

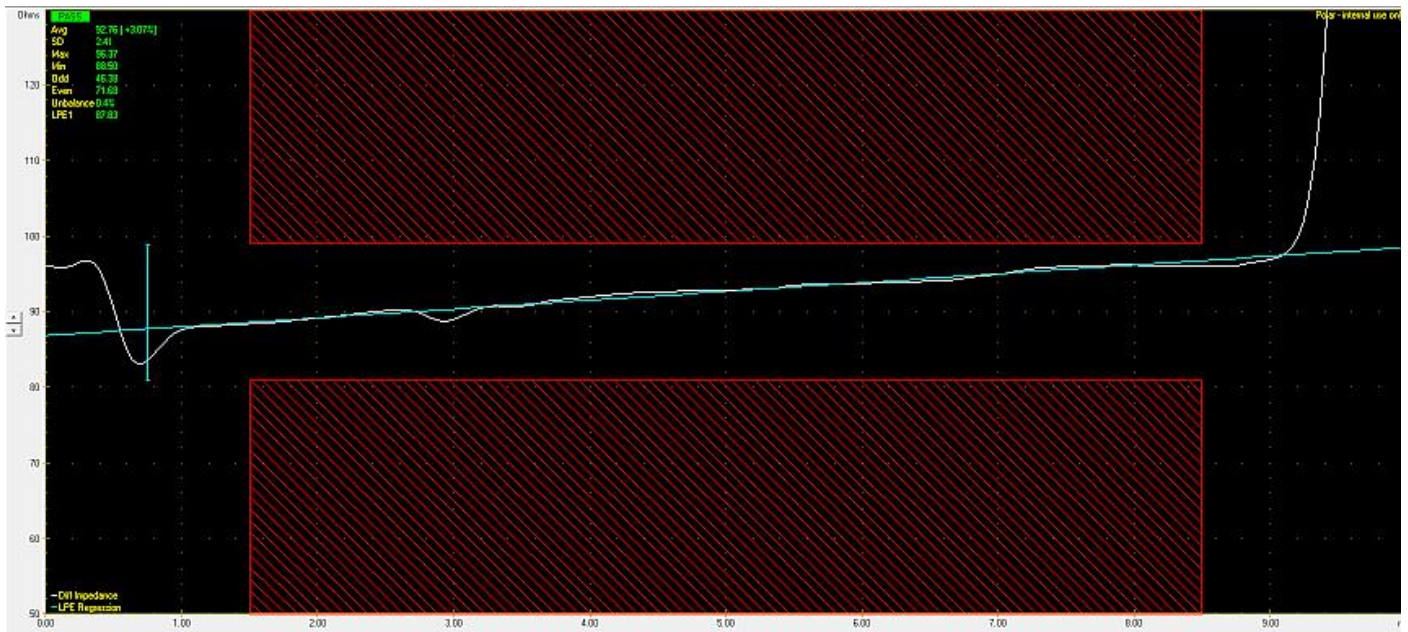
プリント基板設計者向け：

## 極細伝送線路の、特性インピーダンス値に関する LPE 機能を使った TDR 測定法の解説

プリント基板のインピーダンス制御技術は、すでに多くのプリント基板で一般的に使用されています。伝送線路の幅が年々極細化するにつれて、TDR インピーダンス測定の際に、TDR 波形がその距離に比例して上昇するのが確認できます。この TDR 測定波形が右肩上がりになる原因の多くは、伝送線路の DC (直流) 抵抗です。\*

伝送線路の DC 抵抗 ( $\Omega$ ) は、インピーダンスと同じ単位  $\Omega$  を使用しますが、距離によって本来変動しない伝送線路の特性インピーダンス値 ( $\Omega$ ) と混同しないようご注意ください。プリント基板設計者は、プリント基板製造業者に、TDR によるインピーダンス測定値 ( $\Omega$ ) から DC 抵抗の値 ( $\Omega$ ) を、除去する測定方法で測定するように依頼する必要があります。

DC 抵抗の値 ( $\Omega$ ) を、除去する測定方法として、IPC 規格で規定されて広く使われている測定手法は、LPE (Launch Point Extrapolation) 法です。これは TDR 波形に、特殊な計算で割り出した直線を重ね合わせ、プローブとテストクーポンの接点(ラウンチポイント: プローブを当てている場所)のインピーダンス値を割り出す技術です。(最も DC 抵抗が無い部分がプローブ接点のため)



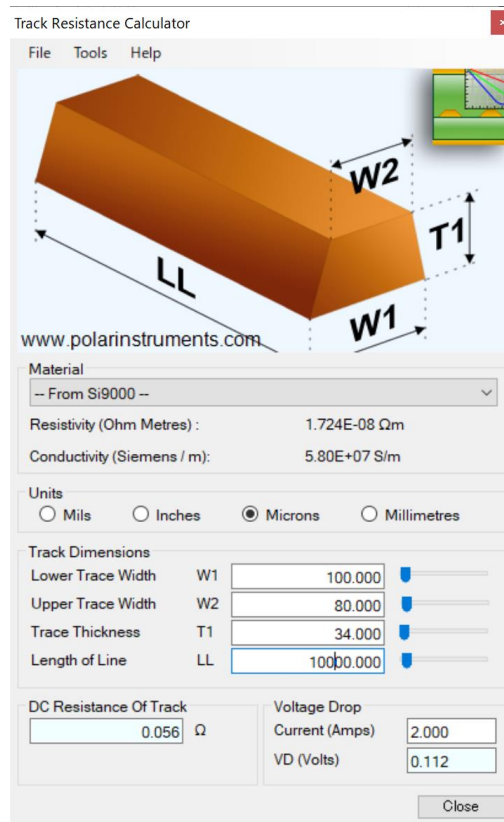
LPE (Launch Point Extrapolation): 上図に示されるように、右肩上がりの測定波形に直線(水色)を重ね合わせ、波形が乱れて測定できない、プローブポイントのインピーダンス値を外挿法によって決める方法。左側の縦線(水色)は、プローブポイントとして設定した箇所、この縦線と波形に重ね合わせた直線との交点が、DC 抵抗成分を除去したインピーダンス測定値となります。

では、ラウンチポイントのインピーダンス値を測定するというのはどうゆうことなのでしょう？ インピーダンス測定に使用される TDR 測定の仕組みは、校正された 50  $\Omega$  の伝送線路インピーダンス標準値と比較してテストトレースから反射された電圧の比率によって導き出されます。プローブ(ラウンチ)ポイントでは、反射波はインターコネクト自体によって引き起こされる信号の乱れの影響を受けます。このため TDR 測定では、プローブを当てる位置(ラウンチポイント)の乱れによって生じる波形の大きな揺れの影響を最小限に抑えるために、波形が安定し始める箇所からさらに先の位置を測定ポイントとして測定を行います。線幅が 4mil 以上 101  $\mu\text{m}$  の伝送線路では、伝送線路の DC 抵抗が非常に小さいため、波形はフラットのままです。しかし伝送線路がさらに細くなると(または銅箔厚が薄くなると)、測定波形はますます右肩

上がりの傾斜を示し、特性インピーダンス値の測定結果に誤差をもたらします。LPE は、この余分な抵抗値( $\Omega$ )を除去するための実績のある手法です。

DC 抵抗を除去する理由はなぜですか？ 1つ目の理由は、数値として無視するべきではありませんが、DC 抵抗値は特性インピーダンスとは異なるものだからです - 2つめの理由は、特性インピーダンス値と DC 抵抗値は別々のものとして考えるべきだからです。

これを喩えて言うと、例えば、50  $\Omega$  または 75  $\Omega$  の特性インピーダンスで、1m あたり 1  $\Omega$  の DC 抵抗を持つ同軸ケーブルのリールを想像してみてください。もし 10m のこのケーブルを使用した場合、50  $\Omega$  のケーブルは 60  $\Omega$  として考えなければならないと思いますか？ 違いますね！ ケーブルの特性インピーダンスは 50  $\Omega$  で、1m あたりの DC 抵抗とは別問題です。プリント基板上のインピーダンス伝送線路についても同じことが言えます。一部のプリント基板製造業者はこれを誤解し、これら 2 つの抵抗( $\Omega$ ) 値を足した数値を、フィールドソルバーで Dk 値(比誘電率)をゴールシークして、実測値とシミュレーション値との相関関係を整合しようとしたとします。この場合、非常に奇妙な結果が生じる可能性があります。インピーダンス測定値から DC 抵抗を除去せずに Dk 値をゴールシークする際に伝送線路が非常に細い場合、「物理法則に反する」結果を生じる可能性があります。「シミュレーションで割り出した」Dk 値が樹脂だけの場合よりも少ないような結果です(通常 FR4 では、樹脂部 3.1、ガラス繊維部 6.1 ほど)。したがって、PCB トレースが極細の場合(約 60  $\mu\text{m}$  未満、または非常に薄い箔の場合)、設計者は Dk 値のゴールシークが行われる前に、PCB 製造業者に LPE 測定、または測定値から DC 抵抗成分を除去するその他の有効な測定法での測定を依頼する必要があります。ポーラーの Si8000m・Si9000e のオプション機能 TRC オプション(トラック抵抗計算)は、単位長さあたりの DC 抵抗( $\Omega$ )を計算するのに役立ちます。



プリント基板設計者は、極細の伝送線路の DC 抵抗を除去する必要性を、プリント基板製造業者が理解していることを確認する必要があります。したがって、DC 抵抗が 0.25  $\Omega$ /Inch 以上の伝送線路構造を設計している場合、インピーダンス測定は、LPE 法(Launch Point Extrapolation: 測定ポイント回帰法)の機能を持つ TDR で測定する必要があります。

\* TDR 測定器での測定波形は、主に次の 2 つの理由で右肩上がりになる可能性があります。

1. 伝送線路の DC 抵抗による場合
2. 伝送線路が先細になっているため(テーパが付いている)インピーダンスが実際に上昇している場合。

1. 2. どちらの場合かを確認するには、反対側のプローブポイントから測定すればわかります。2が原因の場合、インピーダンス値の右肩上がりの上昇変化は、反対方向からの測定の場合右肩下がりになります。1が原因の場合は、測定のどちらの側から測定しても右肩上がりの波形の上昇を示します。