

【高速先生原创|XX 系列】抽丝剥茧系列

作者：陈德恒 一博科技高速先生团队成员

一. 过孔选择

在高速先生的微信群里，还是经常有朋友问问题的。很多时候一个问题来来回回也就几条信息，也不知道朋友们有没有弄明白，实在不是因为高速先生不乐意说更多，而是百来个字，又没有图实在是很难把一个问题说清楚的。所以催生了《抽丝剥茧》系列文章，高速先生将专门撰文来解答各位朋友平时提出的问题。

本期问题是这样的“**12G 信号，通过增加过孔避免 stub 的影响是好是坏？三个过孔有问题吗**”。

其实看到这个问题的时候，小陈的心里是乐呵呵的，12G 信号，终于跟小陈心中的“高速”沾上边了。在这里，先抛出第一个论点，当前大部分板卡厚度都在 2mm 左右，10Gbps 以上的信号过孔有非常严重的影响，6Gbps 以下的设计基本不需要考虑过孔。原因在《反射详解》中有说明，一个几十 mil 的过孔或者 stub，低频信号根本“感受”不到。

其实，评估一个通道能否正常工作的标准就是信号协议，发送芯片满足信号协议，通道性能满足信号协议，接收芯片满足信号协议，那这样发送与接收芯片就能正常的通信了。而信号协议中，基本上是不会要求通道走多长打多少个孔的，而是以插损，回损，模态转换等指标去约束。要知道一个做得好的过孔损耗可能只有 0.2dB，一个做得差的过孔损耗会达到 2dB。而 SI 工程师不可能要求设计工程师把走线，过孔做到多少 dB 以下（如果是这样的话 SI 工程师也就没有存在的意义了），而会将这些变成过孔个数的要求，过孔结构的要求，走线长度的要求等等，也就成为了我们的 layout guide。

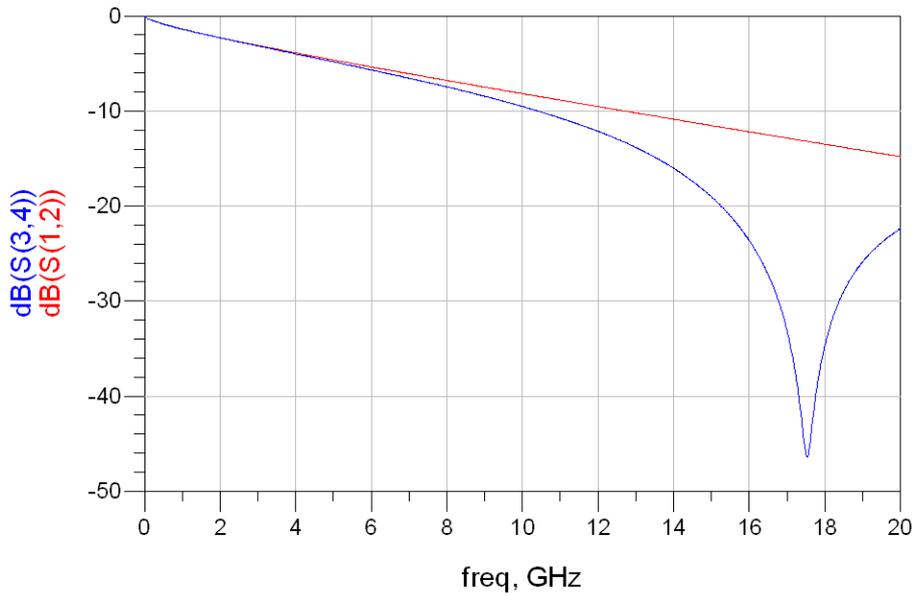
让我们来对比一下过孔少 stub 长，以及过孔多无 stub。下面的比较中，蓝色通道为一个过孔，过孔长度为 10，stub 为 70；红色通道为两个过孔，过孔长度为 70，stub 为 10。唯一的变量为过孔的阻抗。

当过孔阻抗做的很好（50 欧姆）时，插损曲线是这样子的：

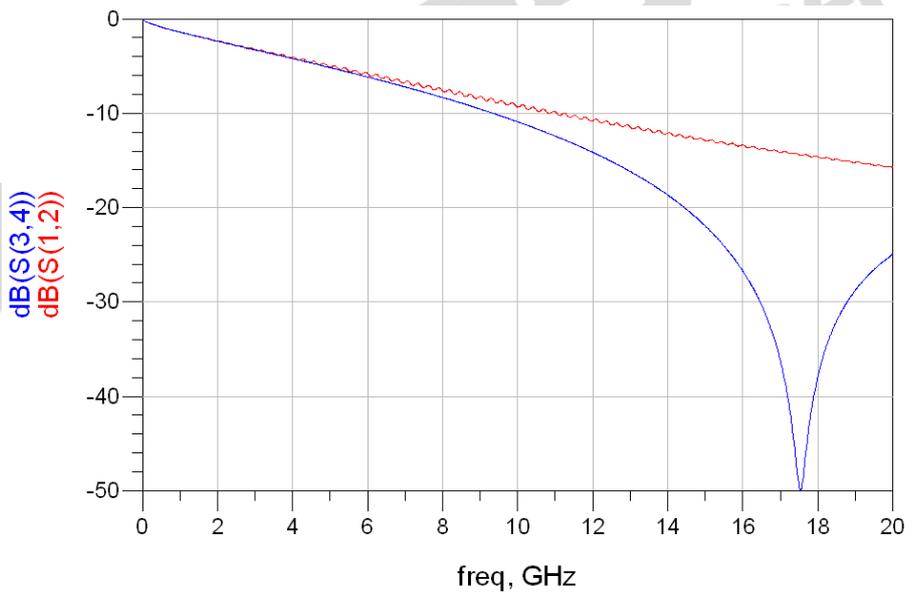
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





当过孔阻抗偏低（34 欧姆）时，插损曲线是这样子的：

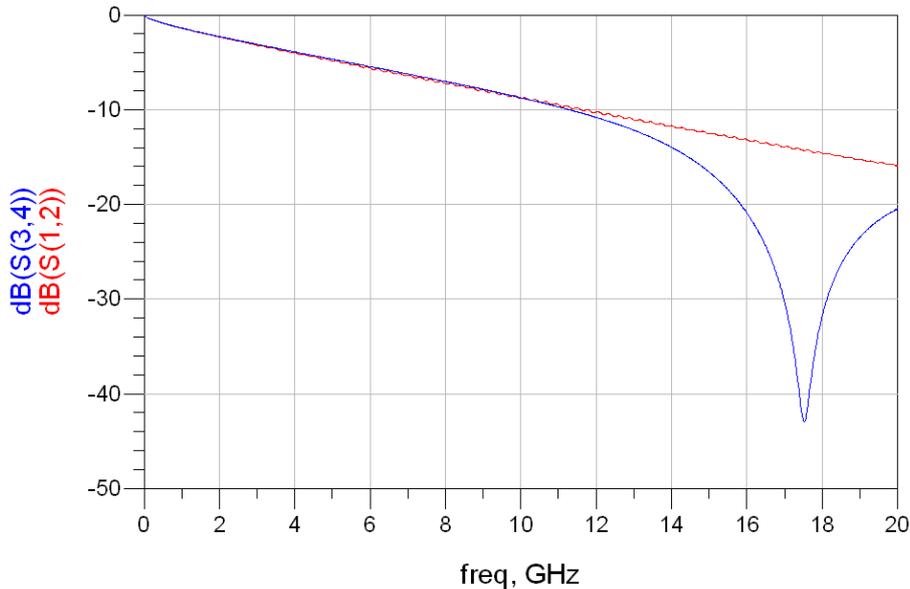


当过孔阻抗偏高（71.5 欧姆）时，插损曲线是这样子的。

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





可以看到，如果阻抗做的好的话，**通道本身**的参数也是非常好的，这个结论不止适用于两个过孔，同时适用于多个过孔。而阻抗偏小的情况下，孔多 stub 短也是优于一个长 stub 的。至于阻抗偏高的情况，10G 之前单个过孔会比孔多 stub 短好一些，但是这种情况基本上是不需要考虑的了，如果过孔阻抗有那么容易偏高的话，SI 工程师也不需要那么辛苦的去优化过孔了。

但是，注意这里有但是。Stub 长的问题，通过背钻非常容易解决。而过孔阻抗优化这件事情，就不是那么简单了，需要一定的经验积累。而且过多的过孔，可能会使过多的噪声注入平面腔体，造成整个系统的不稳定，这个也需要综合把控。

回到最开始的问题，通常 12Gbps 的信号，30mil 的 stub 是可以接受的，略微做一些阻抗优化（选用 8-10mil 的过孔，稍微将反焊盘加大一些），三个过孔也并不算多。小陈这边调试成功的 12G 案例中，通道较复杂的有 6 对过孔+三个连接器+接近半米长的走线。

问题来了

为何上面对比中，阻抗高与阻抗低要选取 35 欧姆与 71.5 欧姆进行对比？

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。

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

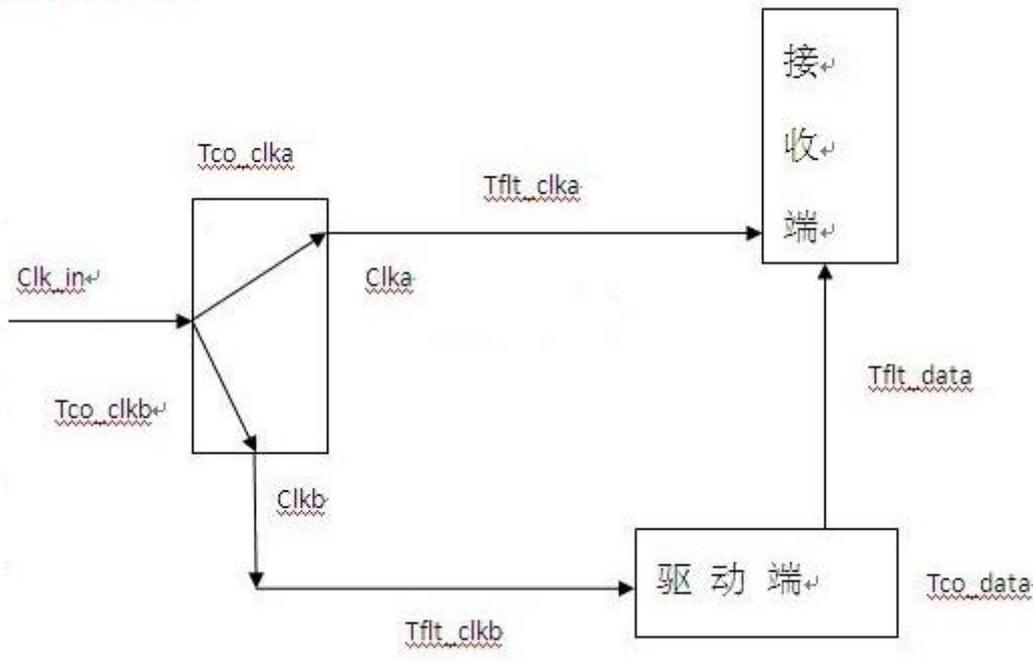


二、关于时序

经常被问到的问题就是 xxxMHz 的信号需要做多少的等长呀？小陈是真的不知道啊，来来来，听小陈讲一个故事……

小李与小民是大学舍友（时钟芯片），大学的第一个学期他们各自新交了一个女朋友小丽（发送芯片，如 CPU）与小敏（接收芯片，如 sdram），小丽和小敏住在城市的两个不同地方。寒假他们相约一起出去玩，小李与小民先洗漱（Tco_clk）了一下准备出门接各自的女朋友，但是女生比较任性，要等各自男朋友到了她们俩才开始梳妆打扮（Tco_data）再出门。由于小丽离他们的学校近一点，所以他们决定小李接到小丽后带到小敏住的地方集合。但是小李不能带小丽到的太早，太早的话小丽等太久会生气（setup time）。小李也不能带小丽到的太晚，太晚的话小敏会生气（hold time）。而且旅游大巴是固定时间发车的，去晚了就只能等下一趟了（一个时钟周期）。为了这一趟旅行小李和小民也是绞尽脑汁啊，他们不敢去催小丽与小敏梳妆打扮快点，最后只能改变各自到达女朋友那边时间了。那改变（做等长）多少呢？是一个人走路一个人骑自行车，还是一个人走路一个人打车？这个跟大巴的发车周期有关，但更与两位美女各自梳妆打扮的时间有关，**没有办法只根据发车周期来判断**。在这个学期，他们之间是一个外同步公共时钟系统。

外同步时钟：



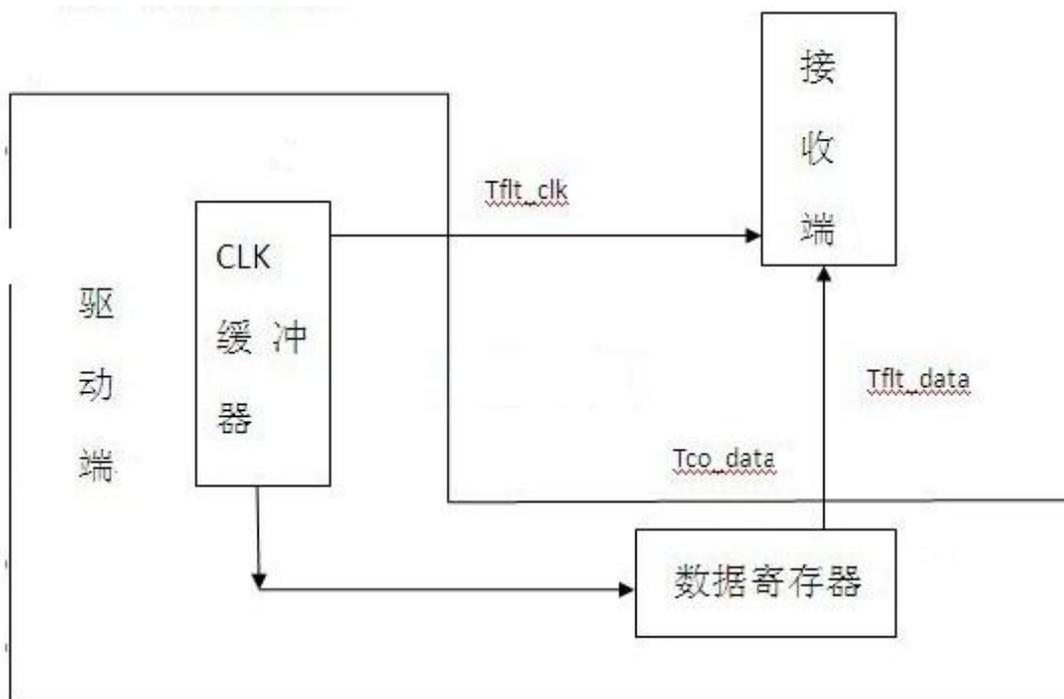
大学的第二个学期，小李比较厉害，先将小丽骗得同居了，就在学校宿舍附近租了一个小房间。而小民还是在宿舍跟小敏隔城相望。小敏心怀歉意，于是跟小民保证自己打扮的时间一定在小丽所能容忍的时间内。暑假的时候，他们再约着一起出去玩，这时

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



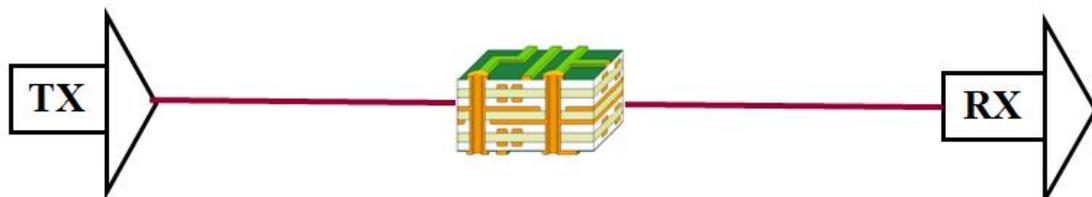
候他们计算时间就没有那么麻烦了，三个人一起去接小敏（时钟驱动与驱动端同时发向接收端），在路上单身狗走得快点，情侣稍微走的慢点无所谓。这个学期，他们之间是一个内同步公共时钟系统。



内同步 CPU 写数据示意图

到了大学的第三个学期，耿直的小民还是没有忽悠成功，但是小敏又做出了让步，这一次，她不需要小民到她楼下她才开始梳妆打扮了，小民也摸清楚了小敏打扮花的时间。所以只要给她一个电话，每次提前那么一点出门就可以了。在这个学期他们之间是一个源同步时钟系统。

大学的第四个学期，终于小敏也倒在了小民的攻势之下，两对小情侣当邻居了。又到了假期，他们这时不用考虑谁又生气了，反正弄好了一起出门（时钟与数据都在一起），只需要考虑旅行途中是否顺利就可以了。这时候，他们成功的由并行信号变成了高速串行信号。



比喻不一定完全恰当。有问题劳烦大家指出哈。

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



问题来了

限制并行信号速率的是什么？

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。

三、一次解谜经历

某网友 S 提问：使用仿真软件模拟背板上的微带线，两边分别加上背板连接器和过孔的 S 参数模型，仿真出来的结果发现插损曲线整个频段都会有波浪状的震荡，实测时完全不会有这种情况，为什么？

另一位热心网友 P 表示也遇见过这样的情况，并且附上了图 1：



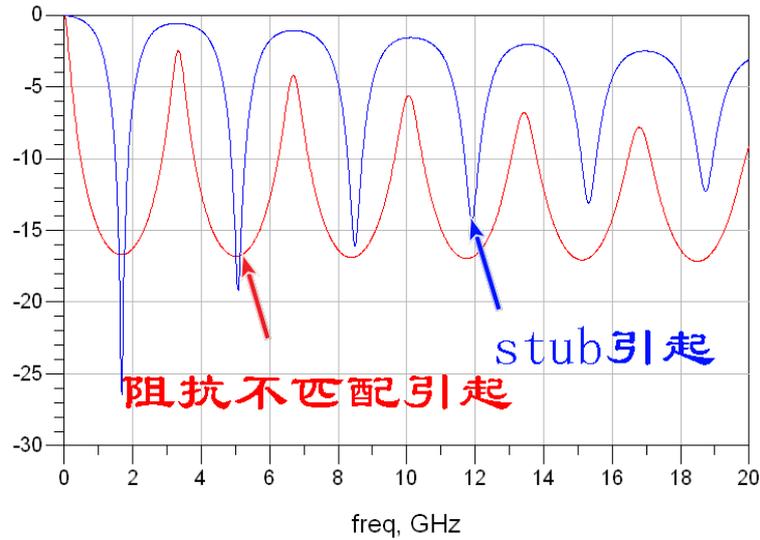
图 1

小陈看到之后，撸起袖子准备开始回答了。一如之前在《S 参数震荡原因总结》中所说，单线出现如此明显的震荡，有两种情况，一种是严重的 stub，另一种是阻抗不匹配严重。但是这两种情况的震荡起来的表现是不一样的，如图 2：

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





很明显，前面图片中应该属于 stub 引起。并且，第一次谐振为 stub 长度=谐振频率对应的 $1/4$ 波长时。可以看到第一次谐振频率为 1GHz，在普通板材的情况下，1GHz 正弦波波长为 6000mil，这个 stub 长度应该为 1500mil。

于是小陈很自信的回答道：任何的阻抗不连续，包括 stub 等，都会引起相应长度的谐振。如图中的 1500mil 的 stub 引起的就是一个谐振频率为 $1+2n$ GHz 的谐振。由于实际加工会有非常多的阻抗不完全连续的地方，可能我的反谐振点就是另外一段长度的谐振点，导致整个频带上的震荡看起来不明显，但是通常总体的回损要比理想中的大一些。😎

小陈以为收到的会是鲜花和掌声，没想到热心网友 P 回复道：分析的很在理，但是这个结构是完全匹配且没有任何 stub 的。并且展示了其通道的回损以示清白。

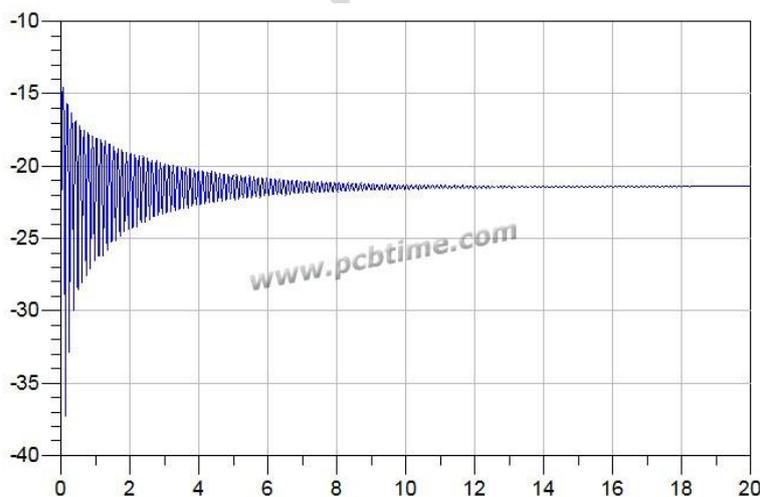


图 3

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



没有 stub，而且阻抗完全匹配，跟小陈想象中的完全不一样啊！但是回损又比较大（高于 20dB），马萨卡……这是一对差分线里的一跟单线的 S 参数？不遵守游戏规则啊！😱

好吧，小陈立马回复道：如果是差分线的话，从回损来看，谐振周期为 125MHz 左右，推测线长大概在 24inch（线长=谐振周期的半波长）。而插损的谐振是由于远端串扰引起，而这个震荡的周期跟串扰率有关。

当小陈满心欢喜的觉得这次对了的时候，网友 S 出现了：“不好意思，我出问题的走线是单线，也没有 stub，阻抗匹配也非常好，震荡的原因是因为我的端口阻抗设置错了，导致来回反射引起的震荡。”

小陈：😳.....

看来这丝不好抽，茧也没那么容易剥啊。分析问题之前还是要问清楚各个方面的情况再下结论，然后还要学会使用名言：“it depends”。

（瞎编自真实故事。）

问题来了

为什么图 3 中的回损到了高频基本上是一条直线看不到震荡了？

高速先生欢迎您和我们进行交流，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。

四、一个 T 拓扑

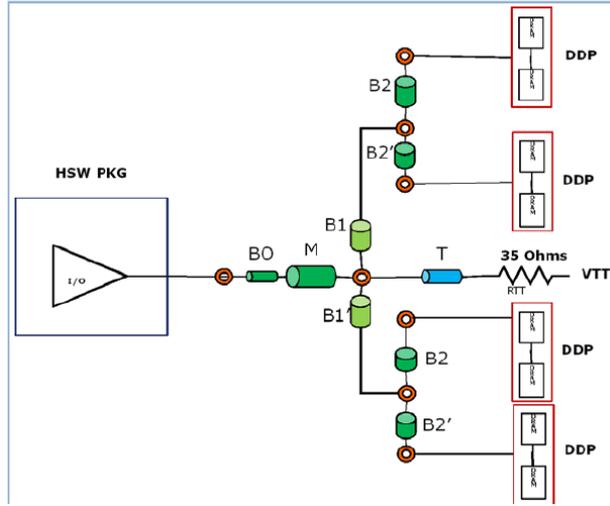
前两天，跟某友商交流，是一位测试领域的大牛，他们也经营着一个自媒体。每到大家激起一些火花，大牛就会说“看，又是一篇好文章了吧”。看来大牛他们写文章的压力也很大啊，想到这里，小陈不禁潸然泪下，手一抖，把抽丝剥茧打成了愁死脖间……

槽要吐，文章还是要写的。大家知道，做一些 layout guide 是信号完整性工程师的基本工作之一，layout guide 可以说是一些 SI 规则的物理体现。某同学发现了一份这样的 layout guide：

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





拓扑是这样子的

CMD/ADR/CTRL Trace Impedance, Zo	M	Ω		33
	B1/B1'			NA
	B2/B2'			NA ?
	B1/B1' delta			NA ?
	B2/B2' delta			NA
	T			58

Maximum CMD/ADR/CTRL segment length	BO	mils	300
	M		NA
	B1/B1'		1000
	B2/B2'		450
	B1/B1' delta		50
	B2/B2' delta		25
	T		700

要求是这样子的

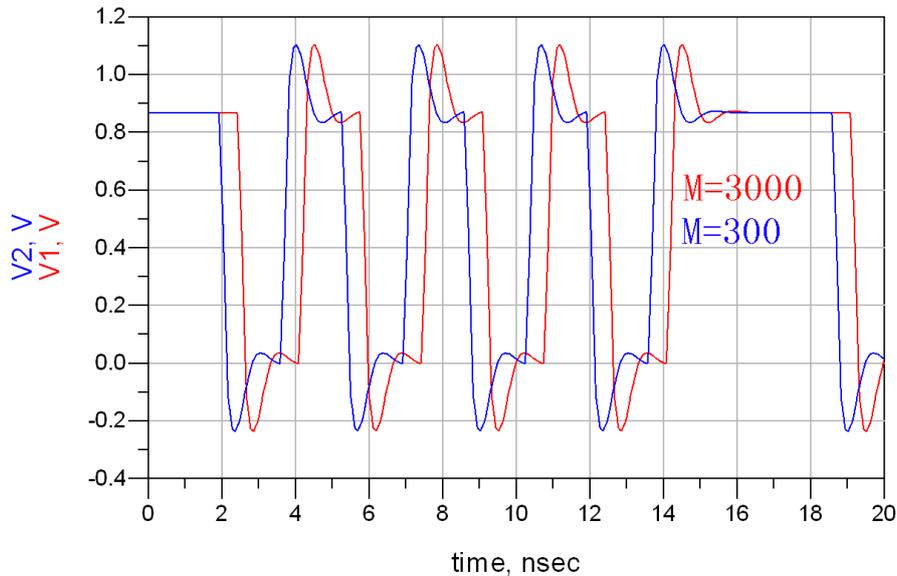
可以看到，主干段 M 只有阻抗要求，没有长度要求。而分支 B1/B1'/B2/B2'只有长度要求没有阻抗要求，这是为啥？

首先，我们知道大部分器件的驱动阻抗是较低的，这样减小驱动器本身的分压，虽然这样会造成较大的源端反射。而速率越来越高时，需要在功耗和信号完整性做一个平衡，驱动阻抗渐渐的高了起来，而上拓扑为 DDR2，驱动阻抗通常在 33 欧姆左右，将 M 段的阻抗控制在 33 欧姆，则意味着源端反射非常小，这样所有进入 M 段往驱动端走的反射信号全部有去无回。M 段的长度，也就不会对接收端信号造成什么影响了，如下图：

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





而在 M 与 B/T 交界的节点处，反射是不可避免的。最重要的是第一次从 M 过来在这个点的反射，以及第一次从接收端反射回来的能量，之后的反射波由于分压以及反射系数等原因能量是非常小的，可以忽略不计。

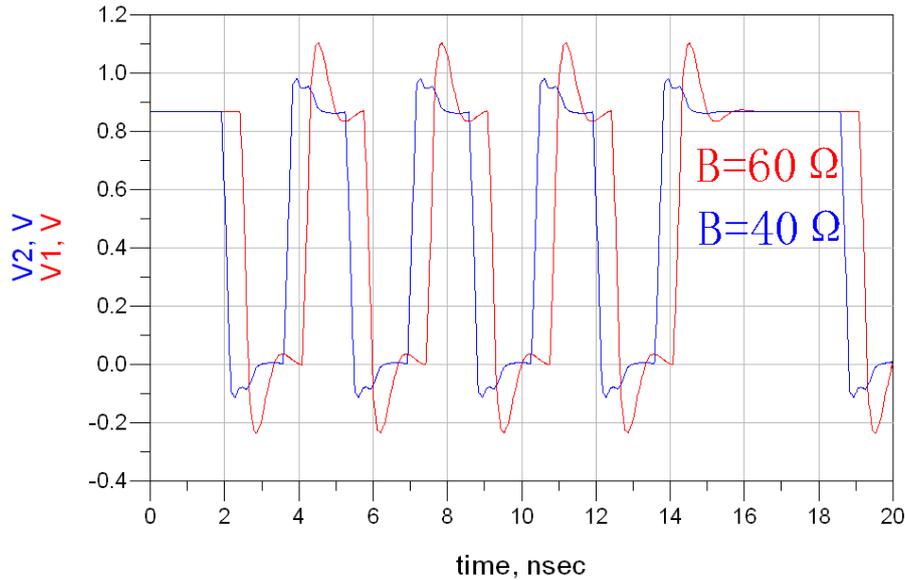
先来看第一次从 M 过来在这个点的反射。我们知道几个电阻的并联阻抗必定小于其中任意电阻的阻抗，传输线同理。假如 B 段阻抗为 60 欧姆，从 M 往接收端看的阻抗为 $58//60//60 \approx 20$ 欧姆，反射系数 24%；假如 B 段阻抗为 40，从 M 往接收端看的阻抗为 $58//40//40 \approx 15$ 欧姆，反射系数 37%。差别看起来不是特别大，所以 B 并没有明确的阻抗要求，但其实 layout guide 里还有一句话，就是 B 段走线走越细越好。

再来看看第一次从接收端反射回来的能量，这可就剪不断理还乱了。不过大家知道，影响反射的除了阻抗还有走线长度，走线较短的话，反射将会淹没在上升时间之中。我们来看一下线长符合要求时阻抗变化的情况：

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





看来只要分支长度保证了，其实阻抗影响并不大。关于各种拓扑，可以变的魔术还是非常多的，layout guide 可不是只有“x/x/x/x 信号阻抗控制 50Ω”的哦。

问题来了

为何限定 T 的阻抗为 58Ω？

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。

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 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。

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

