

【高速先生原创|学习笔记系列】学习笔记之差分线的那些事

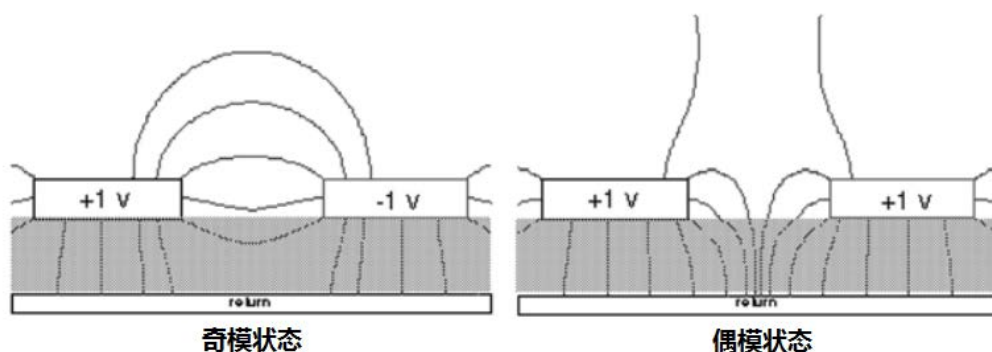
作者：周伟 一博科技高速先生团队队员

一、关于概念的理解

记得在刚学习差分线（对）的时候，总是对一些概念把握不准，很多概念都会混淆，比如差分（很多人还会误解成差模）、共模、奇模与偶模，以及由此延伸出的差分阻抗、共模阻抗、奇模阻抗与偶模阻抗，光是这些概念，就很容易让初学者望而却步，刚觉得好像摸着点了门道，但越往下看越觉得摸不着头脑，概念太多太容易混乱，这就是初学者的痛苦。好吧，要想完全理解，没有个两三遍回炉是很难入信号完整性之门的，除非过目不忘哈。

当然我没有过目不忘的本事，所以就只能把书老老实实的看了一遍又一遍，然后才有了一些学习的笔记，记录了对这些概念的个人理解。

差分线本身没有任何内涵，就是两根普通的单端传输线（一般默认线宽线厚一致）的组合而已，它们之间可以没有任何关系，最终决定它们特性的其实是这两条传输线上的信号传输方式，在这里主要介绍两种比较特殊的传输方式，奇模与偶模传输，它们都可以实现无失真的传输。奇模就是两线上有大小相等方向相反的驱动电压，偶模就是两线上有大小相等方向相同的驱动电压。它们是信号传输的方式，又叫激励状态，相对人而言，模态赋予了差分线的生命和精神，没有激励，差分线只是肉体而已。对于无失真的传输来讲，差分线有奇模状态和偶模状态之分，它们可以用如下图一来表示。



图一奇、偶模状态

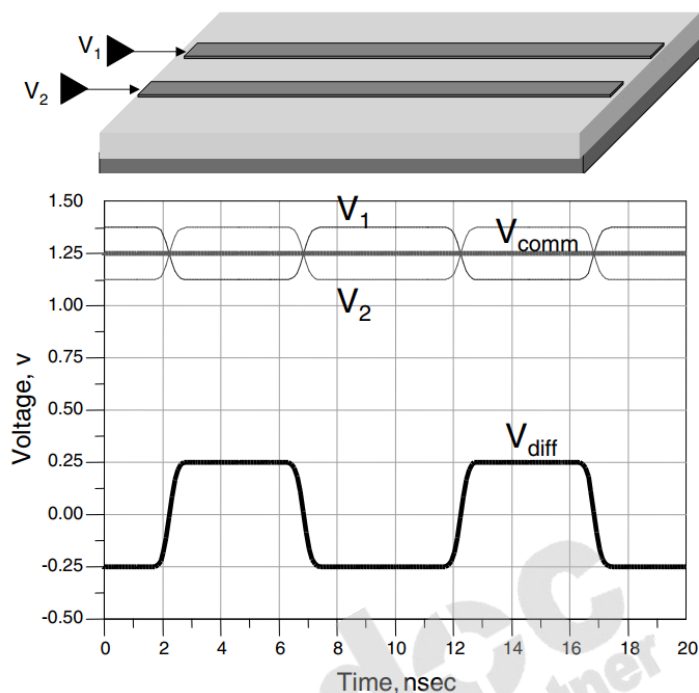
在奇模状态下，加载在两根传输线上的电压我们叫做差分信号，这两个信号达到接收器时，接收器从两个信号的差值中提取信息，这个差值信号就是差分信号。

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



同时，接收端还能感受到另一种信号，这个信号就是两条传输线上的平均电压，我们把这个平均电压叫做共模信号。如下图二所示。



图二差分信号与共模信号

通过上图我们就能知道差分信号和共模信号其实是两个单端信号的组合，可以通过下面两个公式得到差分电压和共模电压的值。

$$V_{\text{diff}}=V_1-V_2, \quad V_{\text{comm}}=1/2(V_1+V_2)。$$

同时差分与共模是共存的，他们是两个信号之间的两种不同分量，所以 V_1 和 V_2 也可以由 V_{diff} 和 V_{comm} 来表示如下。

$$V_1=V_{\text{comm}}+V_{\text{diff}}/2; \quad V_2=V_{\text{comm}}-V_{\text{diff}}/2$$

同时我们也可以看到，组成差分信号的两根单端信号在传输线上传输仍要遵循单端信号传输的各种规律，所以我们在看 DDRx 时钟信号质量时，既要看差分信号质量，同时还要分别看单端信号的质量情况。一般我们不看共模信号，通常它不携带有用信息，理想情况下，共模信号是恒定的，但很多情况下我们的传输线不可能完全对称，所以就会带来共模分量的改变，这个分量会带来潜在的 EMI 问题。

根据上面的理解，当差分线上传输的是差分信号时，此时差分线处于奇模状态，那么每条单根信号线的阻抗就叫奇模阻抗，简单来说奇模阻抗就是当差分线处于奇模状态时的每条单根信号的特性阻抗，它是每条单端信号线与其返回路径之间

如何关注

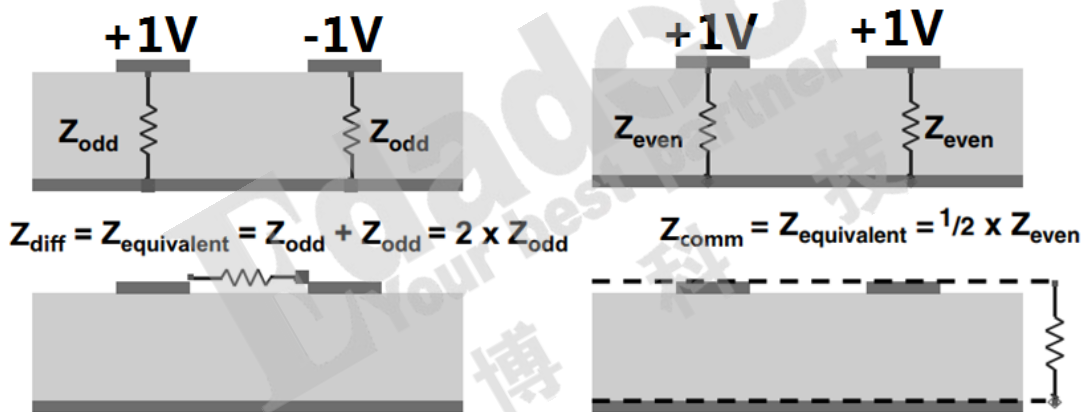
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



的阻抗，所以奇模阻抗是针对单根信号来说的。而差分阻抗是差分信号沿着差分对传输时感受到的阻抗，它是两根单线阻抗（奇模阻抗）的串联，在线宽线厚一致的情况下，差分阻抗等于奇模阻抗的 2 倍，即 $Z_{diff}=2*Z_{odd}$ 。

同样，当差分对处于偶模状态时，此时每条单根信号线上的阻抗就叫做偶模阻抗，偶模阻抗和奇模阻抗一样，都是针对单根信号来说的。那共模阻抗又是怎么回事呢？这里要简单的区分一下，共模阻抗其实是纯共模信号的产物，还记得我们前面说的共模信号与差分信号是共存的，它是两信号线电压的平均值，但纯共模信号一般指的是在两信号线上施加大小相等方向相同的电压，此时差分对正好处于偶模状态。而纯共模信号沿着差分对传输时感受到的阻抗，它是两根单线阻抗（偶模阻抗）的并联，我们通常叫这个并联阻抗为共模阻抗，其实严格来说它应该叫纯共模阻抗，所以共模阻抗是最不好理解的。由于是两根相同传输线偶模阻抗的并联，共模阻抗就等于偶模阻抗的一半，即 $Z_{comm}=1/2*Z_{even}$ 。

差分阻抗与奇模阻抗，共模阻抗与偶模阻抗可以通过如下图三来描述。



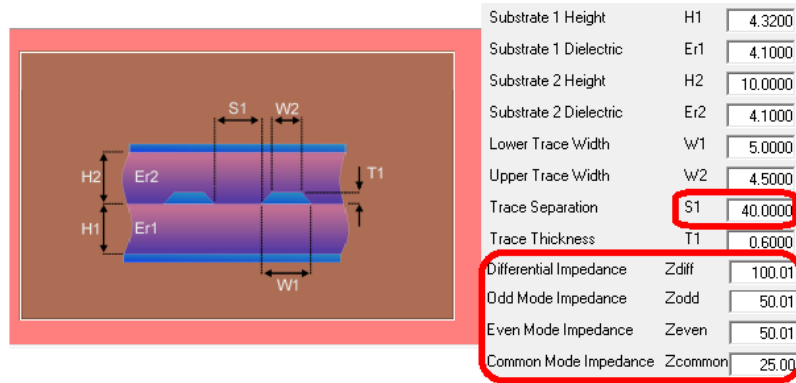
图三

对于两条无耦合的 50ohm 传输线构成的差分对，奇模阻抗等于偶模阻抗，即 $Z_{odd}=Z_{even}=50ohm$ ，差分阻抗等于 2 倍的奇模阻抗，即 $Z_{diff}=2*Z_{odd}= 100ohm$ ，共模阻抗等于偶模阻抗的一半，即 $Z_{comm}=1/2*Z_{even}=25ohm$ 。下图四是某阻抗计算软件得到的无耦合下的各种阻抗结果。

如何关注

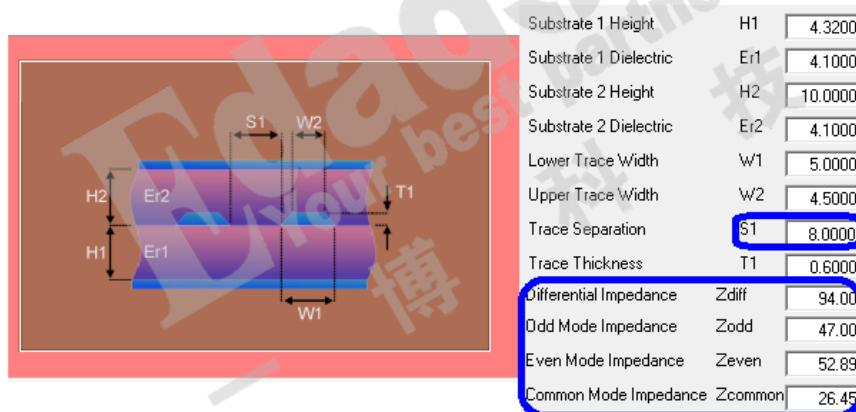
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





图四

对于两条有耦合的差分线，由于互容互感的存在，在其他条件不变的情况下，每条线的奇模阻抗将会减小，偶模阻抗将会增加，此时偶模阻抗将会大于奇模阻抗，这样会导致差分阻抗将会相对减小，共模阻抗将会相对增加，这也是为什么我们在布线的时候要求拉大信号之间的间距，因为除了串扰外，它还会影响信号的阻抗。如下图五所示为软件计算的有耦合情况下的各阻抗值。



总结一下，奇模和偶模代表的是电压的传输方式，也是差分线特殊的信号激励状态，奇模阻抗是差分线处于奇模状态时单根线的特性阻抗，而此时差分信号感受到的阻抗就是差分阻抗；偶模阻抗是差分线处于偶模状态时单根线的特性阻抗，此时共模信号感受到的阻抗就是共模阻抗，其实叫纯共模阻抗更准确一点。

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



【关于一博】

深圳市一博科技股份有限公司（简称一博科技）成立于 2003 年 3 月，专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、SMT 焊接加工和供应链服务。我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 600 余人。

一博旗下 PCB 板厂位于深圳松岗，采用来自日本、德国等一流加工设备，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、成都、长沙设立分厂，厂房面积 23000 平米，现有 30 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、AIMEX III、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉、波峰焊等高端设备，并配有 AOI、XRAY、SPI、智能首件测试仪、全自动分板机、BGA 返修台、三防漆等设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。作为国内 SMT 快件厂商，48 小时准交率超过 95%。常备一万余种 YAGEO、MURATA、AVX、KEMET 等全系列阻容以及常用电感、磁珠、连接器、晶振、二三极管，并提供全 BOM 元器件服务。

PCB 设计、制板、贴片、物料一站式硬件创新平台，缩短客户研发周期，方便省心。

EDADOC, Your Best Partner.

【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

