

電源設計におけるEMI問題を理解する

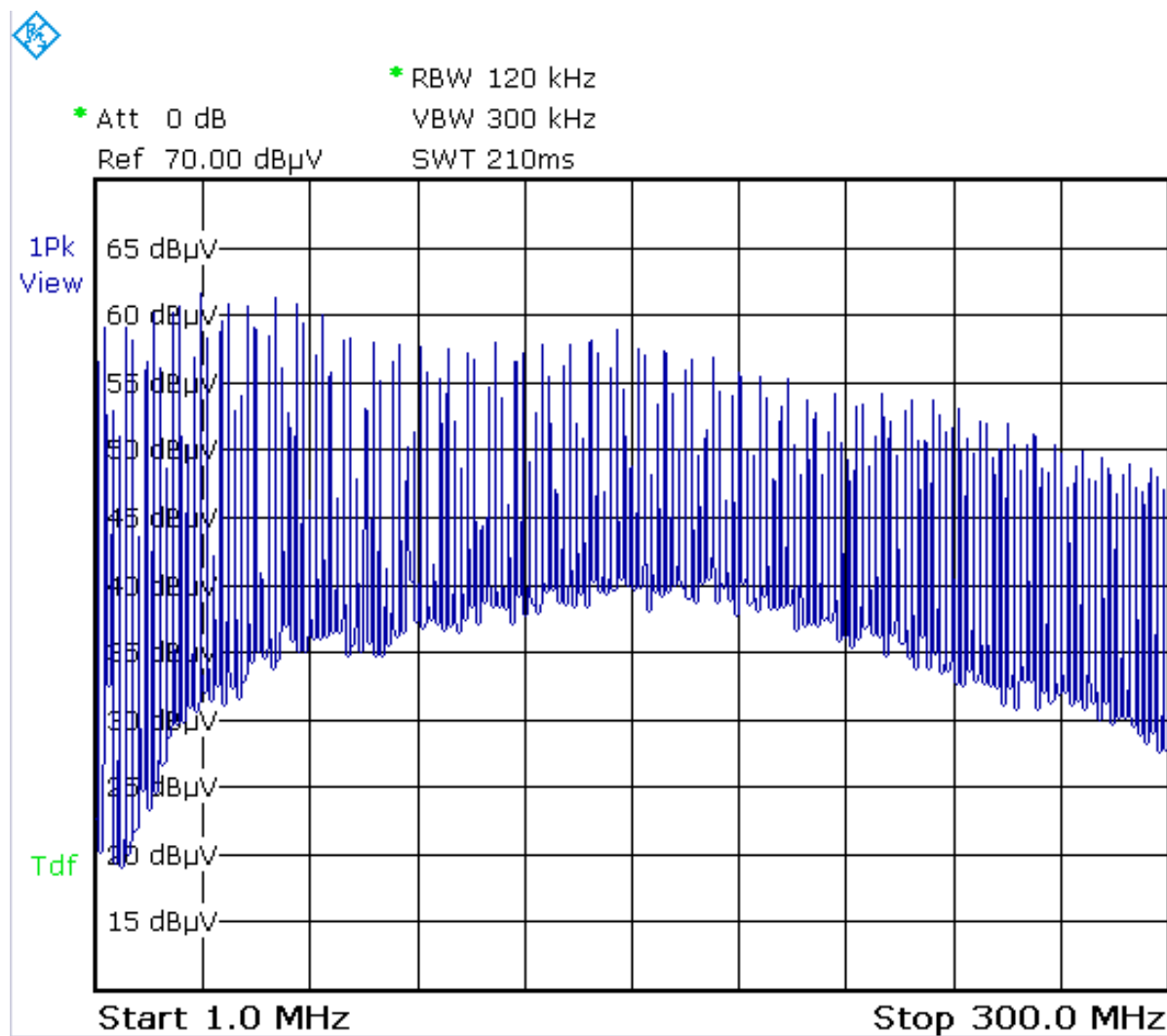
蜷川 顕二
シニアFAE
MPSジャパン



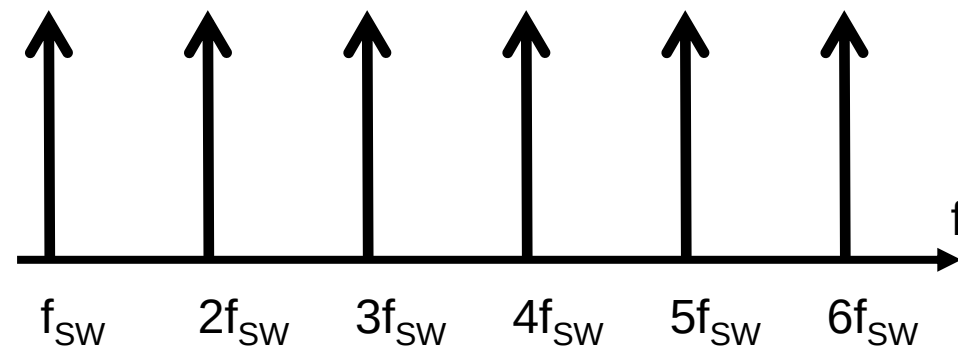
トピック

- 固定周波数**PSU**のエミッションスペクトラム
- **MPS**のモジュールの構造
- モジュールの例での**EMI**障害要因
- 磁気障害への対策
- スペクトラム拡散とその利点
- スイッチング周波数の影響
- Q&A

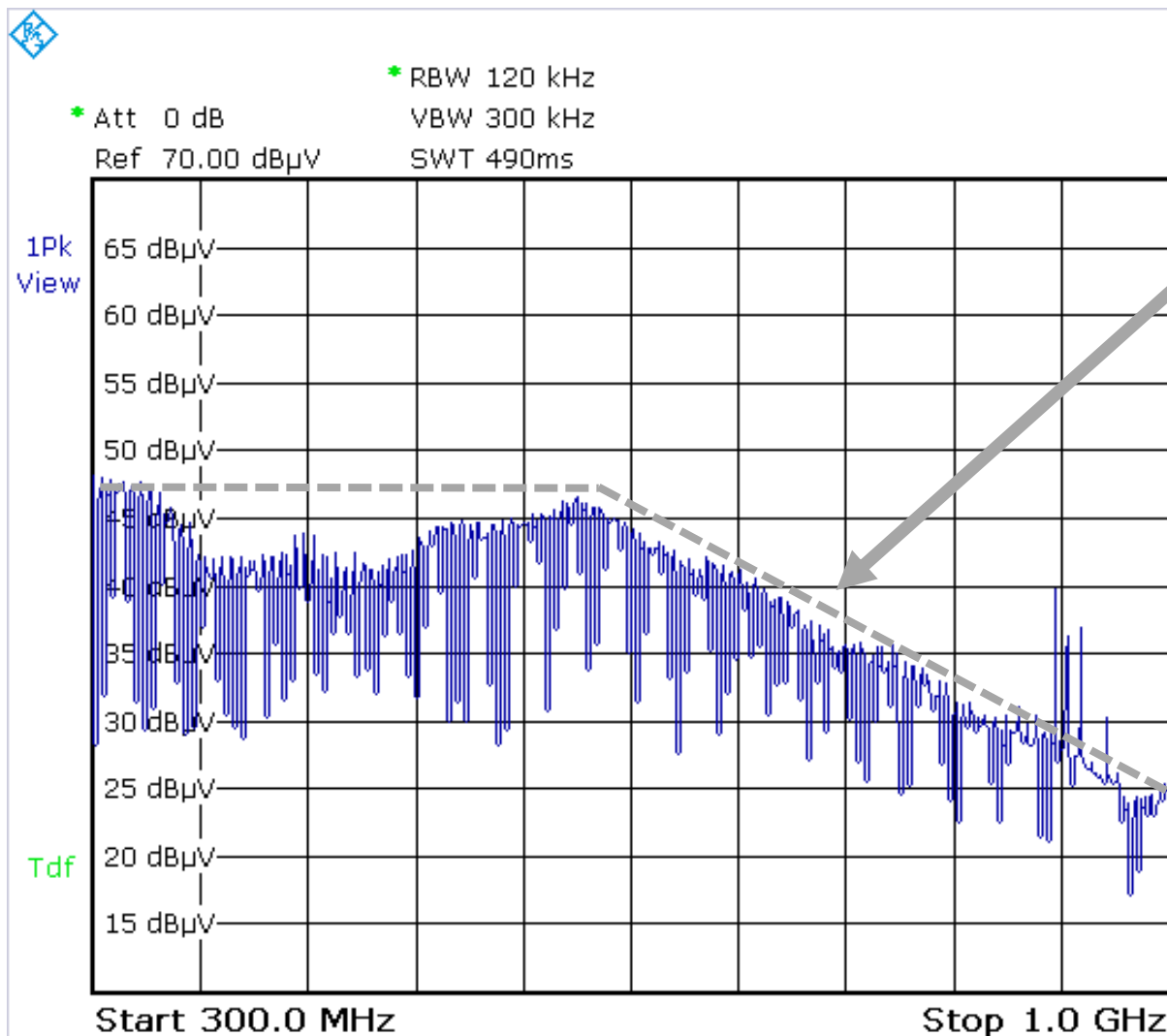
固定周波数PSUのスペクトラム



代表的なPSUスイッチの励磁源により、周波数領域内にフラットで定期的な直線状の「フェンス」が作り出され、スイッチング周波数分の間隔が空きます。



固定周波数PSUのスペクトラム



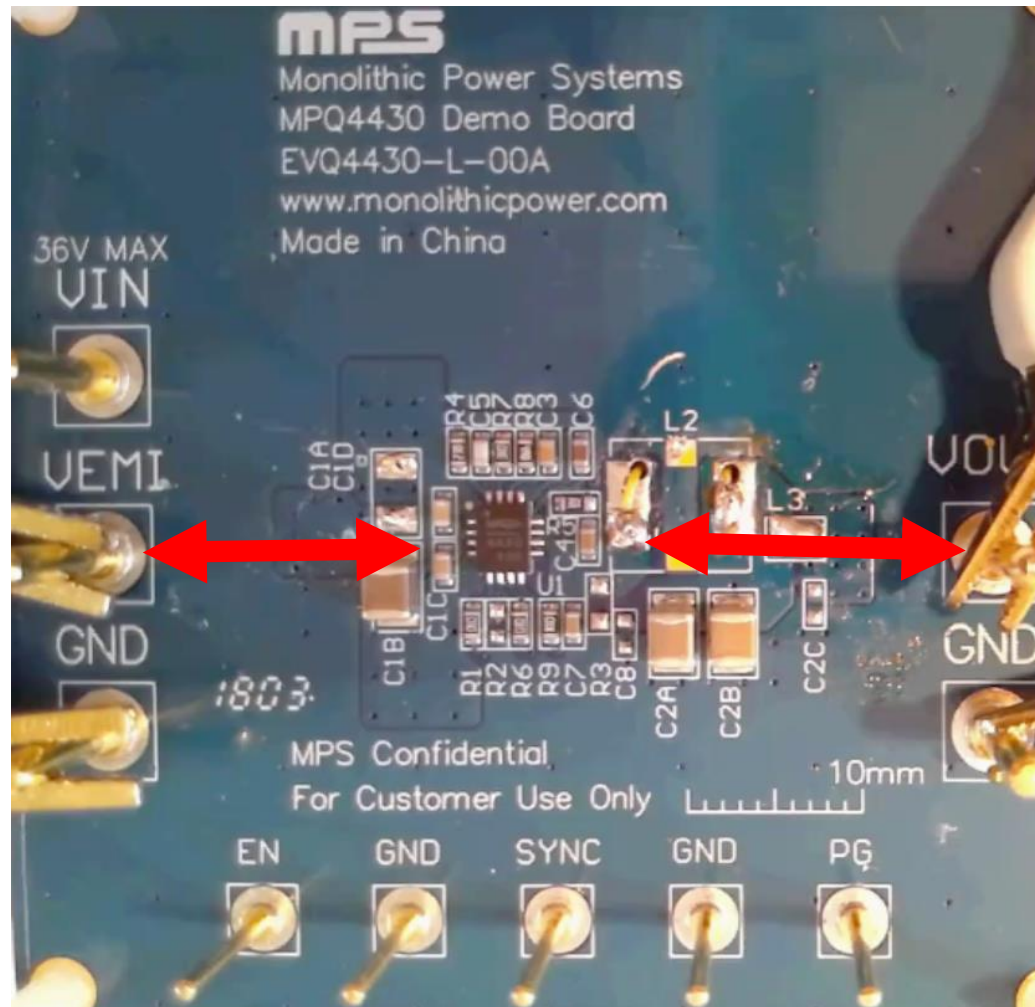
5dB/100MHzで減衰

ある周波数で、高次ローパスのように減衰します。

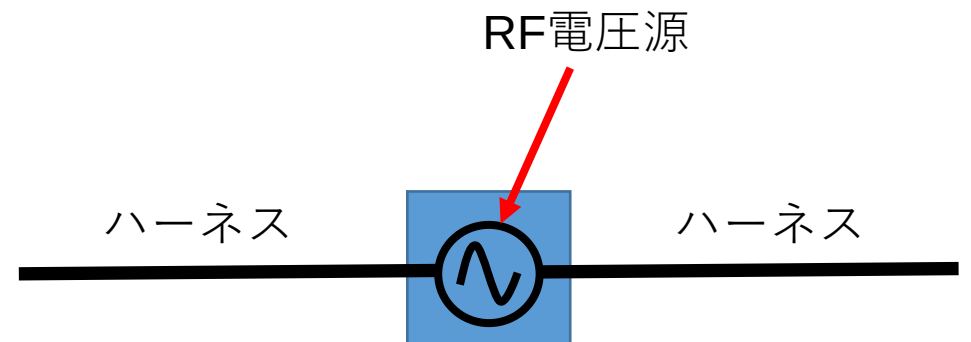
近年の多くのハードスイッチング設計においては、500MHzより上のエネルギーは残されていません。

PSUには高い3桁の数字に到達する高周波があります。高調波のスペクトラム拡散は、文献でほとんど取り上げられていません。

配線を介して電氣的に結合したEMI

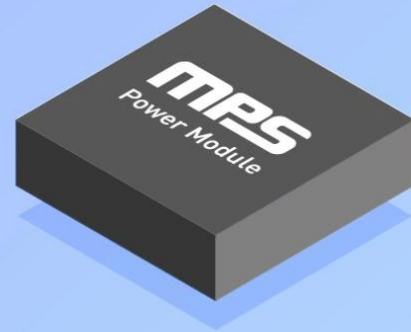


PSUをノイズ発生源として
結合した伝導性EMI



MPSのモジュール – 内側

mPS



MPSのモジュール
構造:
EMIの放射ループを
コンパクトにする
ことが可能。

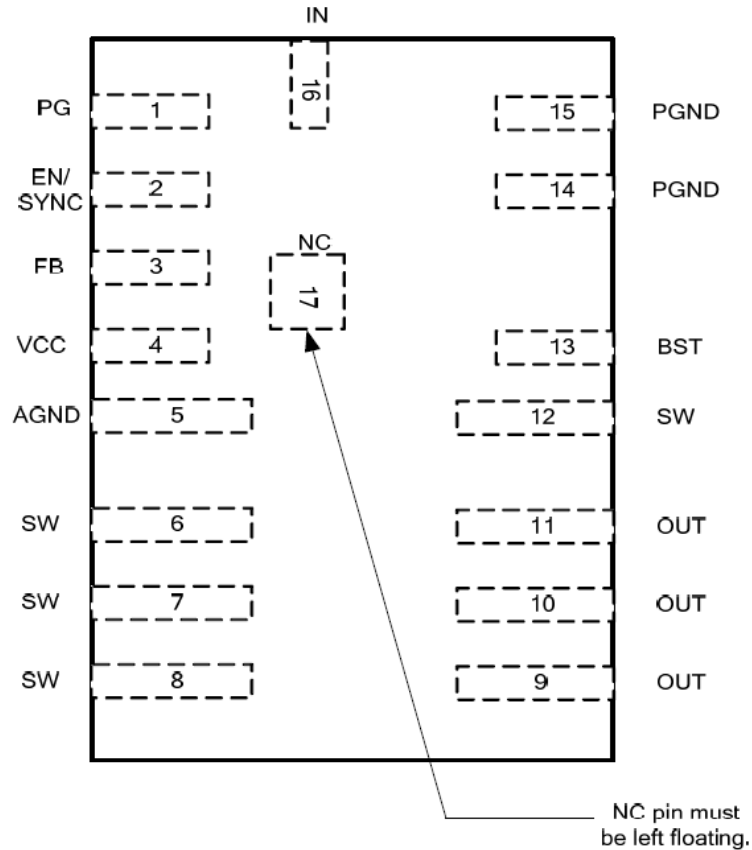
← 動画

mPS

例: MPM3515 - 36V、1.2A、降圧モジュール PCB1

MPM3515 Module Pin-Out

TOP VIEW



QFN-17 (3mmx5mmx1.6mm)

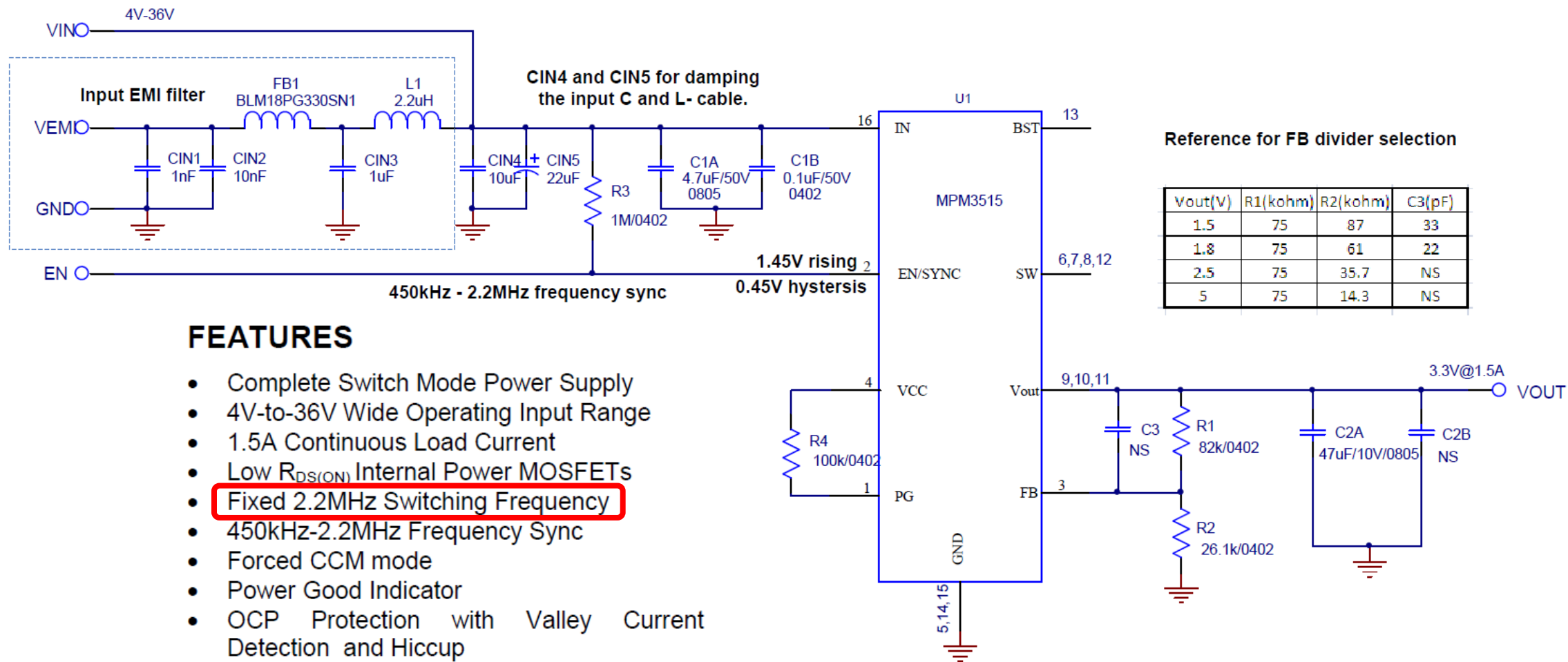


降圧モジュール例:
PCB1

温度最適化済み。
EMIには最適化され
ていない

例: MPM3515 - 36V、1.2A、降压モジュール PCB1

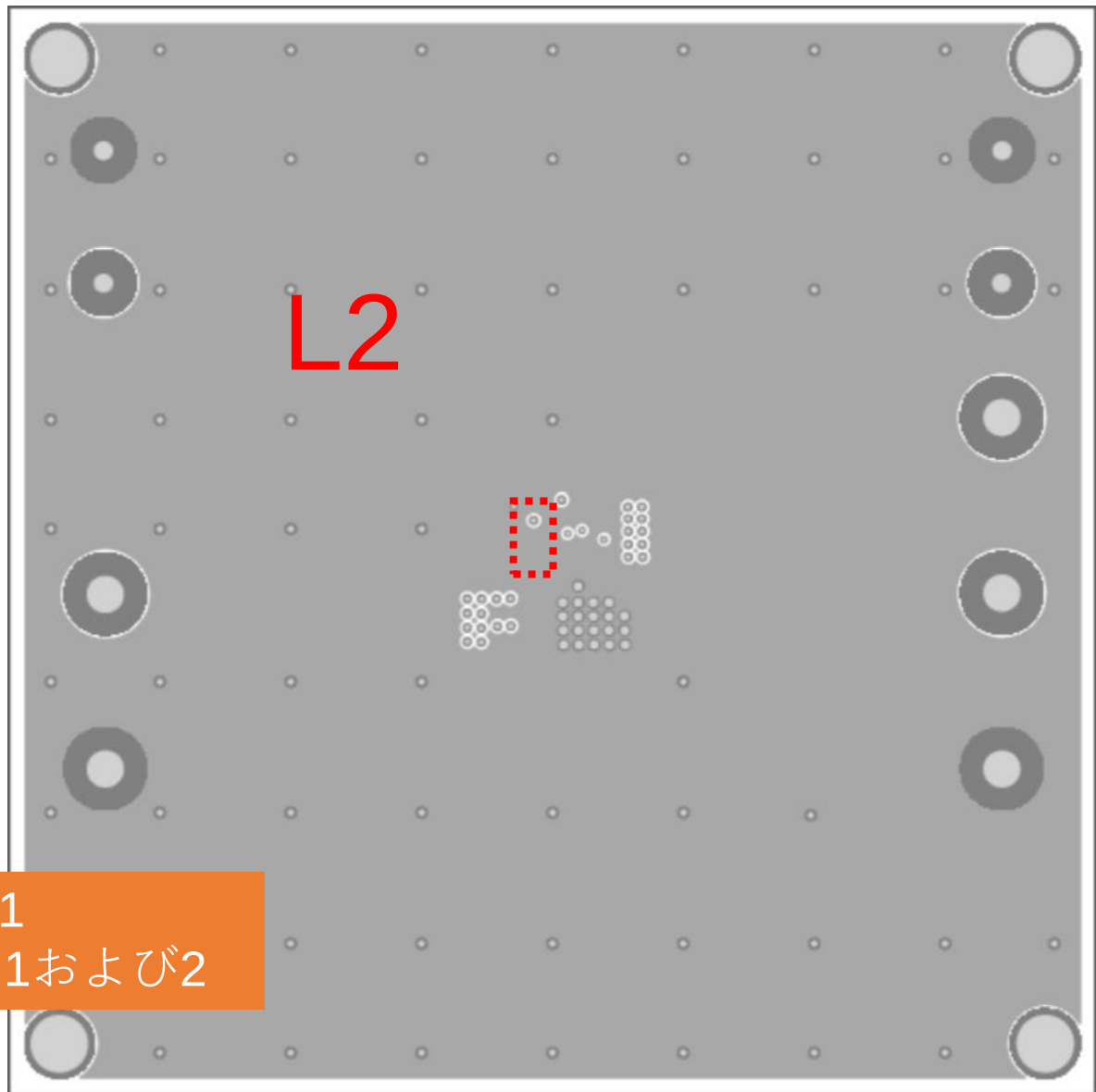
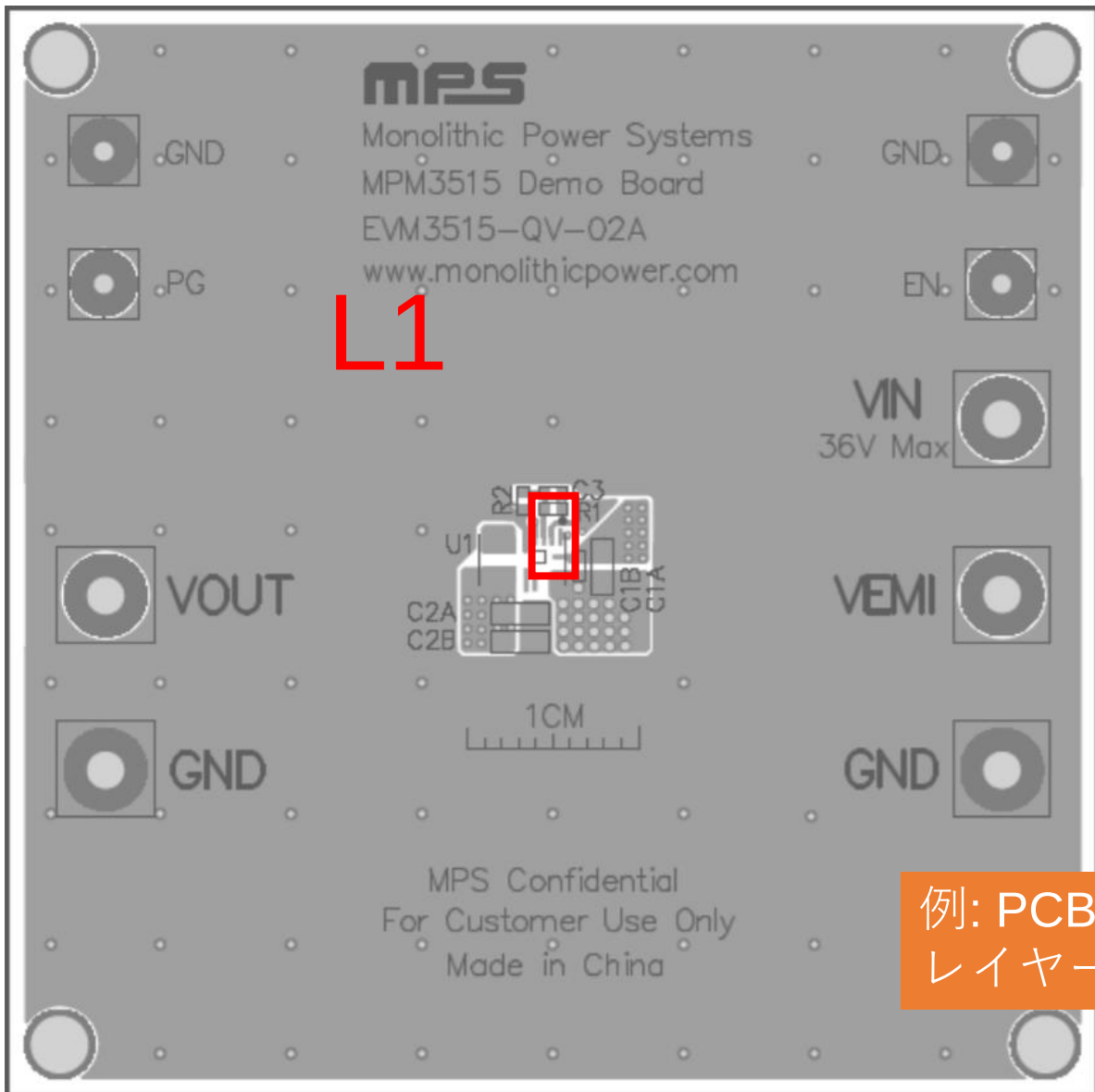
EVALUATION BOARD SCHEMATIC



FEATURES

- Complete Switch Mode Power Supply
- 4V-to-36V Wide Operating Input Range
- 1.5A Continuous Load Current
- Low $R_{DS(ON)}$ Internal Power MOSFETs
- **Fixed 2.2MHz Switching Frequency**
- 450kHz-2.2MHz Frequency Sync
- Forced CCM mode
- Power Good Indicator
- OCP Protection with Valley Current Detection and Hiccup
- Thermal Shutdown
- Output Adjustable from 0.8V
- Available in QFN-17 (3mmx5mmx1.6mm) Package
- Available in AEC-Q100 Grade 1

MPM3515 モジュール PCB 1



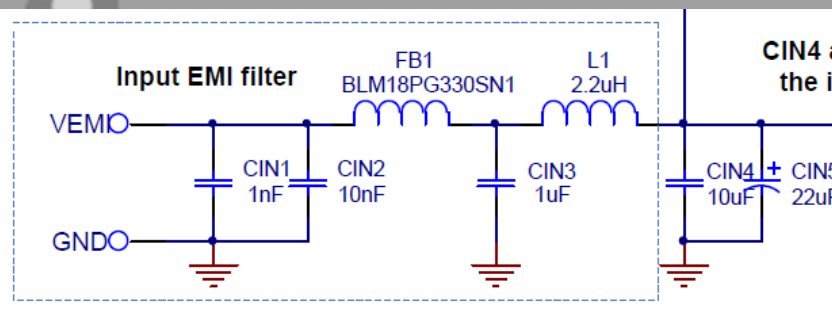
例: PCB 1
レイヤー1および2

MPM3515 モジュール PCB 1

例: PCB 1
レイヤー3 および 4

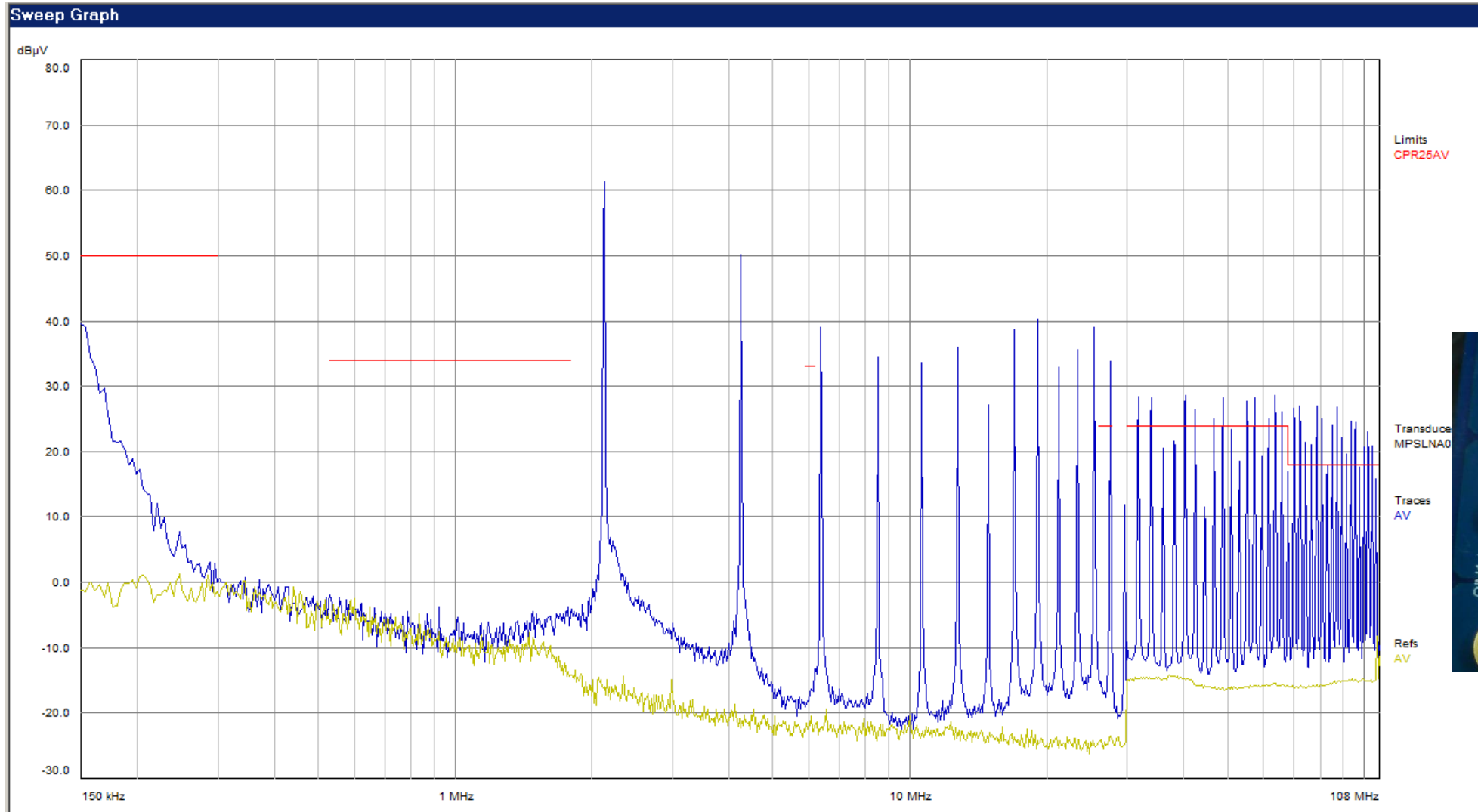
L3

L4



MPM3515 モジュール PCB 1

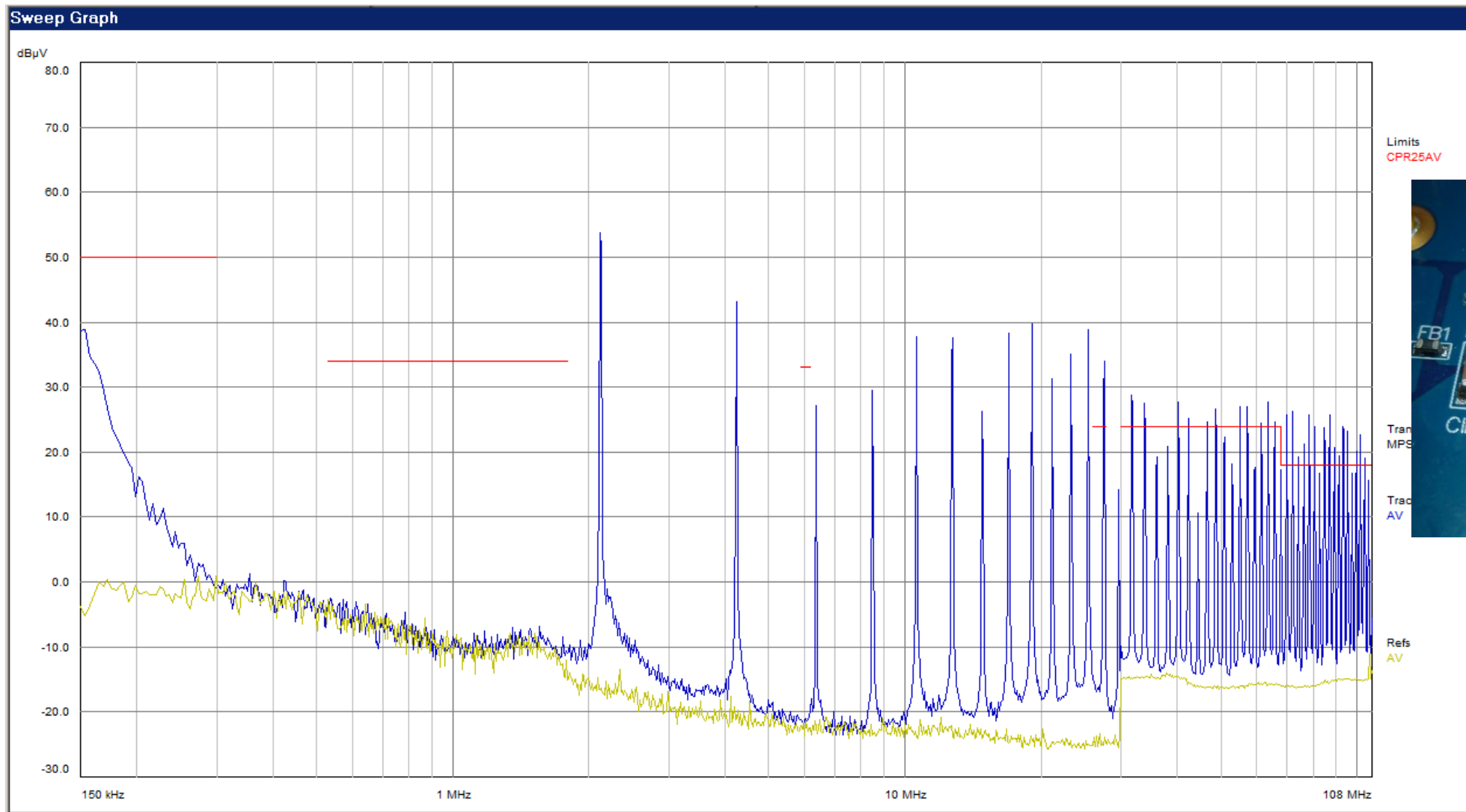
– 12.8V、3V3、1A1、CE AV、150kHz~108MHz、PCB 1



PCB 1:
フィルタ付近に
設置されたCIN4
による
不十分なEMI対策



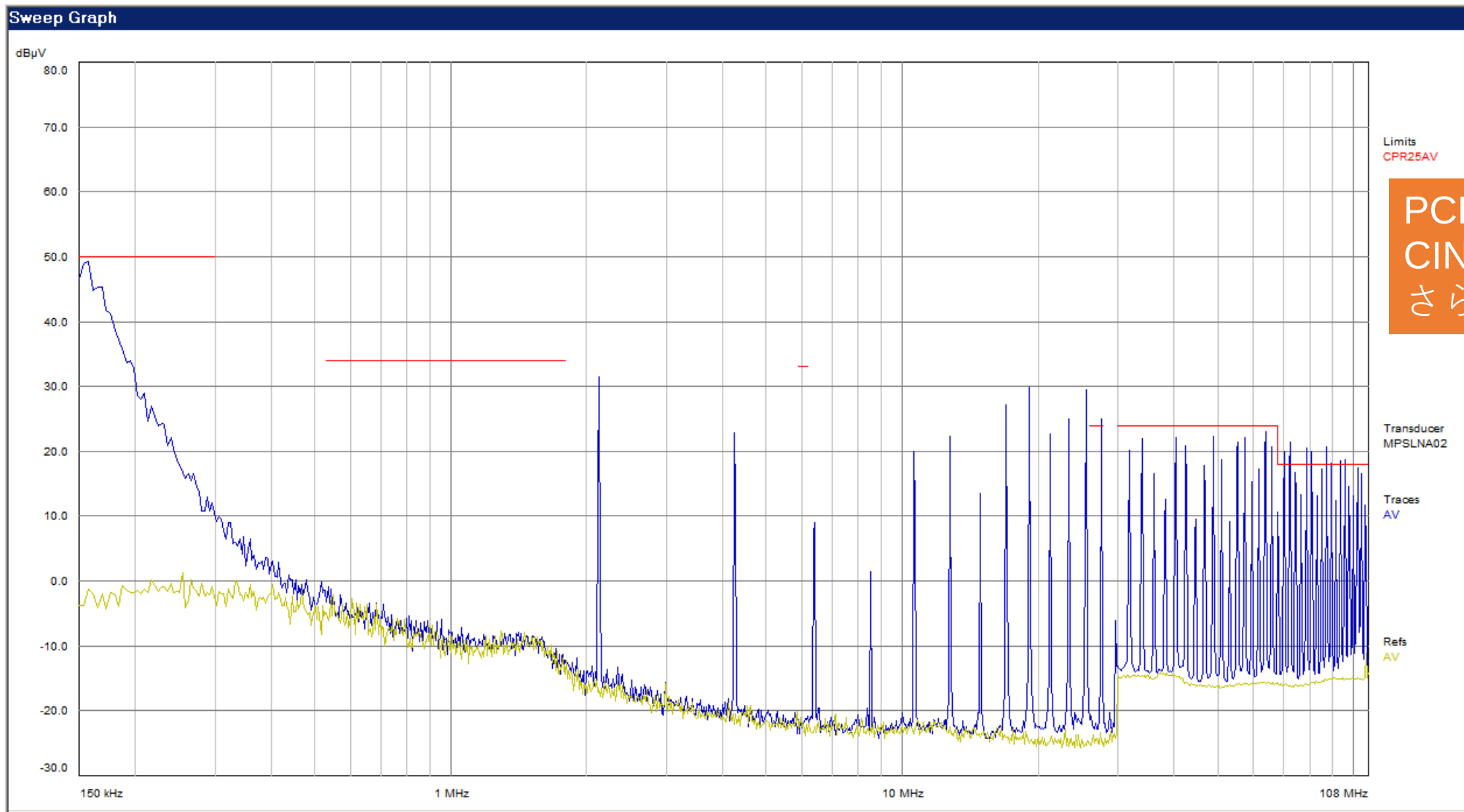
MPM3515 モジュール PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、CE AV、 150kHz~108MHz BOT層のCIN4を移動



PCB 1:
CIN4を動かした
結果
改善が見られた

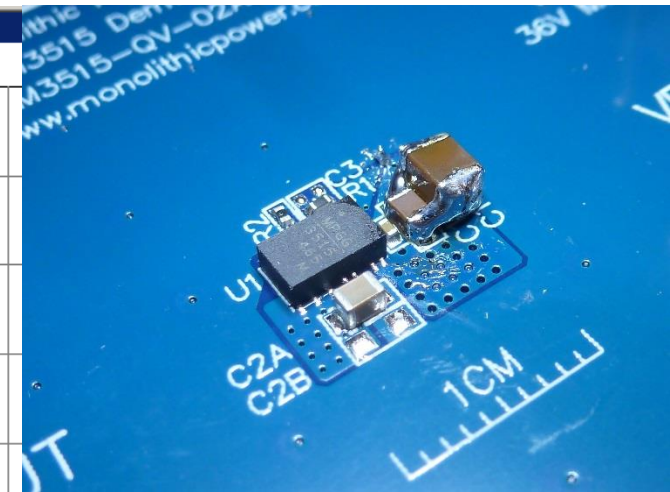
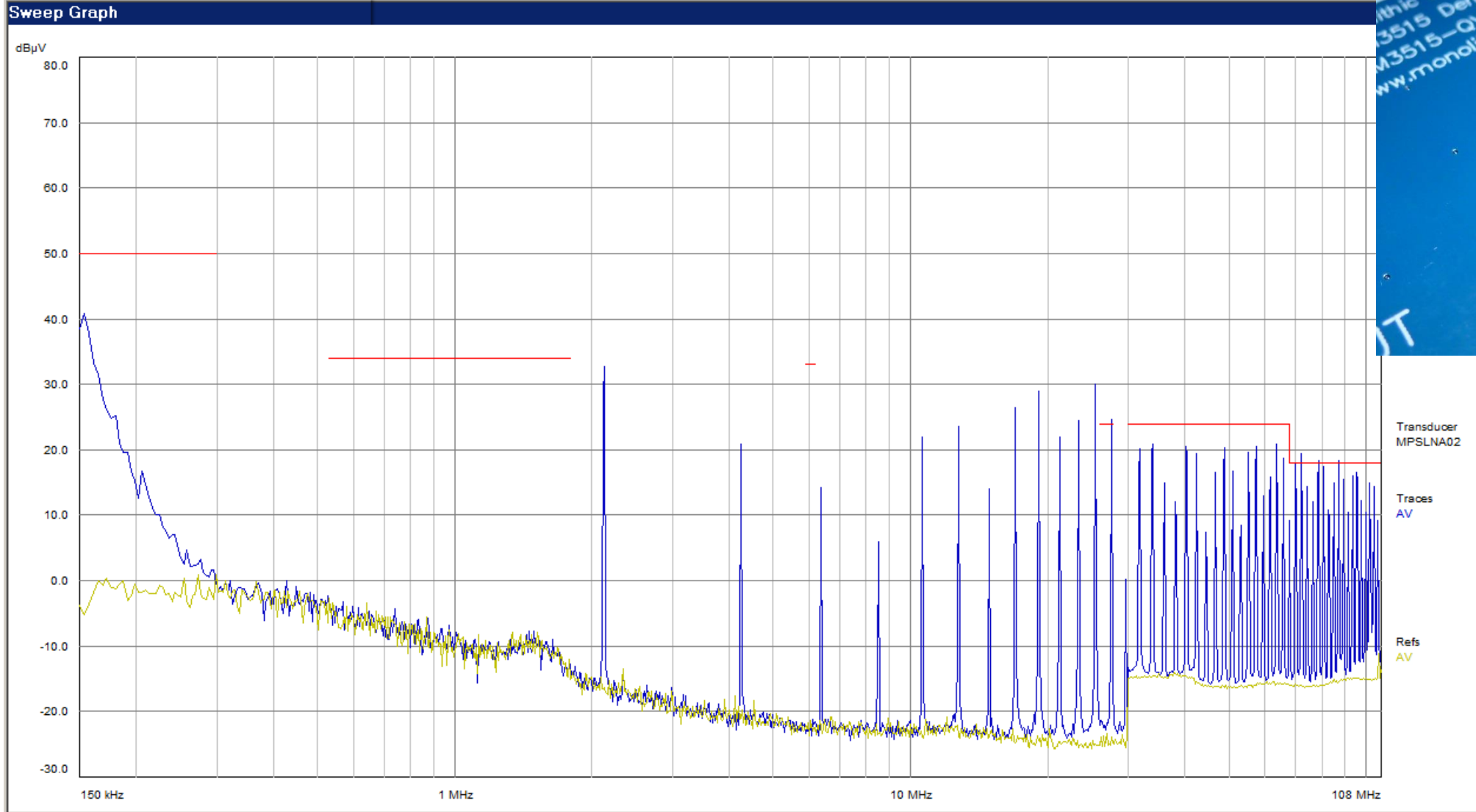


MPM3515 モジュール PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、CE AV、150kHz~108MHz、PCB 1 CIN4なし



PCB 1:
CIN4を除去後
さらに改善が見られた

MPM3515 モジュール PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、CE AV、150kHz~108MHz CIN4をTOP層に移動

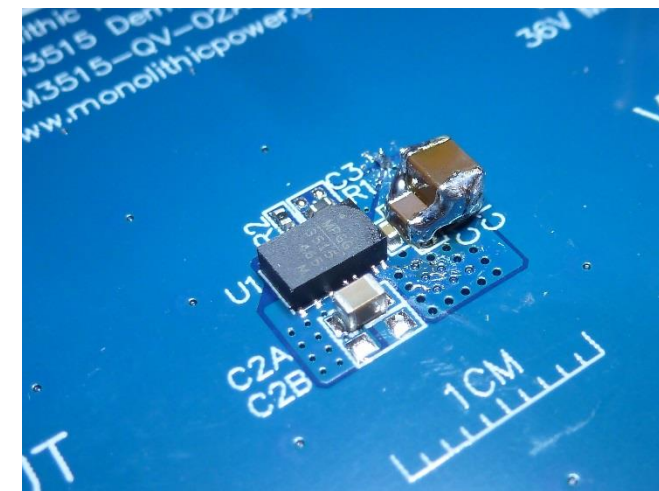
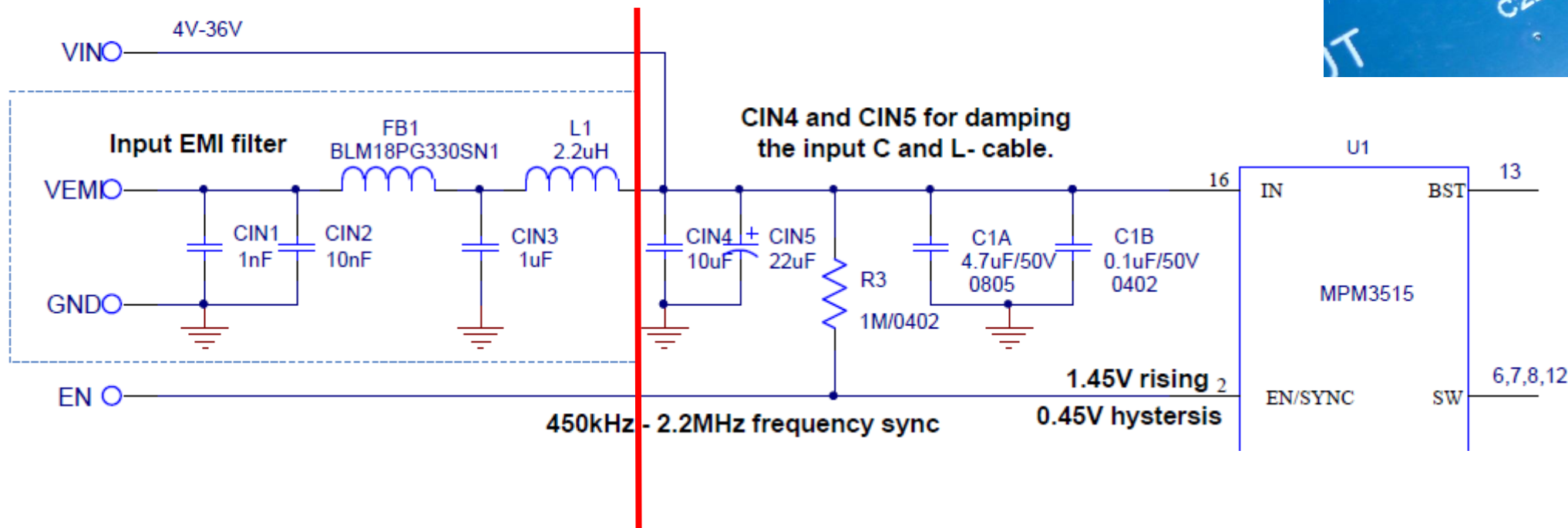


PCB 1:
CIN4を
上層に移動

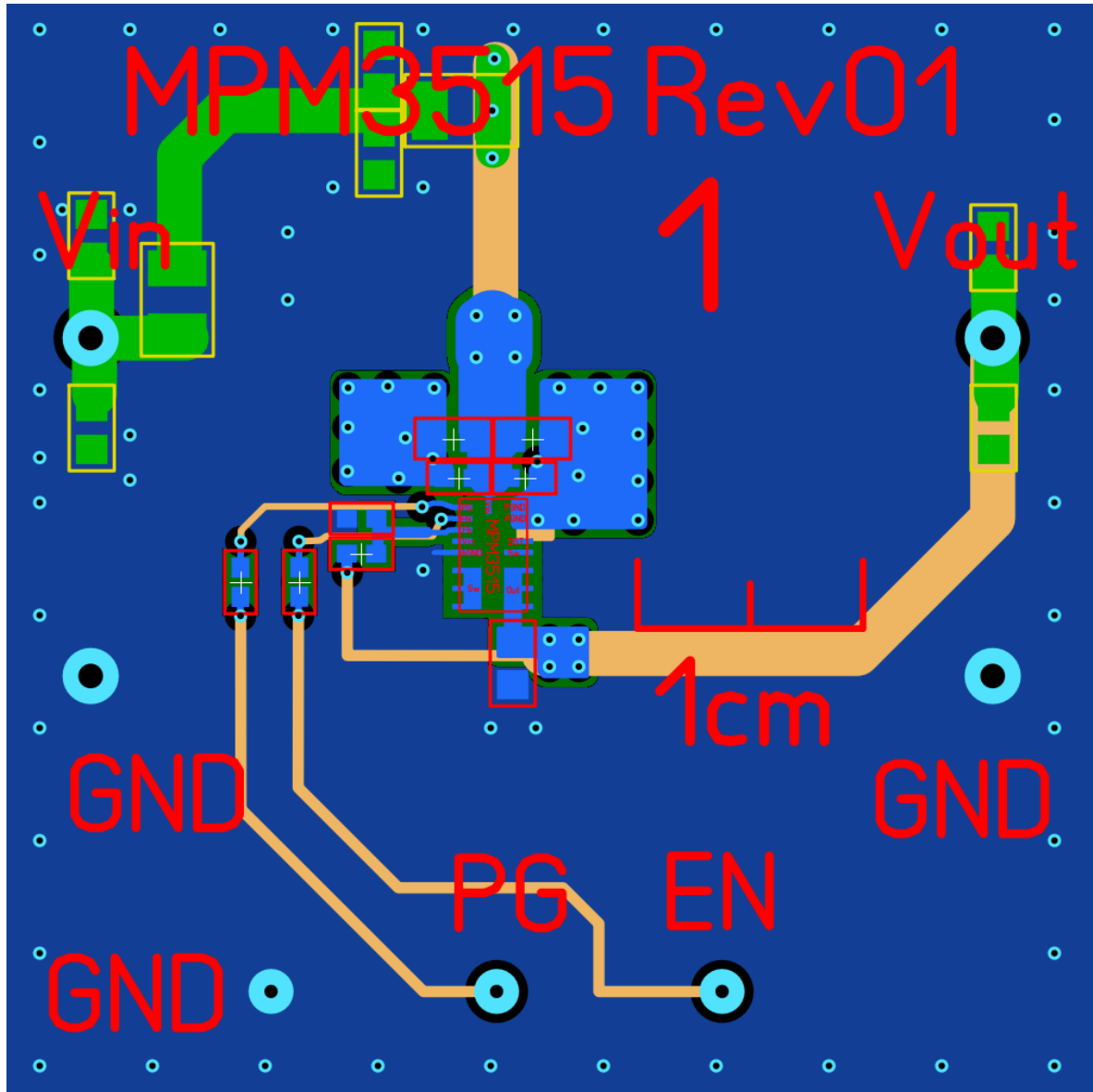
MPM3515 モジュール PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、CIN4を上層に移動

PSU部とフィルタ部を接続するインダクタを常に置くようにしてください。

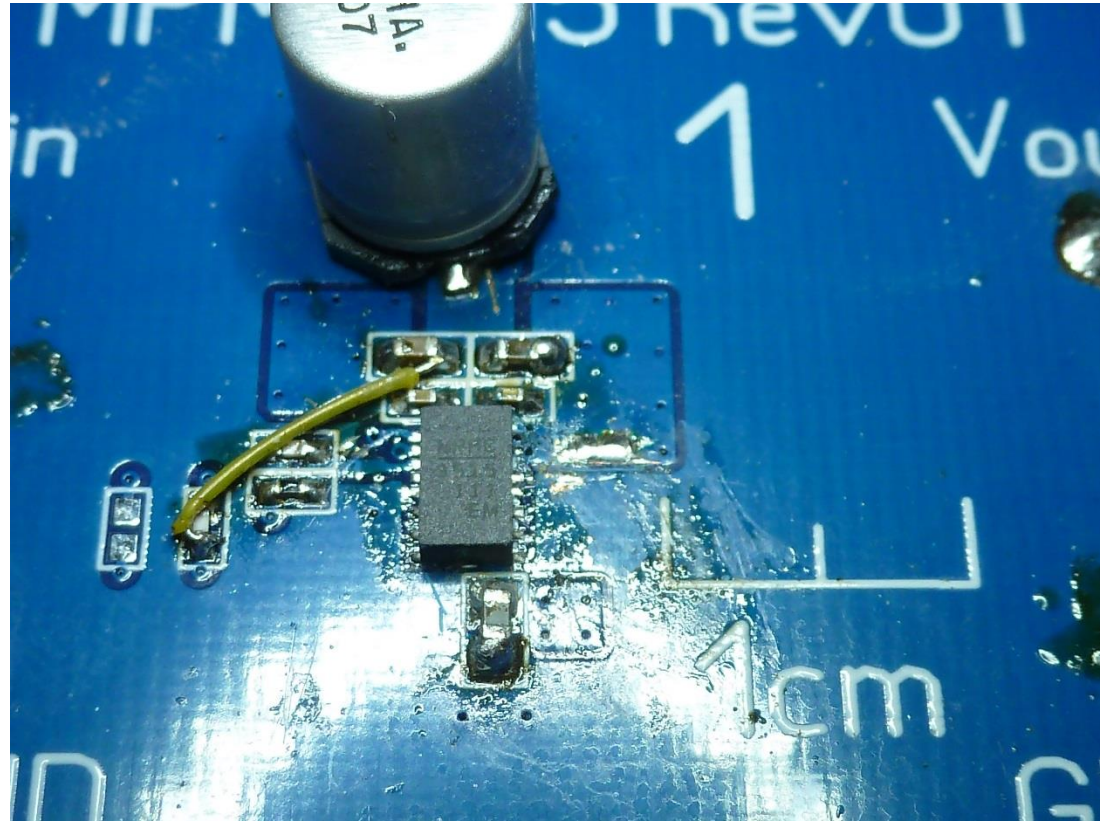
EVALUATION BOARD SCHEMATIC



MPM3515 モジュール PCB 2

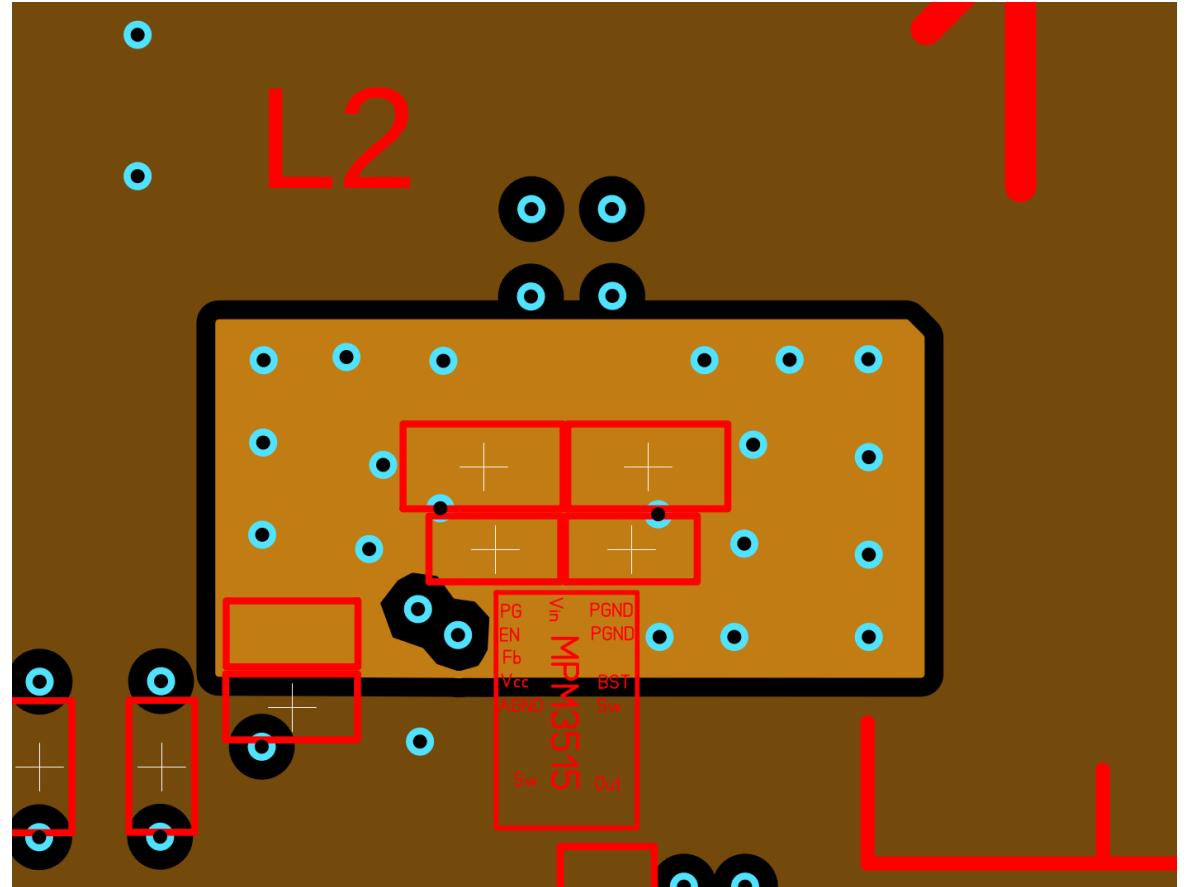
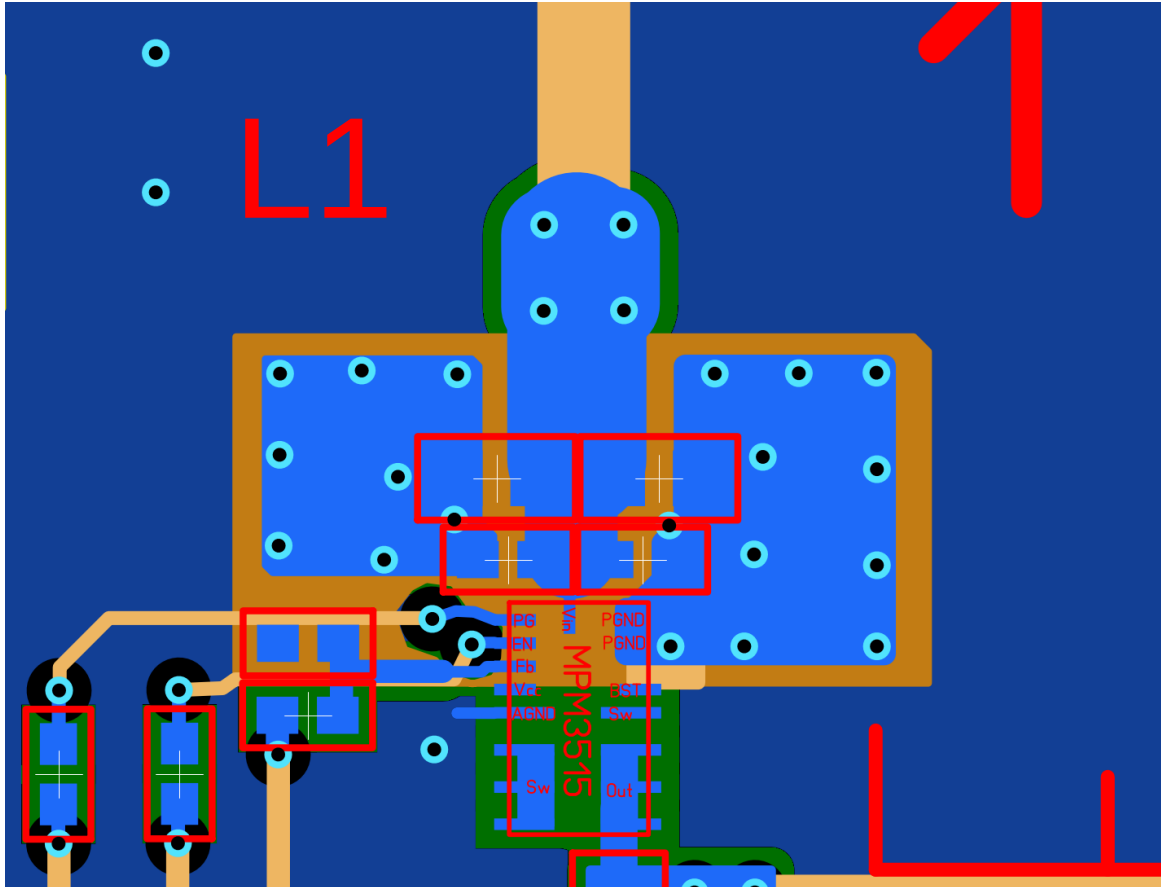


例: PCB 2
サンプルモジュール。
EMI最適化済み。TOP層



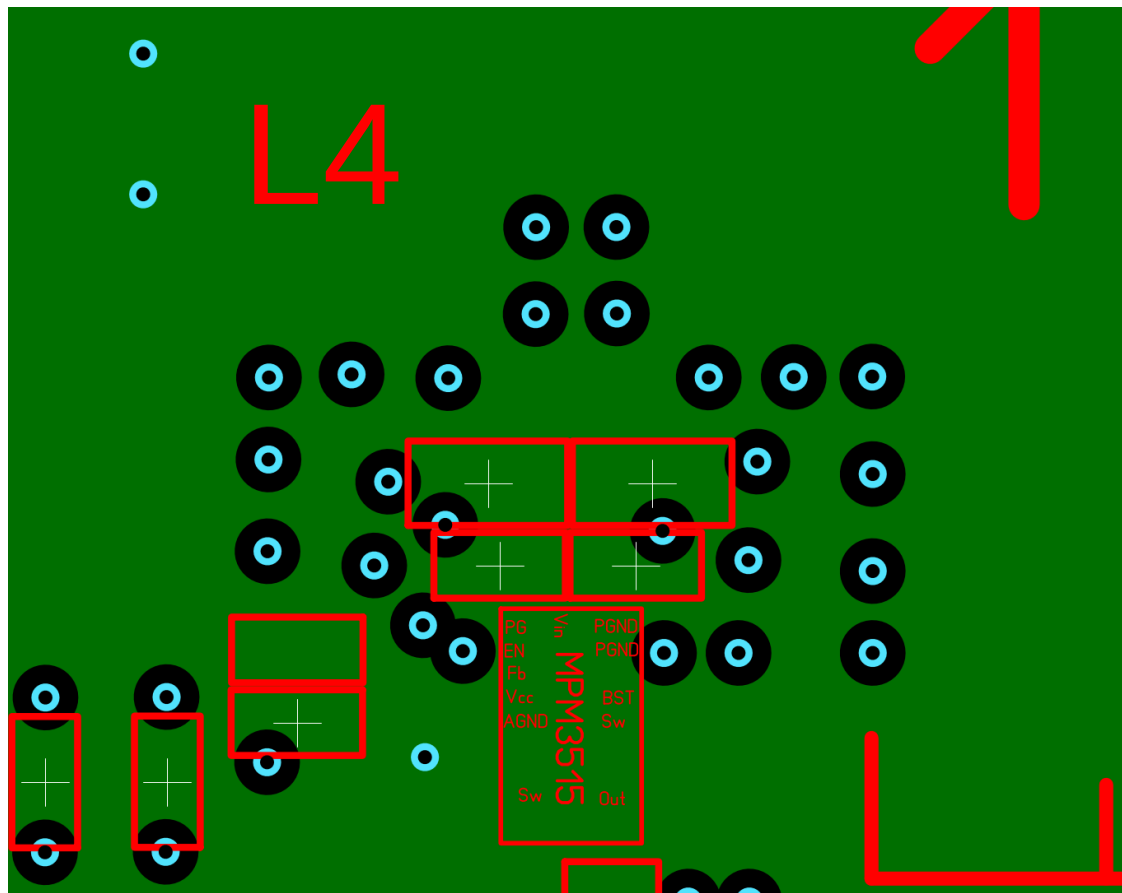
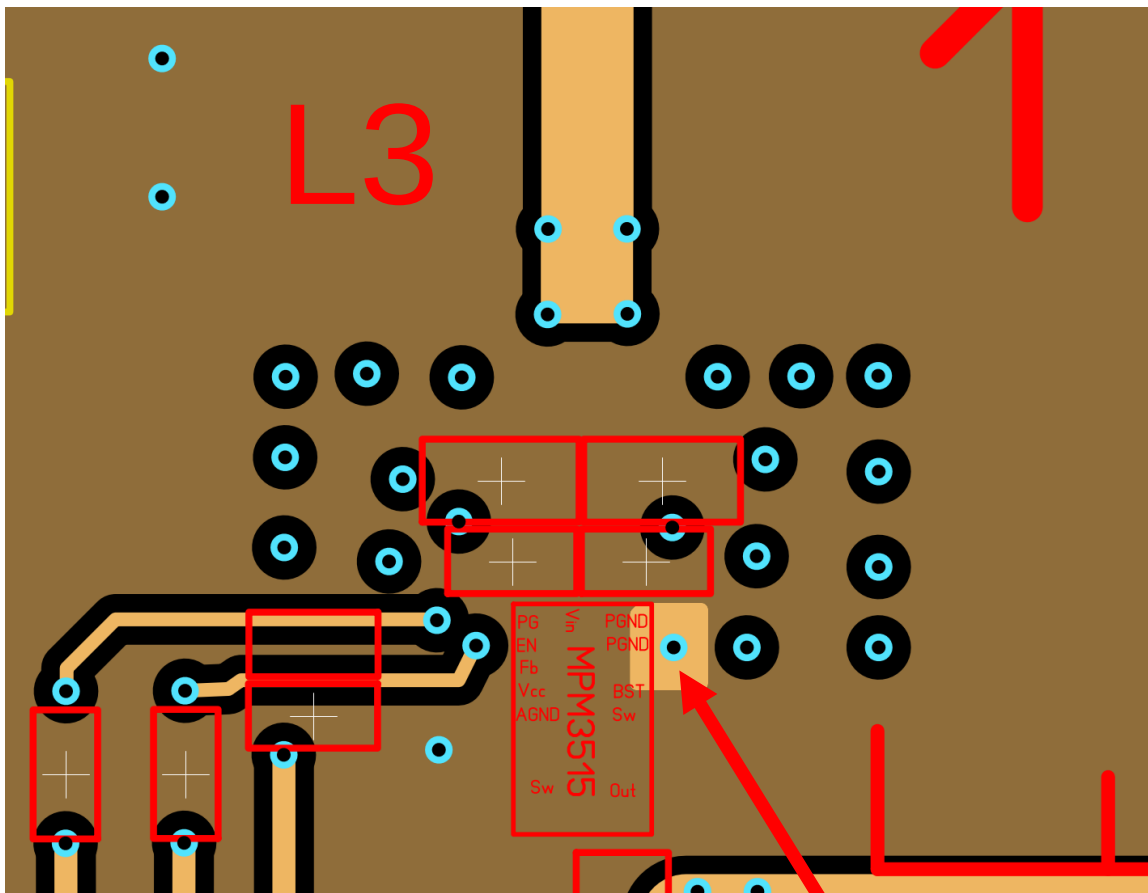
MPM3515 モジュール PCB 2

例: PCB 2
レイヤー1および2



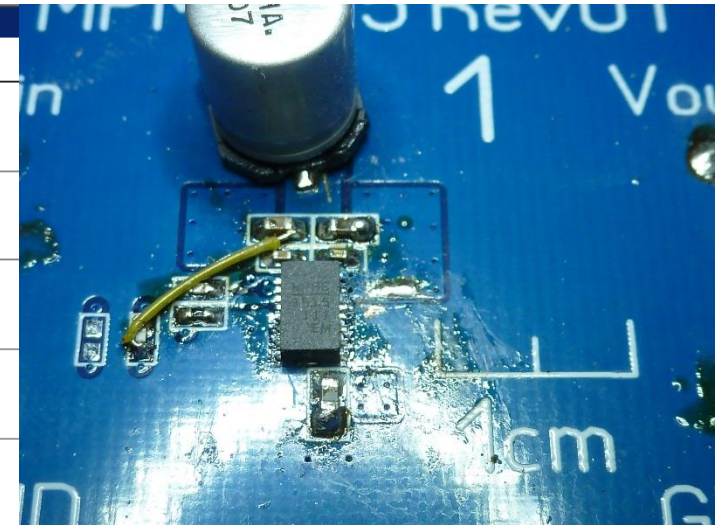
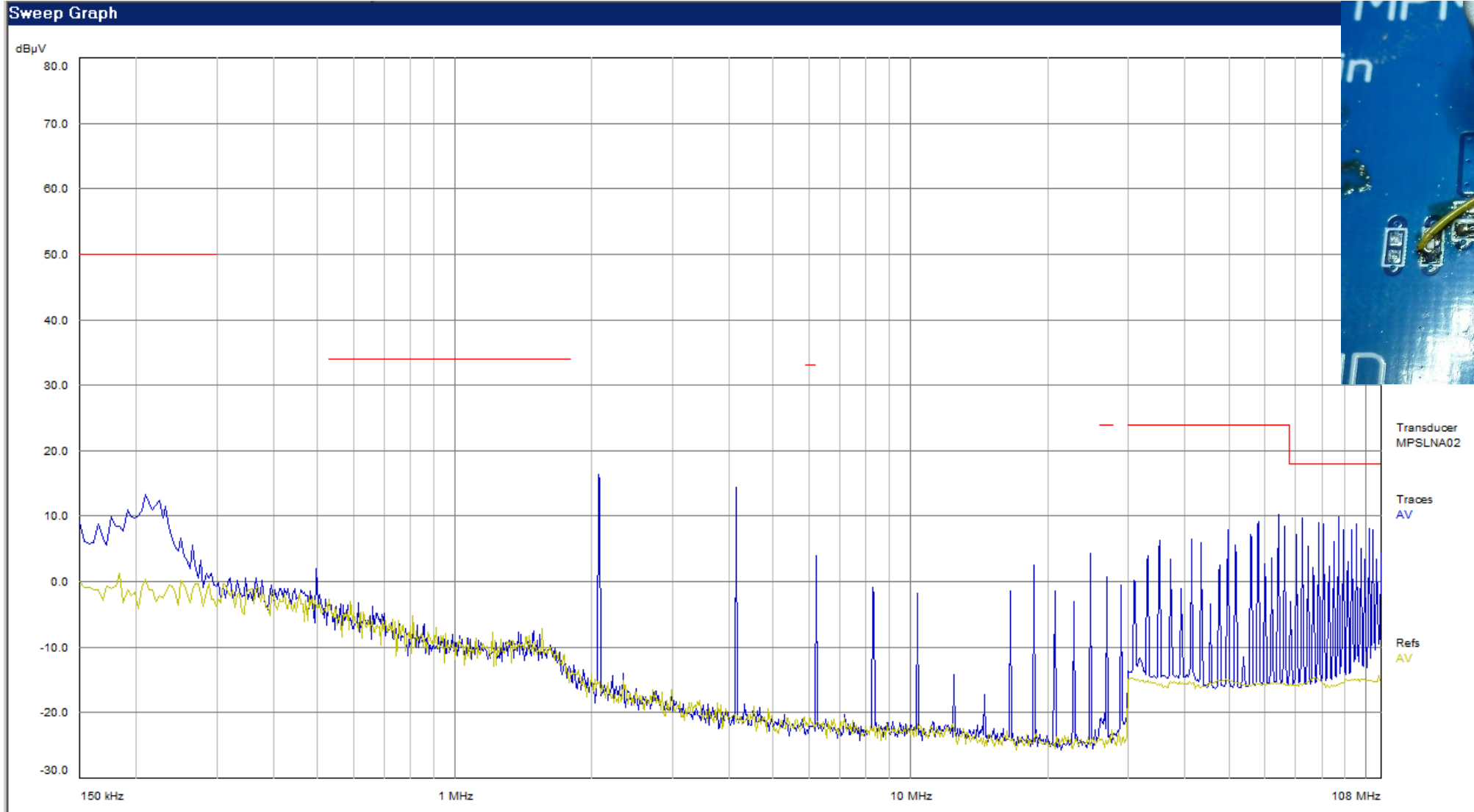
MPM3515 モジュール PCB 2

例: PCB 2
レイヤー3および4



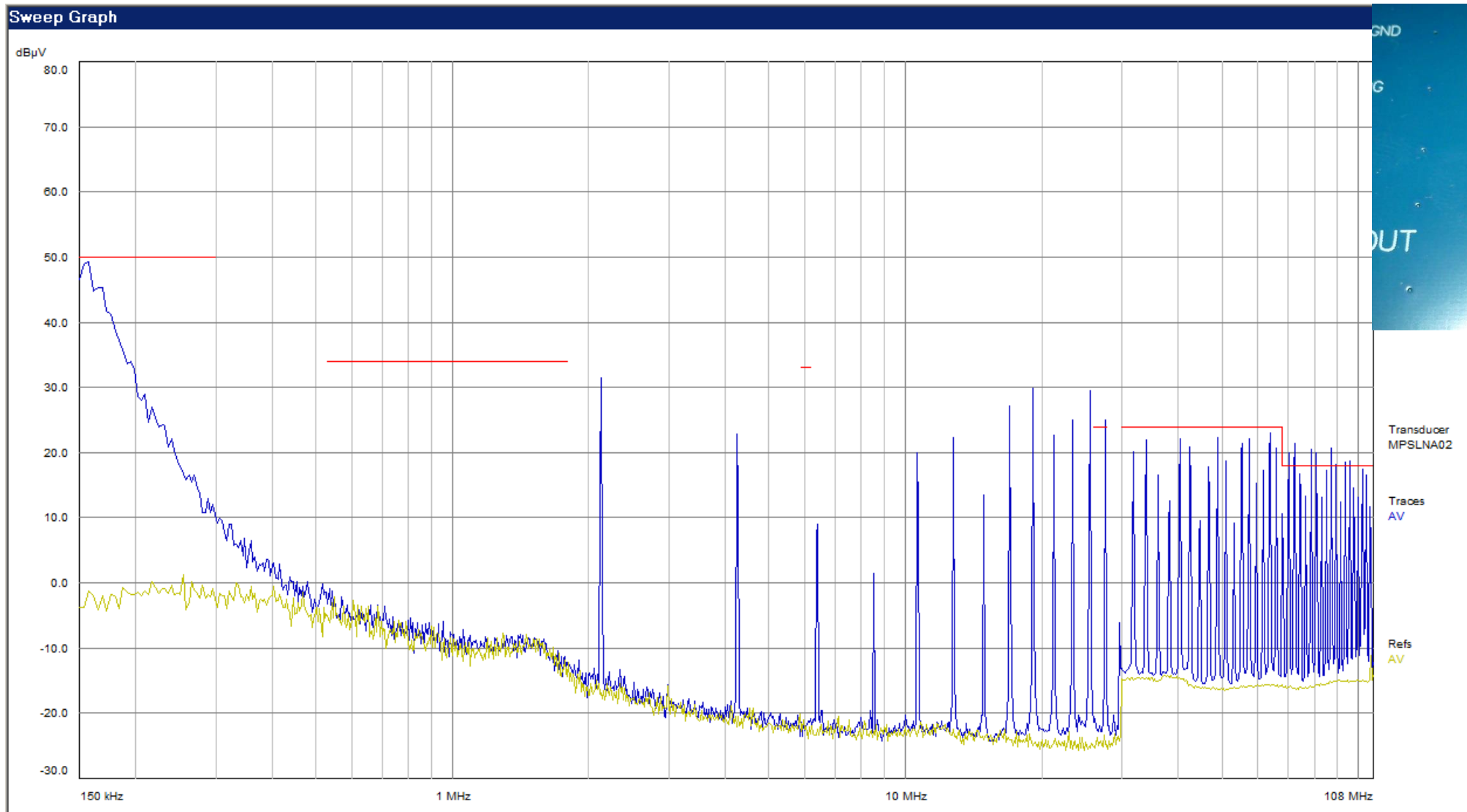
外部GNDプレーンへのシングルPGND接続

MPM3515 モジュール PCB 2 – 12.8V、3V3、1A1、CE AV、150kHz~108MHz



PCB 2:
特にFM範囲
において、
ずっと静かにな
った

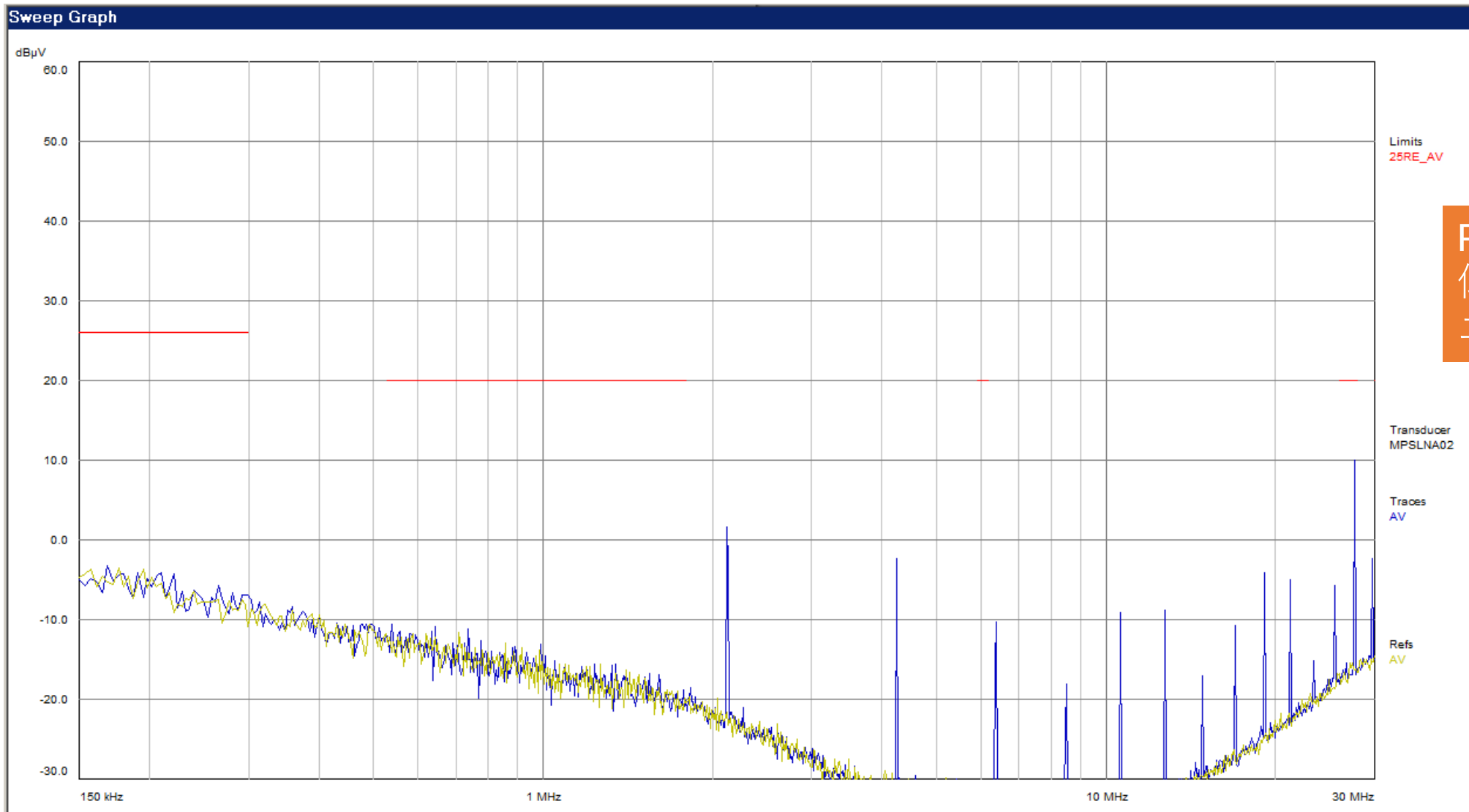
比較のため。MPM3515 PCB 1 CIN4無し



PCB 1:
比較のため
CIN4を削除
したもの

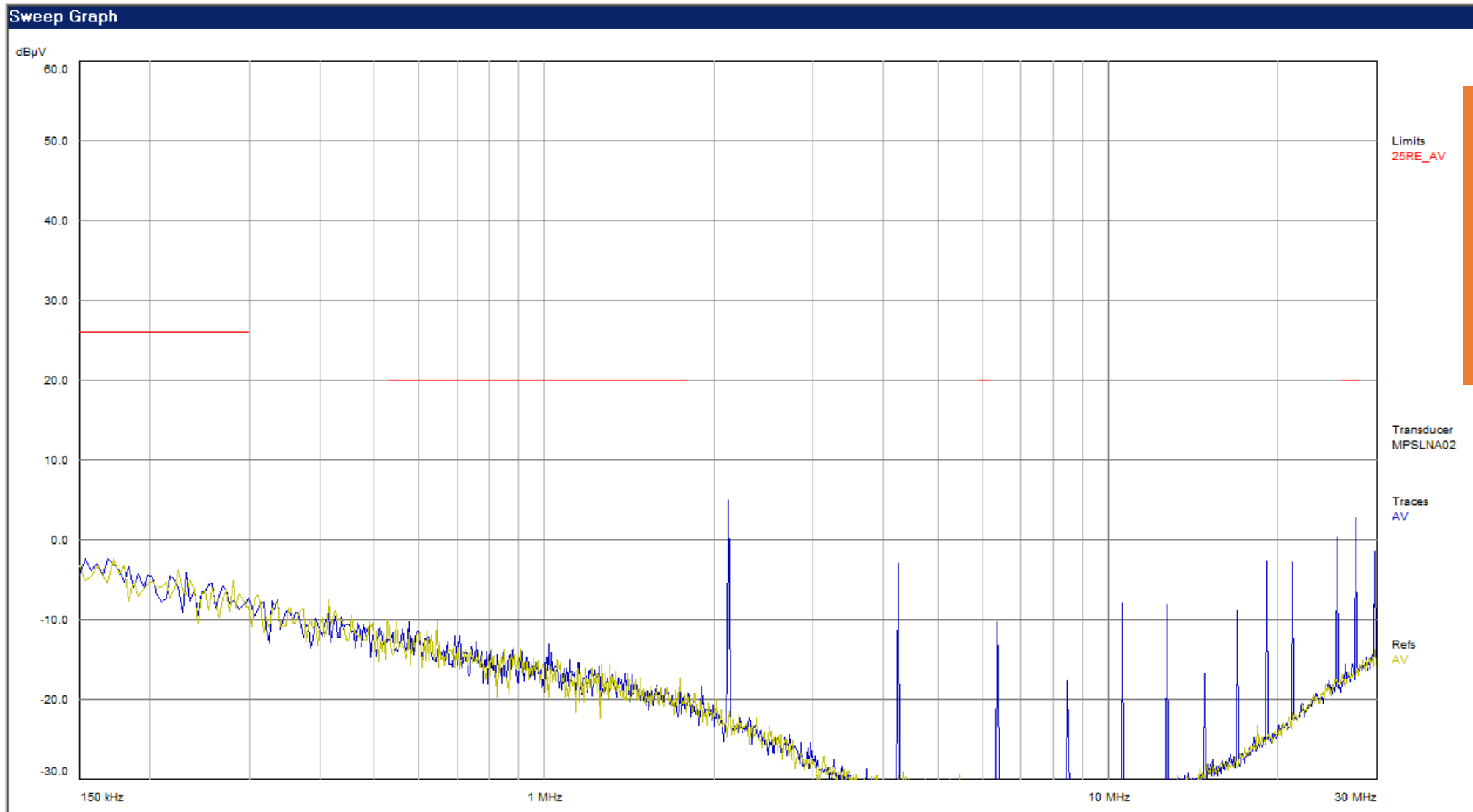
MPM3515 モジュール PCB 1

– 12.8V、3V3、1A1、RE モノポール AV、150kHz～30MHz



PCB 1:
低周波数放射性
エミッション

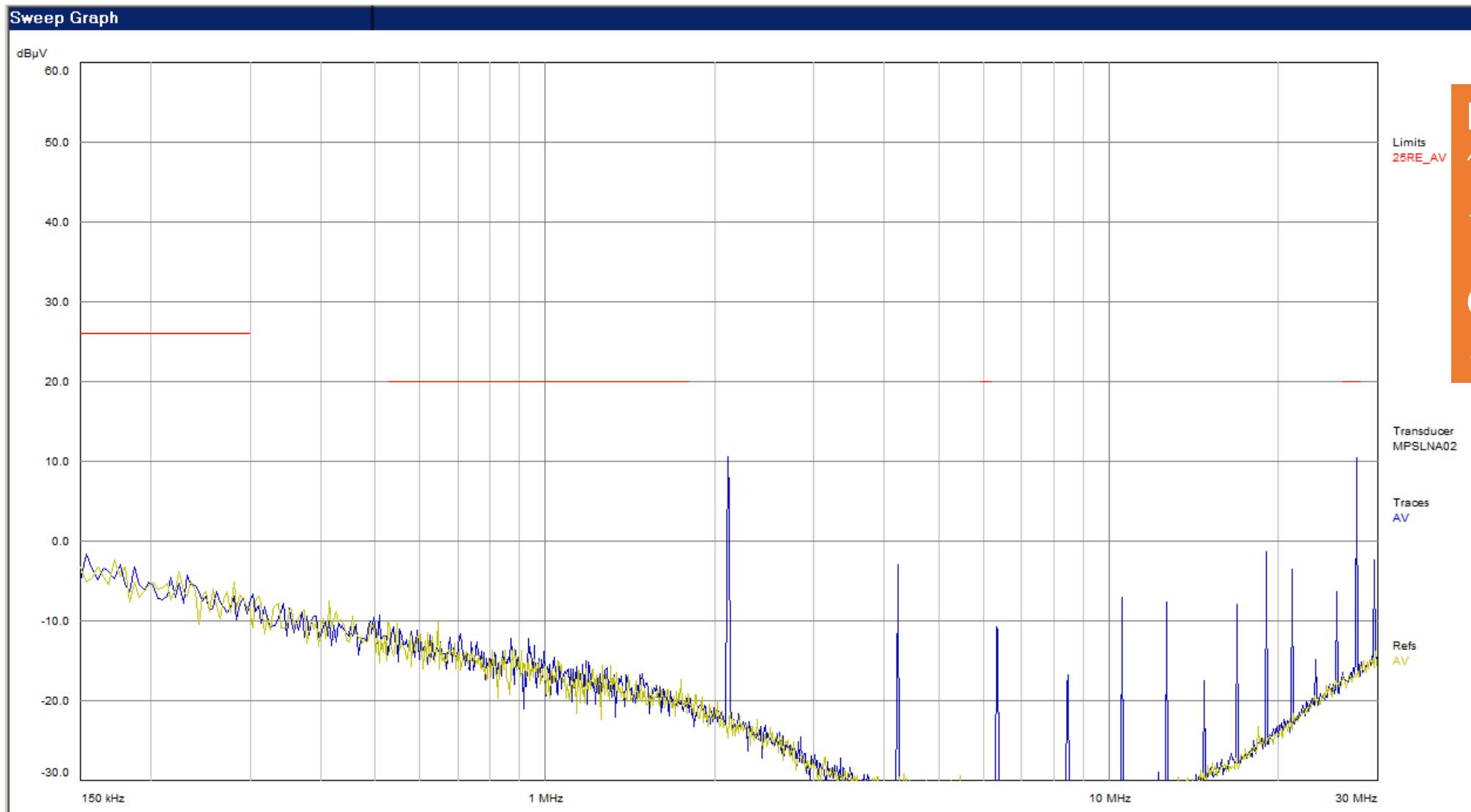
MPM3515 モジュール PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、RE モノポール AV、150kHz～30MHz CIN4なし



PCB 1:
低周波数放射性
エミッション。

CIN4除去後も
あまり変わらない

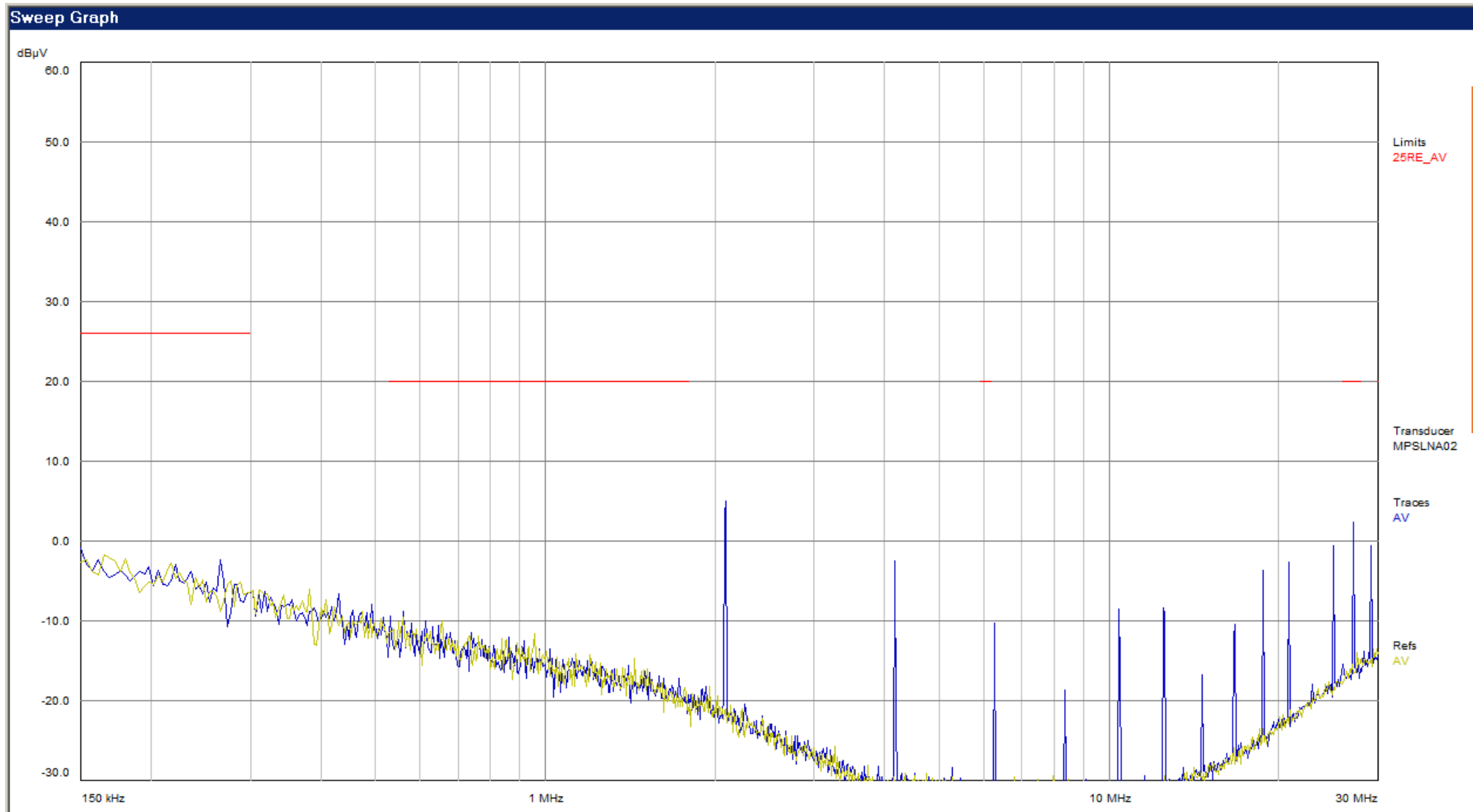
MPM3515 モジュール PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、RE モノポールAV、150kHz～30MHz CIN4をTOP層に移動



PCB 1:
低周波数放射性
エミッション。

CIN4を移動しても
あまり変わらない

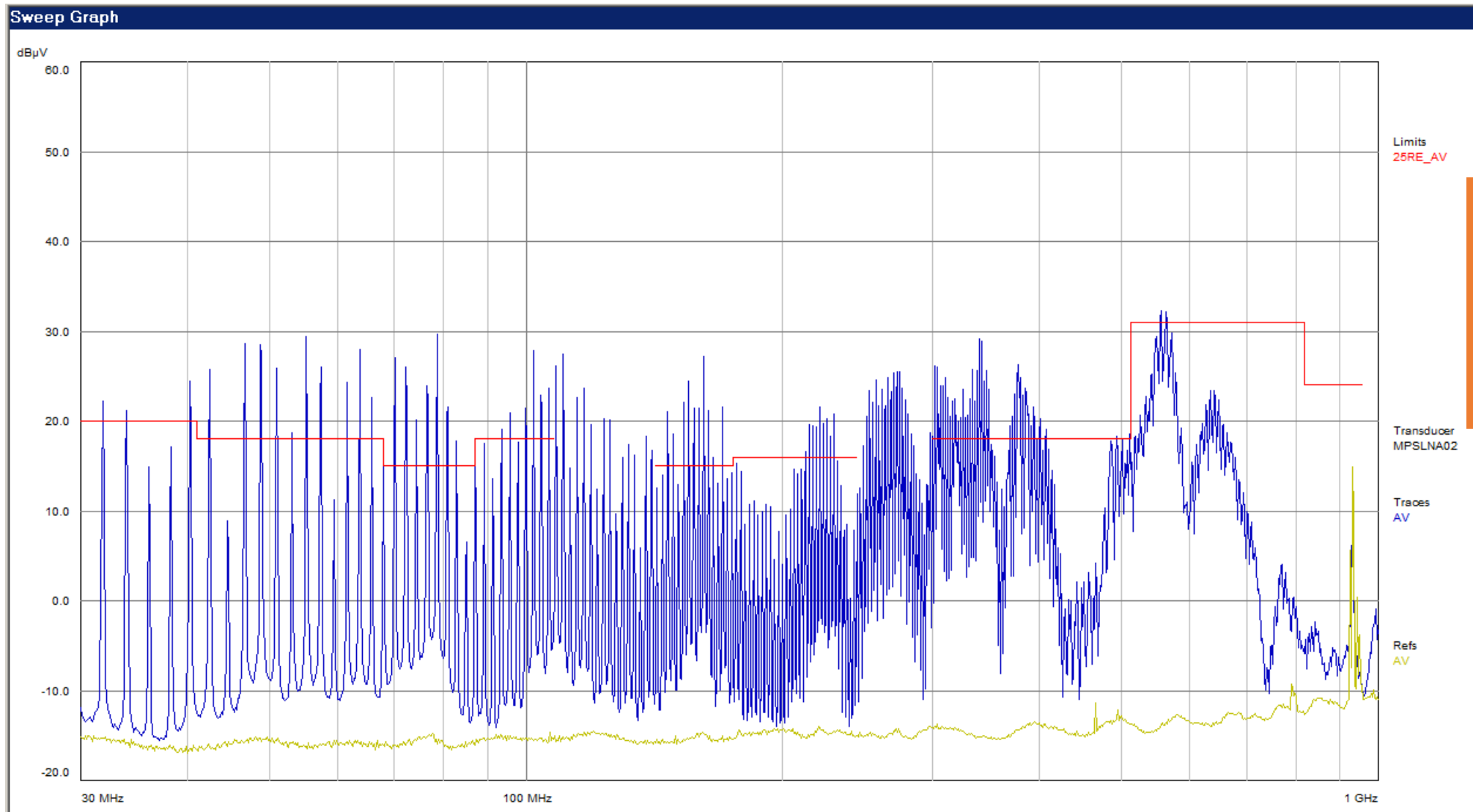
PCB 2 – 12.8V、3V3、1A1、RE モノポールAV、150kHz～30MHz



PCB 2:
低周波数放射性
エミッション。

PCB 1と比較して、
低周波数範囲に多
少違いがある。

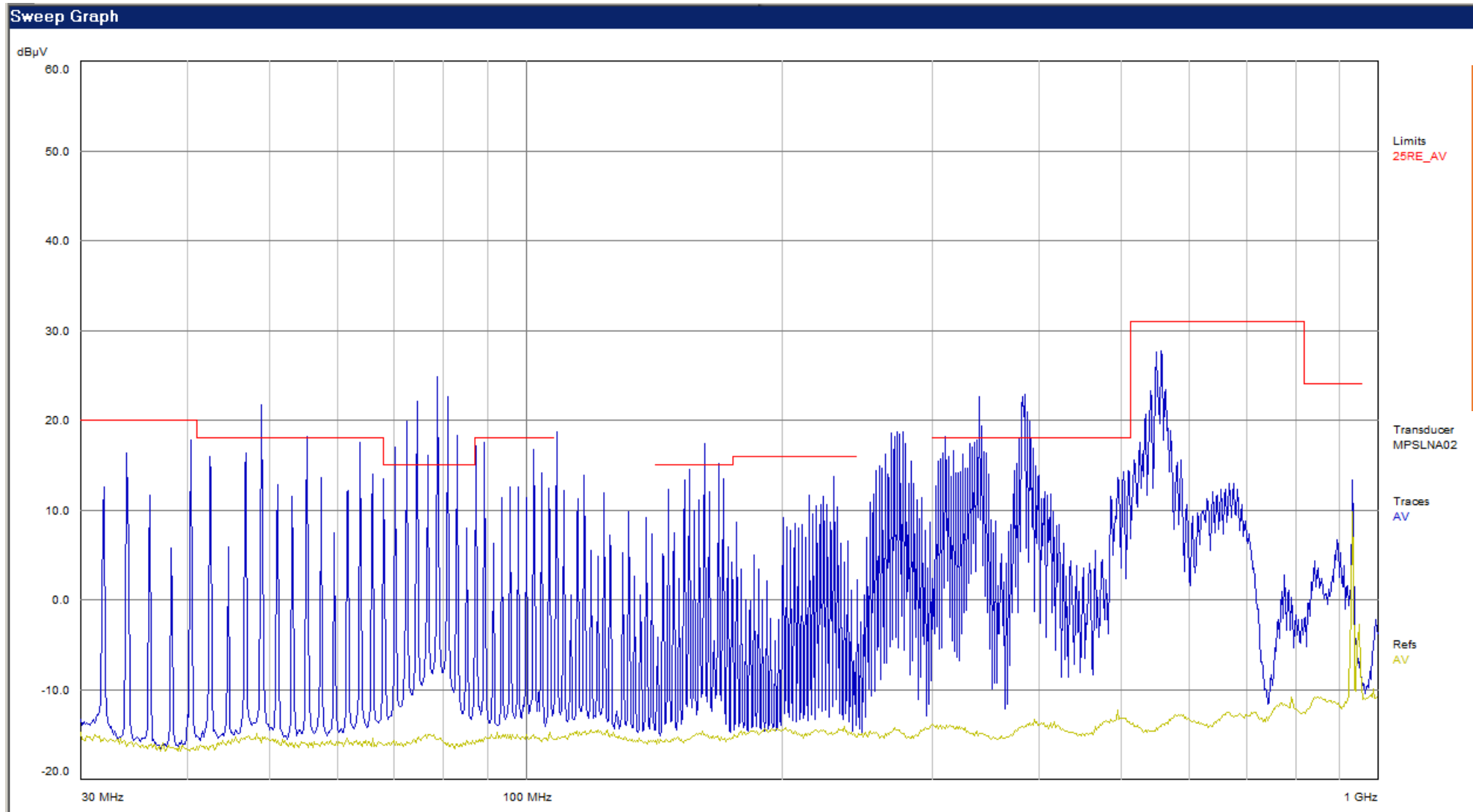
PCB 1 – 12.8V、 3V3、 1A1、 RE AV、 30Mhz~1GHz



PCB 1:
高周波数放射性
エミッション。

ノイズが多い

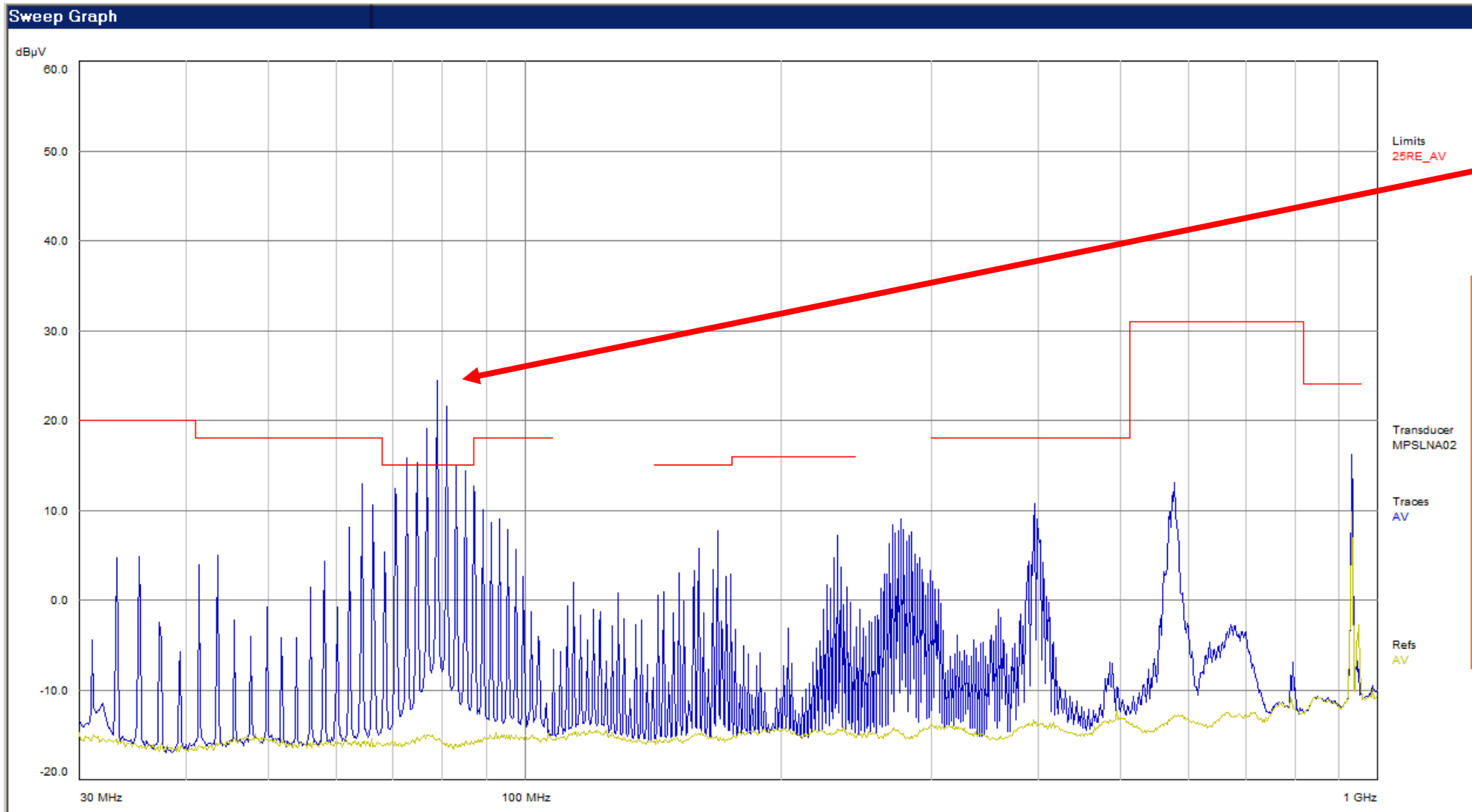
PCB 1 – 12.8V、3V3、1A1、RE AV、30Mhz～1GHz、CIN4をTOP層に移動



PCB 1:
高周波数放射性
エミッション。

CIN4移動後に
わずかな改善が見
られた。

PCB 2 – 12.8V、 3V3、 1A1、 RE AV、 30Mhz～1GHz

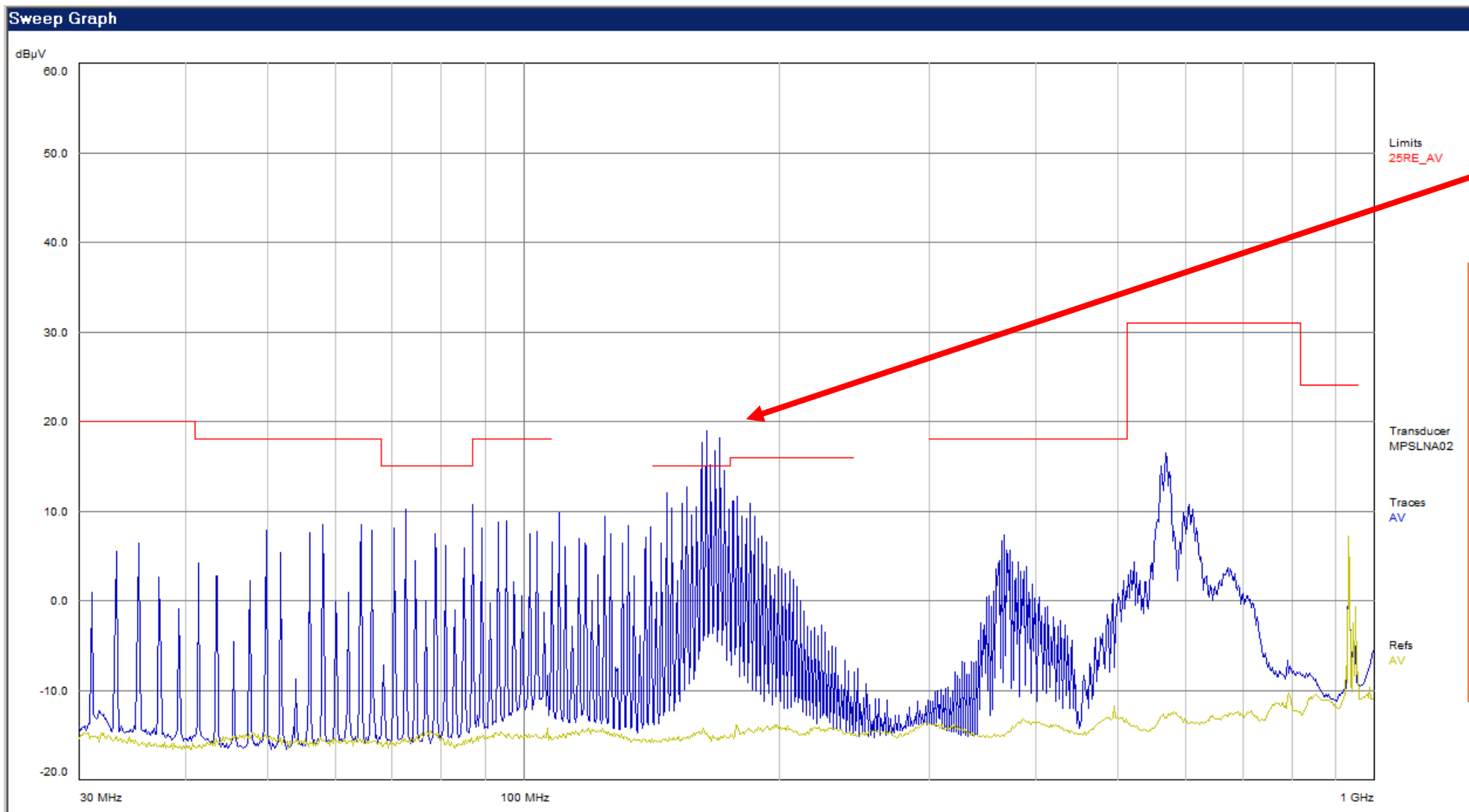


PCBとケーブル
の共振

PCB 2:
高周波数放射性
エミッション

PCB 1よりノイズ
が少ない。
1.7mのハーネスに
よる共振。

PCB 2 – 12.8V、3V3、1A1、RE AV、30MHz~1GHz、
 V_{IN} ケーブルを1.7mから0.2mに短縮



PCBとケーブル
の共振

PCB 2:
高周波数放射性
エミッション

PCB 1よりもノイ
ズが少ない。
0.2mハーネスによ
り共振が高くなっ
た。

ダンピングが必要

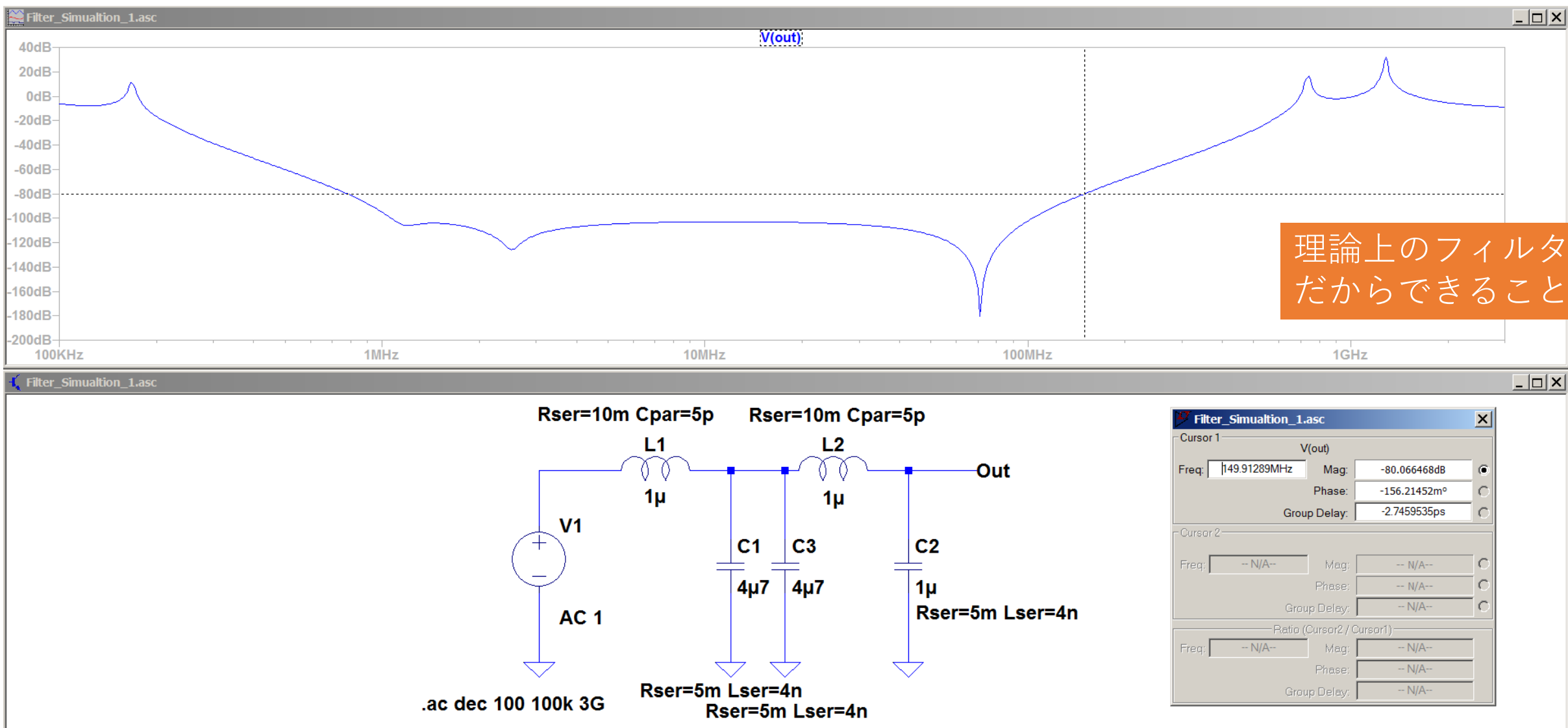
EMIを制御するために必要なこと

100MHzではまだ $-10\text{dBm} = 97\text{dB}\mu\text{V}$ 下げる必要がある。(高調波には -20dB/dec が必要と思われる)。

CISPR25では、CE Cat5を100MHzで要求を満たすには $18\text{dB}\mu\text{V}$ まで下げる必要がある。多くのOEMの基準はさらに厳しい。

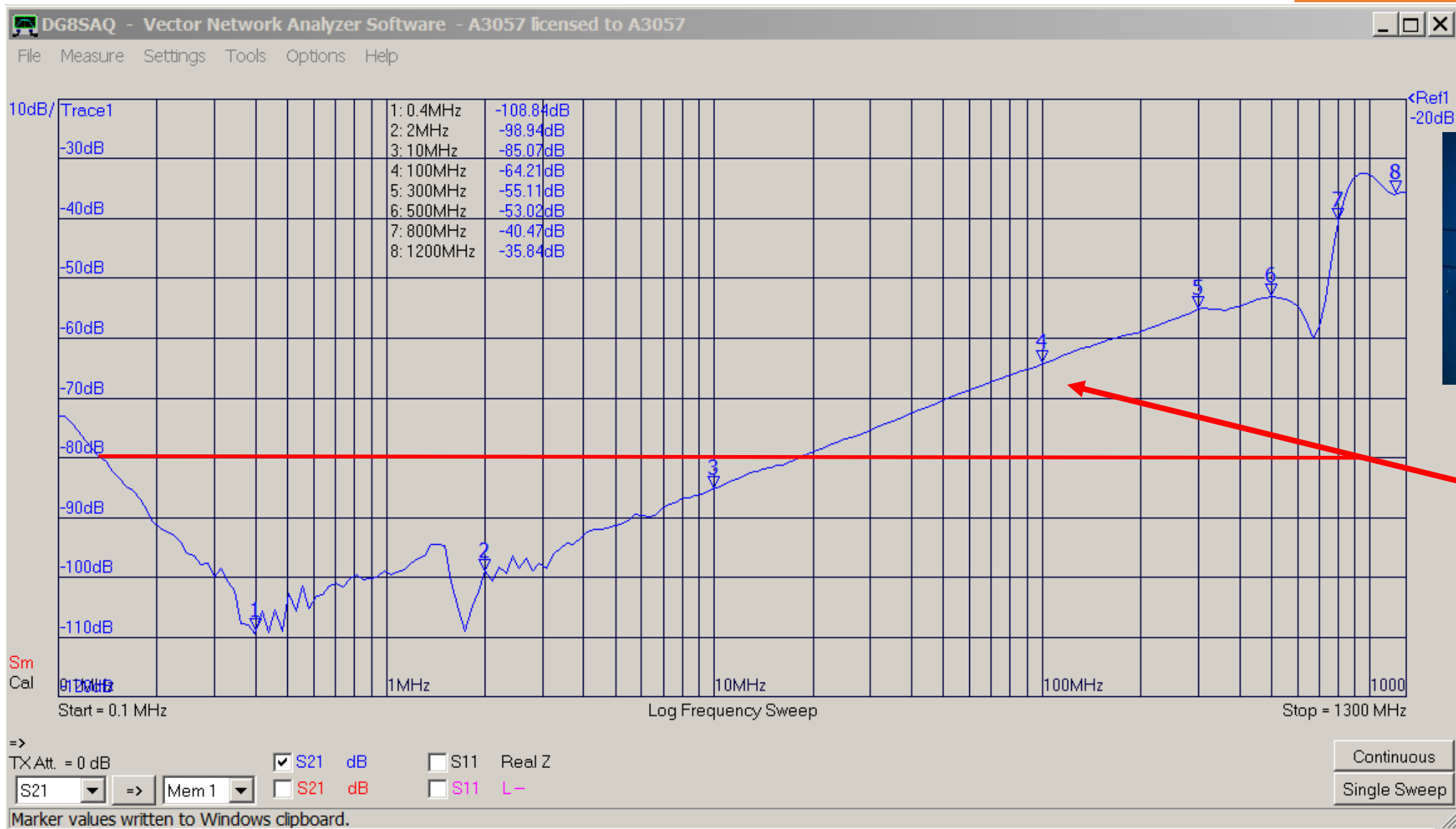
PowerソースとPSU端の間に $80\text{dB}(1/10000)$ のダンピングが必要。

理論 (またはSpice上) のフィルタは簡単



入力フィルタの実践

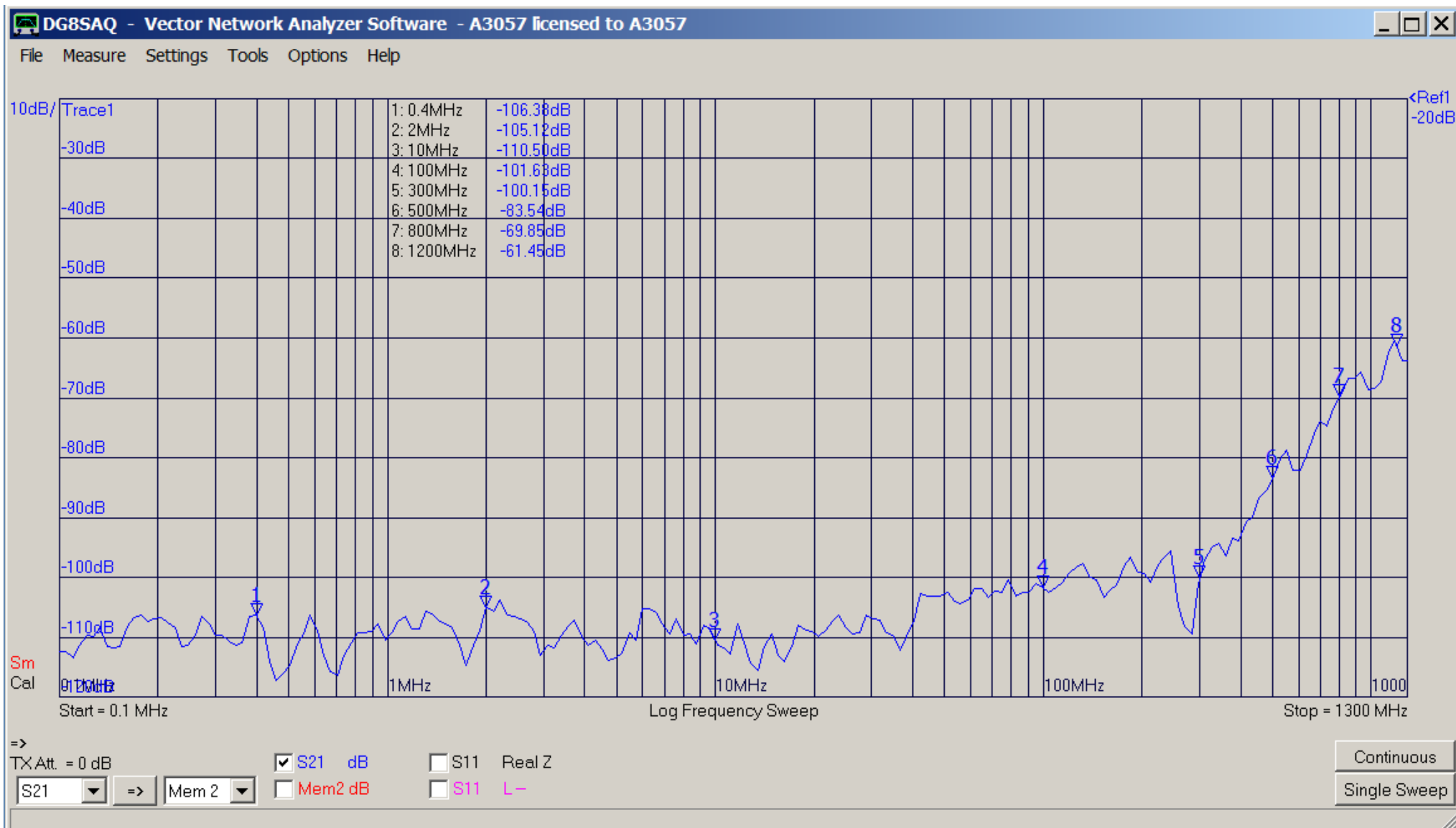
実際のフィルタ



現実のフィルタを使うと、高周波領域で十分なダンピングを得ることはかなり困難。

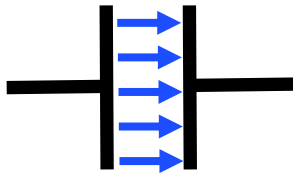
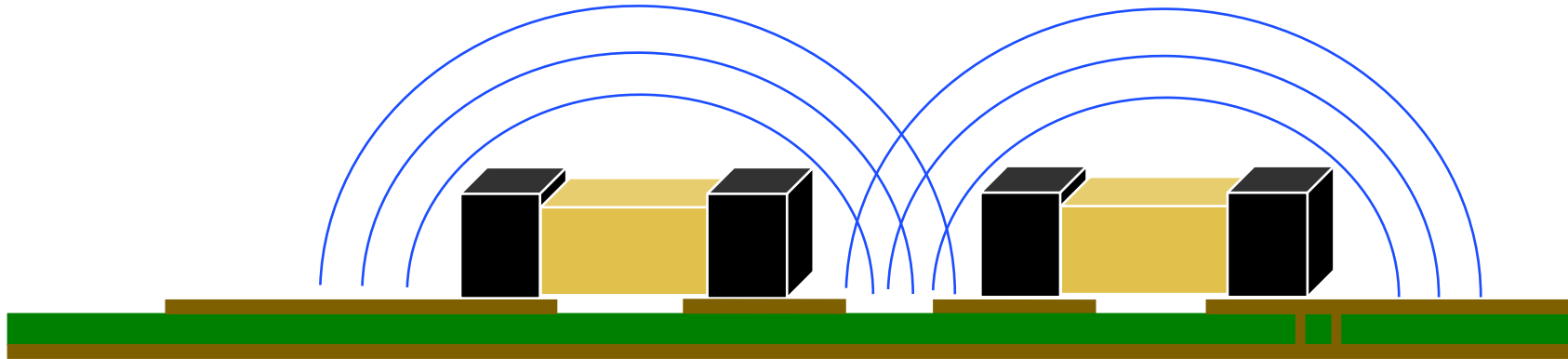
ノイズフロア

測定限界



電界 / 静電容量による近傍界結合

部品およびPCBレイアウトの電界 / 静電容量による近傍界結合

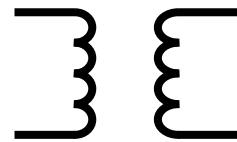
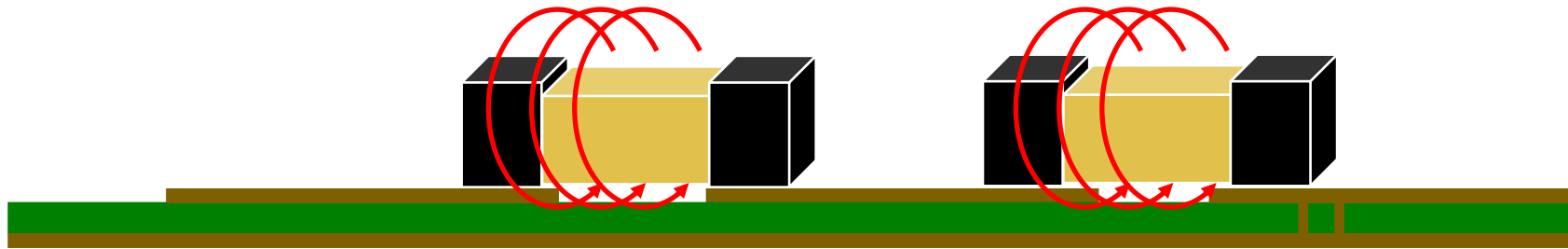


コンデンサプレート結合のように機能

その他のEMI結合
メカニズム

磁界 / 近傍磁界結合

磁界 / 磁気近傍界結合 部品とPCBによるシールドイング

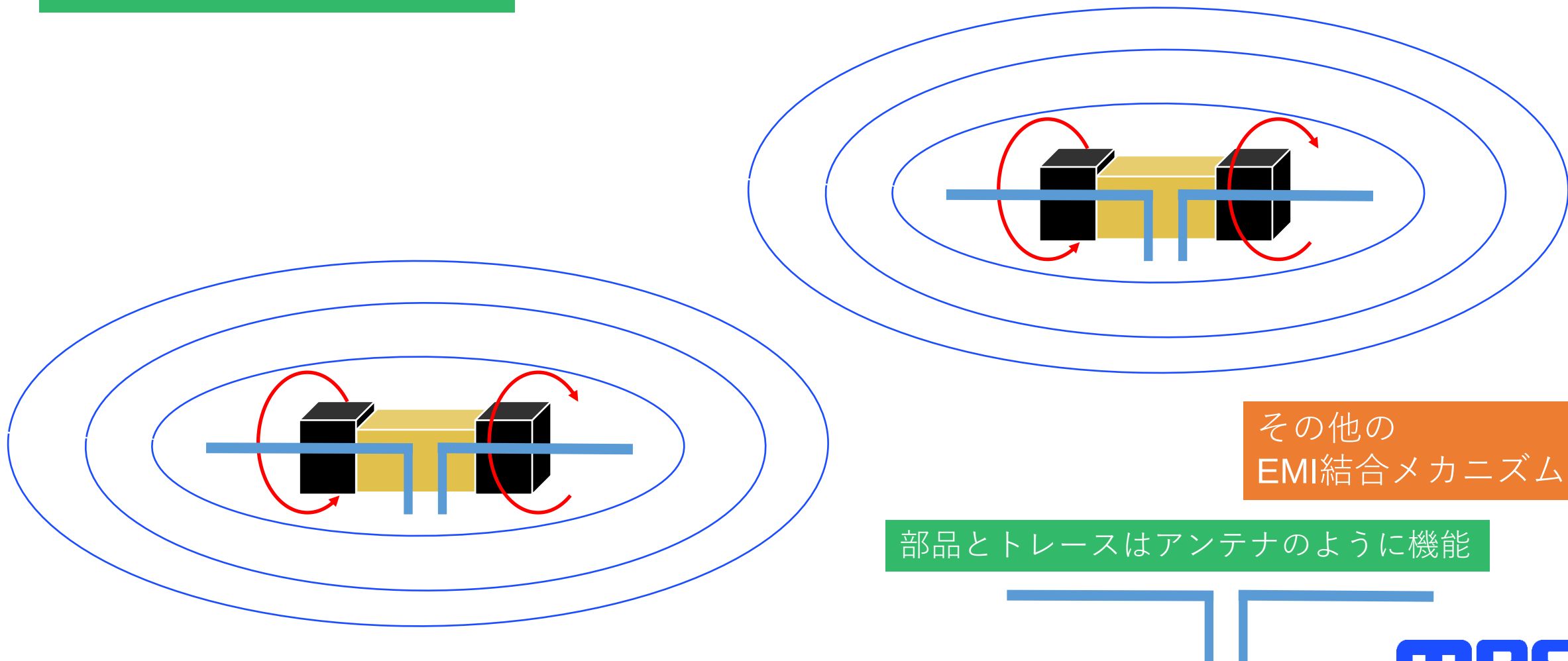


空芯トランスのように結合

その他の
EMI結合メカニズム

遠距離放射

電磁場の遠距離放射と受信要素



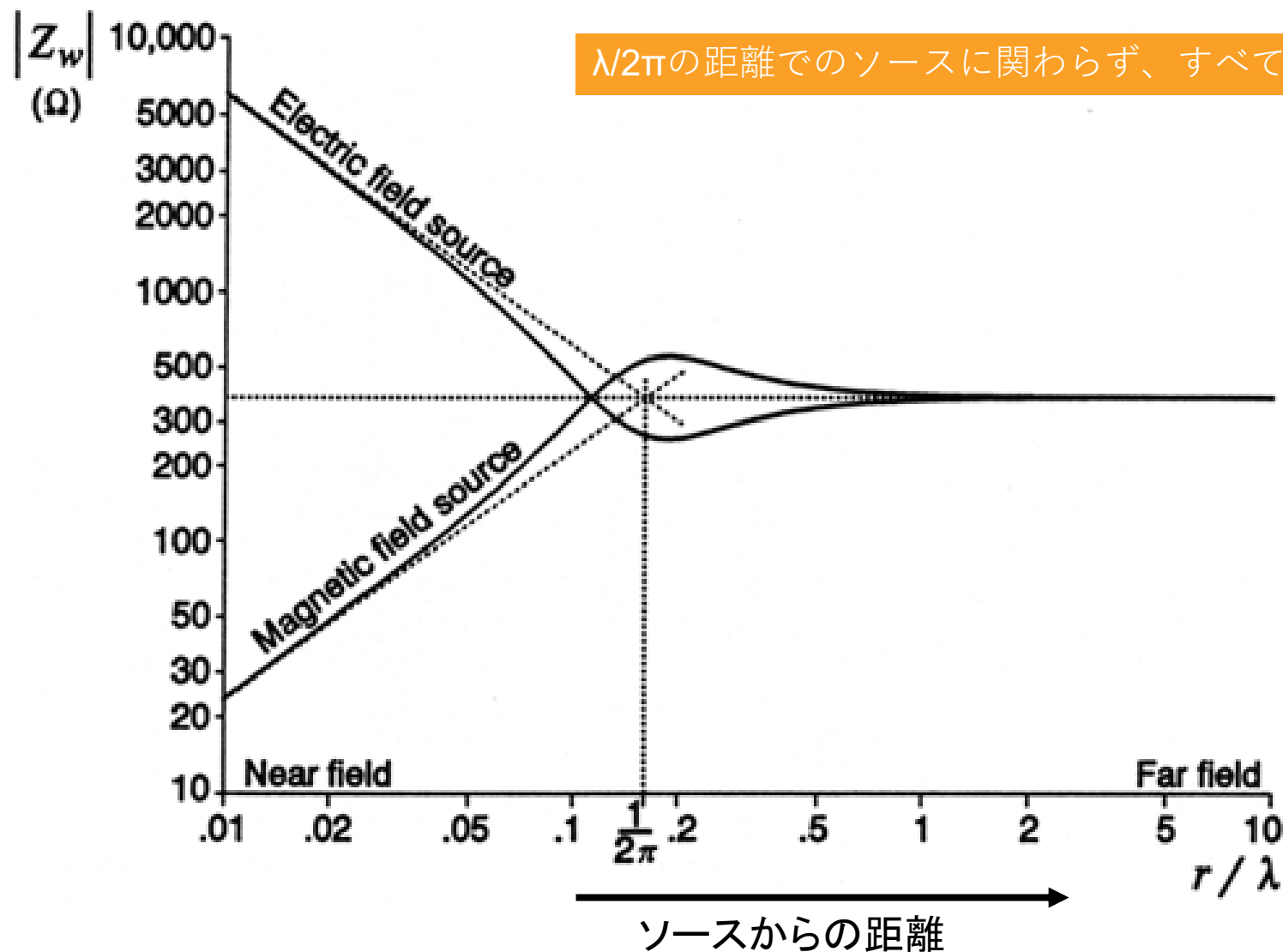
その他の
EMI結合メカニズム

部品とトレースはアンテナのように機能

磁界 = 低インピーダンス、 電界 = 高インピーダンス

磁界と電界の要因における違い

$\lambda/2\pi$ の距離でのソースに関わらず、すべての輻射が遠距離インピーダンスに合致



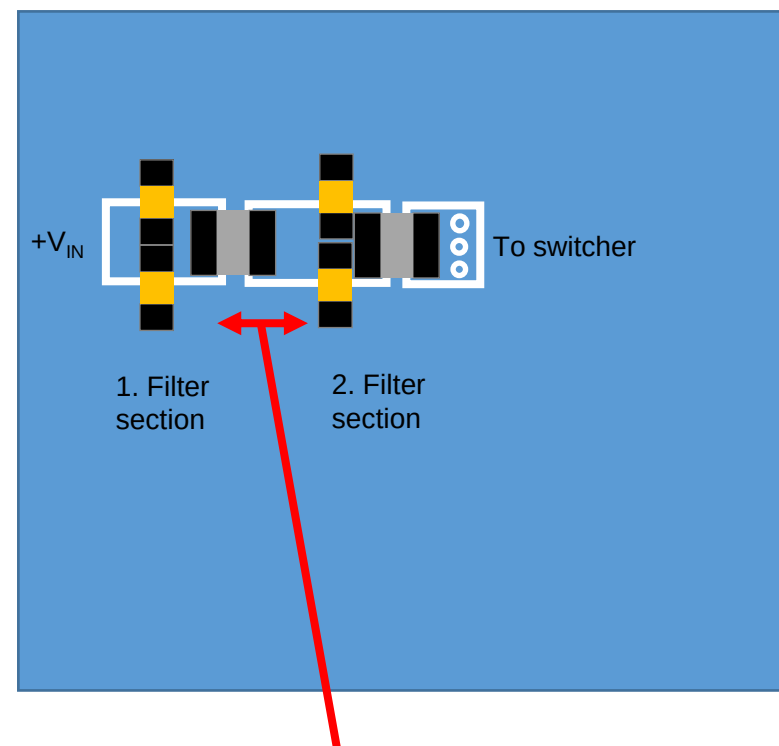
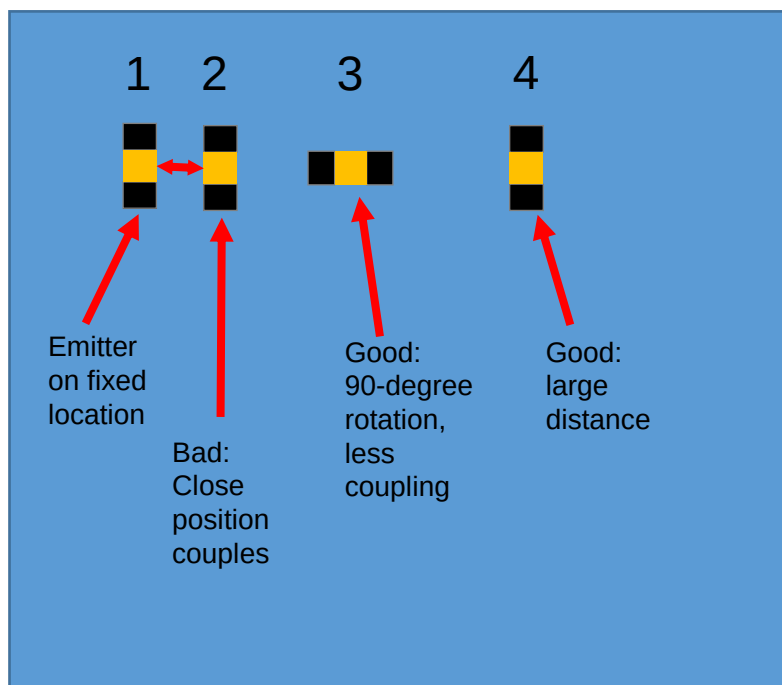
以下の条件での自由空間
 $\epsilon_r = 1$ and $\mu_r = 1$

MHz	メートル
1	47.75
10	4.77
30	1.59
50	0.95
100	0.477
300	0.159
500	0.095
1000	0.048
3000	0.016

磁界結合は縦横比のやりくり

EMIフィルタの
レイアウト方法

部品同士の距離があるほど、結合しなくなる



フィルタ段の間に距離を空けましょう。
でなければシールドします

磁気減衰 渦電流実験

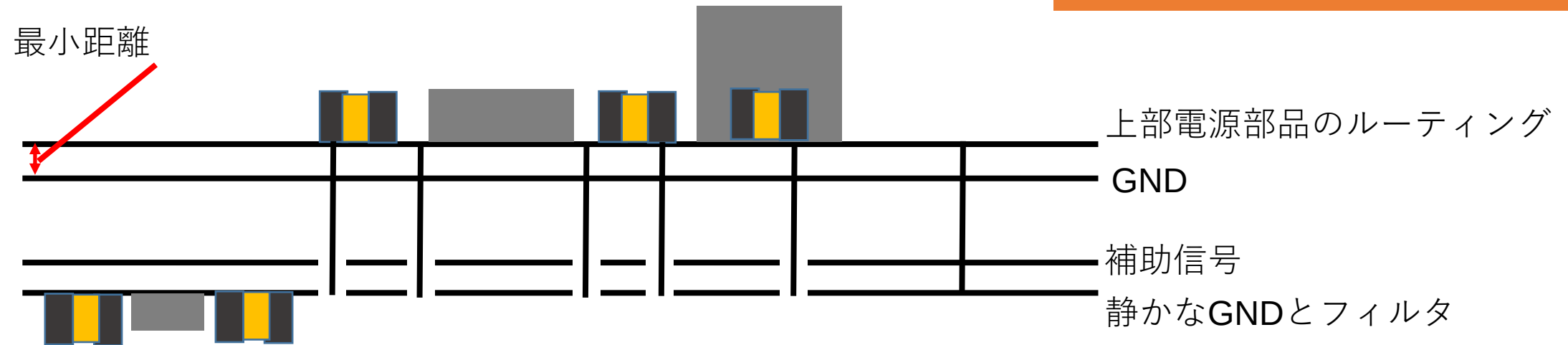


渦電流の
磁気シールド能力

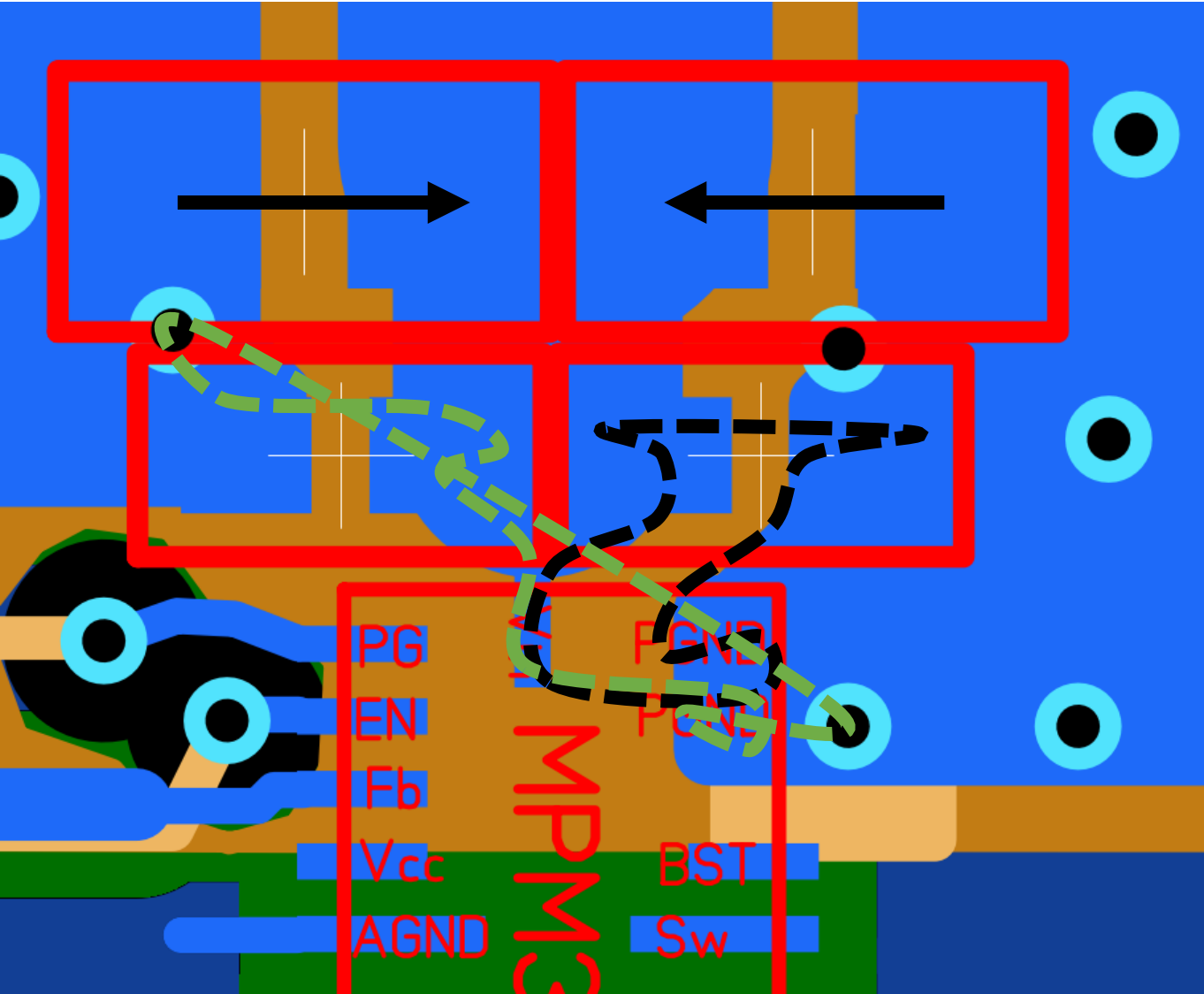
← 動画

PSU層の積み重ね

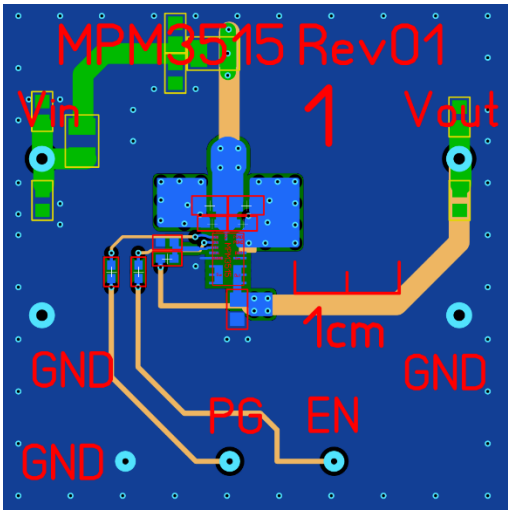
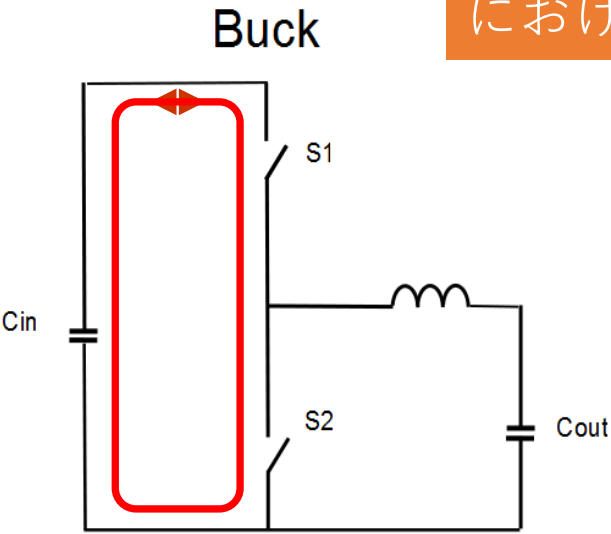
超低EMI PSUを実現するために
レイヤの積み重ね方を
考える方法



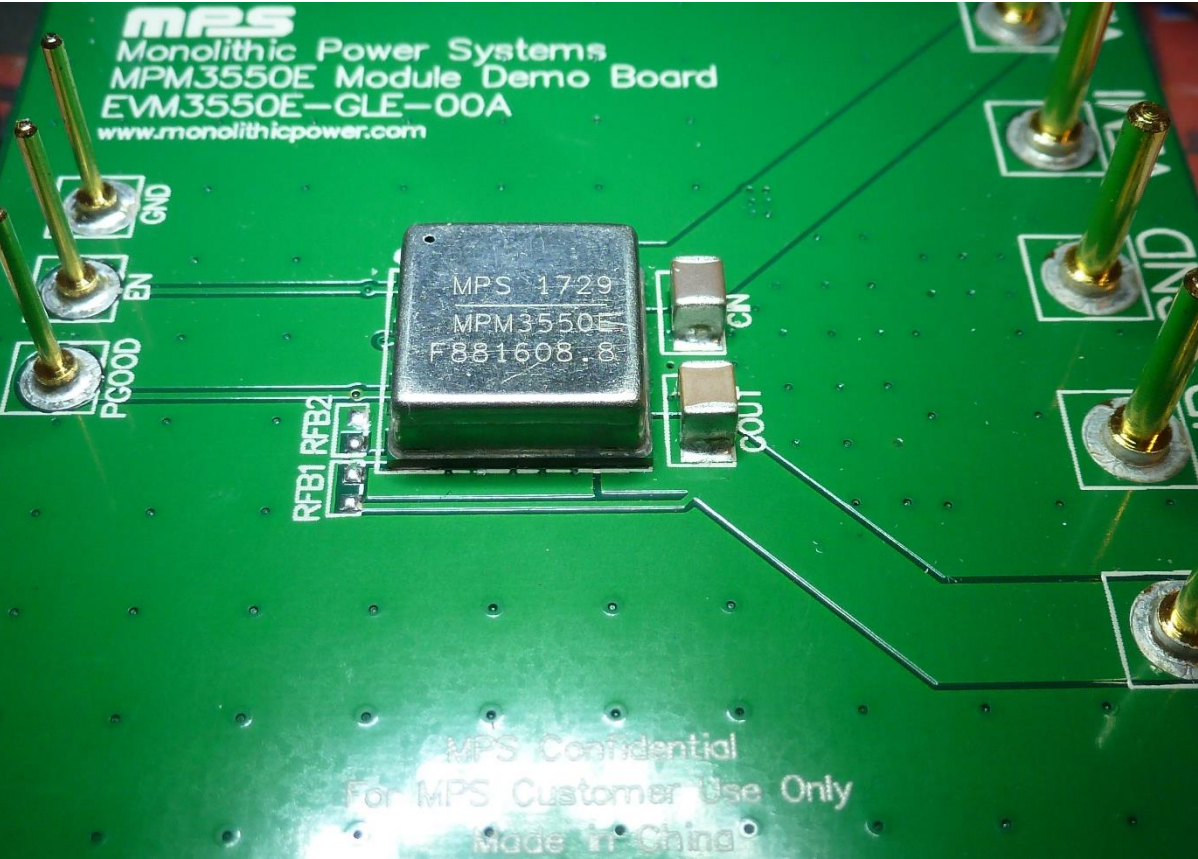
MPM3515 PSU ホットループ



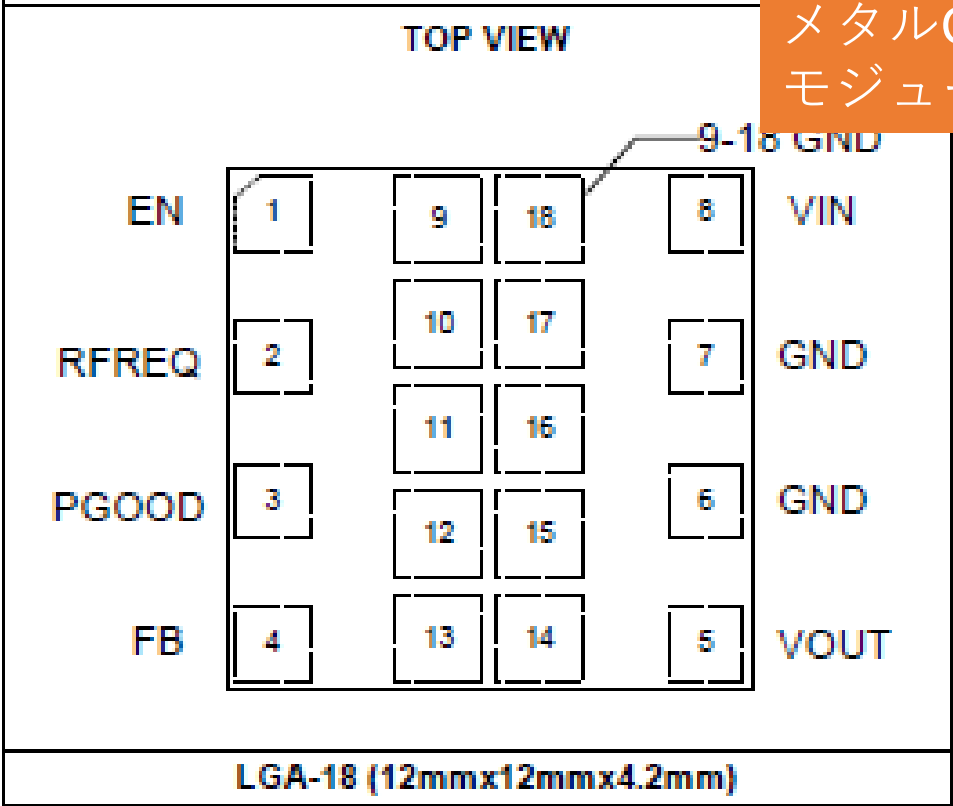
ホットループ減結合
における電流フロー



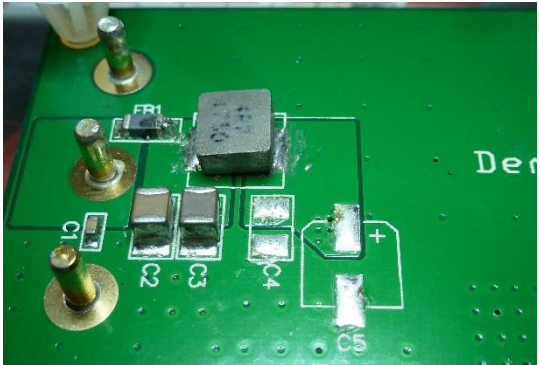
MPM3550 – 36V_{IN}、5A出力、低EMIモジュール、GA-18パッケージ



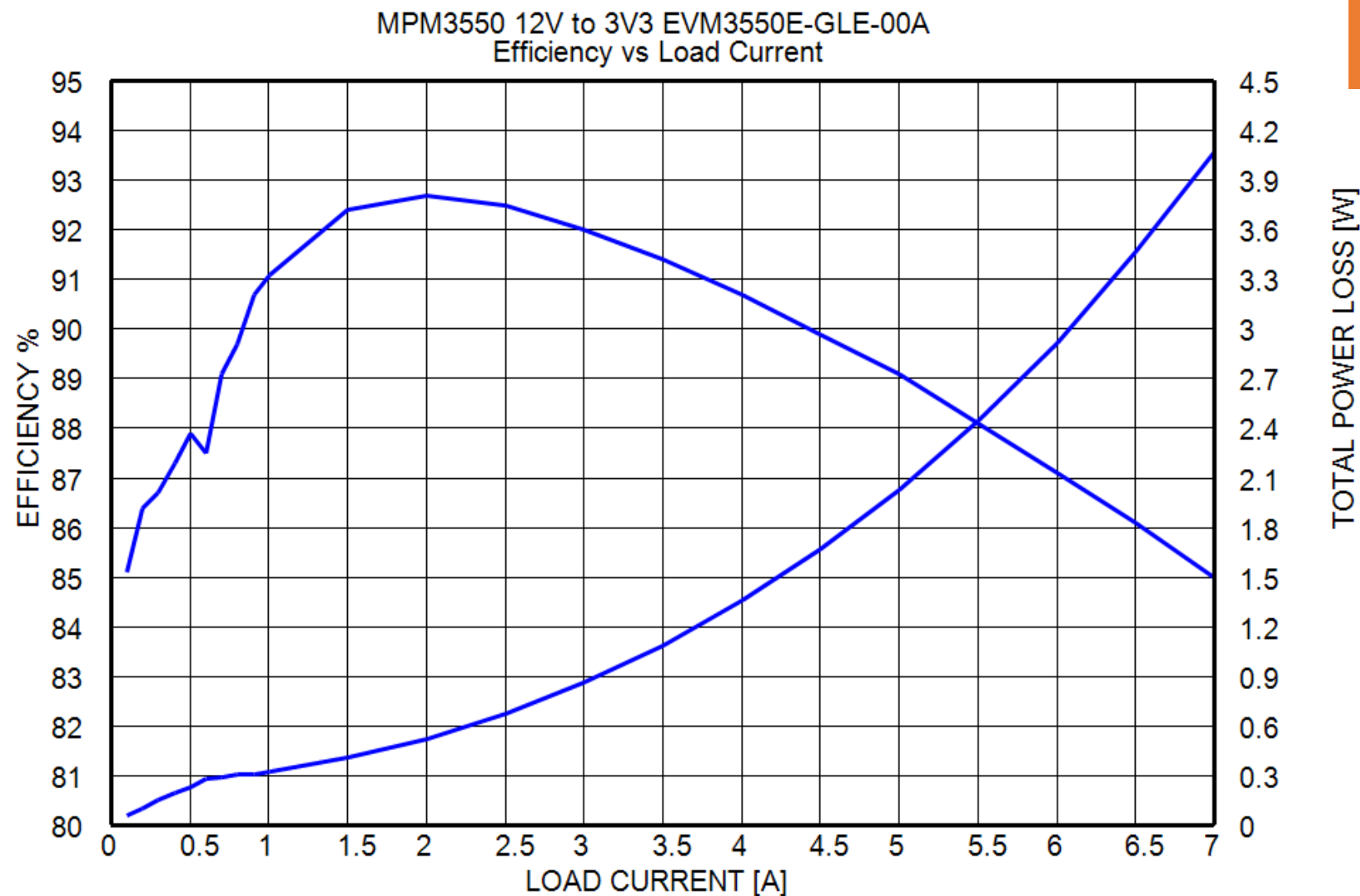
PACKAGE REFERENCE



メタルCAN
モジュール

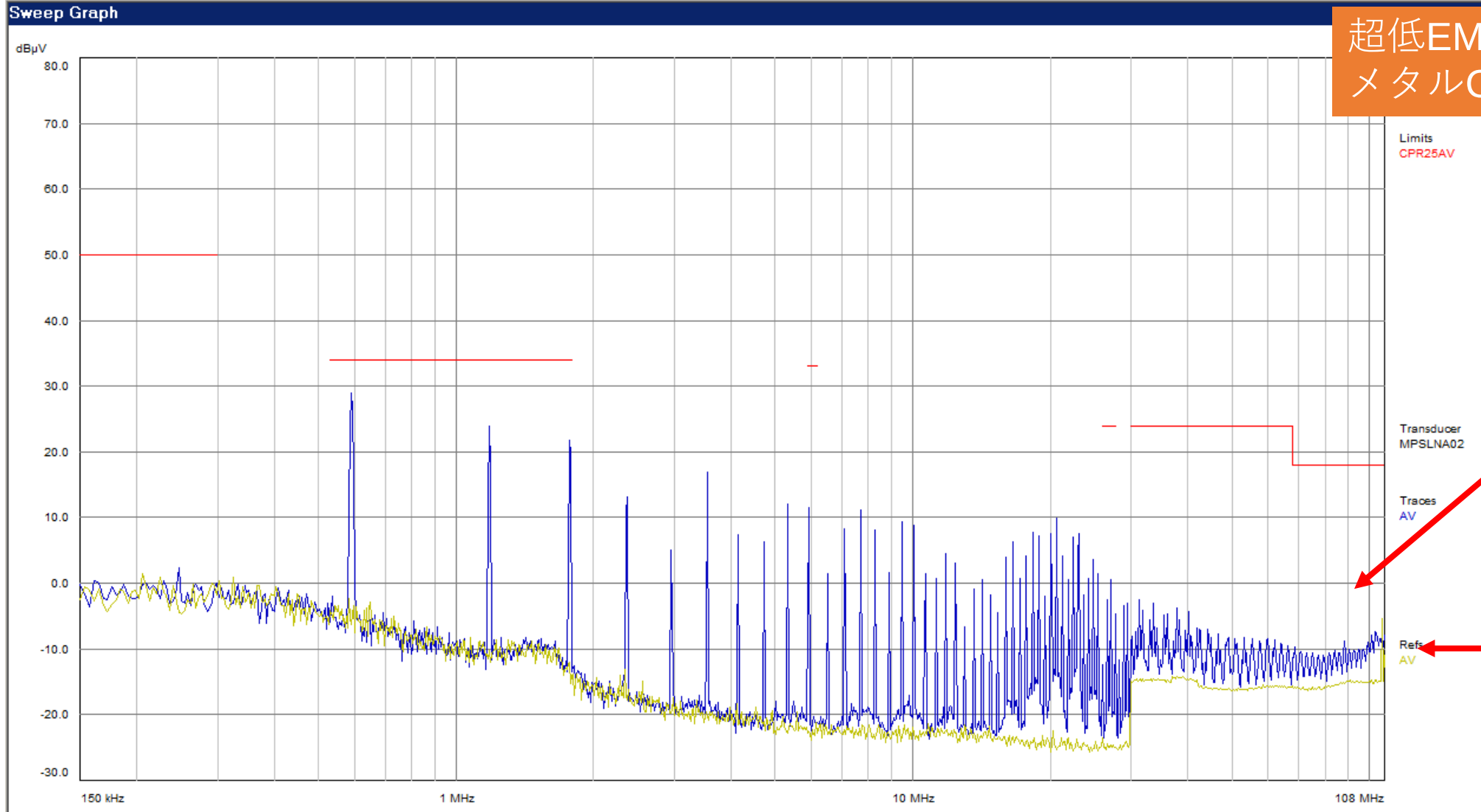


MPM3550 効率 – 12V から 3V3



メタルCANモジュールの
効率と温度負荷

MPM3550 – 12.8V、3V3、1A8、CE AV、150kHz~108MHz

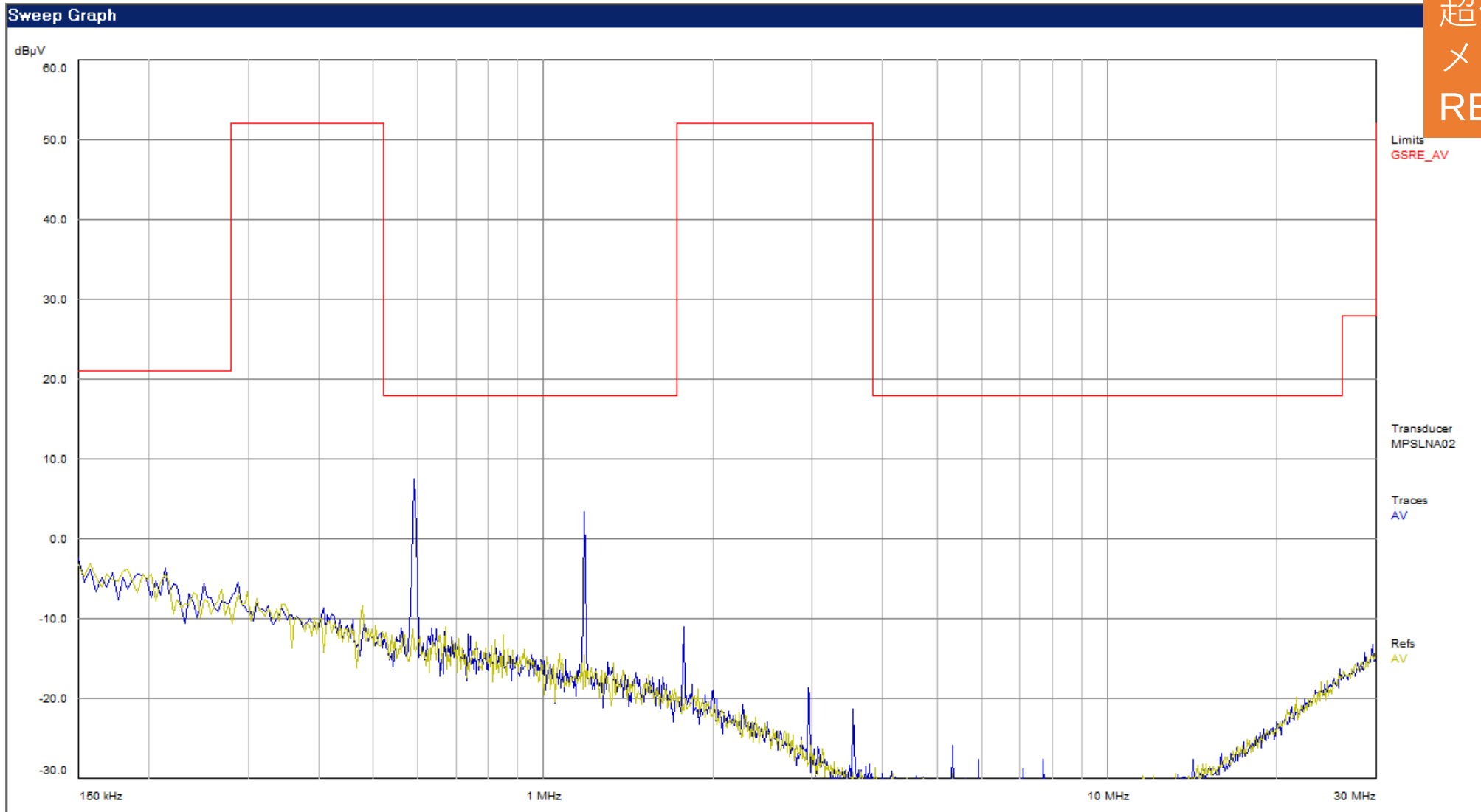


超低EMI
メタルCANモジュールCE

FM領域で
非常に静か

-10dBμV

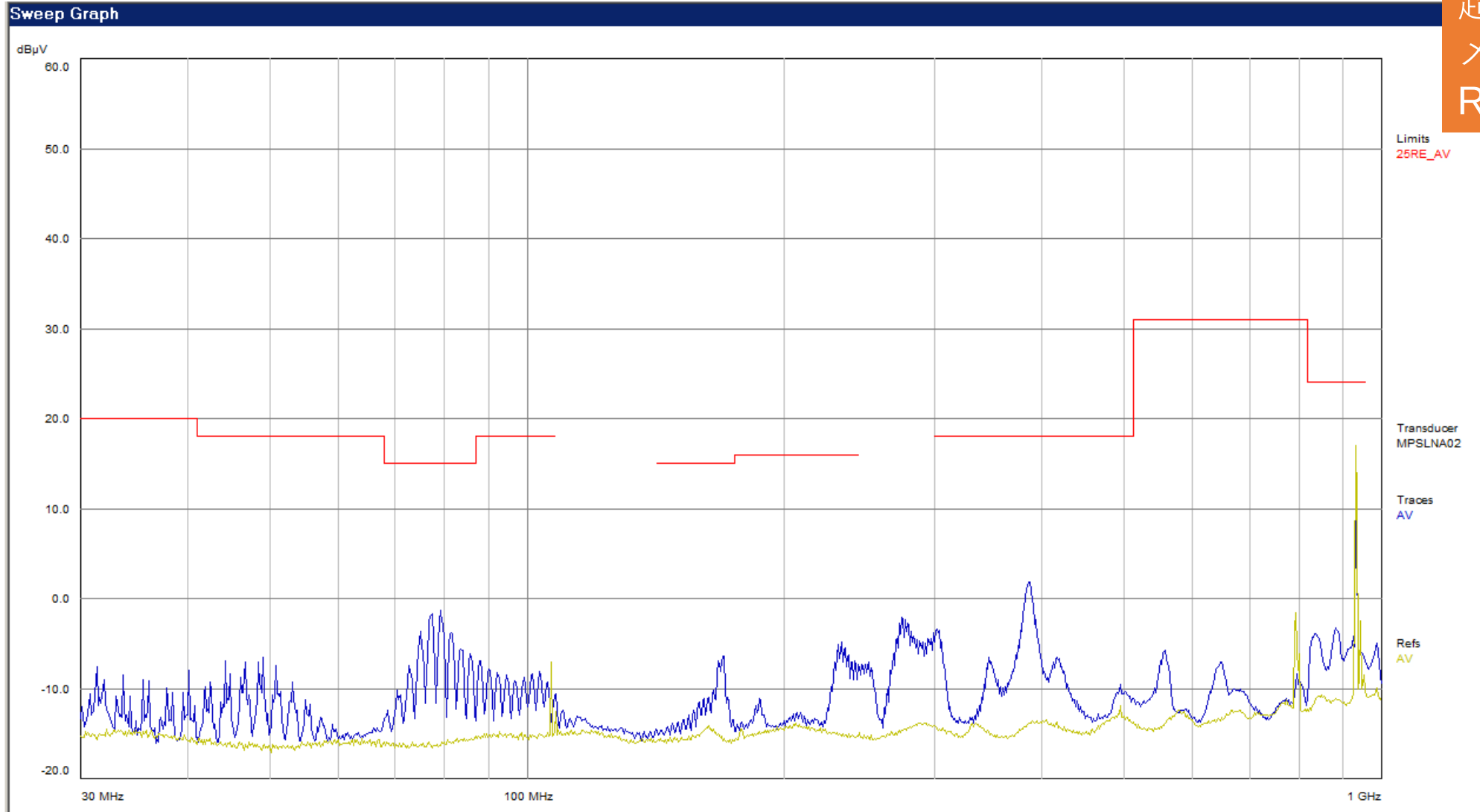
MPM3550 – 12.8V、3V3、1A8、RE モノポール AV、150kHz ～ 30MHz



超低EMI
メタルCANモジュール
RE < 30MHz

MPM3550 – 12.8V、 3V3、 1A8、 RE AV、 30Mhz~1GHz

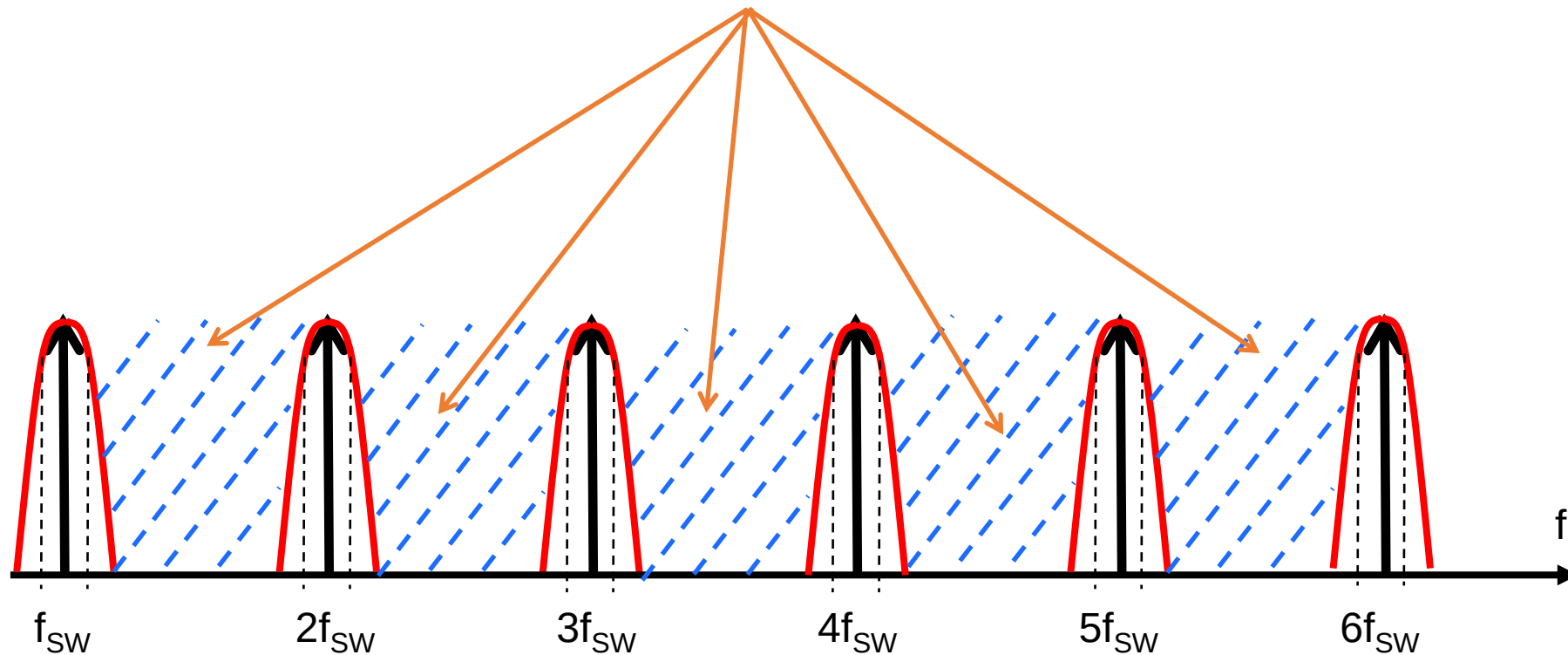
超低EMI
メタルCANモジュール
RE > 30 MHz



固定周波数スイッチングでのEMIレシーバのスペクトラム

スペクトラム拡散が
もたらすこと

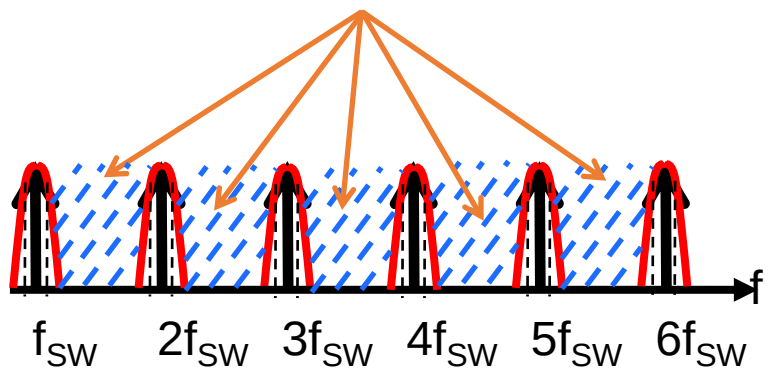
EMIレシーバからは見えない領域
スプリアスエネルギーをまだ隠すことができる



完璧なスペクトラム拡散の最大のメリット

スペクトラム拡散が
最大限もたらすこと

減衰 = $10 * \log_{10} \left(\frac{RBW}{f_{SW}} \right)$



達成可能な最大のスペクトラム拡散減衰			
	0.15MHz～30MHz	30MHz～1GHz	>1GHz
RBW [MHz]	0.009	0.12	1
f _{SW} [MHz]			
0.1	-10.5	0.0	0.0
0.2	-13.5	-2.2	0.0
0.4	-16.5	-5.2	0.0
1	-20.5	-9.2	0.0
2	-23.5	-12.2	-3.0
3	-25.2	-14.0	-4.8
5	-27.4	-16.2	-7.0
10	-30.5	-19.2	-10.0
100	-40.5	-29.2	-20.0

スペクトラム拡散のメリット

スペクトル法を用いたスペクトラム拡散は、フィルタリング、レイアウト、シールドディングのようなEMI軽減策とは無関係に機能します。そのため、固定周波数下での結果に加えて、スペクトラム拡散により、測定が伝導または放射のいずれであるかに関わらず、放射ピーク値のさらなる減衰をもたらします。

実設計の流れとしてお勧めするのは、最初に固定周波数スイッチングでPSUを開発し試験することです。最初からスペクトラム拡散を使ってしまうと、スイッチノードに注目した場合、過剰なジッタや安定性の課題を隠してしまうことになりかねません。

一般的なスペクトラム拡散の場合、出力リップルが固定周波数での設計の場合に比べてわずかに大きくなります。COT、ヒステリシス、固定リップルのような周波数固定ではないループテクノロジーでは、出力に何か上乘せされるようなことはないかもしれません。

過渡応答は、過度の周波数スパンが使われない限り影響を受けません。

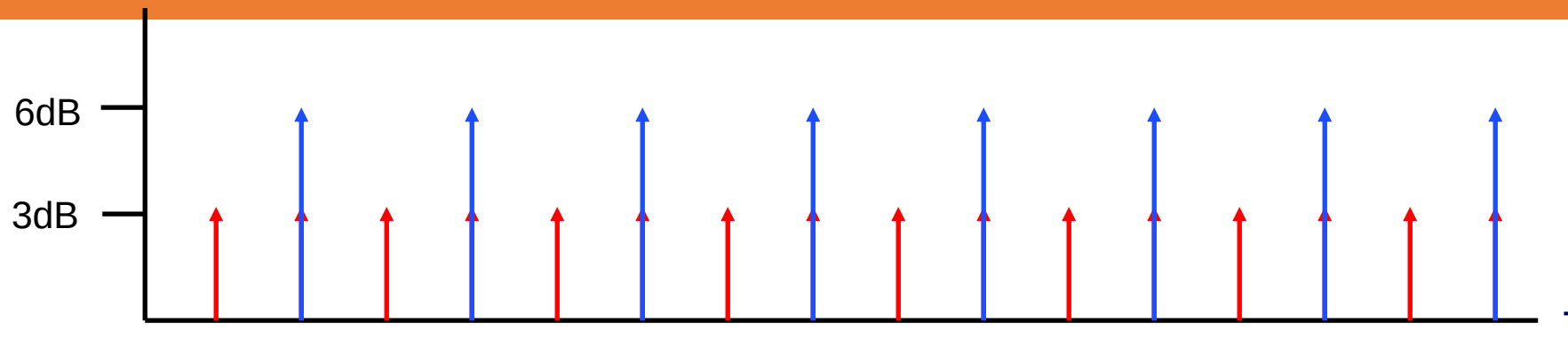
EMIにおけるスイッチング周波数の影響

スイッチング周波数を
増加させる必要性とは

スイッチング周波数を倍増すると、スイッチ移行数が倍になり、EMIのエネルギーが倍になります。**3dB以上の増加** (電力では $10 * \log(2)$)

しかしながら周波数を倍にしても、このエネルギーを収めるために使用できる器は半分しかありません。

固定周波数で周波数を倍にすることで、スプリアスは**6dB以上**となり、完全に機能するスペクトラム拡散でも少なくとも**3dB以上**増加します。



EMIにおけるスイッチング周波数の影響

スイッチング周波数以外すべて同じ条件だったら

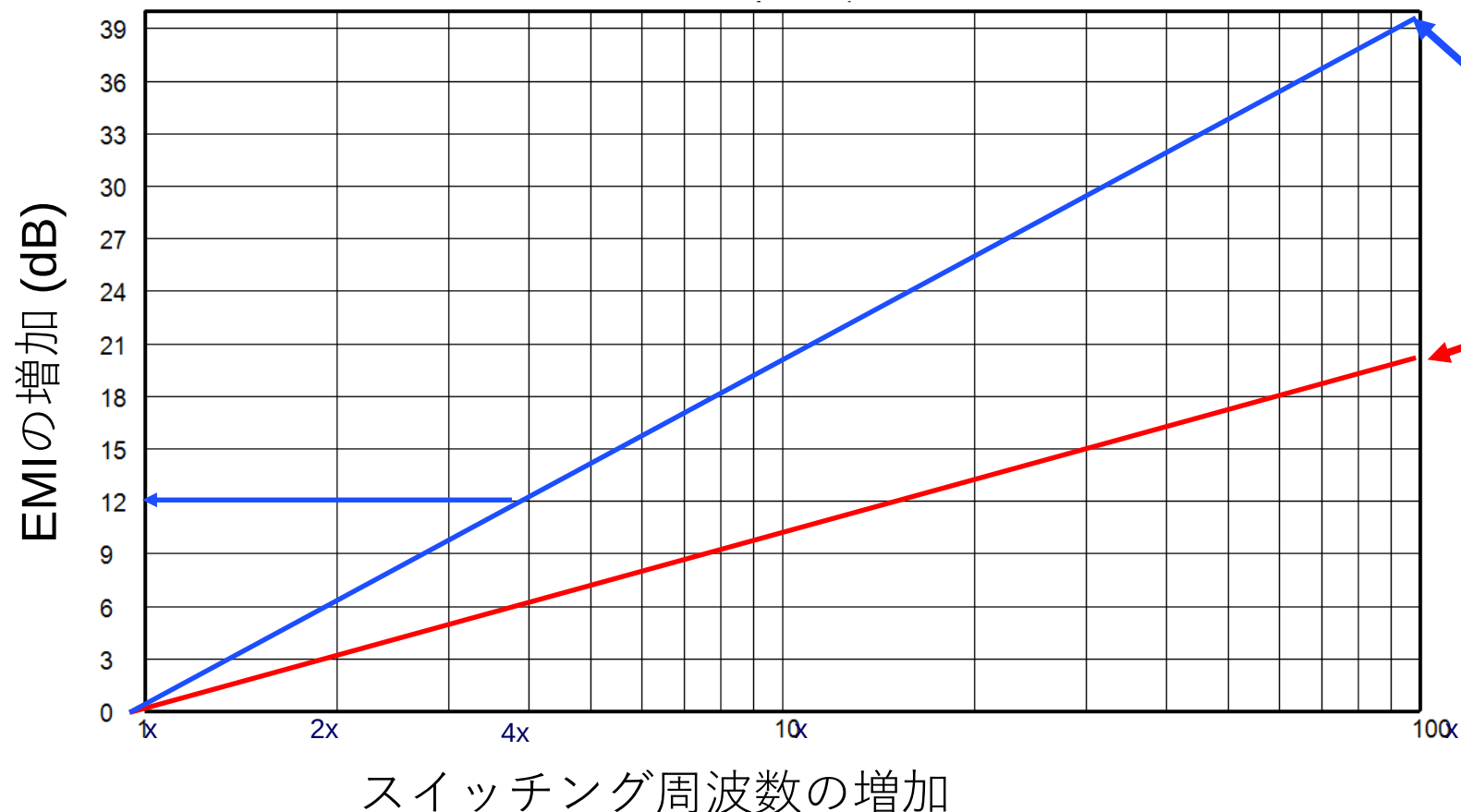
固定周波数スイッチングのまま周波数を倍増させると、エネルギーに対して半分の器しかありません。

結果は6dB/octave = 20db/decadeとなります。

固定周波数

完全なスペクトラム拡散

EMIのエネルギーは
スイッチング周波数
に比例します。
3db/octave =
10db/decade



- 複数層の基板は2層または1層の基板よりも優れたEMI特性をもたらします。
- EMIフィルタとPSU部品の距離を離しましょう。
- 2層目にGNDプレーンを使いましょう。複数層がある場合は、ノイズ発生個所を切り離しましょう。
- モジュールは小さな電流ループと小さな部品で構成されているため静かです。
- モジュールは内部レイヤを追加しシールドイング用にPCB領域を残している静かです。
- メタルCANは最も低いEMIになります。
- EMIはスイッチング周波数とともに増加します。スイッチング周波数を可能な限り低く抑えましょう。
- スペクトラム拡散はEMI的に有効ですが、通常30MHz以下で有効です。



MPSは中国の杭州、ドイツのエッセンハイム、および米国デトロイトにEMIテストセンターを保有しています。