

模拟电路版图设计中的匹配艺术

深圳中兴集成电路设计有限公司 金善子

1. 引言

生活中我们经常会遇到这样的事情：收听 CD 播放器的时候,左右耳脉里发出的声音经常不一样,甚至当有人打开窗户的瞬间或者打开室内空调的过程中,随着温度的变化,CD 发出的声音也会随之发生变化,因此我们就不厌其烦地调来调去。同样的情况也会发生在手机和接受机中。我们希望无论是 CD 播放器还是其它音响,它们相搭档的器件反应完全一样。也就是说,其中一个放大器的频率和幅值能完全符合并跟踪另一个运放的频率和幅值响应,达到这一目标的方法之一就是匹配。

实现匹配过程中,版图设计是一个非常重要的环节。一个优秀的版图可以大大提升一个设计。

2. 实现匹配的方法

匹配基本规则

当集成电路产业刚刚起步的时候,制造工业仍然相对落后。即使你将两个需要匹配的器件放的很近,我们也仍然无法保证它们的一致性。现在虽然随着制造工艺越来越精确,但是匹配问题的研究从来就没有停止过,相反地,匹配问题显得日益突出和重要。

使需要匹配的器件所处的光刻环境一样,称之为匹配。匹配分为横向匹配、纵向匹配和中心匹配。实现匹配有三个要点需要考虑:需要匹配的器件彼此靠近、注意周围器件、保持匹配器件方向一致。遵守这 3 条基本原则,就可以很好的实现匹配了。

2. 1 根器件法(Root Device Method)

有时候我们会遇到两个或者两个以上的而且阻值不同的电阻需要匹配。如下图 1 所示,如何将这 5 个阻值不同的电阻做成最优化的匹配呢?图 2 则给出了正确的答案,我们不妨分析一下:

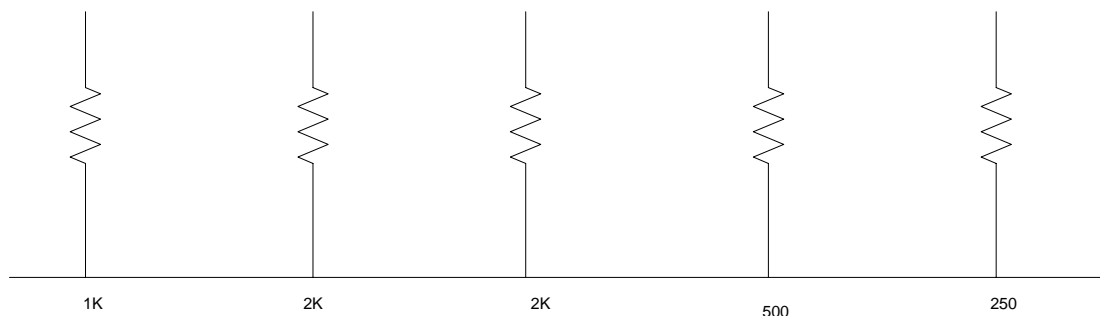


图 1 阻值不同的电阻需要匹配

如果要满足上面 5 个电阻的匹配,需要考虑以下步骤:

- (1) 首先,尽可能把这些电阻靠近放置,这是基本的要求
- (2) 其次,要使这些电阻保持同一个方向
- (3) 采用根器件的最好方法是找出一个中间值,用 1K 的电阻作为值将电阻串联和并联起来。这种方法节省了接触电阻的总数使其所占的比例减少,面积也相当,现在占主导地位的是电阻器件本身的薄层电阻。

利用根器件时,如果所有的电阻尺寸一样,形状一样,方向一致而且相互靠近,那么就可以得到一个很好的匹配。我们经常在选择根器件的时候,用最小的电阻作为根器件,这样的选择当然也可以实现我们需要的匹配,但同时我们却忽略了另外一个问题,那就是像 2K 这样的电阻如果用 250 做根器件,

那么就需要 8 个根器件串联起来实现，这就导致了这 8 个电阻之间接触电阻也同时加大了，这是我们不希望看到的。所以选择根部器件时我们不一定要选择几个电阻的最大公约数，因为这样有可能造成接触电阻过大,因此一定要选择中间值作为根器件。

根器件法不仅适用于电阻， 同样也适用于其它类型的器件。

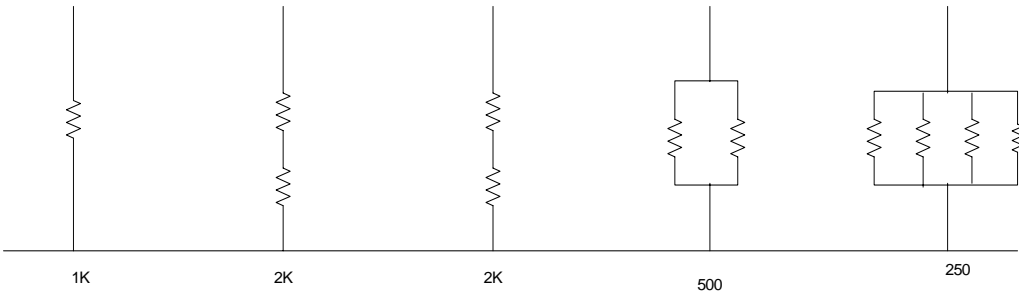


图 2 中间值 1K 电阻作根电阻

2. 2 交叉法(Interdigitating Devices)

采用指状交叉法是一项非常好的技术，不仅适用于电阻， 也同样适用于其他任何器件， 只要是两个或者两个以上就可以交叉排列， 布线用上下行走的蛇形线， 如下图所示：

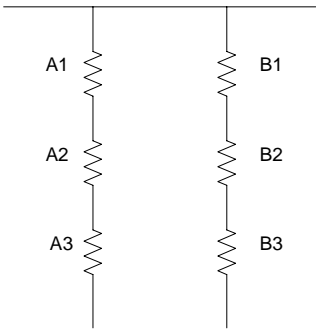


图 3 将这些电阻匹配

A1	B3	A2	B2	A3	B1
----	----	----	----	----	----

图 4 两组电阻指状交叉排列

图 4 的排列顺序同样也遵循了其中两个基本原则：所有器件靠近放置，保持同一个方向，下面我们需要考虑的就是如何布线的问题了。

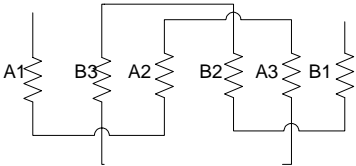


图 5 电阻指状交叉的蛇形布线

上面的布线采用蛇形的走线，当然需要用不同的金属层来实现这一要求。

2. 3 虚拟器件法

下面介绍一种基于工艺的考虑而实现匹配的另一种需要考虑的方法：虚拟器件法(Dummy Devices)。

当这些电阻开始被腐蚀的时候，位于中间的器件所处的环境肯定与两边的不同，位于两边的器件所受的腐蚀会比中间的器件多一些，这一点点的区别也许会对匹配产生非常不可预知的结果。

为了使上述电阻在加工上面也保持一致，最简单的办法就是在两边分别放置一个“虚拟电阻”(“dummy resistor”)，而实际上它们在电路连线上没有与其它任何器件连接，它们只是提供了一些所谓的“靠垫”，以避免在两端过度刻蚀。这就是虚拟器件,保证所有器件刻蚀一致，如图所示：

9	10	10	10	10	10	10	9
---	----	----	----	----	----	----	---

图 6 由虚设器件保护中间的器件,避免过度腐蚀

加入虚拟器件的同时也要保证电阻之间的距离保持一致，这样一来每一个电阻所处的环境已经完全一致了。

另外一种情况就是当你需要这些器件高度匹配的时候，,也可以在四周都布满虚拟器件,防止在四边的过度腐蚀，以保证每个器件的周围环境都一致。其缺点就是这种方法会占用很大的面积，采用时应多多考虑实际项目的需要。如图所示：

Dummy resistors							
			Real resistors				

图 7 由虚拟器件包围电阻，防止四边电阻过度腐蚀

2. 4 共心法(Common Centroid)

把器件围绕一个公共的中心点放置称为共心布置,如图 8、图 9 所示。现有的集成工艺中，它可以降低热梯度或工艺存在的线性梯度。热梯度是由芯片上面的一个发热点产生的，它会引起其周围的器件的电气特性发生变化。离发热点远的器件要比离发热点近的器件影响要小。共心技术使热的梯度影响在器件之间的分布比较均衡。

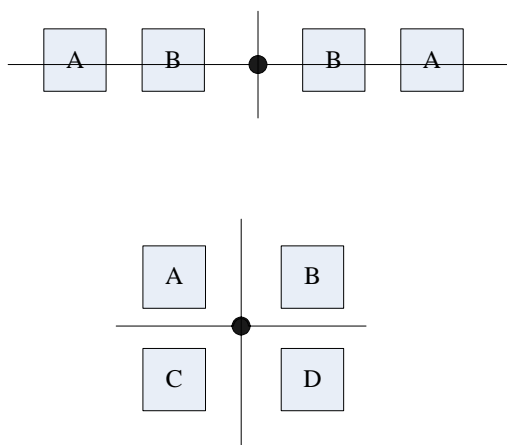


图 8 围绕一个公共中心点的布置

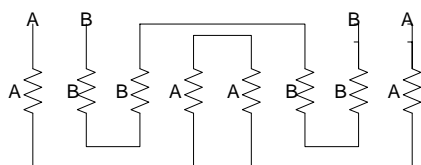


图 9 共心模式下的两个电阻匹配图

如果我们只有两个器件需要匹配，就可以采用一种特殊的共心设计法，即“四方交叉法”。这种方法是将需要匹配的两个器件一分为二，交叉放置，尤其适用于两个 MOS 器件。

采用四方交叉法可以进一步发挥共心的技术优势。

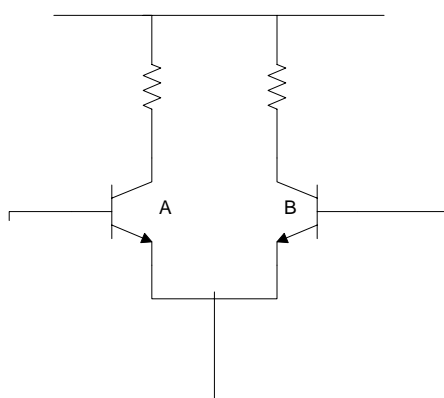


图 10 两个差分器件需要高度匹配

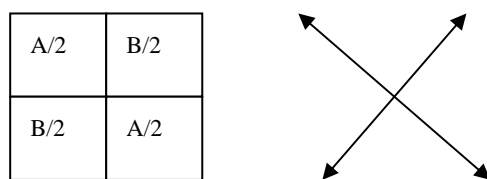


图 11 两个器件四方交叉,形成对角线放置

四方交叉里面包含了一种叫做经济型四方交叉,这一方案可以采用 A-B-B-A 的共心技术。可以保证导线的寄生参数一致。

下面再介绍一种四个需要匹配的电阻(或其它器件)的设计方法,也同样是采用共心法原理。

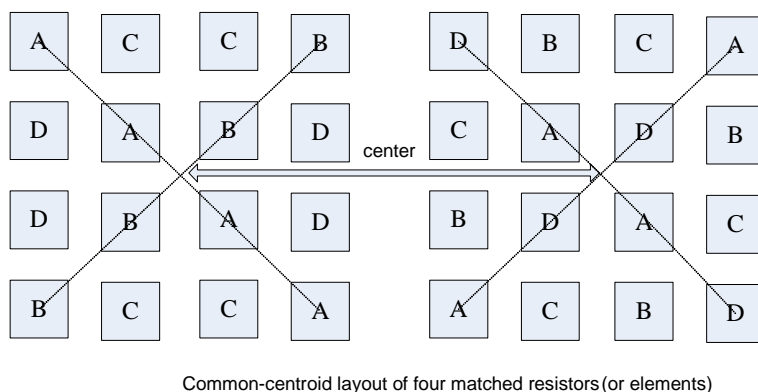


图 12 四个器件匹配图

2. 5 匹配信号路径

差分逻辑是模拟电路中常见的结构,是一种需要高度匹配的逻辑电路。

对于器件的匹配我们已经在上面介绍了很多种方法,真正要实现电路的匹配效果好,不但要保证器件的匹配,也要充分考虑信号线上的相互匹配。无论是信号线的长度宽度还是产生的寄生参数都是我们必须认真考量的。

在差分逻辑中,具有高度匹配的路径长度和连线导线是关键。我们经常在设计版图过程中发现其中的一条需要与另外一条匹配的信号线被其它的器件或连线挡住了,从而造成两条线路的长度不同,因此破坏了匹配的要求。通过波形分析我们也可以清晰的看到异样,所以我们要尽可能保证需要匹配的导线长度也要一致。

2. 6 尽量采用较大尺寸的器件

大多数情况下我们都会采用沟道长度较大的模拟器件,但与此同时也会带来另外一个问题,那就是寄生参数也会随之变大,通常我们会尽可能多打一些孔以减少电阻,还有一种方法就是将 W/L 较大的器件拆分成几个器件,再加入两个 DUMMY POLY,保证器件在光刻时的程度一致,如图所示:

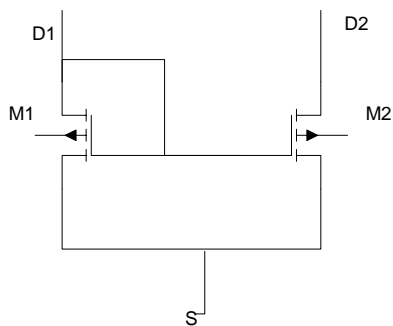


图 13 需要匹配的镜像电流源的 M1,M2 器件

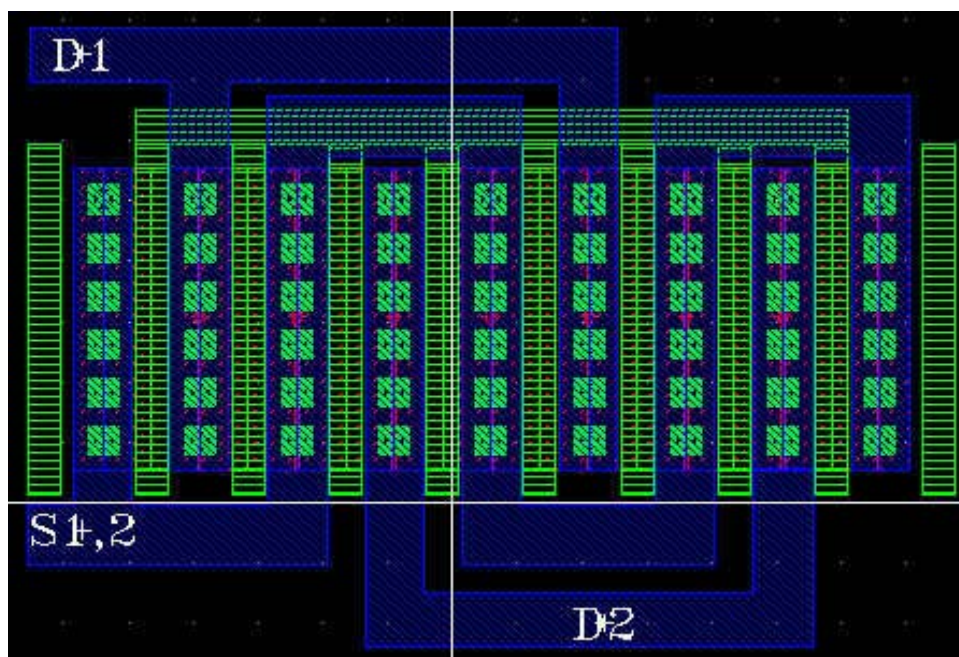


图 14 M1,M2 器件匹配的版图

3. 结论

实现版图中的匹配，版图设计人员除了需要掌握以上几种匹配的设计方法，与电路设计人员的充分交流也十分重要，通过交流，了解设计需求，提升对匹配度的了解，版图设计会有很大的帮助。

下面是对匹配的要求所做的一个总结：

- 。尽量将匹配的器件靠近放置
- 。保持器件的方向一致
- 。选择一个中间值作为根部件
- 。共心法
- 。交叉法
- 。采用虚拟器件法
- 。对于两个器件的匹配采用四方交叉法
- 。布线产生的寄生参数也一致
- 。使器件宽度一致

。采用尺寸较大的器件

4. 参考资料

- [1] 集成电路掩模设计---基础版图技术
- [2] CMOS Design, Layout, and Simulation
- [3] The Art of Analog Layout
- [4] Microchip Fabrication: A Practice guide to Semiconductor Processing
- [5] Analysis and Design of Analog Integrated Circuits
- [6] CMOS Circuits Design, Layout, and Simulation
- [7] CMOS IC Layout: Concepts, Methodologies, and Tools

作者简介

金善子，深圳中兴集成电路设计有限公司后端设计高级工程师。