

Grundlagen der Netzwerkanalyse

Martin Rickes, DL8RI

DARC OV F03, Darmstadt

June 26, 2016

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
 - Komplexe Impedanzen
 - Smith-Chart
 - Reflektion und Transmission
 - S-Parameter
- 3 Benutzung
 - Aufbau
 - Kalibrierung
- 4 Messungen
 - Antenne
 - Kondensator
 - Spezialmessungen

Einleitung

- Wichtigste Messmethode für passive Schaltungen
- Zwei Hauptgruppen
 - Skalare Netzwerkanalyse: Bestimmung des Betrages
 - Spektri mit TG
 - Messender + Powermeter
 - Skalärer Netzwerkanalysator ("Wobbler")
 - Vektorielle Netzwerkanalyse: Bestimmung von Betrag und Phase
- Deutliche Änderung durch Computertechnik
- Kalibrierverfahren essenzieller Bestandteil der Messkette
- Grundlagen der HF-Technik zwingend notwendig

Ein bisschen Mathe...

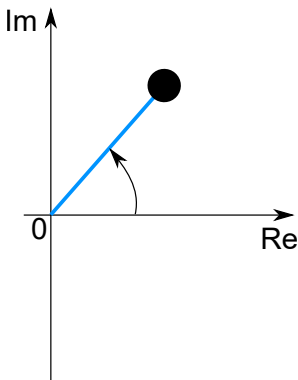
- Komplexe Impedanz: Realteil + j -Imaginärteil
- $j = \sqrt{-1}$
- Grundbauteile:
 - $C = \frac{1}{j\omega C}$
 - $L = j\omega L$
 - $R = R \leftarrow$ Frequenzunabhängig
- Daraus folgt:
 - Realteil: Resistive (Verlust-)Komponente
 - Imaginärteil: Reaktive Komponente



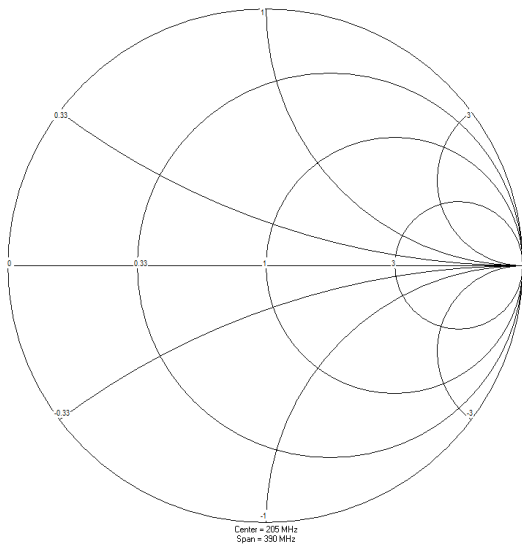
- $Z = R + \frac{1}{j\omega C} + j\omega L$ oder...
- $Z = R + j\left(-\frac{1}{\omega C} + \omega L\right)$

Noch ein bisschen mehr Mathe...

- Schlussfolgerung:
 - Kapazität: negativer Imaginärteil
 - Induktivität: positiver Imaginärteil
- Betrag:
 $|Z| = \sqrt{Re^2 + Im^2}$
- Phase: $\varphi = \arctan\left(\frac{Im}{Re}\right)$
- Polare Darstellung
- In der Form für HF unpraktisch
- Abbildung im 2D-Raum



Das Smith-Chart



HF-Voodoo?

- Netzwerk: "blackbox"
- Beschreibung über Klemmenverhalten
- Reflektion: $\Gamma_1 = \frac{b_1}{a_1}$
- Transmission: $\frac{b_2}{a_1}$ (???)
- Frage: Wann ist $\Gamma = 0$?
- Kann so nicht beantwortet werden...



HF-Voodoo? Nein...

- Betrachtung von Strom und Spannung
- Äquivalente Darstellung
- $Z_k = \frac{u_k}{i_k}$
- $a_k = \frac{1}{2} \left(\frac{u_k}{\sqrt{Z_0}} + i_k \sqrt{Z_0} \right)$
- $b_k = \frac{1}{2} \left(\frac{u_k}{\sqrt{Z_0}} - i_k \sqrt{Z_0} \right)$
- $Z_0 =$ z.B. 50Ω
- $\Gamma_k = \frac{Z_k - Z_0}{Z_k + Z_0}$
- $\Gamma = 0$ bei $Z_k = Z_0$

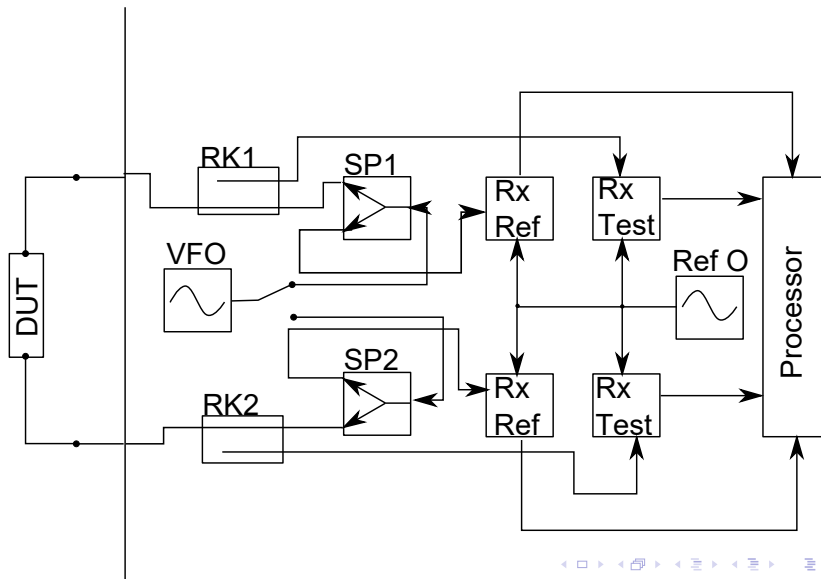


Darstellung durch Streu-Parameter

- Standarddarstellung im HF-Bereich
- $S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = \Gamma_1$
- $S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = \Gamma_2$
- $S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$
- $S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$
- $VSWR = \frac{1+|\Gamma_{lin}|}{1-|\Gamma_{lin}|}$
- Logarithmische Darstellung üblich
- $S_{11log} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{b_1}{a_1}\right)\bigg|_{a_2=0} \text{ [dB]}$

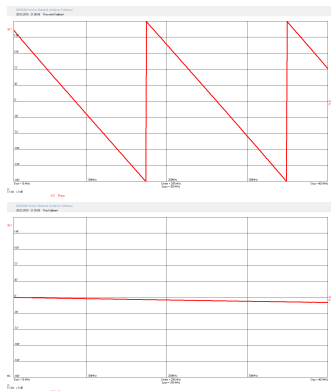


Blockschaldbild moderner VNA

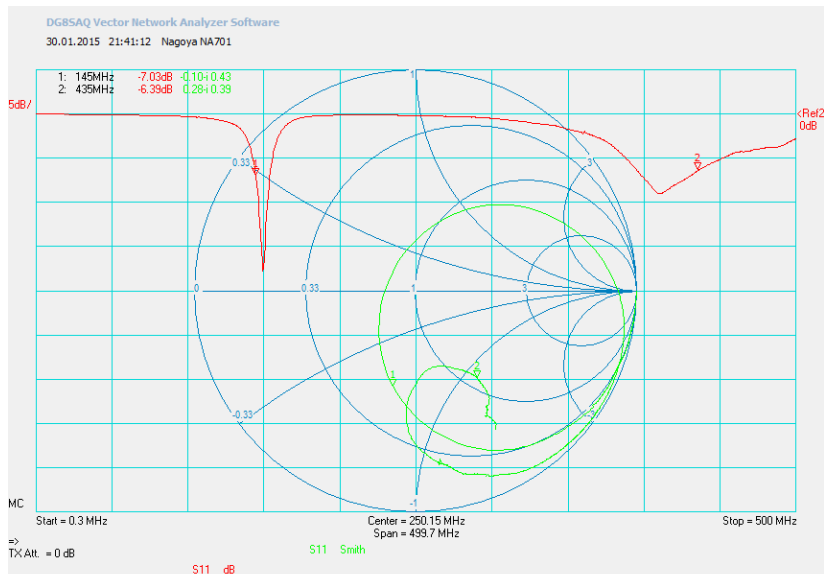


Messvorbereitung: Korrekte Kalibrierung

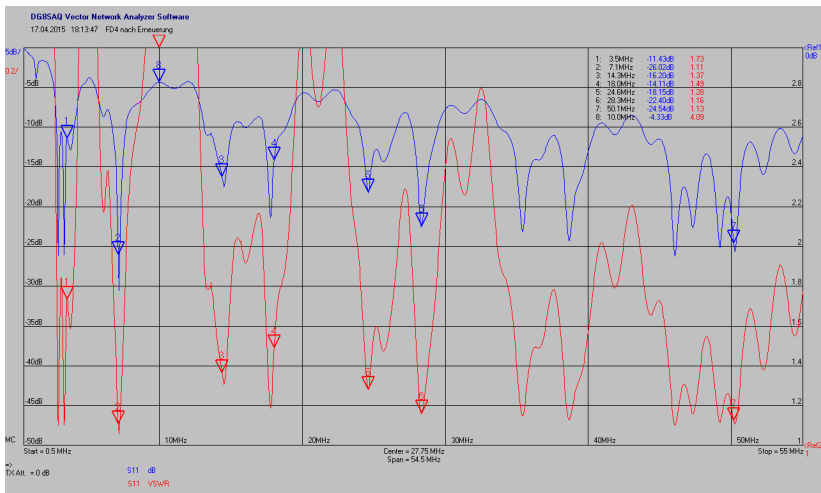
- Verschiebung der Mess-Referenzebene
- Phasensensitive Messungen
- Verschiedene Verfahren üblich
- Hier SOLT:
 - Short
 - Open
 - Load
 - Thru
- Rein mathematisches Modell
- Seit Einführung von Prozessoren
- Historisch: Arbeit mit Referenzleitungen



Kleine Antenne für Handfunkgeräte

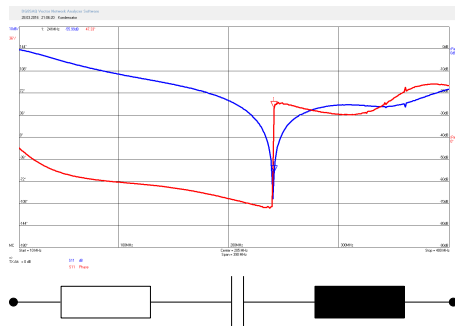


Unsere Antenne, die FD4 von DL0DAR

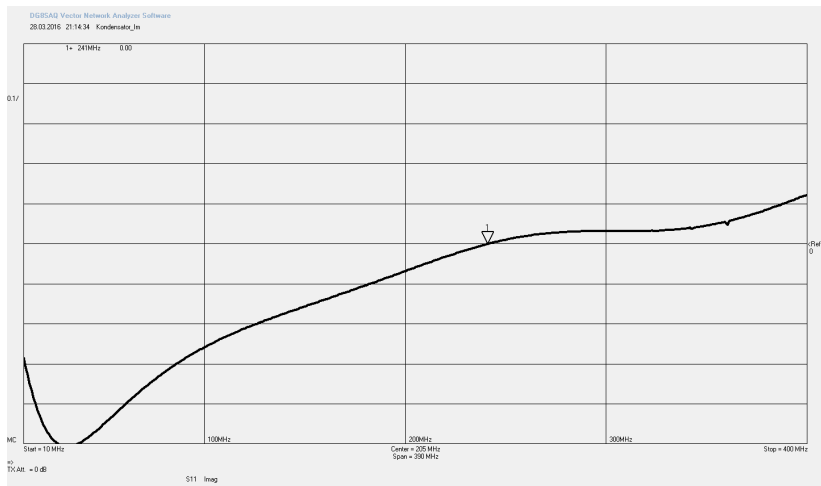


Messung: Kondensator

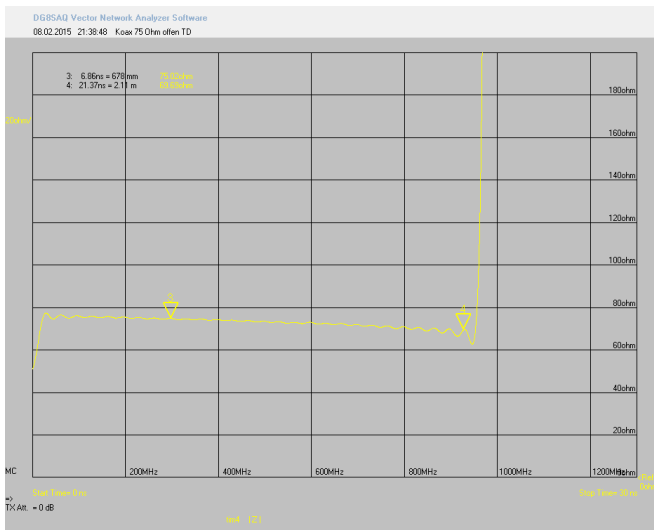
- $Z = R + j(-\frac{1}{\omega C} + \omega L)$
- Phasensprung:
Resonanz
- Einbruch in Reflexion
- Imaginärteil null?



Kondensator: Imaginärteil



IFFT: Fehlersuche in einem Kabel



Der VNA als Spektrumanalysator

