

【高速先生原创|学习笔记系列】学习笔记之串扰溯源

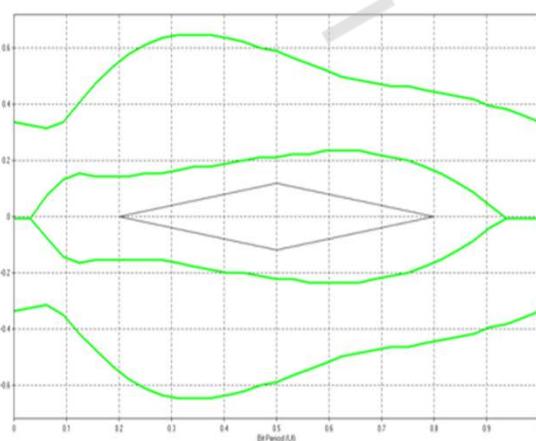
作者：姜杰

一博科技高速先生团队队员

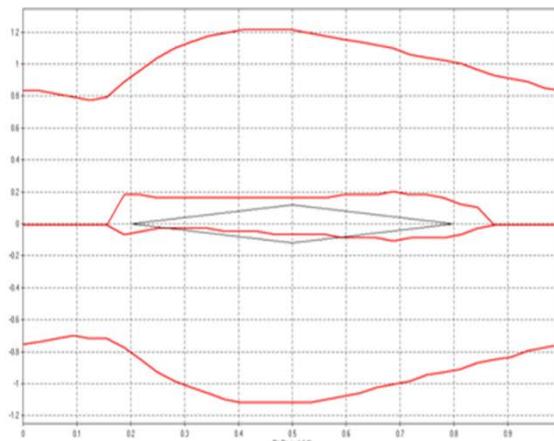
炯炯有神的眼图突然塌陷，通道中出现诡异误码，致命振铃，为何突然浮现？是谁让信号质量一落千丈？是神秘的诅咒，还是无法逃脱的宿命？恐怖变化的背后究竟隐藏着什么惊人的秘密？！更多内容，欢迎来到本期文章——串扰溯源。



提到串扰，防不胜防，令人烦恼。不考虑串扰，仿真波形似乎一切正常，考虑了串扰，信号质量可能就不忍直视了，于是就出现了开头那惊悚的一幕。下面就来说说串扰是怎么产生的。



不考虑串扰影响



考虑串扰影响

所谓串扰，是指有害信号从一个传输线耦合到毗邻传输线的现象，噪声源（攻击信号）所在的信号网络称为动态线，被干扰的信号网络称为静态线。串扰产生的

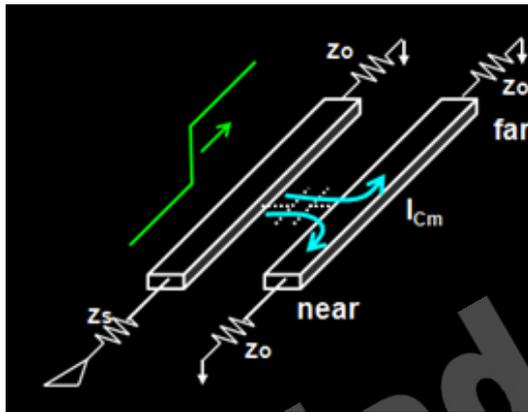
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



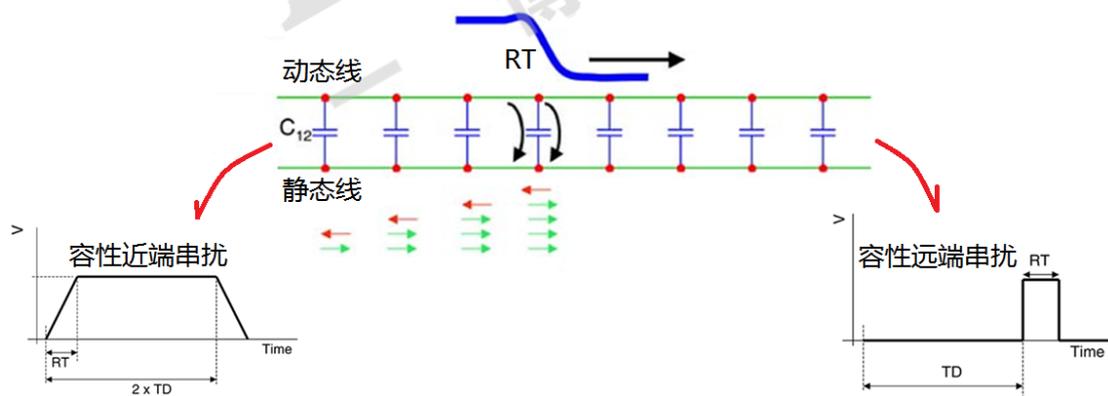
过程，从电路的角度分析，是由相邻传输线之间的电场（容性）耦合和磁场（感性）耦合引起，需要注意的是串扰不仅仅存在于信号路径，还与返回路径密切相关。

以两条存在耦合的均匀微带线为例，假设耦合线传输时延远大于信号前沿的空间延伸，先来看看容性耦合噪声的产生过程。相信看过前面两期电容专题文章的各位应该还记得，相邻的两个导体（传输线也不例外）会组成电容，在攻击信号（简化为线性的上升沿）空间延伸区域，变化的电压将产生耦合电流流入静态线。



$$I_{Cm} = C_m \frac{dV}{dt}$$

为了方便分析，将传输线简化为一系列电容。由于耦合电流在静态线上各方向感受到的阻抗相同，于是兵分两路，分别往前、后两个方向等量传播。如下图所示，红色为后向电流，流向近端；绿色为前向电流，流向远端，与动态线上攻击信号的传输方向一致。



开始阶段，动态线上攻击信号入射，静态线的近端会同步产生容性耦合电流，即静态线的近端串扰与攻击信号同时产生，从 0 逐步增加，与此同时，耦合产生的前向电流还未到达远端，所以没有远端串扰产生。攻击信号沿动态线继续传播，上升沿区域产生的后向电流持续流回近端，当上升沿传输一个饱和长度后，近端电流达到稳定值，前向电流与攻击信号继续向远端传播。当攻击信号到达远端端

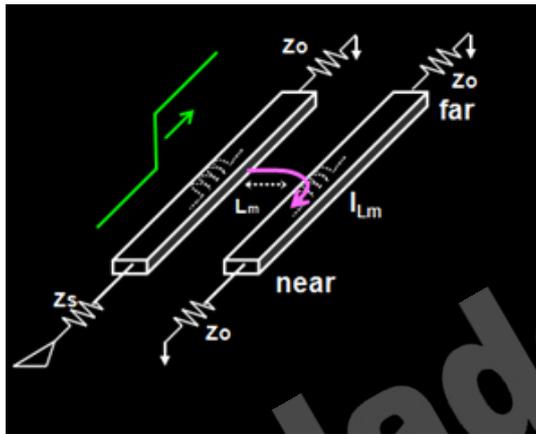
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



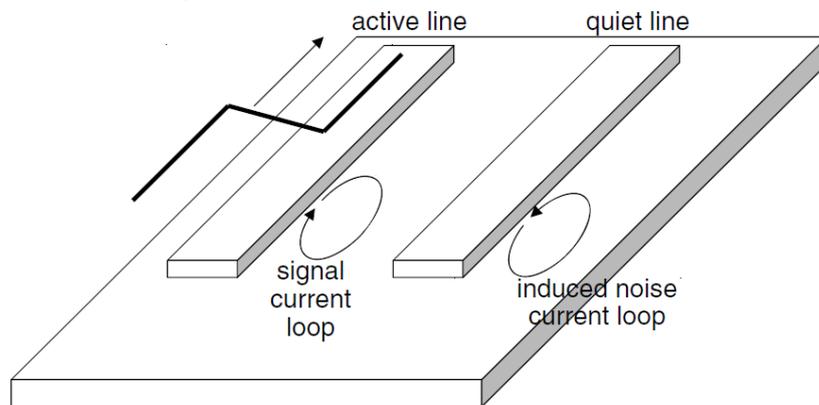
接电阻后，远端串扰噪声同时到达并持续时间 RT ，此后，虽然不再产生新的耦合电流噪声，但静态线信号路径上仍未到达近端的后向电流还在继续返程之旅，持续时间与传输线时延 TD 一致，然后下降至 0。由于静态线上的容性耦合电流是从信号路径流到返回路径，所以在近端和远端的端接电阻器上均产生正向的电压。

感性耦合的分析思路与容性耦合类似，由于两条耦合传输线之间存在互感，在攻击信号上升沿区域，变化的电流在静态线上产生感应电动势，进而形成感性耦合电流。



$$V_{Lm} = L_m \frac{dI}{dt}$$

分析感性耦合过程的难点在于确定耦合电流的方向，关键是理解楞次定律：“感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化”，即感应电流的效果总是反抗引起它的原因。好吧，听起来有点拗口，我再重复一遍：吃葡萄不吐葡萄皮，不吃葡萄倒吐葡萄皮。如下图所示，动态线上攻击信号的电流回路是顺时针的，那么在静态线上产生的感应电流的回路将是逆时针的。



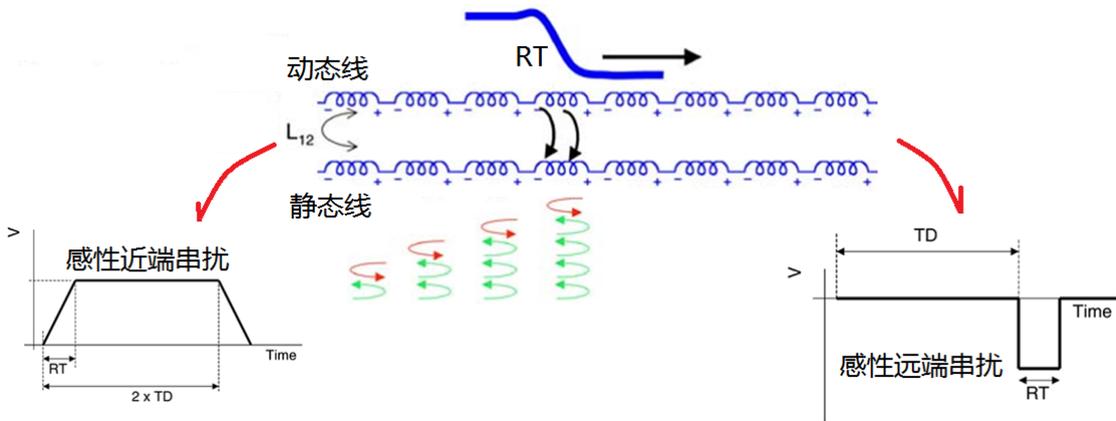
回到传输线的零阶模型，简化为一系列的电感。如下图示，红色为后向电流回路，由静态线信号路径流到返回路径，绿色为前向电流回路，从返回路径流到信号路

如何关注

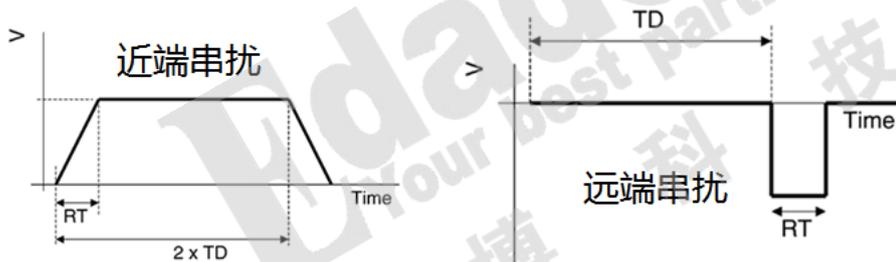
- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



径。前向移动时，感性耦合噪声与攻击信号同步，并且在每一步都会耦合出更多的噪声电流，远端噪声随着耦合长度增加而增大。



尽管分析串扰现象的时候我们从容性耦合与感性耦合两个方面分开讨论，但实际上两种耦合是同时发生的。近端感性噪声电流与容性噪声电流的特征类似，方向相同，所以近端的容性噪声和感性耦合噪声相叠加，远端的容性噪声和感性噪声方向相反，净噪声是二者之差，最终呈现的形式如下：



$$\text{近端串扰电压幅值: } V_{\text{near}} = V_{\text{input}} \times \frac{1}{4} \left(\frac{C_{mL}}{C_L} + \frac{L_{mL}}{L_L} \right)$$

$$\text{远端串扰电压幅值: } V_{\text{far}} = V_{\text{input}} \times \frac{Len}{RT} \times \frac{1}{2v} \times \left(\frac{C_{mL}}{C_L} - \frac{L_{mL}}{L_L} \right)$$

其中， V_{input} 表示动态线上攻击信号电压， C_{mL} 和 L_{mL} 分别表示耦合线单位长度的互容和互感； C_L 和 L_L 表示信号路径上单位长度的自容和自感，存在于信号路径与回流路径之间； Len 表示走线长度； v 表示信号传播速度； RT 表示信号上升时间。

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



【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

