

【高速先生原创|生产与高速系列】DESIGNCON 文章解读之玻纤效应限制了我们对高速的想象？

作者：黄刚 一博科技高速先生团队队员

【关键词 keyword】玻纤效应 skew pitch 损耗

【摘要】

你和几个小伙伴下班后约去 A 点吃饭。然后你比他们迟到了半个小时，你会怎么解释呢？塞车？修路？碰上红灯或事故？（其实可能就是车技烂）。那如果你设计的一对 5mil 等长的差分线信号单根的 skew 很大，你又会怎么解释呢？

【正文】

高速先生喜欢把信号传输比喻成在公路上开车，道路的平坦度很像我们的铜箔粗糙度，你在崎岖不平的路上开车不可能开得很快，就好像信号在比较粗糙的普通铜箔传输，越高速损耗越大。实际上信号还存在着等长不等时的情况，一样长度的信号，在介质的不同位置传输，他们到达终点的时间也会不一样。业界把这种由于介质导致信号传输延时有差异的现象叫玻纤效应。其实这个概念早在 10G 设计仿真的时候就存在了，说明它的危害在这个频段就已经开始突显了。但是玻纤效应还是一个不好去量化的现象，也不是必然出现或者必然不出现的情况，所以我们对玻纤效应的仿真只能去等效或者定性的去分析趋势。这篇 paper 却给了我们一种能够定量分析的方法，用仿真校准、用公式去拟合，是一种全新的思路。题目也非常通俗易懂：如何对玻纤效应去建模校准测试结果，同时也从一些设计角度来说明它的影响。

Fiber weave effect: Modeling, measurements, challenges and its impact on differential insertion loss for weak and strong-coupled differential transmission lines

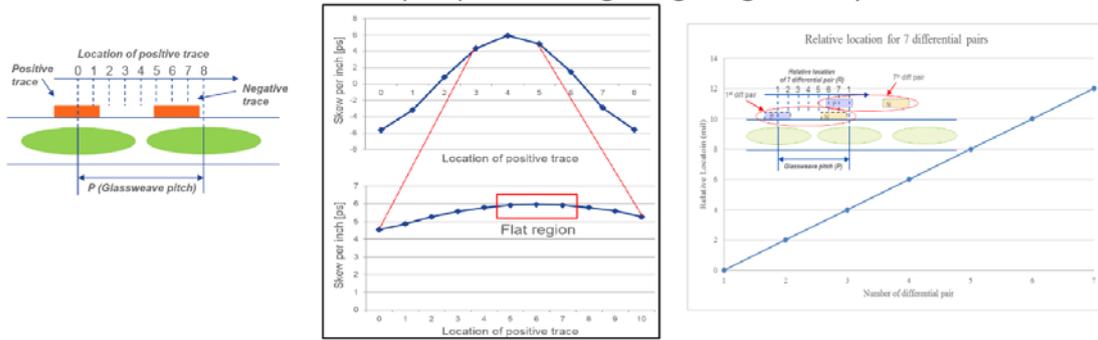
首先本文先测试结果的角度出发，希望找到玻纤效应的 worst case 的影响，正如上文所说，我们很难找到玻纤效应引起的最差的结果，因此方法就是增加测试的样本，用统计的方式去处理，从大量样本的提取增加找到 worst case 的机会。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



Get some statistical data on a test coupon that can be used to represent worst case skew based on differential pair pitch routing design might satisfy.



为此本文做了一块测试板来专门分析，分析不同的走线方向，板上不同的区域，不同的玻璃布情况下的测试结果。

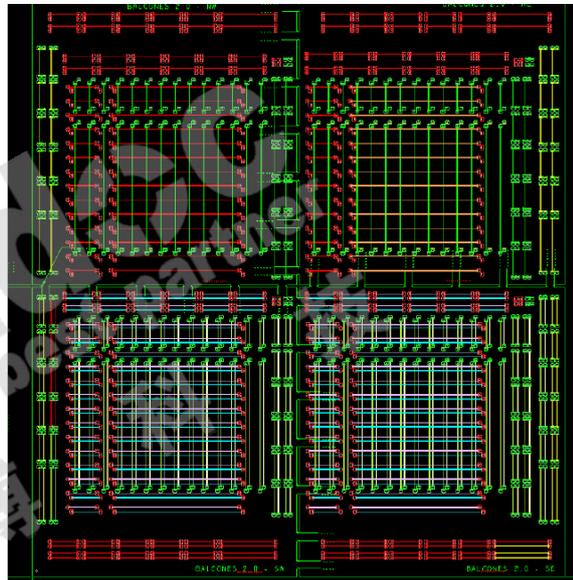
1" and 5" traces test traces.

Variation traces along the edges of the board to study weave variation.

1 ply vs 2 ply, north-south and east-west trace routing.

Pitch X and Pitch Y of differential pair

Glass A, B, C

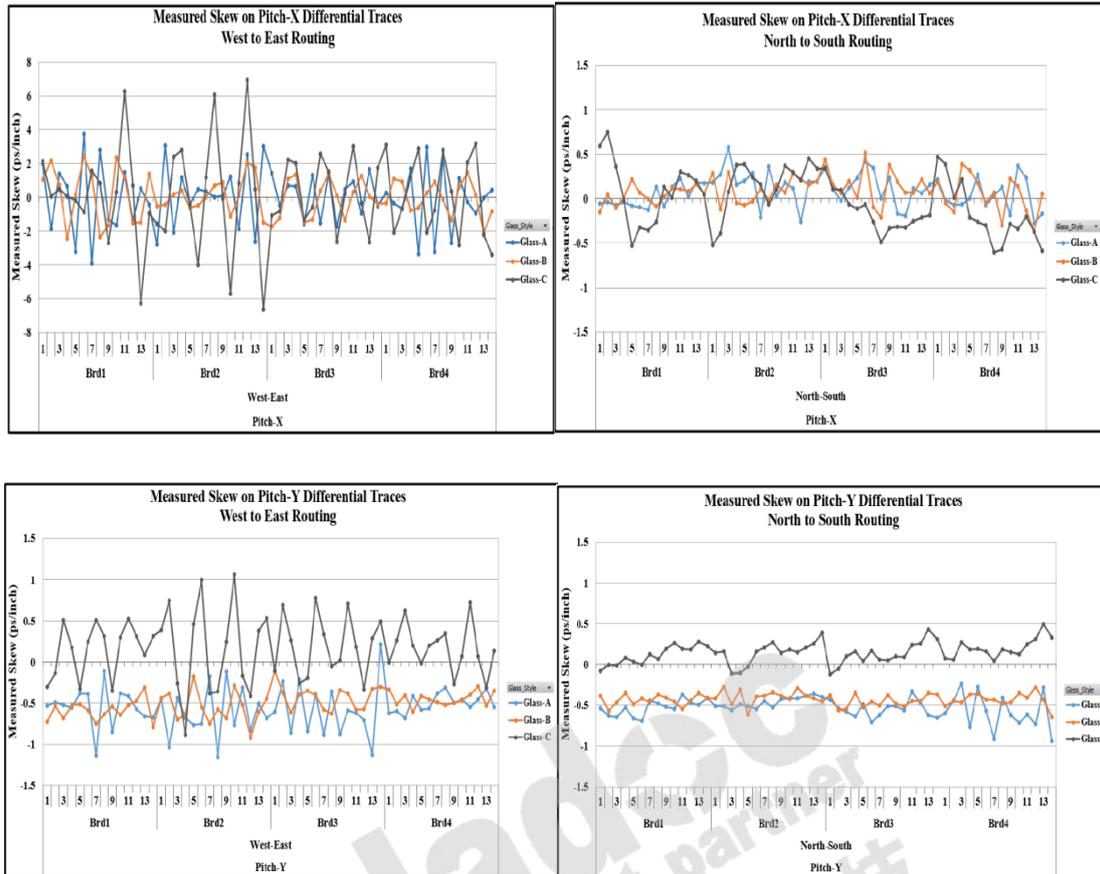


我们可以看到从 X 方向到 Y 方向的走线在不同的玻璃布和板上位置的差分对间的 skew 如下所示：从测试结果还是能看到一些结论，例如玻纤效应并不是两个方向都如此恶劣，会有一个方向好一点，一个方向差一点。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





实际上从本文针对这个测试结果也并没有很完全的结论，还是认为测试并不一定能反映玻纤效应最恶劣情况。

Summary from measurements so far

- While evaluating effects of skew, one shouldn't just look at quality of glass style but the material – glass + resin composite as a whole.
- On similar resin, different glass styles give different skew performance.
- There is a lot of statistical variation in bundle to bundle dimensions as we see from our cross-sections – hence what you measured on few traces may not present the whole picture.
- Relative location of weave to PCB traces is statistical, hence hard to capture worst case skew in measurements.

所以本文就有了用建模的方式去说明玻纤效应的动力。

Build behavioural laminate models(glass+resin specific) to predict worst case skew.

对于建模的方法和过程也是有了说明，首先是从测试结果出发，分析测试结果的差分线 P 和 N 之间的 skew，然后通过真实的切片来确认玻纤布和树脂的位置参数，例如 pitch

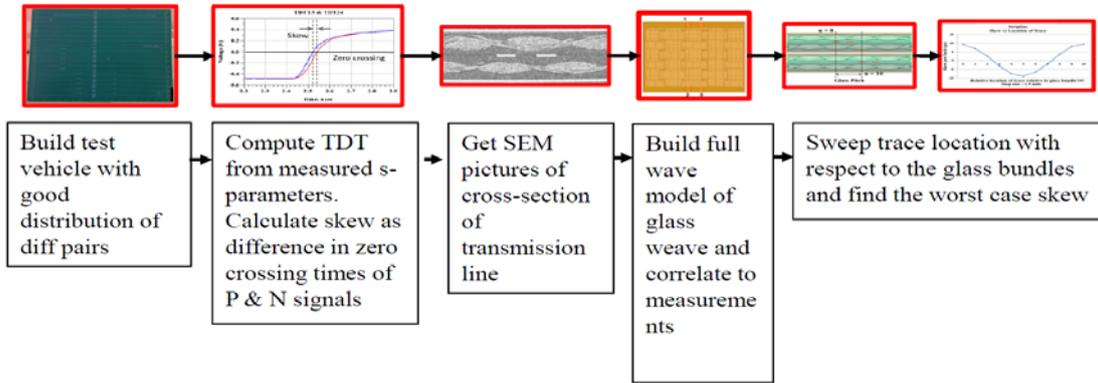
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



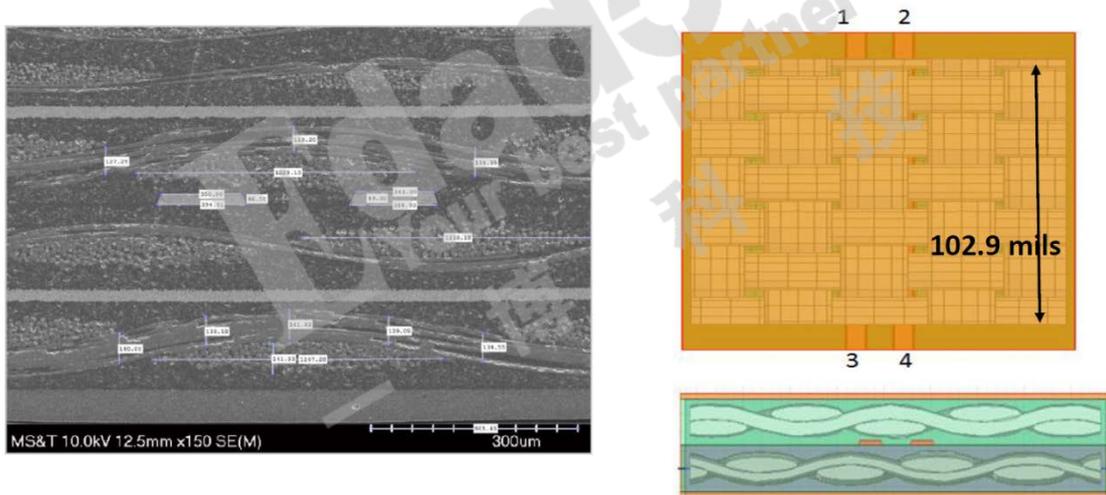
大小，然后根据切片的参数进行三维的建模，然后对模型进行仿真，在校准测试结果后，就可以通过扫描模型相关参数位置的方法仿真得到最差的情况。

Overview of Methodology



再详细点的步骤如下，其实也很简单易懂。

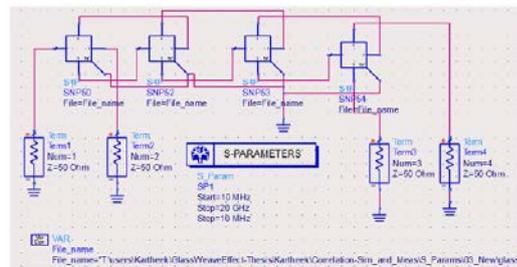
1，根据切片进行建模；



2，对模型进行仿真；



Full wave model of 411.6 mil stripline on glass weave



Cascading S-parameters in ADS (4 x 102.9 mil = 411.6 mils)

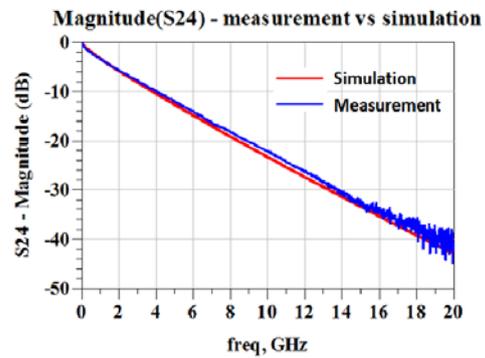
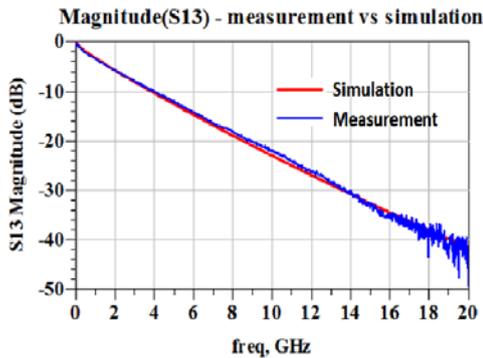
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



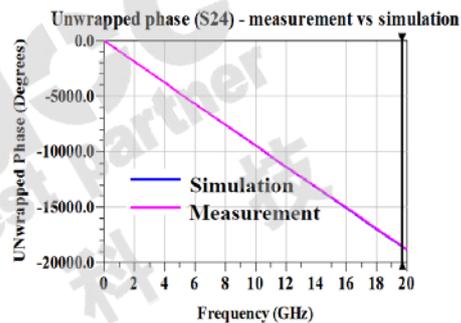
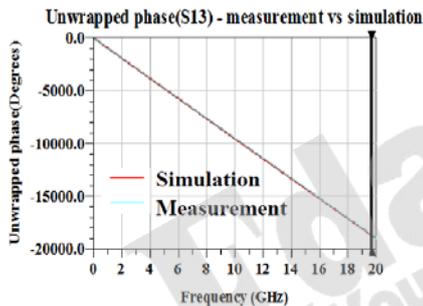
3, 进行仿真测试的校准拟合, 通过设定各项的目标去扫描玻璃布和树脂的 DK, DF 值。

单根 N 和 P 走线损耗的校准目标为 1dB:



Simulated and measured insertion loss correlate within a maximum of 1 dB difference after the Dk, Df of glass and resin are tuned

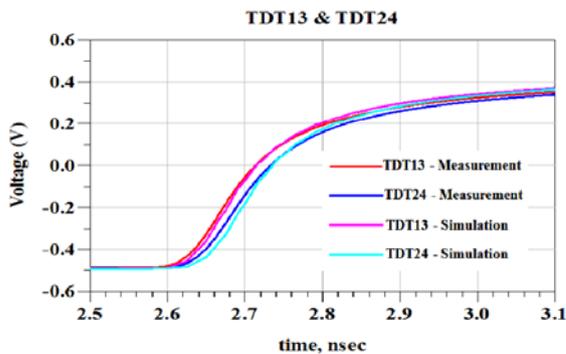
相位的校准为 0.2%的误差目标:



Unwrapped phase @	Measurement	Simulation
19.5 GHz		
Phase(S13)	18680°	18702°
Phase(S24)	18516°	18560°

Simulated and measured unwrapped phase of S13, S24 correlate within accuracy of 0.2% after the Dk, Df of glass and resin are tuned

对时域 TDT 的校准, 确定仿真的玻璃布和树脂的 DK、DF 值。



	TDT24 (Zero Crossing)	TDT13 (Zero Crossing)	Skew (ps)	Skew per Inch (ps)
Measured	2.733 ns	2.713 ns	20	1.281
Simulated	2.735 ns	2.714 ns	21	1.407

Skew Correlation is achieved between measurement and simulation after tuning the Dk, Df of glass & resin to

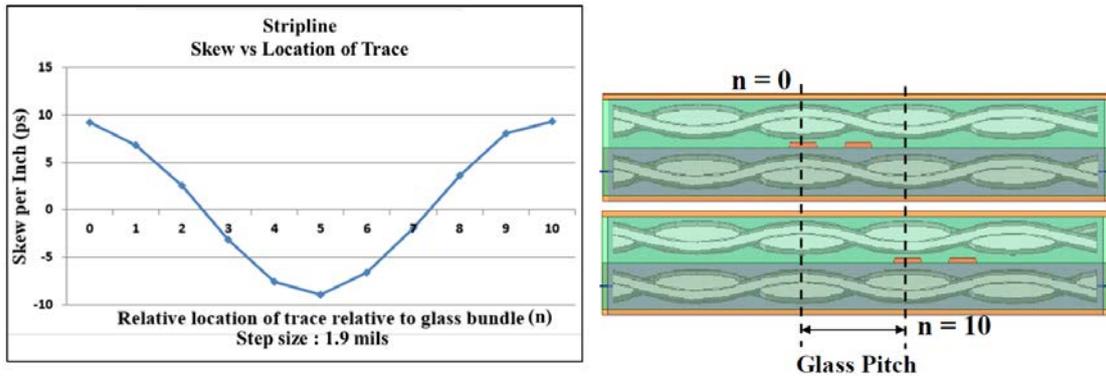
Material	DK @ 1GHz	DF @ 1 GHz
Glass	6	0.0058
Resin	3.65	0.02

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码, 开始学习



我们得到一个良好的仿真测试校准精度后，就可以通过扫描走线的位置去得到仿真的 worst case 结果，如下所示：

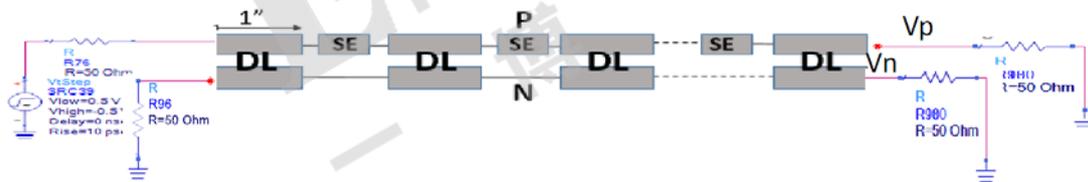


在这里本文也给了一个建模仿真的结论，其中重要的一条就是认为经过校准之后，可以比测试更容易得到玻纤效应的 worst case 情况。

- Main message is what you measure in the lab is never the worst case as you cannot control the alignment of 2 bundles to each other and to trace but in simulation this is possible.

上面是本文的第一大块的内容点，然后我们进入第二块内容，分析玻纤效应对 PCB 设计的影响，主要分析差分线是强耦合走线表层和差分线弱耦合走在内层的区别。

我们的建模模型如下所示：

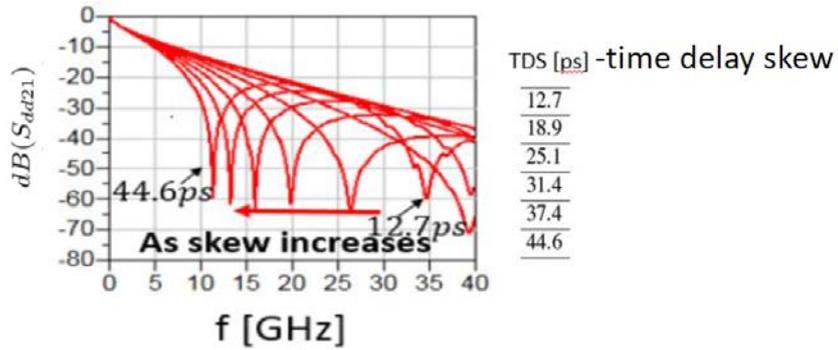


我们可以看到，在松耦合带状线的情况下，skew 对损耗的影响非常大，会在对应频段出现很尖峰的谐振点。

如何关注

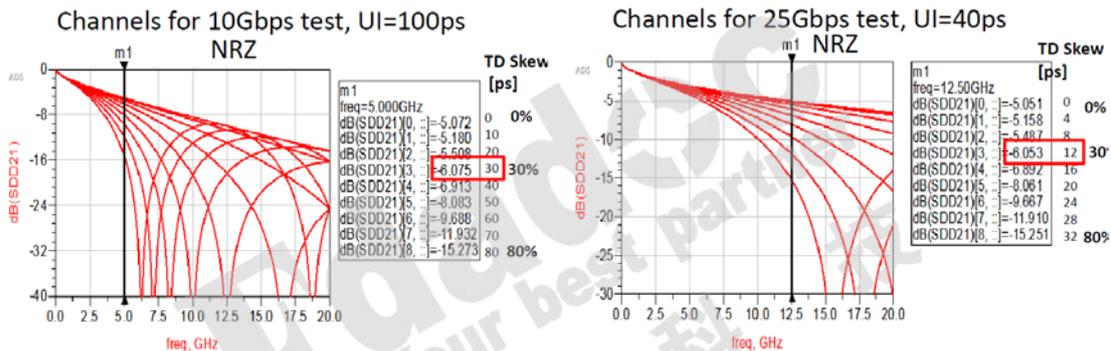
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





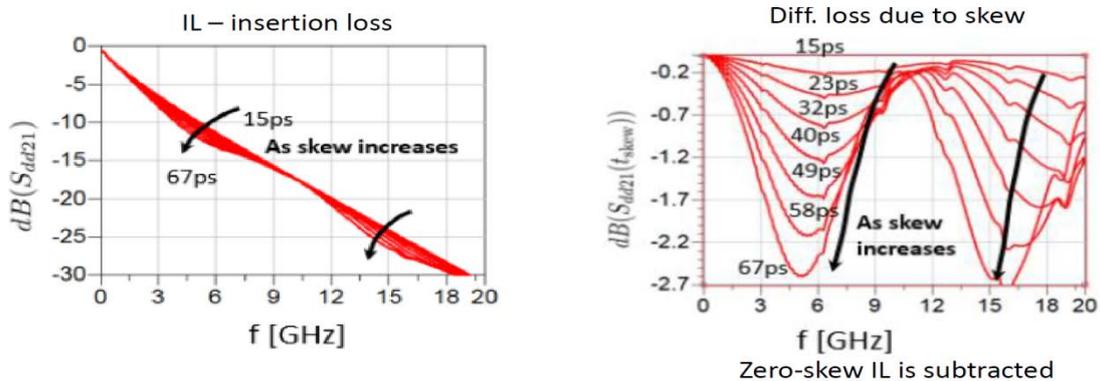
- In weak coupled traces, there is a sharp dip in diff. IL curve
- Diff. IL increases dramatically as skew increases

而且还有很重要的一点，在占 UI 相同比例的情况下，我们观测不同速率的损耗衰减的差异是一样的。例如我们看 10G 和 25G 的基频处，在占相同 UI 的比例的 skew 的情况下，损耗变化是一样的。



- When skews are same in terms of UI percentage, increase of IL due to skew is same in both cases (channels for 10G, 25G)

但是在表层线紧耦合的时候，同样的 skew 却有很大的差异。我们可以看到，在表层紧耦合的情况，skew 的影响明显比在内层时要好。



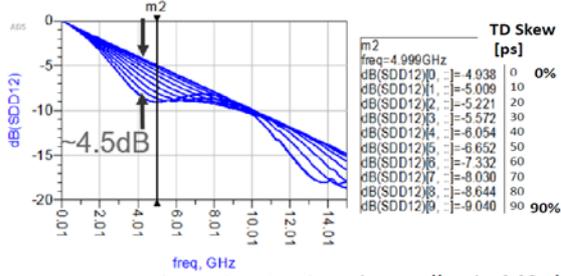
而且同样 UI 比例的 skew 变化时，频率越高 skew 的影响越小，这一点和内层情况完全不同。

如何关注

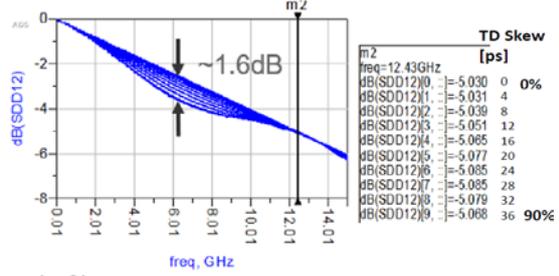
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



Channels for 10Gbps, UI=100ps



Channels for 25Gbps, UI=40ps

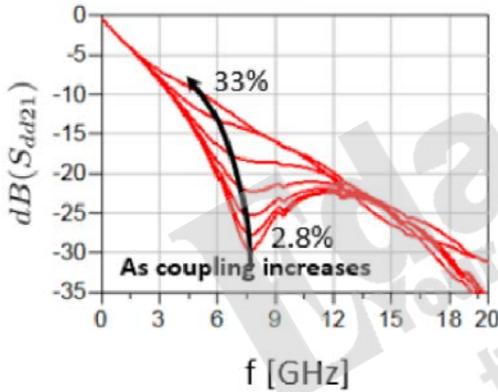


- Loss due to skew is smaller in MS than in SL
- At higher data rate (25Gbps), insertion loss due to skew is small in MS

实际上这里的差别除了表层和内层外，还有松紧耦合的差别，你们或许会问，如果我在表层也是松耦合时，情况会不会同样很差呢？没错，正是这样的，在表层耦合得越紧，就有更多的电磁场在空气中传输，由于空气的 DK 低，因此谐振的情况就会变好。随着耦合变弱，skew 的影响也会变得恶化。

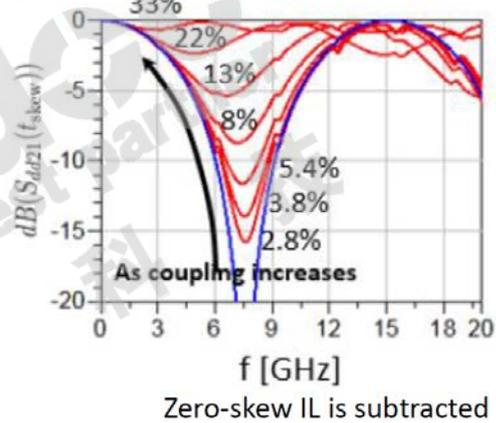
Separation between traces swept from 10 to 60mil in step of 10mil

Diff. IL plots



TDS=67ps

Diff. skew due to skew



本文到这里就结束了吗？然而还没有，我们进入到第三大块的分析，前面说了，我们可以通过建模来进行仿真测试的拟合，然而玩过三维建模的同行会知道，建一个玻纤布模型不是件容易的事情，所以本文展示它厉害的方面，同公式去拟合。

我们用以下的公式进行拟合，理论其实也很简单，就是通过 skew 把损耗联系起来。

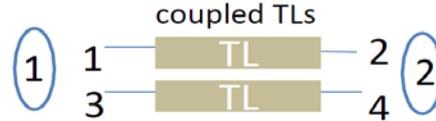
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



Transmission Line theory

Effect of skew on s parameters



Time delay $t_1 = \text{phase}(S_{sd21}) / (2\pi f)$
 $t_2 = \text{phase}(S_{sd41}) / (2\pi f)$

Skew $t_{skew} = t_1 - t_2$

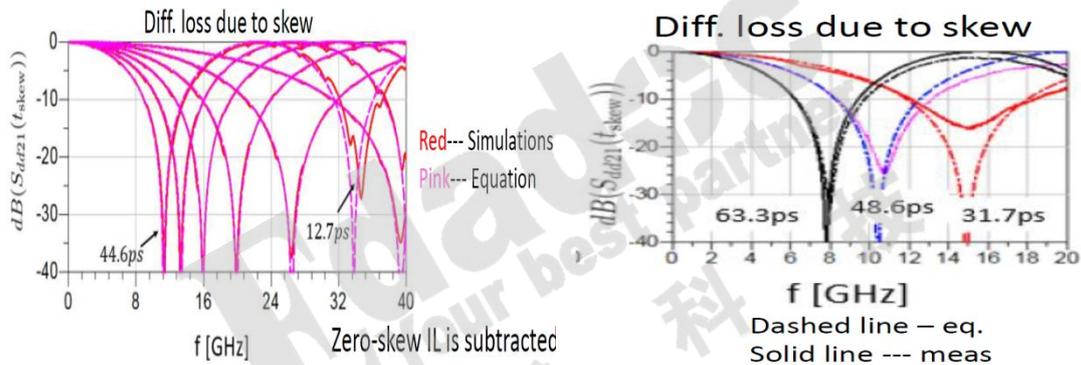
Additional diff. IL loss due to skew: $\text{dB}(S_{dd21}(t_{skew})) = 20 \text{Log}(\cos(\pi f t_{skew}))$

Mode conversion: $S_{cd21} = |S_{21} - S_{23}| \sin(\pi f t_{skew})$

Convert skew to differential loss and calculate mode conversion due to skew

对于内层和外层，本文在公式上也做了一些校准，从和仿真与测试的结果对比来看，该拟合的公式还是具有不错的精度。

内层拟合：



外层拟合会复杂很多，原因就是存在空气的影响，介质不是单一的。

$$\text{dB}(S_{dd21}(t_{skew})) = \text{dB}(1 - \alpha^2 \sin^2(\pi f (t_{cp} + t_{skew}))) / 2$$

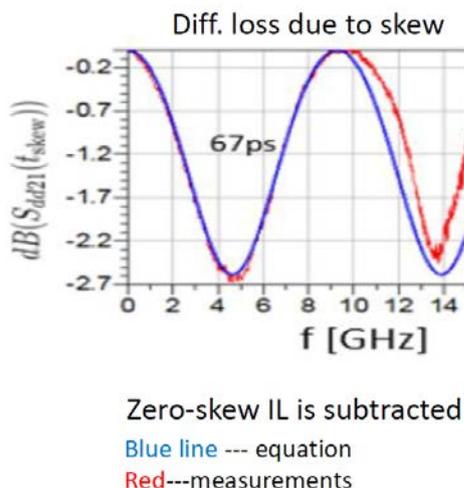
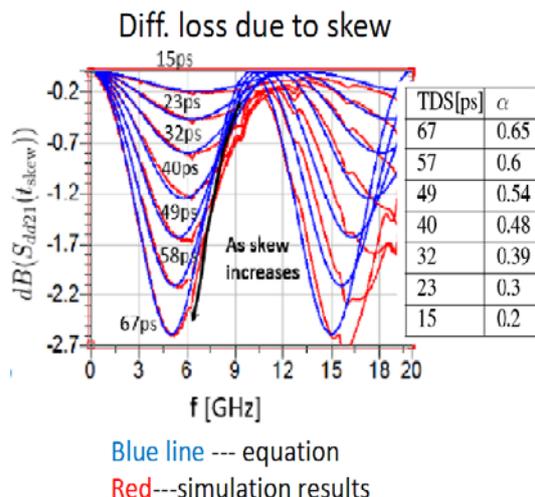
- $t_{cp} = 1/4f_{cp}$ is time associated with difference between time delays of even and odd modes
- f_{cp} is frequency at which dip appears in single-ended IL due to forward-coupling
- α is coupling and skew dependent parameter

Equation is fitted to simulation results to be obtain values of α

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





稍微总结一下哈，本文算是分析玻纤效应比较深入的一篇文章，分析了大量的测试结果，介绍了建模仿真的方法和仿真和测试的校准拟合，而且还分析了玻纤效应对一些典型的走线的影响差异，而且还通过公式拟合的方法对仿真和测试结果进行拟合（这是本人第一次看到的方法哈），该方法相对仿真来说可以在效率和精度上做一个很好的平衡，对以后定量分析玻纤效应的影响提供了一个不错的思路。

玻纤效应的确限制了我们对更高速发展的期望，本期的问题就是：从各方面列出一些减小玻纤效应的措施。

【关于一博】

一博科技成立于 2003 年 3 月，专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、SMT 焊接加工和供应链服务。我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 600 余人。

一博旗下 PCB 板厂位于深圳松岗，采用来自日本、德国等一流加工设备，TPS 精益生产管理以及品质管控体系的引入，致力为广大客户提供高品质、高多层的制板服务。

一博旗下 PCBA 总厂位于深圳，并在上海、成都设立分厂，厂房面积 15000 平米，现有 20 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、AIMEX III、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉、波峰焊等高端设备，并配有 AOI、XRAY、SPI、智能首件测试仪、全自动分板机、BGA 返修台、三防漆等设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。作为国内 SMT 快件厂商，48 小时准交率超过 95%。常备一万余种 YAGEO、MURATA、AVX、KEMET 等全系列阻容以及常用电感、磁珠、连接器、晶振、二三极管，源自原厂或一级代理，现货在库，并提供全 BOM 元器件供应。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



【关于高速先生】

高速先生由深圳市一博科技有限公司 R&D 技术研究部创办，用浅显易懂的方式讲述高速设计，成立至今保持每周发布两篇原创技术文章，已和大家分享了百余篇呕心沥血之作，深受业内专业人士欢迎，是中国高速电路第一自媒体品牌。



扫一扫，即可关注

Edadoc
Your best partner
一博科技

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

