

HAM RADIO 2013

HAM RADIO



FRIEDRICHSHAFEN

高周波デザインにおける、 Sパラメータの測定および応用

PROF. DR. THOMAS BAIER

E-mail: baier@hs-ulm.de

DG8SAQ

Hochschule Ulm

Prittwitzstrasse 10

89075 Ulm

University of Applied Sciences

Ulm

Germany

Technik

Informatik & Medien

Hochschule Ulm



University of
Applied Sciences

尚、本文献では、数字の小数点は、(カンマ) で表しております。米国/日本式では
ごさいませんのでご注意願います。 抄訳 ICAS Enterprises

公演内容

- スキャタリング (S) パラメータ
- 休憩
- VNAによるSパラメータの測定
- 応用例

謝辞：

- Eric Hecker
- Kurt Poulsen

- Gerfried Palme
- Alan Rowe

- Jan Verduyn
- Jim Tonne

Hochschule Ulm



Sパラメータとは何か？

1. 直流への異なった角度からのアプローチ
2. 電圧/電流ではなく、aとbを使用
3. 複素反射係数
4. Sパラメータ

Sパラメータは恐れるに足りません！

$$U = R \cdot I$$

Ohm

$$b = S \cdot a$$

S-Par.

反応

システム

励起



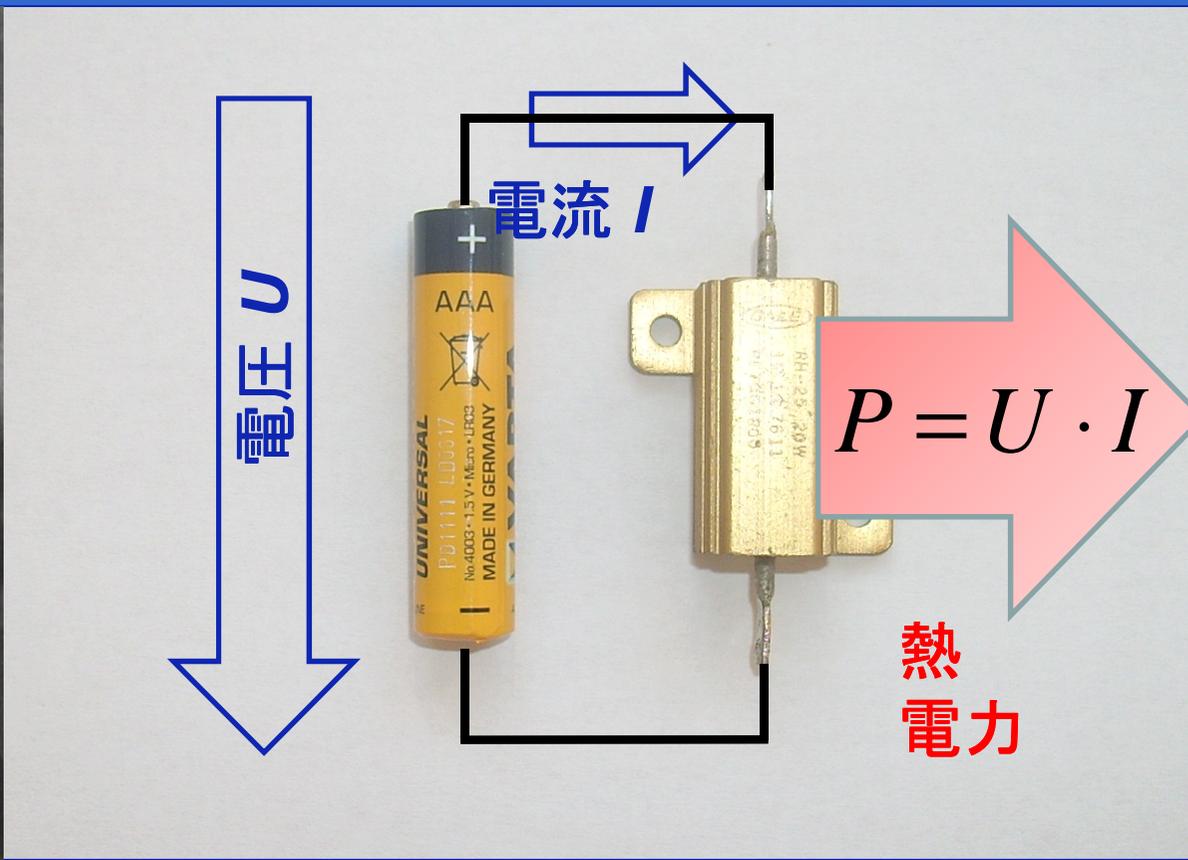
同等のことを表
していません。



直流への異なった角度からのアプローチ オームの法則 (1)



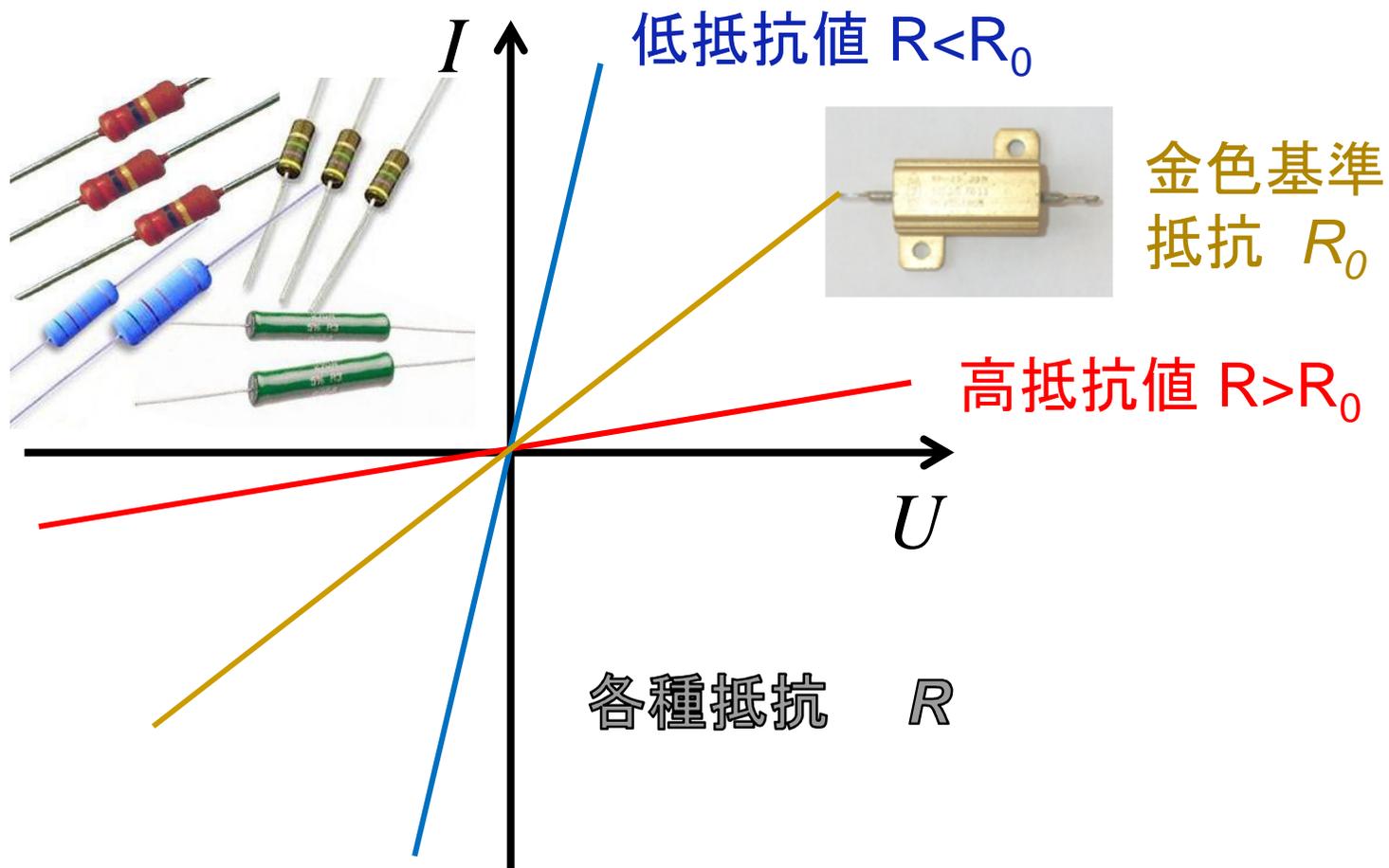
**Georg Simon Ohm
(1789-1854)**



$$U = R \cdot I$$



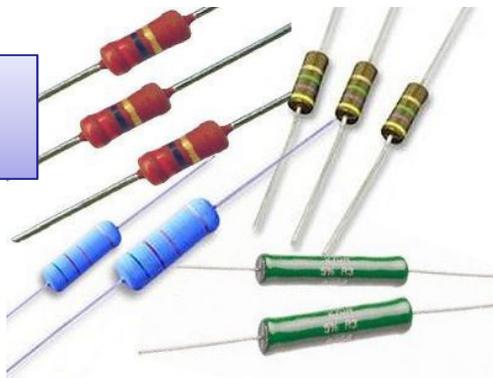
オームの法則 (2)



基準抵抗 R_0 に対して抵抗 R を正規化する

任意の抵抗を、基準抵抗 R_0 に基づき
倍数値を測定する：

抵抗 R



$$r = \frac{R}{R_0}$$

正規化値 r

抵抗 R_0



$$r_0 = \frac{R_0}{R_0} = 1$$

正規化値 1



電圧と電流の新しい単位: R_0 を介した U と I の正規化

R_0 で放散される電力 P に注目:

$$\sqrt{P} = \sqrt{U \cdot I} = \sqrt{\frac{U^2}{R_0}} = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \equiv u$$

$$= \sqrt{I^2 \cdot R_0} = I \cdot \sqrt{R_0} \equiv i$$

電圧と電流の新しい単位:

$$I \rightarrow i$$

$$U \rightarrow u$$

R_0 で放散される電力 P に注目:

$$i \equiv I \cdot \sqrt{R_0} = \sqrt{P} = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \equiv u$$

u と i は、未だ電圧と電流ですが、表示が異なります。

u と i は、同一です、つまり $\sqrt{\text{Watt}}$ です。

UIm



電圧と電流の新しい単位:

$$I \rightarrow i$$

$$U \rightarrow u$$

R_0 で放散される電力 P に注目:

$$i \equiv I \cdot \sqrt{R_0} = \sqrt{P} = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \equiv u$$

特殊なケース $u = i = \sqrt{P}$

理由: $R = R_0$

つまり $U = R_0 \cdot I$

回路中の抵抗 R_0



R_0 のかわりに任意の抵抗 R の場合

ここでもオームの法則が適用されます

$$u = r \cdot i$$

つまり:

$$\frac{u}{i} = \frac{U}{I \cdot \sqrt{R_0}} = \frac{U}{I \cdot R_0} = \frac{R}{R_0} \equiv r$$

正規化された抵抗値!

任意抵抗 R の場合!!!



任意抵抗での放散電力

$$P = u \cdot i$$

ここでも適用されます

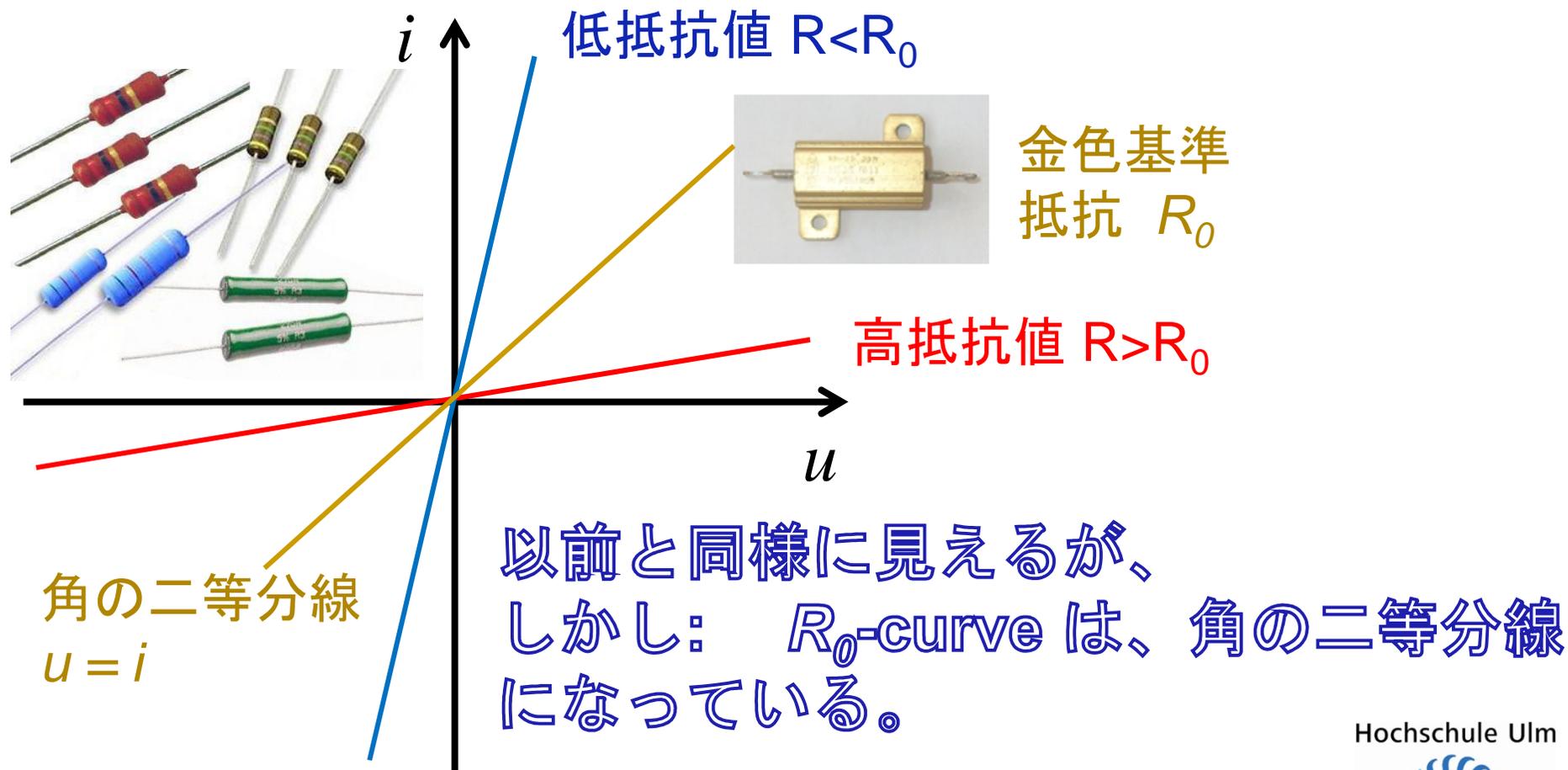
つまり:

$$u \cdot i = \frac{U}{\sqrt{R_0}} \cdot I \cdot \sqrt{R_0} = U \cdot I = P$$

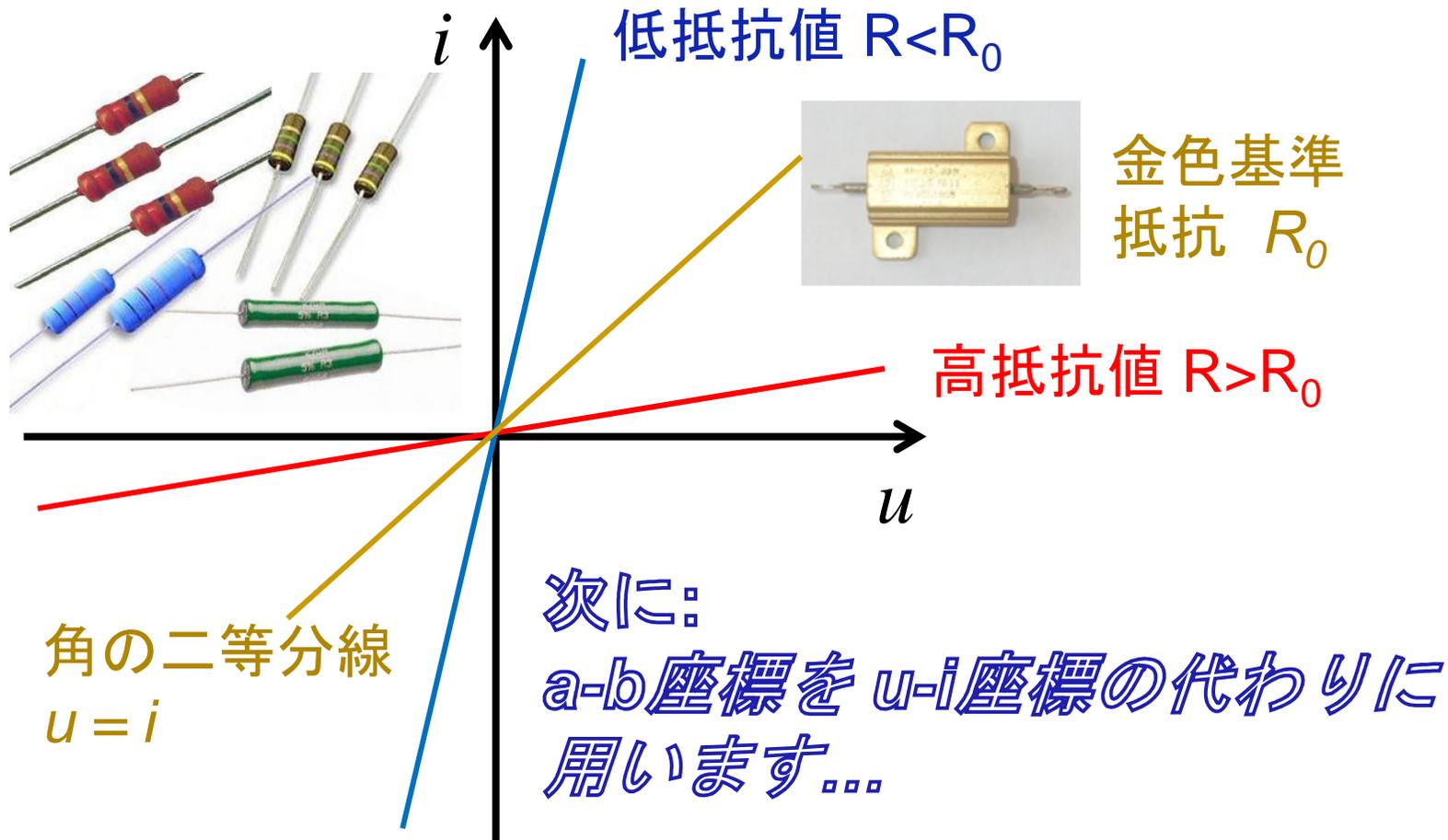
削除!

任意抵抗 R の場合!!!

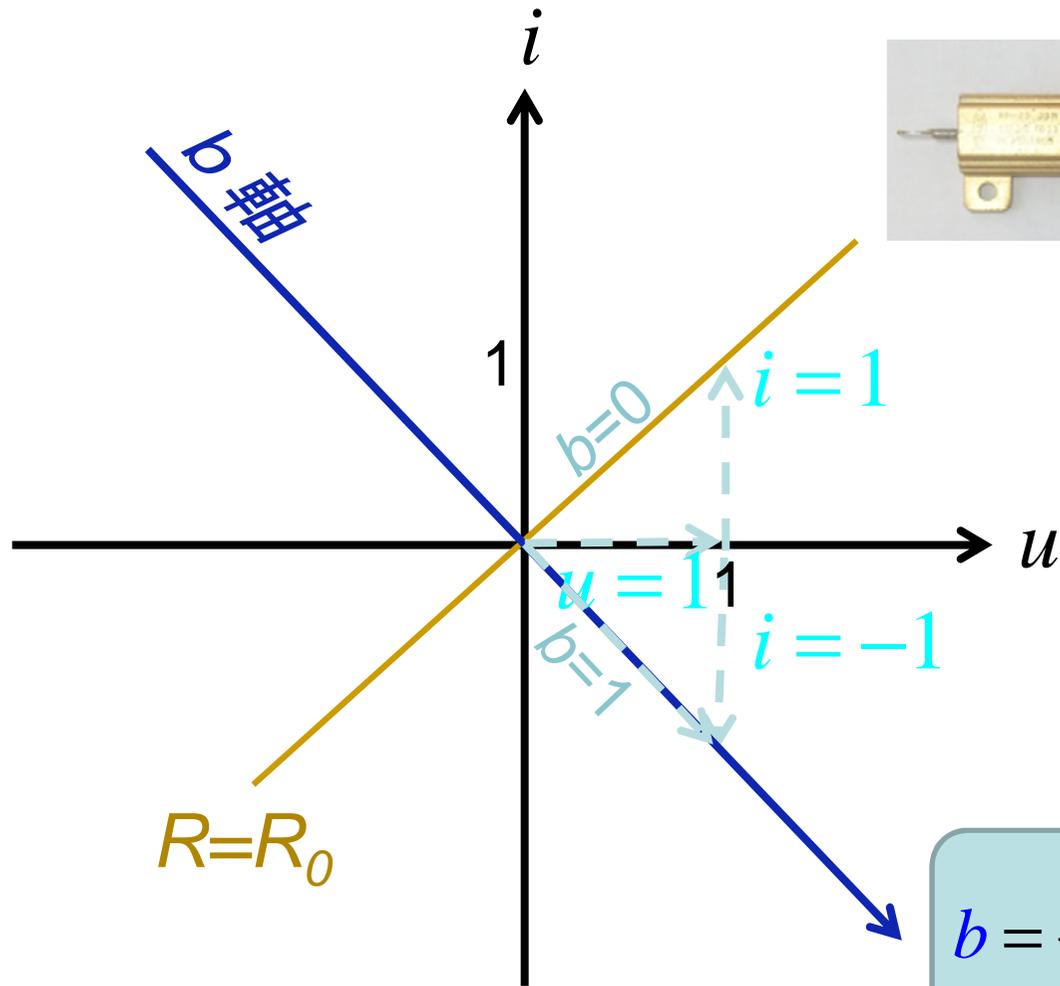
新しい単位によるオームの法則



それでは本題に入ります: 直流への異なった角度からのアプローチ...



電圧と電流から... ... b へ...

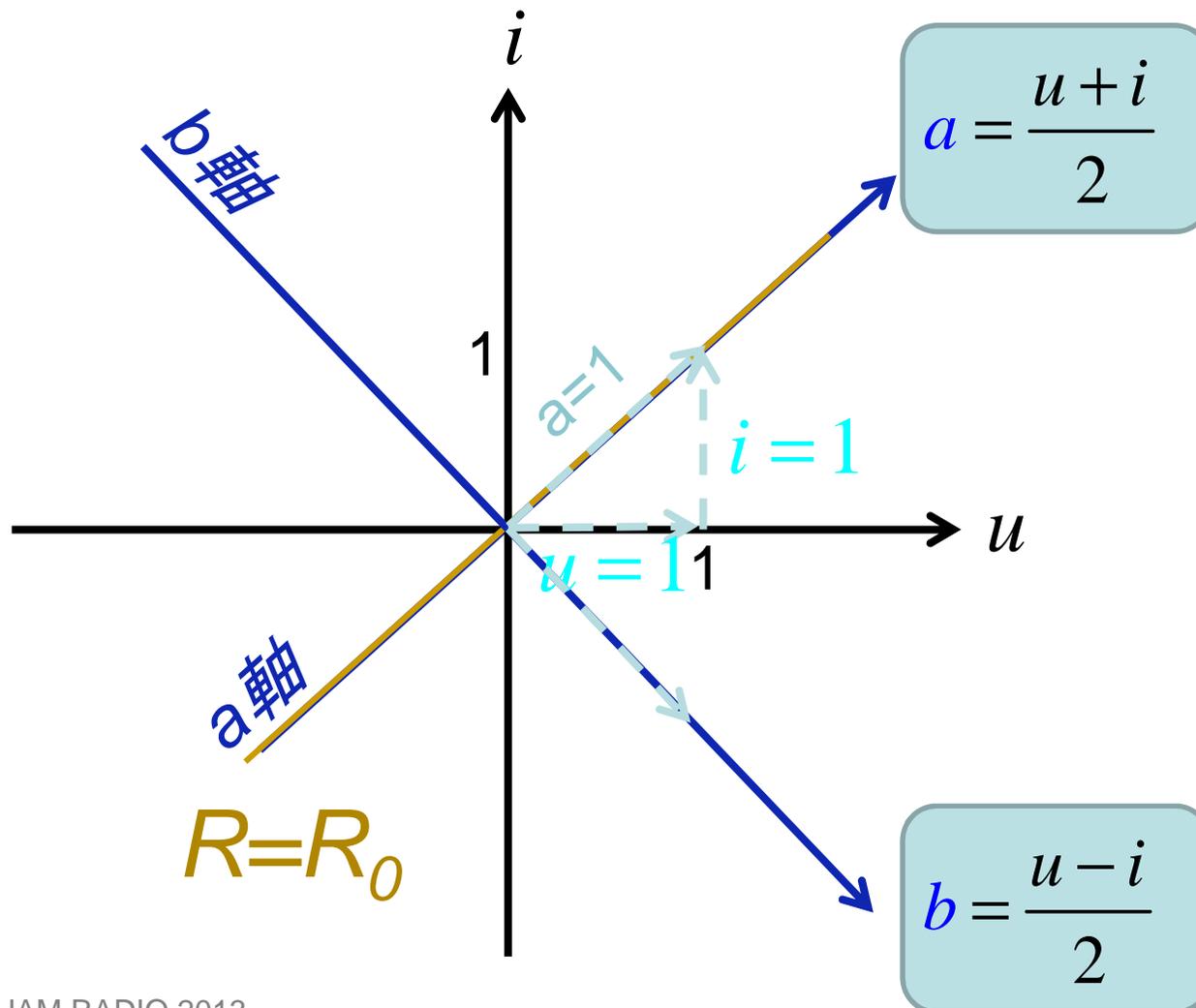


$R=R_0$ の場合、 b は
ゼロです。
つまり $u=i$ の為。

$$b = \frac{u - i}{2}$$

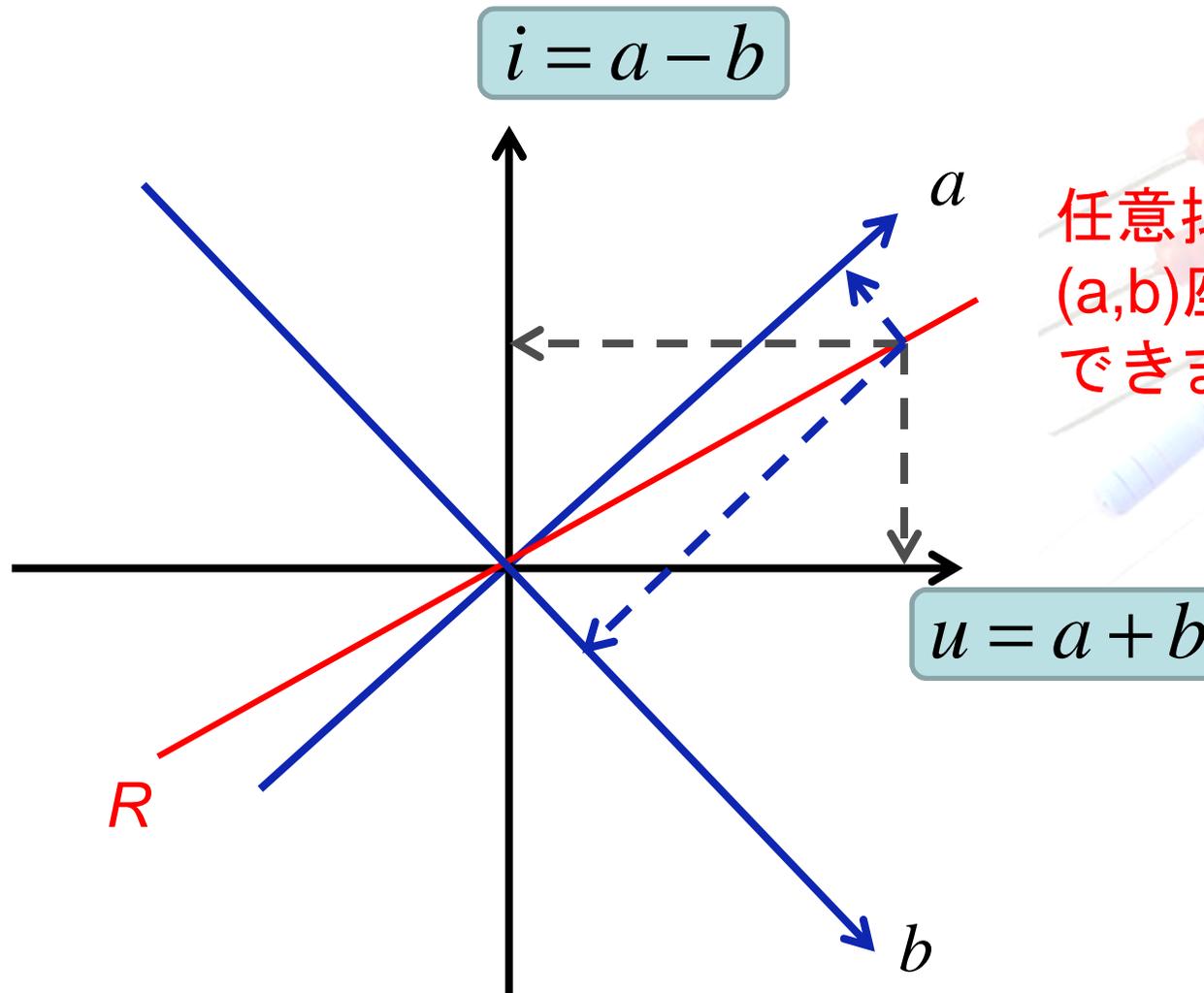


電圧と電流から... ...bへ...さらにaへ!



a軸は、b軸と
直行します。

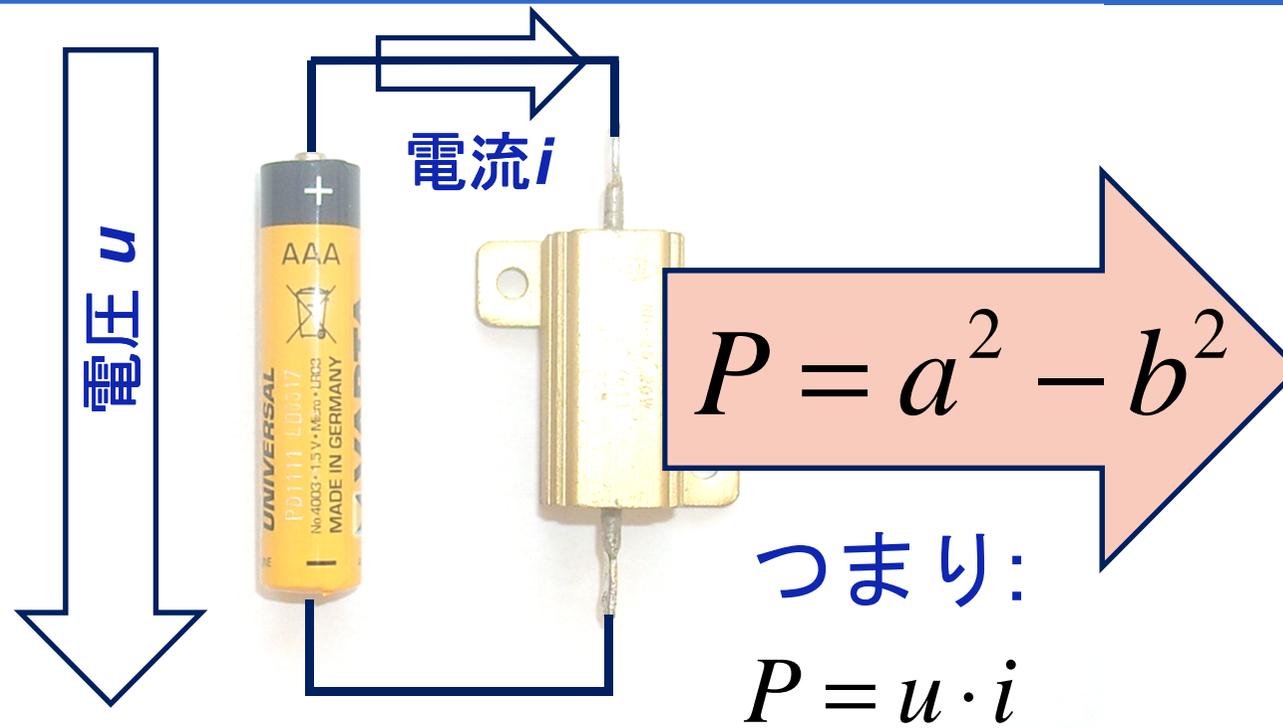
これは、逆の視点でも成立します：
a と b からの電圧と電流



任意抵抗 R は、 (u,i) 又は
 (a,b) 座標でも同様に説明
できます。



直流への異なった角度からのアプローチ: 抵抗 R での放散電力



$$R = R_0 \Rightarrow b = 0$$

$$\Rightarrow P = a^2 \text{ の場合}$$

$$= (a + b) \cdot (a - b)$$

$$= a^2 - b^2$$



結論: a と b を電圧と電流の
代わりに用いる



$$P = a^2 - b^2$$

電力 $P \leq a^2$

$b=0$ の場合, つまり $R=R_0$ で $P = a^2$ になる

a と b は、 u と i と同一の情報を持っている :

$$u = a + b \quad u + i = 2a$$

$$i = a - b \quad \Leftrightarrow \quad u - i = 2b$$



金色RF基準抵抗: 特性ラインインピーダンス Z_0



Z 中で最大の電力が消費されるのは、
 $b = 0$ の場合、つまり $Z = Z_0$ の時で
ラインが整合状態にあります！



$a = Z$ への入射波
 $b = Z$ からの反射波

$$\left\{ \begin{array}{l} P = |a|^2 - |b|^2 \\ \text{and } b = 0 \\ \text{if } Z = Z_0 \end{array} \right.$$

次に交流を印加してみましょう!
 複素反射係数 $S = b/a$



$a, b =$ 複素数、交流を加えるので振幅及び位相情報を持つことになります。

$$S = \frac{b}{a} = \frac{u - i}{u + i} = \frac{\frac{u}{i} - 1}{\frac{u}{i} + 1} = \frac{z - 1}{z + 1}$$

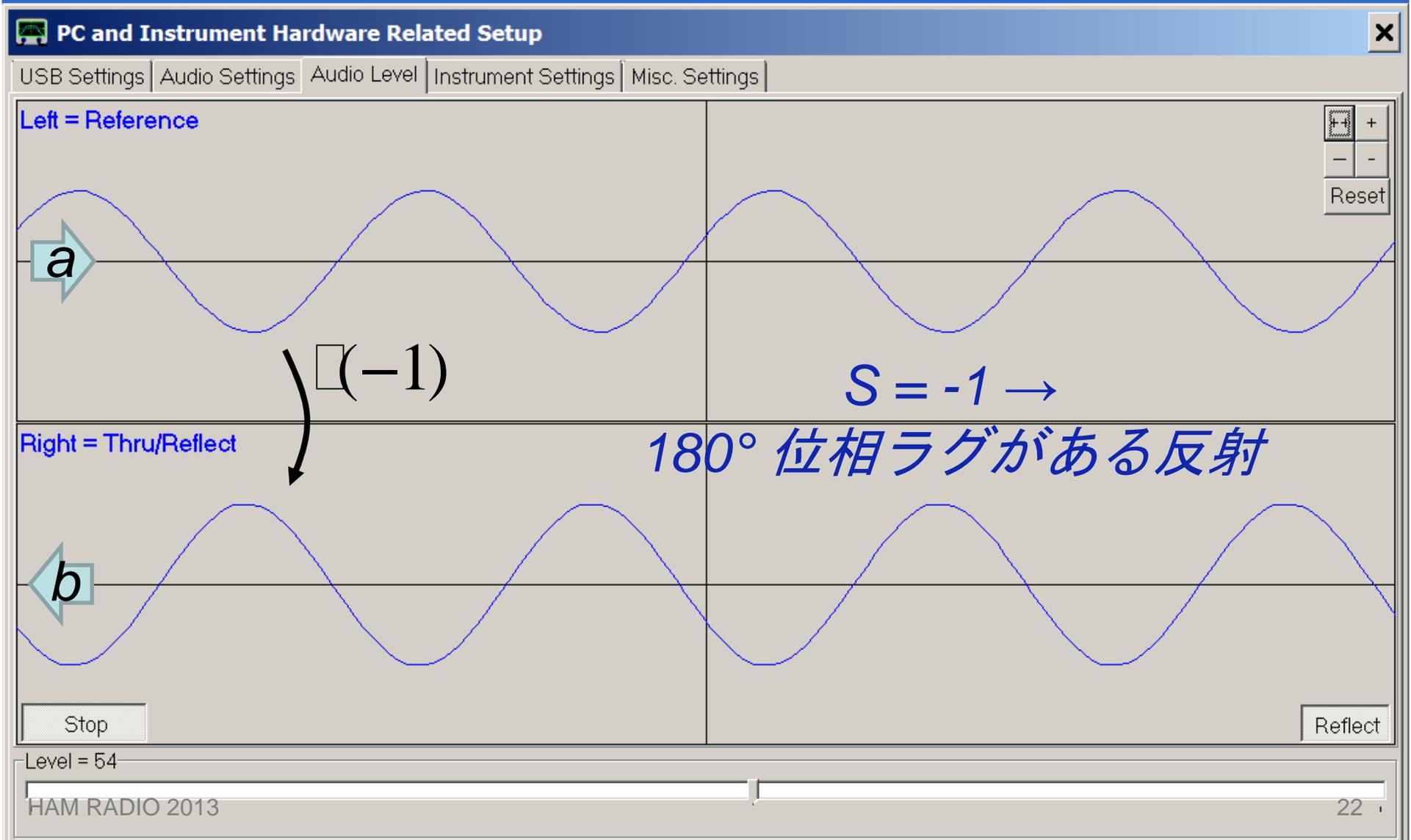
z が
右の
場合

$$z = \frac{Z}{Z_0}$$

例: ショート - $z = 0 \rightarrow S = -1$

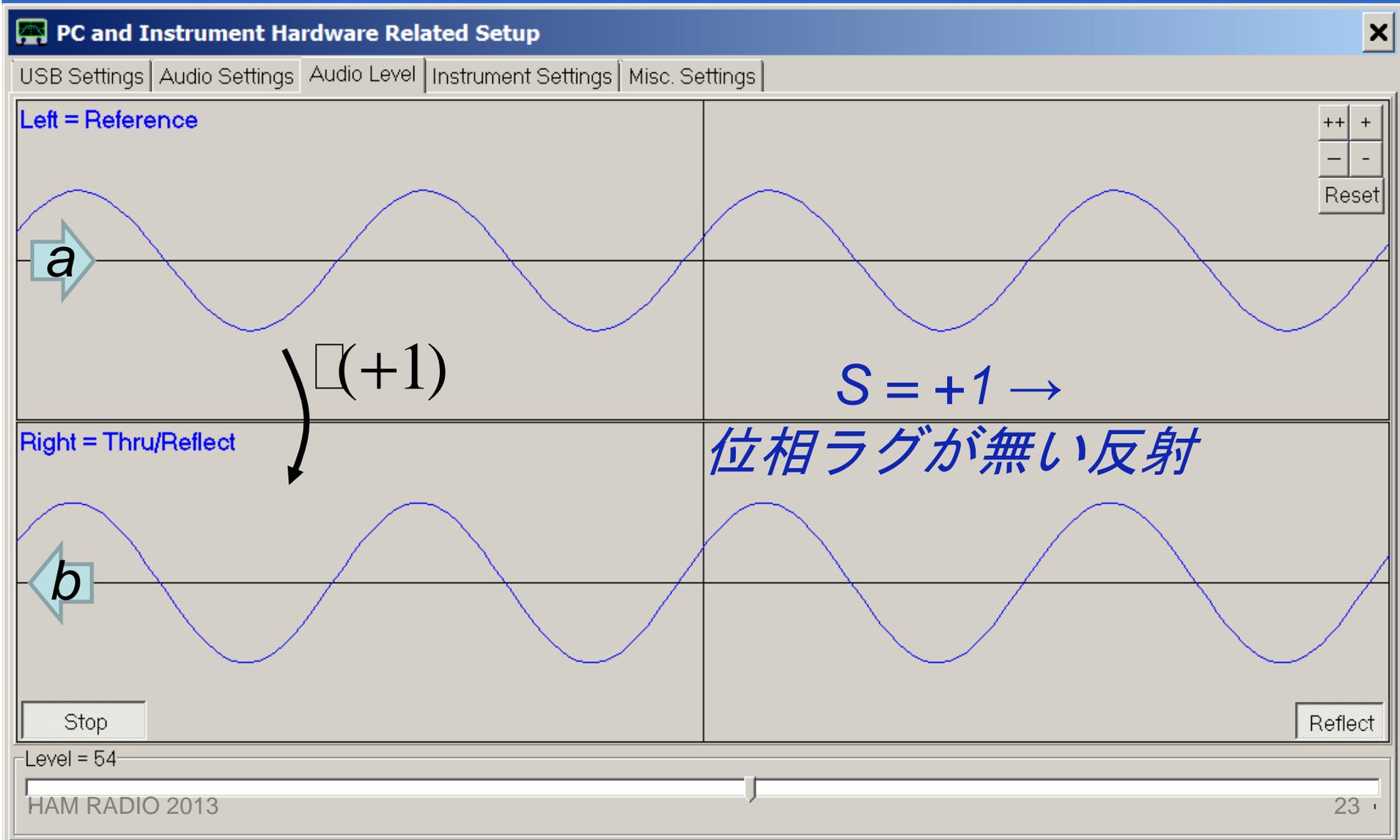
VNWAで a と b を見てみましょう

例：ショート回路 $S=-1$



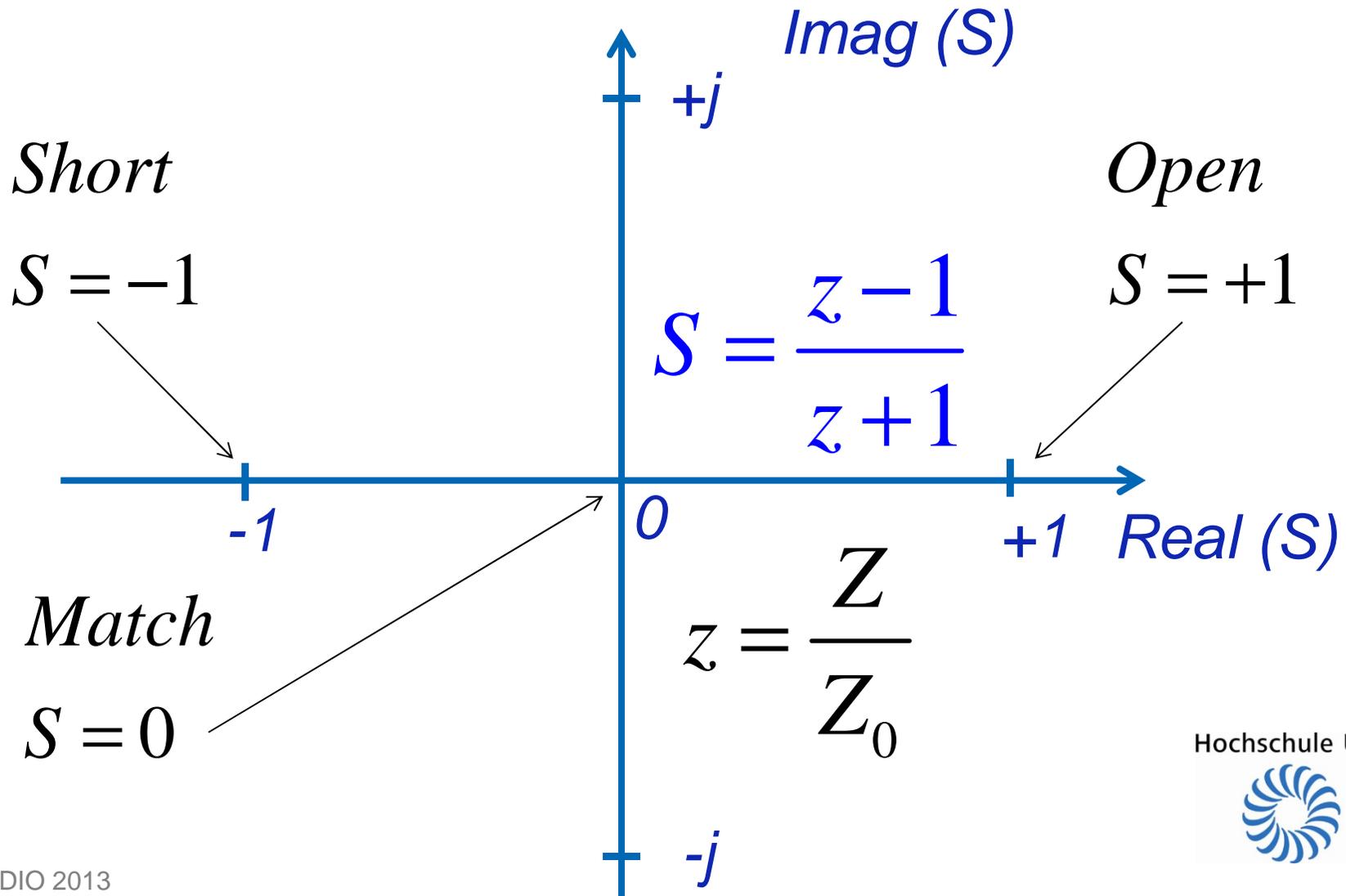
VNWAで a と b を見てみましょう

例：オープン回路 $S=+1$:

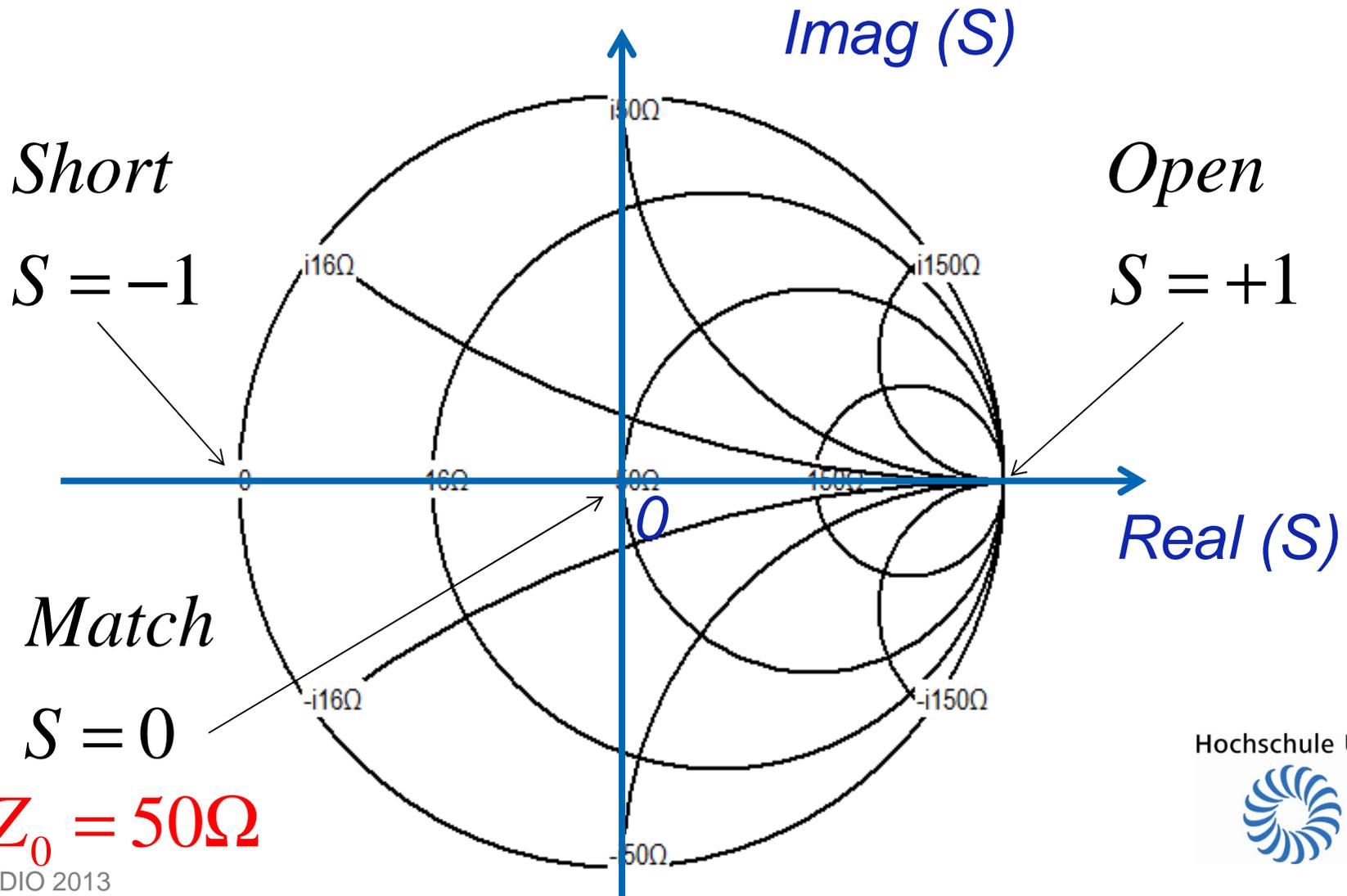


複素反射係数 $S = b/a$

...



複素反射係数 $S = b/a$ とスミスチャート

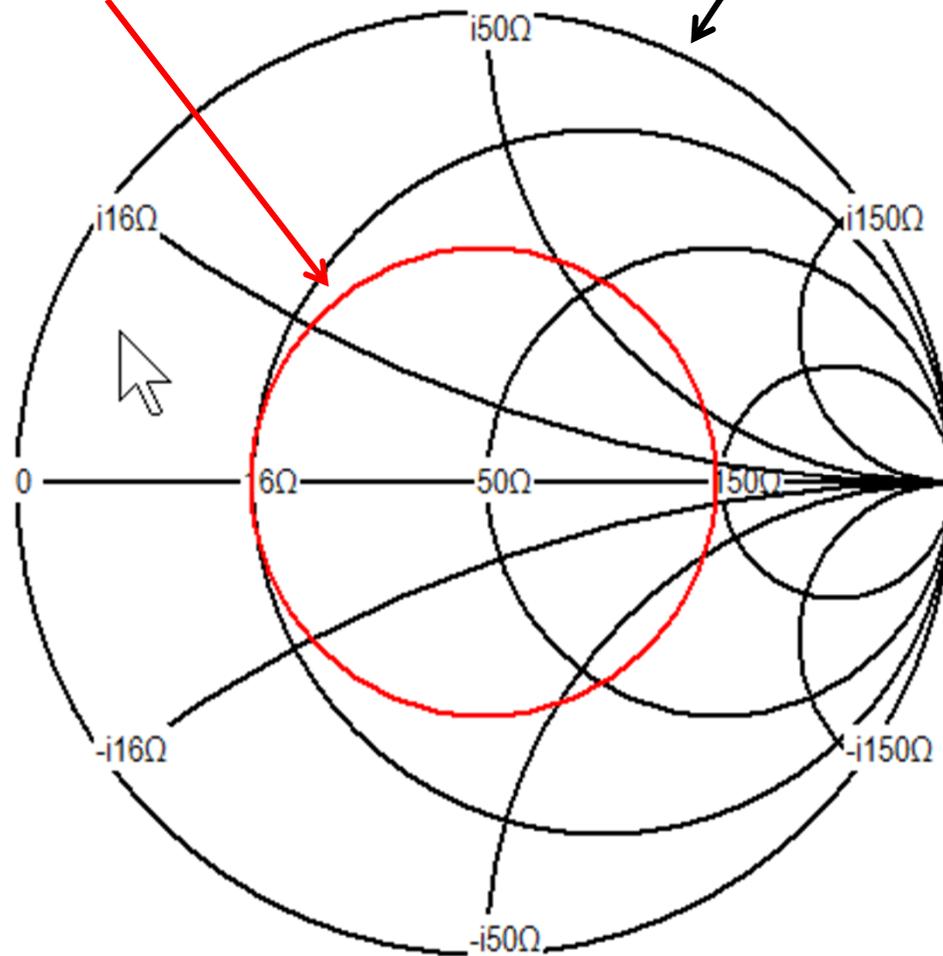


複素反射係数 $S = b/a$ と定在波比 VSWR

$|S| = 0,5$ VSWR = 3

$|S| = 1$ VSWR = ∞

0,5 · 0,5 = 25%
反射電力

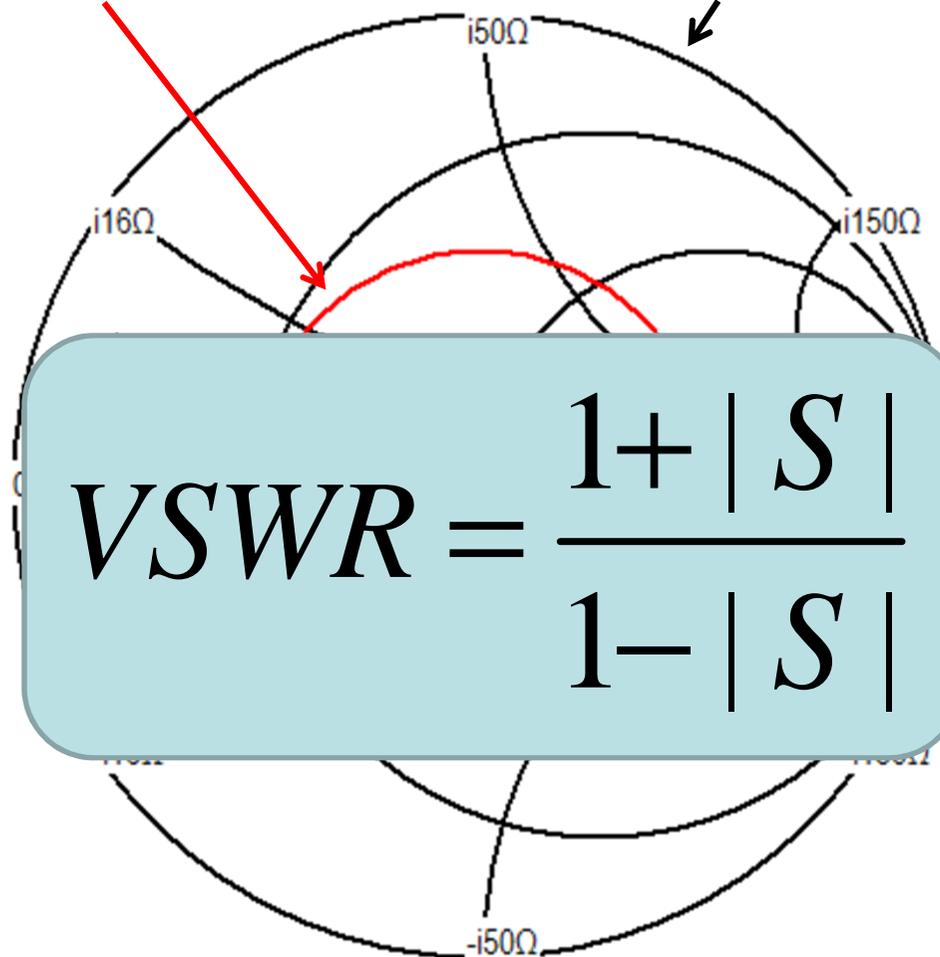


1 · 1 = 100%
反射電力

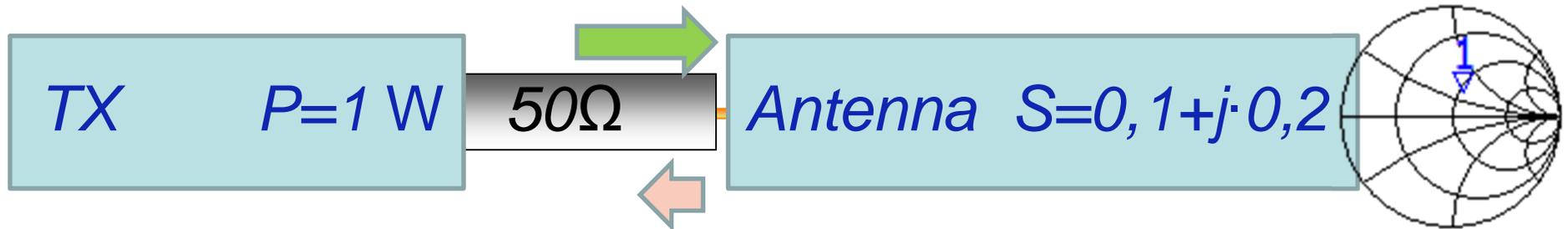
複素反射係数 $S = b/a$ と定在波比 $VSWR$

$$|S| = 0,5 \quad VSWR = 3$$

$$|S| = 1 \quad VSWR = \infty$$



複素反射係数 $S = b/a$ 算出例: 反射電力



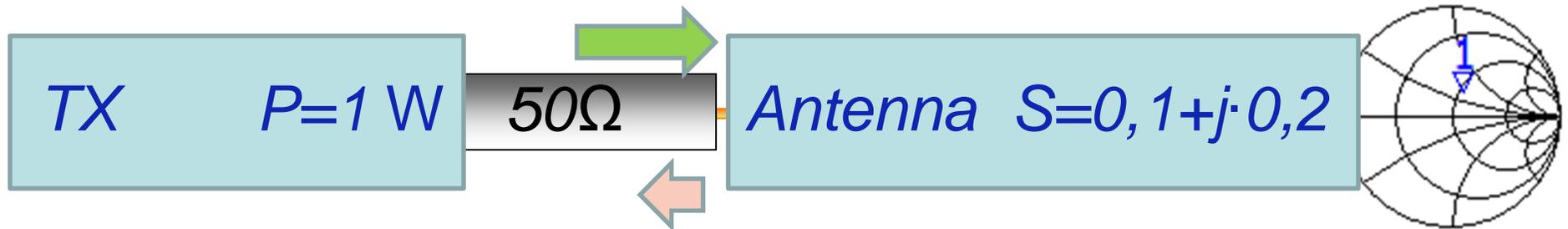
$$a = \sqrt{1\text{ W}} = 1\sqrt{\text{W}}$$

$$b = S \cdot a = (0,1 + j0,2) \cdot \sqrt{1\text{ W}} = 0,1\sqrt{\text{W}} + j0,2\sqrt{\text{W}}$$

反射電力:

$$P_r = |b|^2 = 0,1^2 + 0,2^2 \text{ W} = 0,05 \text{ W}$$

複素反射係数 $S = b/a$ 算出例: VSWR



$$a = 1\sqrt{W}$$

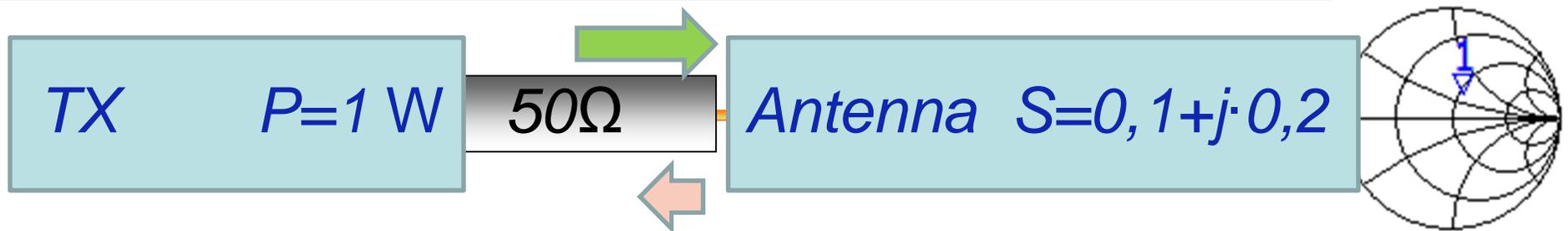
$$b = 0,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

VSWR:

$$|S| = \sqrt{0,1^2 + 0,2^2} \approx 0,22$$

$$VSWR = \frac{1 + |S|}{1 - |S|} \approx \frac{1 + 0,22}{1 - 0,22} \approx 1,6$$

複素反射係数 $S = b/a$ 算出例: アンテナ電圧



$$a = 1\sqrt{W}$$

$$b = 0,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

アンテナ側での実行電圧

$$u = a + b = 1,1\sqrt{W} + j0,2\sqrt{W}$$

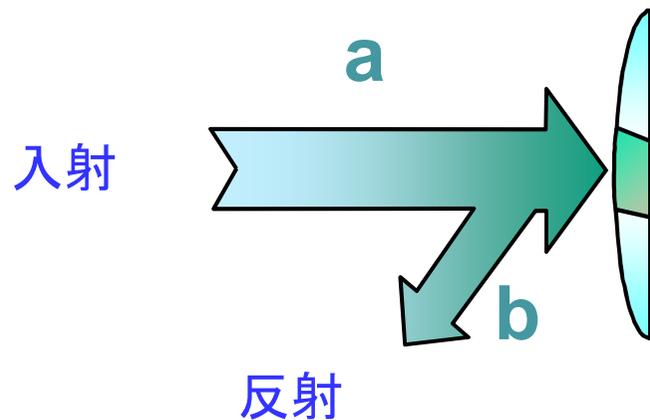
$$U = u \cdot \sqrt{Z_0} = u \cdot \sqrt{50 \Omega} \approx 7,8 \text{ V} + j1,4 \text{ V}$$

$$U_{eff} = |U| = \sqrt{7,8^2 + 1,4^2} \text{ V} \approx 7,9 \text{ V}$$

複素反射係数 $S = b/a$

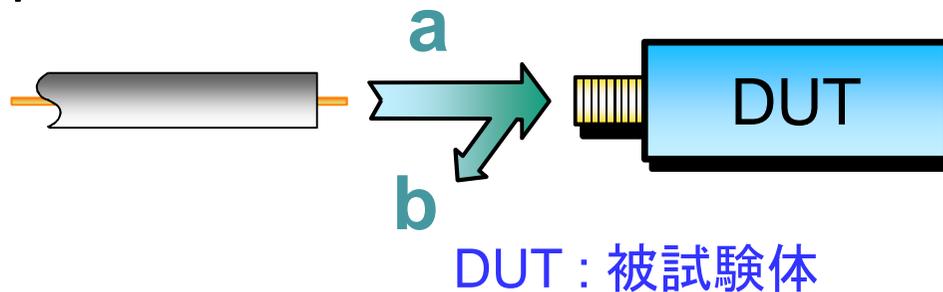
この時点でスキャッタリングパラメータと呼ぶことにします!

工学系



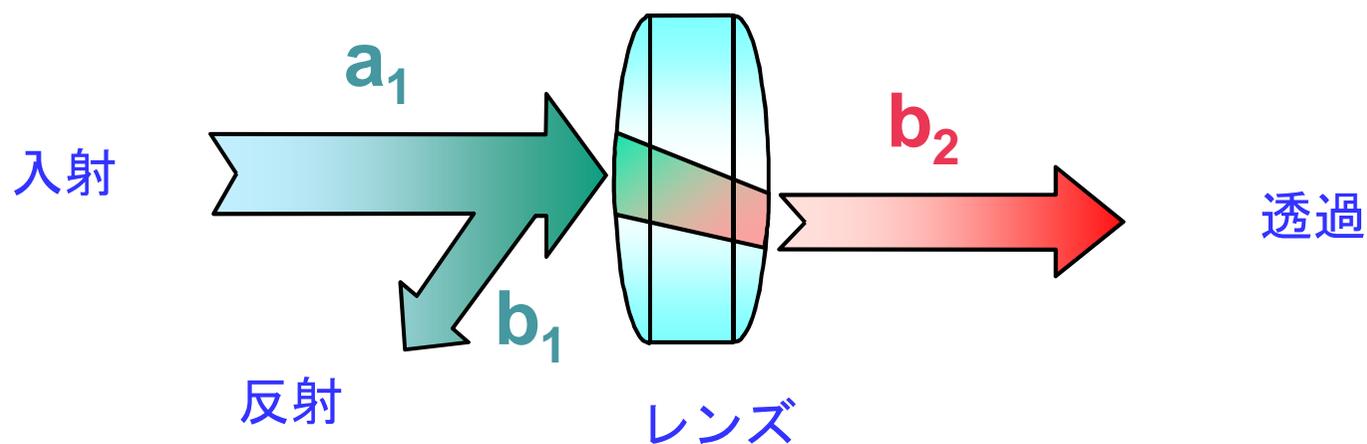
1ポートの場合
の波の分散及び
吸収

電気系

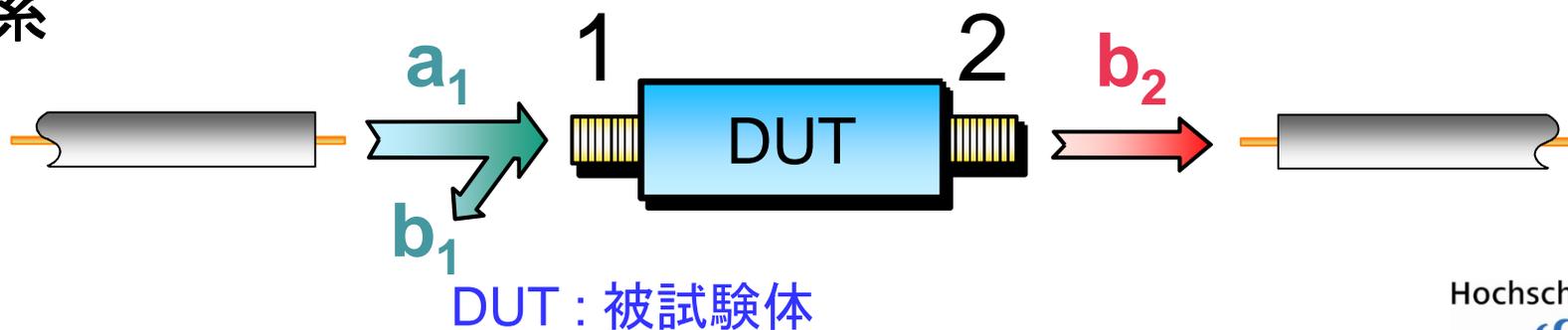


スキャタリングパラメータ、略して Sパラメータ：次は2ポートです！

工学系

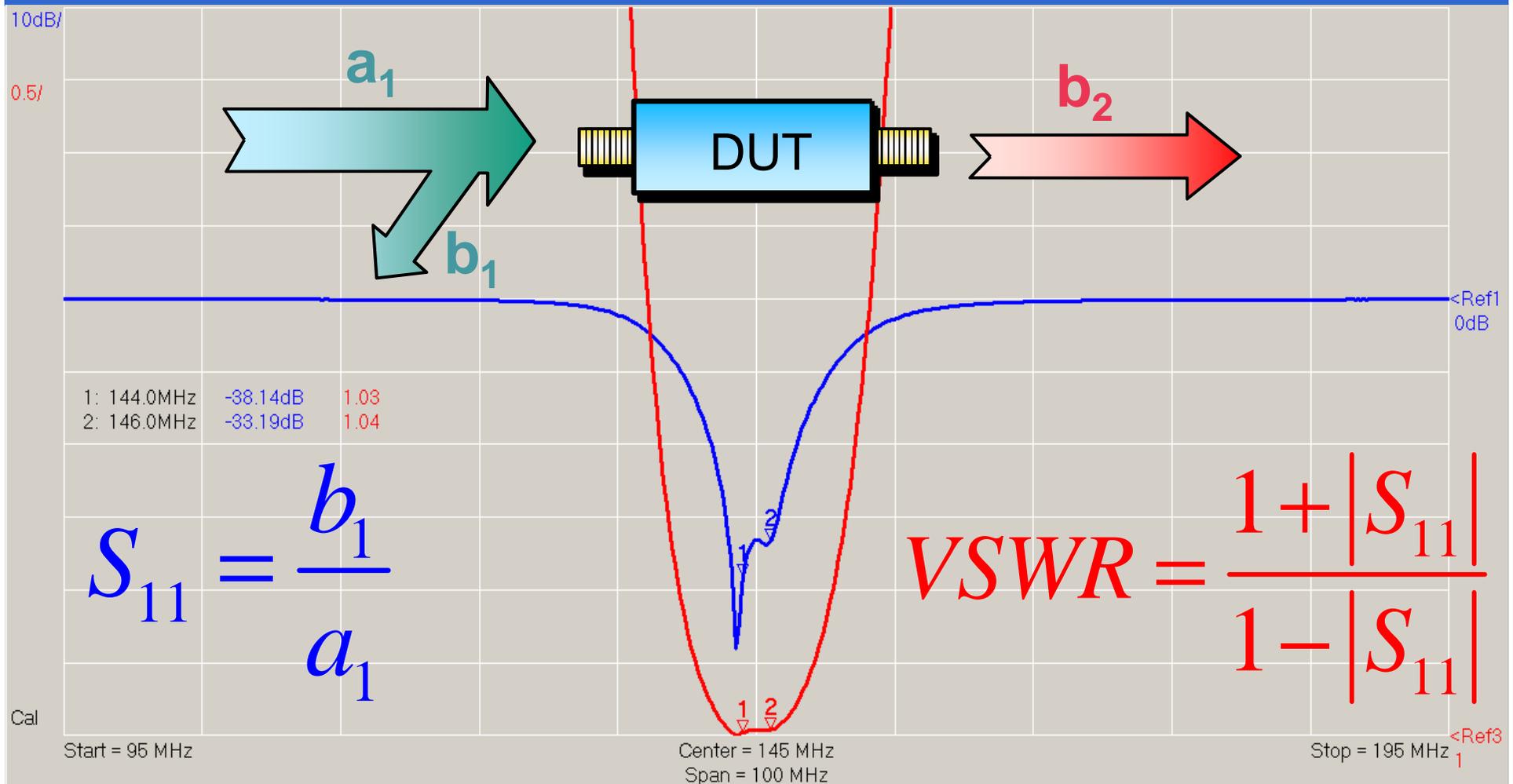


電気系



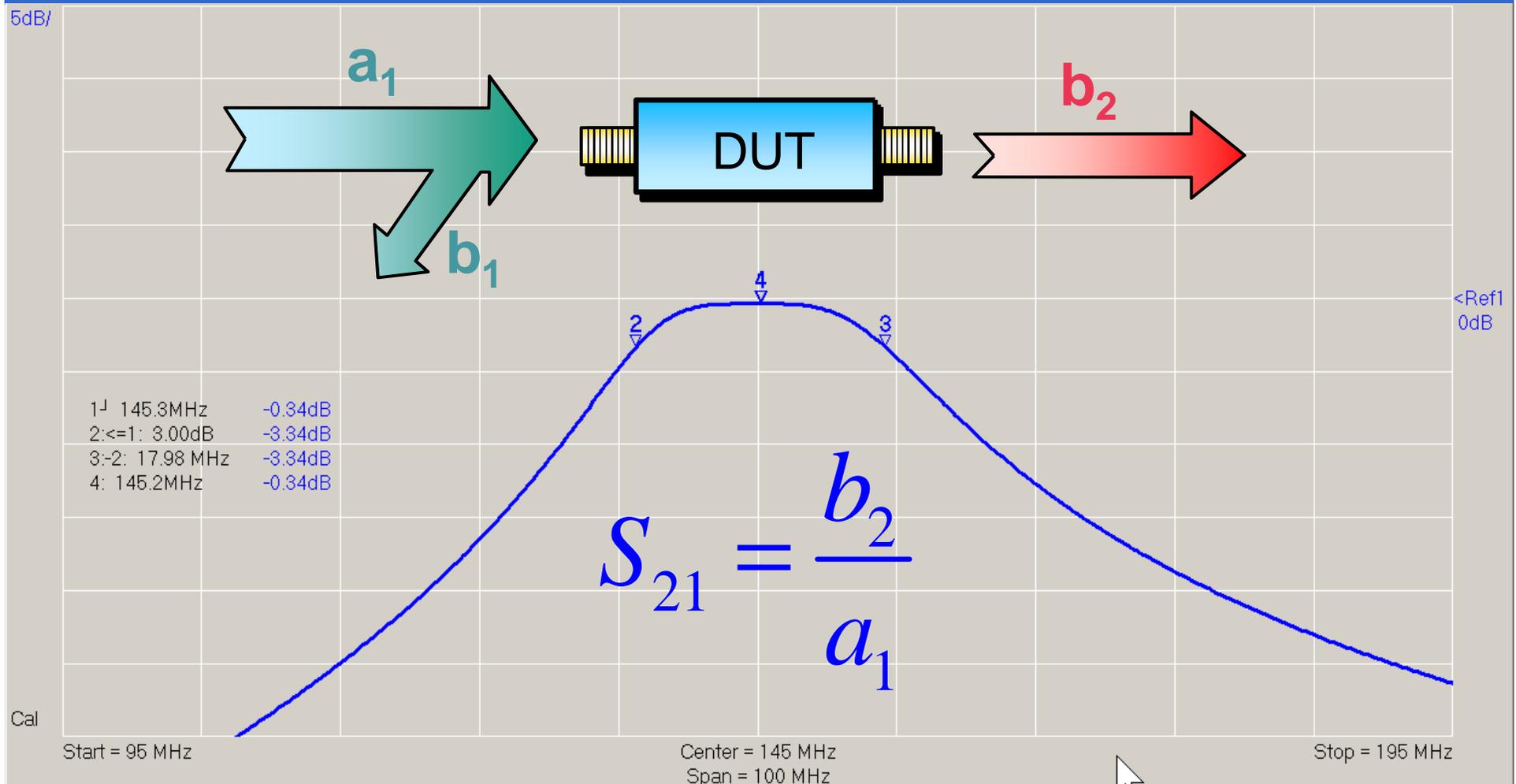
Sパラメータ S_{11} (これ以前はSと表記)

→ $|S_{11}|$ → リターンロス

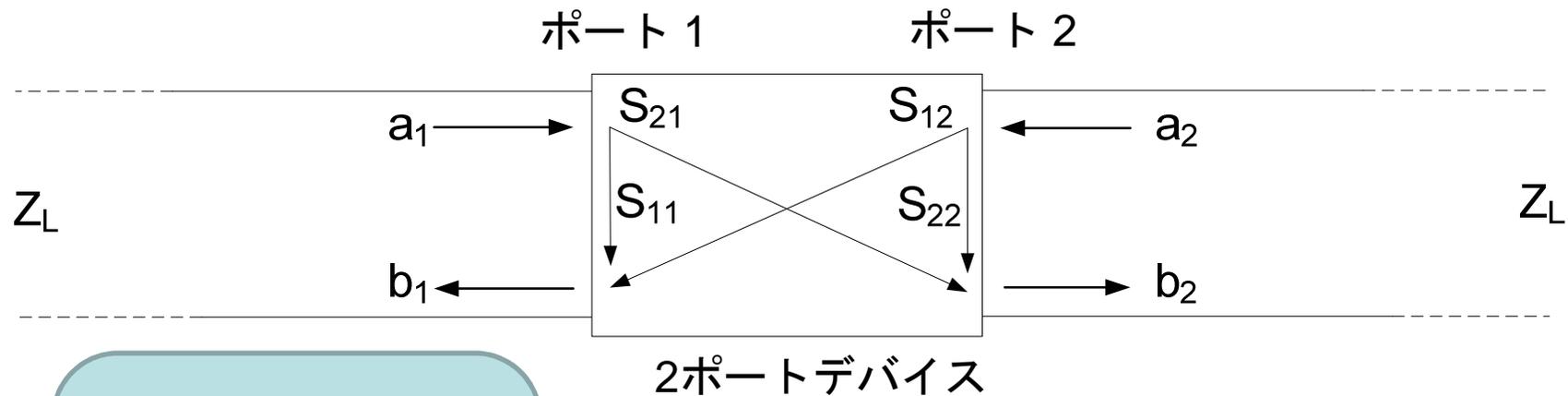


Sパラメータ S_{21}

→ $|S_{21}| =$ 送出利得



概論: Sパラメータ S_{ik}



$$S_{ik} = \frac{b_i}{a_k}$$

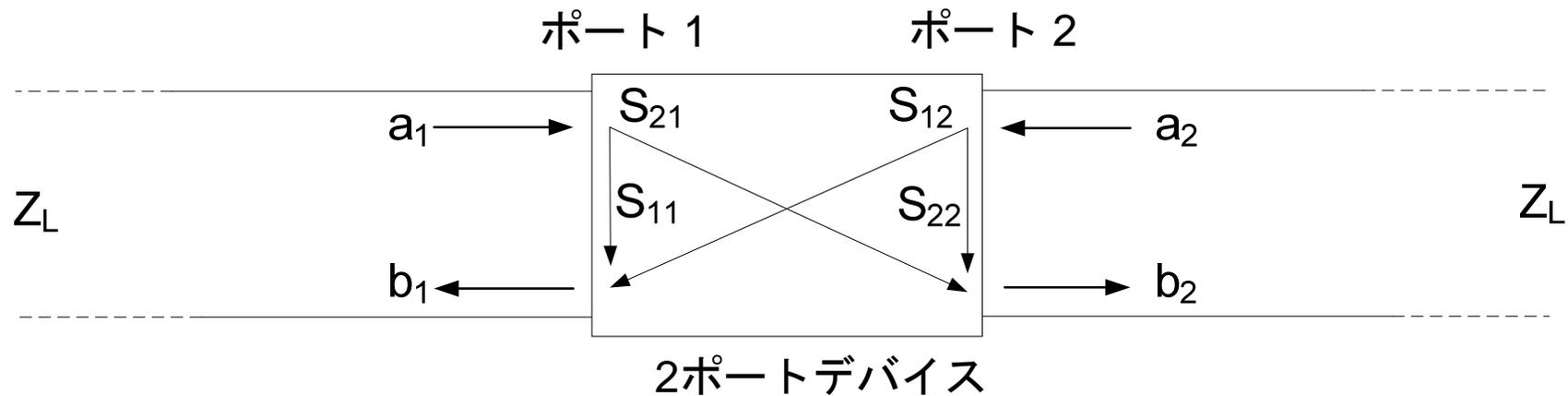
$i, k = 1 \dots$ number of ports

1... ポートの番号

Hochschule Ulm



概論: Sパラメータ S_{ik}



スキャタリングパラメータ S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22}
は完全にリニア型 2ポートデバイスを定義してくれます!
=> シミュレーションに便利

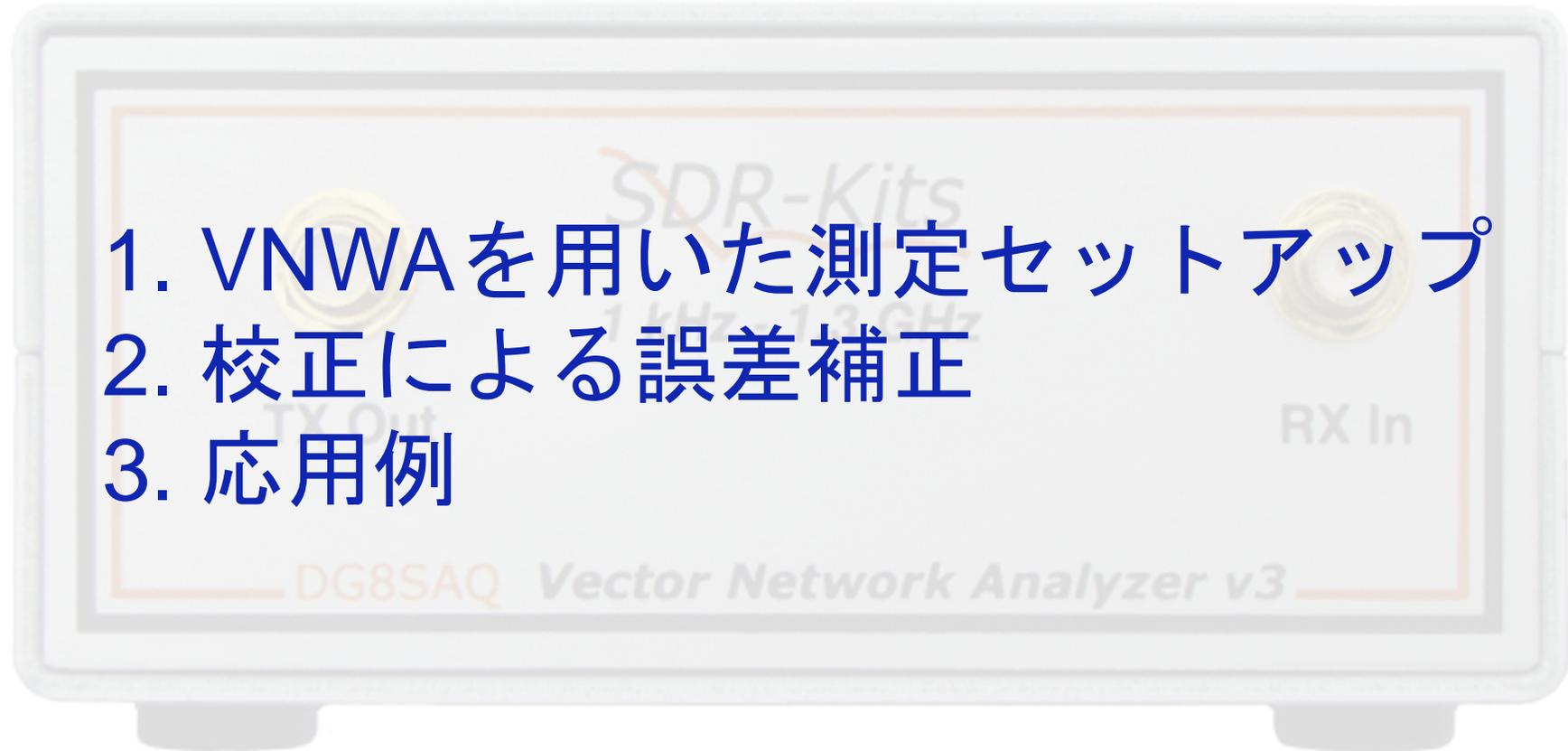


休憩 ???



ベクトルネットワークアナライザー (VNA) を用いたSパラメータの測定

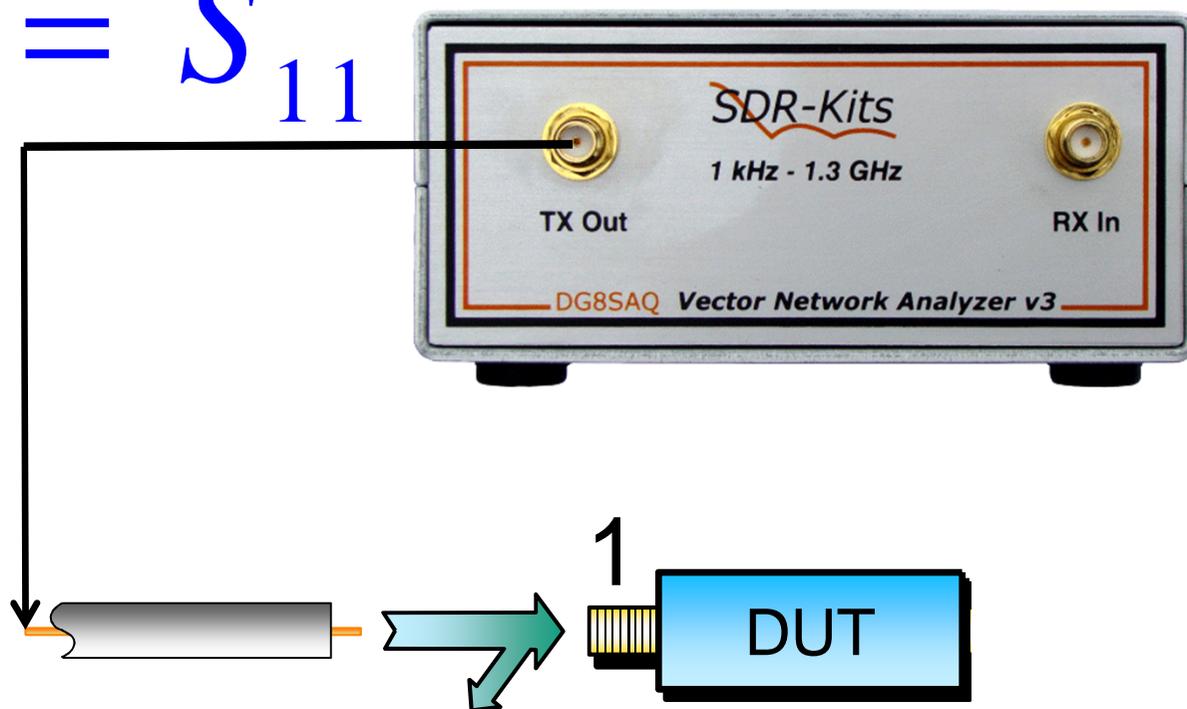
1. VNWAを用いた測定セットアップ
2. 校正による誤差補正
3. 応用例



VNWAを用いた測定セットアップ

例：1ポートデバイス

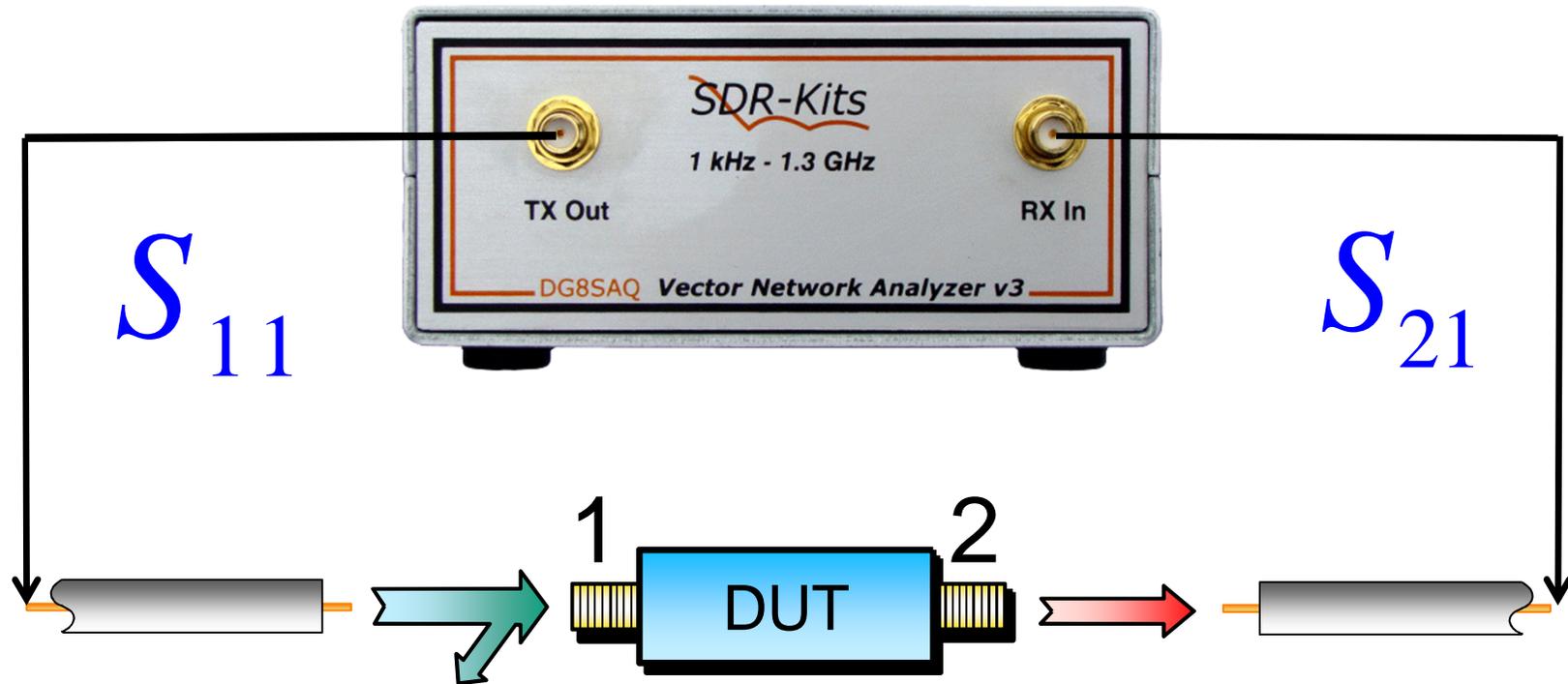
$$S = S_{11}$$



DUT : 被試験体

VNWAを用いた測定セットアップ

例： 2ポートデバイス – フォワード（順行）



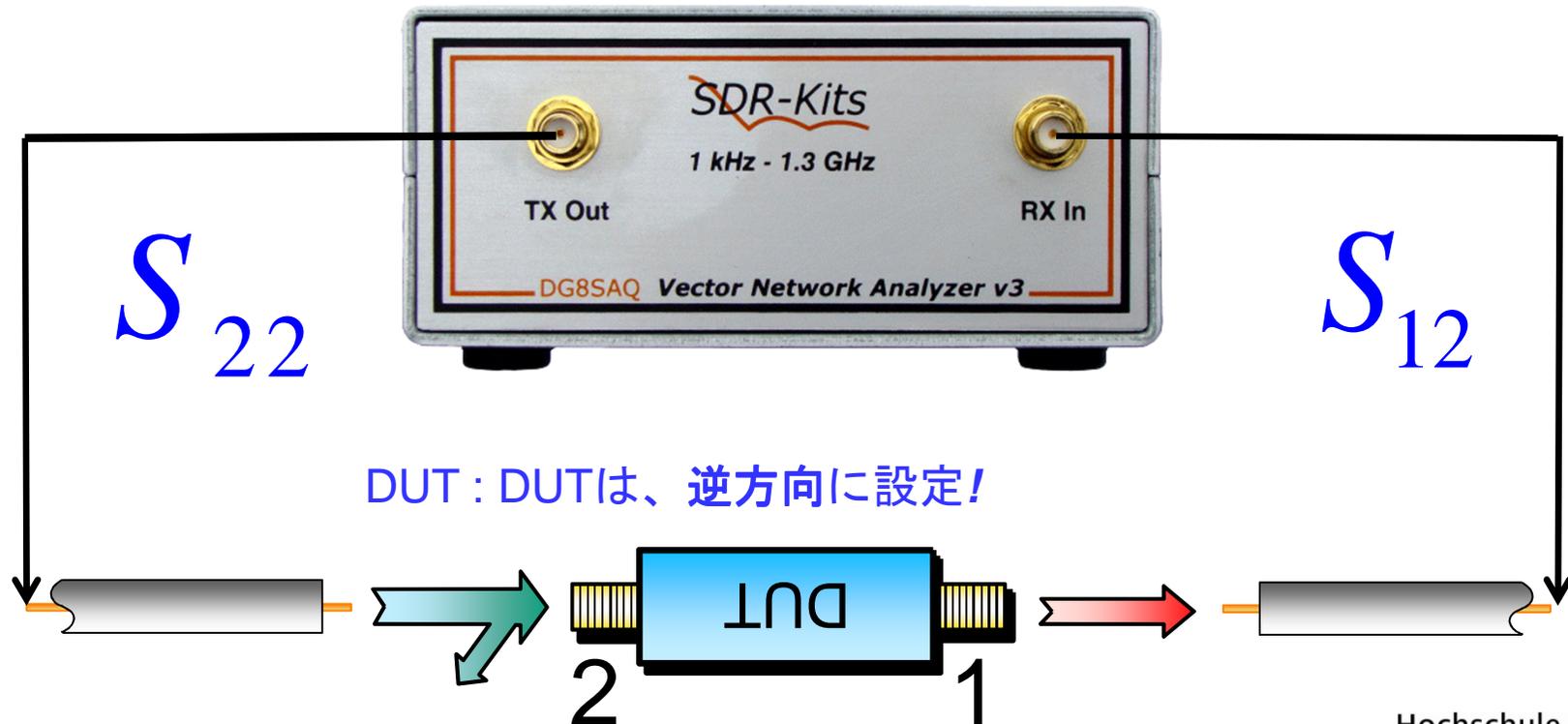
DUT : 被試験体

Hochschule Ulm



VNWAを用いた測定セットアップ

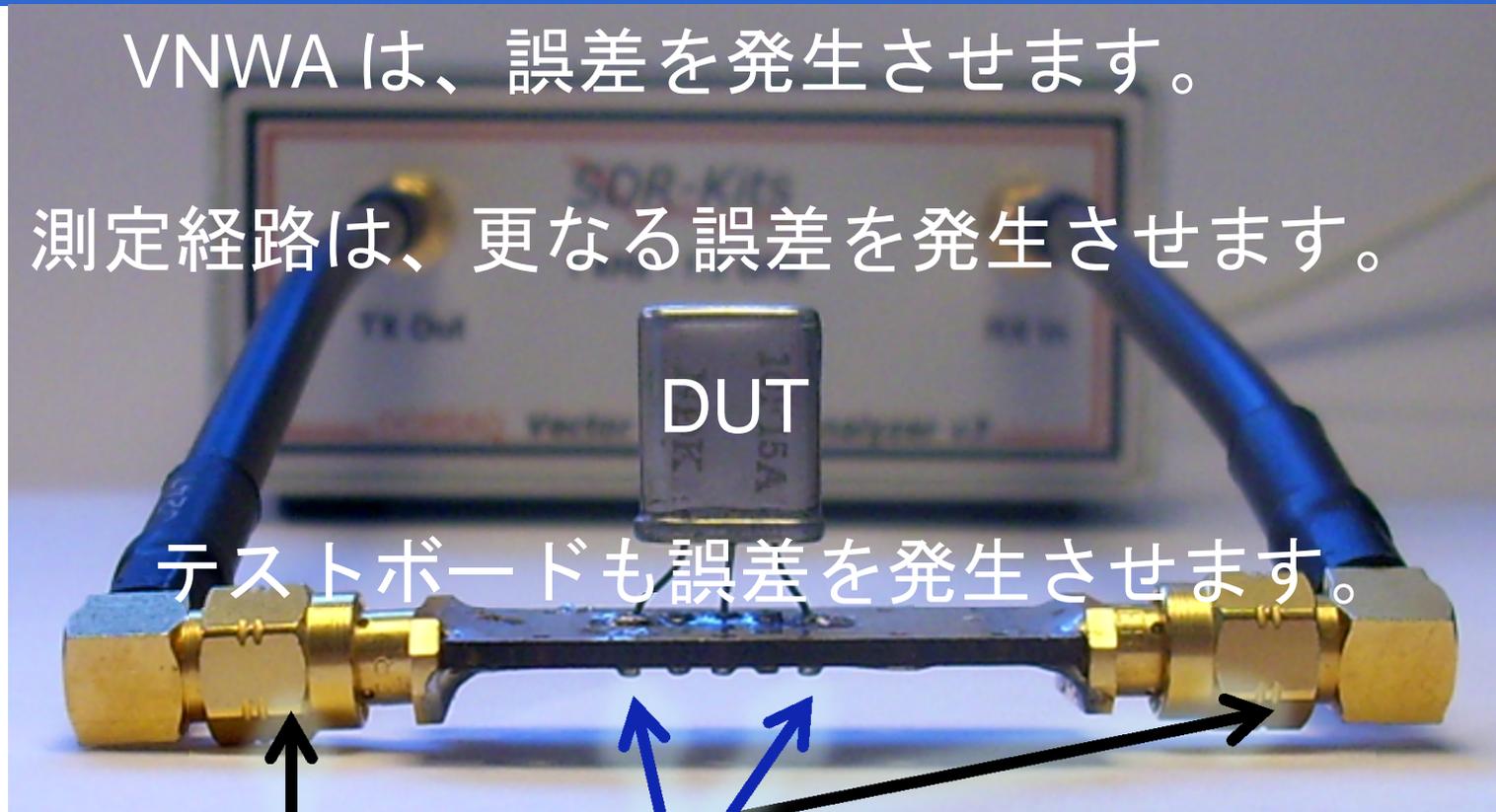
例： 2ポートデバイス – リバーズ（逆行）



校正による誤差補正 誤差の原因

VNWA は、誤差を発生させます。

測定経路は、更なる誤差を発生させます。



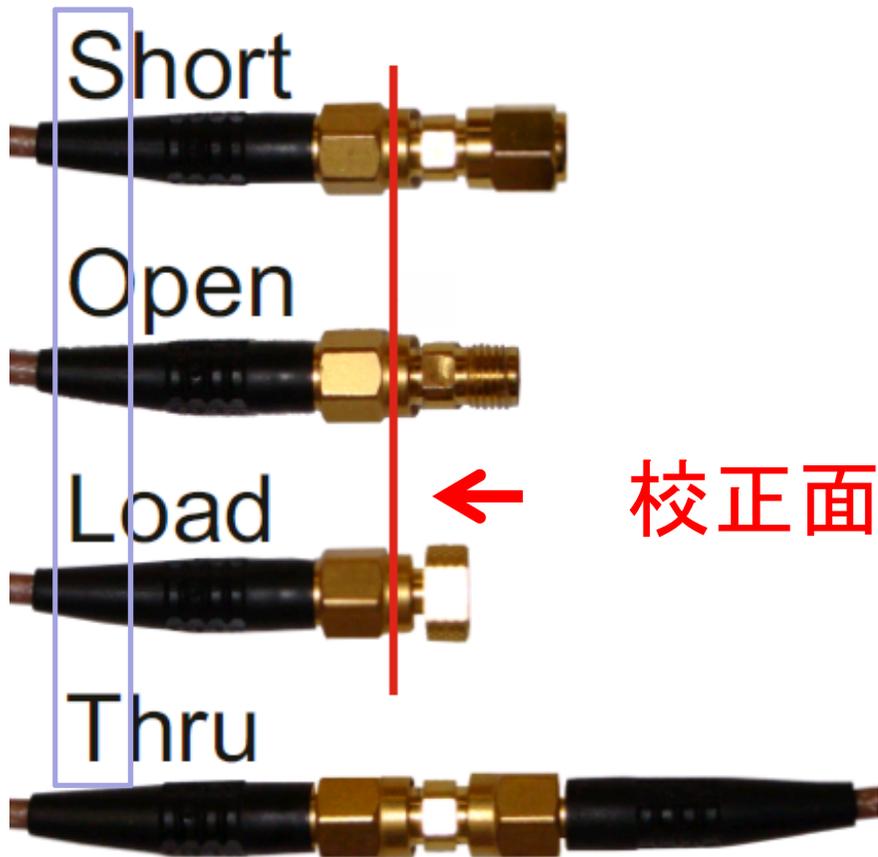
テストボードも誤差を発生させます。

ここで校正を行います! ここで測定を行います。

Hochschule Ulm

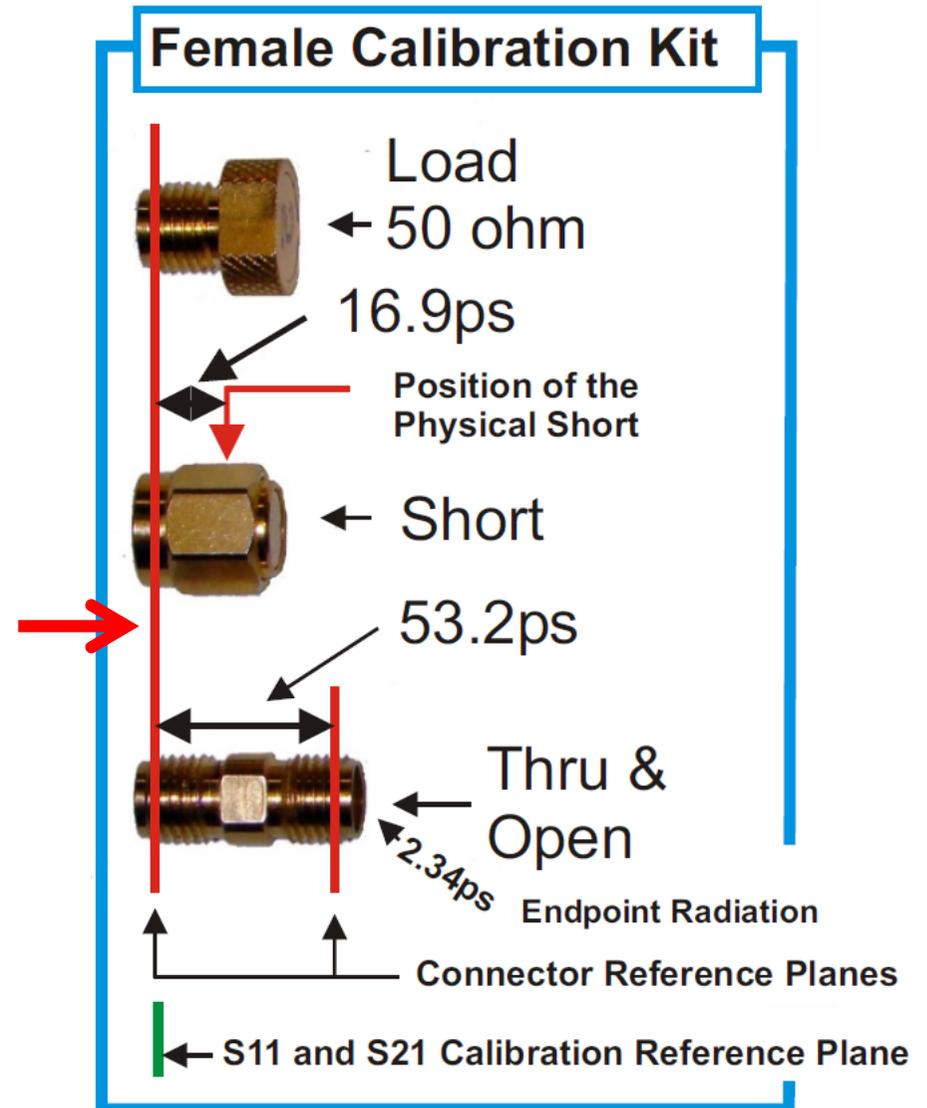


SOLT校正によりVNWAとテストケーブルからの誤差を取り除きます...

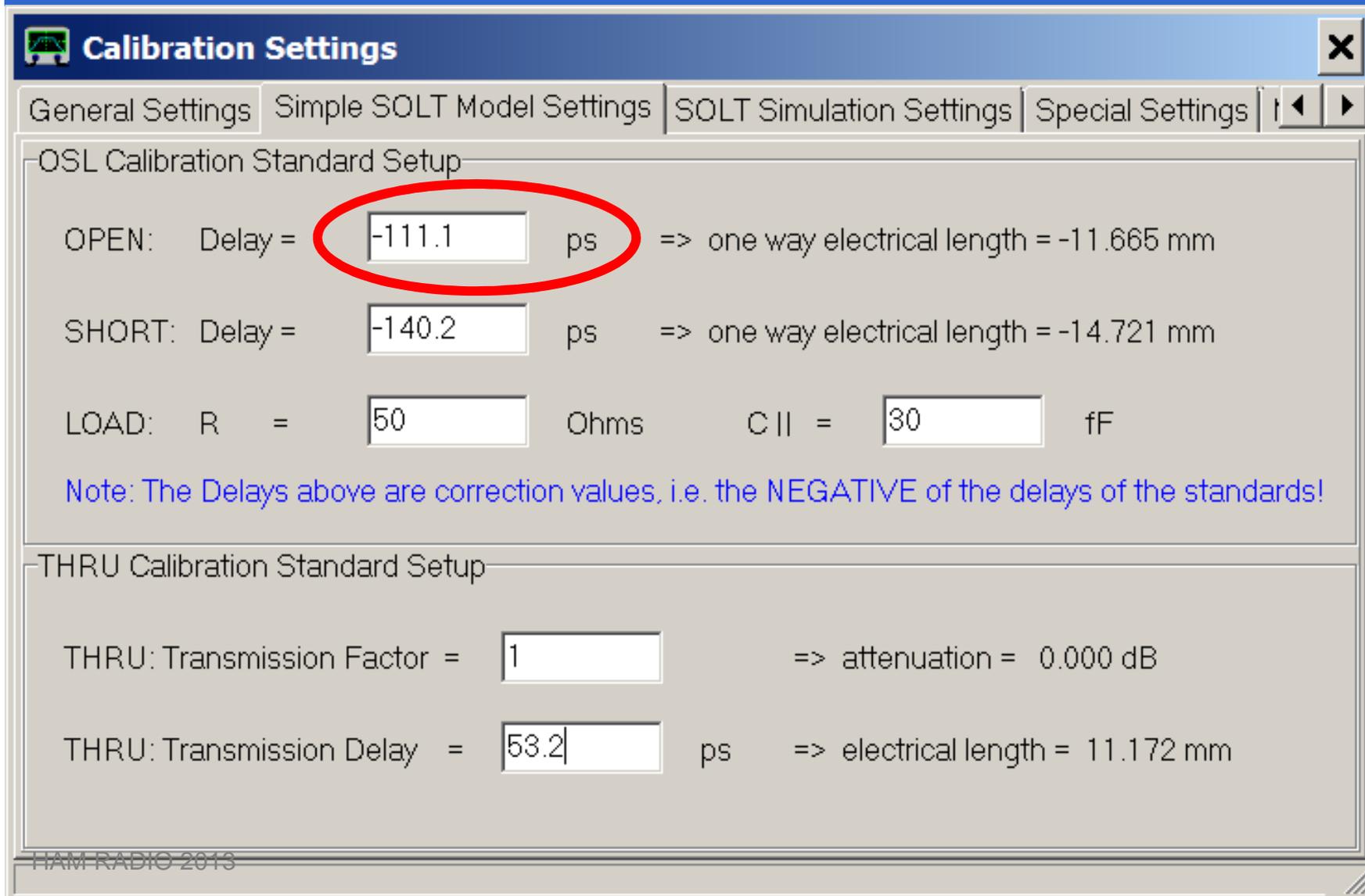


<http://www.hamcom.dk/VNWA/>

HAM RADIO 2013



... 校正基準器の特性が分かっている限りは!



The image shows a software window titled "Calibration Settings" with a close button (X) in the top right corner. The window has four tabs: "General Settings", "Simple SOLT Model Settings", "SOLT Simulation Settings", and "Special Settings". The "Simple SOLT Model Settings" tab is selected. The main area is divided into two sections: "OSL Calibration Standard Setup" and "THRU Calibration Standard Setup".

OSL Calibration Standard Setup

OPEN: Delay = ps => one way electrical length = -11.665 mm

SHORT: Delay = ps => one way electrical length = -14.721 mm

LOAD: R = Ohms C || = fF

Note: The Delays above are correction values, i.e. the NEGATIVE of the delays of the standards!

THRU Calibration Standard Setup

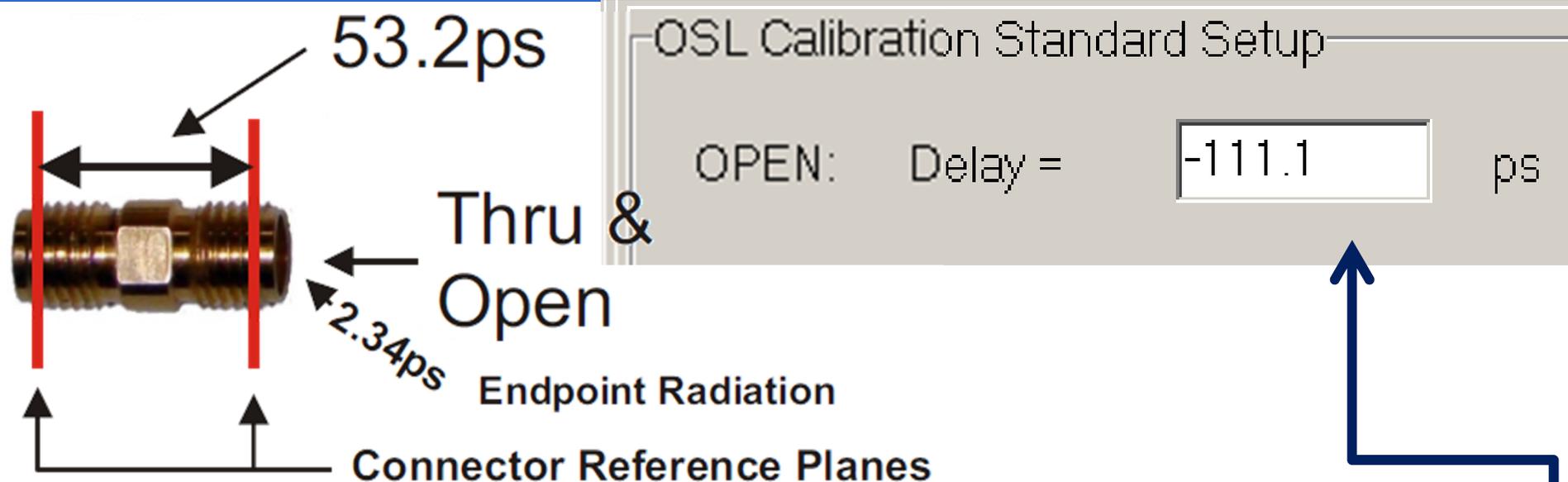
THRU: Transmission Factor = => attenuation = 0.000 dB

THRU: Transmission Delay = ps => electrical length = 11.172 mm

The input field for the OPEN delay (-111.1) is circled in red.



例：オープン基準器



信号は、2回通過します。つまり順方向と逆方向に
です:

$$\tau = -2 \times (53,2 \text{ ps} + 2,34 \text{ ps}) = -111.08 \text{ ps}$$

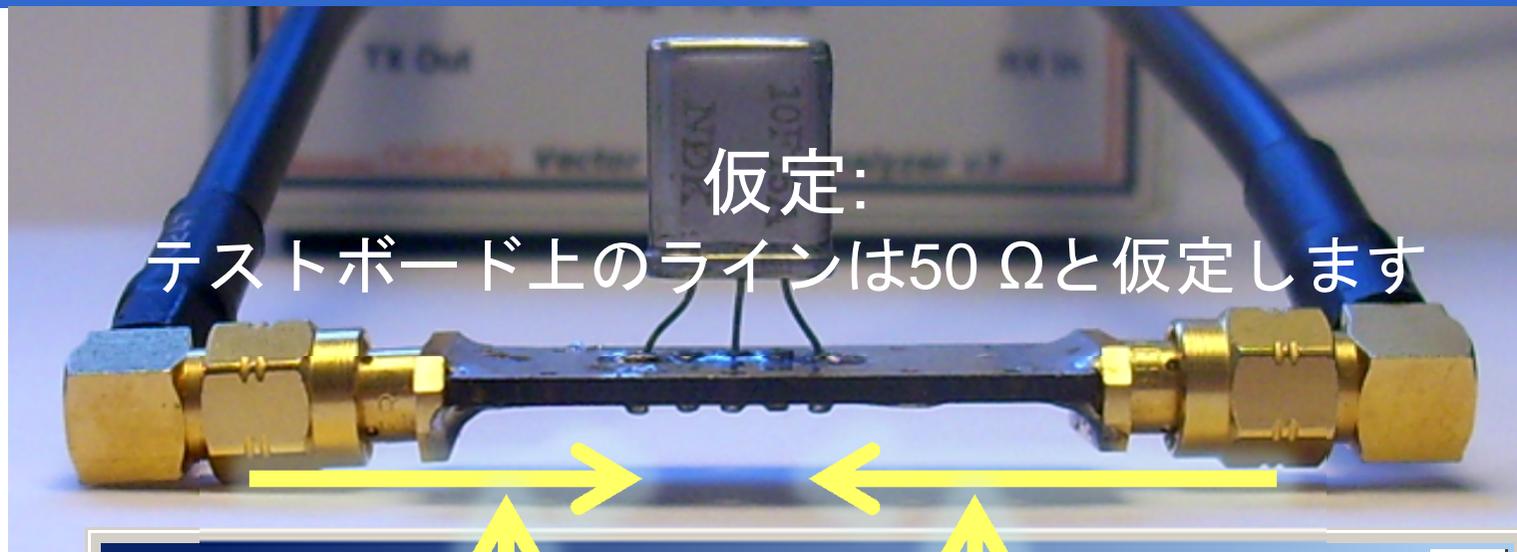


それでは、基準器をVNWAに接続して校正を行なってみましょう。

The screenshot shows the 'Full Calibration' window with the following elements and annotations:

- Window Title:** Full Calibration
- Correction Menu:** Reflect Cal, Thru Calibra
- Annotations:**
 - A blue box labeled '各必要項目' (Each necessary item) encompasses the 'Reflect Cal' and 'Thru Calibra' sections.
 - A box labeled 'S₁₁, S₂₂' points to the Reflect Cal section.
 - A box labeled 'S₂₁, S₁₂' points to the Thru Calibra section.
 - A red circle with an arrow points to the 'Crosstalk Cal' button, with the vertical text 'し割愛し 通常は 通ず' (Shigaiwa wa tsuzuku) next to it.
 - A mouse cursor points to the 'Thru Match Cal' button.
- Reflect Cal Section:**
 - Buttons: Short, Open, Load, Cal
 - Each button has a green circle with a red 'M' next to it.
 - Cal checkbox is checked and labeled 'on / off'.
- Thru Calibra Section:**
 - Buttons: Crosstalk Cal, Thru Cal, Thru Match Cal, Invalidate All Thru Calibrations
 - 'Crosstalk Cal' has a red circle next to it.
 - 'Thru Cal' and 'Thru Match Cal' have green circles with red 'M' next to them.
 - 'Thru Cal' and 'Thru Match Cal' have checkboxes checked and labeled 'on / off'.

ポートエクステンションでの遅延補正



S_{11}
 S_{22}

Port Extensions [X]

| | | | |
|------------------|----------------------------------|--|-----------|
| Ext. Port 1 | <input type="text" value="105"/> | ps | = 22 mm |
| Ext. Port 2 | <input type="text" value="132"/> | ps | = 27.7 mm |
| Velocity Factor: | <input type="text" value="0.7"/> | <input checked="" type="checkbox"/> Port Ext. ON | |

誤った校正パラメータは、ポート不整合をもたらしめます。

例: オープン 50Ω – ライン (1)

VNWA TX

$Z_0 = 50 \Omega$

オープン

$\tau = 1800 \text{ ps}$

Calibration Settings

これをシミュレートできます。

SOLT Simulation Settings

Special Settings

Measurement Simulation

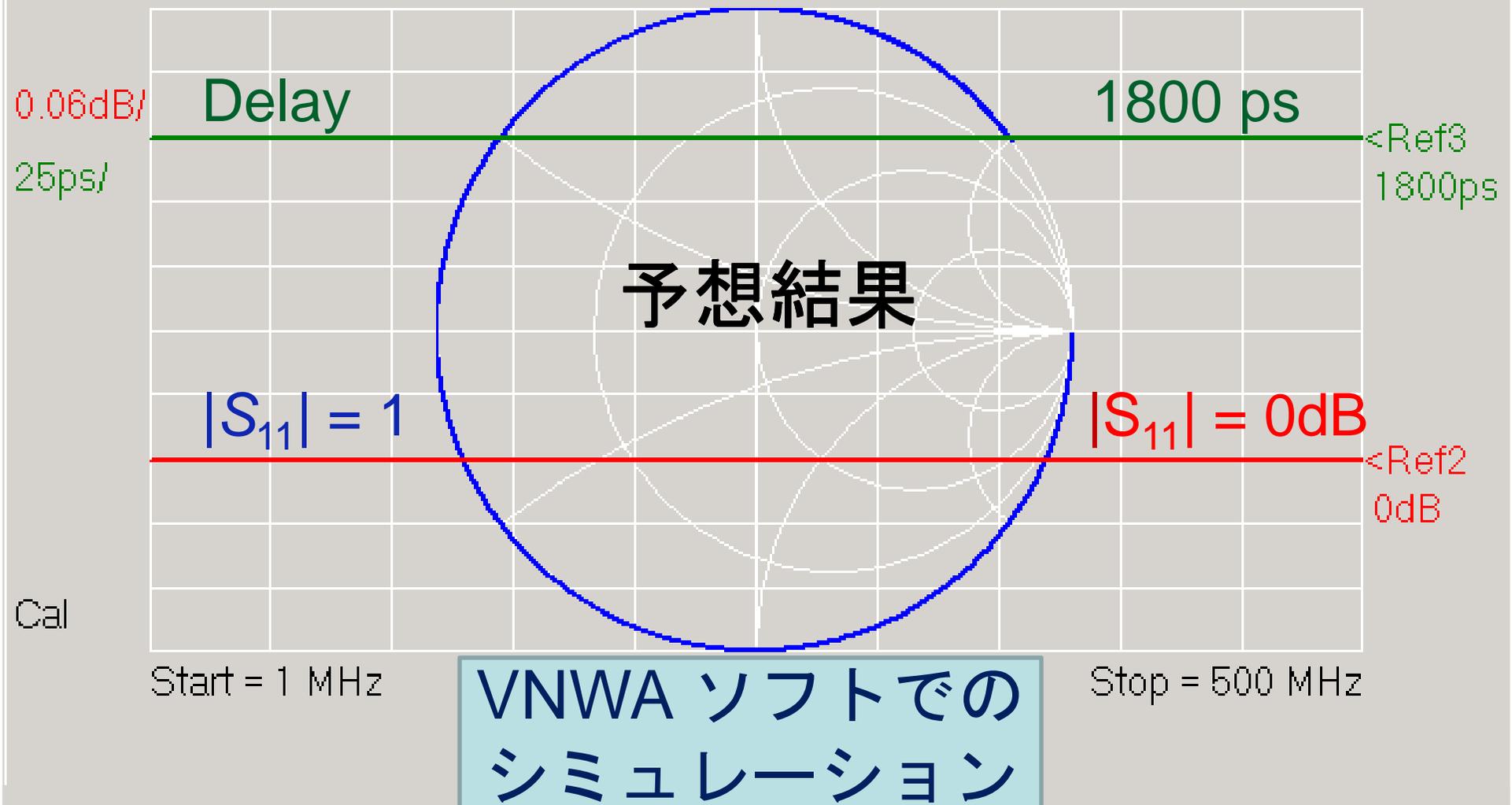
$S_{11} = \exp(-j\omega \cdot 1800 \text{e-12})$

つまり $|S_{11}| = 1$ トータル反射電力
位相(S_{11}) = $-\omega \cdot 1800 \text{ ps}$

Hochschule Ulm



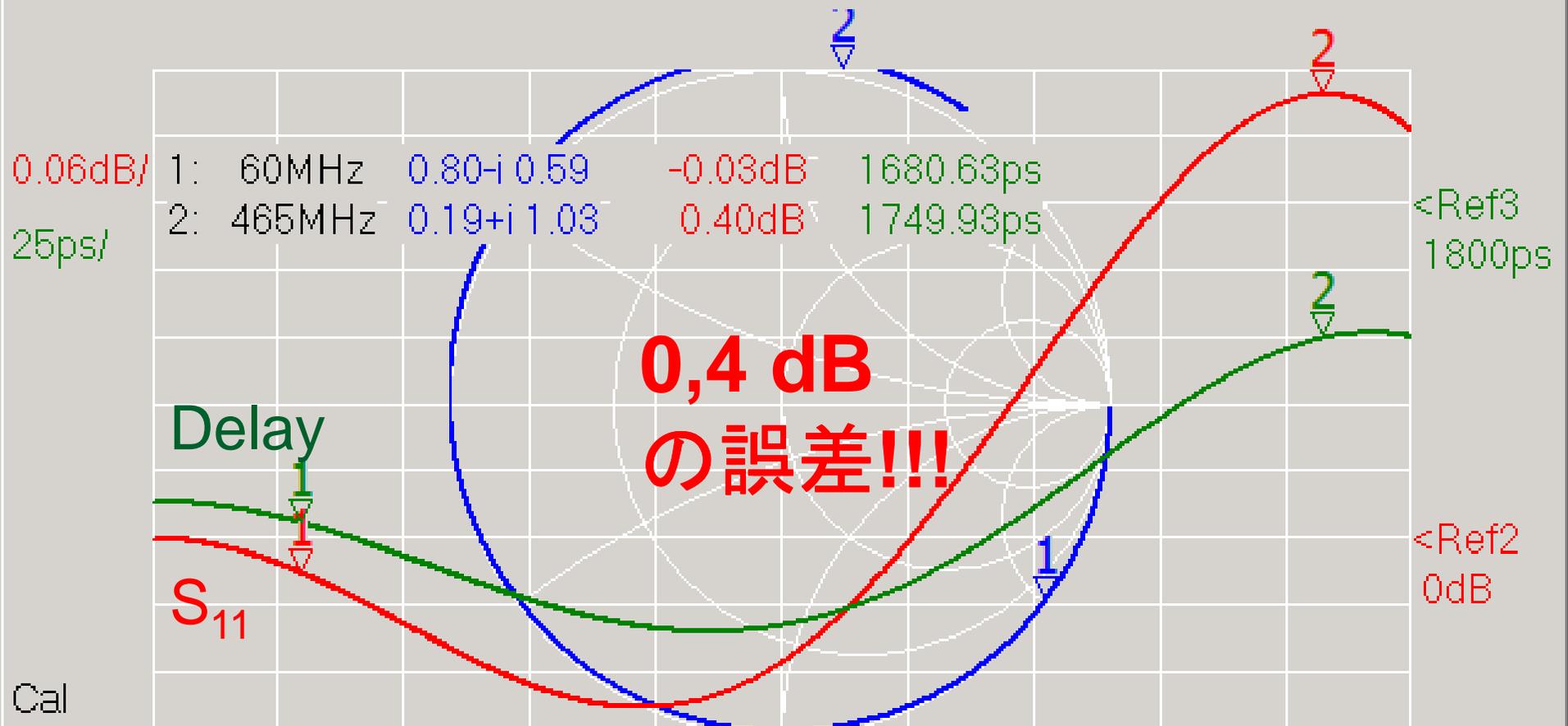
例: オープン 50Ω – ライン (2) Amphenol メス パラメータでシミュレート



HAM RADIO 2013 simulate 2-port measurement and do 12 term correction

例: オープン 50Ω – ライン (3)

ソフトが基準器が理想であると思い込ませます:

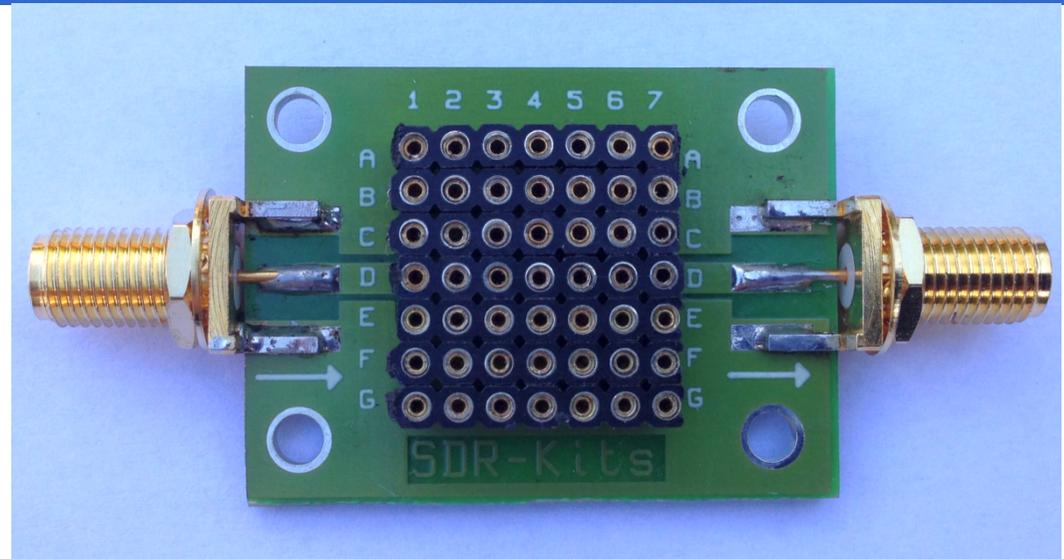
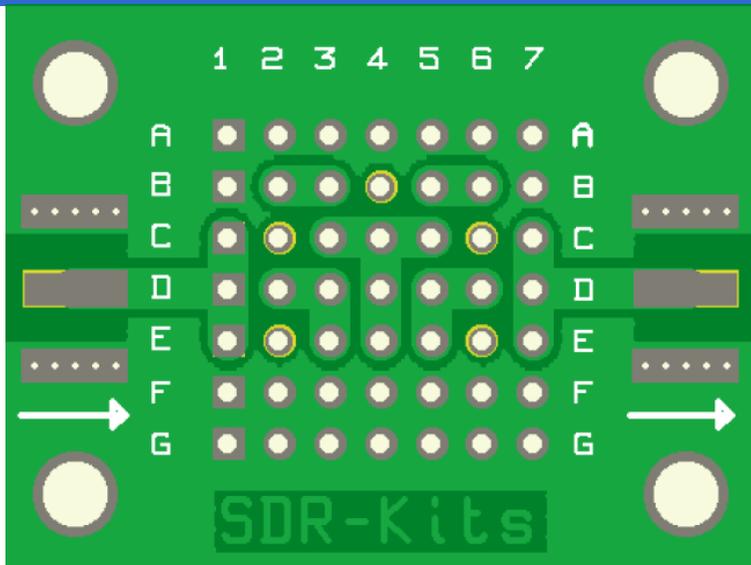


事前にシミュレートした測定データを、理想校正パラメータを用いて再び補正。

応用例 ...



HF帯実験用テストボード



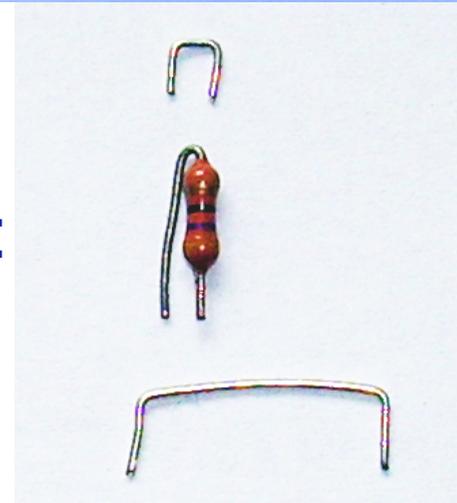
校正基準器:

Short:

Load = 47Ω:

Open = 接続無し

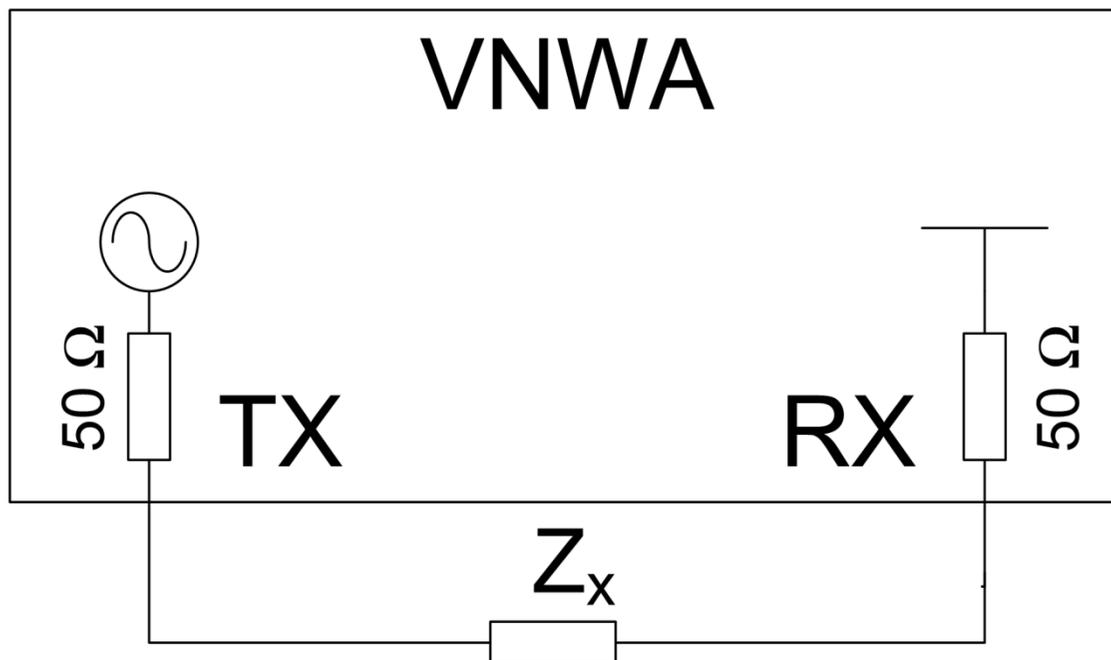
Thru:



Hochschule Ulm



“Load”用抵抗をSOL校正無しに測定？

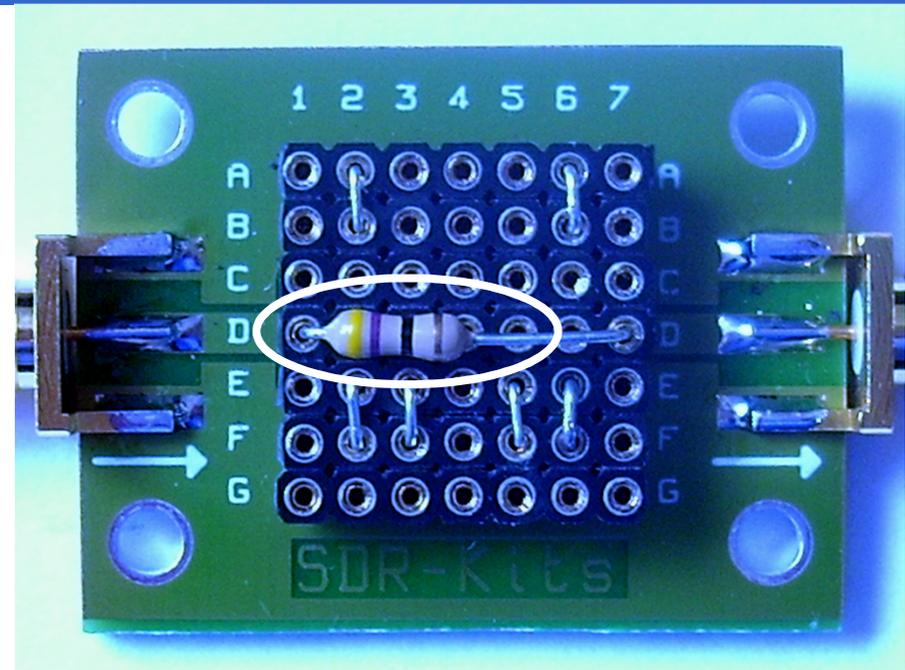
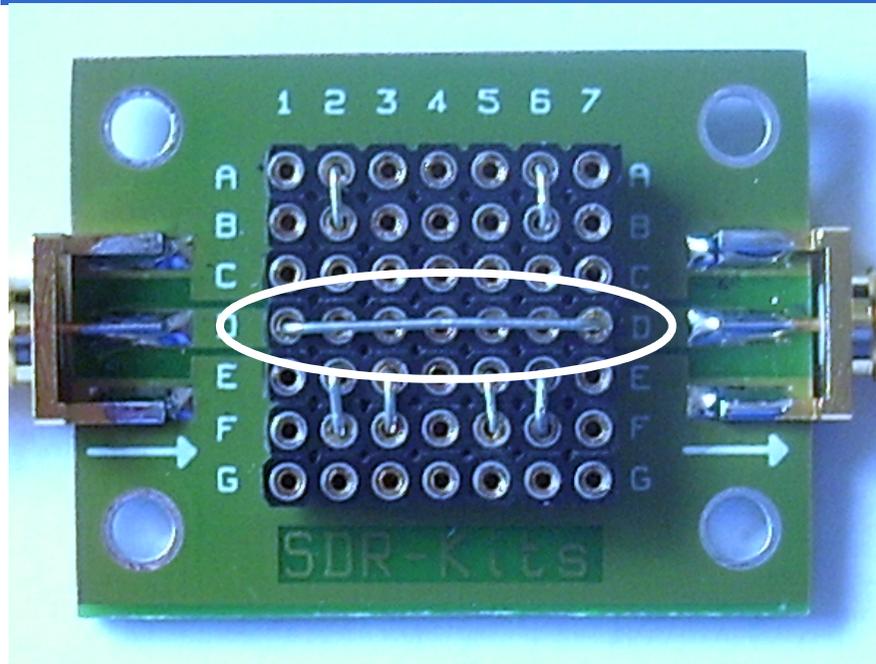


$Z_x = 47 \Omega$ では、 $\approx 3,4 \text{ dB}$ の挿入損失があります。

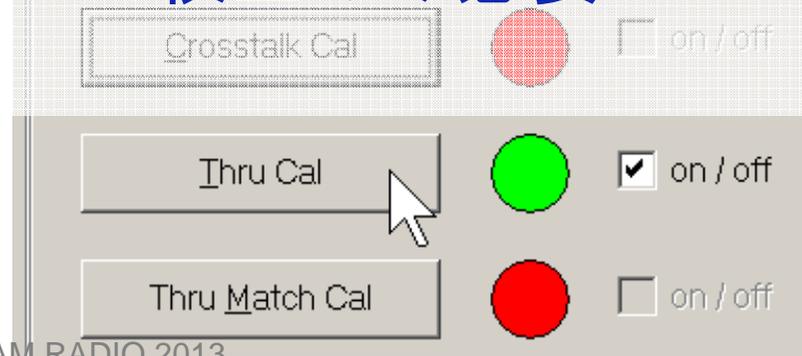
可能です、つまり VNWAのTXとRX ポートは、正確に 50Ω となっているからです。

➤ Thru校正は、必要です!

“Load”抵抗を、通過モード (=S₂₁測定)で測定

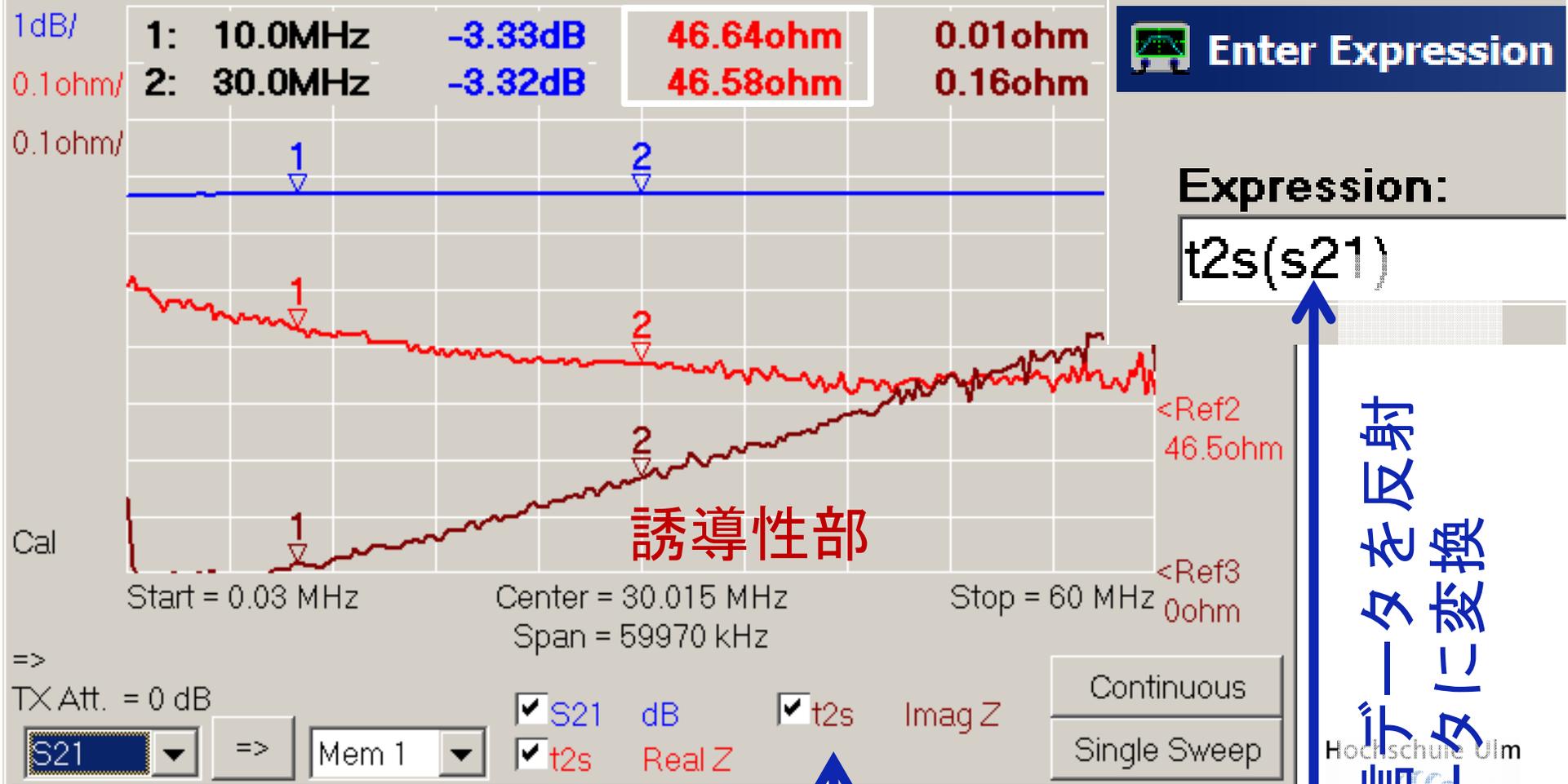


Thru校正のみ必要



測定:
TXとRX間に抵抗を挿入

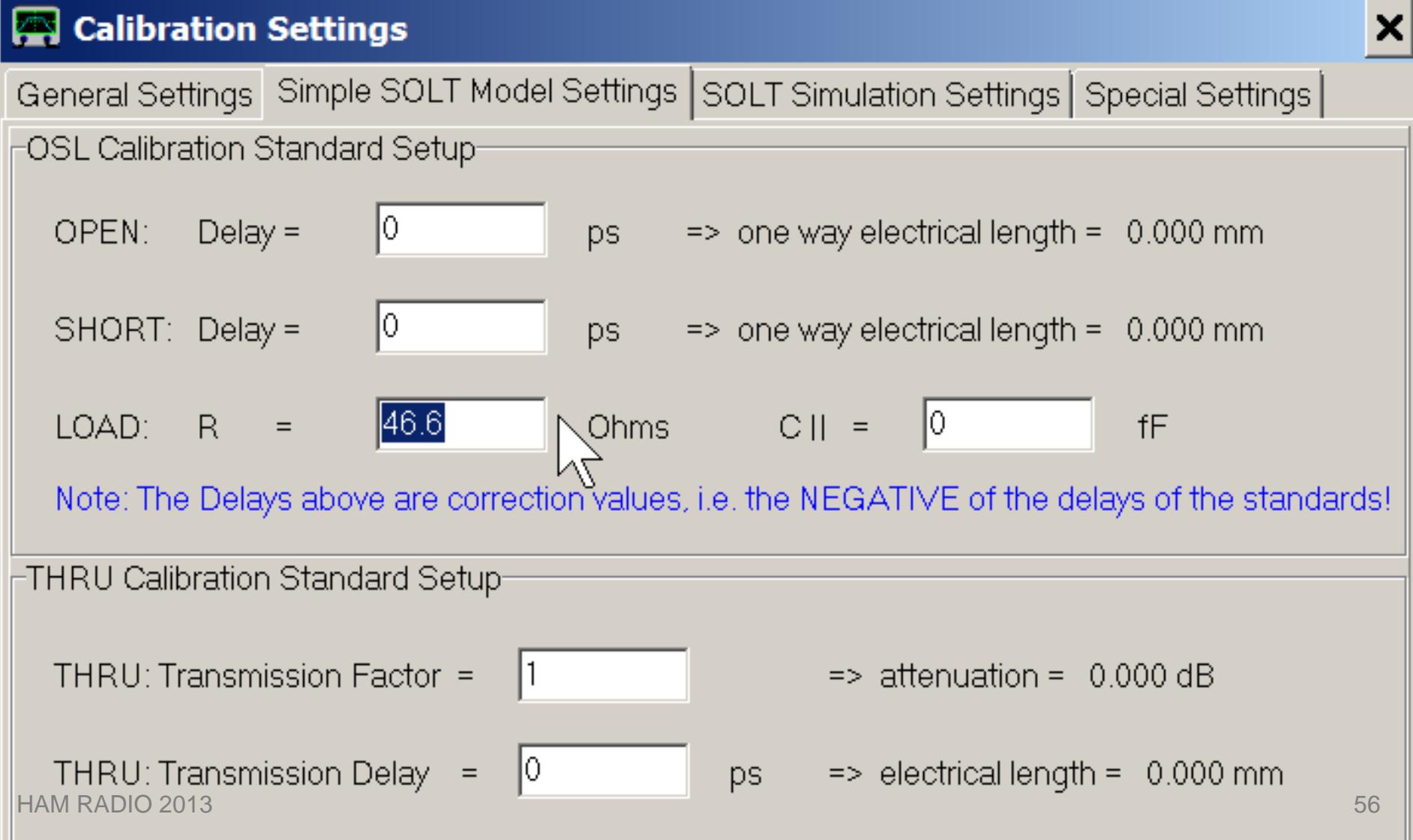
“Load”抵抗 結果 = 46,6 Ω



↑ ↑
カスタムトレースでの分析

送信データを反射
データに変換

簡易校正基準モデル: “Load”抵抗のみの測定



The image shows a software dialog box titled "Calibration Settings" with a close button (X) in the top right corner. The dialog has four tabs: "General Settings", "Simple SOLT Model Settings", "SOLT Simulation Settings", and "Special Settings". The "Simple SOLT Model Settings" tab is selected. The dialog is divided into two sections: "OSL Calibration Standard Setup" and "THRU Calibration Standard Setup".

OSL Calibration Standard Setup

OPEN: Delay = ps => one way electrical length = 0.000 mm

SHORT: Delay = ps => one way electrical length = 0.000 mm

LOAD: R = Ohms C || = fF

Note: The Delays above are correction values, i.e. the NEGATIVE of the delays of the standards!

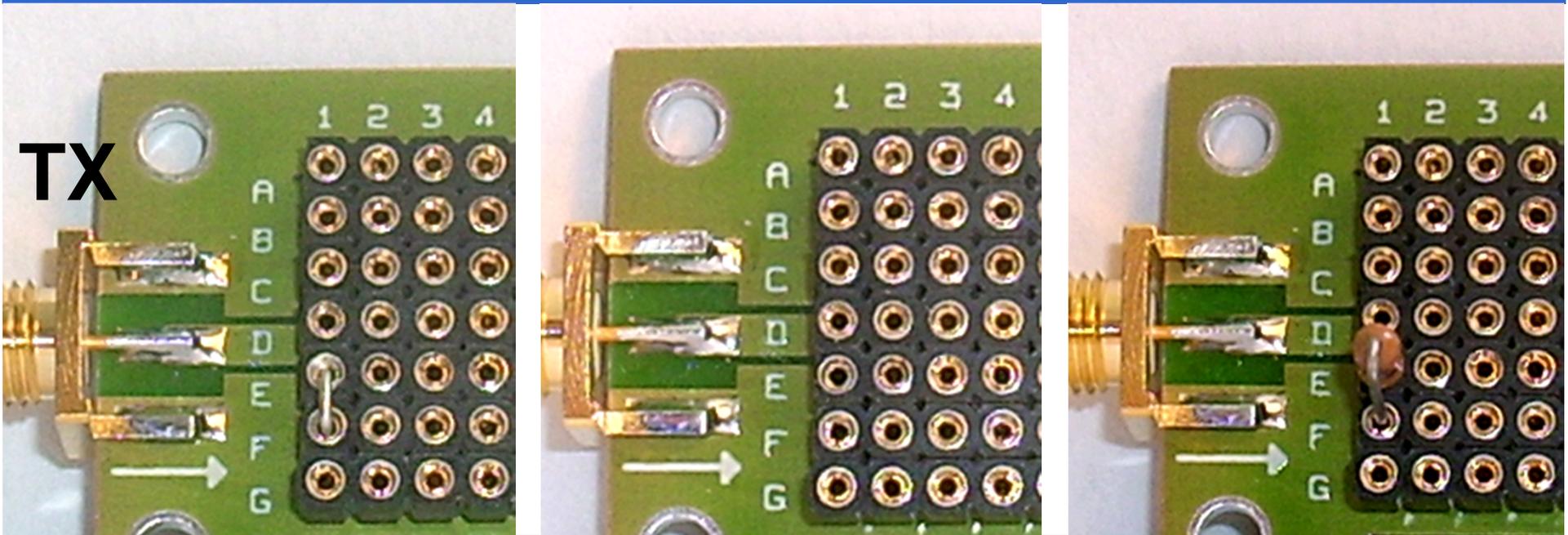
THRU Calibration Standard Setup

THRU: Transmission Factor = => attenuation = 0.000 dB

THRU: Transmission Delay = ps => electrical length = 0.000 mm

HAM RADIO 2013 56

S₁₁測定用SOL校正



Reflect Calibration

Short **Short** 

Open 

Load 

HAMRAD Cal on/off 

Thru Calibration

Crosstalk Cal on/off

Thru Cal  on/off

Thru Match Cal  on/off

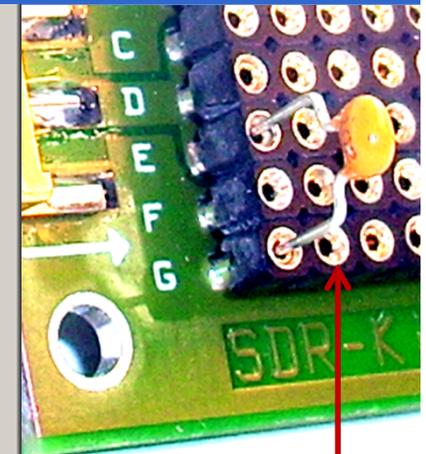
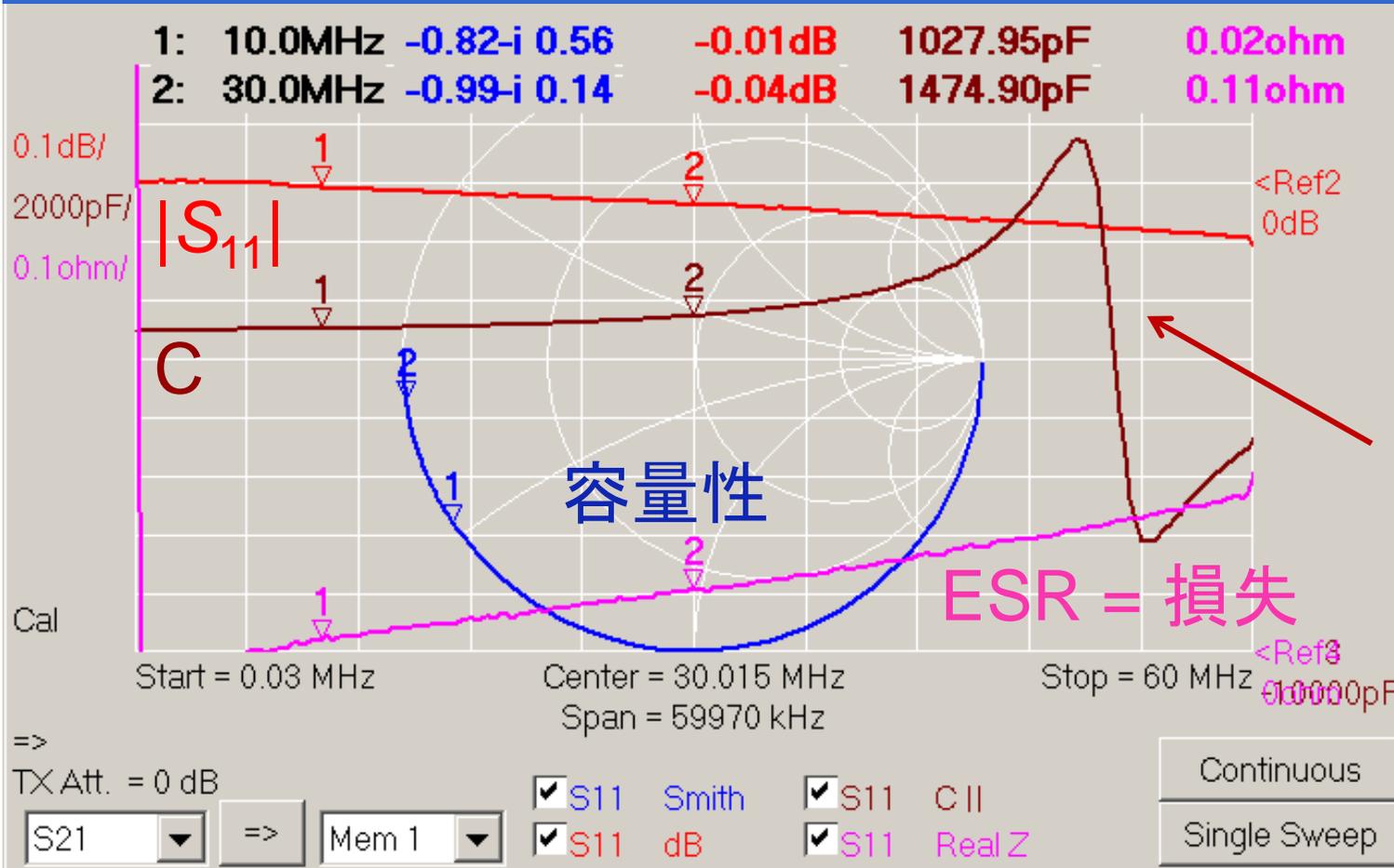
Invalidate All Thru Calibrations

Load

Hochschule Ulm



1nFコンデンサの反射測定 (S_{11})



素子リード線による共振

コンデンサがほぼ全ての電力を反射 $|S_{11}| \approx 0$ dB

カスタムトレースを用いたVNWA測定結果のモデリング

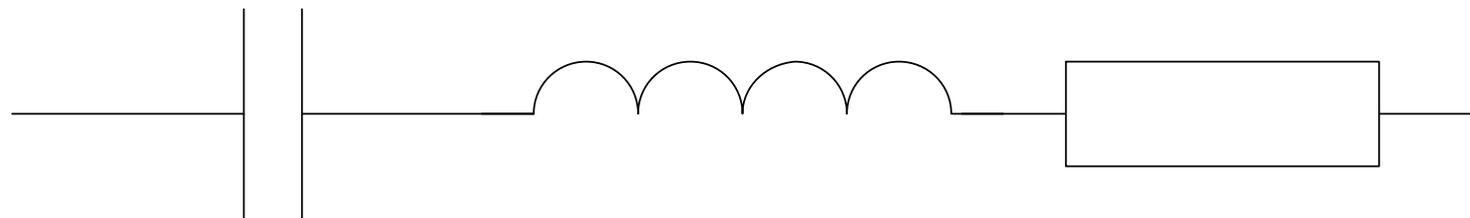


Enter Expression 2 for trace 2:

Expression:

$z2s(1/(j*w*0.984e-9)+j*w*9.3e-9+0.22)$

反射係数に対するインピーダンス



0,984 nF

9,3 nH

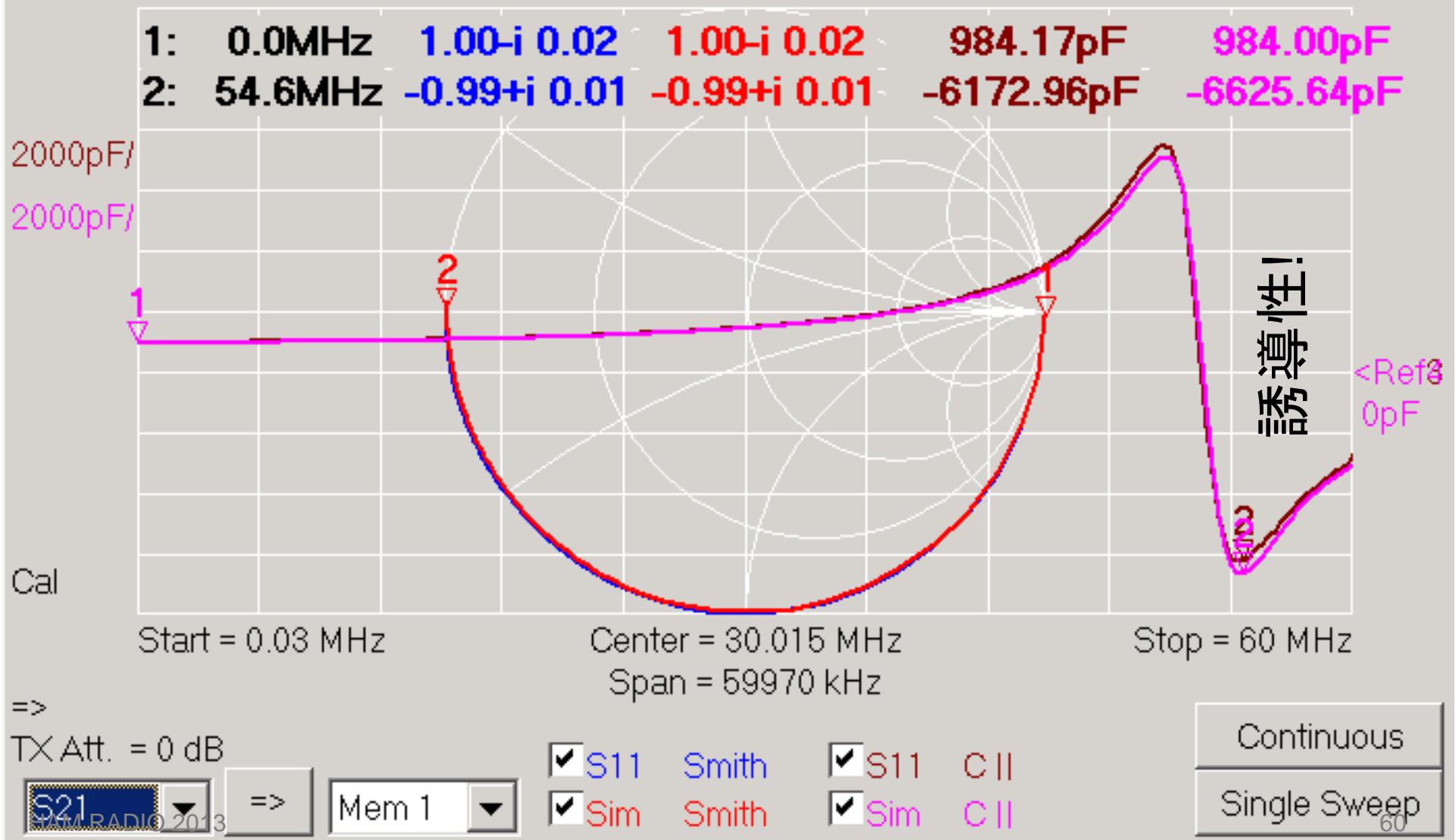
0,22 Ω

Hochschule Ulm



等価モデル

このモデルは非常に正確です!

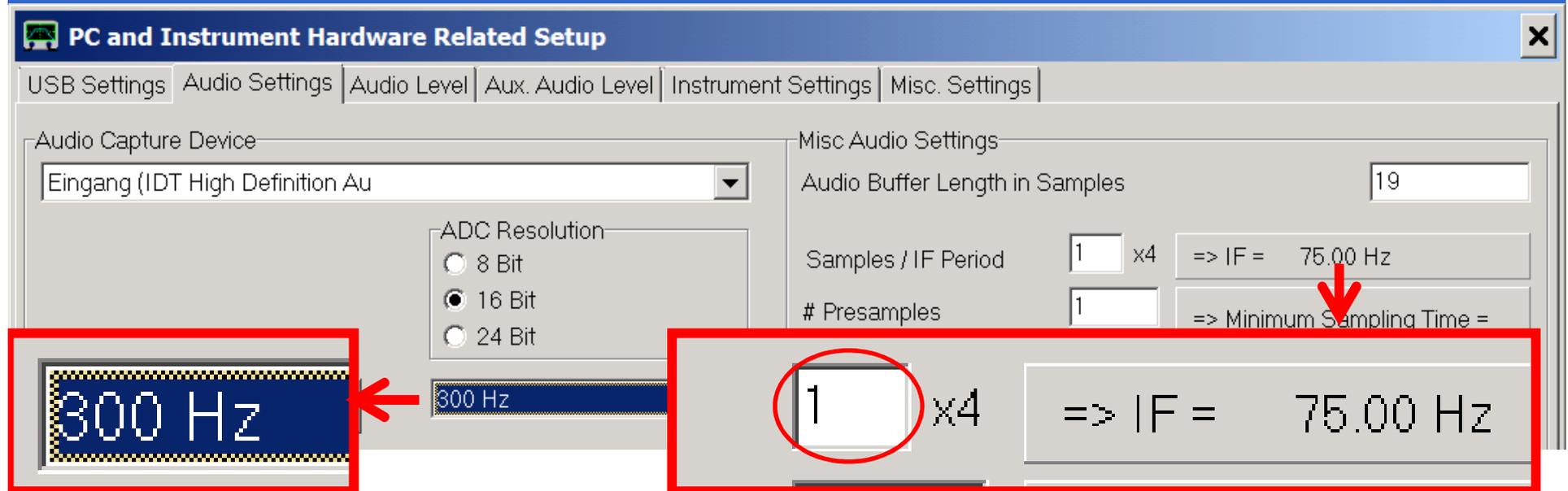


11kHz バンドパスフィルター (BPF)の 2ポート測定

- Sパラメータは、低周波にも応用できます。
- もちろん VNWA でも測定できます!



低周波用 VNWA特別設定例



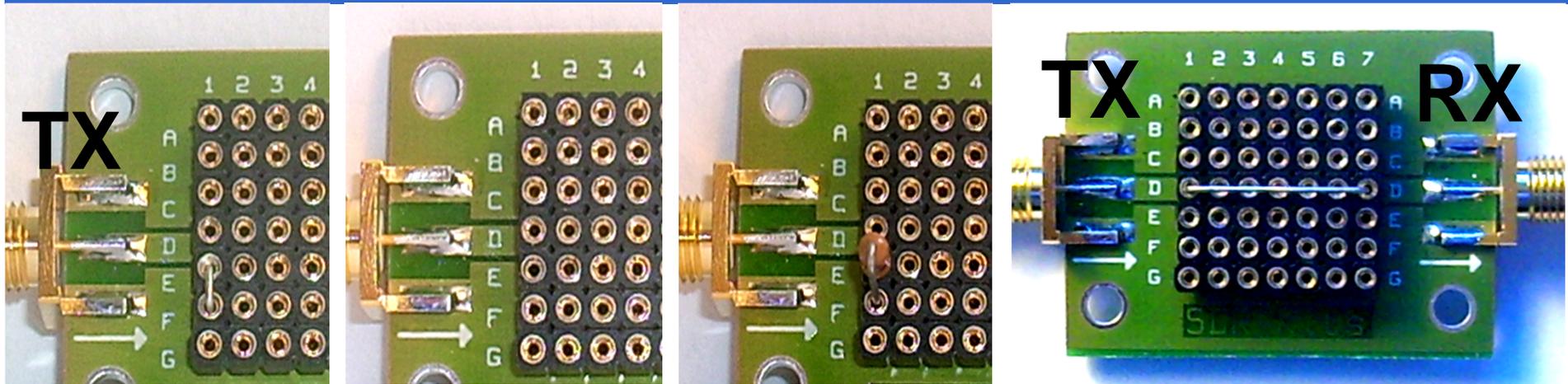
最低サンプル・レート 300 Hz
→ ナイキスト限界 150 Hz
→ ≈150 Hz までの測定が可能

IF は、コーデック周波数
レンジ中になければなり
ません。
(20 Hz...16kHz)

Hochschule Ulm

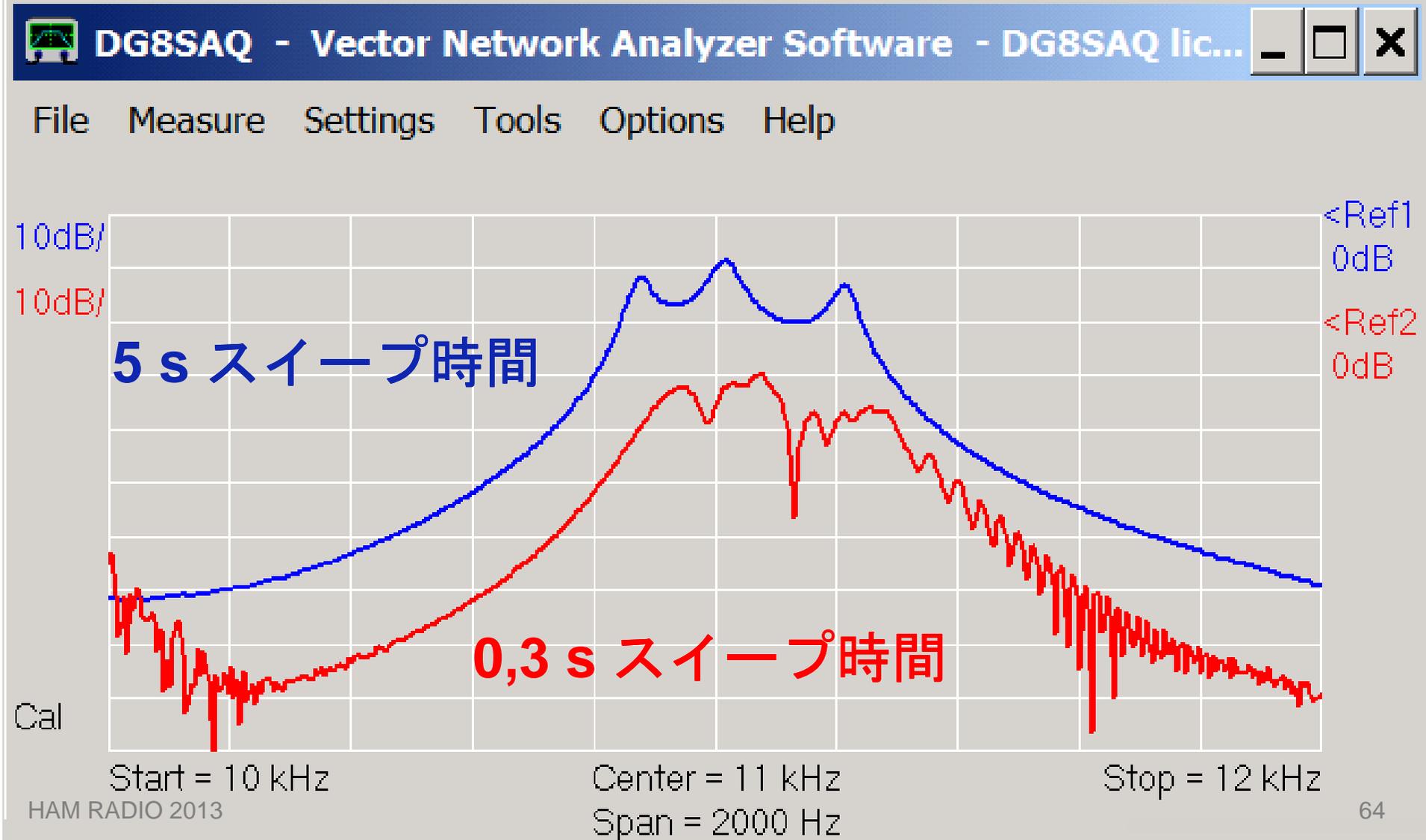


2ポート測定用SOLT校正

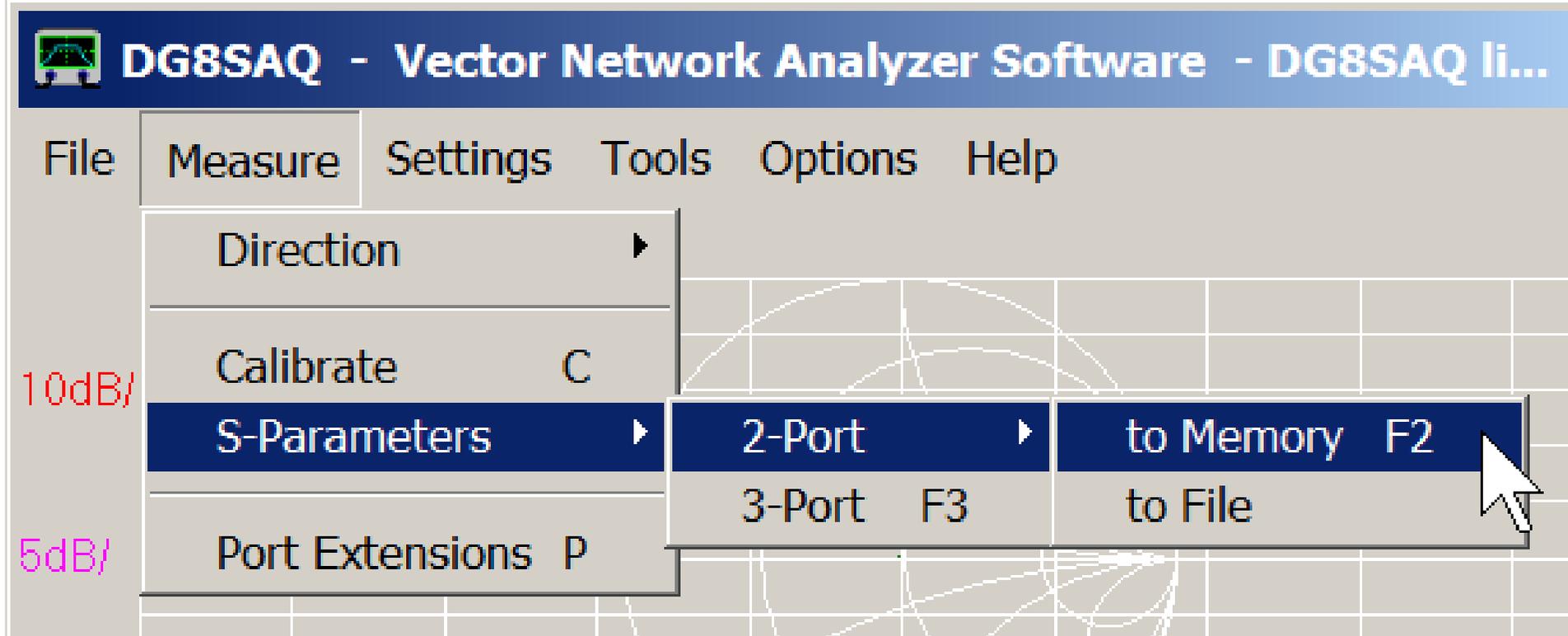


| Reflect Calibration | | Thru Calibration | |
|--|------|----------------------------------|--|
| Short | Open | Load | Thru |
| Short | | Crosstalk Cal | <input type="checkbox"/> on / off |
| Open | | Thru Cal | <input checked="" type="checkbox"/> on / off |
| Load | | Thru Match Cal | <input checked="" type="checkbox"/> on / off |
| Cal <input checked="" type="checkbox"/> on / off | | Invalidate All Thru Calibrations | |

ご注意: 狭域スカートフィルターは、変動励振に対して安定するまでに時間がかかります!



11kHz バンドパスフィルター (BPF)の 2ポート測定



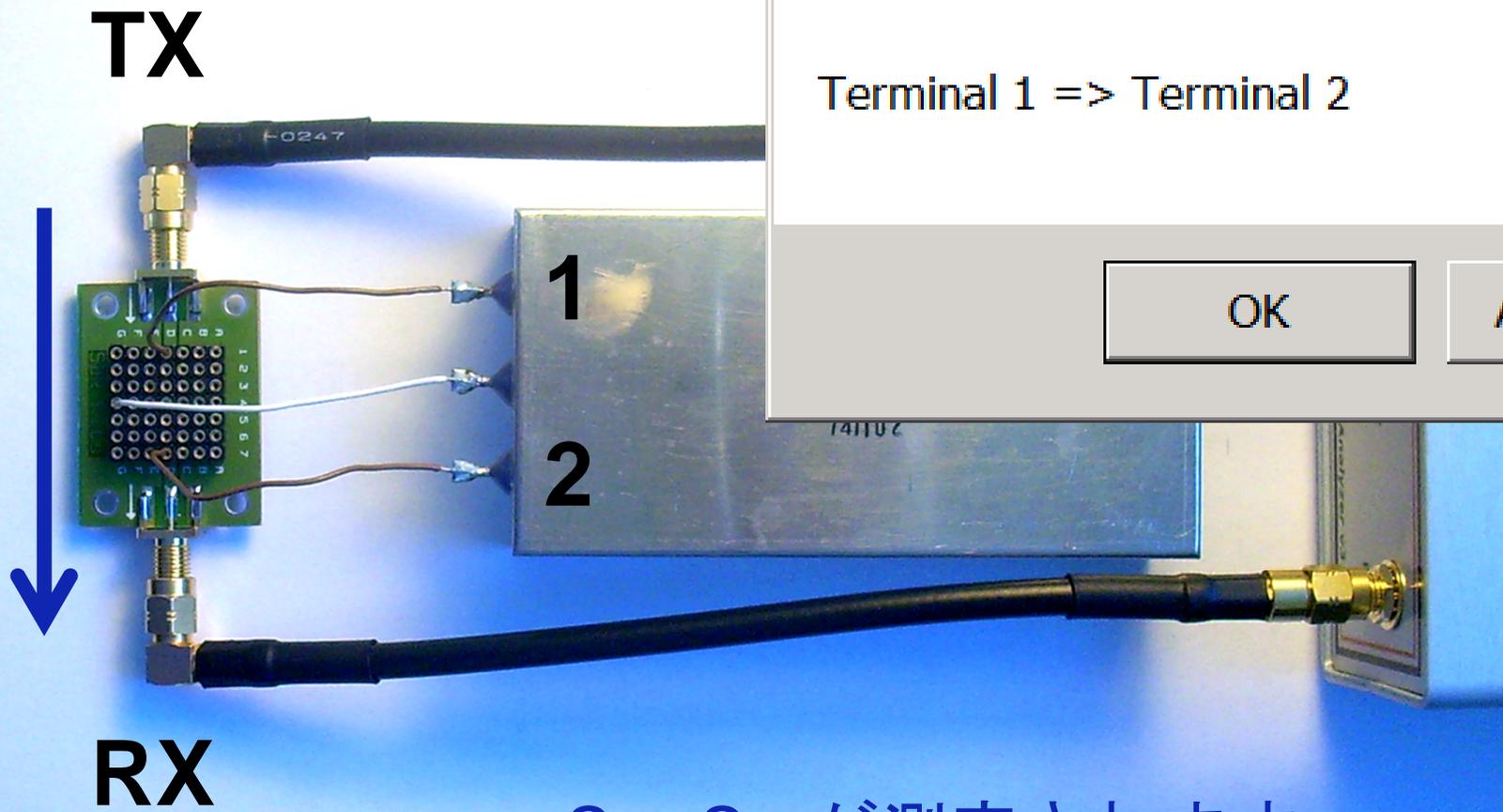
Sパラメータ 4つ (S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22})全てを
測定しなければなりません ...

Hochschule Ulm



65

11kHz バンドパスフィルター (BPF) の 2ポート測定 : フォワード (順行) 測定



S_{11} , S_{21} が測定されます

11kHz バンドパスフィルター (BPF) の 2ポート測定: リバーズ (逆行) 測定

Multiport S-Parameter Me

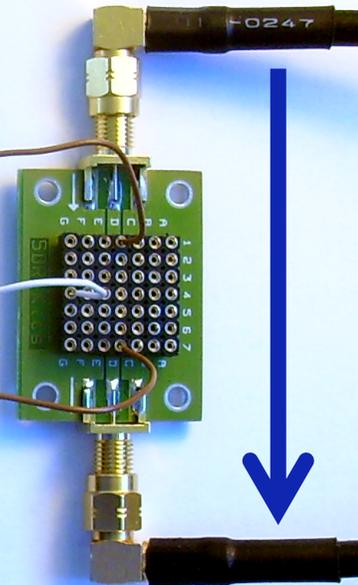
Terminal 2 => Terminal 1

OK

2

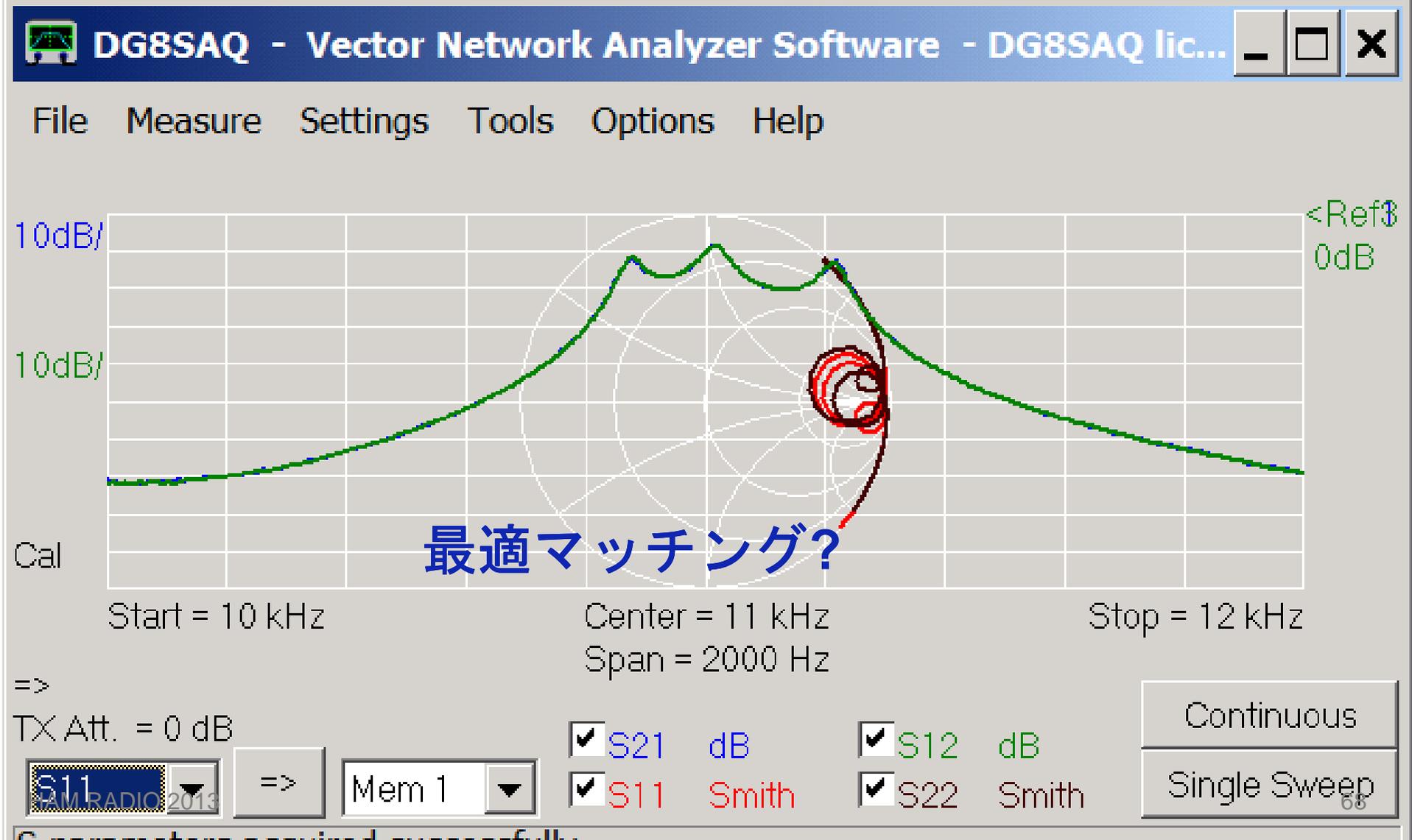
1

TX



S_{12} , S_{22} が測定されます。RX

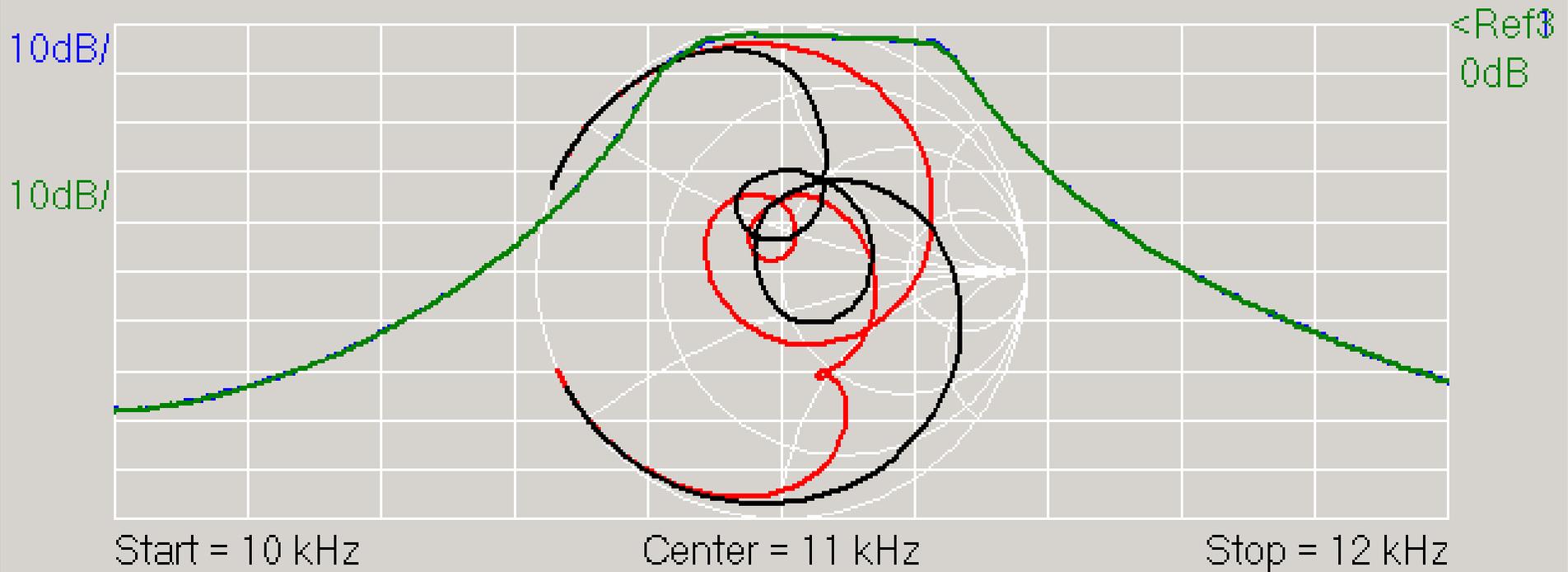
2ポート測定されたSパラメータは何に有効か？



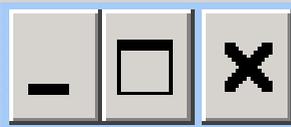
S parameters acquired successfully.

マッチング分析: VNWA マッチングツール

最適値: $Z_{in} = Z_{out} = 610 \Omega$

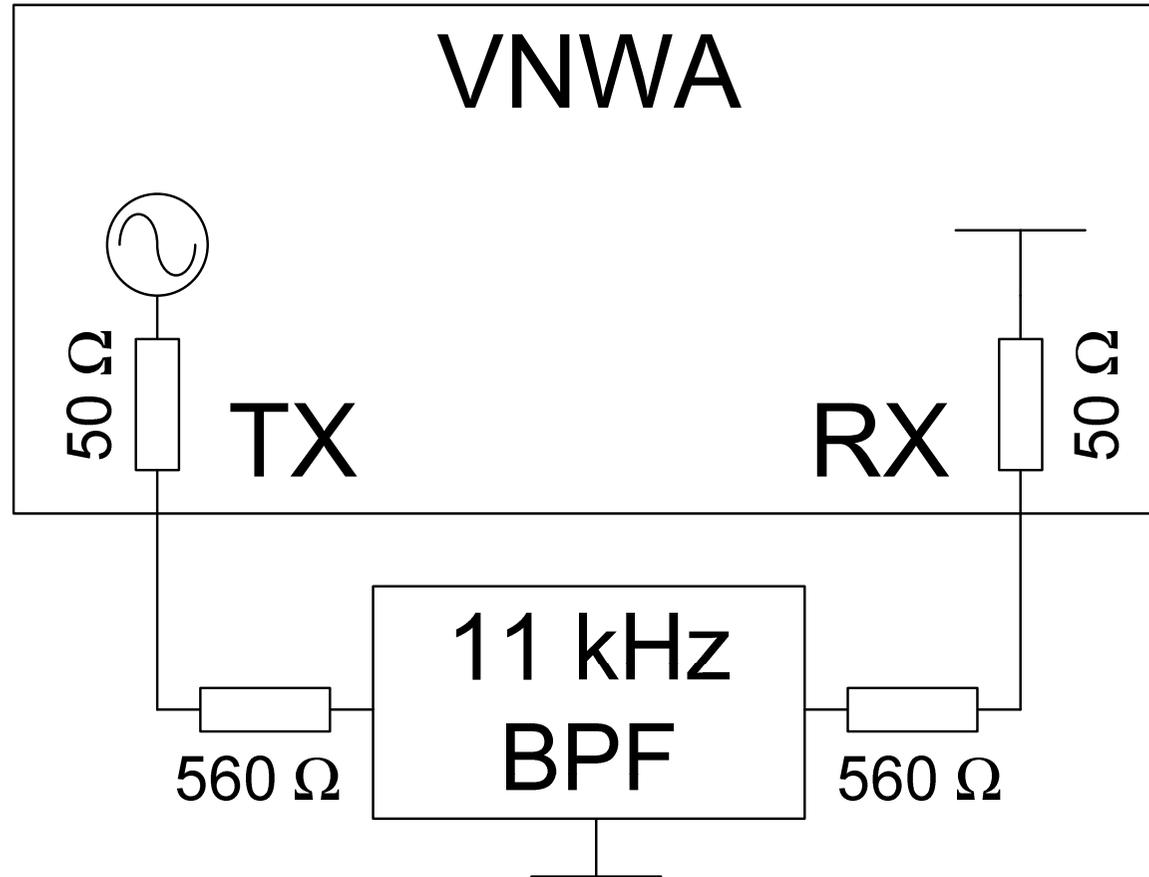


Recalculate to new source and load conditi...



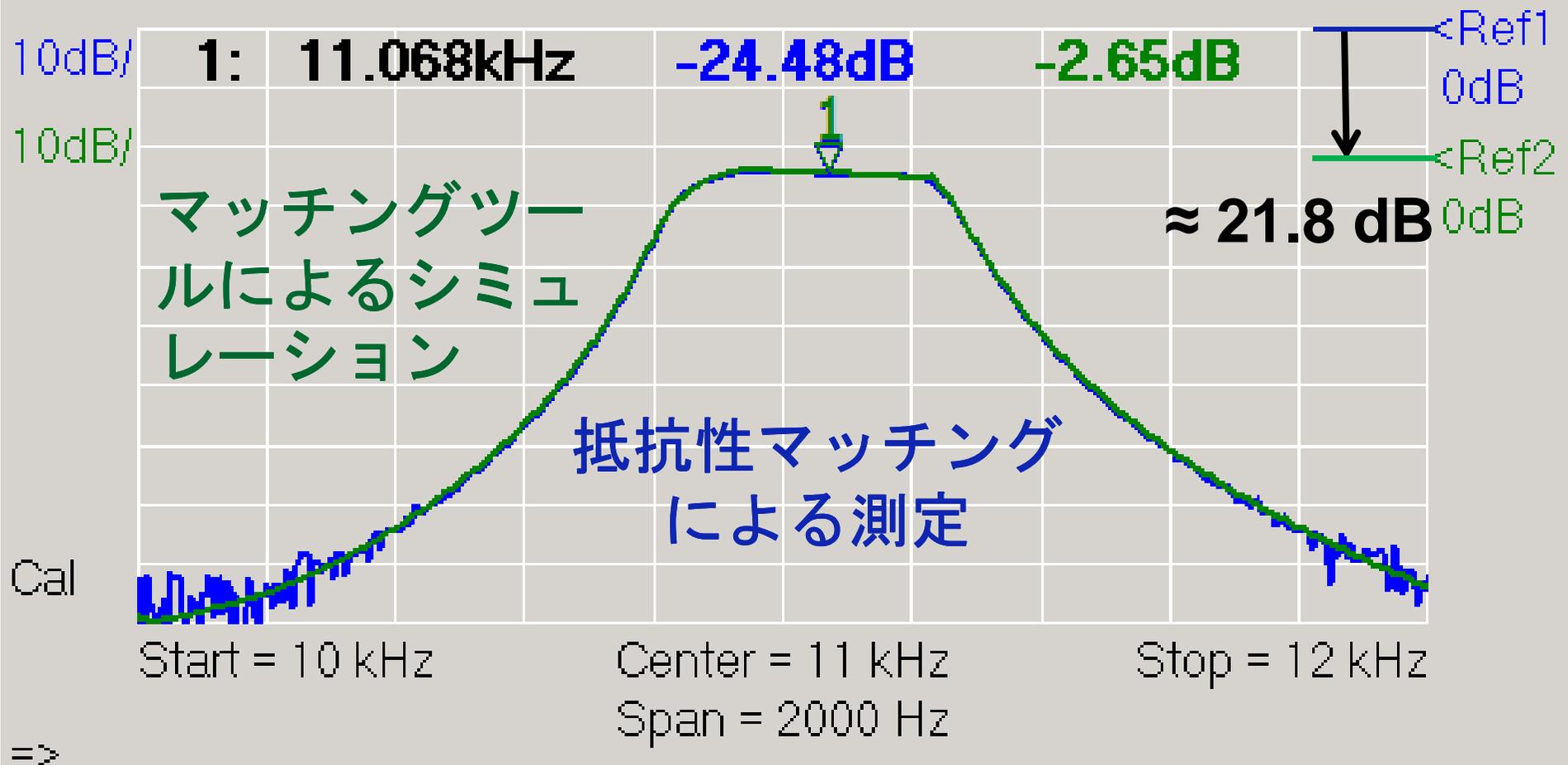
| Port 1 | | Port 2 | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Port 1 Impedance | <input type="text" value="610"/> Ohm | Port 2 Impedance | <input type="text" value="610"/> Ohm |
| C parallel (neg. possible) | <input type="text" value="0"/> pF | C parallel (neg. possible) | <input type="text" value="0"/> pF |

抵抗を用いた強制インピーダンスマッチング

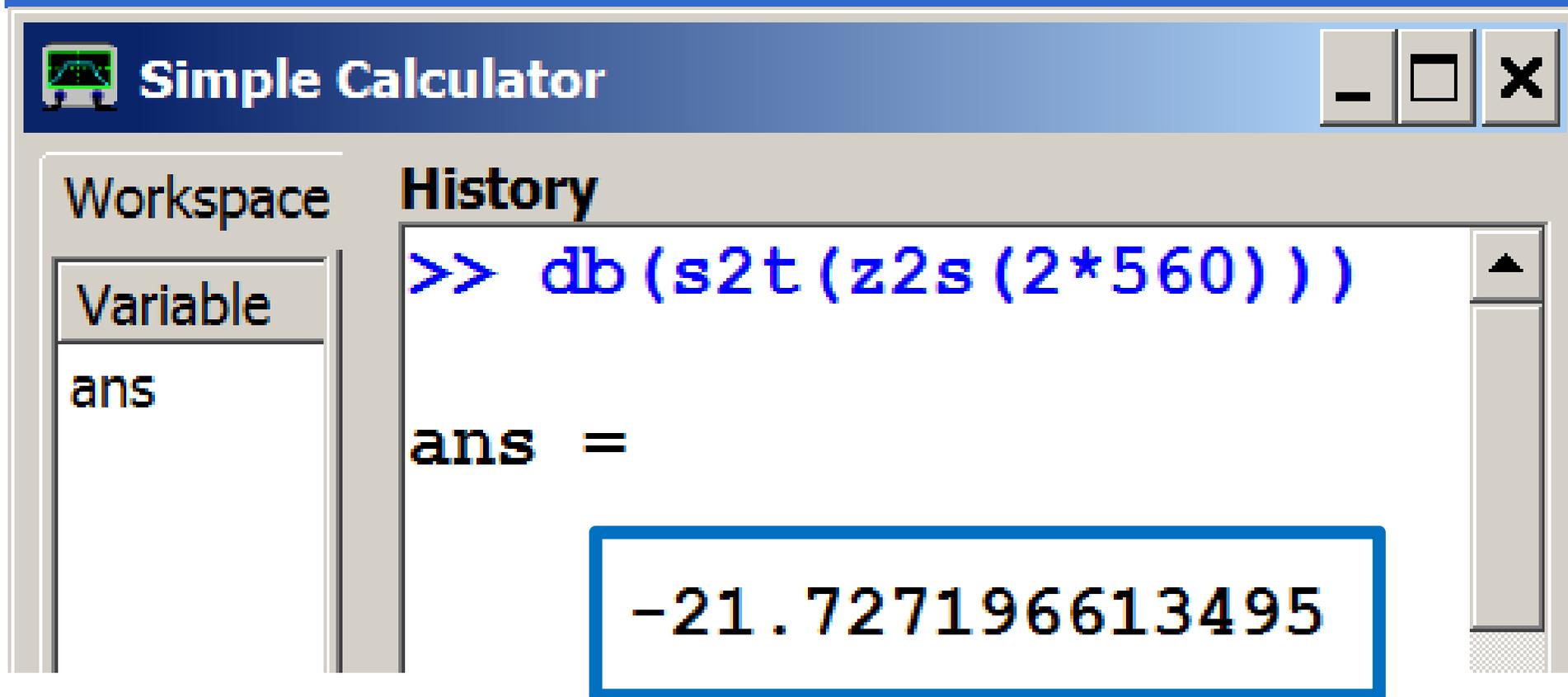


$$50\ \Omega + 560\ \Omega = 610\ \Omega$$

このマッチングにより、損失増加以外は問題
ありません。



信号経路上の2つの 560Ω 抵抗による影響: VNWA 複素計算機能



The screenshot shows a window titled "Simple Calculator". On the left, there is a "Workspace" panel with a "Variable" section containing the text "ans". The main area is labeled "History" and contains the command `>> db (s2t (z2s (2*560)))`. Below the command, it shows `ans =` followed by the result `-21.727196613495`, which is highlighted with a blue rectangular box.

21,7 dB の付加的減衰 ✓

このソフトでも“適切”シミュレーション可能です!

Simulation Tool QUCS



- <http://qucs.sourceforge.net/>
- 万能型回路シミュレータ
- 無償
- 無制限
- 簡単な使用方法
- グラフィックとデータエクスポートには熟練が必要

QUCSでのSパラメータ模擬測定

Qucs 0.0.16 - Project: 11kHzBPF

File Edit Positioning Insert Project Tools Simulation View Help

11kHzBPF.sch 11kHzBPF.dpl

S parameter simulation

SP1
Type=lin
Start=10 kHz
Stop=12 kHz
Points=400

s2pファイルから測定したSパラメータ

X1
File=11kHz_BPF.s2p

P1 Num=1 Z=50 Ohm

R1 R=560 Ohm

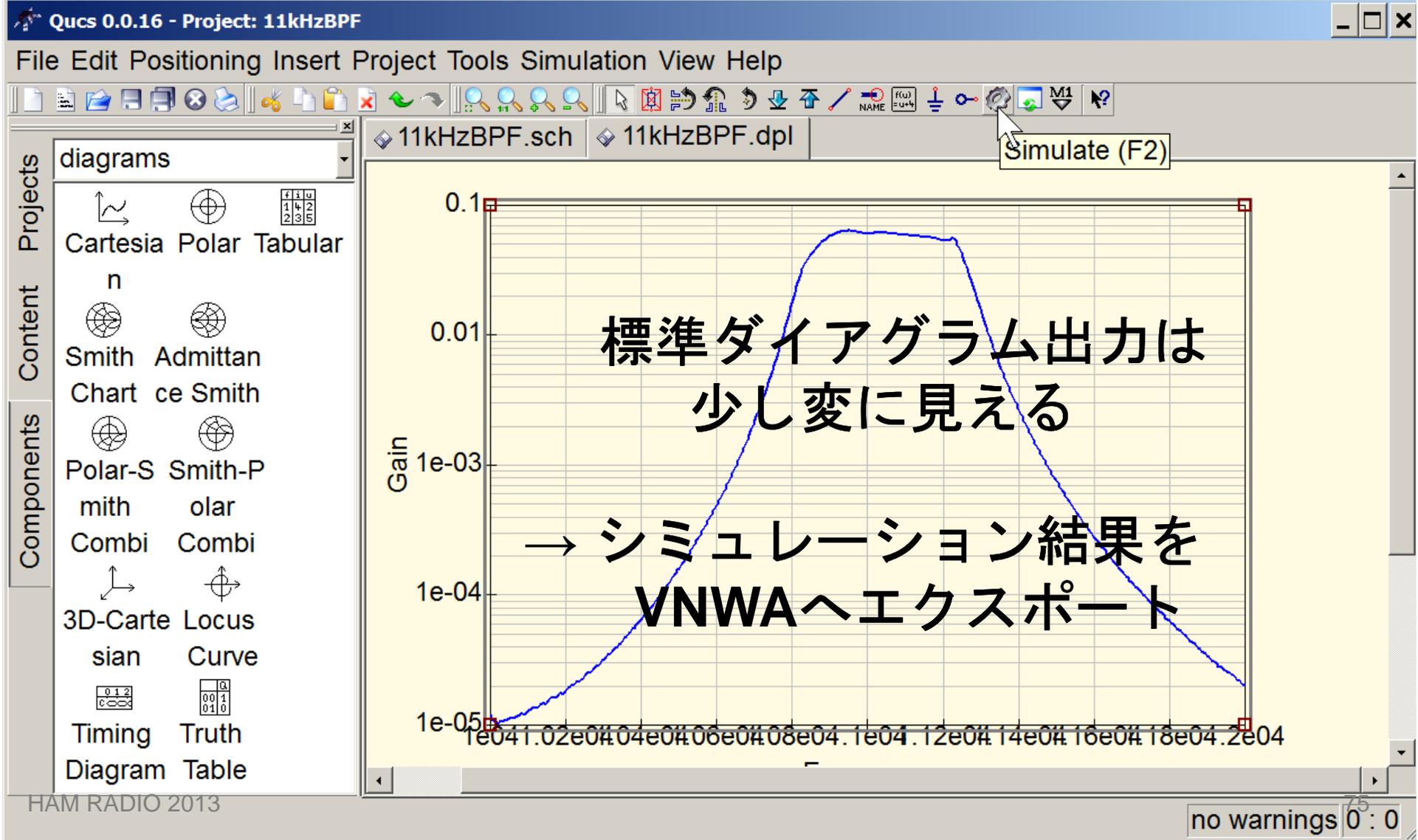
R2 R=560 Ohm

P2 Num=2 Z=50 Ohm

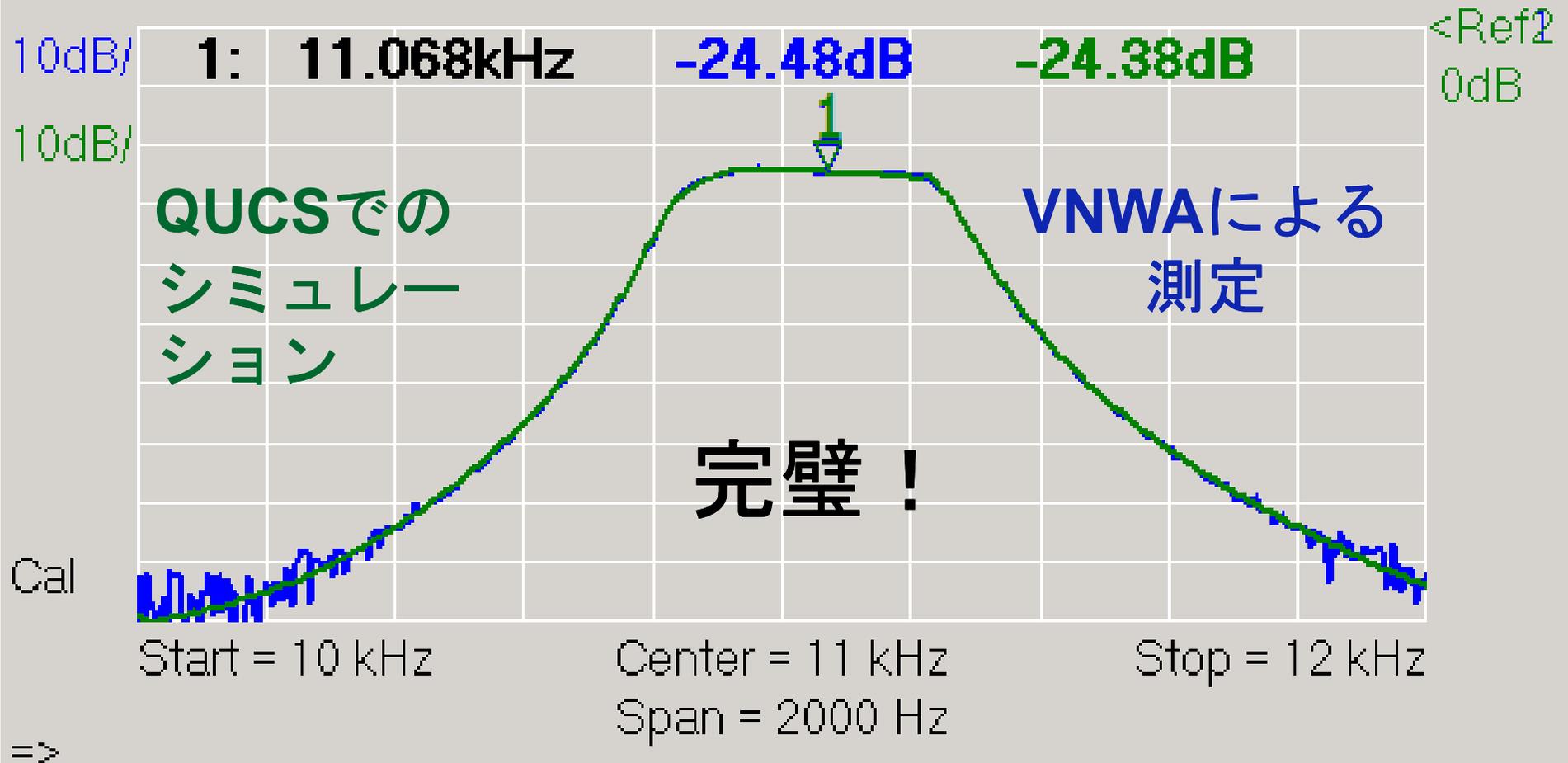
HAM RADIO 2013

no warnings 0 : 0

QUCSでのマッチングシミュレーション



QUCSシミュレーションと 実際の測定結果の比較



- S21 dB
- Mem1 dB

無償フィルターデザインソフト (1): Elsie – LCフィルター用

 Elsie Student Edition - Welcome !

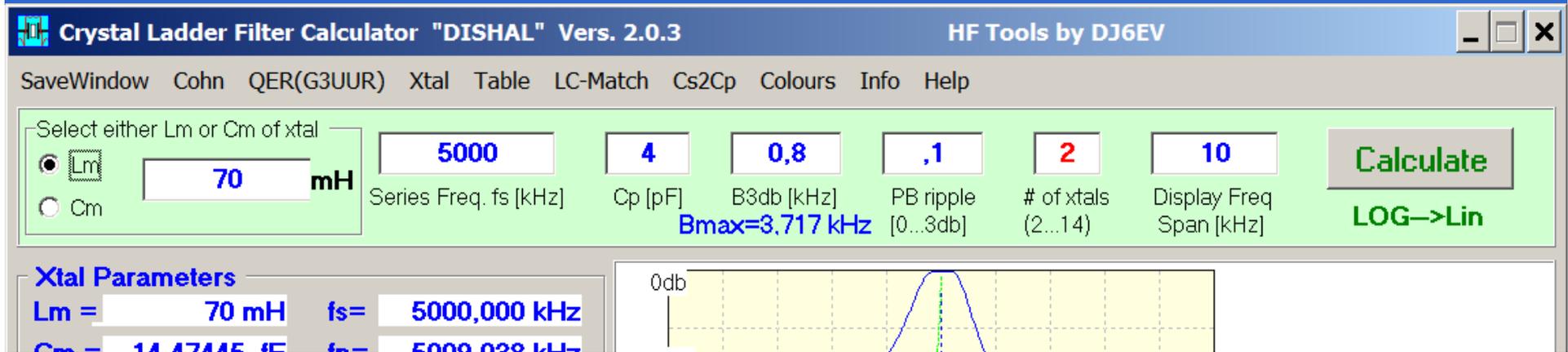
This is the Student Edition of
Elsie

- <http://tonnesoftware.com/elsiedownload.html>
- LCフィルターのデザイン、分析用
- 学生バージョンは、7素子までに限定
- 数値シミュレーション結果は、簡単に s2p ファイルにエクスポート可能!

Hochschule Ulm



無償フィルターデザインソフト (2): Dishal – クリスタルフィルター用

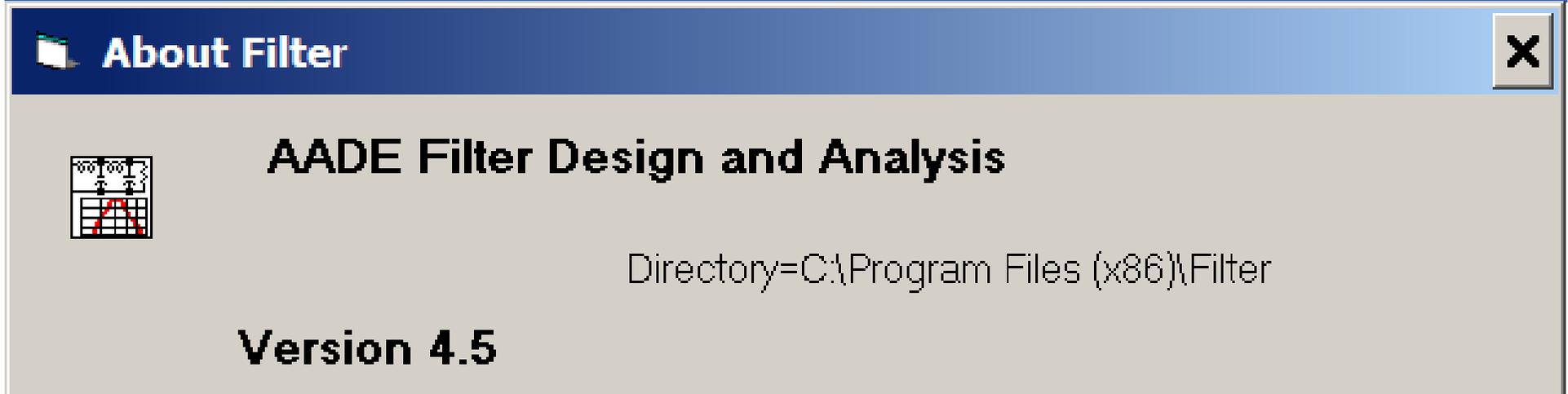


- <http://www.bartelsos.de/dk7jb.php/quarzfilter-horst-dj6ev>
- クリスタルフィルターのデザイン、分析用
- クリスタル損失無しでのシミュレーション
- S_{21} シミュレーション結果はエクスポート可能

Hochschule Ulm



無償フィルターデザインソフト (3): AADE Filter Design – 全てのフィルター用

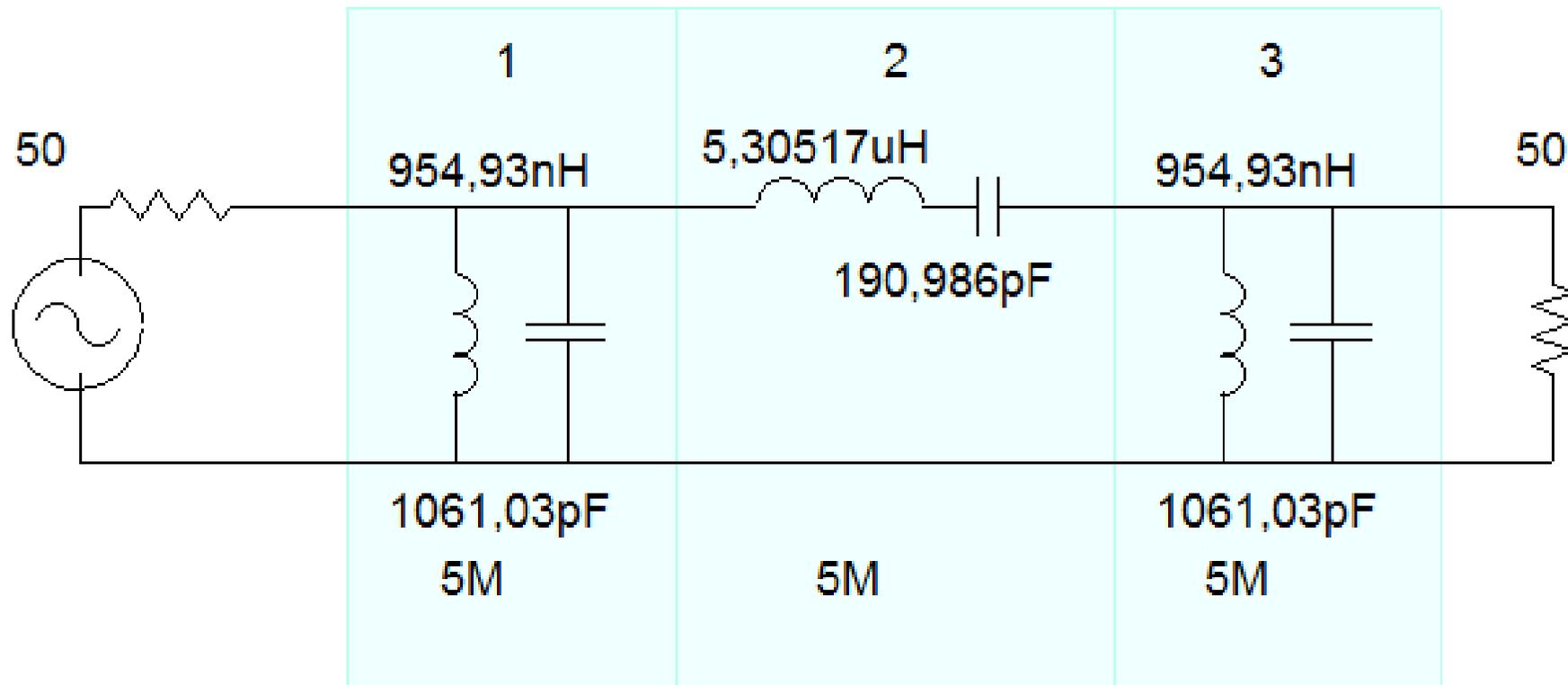


- <http://aade.com/filter32/download.htm>
- 全フィルター向けの、デザインおよび分析用
- 無償、しかし有償購買確認の画面が出る
- 簡単な使用方法
- 数値シミュレーション結果は、エクスポート可能

Hochschule Ulm



50Ω、バンド幅 3MHz, 5MHz用3素子 バターワースパイ型BPFの設計

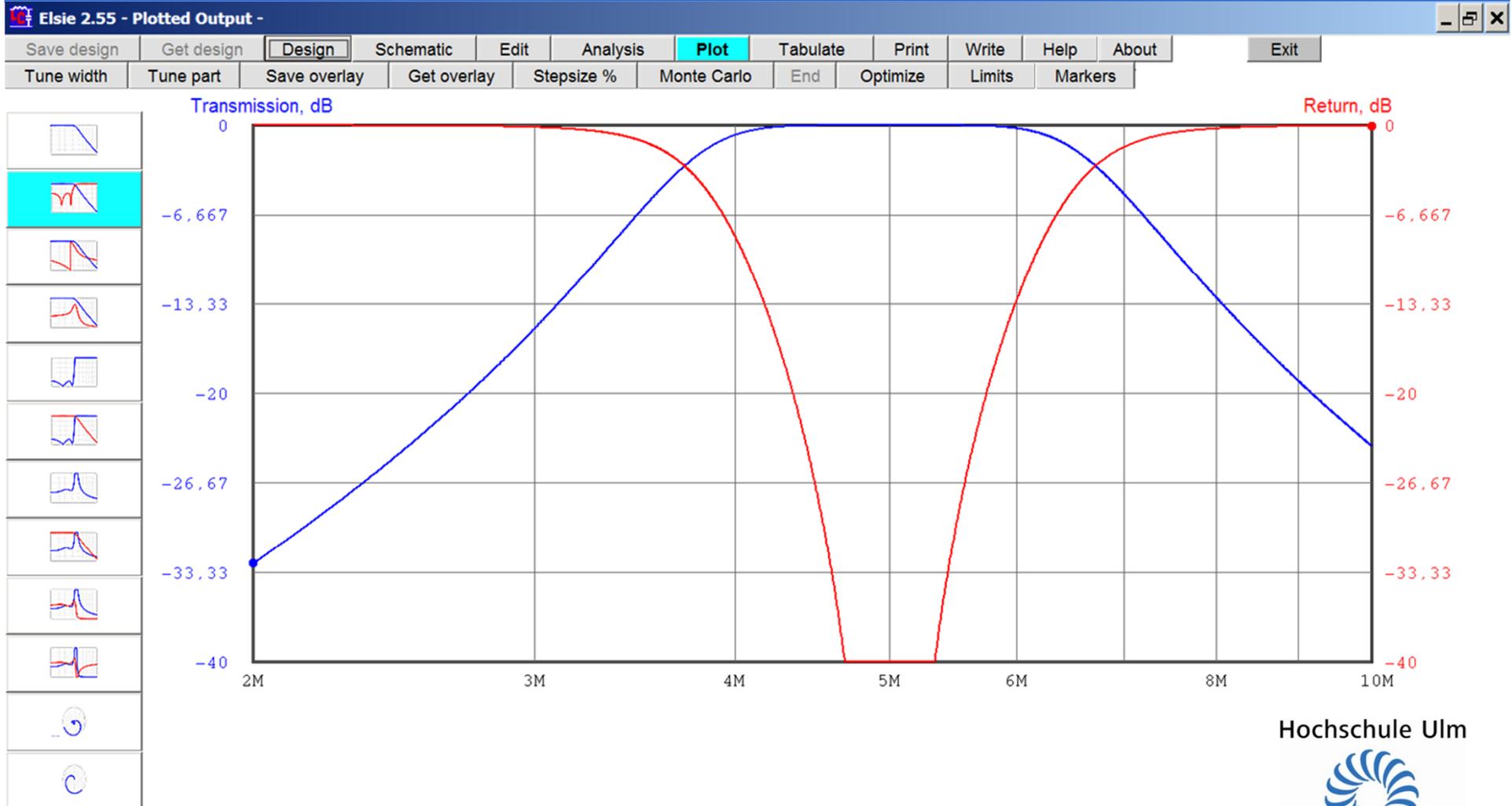


Elsieによるフィルタ設計

Hochschule Ulm



Elsie シミュレーション結果



素子を標準値と有効なQに変更 ...

Schematic

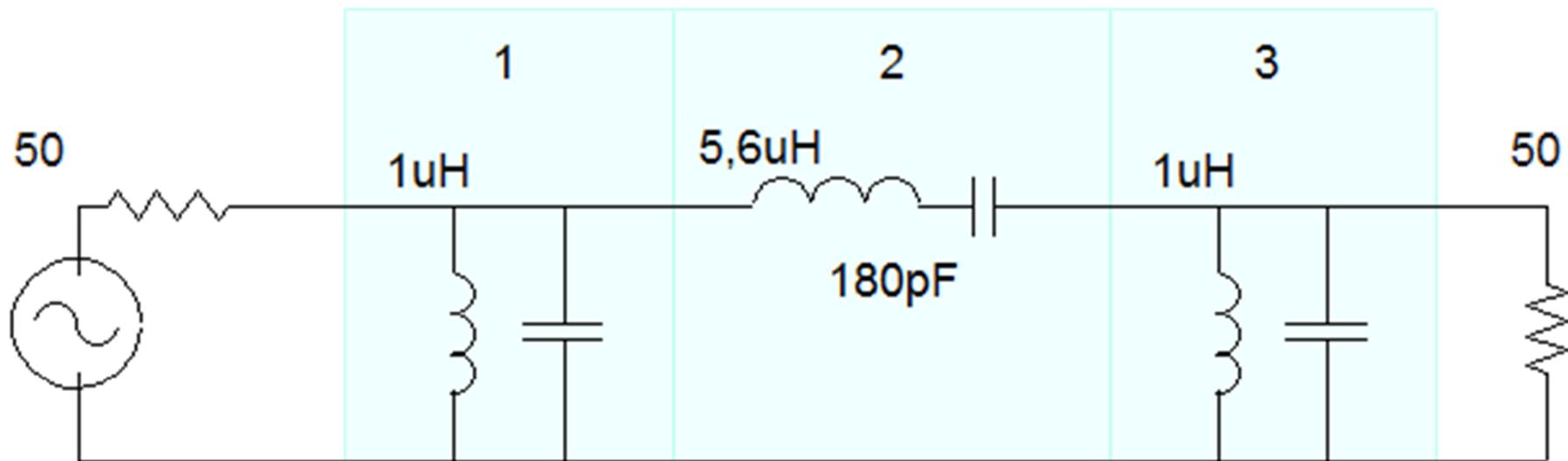
Edit

Analysis

Plot

Tabulate

Print



Q values:

Inductors: 50

Capacitors: 1E+07

1000pF

5,0329M

5,6uH

5,0129M

1000pF

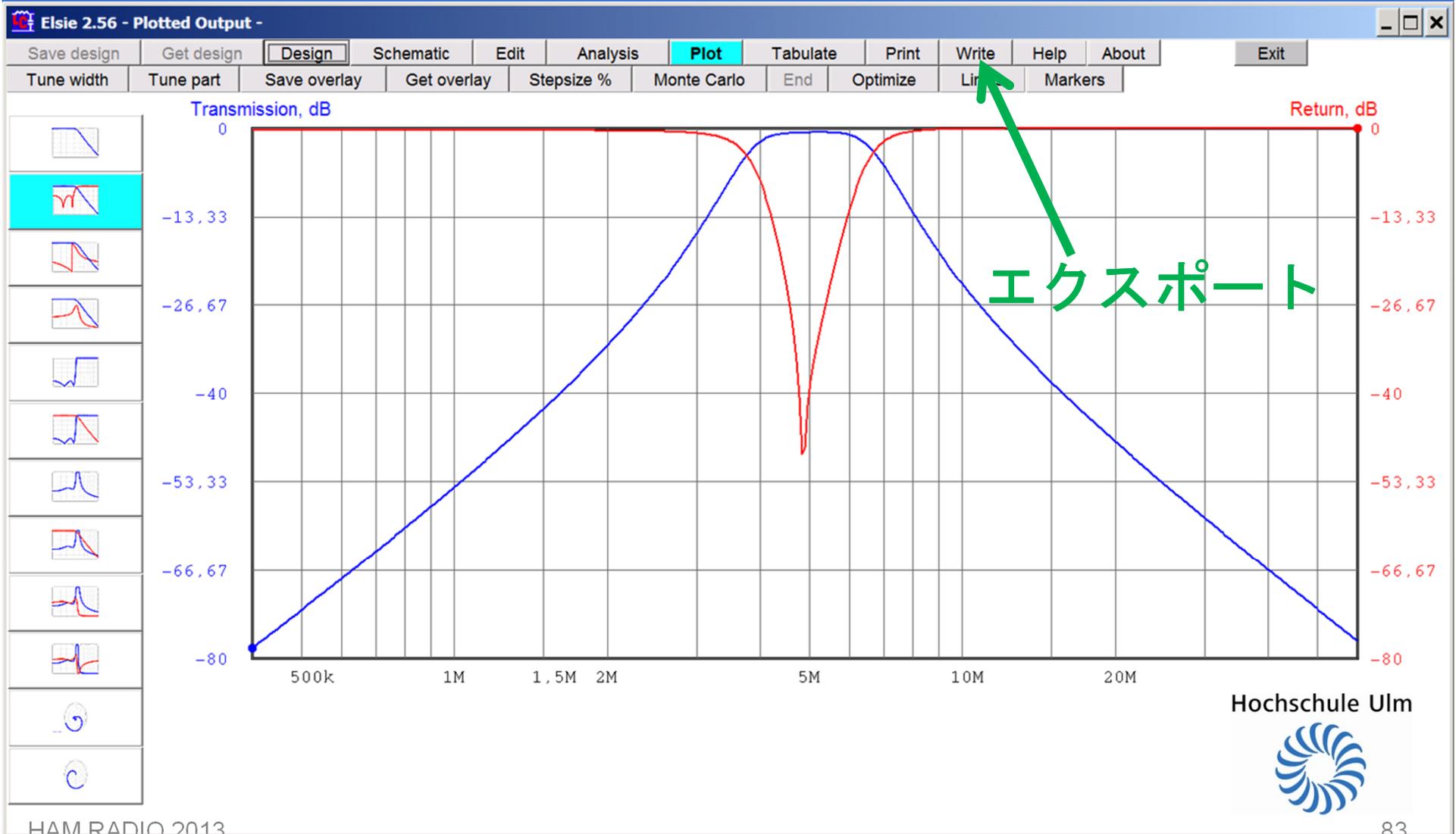
5,0329M

有効なQによるシミュレーション

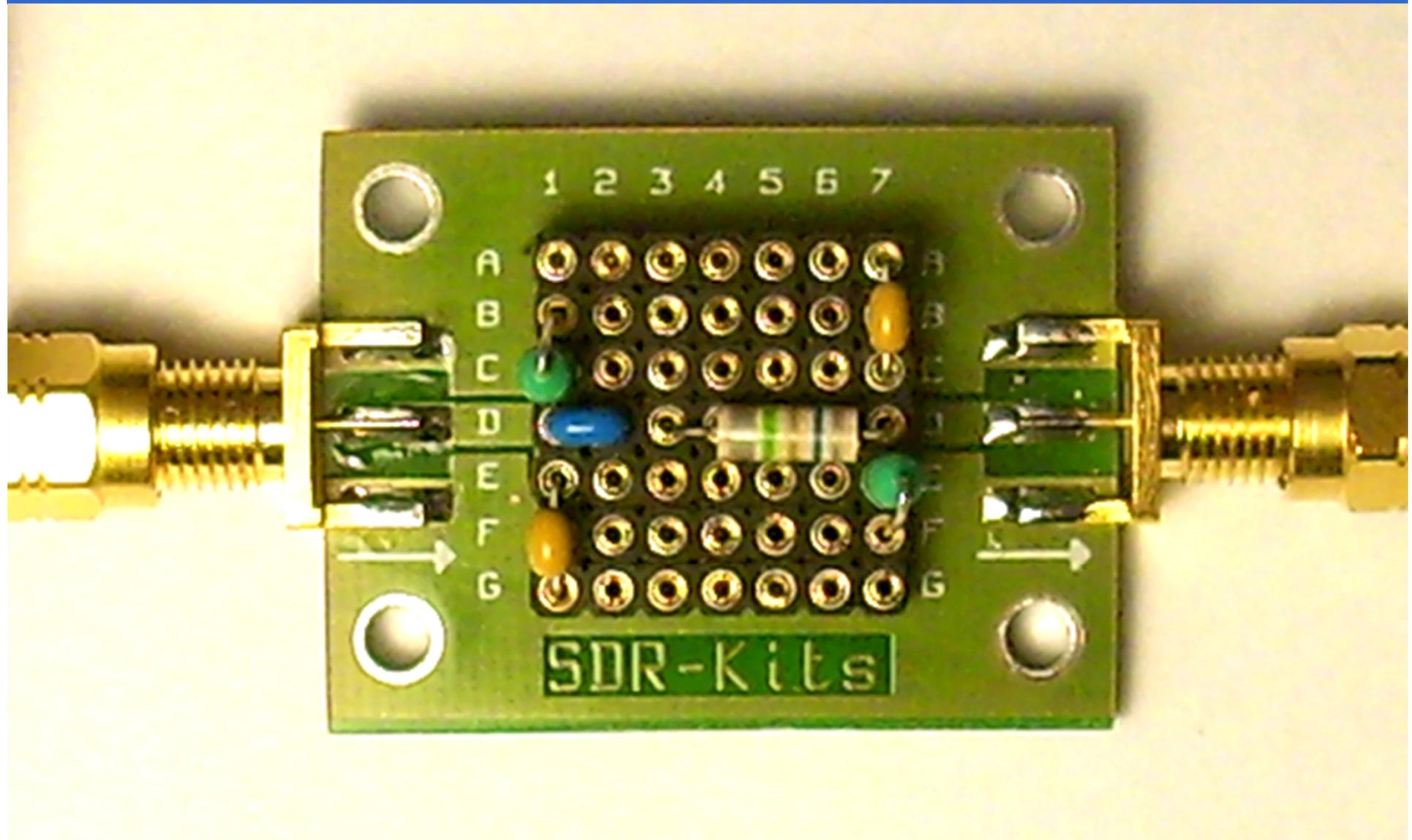
hochschule Ulm



...測定比較の為、シミュレーションを
s2pファイルにエクスポート。



フィルターハードウェア



比較 測定値 対 Elsieシミュレーション

S_{21} , S_{11} 測定値 - Plot1, Plot2 Elsieシミュレーション



=>

TX Att. = 0 dB

S21

=>

Mem 1

S21 dB

S11 Smith

Plot1 dB

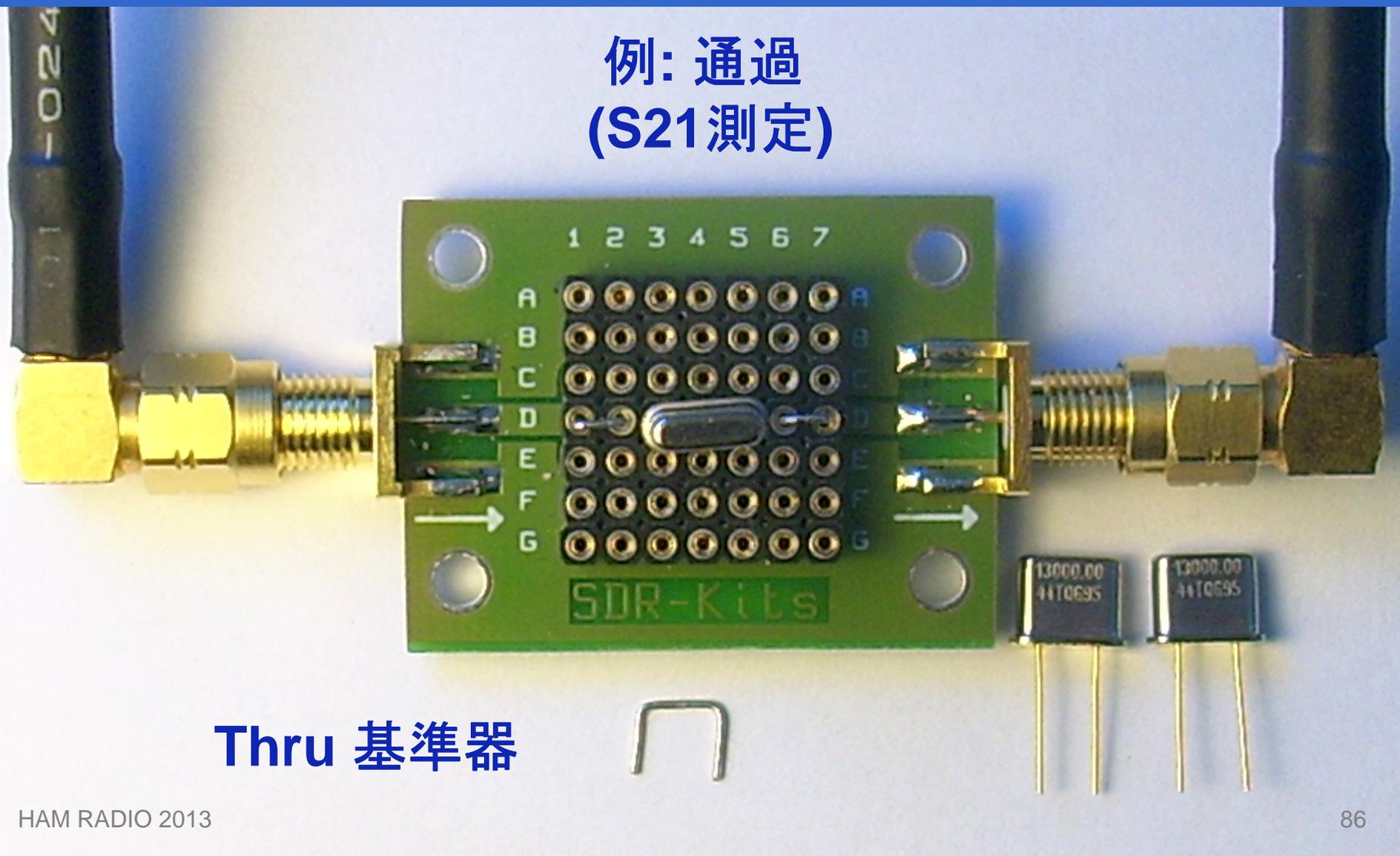
Plot2 Smith

Continuous

Single Sweep

クリスタルの測定/選択: VNWA Crystal Analyzer

例: 通過
(S21測定)

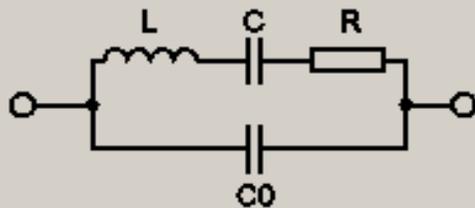


Thru 基準器

VNWA Crystal Analyzer Tool: 3つの特性が近いクリスタルの特定...

Crystal Analyzer - Analysis will be performed into 3-port data spaces s_11 an... ✕

Equivalent Circuit



L = 23.22917 mH

C = 6.456461 fF

R = Ohm

C0 = pF

$f = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C}$ = MHz

$R \cdot Q = \sqrt{L/C}$ = x1000

Q = 69517

source = S21

Test Jig Impedances = Ohms

Batch Crystal Analyzer

| # | f / Hz | Q | L / H | C / F | R / Ohm | C0 / F | figure of m |
|---|-------------|-------|---------------|-----------------|---------|-----------------|-------------|
| 1 | 12995915.37 | 48842 | 0.02349916516 | 6.382253945E-15 | 39.29 | 2.468043934E-12 | 0.000775 |
| 2 | 12995927.72 | 54196 | 0.02368969902 | 6.330910084E-15 | 35.69 | 2.420346928E-12 | 0.00116 |
| 3 | 12995886.98 | 69517 | 0.02322917961 | 6.456461114E-15 | 27.29 | 2.465710412E-12 | 0.0015 |

これらのクリスタルでフィルターを作ること
にします。

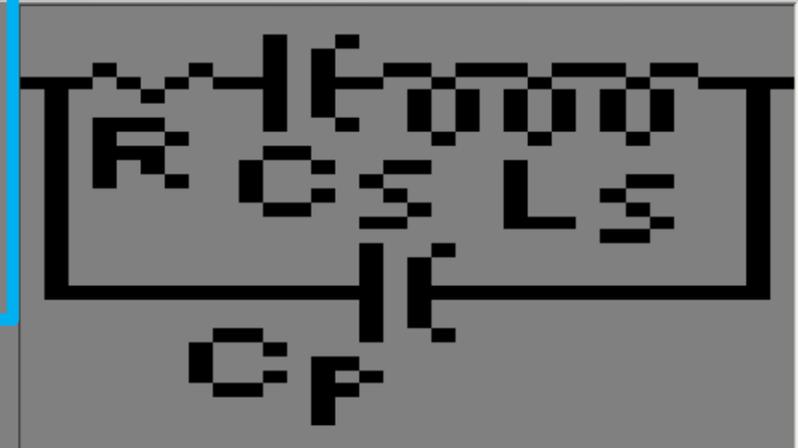
→ AADEにクリスタルのパラメータを入力

Enter data

Enter values from the keyboard or by clicking on the calculator pad shown. Tab advances to the next value.

| | | | | | |
|-------|--------|-----|----------------|---|---|
| 7 | 8 | 9 | + | - | M |
| 4 | 5 | 6 | * | / | K |
| 1 | 2 | 3 | % | = | m |
| 0 | . | √ | x ² | μ | |
| tab | bksp | CLR | n | | |
| ENTER | Cancel | p | | | |

Cp = 2,46804p
Ls = 23,499m
Cs = .00638p
Qx = 48,842K



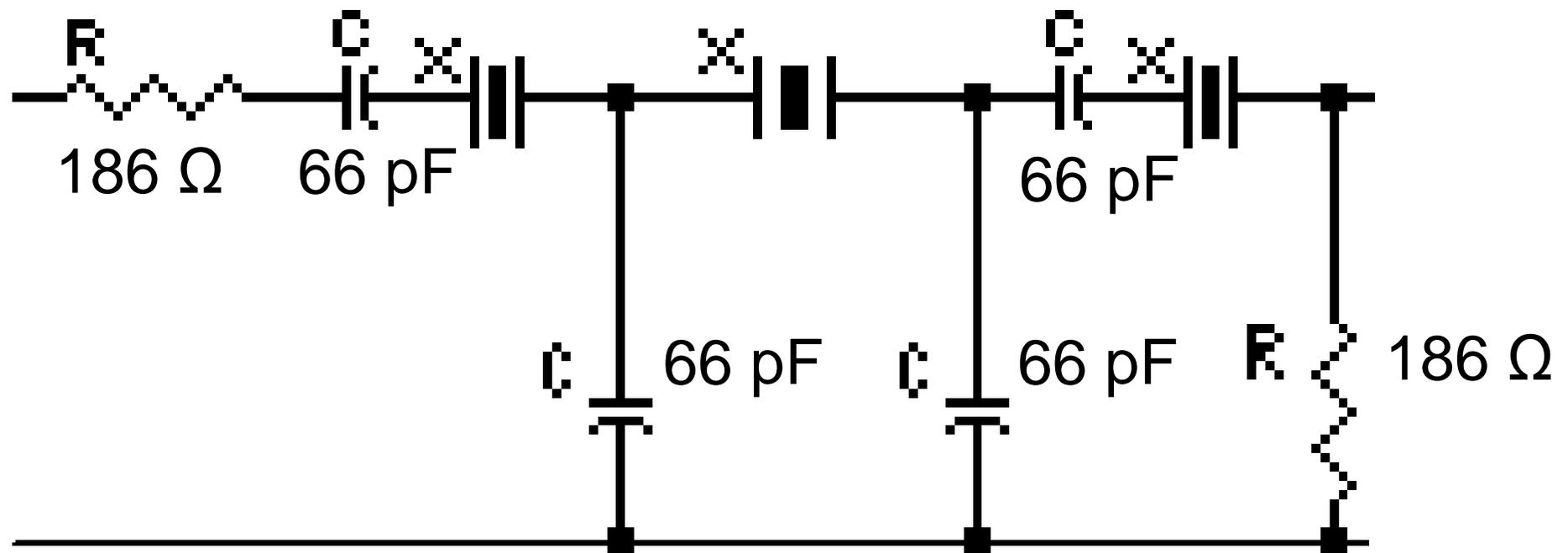
Enter the crystals parallel capacitance in Farads. L/C Meter II will measure it.

VNWA Crystal Analyzer から
データを移動

| # | f / Hz | Q | L / H | C / F | R / Ohm | C0 / F | figure of m |
|---|-------------|-------|---------------|-----------------|---------|-----------------|-------------|
| 1 | 12995915.37 | 48842 | 0.02349916516 | 6.382253945E-15 | 39.29 | 2.468043934E-12 | 0.000775 |



AADE 最小ロス (Cohn) デザイン

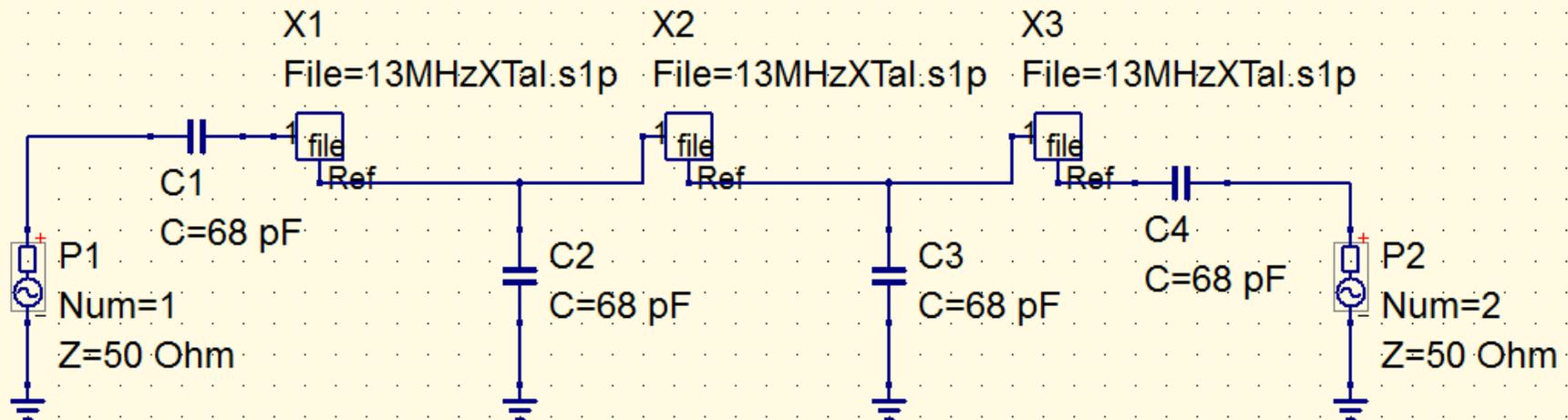


標準素子値を用いた、50Ω時のQUCSシミュレーション

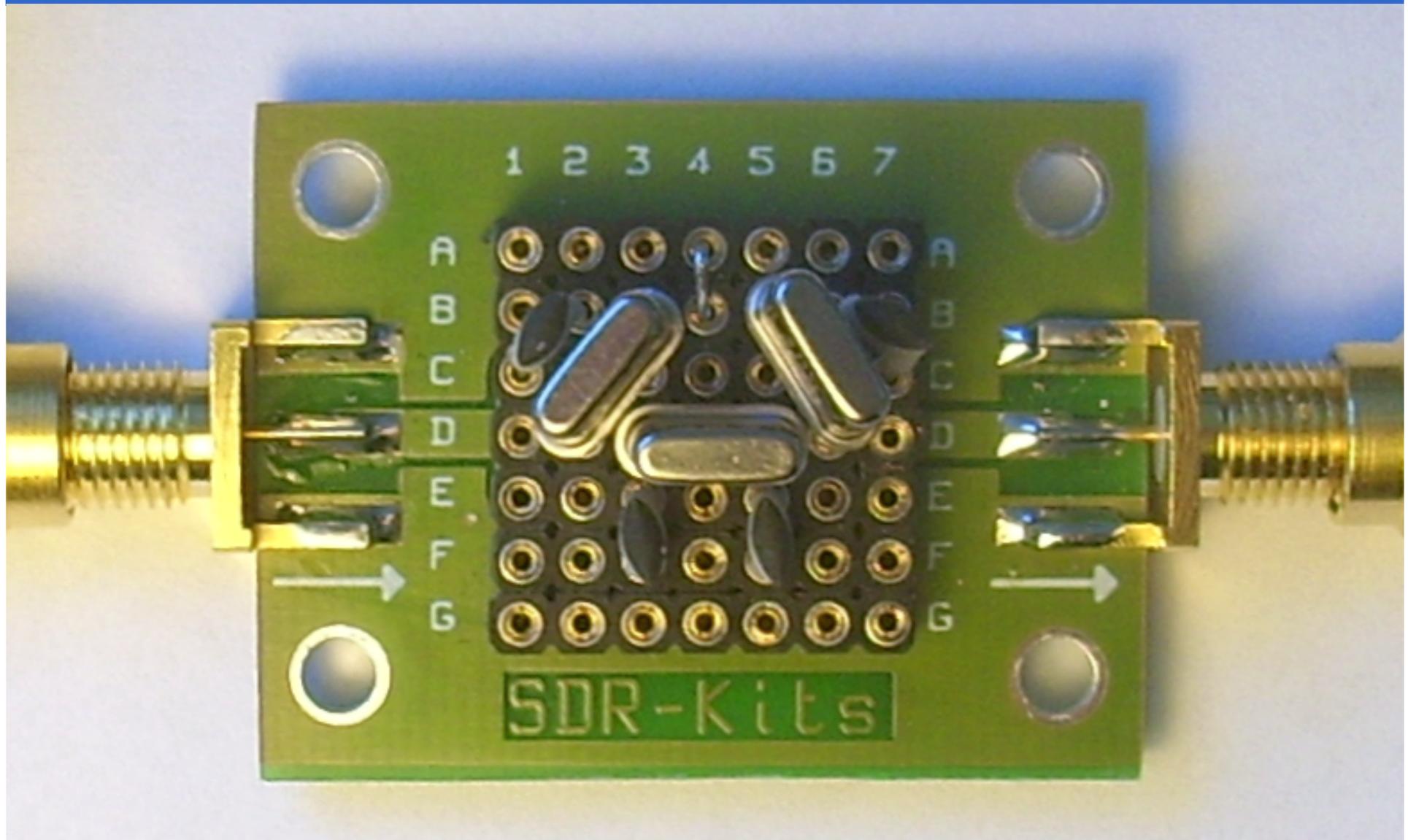
S parameter simulation

SP1
Type=lin
Start=12.987 MHz
Stop=13.007 MHz
Points=800

VNWA測定で得られたs1p
ファイルによるクリスタルの
シミュレーション!

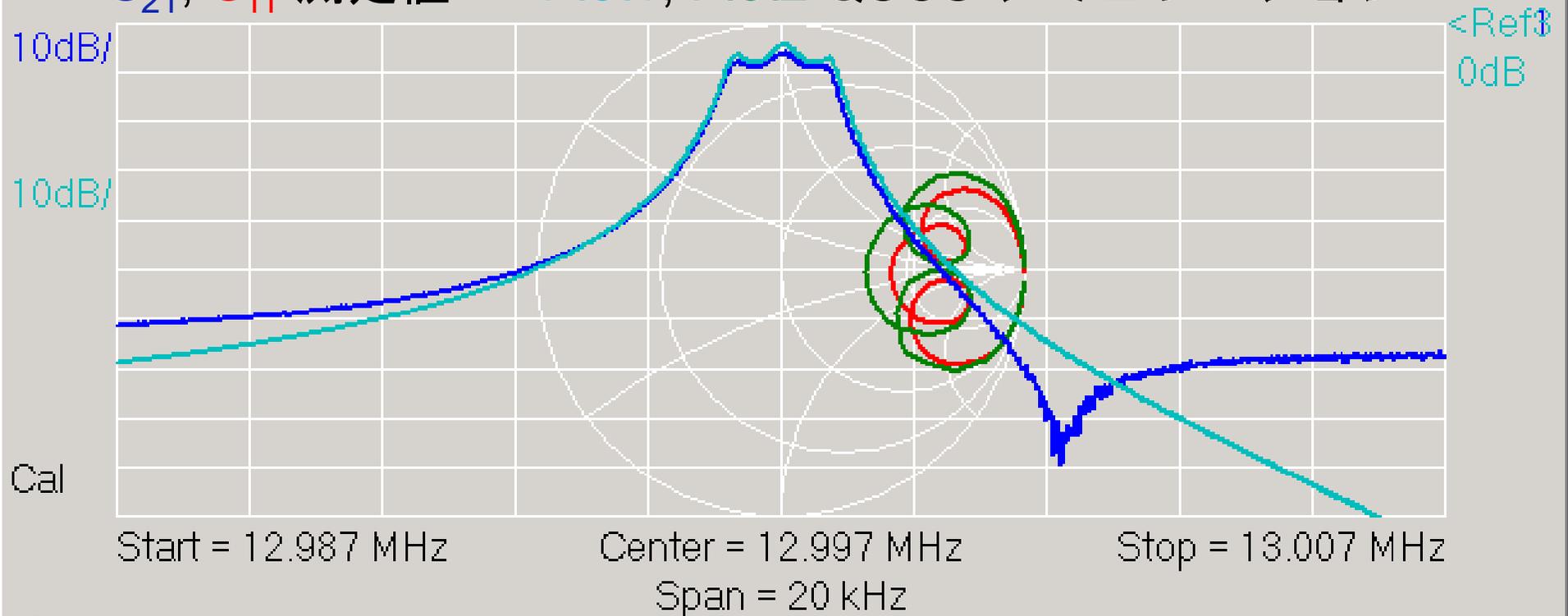


クリスタルフィルターハードウェア



クリスタルフィルター: 測定値 対 シミュレーション、50Ω時

S_{21} , S_{11} 測定値 - Plot1, Plot2 QUCS シミュレーション



=>

TX Att. = 0 dB

S11



Plot2

S21 dB

S11 Smith

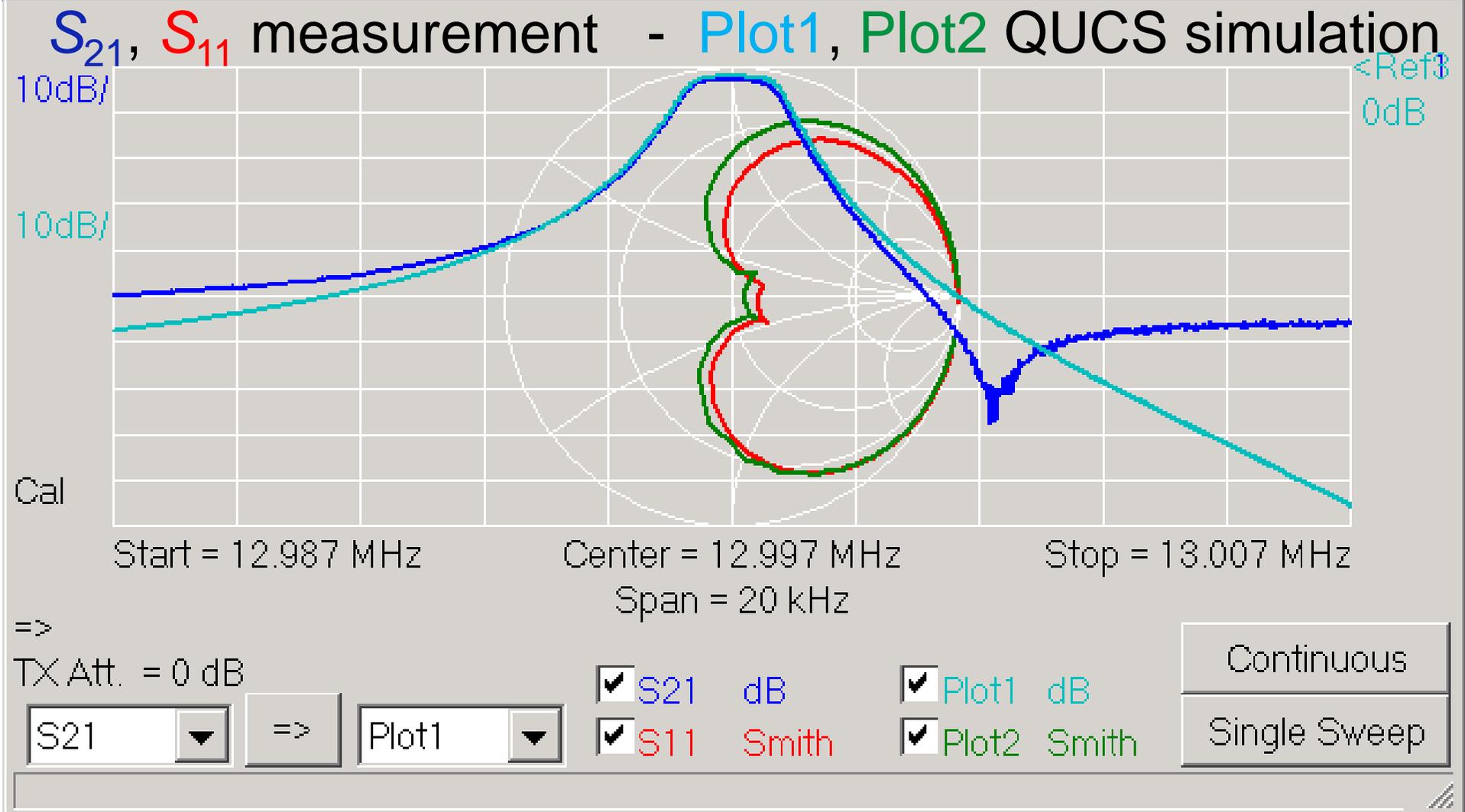
Plot1 dB

Plot2 Smith

Continuous

Single Sweep

クリスタルフィルター: 測定値 対 シミュレーション、186Ω時



これにより、以下のことが可能です...

- 電子部品の測定
- フィルターのデザイン
- フィルターの
シミュレーション
- フィルターの測定

ワークショップでお楽しみください!



ご清聴有難うございました!

Do I get this right? You tell your wife:
“Sorry dear, not tonight. I have a head-
ache” and then you can sit all night and
work with your Vector Network Analyzer!?!

Dipl. Psychologe

Dr. Quin