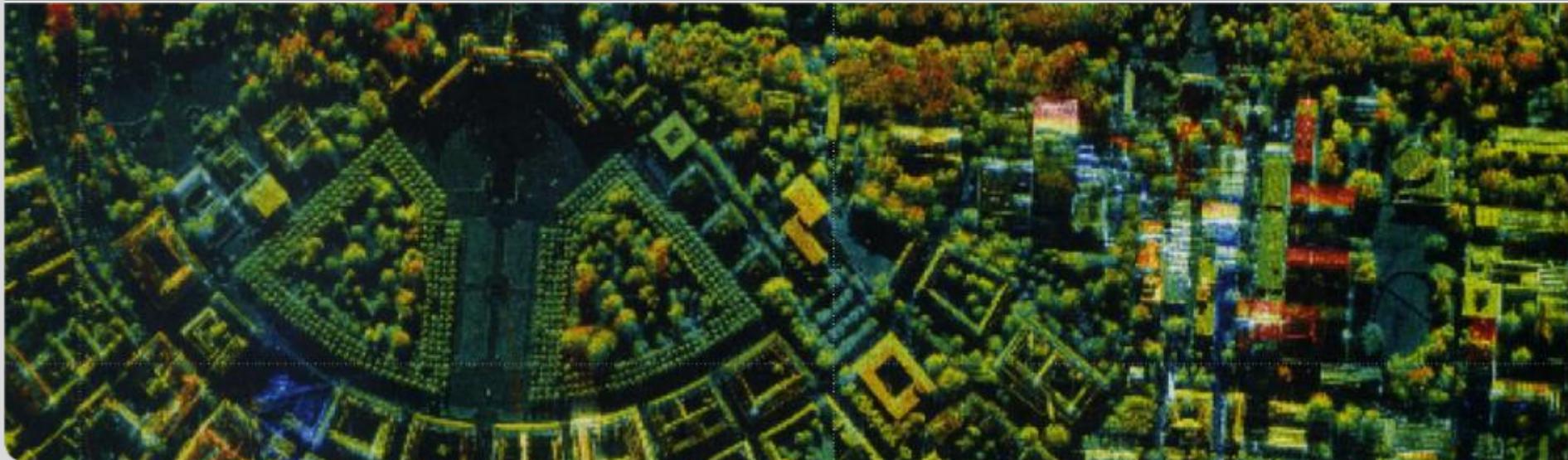


Hoch- und Höchstfrequenzhalbleiterschaltungen

Übung 12.12.2014

INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZTECHNIK UND ELEKTRONIK



Organisation

- Daniel Müller
- daniel.mueller@kit.edu
- 0721 – 608 47723
- Gebäude 30.10 Raum 3.28



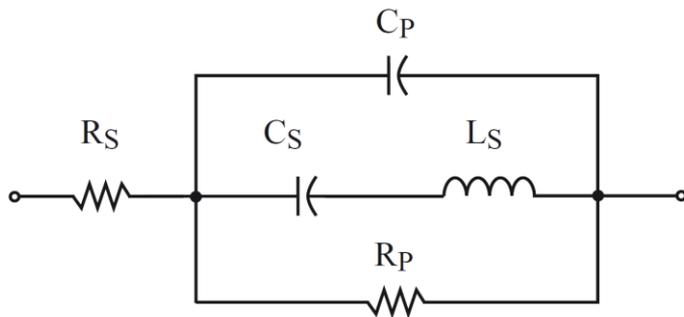
Datum	Fr. 8:00 – 9:30 HSI Hörsaal	Fr. 11:30 – 15:45 SCC, K-Pool	Do. 14:00 – 15:30 Uhr IHE Seminarraum 1. OG
12.12.2014	Saalübung		
08.01.2015			ADS Einführung
09.01.2015		ADS Übung 1	
16.01.2015		ADS Übung 2	
23.01.2015		ADS Übung 3	
30.01.2015		ADS Übung 4	
06.02.2015		ADS Übung 5	
13.02.2015		ADS Übung (optional)	

Diskrete Komponenten

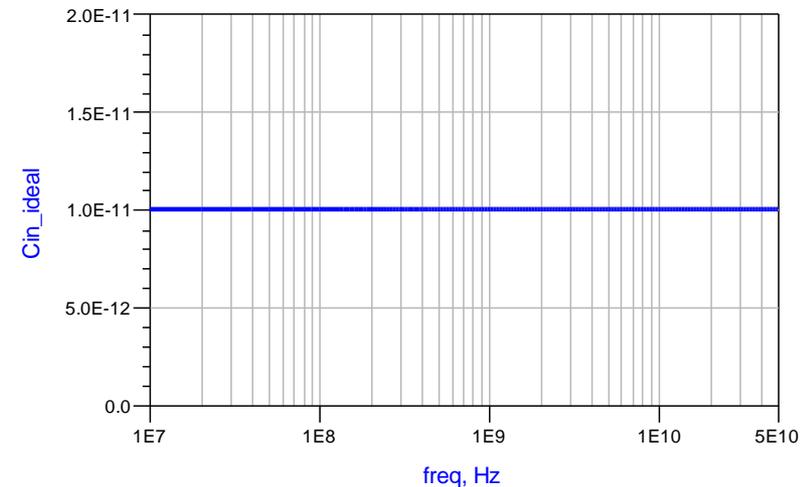
- Warum keine diskreten Bauteile ?
 - Diskrete Kapazitäten und Induktivitäten aktuell bis max. 20 GHz verfügbar (nur beschränkte Auswahl an Werten)



- Beispiel 10 pF Kondensator:



Typical Values
 $C_S = 4.8 \text{ pF}$
 $L_S = 0.5 \text{ nH}$
 $R_P = 78 \text{ Kohms}$
 $C_P = 5.2 \text{ pF}$
 $R_S = 0.11 \text{ ohms}$

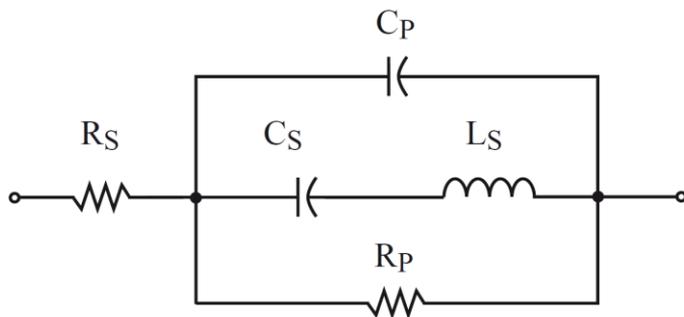


Diskrete Komponenten

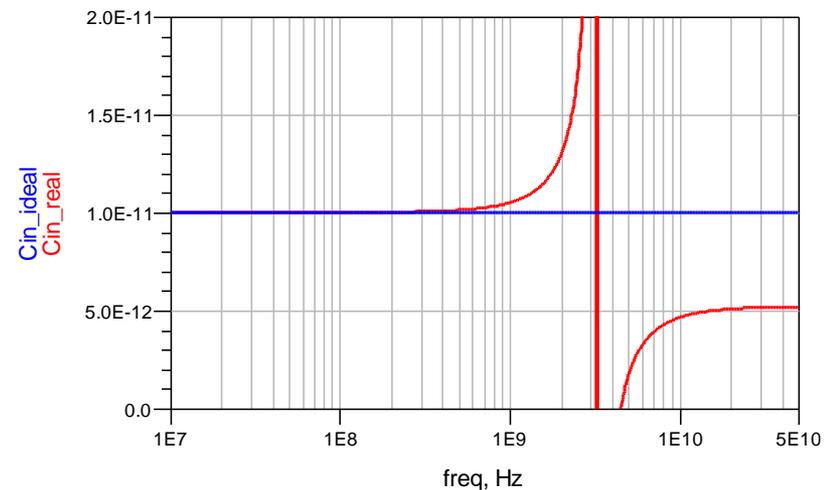
- Warum keine diskreten Bauteile ?
 - Diskrete Kapazitäten und Induktivitäten aktuell bis max. 20 GHz verfügbar (nur beschränkte Auswahl an Werten)



- Beispiel 10 pF Kondensator:

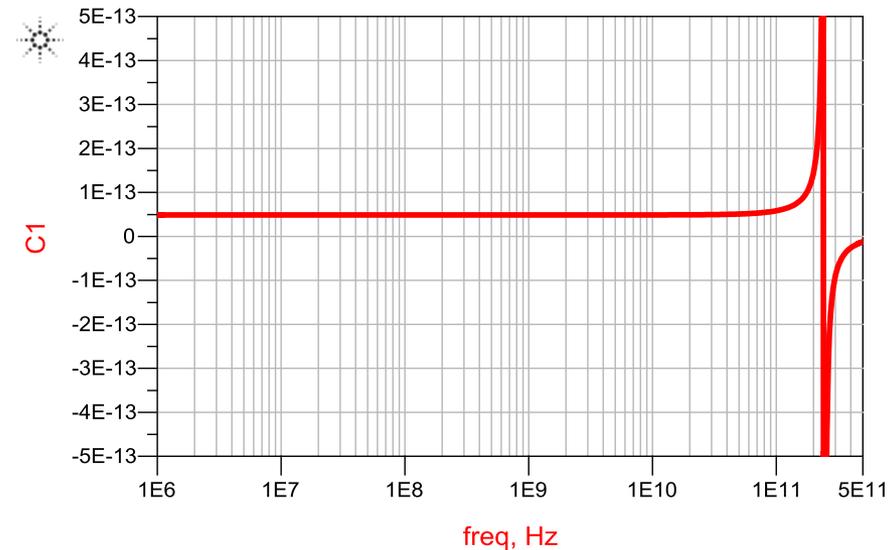
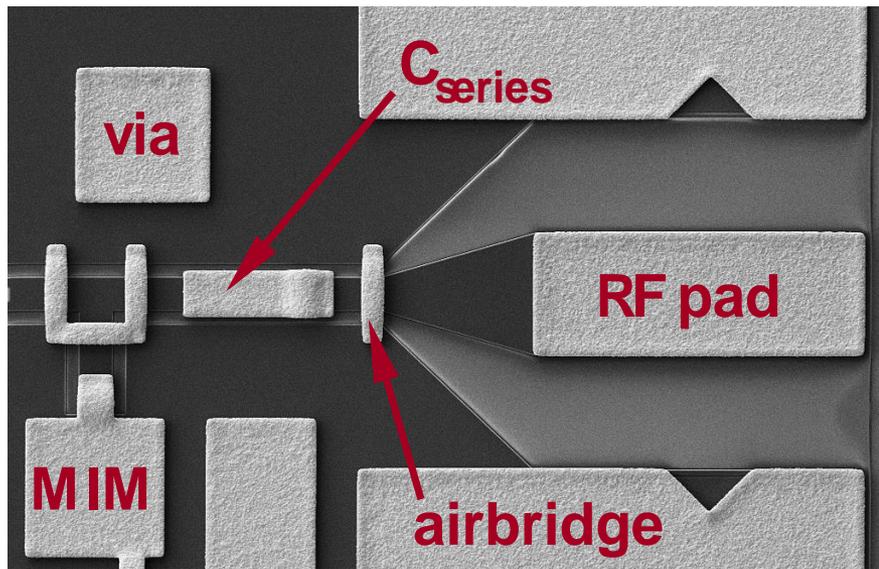


Typical Values
 $C_S = 4.8 \text{ pF}$
 $L_S = 0.5 \text{ nH}$
 $R_P = 78 \text{ Kohms}$
 $C_P = 5.2 \text{ pF}$
 $R_S = 0.11 \text{ ohms}$



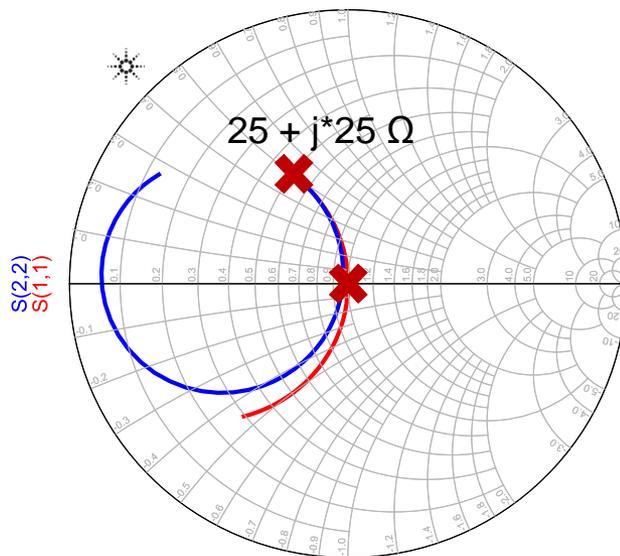
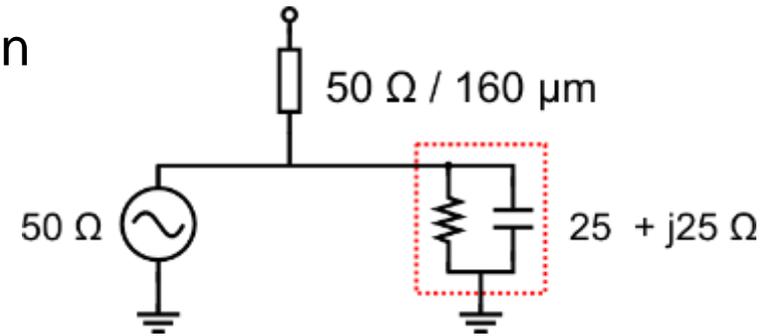
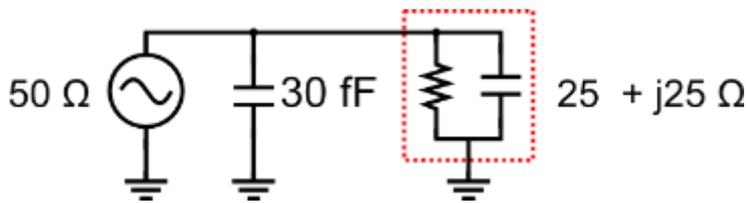
Diskrete Komponenten

- Warum keine diskreten Bauteile ?
 - Diskrete Kapazitäten und Induktivitäten aktuell bis max. 20 GHz verfügbar (nur beschränkte Auswahl an Werten)

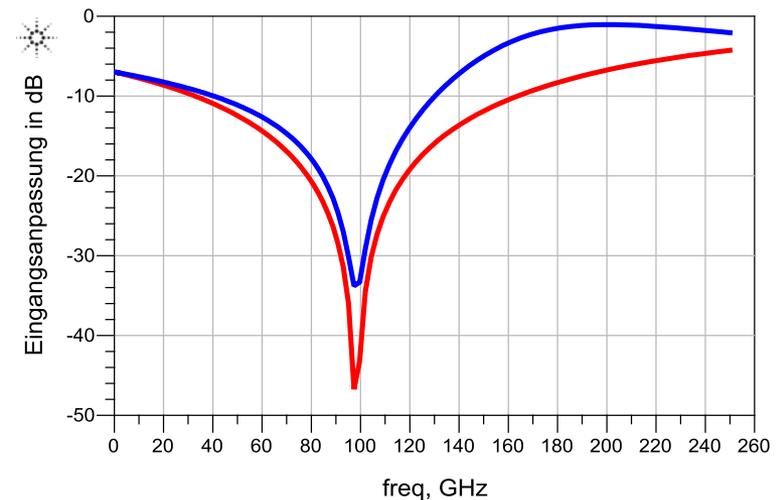


Vergleich diskrete Komponenten und Leitungen

- Vergleich Stubs mit diskreten Bauelementen
- Beispiel: $25 + j*25 \Omega$ auf 50Ω anpassen

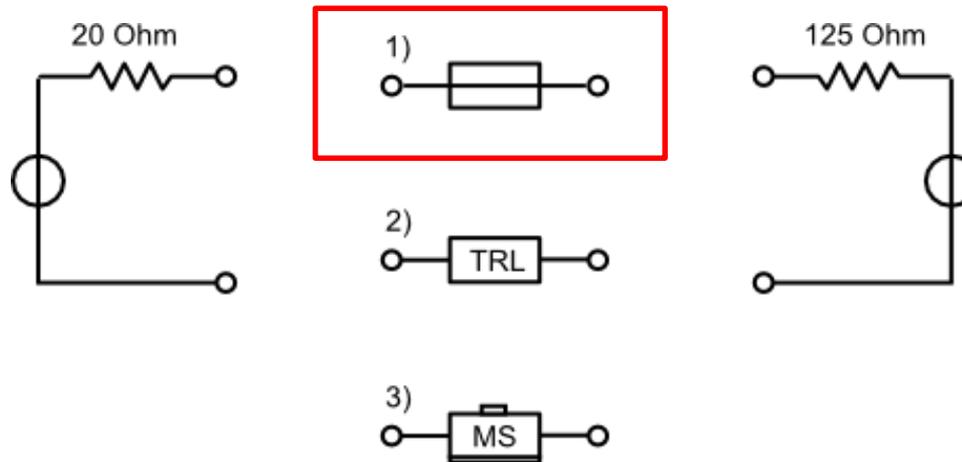


freq (1.000GHz to 250.0GHz)



Aufgabe A – Fehlangepasste Systeme

Gegeben ist eine Quelle mit dem Innenwiderstand 20 Ohm und ein Verbraucher mit dem Innenwiderstand 125 Ohm. Die Quellenleistung beträgt 5 dBm.



1) Direkt verbunden werden

Aufgabe A – Fehlangepasste Systeme

- 1) Wieviel Leistung kommt am Verbraucher an, wenn die Quelle und der Verbraucher direkt verbunden werden?

■ Grundlagen

$$P_{\max} = 5 \text{ dBm} = 3,16 \text{ mW}$$

$$P_w = P_{\max} * (1 - |\Gamma|^2)$$



■ Lösung:

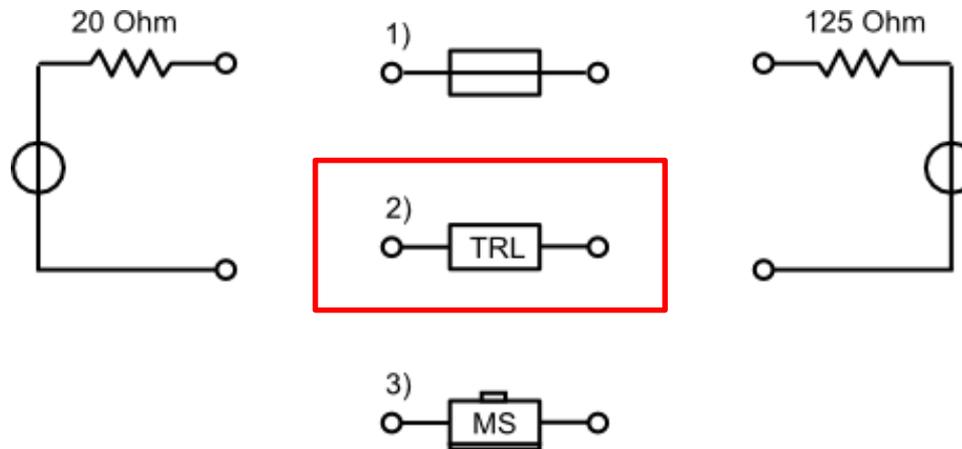
$$Z_{in} = R = 125 \text{ W}$$

$$\rightarrow G = 0,724$$

$$\rightarrow P_w = 1,77 \text{ dBm}$$

Aufgabe A – Fehlangepasste Systeme

Gegeben ist eine Quelle mit dem Innenwiderstand 20 Ohm und ein Verbraucher mit dem Innenwiderstand 125 Ohm. Die Quellenleistung beträgt 5 dBm.



2) Über eine Leitung der Länge $\lambda/4$ und der Impedanz 50 Ohm verbunden werden ?

Aufgabe A – Fehlangepasste Systeme

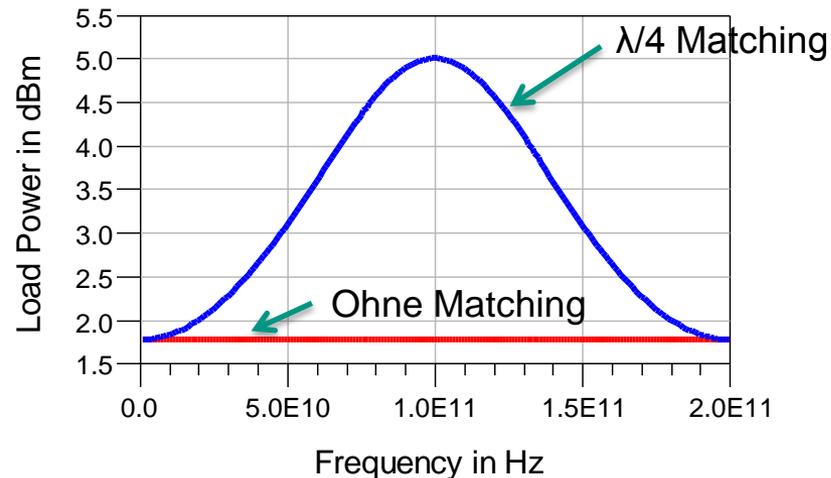
2) über eine Leitung der Länge $\lambda/4$ und der Impedanz 50 Ohm verbunden werden?

Lösung:

$$Z_{in} = \frac{Z_0^2}{R} = 20 \text{ W}$$

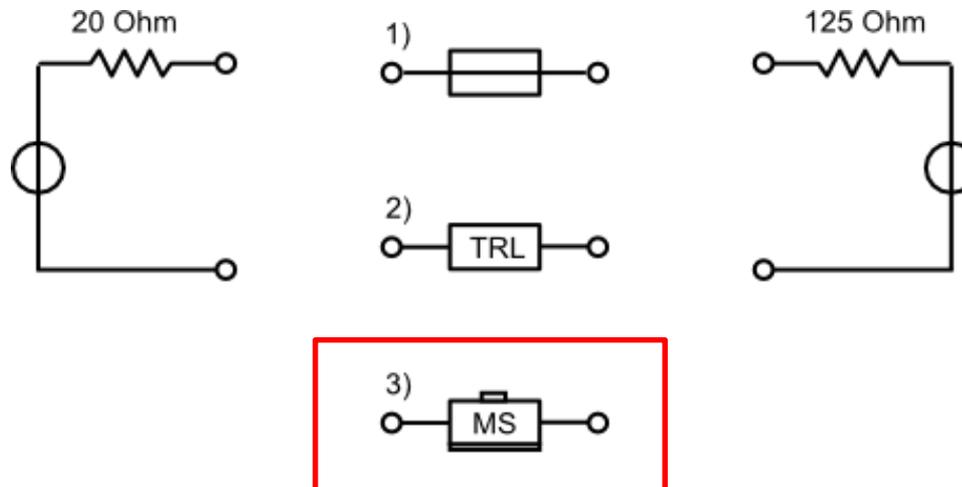
$$\rightarrow G = 0$$

$$\rightarrow P_w = 5 \text{ dBm} \quad (\text{bei } 100 \text{ GHz})$$



Aufgabe A – Fehlangepasste Systeme

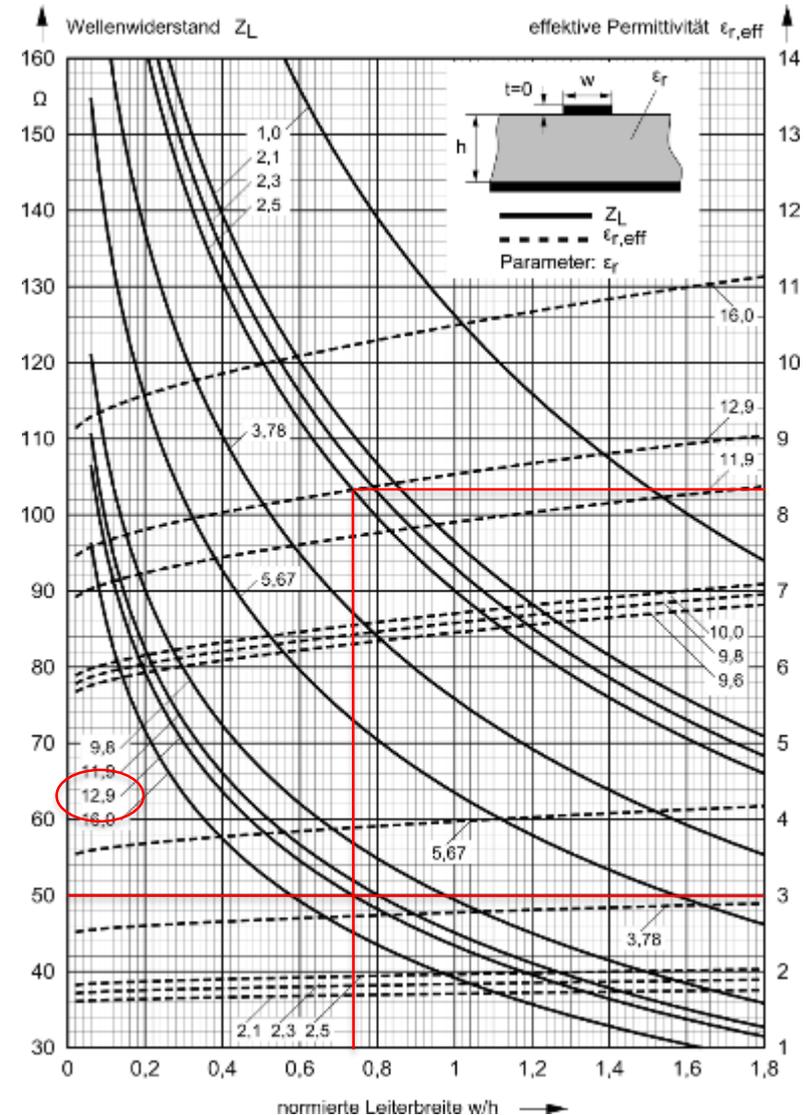
Gegeben ist eine Quelle mit dem Innenwiderstand 20 Ohm und ein Verbraucher mit dem Innenwiderstand 125 Ohm. Die Quellenleistung beträgt 5 dBm.



3) mit einer Mikrostreifenleitung verbunden werden? Die Länge und die Weite der Mikrostreifenleitung soll so gewählt werden, dass **maximale Leistung** am Verbraucher ankommt. Zur Auswahl stehen zwei GaAs Substrate mit einer **Permittivität von 12,9** der **Dicke 650 μm und 50 μm** . Benutzen Sie zur Bestimmung der Weiten und Längen die Grafik im Anhang. Die Anpassung soll bei **100 GHz** sein.

Aufgabe A – Fehlangepasste Systeme

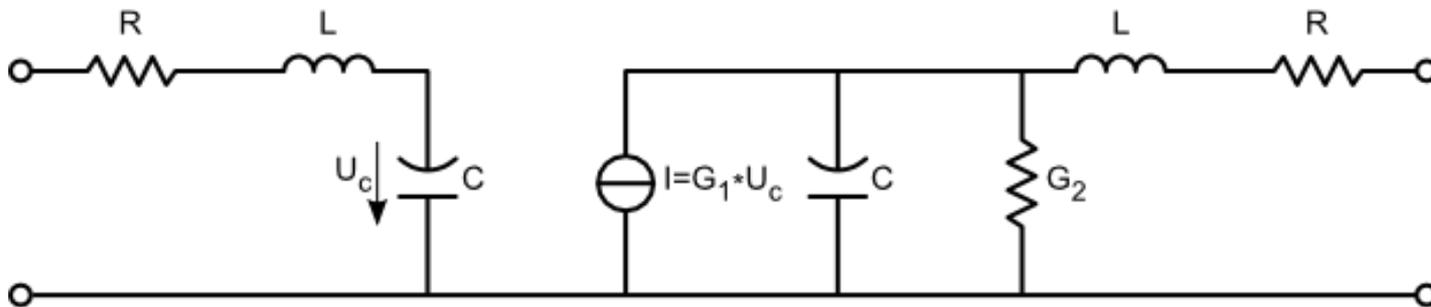
- Gewünschte Impedanz einzeichnen
- Normierte Leiterbreite ablesen
→ $w/h = 0,74$
- ϵ_{eff} ablesen
→ $\epsilon_{\text{eff}} = 8,3$
- Substratdicke $650 \mu\text{m}$
→ Leiterweite $480 \mu\text{m}$
→ Leiterlänge $260 \mu\text{m}$
- Substratdicke $50 \mu\text{m}$
→ Leiterweite $37 \mu\text{m}$
→ Leiterlänge $260 \mu\text{m}$



Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

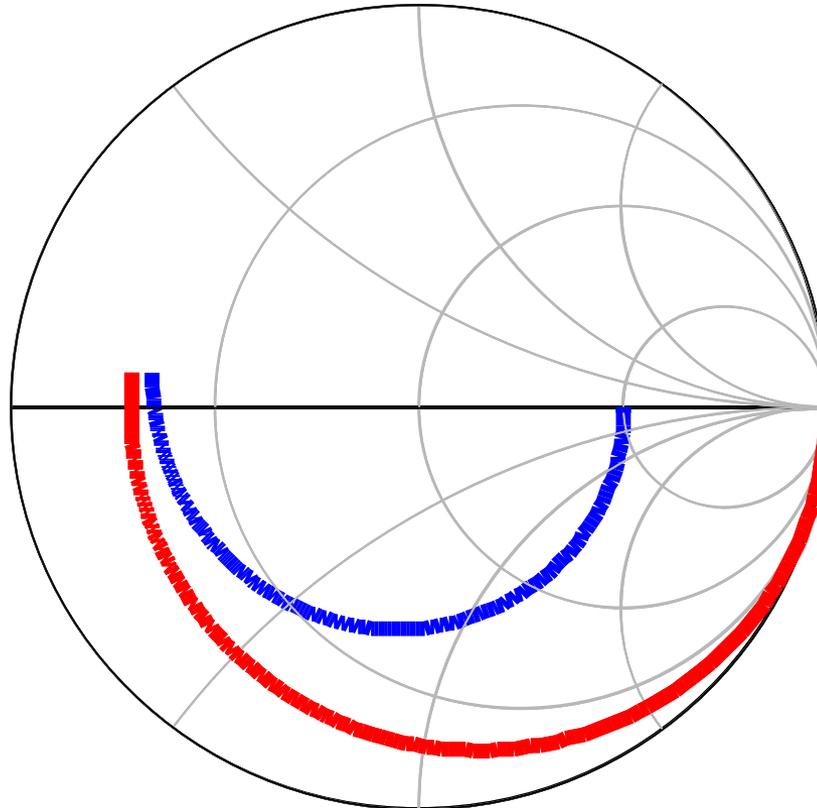
- Im Folgenden ist das Ersatzschaltbild eines Feldeffekttransistors in Common-Source Konfiguration gegeben.

- $R = 8,5 \text{ Ohm}$ $G_1 = 100 \text{ mS}$
 $L = 15 \text{ pH}$ $G_2 = 7 \text{ mS}$
 $C = 50 \text{ fF}$



1) Skizzieren Sie S_{11} und S_{22} des Transistors im Smith-Chart. Überlegen Sie sich dafür welche Ein- und Ausganzimpedanzen für $f \rightarrow 0$ und $f \gg 0$ erzielt werden.

Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren



$$Z_{in} = R + j\omega C_e L - \frac{1}{\omega C_0}$$

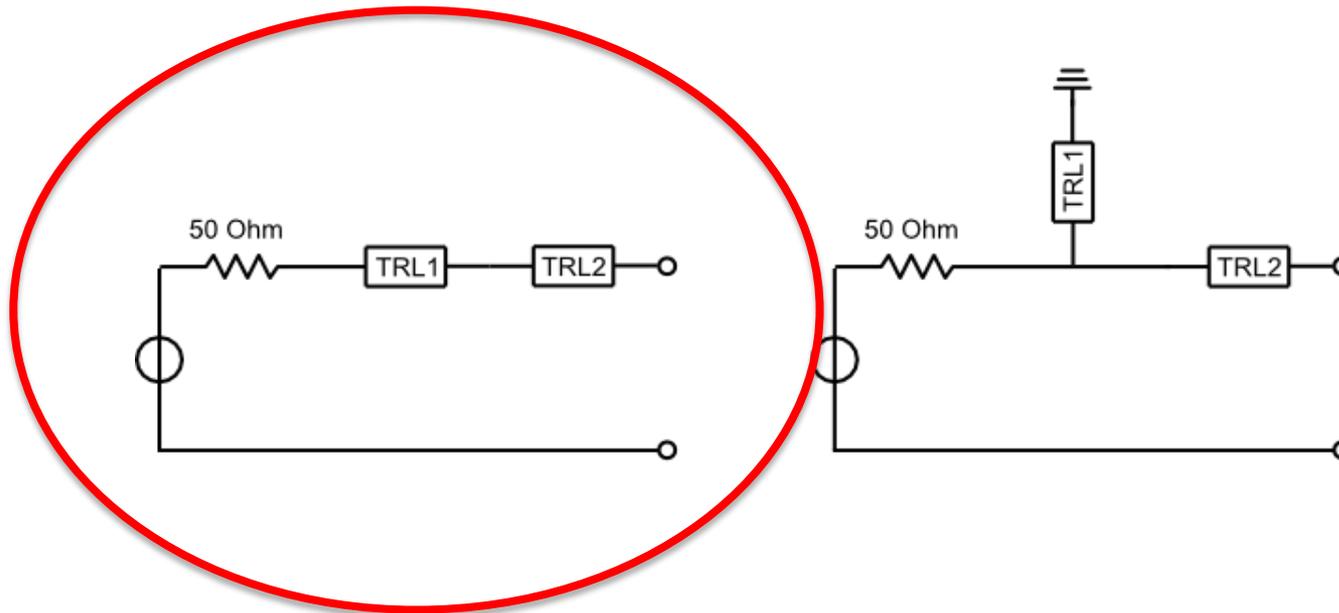
$$Z_{out} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C} + j\omega L + R = R + \frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C)^2} + j\omega C_e L - \frac{\omega R_2^2 C}{1 + (\omega R_2 C)^2}$$

Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

2) Bei 100 GHz ist die Eingangsimpedanz = $8.5 - j*22.4 \Omega$ und die Ausgangsimpedanz = $15.25 - j*21 \Omega$.

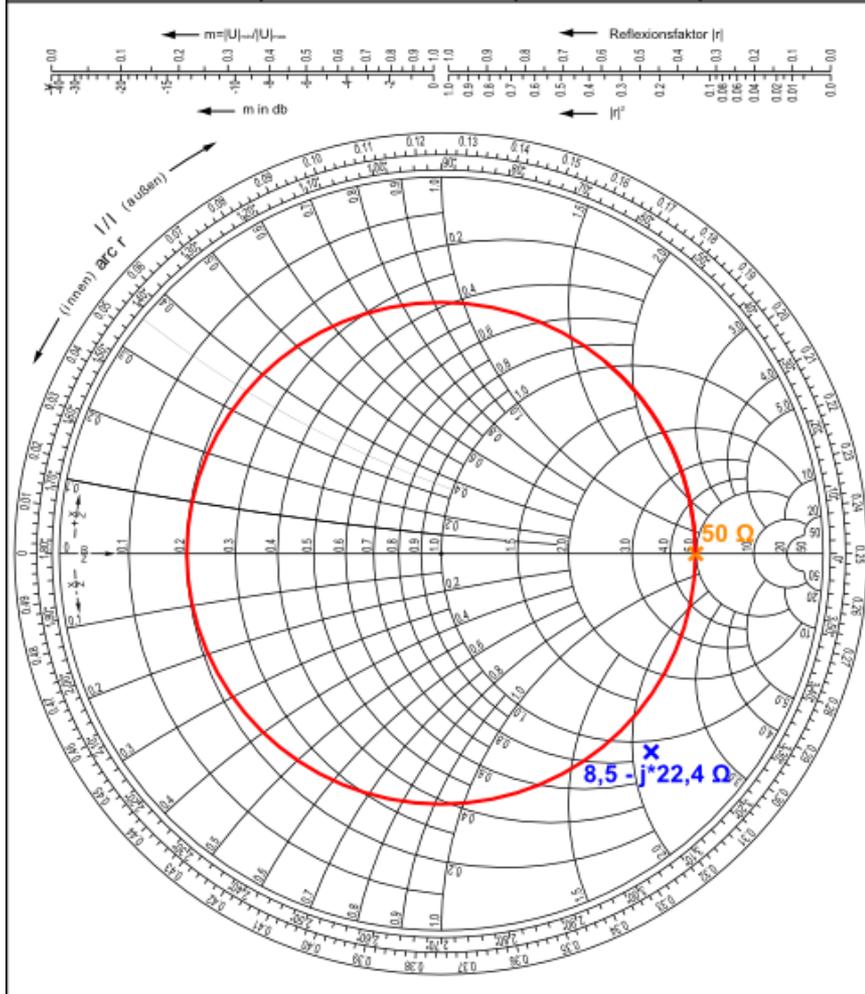
Wie können Sie den Transistor anpassen? Im Folgenden sind zur Hilfestellung zwei typische Anpassnetzwerke gegeben. Wie sieht der Transformationsweg im Smith-Chart aus?

Die Leitungen können Impedanzen von 10 bis 80Ω annehmen.

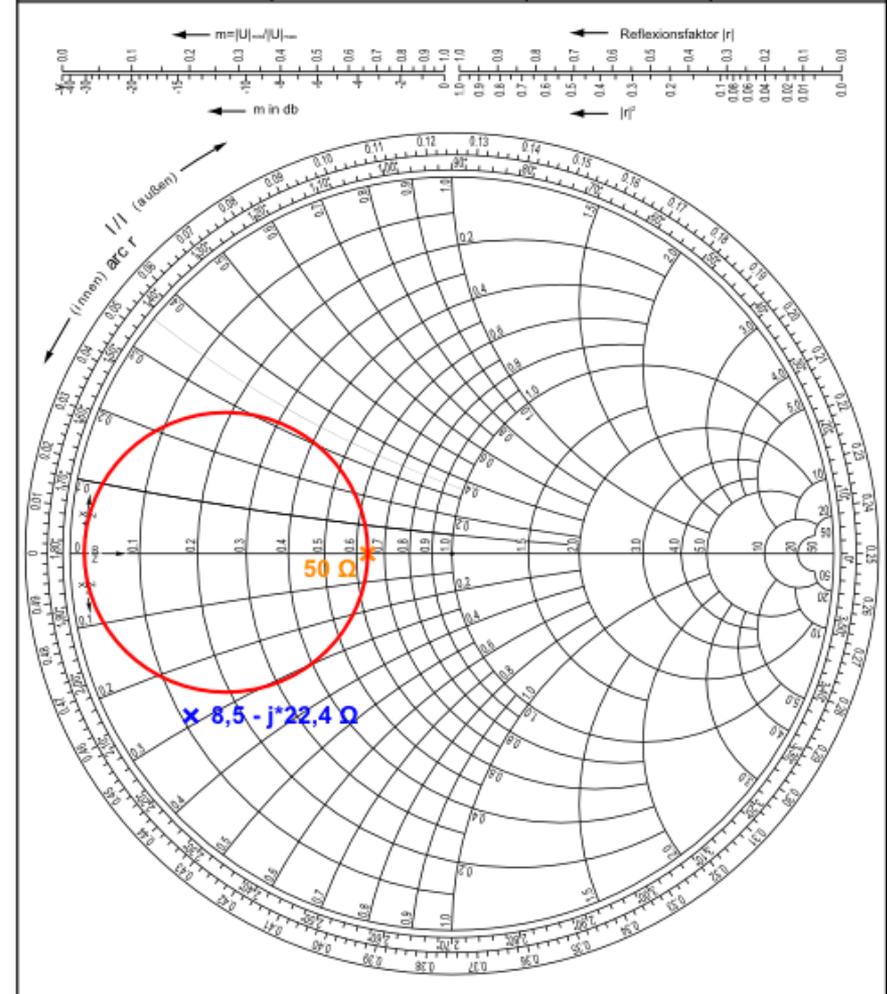


Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

Name:	Smith-Diagramm (Widerstandsform)	Zu Aufgabe Nr.:	Normierungs- widerstand $R_N = 10 \text{ Ohm}$
TRL1			

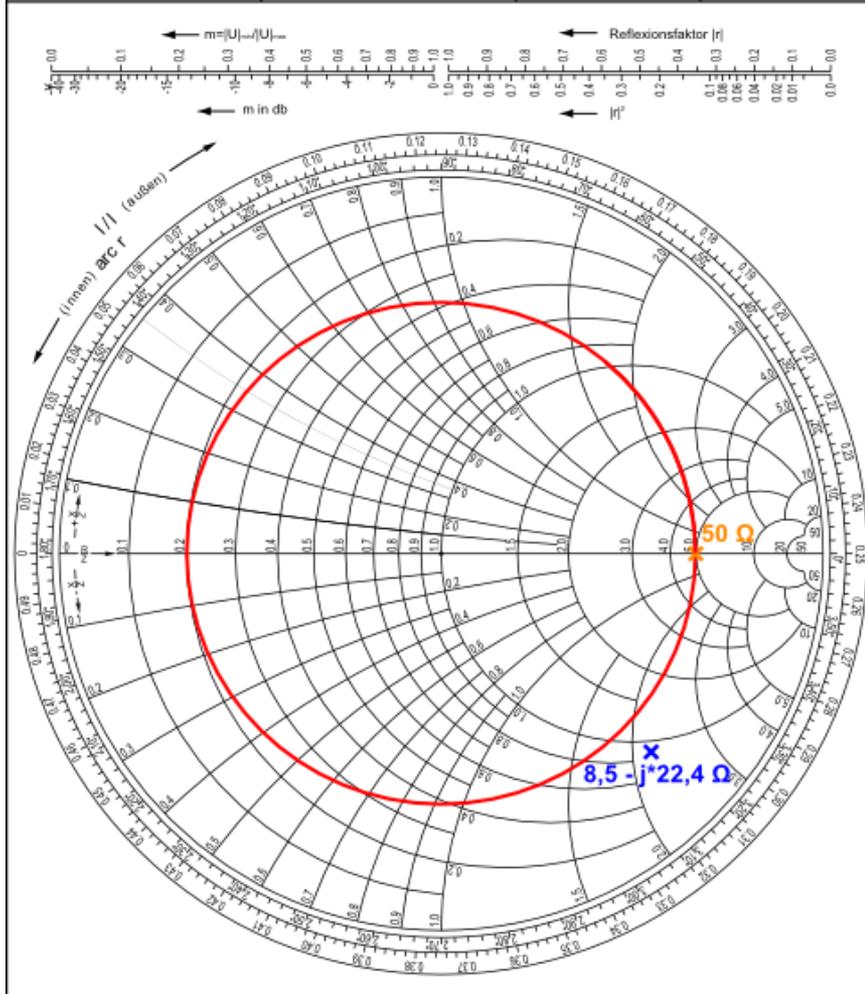


Name:	Smith-Diagramm (Widerstandsform)	Zu Aufgabe Nr.:	Normierungs- widerstand $R_N = 80 \text{ Ohm}$
TRL2			

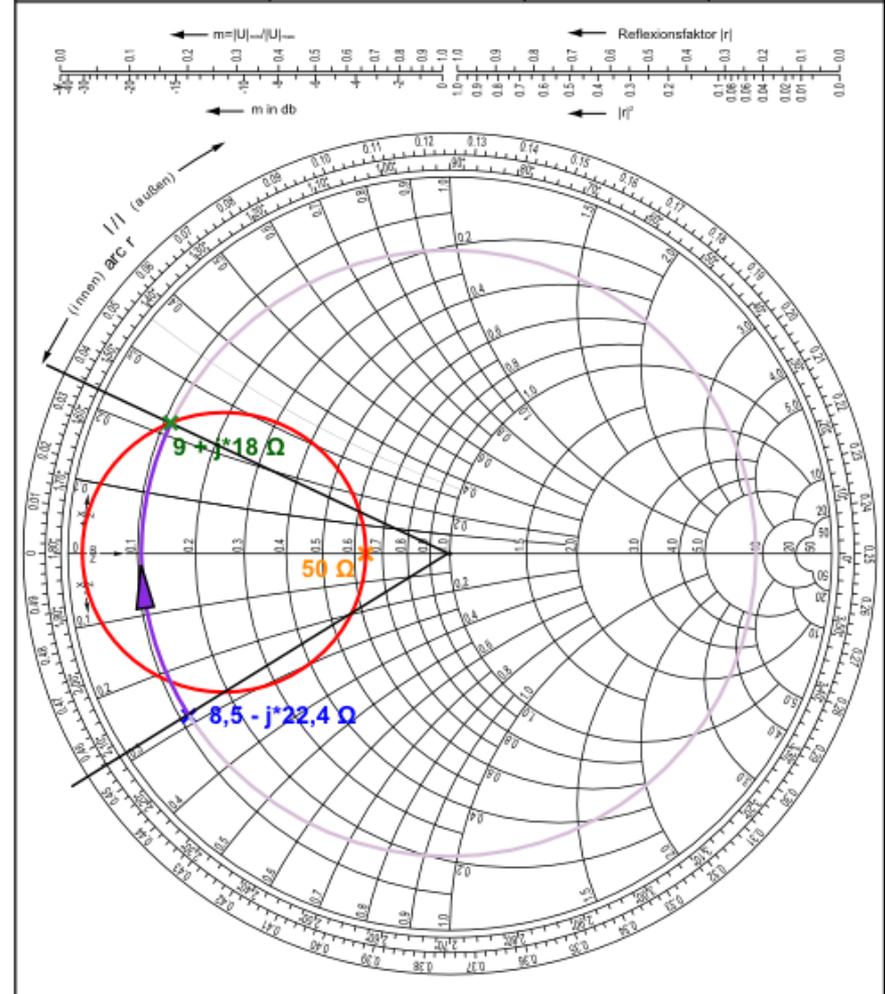


Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

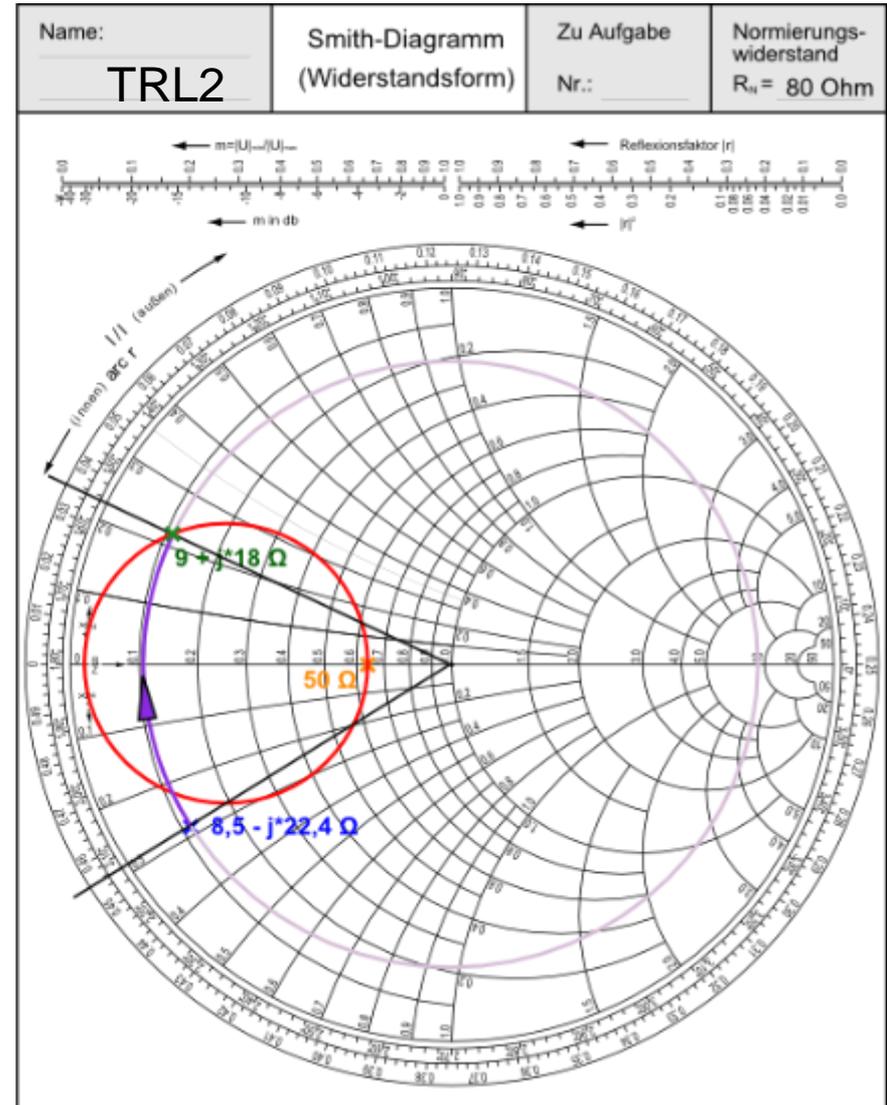
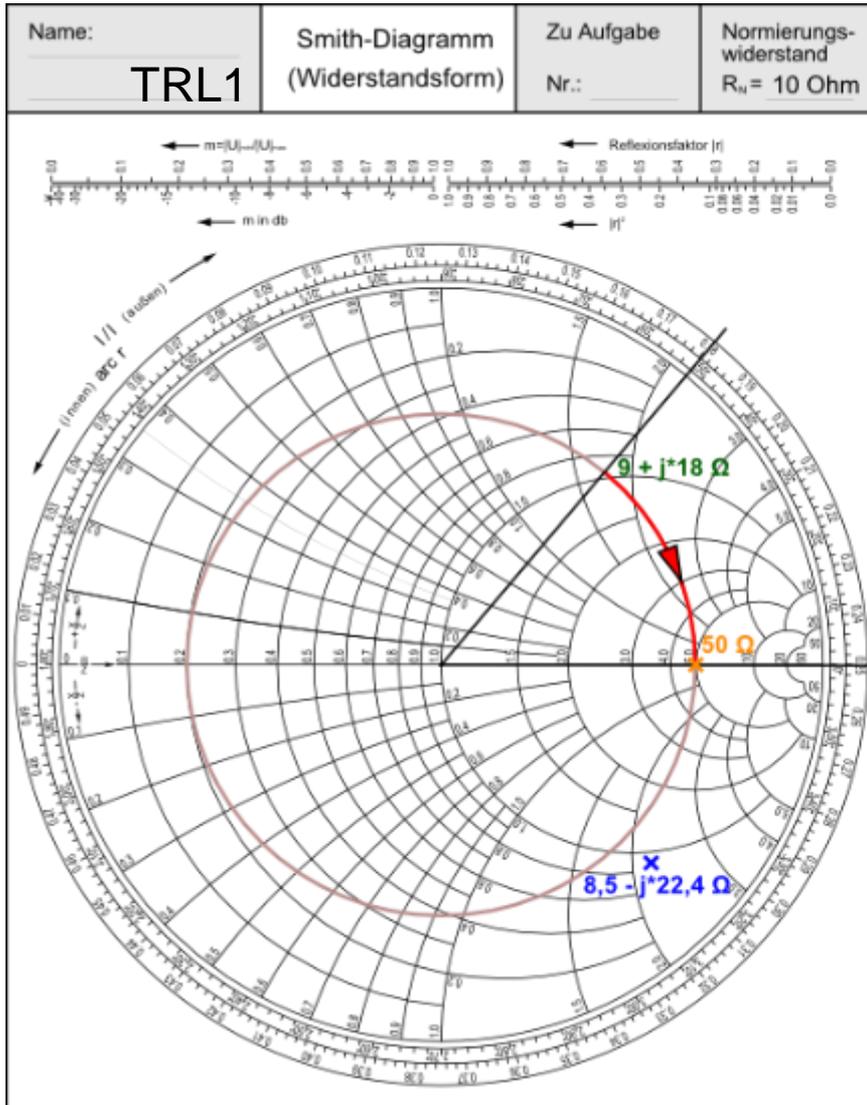
Name:	Smith-Diagramm (Widerstandsform)	Zu Aufgabe Nr.:	Normierungs- widerstand $R_N = 10 \text{ Ohm}$
TRL1			



Name:	Smith-Diagramm (Widerstandsform)	Zu Aufgabe Nr.:	Normierungs- widerstand $R_N = 80 \text{ Ohm}$
TRL2			



Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren



Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

■ Ablesen der Werte für die Eingangsanpassung

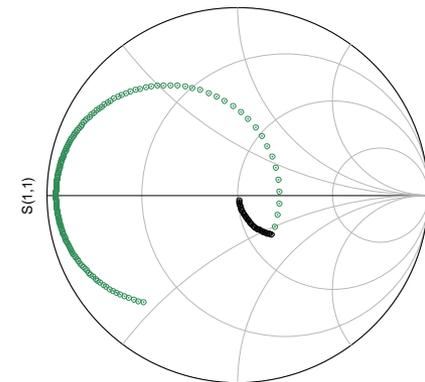
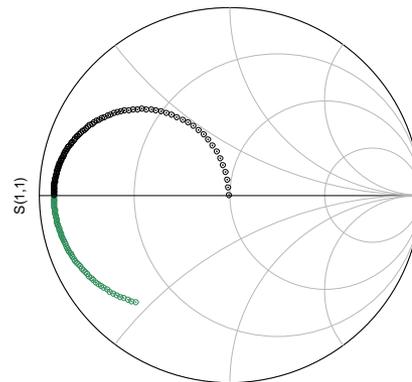
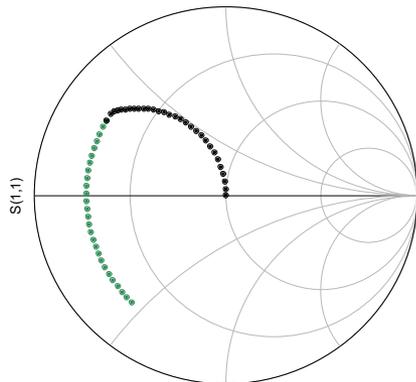
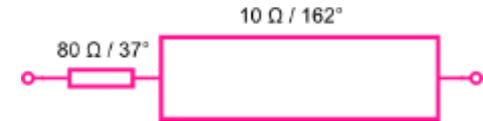
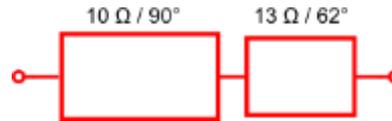
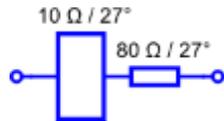
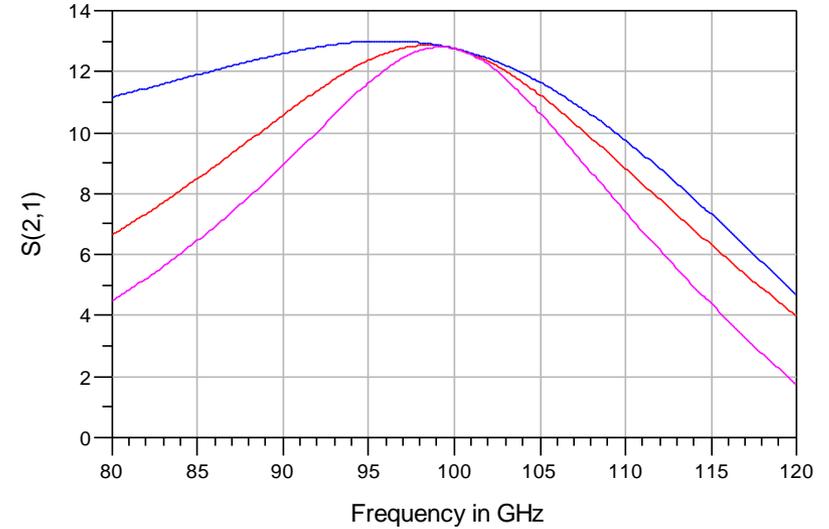
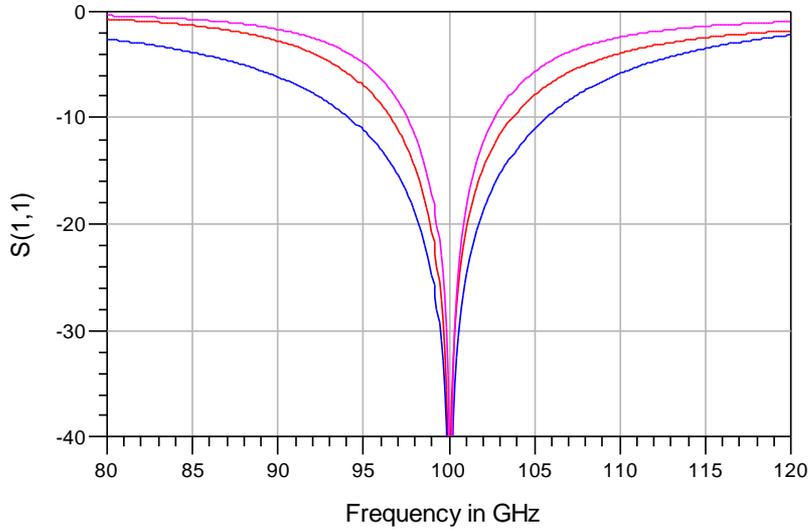
■ TRL1 (10 Ω)

$$\frac{l_{TRL1}}{\lambda} = 0,25 - 0,18 = 0,07 \rightarrow l_{TRL1} = 25,2^\circ$$

■ TRL2 (80 Ω)

$$\frac{l_{TRL2}}{\lambda} = 0,535 - 0,455 = 0,08 \rightarrow l_{TRL2} = 28,8^\circ$$

Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

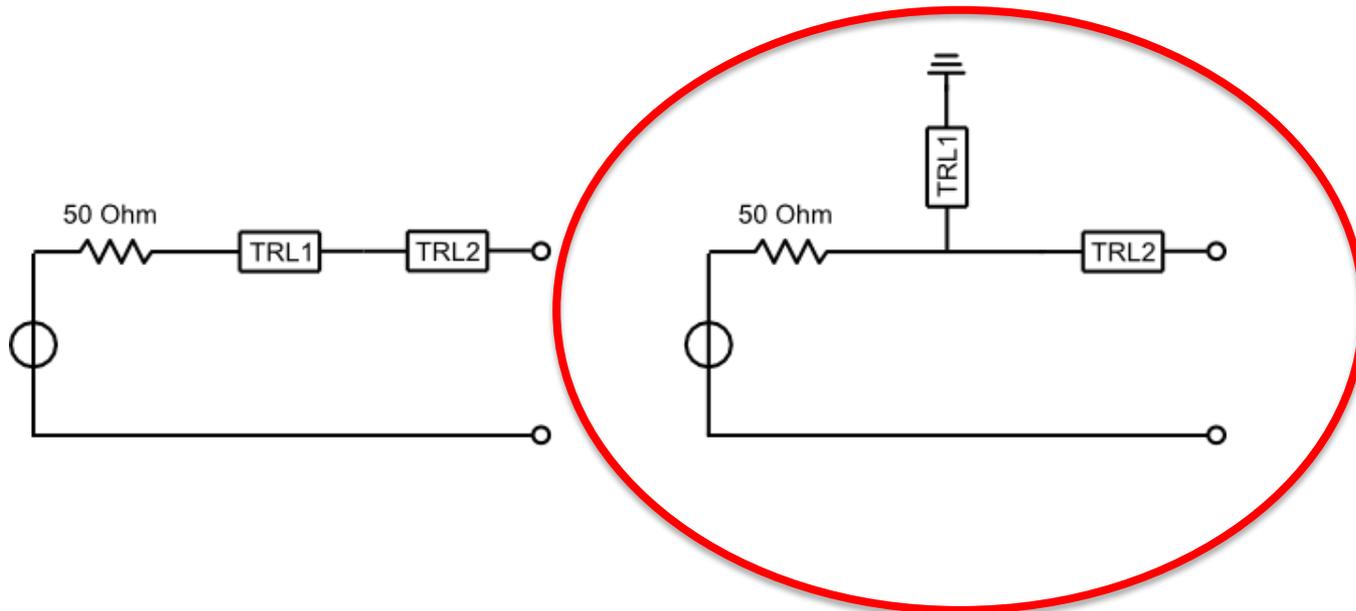


Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

2) Bei 100 GHz ist die Eingangsimpedanz = $8.5 - j \cdot 22.4 \Omega$ und die Ausgangsimpedanz = $15.25 - j \cdot 21 \Omega$.

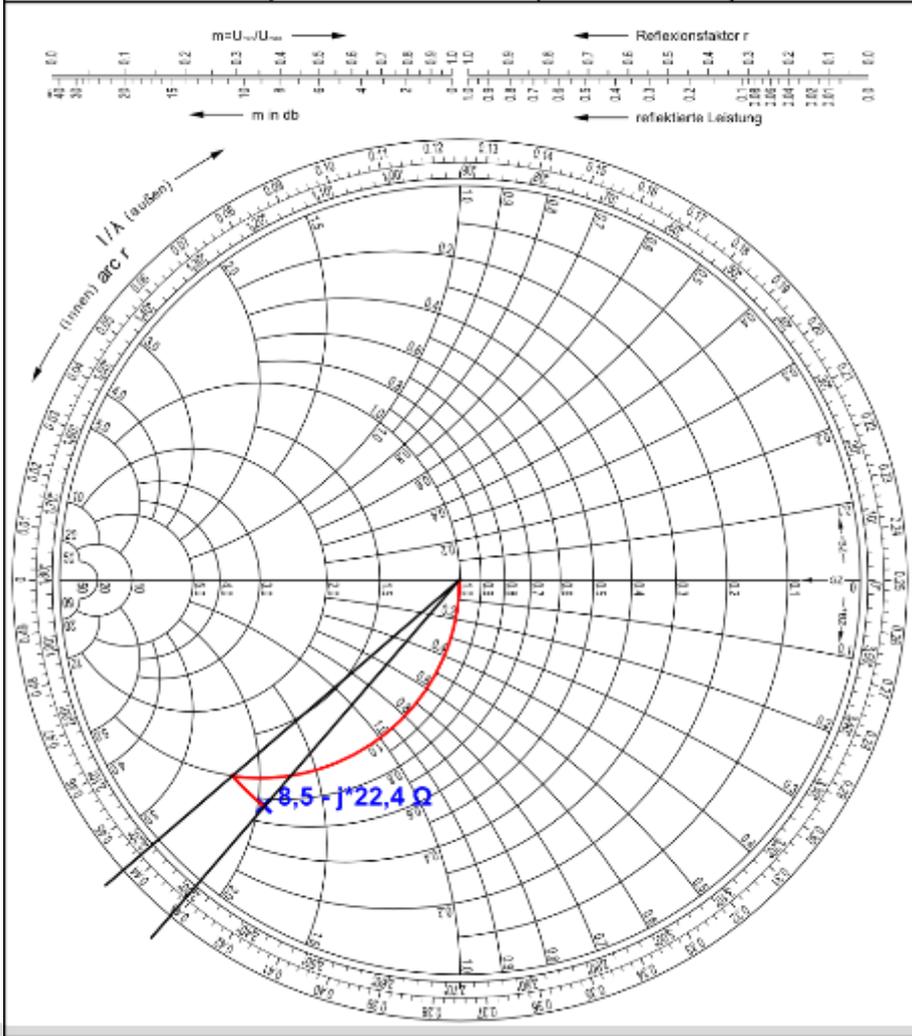
Wie können Sie den Transistor anpassen? Im Folgenden sind zur Hilfestellung zwei typische Anpassnetzwerke gegeben. Wie sieht der Transformationsweg im Smith-Chart aus?

Die Leitungen können Impedanzen von 10 bis 80Ω annehmen.

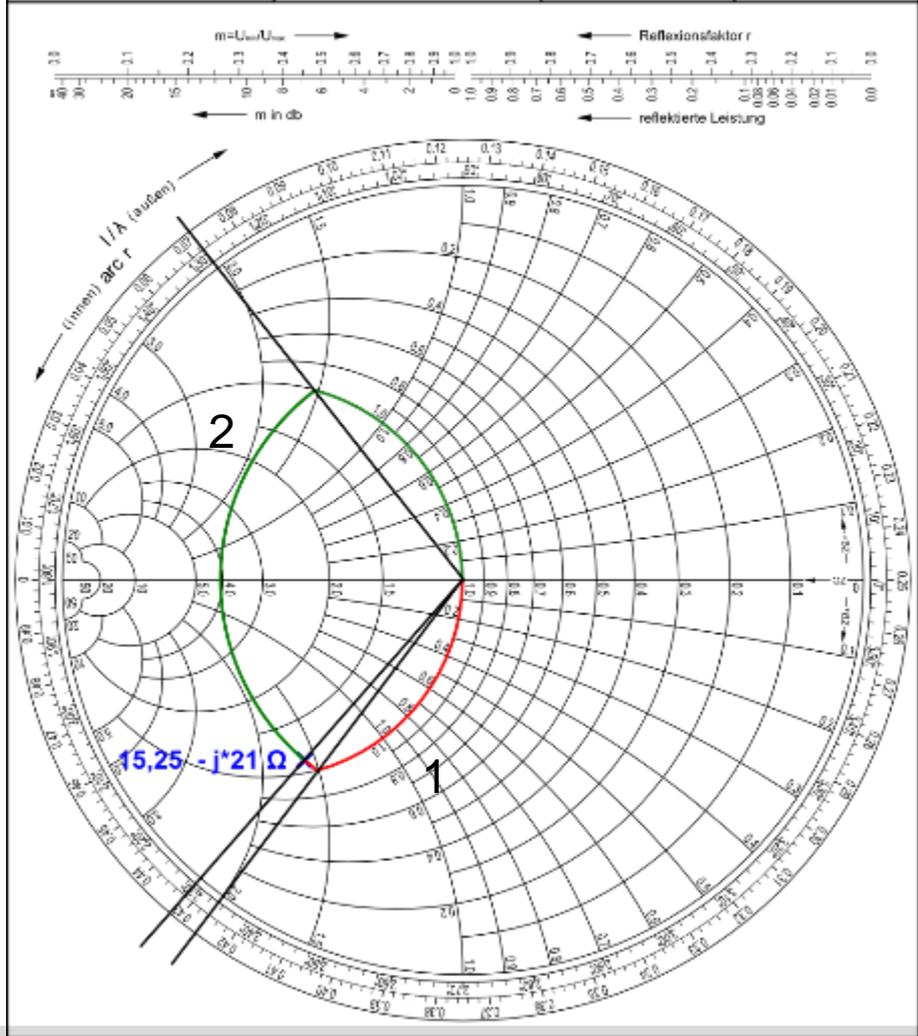


Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

Input	(Leitwertform)	Nr.:	Bezugsadmittanz $Y_0 = 1/50$
-------	----------------	------	---------------------------------



Output	(Leitwertform)	Nr.:	Bezugsadmittanz $Y_0 = 1/50$
--------	----------------	------	---------------------------------



Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

Berechnung Werte Eingangsanpassung

- Alle Leitungen: $Z_0 = 50\Omega$
- Leitungslänge TRL2 ablesen

$$\frac{I_{TRL2}}{I} = 0,443 - 0,431 = 0,012 \rightarrow I_{TRL2} = 4,32^\circ$$

■ Berechnung der Stub-Länge

- Eingangsimpedanz kurzgeschlossener Stub: $Z_{in} = jZ_0 \tan(bl)$
- Ablesen des zu kompensierenden Blindleitwerts und umrechnen in Blindwiderstand: $B = \frac{2,4}{50\Omega} \rightarrow G = \frac{50\Omega}{2,4} = 20,83\Omega$

- Berechnung der benötigten Leitungslänge:

$$20,83\Omega = Z_0 \tan(bl_{TRL1}) \rightarrow l_{TRL1} = \frac{\arctan(20,83\Omega / Z_0)}{b} = 22,6^\circ \text{ mit } b = \frac{2\pi}{360^\circ}$$

Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

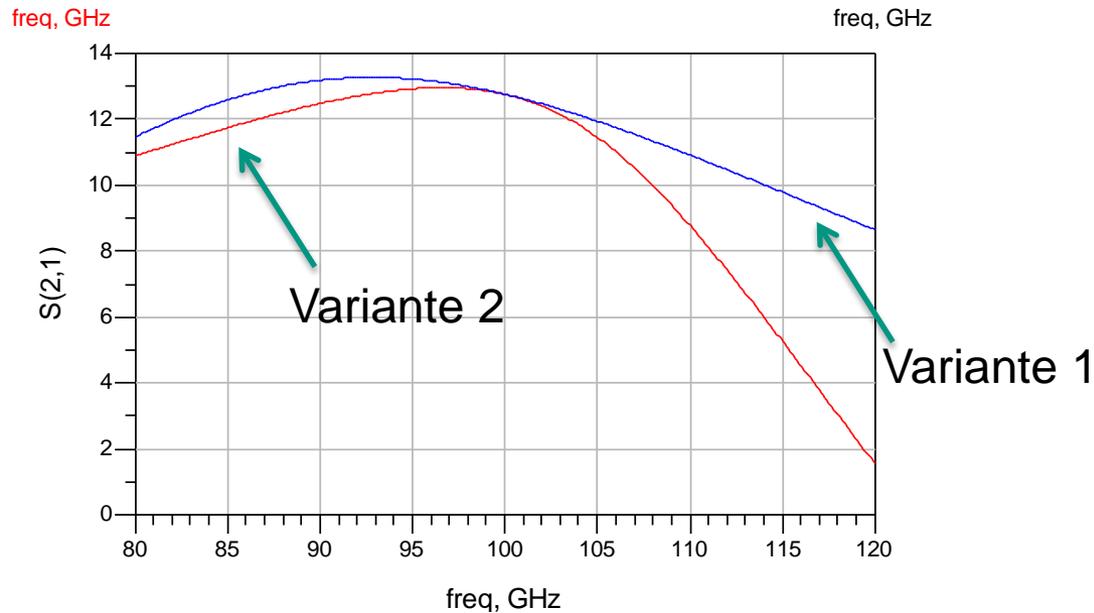
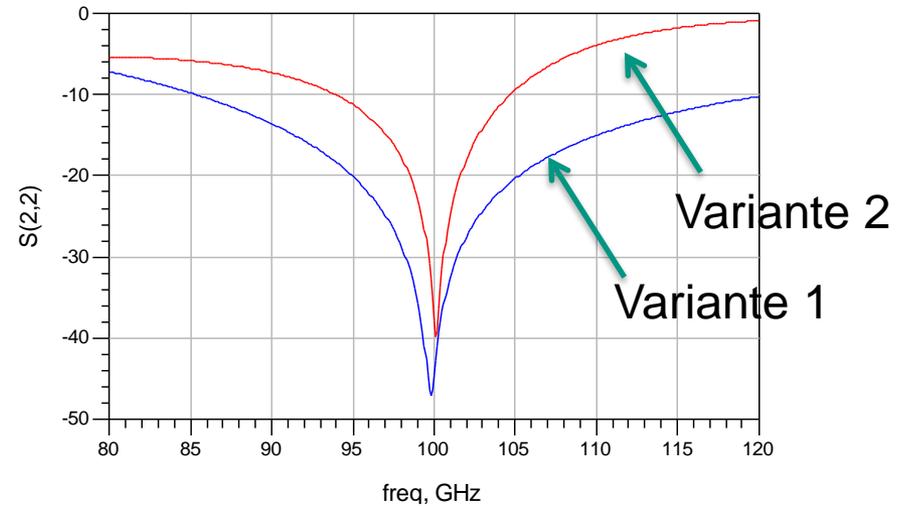
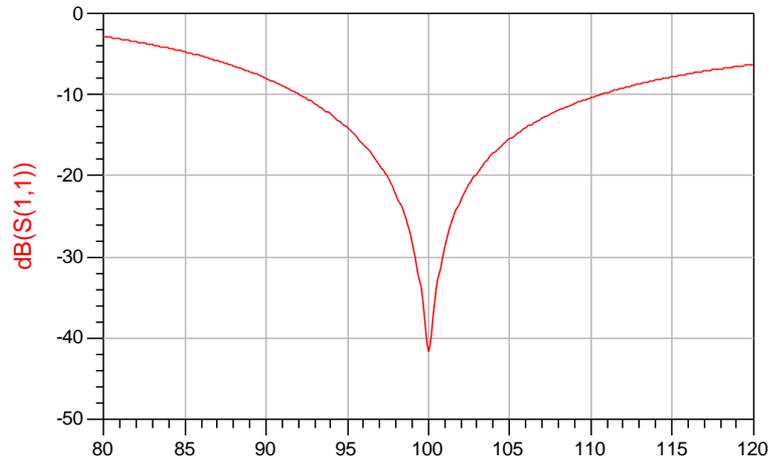
Berechnung Werte Ausgangsanpassung

- Analog zu Eingangsanpassung
- Alle Leitungen: $Z_0 = 50\Omega$

- Variante 1: $I_{TRL1} = 34,5^\circ$
 $I_{TRL2} = -2,5^\circ$

- Variante 2: $I_{TRL1} = 146^\circ$
 $I_{TRL2} = 51^\circ$

Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

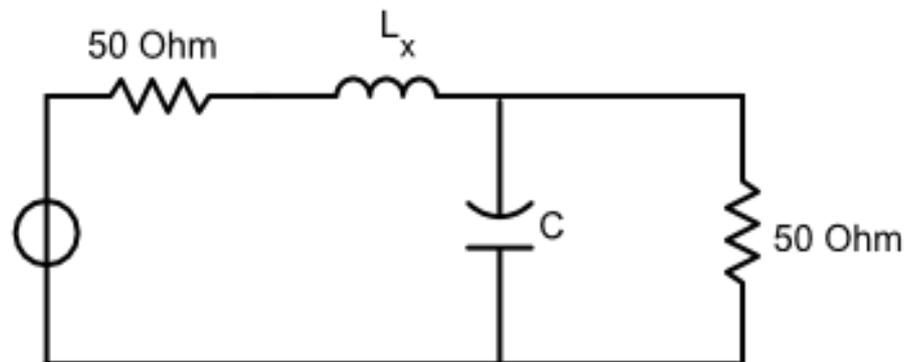


Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

3) Bei sehr niedrigen Frequenzen können die Widerstände, Leitwerte und Induktivitäten vernachlässigt werden und der Transistor wird durch die Kapazitäten und die Stromquelle beschrieben.

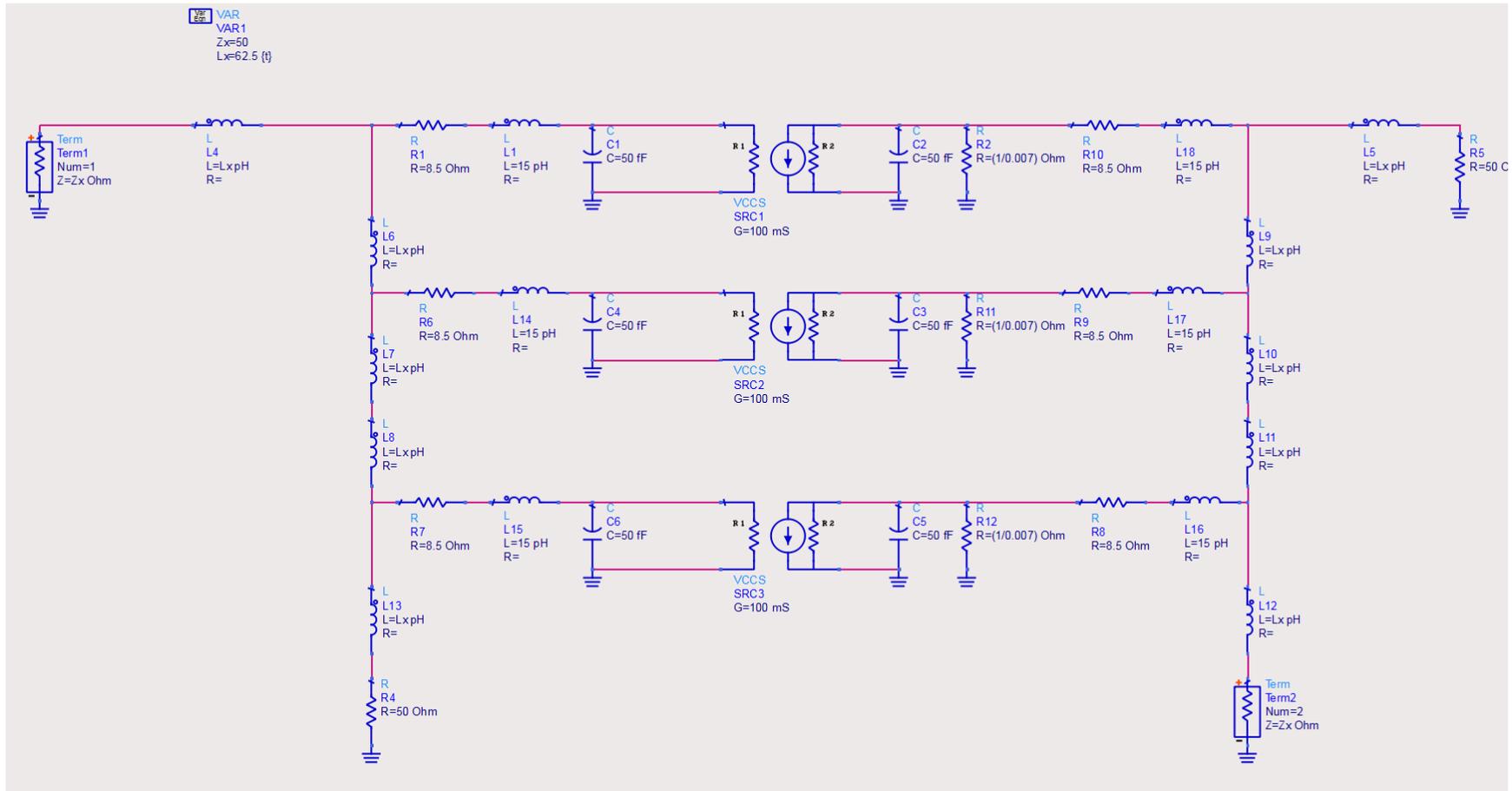
Wird der Transistor eingangsseitig parallel mit einem Widerstand abgeschlossen, kann mit einer zusätzlichen Induktivität die Kapazität am Eingang kompensiert werden. Welchen Wert muss die Induktivität für eine frequenzunabhängige Anpassung besitzen?

Hinweis: L_x und C können als Leitungstück betrachtet werden.



Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

$$3) \quad Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \rightarrow L' = Z_0^2 C' = 125 \text{ pH}$$



Aufgabe B – Anpassung von Feldeffekttransistoren

3) $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \rightarrow L' = Z_0^2 C' = 125 \text{ pH}$

