

Labor für Nachrichtentechnik an der Dualen
Hochschule Baden Württemberg in
Friedrichshafen

=====

Das Smith Chart.

Etwas Grundlagen und Simulationen mit qucsstudio

Autor:

Gunthard Kraus, DG8GB, Oberstudienrat i. R.
Gastdozent an der Dualen Hochschule Baden Württemberg

Email: mail@gunthard-kraus.de

Homepage: www.gunthard-kraus.de

1. Das Smith-Diagramm („Smith chart“)

Problemstellung

In bisherigen Diagrammen von simulierten S-Parametern sahen wir immer nur den Verlauf der „Magnitude“, also des Betrags eines S-Parameters. Wenn man jedoch z. B. die Eingangsreflektion S11 oder die Ausgangsreflektion S22 verbessern möchte, möchte man genau die Gründe für die Abweichungen vom Systemwiderstand $Z = 50\Omega$ wissen -- und dafür sind meist kapazitive oder induktive Blindanteile verantwortlich. Also brauchen wir ein Diagramm, das sowohl beim Wirkwiderstand wie auch bei den Blindwiderständen die Darstellung von

Null bis Unendlich

ermöglicht.

Das erreicht man durch eine „**Koordinaten-Transformation**“ und die führt zum Smith-Diagramm (= Smith chart).

2. Wie entsteht ein Smith Chart?

Erinnerung:

Wenn man einen Wirkwiderstand und einen Blindwiderstand in Reihe schaltet, so muss man die Phasenverschiebungen zwischen Strom und Spannung beim Blindwiderstand beachten und darf die beiden nur **geometrisch** (= rechtwinklig) addieren.

(Kennen Sie noch oder schon die beiden Sätze: „...beim Kondensator eilt der Strom **vor**...“ bzw.bei der **Induktivität** kommt der Strom zu **spät**...“? Die gehören nun hierher)

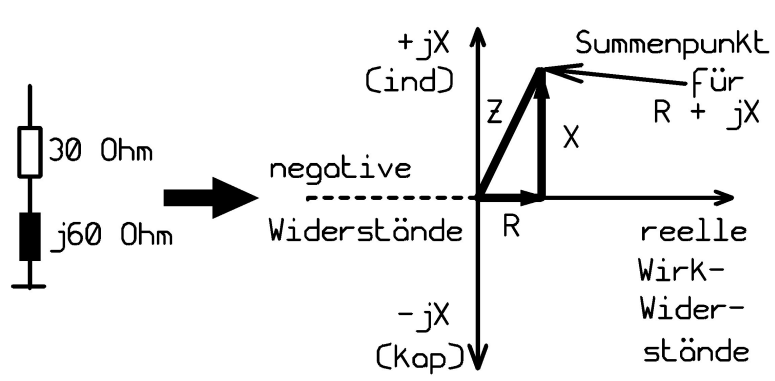
Nehmen wir mal als Beispiel einen Ohmschen Widerstand mit 30 Ohm und schalten ihm eine Spule in Reihe, deren Blindwiderstand bei der Arbeitsfrequenz gerade 60 Ohm beträgt.

Man kann nun ein System mit einem Achsenkreuz vorsehen, bei der die **Ohmschen Widerstände** in **waagrechter Richtung** einzutragen sind. Das ist dann die „**reelle Achse**“ und weil wir im Normalfall keine negativen Widerstände zur Verfügung haben, reicht der **waagrechte Teil rechts vom Nullpunkt** dafür aus.

Induktive Blindwiderstände werden an der **senkrechten Achse** eingetragen, die vom **Nullpunkt nach oben** zeigt, **Kapazitive Blindwiderstände** dagegen in **senkrechter Richtung vom Nullpunkt nach unten**. Das ist dann die „**imaginäre Achse**“ und diese Blindwiderstände erhalten den Buchstaben

„+j“ (bei Spulen) oder „-j“ (bei Kondensatoren)

zur Unterscheidung vor ihren Widerstandswert gesetzt:



Den Anwender interessiert der **Summenpunkt (= die Zeigerlänge = der komplexe Gesamtwiderstand)**) und den können wir auf zwei Arten angeben:

Entweder als Summe aus Realteil (= 30 Ω) und Imaginärteil (= j60 Ω)

oder

als „Magnitude“ und Phase“.

Für die Kommunikationstechnik ist die Darstellung mit „linearer Teilung der Achsen“ nicht gut

geeignet, denn wir haben es dort mit Widerstandswerten zwischen Null Ohm (= Kurzschluss) über $Z = 50 \text{ Ohm}$ (also: Anpassung) bis hin zu „Unendlich“ (= Leerlauf) zu tun, wobei auch noch die Übersichtlichkeit gewahrt sein sollte.

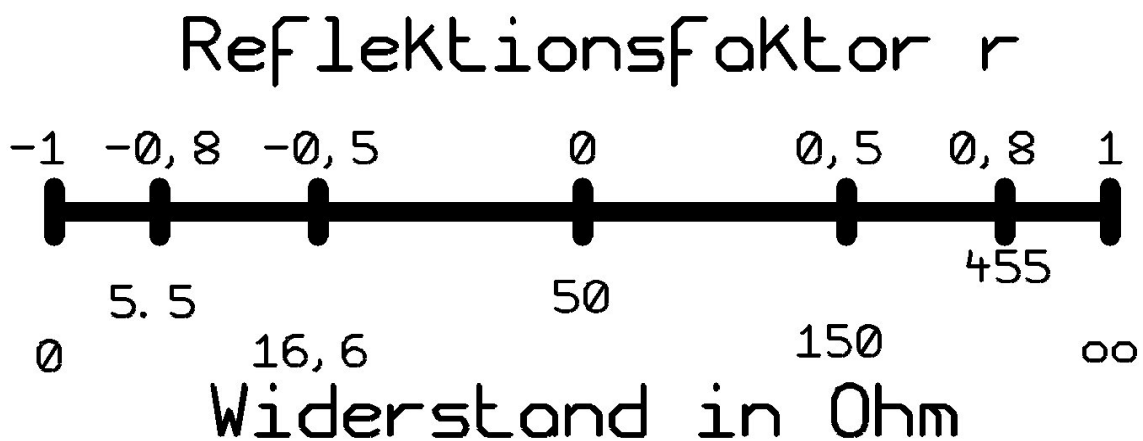
Deshalb ist es viel vernünftiger, ein Diagramm zu verwenden, das den **Reflektionsfaktor „r“**

$$r = \frac{Z_{\text{Last}} - Z}{Z_{\text{Last}} + Z}$$

als Achsenteilung verwendet und tragen die zugehörigen Widerstandswerte mal an der **reellen Achse** ein.

So sieht nun die Achsenteilung aus:

Reflektionsfaktor „r“ linear geteilt von „-1“ über „0“ bis „+1“



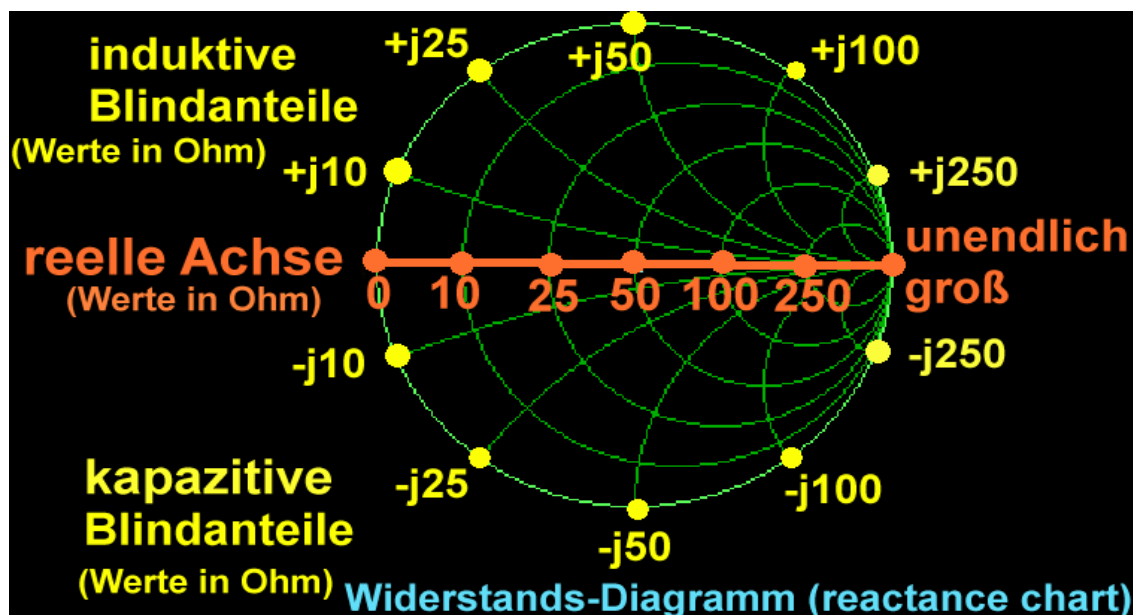
Widerstandswert reicht nun von „Null“ bis „Unendlich“

Das ist die Transformation für einen Systemwiderstand von $50 \text{ }\Omega$ und deshalb finden wir in der Mitte für „keine Reflektion, also $r = \text{Null}$ “ genau einen Widerstandswert von $50 \text{ }\Omega$.

Der Wertebereich des Reflektionsfaktors r reicht dann von „-1“ (bei Kurzschluss) über „Null“ (für Anpassung) bis „+1“ (für einen Leerlauf, also Unendlich) -- und genau das brauchen wir!

Wichtig:

Blindwiderstände (die ja positives Vorzeichen für Induktivitäten, aber negatives Vorzeichen für Kapazitäten aufweisen) werden wegen der Koordinatentransformation nun nicht mehr als Geraden, sondern als **Kreise** dargestellt. Sehen wir uns das doch mal genau an



Da muss man sich nun das Folgende für dieses **Widerstands-Diagramm** gut einprägen:

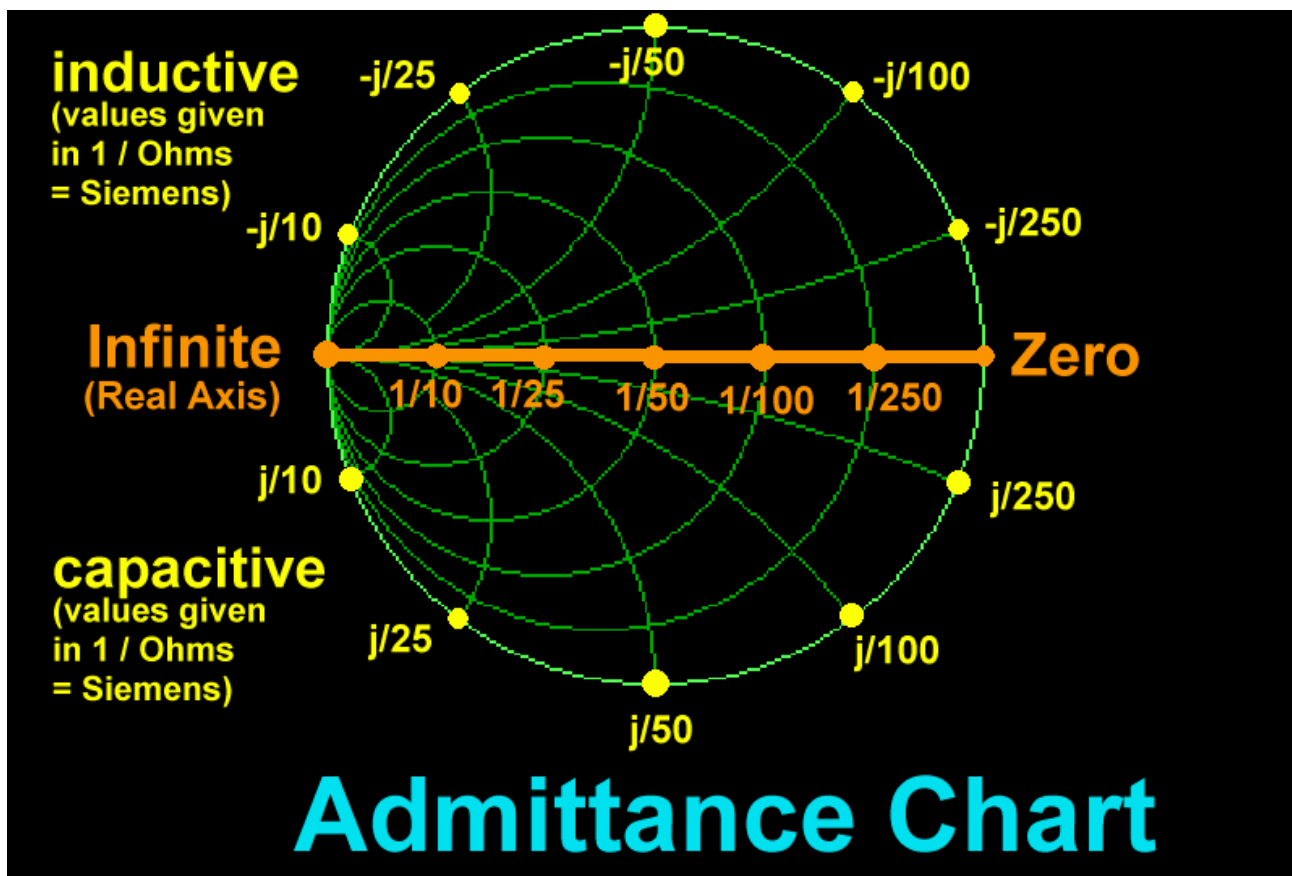
- a) Der Diagramm-Mittelpunkt entspricht genau dem Systemwiderstand von 50Ω -- also der perfekten Anpassung ohne Reflektionen. Das ist meist das Ziel des Schaltungsentwicklers....
- b) Den Anfang der reellen Achse bildet ein Widerstand mit Null Ohm -- das ist der Kurzschluss!
- c) Das Ende der reellen Achse auf der rechten Seite stellt den Leerlauf mit einem unendlich hohen Widerstand dar.

Achtung:

Bei jedem beliebigen Punkt in diesem Widerstands-Diagramm hat man es immer mit einer

Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und Blindwiderstand zu tun!

Oft benötigt man jedoch eine **Parallelschaltung von Wirk- und Blindanteil**. Dafür gibt es das Leitwerts-Diagramm (Admittance Chart). Bei ihm ist alles in waagrechter Richtung gespiegelt, aber die Darstellung des Kurvenverlaufs eines S-Parameters (wie S11 oder S22) ändert sich nicht!



=====

Eine putzige Sache ergibt sich dann natürlich, wenn man z. B. Anpass-Schaltungen aus einer Mischung von parallelen und in Reihe geschalteten Bauteilen entwirft. Da muss man zwar wie ein Karnickel zwischen den beiden Diagrammformen hin und herspringen, aber man bewegt sich beim Hinzufügen eines neuen Bauteils immer auf einem Kreis. Ist mit etwas Übung nicht schwierig, aber sehr effektiv – jedoch eine eigene Welt...

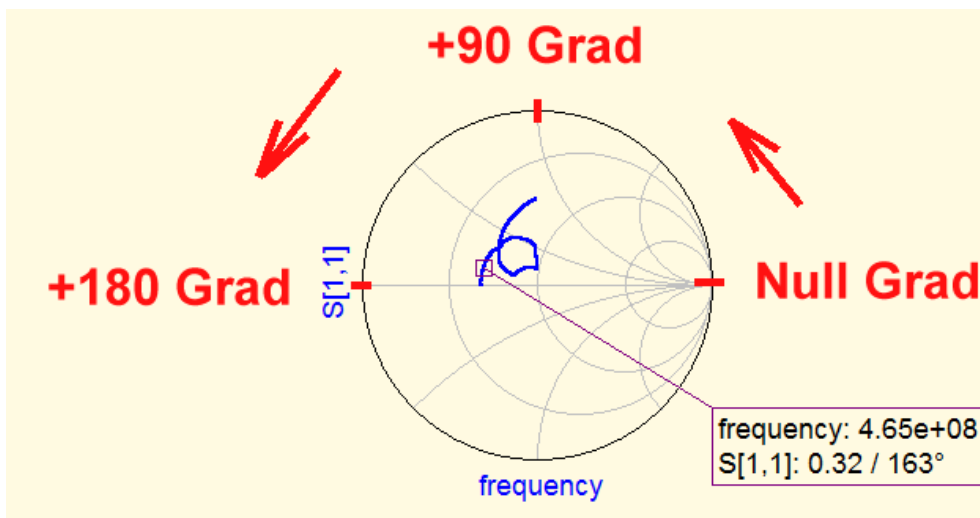
3. Kleine Tücken bei den Winkelangaben im Smithchart

Da kommt man am Anfang leicht durcheinander, denn wir haben mit dem Smithchart ein Diagramm vor uns, bei dem zwei Dinge miteinander verknotet wurden:

a) Die zu einer Eingangs- oder Ausgangsreflektion (= S_{11} bzw. S_{22}) gehörenden **Impedanzen** sind in der **oberen Diagrammhälfte** immer **induktiv** und deshalb kann es bei der Angabe als „Magnitude und Phase“ nur Werte zwischen **Null und +90 Grad** geben.

Bei **kapazitivem** Verhalten befinden wir uns in der **unteren Diagrammhälfte** und da gibt es nur Phasenwinkel zwischen **Null und -90 Grad**.

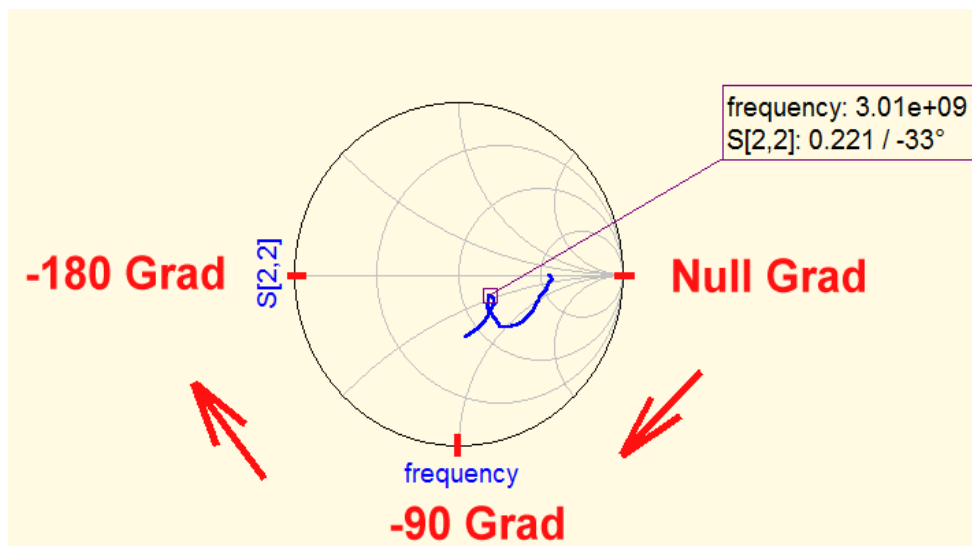
b) Die Grundstruktur und **die Anzeige** des Smithcharts basiert aber auf dem **Reflektionsfaktor „r“** und da muss man deutlich aufpassen:



So sieht das für einen dargestellten **S Parameter „S11“** eines MMICs aus. Auch hier arbeitet man mit Betrag und Phase, **aber der Nullpunkt liegt rechts und der Phasenwinkel wird von dort aus positiv gegen den Uhrzeigersinn von Null bis +180 Grad gezählt.**

Also haben wir es – wenn man die S_{11} -Werte später in Impedanzen umrechnet – mit induktiven

Blindanteilen beim Eingangswiderstand zu tun.



Hier zum Vergleich eine Ausgangsreflektion S_{22} für diesen MMIC.

Sie verläuft im unteren Teil des Diagramms und deshalb haben wir nur kapazitives Verhalten.

Die Phase von „r“ (bzw. hier: S_{22}) wird in diesem Teil von Null bis -180 Grad gezählt und die **Zählrichtung bzw. Anzeige ist der Uhrzeigersinn.**

Die Frage „Wie kann ich die Impedanz für einen bestimmten Punkt im Diagramm ablesen?“ werden wir gleich im nächsten Kapitel beantworten.

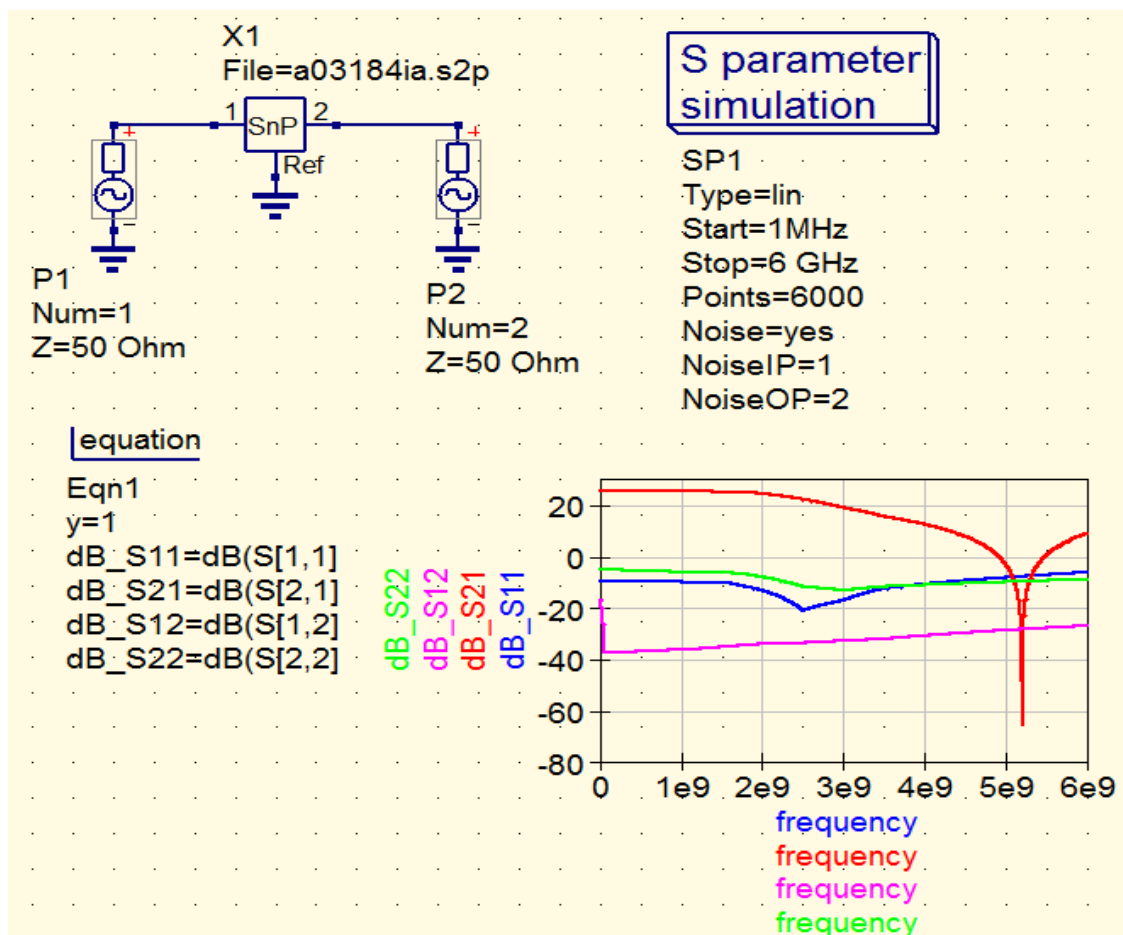
4. Wie erhalte ich die **Impedanz als Wirk- und Blindwiderstand (= Serienschaltung)** bei einem Diagramm-Punkt im Smithchart?

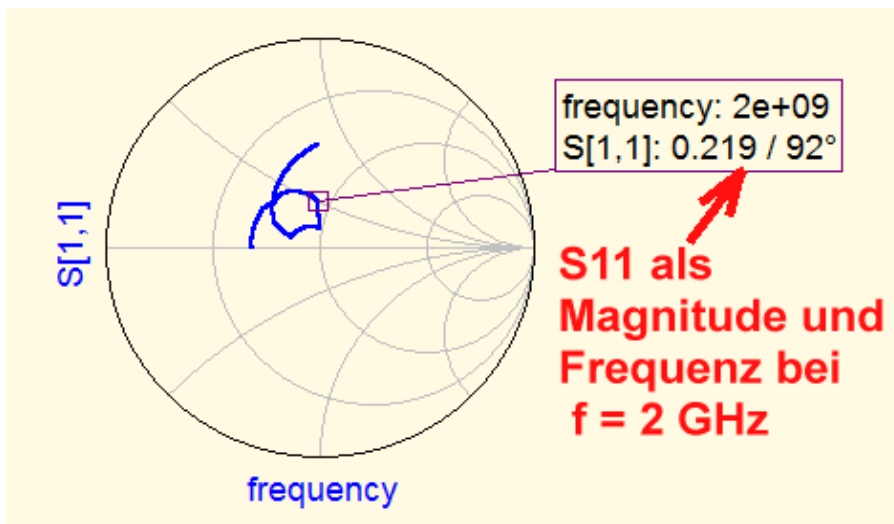
Dazu nehmen wir uns einen bekannten und klassischen MMIC als Beispiel vor, den es schon lange gibt (= INA03184), und simulieren die S-Parameter. Dazu findet man im Internet in der Agilent-Avago-Homepage folgende Datei mit dem Namen „a03184ia.s2p“:

```
=====
!   INA-03184      S PARAMETERS
!   Id = 10 mA     LAST UPDATED 07-22-92

# ghz S ma r 50
0      .32  180  19.2  0   0.14  0   0.55  0
0.05   .32  179  19.14 -3   .014  3   .55  0
0.10   .32  176  19.05 -7   .014  4   .57  -3
0.20   .32  172  19.05 -14  .014  6   .55  -5
0.40   .32  165  18.78 -29  .014  10  .53  -11
0.60   .32  158  18.71 -43  .015  11  .51  -14
0.80   .32  151  18.53 -57  .015  13  .51  -17
1.00   .32  144  18.18 -72  .016  21  .50  -20
1.20   .30  135  18.27 -86  .016  25  .50  -23
1.40   .31  126  18.10 -102 .017  30  .49  -29
1.60   .30  117  17.92 -117 .018  38  .48  -34
1.80   .26  102  17.49 -135 .019  44  .45  -41
2.00   .22  92   16.62 -153 .020  49  .40  -50
2.50   .09  91   12.88  168 .021  57  .26  -48
3.00   .14  160   8.79  134 .023  65  .22  -33
3.50   .24  151   5.92  108 .025  69  .26  -33
4.00   .29  139   4.18  87  .029  81  .28  -43
=====
```

Sie wird entweder von dort geholt oder man kopiert sie aus der obigen Liste in ein Textfile und speichert das Ergebnis als „a03184ia.s2p“ im zugehörigen qucsstudio-Projektordner (...Achtung: nicht vergessen, auf „ASCII“ und „Alle Dateien“ einzustellen...). Dann führen wir eine S-Parameter-Simulation im Bereich von 0...6 GHz durch.





Dann öffnen wir ein „**Impedanz-Smithchart**“ und lassen uns darin **S11** darstellen. Mit einem **Frequenzmarker** kennzeichnen wir den Punkt für eine **Frequenz von f = 2 GHz**.

(Der Marker lässt sich nach einem linken Mausklick markieren und dann entweder mit den waagrechten Pfeiltasten an der Kurve entlang schieben oder bei gedrückter linker Maustaste zum gewünschten Frequenzpunkt „ziehen“).

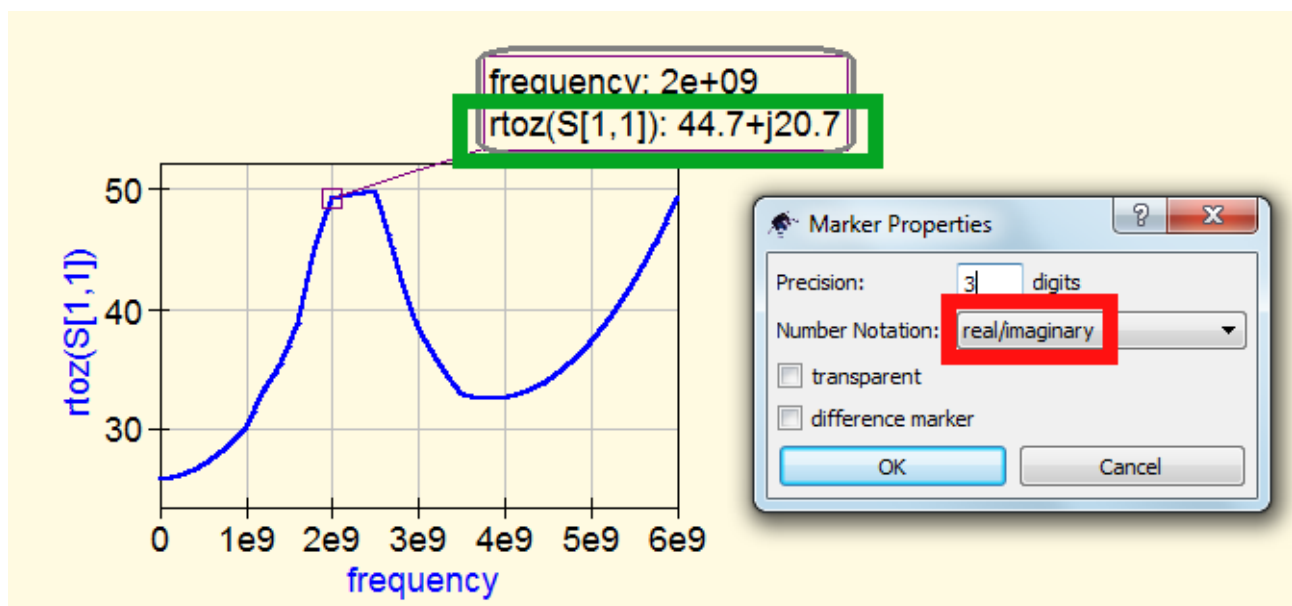
Anschließend öffnet man zusätzlich ein kartesisches Diagramm und schreibt in die Zeile für „Graph Properties“:

rtoz(S[1,1])

Auch auf dieser Kurve positionieren wir einen Marker, markieren ihn durch einen linken Mausklick und schieben ihn auf f = 2 GHz. Anschließend klicken wir „mit rechts“ auf das Markerfeld, um die Properties zu editieren. Darin stellen wir unter „number notation“ auf „**real / imaginary**“ und erhalten nach OK im Markerfeld die Ersatz-Serienschaltung der Eingangsimpedanz zu

44,7Ω + j20,7Ω

Das bedeutet: **44,7Ω** in Reihe mit **1,65 nH**.



5. Wie erhalte ich den Wirk- und Blindanteil des Eingangs-Leitwertes (= Parallelschaltung = **Admittanz) bei einem Diagramm-Punkt im Smithchart?**

Aufgabe:

Stellen Sie nun S11 in einem Admittanz-Smithchart (= Leitwerts-Diagramm) dar.

Markieren Sie darin den Punkt für S11 bei $f = 2 \text{ GHz}$

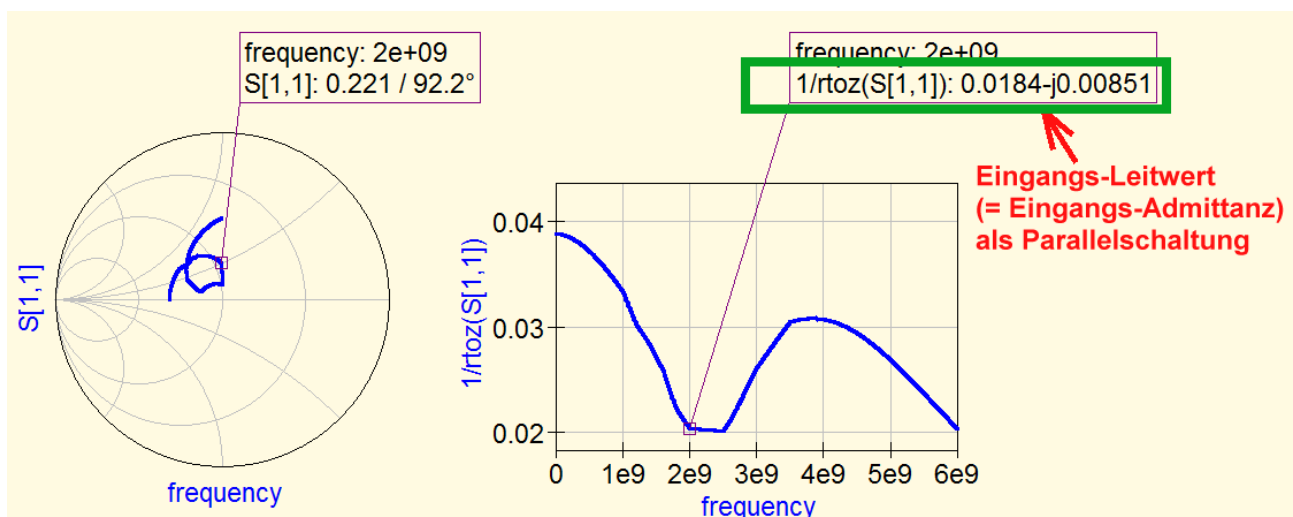
Bestimmen Sie den Wirk - und Blindleitwert dieser Parallelschaltung.

Lösung:

Zuerst holt man sich ein Admittanz-Smithchart aus dem Diagramm-Vorrat und lässt darin S11 anzeigen. Dann wird ein Marker auf die Kurve gesetzt und auf $f = 2 \text{ GHz}$ geschoben.

Anschließend brauchen wir ein kartesisches Diagramm und sorgen dafür, dass darin die **Admittanz als Kehrwert der Impedanz** präsentiert wird. Das erfolgt durch folgende Zeile bei „Graph Properties“:

$$1/\text{rtoz}(S[1,1])$$



Aus dem rechten Bild entnimmt man:

Die Eingangsimpedanz kann bei $f = 2 \text{ GHz}$ auch als **Parallelschaltung** eines

Wirkleitwertes mit $0,0184 \text{ Siemens}$ (= $54,34 \Omega$)

und

eines induktiven Blindleitwertes von $-j0,00851 \text{ Siemens}$ dargestellt werden. Der entspricht bei $f = 2 \text{ GHz}$ einem induktiven Widerstand von $117,5 \Omega$ und damit einer Induktivität von $9,35 \text{ nH}$.

Bitte nachmachen und nachrechnen...