実際のインダクタンスの理解
～電流が金属導体を流れると、インダクタンスが現れる～

Bruce Archambeault, Ph.D.
IBM Distinguished Engineer
IBM
Research Triangle, North Carolina, USA

電気工学において最も誤解されている概念のひとつがインダクタンスの概念である。“自己インダクタンス”、“ループインダクタンス”、“パーシャルインダクタンス”、“相互インダクタンス”というような用語が、インダクタンスの影響や原因の裏にある実際の物理学にほとんど関係なく使われている。

インダクタンスは、高周波の設計において最初に制限される要因のひとつなので、EMI/EMC 設計において重要となる。金属があって電流がその金属に流れると、必ずインダクタンスが存在し、電流の流れに影響を及ぼす。高い周波数では、この固有のインダクタンスがすべてのコンポーネント、配線および金属板を支配する。キャパシタや抵抗でさえもインダクターとなる。

インダクタンスの研究だけで一冊の本が書けるほどである。この記事は、EMI/EMC 設計、特にプリント回路（PC）基板に適用されるインダクタンス、相互インダクタンスおよびパーシャルインダクタンスの概念を読者がよりよく理解する手助けとなることを目的としている。

ループはどこに?

我々が初めて回路のクラスで学んだ初歩のひとつに、電流は常にその発生源に戻らなければならない、というのがある。最初に直流回路でこれを学び、それから交流回路に進む。しかしながら、高速回路板設計を始める頃までに、多くはこの基本原則を忘れてしまうらしい。電流は、周波数にかかわらず、常に閉ループで流れなければならない。プリント回路基板や筐体の設計者、あるいはシステム設計者として、あなたは常に“電流はどのようにその発生源に戻るか”を問いかけるべきである。電流は閉ループで流れなければならない。実際に、電流は閉ループで流れるのである。唯一の実質的な問題は、EMI 放射の減少の助けとなるパスを取るか、EMI を増長させるパスを取るかということである。“偶然”よりも“意図的”にリターン電流を設計することが望ましい。この意図的なリターン電流パスの設計なしでは、エンジニアも“今日は運がよかった?”と自問するべきである。

ビア、または一本のワイヤのインダクタンスについて語られる場合は、ループがないので、インダクタンスは存在しない。ビアの場合、意図的なリターン電流ビアがなければ、リターン電流が変位電流として分散し、誘電体を通して流れる。電流が遠くに流れれば流れるほど、ループが大きくなり、インダクタンスが大きくなる。リターンビアが信号ビアの近くにある場合は、ループのエリアが変わるのでインダクタンスが変わる。リターンビアを近づけてみると、ループのエリアが変化し、元の信号ビアのインダクタンスも変化する。ビアがそのループの一部となっているループのインダクタンスの値が“ビアインダクタンス”を決定する。

ファラデーの法則

ループの電流が時間の経過で変化するとき、電流に伴って磁界も変化する。この磁界の変化が導体を通り抜けるので、導体の回路に電圧を誘導する。磁界線が異なる導体を通る場合または元の電流と同じ導体を通る場合にかかわらず、この変化が起こる。シングルワイヤループに誘導された電圧は、ワイヤループを通過する磁束の変化の時間率に等しい。[1] [2] これは、以下のように電磁誘導のファラデーの法則に説明される。

$$\oint \vec{E} \cdot dl = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \qquad (1)$$

基本物理学を直感的に理解するためには、(1) のような式はあまり