

## はじめに

アンテナのインダクタンスや回路の自己共振周波数など、NFCリーダのアンテナが持つパラメータは周囲環境の影響により変動することがあります。このような影響は、リーダのPCBを最終的な筐体に取り付けた状態や、完成品のリーダ装置を金属物体の近傍に設置した状態などで発生します。

アンテナ・パラメータの変化によってアンテナのチューニングがずれ（離調）、性能劣化の原因となります。アンテナ整合部品の初期状態によっては、変調中または変調後にオーバーシュートが発生することもあります。また、アンテナの離調によって整合インピーダンスが低下し、リーダ装置の最大消費電力要件に適合しなくなることも考えられます。

ST25R3911Bデバイスに搭載された自動アンテナチューニング (AAT) 機能を使用して整合回路の再チューニングを図れば、これらの影響を排除できます。

本アプリケーション・ノートでは、ST25R3911B-DISCOボードを例として使用し、ソフトウェアベースとハードウェアベースの2種類のAATについて解説します。

ソフトウェアベースのAATアルゴリズムの例では、位相または振幅の目標値達成を目指してアンテナのチューニングを実現する方法を紹介します。ソフトウェアによるこれらのオプションは、ハードウェアベースのAATに代わる手法と考えることができます。ハードウェアベースのAATでは、必ず最大の振幅を得ることが目標となっています。

本稿では ST25R3911B デバイスのみを取り上げていますが、その解説内容は ST25R3911、ST25R3913、ST25R3914の各デバイスにも適用できます。上記のアルゴリズムは、STSW-ST25R001ソフトウェアで実装しています。

表 1. 適合デバイス

種類	部品番号
ST25 NFC/RFIDタグ&リーダ	ST25R3911B ST25R3911 ST25R3913 ST25R3914
ソフトウェア	STSW-ST25R001

## 目次

<b>1</b>	<b>自動アンテナチューニングの原理</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>目標インピーダンスの測定と電流消費</b> .....	<b>7</b>
2.1	トリミング値 0 .....	7
2.2	トリミング値 1 .....	8
2.3	トリミング値 2 .....	9
2.4	トリミング値 3 .....	10
2.5	トリミング値 4 .....	11
2.6	トリミング値 5 .....	12
2.7	トリミング値 6 .....	13
2.8	トリミング値 7 .....	14
2.9	トリミング値 8 .....	15
2.10	トリミング値 9 .....	16
2.11	トリミング値 10 .....	17
2.12	トリミング値 11 .....	18
2.13	トリミング値 12 .....	19
2.14	トリミング値 13 .....	20
2.15	トリミング値 14 .....	21
2.16	トリミング値 15 .....	22
<b>3</b>	<b>GUI</b> .....	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>結論</b> .....	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>改版履歴</b> .....	<b>27</b>

## 表の一覧

表 1.	適合デバイス.....	1
表 2.	AAT アルゴリズムで選択可能なオプション.....	23
表 3.	文書改版履歴.....	27
表 4.	日本語版文書改版履歴.....	27

## 図の一覧

図 1.	自動アンテナチューニング機能を備えたアンテナ整合回路	6
図 2.	トリミング値 0 におけるインピーダンス測定結果	7
図 3.	トリミング値 1 におけるインピーダンス測定結果	8
図 4.	トリミング値 2 におけるインピーダンス測定結果	9
図 5.	トリミング値 3 におけるインピーダンス測定結果	10
図 6.	トリミング値 4 におけるインピーダンス測定結果	11
図 7.	トリミング値 5 におけるインピーダンス測定結果	12
図 8.	トリミング値 6 におけるインピーダンス測定結果	13
図 9.	トリミング値 7 におけるインピーダンス測定結果	14
図 10.	トリミング値 8 におけるインピーダンス測定結果	15
図 11.	トリミング値 9 におけるインピーダンス測定結果	16
図 12.	トリミング値 10 におけるインピーダンス測定結果	17
図 13.	トリミング値 11 におけるインピーダンス測定結果	18
図 14.	トリミング値 12 におけるインピーダンス測定結果	19
図 15.	トリミング値 13 におけるインピーダンス測定結果	20
図 16.	トリミング値 14 におけるインピーダンス測定結果	21
図 17.	トリミング値 15 におけるインピーダンス測定結果	22
図 18.	アンテナ特性、HW ベースの AAT	23
図 19.	アンテナ特性、SW ベースの AAT (位相の最適化)	24
図 20.	アンテナ特性、SW ベースの AAT (振幅の最適化)	25

## 1 自動アンテナチューニングの原理

製造後や通信の実施ごとにアンテナの再チューニングが必要になる要因は、いくつか考えられます。アンテナのチューニングがずれる（離調）原因として、最も多く見られるものとして以下が挙げられます。

- 整合回路部品のばらつき
- PCBや巻線アンテナの製造上のばらつき
- アンテナの材料またはアンテナ近傍の材料（フェライト）の温度特性
- 環境の影響による離調（リーダ装置を金属の近傍に設置した場合など）
- アプリケーションによる2つの整合オプション（小電力整合と大電力整合）の切り替え

これらの影響を容易に補償するには、並列コンデンサの値を可変にして、LCアンテナ・タンクの共振周波数を調整します。

ST25R3911Bに搭載された自動アンテナチューニング（AAT）機能とは、この並列コンデンサに、バイナリ重み付けした8個のコンデンサ（RFOチャンネルごとに4個）を並列接続し、これらを切り替える機能です。この方法によって並列コンデンサの値を16段階で調整（トリミング）できます。トリミングできる容量範囲は、トリミング・コンデンサの容量値で決まります。

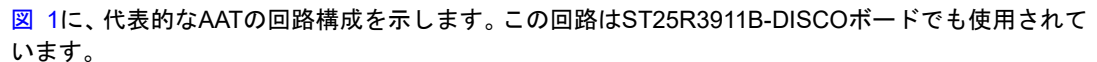
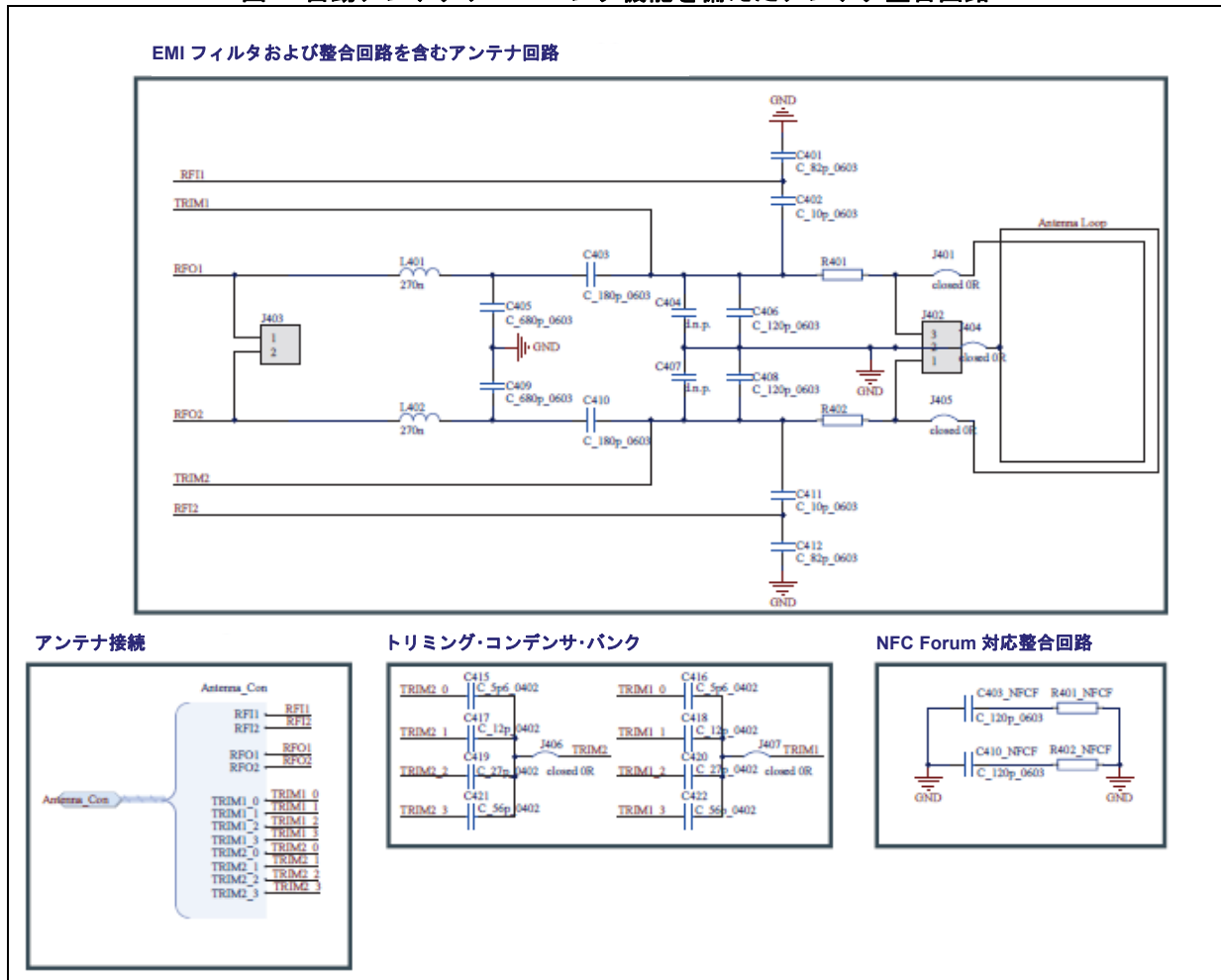
 図 1に、代表的なAATの回路構成を示します。この回路はST25R3911B-DISCOボードでも使用されています。

図 1. 自動アンテナチューニング機能を備えたアンテナ整合回路



LSBIに相当するトリミング・コンデンサの値は、5.6 pF以上にする必要があります。大まかな目安として、トリミング範囲（トリミング・コンデンサの容量値の合計）を、並列コンデンサの容量値の1/4 ~ 3/4に設定します。

リーダの設計で、AATを使用できるように回路図を構成するには、アンテナマッチングツールの使用を推奨します。アンテナの共振周波数を13.56 MHzに調整するには、整合していない状態のアンテナの自己共振周波数に応じて、ある程度の並列容量が必要です。推奨される方法として、並列容量の計算値から、MSB相当のトリミング・コンデンサの容量を差し引きます。

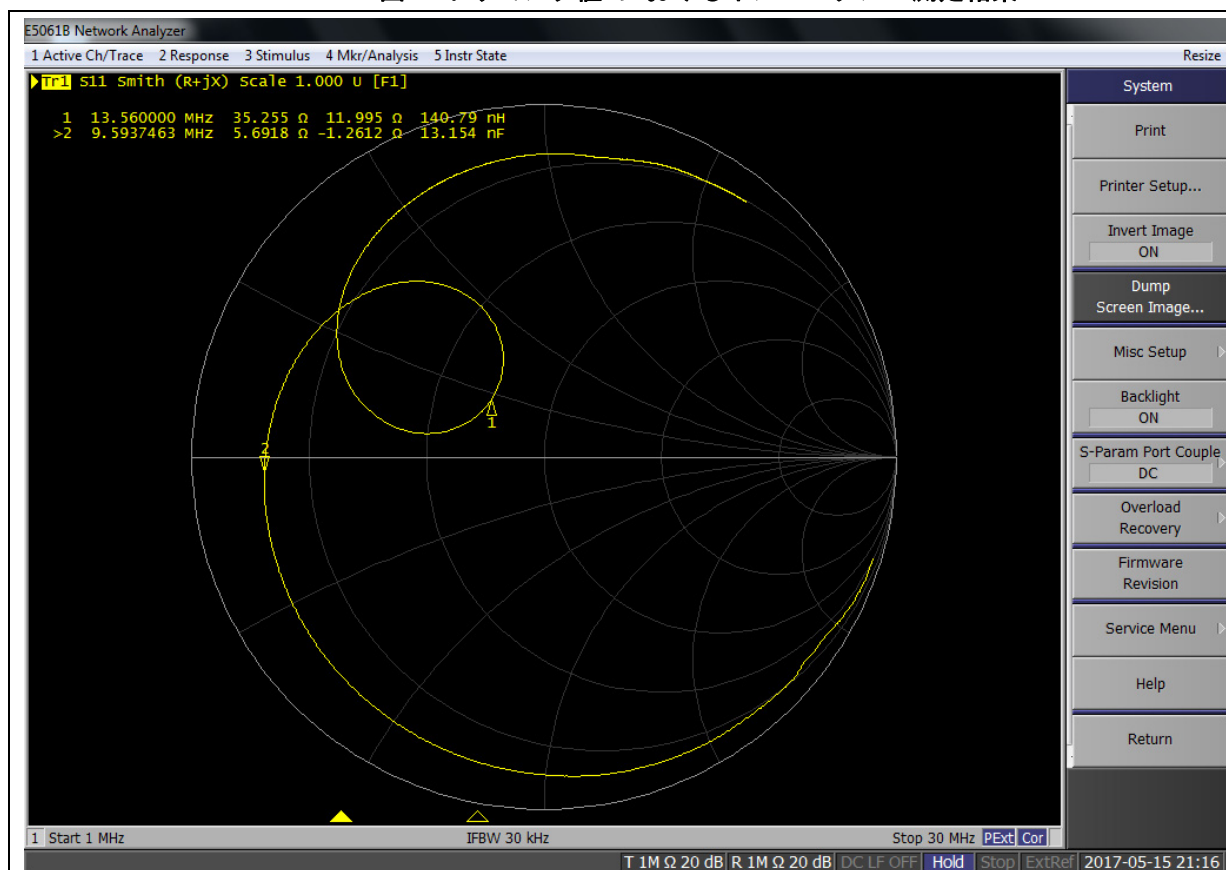
たとえば、並列コンデンサ容量の計算値が180 pF、MSBのトリミング・コンデンサの容量値が56 pFの場合、並列コンデンサを120 pFに設定します。その結果、トリミング値は8になります。

## 2 目標インピーダンスの測定と電流消費

ST25R3911B-DISCOには、16段階のトリミング値に対応した16段階の目標インピーダンスがあり、それぞれでVSP\_RF = 4.62 Vにおける消費電流が異なります。

### 2.1 トリミング値0

図 2. トリミング値0におけるインピーダンス測定結果

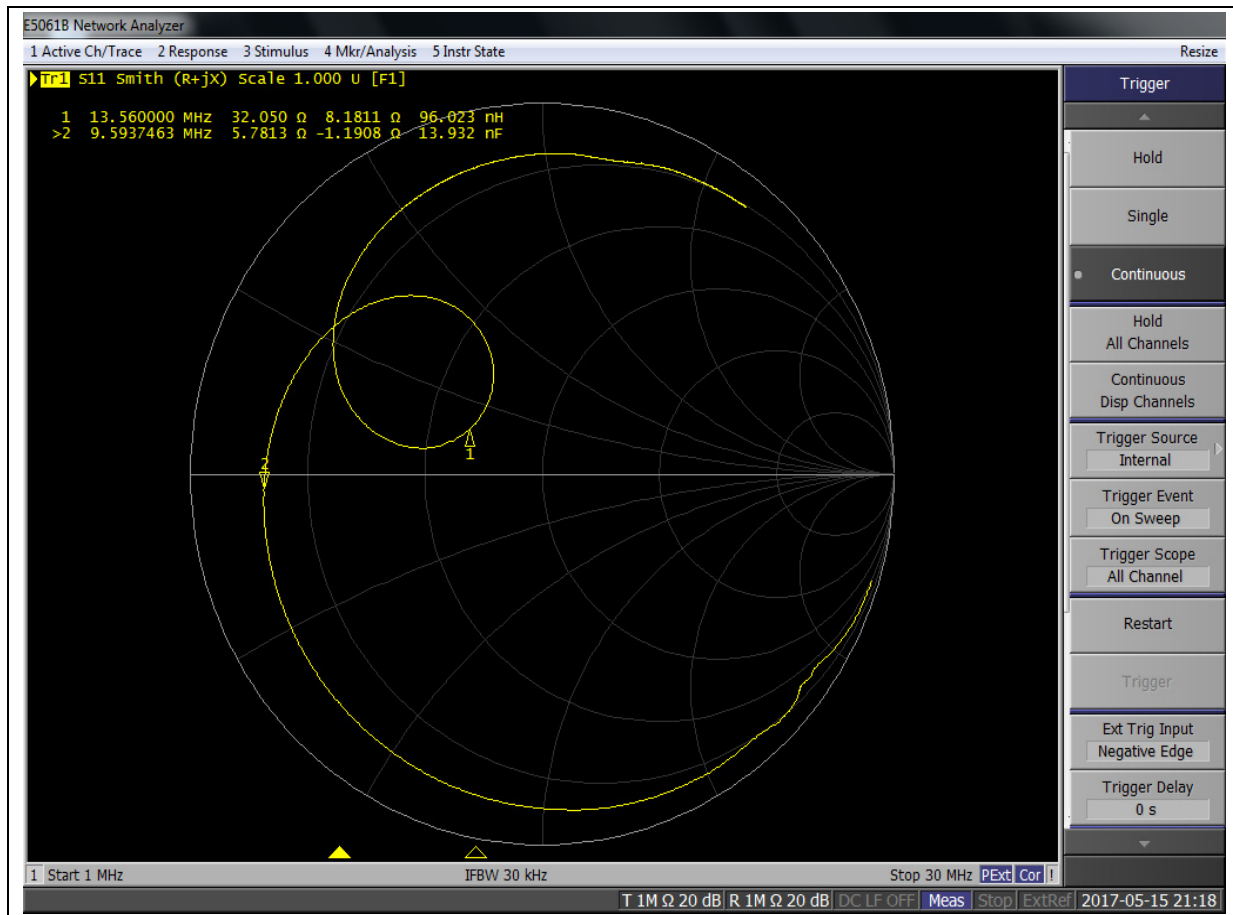


条件:

- $Z = 35.3 \Omega + j12 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 37.24 \Omega$
- 消費電流: 88.3 mA

## 2.2 トリミング値1

図 3. トリミング値1におけるインピーダンス測定結果



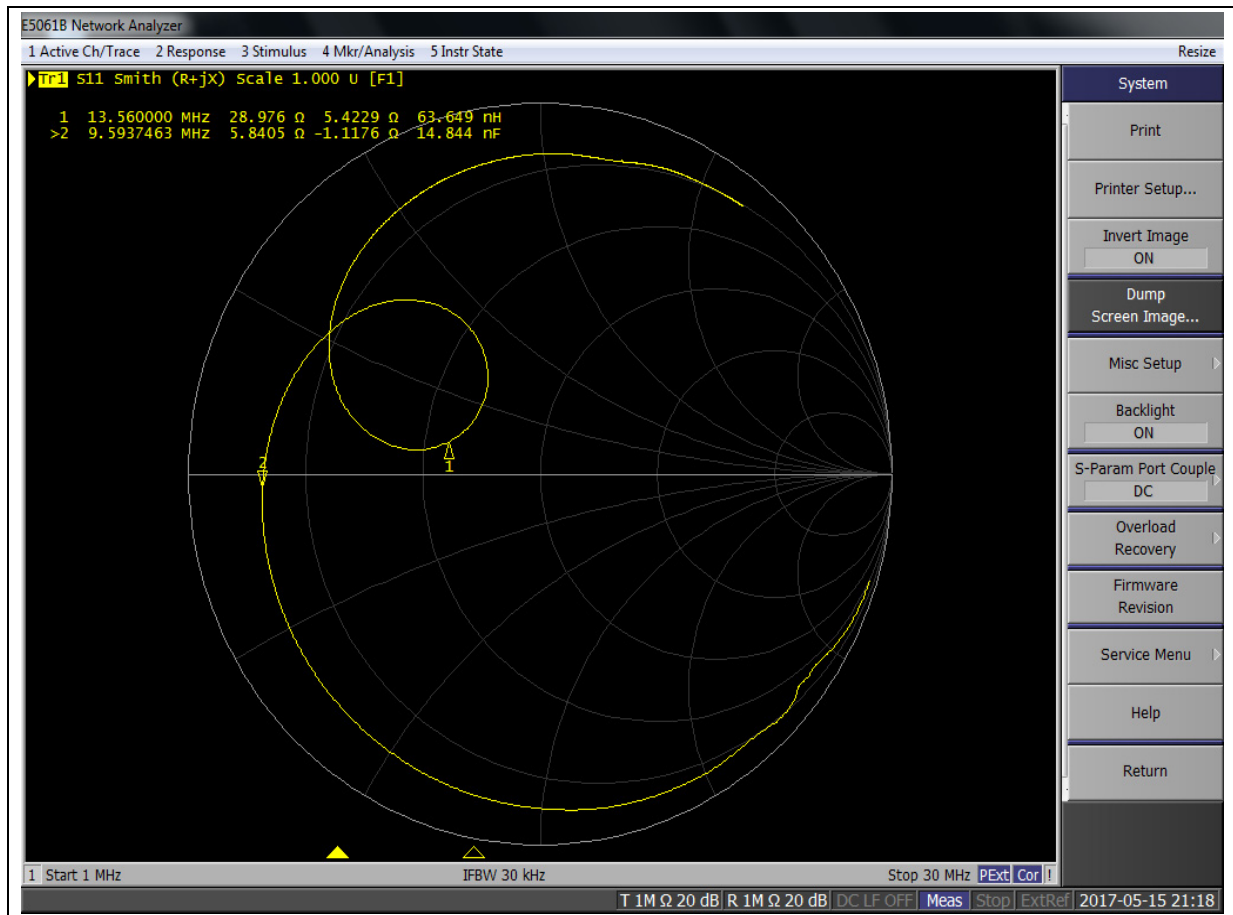
条件:

- $Z = 32.05 \Omega + j8.181 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 33.1 \Omega$
- 消費電流: 93.2 mA



## 2.3 トリミング値2

図 4. トリミング値2におけるインピーダンス測定結果

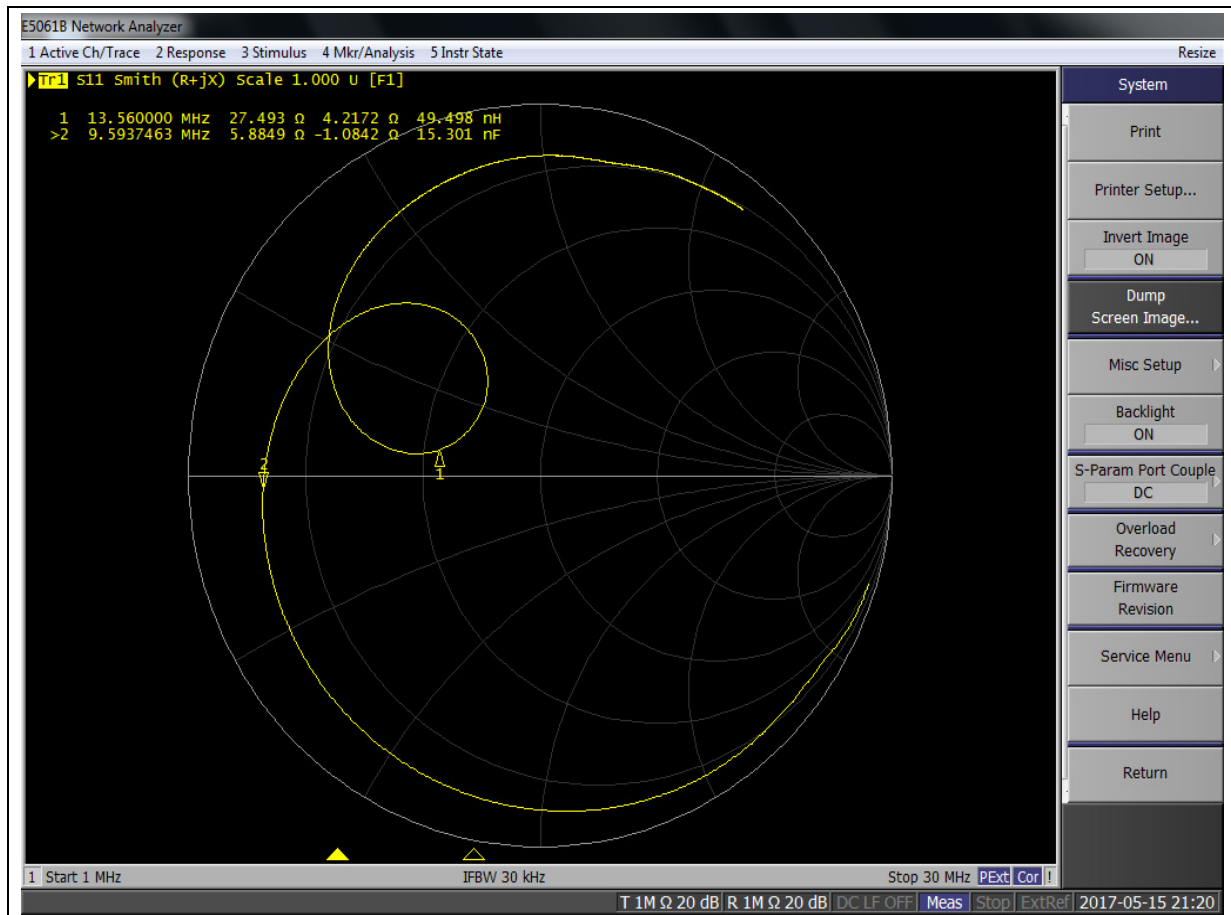


条件:

- $Z = 29 \Omega + j5.4 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 29.5 \Omega$
- 消費電流: 102.8 mA

## 2.4 トリミング値3

図 5. トリミング値3におけるインピーダンス測定結果

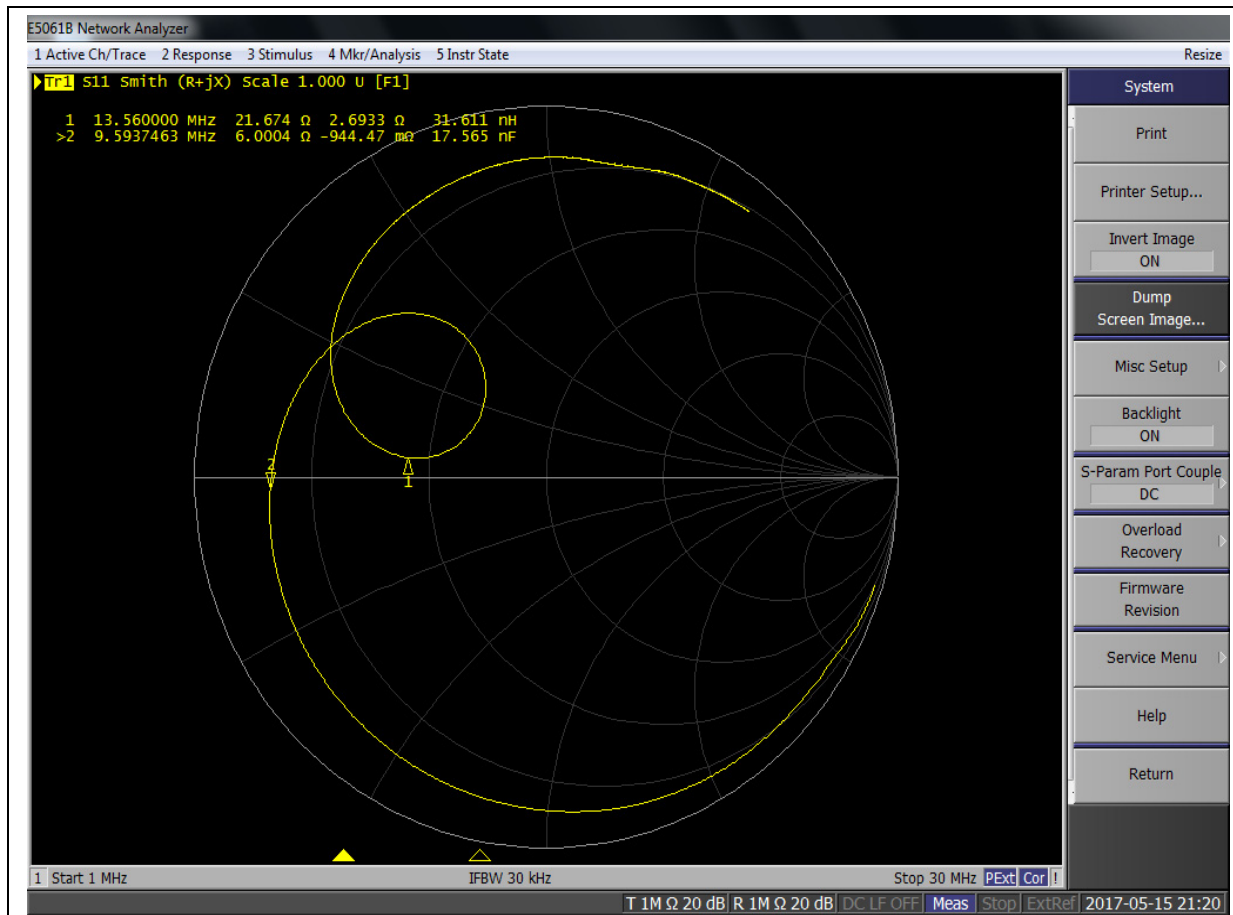


条件:

- $Z = 27.5 \Omega + j4.2 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 27.8 \Omega$
- 消費電流: 109.4 mA

## 2.5 トリミング値4

図 6. トリミング値4におけるインピーダンス測定結果

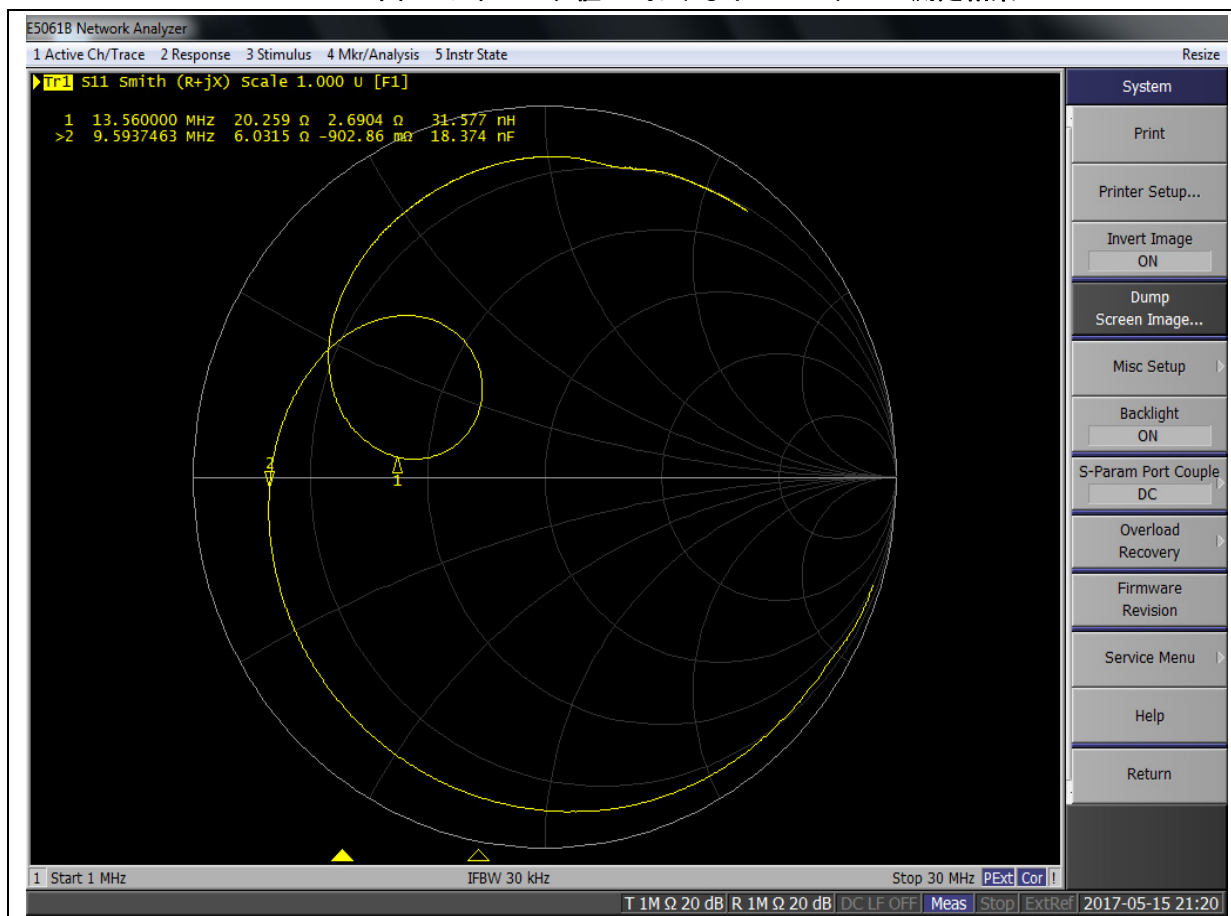


条件:

- $Z = 21.7 \Omega + j2.7 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 21.84 \Omega$
- 消費電流: 149.2 mA

## 2.6 トリミング値5

図 7. トリミング値5におけるインピーダンス測定結果

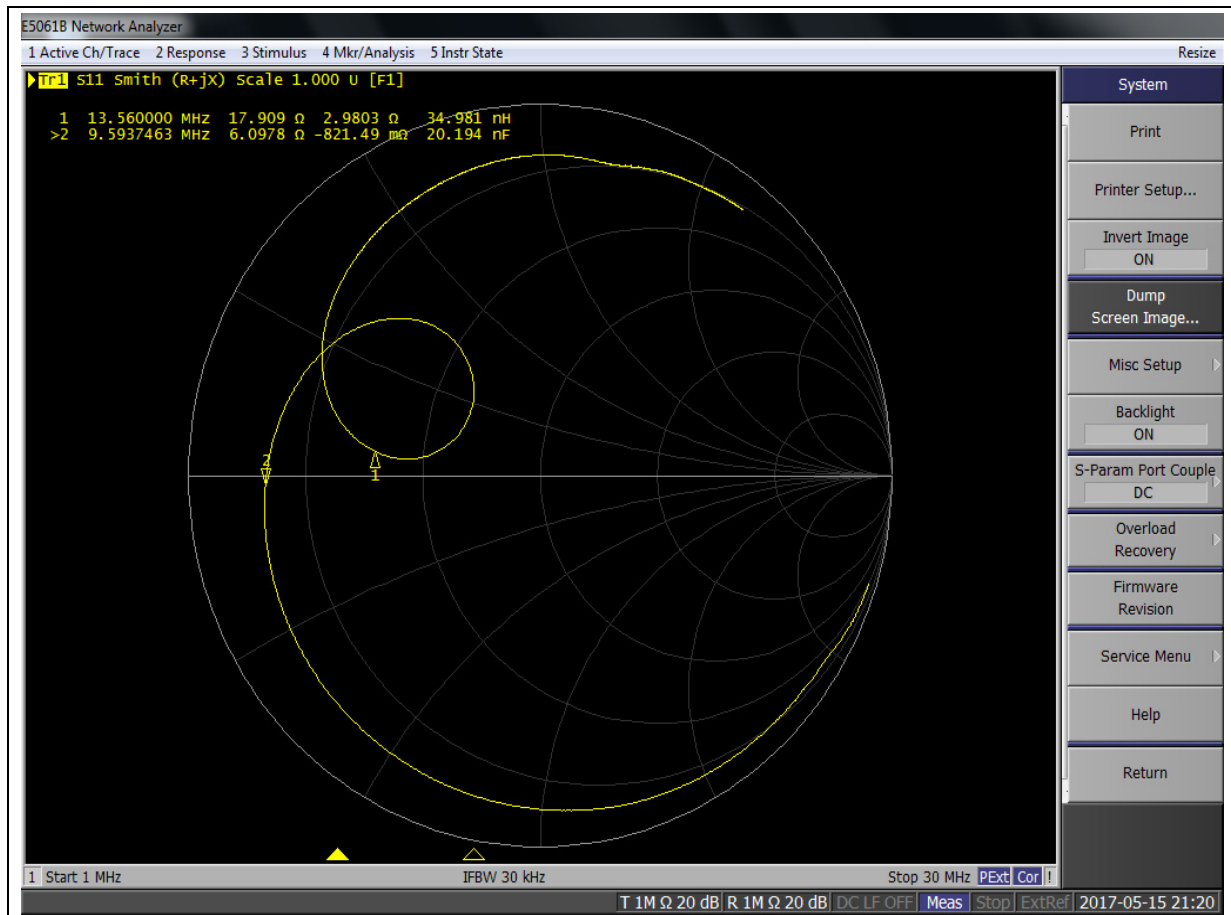


条件:

- $Z = 20.3 \Omega + j2.7 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 20.43 \Omega$
- 消費電流: 159.4 mA

## 2.7 トリミング値6

図 8. トリミング値6におけるインピーダンス測定結果

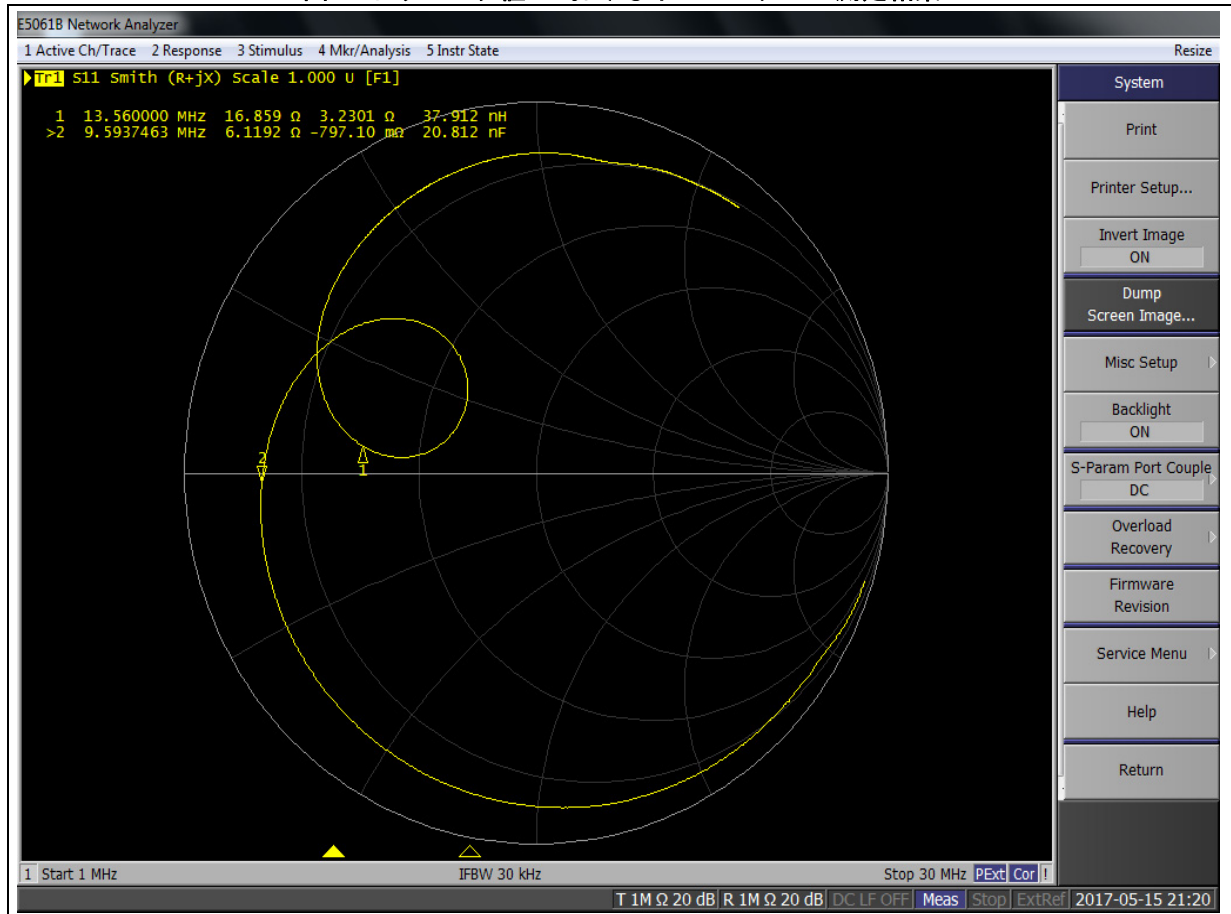


条件:

- $Z = 17.9 \Omega + j3 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 18.2 \Omega$
- 消費電流: 176.3 mA

## 2.8 トリミング値7

図 9. トリミング値7におけるインピーダンス測定結果

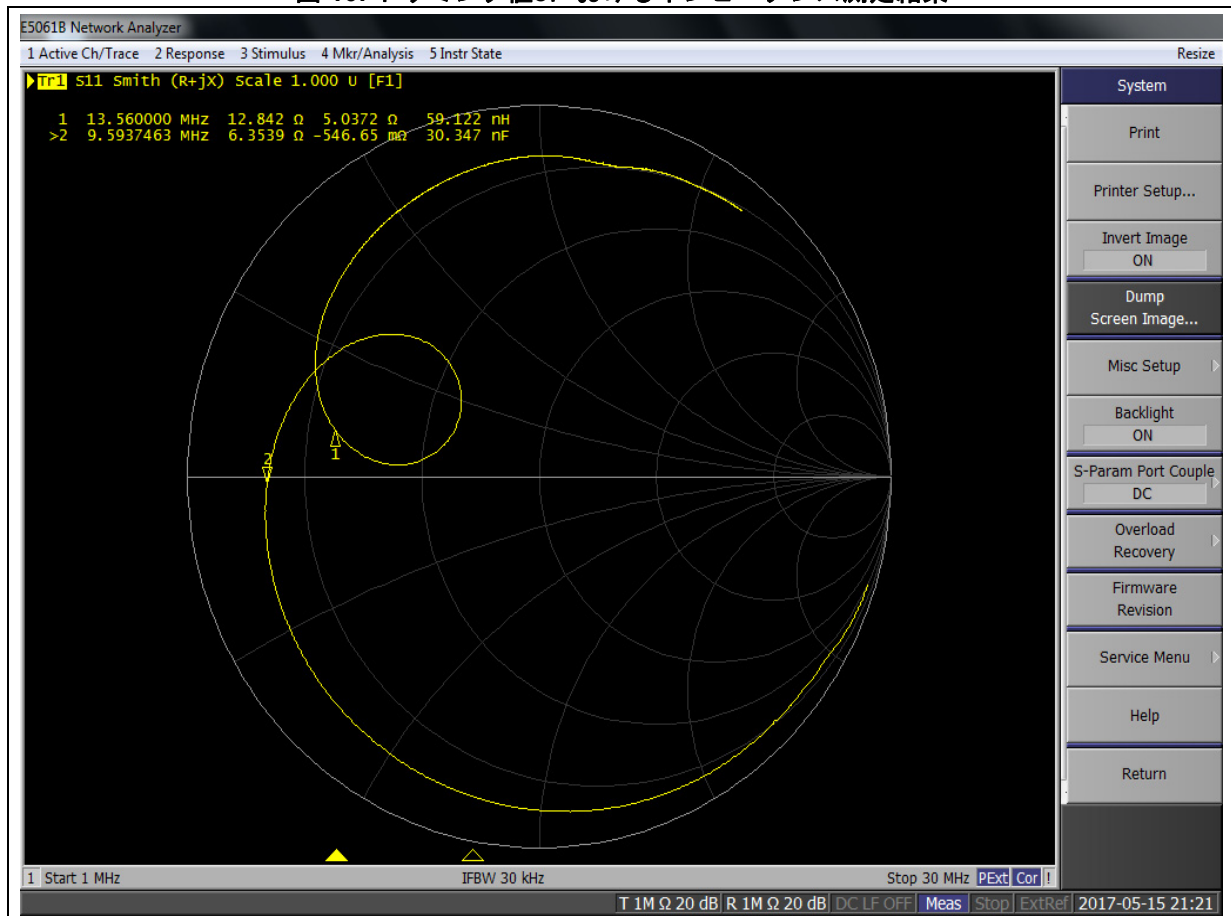


条件:

- $Z = 16.9 \Omega + j3.2 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 16.9 \Omega$
- 消費電流: 186.1 mA

## 2.9 トリミング値8

図 10. トリミング値8におけるインピーダンス測定結果

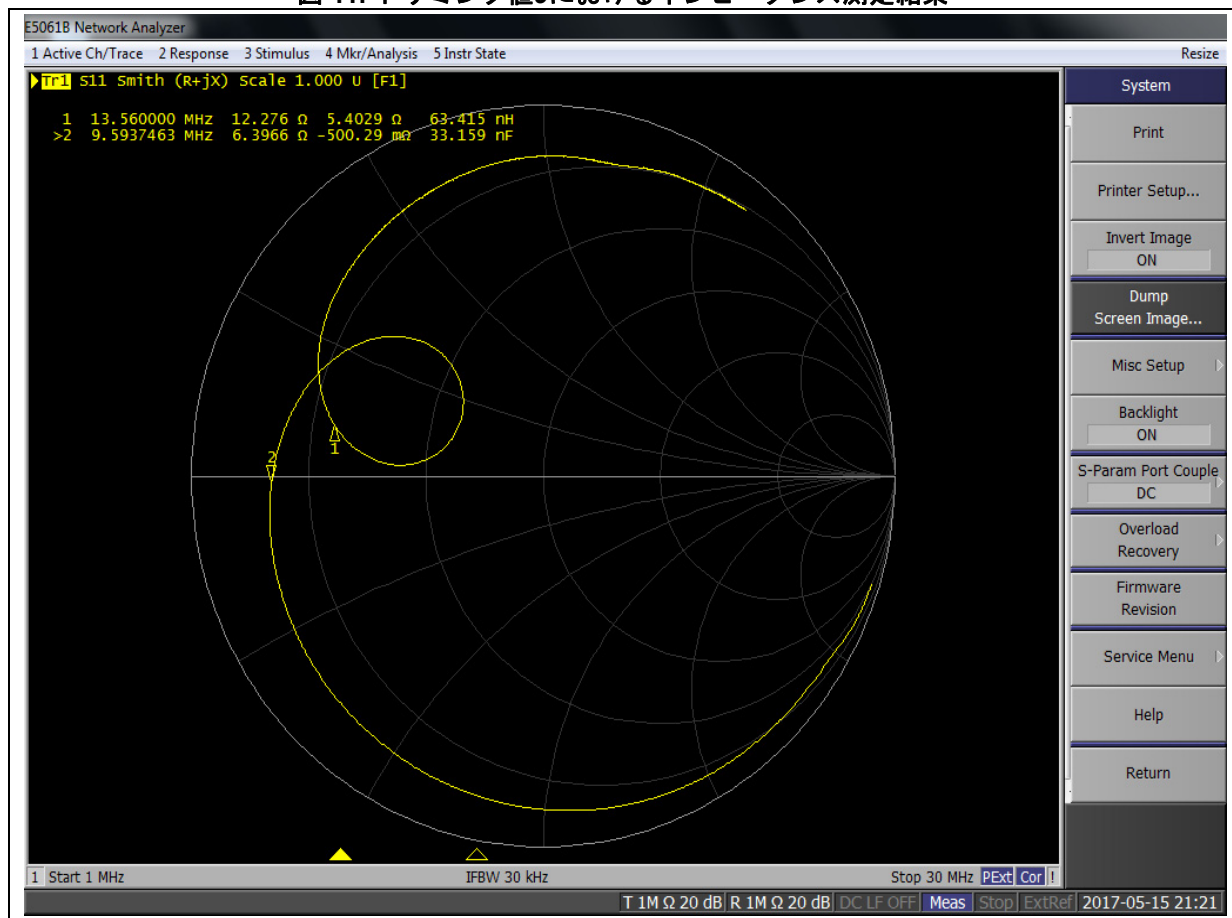


条件:

- $Z = 12.8 \Omega + j5 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 13.8 \Omega$
- 消費電流: 213.4 mA

## 2.10 トリミング値9

図 11. トリミング値9におけるインピーダンス測定結果



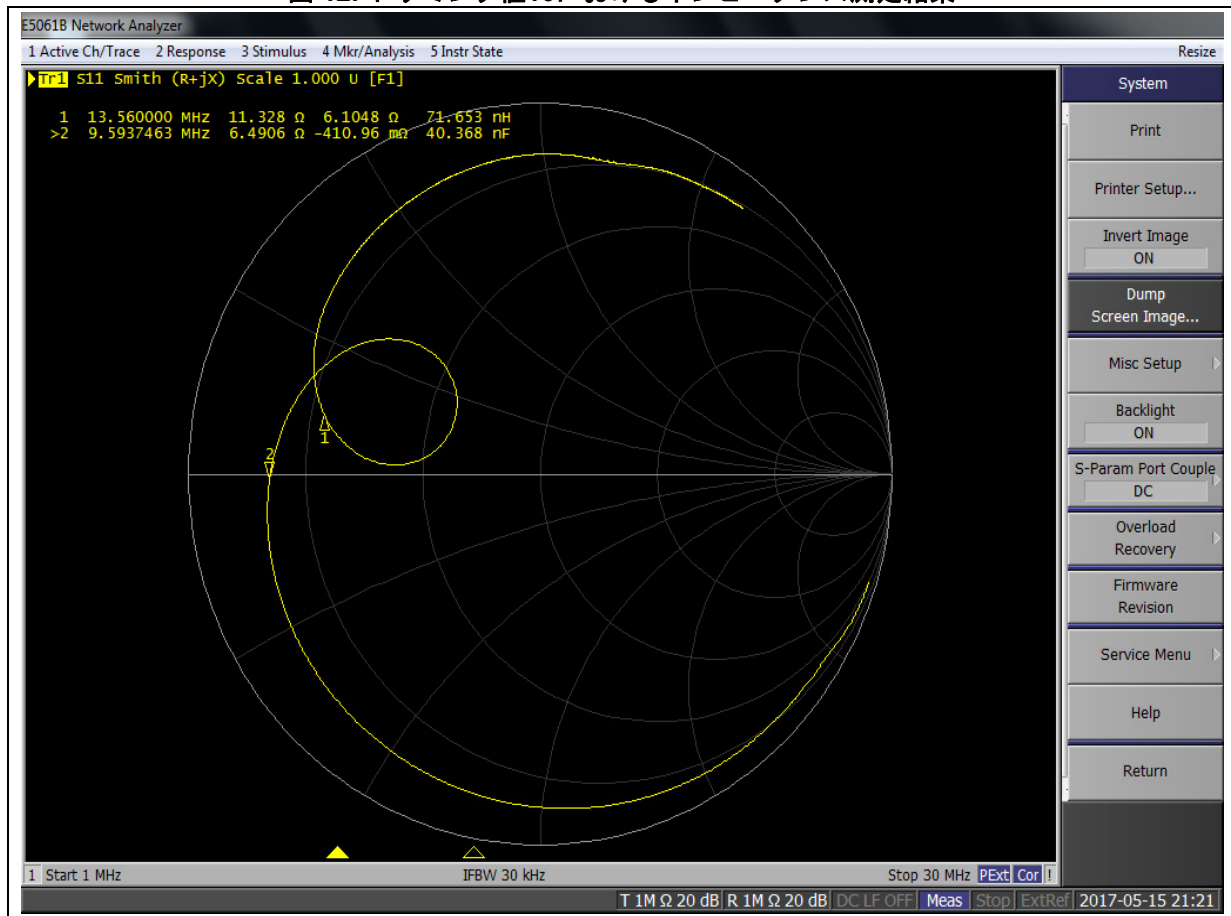
条件:

- $Z = 12.3 \Omega + j5.4 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 13.4 \Omega$
- 消費電流: 216.8 mA



## 2.11 トリミング値10

図 12. トリミング値10におけるインピーダンス測定結果

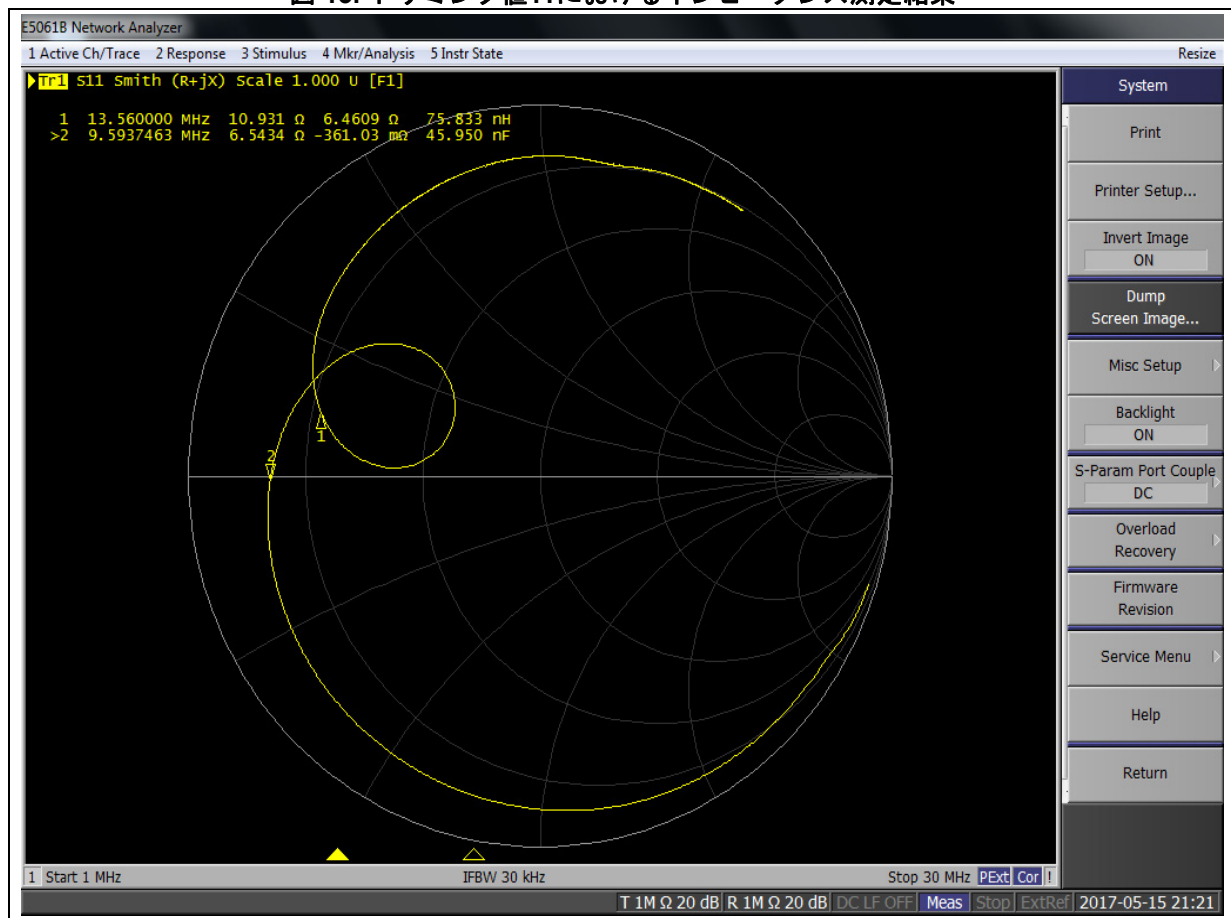


条件:

- $Z = 11.3 \Omega + j6.1 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 12.9 \Omega$
- 消費電流: 220.3 mA

## 2.12 トリミング値11

図 13. トリミング値11におけるインピーダンス測定結果

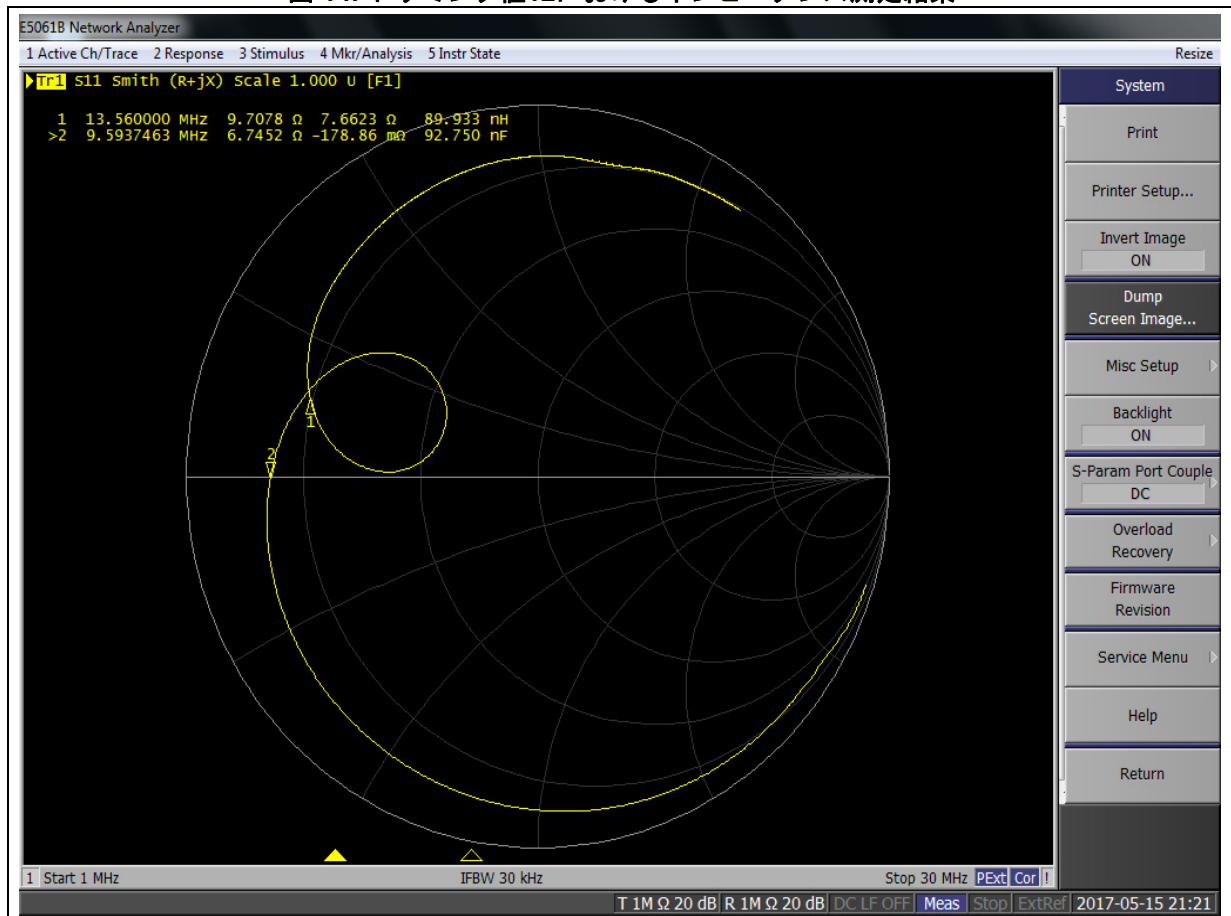


条件:

- $Z = 10.9 \Omega + j6.5 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 12.7 \Omega$
- 消費電流: 220.6 mA

## 2.13 トリミング値12

図 14. トリミング値12におけるインピーダンス測定結果

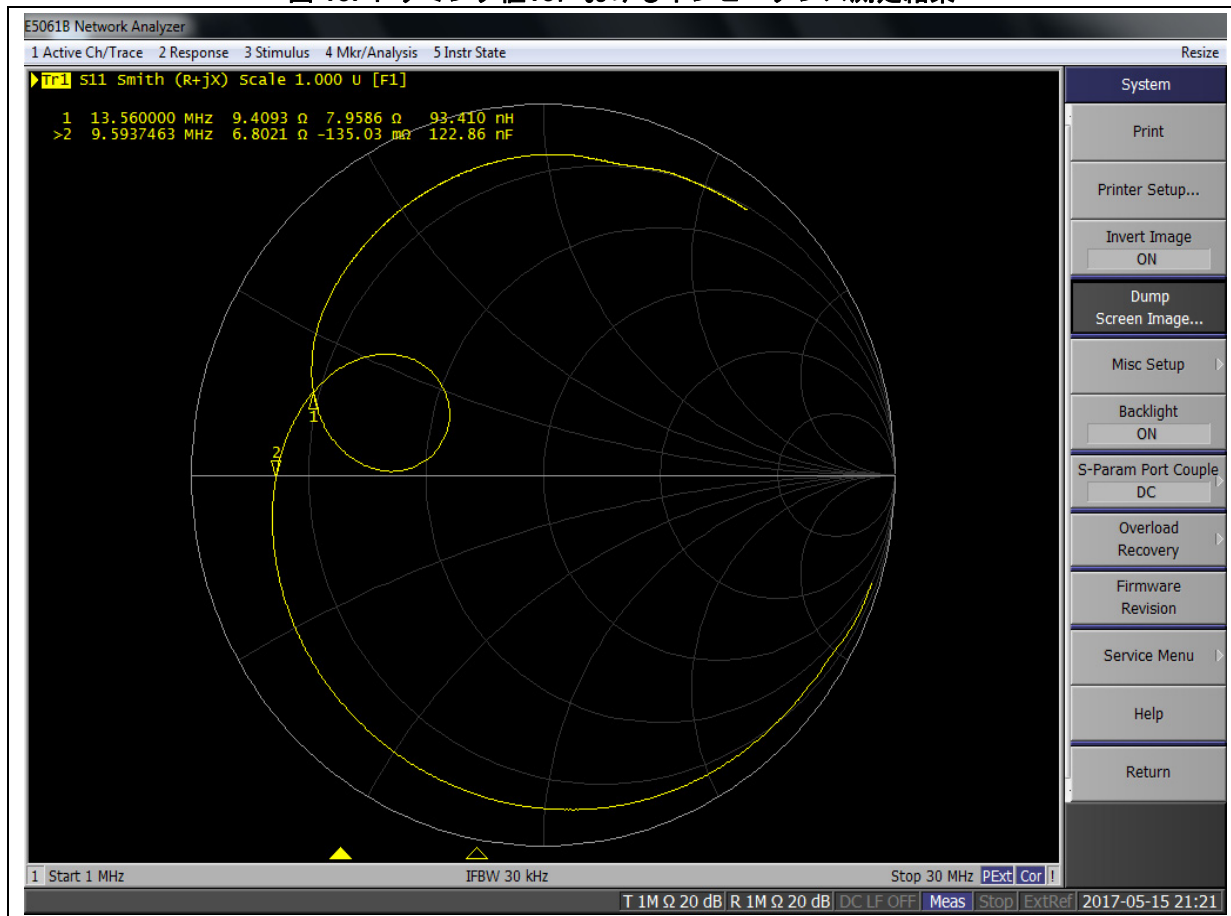


条件:

- $Z = 9.7 \Omega + j7.66 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 12.4 \Omega$
- 消費電流: 217.4 mA

## 2.14 トリミング値13

図 15. トリミング値13におけるインピーダンス測定結果

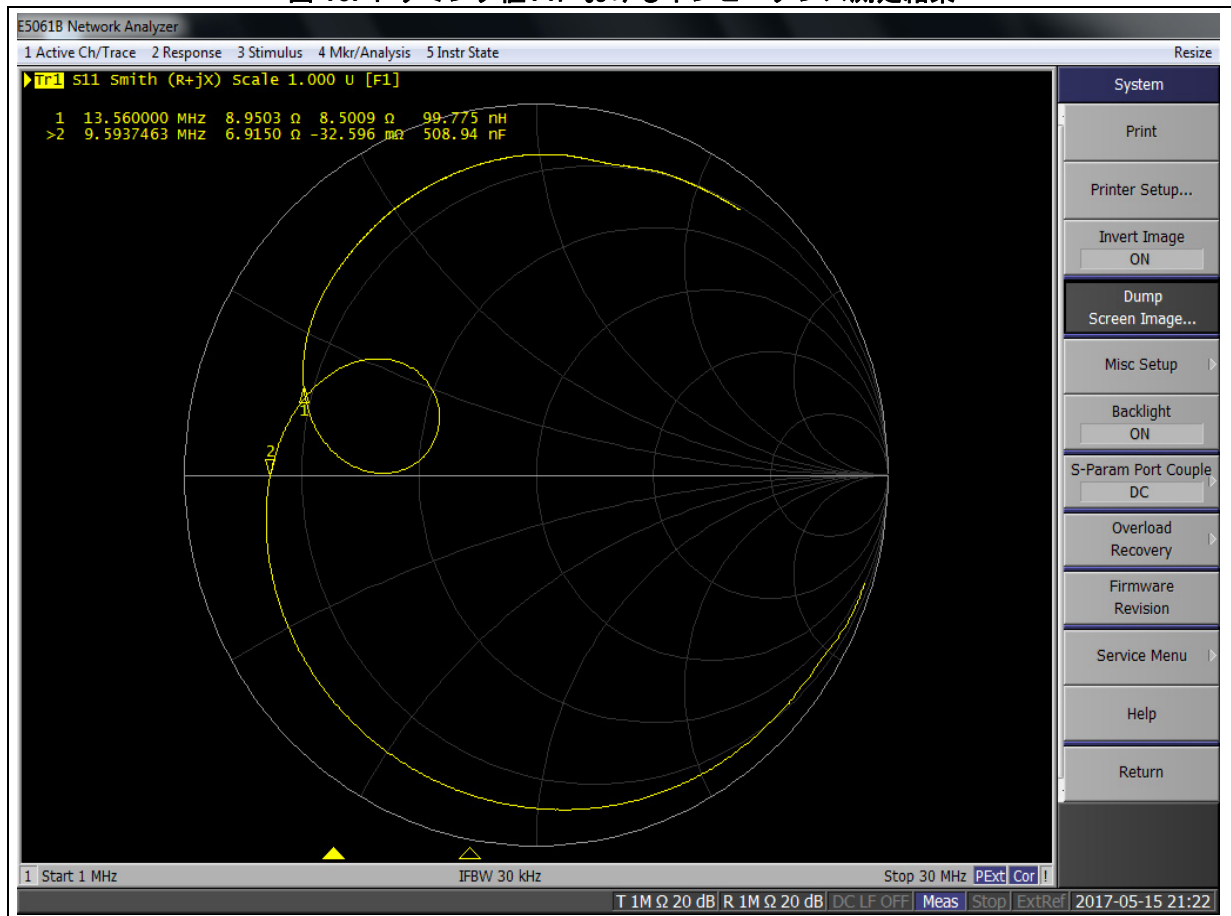


条件:

- $Z = 9.4 \Omega + j8 \Omega$  @ 13.56 MHz、 $|Z| = 12.3 \Omega$
- 消費電流: 214.7 mA

## 2.15 トリミング値14

図 16. トリミング値14におけるインピーダンス測定結果

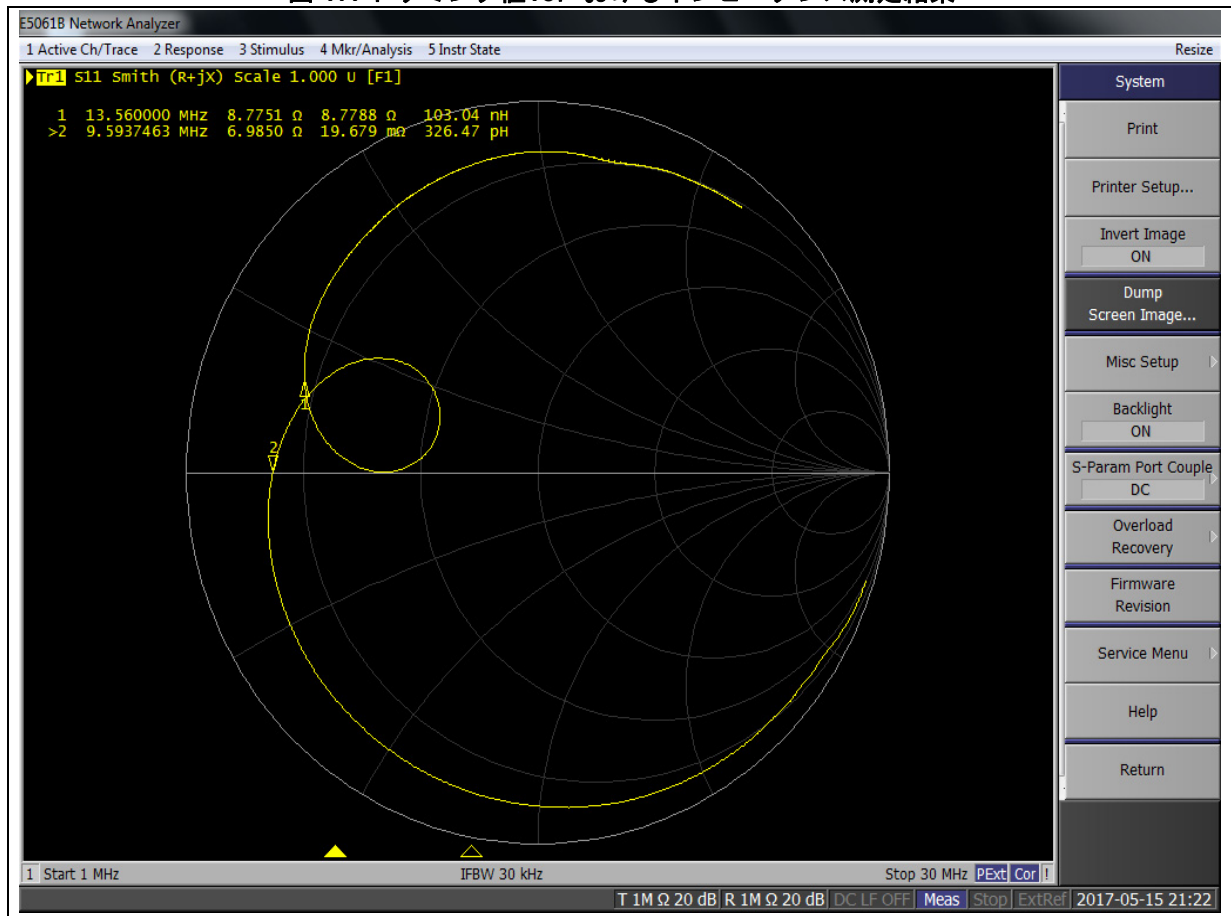


条件:

- $Z = 9 \Omega + j8.5 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 12.3 \Omega$
- 消費電流: 210.2 mA

## 2.16 トリミング値15

図 17. トリミング値15におけるインピーダンス測定結果



条件:

- $Z = 8.8 \Omega + j8.8 \Omega$  @13.56 MHz、 $|Z| = 12.4 \Omega$
- 消費電流: 207 mA

## 3 GUI

図 18、図 19、図 20に、"Antenna Features"タブを示します。このタブでは、AATアルゴリズムを選択し、位相差および入力信号振幅の目標値を変更できます。

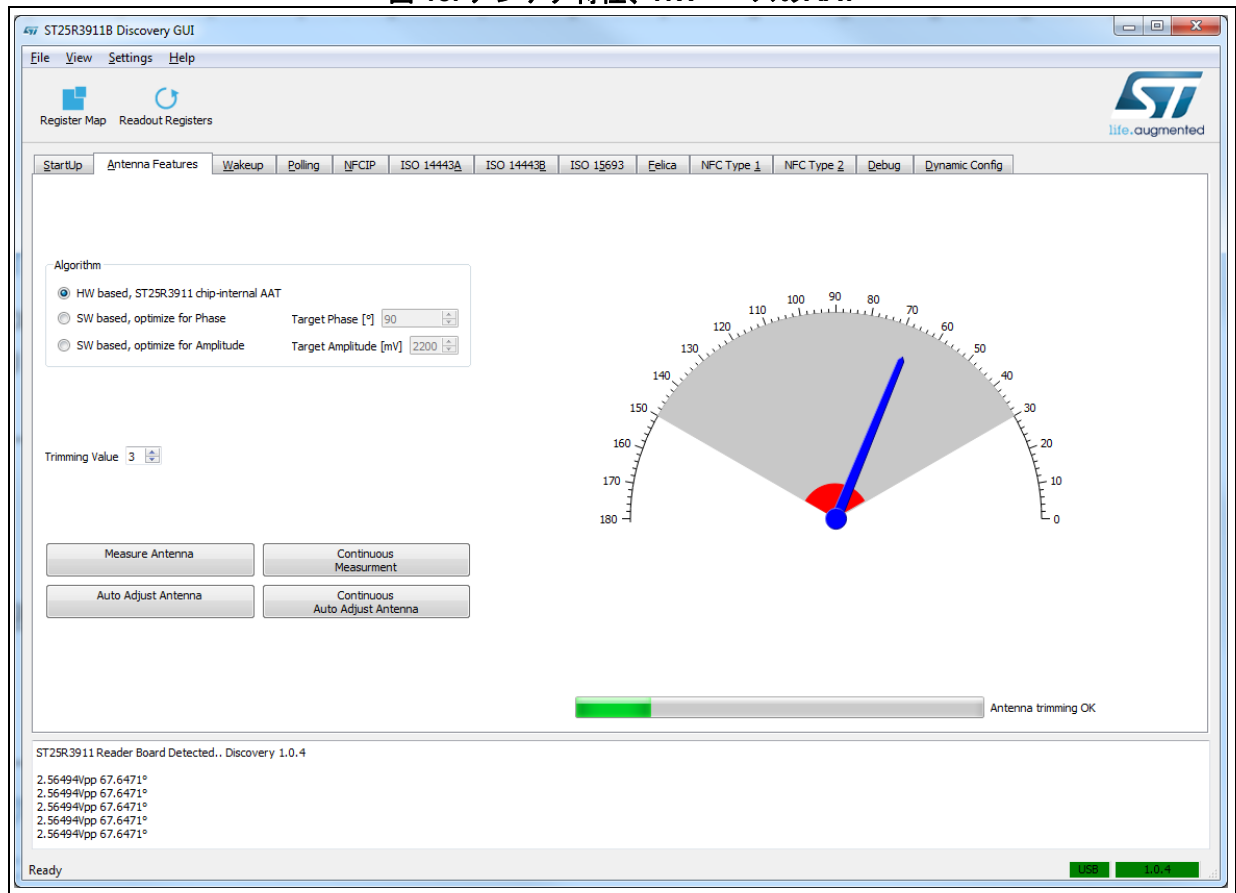
表 2. AATアルゴリズムで選択可能なオプション

アルゴリズム	最大振幅	目標位相	目標振幅
ハードウェアベース	✓	-	-
ソフトウェアベース (位相の最適化)	-	✓	-
ソフトウェアベース (振幅の最適化)	-	-	✓

図 18に、ハードウェア (HW) ベースのAATを示します。このアルゴリズムでは、トリミング値を変更しながら、主に入力信号の振幅が最大になるトリミング値を探します。目標位相は重視しません。

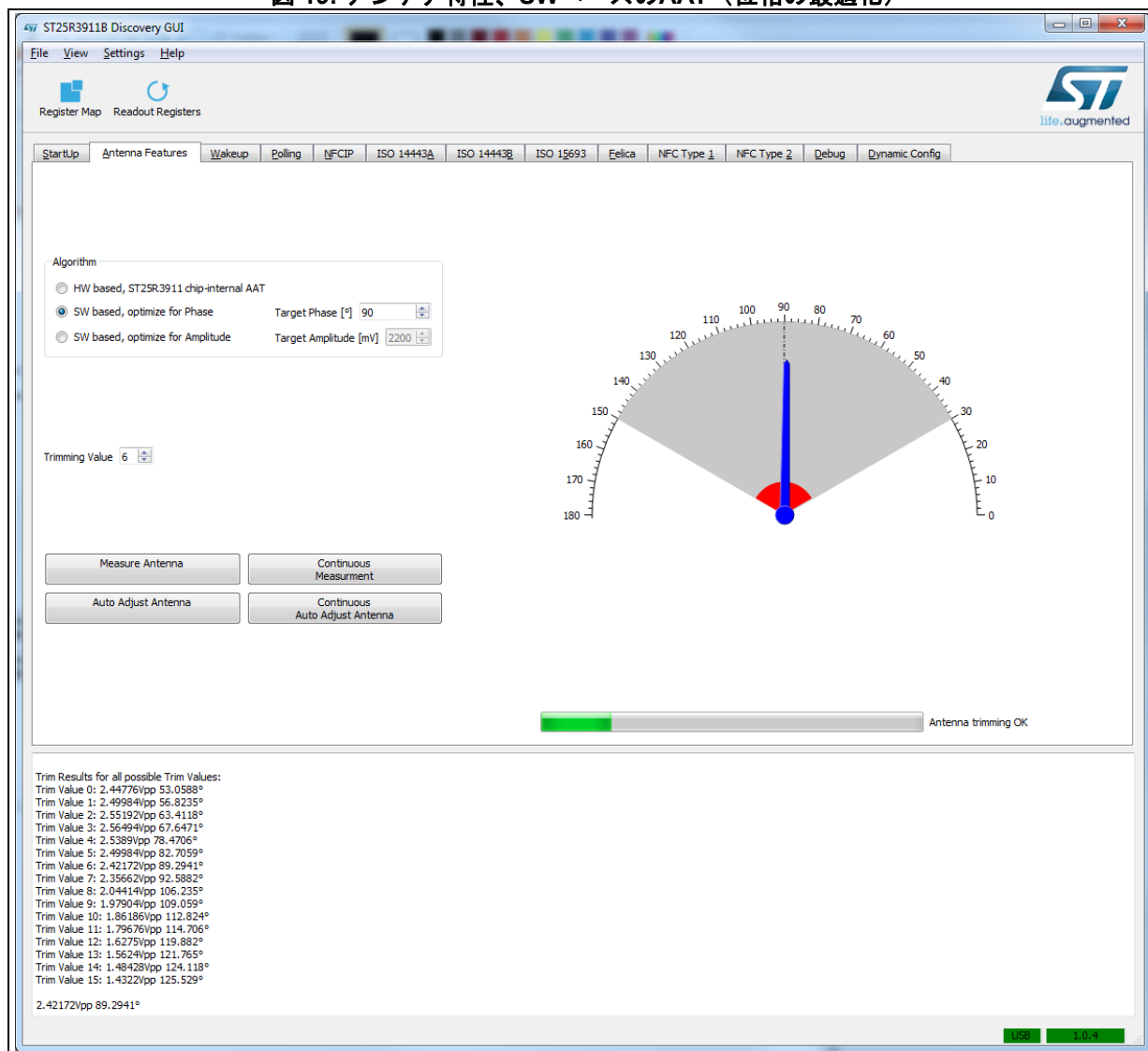
HWベースのアルゴリズムを使用する場合は、トリミングの結果を確認する必要があります。計算を正常に実行できたかどうかをtri\_errビットに示されます。tri\_err = 1の場合はエラー処理が必要です。

図 18. アンテナ特性、HWベースのAAT



位相を最適化するソフトウェア (SW) ベースのAATアルゴリズムを図 19に示します。このアルゴリズムでは、目標位相に最も近い位相が得られるトリミング値を探します。すべてのトリミング値で順番に試し、目標に最も近い位相が得られる設定を選択します。ログ・ウィンドウに、各トリミング値における測定値と、選択されたトリミング値が表示されます。

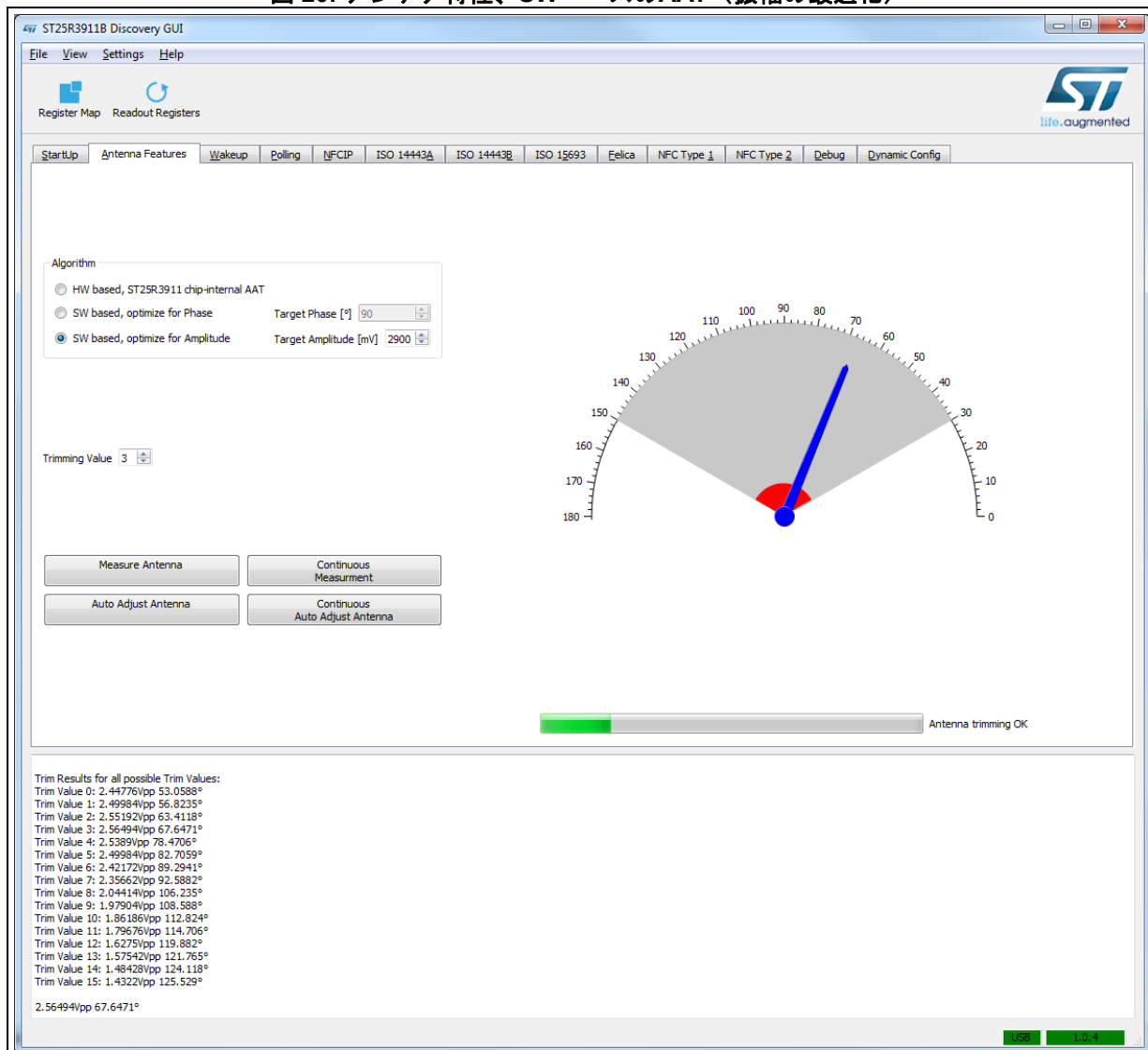
図 19. アンテナ特性、SWベースのAAT (位相の最適化)





振幅を最適化するソフトウェア（SW）ベースのAATアルゴリズムを図 20に示します。このアルゴリズムでは、目標振幅に最も近い振幅が得られるトリミング値を探します。すべてのトリミング値で順番に試し、目標に最も近い振幅が得られる設定を選択します。ログ・ウィンドウに、各トリミング値における測定値と、選択されたトリミング値が表示されます。

図 20. アンテナ特性、SWベースのAAT（振幅の最適化）



## 4 結論

本アプリケーション・ノートで紹介した3つのアルゴリズムのどれを使用しても性能を最適化できません。最も手軽に使用できるのは、ハードウェア（HW）ベースのAATアルゴリズムです。ダイレクト・コマンドを呼び出し、割り込みを待って、結果を評価するだけだからです。

ソフトウェア（SW）ベースのAATアルゴリズムでは、HWベースの場合よりもはるかに柔軟性に富んだ最適化基準を設定できます。今回は、目標位相の実現を目指すSWベースAATアルゴリズムと、目標振幅の実現を目指すSWベースAATアルゴリズムを、それぞれ1つずつ紹介しました。これらのアルゴリズムは、マイクロコントローラで実行することから、アプリケーションの要件や使用方法に対する高い適応性を備えています。

ここでは、3つのアルゴリズムすべてをST25R3911B-DISCOのGUIで評価しています。また、ソフトウェアベースのAATアルゴリズムのソース・コードはST25R3911B-DISCO GUIパッケージに付属しています。

## 5 改版履歴

表 3. 文書改版履歴

日付	版	変更内容
2017年8月21日	1	初版発行
2017年10月10日	2	表 1: 適合デバイスを追加

表 4. 日本語版文書改版履歴

日付	版	変更内容
2019年9月	1	日本語版 初版発行

**重要なお知らせ（よくお読み下さい）**

STMicroelectronics NV およびその子会社（以下、ST）は、ST製品及び本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定及び改良する権利を留保します。購入される方は、発注前にST製品に関する最新の関連情報を必ず入手してください。ST製品は、注文請書発行時点で有効なSTの販売条件に従って販売されます。

ST製品の選択並びに使用については購入される方が全ての責任を負うものとします。購入される方の製品上の操作や設計に関してSTは一切の責任を負いません。

明示又は黙示を問わず、STは本書においていかなる知的財産権の実施権も許諾致しません。

本書で説明されている情報とは異なる条件でST製品が再販された場合、その製品についてSTが与えたいかなる保証も無効となります。

STおよびSTロゴはSTMicroelectronicsの商標です。その他の製品またはサービスの名称は、それぞれの所有者に帰属します。

本書の情報は本書の以前のバージョンで提供された全ての情報に優先し、これに代わるものです。

この資料は、STMicroelectronics NV並びにその子会社(以下ST)が英文で記述した資料（以下、「正規英語版資料」）を、皆様のご理解の一助として頂くためにSTマイクロエレクトロニクス㈱が英文から和文へ翻訳して作成したものです。この資料は現行の正規英語版資料の近時の更新に対応していない場合があります。この資料は、あくまでも正規英語版資料をご理解頂くための補助的参考資料のみにご利用下さい。この資料で説明される製品のご検討及びご採用にあたりましては、必ず最新の正規英語版資料を事前にご確認下さい。ST及びSTマイクロエレクトロニクス㈱は、現行の正規英語版資料の更新により製品に関する最新の情報を提供しているにも関わらず、当該英語版資料に対応した更新がなされていないこの資料の情報に基づいて発生した問題や障害などにつきましては如何なる責任も負いません。

© 2019 STMicroelectronics - All rights reserved