

自适应均衡器系统电子电路剖析

自适应电缆均衡器是串行数字视频 (SDV) 广播和串行电信设备接收器前端的基本组成部分，它们还可以用于其它类型的有线通信系统。均衡器直接与传输线接口，恢复由电缆造成信号幅度及带宽的损耗。由于均衡器直接连接到电缆，因此它很容易受 ESD、EMI/RFI 和器件所产生的噪声影响，均衡器的工作特性也倾向于增大设计中噪声的影响。一个采用抗干扰自适应电缆均衡器的鲁棒系统也必须保持均衡器的一些良好工作特性，如宽输入动态范围、宽信号带宽、低残留输出噪声、高输入回波损耗，以及最大均衡电缆长度等。

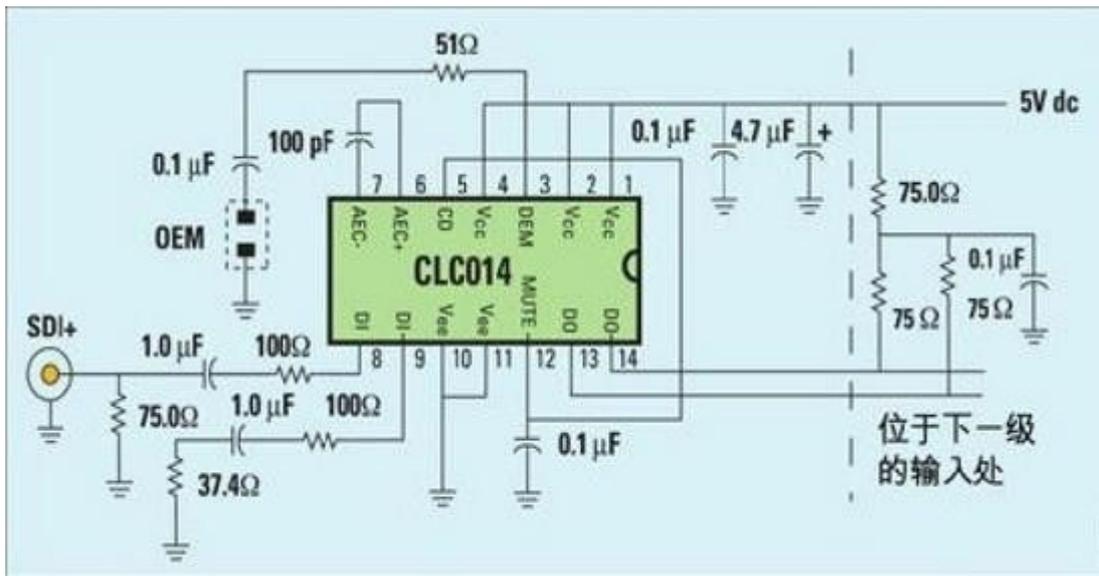


图 1：均衡器电路图

ESD、EMI/RFI 和器件产生的噪声是有线通信系统中的三大主要干扰模式：ESD 可以毁坏或摧毁电路内外的有源及无源器件；EMI/RFI 会影响系统的信号处理，严重时会造成系统基本功能的失效；器件产生的噪声可以影响电路的工作，降低其性能，亦可导致系统失效。

自适应均衡器设计的技术挑战

要设计一个能应对以上干扰的鲁棒系统是一个不小的挑战。自适应电缆均衡器并非简单的数字器件，这是设计者都必须仔细考虑的基本事实。美国国家半导体的 CLC014、CLC012 和最新的 CLC034 自适应均衡器是高性能的模拟器件，它们是高增益、高带宽、模拟、射频、AGC 放大器滤波器。在正确集成情况下，它们能与其它所有系统元件（包括机箱、无源元件和 PCB 等）共同抵御内、外部的干扰。一般情况下，当电缆长度为最大时，均衡器接收到的信号为最小。所以，均衡器的增益与带宽要在最大值。但当输入端未连接，没有外接信号时，增益与带宽也是最大。在最大增益情况下，即使少量的有害 EMI 或传导干扰都会被大大地放大，影响均衡器的正常工作。好的 PCB 设计可以阻止干扰，避免一些常见的均衡器应用故障，如：无法在给定数据速率下均衡最大电缆长度；电缆长度小于最大值出现数据错误；当输入端开路时有虚假的或随机输出数据；信号检测错误指示。

这些故障是由以下原因引起的：源于系统机箱内部或 PCB 上的 EMI 辐射；逻辑器件或电源通过输入网络的元器件安装管脚耦合到输入端的噪声；其它附近电路对输入端及/或自

适应均衡器电路（AEC）的串扰；均衡器输入、输出电路的耦合。ESD 事件会严重损坏半导体器件，特别是当这些器件没有导电包装材料保护时，更容易遭受损害，即使半导体器件安装在电路板上也会被损坏。用于直接电缆接口的器件，如线路驱动器和电缆均衡器等都按照最大 ESD 额定电压而设计。即便如此，只依赖于半导体器件本身来提供所有 ESD 防护，而无视其额定 ESD 防护值的高低，仍是不明智的做法。均衡器输入电路有通过终结电阻接地的低阻抗路径优点，提高了对 ESD 的耐受能力。输入电路中使用的元器件都应当有足够的 ESD 抵御能力，以应对设计中的最大 ESD 事件。通过适当的选择与设计，所有的电路元器件（包括机箱、连接器和 PCB 等）均可以实现均衡器和其它接口器件的 ESD 防护。

提高性能的设计方法

以下这些设计措施可以抵御电子干扰，提高均衡器整体工作性能：1.将均衡器输入网络及 AEC 电路与外部、卡上的高电平信号隔离或屏蔽开；2.采用耐用的输入电路元器件，抑制 ESD 事件；3.采用多层 PCB，用独立的传输线和电源-地层，实现隔离、屏蔽和 ESD 防护；4.在电源、地层间采用薄的电介质（6mil 以下），以提高层间电容和高频衰减；5.旁路电容、终结电阻、集电极负载电阻以及 VCC 和 VEE 管脚焊盘与层面连接时采用两个过孔；6.不要将多根 VCC 和 VEE 管脚连接到一个过孔，因为这可能引起器件中的噪声。

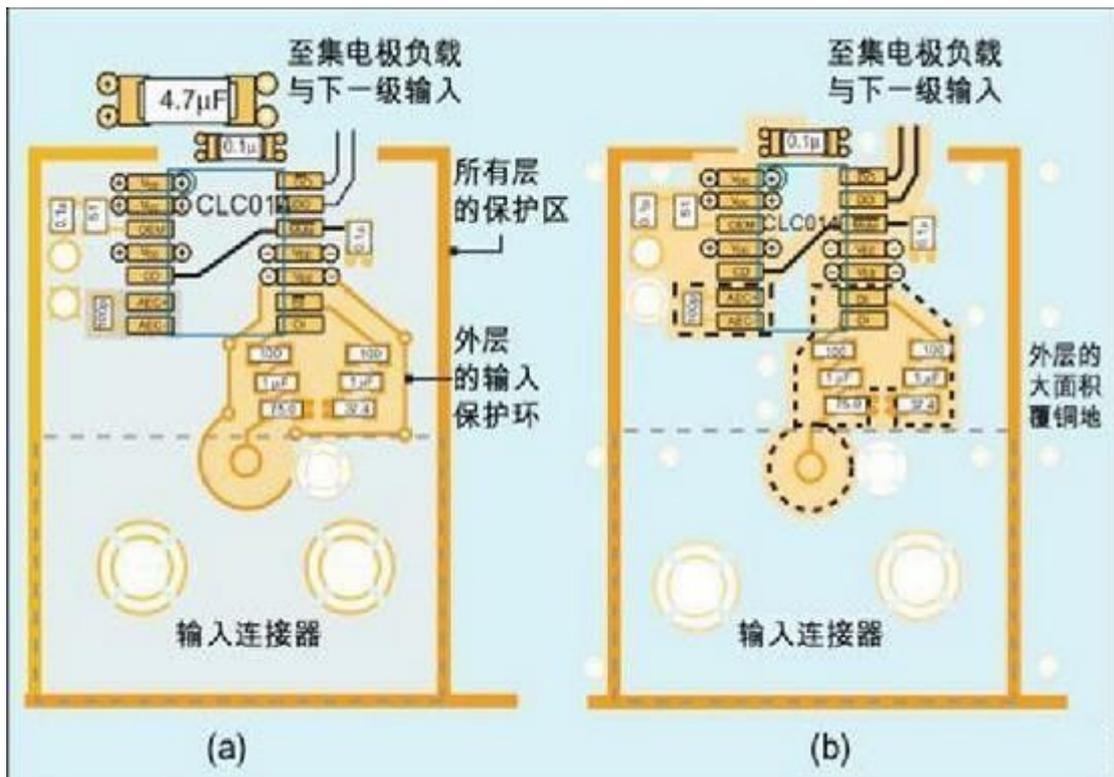


图 2a: 输入电路保护。2b: 用覆铜做屏蔽

图 1 所示是推荐的 CLC014 均衡器电路，图 2 是相应的 PCB 布局。在 PCB 板上，采用了一些将均衡器电路与有害信号干扰隔离开来的措施。在输入网络和 AEC 电容下方的电源层去除了铜箔，消除了电源层噪声向输入电路和 AEC 电路耦合的路径。所有层都去除了部

分铜箔（深色阴影线），以隔离均衡器的电路。这些隔离带可以防止邻近电路通过中间层与均衡器电路的直接接触。这样，干扰信号要接近输入电路就必须沿隔离带走一个较长的路径。

这样的做法增加了低通滤波效果，提高了对有害信号的衰减能力。用于提供信号环路（loop-back）功能的电缆驱动器经常毗邻均衡器放置。电缆驱动器的输出信号要比均衡器接收到的信号强很多，隔离带有助于隔离电缆驱动器信号，降低对均衡器输入信号的干扰。在输入电路周围是一个良好接地的保护（屏蔽）环，用于降低拾取到的 RFI，如图 2a 所示。也可以用 PCB 外层的覆铜代替保护环，如图 2b。覆铜必须以约 1cm 的间距连接所有的地层，以形成一个有效的屏蔽。均衡器差分输入放大器的共模抑制以及对称的输入元件布局也可以增强 RFI 抑制能力。RFI 在同时被两个输入端接收时是一种共模信号。具有平衡终结阻抗的对称输入电路布局可使 RFI 信号平均地到达两个输入端，这样输入差分放大器的共模抑制功能可以消除大部分干扰信号。

编辑点评：使用以上这些简单技术，可以将干扰降低到最低程度，提高自适应电缆均衡器的性能。在设计初期就注重干扰抑制和工作可靠性要比以后再增加其它措施更具经济性。在自适应电缆均衡器的设计早期采用了这些设计建议，就可以提高系统的性能，无需今后重新设计以解决干扰与性能的问题。