

HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT

HOLLABRUNN

Höhere Abteilung für Elektronik – Technische Informatik

Klasse/ Jahrgang: 4BHEL	Gruppe: 4b	Übungsleiter: Dipl.-Ing. Wolfgang Bodner
Übungsnummer: II / 1	Übungstitel: Netzwerkanalyse	
Datum der Übung: 2.12.2014	Teilnehmer: Graussam, Holzinger, Mischling, Schwarzmann	
Datum der Abgabe: 16.12.2014	Schritfführer: Graussam	Unterschrift:

	Beurteilung
Aufgabenstellung	
Dokumentation	
Messschaltungen	
Messtabellen	
Berechnungen	
Programmlistings	
Auswertung	
Diagramme	
Berechnungen	
Simulationen	
Schlussfolgerungen	
Kommentare	
Inventarliste	
Messprotokoll	
Form	
Summe	

1. Allgemeiner Teil

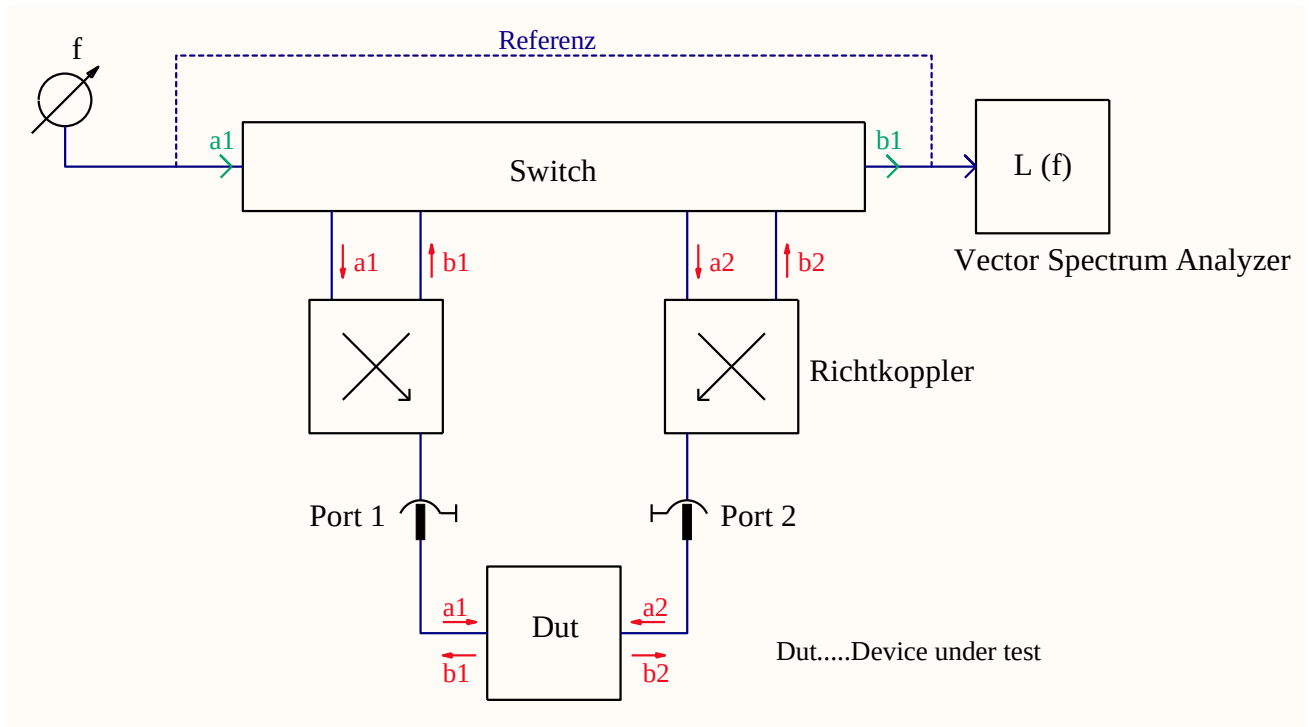
Titel der Übung: Netzwerkanalyse
Übungsnummer: II / 1
Übungsplatz: T4
Datum der Übung: 2.12.2014
Klasse: 4BHEL
Schriftführer: Lukas Graussam
Übungsteilnehmer: Lukas Graussam
Thomas Holzinger
David Mischling
Philipp Schwarzmann

Inhaltsverzeichnis:

1. Allgemeiner Teil.....	2
2. Netzwerkanalysator	3
3. Spule und SMD-Widerstand.....	3
3.1. Aufgabenstellung	3
3.2. Messungen am Widerstand	4
3.3. Messungen an der Spule.....	6
4. Hochpass und Tiefpass	8
4.1. Aufgabenstellung	8
4.2. Messungen am Hochpass	9
4.3. Messungen am Tiefpass.....	13
5. Diplexer	18
6. Erkenntnisse	20

2. Netzwerkanalysator

Vor der Übung wurde der Aufbau eines Netzwerkanalysators besprochen, welcher in folgendem Bild dargestellt wird:



Des Weiteren wurden vor der Übung die S-Parameter und Smith-Diagramme wiederholt. Genauere Informationen darüber sind in den Unterlagen oder im Internet zu finden.

3. Spule und SMD-Widerstand

3.1. Aufgabenstellung

Die erste Übung beinhaltete Messungen an einem SMD-Widerstand und einer Spule. Die beiden Messobjekte sind auf folgenden Fotografien zu sehen.

Spule →



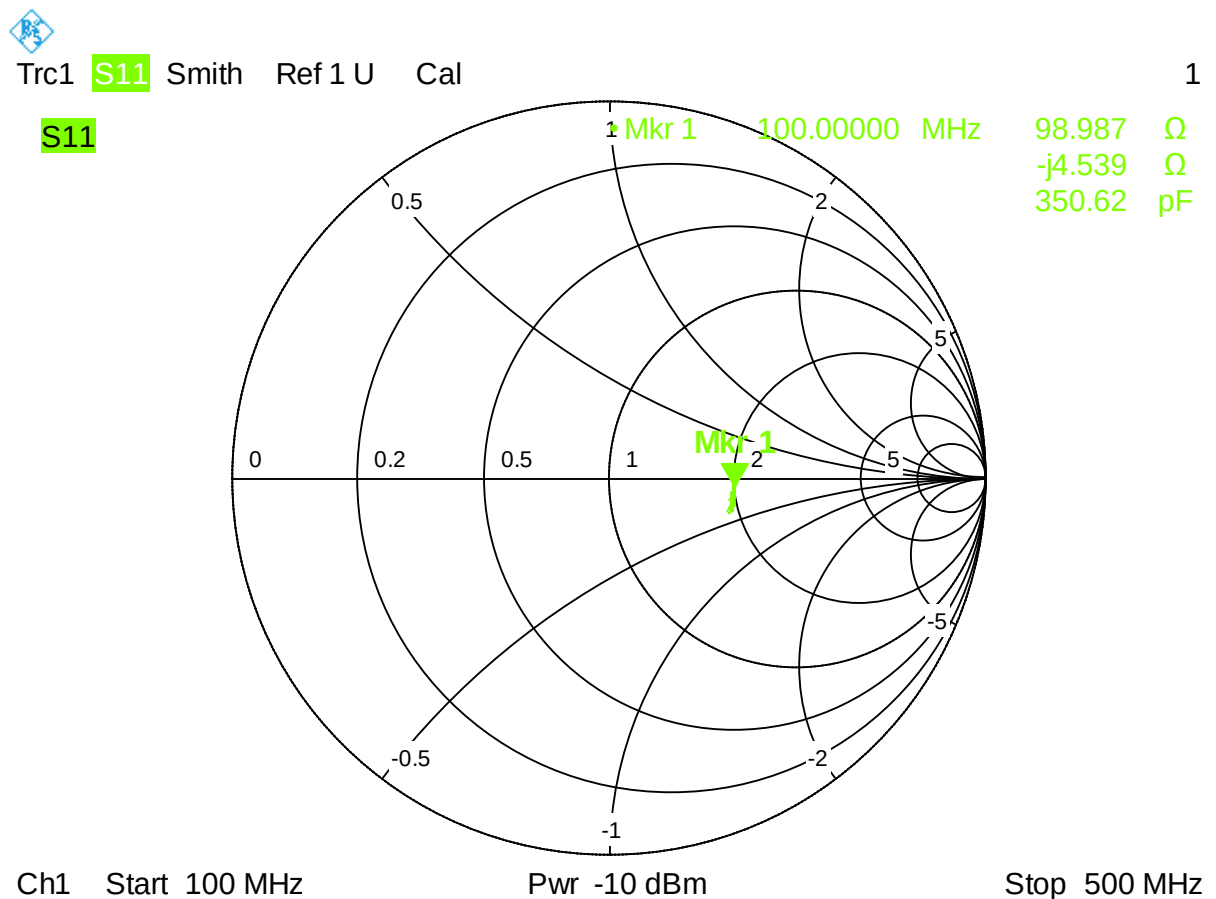
← Widerstand

S_{11} sollte bei einer Frequenz von 100 – 500 MHz festgestellt werden und damit Impedanzwerte gut sichtbar sind sollten Marker auf 100MHz, 300MHz und 500MHz eingestellt werden.

3.2. Messungen am Widerstand

Vor der Messung musste der Netzwerkanalysator mit dem Kalibrationskit auf den Frequenzbereich kalibriert werden. Außerdem wurde beim Widerstand ein Nennwert von 100Ω abgelesen. Danach erfassten wir mit dem Netzwerkanalysator folgende Smith-Diagramme.

Marker1 – 100MHz

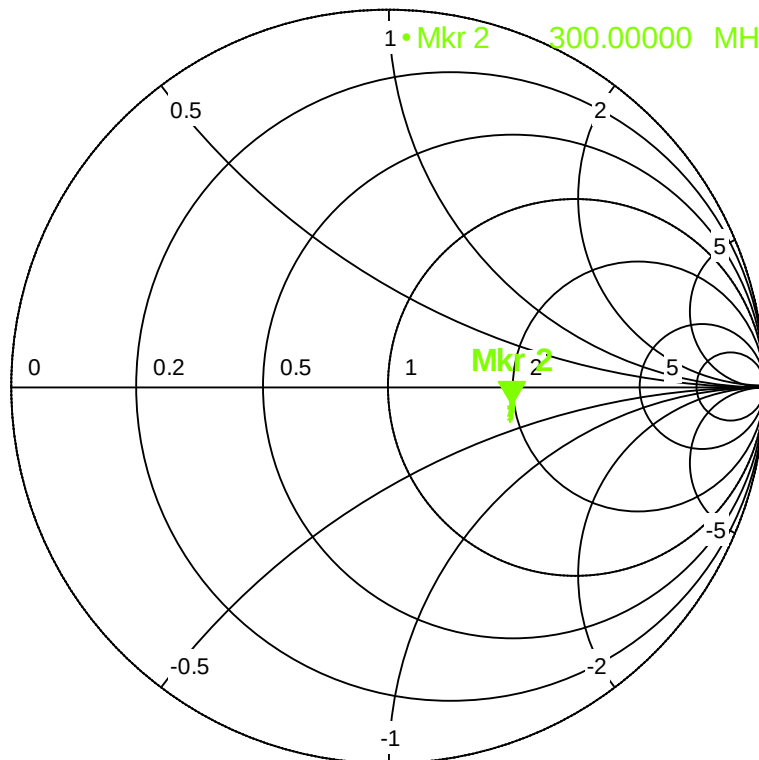


Date: 2.DEC.2014 11:11:47

Der Widerstandswert bei 100MHz ist beinahe derselbe wie der Nennwert. Des Weiteren ist der Imaginär Teil sehr gering (Beim idealen Widerstand wäre der Imaginär Teil Null).

Marker 2 – 300MHzTrc1 **S11** Smith Ref 1 U Cal

1

S11

98.033 Ω
-j9.889 Ω
53.650 pF

Ch1 Start 100 MHz

Pwr -10 dBm

Stop 500 MHz

Date: 2.DEC.2014 11:12:08

Auch bei 300MHz ist der Widerstand mit einem Wert von ca. 98 Ω noch zu gebrauchen.

Marker 3 – 500MHz

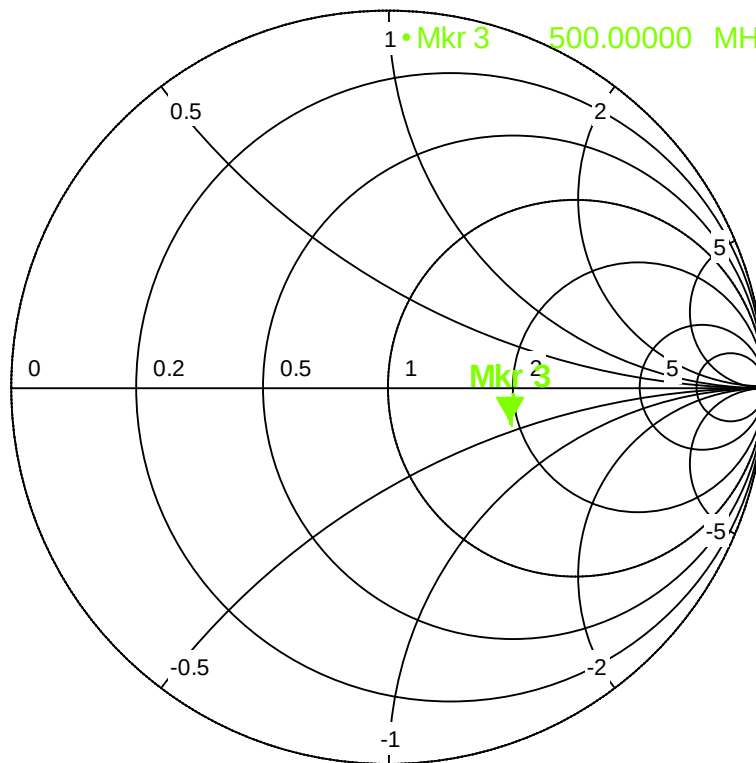
Bei einer Frequenz von 500MHz wurde ein Widerstandswert von ca. 95 Ω gemessen. Außerdem wird der negative Imaginär Teil bei dieser Frequenz deutlich größer (Screenshot folgt auf der nächsten Seite).



Trc1 S11 Smith Ref 1 U Cal

1

S11



500.00000 MHz 95.150 Ω
 $-j18.194 \Omega$
 17.496 pF

Ch1 Start 100 MHz

Pwr -10 dBm

Stop 500 MHz

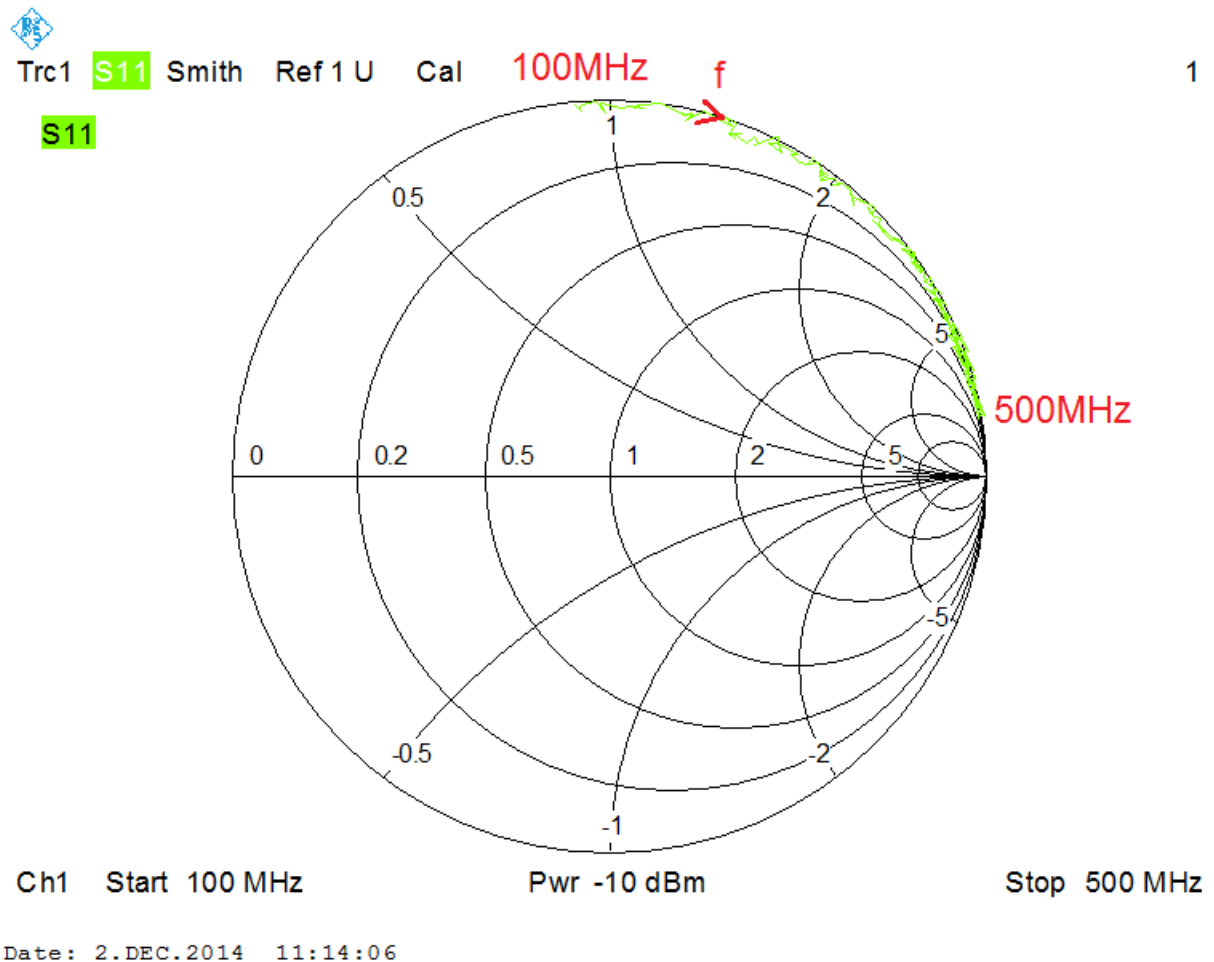
Date: 2.DEC.2014 11:12:41

Kommentar: Da die Messpunkte des SMD-Widerstands in den drei Smith-Diagrammen relativ knapp zusammen liegen wurde auf Grund der Übersichtlichkeit für jeden Punkt ein einzelnes Bild genommen.

3.3. Messungen an der Spule

Das nächste Dut (Device under test) war die Spule (siehe 3.1. Aufgabenstellung). Hierbei wurde zur Veranschaulichung des Impedanzverlaufs ein Bild ohne Marker und ein Bild mit allen drei Markern gewählt.

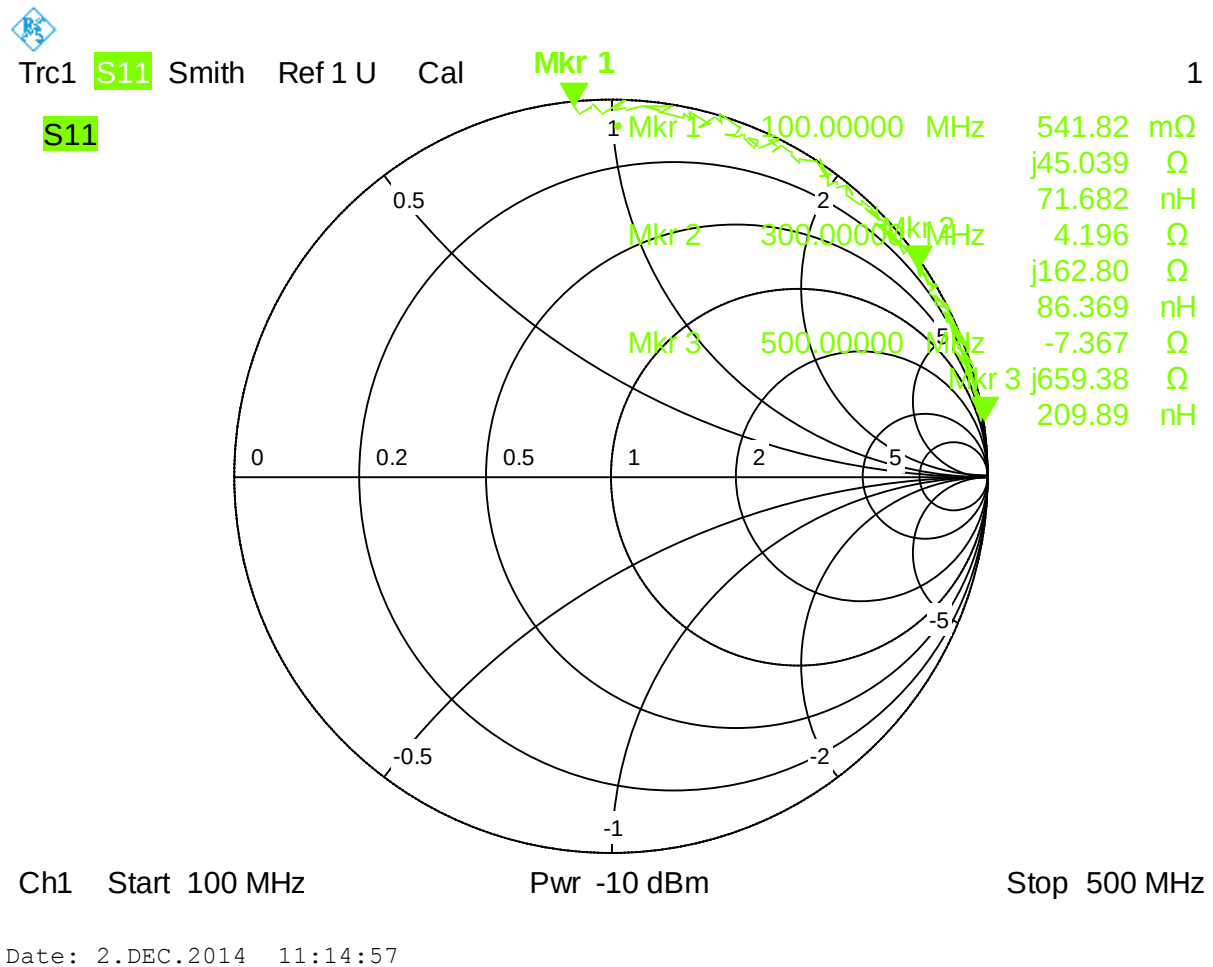
Verlauf ohne Marker



Kommentar: Der Verlauf einer idealen Spule bei einem Frequenzbereich von 0 bis ∞ würde sich ausschließlich auf der oberen Hälfte am äußersten Kreis des Smith-Charts befinden.

Verlauf mit Marker

Obwohl sich die Schrift (des sich auf der nächsten Seite befindenden Screenshots) teilweise überdeckt, kann man die Impedanzwerte ablesen. Deutlich zu sehen ist, dass sich die Induktivität, welche im Diagrammbereich in nH angegeben ist, erhöht wenn die Frequenz größer wird.



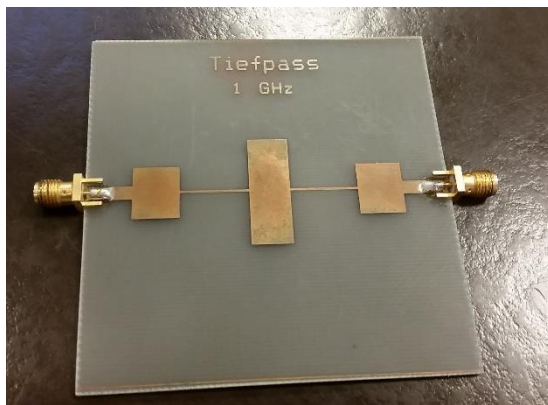
4. Hochpass und Tiefpass

4.1. Aufgabenstellung

Das Ziel der nächsten Übung war es, mit dem Netzwerkanalysator sowohl bei einem Hochpass, als auch bei einem Tiefpass Messwerte aufzunehmen. Die Messfrequenz sollte von der halben Grenzfrequenz bis zu der doppelten Grenzfrequenz reichen. Folgende Aufgaben waren zu erledigen:

- S_{11} bis S_{22} bestimmen
- Bei S_{21} die Einfügedämpfung messen
- Bei S_{21} die Sperrdämpfung messen
- Aus den Messwerten die Ordnung des Filters ermitteln

Die beiden Messobjekte sind auf diesen Fotografien zu sehen:



Tiefpass

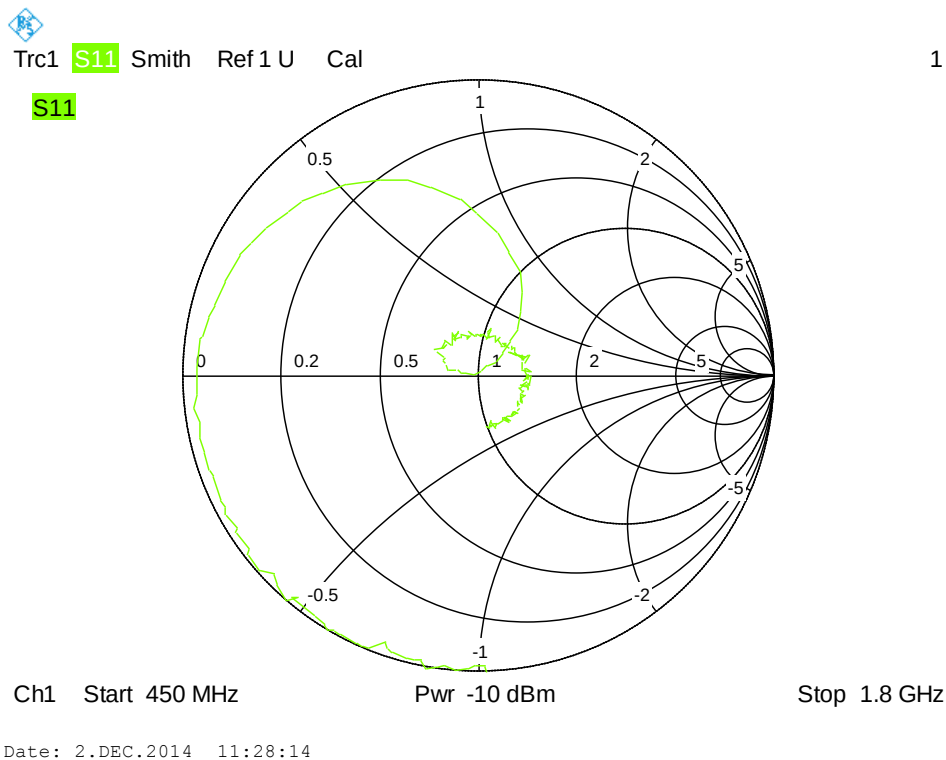


Hochpass

4.2. Messungen am Hochpass

Wie auch auf dem Bild zu sehen ist, handelt es sich bei dem Hochpass um einen Nennwert der Grenzfrequenz von 900MHz. Deshalb wurde zuerst der Netzwerkanalysator auf einen Frequenzbereich von 450MHz bis 1,8GHz mit dem Kalibrationskit kalibriert. Danach wurden wie gefordert alle S-Parameter erfasst.

S₁₁ – Hochpass

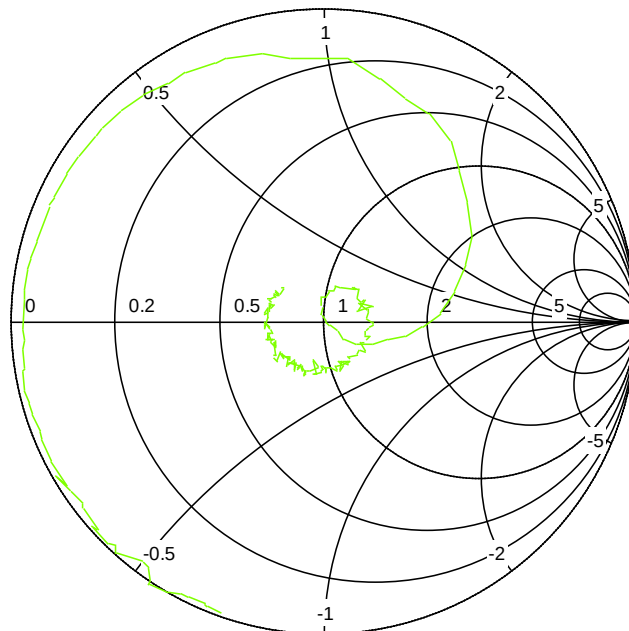


S₂₂ – Hochpass

Trc1 S22 Smith Ref 1 U Cal

1

S22



Ch1 Start 450 MHz

Pwr -10 dBm

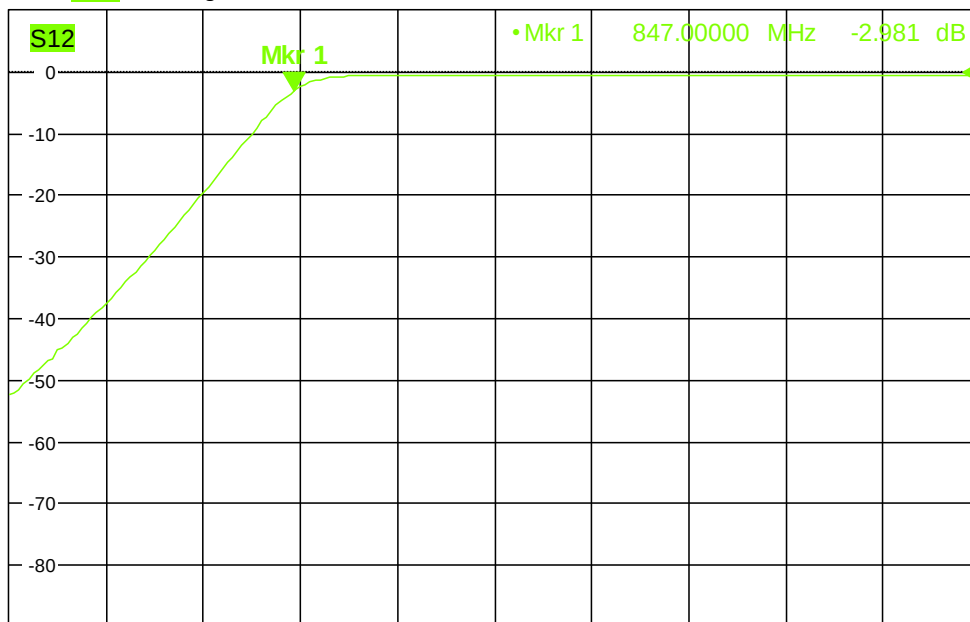
Stop 1.8 GHz

Date: 2.DEC.2014 11:34:43

S₁₂ – Hochpass

Trc1 S12 dB Mag 10 dB / Ref 0 dB Cal

1



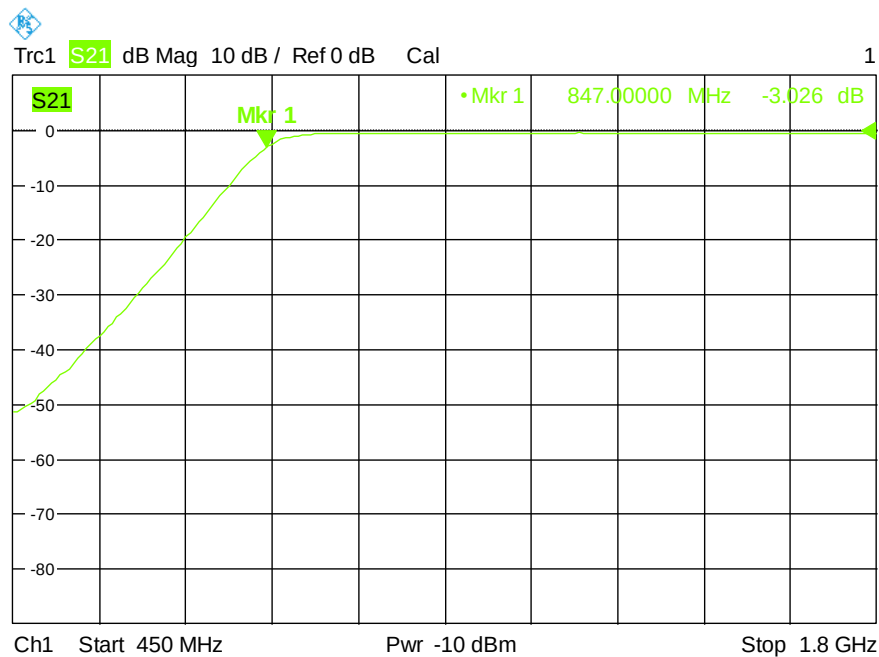
Ch1 Start 450 MHz

Pwr -10 dBm

Stop 1.8 GHz

Date: 2.DEC.2014 11:33:27

S₂₁ – Hochpass

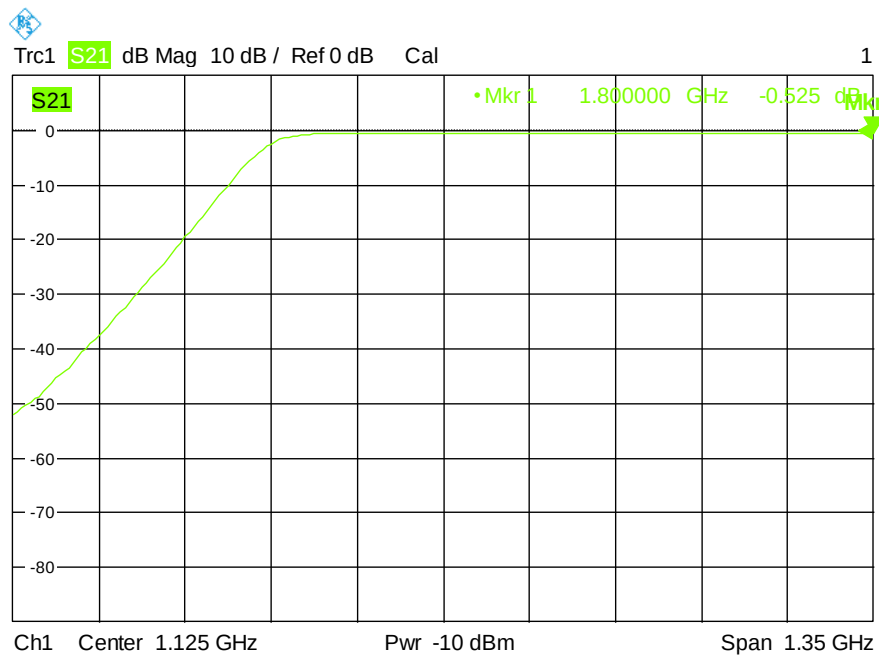


Date: 2.DEC.2014 11:33:04

Beim Vorwärtsübertragungsfaktor S₂₁ sieht man deutlich die Eigenschaften eines Hochpass.

Einfügedämpfung – Hochpass

Um die Einfügedämpfung festzustellen, sollte bei S₂₁ ein Marker auf die doppelte Grenzfrequenz (1,8GHz) gestellt werden.

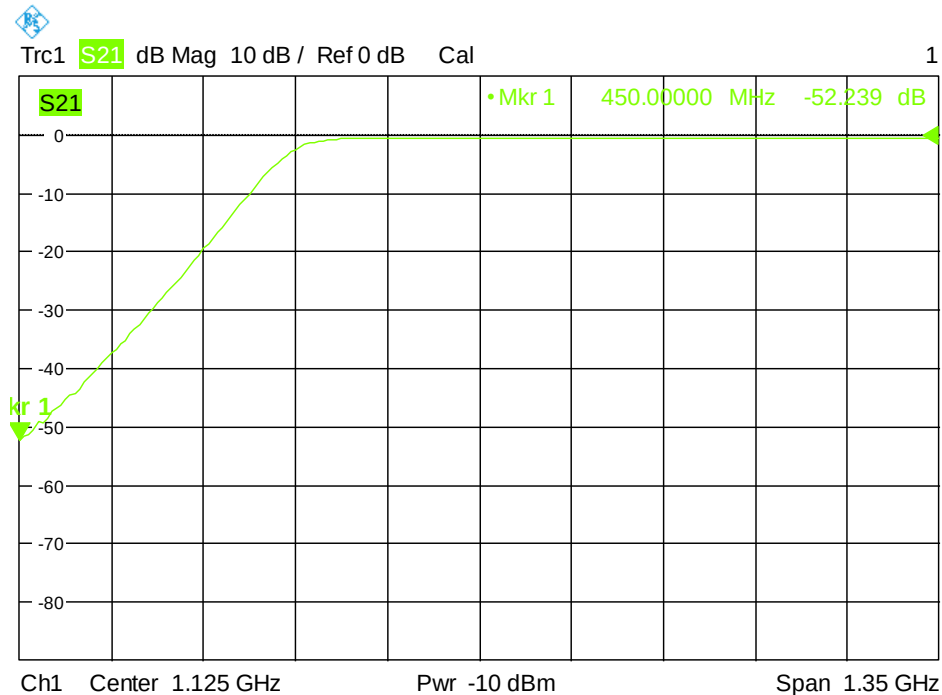


Date: 2.DEC.2014 11:43:29

Vom Diagramm kann man eine Einfügedämpfung von -0,525dB ablesen.

Sperrdämpfung – Hochpass

Um die Sperrdämpfung beim Hochpass zu messen musste ein Marker bei S_{21} auf die halbe Grenzfrequenz (450MHz) eingestellt werden.



Date: 2.DEC.2014 11:49:47

Die Sperrdämpfung wurde mit -52,239dB gemessen.

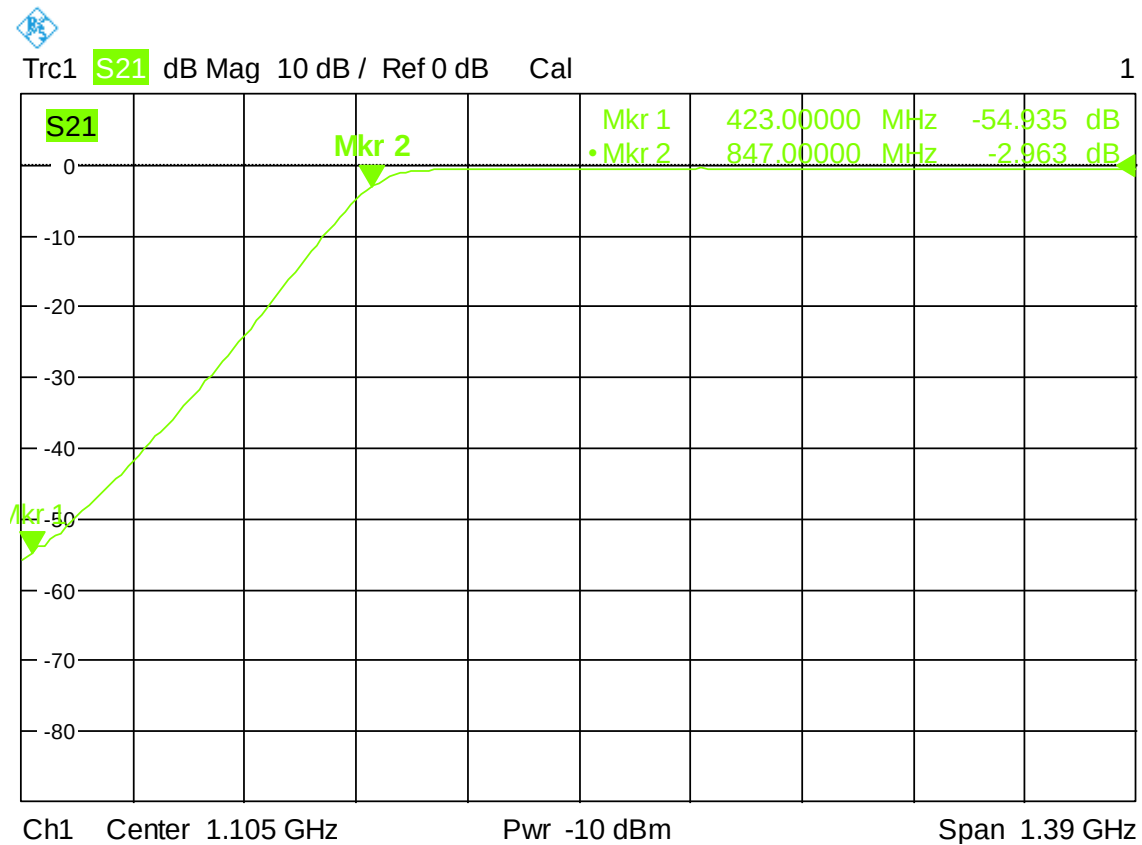
Ordnung des Filters bestimmen

Um die Ordnung des Filters zu bestimmen wurde ein Marker auf die Grenzfrequenz bei -3dB eingestellt und ein zweiter bei der halben gemessenen Grenzfrequenz um die Verstärkungsabnahme pro Oktave festzustellen. In unserem Fall war die Frequenz $f_0=847\text{MHz}$ bei einer Verstärkung von -3dB. Deshalb wurde der zweite Marker auf 423MHz eingestellt (Der Screenshot befindet sich auf der nächsten Seite). Bei 423MHz betrug die Verstärkung ca. -55dB. Die Ordnung n berechnet sich dann folgendermaßen:

$$\frac{\text{Verstärkungsabnahme}}{\text{Oktave}} = -3\text{dB} - (-55\text{dB}) = 52\text{dB}$$

$$\frac{\text{Verstärkungsabnahme}}{\text{Oktave}} = \frac{n * 6\text{dB}}{\text{Oktave}}$$

$$n = \frac{\text{Verstärkungsabnahme}}{6\text{dB}} = \frac{52\text{dB}}{6\text{dB}} = 8,67$$



Date: 2.DEC.2014 11:59:40

Es handelt sich also um einen Hochpass achter oder neunter Ordnung.

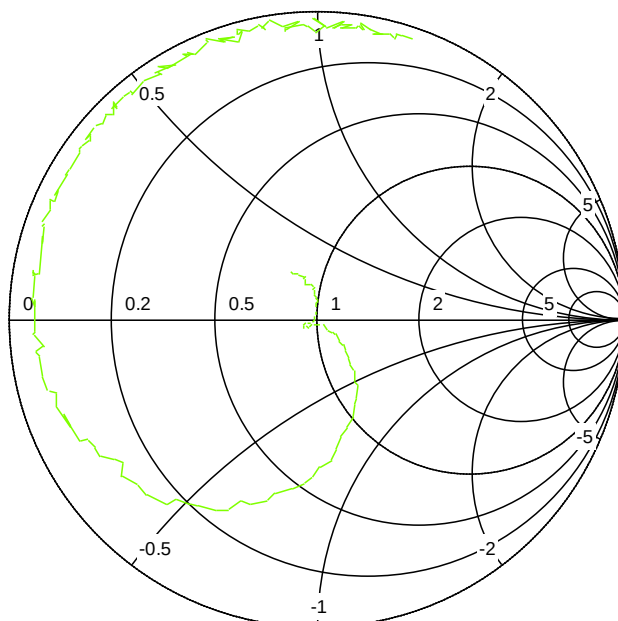
Kommentar: Bei dieser Messung mussten wir den Netzwerkanalysator neu kalibrieren, um bei der halben Messfrequenz messen zu können.

4.3. Messungen am Tiefpass

Wie auch bei dem Bild (bei 4.1. Aufgabenstellung) zu sehen ist, betrug der Nennwert der Grenzfrequenz des Tiefpasses 1GHz. Deshalb musste der Netzwerkanalysator natürlich vor den Messungen kalibriert werden. Nach der Kalibration begannen wir wie beim Hochpass mit dem aufnehmen der S-Parameter.

S₁₁ – TiefpassTrc1 S₁₁ Smith Ref 1 U Cal

1

S₁₁

Ch1 Start 500 MHz

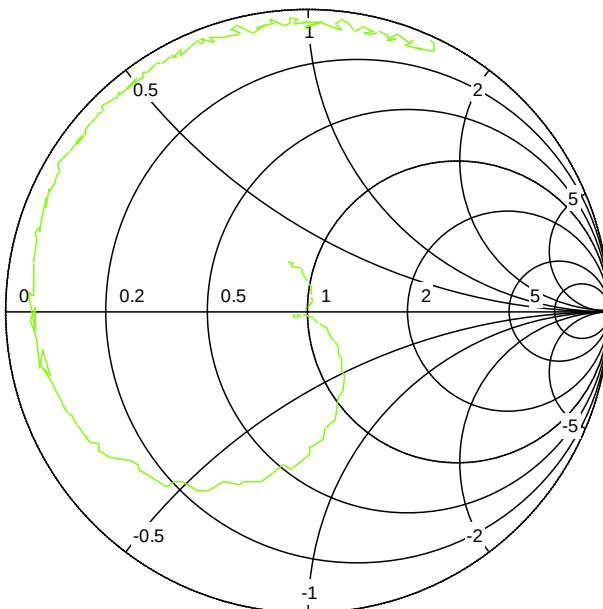
Pwr -10 dBm

Stop 2 GHz

Date: 2.DEC.2014 12:06:05

S₂₂ – TiefpassTrc1 S₂₂ Smith Ref 1 U Cal

1

S₂₂

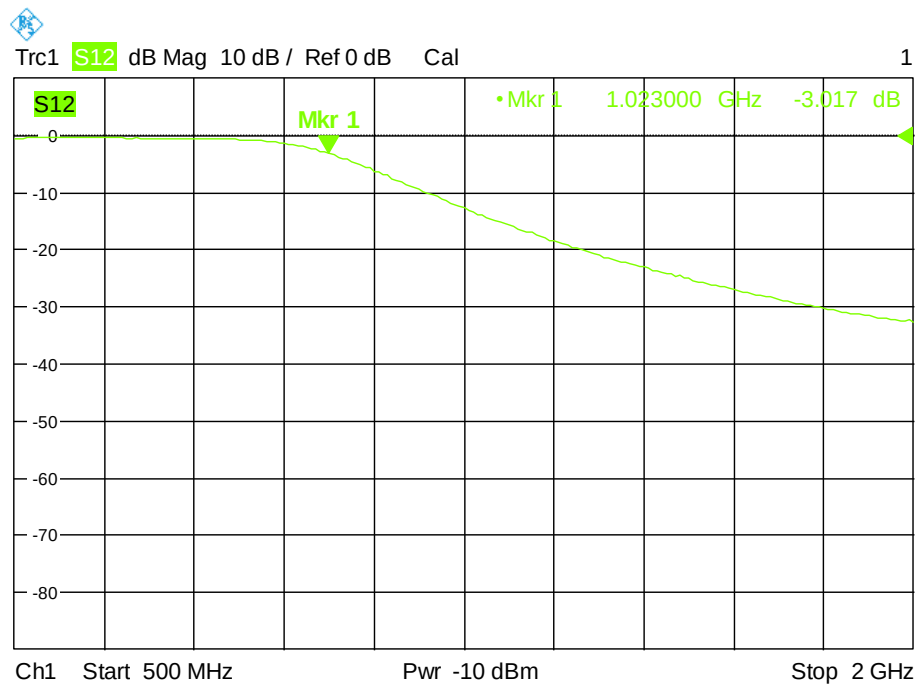
Ch1 Start 500 MHz

Pwr -10 dBm

Stop 2 GHz

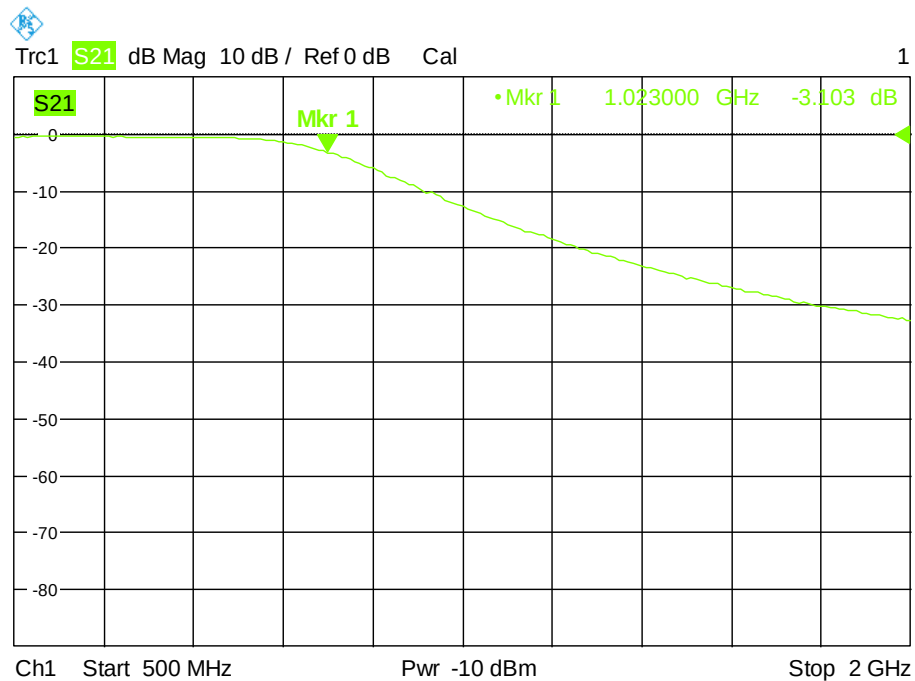
Date: 2.DEC.2014 12:08:09

S₁₂ – Tiefpass



Date: 2.DEC.2014 12:07:01

S₂₁ - Tiefpass

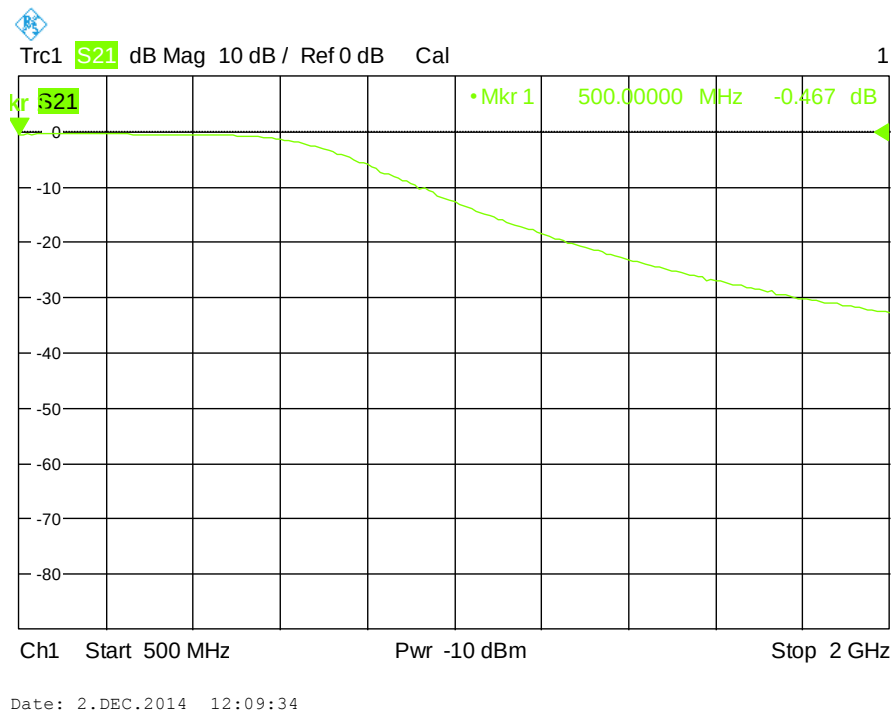


Date: 2.DEC.2014 12:07:23

Auch hier kann man deutlich die Eigenschaften eines Tiefpasses erkennen.

Einfügedämpfung – Tiefpass

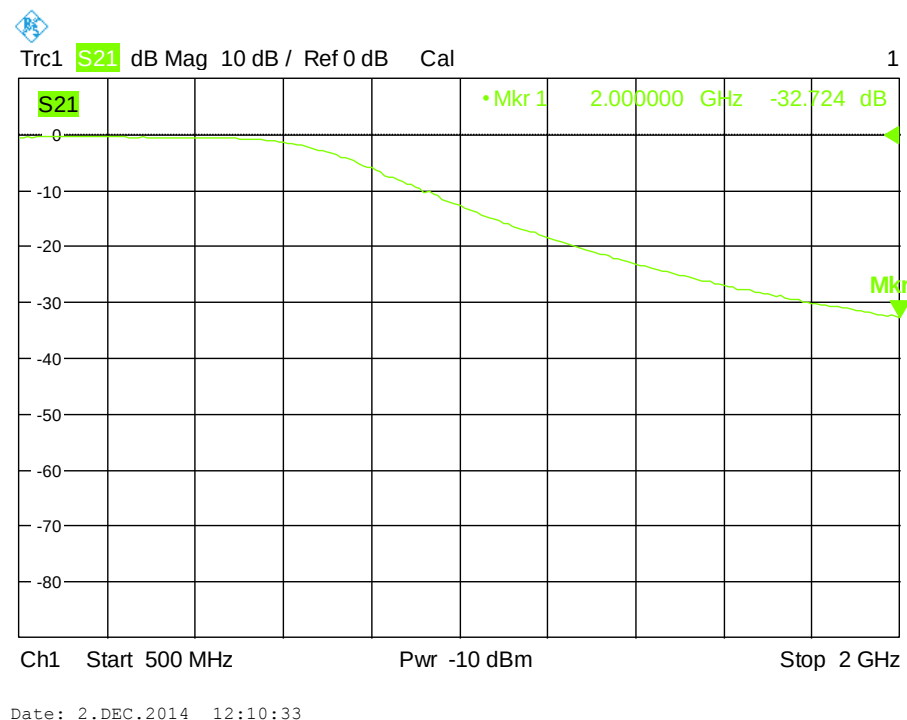
Um die Einfügedämpfung zu bestimmen wurde beim Tiefpass bei S_{21} ein Marker auf die halbe Grenzfrequenz (500MHz) gestellt.



Vom Diagramm kann eine Einfügedämpfung von -0,467dB abgelesen werden.

Sperrdämpfung – Tiefpass

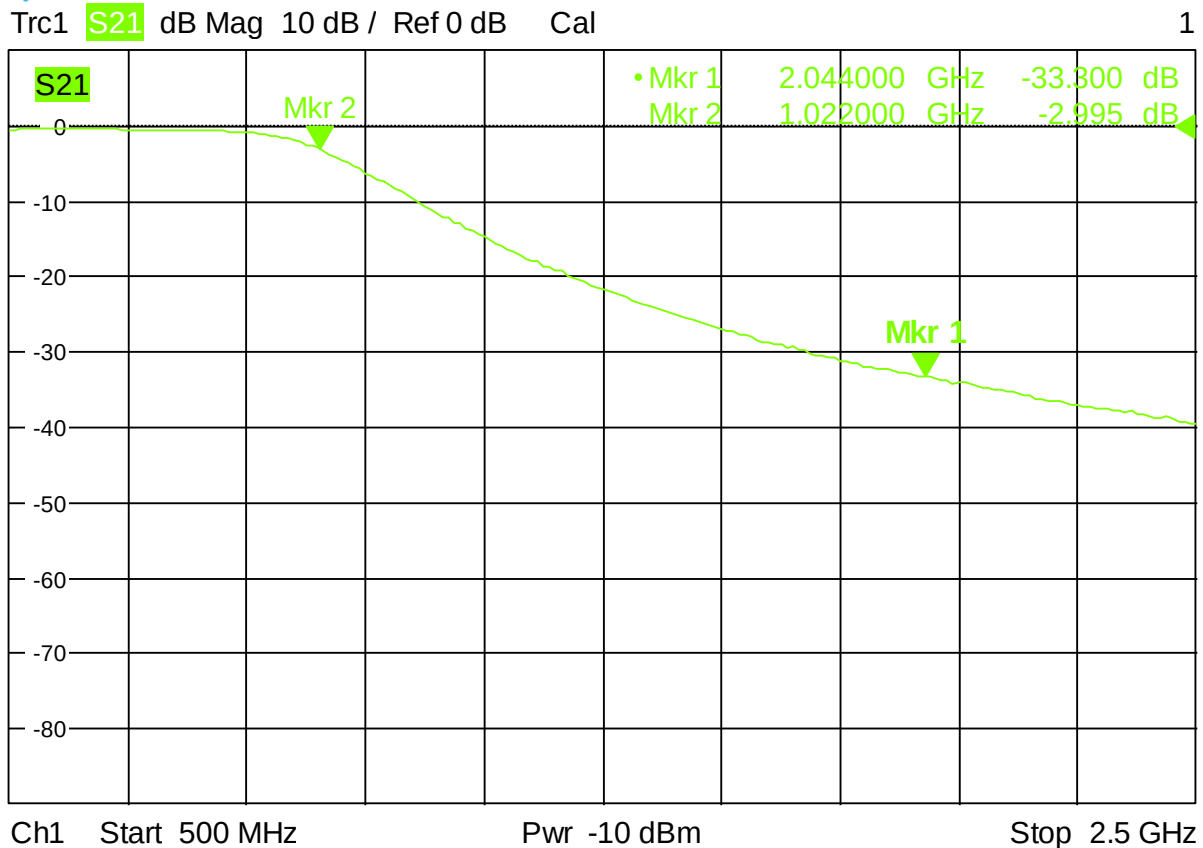
Für die Sperrdämpfung wurde logischerweise ein Marker auf die doppelte Grenzfrequenz (2GHz) gestellt.



Hier betrug die Sperrdämpfung (siehe Diagramm) -32,724dB.

Ordnung des Filters bestimmen

Wegen der Frequenzbereichsänderung musste der Netzwerkanalysator natürlich wieder kalibriert werden. Danach wurde wie bereits beim Hochpass ein Marker auf die Grenzfrequenz bei einer Verstärkung von -3dB gestellt und ein zweiter Marker auf die doppelte Frequenz um eine Oktave zu erhalten. (Doppelte Frequenz, da die Verstärkung bei steigender Frequenz abnimmt)



Date: 2.DEC.2014 12:15:48

Auf diese Weise wurden folgende Punkte gemessen:

1GHz	-3dB
2GHz	-33,3dB

Berechnung der Ordnung:

$$\frac{\text{Verstärkungsabnahme}}{\text{Oktave}} = -3\text{dB} - (-33,3\text{dB}) = 30,3\text{dB}$$

$$\frac{\text{Verstärkungsabnahme}}{\text{Oktave}} = \frac{n * 6\text{dB}}{\text{Oktave}}$$

$$n = \frac{\text{Verstärkungsabnahme}}{6\text{dB}} = \frac{30,3\text{dB}}{6\text{dB}} = 5,05$$

Wahrscheinlich handelt es sich um einen Tiefpass der fünften Ordnung. (n=Ordnung=5,05)

5. Diplexer

Zum Abschluss sollten Messwerte von einem Diplexer aufgenommen werden. Der Diplexer, welchen wir zur Verfügung hatten, bestand aus einer Antenne, einem Empfänger und einem Sender. Die Aufgabe dieses Diplexers besteht darin, ähnlich wie ein Multiplexer, entweder den Empfänger, oder den Sender auf die Antenne zu schalten. Zwischen der Antenne und dem Empfänger/Sender befindet sich jeweils ein Bandpass, welcher gemessen werden sollte.

Foto des Diplexers:

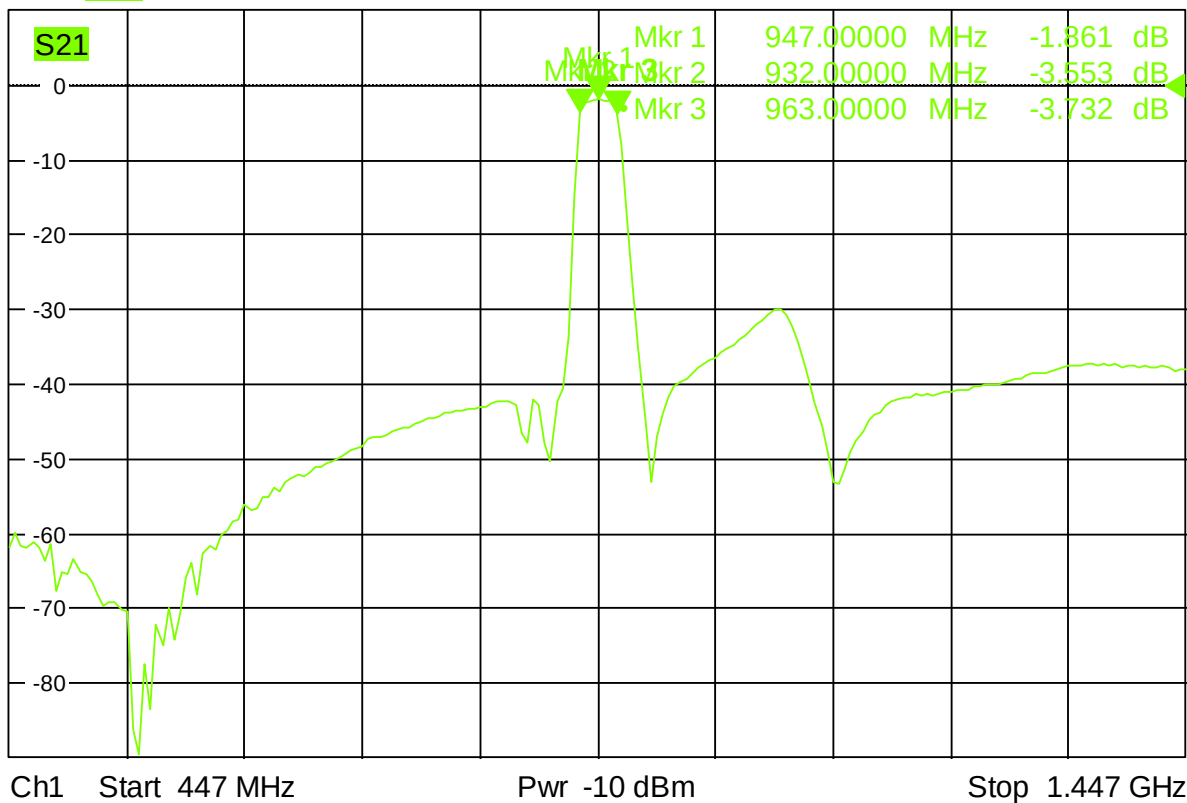


Aus Zeitmangel kamen wir jedoch lediglich dazu, mit dem Netzwerkanalysator S_{21} (also den Vorwärtsübertragungsfaktor) zwischen Rx (Empfänger) und der Antenne zu messen. Dabei wurden außerdem Marker auf die obere und untere Grenzfrequenz eingestellt (bei -3dB), sowie auf das Maximum. Der Screenshot befindet sich auf der nächsten Seite.



Trc1 S21 dB Mag 10 dB / Ref 0 dB Cal

1



Date: 2.DEC.2014 12:29:41

Vor der Messung musste der Netzwerkanalysator klarerweise wieder kalibriert werden.

Gemessene Werte (siehe Diagramm):

$f_{ug} = 932\text{MHz}$ (Verstärkung = -3,6dB)

$f_{og} = 963\text{MHz}$ (Verstärkung = -3,7dB)

Maximum bei $f = 947\text{MHz}$ Verstärkung_{max} = -1,9dB

Bemerkung: Da der Verlauf bei den Grenzfrequenzen sehr steil ist, konnten die -3dB nicht genau eingestellt werden.

6. Erkenntnisse

Folgende Kenntnisse wurden bei der Übung erlernt:

- Lesen von Smith – Diagrammen aufgefrischt und praktisch angewendet
- S-Parameter wiederholt und praktisch angewendet
- Kenntnisse über Hoch-, Tief- und Bandpass aufgefrischt
- dB – Rechnungen angewendet