

# Einführung in die Hochfrequenztechnik - Vorlesung 5

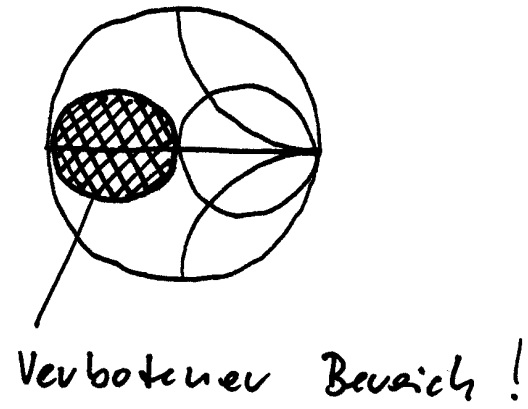
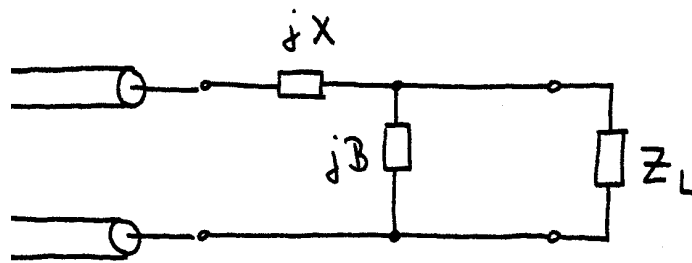
Tobias Meyer, A. S. Omar und A. Jöstingmeier

©1999-2004

## Anpassung mit konzentrierten Elementen

- Anstelle von kurzgeschlossenen oder leerlaufenden Stichleitungen können auch konzentrierte Elemente (Spulen / Kondensatoren) zur monochromatischen Anpassung verwendet werden.

# Anpassung mit konz. Elementen: Grundvariante 1



## Entwurf einer Anpassschaltung für Grundvariante 1

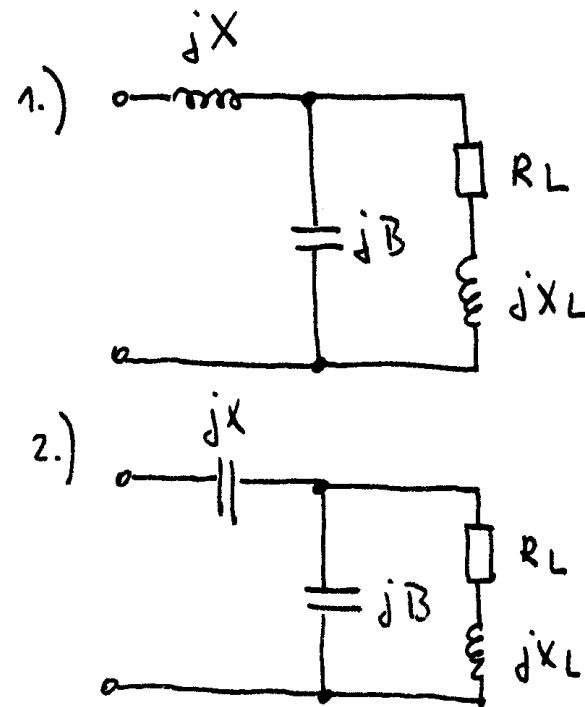
- $Z_L$  eintragen
- Übergang auf Admittanzen, dazu  $\Gamma_L$  spiegeln
- Der normierte Realteil der Impedanz der Parallelschaltung von  $Z_L$  und  $B$  muss 1 sein.
- auf Kreis mit konstantem  $\overline{G}$  bis auf den gespiegelten Anpasskreis gehen

## Entwurf einer Anpassschaltung für Grundvariante 1

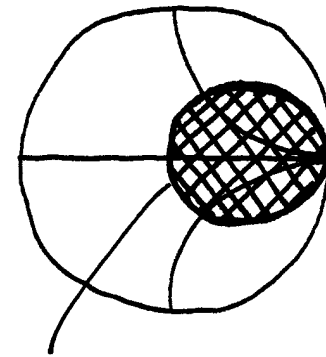
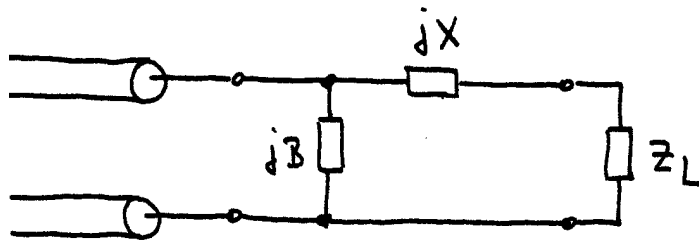
- Es gibt zwei mögliche Lösungen (Punkte) die jeweils durch induktive oder kapazitive  $B$ 's erreicht werden können.
- Übergang auf Impedanzen, dazu erneut spiegeln um auf  $\bar{R} = 1$  Anpasskreis zu landen.
- mit  $X$  den Imaginärteil der Parallelschaltung von  $Z_L$  und  $B$  kompensieren
- Die Eingangsimpedanz wird dadurch auf dem Anpasskreis entlang in den Ursprung transformiert.



# Grundvariante 1: Schaltungen für Beispielentwurf



## Anpassung mit konz. Elementen: Grundvariante 2



Verbotener Bereich!



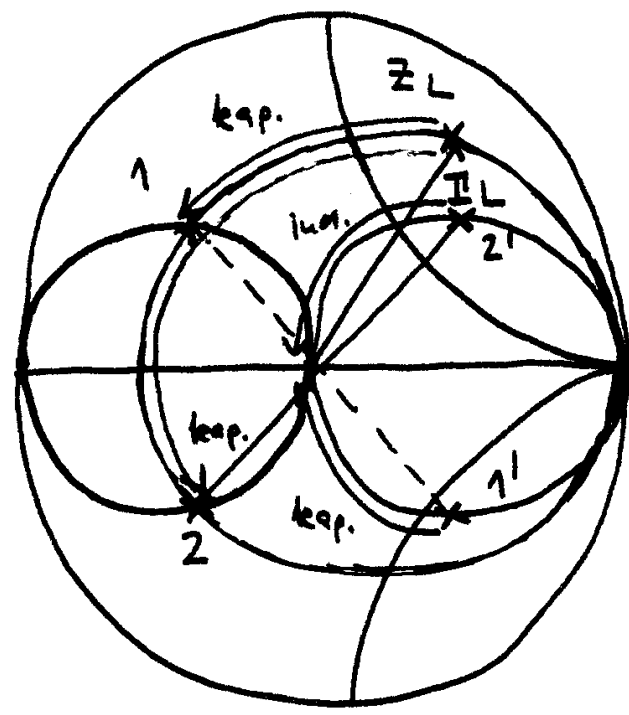
## Entwurf einer Anpassschaltung für Grundvariante 2

- $Z_L$  eintragen
- die Reihenschaltung von  $Z_L$  und  $X$  kann alle Punkte auf dem  $Re(Z_L) = const.$  Kreis erreichen.
- Der normierte Realteil der Admittanz der Reihenschaltung von  $Z_L$  und  $X$  muss 1 sein.
- Es gibt zwei mögliche Lösungen (Punkte) die jeweils durch induktive oder kapazitive  $X$ 's erreicht werden können.

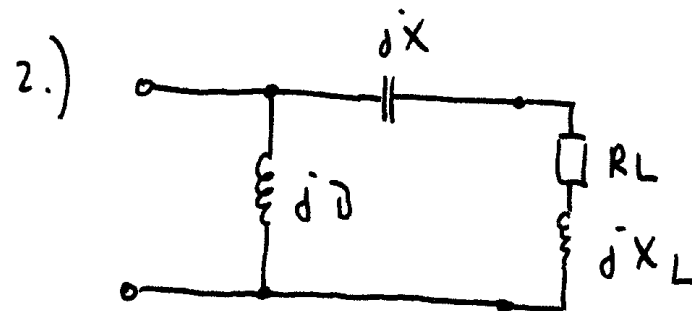
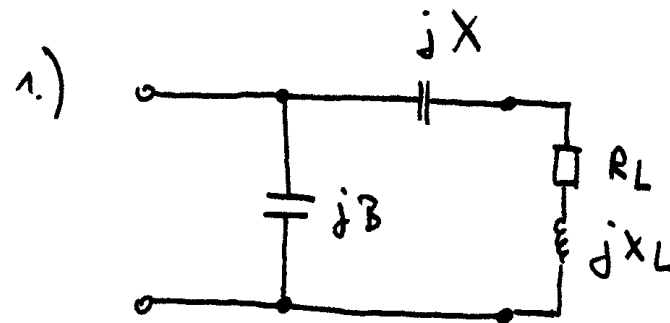
## Entwurf einer Anpassschaltung für Grundvariante 2

- auf Kreis mit konstantem  $\overline{R}$  bis auf den gespiegelten Anpasskreis gehen, daraus  $X$  bestimmen
- Übergang auf Admittanzen, dazu  $\Gamma_L$  spiegeln
- mit  $B$  den Imaginärteil der Reihenschaltung von  $Z_L$  und  $X$  kompensieren
- Die Eingangsadmittanz wird dadurch auf dem Anpasskreis entlang in den Ursprung transformiert.

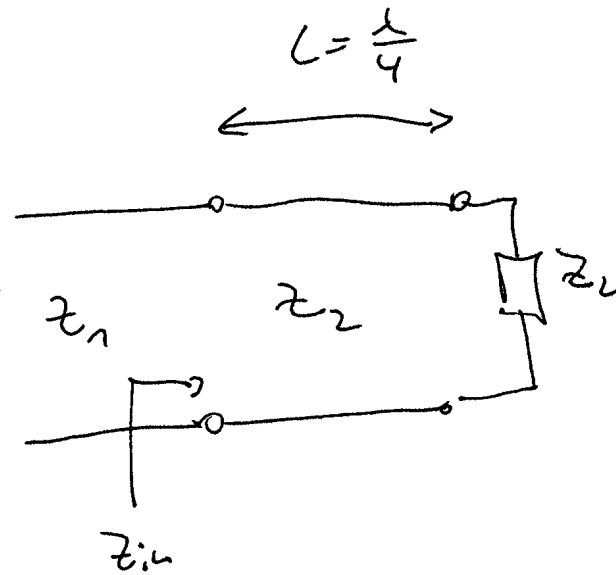
# Entwurf Grundvariante 2 mit dem Smith-Diagramm



## Grundvariante 2: Schaltungen für Beispielentwurf



# $\lambda/4$ Transformer



## Berechnung $\lambda/4$ Transformator

- $Z_{in} = Z_2 \frac{Z_L + jZ_2 \tan(\beta\lambda/4)}{Z_2 + jZ_L \tan(\beta\lambda/4)}$

- $\Theta = \beta \frac{\lambda}{4} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{4}$

- $Z_{in} = Z_2 \frac{Z_L + jZ_2 \tan(\Theta)}{Z_2 + jZ_L \tan(\Theta)}$

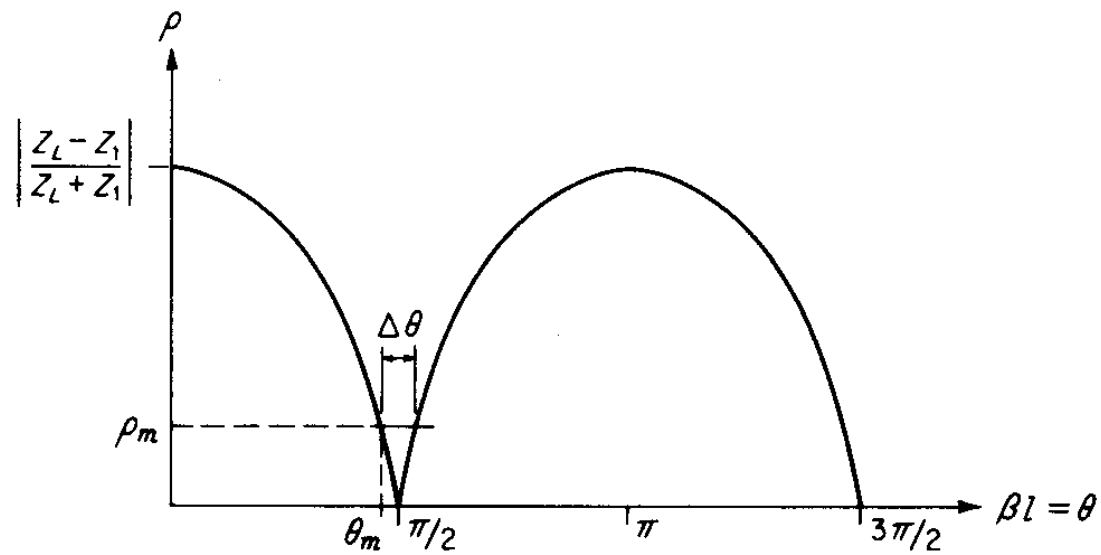
- $\lim_{\Theta \rightarrow \pi/2} \tan \Theta = \infty$

- $Z_{in} = \frac{Z_2^2}{Z_L}$

## $\lambda/4$ Transformator

- für Anpassung muss gelten  $Z_{in} = Z_1$
- $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_L}$
- Durch einen  $\lambda/4$  langen Abschnitt mit der charakteristischen Impedanz  $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_L}$  wird perfekte Anpassung bei der Designfrequenz erreicht.

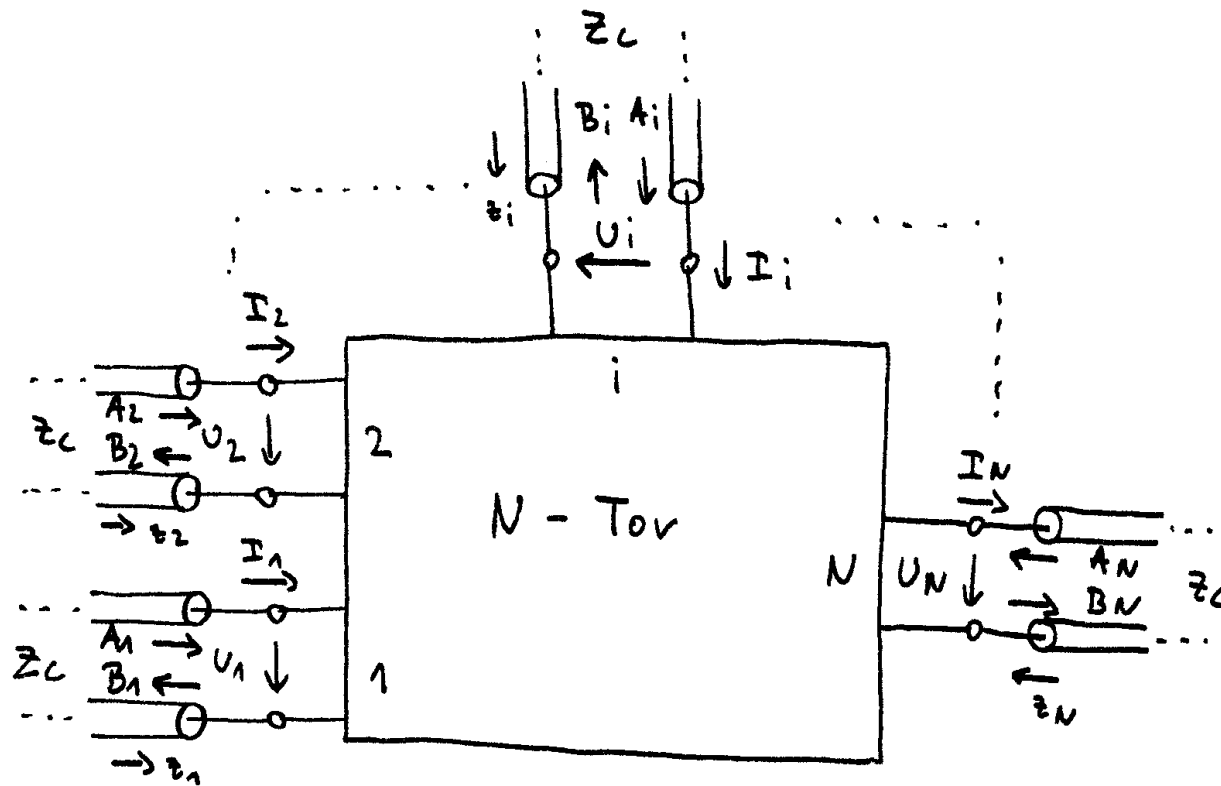
## Frequenzabhängigkeit der Anpassung beim $\lambda/4$ Transformator



aus Collin "Foundations for Microwave Eng."



# Streumatrix (S-Matrix)



Berechnung der hin- und rücklaufenden Welle aus Strom und Spannung

- $U_i = U_i^+ + U_i^-$

- $I_i = I_i^+ - I_i^- = \frac{U_i^+}{Z_c} - \frac{U_i^-}{Z_c}$

- $U_i^+ = \frac{1}{2}(U_i + Z_c I_i)$

- $U_i^- = \frac{1}{2}(U_i - Z_c I_i)$

## Zusammenhang zwischen Strom und Spannung und hin- und rücklaufenden Welle

- Die Tore können über Spannungen und Ströme oder hin- und rücklaufende Wellen beschrieben werden.
- Beide Beschreibungen sind äquivalent und lassen sich ineinander umrechnen.

## Normierung der Wellenamplituden

- $a_i = \frac{U_i^+}{\sqrt{Z_c}}$  hinlaufende (einfallende) Wellen
- $b_i = \frac{U_i^-}{\sqrt{Z_c}}$  rücklaufende (reflektierte) Wellen
- $U_i = \sqrt{Z_c}(a_i + b_i)$  Spannung mit normierten Wellenamplituden
- $I_i = \frac{1}{\sqrt{Z_c}}(a_i - b_i)$  Strom mit normierten Wellenamplituden

## Motivation für Normierung

- Wirkleistung in Richtung positiver  $z_i$ -Richtung

- $Re\{\frac{1}{2}U_i I_i^*\} = Re\{\frac{1}{2}\sqrt{Z_c}(a_i + b_i)\frac{1}{\sqrt{Z_c}}(a_i^* - b_i^*)\}$

- $= Re\{\frac{1}{2}(|a_i|^2 - |b_i|^2 - a_i b_i^* + a_i^* b_i)\}$

- $= Re\{\frac{1}{2}(|a_i|^2 - |b_i|^2 + a_i^* b_i - (a_i^* b_i)^*)\}$

## Leistungsnormierung

- $P_w = \frac{1}{2}(|a_i|^2 - |b_i|^2) + \frac{1}{2}Re\{2jIm\{a_i^*b_i\}\}$
- $P_w = \frac{1}{2}(|a_i|^2 - |b_i|^2)$
- Die übertragene Wirkleistung ist von der charakteristischen Impedanz der Tore unabhängig.

## Matrixschreibweise für hin- und rücklaufende Wellen - Streumatrix

- $A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$
- mit  $[U] = \sqrt{Z_c}([A] + [B])$   
und  $[I] = \frac{1}{\sqrt{Z_c}}([A] - [B])$

## Definition der Streumatrix

- Matrixschreibweise

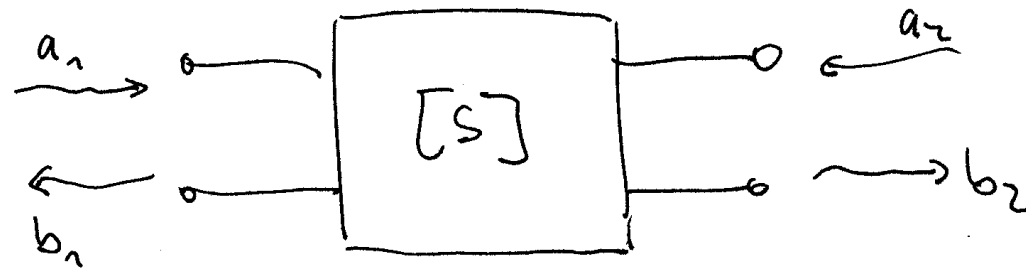
- $[B] = [S][A]$

- Beispiel 2-Tor: 
$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$



## S-Matrix Beschreibung eines 2-Tores

Verknüpfung der Wellenvektoren durch die Streumatrix



$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$