FPCにおける回路設計が伝送特性に与える影響

笹岡 典史*, 大野 正人*

The Effect of Circuit Pattern Design on Transmission Characteristics at FPC

Norifumi SASAOKA* and Masato OONO*

*ニッポン高度紙工業株式会社デバイス技術部（〒781-0395 高知県高知市春野町弘岡上648）

*Device Engineering Department, Nippon Kodoshi Corp. (648 Hirooka-kami, Haruno-cho, Kochi-shi, Kochi 781-0395)

Abstract

In this paper, a FPC which has high flexibility and low insertion losses was investigated. We made several kinds of our original FPC which are constructed with Microstrip-Lines or Strip-Lines when changing various factors. These factors are the shape of the GND pattern, the width of the signal pattern, the thickness of the copper, and the thickness of the resin. We confirmed that the stability of the characteristic impedance and the S-parameter change from the shape of the GND pattern. An equilateral triangle GND pattern causes a circuit resonance. We concluded from the characteristic impedance and S-parameter data that a square is the best shape for the GND pattern and it is better to make the resin thicker and to extend the pattern width.

Key Words: FPC, Microstrip-Line, Strip-Line, Characteristic Impedance, S-parameter

1. 緒言

パソコンやモバイル機器, AV機器における性能向上に伴い, プリント配線板上の信号は高速化の一途をたどっている。特に信号周波数が数百MHz~GHz領域になると, 従来のフレキシブルプリント配線板 (=以下FPC) では, 信号の損失が大きく使用困難となる^{1),2)}。損失の課題を解決するためには, FPCの絶縁層や導体材料, パターン設計を最適化することにより損失を軽減する必要がある^{1),2)}。だが, それらの検討において, 本来FPCに求められる薄さと柔軟性は損なってはならない。

本稿では, FPCの線路構造, GNDパターン形状に主な焦点をあてFPCの伝送特性を評価した。その結果をもとにFPCにおける回路設計が伝送特性に与える影響について報告する。

2. 評価用FPC

Fig. 1に伝送特性評価用FPCの概略図を示す。長さ200mmの信号ラインと測定用ランドからなり, FPCは長さ200mm, 幅20mmの寸法に1枚ずつ外形加工している。測定用ランド部は, 信号ラインをGNDで挟んだ形状で, 上下のGND層は導電性ペーストの埋め込みVIAで接続されている。絶縁層はわれわれの開発した比誘電率2.4~2.9, 誘

電正接0.007~0.008のポリアミドイミド樹脂である。製造方法は, 樹脂層をスクリーン印刷にて形成し銅箔を積層するビルドアップ法である。

本FPCの特長は, 銅箔と樹脂のみで構成でき, 接着剤などの異質な媒質をもたないこと, 樹脂の厚みを調整できることの2点である。

評価用FPCは, GNDパターンの残銅率を50%と定めて形状を変化させたほか, 線路構造, 信号ライン幅, 層間樹脂厚み, 銅箔なども変化させた数十種類を作製した。

3. 評価方法

3.1 特性インピーダンス

アジレント・テクノロジー製TDR測定器86100C, 測定用プローブCP960-01を用いて, 信号立ち上がり時間100psの条件で特性インピーダンスの測定を行った。

3.2 伝送特性

特性インピーダンスが $50 \pm 5 \Omega$ のサンプルを抽出し, アジレント・テクノロジー製ベクトルネットワークアナライザN5230A, 測定用プローブには, 40GHzまで対応のカスケード・マイクロテック製コブレナプローブB90-122391を用いてSパラメータ測定を行った。測定前の校正方法は, 同社製の校正基板K00-41702を使用しSOLT法により実施した。測定系をFig. 2に示す。

Fig. 1 Schematic illustration of FPC

Fig. 2 Illustration of measurement system

4. 評価結果

4.1 特性インピーダンス

Fig. 3において、マイクロストリップラインでの各GNDパターン形状に対する特性インピーダンスを示す。Fig. 4において、ストリップラインでの特性インピーダンスを示す。

グラフの横軸は層間樹脂厚みで、マイクロストリップラインFPCは信号ラインとGND間、ストリップラインFPCはGND間の厚みである。縦軸は特性インピーダンスの値である。いずれにおいても、配線幅が狭くなると特性インピーダンスのバラツキが大きい傾向にある。特に正三角形品は他と比較してバラツキが大きく、配線幅が $100\mu\text{m}$ 以下では $\pm 10\Omega$ 程度のバラツキとなる。メッシュ形状品およびメッシュ形状とコプレナ線路組み合わせ品は、バラツキが小さく、いずれの配線幅においても $\pm 5\Omega$ の範囲内にあり、配線幅 $120\mu\text{m}$ においては $\pm 3\Omega$ の範囲内にあることが確認された。

4.2 伝送特性

次に、特性インピーダンスが $50\pm 5\Omega$ のサンプルを抽出し、Sパラメータ測定を行った。Fig. 5において、GNDパターン形状変化に対する伝送損失の測定結果を示す。GNDパターンの形状が正三角形の場合、いずれの線路構造においても、16GHz近傍から損失が著しく大きくなり、19GHz以上の帯域で共振点が確認された。正三角形品以外はいず

れも大差は見られなかった。

続いて、GNDパターン形状をメッシュとし、信号ラインに使用する銅箔の表面粗度と厚みを変更したマイクロストリップラインFPCおよびストリップラインFPCを数種類作製し、特性インピーダンス $50\pm 5\Omega$ 品の伝送損失の測定を行った。結果をFig. 6に示す。

線路構造と銅箔仕様により伝送損失に変化が見られた。まず線路構造を比較するとマイクロストリップラインの方がストリップラインよりも伝送損失が小さい。ストリップラインは上下にGNDがあるため表皮抵抗はマイクロストリップラインの約半分になると考えられるが、信号ラインの上下面が樹脂で覆われている。一方、マイクロストリップラインは、信号ラインの片側面がGND、もう一方の面は大气であるため、樹脂に比べ誘電率は小さく誘電損が軽減される効果が考えられる。次に銅箔の仕様変化に着目すると、表面粗化銅箔は表面平滑銅箔に比べ伝送損失が大きいたことが確認できた。銅箔厚み変化に対しては、ストリップラインFPCはマイクロストリップラインFPCに比べインピーダンス整合に必要な配線幅や層間樹脂厚みがより大きく変化するため、伝送損失の変化が大きくなったものと考ええる。

4.3 ストリップラインFPCの仕様最適化

得られたデータを元に、現在われわれの製造している最も誘電率の低い樹脂($\epsilon_r=2.4$, $\tan \delta=0.007$)と表面平滑圧延銅箔 $16.5\mu\text{m}$ ($R_z=0.6\mu\text{m}$)を使用し、GNDパターンをメッシュ形状として、ストリップラインFPCの仕様最適化を検討した。結果をFig. 7, Fig. 8に示す。

配線幅 $100\sim 140\mu\text{m}$ 、層間樹脂厚み $50\sim 105\mu\text{m}$ で特性インピーダンス $50\pm 5\Omega$ 品が4種作製できた。4種の伝送損失を測定した結果、配線幅、樹脂厚みの増加に伴い伝送損失も低下する傾向が確認され、配線幅 $140\mu\text{m}$ 、層間樹脂厚み

Fig. 3 Measured characteristic impedance depend on resin thickness at Microstrip-Line FPC

Fig. 4 Measured characteristic impedance depend on resin thickness at Strip-Line FPC

Fig. 5 Measured S-parameter effect of GND pattern

Fig. 6 Measured S-parameter effect of copper roughness and thickness

Fig. 7 Measured characteristic impedance depend on resin thickness at Strip-Line FPC (=Square GND pattern)

Fig. 8 Measured S-parameter at Strip-Line FPC (=Square GND pattern)

104 μm が最も伝送損失が小さく、3GHzで-3.2dB、6GHzで-5.2dBという値となった。

5. 結 言

フレキシブルプリント配線板において、数百MHz~GHz領域の信号を伝送する際、FPCの柔軟性を損なうことなく、課題となる伝送損失を軽減させるため、GNDパターン形

状、線路構造、信号ライン幅、層間樹脂厚み、銅箔などを変化させたFPCを作製し評価した結果、以下のことがわかった。

- 線路構造については、要求性能、FPCを設置する周辺の状態、電磁環境両立性を考えて選択を行う。
- GNDパターン形状はメッシュが適していると判断する。正三角形形状では、特性インピーダンスの値が $\pm 10\%$ の範囲内に収まらない上に、共振の発生やフィルタ回路となる可能性がある。

- ・インピーダンスのバラツキ低減には、コプレーナ線路構造が有効であるが、伝送損失にはほとんど影響しない。
- ・伝送損失軽減のためには、設計段階において、表面粗度の小さい銅箔を選択した後、誘電損の軽減を第一に考え、比誘電率の小さい樹脂を選択し、信号ライン幅、層間樹脂厚みを、許容できる範囲内でできる限り大きくとることが有効である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、FPCの設計および測定に関して、

エーイーティー上田様より多くのご助言をいただきました。
深く感謝申し上げます。

(2010.9.8-受理)

文 献

- 1) 碓井有三：“高速システム設計における線路損失の考え方,”
Design Wave Magazine, No. 70, pp. 48-55, 2003
- 2) 高橋 勉：“高速デジタル・プリント配線板のノイズ対策,” Design Wave Magazine, No. 68, pp. 84-95, 2003