MagSense -コンポーネント設定最適化

このドキュメントについて

- このドキュメントではMagSenseのコンポーネント設定を最適化する手法を検討するにあたって実施した下記の調査と調査結果から検討した最適化手順について纏めたものです。
  - MagSense（V1）の概要
  - コイルの測定・設計
  - MagSenseによる測定
  - 設定最適化手順の確認

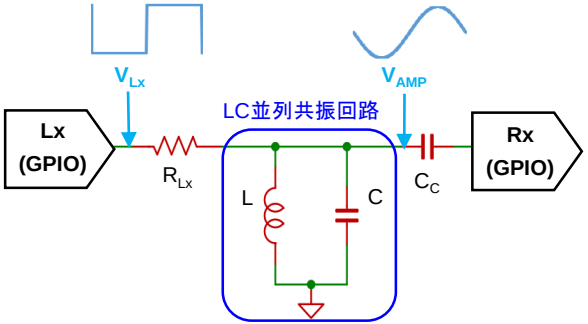
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

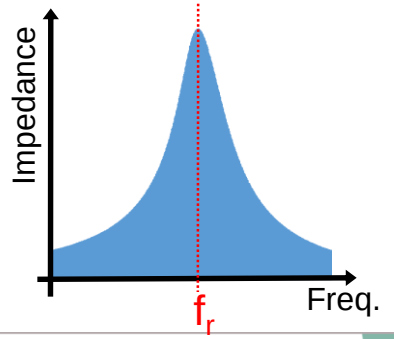
MagSense(V1)の概要

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

MagSense(V1)の概要(1/2)

- MagSenseはコイル(L)とキャパシタ(C)で構成されたLC並列共振回路にLxより出力される信号(V_{Lx})を注入し、Ccを介してRxで受信した出力波形(V_{AMP})の振幅をデジタル変換することでセンサー値を取得しています。
- LC並列共振回路は共振周波数(f_r)の信号が注入された際にインピーダンスが最大となり、共振周波数から離れるにしたがってインピーダンスが下がるBPF(バンドパスフィルタ)の特性を持っています。
- 矩形波は基本波と奇数倍の高調波で構成されるため、Lxより出力された矩形波(V_{Lx})はBPFを通過する事で正弦波(V_{AMP})となります $f(x) = \sum_{N} \frac{1}{2N-1} sin((2N-1)x) = sin(x) + \frac{1}{3}sin(3x) + \frac{1}{5}sin(5x) + \ldots$

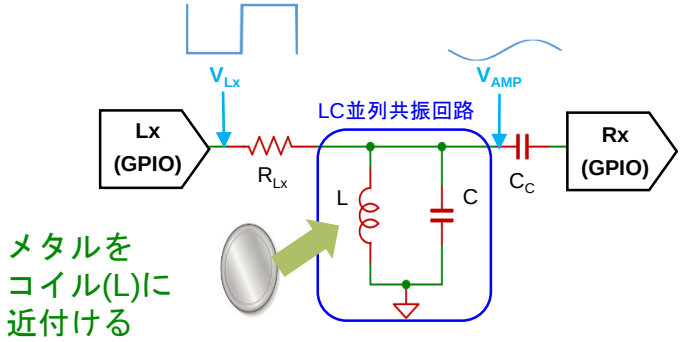




Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

MagSense(V1)の概要(2/2)

- コイル(L)の性能を表す数値としてインダクタンス(単位:Henry[H])とQ(単位:無し(無名数))があります。
  Note :QについてはLx clock frequency選定時に説明します。
- コイルに導電体(金属等、以降メタルと表記)を近づける事でインダクタンス・Q共に低下し、その結果、共振周波数(f_r)は増加します。$f_r = 1/2\pi\sqrt{LC}$
- しかし、Lxより出力された信号(V_{Lx})の周波数は変わらないため、Rxで受信した出力波形(V_{AMP})の振幅は減少します。
- この減少した振幅を得る事によりメタルの接近を検出します。



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

コイルの測定・設計

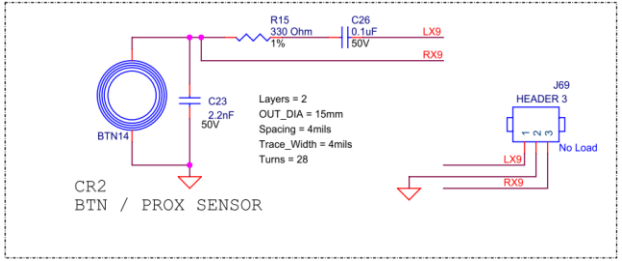
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

コイルの測定・設計

- コイルに近接するメタルの有無を高精度に判定するには、メタルがない場合の出力波形(V_{AMP}) の振幅を最大化する必要があり、それにはLxより出力される信号(V_{LX})の周波数をメタルがない場合の共振周波数(f_r)とする必要があります。
- 共振周波数(f_r)を得るにはコイルのインダクタンス値が必要であり、インダクタンス値を得るには以下の方法があります。
  - VNA(Vector Network Analyzer)を使用して測定する
  - コイルの設計ツールを使用してインダクタンス(H)を見積もり共振周波数を計算する
- ここでは既存のコイル(CY8CKIT-148-Coil：CR2(CR1))を使用してVNAによる測定を行い、設計ツール「Sensor Design Spreadsheet」を使用した見積もり結果との比較を行います。

CY8CKIT-148-COIL Schematic.pdf

参考: Inductive Sensing Coil Breakout Board Kit Guide(002-26890)



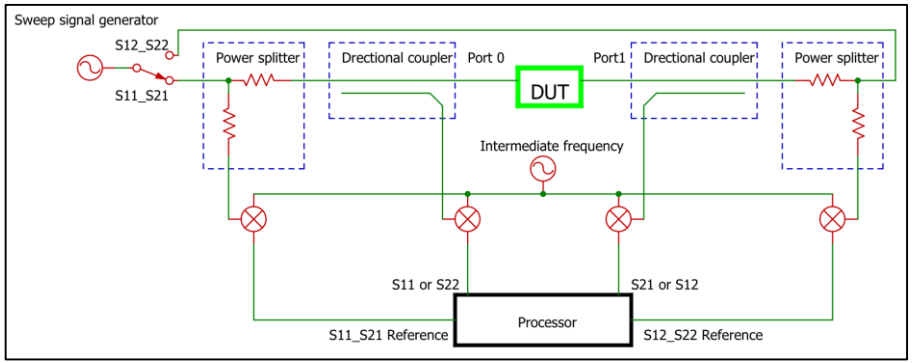
Layers = 2
OUT_DIA = 15mm
Spacing = 4mils
Trace_Width = 4mils
Turns = 28

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

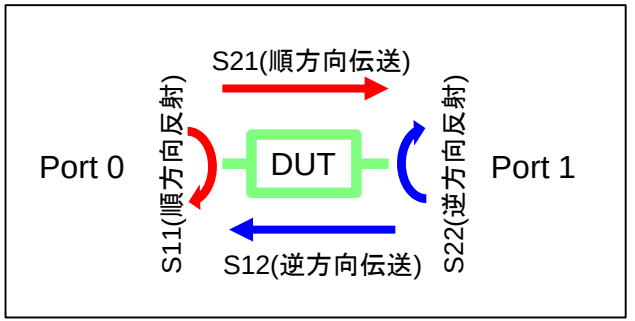
VNAによる測定：Vector Network Analyzer概要

- VNA(Vector Network Analyzer)は高周波回路網(RF Network)の伝送・反射電力特性(Sパラメータ)を測定する測定装置です。
- Sパラメータとは？
  - S11：Port 0から出力した信号がDUTで反射されPort 0に戻ってくる信号の測定値　反射係数 (reflection coefficients)
  - S21：Port 0から出力した信号がDUTを通過してPort 1に到達した信号の測定値　伝送係数 (transmission coefficients)
  - S22：Port 1から出力した信号がDUTで反射されPort 1に戻ってくる信号の測定値
  - S12：Port 1から出力した信号がDUTを通過してPort 0に到達した信号の測定値
- Sパラメータより反射/伝送損失，複素インピーダンス，SWR等を計算できます。
- このVNAを使用して、共振周波数，インダクタンス，キャパシタンスを測定します。

VNA概略図



Sパラメータ

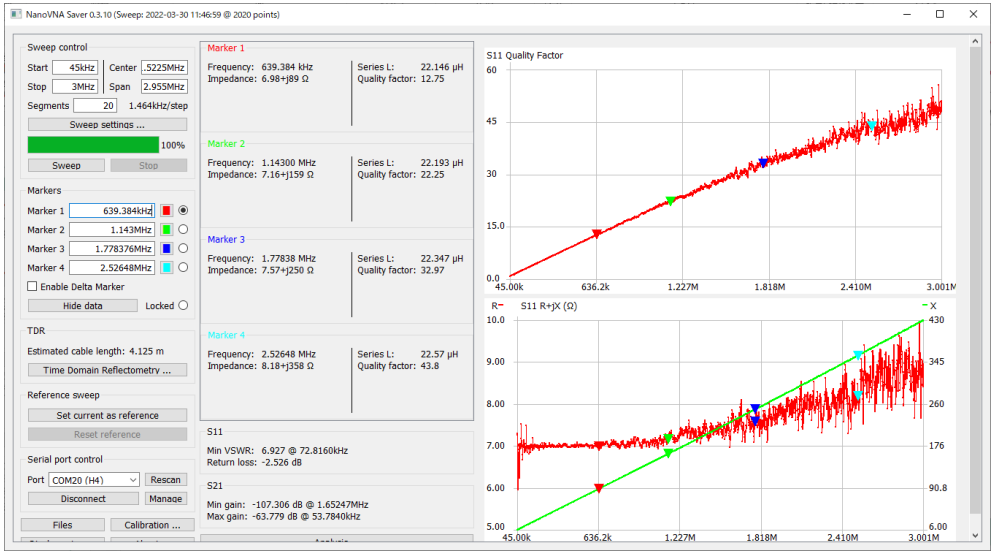


Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：Nano-VNA概要

- Nano-VNAはオープンソース化されたVNAであり、様々なメーカーから商品化されています。
- 安価なものでは6000JPY(50USD)程度でAmazon等で購入が可能です。
- 本体に加えてSMAケーブル、キャリブレーション用のダミーロード等が付属しています。
- USBケーブルでPCと接続し、NanoVNA-Saverを使用する事でPC側から制御する事が可能です。
  https://github.com/NanoVNA-Saver/nanovna-saver/releases



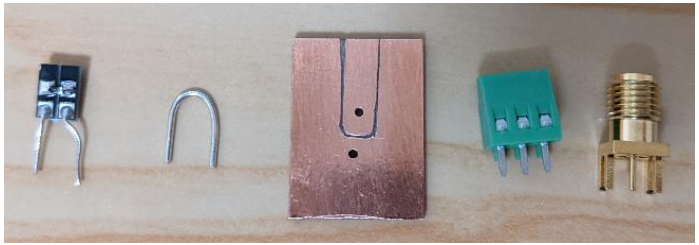


Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：測定に必要な治具

› 測定するコイルやキャパシタをVNAに接続するための治具を下記の部品を使用して作成します。
- キャリブレーション(Load)用50Ωチップ抵抗
  基板に実装して端子台に接続できるようにします。
- キャリブレーション(Short)用ワイヤー
- 基板
  ノイズを避けるため銅張基板にアクリルカッターでパターンを作成していますがユニバーサル基板でも構いません。
- 端子台
  中央の足をカットしています
- エッジマウントタイプのSMAコネクタ(メス)

***Note*：付属のダミーロードをSMAケーブルに接続してキャリブレーションを行った場合、治具部分が校正出来ないので精度が悪くなります。**



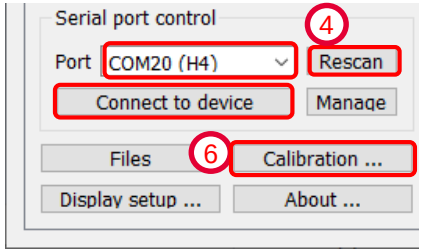


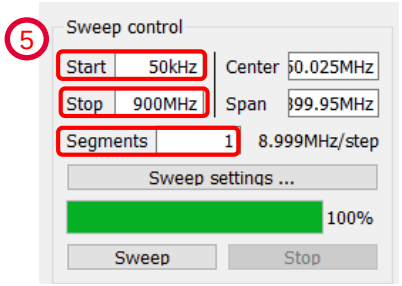


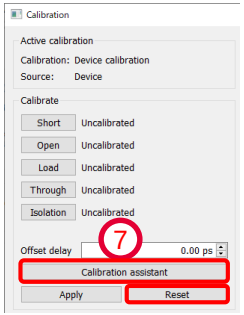
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

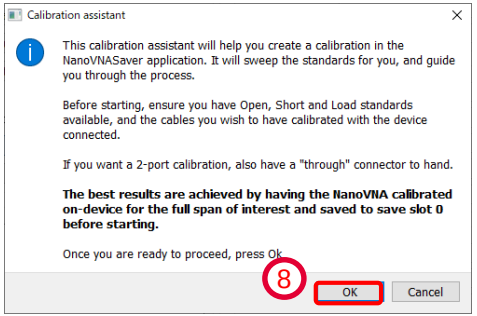
VNAによる測定：測定準備(1/2)

1. Nano-VNAの電源を投入し、ウォームアップするまで30分程放置します。
   Note :他のVNAを使用する場合でもウォームアップは必要です
2. SMAケーブルをNano-VNAのCh0(S11)に接続し、反対側に治具を接続します。
   Note : SMAコネクタの締付はトルクレンチでおこないますが、無ければ使わなくても構いません。但し精度は悪くなります。
3. GitHubよりNanoVNASaver.x64.zipをダウンロードして展開し、nanovna-saver.exeを起動します。
4. NanoVNASaverウインドウの左下にSerial port controlメニューがあるので、Rescanをクリックしてから PortからCOMポートを選択しConnect to deviceをクリックします。
5. 左上にあるSweep controlのStartに50kHz, Stopに900MHzを設定します。
6. Serial port controlメニューの下のCalibrationをクリックします。
7. Calibrationウインドウが開くのでResetをクリックした後Calibration assistantをクリックします。
8. Calibration assistantのダイアログが表示されるのでOKをクリックします。









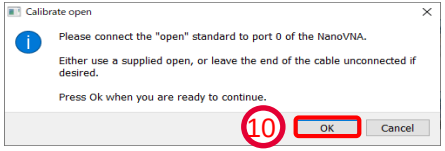
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

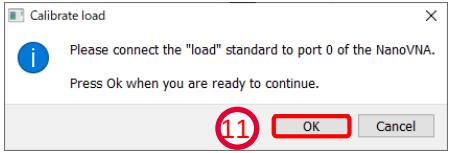
VNAによる測定：測定準備(2/2)

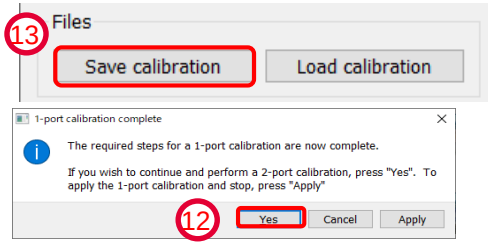
9. Calibration shortのダイアログが表示されるので、治具の端子台にキャリブレーション(Short)用ワイヤーを接続してOKをクリックします。
10. Calibration openのダイアログが表示されるので、治具の端子台からキャリブレーション(Short)用ワイヤーを外してOKをクリックします。
11. Calibration loadのダイアログが表示されるので、治具の端子台にキャリブレーション(Load)用50Ωチップ抵抗を接続してOKをクリックします。
12. 1-port calibration completeのダイアログが表示されるので、治具の端子台からキャリブレーション(Load)用50Ωチップ抵抗を外してApplyをクリックします。
    この測定ではCh1(S21)は使用しないため、キャリブレーションは行いません
13. Calibrationウインドウの左下にあるSave Calibrationをクリックしてを行った後、右上の[x]をクリックしてCalibrationウインドウを閉じます。
    Saveしたデータは次回起動時にLoadして使用する事ができますが、起動毎のキャリブレーションを推奨します。

以上で測定準備は完了です。次頁より測定方法を説明します。





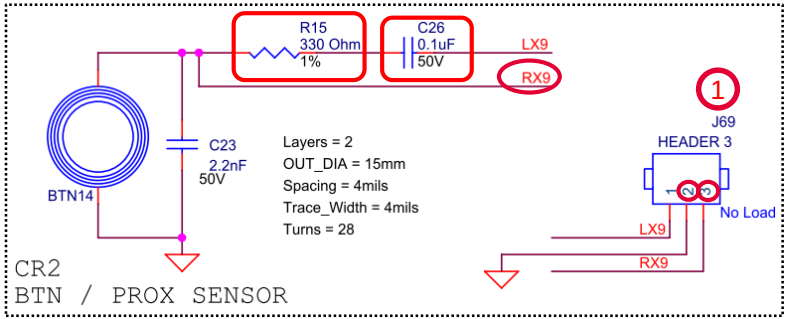


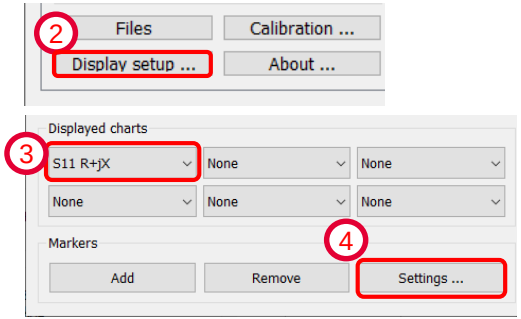


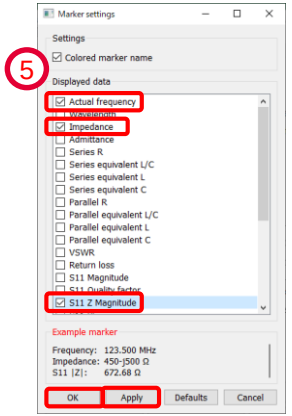
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：共振周波数測定(1/3)

1. CR2基板にはMagSenseに接続するためにR_{LX}であるR15とカップリングキャパシタC26が搭載されていますが、共振周波数測定には使用しないためRX9(HEADER3の3)とGND(HEADER3の2)を治具の端子台に接続します。
2. NanoVNASaverウインドウの左下にあるDisplay setupをクリックします。
3. Display settingsウインドウが表示されるのでDisplay chartsの左上のドロップダウンリストからS11 R+jXを選択し、他はNoneを選択します。
4. MarkersのSettingをクリックします。
5. Markers Settingウインドウが表示されるのでActual frequency, Impedance, S11 Z Magnitudeをチェックして**Applyをクリックしてから**OKをクリックします。
6. Display settingsウインドウ右上の[x]をクリックしてウインドウを閉じます。







Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：共振周波数測定(2/3)

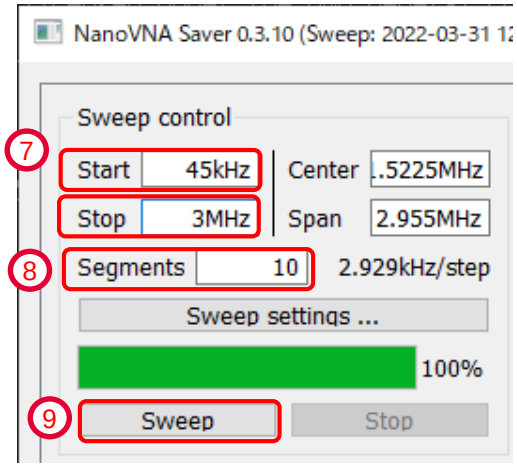
7. NanoVNASaverウインドウの左上にあるSweep controlのStartに45kHz, Stopに3MHzを設定します。

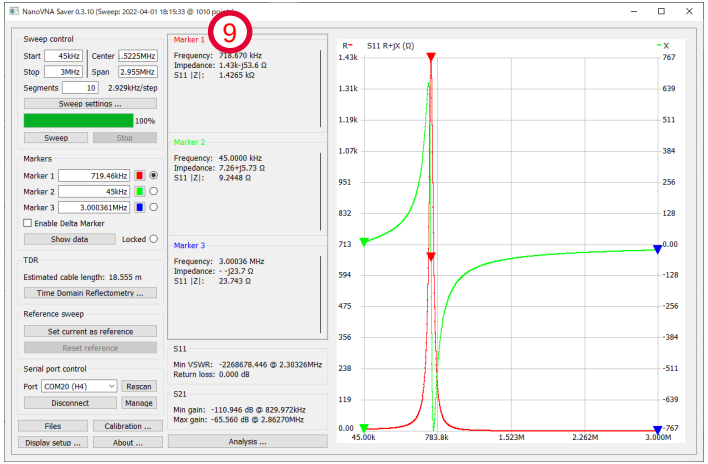
   Note： MagSenseのサポートする周波数が45kHz～3MHzであるため。

8. Segmentsに10を設定します（より大きな値でも構いませんが測定時間がかかります）

   Note：Segmentsは指定された値で周波数範囲を分割して測定を行うパラメータです。Nano-VNAは測定ポイント数が101ポイント固定となっており、45kHz～3MHzの周波数範囲を測定すると29.29kHzごとに測定されます。Segmentsに10を指定すれば2.929kHzごとの測定が可能です。

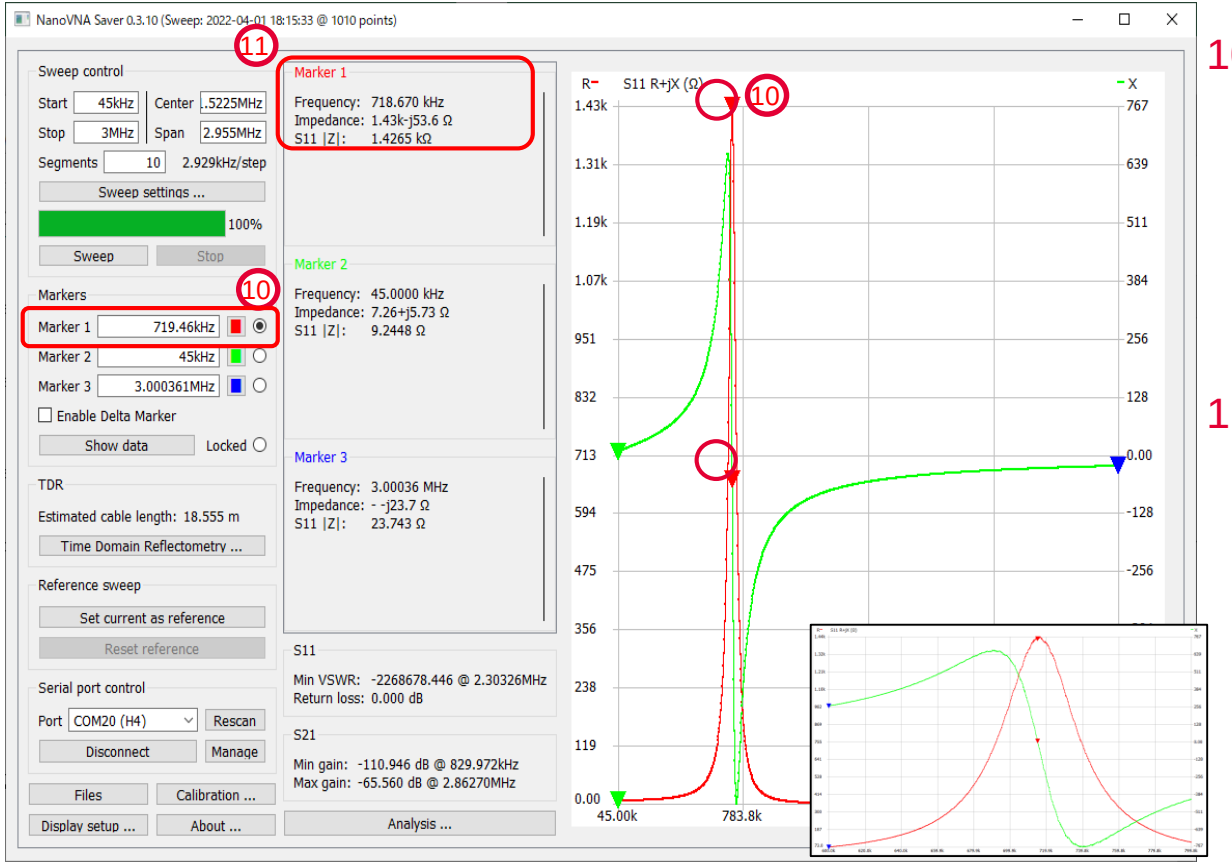
9. Sweepをクリックすると45kHz～3MHz間の測定行われグラフが表示されます。





Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：共振周波数測定(3/3)



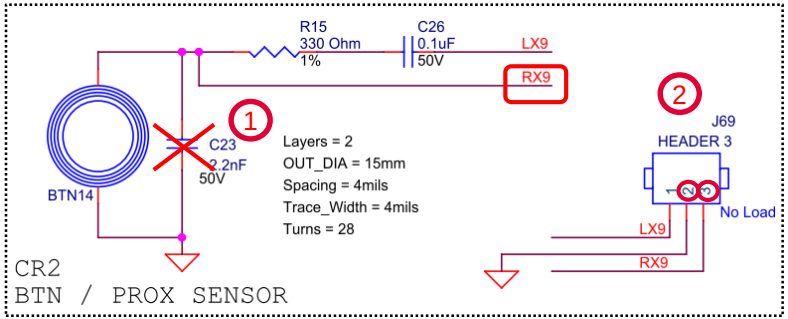
10. Marker 1のラジオボタンを選択し、グラフ上で赤グラフの頂点(又は緑グラフが0クロスしたポイント)にマウスカーソルを合わせてクリックします（押したまま左右に動かすことで調整可能です）
11. Marker 1のFrequency(718.670kHz)が共振周波数になります。カーソルを合わせ辛い場合、測定範囲を狭めて再測定します。

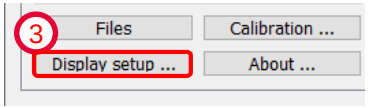
Note:

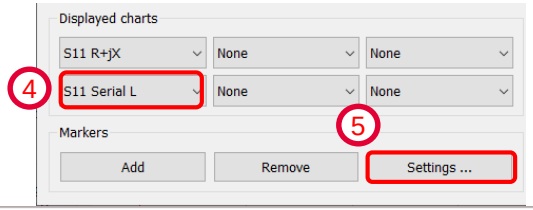
Frequency (共振周波数): 718.670kHz
S11 |Z| (Rp): 1.4265kΩ

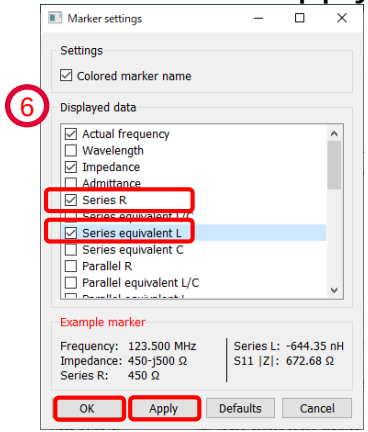
VNAによる測定：インダクタンス測定(1/2)

1. コイルのインダクタンスを測定するためにCR2基板に搭載されたキャパシタC23を取り外します。
2. 共振周波数測定と同様にRX9(HEADER3の3)とGND(HEADER3の2)を治具の端子台に接続します。
3. NanoVNASaverウインドウの左下にあるDisplay setupをクリックします。
4. Display settingsウインドウが表示されるのでDisplay chartsの左下のドロップダウンリストからS11 Serial Lを選択します。
5. MarkersのSettingをクリックします。
6. Markers Settingウインドウが表示されるのでSeries equivalent L, Series Rをチェックして Applyをクリックしてから OKをクリックします。
7. Display settingsウインドウ右上の[x]をクリックしてウインドウを閉じます。



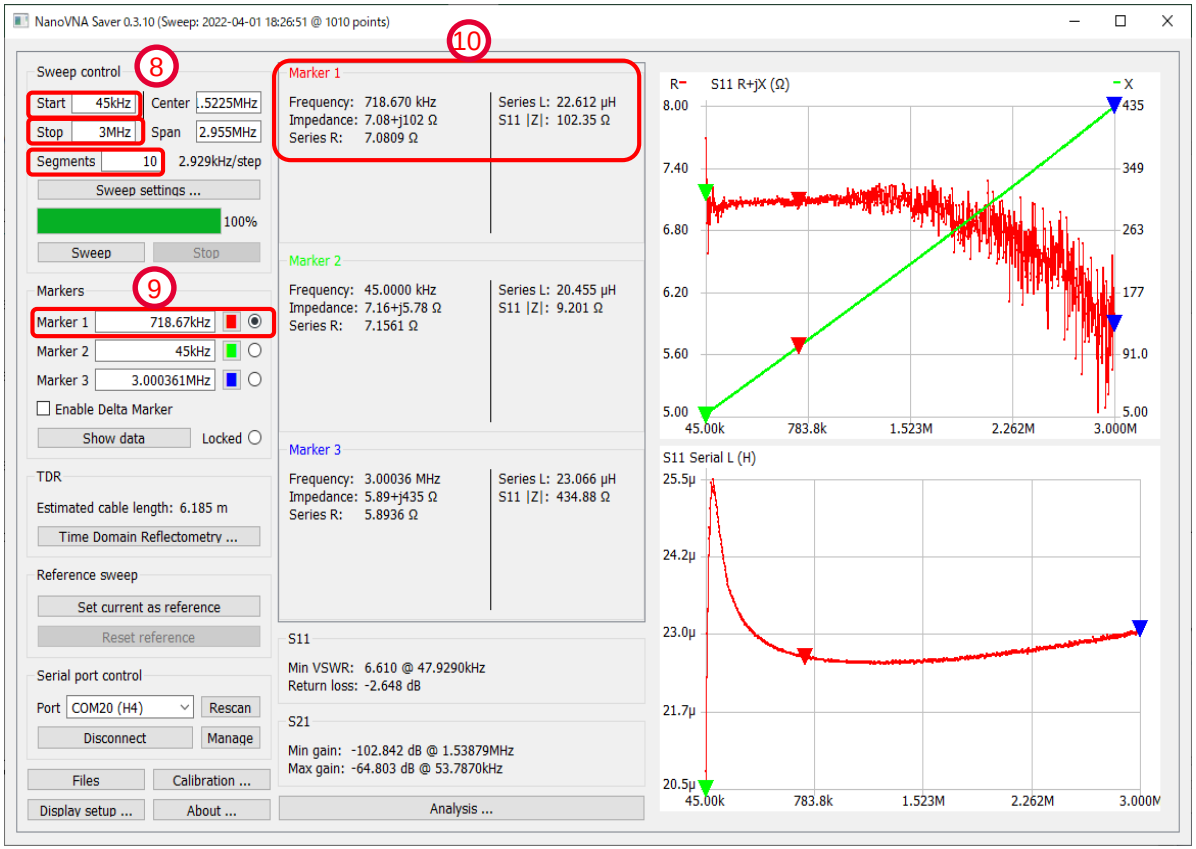






Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：インダクタンス測定(2/2)



8. NanoVNASaverウインドウの左上にあるSweep controlのStartに45kHz, Stopに3MHz, Segmentsに10を設定します。
9. Marker 1に先に測定した共振周波数(718.670kHz)を設定します。
10. Marker 1のSeries Lがインダクタンス(22.612uH)となります。

Note:

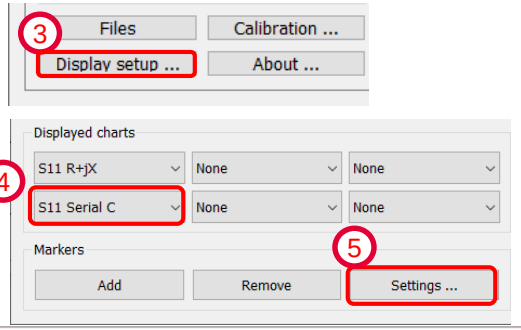
Series L (インダクタンス): 22.612uH

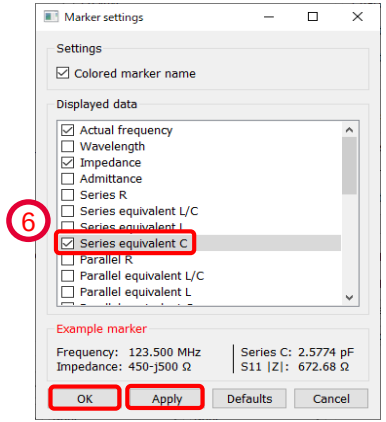
Series R (R_S): 7.0809Ω

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：キャパシタンス測定(1/2)

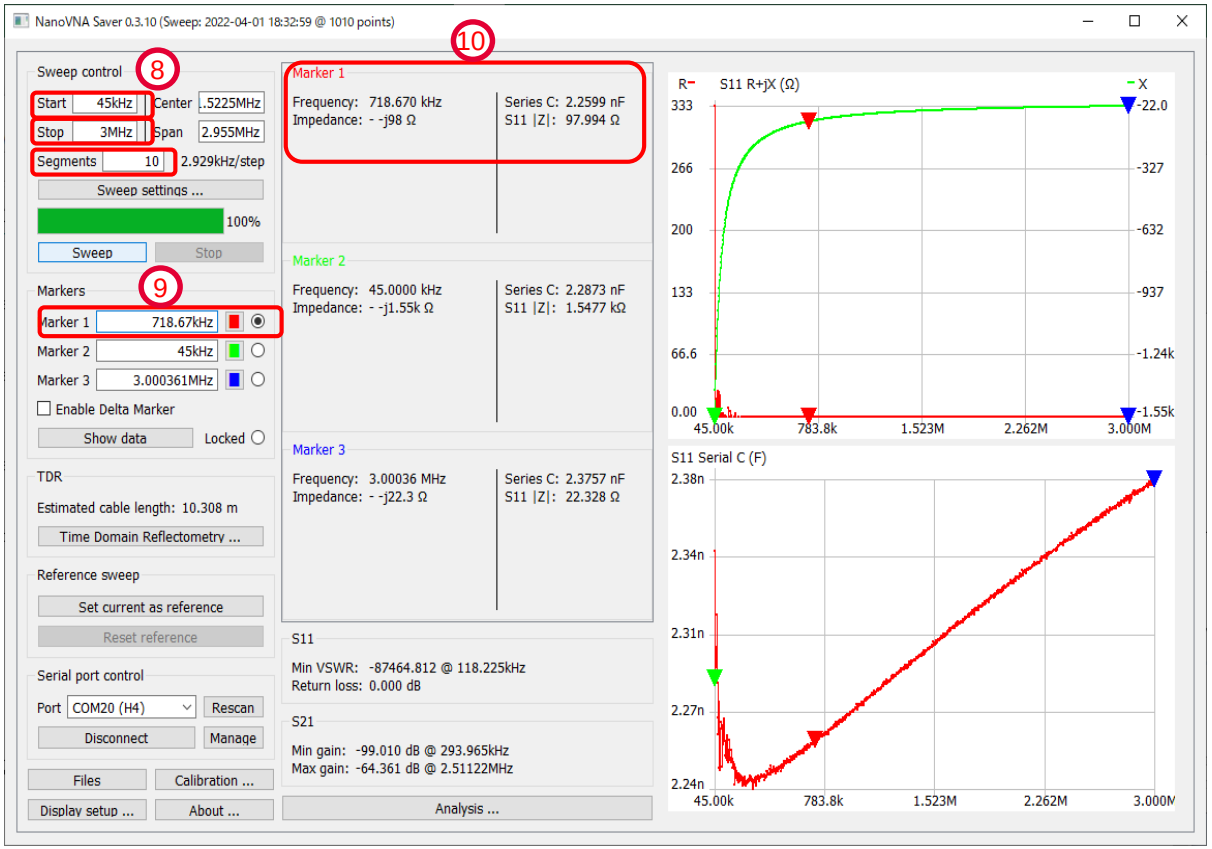
1. CR2基板から取り外したキャパシタC23をキャリブレーション(Load)用50Ωチップ抵抗と同様に基板に実装します。
2. 基板に実装したキャパシタC23を治具の端子台に接続します。
3. NanoVNASaverウインドウの左下にあるDisplay setupをクリックします。
4. Display settingsウインドウが表示されるのでDisplay chartsの左下のドロップダウンリストからS11 Serial Cを選択します。
5. MarkersのSettingをクリックします。
6. Markers Settingウインドウが表示されるのでSeries equivalent Cをチェックして Applyをクリックしてから OKをクリックします。
7. Display settingsウインドウ右上の[x]をクリックしてウインドウを閉じます。





Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

VNAによる測定：キャパシタンス測定(2/2)



8. NanoVNASaverウインドウの左上にあるSweep controlのStartに45kHz, Stopに3MHz, Segmentsに10を設定します。
9. Marker 1に先に測定した共振周波数(718.670kHz)を設定します。
10. Marker 1のSeries Cがキャパシタンス(2.2599nF)となります。

Note:

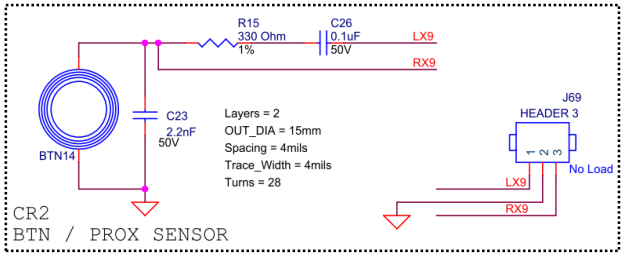
Series C (キャパシタンス): 2.2599nF

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Sensor Design Spreadsheetによるコイル設計

- MagSenseで使用するコイルについては、1から設計する場合の他に既に設計・製造済みのコイルを使用する事が考えられます。
- そのような場合においてもコイルの外形サイズ、配線幅、配線間幅、巻き数等のパラメータを設計ツールに入力する事でコイルの性能を計算する事が可能です。
- ここでは、「AN219207 Inductive Sensing Design Guide」の「A.10 Sensor Design Spreadsheet 」に記載されている設計ツール「Sensor Design Spreadsheet(以降Spreadsheetと表記)」にCR2のパラメータを入力し、得られた見積もり結果と、VNAによる測定結果を比較します。
  https://edit.infineon.com/cms/en/search.html#!term=AN219207_Inductive_Sensing_Design_Guide&view=all
  https://edit.infineon.com/cms/en/search.html#!term=MagSense_Toolkit&view=all

CY8CKIT-148-COIL Schematic.pdf



Layers = 2
OUT_DIA = 15mm
Spacing = 4mils
Trace_Width = 4mils
Turns = 28

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Sensor Design Spreadsheetによるコイル設計(1/3)

- Simple Coil DesignerシートにCR2コイルのパラメータを入力します。

Input Parameters											
Use Case	No. Turns	Turn space	Turn Width	Outer Diameter	Target distance	Copper Thickness	PCB Thickness Layers 1-2	PCB Thickness Layers 2-3	PCB Thickness Layers 3-4	# Layers (1-4)	Freq (f_0)
	#	s (µm)	w (µm)	dout (µm)	mm	t (µm)	T12 (mm)	T23 (mm)	T34 (mm)	#	Hz
CR2	28	101.6	101.6	15000	0.00	35	0.762	0.762	0.203	2	7.19E+05

- Use Case：CR2
  コイルの名称です
- No.Turns：28
  コイルの巻き数を指定します。
  CR2は2層(両面基板)ですが、ここでは
  1つの層(Layer)の巻き数を指定します。
- Turn space：101.6
  コイルの配線と配線の間隔をµmで指定します。
  1mill(ミリインチ)は25.4µmになります。
- Turn Width：101.6
  コイルの配線幅をµmで指定します。
  1mill(ミリインチ)は25.4µmになります。
- Outer Diameter：15000
  コイルの外形をµmで指定します。
- Target distance：0.00
  コイルとメタルとの距離を指定します。
  (メタルが近接した際の値を見積もることができます)
- Copper Thickness：35
  コイルの配線の厚さを指定します。
  特に指定がない限り標準では1oz(=35µm)となります。
- PCB Thickness
  多層基板の各層の厚みを指定します。
  特に指定がない限り変更しなくても構いません。
- Layers：2
  4層基板までサポートされています。
- Freq (f0)：718670
  45kHz～3MHzの内、希望する共振周波数をHzで指定する事で共振回路のキャパシタの値を計算する事ができます。ここでは先に測定した共振周波数を指定します。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Sensor Design Spreadsheetによるコイル設計(2/3)

› Output Parametersに見積もり結果が表示されます。

Output Parameters								Proximity Sensing Calculations		
Inductance	Ideal Tank Capacitance	Rdc	Skin Depth	Rs AC	Din/Dout	Q	Rp	Target distance	New Inductance	New Rp
µH	pF	Ohm	mm	Ohm	#	#	Ohm	mm	uH	Ohm
22.759	2154.87	7.98	0.0770	9.928	0.255	10.35	1064	0.000	6.527	88

› Inductance：22.759
コイルのインダクタンスがµHで表示されます。
MagSenseでは1～10000µHをサポートします。

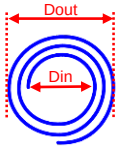
› Ideal Tank Capacitance：2154.87
希望する共振周波数となるキャパシタの容量がpFで表示されます。
MagSenseでは100pF～0.47µFをサポートします。

› Rdc：7.98
コイルの直流抵抗値がΩで表示されます。

› Skin Depth：0.0770
導体の表皮深さがmmで表示されます。
(表皮効果による導電率を計算しています)

› Rs AC：9.928
コイルの交流抵抗値がΩで表示されます。
(Rpの計算に使用されます)

› Din/Dout：0.255
入力したコイルの外形と計算された
コイルの内径の比率が表示されます。
この値は0.3以上が望ましいとされます。



› Q：10.35
Q値は高い方がメタル近接時のセンサー値の変化が大きくなります。MagSenseでは5～50の間を推奨します。

› Rp：1064
LC並列共振回路の交流抵抗値がΩで表示されます。
MagSenseでは350Ω～ 50kΩをサポートします。

› New Inductance：6.527
Target distanceで指定した距離にメタルがある場合の
コイルのインダクタンスがµHで表示されます。

› New Rp：88
Target distanceで指定した距離にメタルがある場合の
RpがΩで表示されます。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Sensor Design Spreadsheetによるコイル設計(3/3)

› 見積もり結果をTuning Calculatorに入力します。

INPUT PARAMETERS

Enter coil Inductance [L]	22.759	µH
Enter coil Series resistance [Rs]	9.928	Ω
Enter desired resonant frequency [f_0]	718.67	kHz
Enter tank amplitude [V_{AMP}]	1.8	V
VDDA	3.3	V

OUTPUT PARAMETERS

Calculated resonant capacitor	2.15	nF
Resona	2.2	nF
Actual Resonant Frequency (f0)	711	kHz
Resonant resistance [Rp]	1064	Ω
TX resistance [R_{lX}]	887	Ω
Coupling Capacitor (C_C)	10	pF

› Enter coil Inductance [L]：22.759
Simple Coil DesignerシートのOutput Parametersに表示されている値を入力します。

› Enter coil Series resistance [R_S]：9.928
Simple Coil DesignerシートのOutput Parametersに表示されている値を入力します。

› Enter desired resonant frequency [f_0] ：718.67
Simple Coil DesignerシートのInput Parametersに入力した希望する共振周波数を入力します。

› Enter tank amplitude [V_{AMP}] ：1.8
使用可能な電源電圧と電流に応じて0.6, 1.2, 1.8から選択します。電圧が高い方がSNRが良くなります。

› VDDA ：3.3
PSoCの電源電圧を入力します。

› Calculated resonant capacitor：2.15
入力したLとf_0の値から計算されたCの値がnfで表示されます。

› Resonant Capacitor (C)：2.2
上記のC値をE系列に修正した値がnfで表示されます。

› Actual Resonant Frequency (f_0)：711
E系列に修正したC値から再計算された共振周波数がkHzで表示されます。

› Resonant resistance [R_P] ：1064
再計算された並列共振回路の交流抵抗値がΩで表示されます。

› TX resistance [R_{LX}] ：887
Lxと共振回路間にあるR_{LX}の値がΩで表示されます。

› Coupling Capacitor (C_C)：10
VDDAにより計算されたRxへの結合コンデンサ値がpfで表示されます。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

コイルの測定結果と設計結果の比較

- CR2に加えCR3,CR5,SQ8のコイルも同様にVNAで測定、Spreadsheetで設計を行いました。
- それらの結果及び「Inductive Sensing Coil Breakout Board Kit Guide(002-26890)(以降Kit Guideと表記)」に記載されたコイルのデータを以下に示します。

Coil		CR2			CR3			CR5			SQ8		
	Unit	VNA	Spreadsheet	Kit Guide	VNA	Spreadsheet	Kit Guide	VNA	Spreadsheet	Kit Guide	VNA	Spreadsheet	Kit Guide
Resonant Frequency	[kHz]	718.67	711.00	765.30	659.58	615.38	625.10	322.00	317.88	329.00	422.00	417.39	437.00
Inductance	[uH]	22.612	22.795	22.500	3.214	3.076	3.110	111.480	103.748	113.900	64.512	64.159	65.200
Rs	[ohm]	7.0809	9.9280	N/A	1.2858	1.1370	N/A	20.0950	25.6610	N/A	16.391	16.8640	N/A
Rp	[ohm]	1426.50	1064.00	N/A	87.864	168.00	N/A	2517.10	1717.00	N/A	1772.70	1716.00	N/A

Note :共振周波数(Resonant Frequency)について、Spreadsheetの設計値ではコイルと共に共振回路を構成するキャパシタの値が公証静電容量であり、実際には許容差(誤差) が生じる事、またMagSenseでは電圧・周波数共に公証静電容量測定条件と異なるため参考値となります。

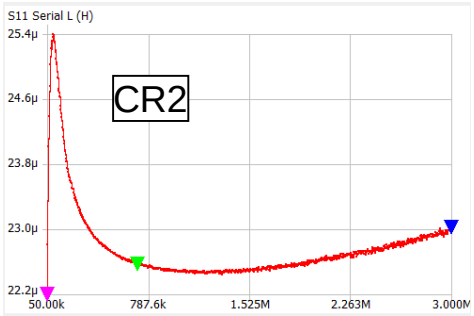
- インダクタンスについて、Kit Guideの値を基準とした場合の誤差は以下のようになります。

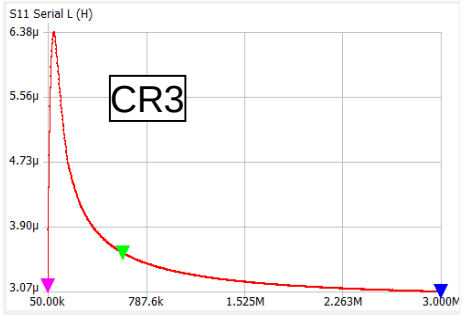
Coil		CR2		CR3		CR5		SQ8	
	♯	VNA	Spreadsheet	VNA	Spreadsheet	VNA	Spreadsheet	VNA	Spreadsheet
Inductance	%	-0.50	-1.31	-3.34	1.09	2.12	**8.91**	1.06	1.60

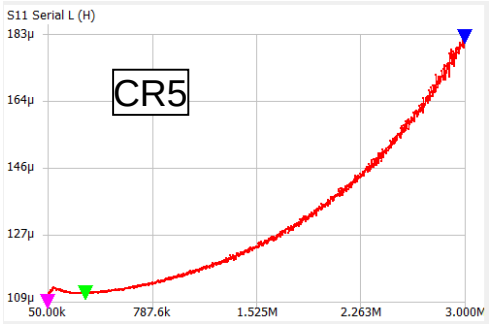
- Spreadsheetによる設計値はCR5に大きな差分があります。この差分について調査を行います。

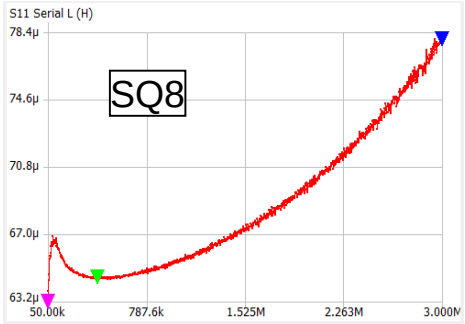
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Spreadsheetによる設計値の差分について









	Coil	CR2			CR3			CR5			SQ8		
Frequency	[kHz]	50	711	3000	50	614	3000	50	316	3000	50	418	3000
Inductance	[uH]	22.23	22.59	23.03	3.14	3.57	3.07	109.30	111.52	181.90	63.24	64.60	77.53

- VNAで各コイルについて50KHz～3MHzのインダクタンスを再測定したグラフと50kHz, Spreadsheetの共振周波数, 3MHzのインダクタンスを左記に示します。
- 周波数によるインダクタンスの変化はCR5 > SQ8 > CR2 > CR3の順となっており、Spreadsheetの差分の大きさ順と一致します。
- Spreadsheetに入力した周波数は、キャパシタの容量を計算するために使用されており、周波数を変更してもインダクタンス値は変化しないため、周波数によるインダクタンス値の変化の大きなコイル(物理サイズの大きなコイル等)の設計では誤差が大きくなると推測されます。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

MagSenseによる測定

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

MagSenseチューニングパラメータ

- MagSenseコンポーネントには様々なパラメータを設定することが可能ですが、測定値（RAWデータ）に影響を与えるパラメータとしては、下記に示す3つのパラメータがあります。
  - Lx clock frequency
  - Number of Sub-conversion(以降Subconversionと表記)
  - Modulator IDAC(以降IDACと表記)
- ここでは各パラメータを説明し、SubconversionとIDACを変化させてデータ測定を行い、その結果よりSubconversion, IDACの選定について検討します。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

パラメータ説明 (1/3)

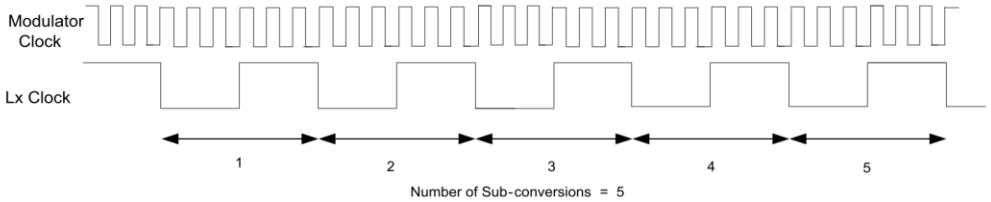
- **Lx clock frequency**
  Lxより出力される信号(V_{LX}) の周波数を設定します。
  設定可能な周波数は45kHz～3MHz範囲の中で、modulator clock frequency(MagSenseコンポーネントの動作クロック)の整数分の1に限定されます。
  従って、下の表に示すように分周数が小さい程(設定周波数が高い程)分周数の変化に対する周波数の変化が大きくなります（高周波数領域では分解能が低い）

Divisions	Lx clock frequency [kHz]	Divisions	Lx clock frequency [kHz]
16	3000.00	1058	45.37
17	2823.53	1059	45.33
18	2666.67	1060	45.28
19	2526.32	1061	45.24
20	2400.00	1062	45.20
21	2285.71	1063	45.16
22	2181.82	1064	45.11
23	2086.96	1065	45.07
24	2000.00	1066	45.03

パラメータ説明 (2/3)

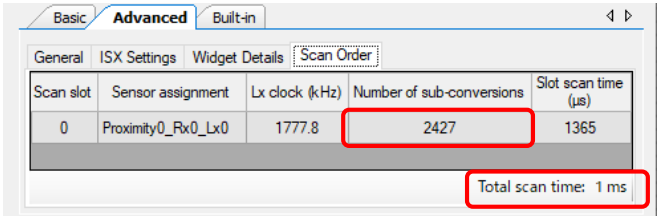
Subconversion

1回の測定データを得るのに必要なLx clock frequencyの周期数を設定します。

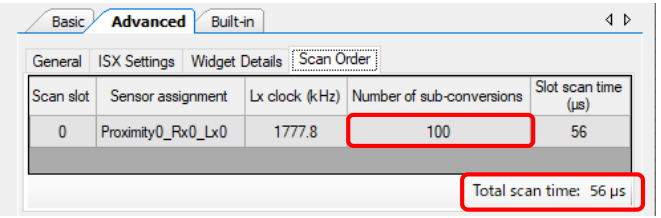


従って、設定値が高くなるほどデータの解像度は上がりますが測定期間が長くなります。

Subconversion:2427 Total scan time:1ms



Subconversion:100 Total scan time:56us



設定する周期数は以下の式を満たす必要があります。

$$Number\ of\ subconversions < \frac{2^{16} \cdot Lx\ clock\ frequency}{modulator\ clock\ frequency} = \frac{65536 \cdot Lx\ clock\ frequency}{48000 \times 10^3}$$

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

パラメータ説明 (3/3)

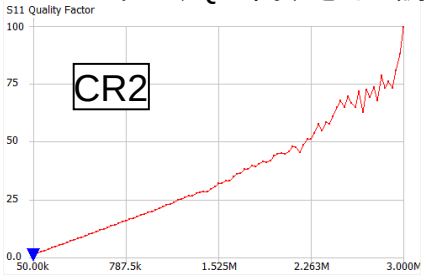
- **IDAC**
  Inductive Sensing Design Guide(AN219207)では、auto-calibrationをEnableすることを前提としており、IDACについては言及されていません。
  ここでは敢えてauto-calibrationをDisableに設定し、IDAC値を測定により調整します。

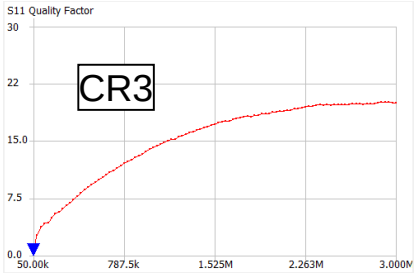
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

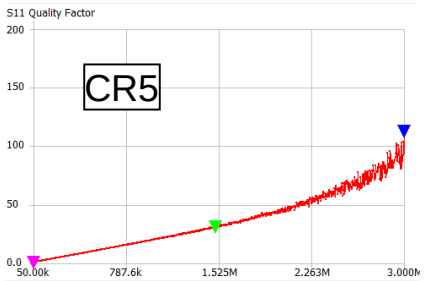
データ測定：Lx clock frequency選定(1/2)

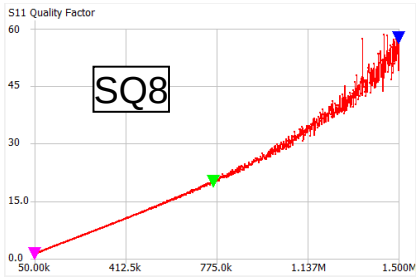
- Lx clock frequencyはLC並列共振回路の共振周波数に設定する必要がありますが、高い周波数領域では分解能が低いため逆に共振周波数を設定可能な周波数に合わせることも検討されます。
- 共振周波数を変更するにはインダクタンスかキャパシタンスを変更する必要がありますが、インダクタンスの変更はコイルの再設計が必要となり、またコイルのサイズ等、物理的制約もあるため困難です。一方でキャパシタンスの変更についてはE系列の制約はあるものの比較的容易に実現可能です。
- 周波数の選定については、低い周波数を選定した方が分解能が高いため調整しやすい面がありますが、設定可能な周波数範囲(45kHz～3MHz)においては、周波数の上昇に伴いコイルのQが上昇する傾向が見られます。
- Qは高い方が共振回路の選択度が上がるため検出精度が上がることが期待できます。

Note:但し、Qが高すぎると調整が難しくなるため5～50の範囲で選択する事が推奨されます









Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定：Lx clock frequency選定(2/2)

- ここでは、Lx clock frequencyの設定による測定データの変化を確認するために、4種類の周波数を設定して測定を行います。
- VNAで測定したCR2コイルのインダクタンスを元にE12系列のキャパシタから共振周波数を計算し、Lx clock frequencyに設定可能な周波数と比較して、誤差が少なく且つ、それぞれの周波数が適度に間隔を持つようにキャパシタ(C0G,CH等の温度補償型)を選択し、再度VNAで共振周波数、インダクタンス、キャパシタンスを測定した結果とTuning Calculatorで計算したR_{LX}を以下に示します。

Inductance [uH]	Measured value Capacitance [pF]	Nominal value Capacitance [pF]	Resonant Frequency [kHz]	Lx clock Frequency [kHz]	Measured value Error [%]	Nominal value Error [%]	Tuning Calculator Rlx [ohm]	Adjust Rlx [ohm]
22.58	2664.73	2700	648.80	640.00	-1.38	-0.71	866.10	1500
22.39	856.12	820	1149.44	1142.86	-0.58	-2.77	2505.84	3900
22.46	346.53	330	1803.99	1777.78	-1.47	-3.99	6763.22	6700
22.59	179.75	180	2497.85	2526.32	1.13	1.20	16787.77	11000

Note :コイル・キャパシタ共に部品毎の許容差(誤差)が生じる事と、温度等の環境による変動を考慮して共振周波数とLx clock frequencyの誤差を5%以下になるように設定しています。

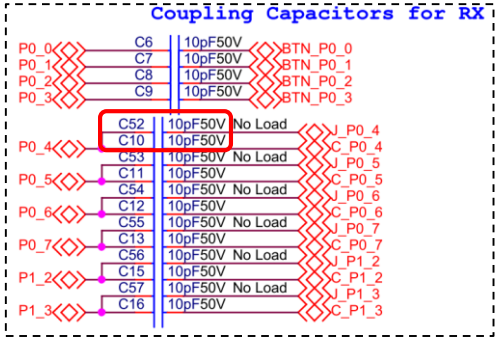
- この周波数についてIDACとSubconversionを変化させながら1設定につき1024回測定したデータの平均値とノイズをターミナルに出力するプロジェクトを作成します。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

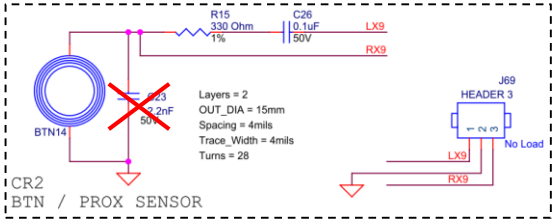
データ測定:ハードウェア準備

- PSoC4700が搭載されたCY8CKIT-148とCR2コイルを使用してデータ測定を行います。
- CY8CKIT-148のI/O Header J4を使用し、P2_5をLx, P0_4をRxとしてCR2コイルに接続するために、CY8CKIT-148のC10を取り外してC52に取り付けます。
- CR2のC23を取り外し、R_{LX}を調整するためCR2の1番ピンを使用せずに中継ボードを作成し、Cと共に実装して接続します。

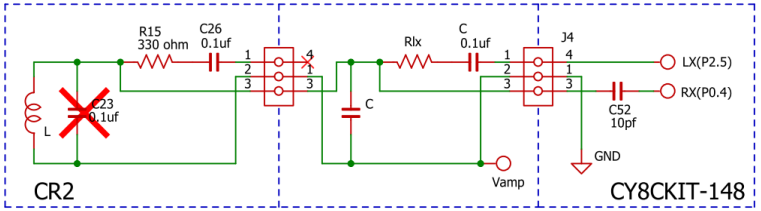
CY8CKIT-148



CR2



中継ボードを使用して接続

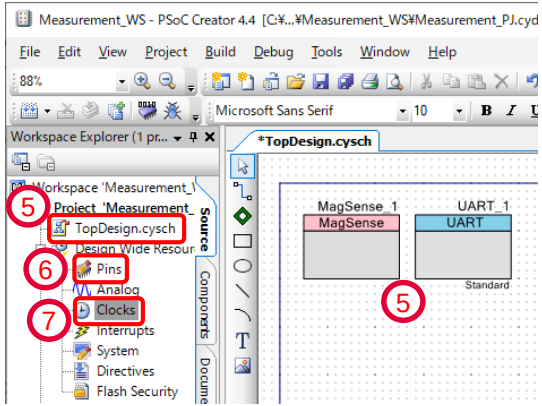


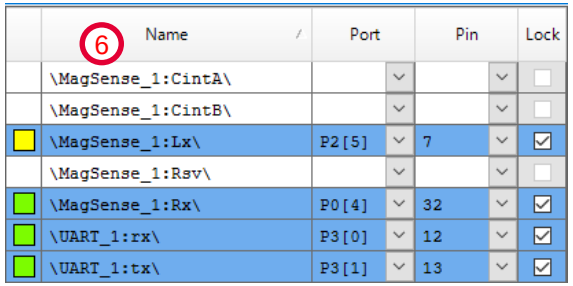
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

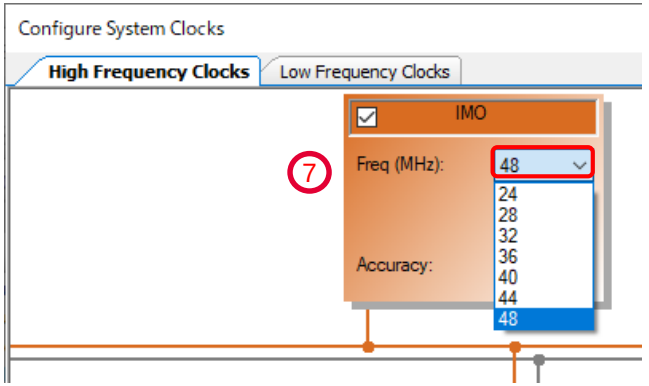
データ測定:プロジェクト生成 (1/4)

› 以下の手順でデータ測定用のProjectを生成します。

1. PSoC Creatorを起動してFile → New → Projectを選択します。
2. Target kit：CY8CKIT-148(PSoC 4700S)を選択しNextをクリックします。
   Note :リストに無い場合はWebサイトよりCY8CKIT148Setup_RevSB.exeをダウンロード＆インストールしてください。
3. Empty schematicを選択しNextをクリックします。
4. ワークスペース名，格納場所，プロジェクト名を入力してFinishをクリックするとプロジェクトが生成されます。
5. TopDesign.cyschをダブルクリックして回路図を表示し、MagSenseとUARTコンポーネントを配置します。
6. PinsをダブルクリックしてMagSenseのLx (P2[5])とRx (P0[4]), UARTのrx (P3[0])とtx (P3[1])を設定します。
   (その他はプロジェクトのビルド時の自動割り当てを使用します)
7. Clocksをダブルクリックして設定画面を表示し、IMOをダブルクリックしてConfigure ダイアログを開き、IMOを48MHzに設定します。







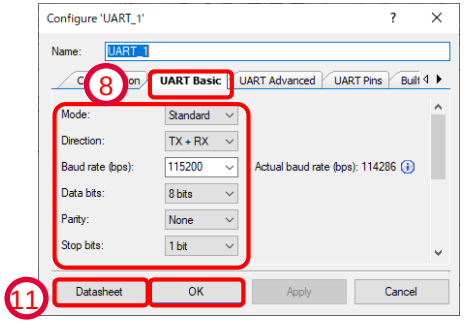
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

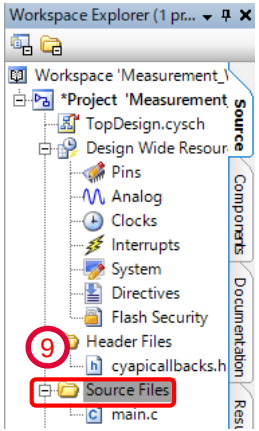
データ測定:プロジェクト生成 (2/4)

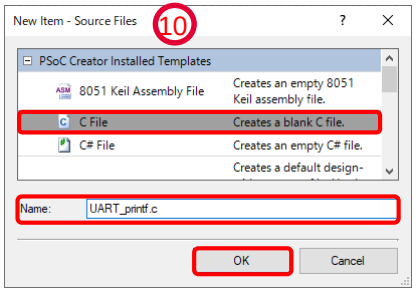
8. UARTコンポーネントをダブルクリックしてConfigure ダイアログを開き、UART Basicタブを選択してBaud rate(bps)を115200, Data bitsを8bits, ParityをNone, Stop bitsを1bitに設定しOKをクリックします。
9. Source fileフォルダの上で右クリックし、Add → New Itemを選択します。
10. New Itemダイアログが表示されるので、C Fileを選択し、NameにUART_printf.cを指定してOKをクリックします。
11. UART_printf.cファイルが生成されるので下記の内容に修正します。

Note: printf関数はheap領域を使用しますので、SystemsをダブルクリックしてHeap Sizeを増やす事を推奨します。

Note: ファイル内容についてはデータシートに記載されています。UARTコンポーネントのConfigureダイアログでDatasheetをクリックするとpdfファイルが表示されます。








```c
#include <project.h>
#include <stdio.h>

/* For GCC compiler revise _write() function */
int _write(int file, char *ptr, int len) {
    int i;
    for (i = 0; i < len; i++) {
        UART_1_UartPutChar(*ptr++);
    }
    return(len);
}
#if defined (__GNUC__)
asm (".global _printf_float");
#endif
/* [] END OF FILE */
```

11

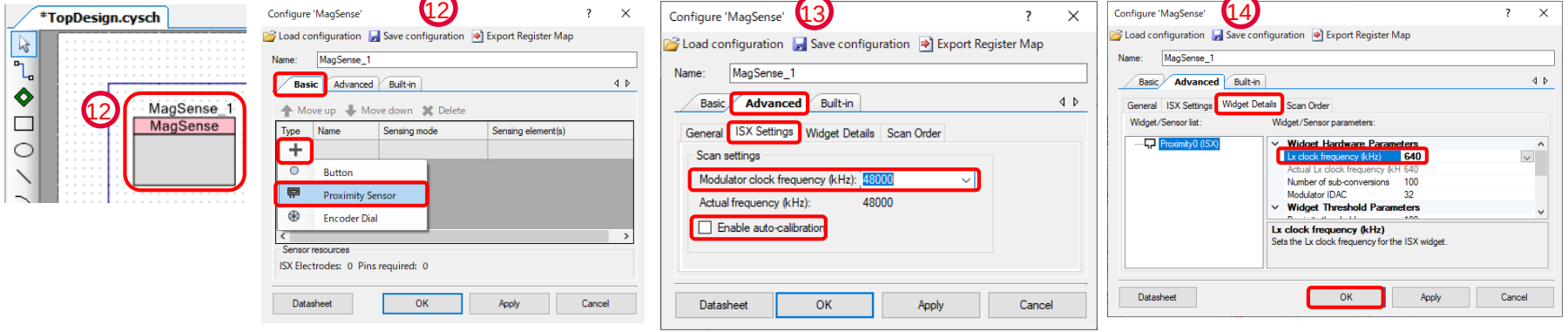
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定:プロジェクト生成 (3/4)

12. MagSenseコンポーネントをダブルクリックしてConfigure ダイアログを開き、Basicタブを選択し、Type列の＋をクリックしてProximity Sensorを追加します。
13. Advancedタブを選択します。更にAdvanced内のISX Settingsタブを選択し、Modulator clock frequency（kHz）を48000に設定し、Enable auto-calibrationのチェックを外します。

    Note: Lx clock frequency(kHz)はModulator clock frequencyの整数分の一で設定されるため、消費電力削減等の理由がない限り48000を設定されることを推奨します。
14. Widget Detailsタブを選択し、Lx clock frequency(kHz)に測定する周波数(640.00, 1142.86, 1777.78, 2526.32）を設定し、OKをクリックします。

    Note: Subconversion, IDACについてはWidget Detailsタブで設定可能ですが、この測定ではソフトウェアから設定するため、ここでは設定を行いません。



Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定:プロジェクト生成 (4/4)

15. main.cを以下に示す内容に変更します。
16. プロジェクトをビルドしてCY8CKIT-148に書き込みます。

```
#include "project.h"

#define  SUBCON_COUNT    256
#define  DATA_COUNT      1024

int main(void){
float       subCon, subConMax, subConStep;
uint32_t    idac, subConCnt, modClkFreq;
float       lxClockFreq;
uint32_t    dataCount, rawDataSum;
uint16_t    rawData, rawDataMax, rawDataMin;

    CyGlobalIntEnable; /* Enable global interrupts. */

MagSense_1_Start(); /* Initialize Component */
    CyDelay(100);
    // hwClock: 48MHz -> 48000 / 8 = 6000
    modClkFreq = (MagSense_1_dsRam.hwClock * 8) / MagSense_1_dsRam.modIsxClk;
    lxClockFreq = (float)modClkFreq
/(float)MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.snsClk;
    subConMax  = (65536.0 * lxClockFreq) / (float)modClkFreq;
    subConStep = (subConMax - 1.0) / (float)SUBCON_COUNT;

    UART_1_Start();
    CyDelay(10);
    printf("Modulator clock frequency (KHz):%d¥n", modClkFreq);
    printf("Lx clock frequency (KHz)       :%.2f¥n", lxClockFreq );
    printf("Maximum subconversion          :%.2f¥n", subConMax);
    printf("Subconversion step             :%.2f¥n", subConStep);
    printf("subCon¥tidac¥taverage¥tnoise¥n");
```

```
for( subConCnt = 0; subConCnt <= SUBCON_COUNT; subConCnt ++){
        subCon = 1.0 + (float)subConCnt * subConStep;
        MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.resolution = (uint16_t)subCon;
        for( idac = 1; idac < 128; idac ++){
            MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.idacMod[0] = idac;
            MagSense_1_SetupWidget(MagSense_1_PROXIMITY0_WDGT_ID);
            //RAW data read
            rawDataSum = 0;
            rawDataMax = 0;
            rawDataMin = 0xffff;
            for(dataCount = 0; dataCount < DATA_COUNT; dataCount ++){
                MagSense_1_ScanAllWidgets(); /* Scan all widgets */
                while(MagSense_1_NOT_BUSY != MagSense_1_IsBusy()){}
                MagSense_1_ProcessAllWidgets(); /* Process all widgets */
                rawData = MagSense_1_dsRam.snsList.proximity0[0].raw[0];
                rawDataSum += (uint32_t)rawData;
                if(rawDataMax < rawData) rawDataMax = rawData;
                if(rawDataMin > rawData) rawDataMin = rawData;
            }
            printf("%d¥t%d¥t%d¥t%d¥n", (uint32_t)subCon, idac, rawDataSum /
DATA_COUNT, rawDataMax - rawDataMin );
        }
    }
    while(1){}
}
```

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: ターミナルソフトへの接続

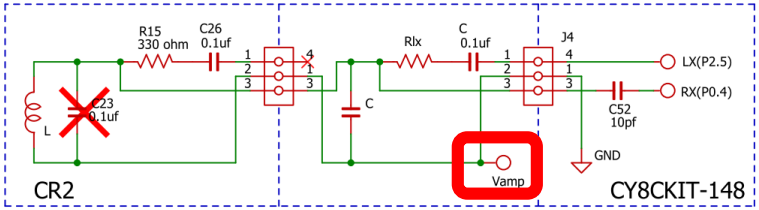
› PC上でシリアルターミナルソフトウェアを起動し下記の設定で接続します。
Note : COM Port番号は環境により異なります

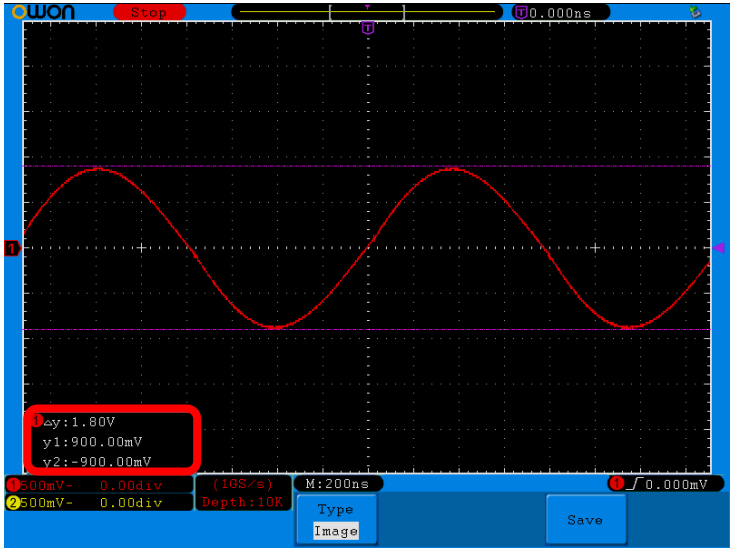
Parameter Name	Value
COM Port	KitProg3 USB-UART(COMx)
Baud rate	115200
Data bits	8 bits
Parity	None
Stop bits	1
Flow control	None

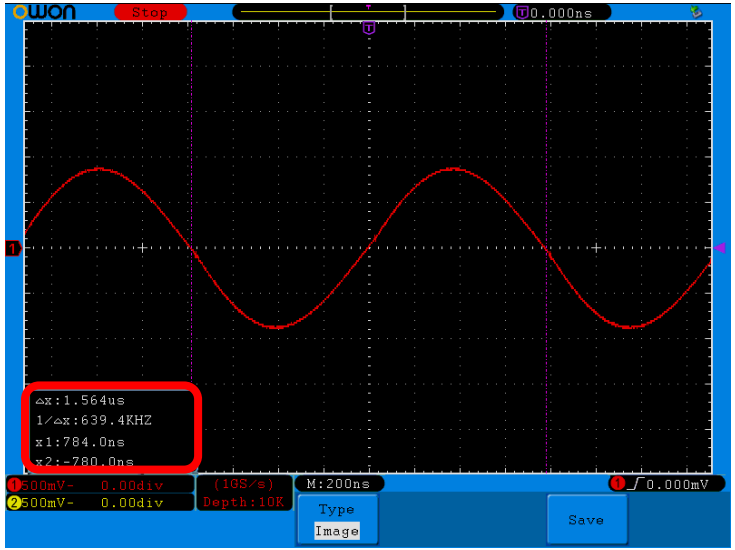
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: R_{LX}調整

- 測定端子V_{AMP}にオシロスコープを接続してV_{P-P}が1.8VとなるようにR_{LX}を調整します。
  Note : Lx clock frequency選定の表に調整後のR_{LX}を記載しています(Adjust Rlx)



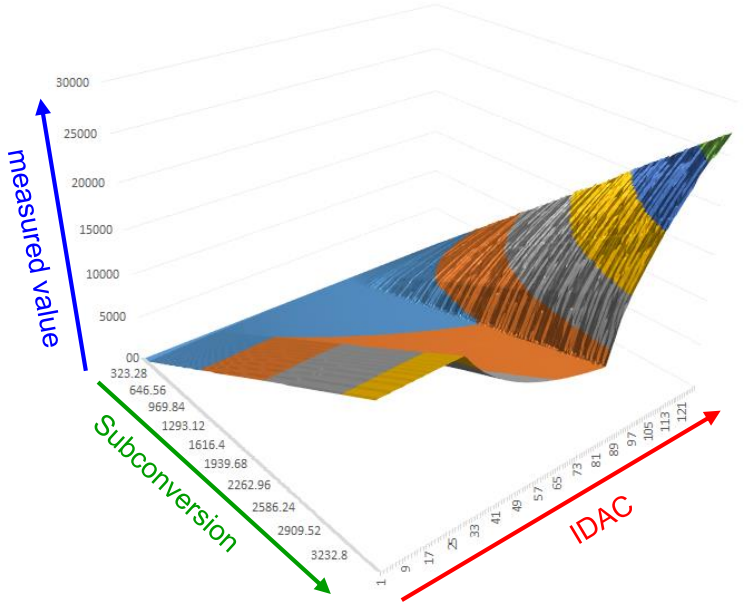




Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定:測定概要

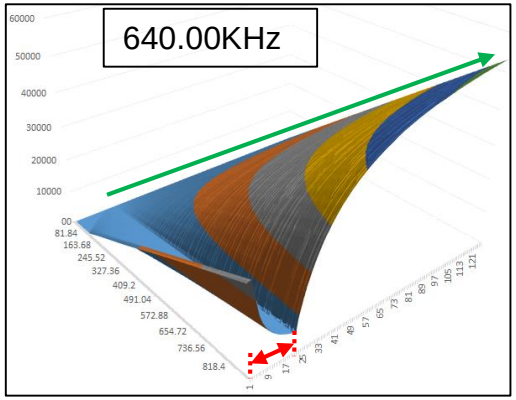
› 作成したプロジェクトを使用して、コイルの周辺にメタルがない状態と有る状態のデータを測定し、6種類のグラフを作成します。

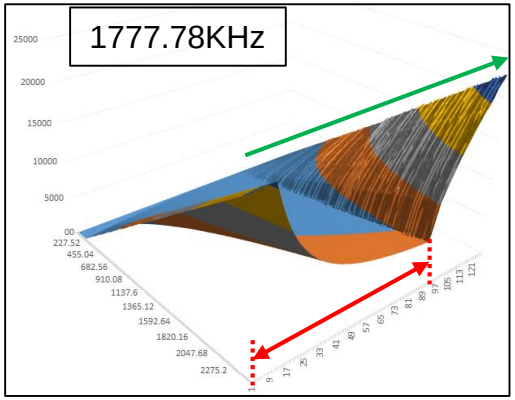


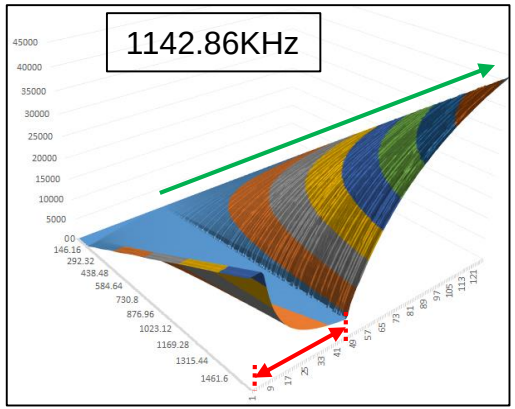
1. No Metal
   - メタルがない状態での測定値
2. No Metal Noise
   - メタルがない状態でのノイズ
3. Metal
   - メタルが有る状態での測定値
4. Metal Noise
   - メタルが有る状態でのノイズ
5. Diff
   - メタルが有る状態での測定値と
     メタルがない状態での測定値の差分
6. SNR
   - Diff / No Metal Noise

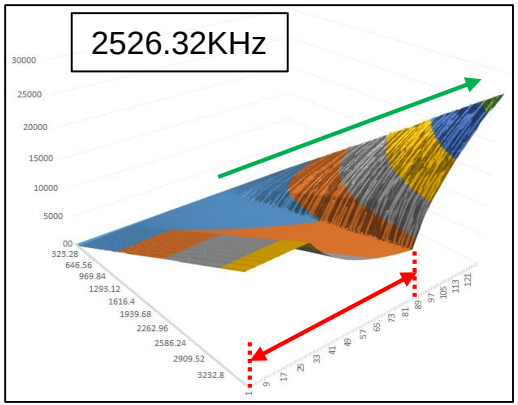
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: No Metal





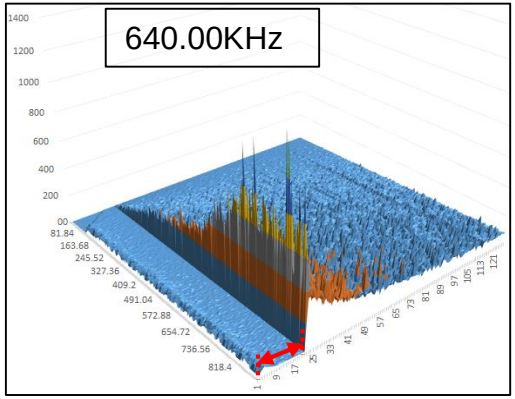


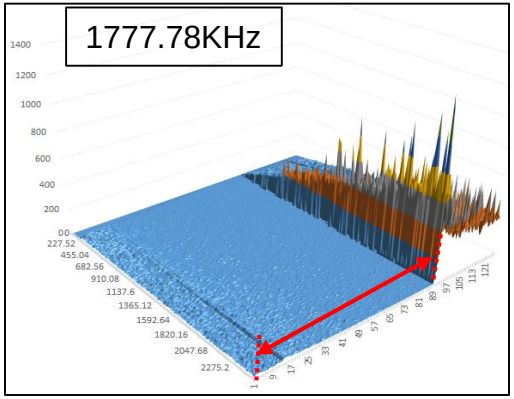


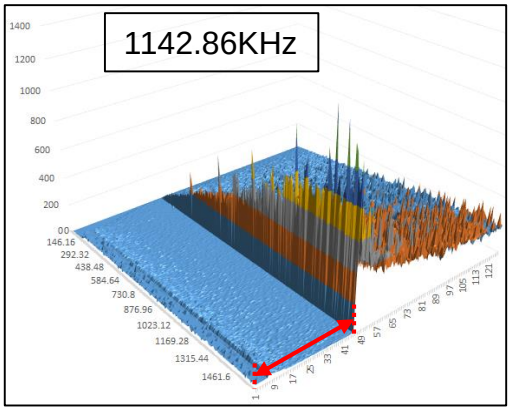
- Subconversionの設定値変化に対する測定値変化については、設定値の増加に伴い測定値が上昇しています。
- IDACの設定値変化に対する測定値変化については、設定値の増加に伴い測定値が短い期間上昇し、その後2次曲線的に減少し、ある値を境に再度上昇しています。測定値が再度上昇に転じるIDAC設定値は周波数に応じて増える傾向が見られますが、1777.78kHzで最大値となり、2526.32kHzでは若干下がっています。

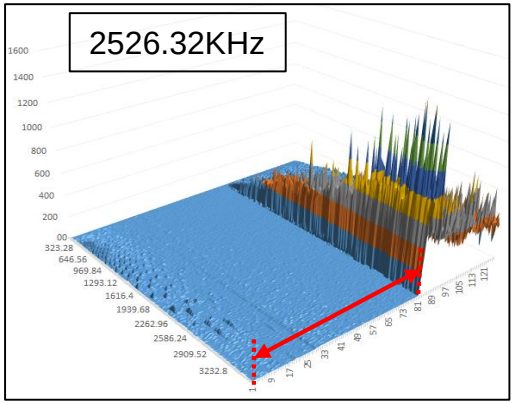
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: No Metal Noise





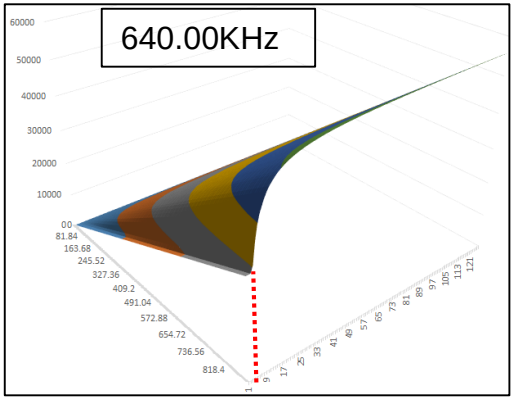


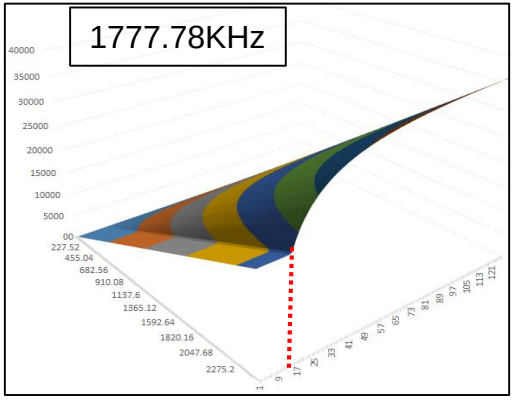


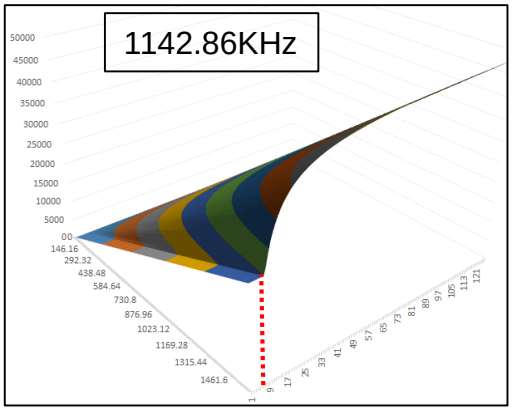
- Subconversionの設定値変化に対するノイズ値変化については、No Metalと同様に設定値の増加に伴いノイズ値が上昇しています。
- IDACの設定値変化に対する測定値変化については、No Metalが再度上昇する値で急上昇し、その後2次曲線的に減少しています。

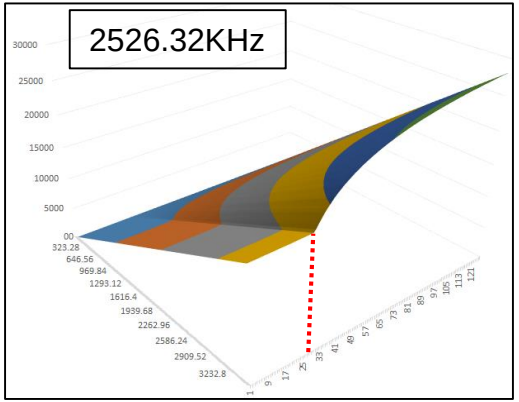
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: Metal





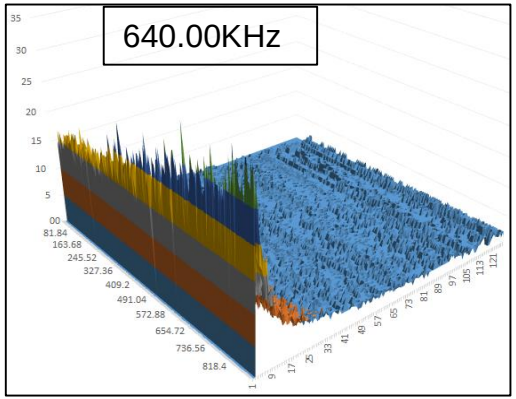


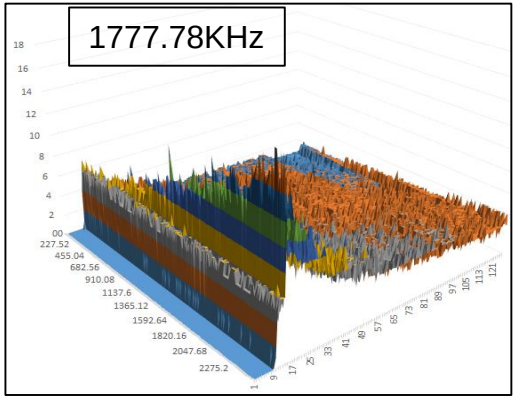


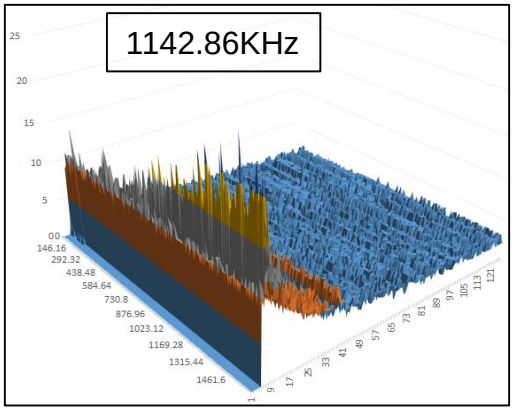
- Subconversionの設定値変化に対する測定値変化については、No Metalと同様に設定値の増加に伴い測定値が上昇しています。
- IDACの設定値変化に対する測定値変化については、No Metalとは若干異なり、一定の値が続いた後、ある値を境に上昇しています。測定値が上昇に転じるIDAC設定値は周波数に応じて増える傾向が見られます。

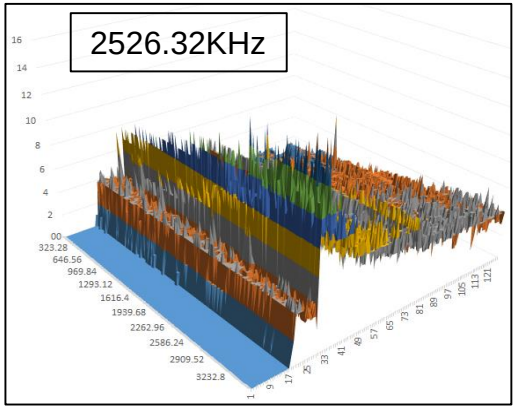
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: Metal Noise





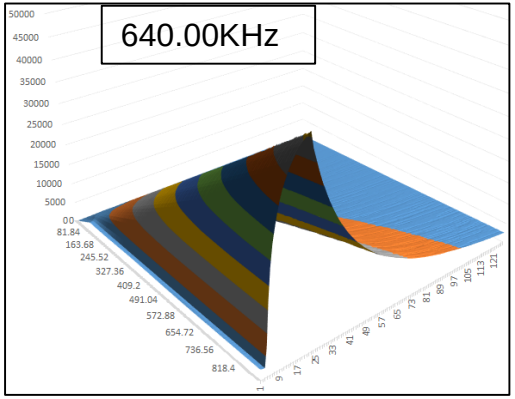


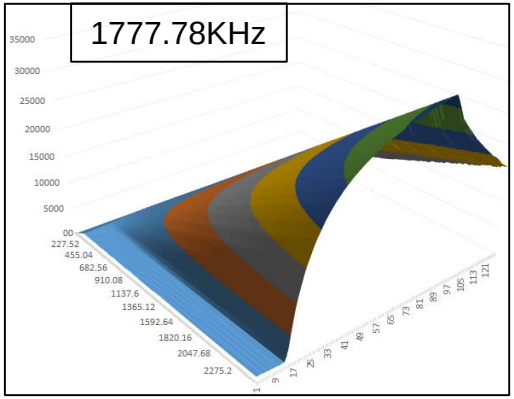


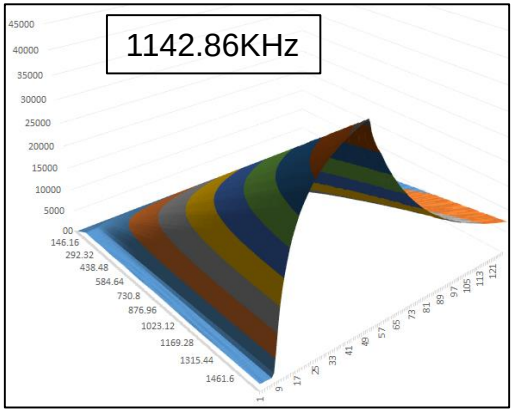
- Subconversionの設定値変化に対するノイズ値変化については、Metalと同様に設定値の増加に伴いノイズ値が上昇しています。
- IDACの設定値変化に対する測定値変化については、Metalが上昇する値の前から上昇を初め、Metalが上昇する値でピークに達し、その後2次曲線的に減少しています。

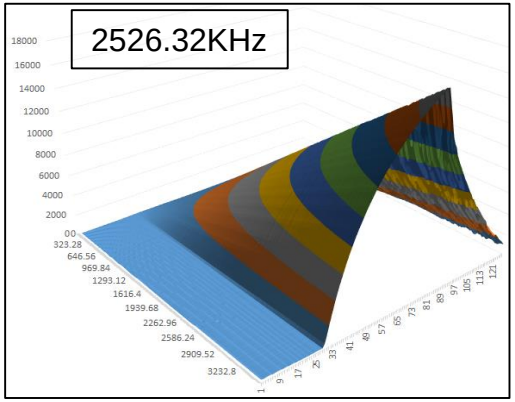
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: Diff





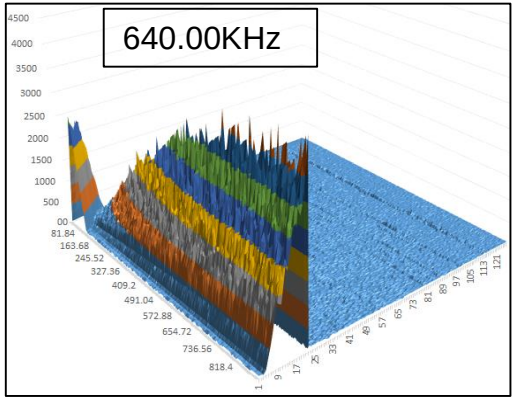


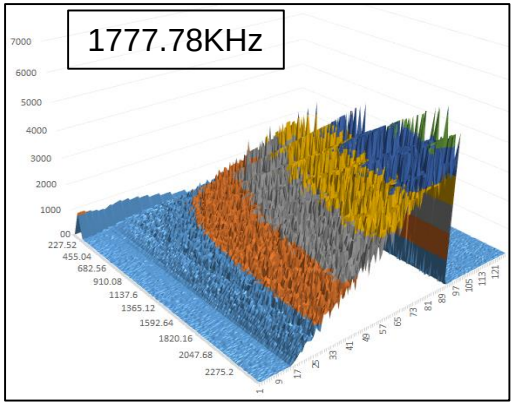


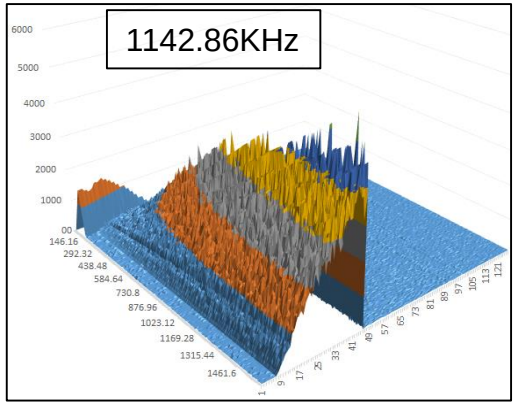
- Subconversionの設定値変化に対する測定値変化については、No Metalと同様に設定値の増加に伴い測定値が上昇しています。
- IDACの設定値変化に対する測定値変化については、Metalが上昇する値で上昇を初め、No Metalが再上昇する値でピークに達し、その後は下降しています。

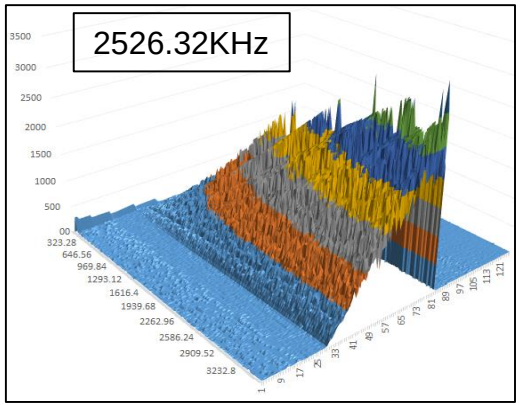
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: SNR







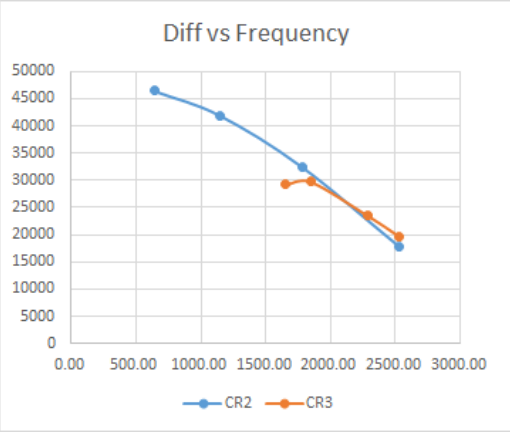


- Subconversionの設定値変化に対する測定値変化については、設定値の増加に伴い測定値が上昇していますが、Metalとは異なり、急上昇した後、穏やかな上昇となっています。
- IDACの設定値変化に対する測定値変化については、Metalが上昇する値で上昇を初め、No Metalが再上昇する値でピークに達し、その後は急下降しています。

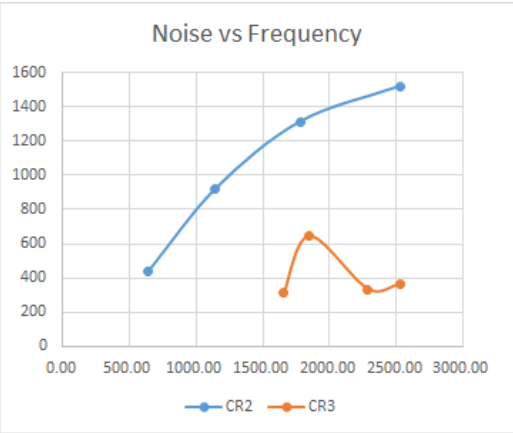
  従って、ピークとなるIDAC設定値は周波数に応じて増える傾向が見られますが、1777.78kHzで最大値となり、2526.32kHzでは若干下がっています。

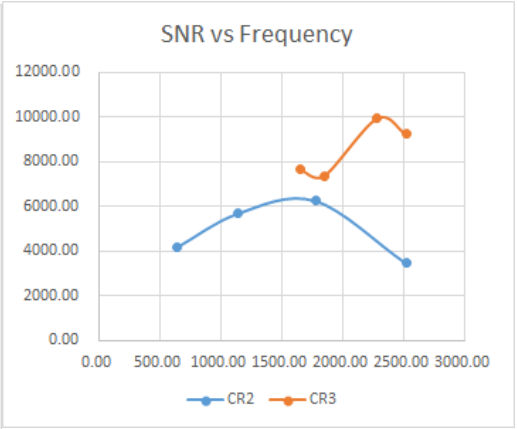
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定:測定結果(1/2)



- 各測定周波数におけるDiff, Noise, SNR値のグラフを左図に示します。
- CR2に関しては、Diff及びNoise単体で見ると周波数の増加に伴いDiffが下降し、Noiseが上昇することが分かります。
- 確認用に追加で測定を行ったCR3に関しては、DiffはCR2と同様ですが、Noiseに関しては周波数との関連性が見えません。

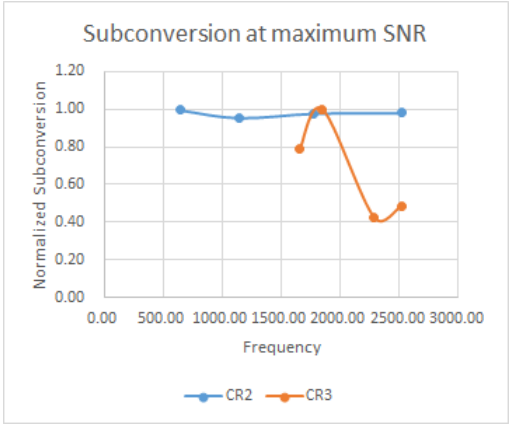


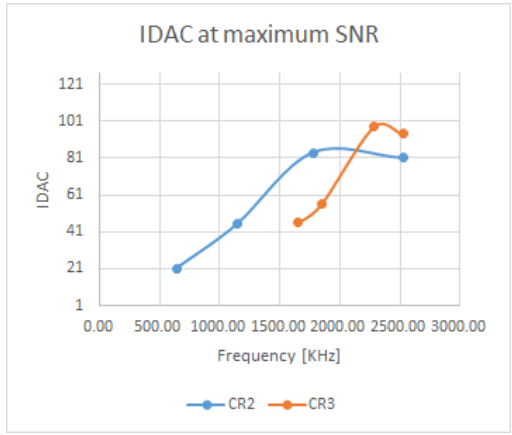


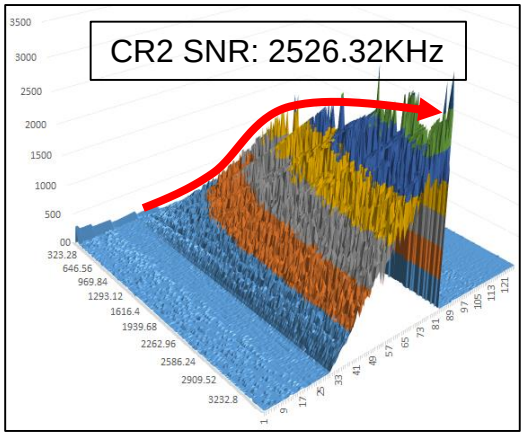
- Diff / Noiseで表されるSNRは、周波数の増加に伴い上昇し、ある点をピークに下降していることから、測定周波数における IDAC,Subconversion設定値がDiffが最大となる値とNoiseが最小となる値で異なることが分かります。

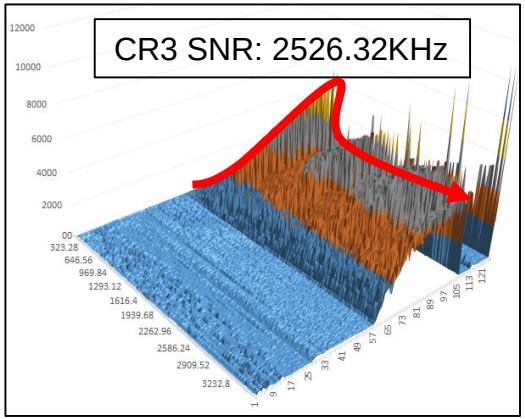
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定:測定結果(2/2)









- 各測定周波数においてSNRが最大となるSubconversion，IDACの設定値のグラフを左図に示します。
  Note :Subconversionのグラフについては周波数毎に最大値が異なるため、最大値で除算して正規化しています
- Subconversionについて、CR2では全周波数で最大値となっています。CR3では周波数との関連性が見えませんが、Subconversion値の増加に伴うSNRの上昇が早い段階でピークに達し、その後の変動は僅かです。
- IDACについてCR2,CR3共に周波数の増加に伴い上昇し、ある点をピークに減少しています。
- これらのデータを元にSubconversion，IDAC設定の最適化を検討します。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: Subconversion, IDAC設定方法検討(1/2)

- **Subconversion**
  Subconversionの設定値を決定するにあたって、SNRが最大となる事の他に測定期間(Total scan time = Refresh Rate)を考慮する必要があります。

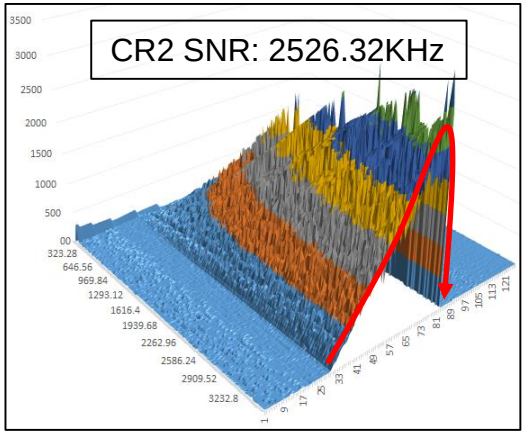
$$Total\ \ scan\ \ time = Subconversion \cdot \frac{1}{Lx\ \ clock\ \ frequency}$$

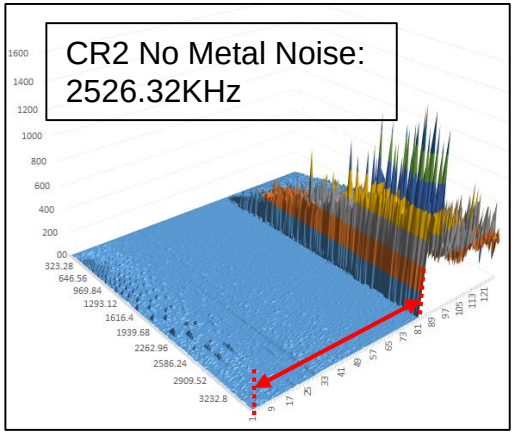
Lx clock frequency [kHz]	Number of subconversions	Total scan time [ms]
2562.32	3449.26	1.346147
1777.78	2427.26	1.365332
1142.86	1560.38	1.365329
640	873.81	1.365328

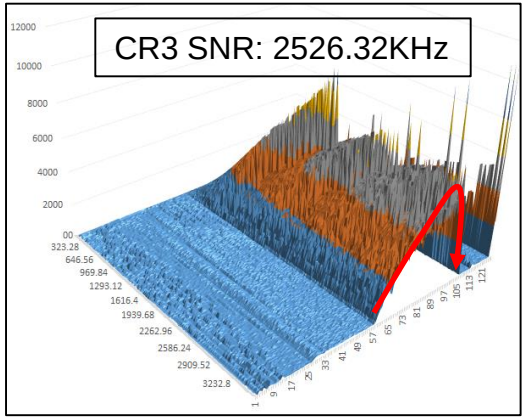
一般的に測定期間は60Hz以上(16.67ms以下) であれば、操作性に難を感じることは無いと言われています。Subconversionに設定可能な最大値を指定しても約1.37msですので問題は有りませんが消費電力を削減する場合、測定期間はなるべく短くし、測定終了後は次の測定開始までSleepすることが求められます。
一方SNRについてはSubconversionに設定可能な最大値の1/4までは急上昇していますが、その後は穏やかな変動となっていますので、設定可能な最大値の1/4を目安として消費電力を重要視する場合は減少方向、SNRを重視する場合は増加方向で調節する方法が考えられます。

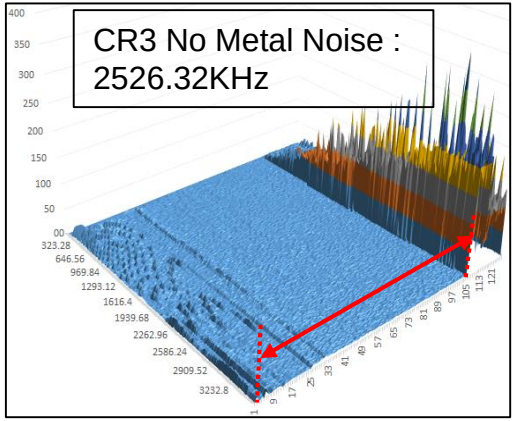
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定: Subconversion，IDAC設定方法検討(2/2)









› **IDAC**

IDACの設定値については、CR2,CR3共に全ての測定周波数においてIDACを1から増加させると、ある設定値でSNRが最大となった直後に急下降しています。
そして、その急下降する設定値はNo Metal Noiseが急上昇する値と一致します。
従ってIDACの設定値はSubconversion値を選定した後、IDACを1から増加させNo Metal Noiseが急上昇した値-1に設定する事でSNRを最大とすることができると考えられます。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

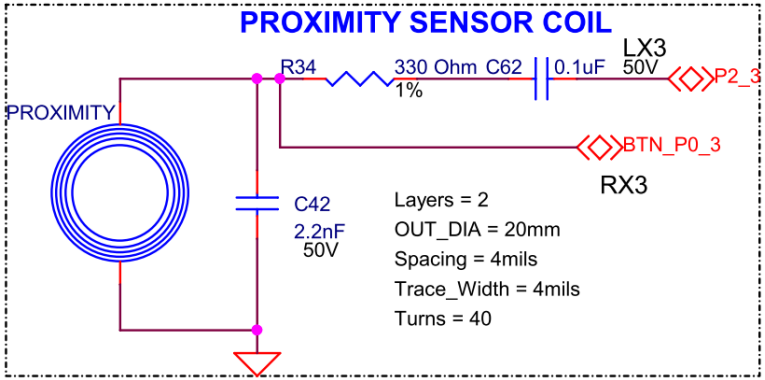
設定最適化手順の確認

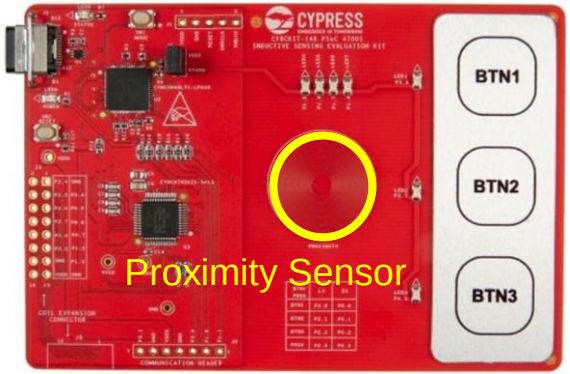
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

設定最適化

- これまでの調査結果を踏まえると、MagSenseコンポーネントの設定最適化手順は以下のようになります。
  - **コイル設計**
  - **コイル測定及びLx clock frequency選定**
  - **Subconversion, IDAC選定**
  - **SNR測定**

- この手順に沿ってCY8CKIT-148のProximity Sensorに対して最適化を行い有効性を確認します。





Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

コイル設計

› コイル設計については、CY8CKIT-148のProximity Sensorを使用するため「Sensor Design Spreadsheet」による計算のみ行います。

Input Parameters

Use Case	Coil Shape	No. Turns	Turn space	Turn Width	Outer Diameter	Target distance	Copper Thickness	PCB Thickness Layers 1-2	PCB Thickness Layers 2-3	PCB Thickness Layers 3-4	# Layers (1-4)	Freq (f_0)
	#	#	s (µm)	w (µm)	dout (µm)	mm	t (µm)	T12 (mm)	T23 (mm)	T34 (mm)	#	Hz
CY8CKIT-148	Circle	40	101.6	101.6	20000	0.00	35	0.762	0.762	0.203	2	1.50E+06

Output Parameters

Inductance	Ideal Tank Capacitance	Rdc	Skin Depth	Rs AC	Din/Dout	Q	Rp
µH	pF	Ohm	mm	Ohm	#	#	Ohm
54.769	205.55	14.50	0.0533	19.777	0.197	26.10	13472

OUTPUT PARAMETERS

Calculated resonant capacitor	0.21	nF
Resona	0.22	nF
Actual Resonant Frequency (f0)	1450	kHz
Resonant resistance [Rp]	13473	Ω
TX resistance [R_{IX}]	11227	Ω
Coupling Capacitor (C_C)	10	pF

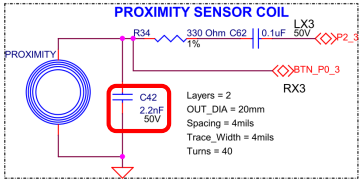
Note : コイル設計の詳細に関しては「AN219207 Inductive Sensing Design Guide」の「Appendix A. Sensor Design」を参照してください。
「Appendix A. Sensor Design」に記載されているコイル設計時の制限・推奨事項を以下に転載します。

Items	Min	Max	Section	Note
Resonant Frequency(fr)	45KHz	3MHz	A.1 Sensor Resonant Frequency (f0)	MagSenseがサポートするLx clock frequencyの設定範囲です。
Capacitance Range (C)	100pf	0.47uf	A.1.1 Capacitance Range	下限に関してはコイルの寄生容量の影響を受けないように設定されており、 上限に関しては温度補償型(C0G, CH)の入手性から設定されています
Inductance Range (L)	1uH	10000uH	A.1.2 Inductance Range	MagSenseがサポートするコイルのインダクタンスの範囲です。
Rp Range	350 ohm	50000 ohm	A.2.4 Rp and Rs Range	MagSenseがサポートする並列共振回路の交流抵抗値の範囲です。
Din/Dout	0.3	---	A.8.1 Tank Considerations	コイルの内径/外形の推奨比率です。
Via	---	15mil	A.8.1 Tank Considerations	Via(基板パターンの層間の導通を目的とした穴)の直径です。
Q	5	50		コイルのQの推奨範囲です。
Metal traces	Dout/2	---	A.8.1 Tank Considerations	コイルと近接検知用メタル以外の金属(例：GND)の間隔です。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

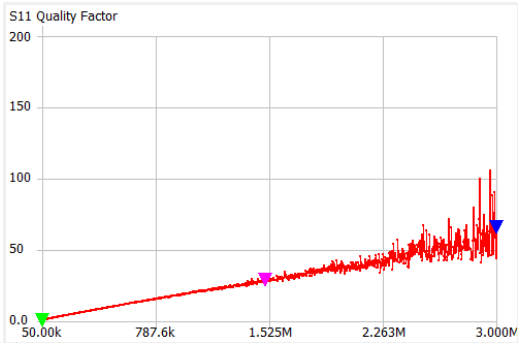
コイル測定及びLx clock frequency選定(1/2)

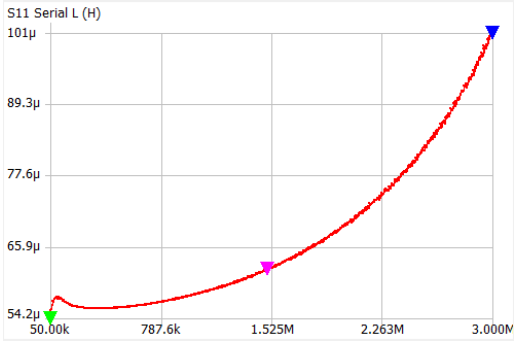
- VNAを使用してコイルのインダクタンス及びQを測定します。
  - C42のキャパシタを取り外して、その部分にVNAを接続して測定します。





- 測定したインダクタンス及びQよりLx clock frequencyを選定します。
  - Qの値を見ると周波数に比例して上昇しており2300kHz付近で50を超えているため、45KHz～2300kHzの間の周波数を候補とします。
  - 2300kHzのインダクタンスは74.9uHであるため、共振周波数を2300kHzにするには63.9pFのキャパシタが必要となり、キャパシタンスの下限(100pF)を下回ります。
  - 100pFを使用した場合の共振周波数は約1900kHzとなりますが、1900kHz付近でLx clock frequencyに設定可能な周波数は約80kHz単位であるため、マージンを取って1500kHzをLx clock frequencyに選定します。





Divisions	Lx clock frequency [kHz]	Divisions	Lx clock frequency [kHz]
23	2086.96	30	1600.00
24	2000.00	31	1548.39
25	1920.00	32	1500.00
26	1846.15	33	1454.55
27	1777.78	34	1411.76

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

コイル測定及びLx clock frequency選定(2/2)

- コイルとキャパシタを接続し共振周波数を測定します。
  - 1500kHzにおけるコイルのインダクタンスは62.3uHとなるため180pFのキャパシタを接続して共振周波数を測定します。
    Note :Appendix「Lx clock frequency選定ツール」参照
- 共振周波数におけるコイルのインダクタンスとキャパシタのキャパシタンスを測定します。
  - 共振周波数におけるコイルのインダクタンスと交流抵抗値(Rs), キャパシタのキャパシタンスを測定します。
- Tuning Calculatorを使用してR_{LX}を計算します。
  - 測定した共振周波数, インダクタンス, Rsを入力してR_{LX}を計算します。

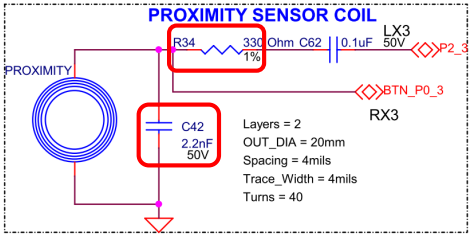
Inductance [uH]	Measured value Capacitance [pF]	Nominal value Capacitance [pF]	Resonant Frequency [kHz]	Lx clock Frequency [kHz]	Measured value Error [%]	Nominal value Error [%]	Tuning Calculator Rlx [ohm]	Adjust Rlx [ohm] (*1)
62.285	186.02	180	1498.56	1500.00	0.10	-0.21	14174.03	11000 (V_{AMP}=1.8V) 5100 (V_{AMP}=2.5V) 3000 (V_{AMP}=3.3V)

(*1) 「V_{AMP}の違いによる測定データへの影響」参照

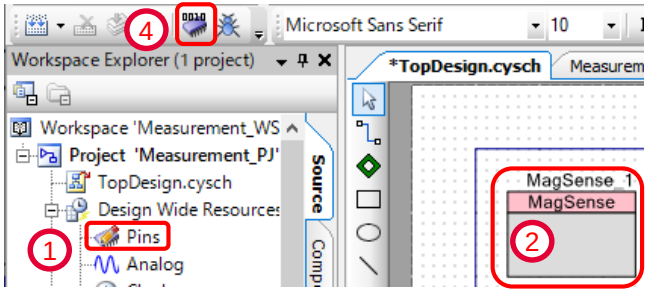
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

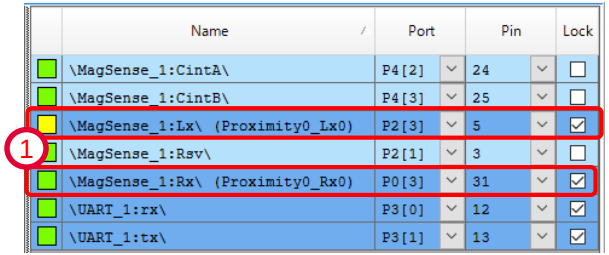
Subconversion, IDAC選定 (1/4)

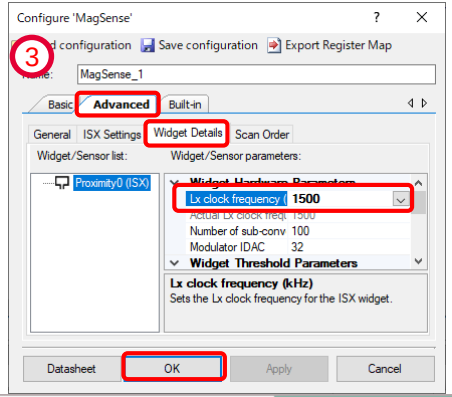
- キャパシタの実装とR_{LX}を変更します。
  - C42に180pFのキャパシタを実装します。
  - R34をTuning Calculatorで計算した14kΩの抵抗に取り替えます。



- 「MagSenseによる測定」で作成したプロジェクトのPin設定をLx (P2[3])とRx (P0[3])に変更し、Lx clock frequencyを1500kHzに設定します。
  1. PSoC CreatorでPinsをダブルクリックしてLx をP2[3]に、Rx をP0[3]に変更しProximity Sensorに接続します。
  2. MagSenseコンポーネントをダブルクリックしてConfigureダイアログを開きます。
  3. Advancedタブを選択し、Advanced内のWidget Detailsタブを選択し、Lx clock frequency(kHz)に1500を設定して、OKをクリックします。
  4. プロジェクトをビルドしてCY8CKIT-148に書き込みます。







Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Subconversion, IDAC選定 (2/4)

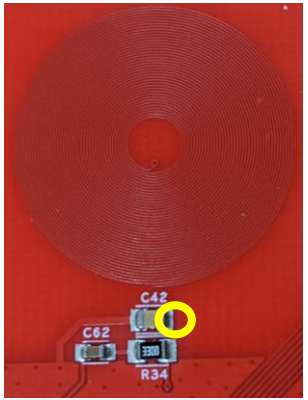
- PC上でシリアルターミナルソフトウェアを起動し下記の設定で接続します。

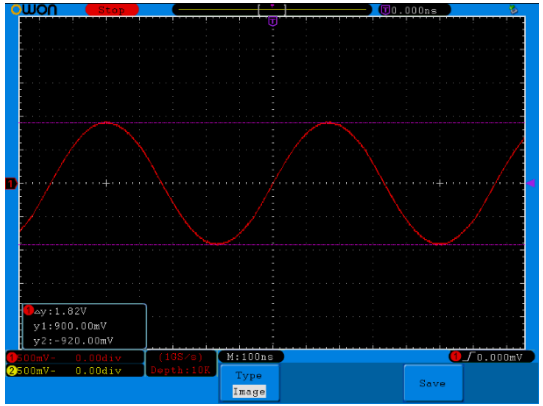
  Note : COM Port番号は環境により異なります

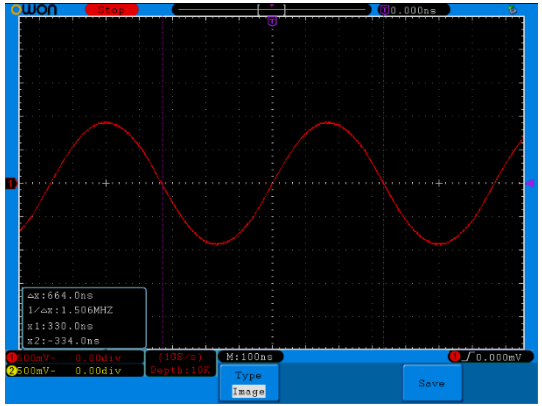
Parameter Name	Value
COM Port	KitProg3 USB-UART(COMx)
Baud rate	115200
Data bits	8 bits
Parity	None
Stop bits	1
Flow control	None

- オシロスコープをC42のRx側に接続してV_{P-P}が1.8VとなるようにR_{LX}を調整します。

  Note : Lx clock frequency選定の表に調整後のR_{LX}を記載しています(Adjust Rlx)







Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Subconversion, IDAC選定 (3/4)

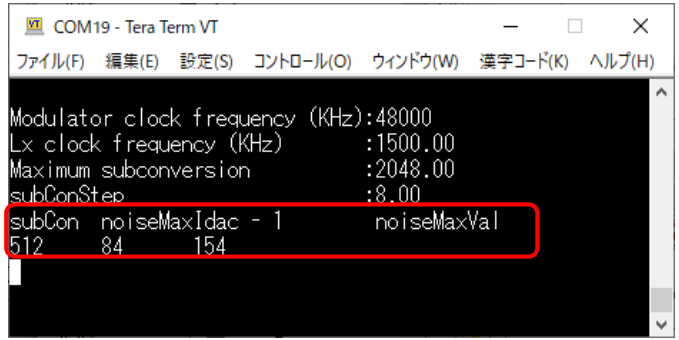
› データ測定時に作成したプロジェクトのmain.cを下記の内容に修正し、ビルドして書き込みます。

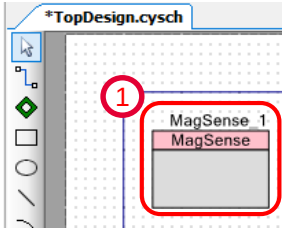
```
#include "project.h"

#define  SUBCON_COUNT   256
#define  DATA_COUNT     1024

int main(void){
float       subCon, subConMax, subConStep;
uint32_t    idac;
uint32_t    subConCnt;
uint32_t    modClkFreq;
float       lxClockFreq;
uint32_t    dataCount;
uint32_t    rawDataSum;
uint16_t    rawData, rawDataMax, rawDataMin;
uint16_t    noise, noisePrev, noiseMaxVal, noiseMaxIdac;

    CyGlobalIntEnable; /* Enable global interrupts. */
    MagSense_1_Start(); /* Initialize Component */
    CyDelay(100);
    // hwClock: 48MHz -> 48000 / 8 = 6000
    modClkFreq = (MagSense_1_dsRam.hwClock * 8) / MagSense_1_dsRam.modIsxClk;
    lxClockFreq = (float)modClkFreq
/(float)MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.snsClk;
    subConMax  = (65536.0 * lxClockFreq) / (float)modClkFreq;
    subConStep = (subConMax - 1.0) / (float)SUBCON_COUNT;
    UART_1_Start();
    CyDelay(10);
    printf("¥n");
    printf("Modulator clock frequency (KHz):%d¥n", modClkFreq);
    printf("Lx clock frequency (KHz)       :%.2f¥n", lxClockFreq );
    printf("Maximum subconversion          :%.2f¥n", subConMax);
    subConCnt = SUBCON_COUNT/4;
    subCon = 1.0 + (float)subConCnt * subConStep;
    MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.resolution = (uint16_t)subCon;
    noise = noiseMaxVal = 0;
    noiseMaxIdac = 1;
    for( idac = 16; idac < 128; idac ++){
        MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.idacMod[0] = idac;
        MagSense_1_SetupWidget(MagSense_1_PROXIMITY0_WDGT_ID);
        //RAW data read
        rawDataSum = 0;
        rawDataMax = 0;
        rawDataMin = 0xffff;
        for(dataCount = 0; dataCount < DATA_COUNT; dataCount ++){
            MagSense_1_ScanAllWidgets(); /* Scan all widgets */
            while(MagSense_1_NOT_BUSY != MagSense_1_IsBusy()){}
            MagSense_1_ProcessAllWidgets(); /* Process all widgets */
            rawData = MagSense_1_dsRam.snsList.proximity0[0].raw[0];
            rawDataSum += (uint32_t)rawData;
            if(rawDataMax < rawData) rawDataMax = rawData;
            if(rawDataMin > rawData) rawDataMin = rawData;
        }
        noisePrev = noise;
        noise = rawDataMax - rawDataMin;
        if((noise - noisePrev) > noiseMaxVal){
            noiseMaxVal = noise - noisePrev;
            noiseMaxIdac = idac;
        }
    }
    printf("subCon¥tnoiseMaxIdac - 1¥tnoiseMaxVal¥n");
    printf("%d¥t%d¥t%d¥n", (uint32_t)subCon, noiseMaxIdac-1, noiseMaxVal);
    while(1){}
}
```

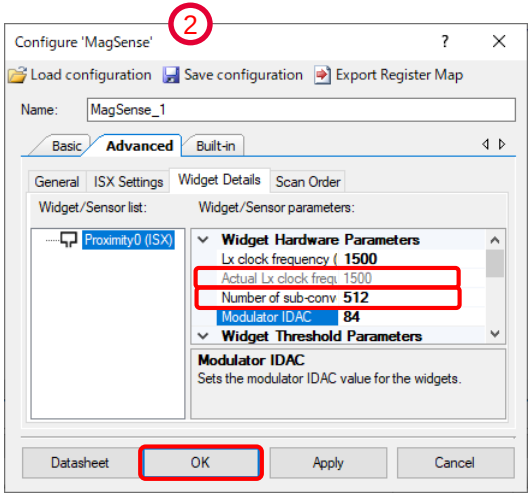
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Subconversion, IDAC選定 (4/4)

- コイルにメタルを近接させない状態でプロジェクトを実行すると数分後にシリアルターミナルソフトウェアに下記のような結果が表示されます。
- Subconversionに設定可能な最大値の1/4となる512を設定した際にノイズ(No Metal Noise)が急上昇したIDAC値-1 は84となっています。
- このSubconversion値:512とIDAC値:84をプロジェクトに設定します。
  1. MagSenseコンポーネントをダブルクリックしてConfigureダイアログを開きます。
  2. Advancedタブを選択し、Advanced内のWidget Detailsタブを選択し、Number of subconversionに512を、IDACに84を設定して、OKをクリックします。







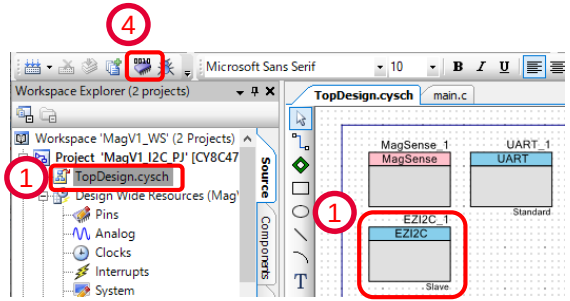
Note : Subconversion値を調整する(例:1024) 場合はmain.cを下記のように変更し、プロジェクトを再実行します。

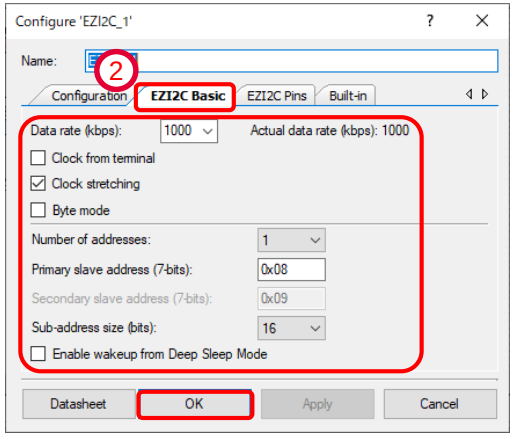
```
subCon = 1024.0;
MagSense_1_dsRam.wdgtList.proximity0.resolution = (uint16_t)subCon;
```

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

SNR測定:Sense Tuner (1/4)

- PSoC CreatorのSense Tunerを使用してSNRの測定を行います。
- Sense Tunerはターゲットハードウェア(CY8CKIT-148)とI2Cで通信を行いますのでプロジェクトの変更を行います。
  1. PSoC CreatorでTopDesign.cyschをダブルクリックして回路図を表示し、EZI2Cコンポーネントを配置します。
  2. EZI2Cコンポーネントをダブルクリックしてconfigureダイアログを表示し、EZI2C Basicタブを選択します。Data rate(kbps):1000, Number of address:1, Primary slave address (7bits):0x08, Sub-address size(bits):16に設定してOKをクリックします。
  3. main.cを下記の内容に修正します。
  4. ビルドして書き込みます。





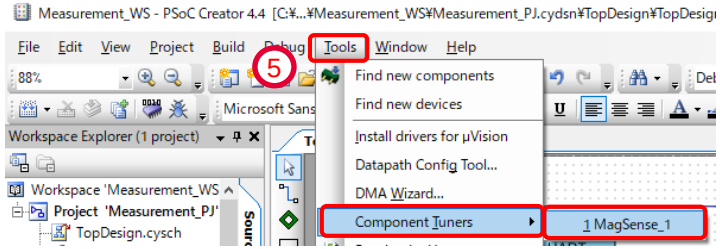
3

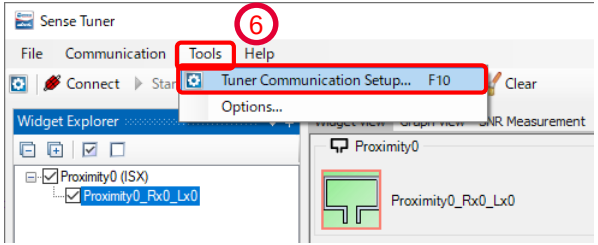
```
#include "project.h"

int main(){
    CyGlobalIntEnable; /* Enable global interrupts */

    EZI2C_1_Start(); /* Start EZI2C Component */
    EZI2C_1_EzI2CSetBuffer1(sizeof(MagSense_1_dsRam)
                            , sizeof(MagSense_1_dsRam)
                            , (uint8 *)&MagSense_1_dsRam);

    MagSense_1_Start(); /* Initialize Component */
    MagSense_1_ScanAllWidgets();

    for(;;){
        MagSense_1_ScanAllWidgets();
        while( MagSense_1_NOT_BUSY != MagSense_1_IsBusy() ){}
        MagSense_1_ProcessAllWidgets();
        MagSense_1_RunTuner();
    }
}
```

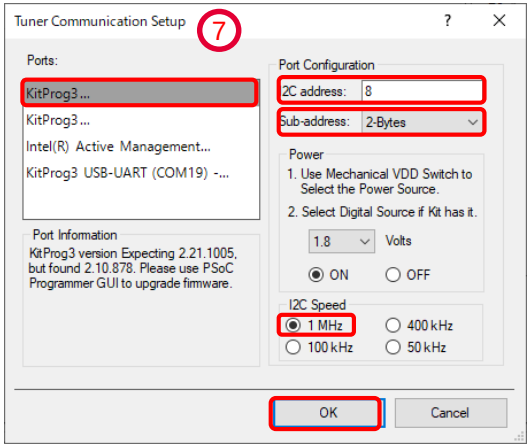
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

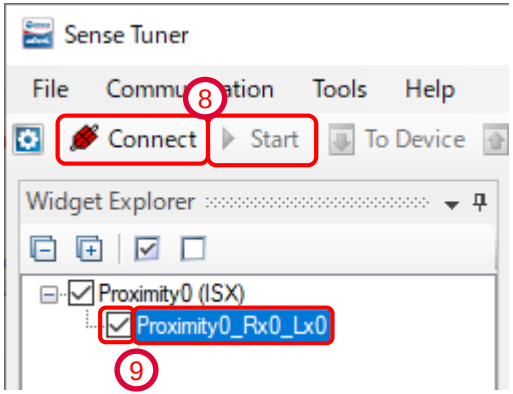
SNR測定:Sense Tuner (2/4)

5. PSoC CreatorでTools → Component Tuners → MagSense_1を選択しSense Tunerを起動します。
6. Sense Tuner初回起動時の場合、Tools → Tuner Communication Setupを選択しSetupダイアログを表示します。
7. Ports内に表示されているKitProg3の内I2Cの項目を選択し、I2C address:8, Sub-address:2-Bytes, I2C Speed:1MHzを設定してOKをクリックします。
8. Sense TunerのConnectをクリックして接続し、Startをクリックします。
9. Widget ExplorerのProximity0_Rx0_Lx0のチェックボックスをチェックし、Proximity0_Rx0_Lx0のラベルをクリックして青地に白文字となるように選択します。





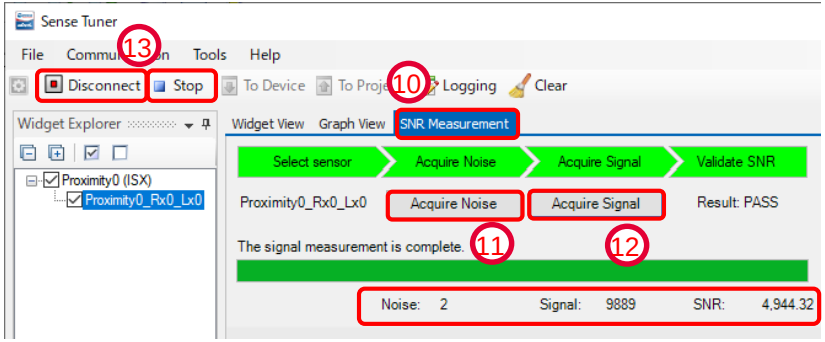


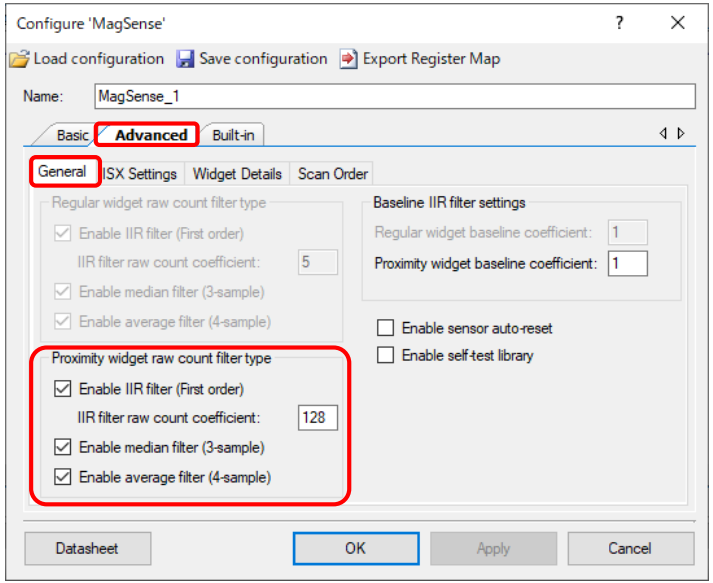


Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

SNR測定:Sense Tuner (3/4)

10. SNR Measurementタブを選択します。
11. コイル近辺からメタルを離した状態でAcquire Noiseをクリックするとノイズの測定が実行されます。
12. コイルにメタルを接近させた状態でAcquire Signalをクリックするとシグナル(Diff)の測定が実行され、SNR(Signal/Noise)が算出されます。
13. Stop,Disconnectの順にクリックした後SenseTunerを終了します。
14. 設定最適化手順に沿ってSubconversion値を2000に設定した測定データとMagSenseコンポーネントのConfigureダイアログで設定可能なIIRフィルタをEnableにした測定データを取得します。





Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

SNR測定:Sense Tuner (4/4)

› 設定最適化手順に沿って測定したデータと比較対象用にCY8CKIT-148用のCode Example(CE222867) の設定で測定したデータを以下に示します。

No.	Lx clock frequency	Subconversion	IDAC	IIR	Noise	Signal	SNR
1	1500	512	84	Disable	2	9889	4944.32
2	1500	**2000**	84	Disable	8	39323	4915.37
3	1500	2000	84	**Enable**	3	39323	13107.78
4	461.54 (*1)	500	Auto-calibration	Enable	11	14618	1328.92
5	461.54	500	**28**	Enable	6	43450	7241.71

(*1) Auto-calibration により400 → 461.54に修正された値

› 設定最適化手順に沿って測定したデータNo.1に対し、No.2はSubconversion値を2000に設定して測定したデータとなります。
› Subconversion値を増加させたことによりSignal(Diff)は上昇していますが、同時にNoiseも上昇しており、SNRはほぼ変わらない値となっています。
› No.2に対しIIRフィルタをEnableに設定したNo.3はNoiseが減少したことによりSNRが上昇しています。
› Code Example(CE222867) の設定で測定したNo.4に対し、設定最適化手順でIDAC値を28に変更して測定したNo.5のSNRは大幅に改善されています。

› No.1～3何れの測定結果もCode ExampleのSNRを上回っている事、及びNo. 4に対しNo.5のSNRが改善されている事から設定最適化手順は有効であると判断します。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

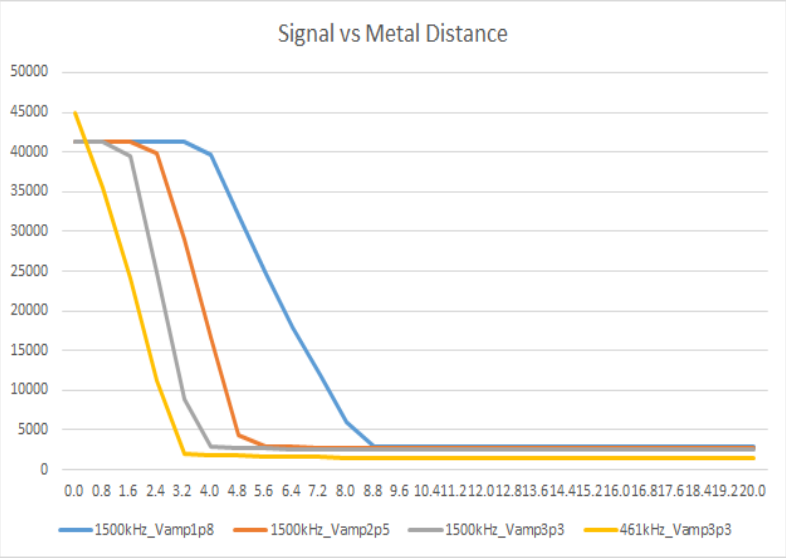
SNR測定:Sense Tuner (補足)

› CR2,CR3,CR5,SQ8について設定最適化手順に沿って測定したデータを以下に示します。

	Inductance [uH]	Measured value Capacitance [pF]	Nominal value Capacitance [pF]	Resonant Frequency [kHz]	Lx clock Frequency [kHz]	Measured value Error [%]	Nominal value Error [%]	Tuning Calculator Rlx [ohm]	Adjust Rlx [ohm]	Subconversion	IDAC	IIR	Noise	Signal	SNR
CR2	22.577	336.02	330	1844.47	1846.15	0.09	0.12	8278	4700	2000	94	Enable	4	26413	3033.49
CR3	2.904	1572.90	1500	2441.68	2400.00	-1.74	-0.49	699	1000	3000	81	Enable	6	18201	6603.35
CR5	114.120	342.78	330	813.15	813.56	0.05	-0.81	18128	12000	1000	48	Enable	6	43232	7205.37
SQ8	66.640	203.37	200	1383.40	1371.43	-0.87	-0.52	19433	10000	1500	78	Enable	6	31567	5251.11

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

V_{AMP}の違いによる測定データへの影響



Note：V_{AMP}を1.8V以外に設定する場合であってもIDAC選定の際は1.8Vで測定を行います。

- 最適化の検討に際してメタルの有無で測定を行ってきましたが、近接センサーとしての性能を確認するためにデータ測定を行います。
- Proximity Sensorに対しメタルを20.0mmの距離から0.8mm単位で0.0mmまで近づけて測定したグラフを左図に示します。
- Lx clock frequencyが461.54kHzのデータが0.0mmから3.2mmまで直線的に変化しているのに対し、1500kHzのデータは0.0mmから一定の距離まではデータの変化が殆ど無く、またV_{AMP}の振幅が小さい程変化が無い距離が長くなる傾向が見られます。
- Lx clock frequency及びV_{AMP}を調整する事によりMetal Over Touch（MoT）の調整が可能になると推測されます。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

まとめ

- Lx clock frequencyはコイルとキャパシタによる共振回路のメタルが無い状態での共振周波数とする必要があります。
- コイルのインダクタンスやキャパシタのキャパシタンスは周波数により変動するため共振周波数は測定により求める必要があります。
- Lx clock frequencyは45kHz～3MHzの範囲でmodulator clock frequencyの整数分の1に限定されるため高周波数領域では分解能が低くなります。
- コイルのQは45kHz～3MHzの範囲では周波数が高い方が上昇する傾向があり、Qが高い方が検出精度を上げることが期待できます。
- Subconversion値は設定可能な値の1/4を基準に測定時間(消費電力)により増減させます。
- IDAC値は1から上昇させて測定し、ノイズが急上昇した際のIDAC値-1に設定すると良好なSNRを得ることができます。
- VAMPの振幅は近接センシング時の測定データに影響を与えます。

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Appendix

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

Lx clock frequency選定ツール

› Lx clock frequency選定ツールにコイルのインダクタンスを入力する事で、周波数帯別に共振周波数との差が最も小さくなるLx clock frequencyとキャパシタのキャパシタンスを計算する事ができます。例として1500kHz付近の周波数を選定する事を想定してツールの使用方法を説明します。

1. コイルのインダクタンスは周波数により変化するため、先ず1500kHzのインダクタンス(63.594uH)を測定しツールに入力します。
2. Frequency range:1200-1500に表示されたLx clock frequency:1142.86kHzでインダクタンスを再測定します(62.895uH)
3. 62.895uHをツールに入力します。
4. Frequency range:1200-1500に表示されたLx clock frequency:1411.76kHzでインダクタンスを再測定します(62.845uH)
5. 82.845をツールに入力します。
6. Frequency range:1200-1500に表示されたLx clock frequency:1411.76kHzは4.と変わらないため、200pFのキャパシタとの組み合わせで共振周波数が1419.61kHzとなり誤差が-0.56%と見積もることができます。
7. コイルとキャパシタで共振回路を構成し、VNAで共振周波数を測定して誤差を算出します。

Enter coil Inductance [L] ① 63.594 µH

Frequency range [kHz]	Resonant frequency [kHz]	Lx clock frequency [kHz]	Capacitor [pF]	Error [%]
45-300	101.06	101.05	39000	-0.01
300-600	384.09	384.00	2700	-0.02
600-900	843.37	842.11	560	-0.15
900-1200	962.45	960.00	430	-0.26
② 1200-1500	1152.26	1142.86	300	-0.82
1500-1800	1629.55	1600.00	150	-1.85
1800-2100	1821.89	1777.78	120	-2.48
2100-2400	2092.14	2086.96	91	-0.25
2400-2700	2666.97	2666.67	56	-0.01
2700-3000	3043.53	3000.00	43	-1.45

Enter coil Inductance [L] ③ 62.895 µH

Frequency range [kHz]	Resonant frequency [kHz]	Lx clock frequency [kHz]	Capacitor [pF]	Error [%]
45-300	96.78	96.77	43000	0.00
300-600	292.73	292.68	4700	-0.02
600-900	579.32	578.31	1200	-0.17
900-1200	925.68	923.08	470	-0.28
④ 1200-1500	1419.05	1411.76	200	-0.52
1500-1800	1638.58	1600.00	150	-2.41
1800-2100	2006.84	2000.00	100	-0.34
2100-2400	2103.74	2086.96	91	-0.80
2400-2700	2681.75	2666.67	56	-0.57
2700-3000	3060.40	3000.00	43	-2.01

Enter coil Inductance [L] ⑤ 62.845 µH

Frequency range [kHz]	Resonant frequency [kHz]	Lx clock frequency [kHz]	Capacitor [pF]	Error [%]
45-300	51.84	51.84	150000	0.00
300-600	366.54	366.41	3000	-0.04
600-900	579.55	578.31	1200	-0.21
900-1200	889.00	888.89	510	-0.01
⑥ 1200-1500	1419.61	1411.76	200	-0.56
1500-1800	1639.23	1600.00	150	-2.45
1800-2100	2007.64	2000.00	100	-0.38
2100-2400	2104.57	2086.96	91	-0.84
2400-2700	2682.82	2666.67	56	-0.61
2700-3000	3061.61	3000.00	43	-2.05

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

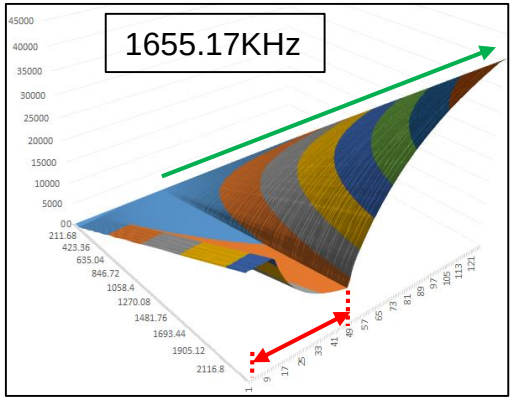
データ測定(CR3): Lx clock frequencyの選定

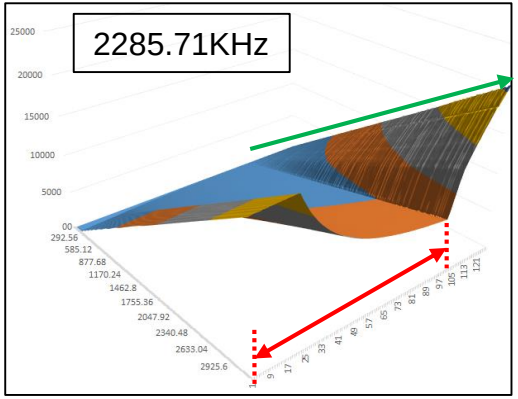
› 追加で測定したCR3について、VNAで共振周波数、インダクタンス、キャパシタンスを測定した結果とTuning Calculatorで計算したR_{LX}を以下に示します。

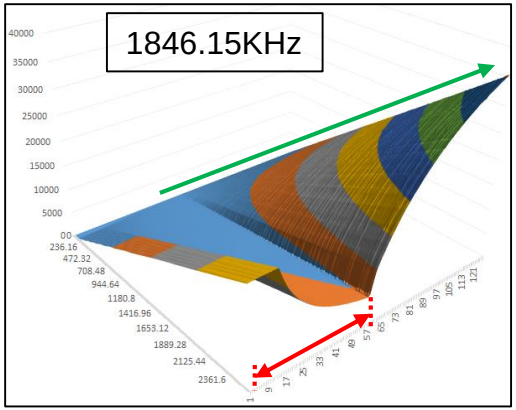
Inductance [uH]	Measured value Capacitance [pF]	Nominal value Capacitance [pF]	Resonant Frequency [kHz]	Lx clock Frequency [kHz]	Measured value Error [%]	Nominal value Error [%]	Tuning Calculator Rlx [ohm]	Adjust Rlx [ohm]
2.92	3068.41	3000.00	1680.02	1655.17	-1.50	-2.65	578.602368	120
2.91	2414.76	2400.00	1899.43	1846.15	-2.89	-3.20	640.926302	330
2.87	1784.16	1800.00	2222.67	2285.71	2.76	3.19	786.244643	430
2.86	1371.28	1300.00	2543.41	2526.32	-0.68	-3.40	867.141289	620

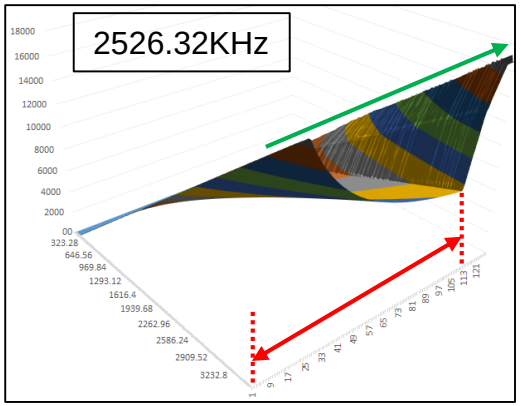
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定(CR3): No Metal



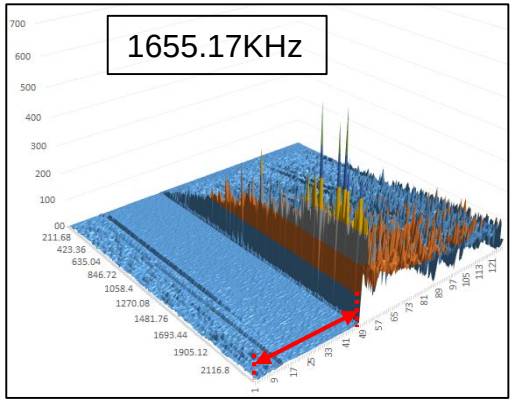


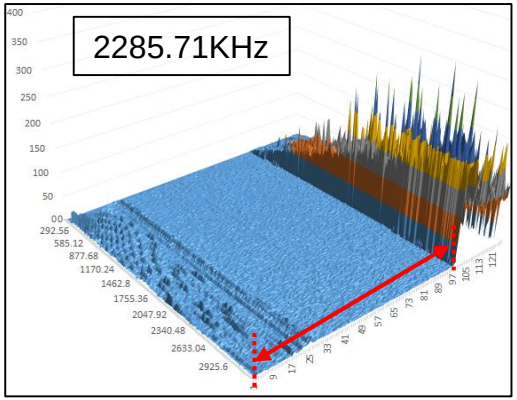


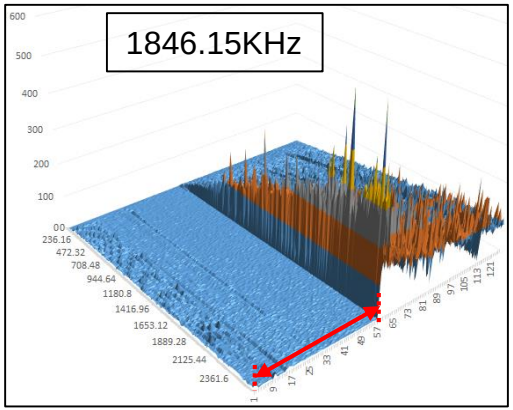


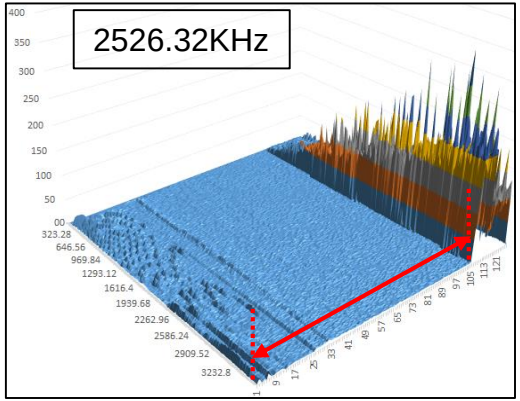
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定(CR3): No Metal Noise



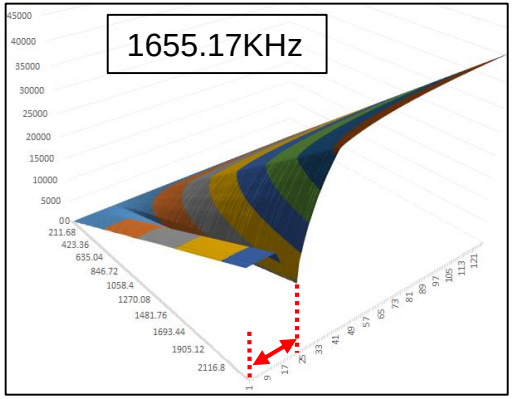


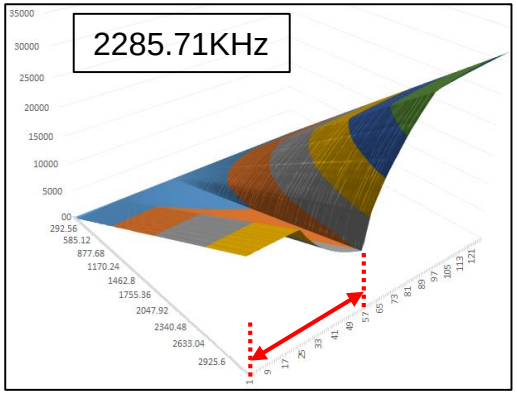


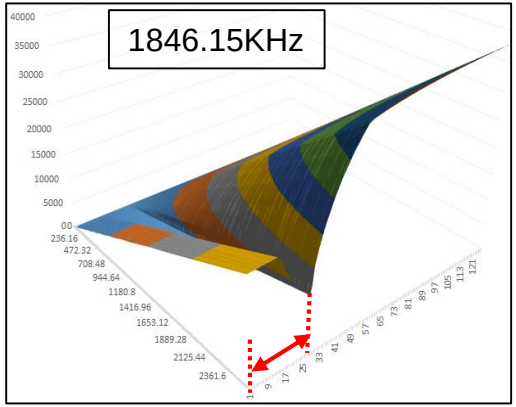


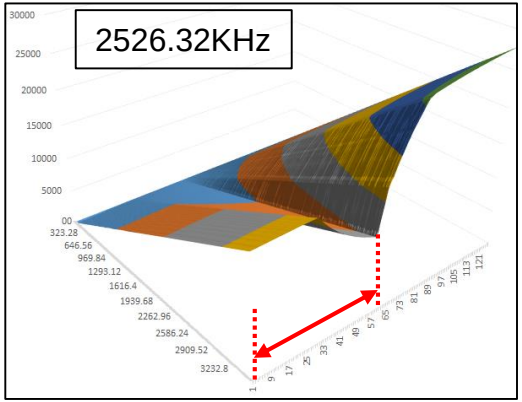
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定(CR3): Metal



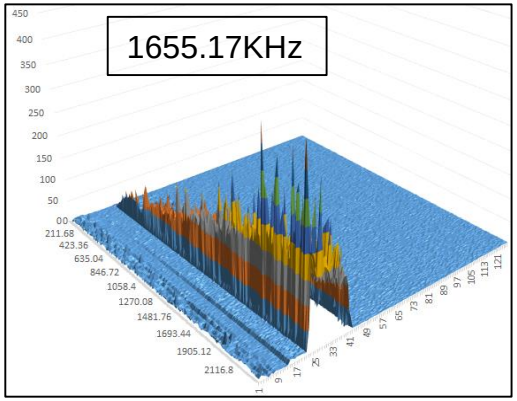


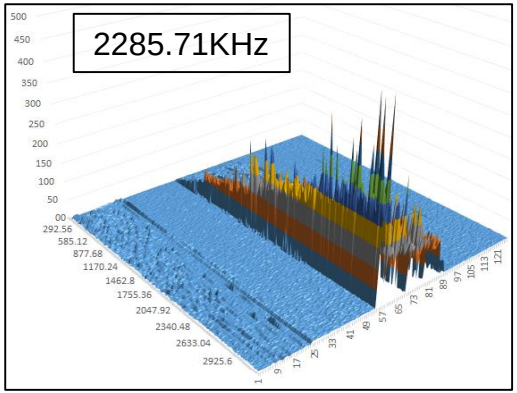


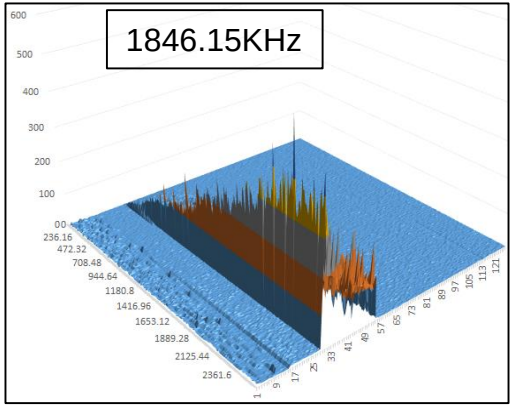


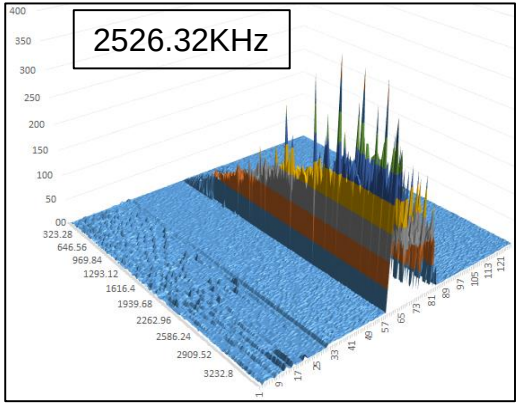
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定(CR3): Metal Noise



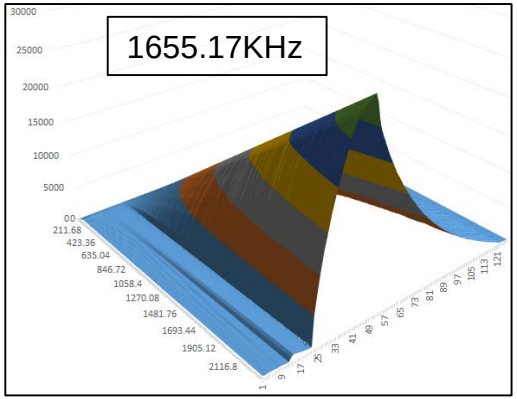


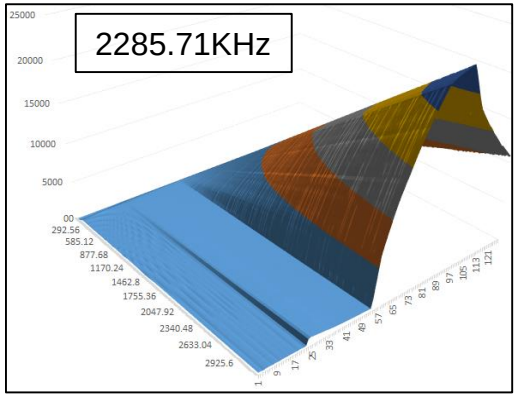


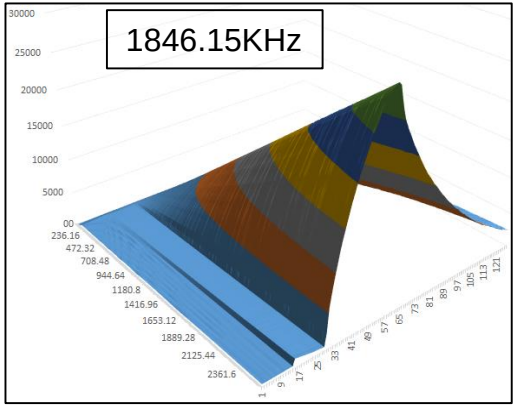


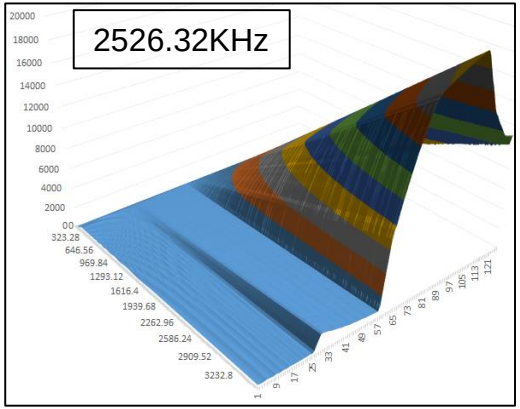
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定(CR3): Diff



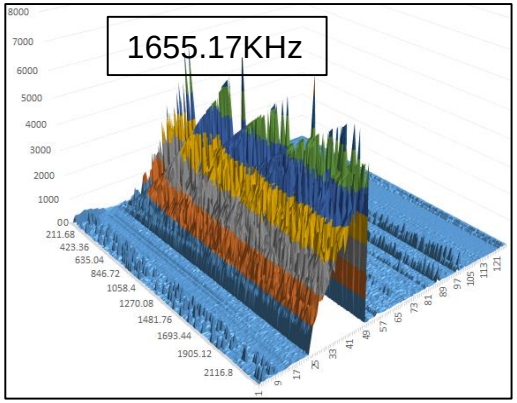


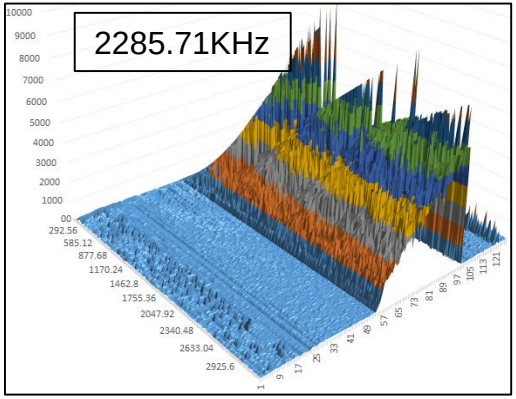


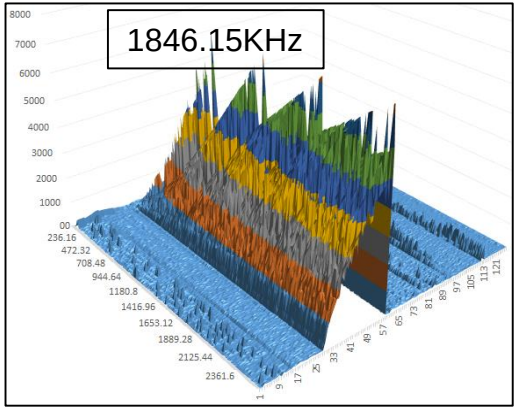


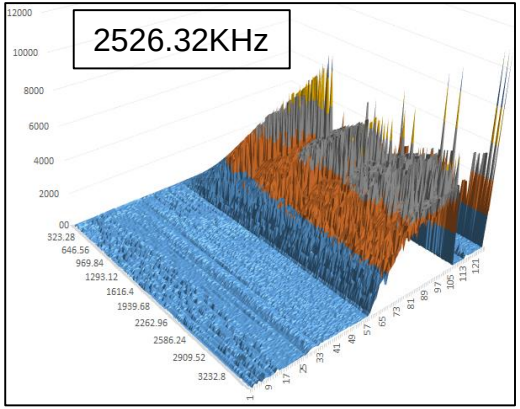
Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.

データ測定(CR3): SNR









Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.



Part of your life. Part of tomorrow.

Copyright © Infineon Technologies AG 2022. All rights reserved.