

## 【高速先生原创|高速串行系列】回流是如何干扰信号的？

作者：王锐 一博科技高速先生团队成员

### 高速设计的三座大山(1)

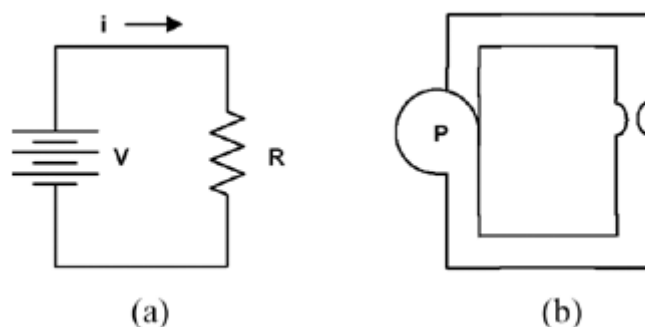
#### ——电阻基础

老子在道德经里说：道生一，一生二，二生三，三生万物。三对于我们中国人来讲，有很深的寓意。从古至今，关于三的典故和成语数不胜数，三岁小孩都可以信手拈来。比如三人行则必有我师，三充满着无尽智慧；也比如事不过三，三代表着亘古不变的原则；再比如三原色，红绿蓝，三营造了我们的绚丽缤纷的世界。再说到我们的高速设计，曾经让我们听之色变、闻风丧胆的高速设计，其实我们所考虑的问题也不外乎三种基本电子元件（电阻、电容、电感），以及它们的组合。在高速先生的后续文章里，我会把我对这三种基本电子元件的理解与领悟分享给大家。

#### 电阻的应用

在我们接触电子课程的时候，往往首次接触的一般都是电阻。电阻在电路中两个基本作用：限流、分压。

为了更加形象、直观，便于理解，我们将电流以水流类比，电源类比水泵，传输线类比水渠，电阻类比水渠里的障碍物。如下图



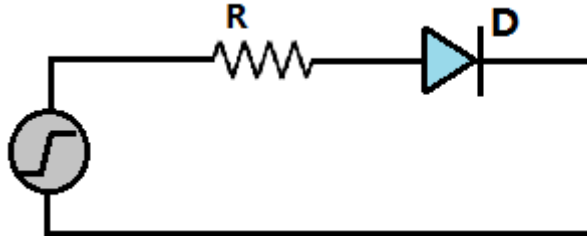
电子的流动形成了电流。假如电路中不接负载，将电源的正负极直接相连，会发生什么事情？短路，烧毁器件。这就像水泵把水抽到水渠中，而水渠是一条非常平滑的水渠（阻力趋近于0），水流以趋近无穷大的速度冲向水泵，等待水泵的命运就只有毁灭。

#### 如何关注

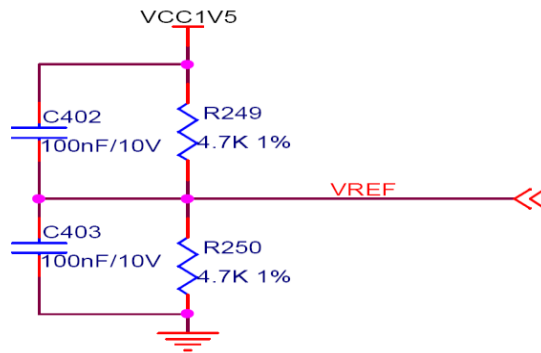
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



因此，一般当电流中接入非线性器件（二极管等）时，其阻抗会随着时间而变化，此时，电路中就需要接入电阻，起到限流，保护电路的作用。如下图



再来说分压，电阻分压的应用，在 PCB 设计中有很多。比如 DDR3 的参考电源  $V_{ref}$ ，我们常见的一种做法就是利用两个相同阻值的电阻，从 DDR3 的供电电源 1.5V，分压得到 0.75V 的参考电源。如下图



对大多数人来说，电阻可能就只有这两个作用了，小编在接触高速数字电路之前，同样也是这样认为的。做过高速数字电路设计之后，就了解到电阻还有一个作用，那就是——端接。

如果同样用水作类比来解释的话，小编有这样的一个理解。

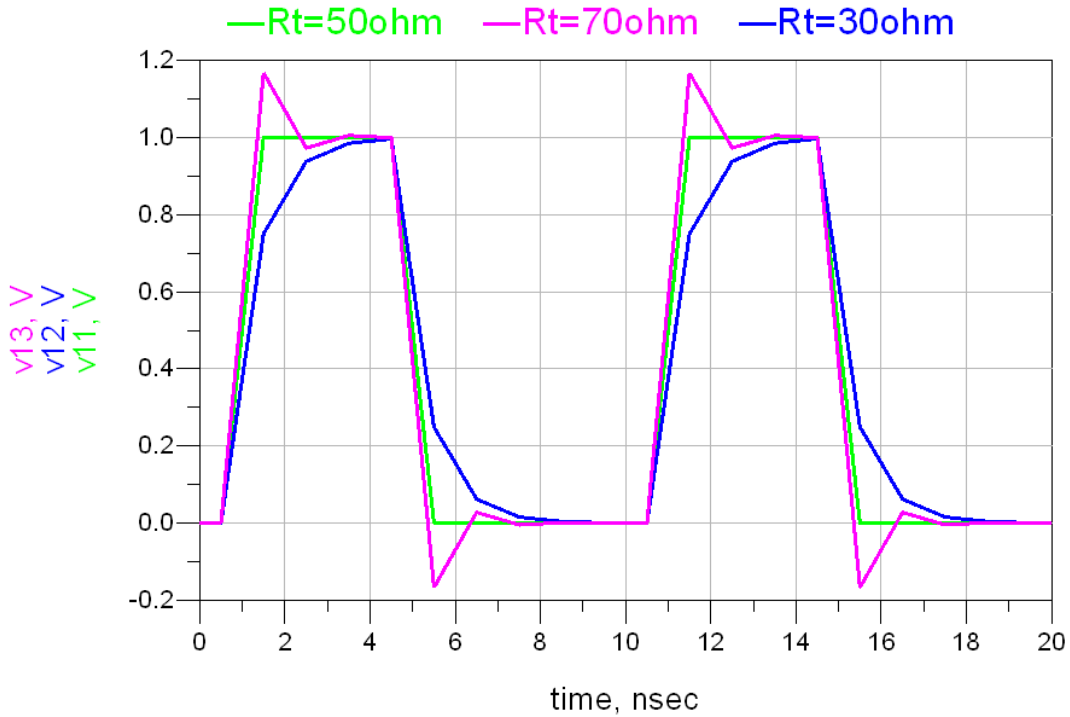
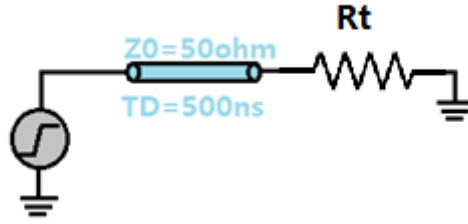
端接电阻相当于在水渠里铸一个堤坝，堤坝后面通向大海。现在我的要求是始终保持堤坝上游有 3m 的水位，那我就要修建一个 3m 高的大坝。如果突然下暴雨涨水，多出来的水就会漫过堤坝，流向大海，不会影响堤坝上游的水流和水位，如果突然水面上起风，激起水浪，水位可能超过 3m，但是当水浪到达堤坝位置的时候，也会漫过堤坝，流向大海，水渠里的水流和水位还是不会受到影响。如果大坝建 4m，下暴雨和起风的时候，堤坝上游的水位就会受影响。如果堤坝建 2m，就不能保证足够的水压。所以堤坝要建的刚刚好。如果把 3m 高的堤坝换成同传输线阻抗一致的匹配电阻，把下暴雨和起风当做 PCB 板中的串扰和反射来理解，端接匹配电阻的作用及原理是不是一下子就清晰明了啦。不过这是小编个人的理解，如有不当，欢迎指正哦。

所以，通常在高速数字电路设计中会接入端接电阻，保证驱动端到接收端之间的电流和电压平稳，消除反射。端接电阻的阻值等于传输线的特性阻抗值，如果高于或低于传输线的阻值，回路中都会发生反射。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





### 问题来了

在高速数字电路设计中，有哪些端接方式？

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

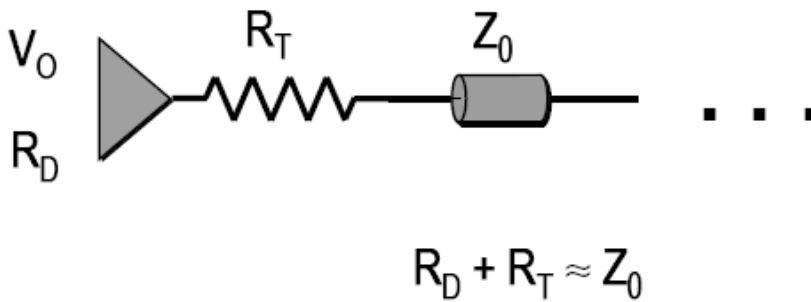


## 高速设计的三座大山(2)

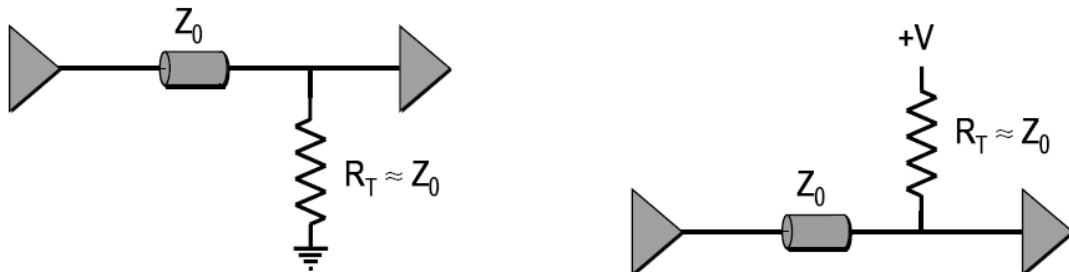
### ——串联电阻对信号的影响

上一期对电阻的应用做了简单介绍，文章最后提到了端接方式。常见的端接方式有：串联端接、并联端接、戴维宁端接、RC 端接、二极管端接等。端接示意图如下

串联端接



并联端接

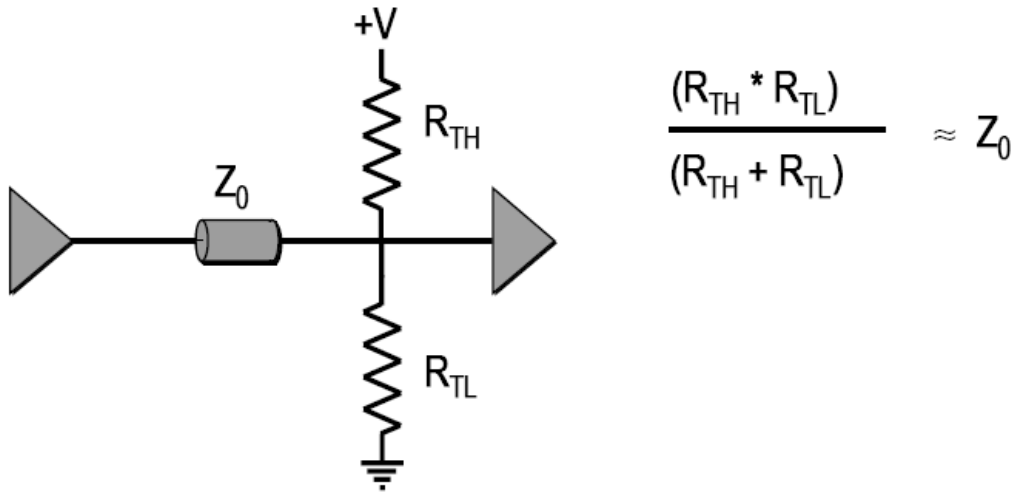


戴维宁端接

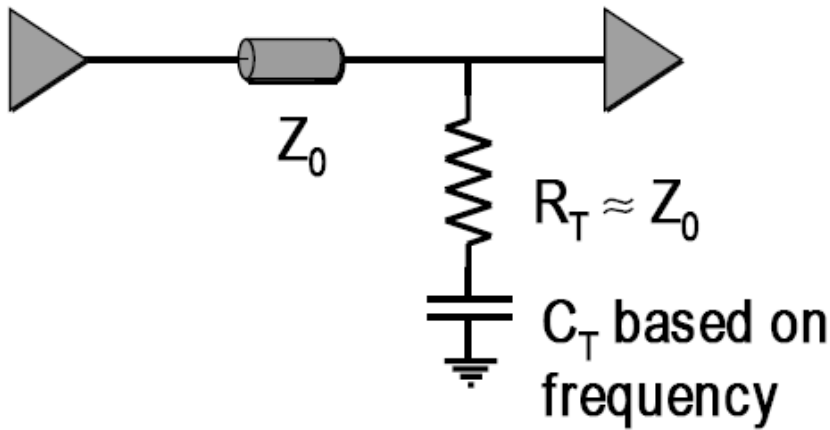
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

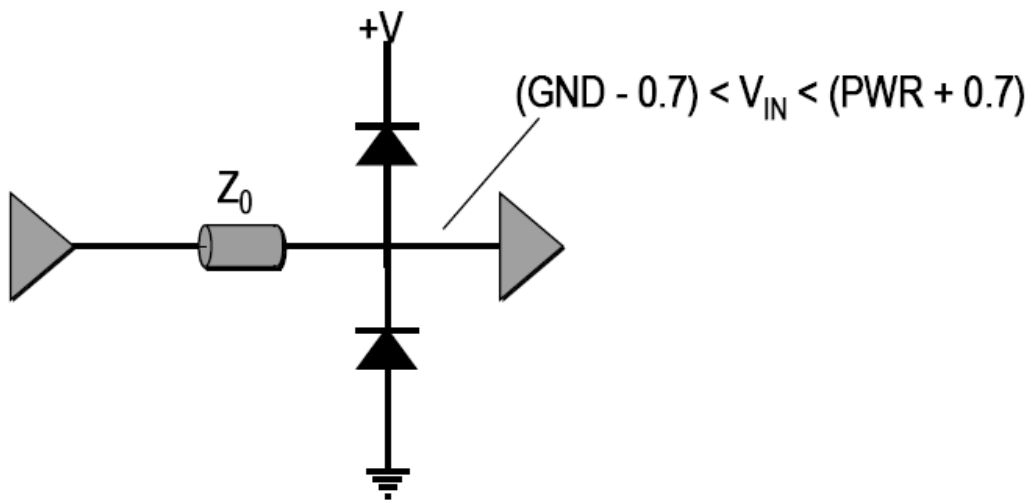




RC 端接



二极管端接



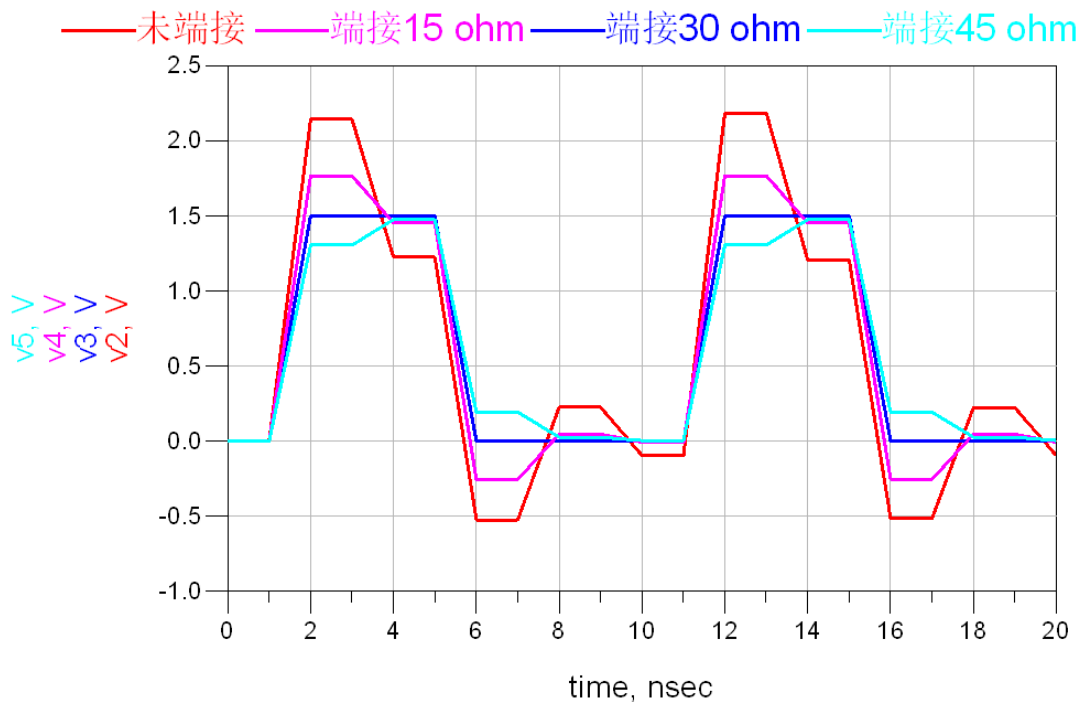
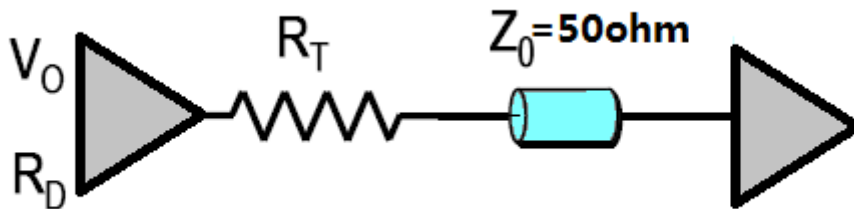
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



各种端接都有其优缺点，以后有机会，高速先生会一一对各种端接做全面的分析，今天我要说的是：串联电阻对信号的影响，也就是串联端接所用的电阻对信号的影响。

先看图



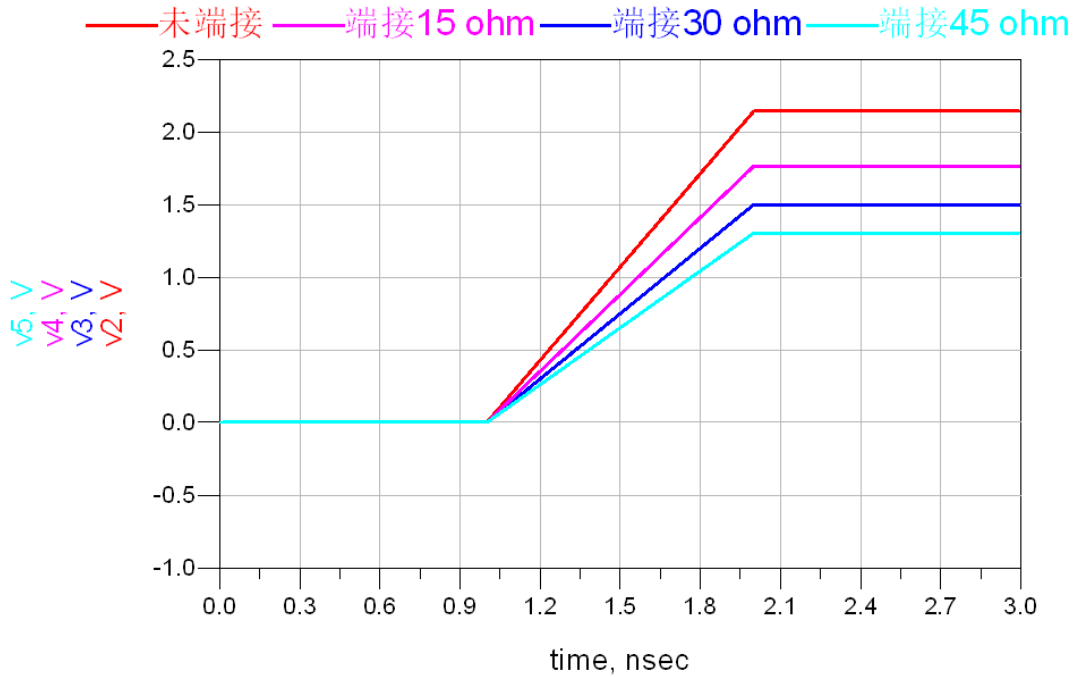
串联端接电阻的大小会影响信号的上升沿，当串联电阻变大时，信号的上升沿变缓（另外信号幅值的变化是因为反射的原因，这个在反射详解系列，有详细解释，当端接 30ohm 时，匹配最好，没有反射）。

把图放大，上升沿看的更明显。

如何关注

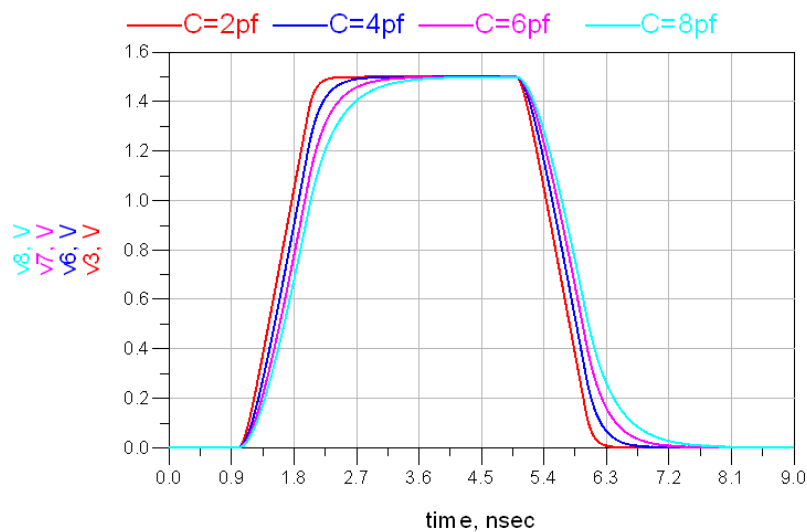
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





为什么信号的上升沿会变缓了呢？我们来梳理一下，整条链路有发送端、串阻、传输线、接收端，变化量是串阻的阻值，现象是上升沿变缓。有什么原理即跟 R 有关，又会导致上升沿变缓呢，最先想到的肯定就是 RC 滤波器。一阶 RC 滤波器是典型低通滤波器。串联电阻与传输线的等效电容、接收器的输入电容组成了 RC 滤波器，限制了信号的带宽。其影响信号带宽的原因是：R 与 C 组成 RC 充电电路，电容两端的电压变化  $V_C = V_S \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ ，其中  $\tau = RC$ ，是时间常数，当时间常数越大时，电容两端的电压变化越慢，信号边沿越缓。

下面我们再来验证一下，固定串阻阻值不变，改变电容值，当电容阻值变大时，RC 时间常数变大，上升沿同样变缓了。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



以上就是串阻对信号影响的分析。

### 问题来了

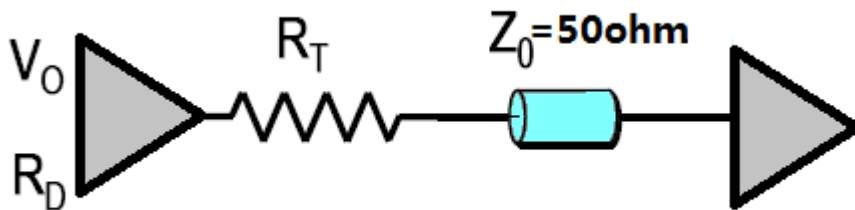
在平常设计中，链路中添加串联电阻除了分压和限流，还有什么作用？

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。

## 高速设计的三座大山(3)

### ——端接串阻的阻值如何确定？

看完(2)的小伙伴们，有木有发现匹配最好的串联端接电阻的阻值不是 50ohm，而是 30ohm，如下图。这是为什么呢？

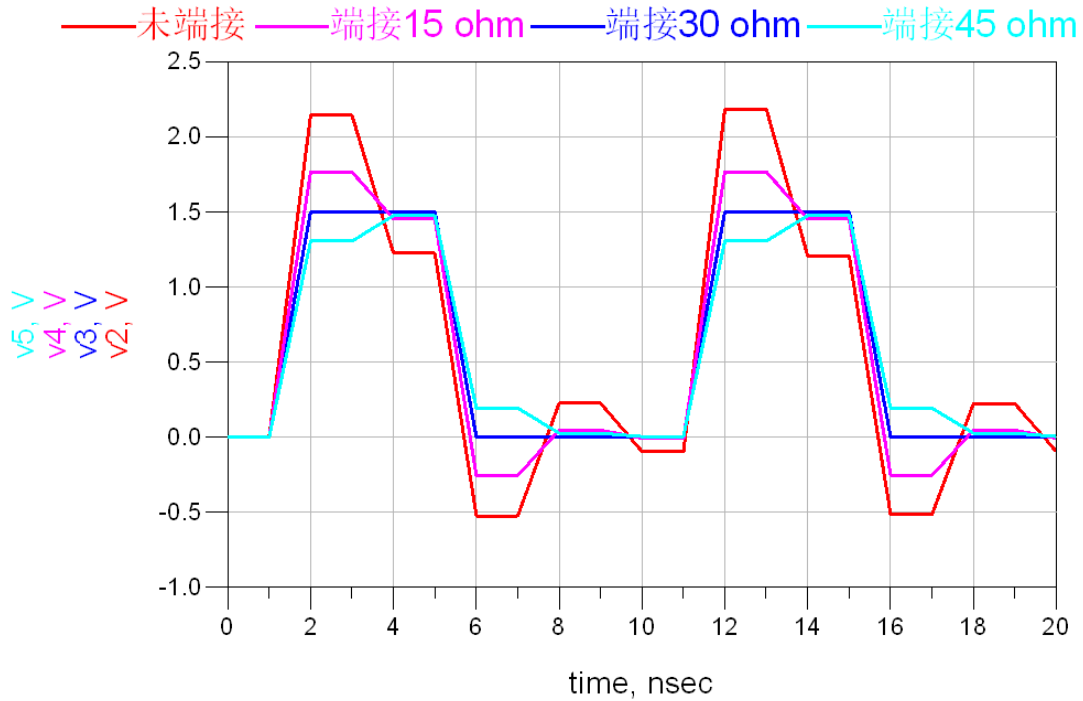


### 如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



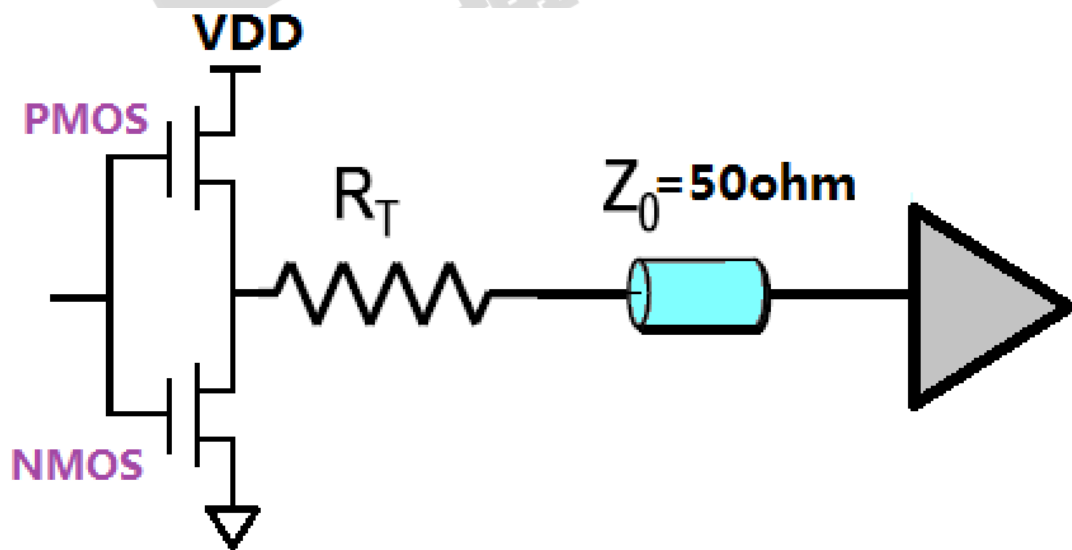




对高速数字电路设计有一定了解的人就知道，其实驱动器本身有内阻，做串联端接匹配时，串联电阻的阻值和驱动内阻加起来大致等于传输线阻抗就可以了，即  $R_D + R_T \approx Z_0$ 。

这个时候，有童鞋可能就要跳起来了，MR'S，你说的倒是容易，我也知道驱动内阻  $R_D$  加串联电阻等于传输线阻抗这个公式，大家都知道，so easy 啊，问题在于，传输线阻抗可以很轻松的在 datasheet 找到，可是驱动器内阻上哪儿去找，datasheet 上又没有？

下图是一个简单的驱动电路。



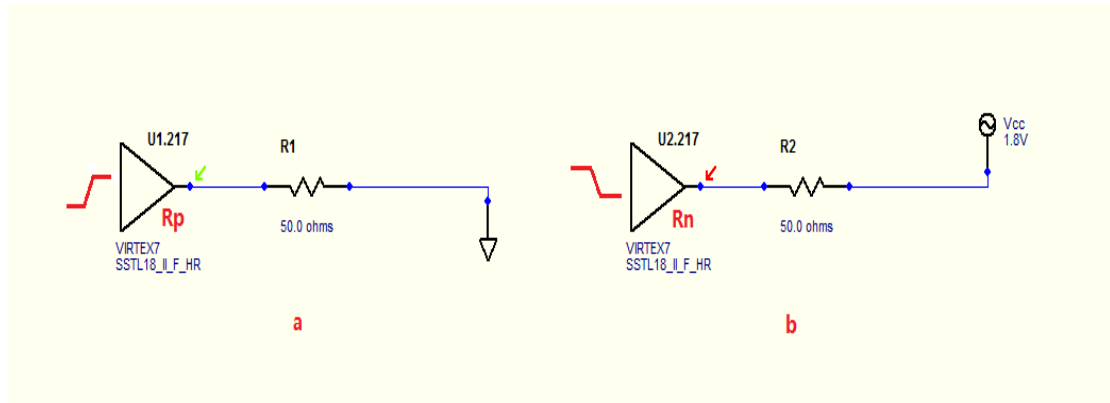
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



当驱动器持续输出高电平时，PMOS 管导通，NMOS 关闭，电流流经 PMOS 输出，这个时候电流感受到的驱动内阻  $R_D$  是 PMOS 管的导通电阻  $R_P$ ；反之，当电流持续输出低电平时，电流感受到的驱动内阻  $R_D$  就是 NMOS 管的导通电阻  $R_N$ 。一般情况下，PMOS 管的导通电阻  $R_P$  比 NMOS 管的导通电阻  $R_N$  要大，这是它们的工艺所决定的，从上一篇(2)中，我们可以知道，输出高电平时，其 RC 时间常数会大，上升沿更缓。有时候，我们看到信号的上升沿比下降沿要更缓一些，就是这个原因啦。

下面，我们来看一下怎样得到驱动内阻的阻值？先使用仿真工具搭建两个简单的电路，如下



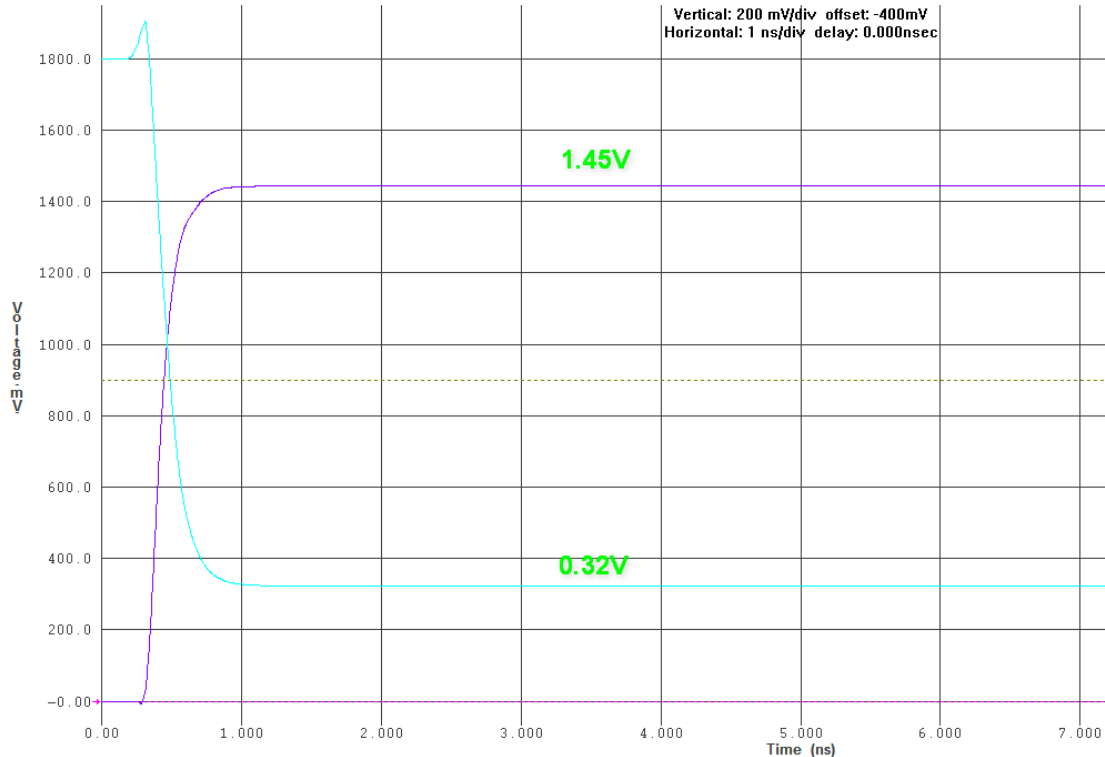
以 Xilinx V7 芯片 DDR2 驱动为例，在图 a 的驱动端中加入上升沿驱动 (PMOS 导通)，通过 50ohm 电阻下拉到地，通过电阻分压的原理，即  $V_{\text{meas}} = \frac{50}{50+R_P} \times V_{CC}$ ，可以求的  $R_P$  的值。

在图 b 中驱动端加入下降沿驱动 (NMOS 导通)，通过 50ohm 电阻上拉到  $V_{CC}$ ，通过电阻分压的原理，即  $V_{\text{meas}} = \frac{R_N}{50+R_N} \times V_{CC}$ ，可以求得  $R_N$  的值。下图是仿真得到的波形

#### 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





通过计算可以得到， $R_P=12.1\text{ ohm}$ ， $R_S=10.8\text{ ohm}$ ，两个阻抗值相差不大，选取任何一个值来计算端接电阻，都可以。通过这样简单的仿真，我们就可以获得驱动器的驱动内阻啦。

有时候，我们还会遇到这两个值差别比较大的情况，比如  $R_P=20\text{ohm}$ ， $R_S=10\text{ohm}$ ，那这个时候我们要怎么选择呢？如果选择  $R_P$  来计算匹配电阻，则匹配电阻  $R_T=30\text{ ohm}$ ，高电平匹配很好，低电平时，匹配电阻就偏小，信号传输到传输线端时会出现正反射，过冲较大；如果选择  $R_S$  来计算匹配电阻，则  $R_T=40\text{ohm}$ ，低电平匹配很好，高电平时，匹配电阻就偏大，信号传输到传输线时出现负反射，上升沿会出现台阶，另外，上升沿还有因为  $R_T$  的增大而变缓。所以，这两种选择有利有弊，遇到这种情况时，就需要设计者酌(zhi)情(qiu)考(duo)量(fu)啦。

不过我可以给大家泄露一个天机，假如你遇到了这种情况，你可以悄悄的来找高速先生帮你评估。

### 问题来了

假如接收端信号出现回沟，可以通过添加串联电阻来解决吗？

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



## 【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。

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

