

高速信号路径的设计问题

延长 DVI / HDMI 电缆所 产生的
问题及相关的解决方案

1

高速信号路径的设计问题

冯 辉

美国国半导体 产品应用工程师

2



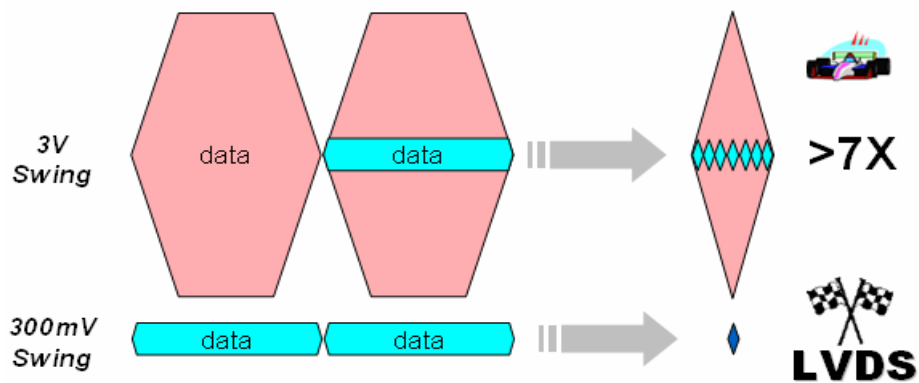
数据传输速度

市场板块	技术	数据传输速度	电子信号
调制解调器	56k 调制解调器	56kbps	48V
ISDN 网络	D 通道	64kbps	48V
电脑	RS-232	230.4kbps	3V TTL
	USB2.0	480Mbps	3V 差分
	SATA 第 1 类	1.5Gbps	LVDS
	PCIe x 1	2.5Gbps	LVDS
视频系统	HD-SDI	1.5Gbps	LVPECL
	DVI	1.65Gbps	TMS (CML)
	HDMI1.3	3.4Gbps	TMS (CML)



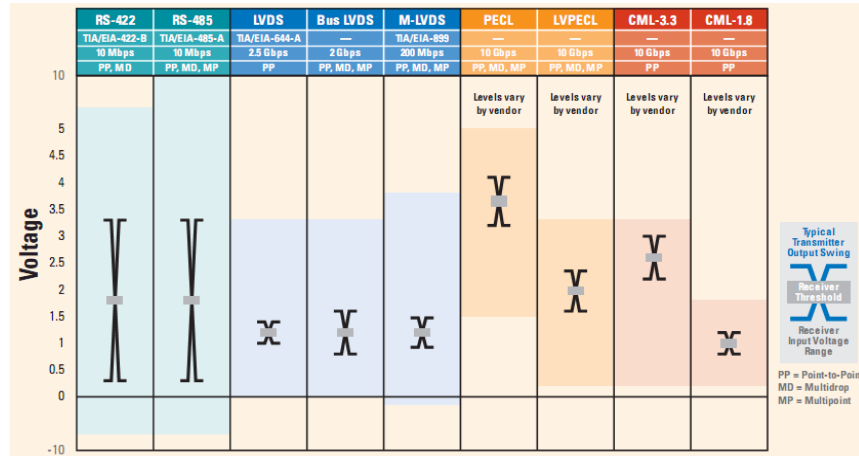
高速操作

小摆幅 快速 dv/dt 高速
Small Swing \Leftrightarrow fast $\Leftrightarrow dv/dt \Leftrightarrow$ HIGH Speed !

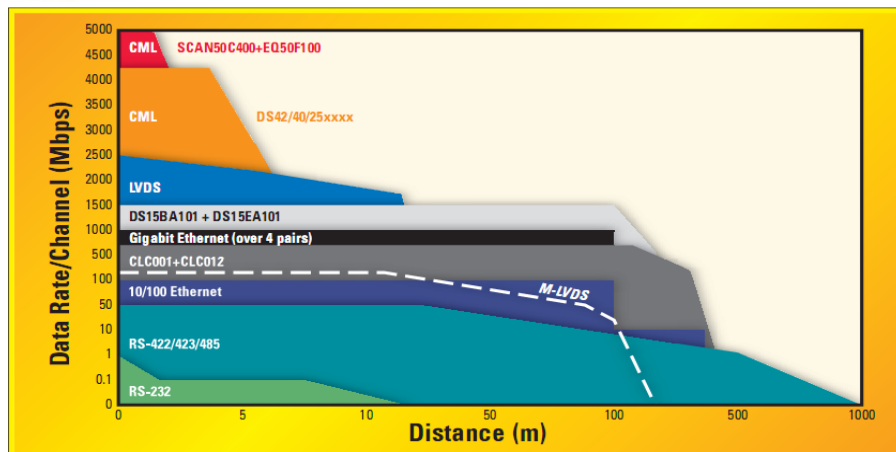




差分信号技术

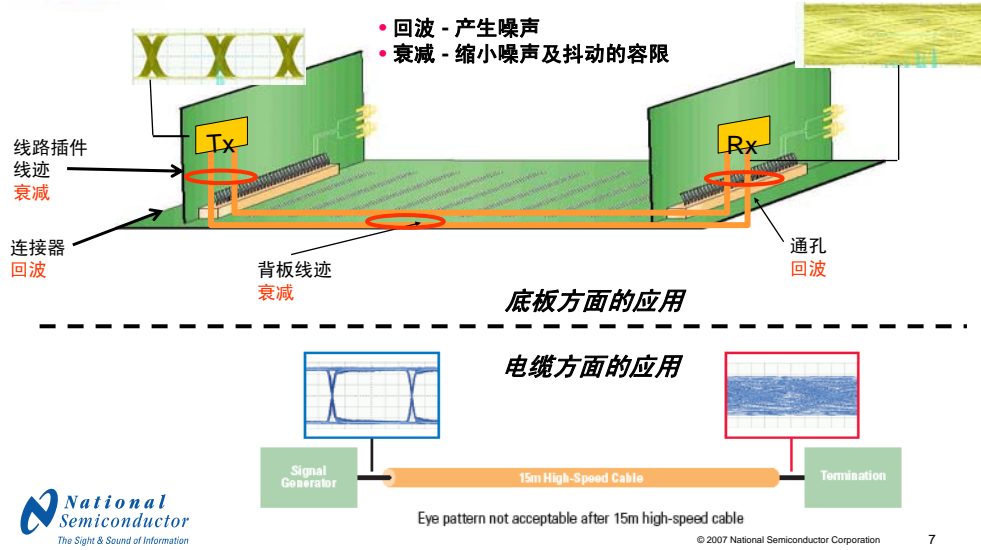


速度与距离之间的关系





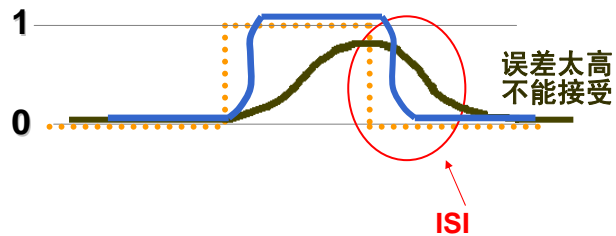
真实世界的物理限制



符号间干扰造成的失真

- 符号间干扰 (ISI) 是指由于相邻脉冲动能重叠而产生的脉冲波形边缘模糊化的现象。

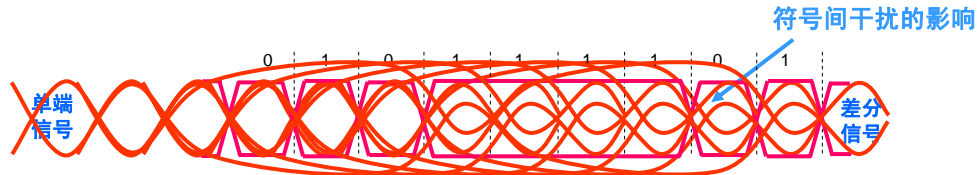
- 利用信号调整功能
 - 减低误差
 - 为信号滤除噪声
 - 使波形边缘更清晰





如何理解眼图背后的含意

- 眼图是由符号间干扰 (ISI) 造成的现象



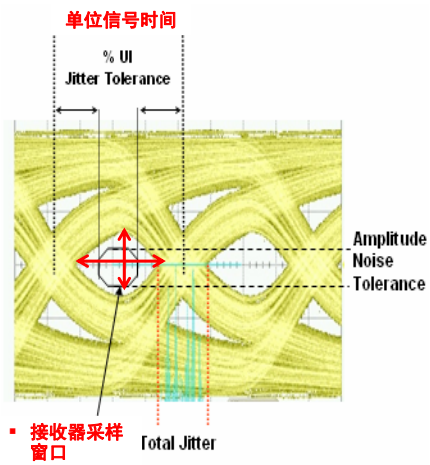
真实世界的差分信号

眼图是由多个图形重叠一起而成



眼孔背后的含意及其极限

- 信号素质
 - 眼孔“张度”是否够大?
 - 张开的眼孔显示
 - 抖动容限
 - 振幅噪声容限
- 接收器采样窗口
 - 采样窗口较小表示接收器性能更卓越
 - UI 抖动承受度最高 (以百分比计)
 - 接收器输入振幅阈值空间最小





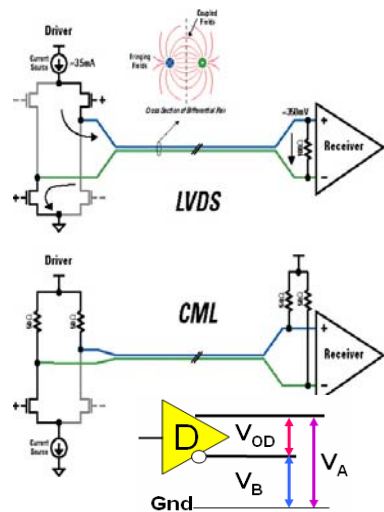
信号调整器如何改善信号完整性?

- 可以改善眼图的模拟技术
 - 发送器
 - 预加重及去加重
 - 预加重功能可增强信号的高频部分, 以便减少线路损耗
 - 若位数据没有变动, 去加重功能便会减弱信号的低频部分/振幅
 - 可设定输出电压
 - 可设定上升时间
 - 接收器
 - 固定、可设定、自适应均衡
 - 为输入信号提供补偿, 以便减少传输损耗
 - 还原信号的高频部分 - 张开眼孔
 - 重复计时器
 - 消除抖动
 - 恢复位串流



发送器有多种不同输出可供选择

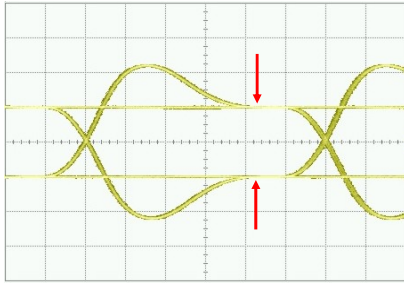
- LVDS
 - 功率比 CML 低
 - 一般都加设了预加重功能 (+dB)
- CML
 - VOD 电压比 LVDS 高
 - 一般都加设了去加重功能 (-dB)



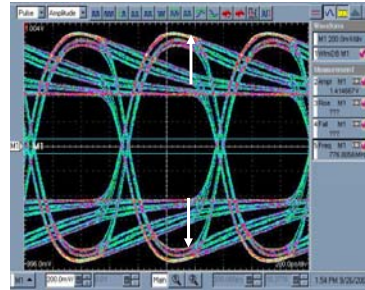


有何分别？

- 视觉上，分别不大 - 看似属于过冲现象



去加重



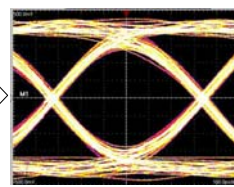
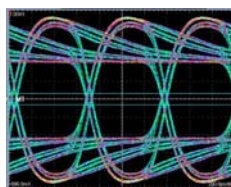
预加重



LVDS 发送器 预加重功能



预加重 **关闭**



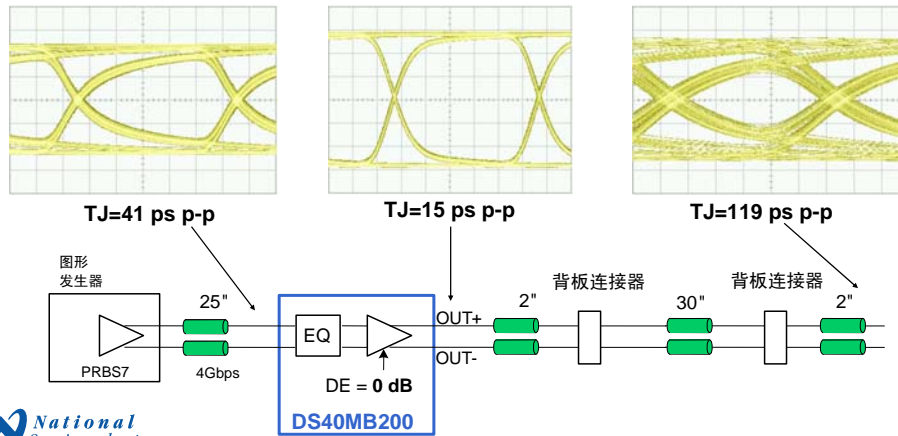
信号在底板内传送了 60 英寸之后的眼图

- 预加重功能可为信号衰减及损耗提供补偿



CML 发送器 去加重功能已关闭

未经去加重的驱动器输出 - 令传输线路末端出现抖动



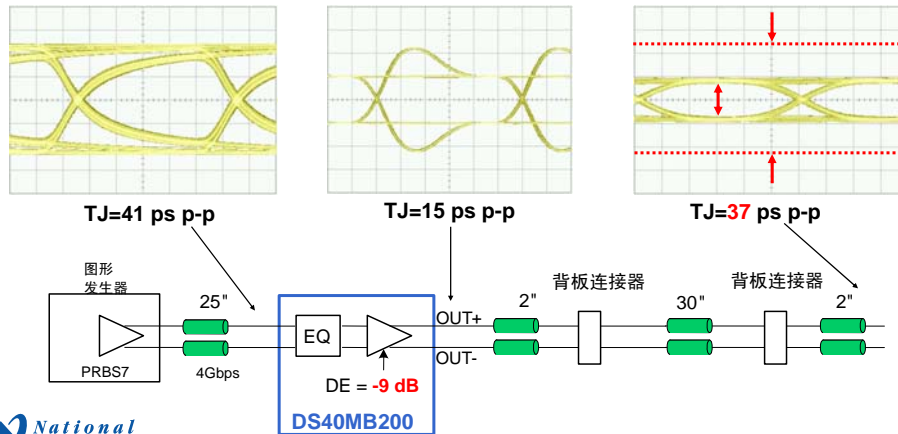
National Semiconductor
The Sight & Sound of Information

© 2007 National Semiconductor Corporation 15



CML 发送器 去加重功能已开启

驱动器的去加重功能可将较长的传输线路加以均衡 = 减少抖动



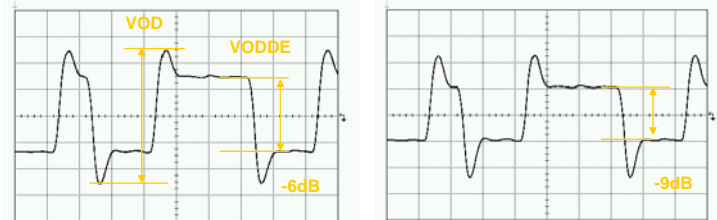
National Semiconductor
The Sight & Sound of Information

© 2007 National Semiconductor Corporation 16



可调节去加重功能的补偿级别

DE[1:0]	VOD (mV)	VODDE (mV)	VODDE in dB
0 0	1200	1200	0
0 1	1200	850	-3
1 0	1200	600	-6
1 1	1200	426	-9



预/去加重功能：内容纲要

预加重

- 优点
 - 扩大眼孔张度
 - 减少抖动
 - 为线路损耗提供补偿
- 缺点
 - 出现串音干扰的问题
 - 电磁干扰问题更严重

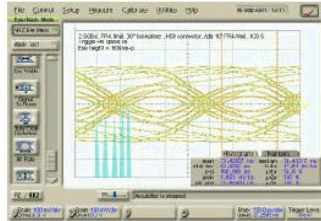
去加重

- 优点
 - 减少抖动
 - 可能减低串音干扰
 - 可能降低功耗
- 缺点
 - 衰减信号经过长距离传送之后，会令信号抖动增加

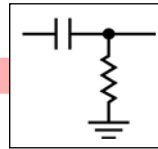


接收器 - 均衡

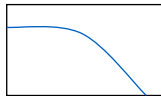
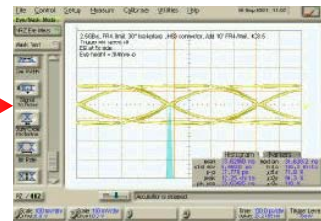
来自底板



高通滤波器

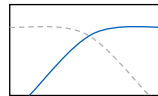


“已均衡”的信号



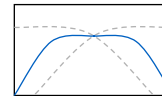
底板响应

+



均衡器响应

=



总响应



采用 RC 滤波器，以显示均衡功能对底板信号的影响。

© 2007 National Semiconductor Corporation 19



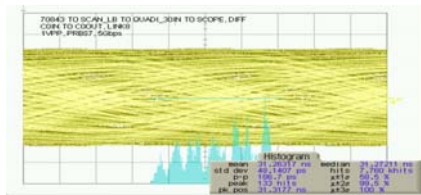
均衡功能的优缺点

• 优点

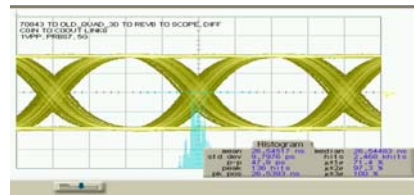
- 减少抖动
- 重新张开眼孔: 恢复信号的高频部分

• 缺点

- 同时也将噪声放大
- 若不采用自适应或可设定的均衡功能，可能会为信号提供过度补偿



5.0 Gbps 信号已在 FR4 底板上 30 英寸之后的眼图



采用 EQ50F100 芯片之后，5.0 Gbps 信号的眼图



© 2007 National Semiconductor Corporation 20



接收器 - 重复计时

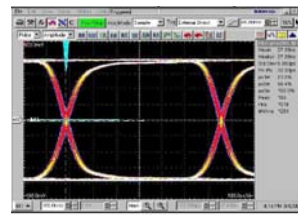
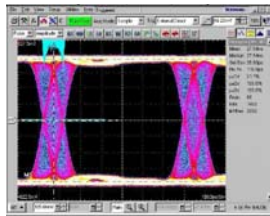
- 只要接收器知道初始信号的数据传输率，重复计时器便可根据该频率产生稳定的本地时钟，并利用这个频率将均衡器输出信号恢复。
- 信号的眼孔必须张开，抖动才可减少。



接收器 - 重复计时

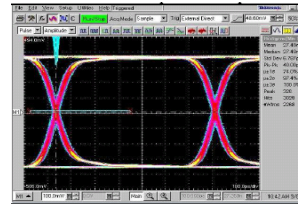
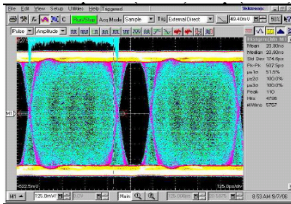
输入抖动:
RJ 及 DJ = 110 ps

输出抖动:
34 ps p-p



输入抖动:
RJ 及 DJ = 507 ps

输出抖动:
40 ps p-p



* LMH0046 高清晰度/标准清晰度串行数字接口 (SDI) 重复计时器

应用实例

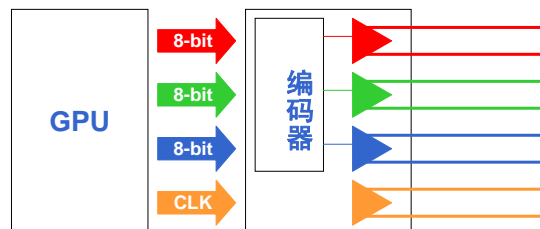
DVI 及 HDMI 电缆延长方案

23



DVI/HDMI 发送器

- TMDS 发送器可将 24 位 (每一颜色 8 位) 的并行数据分别传送到 3 条各自独立的 10 位差分数据通道以及一条时钟通道
- 每一数据通道的传输率高达时钟速度的 10 倍
- HDMI 标准容许同一数据通道将音频及辅助数据一并传送





DVI/HDMI 标准

技术规格	HDMI v1.2a / DVI v1.0	HDMI v1.3
时钟	165 MHz	340 MHz
单通道数据传输率	1.65 Gbps	3.4 Gbps
色深	8 位	16 位
电子信号传输方式	TMDS	TMDS
电缆规格	< 75 MHz (Cat. 1) < 340 MHz (Cat. 2)	< 75 MHz (Cat. 1) < 340 MHz (Cat. 2)
静电释放 (IEC-801-2)		8 KV



常用的分辨率

标准	分辨率	TMDS 数据速度
VGA	640 x 480	252 Mbps
SVGA	800 x 600	400 Mbps
XGA	1024 x 768	650 Mbps
720p HDTV	1280 x 720	742.5 Mbps
SXGA	1280 x 1024	1080 Mbps
1808i HDTV	1920 x 1080	742.5 Mbps
1080p HDTV	1920 x 1080	1485 Mbps
UXGA	1600 x 1200	1620 Mbps
DVI 1.0/HDMI 1.2a		1650 Mbps
1080p HDTV (12 位色深)	1920 x 1080	2250 Mbps



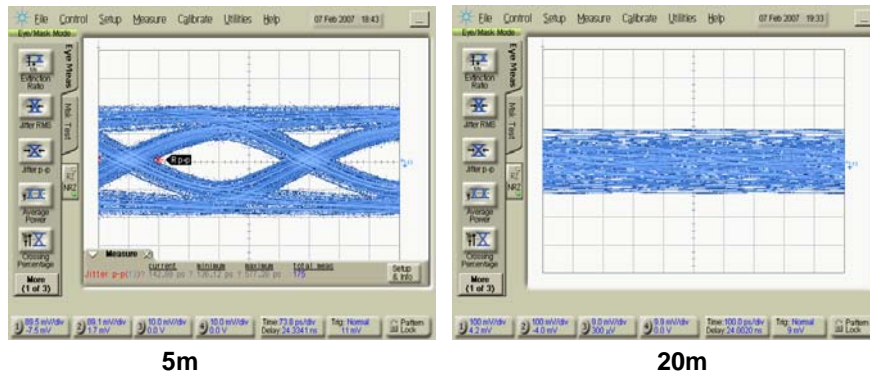
电缆损耗



*28AWG HDMI cable



2.25 Gbps, 28AWG HDMI 电缆



5m

20m

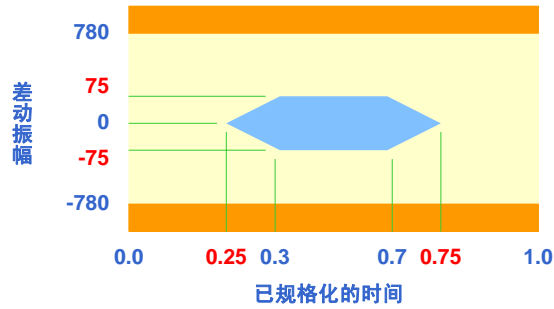
*2.25 Gbps = 1080p (12 位色深)





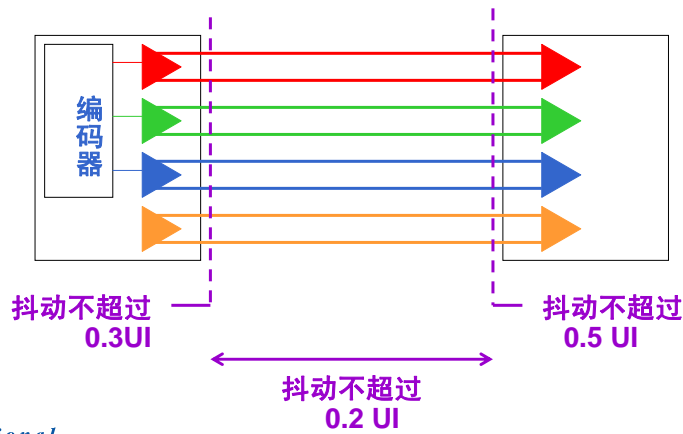
系统设计必须符合的规定

- 接收器的眼孔张度
 - 输入阈值超过 150 mV
 - 抖动不超过 $< 0.5 UI$



系统设计必须符合的规定

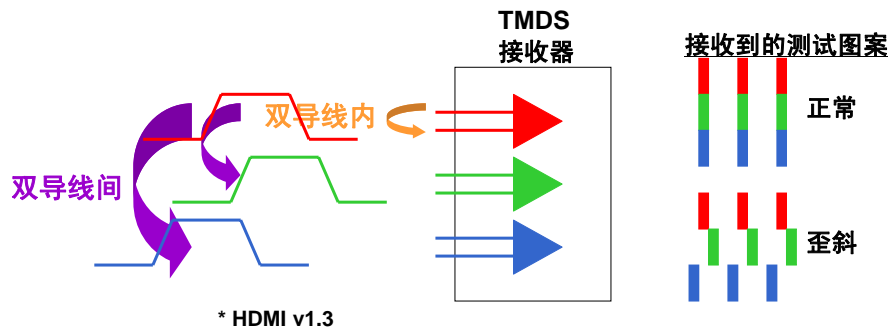
- 互连线路总抖动不超过 $0.2 UI$





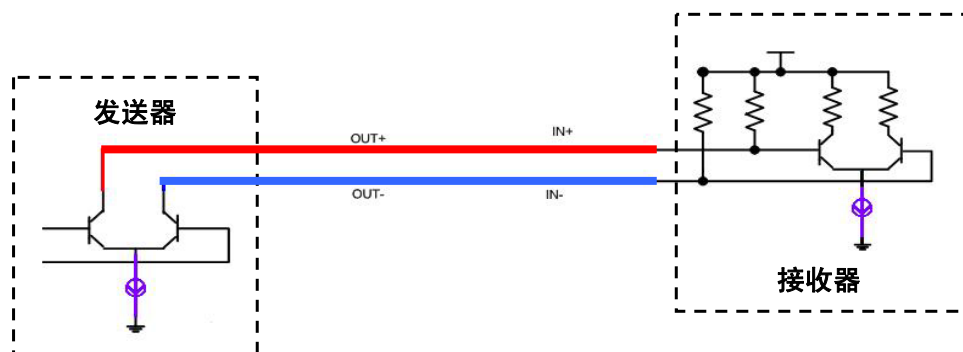
系统设计必须符合的规定

- 双导线的内部歪斜不超过 111 ps (2 类电缆)
- 双导线之间的歪斜不超过 1.78 ns (2 类电缆)
- 标准 5 类电缆的导线之间的歪斜: 每 100 米 20 ns



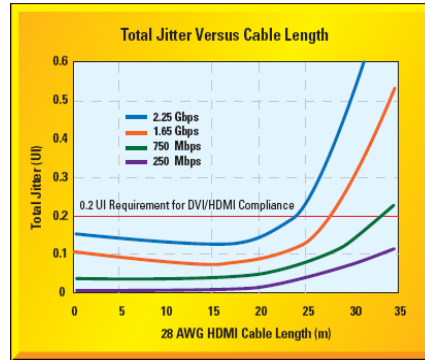
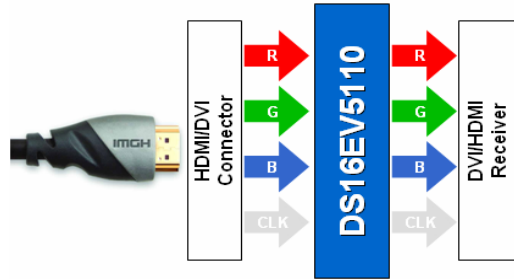
系统设计必须符合的规定

- 支持直流电耦合
 - TMSD 技术利用驱动电流产生差分电压





DS16EV5110 适用于 DVI/HDMI/CAT 电缆的视频均衡器



静电释放额定值: > 8 KV (HBM)
通道歪斜: 25 ps (典型值)



Data Rate (Gbps)	Cable Type	Maximum Extension (m)
1.65	24 AWG HDMI	>40
1.65	28 AWG HDMI	>25
1.65	CAT5/5e/6	>20
2.25 <small>(for HDTV - 1080p with 12-bit deep-color depth)</small>	24 AWG HDMI	>30

© 2007 National Semiconductor Corporation 33

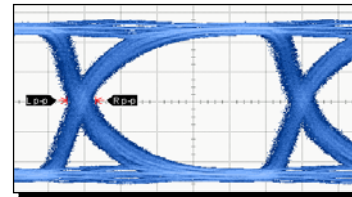
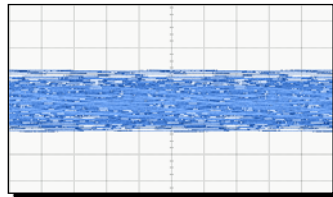


速度高达 1.65 Gbps 时的 DVI 及 5 类电缆

均衡前

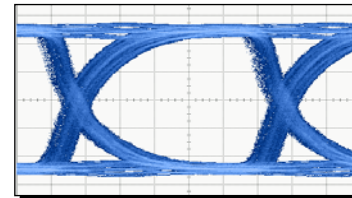
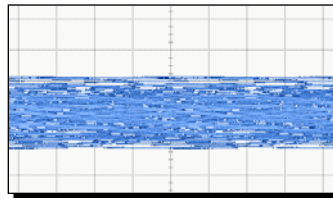
采用 DS16EV5110 芯片加以均衡后

25 米长的
28AWG DVI
电缆



抖动不超过 0.2UI

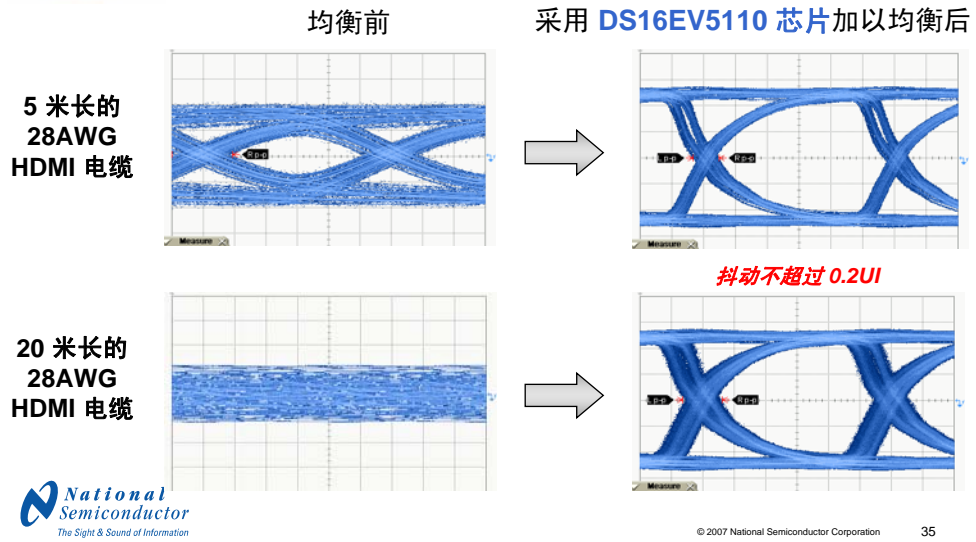
20 米长的 5
类电缆



© 2007 National Semiconductor Corporation 34



速度高达 2.25 Gbps 时的 HDMI 电缆



DS38EP100 适用于 HDMI 电缆的无源均衡器

- 可以利用低成本的解决方案将 HDMI 的 1 类电缆升级为 2 类电缆

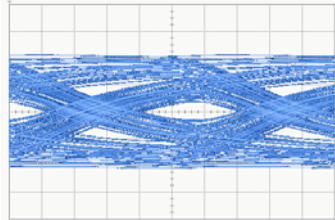




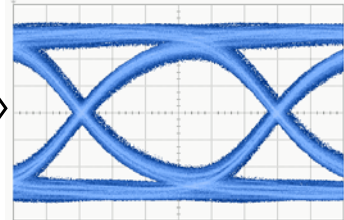
速度高达 3.4 Gbps 时的 HDMI 电缆

5 米长的
28AWG
HDMI 电缆

均衡前



采用 DS38EP100 芯片加以均衡后



抖动不超过 0.2UI

 **National
Semiconductor**
The Sight & Sound of Information

© 2007 National Semiconductor Corporation 37

 **National
Semiconductor**
The Sight & Sound of Information

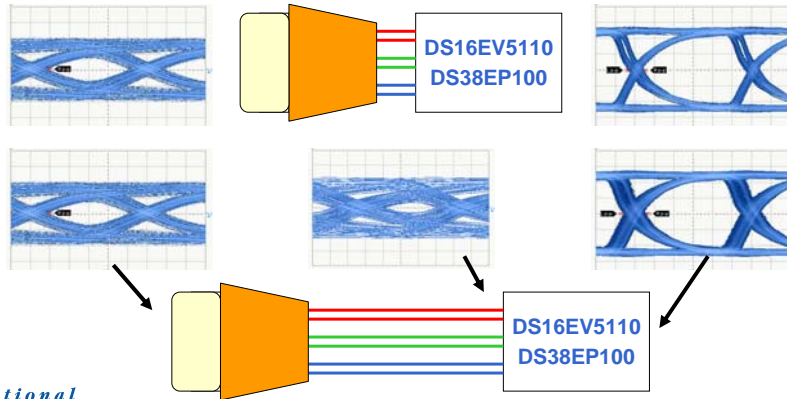
设计窍门

38

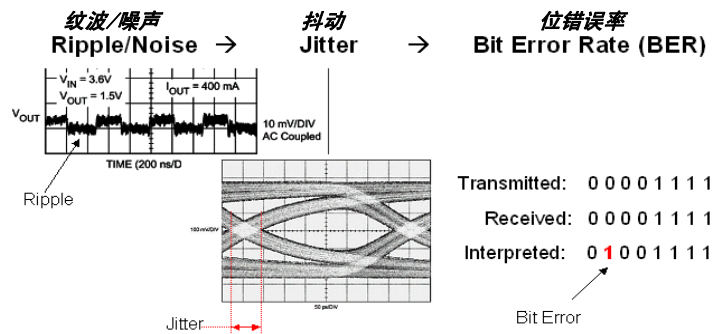


线迹损耗

- 输入/输出装置应尽量靠近连接器



电源供应器产生的噪声



零件	产品简介	产品特色
LM3674	只有PWM 模式的直流/直流转换器	输出电压纹波极低 (5mVpp)
LM1770	同步降压稳压器	效率极高
LM25576	Simple Switcher® 开关稳压器	可将高电压降为低电压
LP38691	CMOS 低压降压稳压器	交流电表现卓越

印制电路板线路布局的重要性

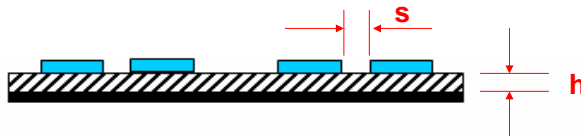
41



印制电路板的理想线路布局

- 微带线
 - 较高阻抗范围
 - 没有因通孔而产生的电感加载效应
 - 选择较少
 - 较少屏蔽
- 夹心线
 - 选择较多 / 密度更大
 - 较多屏蔽

Microstrip
 微带线



Stripline
 夹心线



 信号
 Signal

 电介质
 Dielectric

 接地
 Ground



印制电路板的理想线路布局

- 边缘耦合差分双导线
 - 更有效控制“s”值的大小 ($s < h$)
 - 需要两条传输通道
 - 采用微带线或夹心线
- 宽面差分双导线
 - “s”值大小的选择极为有限
 - 只需一条传输通道
 - 只采用夹心线



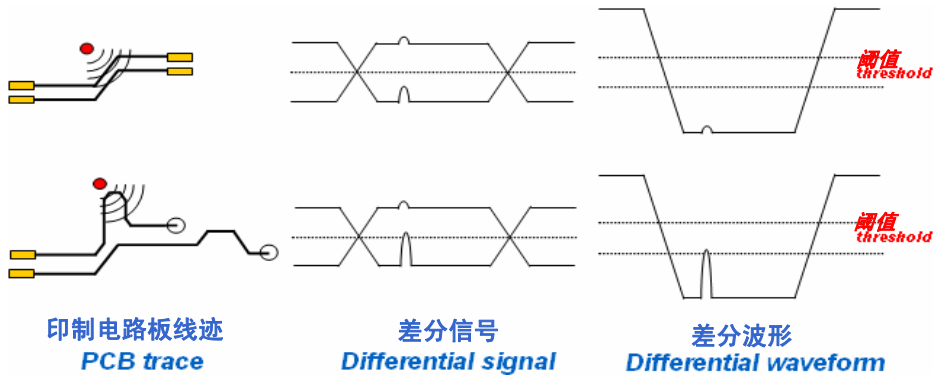
Edge-Coupled
边缘耦合



Broadside-Coupled
宽面耦合

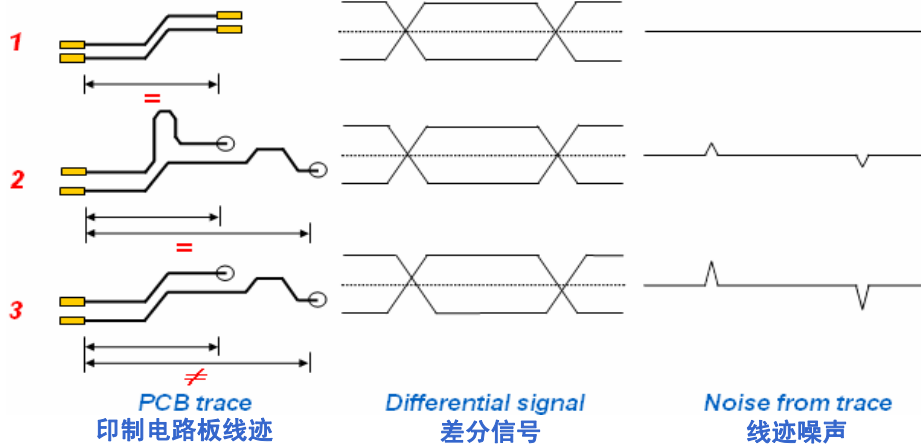


耦合及电磁干扰的影响





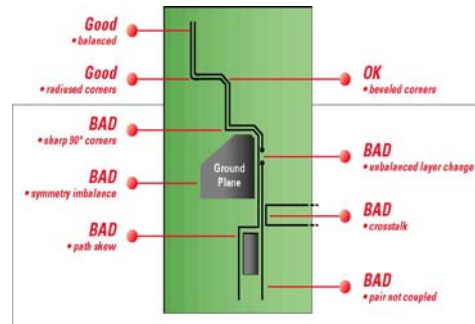
歪斜影响



有关印制电路板线路布局的一般性建议

- 用人手为差分双导线布线时，要极小心进行，若利用自动布线功能，也要小心复核
- 必须准确计算差分线迹长度，以便达到优化的效果
- 相邻的差分双导线必须保持最少 2s 的距离
- TTL 信号之间必须保持最少 3s 的距离或将之隔离在不同板层
- 差分线路长度必须互相一致
- 线路的弯曲角度应避免高达 90 度

- 应采用四层以上的印制电路板
- 印制电路板应有良好的旁路装置
- 应划一采用一个接地面





内容纲要

- DVI/HDMI 不但适用于电子消费产品及专业级设备，而且也适用于高速信号传输系统
- 高速信号传输系统的设计要顾及系统各方面的需要，因此我们不但要仔细分析系统每一元件的特性，而且也要将所有单元视为一个整体全面加以分析
- 影响系统整体表现的因素包括印制电路板线迹、连接器、电缆的核心以及电源供应