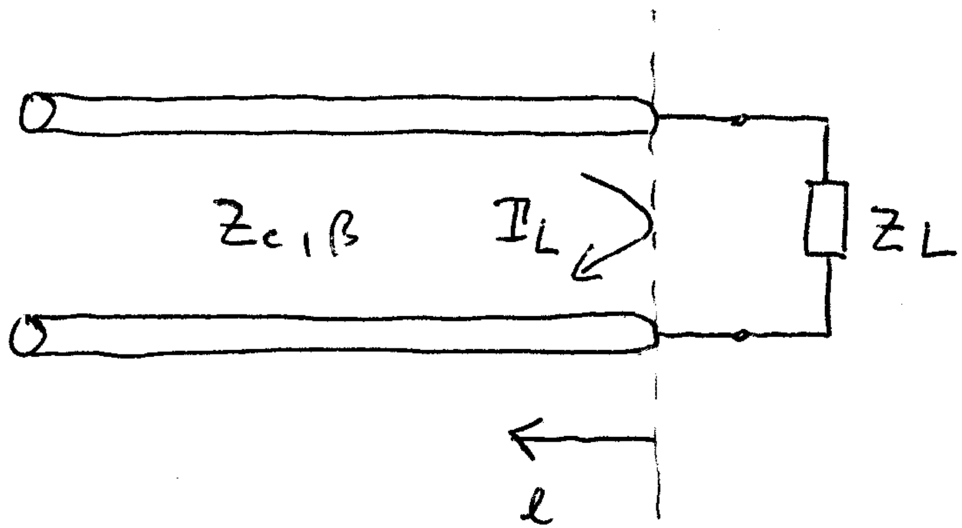
Einführung in die Hochfrequenztechnik - Vorlesung 2

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

Spannungsverlauf entlang einer abgeschlossenen Leitung - verlustloser Fall



- Lastreflexionskoeffizient $\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_C}{Z_L + Z_C}$

Berechnung Spannungsverlauf

- $U(l) = U^{+}e^{j\beta l} + U^{-}e^{-j\beta l}$
- $U(l) = U^{+}e^{j\beta l} + U^{+}\Gamma_L e^{-j\beta l}$
- $U(l) = U^{+}(e^{j\beta l} + \Gamma_L e^{-j\beta l})$
- $U(l) = U^{+}e^{j\beta l}(1 + \Gamma_L e^{-2j\beta l})$

Betrag der Spannung entlang der Leitung

- Lastreflexionskoeffizient nach Betrag und Phase $\Gamma_L = \rho e^{j\Theta}$

- $|U(l)| = |U^+||1 + \rho e^{j(\Theta - 2\beta l)}|$

- $|U(l)| = |U^+||1 + \rho e^{j\varphi}|$

- mit $\varphi = \Theta - 2\beta l$

Berechnung Stromverlauf

- $I(l) = I^{+}e^{j\beta l} - I^{-}e^{-j\beta l}$
- $I(l) = \frac{U^{+}}{Z_C}e^{j\beta l} - \frac{U^{-}}{Z_C}e^{-j\beta l}$
- $I(l) = \frac{U^{+}}{Z_C}(e^{j\beta l} - \Gamma_L e^{-j\beta l})$
- $I(l) = \frac{U^{+}}{Z_C}e^{j\beta l}(1 - \Gamma_L e^{-2j\beta l})$

Betrag des Stroms entlang der Leitung

- $|I(l)| = |\frac{U^+}{Z_C}||1 - \rho e^{j(\Theta - 2\beta l)}|$

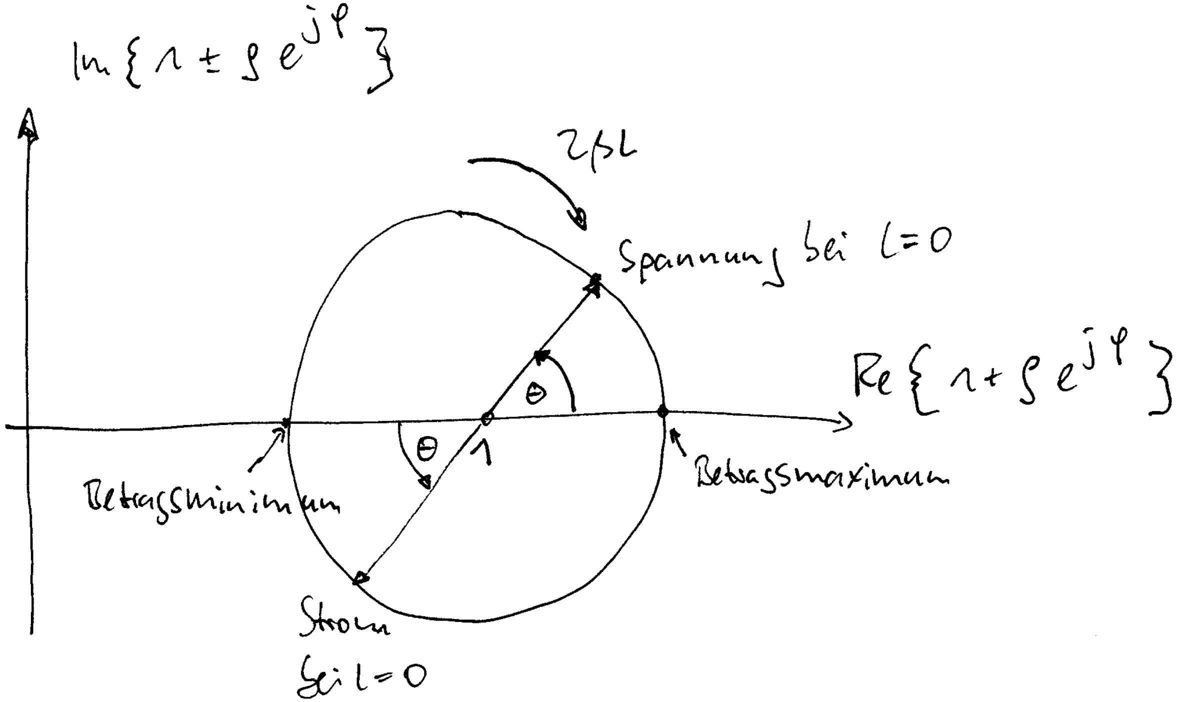
- $|I(l)| = |\frac{U^+}{Z_C}||1 - \rho e^{j\varphi}|$

- mit $\varphi = \Theta - 2\beta l$

Spannungs- und Stromverlauf entlang einer verlustlosen Leitung

- $|U(l)| = |U^+||1 + \rho e^{j\varphi}|$
- $|I(l)| = \frac{|U^+|}{Z_C}|1 - \rho e^{j\varphi}|$
- mit $\varphi = \Theta - 2\beta l$

Grafische Interpretation



Betrag von Strom- und Spannung entlang einer verlustlosen Leitung

- $|1 \pm \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{(1 \pm \rho_L \cos\varphi)^2 + (\rho_L \sin\varphi)^2}$

- $|1 \pm \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{1 \pm 2\rho_L \cos\varphi + (\rho_L \cos\varphi)^2 + (\rho_L \sin\varphi)^2}$

- $|1 \pm \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{1 \pm 2\rho_L \cos\varphi + \rho_L^2}$

- $|1 \pm \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{1 + 2\rho_L + \rho_L^2 - 2\rho_L \pm 2\rho_L \cos\varphi}$

- $|1 \pm \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{(1 + \rho_L)^2 - 2\rho_L(1 \mp \cos\varphi)}$

- Anwendg. Additionstheoreme

- $1 - \cos\varphi = 2\sin^2(\varphi/2)$, $1 + \cos\varphi = 2\cos^2(\varphi/2)$

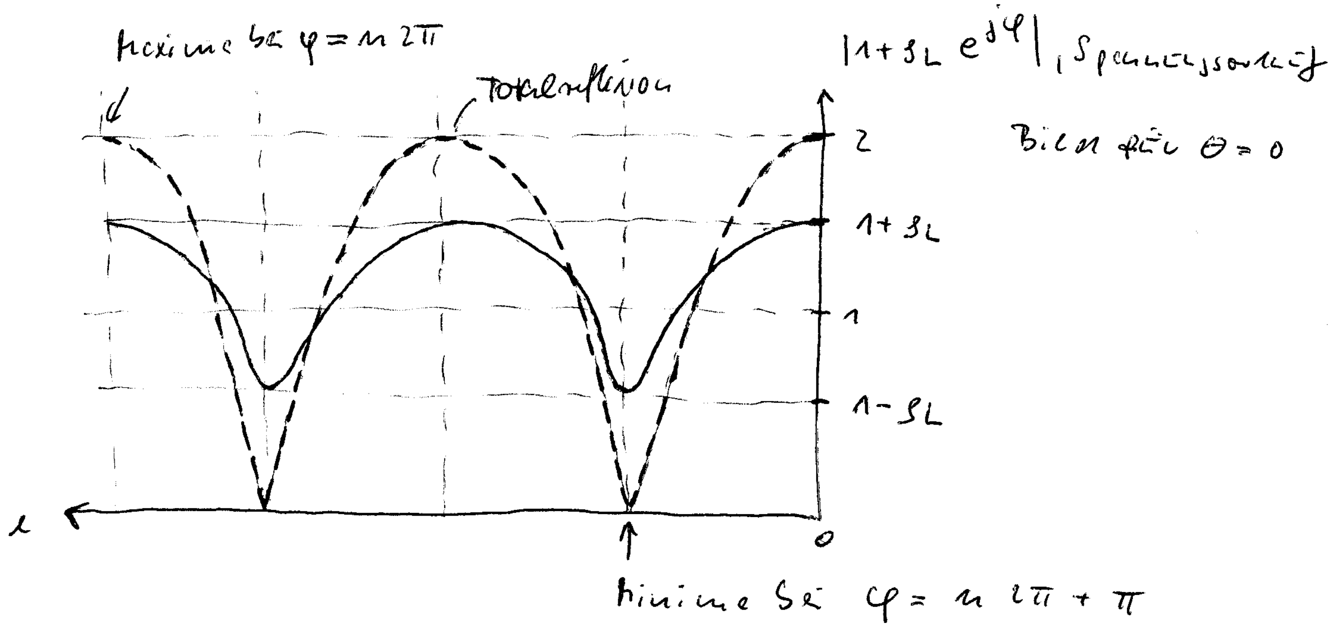
- Spannungsverlauf: $|1 + \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{(1+\rho_L)^2 - 4\rho_L \sin^2(\varphi/2)}$

- Stromverlauf: $|1 - \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{(1+\rho_L)^2 - 4\rho_L \cos^2(\varphi/2)}$

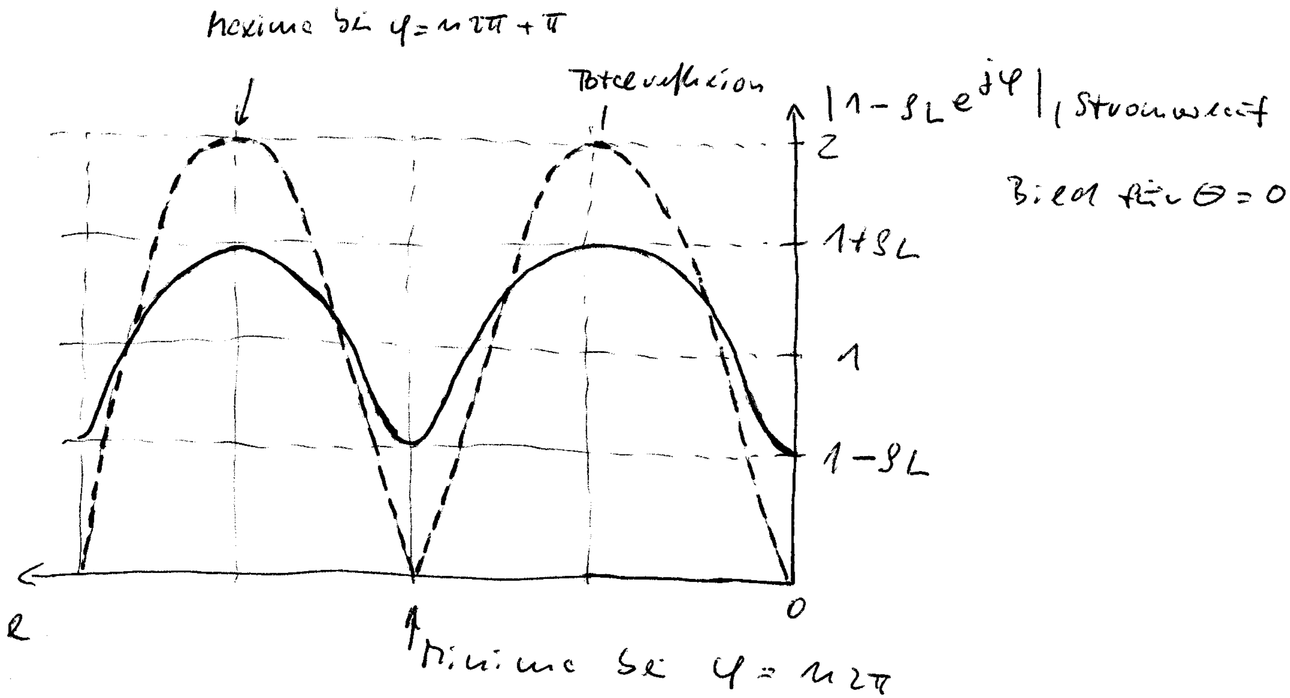
Totalreflexion

- $\rho = 1$
- Spannungsverlauf: $|1 + \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{4 - 4\sin^2(\varphi/2)}$
- $|1 + \rho_L e^{j\varphi}| = 2|\cos(\varphi/2)|$
- Stromverlauf: $|1 - \rho_L e^{j\varphi}| = \sqrt{4 - 4\cos^2(\varphi/2)}$
- $|1 - \rho_L e^{j\varphi}| = 2|\sin(\varphi/2)|$

Stehwellenmuster (Standing Wave Pattern) der Spannung bei Fehlanpassung



Stehwellenmuster des Stroms bei Fehlanpassung



Welligkeitsfaktor = Stehwellenverhältnis = S = SWR

- $S = \frac{|U|_{max}}{|U|_{min}} = \frac{|I|_{max}}{|I|_{min}} = \frac{1+\rho}{1-\rho}$

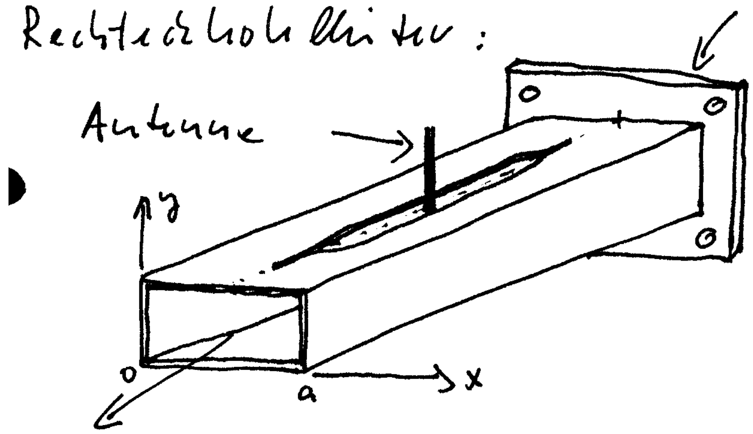
- Spannungsstehwellenverhältnis :Voltage Standing Wave Ratio, VSWR

- Wertebereich: $1 \leq S \leq \infty$

Berechnung des Betrags des Relexionskoeffizienten aus dem Stehwellenverhältnis

- $(1-\rho)S = (1+\rho)$
- $\rho(S+1) = (S-1)$
- $\rho = \frac{S-1}{S+1}$
- durch Messung des Stehwellenverhältnisses kann der Betrag des Reflexionskoeffizienten und damit die Lastimpedanz bestimmt werden

Messung von Lastimpedanzen mit der Slotted Line



In dieser Ebene wird die unbekannte Last angeschlossen.

Die Eintauchtiefe der Antenne bestimmt die Stärke der Ankopplung.

zum Generator (Eingangskoppler)

Bestimmung der Phase

- Für die Phasenbestimmung wird die Position des Minimums verwendet, da dieses schärfer ist und deshalb genauer gemessen werden kann.

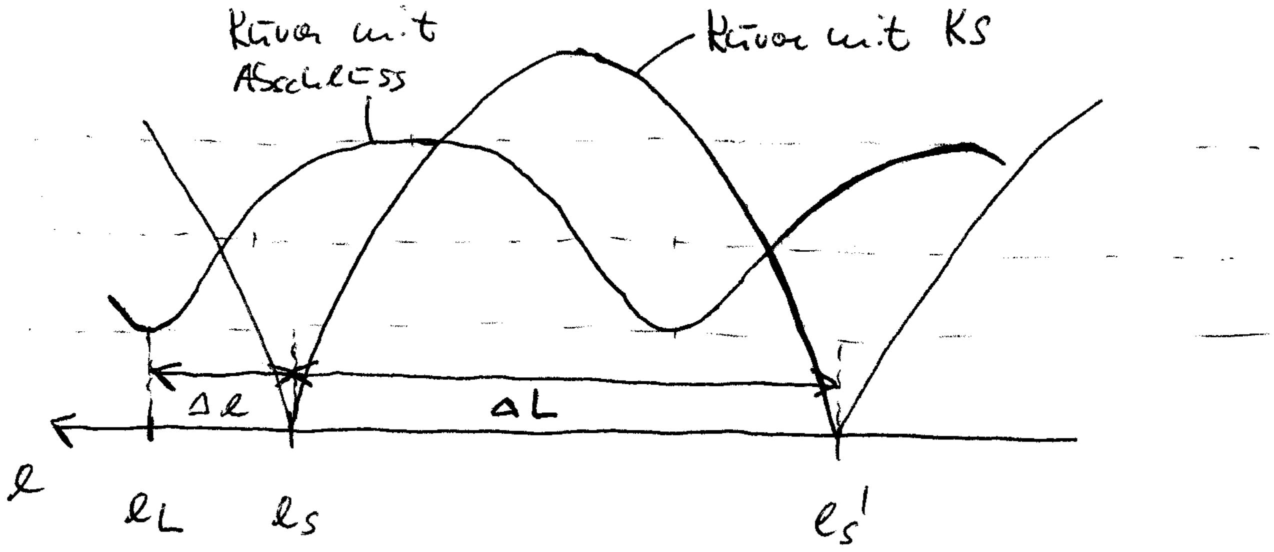
- Minimum bei $e^{j(\Theta - 2\beta l)} = -1$

- Minimum Messung mit Last $\varphi_L = \Theta - 2\beta l_L = \pi + n_L 2\pi$

- Minimum Messung mit Kurzschluss $\varphi_S = \pi - 2\beta l_S = \pi + n_S 2\pi$

Messung mit Kurzschluss liefert genau definiertes Referenzminimum

Bestimmung der Phase des Abschlusses:



Bestimmung der Phasenkonstante aus zwei benachbarten Minima der Messung mit KS

- Phasenkonstante $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$

- Abstand der Minima im Stehwellenmuster $\lambda/2 = l_S - l'_S$

- $\beta = \frac{\pi}{l_S - l'_S}$

Bestimmung der Phase durch Verwendung der Referenzebene aus KS-Messung

- $\varphi_L - \varphi_S = (n_L - n_S)2\pi = \Theta - 2\beta l_L - \pi + 2\beta l_S$
- $\Theta = \pi + 2\beta(l_L - l_S) + (n_L - n_S)2\pi$
- das Vielfache von 2π kann weggelassen werden $\Theta = \pi + 2\beta \triangle l$
- Abstand von der Referenzebene (Messung mit KS) zum nächsten Minimum in Richtung Generator $\triangle l = l_L - l_S$

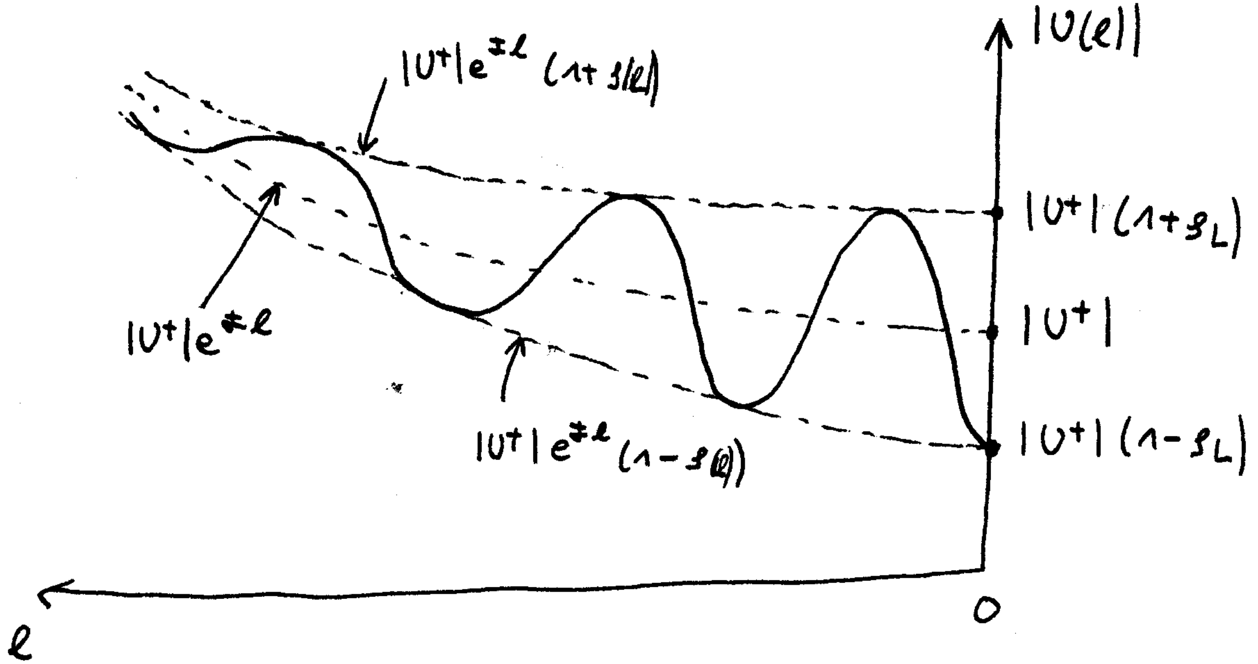
Verlustbehaftete Leitung

- $U(l) = U^{+}e^{\alpha l}e^{j\beta l} + U^{-}e^{-\alpha l}e^{-j\beta l}$

- $U(l) = U^{+}e^{\alpha l}e^{j\beta l}(1 + \Gamma_L e^{-2\alpha l}e^{-2j\beta l})$

- $|U(l)| = |U^{+}||e^{\alpha l}||1 + \rho_L e^{-2\alpha l}e^{j\varphi}|$

Stehwellenmuster entlang einer verlustbehafteten Leitung



Anpassung durch verlustbehaftete Leitung

- ortsabhängiger Betrag des Reflexionskoeffizienten $\rho(l) = \rho e^{-2\alpha l}$
- $\lim_{l\to\infty} S(l) = \lim_{l\to\infty} \frac{1+\rho(l)}{1-\rho(l)} = \lim_{l\to\infty} \frac{1+\rho_L e^{-2\alpha l}}{1-\rho_L e^{-2\alpha l}} = 1$
- Die Last wird durch eine Leitung mit Verlusten durch ausreichende Länge angepasst.