

【高速先生原创|PCB 设计系列】设计先生之回流设计系列

作者：杨洲 一博科技高速先生团队队员

有 Error 的教训才会印象深刻

我们先看电子场的两个事实：

- 1， 电流是电荷的流动；
- 2， 电流只能在闭合的回路中流动；

接着我们先了解下什么是信号回流路径，低速和高速返回路径是否一致：

信号回流路径, 即 return current。信号流向是从驱动器沿 PCB 传输线到负载，再由负载沿着地或电源通过最短路径返回驱动器端。这个在地或电源上的返回信号就称信号回流路径。

每一个信号都有一个回流路径来构成回路。那么作为设计者就必须考虑并控制它在电路板上的位置。

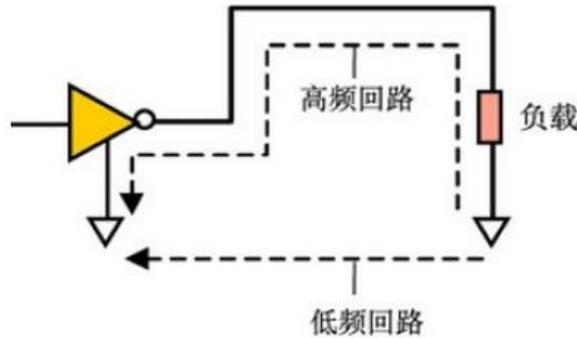
低速电路中，电流沿着最小电阻路径前进。低速电流从驱动端传输到负载端，然后沿着地平面返回到驱动端。返回电流沿着最小电阻的路径，它返回的电流密度和该路径上的电导相对应。

高速电路中，对于一个特定的电流返回路径，电感要远比其电阻重要。高速的返回电流沿着电感最小路径前进，而不是电阻最小路径。电感最小的返回路径就紧贴在一个信号导体下面，它使输出电流路径和返回电流路径之间的总面积最小。返回信号的电流密度随着其相互距离增加的平方而下降。

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





当知道理论了以后，接着就是理解它并记住它。

设计先生深刻的明白什么会给我们印象最深，那就是 error 带来的教训。小时候你会记得老师的表扬，但更能记得你放错误后老师的嘲笑或者那一种眼神。因为这是我们成长过程中必然会遇到的。设计先生觉得与其在天堂里受到无所谓的知识灌输还不如在地狱里艰难磨练的自我成长。打击才是前进的动力。

我们从下面这个打击开始进入主题。

时钟线振铃的产生

案例描述：

十层板，CLK 走在第四层（信号层），第五层是完整的电源平面，第三层也是信号层，但与第四层相差较远，第二层是地层。当我们只打开第四层时，发现时钟布线没有什么问题。当打开第四层第五层，发现差分过孔在平面层反盘做得很大，在电源层比其他过孔避让要多很多。于是就发现时钟在电源层差分过孔旁边跨了很多次分割。

案例原因：

信号 CLK 以相邻的第五层电源层为参考平面，构成回流路径时，由于反焊盘的存在使该路径增长，造成很多处回流路径阻抗的不连续。从而对信号构成了影响。

案例解决：

将第四层的时钟信号线换到了第三层，且避开了平面层差分过孔反盘很大的区域，从而保证了参考的地平面，同时回流也是完整的。改善后时钟线振铃消失。

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



案例启示：

- 1，重点检查回流路径是否完整。
- 2，相邻层之间是否存在高速信号的长距离平行走线。

这个 PCB 设计上的案例为什么会带来人生的思考？其实回流路径就像是回家的路，我们记得出来打拼，但往往却忘记了我们还要回去，外面的世界很漂亮，也很繁华，一方面吸引着我们，另外一方面也迷失着我们，于是我们会开始渐渐忘了我们的初心。来时的路我们都会记得，可是回去的呢？偶尔记得要回去看看，就像上面的案例，可是我们总被各种忙，各种聚会，各种所谓的梦想围绕着，结果就导致我们回不去了。

无论是设计还是生活，要记得我们的源，出来了还要记得回去的路。

问题来了

对双层板的 DDR 设计有哪些注意点？

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。

客户说包地你敢说 NO 吗

承前：上一篇文章主要是结合我们实际中的问题，通过举出的案例由此引发的对人生的大思考。对应的在开篇也阐述了一些关于回流的概念。

本节：让我们来探讨设计中遇到的常见问题，那就是包地，相信比较普遍的 Hardware 都会给我们提包地的要求。究竟你是否能够反对，也听听设计先生的分析吧。

包地到底是为了啥？似乎包地对于 **Hardware** 就像是小时候父母对待孩子，一定要吃饭，不吃饭就长不大。其实后来我们才知道，如果到了其他国家，如美国等他们从来就

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



不吃饭。但是他们的身体依旧很棒。回到包地的问题上来。为什么 Hardware 如此热衷于包地，真的可以提供回流吗？真的可以防干扰吗？

我想我们最希望看到的就是一箭穿心的让客户听我们的？请听设计先生娓娓道来。

a,对于数字电路来说，一个完整的地平面可以带来包地的大部分好处。但包地线几乎不能比完整的地平面提供更多的好处。试想，如果两条走线之间的距离足够允许引入一条包地线，那么耦合通常已经很低，包地已经没有必要了。

亲，不信我们可以我们通过计算比较下包地与不包地的。

$$\text{Crosstalk} \approx \frac{K}{1 + (D/H)^2}$$

假设两根信号线间隔为 0.04 走线高度为 0.005，那么 D/H 比值为 8.

它的串扰值为

$$\text{Crosstalk} < \frac{1}{1 + (8)^2} = 0.015$$

中间包一个地线的串扰的数值是不会比它还要小的，在数字系统中，这样的串扰我们基本上可以不用考虑。

b,我们在设计中如果没有提供良好的回流系统，那么信号就有可能通过任何的路径返回它的源，如自由空间，器件，地层，相邻的线路或其他路径。我们知道回流的环路面积越大，电磁辐射就越大。那么包地就出现了。

对于本振信号(如晶振的包地)，时钟信号（CLK）或复位信号（RST）或其他敏感信号。

单层板设计而言，在这些信号的旁边包一些地线，提供回流路径，并能减少回流的环路面积、

双层板设计而言，在线路板的另一面，即在靠近此类信号线下面，沿着信号线铺地线，如果没有空间，当然在同面包地线也是可以的。

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



注意：减少环路面积时，和之前提到的一样，要注意信号环路不应重叠，这对高速度，大电流的信号环路尤为重要，特别是单面板和双面板，最好每条信号都有自己的回流路径。

c,当然如果是在模拟设计中，如在一个两层板的音频电路中，没有完整的地平面，如果在一个敏感的输入电路的两边并行走一对包地线，串扰可以减少一个数量级。

d,有人就有疑问：包地不是可以防干扰，起到屏蔽的作用吗，你看射频线什么的？还有的会说包地会有反作用了，不是所有的信号都适合包地。更有甚者拿共面阻抗来说包地。

设计先生只想回答，射频线你见过包一根线的吗？一般都是在周围铺地的平面吧，一方面是共面阻抗要求，另外一方面确实可以起到防干扰。至于包地的反作用，你包地不完整，又不打地孔到地平面，或者整个一根地线都没见过几个孔，包地的两端还是没有连接的点，你说是包地吧，设计先生还可以说是多余的线头了。

关于包地涉及回流的问题，设计先生觉得主要是明白客户的意图，有针对性的进行沟通，这样的话主动权就在我们这边了。设计先生今儿就只能写到这里了，希望以后有机会能好好交流交流，也能好好请教请教。

问题来了

从回流上看电源设计的注意点有哪些？

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。

电源不会轻易告诉你的 Detail

承前：设计过程中如何处理客户对于包地的需求，我们怎么理解包地的作用以及包地的注意事项。

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



本节：电源往往是设计中一个很重要的部分，就像一个人需要能量一样，没有东西提供能量，我们都不能生存。

我们知道稳定的供电电压是芯片正常工作的基本条件。当芯片工作电流由电源输出，流经电源分配网络到达芯片端时就会在芯片端造成一定的直流压降和瞬态噪声。一般来说，直流压降和瞬态压降之和必须小于芯片允许的最大电压波动幅度。那么造成器件电压波动的根源

有哪些方面：一是器件在高速开关状态下，瞬态交流电流过大，二是在电流回路上存在阻抗和谐振。

电源噪声是由电流回路阻抗和瞬态电流共同作用引起的。在 PCB 设计实际运用中，控制电源噪声的关键就是降低电源回路的阻抗。

接下来我们就谈谈关于 PCB 电源设计的回流问题；

a,完整的开关电源的回流路径一般包含有四个：

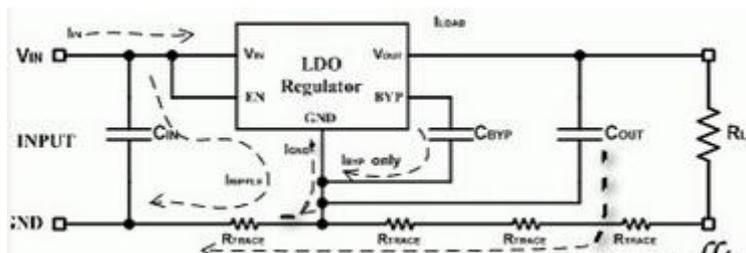
1，电源开关交流回路。2，输出整流交流回路。3，输入信号源电流回路。4，输出负载电流回路

而在我们 PCB 板上设计的 Mos 管开关电源的实际电流回路包含的是下面三个回路：

1，电源输入输出的回路；2，输入输出与电源芯片内部的回路，3 气放管充电放的回路（部分开关电源有）明白了这些电源的返回路径，我们就不难理解设计时为什么要输入输出的滤波电容要共地，然后为什么电源芯片的地也要和输入输出的地共在一起。

b, LDO 线性电源的回流路径

LDO 电源回流路径比较简单：输入输出的回流，LDO 芯片与输入的回流。如图可以看的很清晰



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



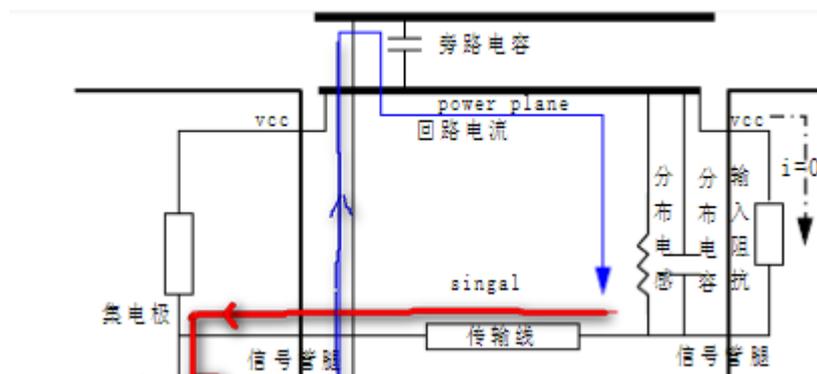
c, Connector 电源座子的回流路径，以及控制芯片供电管脚输入滤波电容的回流路径。

设计项目的时候电源的入口通常是 connector，然后经过滤波电容输出，但是这里我们设计的时候也应注意它的回流。需要最短回流设计。对于控制芯片电源的输入也要考虑与芯片地的回流。最好保证芯片电源输入的电容的地与芯片的地尽可能的短。

电源地紧耦合

众所周知，完整的地平面是最好的参考平面，那么完整的电源平面是否可以起到同样的效果了？是不是所有的信号都是以地平面为参考是最佳的呢？

a, 对多数信号而言，信号必须回到发送端器件的 GND 才能完成回路，若参考平面为电源平面，则信号的返回路径为电源层，到达发送端后，还需由电源平面回到地平面才能完成回路。在实践中我们可以认为回流信号通过最近的旁路电容从电源层流回了地层。如下图所示。



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



b, 接着该分析电源地的紧耦合了。我们知道若电源层与地层之间的距离较近，耦合大且阻抗小，则这种回流方式与地平面的回流方式几乎没有差别。若距离较远，它们之间的耦合较差，造成阻抗偏大，则该阻抗对信号的回流存在一定的影响。这也是电源和地需紧耦合的原因之一。

c, 之前我们的高速先生阐释过平面紧耦合的原因是因为减小 L_{below} , 让电容能更好的发挥全局特性。更详细的介绍可以参考高速先生前期的文档。

那如果电源地根本没有在一起，而是交替的呢？

如果我们采用交替的电源和地平面隔离布线层，那么返回的电流总是流过最近的平面，并且会穿过很多旁路电容，因为他们连接在电源和地平面之间。这种设计不好，因为任何电流流过旁路电容器时都会在它两端产生电压。这些电压会在电源和地平面产生非常显著的辐射，增加了辐射噪声问题。

c, 当然存在的一些特例不要忽略，比如说某些高速走线，如某些 DDR SDRAM 颗粒的控制，地址信号，会有以 2.5V 电源而不是地平面作为参考。这里设计先生就不讲了。

问题来了

信号换层有哪些注意点？

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。

跨分割或换层是否是 YES

承前：电源噪声是由电流回路阻抗和瞬态电流共同作用引起的。在 PCB 设计实际运用中，控制电源噪声的关键就是降低电源回路的阻抗。所以我们在设计过程中一定要关注电源隐藏的回路。

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



本节：让我们来探讨下我们设计中经常遇到的麻烦问题，这种问题往往带来的就是大量工作量的修改，我们跨分割是否允许，信号换层是否能够接受以及如何改善它们？

设计到后期阶段如果出现了重要信号跨分割，那肯定就要修改优化，如果项目密度稍微大点，我们就得整上个以天来计算的改动。在避免发生这个的时候，我们得先来分析 why？同样的对于信号换层，换到哪层更好也来分析下。

跨分割

话说不能脚踏两只船，那在 PCB 设计中该如何了？跨分割到底是怎么回事，与返回路径有关吗？有什么坏处？

a, 我们设计时在参考平面跨了分割(以跨同一平面来解释, 如完整的地平面有一条间隙), 这使得返回路径被迫绕道而行, 返回路径与信号路径之间的阻抗将会比之前的加大, 从而造成返回路径上阻抗的不连续。(当到参考平面的环路面积增大的时候, 阻抗变大)。

b, 我们从不同信号返回路径情况分析, 信号返回路径上是有串扰。由于这个间隙的存在, 许多与之信号路径平行的其他信号, 返回时阻抗最小的路径都是在这个间隙段, 使这里成为串扰的集中点。

c, 我们从 EMC 角度上看, 我们知道当回流信号遇到不连续处时, 这个不连续处就会形成一个回路, 而回路面积和 EMC 有关, 这就造成了一个本不存在的 EMC 问题。

信号换层

信号换层无法避免，那换层时回流路径怎么破？

a, 信号换层时, 最好不要改变参考层。在这种情况下, 返回路径无需换层, 即信号的换层对其返回路径没有影响。

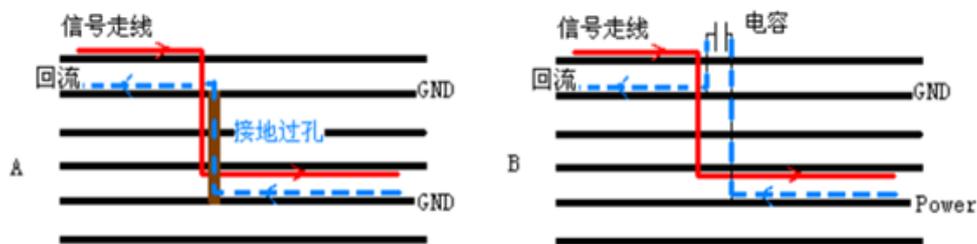
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



b, 信号换层时，最好不要改变参考层的网络属性。虽然参考层发生了改变，但如果同为 GND 或电源属性，可利用附近的 GND 或电源的过孔实现返回路径的通路（这个也正是说明了换层处加地孔的原因）虽然这个过程发生了阻抗的变化，但由于过孔的尺寸较小，容性、感性寄生部分较低，过孔本身产生的阻抗变化可以忽略，因此对返回路径的影响不大。如果网络属性发生了改变，返回路径就只能借助平面耦合电容或单板上的电源耦合电容，且两参考层之间存在层间阻抗。同时会不可避免的产生一些压降，信号发生畸变。

注意：在信号过孔附近增加的同属性的过孔，一般要求该过孔与信号过孔的距离不要太远，50mil 以内是比较合适的。同时当很多信号换层时，主要添加多一些过孔，这些过孔同时不应太近，避免信号回路上产生串扰。



c, 如果换层前后两参考层网络属性不同，那就只能尽量要求两参考层相距较近，以减少层间阻抗和返回路径上的压降了。

对于设计者来说，当然是以不跨分割，不换层为最好的。

问题来了

差分信号是以自身回流还是以参考平面回流，为什么？

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。

差分 and 模数完美的 show

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



承前：上篇讲到了跨分割在回流路径上的影响，设计过程中需要尽量避免这种状况出现。对于信号换层也是一样。如果在必须换层的情况下，我们也应该有所选择，而不是盲目的换到哪层就是哪层。

本节：让我们来探讨下我们设计中经常见到的一些信号，他们与回流又会有怎样的关系，像差分信号，它自身有没有回流；像数模信号，从回流的角度能不能互相依靠？

差分信号

差分对信号的对内两信号互为对方提供返回路径，那么是否可以说我们走差分线无需考虑与参考平面的紧耦合要求？

a,简单理解下差分，一正一负同时传输，注意等长，等宽，同层两两走在一起。优势就是抗干扰能力强。噪声，EMI 电磁干扰等加载在差分线的上面，最终一正一负相加还是为 0。所以外面对它的干扰很小。

b,那么这样的差分对信号，对内两信号互为对方提供返回路径，是不是我们就不需要考虑地平面作为回流平面了呢？

答案肯定是否定的，因为我们知道高速差分不仅仅要地作为参考平面，而且在设计的时候，上下层参考面都是地。请看设计先生的分析

1，分析最本质原因还是要从高速信号传输的机理认识。地平面的部分回流抵消并不代表差分电路就不以参考平面作为信号返回路径，其实在信号回流分析上，差分走线和普通的单端走线的机理是一致的，即高频信号总是沿着电感最小的回路进行回流，最大的区别在于差分线除了有对地的耦合之外，还存在相互之间的耦合，哪一种耦合强，那一种就成为主要的回流通路。在 PCB 电路设计中，一般差分走线之间的耦合较小，往往只占 10~20%的耦合度，更多的还是对地的耦合，所以差分走线的主要回流路径还是存在于地平面。

2，受限于器件工艺，PCB 走线等因素，对内两信号无法实现完全的对称，不可避免的存在共模分量，这部分共模分量需要通过参考平面实现回流。

信号回流之：数模信号

设计中我们常说数模分开，我们试想一下如果模拟区域走了数字信号，那么它的回流是怎样的？会对信号有什么影响？

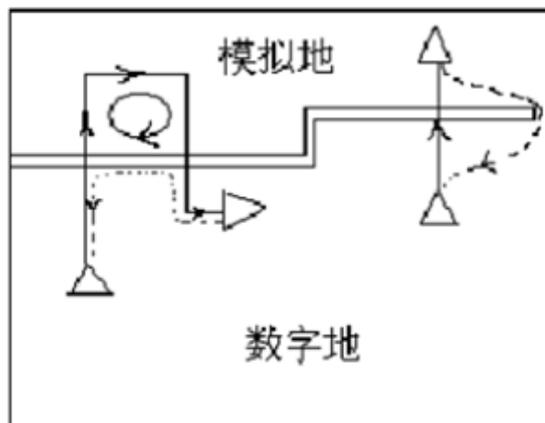
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



a, 第一种可能回流信号继续保持在数字地上, 并绕过模拟地层, 但是这会导致回路面积增大并带来潜在的 EMI 问题。

b, 第二种可能回流信号通过某种方法在模拟电源层上找到了一条通道, 从而继续在走线下方流动。在这种情况下不存在 EMI 问题, 但是存在数字信号在模拟层流动的问题, 这个数字信号可能会对这个区域的模拟信号造成干扰。产生串扰或者共地噪声问题。



设计先生这样一分析, 是不是又多增加了几个数模分开的理由。

设计先生关于回流的问题讲到这里基本就讲完了, 当然还有更多更深的关于这方面的东西, 毕竟学无止境。如果你有更多方面的东西需要一起交流, 探讨, 请关注我们的微信公众号吧

问题来了

10000PIN 以上的大项目设计时核心关注点在哪些方面

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】

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。

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

