

配線することにより、信号線とグラウンドとのカップリングが強くなり、変位電流が少なくなり、ノイズが減少したと考えられる。

#### 4 まとめ

1) ノイズ発生の少ないパターン設計ルールをデータベース化し、設計段階での品質を大幅に向上させることができるようにするため、様々なパターンの基板を試作した。近傍磁界測定を行うことにより、ノイズ発生メカニズムを解明した。

2) リターン電流が信号電流と平行になるように設計することにより、コモンモード電流の発生を抑え、ノイズ発生を減少させることができた。また、信号線とグラウンドとのカップリングを強くすることにより、変位電流の発生を抑え、ノイズを低減できることが分かった。さらに、信号線導体とグラウンド導体の対称性が低いと、コモンモード電流が多くなりノイズが増加することが分かった。

#### 5 参考文献

1) 仁田周一 他：“環境電磁ノイズハンドブック”朝倉書店（1999）

## 高周波回路設計技術に関する研究\*

小田 誠\*<sup>1</sup>

Research on High Frequency Circuitry Technology

Makoto ODA

これまで、電磁界シミュレーション技術により高周波回路の設計を試みてきた。しかし、設計した回路を実際に試作、評価した場合、設計値との差が大きく、シミュレータによる回路設計は実用化レベルに至っていない状況であった。シミュレータによる解析結果は、解析条件等の僅かな違いにより大きく異なる。そこで、設計と実測がほぼ同じになるような解析条件を検討した。本研究の結果、シミュレーション解析空間、材料パラメータ、解析メッシュサイズが解析結果に与える影響が大きく、これらの適切な設定が重要であることが分かった。これにより試作した機器の実測測定値とシミュレーション結果との誤差を1%以下にまで減少させることができた。

キーワード：マイクロストリップライン、シミュレータ、回路設計、モーメント法

### 1 はじめに

高性能なパソコンと高性能・高機能のシミュレータの出現によって、電磁界シミュレータさえあれば、誰でも高周波回路が設計できるという環境になりつつある。しかし、実際にシミュレータを用いて設計した回路を試作検証してみると、設計値どおりになっていないことがほとんどであり、結局はカッターを使ってプリントパターンを削ったり、銅箔をはんだ付けするようなことが行われている。このようなカットアンドトライに頼ることが多い高周波回路設計の分野では、若手技術者が育ちにくい状況である。

このため、モーメント法による電磁界解析ソフトを用いた高周波回路設計技術の確立に取り組んでいる、解析空間の大きさや使用する材料のパラメータによりシミュレーション結果が大幅に変わることに着目し、様々な条件でシミュレーションを行った。また、設計した回路を試作し、その特性を実測することによりシミュレーション結果との比較を行った。その結果、実測値と設計値との誤差が1%程度にまで小さくなることが明らかにな

ったので報告する。

### 2 実験方法

#### 2-1 高周波回路設計

試作する回路の設計を行った。今回、マイクロストリップラインBPFの設計を行った。回路の特性は次のとおりである。

中心周波数 $f_0 = 2.45$  GHz

比帯域 $w = 5$  %

段数 $n = 5$

チェビシェフ伝達特性

リップル $L_{Ar} = 0.1$  dB

特性インピーダンス $Z_0 = 50$  Ω

また、使用する基板はFR-4（松下電工株）

基板厚 $h = 1.6$  mm

比誘電率  $\epsilon_r = 4.8$

誘電正接  $\delta = 0.015$

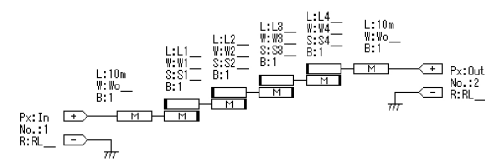
基板サイズ 縦50 mm 横150 mm

である。

設計は、S.B.Cohnが1958年に発表した設計手法を用いた。

\* 高周波回路設計技術に関する研究（第2報）

\* 1 機械電子・デザイン部



W0 = 2.78623 mm  
 W1 = 2.39738 mm, S1 = 548.988 μm, L1 = 15.2837 mm  
 W2 = 2.83235 mm, S2 = 2.7161 mm, L2 = 15.2357 mm  
 W3 = 2.83235 mm, S2 = 2.7161 mm, L2 = 15.2357 mm  
 W4 = 2.39738 mm, S1 = 548.988 μm, L1 = 15.2837 mm

図1 回路図

2-2 電磁界シミュレータ

使用した電磁界シミュレータは S-NAP/Field for Windowsである。このシミュレータは、シールド領域のモーメント法解析エンジンを搭載したプレーナ回路用電磁界シミュレータであり、L、C、R、トランジスタなどの回路部品を混在させて解く事ができる新しいタイプのマイクロ波シミュレータである。

2-2 誘電体の設定

使用する材料のメーカーが提示している誘電体の比誘電率は一般に 1 MHz時の物が多いが、実際には、全く異なる周波数で使用することが多い。そこで、材料の使用周波数帯域における比誘電率及び誘電正接を実測し、これらがシミュレーションに及ぼす影響を調べた。材料の物性測定には、インピーダンスアナライザ (Agilent、E4991A) を使用した。

2-4 解析空間の設定

解析空間の側壁は無損失の電気壁である為、アンテナと側壁が近くなることで結合が起こり、等価的に L や C として働き、共振周波数がずれることがある。

また、今回のシミュレーションではシールド型のグリーン関数を使っている為、BOX内を伝搬するためには解析空間はスイープする周波数の半波長のサイズが最低必要である。但し、BOXサイズが大きくなると、グリッドが細くなり、モード数

も増えるため、高次のモードでのBOX共振の可能性が増える。この共振が起こるとSパラメータが乱れることがある。そこで、解析空間サイズを変化させ、実測値とシミュレーション値が最も近くなる条件を求めた。

2-5 サブセクションサイズの設定

モーメント法では、金属導体部分をサブセクションという小さなセクションで区切り、連立方程式を解いて解析を行う。このサブセクションを細かくすると精度は上がるが、連立方程式の係数行列のサイズ(マトリックスサイズ)が増え、解析時間も増加する。そこで、短時間で高精度の結果が得られる条件を検討した。

3 結果及び考察

3-1 試作基板の解析結果

試作したBPFのSパラメータを実測した。測定には、ネットワークアナライザ(株アドバンテスト、R3765CG)を使用した。結果を図2に示す。フィルタの中心周波数は、2.67GHzであり、設計値の2.45GHzとは、8.98%の誤差が生じていた。

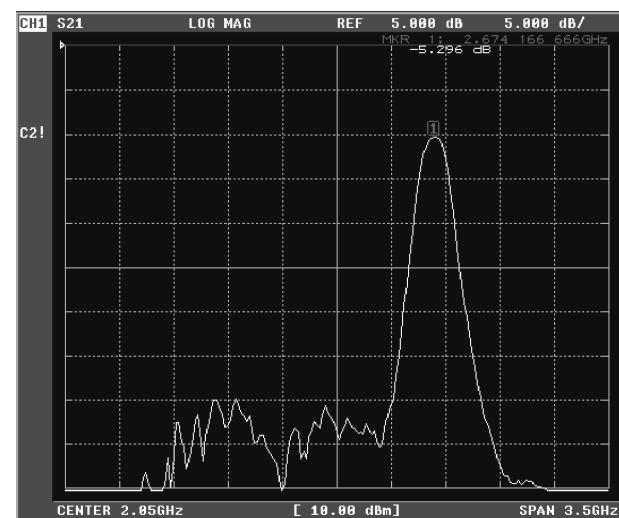


図2 フィルタ実測結果

3-2 比誘電率による影響

今回使用した両面プリント基板の材料特性を実測した。結果を図3に示す。この結果から材料の特性値は、実際に使用する周波数(2.45GHz)では、メーカーの提示している値と異なることが分かった。比誘電率  $\epsilon_r = 4.3$ 、誘電正接  $\delta = 0.03$  程度であっ

た。また、材料特性にカタログ値を用いた場合のシミュレーション結果は2.49GHzであったが、実測値を用いた場合は2.62GHzとなり、実測値との誤差を6.74%から1.87%までに減少させることができた。以上の結果より、誘電体の比誘電率  $\epsilon_r$  は共振周波数の計算に大きく影響することが分かった。

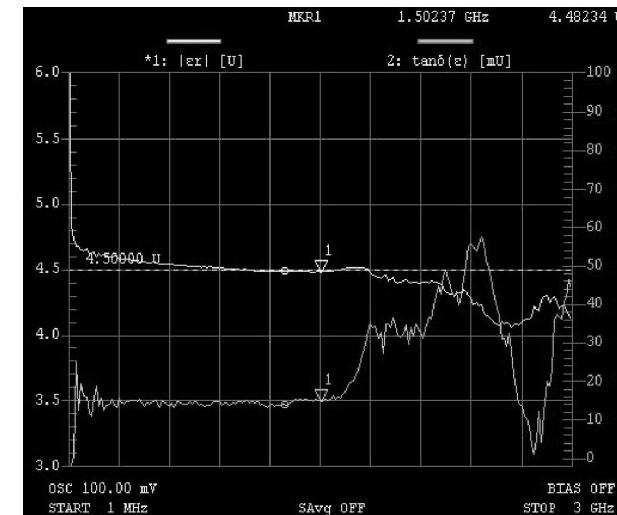


図3 基板材料の実測結果

3-3 解析空間設定の効果

解析空間サイズを30mm、60mm、120mmとして解析を行った。Sパラメータ解析結果を図4から図6に示す。結果はそれぞれ2.62GHz、2.63GHz、2.65GHzとなった。解析空間を広くすることにより実測との誤差が減少していったが、120mm以上にしても解析時間が増えるばかりで、解析結果には影響が出なくなった。2.45GHzの信号の波長は122mmであるので、解析空間は解析周波数波長の1波長分程度あれば十分であるということが分かった。なお、解析空間の高さ方向の大きさによる影響はほとんどなかった。

また、解析空間の側壁との共振もシミュレートしていることが分かった。このことから、このシミュレータは、電子機器の金属ケースにあるスリットから放射されるノイズ解析にも応用が可能であると考えられる。

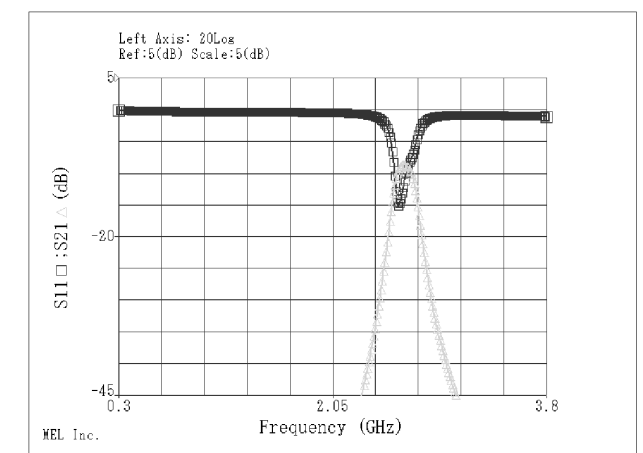


図4 解析空間 30mm

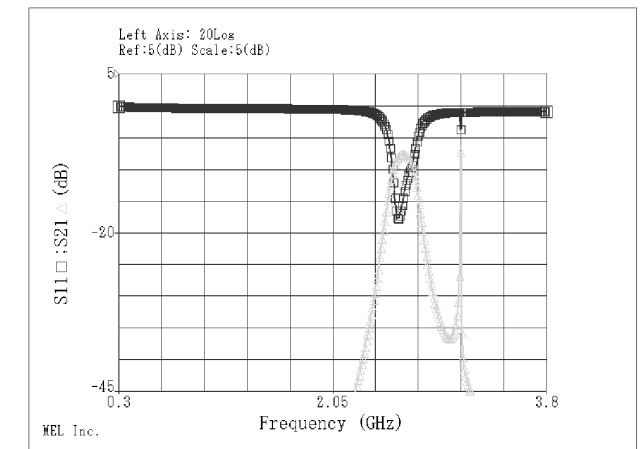


図5 解析空間 30mm

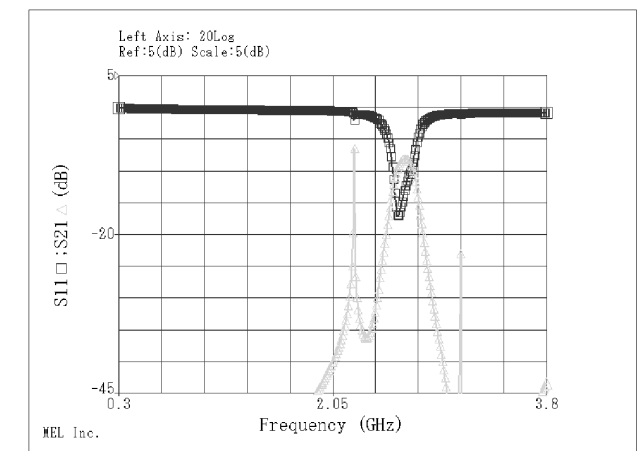


図6 解析空間 30mm

3-4 サブセクションサイズの設定

基板のサブセクション間隔を10 μm、50 μm、100 μmに設定し、シミュレーション解析を行った。結果はそれぞれ2.66GHz、2.66GHz、2.65Hzとなった。図7にサブセクション間隔及び解析空間のサ

ンプル図を示す。サブセクションサイズを小さくすることにより解析結果が向上したが、解析時間が長くなり、10 $\mu$ m、50 $\mu$ mの場合は実用的でなかった。目安としては $\lambda/20$ 以下であれば良いことが分かった。しかし、今回のような細かなパターンでは、100 $\mu$ m程度で解析を行わないと解析エラーが発生することも分かった。

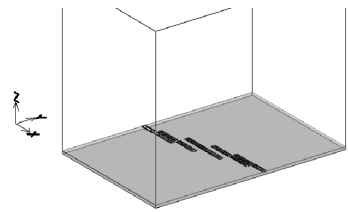


図7 サブセクション・解析空間の概念

#### 4 まとめ

- 1) 高周波回路は、計算値どおりに試作しても希望する特性どおりに動作しないことが多い。今回の研究により、設計した回路を試作する前に電磁界シミュレーションを用い性能評価することが可能になり、開発にかかっていた時間を大幅に短縮できるようになった。
- 2) 以上の結果をふまえ、パッチアンテナの開発を行ったところ、短期間で希望の特性と形状を有するアンテナの開発ができた。これにより装置の大きさに合わせた様々な形状のアンテナ開発を容易に行えるようになった。
- 3) 今後は、シミュレーション技術を使ったミリ波アンテナの開発に取り組んでいく予定である。

#### 5 参考文献

- 1) 上野伴希：“試作で学ぶ高周波フィルタの設計法” 総合電子出版社（2002）

## 電子機器の電磁雑音対策に関する研究\*

古川 直光\*<sup>1</sup>

Study of EMS (Electro Magnetic Susceptibility) for Electro Devices

Naomitsu FURUKAWA

近年、電磁雑音に対する国際規格（EMC）が制定され、国内でもこのEMC規格のJIS化が進められている。電子機器においては、不要な電磁波を放射しないか、または他の機器から放射される電磁波で容易に誤動作しないかの試験が課せられている。この研究は、電子機器が外部からの電磁波によって障害を受け誤動作するメカニズムを解明することを目的とした。

キーワード：電磁波、EMC、EMS、イミュニティ

#### 1 はじめに

電子機器が外部からの電磁波によって誤動作するメカニズムを解析し、ノイズに強いプリント基板の設計方法、部品配置、パターン配置上で考慮しておくこと等を解明した。

次に、評価用サンプルをイミュニティ試験により耐性能力を評価して、上記解析の結論に基づき対策を施した後、その有効性の評価を行った。

#### 2 実験方法

##### 2-1 測定方法

評価用両面プリント基板上に構成された擬似回路に、80~1,000MHzの電磁波を電界強度25V/mとし、偏波面を垂直・水平に切り替え放射し、この回路に誘起した高周波電圧をオシロスコープで観測し、その周波数、電圧値、波形の相互関係について解析する。図1に、電波暗室内で実施したこの実験の測定装置配置図を示す。

##### 2-2 評価用プリント基板

図2、図3に、この実験で使用したPC板の外観を示す。この基板は、イミュニティ試験の規格が80~1,000MHzであることを考慮し、パターンの共振周波数が、200~300MHzとなるような長さとした。パターン幅も1、2、3mmの3種類とし、裏

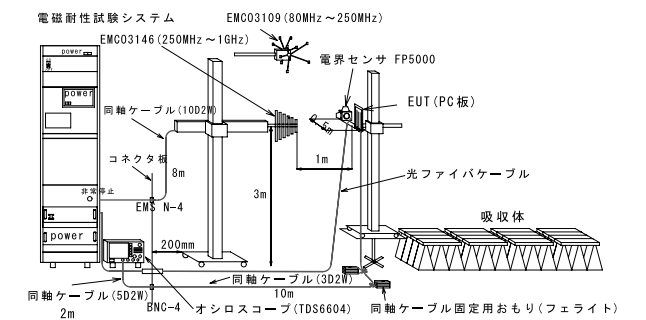


図1 測定装置配置図

面にパターンが走っていないもの、平行して走っているもの、ベタアースになっているものを用意した。

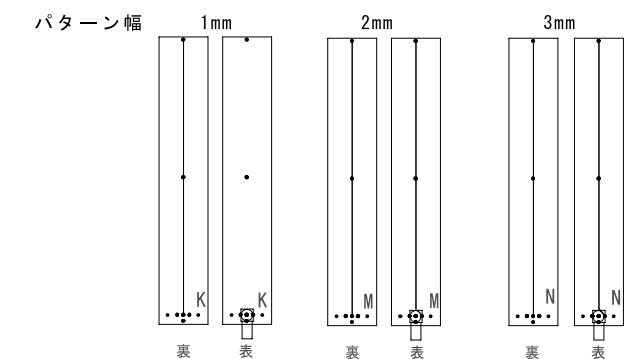


図2 PC板外観1

\* 電子技術に関する研究

\* 1 工業技術センター 客員研究員