

高周波の振る舞いを理解して 設計するためのアドバイス 3 題

ワンポイントRF回路

[1] 低周波と高周波の違い [2] 高周波におけるワイヤのインダクタンス [3] 現実的なインピーダンス・マッチング

藤原 武

Takeshi Fujiwara

本誌を手にとられた方は、すでに何らかの高周波技術に関わっておられることと思います。ここでは雑多な話題を三つ取り上げて、高周波を取り扱う上で参考になる事柄を書き連ねてみたいと思います。

1 低周波と高周波の違い

■ 高周波を扱う心構えになる周波数は？

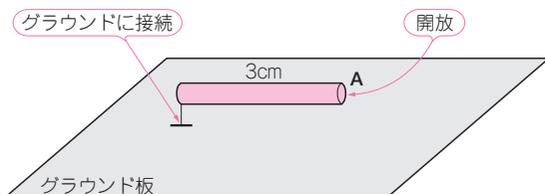
昭和30年代の初期、私が並4ラジオを作っていたころ、1 MHzは高周波でした。思い返すと、たぶん100 kHz程度から上は高周波の感覚だったと思います。今では1 MHzは低周波の感覚です。なぜ変わったのかを考えると、どうやら配線導体の寸法が問題になるような周波数を高周波に分類しているからだと思います。部品が小さくなって、配線長が短くなってきたので高い方に考えが変わっていったのでしょう。

部品が持つ本来の特性以外のパラメータも小さくなりますが、これも部品寸法の問題です。CやRが持つL成分がその例です。

配線の周りの電磁界空間を考慮せざるを得なくなるときも、高周波を取り扱う心構えに切り替わります。

■ $\lambda/4$ 線路の性質

図1.1は3 cmの導体の片側をグラウンドに接続した概念図です。A点から導体をのぞき込んだインピーダンスは、1 kHzではほぼ0 Ω でしょう。ところが2.5 GHz付近では非常に高いインピーダンス(1 k Ω 以上)を示します。2.5 GHzの自由空間における波長 λ



〈図1.1〉一端をグラウンドに接地した長さ3 cmの電線

は12 cm、長さ3 cmは $\lambda/4$ にあたりますから、この線路は0 Ω を無限大にするインピーダンス変換回路なのです。

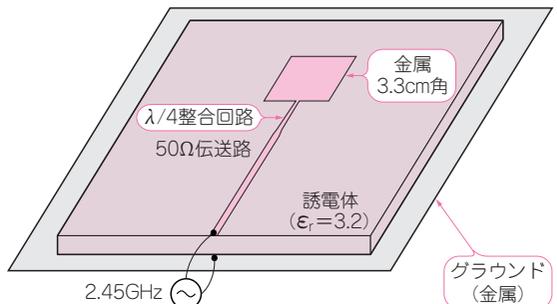
■ パッチ・アンテナの給電

マイクロ波の素子でちょっと面白いものを紹介しましょう。寸法が重要な役割をしている典型的な例です。

図1.2は一般的なパッチ・アンテナです。アンテナというと、普通は地上からできるだけ高く張ったワイヤ(電線)を思い浮かべますが、パッチ・アンテナはグラウンド面すれすれに設置するものです。ですから、金属表面にアンテナを置きたいときに重宝する構造です。パッチ・アンテナに関しては文献(1)を参考にしてください。

この図では2.45 GHzの周波数に対して $1/40 \lambda$ 程度の高さに置いています。誘電体を挟んで、グラウンド面と $1/2 \lambda$ の四辺形のアンテナを配置してみました。アンテナの一辺の中央から $1/4 \lambda$ の整合回路を介して50 Ω のマイクロストリップ・ラインにつないでいます。

このパッチに乗っている波をシミュレータで観察すると図1.3のようになります。赤い部分が電流が大きい所です。きれいに乗っていますね。この図の上辺と下辺では電圧が逆になっています。その辺の真下にあるグラウンドとの間でスリットを形成して二つの逆極性のスリット・アンテナが存在している格好になっています。



〈図1.2〉一般的なパッチ・アンテナの構造と給電方法

赤い帯の部分は電流が大きく電圧が小さいですから、インピーダンスが低くなっています。上下の辺では逆にインピーダンスが高くなっています。ですから、その間のどこかで50Ωになる場所があるはずです。そこに同軸をつなげば、整合回路がなくてもマッチングが取れます。その場合は図1.4のようにグラウンド面に穴を開けてつなぎます。

ごらんのように、この素子にはトランジスタも、キャパシタも抵抗も使っていません。単に、一定寸法の金属と誘電体で、アンテナ素子と整合回路と伝送線が形成されています。これが低周波とは大きな違いです。

二つの給電方法をお見せしましたが、ほかにもたくさん給電方法があります。

RFID チップをパッチ・アンテナに接続する

今はやりのRFIDチップをこのアンテナに直接接続してみることにしましょう。チップを伝送線なしで直接アンテナに接続するので、物理的な位置関係が問題です。グラウンド面とアンテナ面に段差がありますから、チップをそのまま直接貼り付けることはできません。

スルー・ホールを使ったり、フレキシブル・ケーブルに付けて誘電体を巻いて挟んだり工夫が必要ですが、コスト・アップになってしまいます。

● 構造と電流分布

そこで図1.5のような形状を考えてみました。図1.3に示した電流分布図でもわかりますが、この破線の部分は電圧が低いのでグラウンドとして使えます。そこで、給電点の一方をここにつなぐことにします。

RFIDチップは、容量性インピーダンスを持っているので、アンテナと整合させるには誘導性のインピーダンスを持たせた構造が必要になります。一定長の伝送路を用意し、これの片方を給電点の他方とします。

伝送路を調整して、所望のインダクタンスとレジスタンスが発生するようにします。二つの給電端子は平面上にありますから、フリップ・チップで直接接合することができます。

できあがった構造の電流分布をシミュレーションしてみると図1.6のようになります。かなりうまく波が乗っており、動作することがわかります。

● 寸法

パッチ・アンテナの大きさは、図の上下方向で1/2λ弱です。例として誘電体の比誘電率 ϵ_r を3.2とすれば、基板上の波長 λ は $1/\sqrt{\epsilon_r}$ になりますから、およそ約3.4cmの大きさになります。整合を取るために開けた四角い穴の長さは1cm程度以下になります。

シミュレータ上で整合させていくとすぐにわかりませんが、図1.5の中に開いているスリットの幅や、マッチング・ラインの幅は0.1mm単位の調整が必要になってきます。これらを変化させるとインピーダンスの実数部分と虚数部分が動くので合わせ込むわけです。

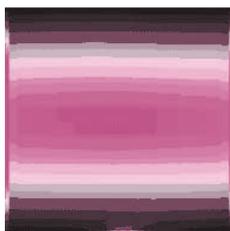
低周波の設計では思いもよらないやりかたです。高周波というのは、導電体が分布定数になって、長さや幅を気にしなければならない領域なのです。集中定数の部品の世界とはずいぶん異なります。

● 電流分布図に使ったシミュレータ

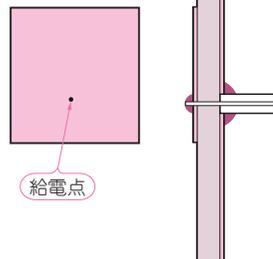
電流分布を見た図は“Sonnet”というシミュレータで出したものです。RFのシミュレータというComputer Simulation Technology社の“Microwave Studio”やアンソフト社の“HFSS”等が有名どころです。Sonnetは2.5次元しか扱えませんし、壁に金属しか許さないのが、現象を詳しく見たいときには隔靴搔痒の感があります。しかし安価ですし、簡単な構造でしたら無料お試し版もありますから、便利に使うことができます。

▶ ソネット Lite 無料版：

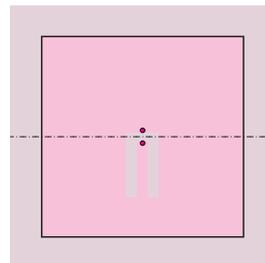
<http://www.sonnetsoftware.co.jp/free/>



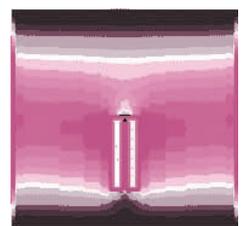
〈図1.3〉 図1.2のパッチ・アンテナの電流分布(シミュレーション)



〈図1.4〉 パッチ・アンテナの電極板上の50Ω点から給電する



〈図1.5〉 RFIDチップをパッチ・アンテナに接続する構造



〈図1.6〉 図1.5のアンテナの電流分布(シミュレーション)