

ST25R シングルエンドにおけるアンテナ整合

概要

本アプリケーション・ノートはアンテナの設計ガイドであり、ST25R antenna matching toolと共に使用します。

本書で取り上げている例では、ST25R3911 デバイスと ST25R3916 デバイスを使用していますが、本書の内容は表 1 にあるすべての製品に適用できます。表 1

表 1. 該当製品

種類	品名
ST25 NFC/RFID タグ&リーダライタ IC	ST25R3911B
	ST25R3911
	ST25R3912
	ST25R3914
	ST25R3915
	ST25R3916
	ST25R3917
	ST25R3918
	ST25R3920

1 概要

ST25R antenna matching tool ソフトウェアは、差動アンテナ、シングルエンド・アンテナ、ケーブル付きシングルエンド・アンテナに使用する整合回路の計算に対応しています。

アンテナのインターフェース段は、シングルエンド・トポロジまたは差動トポロジとして設定できます。

このツールと共に、基本的な特性検証用のオープン・ソースのシミュレータが用意されています。

本書は ST25R3916 デバイスを基本として記述されていますが、各デバイスには表 2 に示す 5 つの異なるコンフィギュレーション・ファイルがあります。

表 2. ST25R3911/16 のコンフィギュレーション・ファイル

ST25R3911	ST25R3916
3911-差動	3916-差動
3911-差動 AAT	3916-差動 AAT
3911-シングルエンド	3916-シングルエンド
3911-シングルエンド AAT	3916-シングルエンド AAT
3911-ケーブル付きシングルエンド	3916-ケーブル付きシングルエンド

2 整合トポロジの概要

2.1 差動アンテナ

差動アンテナを使用すると、優れた直線性と低オフセットが得られ、電源変動、温度変化、基板雑音の影響を受けにくくなります。

このアンテナ設計は最良の検出 / 読取り範囲が得られるので、低消費電力アプリケーションに適しています。

アンテナのインターフェース段全体は、EMC フィルタ、整合ネットワーク、送信電圧分圧回路、アンテナ等価回路、Q 値を設定または調整する抵抗で構成します。EMC フィルタは、直列インダクタおよびグランドに接続した並列コンデンサで構成する 1 段フィルタです。整合ネットワークは、直列コンデンサ、並列コンデンサ、および Q 値調整用抵抗で構成します。この抵抗は直列でも並列でもかまいません。

受信経路の分圧器はコンデンサによる分圧であり、アンテナに直接接続されています。

図 1. ST25R3911/3916-差動

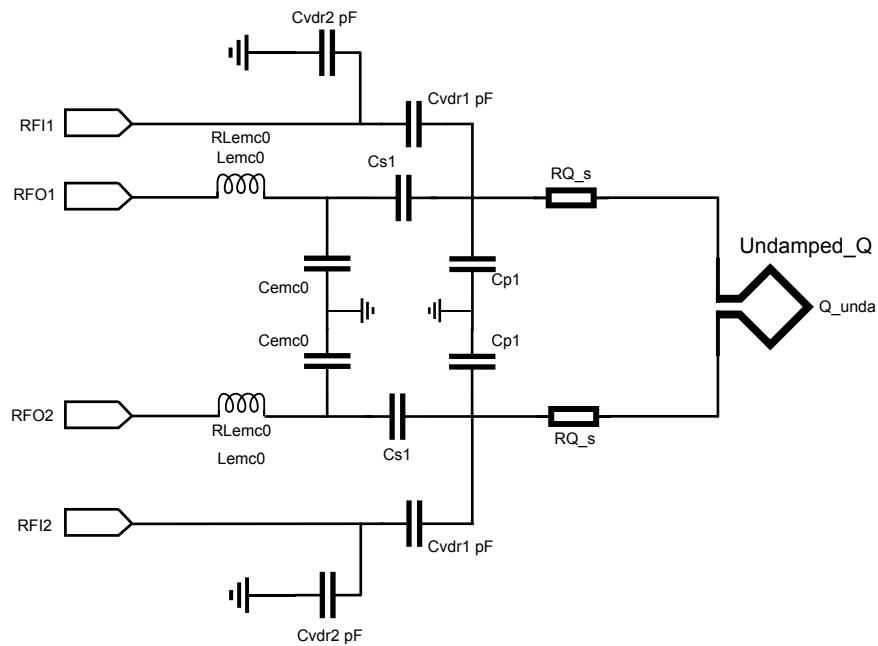


図 2. 差動アンテナに使用するデバイス



表 3. 差動アンテナの整合回路部品

C_s [pF]	C_p [pF]	R_{q_s} [Ω]	C_{vdr1} [pF]	C_{vdr2} [pF]
52	70	0.82	10	135

2.2 シングルエンド・アンテナ

差動アンテナ・トポロジと比較してシングルエンド・アンテナは、部品点数が少ないので、より小さい面積に実装できます。定義上、シングルエンド信号は不平衡であり、信号と定電圧基準点であるグランドとの間で測定します。シングルエンド信号(不平衡信号)は、差動信号よりも雑音と干渉の影響を受けやすくなります。

シングルエンド・アンテナは、EMC フィルタ、整合ネットワーク、受信電圧分圧回路、アンテナ等価回路、Q 値調整用抵抗で構成します。EMC フィルタは、直列インダクタおよびグランドに接続した並列コンデンサで構成する 1 段フィルタです。整合ネットワークは、直列コンデンサ、並列コンデンサ、および Q 値調整用抵抗で構成します。この抵抗は直列でも並列でもかまいません。

ST25R3916 デバイスでは、シングルエンド・アンテナの場合、EXT_LM 回路を除去する必要があります。

図 3. ST25R3911/3916-シングルエンド

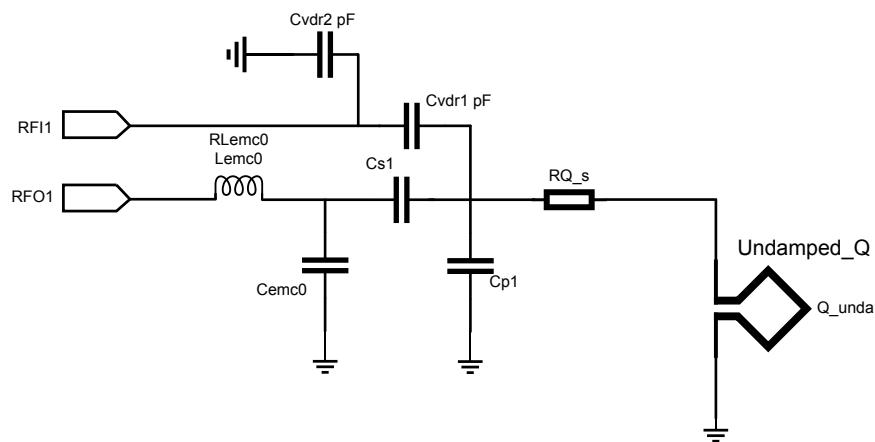


図 4. シングルエンド・アンテナに使用するデバイス



表 4. シングルエンド・アンテナの整合回路部品

C_s [pF]	C_p [pF]	R_{q_s} [Ω]	C_{vdr1} [pF]	C_{vdr2} [pF]
78	220	1.6	10	212

2.3

ケーブル付きシングルエンド・アンテナ

ケーブル付きシングルエンド・アンテナは、EMC フィルタ、整合ネットワーク、ケーブル、受信電圧分圧回路、アンテナ等価回路、Q 値調整用抵抗で構成します。EMC フィルタは、直列インダクタおよびグランドに接続した並列コンデンサで構成する 1 段フィルタです。整合ネットワークは、直列コンデンサ、並列コンデンサ、および Q 値調整用抵抗で構成します。この抵抗は直列でも並列でもかまいません。2 つの重要なケーブル・パラメータとして、ケーブル長と特性インピーダンス (Z_0) があります。

NFC リーダライタ専用アンテナを接続することもできます。使用するケーブルには、固有の特性インピーダンスがあります。まず、目標とする整合インピーダンスをケーブルの特性インピーダンスに変換する必要があります。アンテナ自体にも、同じ特性インピーダンスにアンテナを同調するための整合ネットワークが必要です。

このアンテナのインターフェース段では、目標とする整合インピーダンスを指定された値から選択します(たとえば、 4Ω 、 8Ω 、 16Ω)。従来の誘導式アンテナと異なり、ケーブルの特性インピーダンスは虚数部がない実数です。この場合は、目標とする整合インピーダンスの実現性が低いと数理解を導くことが困難になります。EMC インダクタ値、遮断周波数、ケーブルの特性インピーダンスの変化が、導出される数理解に大きく影響することがあります。

図 5. ST25R3911/3916-ケーブル付きシングルエンド

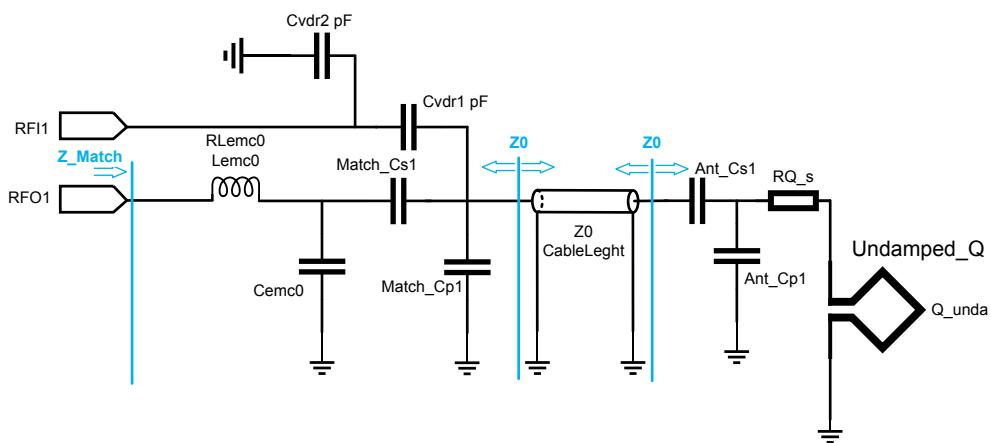


図 6. ケーブル付きシングルエンド・アンテナに使用するデバイス



表 5. ケーブル付きシングルエンド・アンテナの整合回路部品

C_s [pF]	C_p [pF]	R_{q_s} [Ω]	C_{vdr1} [pF]	C_{vdr2} [pF]
584	39	0	10	15

表 6. 50Ω アンテナの整合回路部品

Ant_Cs [pF]	Ant_Cp [pF]	R [Ω]
36	104	2.7

2.4

自動アンテナ・チューニング(AAT)

AAT のコンフィギュレーションは、シングルエンド・アンテナと差動アンテナでのみ使用します。ケーブル付きシングルエンド・アンテナでは、同軸ケーブルがあることから使用できません。ケーブルのパラメータが変化すると、リーダライタがデチューン状態になります。

同調部品の一般的な値の範囲($C_{Max} \sim C_{Min}$)は、200 pF ~ 100 pF、100 pF ~ 50 pF、および 50 pF ~ 25 pF です。

理想的な同調範囲は、選択したアンテナの SRF(自己共振周波数)とアプリケーションによって決まります。アンテナの SRF が高いほど、アンテナが 13.56MHz に同調するには容量値が大きい並列コンデンサが必要になります。EMC フィルタの遮断周波数を一定に維持し、EMC フィルタのインダクタ値を変更することで直列コンデンサの容量値を変更できます。このインダクタ値の変更により、同じ整合インピーダンスを得るために必要な直列コンデンサの容量値が変化します。

表 7. AAT

C_P(V _{CC} 駆動時)	C_S(V _{CC} 駆動時)
STPTIC-0N050(17.5pF ~ 50pF)	STPTIC-0N0200(>67.5pF)
STPTIC-0N100(35pF ~ 100pF)	STPTIC-0N0200(>67.5pF)
STPTIC-0N0200(75pF ~ 200pF)	STPTIC-0N0200(>67.5pF)

アンテナのインターフェース段全体は、EMC フィルタ、AAT、整合ネットワーク、受信電圧分圧回路、アンテナ等価回路、Q 値調整用抵抗で構成します。EMC フィルタは、直列インダクタおよびグランドに接続した並列コンデンサで構成する 1 段フィルタです。整合ネットワークは、直列コンデンサ、並列コンデンサ、および Q 値調整用抵抗で構成します。この抵抗は直列でも並列でもかまいません。

図 7. ST25R3911-差動 AAT

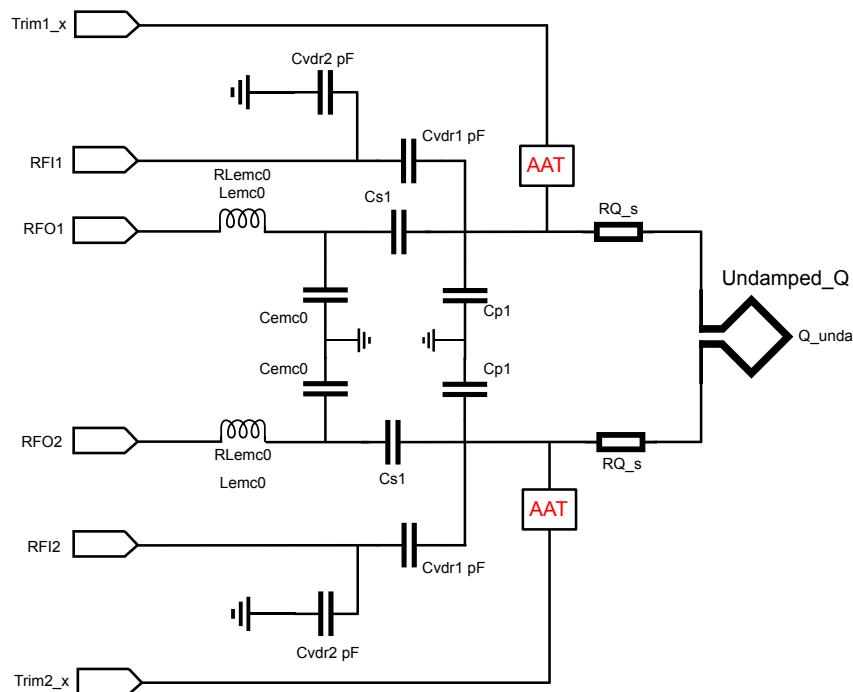


図 8. ST25R3916-差動 AAT

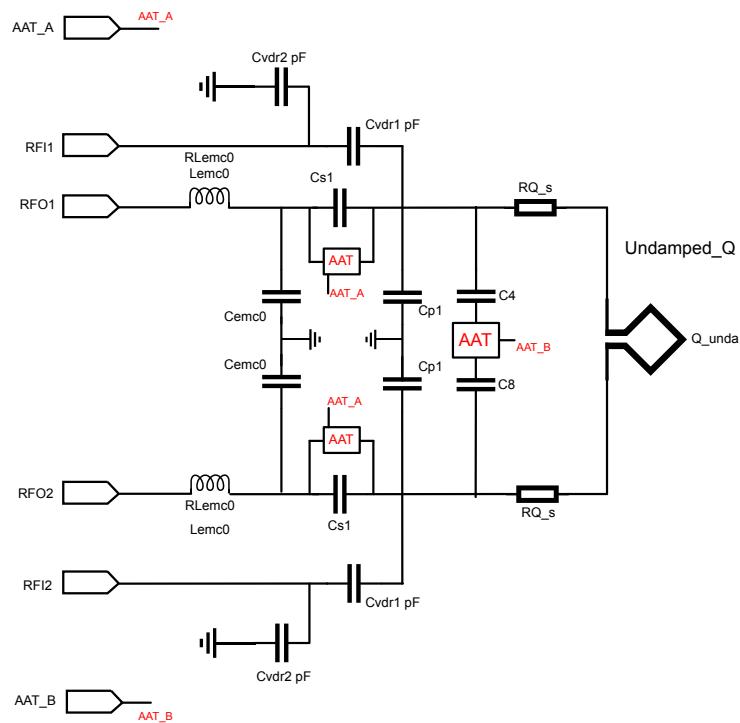


図 9. ST25R3911-シングルエンド AAT

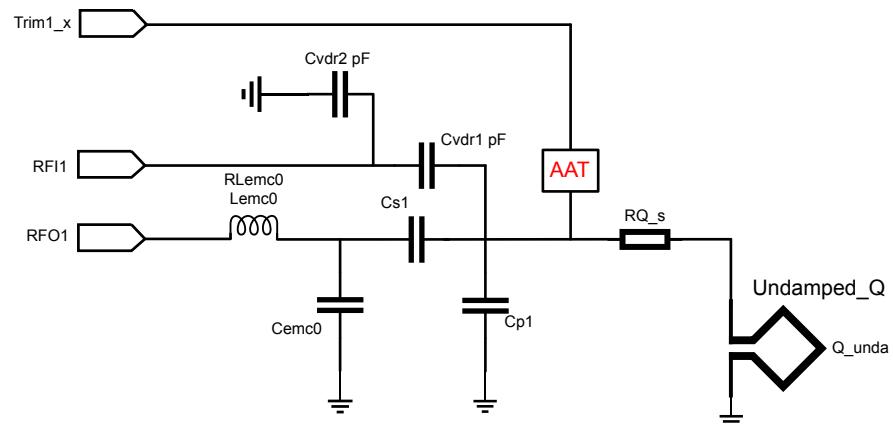
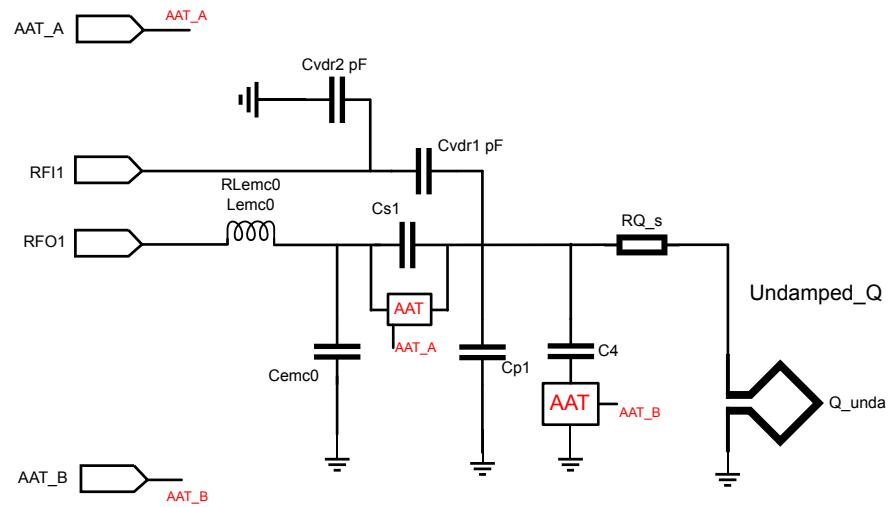


図 10. ST25R3916-シングルエンド AAT



3 アンテナ整合

3.1 差動アンテナ

ST25R antenna matching tool ソフトウェアでは、アンテナ種類ごとにそれぞれ異なる式を計算に使用します。整合回路部品を算出するための式を得るには、回路(差動アンテナ、シングルエンド・アンテナ、ケーブル付きシングルエンド・アンテナそれぞれの回路)全体を解析する必要があります。

計算に使用する式は次のとおりです。

$$R_{match} = \text{“整合インピーダンス目標値”} - 2 \cdot \text{直流抵抗値}$$

$$R_{total} = Q_{chosen} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{work} \cdot L_{ant}$$

$$R_{TR} = \frac{R_{match}}{\left(1 - \omega^2 L_{emc} C_{emc}\right)^2 + \left(\omega \cdot \frac{R_{match}}{2} \cdot C_{emc}\right)^2}$$

$$X_{TR} = 2 \cdot \omega \cdot \frac{L_{emc} \left(1 - \omega^2 L_{emc} C_{emc}\right) - \frac{R_{match}}{4} \cdot C_{emc}}{\left(1 - \omega^2 L_{emc} C_{emc}\right)^2 + \left(\omega \cdot \frac{R_{match}}{2} \cdot C_{emc}\right)^2}$$

ここでは、整合回路部品 C_S と C_P の値は、次の 2 つの式を使用して計算します。

$$C_S = \frac{1}{\omega \cdot \left(\sqrt{\frac{R_{TR} \cdot R_{total}}{4}} + \frac{X_{TR}}{2} \right)}$$

$$C_P = \frac{1}{\omega^2 \cdot \frac{L_{ant}}{2}} - \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\frac{R_{TR} \cdot R_{total}}{4}}} - 2 \cdot C_{ant} - \frac{CVDR_1 \cdot CVDR_2}{CVDR_1 + CVDR_2}$$

レジスタ・マップ: IO コンフィギュレーション・レジスタ 1

図 11. レジスタ設定

	Addr.	7	6	5	4	3	2	1	0	Value	
IO Configuration Register 1	0x00	0	0	0	0	1	1	1	1	0x0f	
IO Configuration Register 2	0x01	0	0	0	1	1	1	0	0	0x1c	
Operation Control Register	0x02	1	0	0	1	0	0	0	0	0x90	
Mode Definition Register	0x03	0	0	0	0	1	0	0	0	0x08	
Bit Rate Definition Register	0x04	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00	
ISO14443A and NFC 106kb/s Settings Register	0x05	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00	

3.2

シングルエンド・アンテナ

シングルエンド・アンテナにおける整合回路部品の値を求める場合も、前記と同じ計算方法を使用します。
計算に使用する式は次のとおりです。

$$R_{match} = \text{“整合インピーダンス目標値”} - \text{直流抵抗値}$$

$$R_{total} = Q_{chosen} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{work} \cdot L_{ant}$$

$$R_{TR} = \frac{2 \cdot R_{match}}{\left(1 - \omega^2 L_{emc} C_{emc}\right)^2 + \left(\omega \cdot \frac{R_{match}}{2} \cdot C_{emc}\right)^2}$$

$$X_{TR} = 2 \cdot \omega \cdot \frac{L_{emc} \left(1 - \omega^2 L_{emc} C_{emc}\right) - \frac{4 \cdot R_{match}^2}{4} \cdot C_{emc}}{\left(1 - \omega^2 L_0 C_0\right)^2 + \left(\omega \cdot \frac{2 \cdot R_{match}}{2} \cdot C_0\right)^2}$$

整合回路部品 C_S と C_P の計算

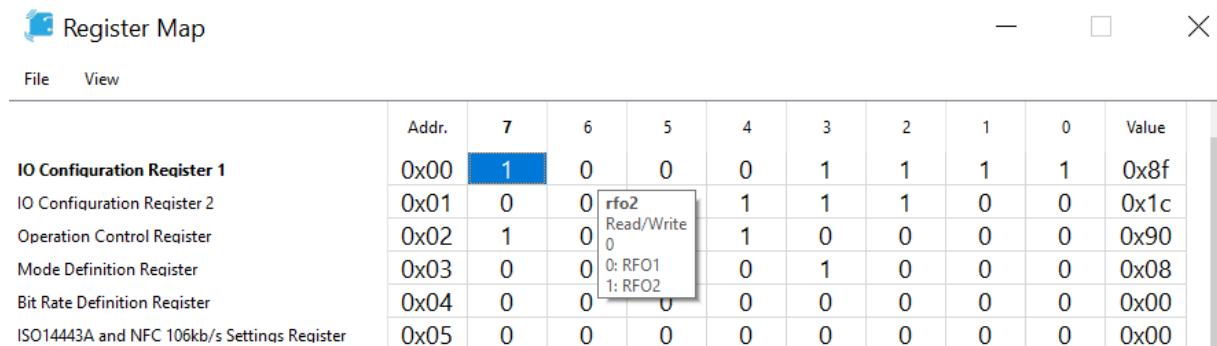
$$C_S = \frac{1}{\omega \cdot \left(\sqrt{\frac{R_{TR} \cdot 2 \cdot R_{total}}{4}} + \frac{X_{TR}}{2} \right)}$$

$$C_P = \frac{1}{\omega^2 \cdot L_{ant}} - \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\frac{R_{TR} \cdot 2 \cdot R_{total}}{4}}} - C_{ant} - \frac{CVDR_1 \cdot CVDR_2}{CVDR_1 + CVDR_2}$$

レジスタ・マップ: IO コンフィギュレーション・レジスタ 1

IO コンフィギュレーション・レジスタ 1 は、シングルエンド・アンテナの RFO に従って設定します。

図 12. シングルエンド・アンテナ向けのレジスタ設定



	Addr.	7	6	5	4	3	2	1	0	Value
IO Configuration Register 1	0x00	1	0	0	0	1	1	1	1	0x8f
IO Configuration Register 2	0x01	0	0	rfo2	1	1	1	0	0	0x1c
Operation Control Register	0x02	1	0	0	1	0	0	0	0	0x90
Mode Definition Register	0x03	0	0	0	0	1	0	0	0	0x08
Bit Rate Definition Register	0x04	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00
ISO14443A and NFC 106kb/s Settings Register	0x05	0	0	0	0	0	0	0	0	0x00

3.3

ケーブル付きシングルエンド・アンテナ

ケーブル付きシングルエンド・アンテナでは、50Ω アンテナ向けの整合回路部品の式が追加されます。

R_{match} = “整合インピーダンス目標値” – 直流抵抗値

50Ω アンテナの場合：

$$C_{p1(1)} = \frac{L_{ant} \cdot \sqrt{2 \cdot (R_{total} - CHI)} * \omega + 10 \cdot R_{total}}{10 \cdot R_{total} \cdot L_{ant} \cdot \omega^2} - C_{ant}$$
$$C_{s1(1)} = \frac{-\left(R_{total}^2 \cdot ((C_{p1} + C_{ant})^2 \cdot L_{ant}^2 \cdot \omega^4 - 2 \cdot (C_{p1(1)} + C_{ant}) \cdot L_{ant} \cdot \omega^2 + 1) + L_{ant}^2 \cdot \omega^2\right)}{L_{ant} \cdot R_{total}^2 \cdot \omega^2 \cdot ((C_{p1(1)} + C_{ant}) \cdot L_{ant} \cdot \omega^2 - 1)}$$
$$C_{p1(2)} = -\frac{L_{ant} \cdot \sqrt{2 \cdot (R_{total} - CHI)} * \omega + 10 \cdot R_{total}}{10 \cdot R_{total} \cdot L_{ant} \cdot \omega^2} - C_{ant}$$
$$C_{s1(2)} = \frac{-\left(R_{total}^2 \cdot ((C_{p1} + C_{ant})^2 \cdot L_{ant}^2 \cdot \omega^4 - 2 \cdot (C_{p1(2)} + C_{ant}) \cdot L_{ant} \cdot \omega^2 + 1) + L_{ant}^2 \cdot \omega^2\right)}{L_{ant} \cdot R_{total}^2 \cdot \omega^2 \cdot ((C_{p1(2)} + C_{ant}) \cdot L_{ant} \cdot \omega^2 - 1)}$$

注 C_P は、2 つの可能な解($C_{P1(1)}$ と $C_{P1(2)}$)を求める二次方程式です。ここでは、値が正になる解のみが有効です。

50Ω に整合する場合：

$$C_{s2} = \frac{L_{emc} \cdot \omega + R_{match}^2 \cdot \sqrt{\frac{CHI \cdot C_{emc}^2 \cdot L_{emc}^2 \cdot \omega^4 + CHI \cdot C_{emc}^2 \cdot \omega^2 \cdot R_{match}^2 - 2 * CHI \cdot C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - R_{match} + CHI}{R_{match}^3}} - C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^3 - C_{emc} \cdot \omega + R_{match}^2}{L_{emc}^2 \cdot \omega^3 + \omega \cdot R_{match}^2 - CHI \cdot \omega \cdot R_{match}}$$

C_{s2} に対して可能な解が 2 つ($C_{P2(1)}$ と $C_{P2(2)}$)ありますが、値が正になる解のみが有効です。

$$C_{p2(1)} = \frac{\sqrt{CHI^2 \cdot C_{s2}^4 \cdot \omega^4 - 4 \cdot (C_{s2} + C_{emc})^2 \cdot (L_{emc} \cdot C_{s2} \cdot \omega^2 + C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1)^2 - CHI \cdot C_{s2} \cdot (C_{s2} \cdot (2 \cdot C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1) + 2 \cdot C_{emc} \cdot (C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1)) \cdot \omega}}{2 \cdot CHI \cdot (C_{s2} + C_{emc}) \cdot (L_{emc} \cdot C_{s2} \cdot \omega^2 + C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1) \cdot \omega}$$
$$C_{p2(2)} = \frac{-(\sqrt{CHI^2 \cdot C_{s2}^4 \cdot \omega^4 - 4 \cdot (C_{s2} + C_{emc})^2 \cdot (L_{emc} \cdot C_{s2} \cdot \omega^2 + C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1)^2 + CHI \cdot C_{s2} \cdot (C_{s2} \cdot (2 \cdot C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1) + 2 \cdot C_{emc} \cdot (C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1)) \cdot \omega})}{2 \cdot CHI \cdot (C_{s2} + C_{emc}) \cdot (L_{emc} \cdot C_{s2} \cdot \omega^2 + C_{emc} \cdot L_{emc} \cdot \omega^2 - 1) \cdot \omega}$$

レジスタ・マップ：IO コンフィギュレーション・レジスタ 1

シングルエンド・アンテナでどの RFO を使用しているかに応じて、IO コンフィギュレーション・レジスタ 1 を設定する必要があります。図 11 を参照。図 11

4 ベンチマーク・テスト

4.1 消費電力

4.1.1 測定のセットアップ(基板構成と回路図)

インピーダンスを測定するには、アンテナ端にネットワーク・アナライザのケーブルを接続する必要があります。

図 13. インピーダンス測定のセットアップ-差動アンテナ

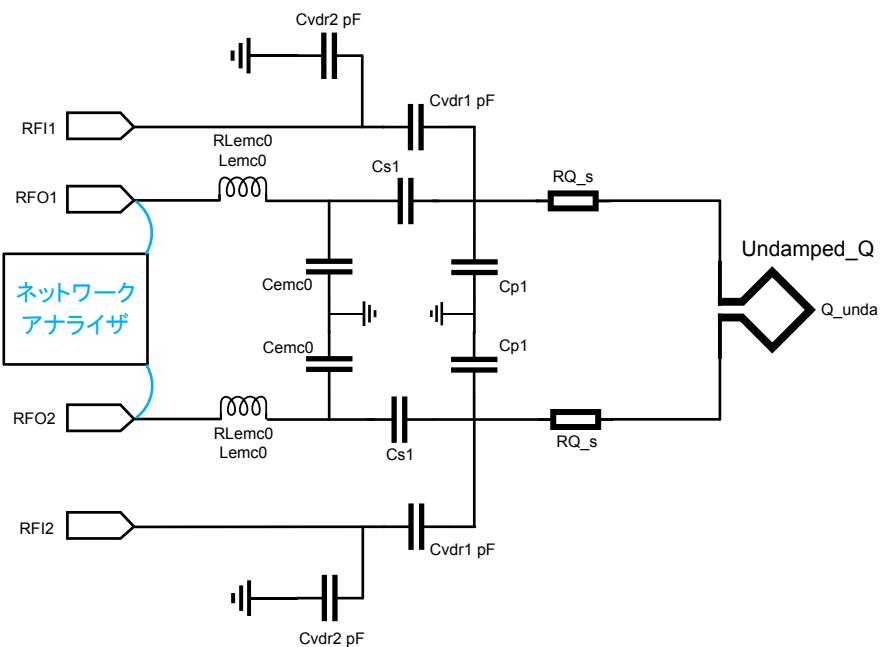
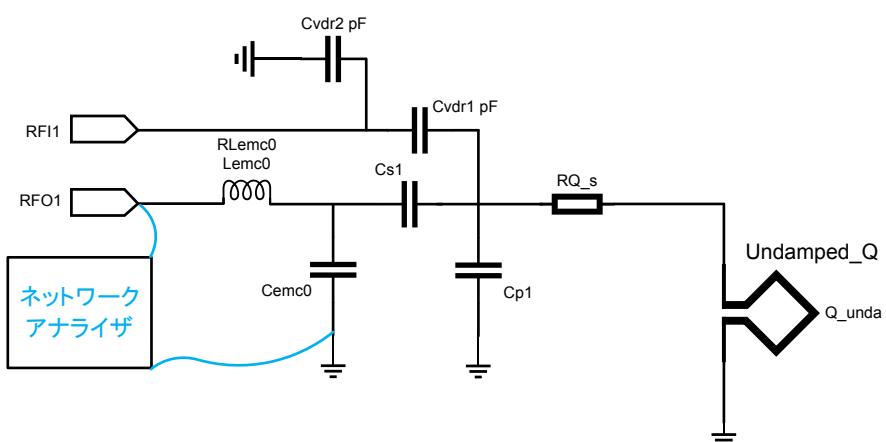


図 14. インピーダンス測定のセットアップ-シングルエンド・アンテナ



共振周波数(13.56MHz)におけるインピーダンスを求めることができます。

インピーダンス目標値は、差動アンテナで 20Ω 、シングルエンド・アンテナとケーブル付きシングルエンド・アンテナで 10Ω になります。これらのインピーダンス値を得るには、整合ネットワークの各部品を次のように調整する必要があります。

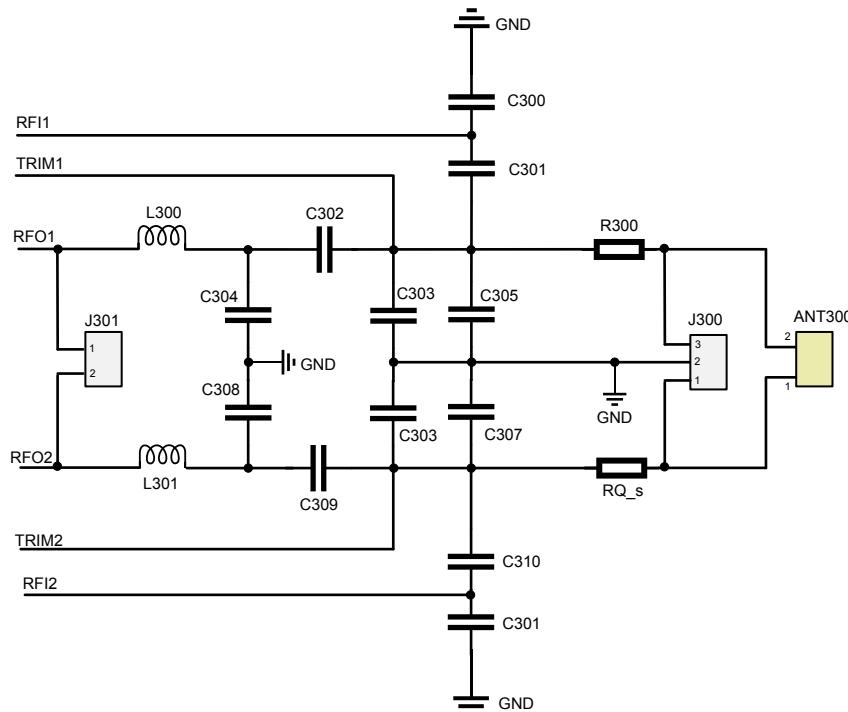
- ST25R3911B Discovery GUI で RFI 電圧を測定する

- 差動アンテナ基板とシングルエンド・アンテナ基板のRFI電圧が2.7Vになるように、コンデンサ分圧回路(C300とC301)を調整する

このRFI電圧は、ダイレクト・コマンド“Measure Amplitude”を使用して測定できます。

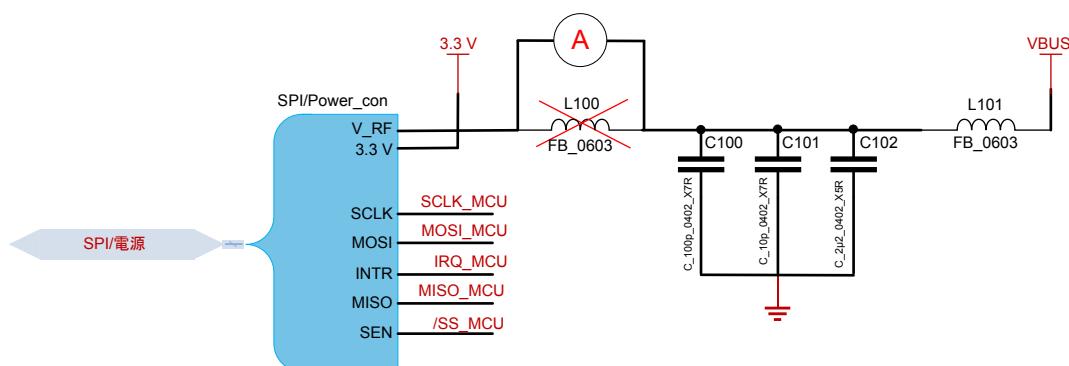
★お客様指示により削除★

図 15. コンデンサ分圧回路の整合回路



電流を測定するために、コイル(L100)を電流プローブに置き換えます。

図 16. 電流測定



4.1.2 測定結果

表 8. 測定結果

測定対象	差動アンテナ	シングルエンド・アンテナ	ケーブル付きシングルエンド・アンテナ	単位
インピーダンス	20.017	10.077	9.772	Ω

測定対象	差動アンテナ	シングルエンド・アンテナ	ケーブル付きシングルエンド・アンテナ	単位
RFI 電圧	2.690	2.617	2.617	V
送信電流	181.15	91.45	96.55	mA

4.2 読取り範囲の測定

4.2.1 測定のセットアップ

低消費電力カード検出とカードのアクティベーションは、カードとの通常の通信であり、NFC カードと対応したプロトコルを実装する NFC リーダライタ(DUT)を用いて、DUT に対してさまざまな位置と角度に NFC カードを配置することによってテストを実施します。配置ごとに規定回数のテストを実施し、テスト結果を保存します。

4.2.2 読取り範囲の測定結果

図 17. 低消費電力カード検出

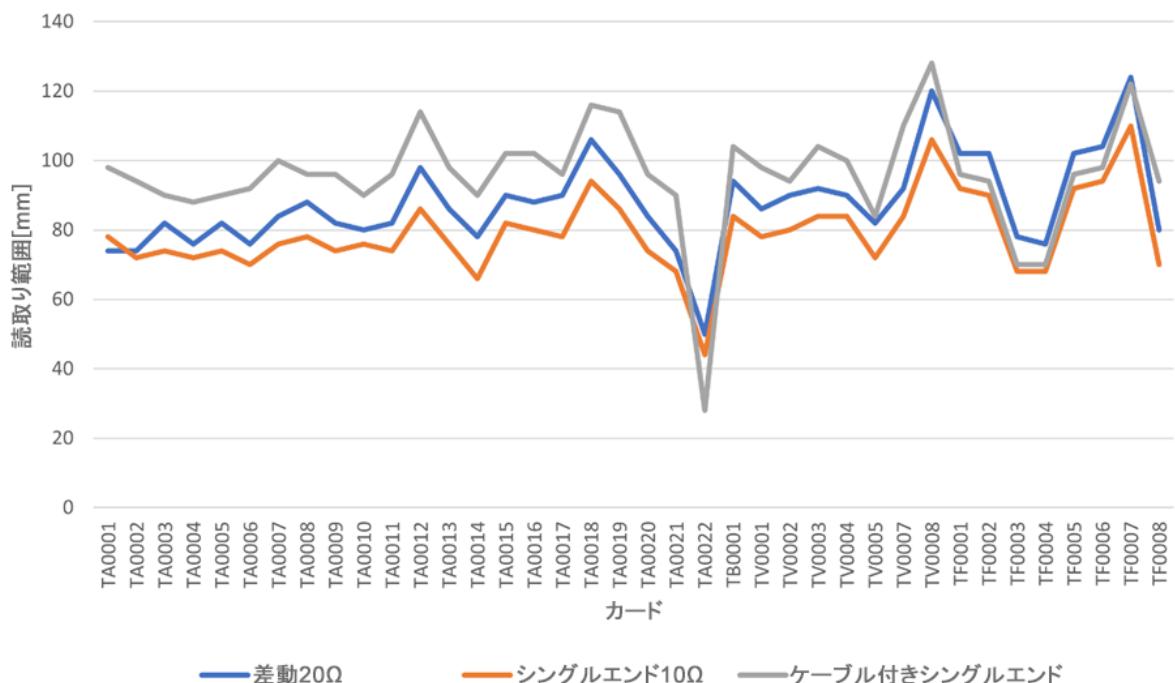
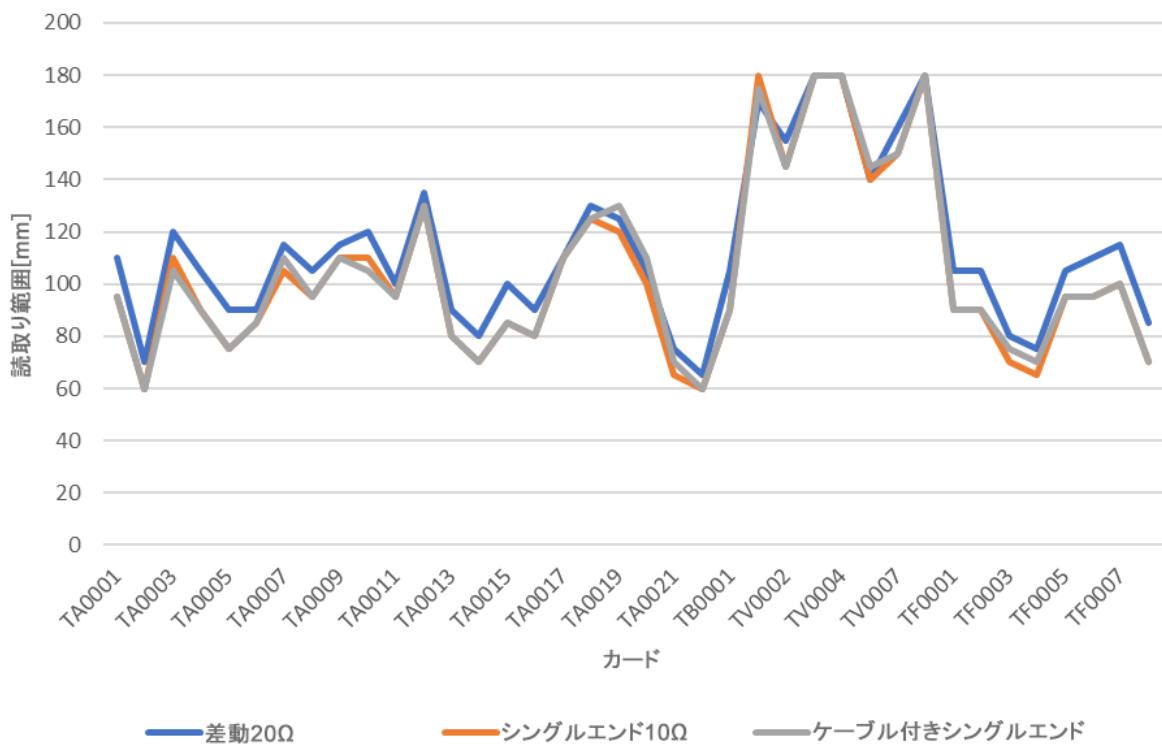
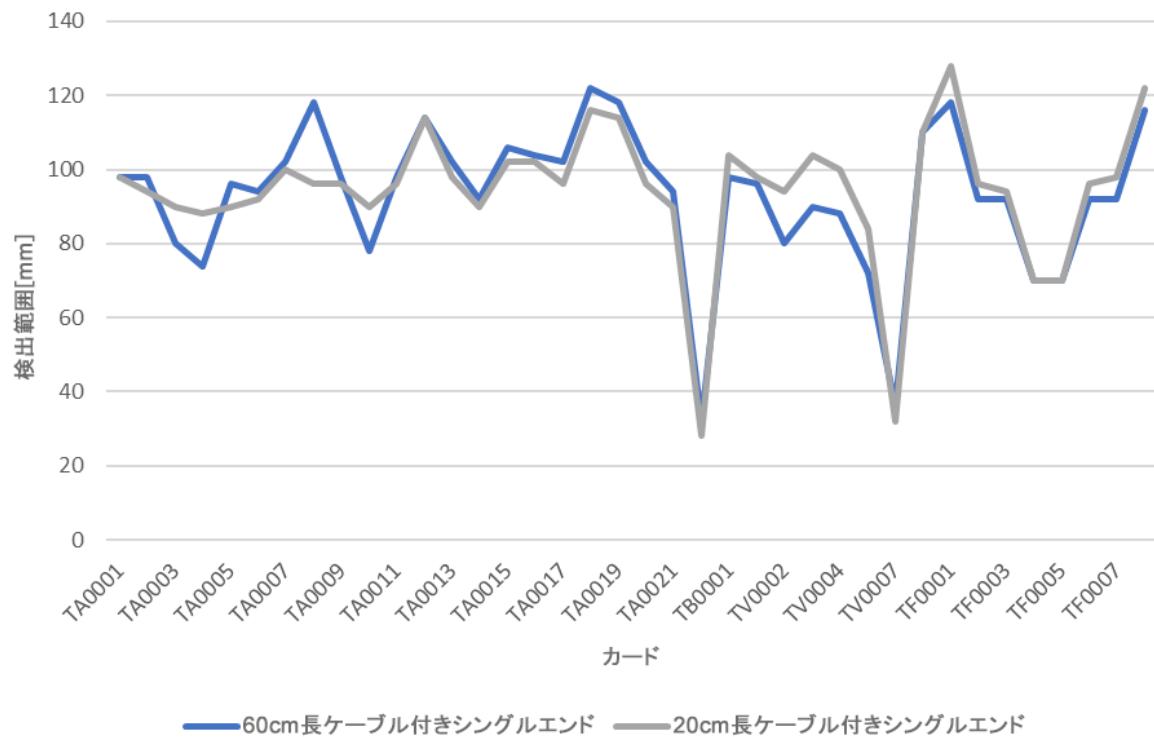


図 18. カードのアクティベーション



ケーブル付きシングルエンド・アンテナでは、読み取り範囲の測定を、長さが 60cm と 20cm の 2 種類のケーブルで実施しています。これは、ケーブルの長さが測定値に影響するかどうかを確認するためです。図 13 からわかるように、低消費電力カード検出にケーブルの長さが関連している様子はありません。

図 19. 異なるケーブル長におけるシングルエンド・アンテナによる低消費電力カード検出



5 まとめ

本書では、ST25R antenna matching toolについて説明しています。このツールは、差動アンテナ、シングルエンド・アンテナ、ケーブル付きシングルエンド・アンテナに使用する整合ネットワークの計算とシミュレーションに対して有用です。

このツールは、インピーダンス目標値を実現するための EMC フィルタと整合ネットワークに必要な値をすべて導出し、GUI に表示します。

コンフィギュレーション・ファイルの種類を選択し、すべての値を入力することで、シミュレーションが実行できます。

改訂履歴

表 9. 文書改版履歴

日付	版	変更内容
2021 年 3 月 5 日	1	初版発行

目次

1	概要	2
2	整合トポロジの概要	3
2.1	差動アンテナ	3
2.2	シングルエンド・アンテナ	5
2.3	ケーブル付きシングルエンド・アンテナ	6
2.4	自動アンテナ・チューニング(AAT)	7
3	アンテナ整合	10
3.1	差動アンテナ	10
3.2	シングルエンド・アンテナ	11
3.3	ケーブル付きシングルエンド・アンテナ	12
4	ベンチマーク・テスト	13
4.1	消費電力	13
4.1.1	測定のセットアップ(基板構成と回路図)	13
4.1.2	測定結果	14
4.2	読み取り範囲の測定	15
4.2.1	測定のセットアップ	15
4.2.2	読み取り範囲の測定結果	15
5	まとめ	18
	改訂履歴	19

表一覧

表 1.	該当製品	1
表 2.	ST25R3911/16 のコンフィギュレーション・ファイル	2
表 3.	差動アンテナの整合回路部品	4
表 4.	シングルエンド・アンテナの整合回路部品	5
表 5.	ケーブル付きシングルエンド・アンテナの整合回路部品	6
表 6.	50Ω アンテナの整合回路部品	7
表 7.	AAT	7
表 8.	測定結果	14
表 9.	文書改版履歴	19

図一覧

図 1.	ST25R3911/3916-差動	3
図 2.	差動アンテナに使用するデバイス	4
図 3.	ST25R3911/3916-シングルエンド	5
図 4.	シングルエンド・アンテナに使用するデバイス	5
図 5.	ST25R3911/3916-ケーブル付きシングルエンド	6
図 6.	ケーブル付きシングルエンド・アンテナに使用するデバイス	6
図 7.	ST25R3911-差動 AAT	7
図 8.	ST25R3916-差動 AAT	8
図 9.	ST25R3911-シングルエンド AAT	8
図 10.	ST25R3916-シングルエンド AAT	9
図 11.	レジスタ設定	10
図 12.	シングルエンド・アンテナ向けのレジスタ設定	11
図 13.	インピーダンス測定のセットアップ-差動アンテナ	13
図 14.	インピーダンス測定のセットアップ-シングルエンド・アンテナ	13
図 15.	コンデンサ分圧回路の整合回路	14
図 16.	電流測定	14
図 17.	低消費電力カード検出	15
図 18.	カードのアクティベーション	16
図 19.	異なるケーブル長におけるシングルエンド・アンテナによる低消費電力カード検出	17

重要なお知らせ（よくお読みください）

STMicroelectronics NV およびその子会社（両者を総称して以下、ST とします）は、ST 製品および本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定およ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、注文請求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お客様がすべての責任を負うものとします。お客様の製品のアプリケーション支援や設計に関して ST は一切の責任を負いません。

明示又は默示を問わず、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 製品が再版された場合、その製品について ST が提供する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。ST の商標に関する詳細は、www.st.com/trademarks をご覧ください。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すべての情報に優先し、それに代わるものです。

© 2021 STMicroelectronics – All rights reserved