EMCに適合するための必須設計

Kenneth Wyatt
Wyatt Technical Services
ken@emc-seminars.com

はじめに

製品設計の全ての側面について、1つの記事で論ずるのは非現実的ではあるが、今まで取り組んできたクライアント案件の経験から何百もの製品について、最も一般的な設計問題を説明しようと思う。これらの問題は通常、プリント回路基板設計、ケーブル、シールド、フィルタリングなどで、詳細な情報は末尾の参考文献を参照していただきたい。私が扱った製品不適合トップ3には（1）放射妨害波エミッション（2）放射妨害波感受性（3）静電気放電感受性などがある。他の不適合には、伝導妨害波エミッション、電気的ファストトランジェント感受性、伝導妨害波感受性、電気サージ感受性などがある。このような不適合の殆どは、共通して製品設計の不十分さが原因であり、トップ3の不適合も同様である。

注：本記事中やコンサルティングに際して、私は「グランド」という言葉はできるだけ避けたいと思っている。理由は誤解が多すぎるからで、それがEMC不適合にもつながっている。電源や電源リターン、信号や信号リターン、あるいは単に「リターン・プレーン」や基準プレーンを使うほうが、はるかに明確である。最後に、ケーブルのシールドまたはシールド筐体は互いに「結合した」のであり、「グランド接続」されたわけではない。唯一の例外は、いわゆる「安全グランド」またはアース・グランドである。だが、この2つは適切なEMC設計に全く関係なく、電気ショックに対する人体の安全性というだけである。例外の1つは3ワイヤ電源線フィルタのアース・グランド接続だと言えるだろう。また、たまにプリント回路基板上、特に電源にアース・グランドがあると思われるが、ワイヤのインダクタンス（長さ）が非常に高いため、ここでもまた製品やシステムをアース・グランドに接続することでエミッションは改善しない。

1. プリント回路基板の設計

EMC／EMI 適合を実現する際に唯一重要なファクタは、プリント回路基板設計がメインである。EMC 適合のためのプリント回路基板設計となると、特に情報源が10年以上前など古い場合は、情報（本、雑誌の記事、メーカー作成の「使用上の注意」）が全て正しいわけではないことに注意することが重要である。そのうえ、多くの「経験則」は特定の設計に基づいているので、将来または今の設計にあてはまらないかもしれない。経験則が当たった場合、それは単に運がよかっただけである。

プリント回路基板は物理的な観点から設計しなければならず、最も重要な考慮点は高周波信号、クロックであり、電源配電網（PDN：Power Distribution Network)は伝送線路として設計する必要がある。つまり、伝達される信号やエネルギーは電磁波として伝搬するということである。PDN は、DC 電流を運び、同時スイッチング･ノイズ（SSN: Simultaneous Switching Noise）によってスイッチング・トランジェントにエネルギー供給もできるので、特別な例である。PDN のインピーダンス特性は、一般的に 0.1 ～ 1.0 Ωという非常に低いインピーダンスで設計されている。一方、信号トレースは通常 50 ～ 100 Ωのインピーダンス特性で設計されている。

以前の記事で、回路理論と電磁界理論の観点でコンセプトを紹介した。プリント回路基板設計の成功例には両方の観点が必要である。回路理論は、電流がループ内を源から負荷へ流れ、そして源に戻ることを示唆している。製品不適合は多くの場合、リターン・パスが十分に明確でなく、場合によってはパスが壊れている。リターン・パスの途切れや隙間は、放射妨害波エミッション、放射妨害波感受性、ESD 感受性などの主な不適合の原因になる。

それに対してプリント回路基板上の電界は、リターン・プレーン（またはトレース）上のマイクロストリップのような2つの金属片の間に存在する。リターン・パスが壊れている場合、電界は次に最も近い金属を「つかむ 」が、期待するリターン・パスになりそうにない。リターン・パスが未定義の場合、電磁界は誘電体を通して「漏れ」、基板全体にコモンモード電流が流れる原因になるだけでなく、その同じ誘電体の範囲内で、他の回路トレースにクロックまたは他の高速信号をクロス結合させる原因になる。

図1は、信号トレースとリターン・プレーン（またはトレース）の間で、伝搬している誘電体内の波を表す。これは、信号トレースに流れてリターン・プレーンに戻る伝導電流と、誘電体を「通る」変位電流の両方を示している。信号波は、誘電率により決定した光速の数分の1のスピードで進む。空気中では、光はナノ秒当たり約12インチ（約30センチ）で進む。典型的な基板材料 FR4 の誘電体の中では、速度は空気中の約半分でナノ秒当たり6インチ(約15センチ)進むことになる。プリント回路基板の信号伝搬の物理特性に関する詳細情報は参考文献1、2、3を参照していただきたい。

回路論的および電磁気学的視点を両方満たすには、隣接した信号と信号リターン・プレーンだけでなく、隣接した電源と電源リターン・プレーンが重要なのは明らかである。PDN の設計には大容量（bulk）および減結合の役目を果たす「エネルギー保存」コンデンサも必要である。ふつう 4.7 ～ 10 μF の大容量コンデンサは、一般的に電源入力コネクタの近くに置かれ、通常 1 ～ 10 nF の減結合コンデンサは最もノイズの多いスイッチング・デバイスに最も近い所に配置する。そして最も重要なのは、これらを接続する電源ピンから信号リターン・プレーンへのトレースを最短距離にすることである。理想的には、全ての減結合コンデンサは接続ビアの真上（または近く）に実装しなければならない。そして、個々のコンデンサの直列インダクタンスを減らすために複数のビアを使わなければならない。

信号または電源がリターンする単一基準プレーンには、供給源に戻る決まったリターン・パスが常にある。図2は、電磁界がどのようにリターン・プレーンの両側で誘電体の範囲内でとどまるかについて

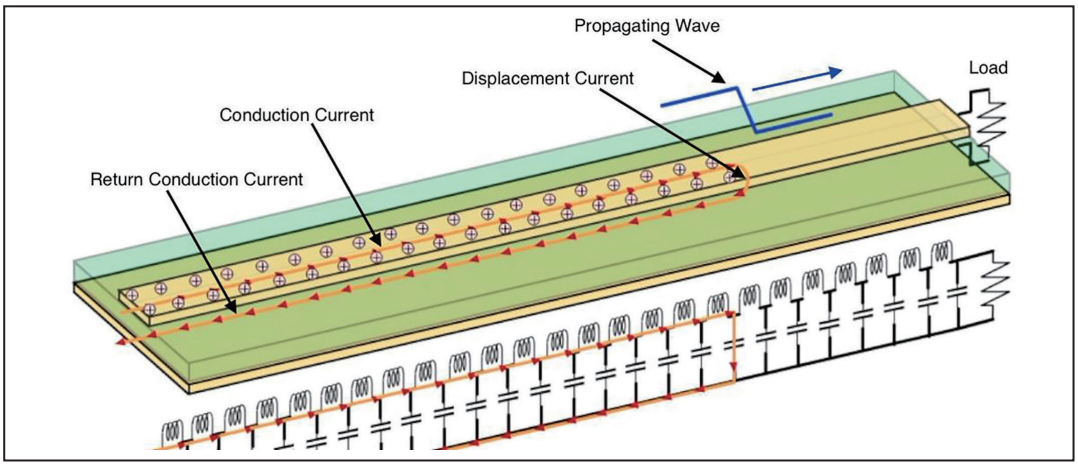

図1. 基準プレーンのマイクロストリップに沿って伝搬している波。（図提供：Eric Bogatin氏）

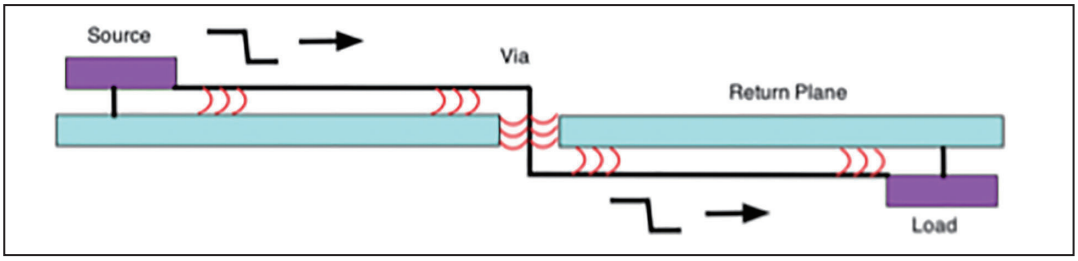

図2. 単一基準プレーンを貫通する信号プレーン。