

# 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

本研究は、多種多様な高周波機器に利用される回路を設計する手法について報告するものである。計算により求めた回路を高周波回路シミュレーション技術および電磁界シミュレーション技術を用いて回路のSパラメータをシミュレートした。電磁界シミュレーションの手法としてモーメント法を用いて検討を行った。また、実際に回路を試作し、特性を測定評価した。

本研究では、電磁界シミュレーションをモーメント法を用いて行う際に、各種シミュレート条件を適切に設定することにより実機による実測値との誤差がほとんどない回路を設計することが出来るようになったので報告する。

キーワード：マイクロストリップライン BPF チェビシェフ特性 モーメント法

## 1 はじめに

マイクロ波帯のように周波数が高くなると、一般的にQの高いインダクタンス素子を、集中定数のコイルで作るのは大変難しい。したがってこの周波数帯のBPFは、LC共振器ではない別の構成が必要になる。

マイクロ波帯の周波数は、商用では1940年代の後半から公衆通信網の無線中継として使われ始めた。当時この周波数での半導体デバイスは、ミクサダイオードなどの限られたものしかなく、このため最大限の性能を得る手段として、高周波フィルタはQの高い導波管回路を用いて設計された。これらの導波管回路は物理的に大きく、そのため中継器も大きかった。通信ネットワークを発達させるためには通信機の小型化が必須であり、このようなニーズから研究開発が着手されたのがMIC(Microwave integrated circuit)と呼ばれるマイクロ波回路である。

MICはトランジスタやFETなどの半導体素子をセラミックなど誘電体基板上に実装し、コイルやコンデンサをストリップラインなどのプレーナ

(planar)線路を使って、分布定数の平面回路で構成したハイブリッドIC回路である。このMIC構成により無線機器やサブシステムなどの回路が設計される。MICの基本的な回路の研究は1960年代にさかに行われ、それらをまとめて1968年にIEEEで論文の特集が出版されている。その後GaAs-EFTなどの優れた半導体トランジスタが使えるようになり、BSコンバータなどの民生品にもMICの技術が生かされた。このようなMICに適した平面回路で構成するBPFとして有名なのがマイクロストリップラインBPFである。

本研究では2.45GHz帯において、マイクロストリップ半波長共振器を用いた5段BPFの設計を行った。また設計した回路を高周波回路シミュレータ及び電磁界シミュレータにより解析し、実機による実測値との誤差が少なくなる設計方法を確立したので報告する。

## 2 実験方法

### 2-1 高周波回路設計

今回試作する回路の設計を行った。今回は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。

\* 高周波回路設計技術に関する研究(第1報)

\*1 機械電子・デザイン部

中心周波数  $f_0 = 2.45\text{GHz}$

比帯域  $w = 5\%$

段数  $n = 5$

チェビシェフ伝達特性

リップル  $L_{Ar} = 0.1\text{dB}$

特性インピーダンス

$Z_0 = 50$

また、使用する基板は、

基板厚  $h = 1.6\text{mm}$

比誘電率  $r = 4.8$

誘電正接  $= 0.015$

基板サイズ 縦50mm横150mm

設計は、S. B. Cohnが1958年に発表した設計手法を用いた。



$W0 = 2.78623\text{m}$

$W1 = 2.39738\text{m}$ ,  $S1 = 548.988\mu\text{m}$ ,  $L1 = 15.2837\text{m}$

$W2 = 2.83235\text{m}$ ,  $S2 = 2.7161\mu\text{m}$ ,  $L2 = 15.2357\text{m}$

$W3 = 2.83235\text{m}$ ,  $S2 = 2.7161\mu\text{m}$ ,  $L2 = 15.2357\text{m}$

$W4 = 2.39738\text{m}$ ,  $S1 = 548.988\mu\text{m}$ ,  $L1 = 15.2837\text{m}$

図1 回路図

## 2 - 2 高周波回路シミュレーション

キルヒホッフの法則をベースとした節点解析法（ノードル解析法）を用いて解析を行った。回路網のすべての電流経路についてキルヒホッフの法則を適用し複素行列演算をおこなった。ノードル解析法により作成された回路方程式をスパースマトリックス法によりSパラメータを求めた。

## 2 - 3 電磁界シミュレーション

モーメント法を用いて電磁界シミュレーションを行った。基板の縦方向サブセクション間隔を  $100\mu \sim 5\mu\text{m}$ 、横方向サブセクション間隔を  $500\mu \sim 10\mu$  に変化させシミュレーション解析を行ってみた。

## 3 結果及び考察

### 3 - 1 高周波回路シミュレータによる結果

高周波回路シミュレータによる解析結果を図2に示す。後に示す実測結果に比べて、S11の最小点が深くなった。実測に比べると多少異なるが、簡易的な評価には十分利用できることが分かった。また、回路シミュレータでシミュレーション精度を出すには、モデリングが重要であり、シミュレータの画面上にどれだけ現実に近い状態を作り出せるかがポイントであることが分かった。

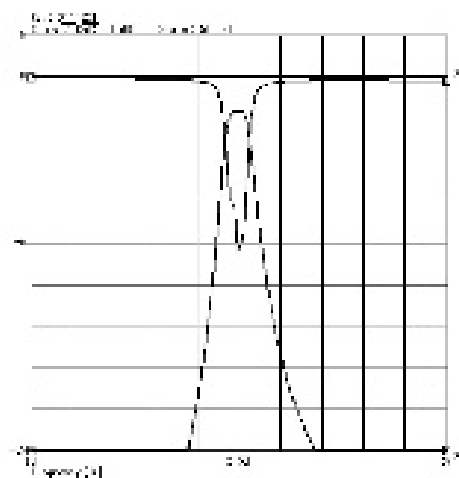


図2 高周波回路シミュレータによる解析結果

### 3 - 2 電磁界シミュレータによる結果

電磁界シミュレータによる解析結果を図3に示す。高周波回路シミュレータによる解析結果に比べて、リターンロスが悪くなることが分かった。

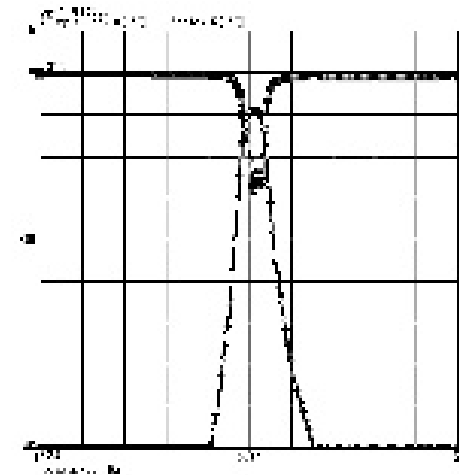


図3 電磁界シミュレータによる解析結果

### 3 - 3 実測結果

設計値通りに試作したBPFのSパラメータを実測した。測定には、(株)アドバンテスト製ネットワークアナライザR3765CGを使用した。実測した結果を図4に示す。結果が電磁界シミュレータによる解析結果とほぼ一致した。電磁界シミュレータにおける縦横のグリッド間隔を小さくすることにより、実測との誤差が小さくなっていった。図

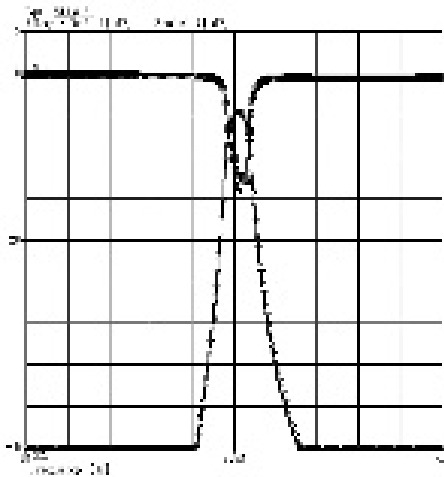


図4 実測結果

3のシミュレーションではグリッド間隔を縦 $25\mu$ 、横 $100\mu$ とした。グリッド間隔を小さくすることにより実測値との誤差が小さくなっていったが、計算に要する時間がかなり長くなっていったので、上記ぐらいが適切であると考えられる。

### 4 まとめ

高周波回路においては、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電磁界シミュレーションにより検証することが可能になったので、試作の前に希望する特性になるように回路の設計を変更してから試作を行えるようになった。これによ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。今後はより高い周波数での解析を行ってみる必要がある。

### 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