

EMI/EMC 讲座(六)多层通孔和分离平面的概念

在走线路径上使用通孔 (via)， 是任何高速传输技术极关切的课题，因为它会产生电磁干扰和串音。此外，在分离的平面之间，绝不能发生互相重叠 (overlay)，这是 PCB 电路设计者最关心的问题之一。本文将介绍多层通孔、跳接、接地走线的概念及其之间关系，与各种分离平面的布线技巧，并说明可隔离电源和接电平面的铁粉芯 (ferrite) 材质之效能特性。

多层通孔

当要将频率 (clock) 讯号或高威胁性讯号由来源端绕线 (routing) 至负载端时，通常会经过走线 (trace) 到达一个绕线平面 (routing plane)，例如：X 轴，然后经过相同的走线到达另一个平面---例如：Y 轴。而且假设每一个走线是与一个射频回传路径 (RF return path) 紧邻，则沿着全部的走线路径，就可以与共模射频电流 (common-mode RF current) 紧密耦合。不过，在实务上，这种假设只有一部份是正确的。

当一个讯号走线从一电路层跳至另一电路层时，射频回传电流应该沿着走线路径流动。当一个走线在两个平面结构之间，穿过一个 PCB 时，通常会将它们视为电源平面和接地平面，或者说这两个平面具有相同的电位，而回传电流在这两个平面之间共享。回传电流唯一可以在这两个平面之间跳接 (jump)，是在去耦合电容的位置上。如果这两个平面具有相同的电位，例如：0V (参考电压)，则射频回传电流将会在连接两平面的通孔处发生跳接，而此通孔是供给一个组件使用。

当从一个水平层跳接至一个垂直层，射频回传电流是无法完全如此跳接的。这是因为在走线路径上，有一个「不连续 (discontinuity)」，那就是通孔。回传电流现在必须寻找一个替代的低电感 (阻抗) 路径，如此才能完成它的回路。这个替代路径可能不在通孔旁边，结果，在讯号走在线的射频电流可能会耦合至其它电路中，并产生串音 (crosstalk) 和电磁干扰的问题。下列的设计技巧，能够有效地减少因为电路层之间的跳接所产生的串音和电磁干扰问题：

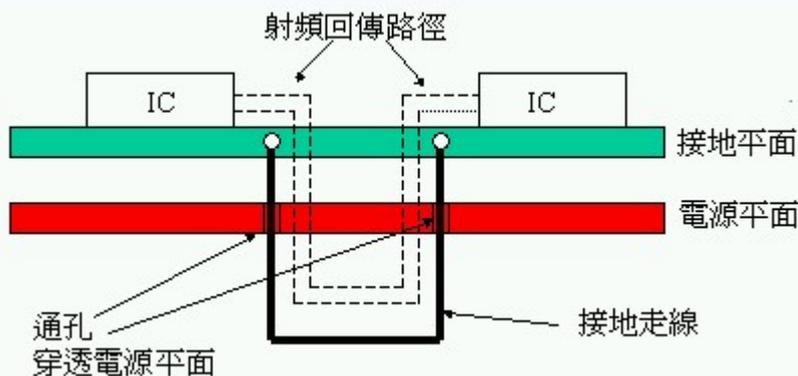
1. 首先，只在一个绕线层对所有的频率讯号和高威胁性讯号做绕线，也就是说：X 轴和 Y 轴回路都是在相同的平面上。PCB 电路设计者可能会放弃这个技巧，因为它几乎无法支持「自动绕线 (autorouting)」。
2. 一个固定的射频回传路径必须紧邻绕线层。而且，不因为使用通孔或走线跳接到另一个绕线平面，而造成回路不连续。

如果必须在水平和垂直的绕线平面之间，使用一个通孔来绕线，设计者必须在每一个通孔位置使用接地通孔 (率先将接地通孔应用到 PCB 的人是 W. Michael King)，讯号轴是在这些位置上跳接的。接地通孔的电位永远是 0V。

接地通孔是直接和每个讯号回路通孔相邻，从水平平面绕至垂直平面。只有当 PCB 内部具有一个以上的 0V 参考平面时，才能使用接地通孔。这个通孔和所有的接地平面 (0V 参

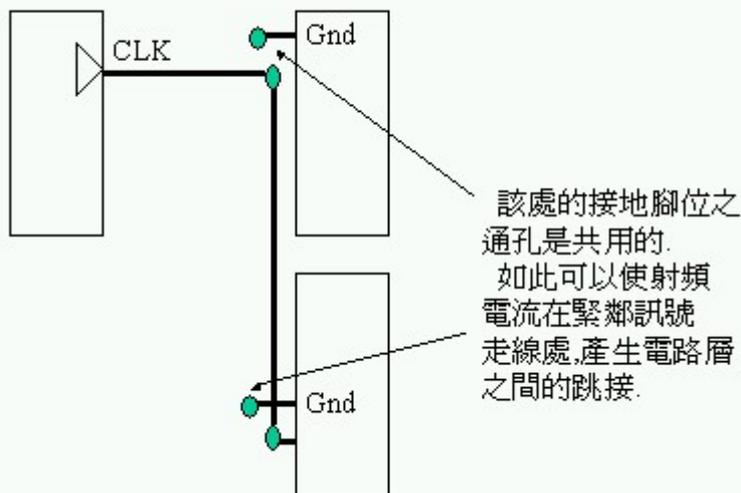
考电压) 连接, 成为讯号跳接电流的射频回传路径。本质上, 这个通孔和 0V 参考平面结合在一起, 并和讯号走线的位置相邻并行。当每一个讯号走线的通孔使用两个接地通孔时, 将会有有一个连续的射频回传路径存在, 射频回传电流会在它上面流动。这个接地通孔将维持一个固定的射频回传路径 (经由映像平面), 与讯号回路完全相邻。

当只存在一个 0V 参考 (接地) 平面, 而且替代平面的电压是一般 PCB 四层板常使用的值时, 会发生什么事呢? 为了维持一个固定的射频回传路径, 此时, 0V 参考平面必须充当为主要的回传路径。讯号走线必须穿过这个 0V 参考平面。当走线必须穿过电源平面时, 就必须使用接地走线; 在接地走线的两端使用通孔, 与讯号走线平行, 穿过电源平面, 与 0V 参考平面连接。使用这种方法, 就可以维持一个固定的射频回传路径。如附图一所示。



图一: PCB 四层板的接地走线之绕线

当必须在电路层之间跳接时, 要如何才能减少使用接地通孔呢? 在正确的 PCB 电路设计中, 最优先的是频率讯号的绕线, 它是属于「人工绕线」。在对这些优先的少数走线 (例如: 所有的频率讯号和高威胁性讯号) 做绕线时, PCB 电路设计者的选择是比较多的, 他们可以使用最短的走线距离 (shortest Manhattan length) 来绕线, 使跳接位置紧邻组件的接地通孔。此跳接将共享该组件的接地脚位之通孔。对这组件而言, 此接地通孔将提供 0V 参考电压, 并允许射频回传电流产生一个跳接。如附图二所示。

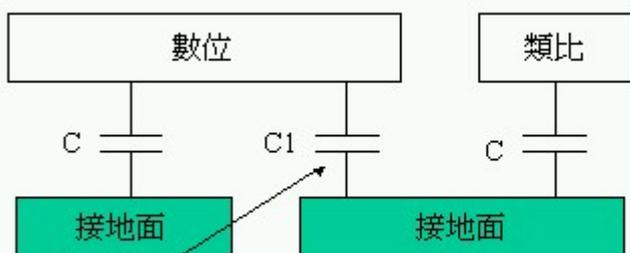
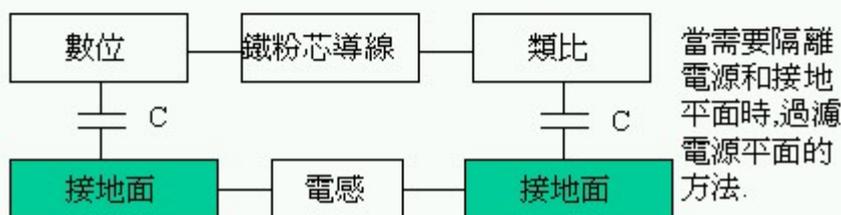
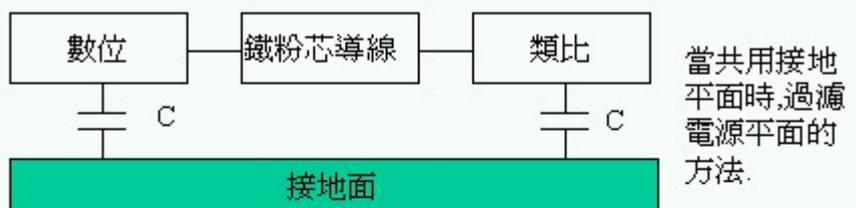


图二: 优先的少数走线之人工绕线范例

分离平面

当使用多层板的 PCB 时，位于同一平面上的电源平面和接地平面有时会被分开。例如：将模拟电路和数字逻辑分开、I/O 互连电路的隔离、不同参考电压的分割（例如：将+5V 区域和-48V 区域分割）、组件的隔离，但这些都需射频回传路径。经定义好的射频回传路径可以被比喻为一个道路路线图，射频回传电流只在已经定义好的路径上流动。

如果在一个平面上发生重迭，则必须在重迭的区域之间使用电容（大小是有限值）。如附图三所示，C1 允许射频能量（是一个交流波形），穿过一个噪声平面，到达一个分开的、隔离的、安静的平面，这是很糟糕的设计。这些平面的直流电压是不变的，因为在这些平面之间，有使用滤波器来传递直流电压。



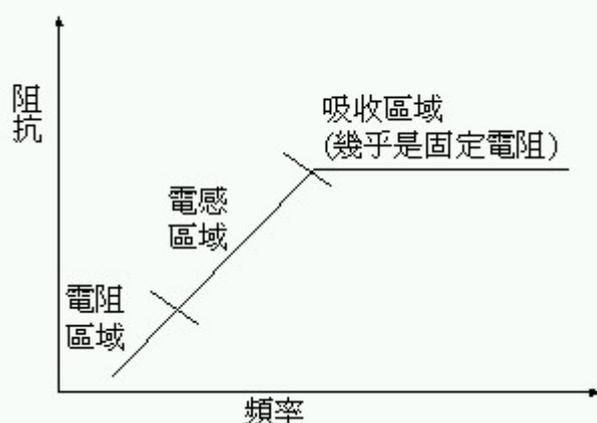
C1 會使數位交換的雜音破壞類比接地平面, 這是不好的佈線設計.

图三：各种不同的分离平面

如果需要隔离特定的高频电路，可以使用「铁粉芯导线（ferrite bead-on-lead）」，而不是电感，来隔离电源平面，或将电源平面和接地平面隔离。不过，使用这种方法时，必须很小心。如果两平面都包含了高频的射频噪声，则通常要将电源平面和接地平面隔离。如果数字区域和模拟区域都需要一个共同的接地平面，而且需要模拟电源，则只能使用铁粉芯导线来衔接分割的电源平面。

当 PCB 内出现分离平面（split plane）时，共同的接地平面必须直接位于离散滤波组件下方。所有讯号走线必须紧邻此接地平面；而此滤波组件正是所谓的「桥接器（bridge）」。如此设计的优点是：可以维持 0V 参考（映像）平面的完整性。这是控制高频 EMI 所必需的，还可以提供一个最佳的射频回传路径。

为什么不能使用电感呢？这从附图四中，可以得到答案。在直流电压或低频讯号的范围内，铁粉芯的阻抗趋近于 0，这对直流电压和低频讯号而言，可以忽略不计，亦即，铁粉芯导线好像不存在一样。但当达到高频的范围时，在供电线路中会产生射频电流，此时，铁粉芯的电阻会持续增加，阻抗也因此直线上升。直到某个特定的频率值，铁磁材质停止作用，阻抗也维持在最高值，不再变化。这是像铁粉芯这种铁磁材料所特有的物理特性。



图四：铁粉芯的效能特性

本质上，铁粉芯具有一个大的射频电阻，可以阻绝射频能量在两个分离区域之间传输。而电感具有一个大的电感值（L），它的感抗（inductive reactance）值是 $j\omega L$ 。但在传输路径上，感抗是最不受欢迎的。在电感两端会存在寄生电容，而且，在电感线圈和 0V 参考平面之间也会有电容存在。由于 L 和 C 的作用，于是一个谐振（resonant）电路就这样产生了。藉此，在达到某个特定频率时，射频电流可以在两个隔离区域之间流动，而这些射频电流会影响电路的正常功能。因此，供电线路或高频电路必须经过铁粉芯过滤。

如果一个分离平面只包含低频电路（模拟），而另一个分离平面具有高频的交换电路（数字），这时通常需要使用铁粉芯将它们之间的电源平面和接地平面隔离。不过，这得依照产品的功能和厂商对电源和平面隔离的需要而定。当不允许高频能量在两区域之间传输时，才需要使用这种技术。如果两区域都仅包含低频组件，而且不会受到高频的射频能量之威胁（例如：因高速切换所产生的噪声），则不需要使用铁粉芯组件，只要使用「单点接地（single-point ground）」（单点共同接地）即可。