

## Messübungen mit dem NanoVNA (Das Smith-Diagramm verstehen)

(Zusammengestellt von DL6OAA)

Warum und wie müssen die Geräte kalibriert werden?

Alle Bestandteile eines Vektor Netzwerk Analysators verfügen über einen Frequenzgang und Phasengang – jedes Leitungsstück und jeder Stecker, Widerstand oder Halbleiter. Je höher die Messfrequenz, umso stärker die Effekte. Dies trifft auf günstige Einstiegsgeräte zu, wie auch auf die Profigeräte die einen Preis von einem kleinen Einfamilienhaus haben.

**Erst durch die Kalibrierung des Analysators werden diese Systemfehler mit Hilfe der Mathematik herausgerechnet und somit fast vollständig kompensiert.**

Bei der **vektoriellen Netzwerkanalyse (...)** misst man nicht nur die Leistungsbeträge von reflektiertem und durchgehendem Signal, sondern auch die Phasenverschiebungen der beiden gegenüber dem Eingangssignal. Auf den ersten Blick scheinen die Phasen uninteressant, aber bei genauerer Betrachtung können aus den Phasen viele wichtige Informationen gezogen werden.

Beispiel: Sowohl ein kurzgeschlossenes als auch ein offenes Leitungsende reflektieren 100 % der einlaufenden Leistung. In beiden Fällen ist die Reflexionsdämpfung also 1. Man kann somit mit der Reflexionsdämpfung allein nicht zwischen Kurzschluss und offenem Leitungsende unterscheiden.

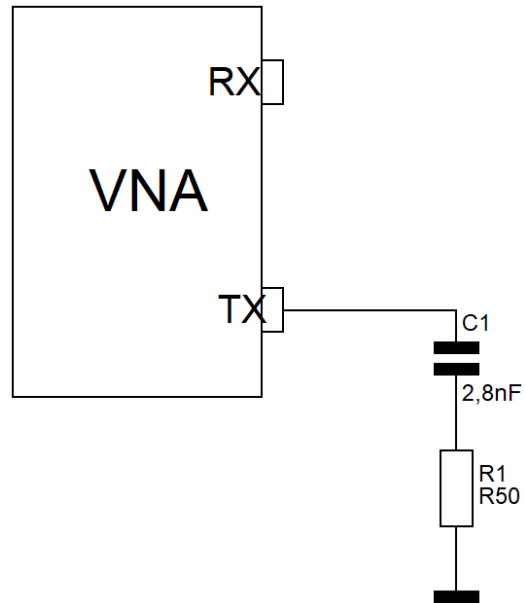
Nimmt man die Phaseninformation dazu, so gelingt die Unterscheidung ohne weiteres:

Ein offenes Leitungsende reflektiert ohne Phasenverschiebung, ein Kurzschluss reflektiert mit 180° Phasenverschiebung.

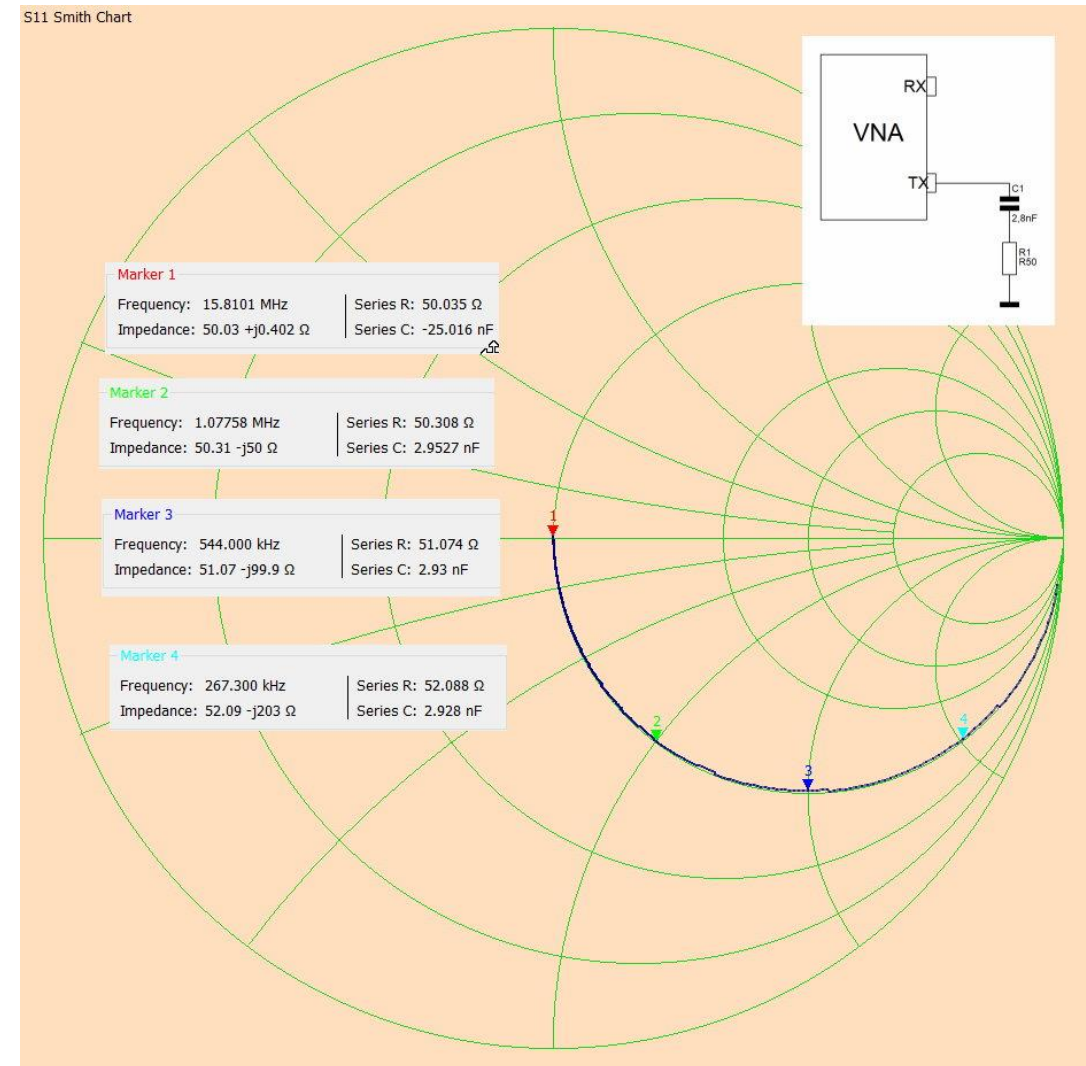
Aus der Reflexionsdämpfung zusammen mit der Phasenverschiebung kann man sogar die genaue Eingangsimpedanz des Netzwerkes berechnen, aus welcher man wiederum ein Anpassnetzwerk zur Leistungsanpassung berechnen kann. Eine typische Anwendung wäre z.B. die Leistungsanpassung des 50 %-Ausgangs eines Senders an eine Sendeantenne.

Eine andere Anwendung wäre die Vermessung eines unbekanntem Kondensators oder einer Spule. Dabei erhält man nicht nur die Kapazität bzw. Induktivität, sondern auch die elektrische Güte des Bauelements.

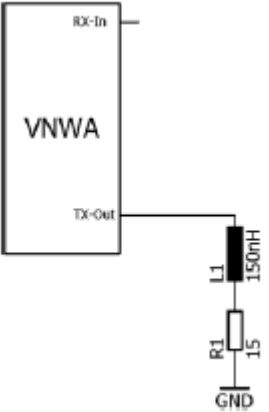
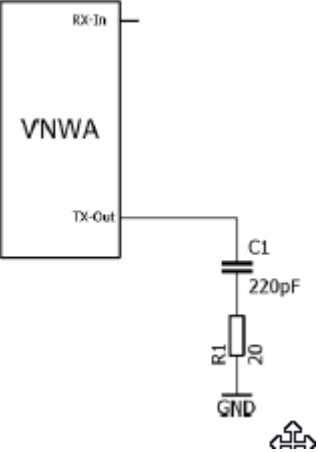
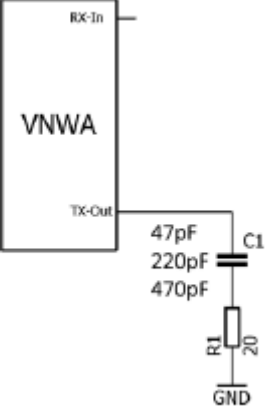
## Übungen mit RC bzw. RL-Gliedern (seriell)

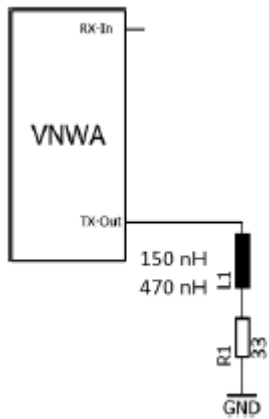


Bei steigender Frequenz bewegt sich die Messkurve auf einer Kreisbahn im Uhrzeigersinn. Der Wert des Widerstands (50 Ohm) ist unabhängig von der Frequenz und der Wert für den kapazitiven Blindwiderstand sinkt mit wachsender Frequenz. Wir bewegen uns auf einer Kurve mit gleichem reellen ohmschen Wirkwiderstand, aber mit veränderlichem Blindwiderstand. Die Werte für die anderen Frequenzen sind leicht abzulesen und können ggf. nachgerechnet werden.

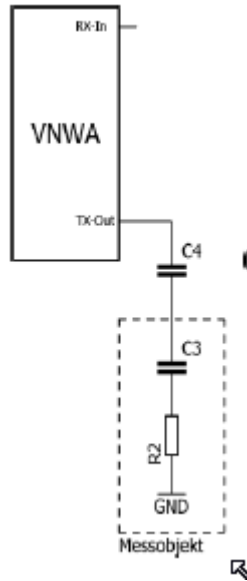


Folgende Reihenschaltungen (RC, RL) werden aufgebaut und die Impedanz-Verläufe mit dem Smith-Diagramm visualisiert. Die vorgegebenen Werte der Bauteile sind nicht zwingend einzuhalten, man nimmt, was man hat....

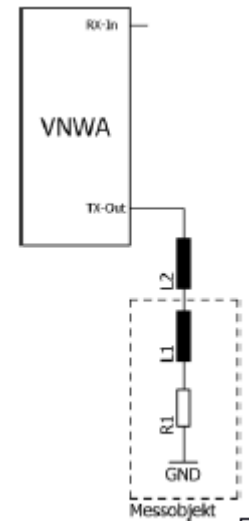
 <p>In diesem Beispiel wird eine Spule (150 nH) mit einem Widerstand (15 Ohm) in Reihe geschaltet und eine S11 Messung im Frequenzintervall von 0,1 MHz bis 50 MHz durchgeführt. Kurvenbeschreibung</p>	 <p>Hier werden 220 pF mit 15 Ohm in Reihe geschaltet. Wir sweepen von 0,1 MHz bis 50MHz. Kurvenbeschreibung</p>	 <p>In diesem Beispiel werden Messungen bei einer festen Frequenz, aber mit drei unterschiedlichen Kapazitäten durchgeführt (siehe Schaltplan). Bei nur einer Frequenz zu messen ist irgendwie schwierig. Daher wird jeweils in dem kleinen Intervall von 20 MHz bis 20,1 MHz gemessen, was einem Frequenzpunkt recht nahekommt. Beschreibung: Lage der Punkte in Abhängigkeit von der Kapazität</p>
--	--	---



Die nun folgende Messung ähnelt der vorhergehenden. Jetzt werden nacheinander zwei unterschiedliche Induktivitäten mit einem Widerstand in Reihe geschaltet. Kurvenbeschreibungen



Was passiert, wenn wir einem Messobjekt mit einer komplexen Impedanz eine Kapazität in Reihe schalten?



Was passiert, wenn wir einem Messobjekt mit einer induktiven Impedanz eine Induktivität in Reihe schalten?

## Reihen- und Parallelschwingkreis

Beispiel: Kondensator 150pF / Spule 4μH

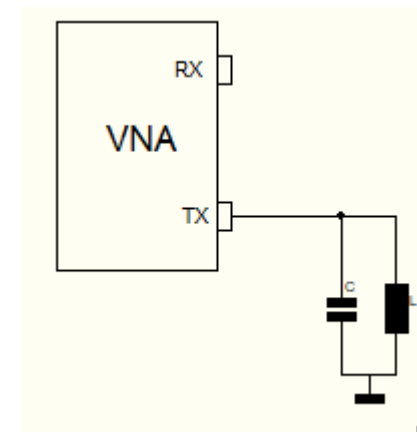
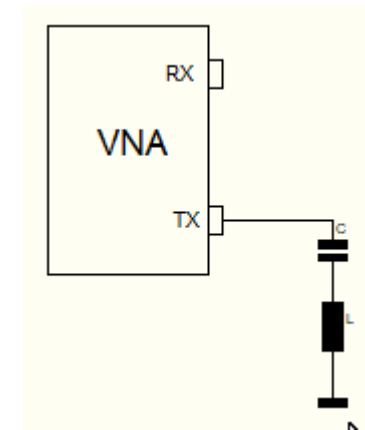
Reihenschwingkreis messen und die Frequenzen ermitteln bei  $X_C = -j50\Omega$  und  $X_L = +j50\Omega$  sowie die Resonanzfrequenz bestimmen ( $X_C = X_L = 0\Omega$ )

Scan-Vorschlag: 5MHz-8MHz

Parallelschwingkreis messen und die Frequenzen ermitteln bei  $X_C = -j50\Omega$  und  $X_L = +j50\Omega$  sowie Resonanzfrequenz bestimmen ( $X_C = X_L = 0\Omega$ )

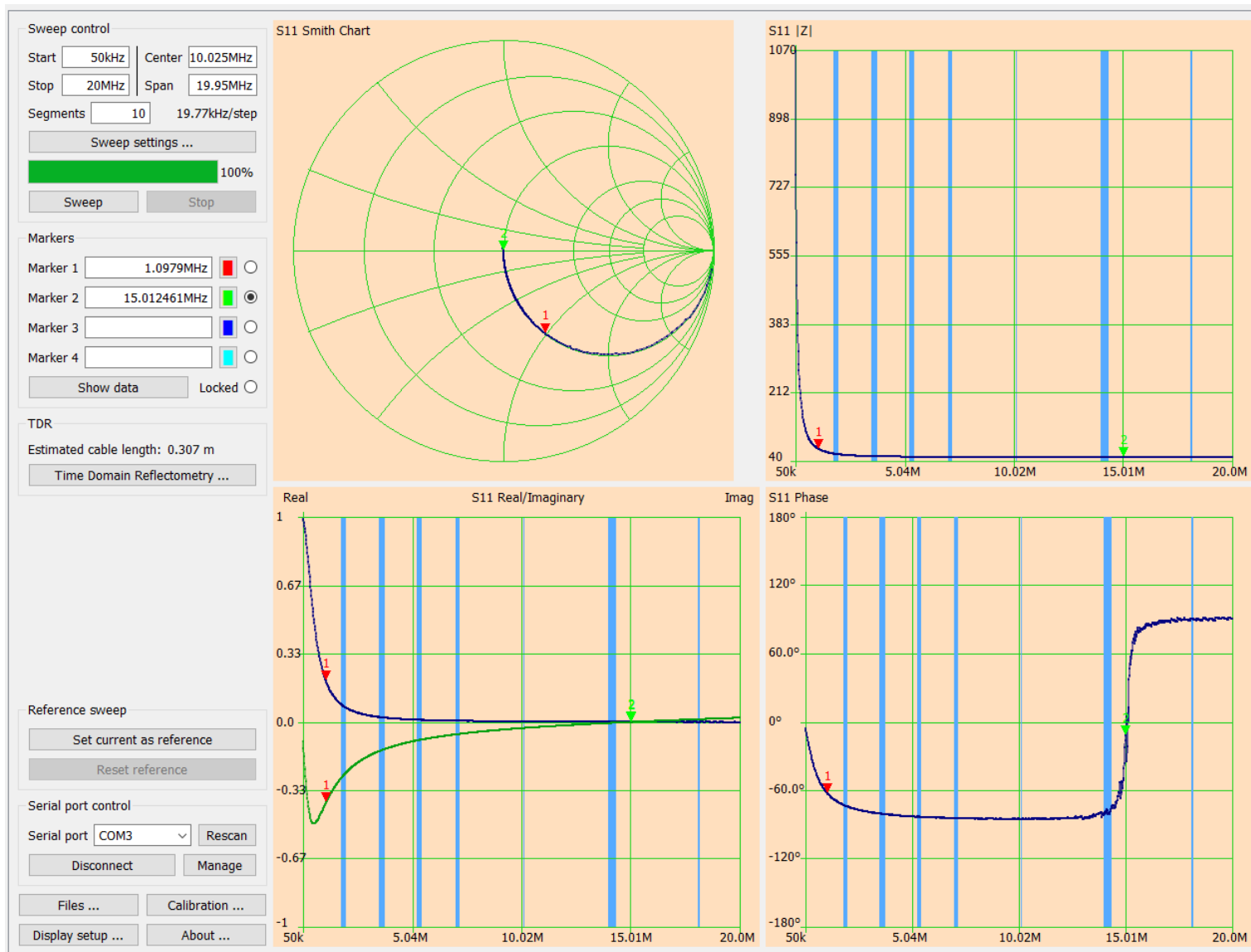
Kapazität und Induktivität lassen sich auch ermitteln.

Scan-Vorschlag: 1MHz-30MHz

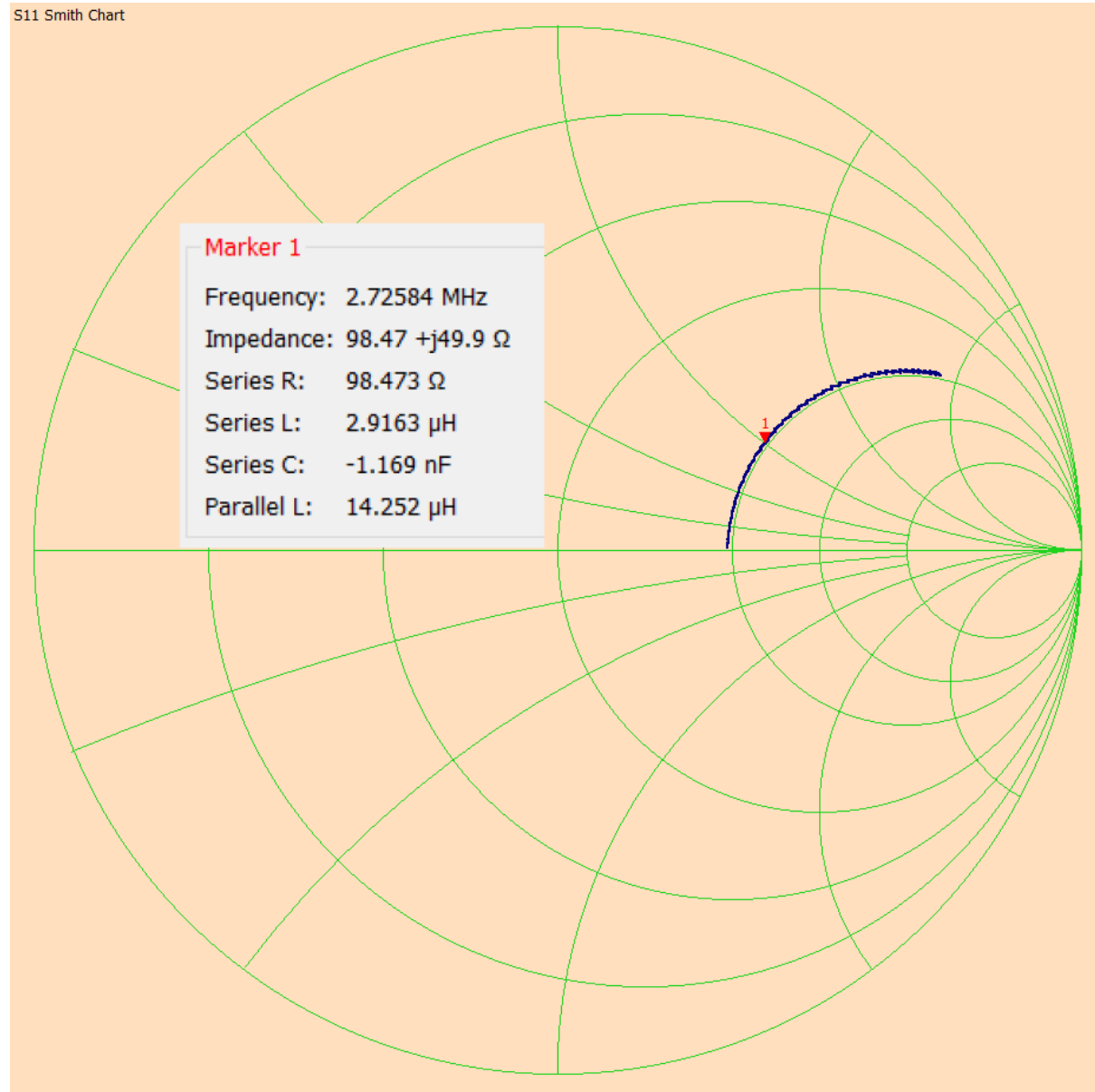


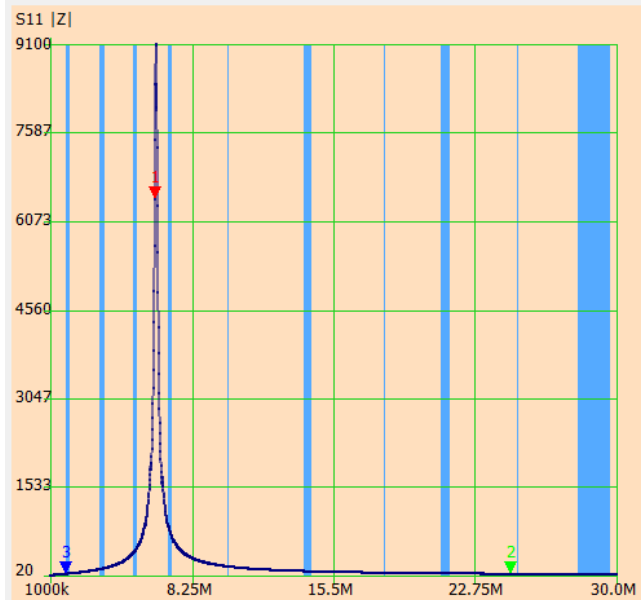
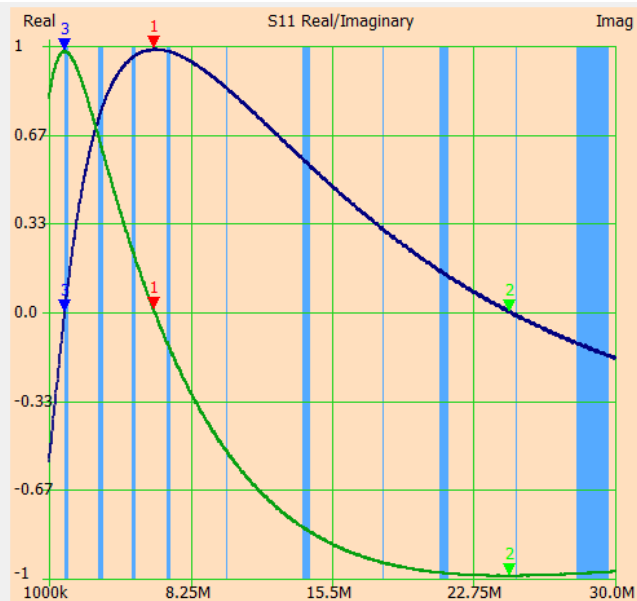
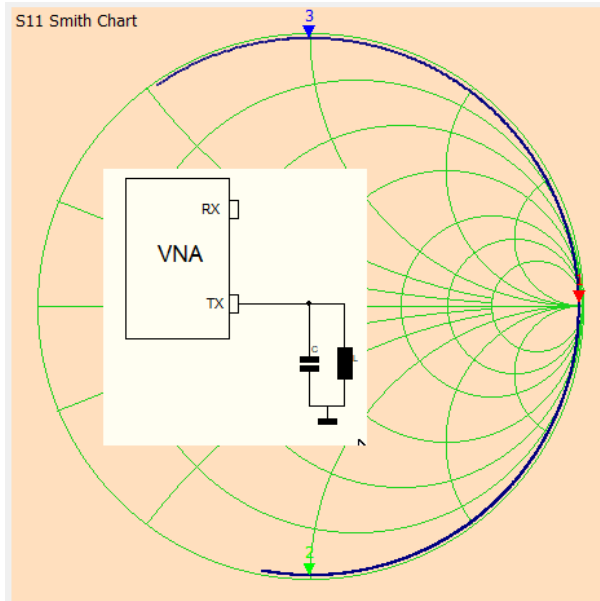
die

# Beispiele:



**R=100Ω und C=2,8μH**



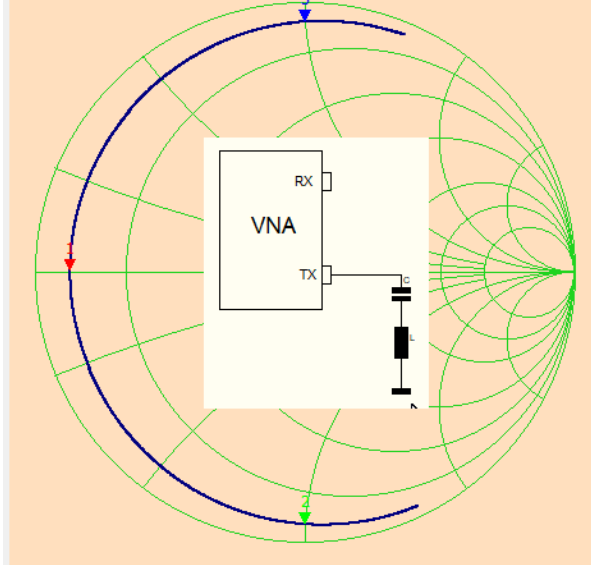


Markers

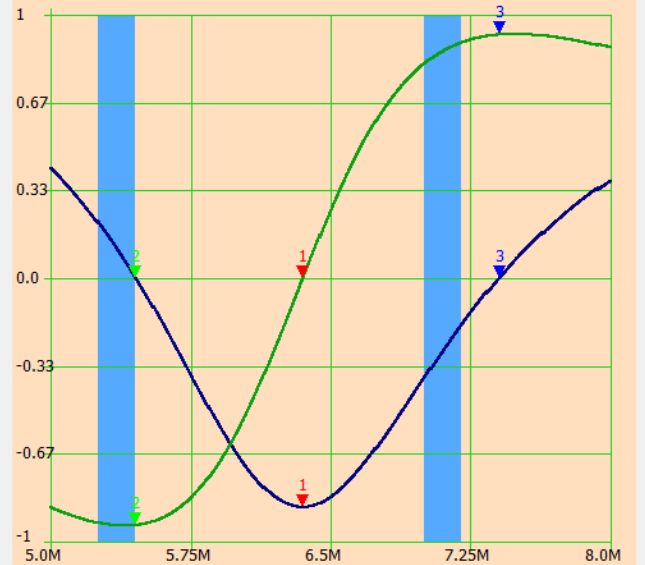
Marker 1	6.36281MHz	<span style="color: red;">■</span>
Marker 2	24.554416MHz	<span style="color: green;">■</span>
Marker 3	1.8043MHz	<span style="color: blue;">■</span>
Marker 4		<span style="color: cyan;">■</span>



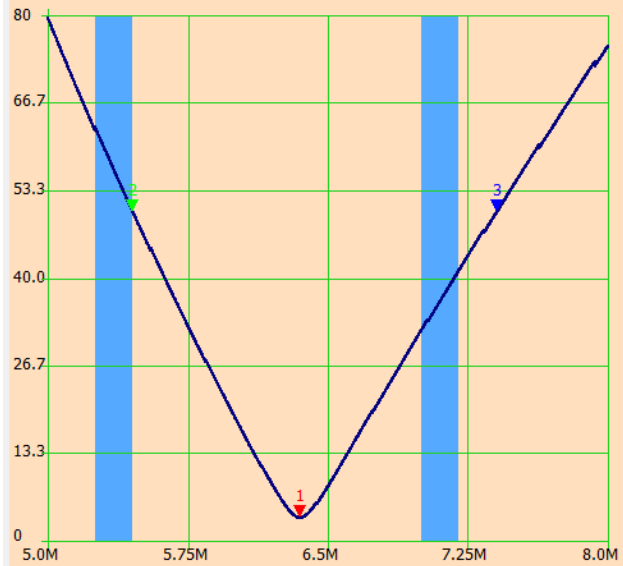
S11 Smith Chart



S11 Real/Imaginary



S11 |Z|



Markers

- Marker 1 6.351265MHz
- Marker 2 5.454355MHz
- Marker 3 7.40416MHz
- Marker 4

Quellen:

[https://www.bartellos.de/media/messtechnik/vnwa/workshop\\_notes\\_volume\\_1\\_deutsch.pdf](https://www.bartellos.de/media/messtechnik/vnwa/workshop_notes_volume_1_deutsch.pdf)