

信号高速化に対するFR4基板の適応性評価

杉浦宏和* 吉村慶之*

1. 緒言

近年のパソコンやスマートフォンなどに代表される電子機器は、性能向上のため電気信号の高速化が目覚ましく進んでいる。信号の高速化が進むと伝送損失やジッタ(信号の時間的変動)等により波形が歪みやすくなるため、波形の認識を誤り、電子機器の誤動作を引き起こすおそれがある。この問題は信号が高速になるほど顕著となり、高速信号に対応した基板の開発も進んでいるが¹⁾²⁾、これらは高価であり採用は限定される。このため、電子機器開発メーカーでは、高速信号を扱う製品でも現在汎用に使われている安価な基板であるFR4基板(ガラス繊維にエポキシ樹脂を含浸させた基板)を採用したいとの要望がある。FR4基板は信号の周波数の限界が1GHzとされている³⁾ものの、具体的な採用基準についての報告はなく、FR4基板の採用条件は不明確となっている。

そこで本研究では、FR4基板の伝送線路における線路長とミアンダ線路における振幅に注目して伝送特性を評価し、高速信号に対する適応性の把握を目的とした。

2. 伝送特性評価

2.1 評価内容

FR4基板の高速信号に対する適応性の評価について、線路長では伝送損失特性(S21)、特性インピーダンス、ジッタを評価し、ミアンダ線路ではS21を評価した。

2.2 線路長における伝送特性の評価

評価した基板(図1)は、線路の特性インピーダンスが 50Ω となるよう線路幅 $w=0.14\text{mm}$ 、線路厚 $t=0.035\text{mm}$ 、基材厚 $h=0.1\text{mm}$ に設定した。

まず、この基板の線路長 L に対するS21は3次元電磁界解析システムによるシミュレーション解析で評価した。解析では、比誘電率 ϵ_r を4.2、誘電正接 $\tan\delta$ を0.016に設定した。評価する高速信号はUSB3.0(2.5GHz)とUSB3.1(5GHz)の各周波数とし、シミュレーション解

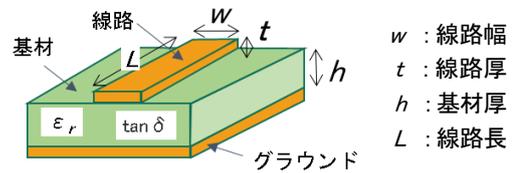


図1 評価用基板

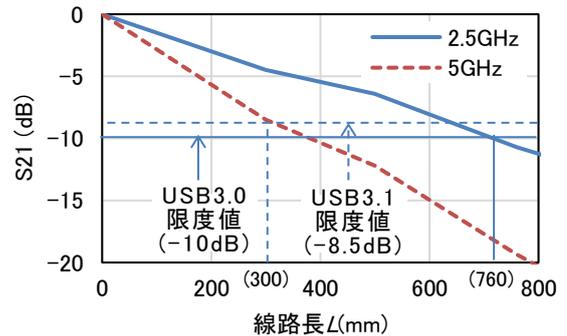


図2 線路長Lに対するS21

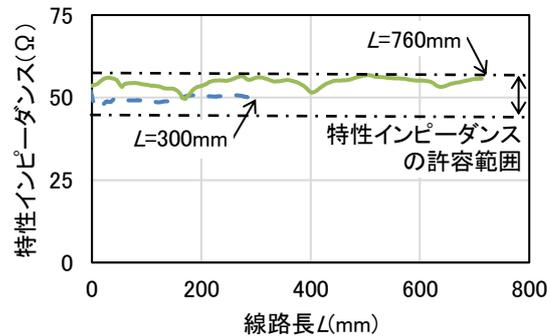


図3 線路長 $L=760\text{mm}$ の特性インピーダンス

析によりS21を求めた。その結果を図2に示す。これより、両周波数とも線路長が長くなると伝送損失は大きくなることが確認できた。これらの結果をUSB規格の限度値⁴⁾で評価すると、USB3.0の限度値-10dBでは760mm、USB3.1の限度値-8.5dBでは300mmが各規格での線路長限界であった。

次に、各USB規格の伝送損失限度値における線路長限界の線路に対して、ネットワークアナライザで特性インピーダンスを実測した。図3に示すとおり、USB3.0の線路長限界 $L=760\text{mm}$ における特性インピーダンスは設計値の 50Ω に対して-1.0~+10.0%の変動で許容範囲内であった。同様に、USB3.1の線路長限界300mm

*電子情報部

における特性インピーダンスは同じく-4.0~+5.2%の変動があった。一般的な用途では±10%以内で評価する機会が多く、この基準で評価すると、各USB規格における伝送損失限界の線路長は、いずれも特性インピーダンスが問題となることはない。

さらに、 $L=760\text{mm}$ の線路に対してビットエラーレートテストで2.5GHzのPRBS(擬似ランダム信号)を送らせ、そのアイパターンを高速オシロスコープで観測し、ジッタを評価した。図4に示すとおり、ジッタは16.4psであった。USB3.0規格における限度値は86ps⁵⁾以内であることから、ジッタによる制約は無いといえる。

以上より、FR4基板において伝送損失から導き出したUSB3.0の線路長の限界760mmは、特性インピーダンスやジッタにおいても問題がなく、760mm以下であればUSB3.0の規格である2.5GHzの高速信号に対して適応性があることが明らかとなった。同様に、USB3.1の線路長の限界300mmは、特性インピーダンスにおいて問題がないことが明らかとなった。

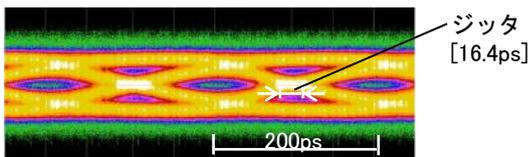


図4 2.5GHzの信号に対するジッタ

2.3 ミアンダ線路における伝送特性の評価

図5に示すミアンダ線路の振り幅 dy について、 S_{21} をシミュレーション解析により評価した。その他のパラメータは、線路の特性インピーダンスが 50Ω となるよう $w=0.14\text{mm}$ 、 $t=0.035\text{mm}$ 、 $h=0.1\text{mm}$ 、 $L=200\text{mm}$ 、ピッチ $dx=1.12\text{mm}$ とした。図6に示すとおり、 dy が大きいほど低い周波数に1次の共振が現れる。この共振は、 $dy=32\text{mm}$ でUSB3.0、 $dy=16\text{mm}$ でUSB3.1の周波数と重なり、信号の伝送に影響を及ぼす。したがって、ミアンダ線路の振り幅 dy はUSB3.0では32mm以下、USB3.1では16mm以下にする必要があると考えられる。

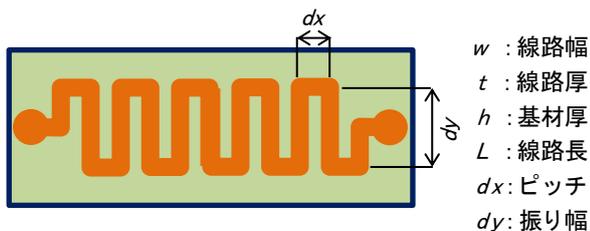


図5 ミアンダ線路のパラメータ

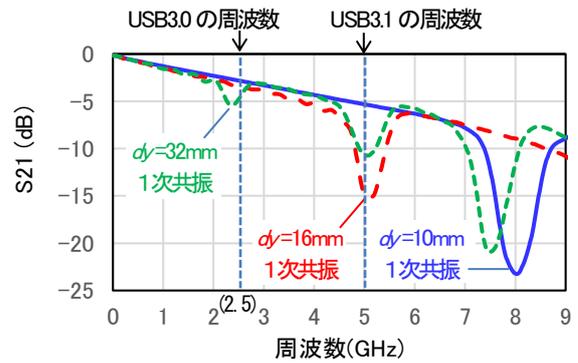


図6 ミアンダ線路の振り幅 dy に対する S_{21}

3. 結 言

現在汎用のFR4基板について、伝送線路の線路長とミアンダ線路における振り幅に注目して信号高速化への適応性を評価した。結果は以下のとおりである。

線路長における伝送特性評価より、USB3.0規格では線路長760mmが限界となる。この長さは特性インピーダンスやジッタにおいても適応性があった。また、USB3.1規格では線路長300mmが限界となり、この値は特性インピーダンスにおいても適応性が認められた。

ミアンダ線路における振り幅は、USB3.0では32mm以下、USB3.1では16mm以下にする必要があると考えられる。

実製品では、今回評価した以外にも線路上に配置されたビアやコンデンサ等により、高速信号の伝送損失やジッタを生じさせる。製品設計の際は、これら他の要因にも留意する必要があると考えられる。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、評価用基板試作へのご協力、並びに評価条件や結果についてご助言を頂いた東京ドローイング(株)、EIZO(株)の担当各位に感謝します。

参考文献

- 1) 松下幸生, 斉藤英一郎, 富永弘幸. “高速伝送用基板材料”. エレクトロニクス実装学会誌. 2001, vol4, no7, p. 551-555.
- 2) 富岡雅弘, 伊藤琢也, 池田哲平, 中村篤, 竹内英樹, 山極大葵, 春日貴志. “FR-4基板における誘電体損と伝送損失に関する検討”. 信学技報. 2017, vol17, no146, p. 13-18.
- 3) 外山淳. “高周波基板に用いられるプリント基板の材質”. 高周波基板.com. <http://kousyuha-kiban.com/zais-1.html>, (参照2016-06-29).
- 4) USB 3.1 Channel Loss Budgets:2015. USB Implementers Forum
- 5) Universal Serial Bus 3.1 Specification Revision 1.0:2013. Transmitter Eye. USB Implementers Forum