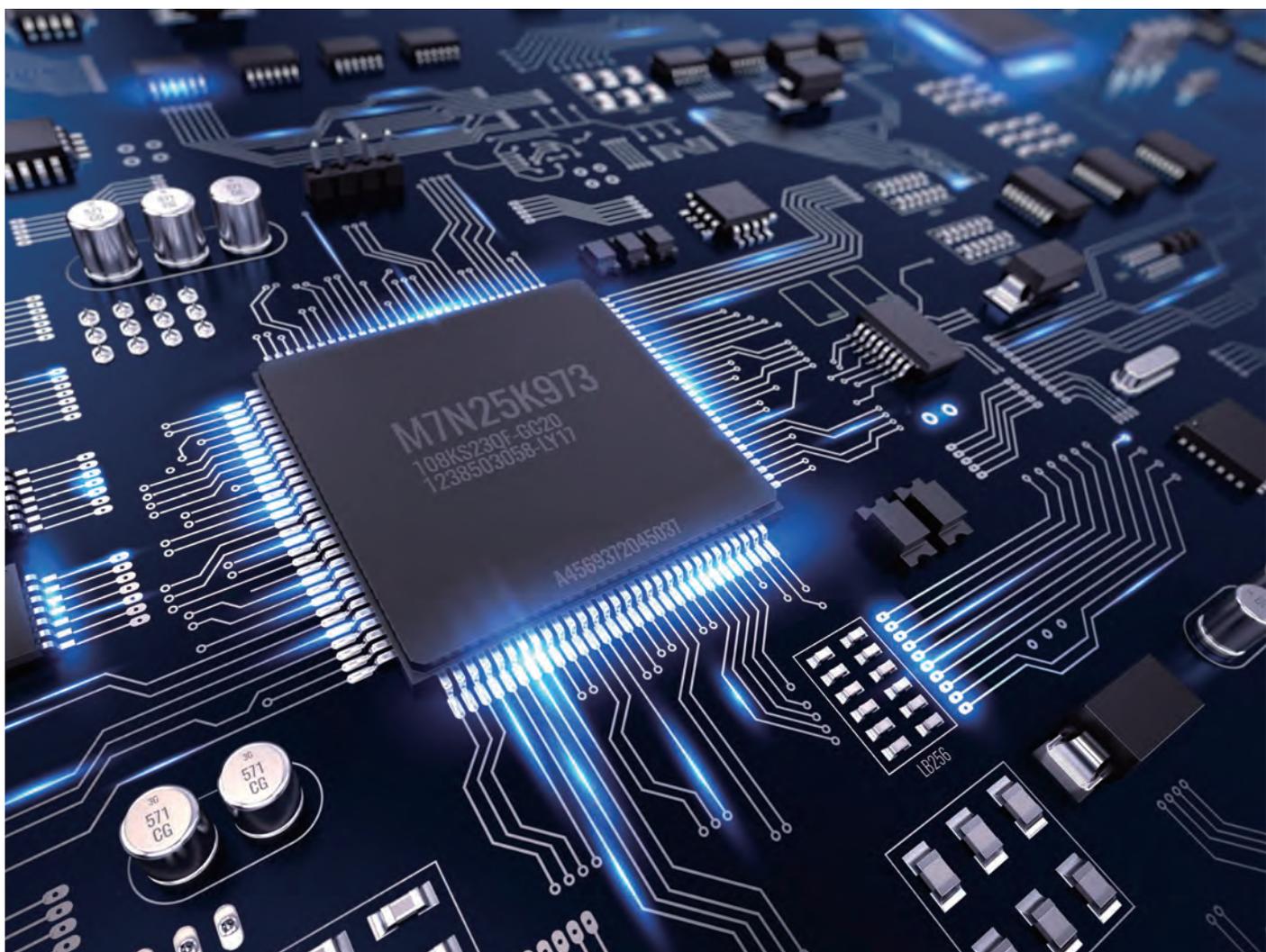


基本的なEMCの概念

Kenneth Wyatt

Wyatt Technical Services
ken@emc-seminars.com



はじめに

EMCの理解とは、要するに以下の2つの重要な概念を理解することである。

- (1) 全ての電流はループ状に流れる。
- (2) 高周波信号は伝送線内を電磁波として伝搬する。

1. 電流はループ状に流れる

この2つの概念は密接に関連し、互いにつながっている。我々、回路設計者が見逃す問題は、リターンパスは源に戻るものと定義していることである。考えてみると回路図上にこのリターンパスを書かず、一連のいろいろな「グランド」のシンボルとしてだけ表す、ということさえ起きる。

では「高周波」とは何なのか?基本的には、50～100kHzより高い周波数全てを指す。この周波数より低い場合、リターン電流は源に戻る最も短いパス(抵抗値が最小のパス)を辿る傾向がある。この周波数より高い場合は、リターン電流は信号トレースの下を直接通って、源(インピーダンス最小のパス)へ戻ることが多い。

基板設計のどこかが間違っている箇所は、低周波DC-DCスイッチング・コンバータなどの高いdV/dtリターン信号が、I/O回路のリターン電流や敏感なアナログリターン電流と混じり合う場合である。PC基板設計については次の記事^{*1}で述べる。信号と電源のリターンパスを明確に設計することの重要性に気づいてほしい。そういうわけで、基板上の高周波信号の下で確かなリターン平面を使用し、次にデジタル回路、電源回路、アナログ回路を分離することは非常に重要である。

2. 信号はどうやって伝搬するか

およそ50～100kHz以上の周波数では、デジタル信号は伝送線の電磁波として伝搬し始める。図1に示すように、高周波信号は伝送線路に沿って伝搬し(例えばリターン導電面上の回路トレース)、波面は銅のトレース内で伝導電流を誘導し、リターン平面に沿って戻る。もちろん、この伝導電流は、PC基板誘電体を通って流れることはできないが、波面のチャージはリターン平面上にある同様のチャージに反発し、電流が流れているかのように「見える」。これはコンデンサと同じ原理で、マクスウェルはこの効果を「変位電流」と呼んだ。

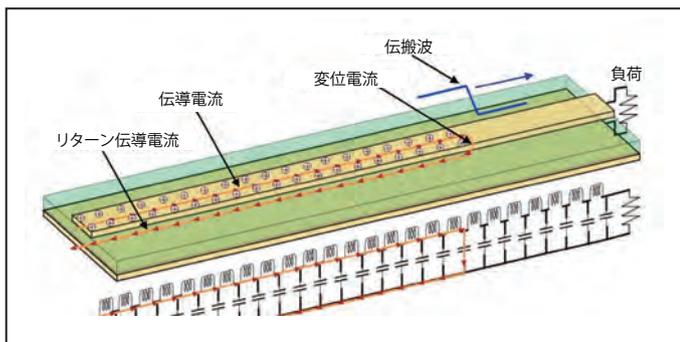


図1. デジタル信号は図にある電流と共にマイクロストリップに沿って伝搬する。

信号の波面は、光の速さの数分の1の速度(材料の誘電率によって決まる)で移動する一方、伝導電流は約1センチ/秒で動いている高密度な自由電子で構成されている。光速に近い伝搬の実際の物理的メカニズムは、電界の「キンク」が原因であり、銅の分子に沿って伝搬している。詳しくは参考文献1、2、3を参照していただきたい。

重要なことは、導通と変位電流というこの組合せには、源へ戻る連続的なパスがなければならないということである。何らかの方法でパスが遮断された場合、伝搬している電磁波はPC基板の各層内に「漏れ」て、「コモンモード」電流を発生させ、次に他の信号に結合(クロス・カップリング)、あるいはシールドされた筐体内のI/Oケーブルやスロット/開口部など「アンテナに似た構造」に結合する。

我々の大部分は「回路理論」の観点で教育されたので、リターン電流がどれほど源へ戻りたがっているかを視覚化する際、この理論は重要になってくる。しかし、信号のエネルギーが電流の流れというだけでなく、誘電体内を動く電磁波面である、すなわち「場の理論」の観点でもあるという事実について考える必要もある。以上のような2つの概念を覚えておけば、ごく単純な回路トレースの経路選択より、むしろ伝送線(直接隣接したリターンパスによる信号トレース)の設計がより重要になってくる。

全ての電力配電回路網(PDN: power distribution network)と高周波信号トレースが伝送線であること、およびエネルギーは電磁波として、一般的な基板FR4タイプの誘電体では光速のおよそ半分の速度で転送されることに注意するのは非常に重要である。リターンパスまたはリターン平面が隙間で遮られた場合については、次の記事^{*1}で述べる。PDN設計についての詳細は、参考文献4、5、6を参照されたい。

3. ディファレンシャルモード電流とコモンモード電流

図2を見ると、ディファレンシャルモード電流(青の矢印)は、デジタル信号(この場合、リボンケーブルの例)そのものである。前述したように、信号波面はマイクロストリップとリターン平面によって形成される伝送線に沿って動くので、伝導電流と、関連するリターン電流は同時に流れる。

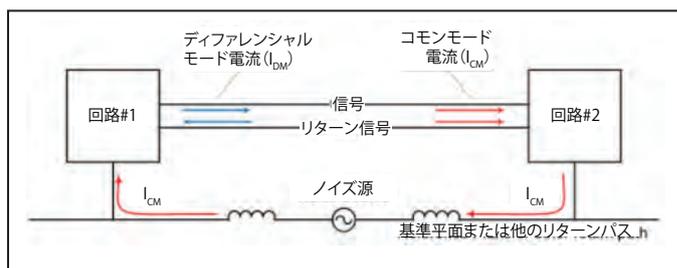


図2. ディファレンシャルモード電流とコモンモード電流の例

【※訳者注】1. 「2017 EMC FUNDAMENTALS GUIDE」掲載の記事のこと。