DC/DCコンバータからの放射EMIをデバッグするためのアプローチ

蜷川顕二
シニアFAE
MPSジャパン

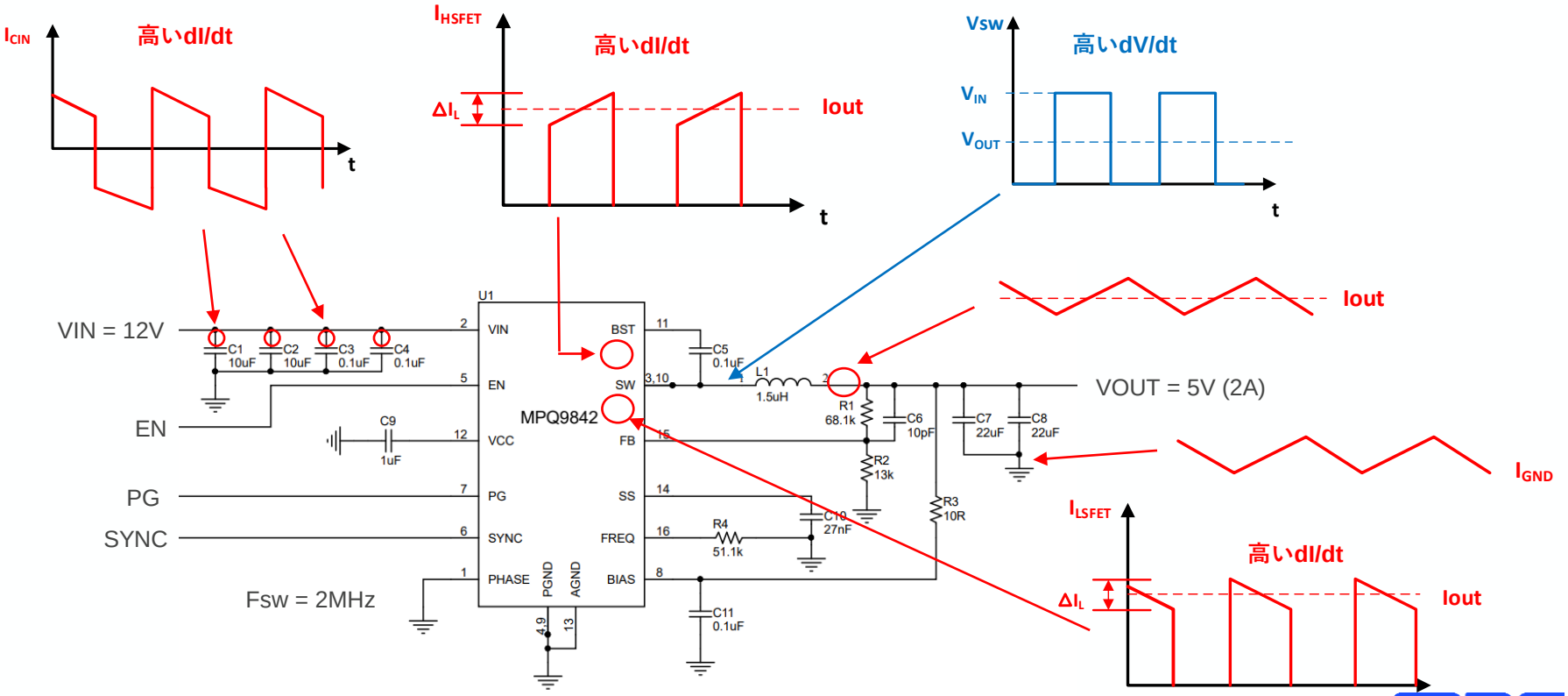
トピック

1. DC/DCコンバータの波形を理解する
2. DC/DCコンバータからの放射EMIをデバッグするアプローチ
3. 試験に合格するための回路修正

DC/DCコンバータの波形を理解する

降圧コンバータの電流 / 電圧波形

FETを内蔵した車載用降圧コンバータ「MPQ9842」で検証



降圧コンバータのレイアウト – 主なノイズ源

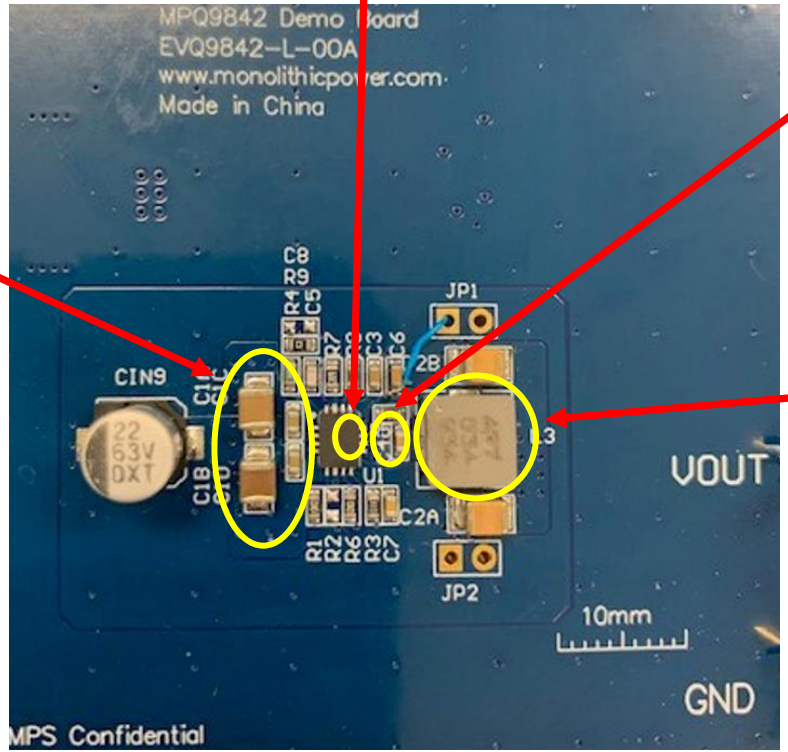
EVQ9842-L-00A PCB

DC/DC IC:
電力段に
高いdV/dtとdI/dt
(強力な磁界・電界)

スイッチノード:
高いdV/dt
(強力な電界)

入力コンデンサ:
高いdI/dt
(強力な磁界)

出力インダクタ:
(強力な磁界・電界)

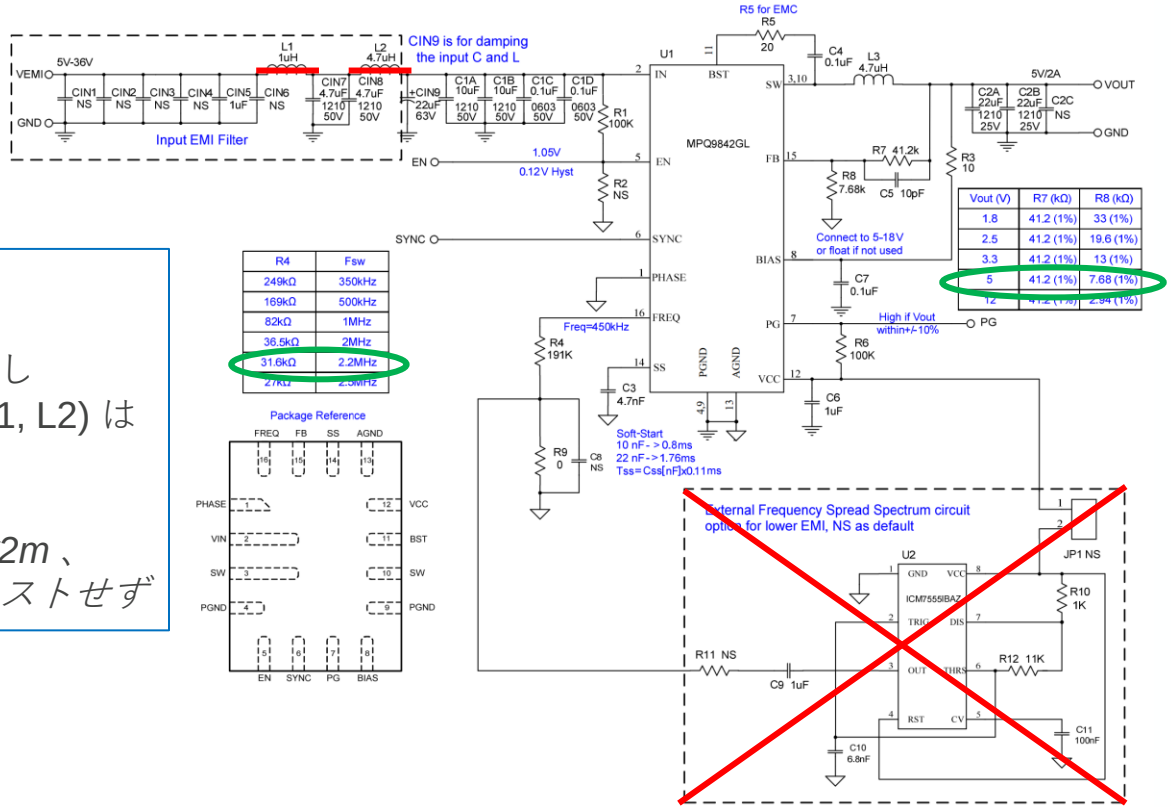


DC/DCコンバータからの放射EMIをデバッグするアプローチ

RE (Radiated Emission：放射妨害波) 計測用のDUTを使用する

計測を実施する前に、自身のDC/DCコンバータの回路図とレイアウトをよく理解しましょう

EVQ9842-L-00A



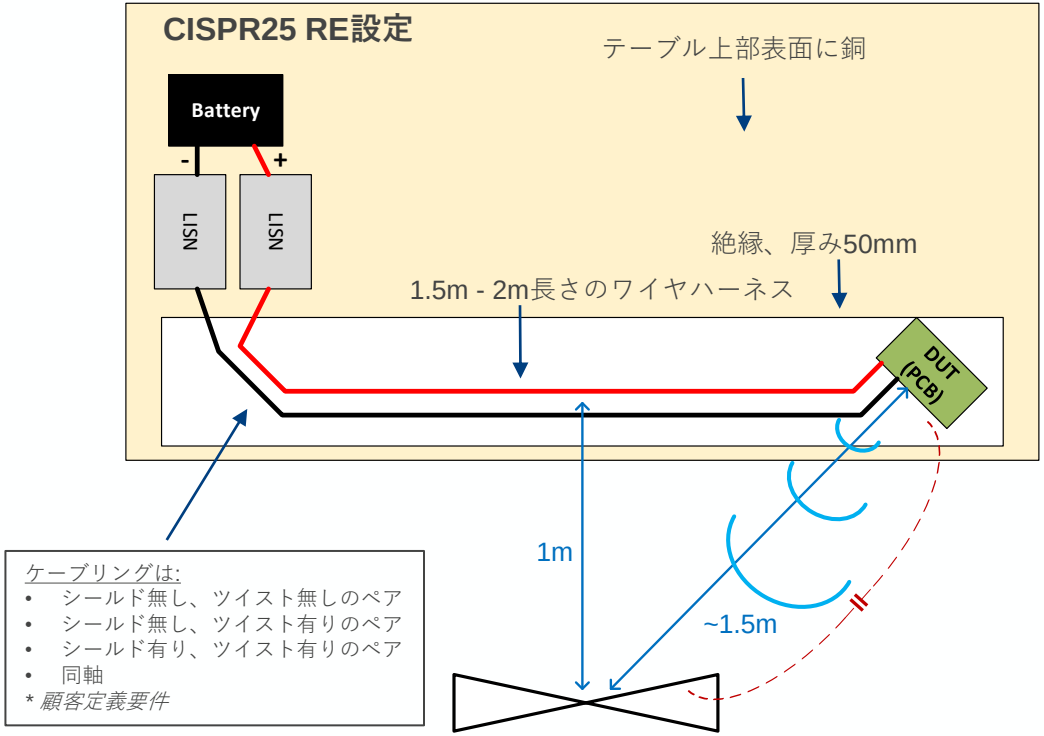
Vout (V)	R7 (kΩ)	R8 (kΩ)
1.8	41.2 (1%)	33 (1%)
2.5	41.2 (1%)	19.6 (1%)
3.3	41.2 (1%)	13 (1%)
5	41.2 (1%)	7.68 (1%)
12	41.2 (1%)	2.94 (1%)

R4	Fsw
249kΩ	350kHz
169kΩ	500kHz
82kΩ	1MHz
36.5kΩ	2MHz
31.6kΩ	2.2MHz
27kΩ	2.5MHz

- 出力 = 5V, 2A
- Fswは2MHzに設定
- スペクトラム拡散無し
- 入力EMIフィルタ (L1, L2) は短絡

- *入力電源ケーブルは2m 、シールド無し、ツイストせず*

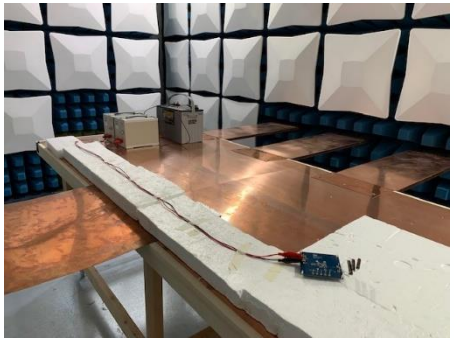
測定系 概略


CISPR25 RE設定
テーブル上部表面に銅
Battery
-
+
LISN
LISN
絶縁、厚み50mm
1.5m - 2m長さのワイヤハーネス
DUT
(PCB)
1m
~1.5m
ケーブリングは:
• シールド無し、ツイスト無しのペア
• シールド無し、ツイスト有りのペア
• シールド有り、ツイスト有りのペア
• 同軸
* 顧客定義要件

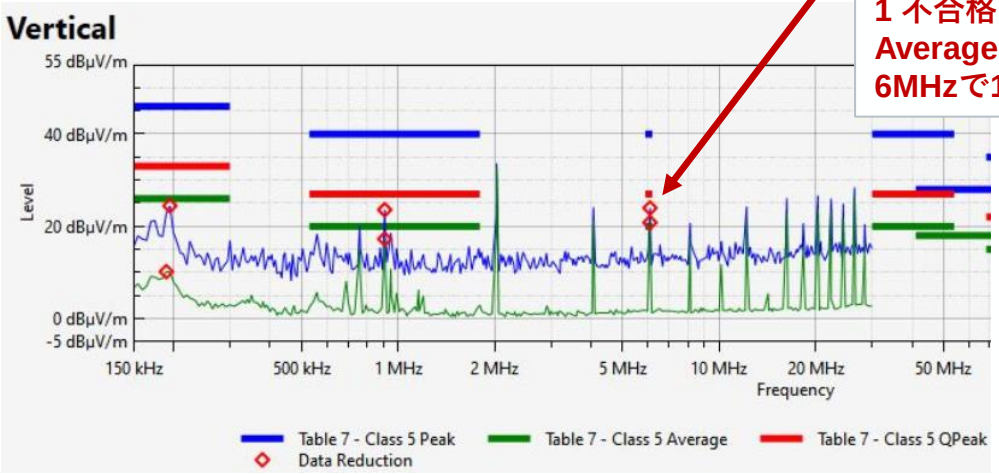
CISPR25用の最初の検査 - モノポール・アンテナ

CISPR25 放射エミッションの設定

- DUT = EVQ9842
- 2mのケーブルハーネス (+12V, GND)
- アンテナは設置場所から1m



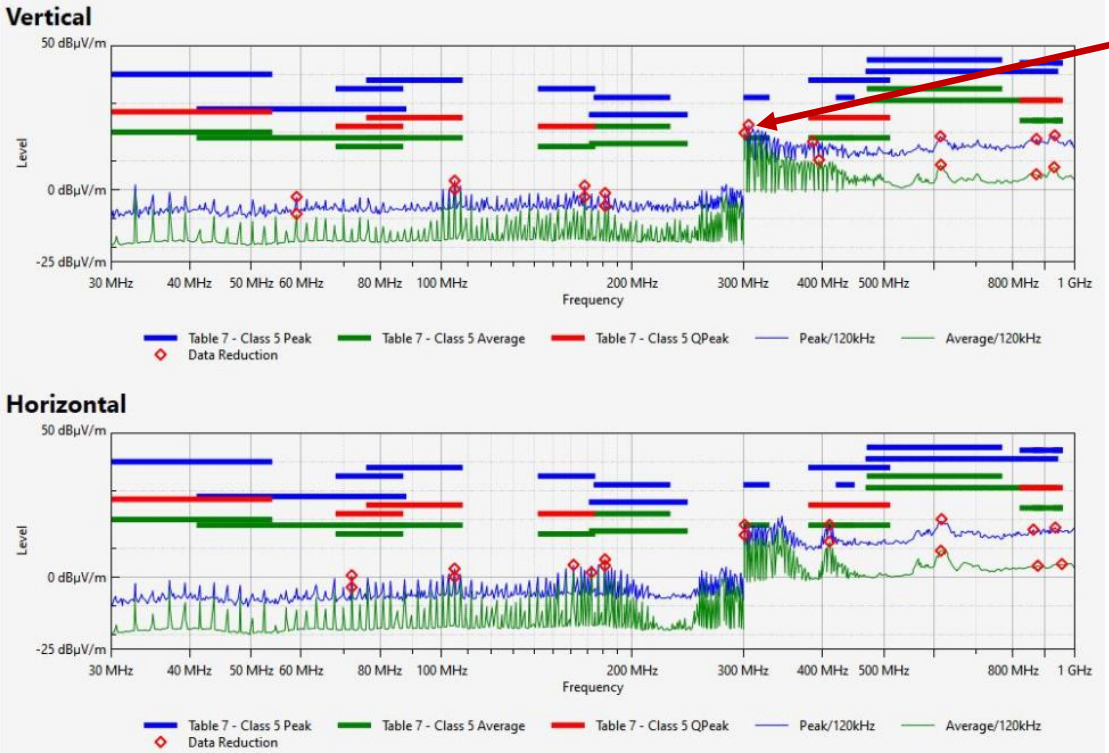
Frequency	Limit	Band	Polarization	Detector	Value (dBµV/m)	RBW	Detector	Value (dBµV/m)	RBW	Diff (dB)	Pass/Fail
910 kHz	Table 7 - Class 5	MW	Vertical	Peak	23.60	9kHz	Peak	40.00	9kHz	-16.40	✓
910 kHz	Table 7 - Class 5	MW	Vertical	Average	17.25	9kHz	Average	20.00	9kHz	-2.75	✓
910 kHz	Table 7 - Class 5	MW	Vertical	Peak	23.60	9kHz	QPeak	27.00	9kHz	-3.40	✓
195 kHz	Table 7 - Class 5	LW	Vertical	Peak	24.45	9kHz	Peak	46.00	9kHz	-21.55	✓
190 kHz	Table 7 - Class 5	LW	Vertical	Average	10.19	9kHz	Average	26.00	9kHz	-15.81	✓
195 kHz	Table 7 - Class 5	LW	Vertical	Peak	24.45	9kHz	QPeak	33.00	9kHz	-8.55	✓
6.095 MHz	Table 7 - Class 5	SW	Vertical	Peak	23.98	9kHz	Peak	40.00	9kHz	-16.02	✓
6.095 MHz	Table 7 - Class 5	SW	Vertical	Average	20.82	9kHz	Average	20.00	9kHz	0.82	✗
6.095 MHz	Table 7 - Class 5	SW	Vertical	Peak	23.98	9kHz	QPeak	27.00	9kHz	-3.02	✓



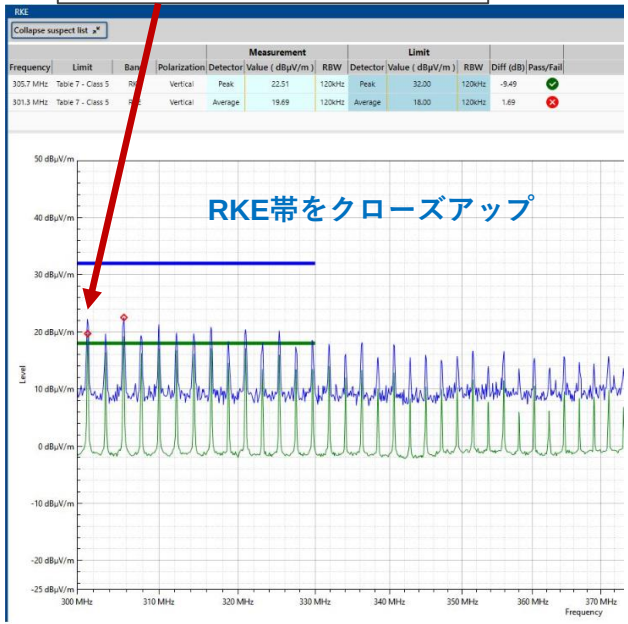
1 不合格:
Averageの測定値が
6MHzで1dB弱上限越え

CISPR25用の最初の検査 – ビーコン / ログ・アンテナ

次にビーコン・アンテナ (30MHz – 300MHz) およびログ・アンテナ(300MHz – 1GHz) を見てみましょう



1 不合格:
垂直 Average が301.3MHz 時に1.69dBの上限値越え



所見

***CISPR25 レベル5のRE計測* に先立ち、PCBのレイアウトをレビューし、大丈夫なようでした。**
特に目立った問題は見られませんでした。

モノポール・アンテナ (150kHz – 30MHz)
- 6MHzの段階でわずかに上限値を超えているが、他は合格　(上限値を1dB弱超過)

ビーコン・アンテナ (30MHz – 300MHz)
- 目立つノイズスペクトラムがあるが、上限値以下
- すべての周波数においてピーク値と平均値が合格

ログ・アンテナ (300MHz – 1GHz)
- 300MHz – 450MHzにおいて目立つノイズスペクトラム
- 300MHz – 330MHzでのアベレージノイズは上限ラインに近い (垂直方向がより悪い結果)
- 301.3MHzで不合格1点あり。垂直偏波 (2dB程度上限超過)

結果として、悪くはありません。ただ「問題発生個所」におけるいくつかの改善が必要です。
ゴール: 問題が発生する周波数において、できる限りマージンを持たせてパスする。

デバッグの開始ポイント

最初に、計測における近傍界 / 遠方界の境界について検討

- 問題の周波数 または 周波数範囲で、波長 λ = c/f とする
- 近傍界の境界はノイズ源から λ /6 とする

モノポール・アンテナ

- **6MHzでの不合格について、λ = 50mと計算**; 近傍界境界は **λ /6 = 8.3m**
- アンテナはケーブル配線より1mの距離で、DUTから1.5mなので、問題は近傍界で発生している!
- DUT、ケーブル配線、またはその両方 から生じる電界を計測する

ビーコン・アンテナ

- 合格済み

ログ・アンテナ

- **301MHzでの不合格について、λ** = 1mと計算; **λ /6 = 0.17m** (または17cm)
- 問題は 遠方界 で発生している!
- 電磁波の電界成分を計測している。
- ケーブルは300MHz未満のノイズを発生している。
- しかし、この周波数(300MHz以上)においては、 DUT/ボードが主なノイズ放射源。

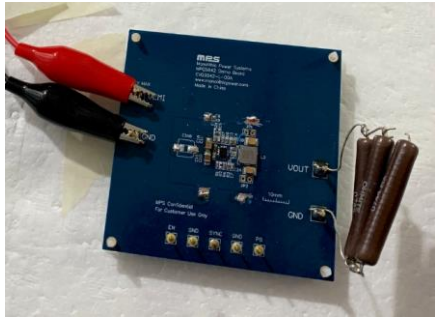
主なノイズ発生源 – DUTか? ケーブルか?

事前の予測では:

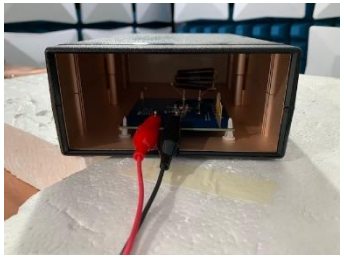
1) 6MHz (モノポール)の問題は近傍界で、ケーブルかDUTかその双方が結合している
2) 301MHz (ログ)の問題は遠方界で、おそらくDUTが主な放射源である

どのように最初の予測を証明するか?

DUT

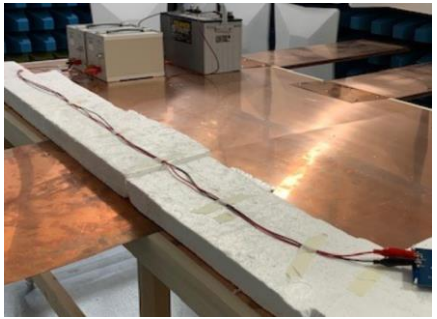


金属の囲い込みでシールドする



シールド / 囲い込みはDUT / ケーブルに接続しない

ケーブル



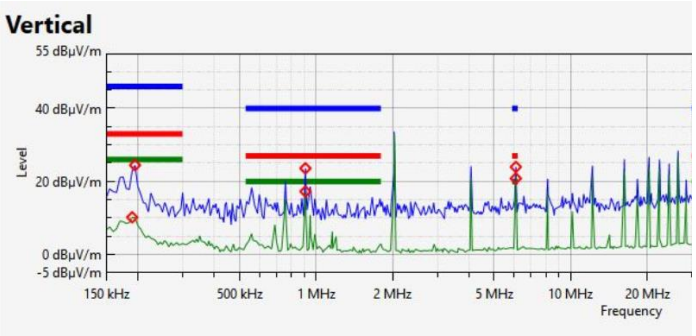
アルミ箔またはメッシュでシールド

注記:
実際のEMI試験では、ワニ口クリップは決して使用しないこと!
ねじ止め、はんだ付けなど、「非常に良い」接続状態で行う。

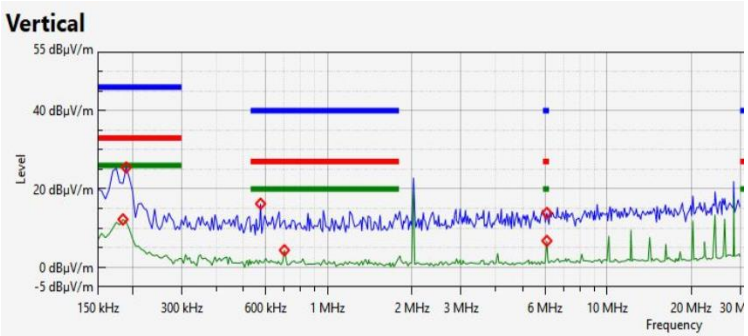
または
著しく短いケーブル
(電子的に小さくするため)

モノポール - 有力なノイズ発生源はどこか?

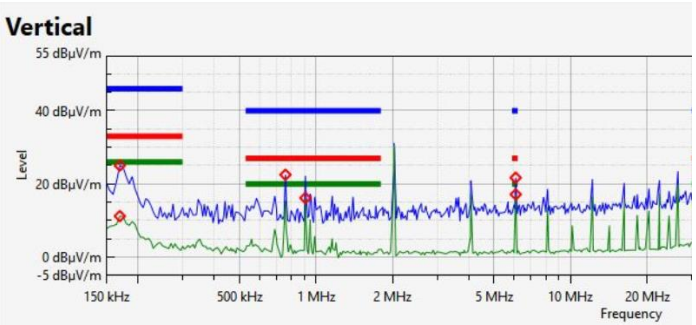
2mケーブルの標準的な設定



2mケーブルを使用したシールド付きDUT



15cmケーブルを使用した場合



異なるケーブルを使用した場合:

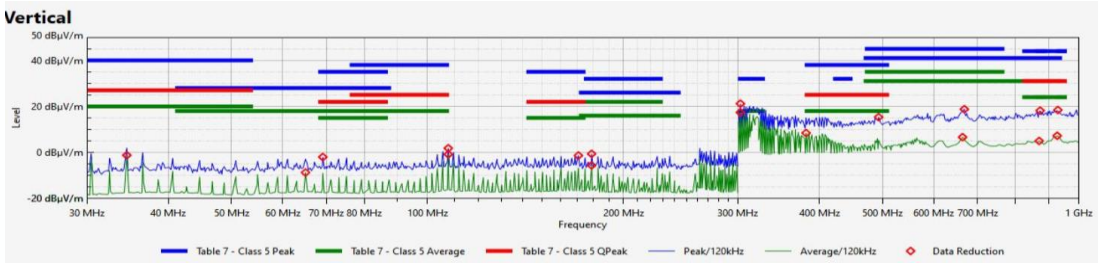
- ほとんどの周波数において3-6dB低減
- 診断: 有力ノイズはケーブルからは発生していない

シールドしたDUTを使用した場合:

- ほとんどの周波数において10-15db低減
- 診断: 有力ノイズはDUTから発生している

ビーコン / ログ、バーティカル – 有力なノイズ源はどこか?

2mケーブルの標準的な設定



15cmケーブルを使用した場合

異なるケーブルを使用した場合:

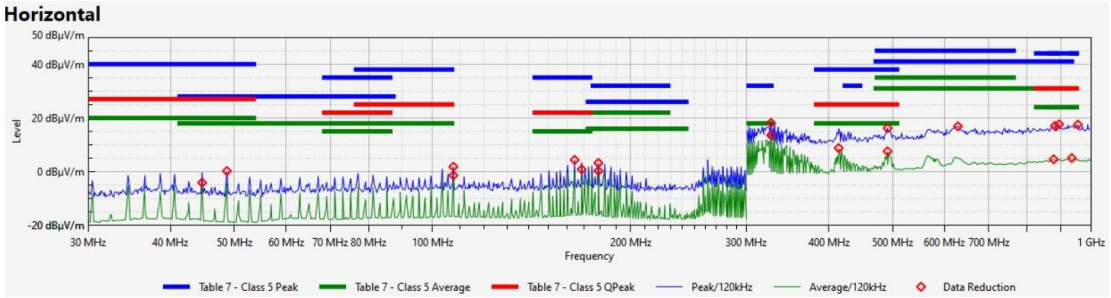
- 30MHz – 300MHz間において、いくらかのノイズがシフト
- 300MHz -400MHz間において、ノイズはほぼ同じだった
- 結果として、ノイズレベルはそれほど変わっていない
- 診断: 有力ノイズはケーブルからは発生していない

シールドしたDUTを使用した場合 (ここに表示なし):

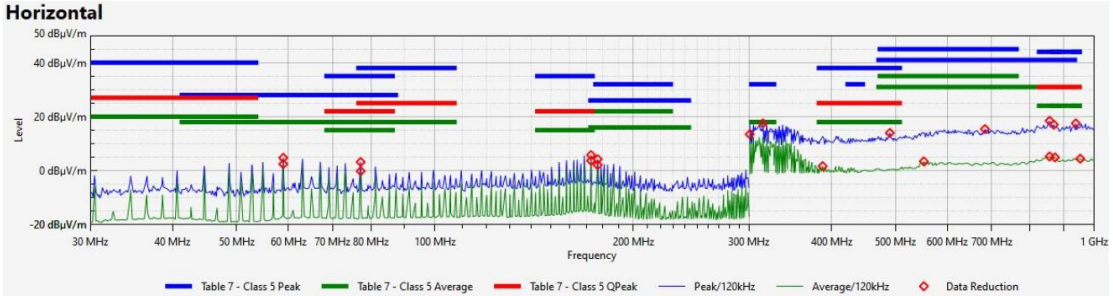
- DUTはシールドした箱の中に設置
- 2mのケーブルを使用
- ノイズは300MHz – 400MHzで著しく低減
- ノイズは300MHz 未満で著しく低減
- 診断: 有力ノイズはDUTから発生している

ビーコン / ログ、ホリゾンタル – 有力なノイズ源はどこか?

2mケーブルの標準的な設定



15cmケーブルを使用した場合



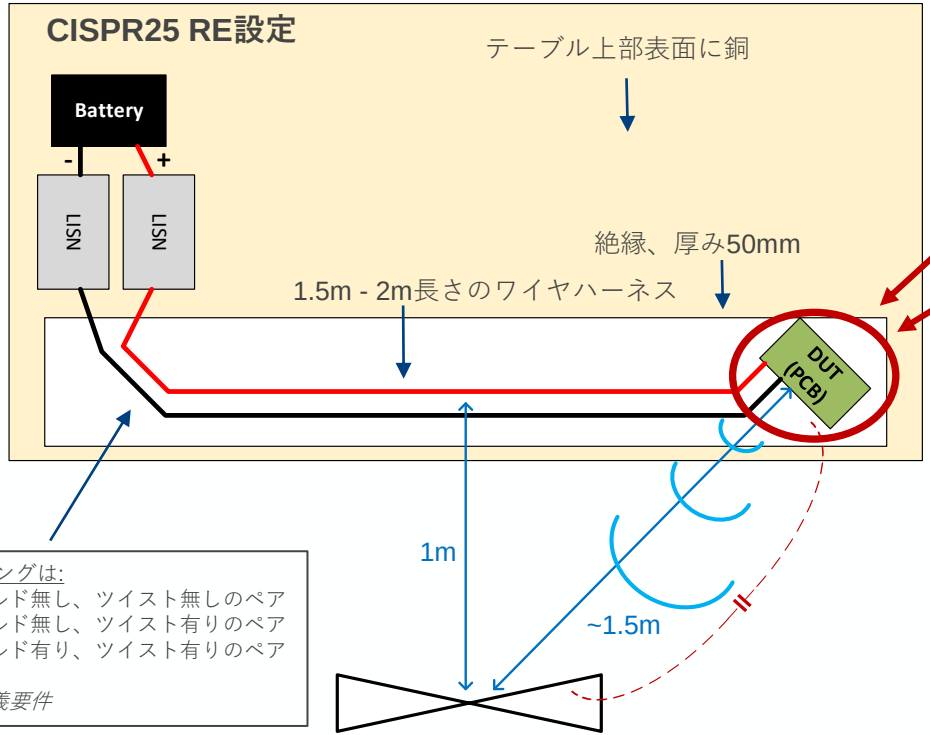
異なるケーブルを使用した場合:

- 30MHz – 300MHz間で、いくらかのノイズがシフト
- 40-80MHz間で、ノイズがわずかに増加
- 300MHz -400MHz間で、ノイズはほぼ同じ
- 400MHz以上でのノイズが改善
- 結果として、ノイズレベルはそれほど変わっていない
- 診断: 有力ノイズはケーブルからは発生していない

シールドしたDUTを使用した場合 (ここに表示なし):

- DUTはシールドした箱の中に設置
- 2mのケーブルを使用
- ノイズは300MHz – 400MHzで著しく低減
- ノイズは300MHz 未満で著しく低減
- 診断: 有力ノイズはDUTから発生している

有力なノイズ源 - サマリー



ケーブリングは:
- シールド無し、ツイスト無しのペア
- シールド無し、ツイスト有りのペア
- シールド有り、ツイスト有りのペア
- 同軸

** 顧客定義要件*

有力ノイズ -近傍界(E)

有力ノイズ -遠方界
(PCB上の電界または磁界)

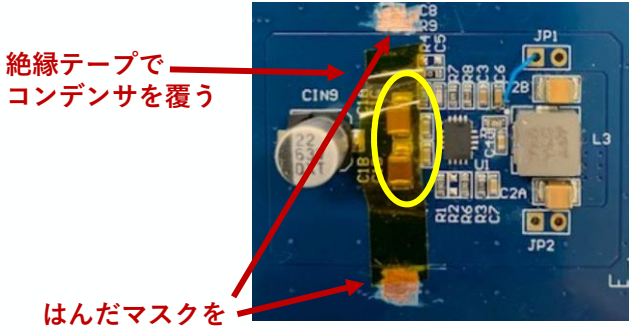
このケースでは:

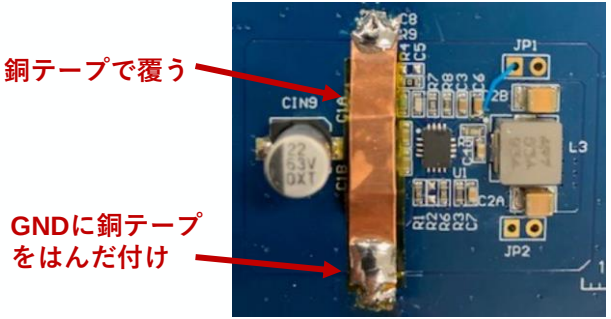
- **ケーブルコネクタ近くにより多くのフィルタを追加すると、小さな改善が見られるでしょう。小さなマージンで合格することができるかもしれません。**
- **最も顕著なノイズ低減 (一番多くのマージンで) を手に入れるには、PCB上の電界および遠方界放射の低減に取り組む必要があります。**

基板変更 #1 – シールドデカップリングコンデンサ

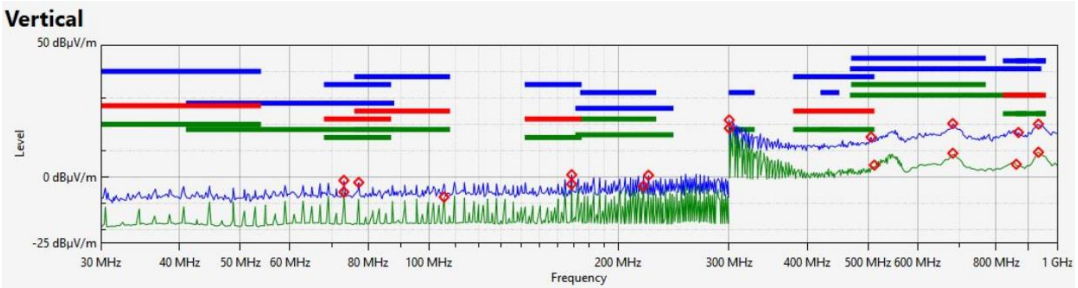
今度は課題の要因となっているDUTの考えられるノイズ源を調べていきます。

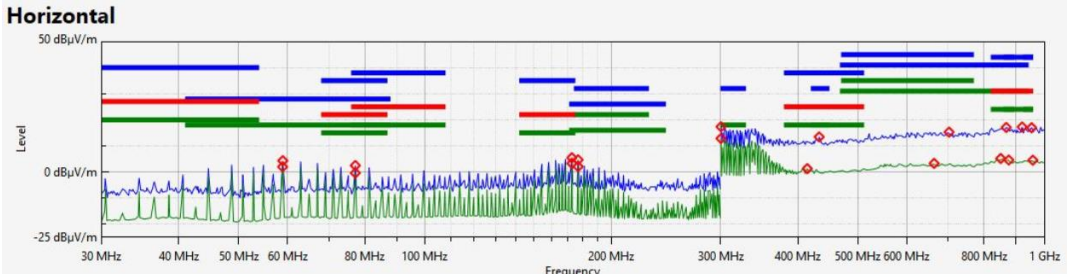
最初の変更は、入力デカップリングコンデンサによって生成される入力「ホットループ」を探してシールドすることです。





15cmのケーブルを使用した変更 #1

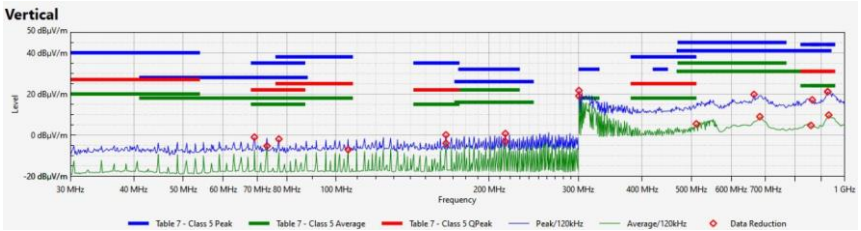




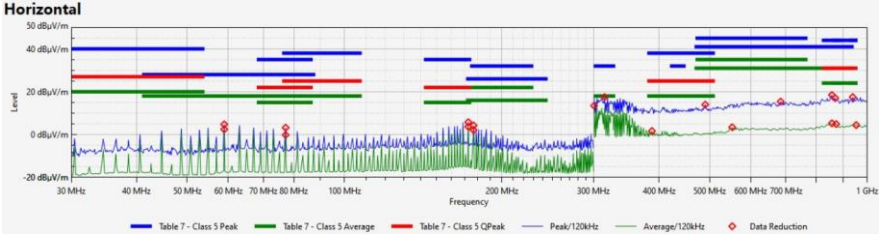
結果: 著しい改善は無し

基板変更 #1 – 比較

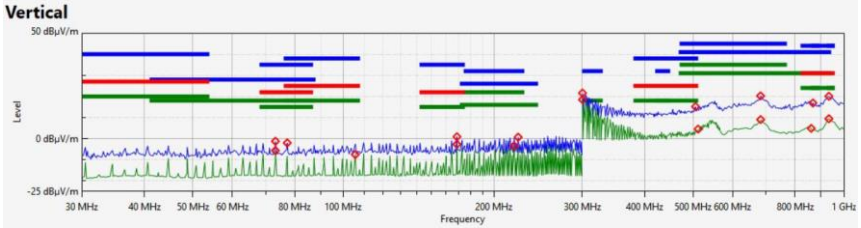
バーティカル: 変更なし、15cmケーブル



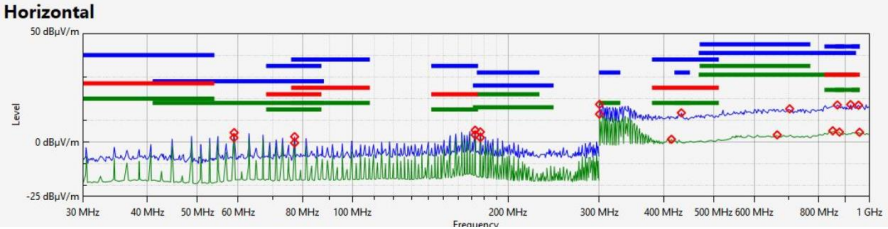
ホリゾンタル: 変更なし、15cmケーブル



バーティカル: 変更 #1、15cmケーブル



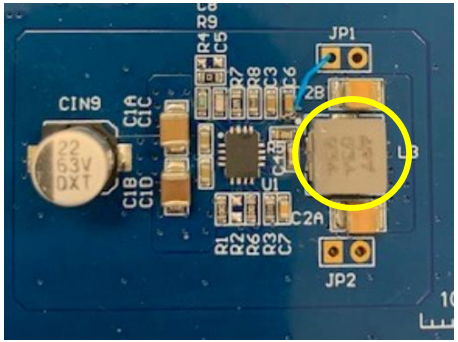
ホリゾンタル: 変更 #1、15cmケーブル

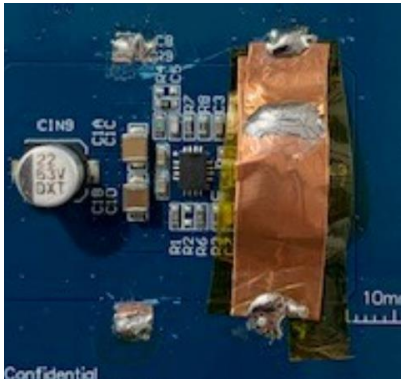


結果: 著しい改善は無し

基板変更 #2 – シールド出力インダクタ

MPQ9842降圧コンバータの出力インダクタをシールドする





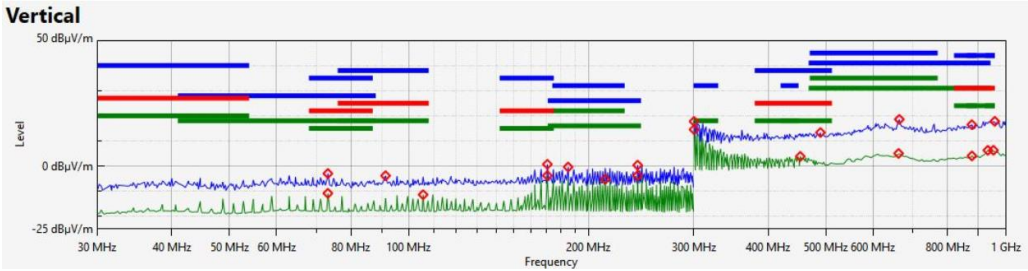
はんだマスクを
削り取る(上部GND)

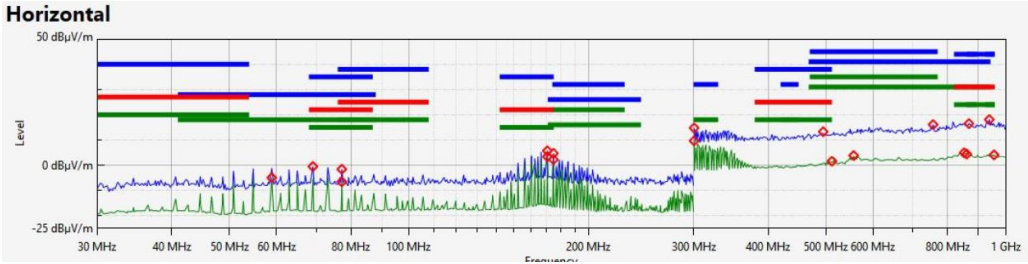
インダクタを
絶縁テープで覆う

絶縁テープに
銅テープを被せる

GNDに銅テープを
はんだ付け

変更 #2、15cmケーブル

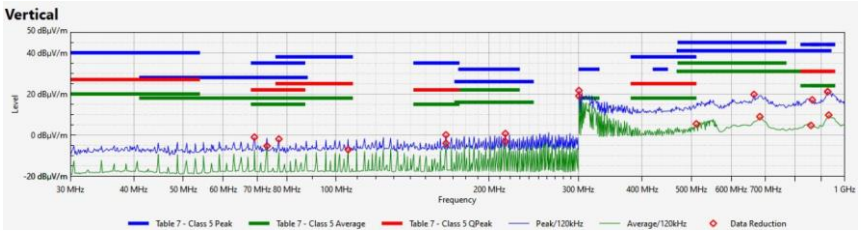




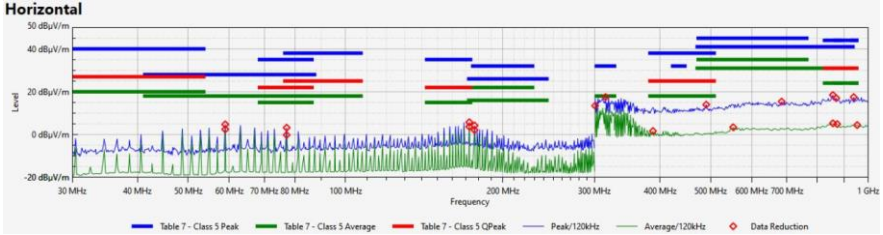
結果: 目に見える改善有り!

基板変更 #2 – 比較

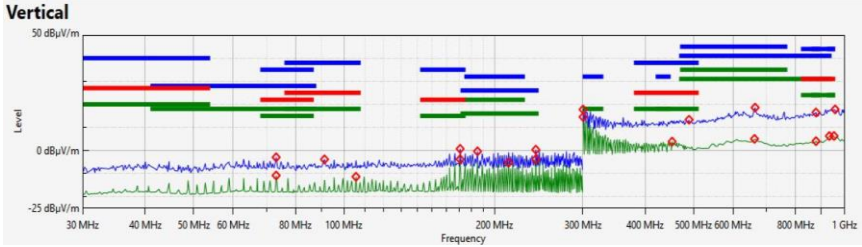
バーティカル: 変更なし、15cmケーブル



ホリゾンタル: 変更なし、15cmケーブル

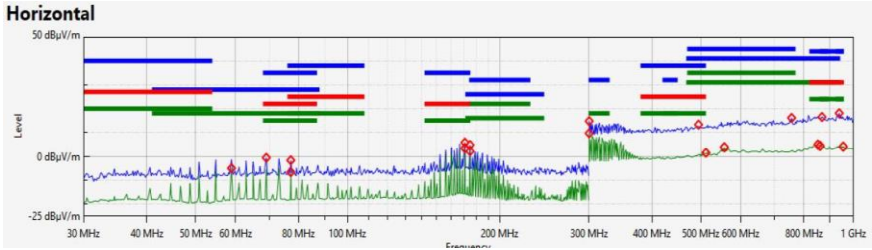


バーティカル: 変更 #1、15cmケーブル



- 150MHz以下で数dB改善
- 300 - 330MHz間 (Average) で数dB改善

ホリゾンタル: 変更 #1、15cmケーブル

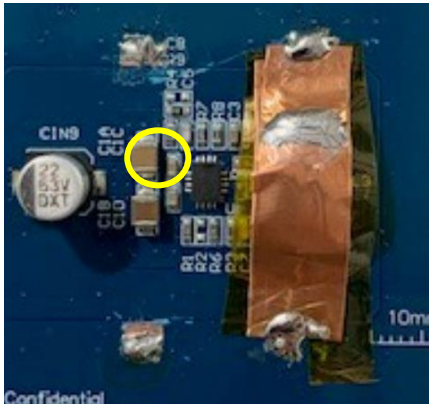


- 150MHz以下で数dB改善
- 300 - 330MHz間 (Peak / Average) で数dB改善

目に見える改善有り!

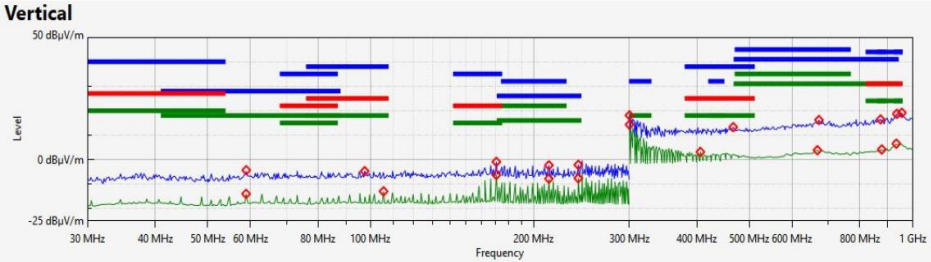
基板変更 #3 – 入力デカップリングコンデンサを変更する

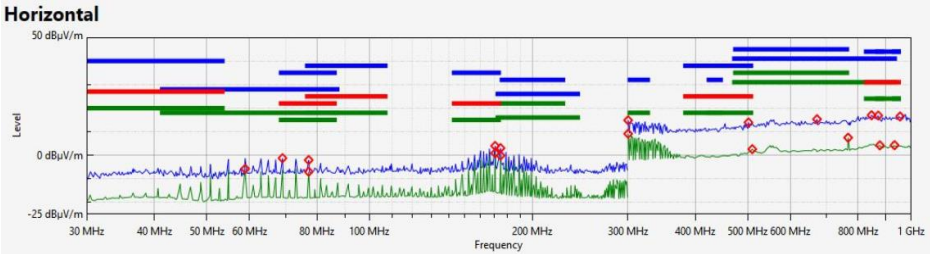
もう一度入力デカップリングコンデンサを見てみます (ホットループ)



- C1A, C1B をシールドしても結果は変わらず (変更 #1)
- PCBレイアウトを再度確認
- MPQ9842は対称VINのデバイスではない
- コンデンサは対称VINとして配置されている
- しかしながら、C1A, C1CのGNDリターンパス (長さ / 面積) は、C1B, C1Dとは異なっている。これがデカップリングの対称性に影響している。

変更 #3、15cmのケーブル





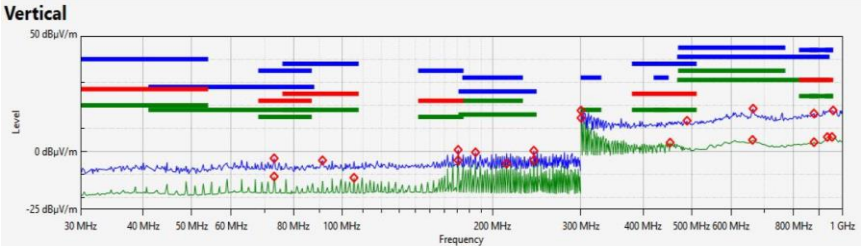
以下を試してみます:

- C1AおよびC1Cを除去 – 結果は悪化
- C1Cを投入、**C1Aのみを除去** – 結果がある程度改善
- 変更 **#3のプロットを見てください (C1Aを除去)**

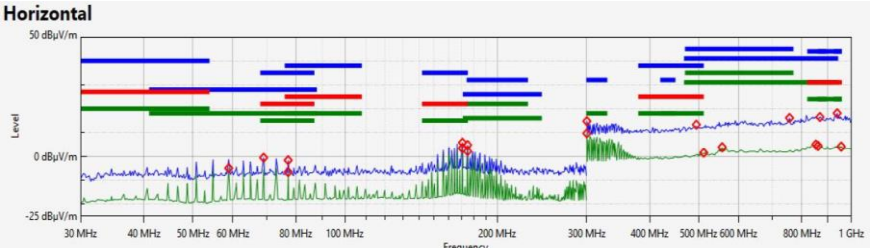
垂直偏波にさらなる改善が見られる

基板変更 #3 – #2との比較

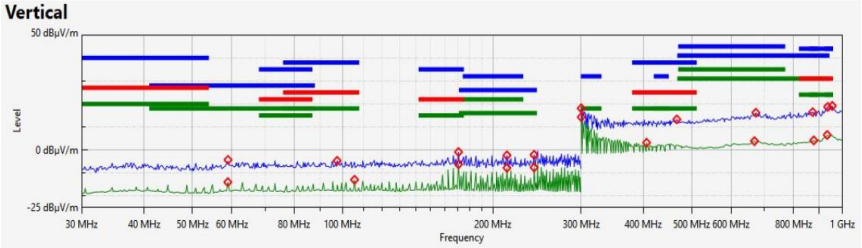
バーティカル: 変更 #2、15cmケーブル



ホリゾンタル: 変更 #2、15cmケーブル

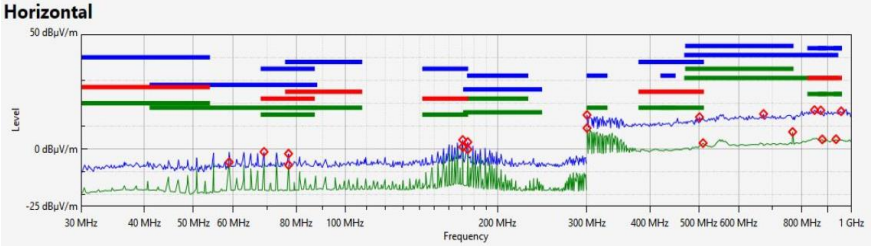


バーティカル: 変更 #3、15cmケーブル



- すべての周波数にわたってさらなる改善が見られる

ホリゾンタル: 変更 #3、15cmケーブル

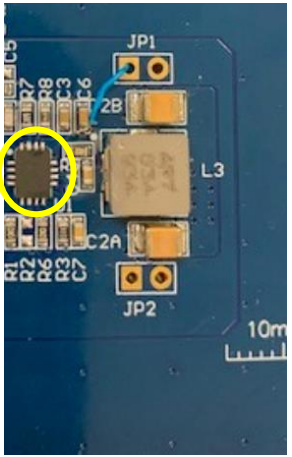


- あまり顕著な改善は見られない

<u>垂直偏波にさらなる改善!</u>

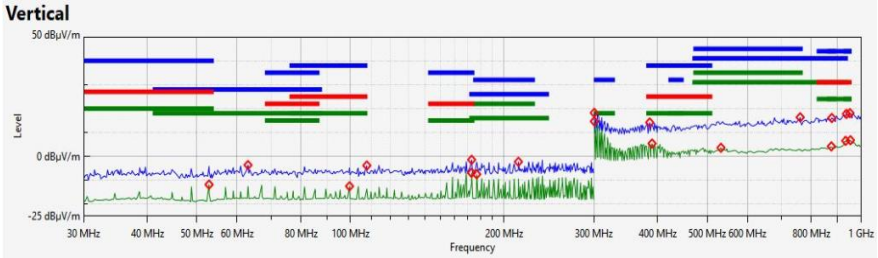
基板変更 #4 – ICをシールド (降圧コンバータ)

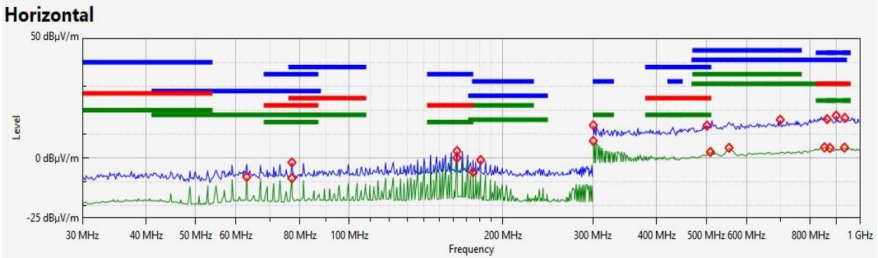
- MPQ9842をシールドする
- インダクタはシールドしたままで、C1Aを除去



- シリコンパッドでICを覆う
- シリコンパッドを絶縁テープで覆う
- 銅テープで絶縁テープを覆う
- 銅テープをGNDにはんだ付け

変更 #4、15cmケーブル

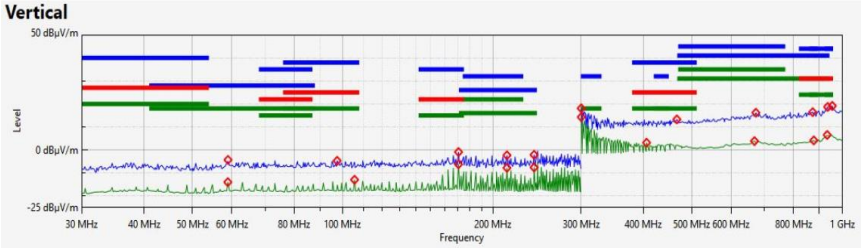




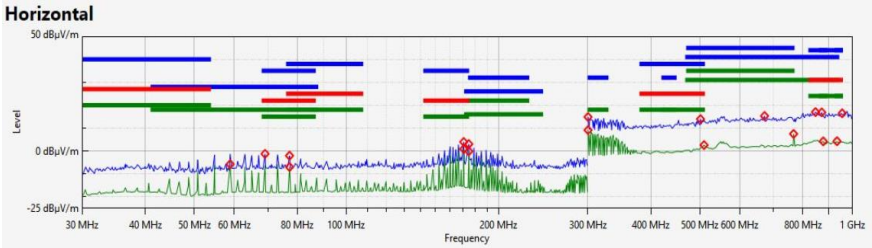
混合結果。HORに顕著な改善が見られる

基板変更 #4 – #3との比較

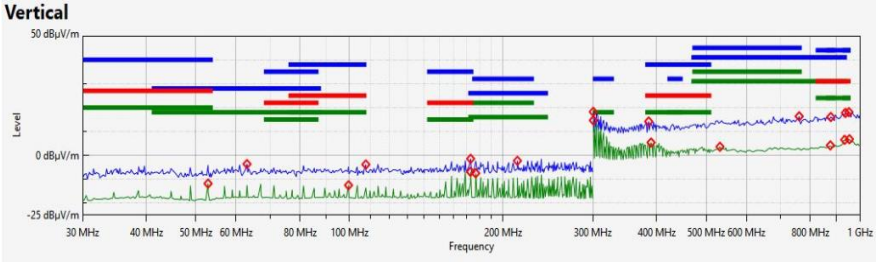
バーティカル: 変更 #3、15cmケーブル



ホリゾンタル: 変更 #3、15cmケーブル

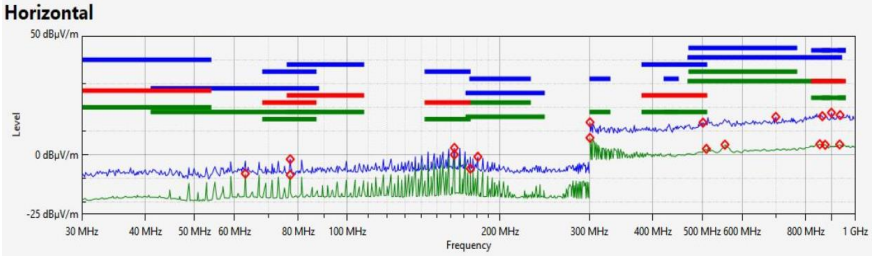


バーティカル: 変更 #4、15cmケーブル



- あまり顕著な改善や変化は見られない

ホリゾンタル: 変更 #4、15cmケーブル



- 150MHz以下で少々悪化
- 300MHz – 330MHz 間で顕著な改善が見られる

混合結果。300MHz – 330MHzで顕著な改善が見られる (HOR)

変更の結果のサマリー

変更	詳細	結果
変更 #1	デカップリングコンデンサ (C1A, C1B) をシールド	著しい変化は無し
変更 #2	インダクタをシールド	VERT、HORに著しい改善
変更 #3	C1Aコンデンサを除去 (インダクタはシールドしたまま)	垂直偏波にさらなる改善
変更 #4	ICをシールド (インダクタをシールドしたまま、C1Aコンデンサは除去)	VERTに変化なし 150MHz以下でHORが悪化300MHz以上でHORが改善

注記:

- すべての変更はビーコンおよびログアンテナのみで試験 (30MHz – 1GHz)
- モノポールアンテナの結果はまだ不明 (150kHz – 30MHz)

再試験と結果

EVQ9842を再試験のためにアップデート

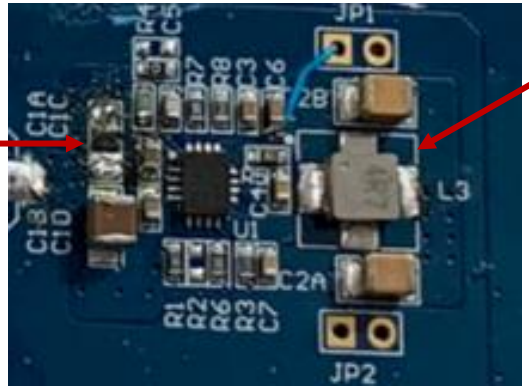
これまでの実験から、以下の変更が最も大きな改善をもたらすとわかりました。

1) 出力インダクタL3をシールドする
2) C1A入力コンデンサを除去する

再試験のために、さらにインダクタのシールドを増やすようなことは避けたい。
このため、より小さなサイズで(希望として)より小さなEMI性能をもたらすであろう、別のインダクタを選択します。

EVQ9842の変更点
1) L3をVHCA042A-4R7MS6(車載グレード)と置き換え
2) C1A入力コンデンサを除去

C1Aを除去



L3を置き換え

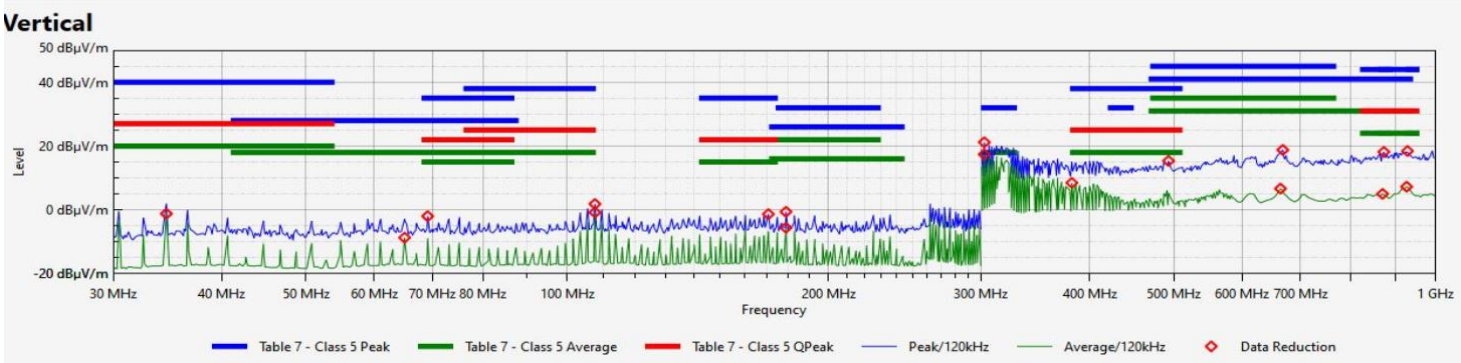
元々のL3:
VCMT063T-4R7MN5-89
4.7uH, 6A定格, 7mm (L) x 6.6mm (W) x 3mm (H)

変更後のL3:
VHCA042A-4R7MS6
4.7uH, 4A, 4.2mm(L) x 4mm (W) x 2.1mm (H)

新しいREの結果 – ビーコン、ログ (バーティカル)

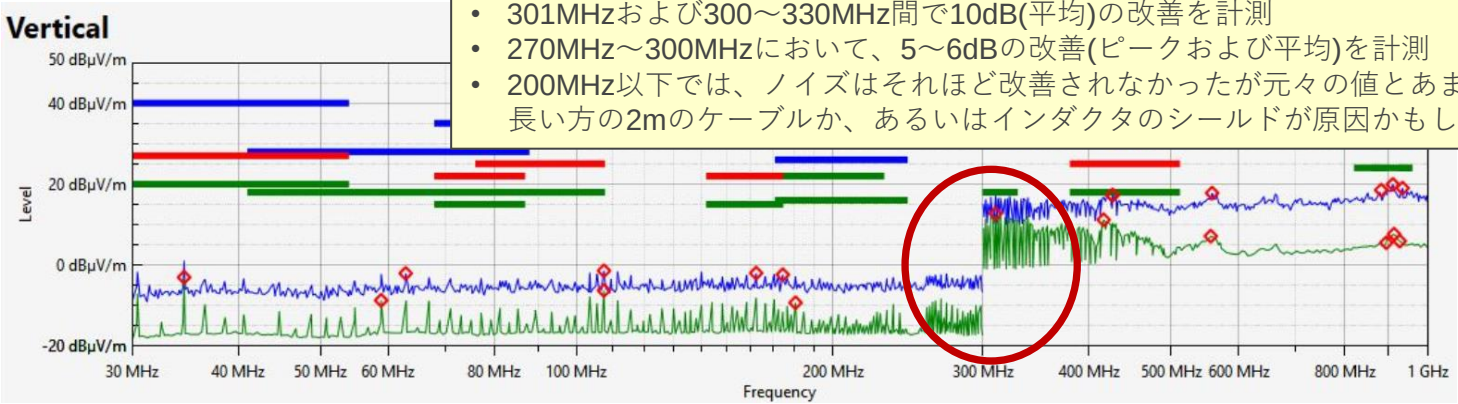
再試験には標準的な2mのケーブルを使用

バーティカル: 元々のDUT、2mケーブル



バーティカル: 変更後のDUT、2mケーブル

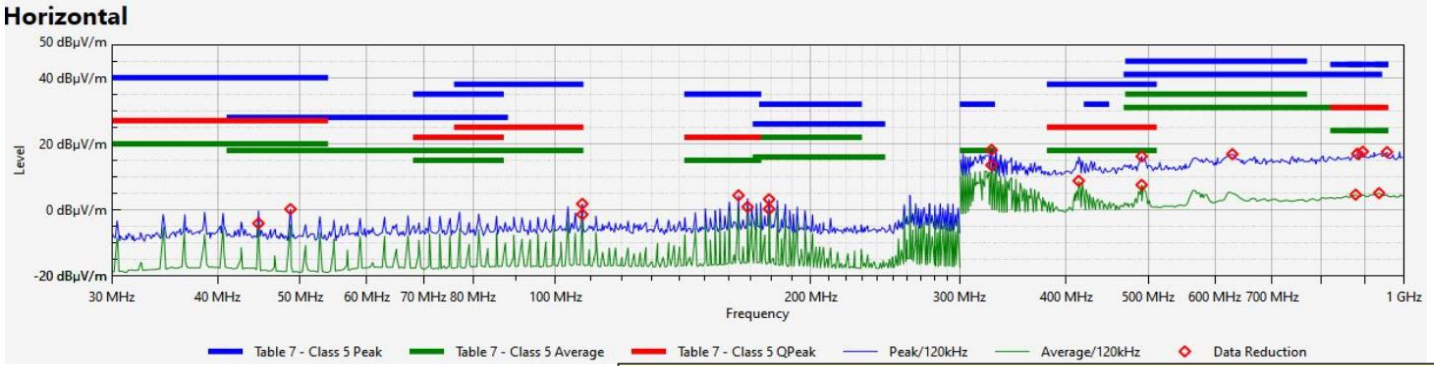
- 301MHzおよび300～330MHz間で10dB(平均)の改善を計測
- 270MHz～300MHzにおいて、5～6dBの改善(ピークおよび平均)を計測
- 200MHz以下では、ノイズはそれほど改善されなかったが元々の値とあまり変わらなかった。長い方の2mのケーブルか、あるいはインダクタのシールドが原因かもしれない。



新しいREの結果 – ビーコン、ログ (ホリゾンタル)

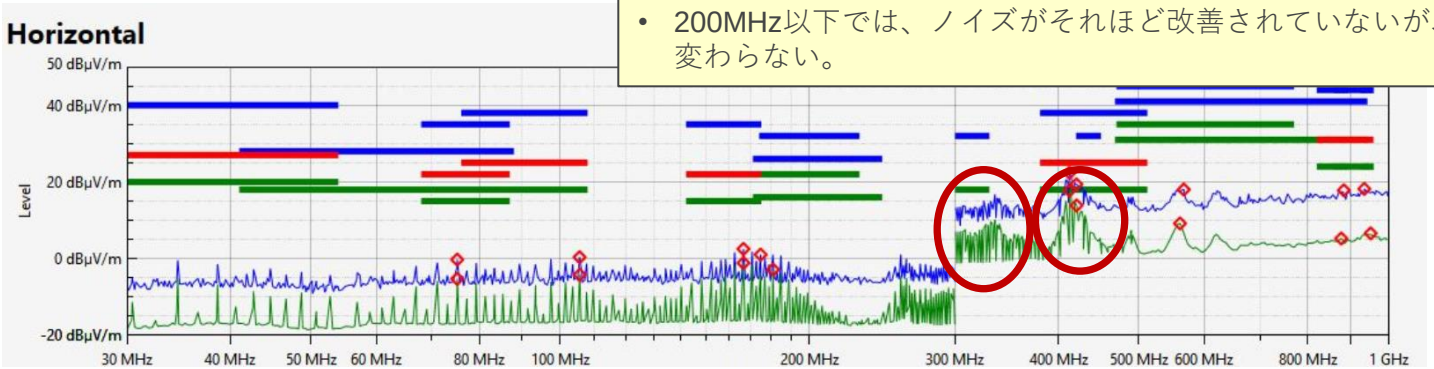
再試験には標準的な2mのケーブルを使用

バーティカル: 元々のDUT、2mケーブル



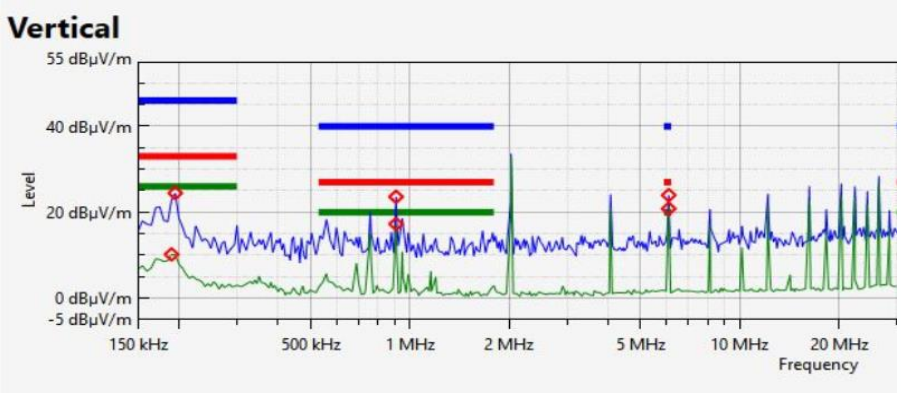
- 300MHz～330MHzの範囲で、1～10dB (平均) の改善を計測
- 400MHz付近で増加が見られるものの、合格範囲内
- 200MHz以下では、ノイズがそれほど改善されていないが、前の試験とほぼ変わらない。

ホリゾンタル: 変更後のDUT、2mケーブル

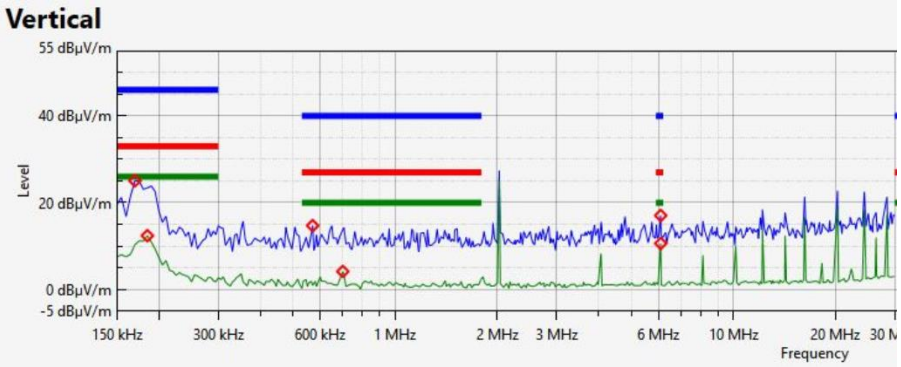


新しいREの結果 – モノポール (バーティカル)

元々のDUT、2mケーブル



変更後のDUT、2mケーブル



- 2MHzで8dB程度減少
- 4MHz～8MHz で10dB程度減少
  (6MHzで10dBマージンを達成!!!)
- 10MHz以上でノイズが5～7dB減少

結果のサマリー

ゴール達成!!!

- 8MHz (モノポール) - 10dB程度のマージンを達成
- 301MHz (ログ) - 10dB程度のマージンを達成
- 他周波数帯域においても改善が見られた

この結果は、部品変更 (L3)および部品除去(C1A)で達成!!

結論

当セッションで議論したこと:

- DC/DCコンバータの電圧・電流波形 (および関連する電界 / 磁界)
- 計測したノイズが近傍界 / 遠方界にある時の見極め方
- アンテナで計測された有力ノイズ源が、DUT起因なのか、またはケーブル起因なのか、を見極める考え方
- DUT (DC/DCコンバータ基板) 上の考えられるノイズ源のデバッグ方法の考え方
- 放射性エミッションに合格するためのDC/DC回路の変更方法

Q&A