

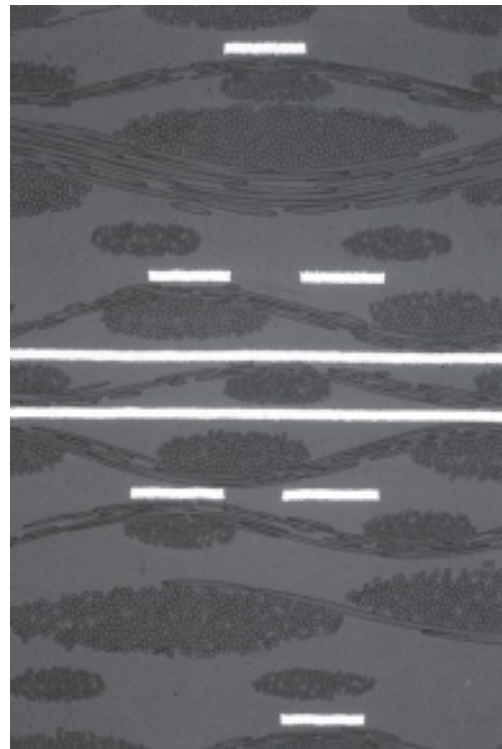
ガラス繊維強化積層材使用時におけるインピーダンスの計算値と実測値の差異 (特に差動構造において)

概要

フィールド・ソルバーは特性インピーダンス構造の計算及び解析に広く採用されています。しかし、(特に微細な幾何学を用いる)差動構造の設計時には、歩留まりを向上させる為に基板及びプリプレグ構造に関する詳しい理解が必要となります。

設計考察

FR4(及びその他のガラスクロス積層材)は加工樹脂組成及び強化ガラス繊維から構成されています。右の写真は2つのプレーン、差動ペア及びガラス繊維クロスの繊維束をはっきりと表しているFR4プリント配線板の断面図です。それら以外の部分は樹脂で満たされています。



FR4内のシングル及び差動トレースの断面図
(ガラスの位置は基板毎、ロット毎で異なる)

上図は2つの異なる誘電体の混合物

ガラスの比誘電率(ϵ_r)は約6でありFR4内樹脂の比誘電率(ϵ_r)は約3です。差動トレースがお互い隣接している場合、電界が樹脂の密な部分を感知するということを考慮し、これを補償する為に低めの ϵ_r を使う必要があります。

なぜ、実測値は理論値と異なるのか？

まず、一般的にFR4にて用いられる比誘電率の値は約4.2ですが、これは原材料の公称比誘電率です。

$\epsilon_r=6$ のガラスと $\epsilon_r=3$ (高機能材質ではさらに低め)の樹脂を用いると電界は原材料の誘電

率を感知します。

写真の差動ペアを見てください。お互いが近接し、隣接するグラウンドプレーンから比較的離れている場合、2線間の電界は強く生じます。

写真の2線を取り巻く電界はガラスと樹脂の混合物よりは樹脂のErに近いものを感知します。

このことから、設計者がFR4を指定する場合、基板メーカーには大きめの許容値を与える必要があります。

基板メーカーは実効比誘電率が材料のみならず構造及び幾何学にも依存することを考慮することで差動における歩留まりを向上することができます。断面を見ることでなぜ差動トレースの実測値が計算値よりも高くなるという理解が得られます。

では、差動インピーダンスの許容条件が厳しい場合、どうすれば良いのか？

樹脂のErと類似する強化積層材を採用することが達成方法の一つです。サプライヤーと相談し材料コストと歩留まり率とのバランスを考慮して下さい。

不織アラミド強化材は樹脂に類似したErを持つ為、それを用いた積層は構造幾何学とErの変化を減らす方法の一つです。

正当な測定方法の確保

インピーダンス測定にどのTDRを採用しようとも、トレーサビリティのとれたインピーダンス標準で校正されているか確かめて下さい。TDR測定はトレース端部における直流状況が検証時のTDRヘッドと同じ状況で行われる必要があります。殆どのクーポンは終端されていないので標準エアラインやトレーサブル標準に対して測定された精密セミリジッド同軸を使用することができます。負荷抵抗を用いたTDRの校正は50Ωに対して3~4Ωの誤差を導いてしまいます。

可能な変化

下のグラフは、異なるErを考慮した作動ペアのインピーダンス値域を表しています。これらのErは前述の影響が考慮されなかった場合に生じる誤差の例です。

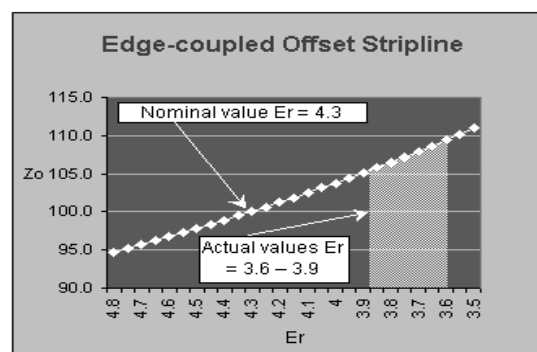
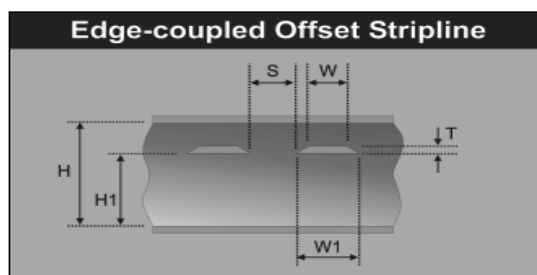
これら現実的影響の為、結果として採用している材料の物理的特性は設計時又は製造時にシングル及び差動構造にそれぞれ異なる Er を使う必要があることを意味しています。更には、コブレナ構造にも異なる Er が必要となります。これは御社の生産ラインで実験的にサンプル・クーポンを製作することで決定することができます。経済的な方法としては、生産ラインで現在既に製造中の基板に追加クーポンを設けることで達成できます。

より正確な予測をするにはどうすれば良いのか？

計算に用いる Er の選択時、基板メーカーは材料の仕様と同様に、製造者としての経験にも頼る必要があります。基板材料製造者が提示する積層材原料の Er よりも低めのものを用いることで、差動導体間におけるガラスの不在を見越してください。研究の結果、今日の一般的な差動導体寸法(導体幅：5mil、導体間ギャップ：5~7mil、基板厚：8mil 以上)において、FR4 の Er は(通常より 10~15%低い)3.6~3.9 の範囲で実測値に近い予測を達成できます。(以下グラフのハイライト部参照)

不織アラミド材質又は強化材が樹脂フィラーと類似した Er を持つその他の誘電積層材を用いることで問題を解決できます。プリント配線板メーカーと設計者は歩留まりの向上による利益に関して上昇する材料コストと比較しながら相談し合う必要があります。

H	H1	W	W1	S	T	Er	Z _{diff}
14	6	3	4	8	1.2	4.8	94.7
14	6	3	4	8	1.2	4.75	95.2
14	6	3	4	8	1.2	4.7	95.7
14	6	3	4	8	1.2	4.65	96.2
14	6	3	4	8	1.2	4.6	96.8
14	6	3	4	8	1.2	4.55	97.3
14	6	3	4	8	1.2	4.5	97.8
14	6	3	4	8	1.2	4.45	98.4
14	6	3	4	8	1.2	4.4	98.9
14	6	3	4	8	1.2	4.35	99.5
14	6	3	4	8	1.2	4.3	100.1
14	6	3	4	8	1.2	4.25	100.7
14	6	3	4	8	1.2	4.2	101.3
14	6	3	4	8	1.2	4.15	101.9
14	6	3	4	8	1.2	4.1	102.5
14	6	3	4	8	1.2	4.05	103.1
14	6	3	4	8	1.2	4	103.8
14	6	3	4	8	1.2	3.95	104.4
14	6	3	4	8	1.2	3.9	105.1
14	6	3	4	8	1.2	3.85	105.8
14	6	3	4	8	1.2	3.8	106.5
14	6	3	4	8	1.2	3.75	107.2
14	6	3	4	8	1.2	3.7	107.9
14	6	3	4	8	1.2	3.65	108.6
14	6	3	4	8	1.2	3.6	109.4
14	6	3	4	8	1.2	3.55	110.1
14	6	3	4	8	1.2	3.5	110.9



100 Ω の Z_{diff} 予測値が実測値では差動ペア間が樹脂の密な部分である結果 107 Ω となる背景

デザインの変更

インピーダンス基板の設計者と基板メーカーとの緊密な対話及び協力関係が重要となります。この仮定を支援する為、Polar Si6000 電磁界解析・特性インピーダンス・デザイン・システムは新しいインピーダンス値を追求しパラメータの変化による感度をグラフ表示します。

より詳しい情報は？

プリント配線板のインピーダンス測定に関する更に詳しい情報は saka@oppc.com から E メールでお知らせします。電磁界解析インピーダンス・デザイン・ソフトウェアに関する情報は、ken.taylor@polarinstruments.com にお問合せ下さい。