

【高速先生原创|基础理论系列】微带线系列（共 4 篇）

作者：陈德恒 一博科技高速先生团队成员

在平时，大家对微带线的印象可能是这样的：EMC 难过、串扰大、损耗小、传输速度快、加工工序多……在这里 小陈将自己所知和盘托出，看能否为大家将微带线抽丝剥茧。

第一篇文章并非原创，翻译自 Eric Bogatin 大神。

微带线系列-EMC

我刚从 2013 IEEE EMC 论坛回来，我发现很多 EMC 工程师都还有一个错误的观点。

大家都认为共模信号是主要的 EMC 来源，实际上并不是这样的，有一些共模信号并不会向外辐射。

在 EMC 界，大家把 common currents 叫做 common mode currents 或者 CM currents。看过我的书的人都知道我不喜欢这么叫，mode 这个单词指的是一种互联关系，而共模信号只是同方向传播的电流而已。

共模电流是线缆中的净电流。共模信号的回流是在附近的任意的导体中。通常情况下我们会认为共模电流辐射很强。

实际上一个 3uA 的共模电流在 1 米长的线缆上跑 100 兆的时候，就过不了 FCC 的 part 15 classB 了。这么小的电流是很常见的，所以我们会认为共模电流很不好。EMC 工程师对此很警惕。

但问题是在不同条件下，共模电流可能是不好的也可能是可以无视的。

当信号与地的耦合程度不如信号线之间的耦合程度时，共模信号辐射会很强，是不好的。

但是如果工程师能将回流平面做得比较近的话，共模信号并没有太多辐射，这种情况下就可以不考虑。

添加屏蔽罩的原因也是如此，屏蔽罩并不只是去屏蔽信号辐射，也是作为一个回流平面给共模信号回流。屏蔽罩也不会影响双绞线的阻抗，提供这个回流平面之后，双绞线就不会辐射了。

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



微带线就是空气在上回流平面在下，所有 PCB 都有微带线在表底层。有一个错误的看法就是微带线辐射严重，还有一种看法是因为微带线辐射大所以要紧耦合。他们错误的原因都是一样的。

单端信号下方会有电流流过，与回流路径之间的耦合就相当于我们的差分信号。差分信号同样也会有回流，如下图所示。

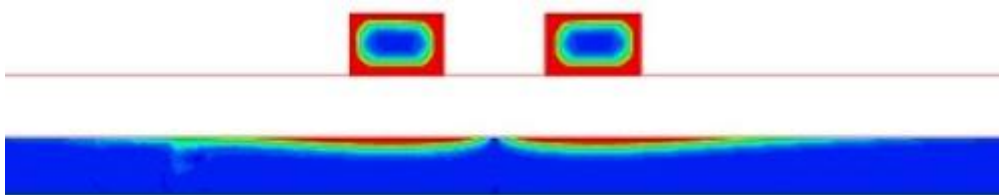


Figure 1. Current density at 100 MHz in a tightly coupled microstrip differential pair, simulated with Ansoft's SI2D.

去年有 5 亿平方英尺的 PCB 板子生产出来，也就是说有 10 亿平方英尺的微带线，他们都是经过了 EMC 验证确定辐射合格的。

所有的微带线都会辐射？2012 年就有 10 亿平方英尺辐射合格。当然，没有好的回流平面他们会辐射，同样也包括带状线。

难道我们还需要增加微带线之间的耦合去防止他们的辐射？这只是你从表面看到的现象，从表面你只能看到信号都在表层上。用你的脑子(Eric 的名言, be the signal)。当你用脑去看的时候你会发现信号与第二层还有一部分回流。

表层差分的回流是在另一条线上，这是乱吹的，实际情况不是这样，让我们看看数据。差分对之间是互为回流，但是还有 90%的回流是在平面上。

共模信号就像两条单端的传输线一样，在相邻平面回流。增加信号与地之间的耦合会减小共模信号的辐射，增加差分对之间的耦合对这没有好处。

如果你能把信号和地之间的耦合增加，那就增加这样的耦合去减小辐射吧。

微带线的损耗(1)

从刚接触 PCB 开始，导师就告诉我，微带线的传输速度快，损耗小。是啊，毕竟微带线有一部分能量是在空气中传播的，空气的介电常数是 1，损耗角忽略不计嘛。在光口协议上也能找到这样的证据：

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

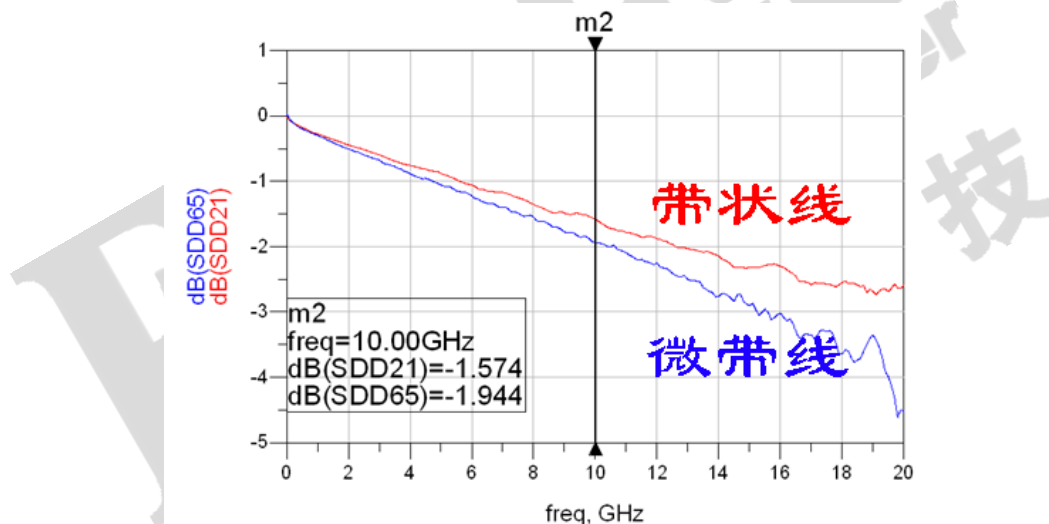


Type	Material	Trace Width (mm)	Loss Tangent	Copper Thickness (oz) see 1	Copper Thickness (μm)	Trace Length (mm)
Microstrip	FR4-6/8	0.3	0.022	1	35	200
	Nelco 4000-13	0.3	0.016	1	35	300
Stripline	FR4-6/8	0.125	0.022	0.5	17.5	150
	Nelco 4000-13	0.125	0.016	0.5	17.5	200

普通板材带状线走 6000mil，微带线能走 8000mil 呢。

果然，微带线损耗比带状线小呢。但是同样疑问出现了，为什么我们看到那么多的高速串行总线并没有使用微带线走线而大部分走的是带状线？小陈问了不少人，答案是这样的：可能是因为 EMC 吧？也可能是因为表底层需要放器件没有那么多空间吧？管他呢，反正任何结果你认为他对的时候，总能找到相应的理由去解释他。

直到有一天，我看到了一组这样的数据：



他们的回损基本相同都小于-25dB。微带线的损耗居然比带状线的要大？结果的正确性被否定了，小陈开始真正的去找原因了。

上图中的数据使用的是 TU872 SLK-sp 板材，表层微带线盖油，走线宽度 9-27，而带状线走线宽度为 7-12。微带线走线更宽，问题不是出现在导体损耗上。会不会是因为盖油的原因呢？小陈继续寻找，找到了一份常用绿油的 datasheet:

Additional Tests / Results		
TEST	REQUIREMENT	RESULT
Dielectric Constant	Internal Test at 1 MHz	4.5
Dissipation Factor	Internal Test at 1 MHz	0.0290

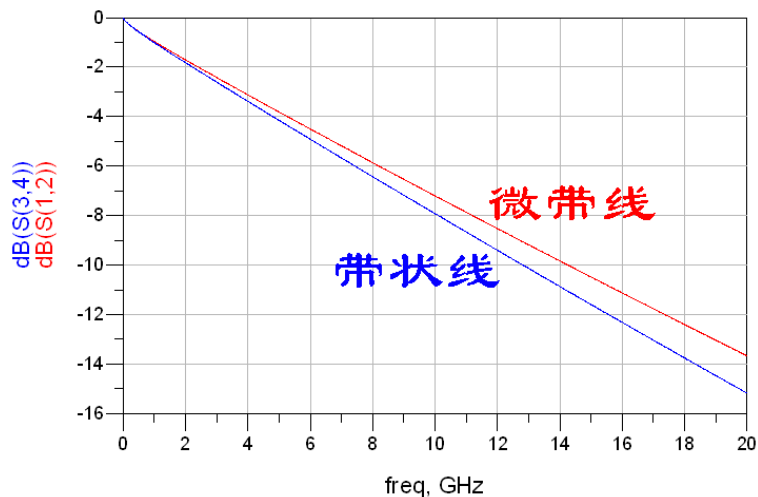
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

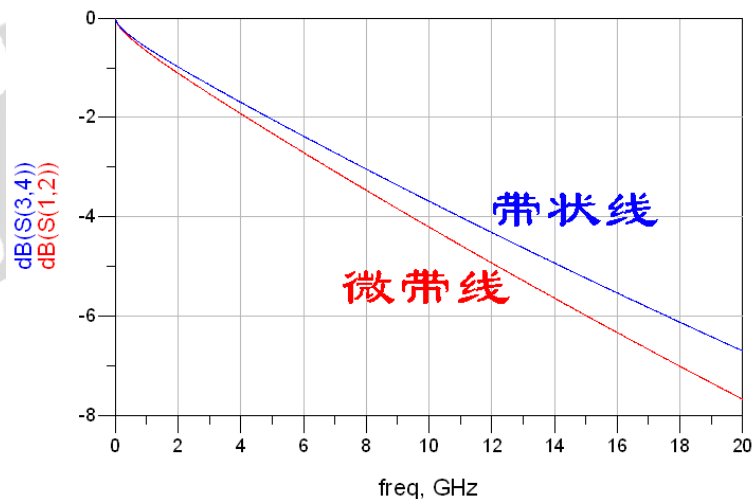


Dissipation factor	GIP** Values at 1MHz	Initial
	Humidification: 25~65°C cycle 90%RH for 7 days	0.029
	Measurement: After the above treatment, measured at room temperature	Final 0.038

绿油的损耗居然比 FR4 还高那么多！马上就是仿真验证，在 FR4 板材 ($DF \approx 0.025$) 时，损耗是这样的：



在 TU 872SLK-sp 板材 ($DF \approx 0.008$) 时，损耗是这样的：



原来笼统的说微带线损耗小是不对的，在现在高速串行信号大部分使用高速板材的背景下，微带线基本没有优势啊！

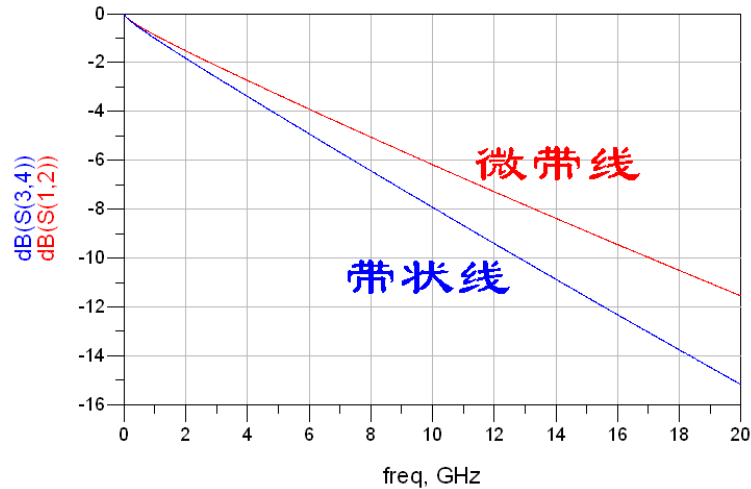
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



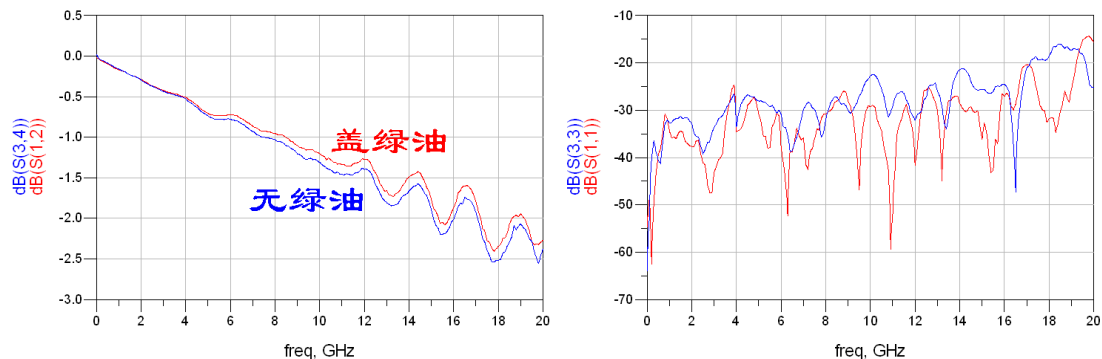
微带线的损耗(2)

上一篇文章中有一个 BUG，我们将微带线的损耗怪罪于绿油。聪明的小伙伴们一定会跳出来说，那我不盖绿油不就好了吗？恩，我也是这么想的，于是我再做了一个仿真：



果然，微带线的损耗比带状线小好多呢！

如果只是一个这样的结论的话，这篇文章就这样结束了，所以事情果然还是发生了反转，因为我发现了一组这样的数据：



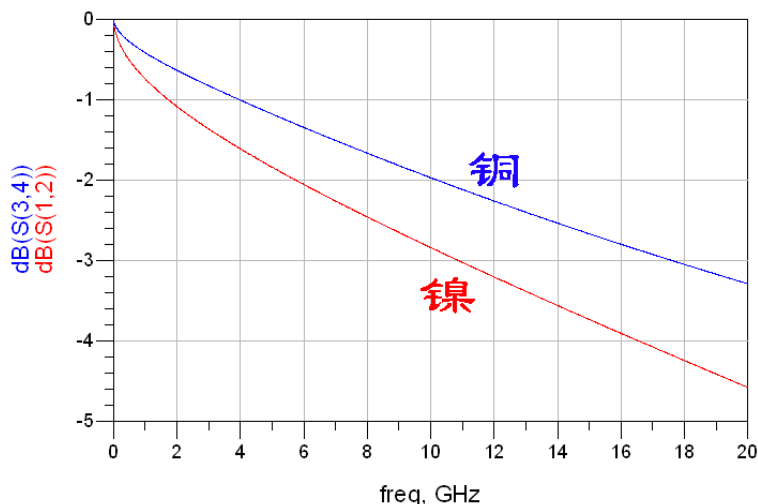
不盖绿油的损耗居然比盖绿油的损耗还要大，这又是为什么？正当我百思不得其解的时候，强大的工艺部门同事告诉我，表层只要是开了阻焊，生产时默认都会进行表面处理，通常是沉金也就是化学镍金。我一查镍和金的电导率，刹时恍然大悟。

原来通常铜的电导率为 58000000S/M ，而金是 40000000S/M ，镍只有 16000000S/M 。同样介质下，不同金属的损耗是这样的：

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





看来原因找到了，由于表面处理的存在，微带线即使除掉绿油的影响，损耗还是不小啊。看来以后高速信号还是要慎重使用微带线。

这时，小陈同学的脑洞又开了一下，跑到工艺部门问：那我们能不能强制不做表面处理？

工艺部的同事冲我一笑说：理论上是可以的，但是……

共面波导

看过《关于裕量》文章的朋友应该知道，很多规则或者经验其实是经不起推敲的。越是了解这些经验的形成过程，就越会对他们失去敬畏。但是对于大部分工程师来说，我们很难去完全了解一个规则的形成过程，我们在网络上可以很容易的找到理论，但是网络不会告诉我们项目经理怎么想的，硬件主管又是怎么想的。

今天小陈在这里斗胆推测一下被许多人神化的共面波导结构。

说到被神化，因为有大量的设计被要求做成了共面波导形式，理由无非是损耗与串扰。

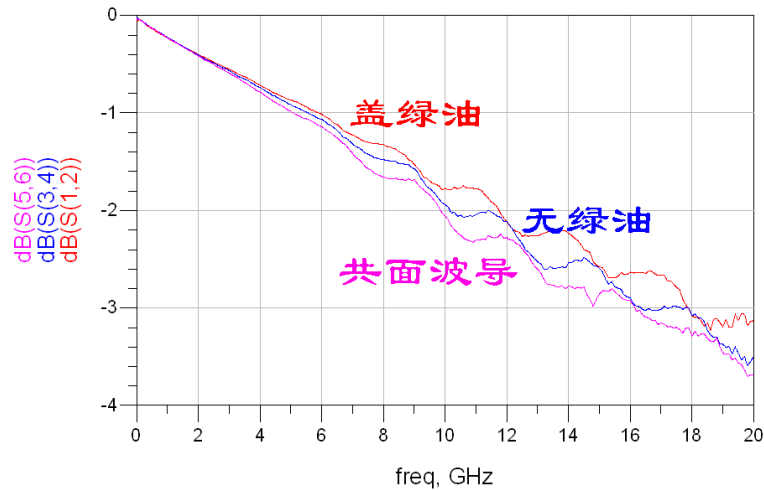
关于串扰，在《包地与串扰》已经说过，如果处理不慎的话，串扰只会是有增无减的。

而损耗小的理由，是因为相同平面有参考的话，更多的电磁场分布在空气中，空气的损耗是远小于介质的。是否是这样呢？上图作证：

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

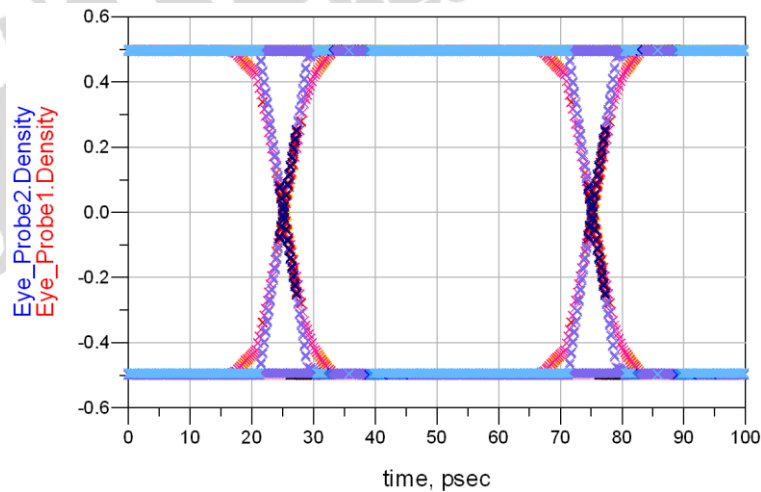




可以看到，实际上共面波导比普通的微带线的损耗更大。要解释这个需要结合前两篇文章的理论。第一是因为绿油本身的损耗；第二是因为虽然更多的电磁场分布到了空气中，也就意味着传输线上方的电流更多了，我们知道表层走线下方是铜，上方是镍金，也就是导体损耗更大了。

其实，从理论上来说，共面波导损耗比普通微带线小还有一个原因，因为共面波导传输时比微带线更接近 TEM 波，而 TEM 波理论上是没有色散效应的。

下图是电磁波色散的演示：



图中蓝色眼图为 TX 信号，红色眼图为 RX 信号，他们经过了一段无损线，但是眼图的上升沿却变缓了。这是因为低频信号与高频信号的传输速度不一样，在接收端相位发生了偏差，也就是我们说的电磁波色散，另一个词你一定听过“材料的频变参数”。

到这里小陈可以得出以下的推断了：long long ago，人们觉得微带线损耗优于带状线，又由于色散以及想象中的损耗原因，共面波导结构优于普通的微带线，在以前的测

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



试频段内，并没有发现共面波导比微带线带状线差的结果，那咱们就把共面波导神化吧.....

当然，以上也只是本人的臆想，大家有什么别的看法欢迎交流。

大部分时候，我并不会推荐走共面波导，但是有一种使用 SMA 连接的结构走共面波导是有必要的，如下图：



问题来了

为什么这样安装在板侧的 SMA 连接结构需要走共面波导？

高速先生欢迎您和我们一起进行交流，关注微信名（高速先生），直接将答案通过会话回复，参与互动答题即有机会获得奖品，回复关键词“奖品”查看更多。

【关于一博】

一博科技专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、焊接加工、物料供应等服务。作为全球最大的高速 PCB 设计公司，我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 500 余人。超大规模的高速 PCB 设计团队，引领技术前沿，贴近客户需求。

一博旗下 PCB 板厂成立于 2009 年，位于广东四会（广州北 50KM），采用来自日本、德国的一流加工设备，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。

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



一博旗下 PCBA 总厂位于深圳，并在上海设立分厂，现有 12 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉等高端设备，并配有波峰焊、AOI、XRAY、BGA 返修台等配套设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。

【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

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

