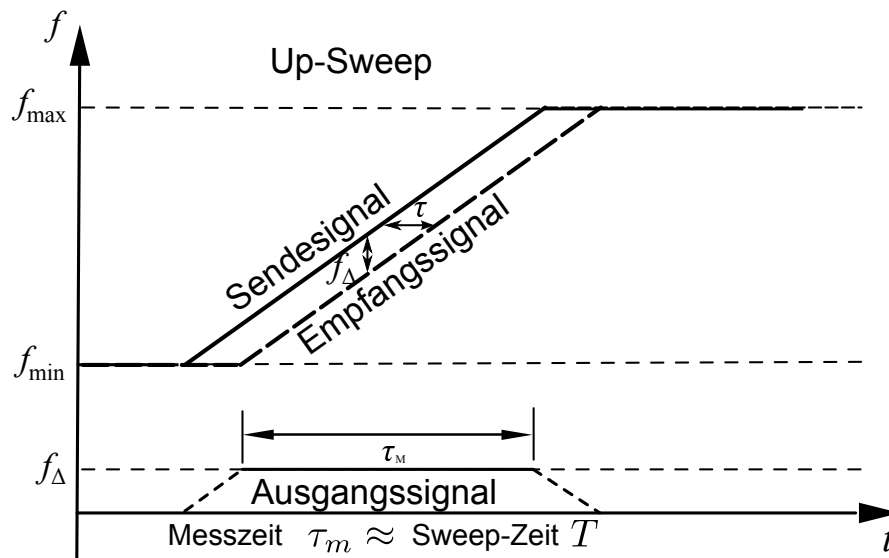
(4 P.)

☐

Aufgabe 2

- b) Das FMCW-Radar soll nun bei einer Entfernung von 1 m und 2 m mit einer Messzeit von 1 ms in Luft messen. Die Bandbreite des Radars beträgt 1 GHz. Bei welchen Frequenzen befinden sich die Zwischenfrequenzsignale?

(2 P.)



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 2

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 11 von 42

- c) Leiten Sie die monostatische Radargleichung für das FMCW-Radar 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.)



Name:

Aufgabe 2

- d) Das FMCW-Radar sendet bei einer Frequenz von 24 GHz mit einer Leistung von 10 dBm über eine Antenne mit 20 dBi. Berechnen Sie die Empfangsleistung einer Einzelmessung am Radar für eine Entfernung von 1 m und 2 m in dBm, wenn das Zielobjekt ein RCS von 10 m^2 besitzt.

(2 P.)

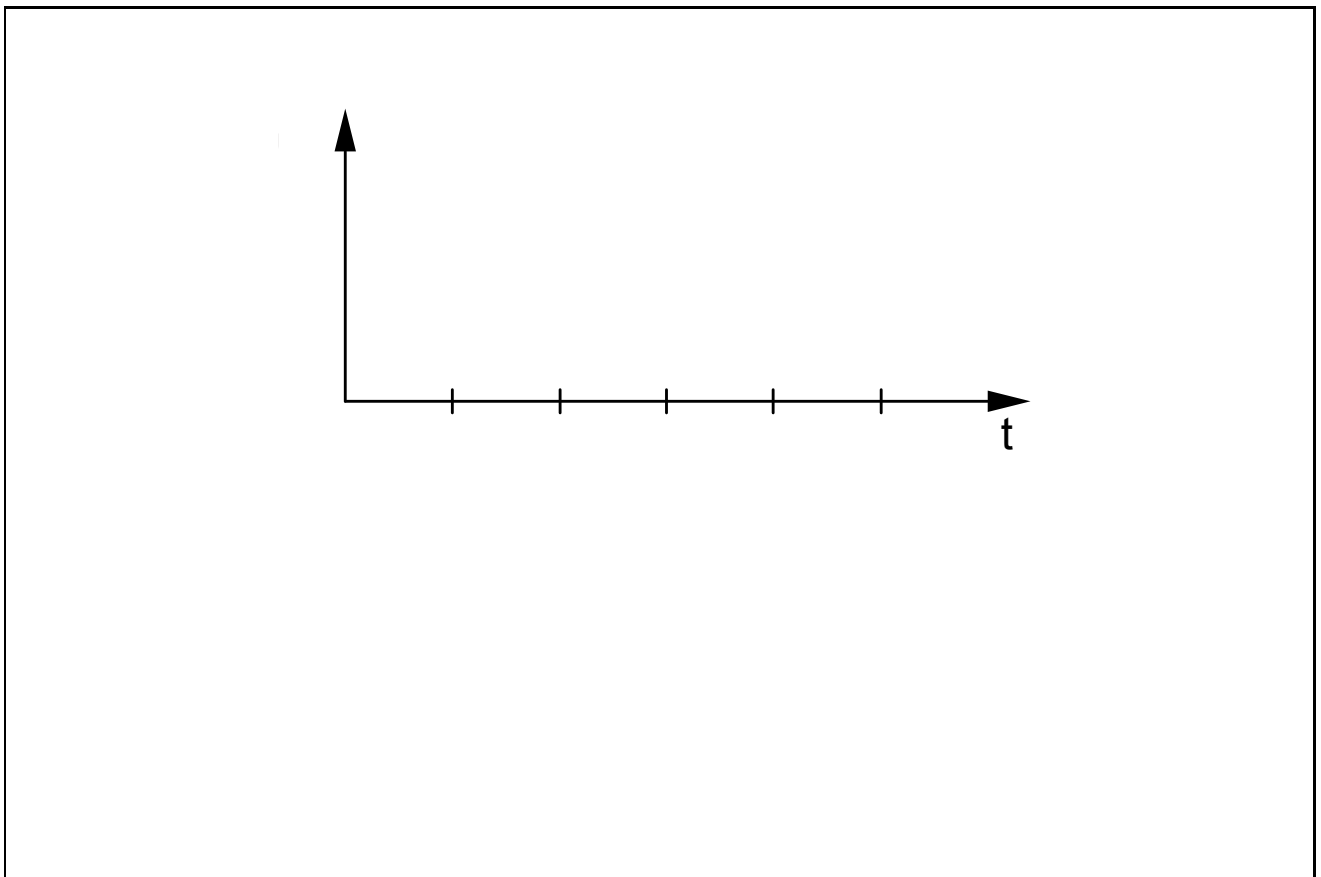


- e) Zeichnen Sie das Empfangssignal im Basisband vor dem A/D-Wandler des FMCW-Radars unter Annahme eines 50Ω -Systems für eine Entfernung von 1 m und 2 m in eine einzige Grafik. Beschriften Sie die Achsen des Diagramms!

(3 P.)



Hinweis: Benutzen Sie die Aufgabenteile b) und d) zur Lösung.



Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 3

GHF F'20
 26. Februar 2020
Seite 13 von 42

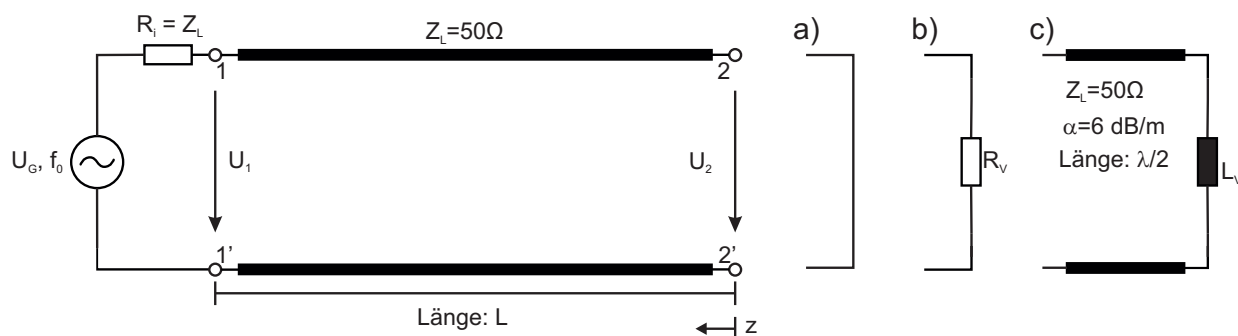
Aufgabe 3

(gesamt 17 Punkte)

Stehende Wellen



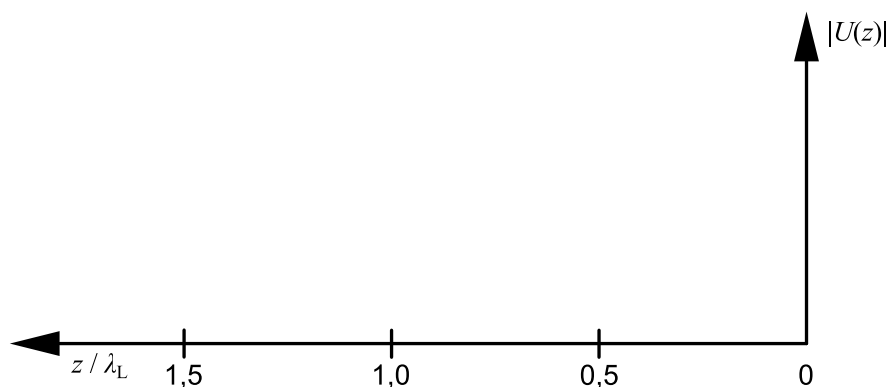
Gegeben sei folgende Schaltung. Der Generator speist die Schaltung bei der Frequenz $f_0 = 300 \text{ MHz}$.



a) Die Klemme 2 sei kurzgeschlossen.

Zeichnen Sie die Verteilung des Betrages $|U(z)|$ (Einhüllende) der komplexen Spannungsamplitude $U(z)$ auf der Messleitung für $z \geq 0$ in das dafür vorgesehene Diagramm ein. Beschriften Sie die Achsen des Diagramms!

(4 P.)



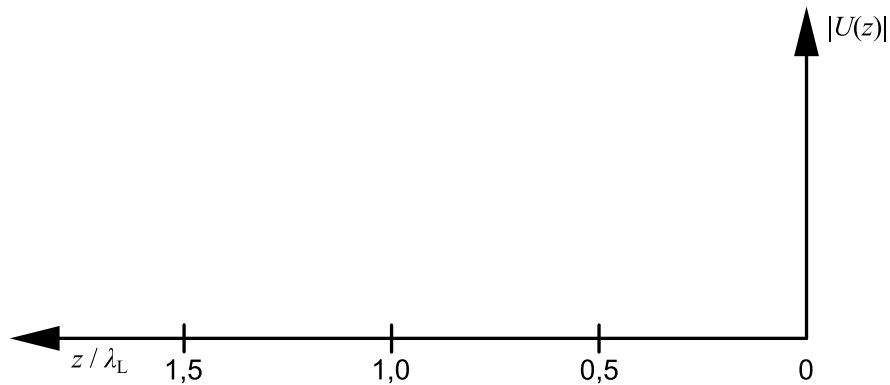
Name:

Aufgabe 3

b) Die Klemme 2 sei mit dem Widerstand $R_V = 25 \Omega$ abgeschlossen.

(4 P.)

Zeichnen Sie die Verteilung des Betrages $|U(z)|$ (Einhüllende) der komplexen Spannungsamplitude $U(z)$ auf der Messleitung für $z \geq 0$ in das dafür vorgesehene Diagramm ein. Beschriften Sie die Achsen des Diagramms!



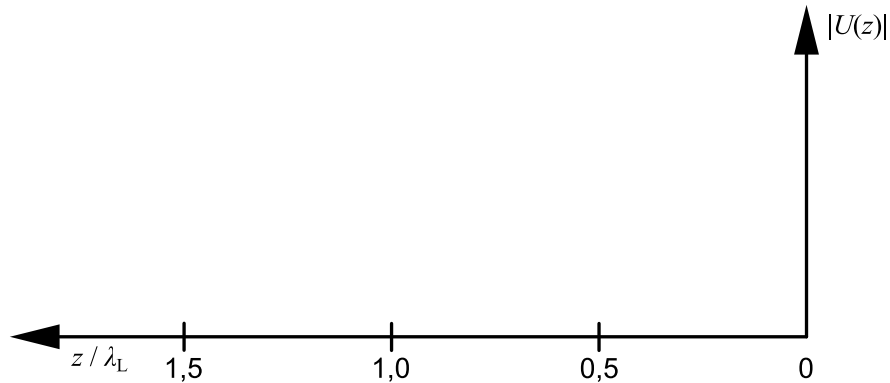
Name:

Aufgabe 3

- c) Die Klemme 2 sei mit der Spule $L_V = 26,53 \text{ nH}$ und einer verlustbehafteten Leitung ($Z_L = 50 \Omega$, Länge $= \lambda/2$ und $\alpha = 6 \text{ dB/m}$) abgeschlossen.

(6 P.)

Zeichnen Sie die Verteilung des Betrages $|U(z)|$ (Einhüllende) der komplexen Spannungsamplitude $U(z)$ auf der Messleitung für $z \geq 0$ in das dafür vorgesehene Diagramm ein. Beschriften Sie die Achsen des Diagramms!

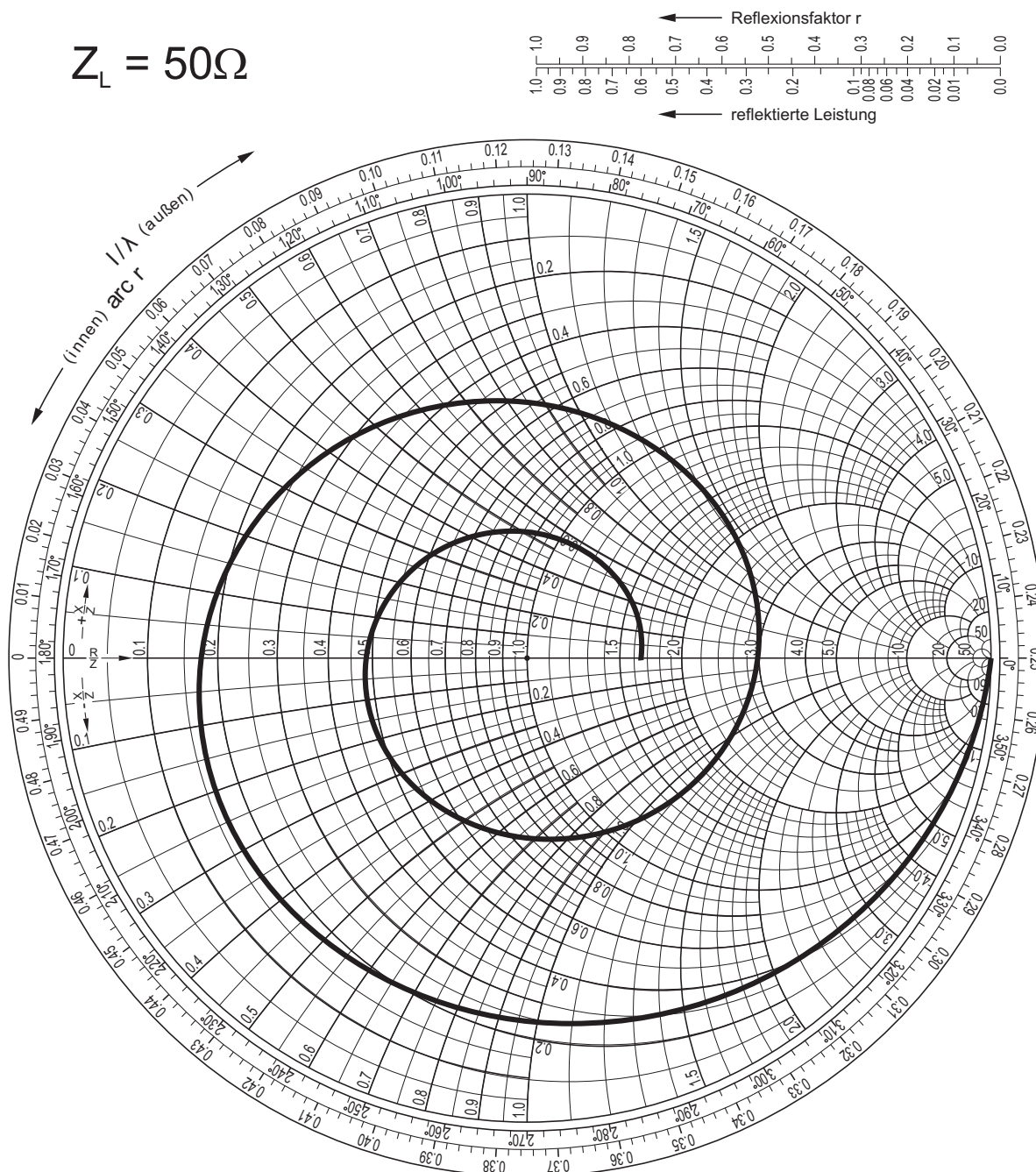


Aufgabe 3

- d) Im Nachfolgenden Smith-Chart wurde der Reflexionsfaktor einer verlustbehafteten Luftleitung ($\epsilon_r = 1$) für unterschiedliche Leitungslängen ($l = 0 \dots L_{\max}$) und konstante Frequenz ($f = 300 \text{ MHz}$) aufgetragen.

(3 P.)

$$Z_L = 50\Omega$$



1. Wurde die Leitung mit einem Leerlauf oder einem Kurzschluss abgeschlossen?
2. Bestimmen Sie die maximale Leitungslänge $L_{\max}$ bei der gemessen wurde.
3. Wie groß ist die Leitungsdämpfung in dB/m?

Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Aufgabe 3

GHF F'20

26. Februar 2020

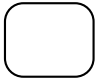
Seite 17 von 42

Name:
.....

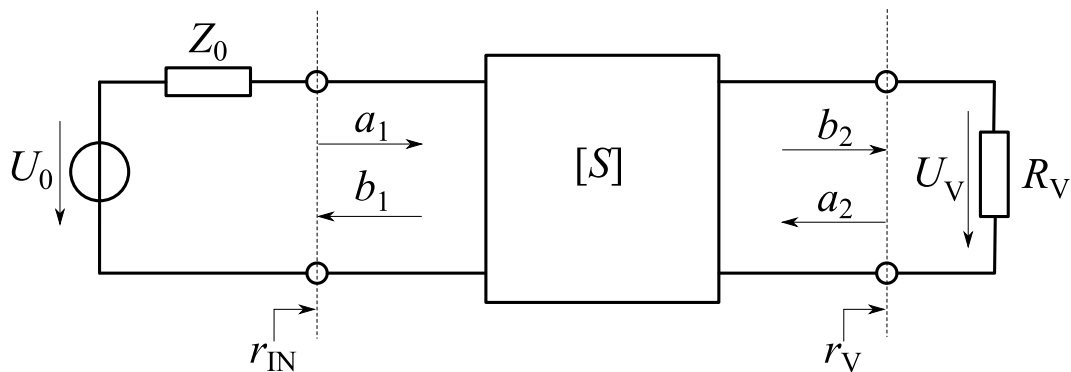
Aufgabe 4

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.

(4 P.)



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik
Aufgabe 4

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 20 von 42

- 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.

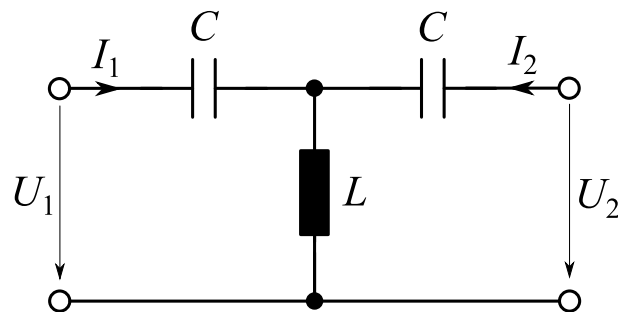
(3 P.)



Name:

Aufgabe 4

Gegeben sei folgendes Zweitor.



f) Bestimmen Sie die Z -Parameter des Zweitors.

(4 P.)



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

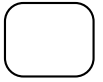
(1 P.)



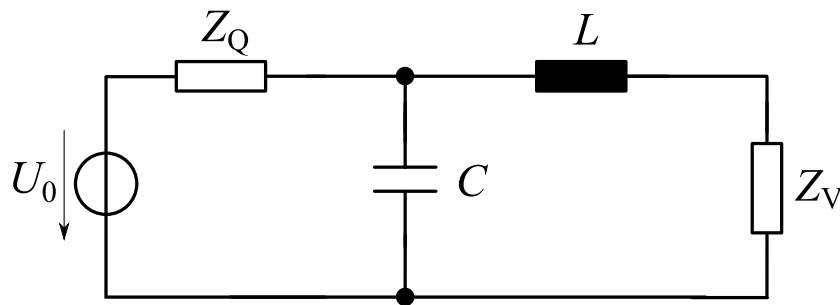
Aufgabe 5

Aufgabe 5

(gesamt 17 Punkte)

Smithdiagramm

Mithilfe des unten gezeigten Netzwerks soll die Lastimpedanz $Z_V = (37,5 + j25) \Omega$ so an die Quellimpedanz $Z_Q = (25 + j60) \Omega$ angepasst werden, dass die maximal mögliche Leistung von der Quelle zur Last übertragen wird.



- a) Bestimmen Sie für eine Speisefrequenz von $f = 1 \text{ MHz}$ die Werte für die Elemente L und C des Anpassnetzwerks.

(5 P.)

Markieren Sie die einzelnen Transformationsschritte in einem Smithchart ($Z_B = 25 \Omega$) und begründen Sie Ihr Vorgehen. Die Zuordnung der einzelnen Transformationsschritte zu den Transformationselementen muss klar erkennbar sein.



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Aufgabe 5

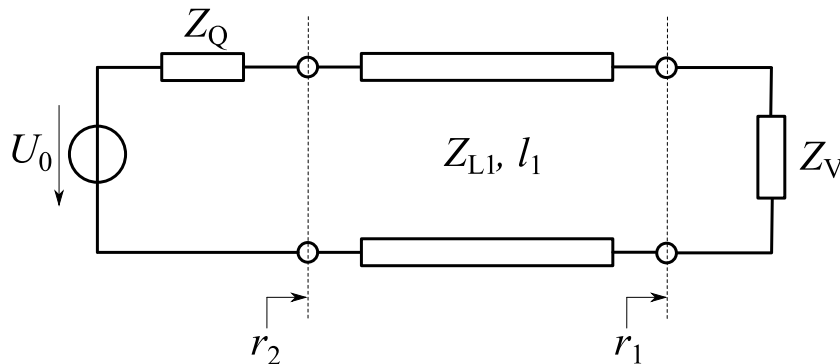
GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 24 von 42

Aufgabe 5

Gegeben sei das abgebildete Netzwerk, das aus einer Lastimpedanz $Z_V = 250 \Omega$, einer Quellimpedanz $Z_Q = 10 \Omega$ und einer Anpassleitung mit $Z_{L1} = 50 \Omega$ und $l_1 = \lambda/4$ besteht.



- b) Zeichnen Sie die Impedanztransformation durch die Anpassleitung in ein Smithdiagramm ein. Bestimmen Sie aus dem Smithdiagramm die Reflexionsfaktoren r_1 und r_2 .

(4 P.)



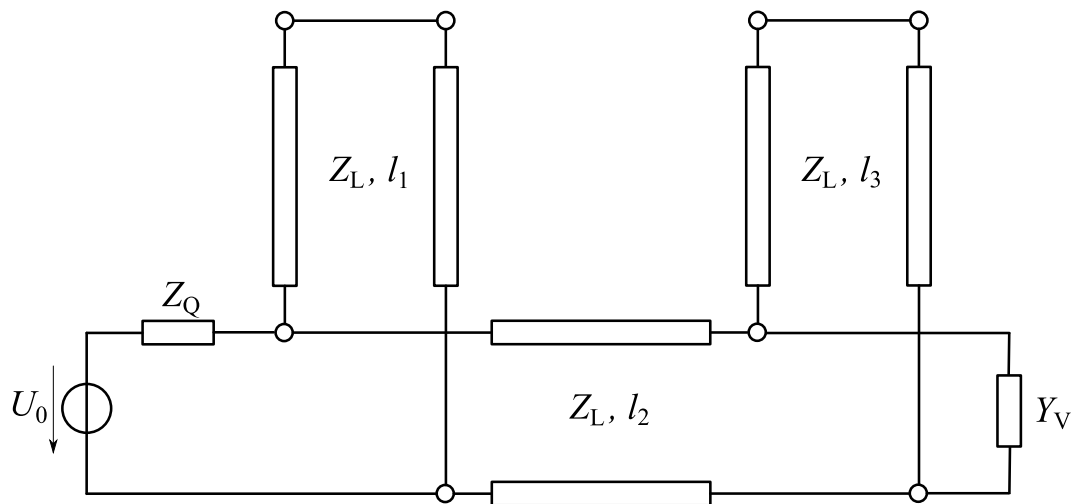
- c) Entsteht auf der $\lambda/4$ -Leitung eine stehende Welle? Begründen Sie Ihre Antwort.

(1 P.)



Aufgabe 5

Die unten gezeigte Leitungsanordnung wird dazu genutzt, die Lastadmittanz $Y_V = (0,01 - j0,006) \text{ S}$ an den Quellwiderstand $Z_Q = 250 \Omega$ anzupassen. Die kurzgeschlossenen Stichleitungen besitzen die Längen $l_1/\lambda = 0,3475$ und $l_3/\lambda = 0,134$. Alle drei Leitungen weisen einen Wellenwiderstand $Z_L = 100 \Omega$ auf.



- d) Bestimmen Sie mithilfe des Smithcharts die Länge l_2/λ , sodass die Lastadmittanz optimal an den Quellwiderstand angepasst ist. Markieren Sie die einzelnen Transformationsschritte in einem Smithchart und begründen Sie Ihr Vorgehen. Die Zuordnung der einzelnen Transformationsschritte zu den Transformationselementen muss klar erkennbar sein.

(7 P.)



Name:
.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Aufgabe 5

GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 27 von 42

Name:

.....

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 28 von 42

Name:

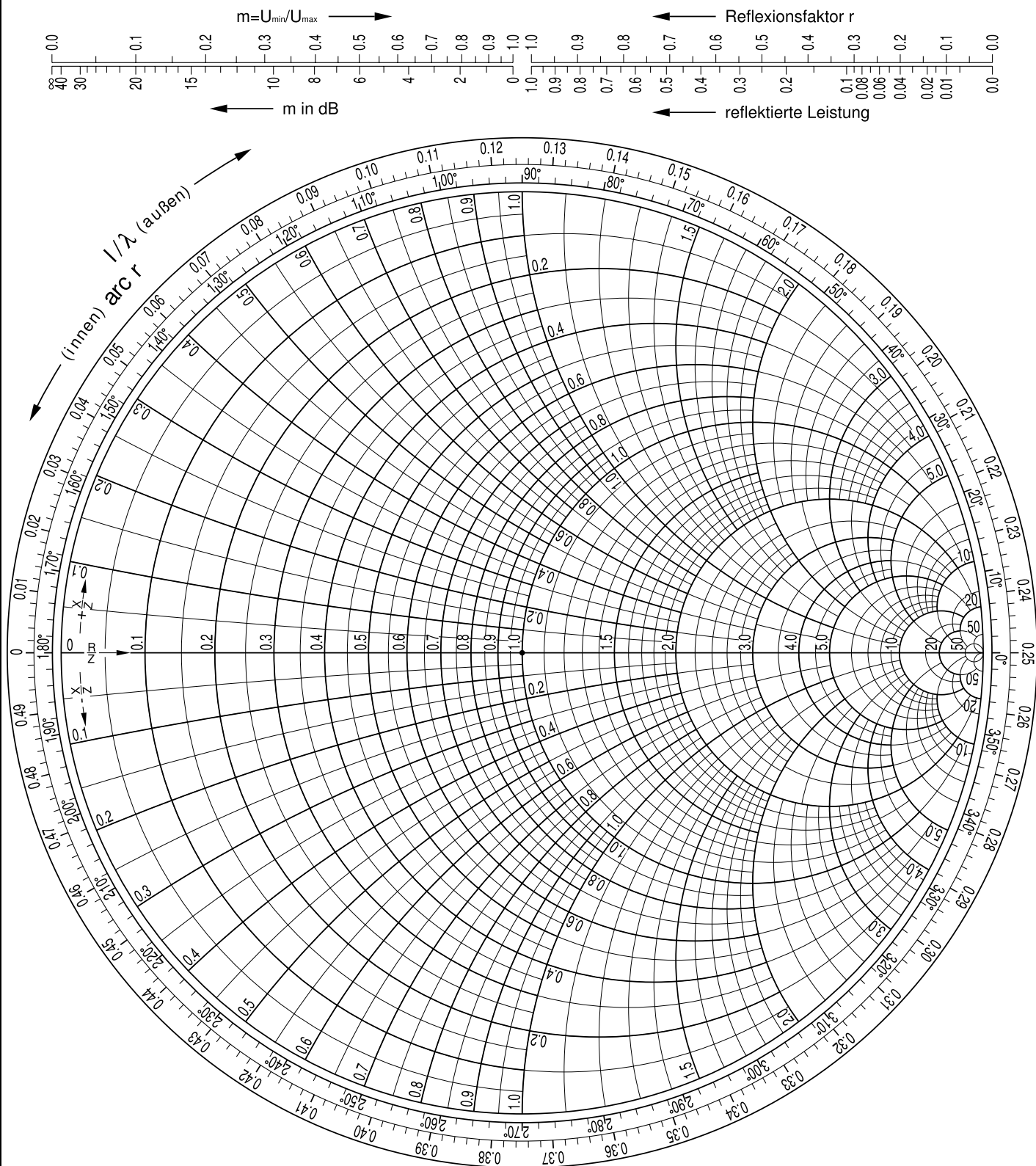
Grundlagen der Hochfrequenztechnik

Smith-Diagramm

GHF F'20
 26. Februar 2020
 Seite 29 von 42

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

GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 30 von 42

Name:

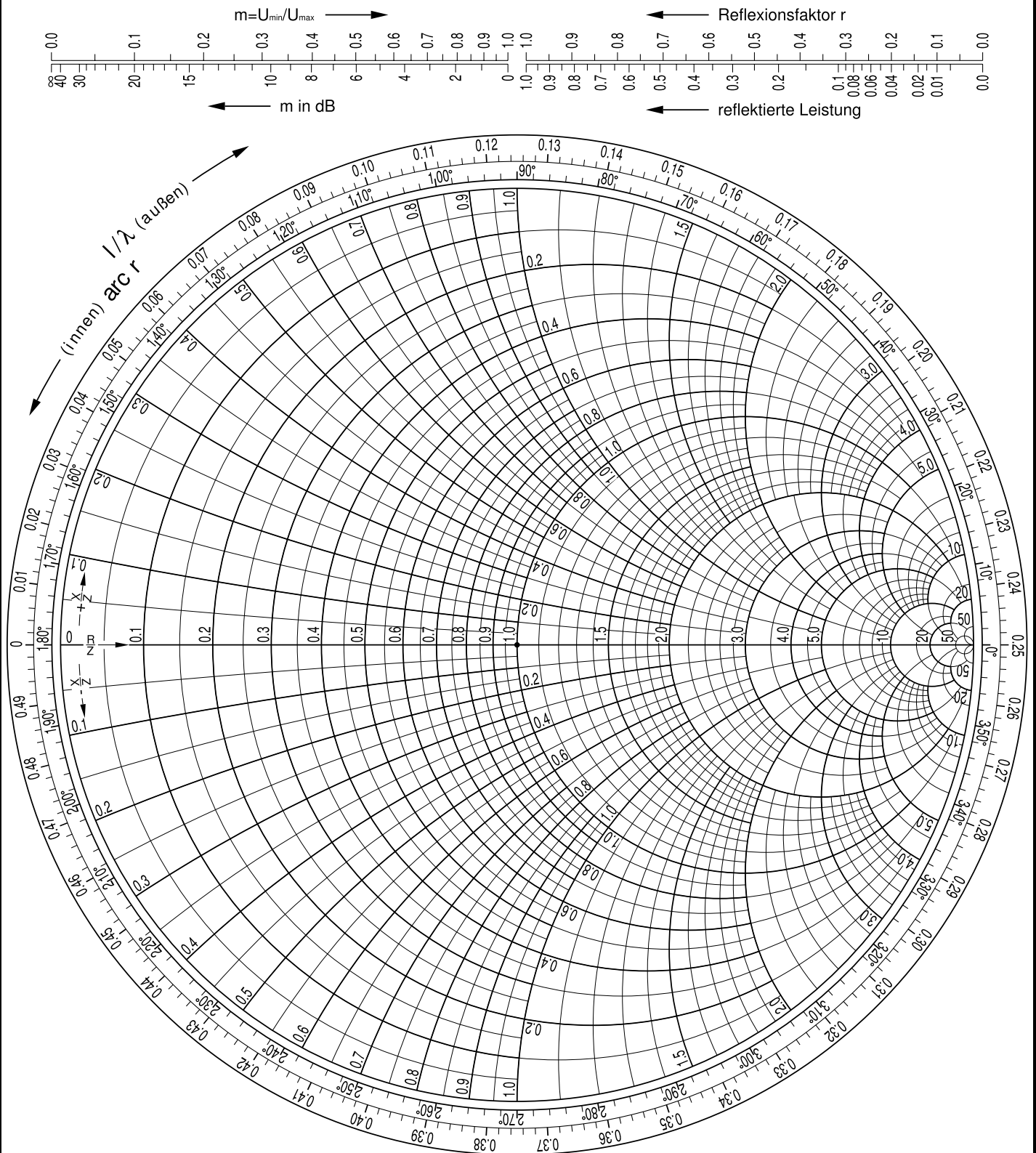
Smith-Diagramm

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:
.....

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

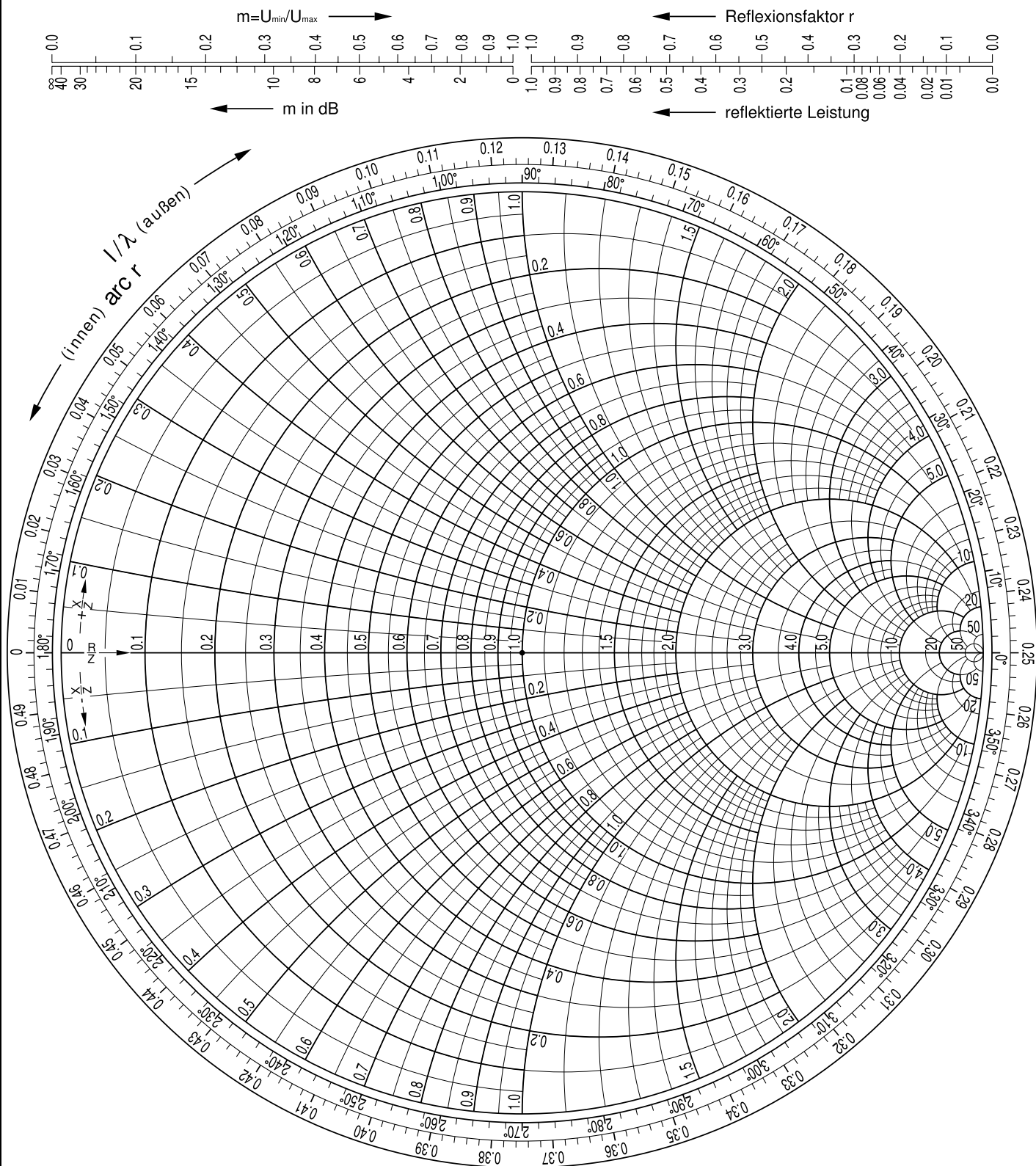
Smith-Diagramm

GHF F'20
 26. Februar 2020
 Seite 33 von 42

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

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 34 von 42

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

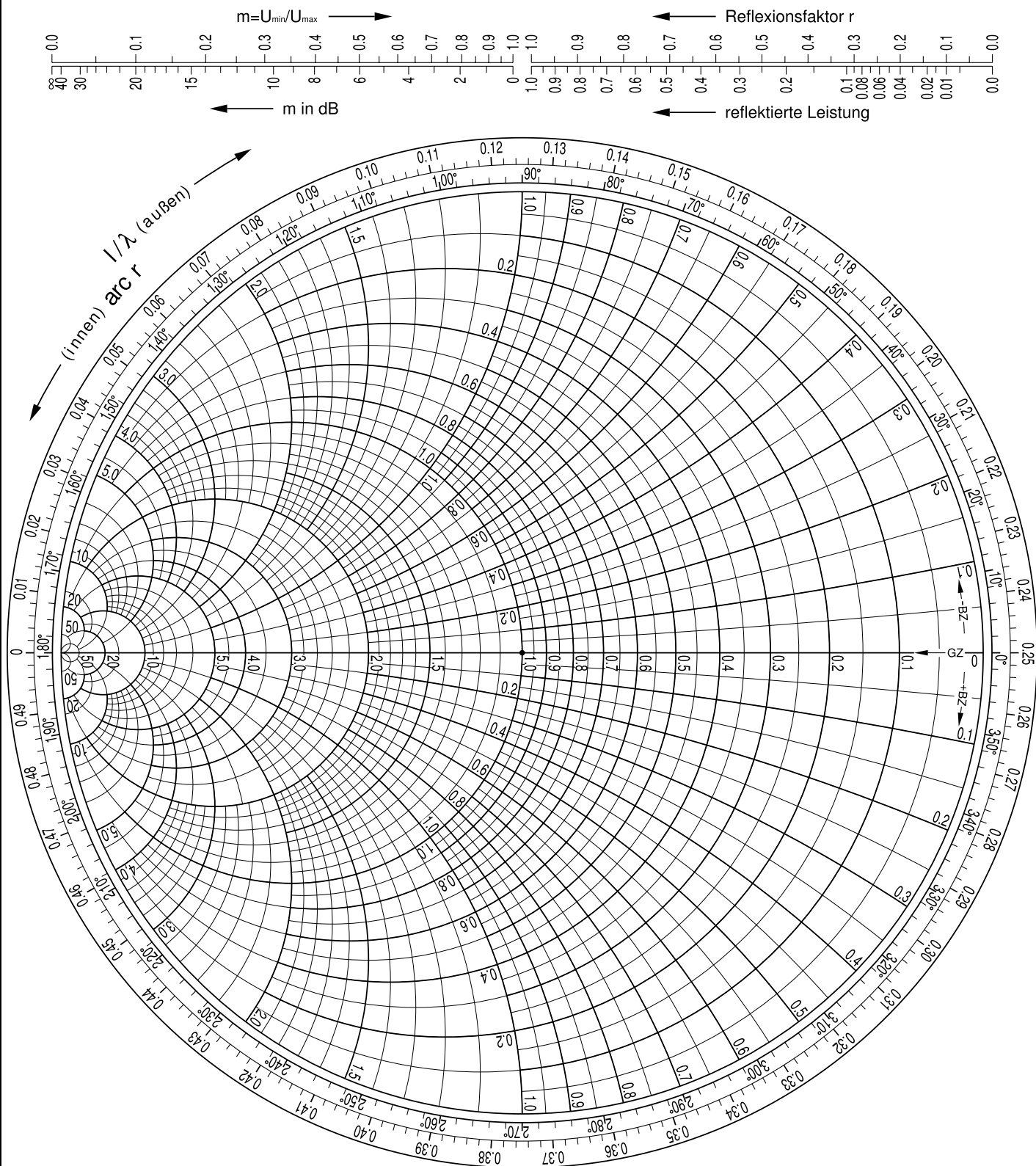
Smith-Diagramm

GHF F'20
 26. Februar 2020
 Seite 35 von 42

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

GHF F'20

26. Februar 2020

Seite 36 von 42

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

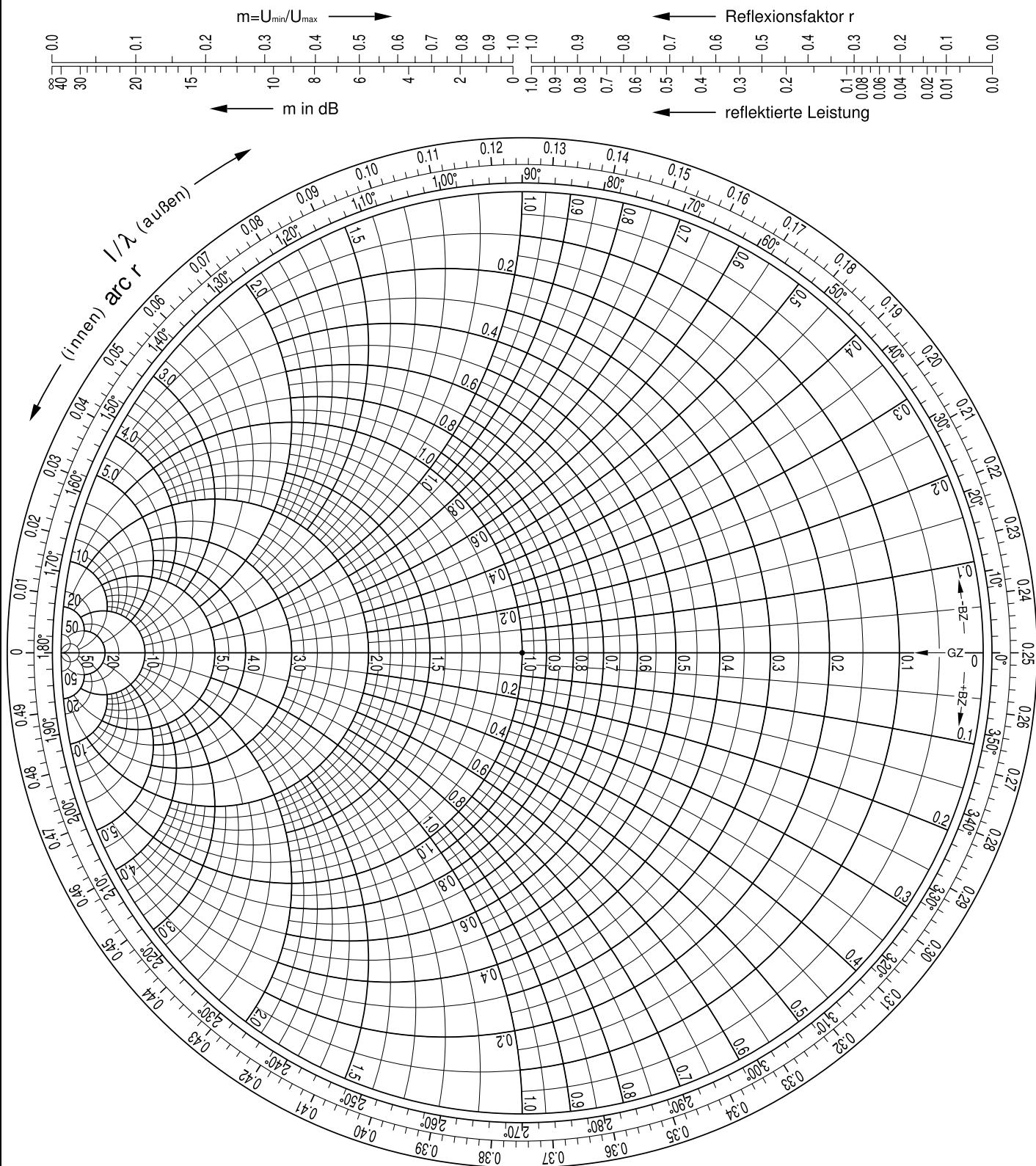
Smith-Diagramm

GHF F'20
 26. Februar 2020
 Seite 37 von 42

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

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 38 von 42

Name:

Grundlagen der Hochfrequenztechnik

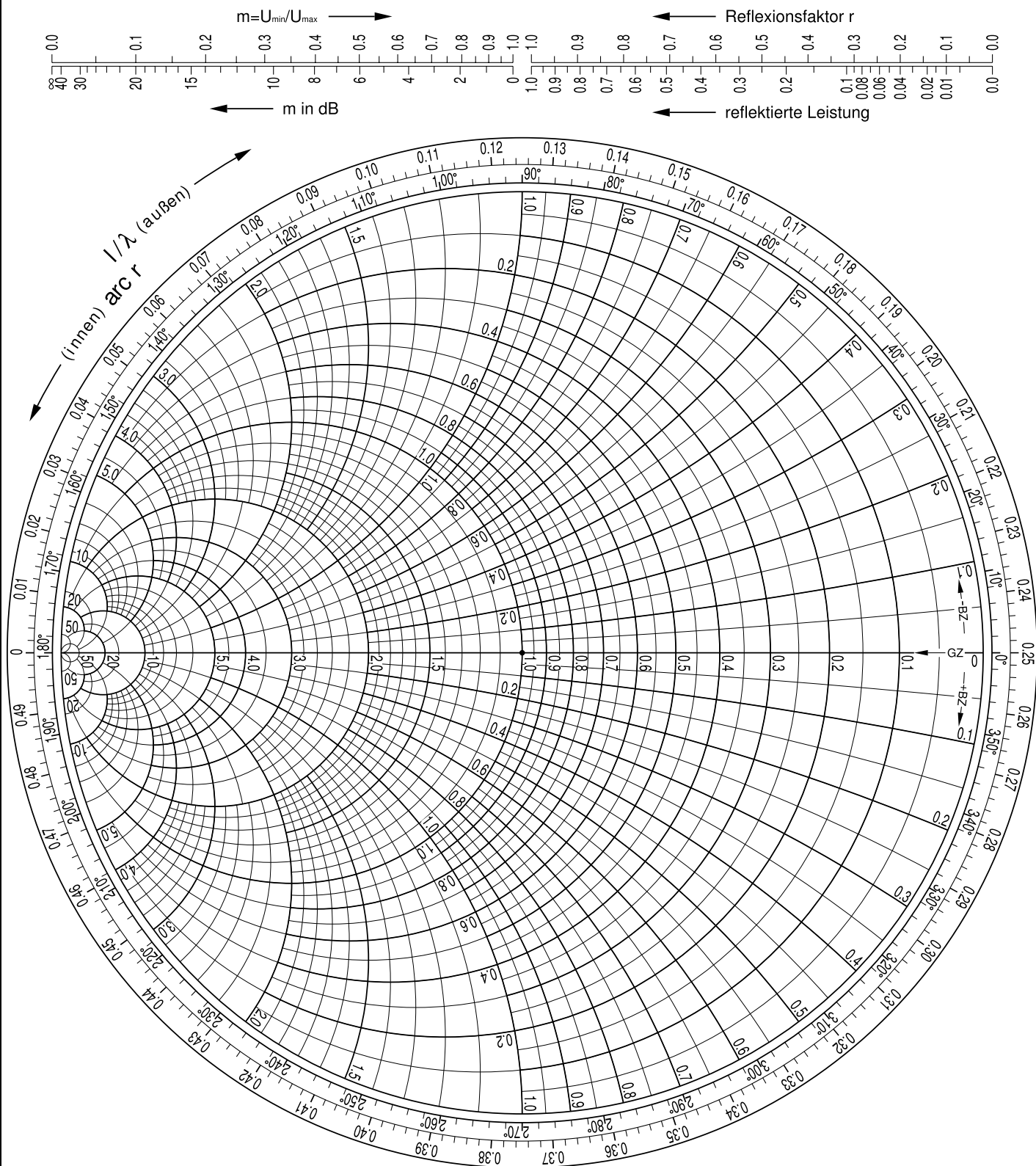
Smith-Diagramm

GHF F'20
 26. Februar 2020
 Seite 39 von 42

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

GHF F'20

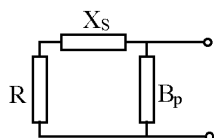
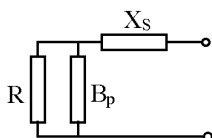
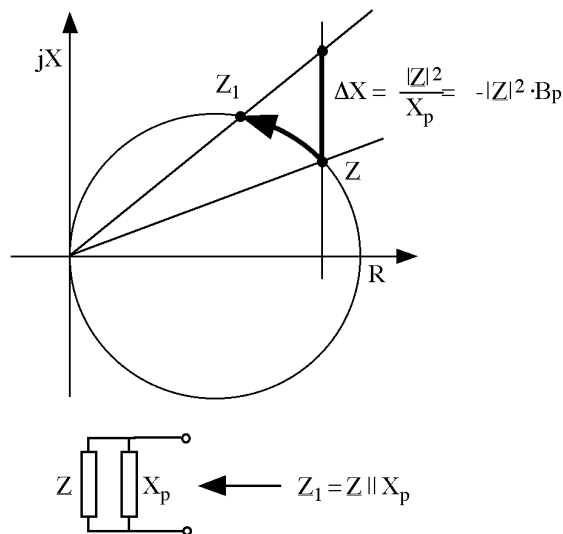
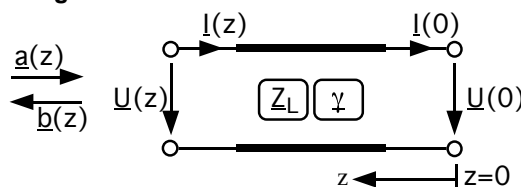
26. Februar 2020

Seite 40 von 42

Impedanz $\xleftrightarrow{Z=1/Y}$ **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**

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

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

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

Koaxialleitung

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

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

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

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

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

Konstanten

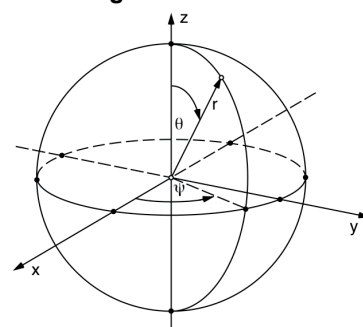
$$Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} = 120\pi \Omega$$

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

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

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

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

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

GHF F'20
26. Februar 2020
Seite 42 von 42

	[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}