

轻松使用 HDMI：HDMI-VGA 和 VGA-HDMI 转换器

作者：Witold Kaczurba 和 Brett Li

在消费电子市场，电视、投影仪和其它多媒体设备纷纷采用高清多媒体接口(HDMI[®])技术,使得HDMI成为全球公认的接口。相信不久之后，所有多媒体设备都需要配备该接口。HDMI 接口在家庭娱乐中已经广为流行，近来在便携式设备和汽车信息娱乐系统中，它也日渐风行。

实现标准化多媒体接口是竞争高度激烈的消费电子市场的必然要求，上市时间对于该市场而言至关重要。除了提高市场认可度以外，采用标准接口还能大大改善投影仪、DVD 播放机、高清电视以及不同制造商生产的其它设备之间的兼容性。

然而，在某些工业应用中，从模拟视频向数字视频过渡所需的时间比消费电子市场要长，许多设备尚未采用新的数字方法来发送合成音视频数据。这些设备仍然使用模拟信号作为唯一的视频传输途径，原因可能是特殊市场或应用有特定要求。例如，对于投影仪，有些客户仍然偏好使用 *视频图形阵列(VGA)* 电缆，而其它一些客户则使用 *音频/视频接收器(AVR)* 或媒体盒作为集线器，将一条 HDMI 电缆连接到电视，而不是一组凌乱且不美观的电缆，如图 1 所示。

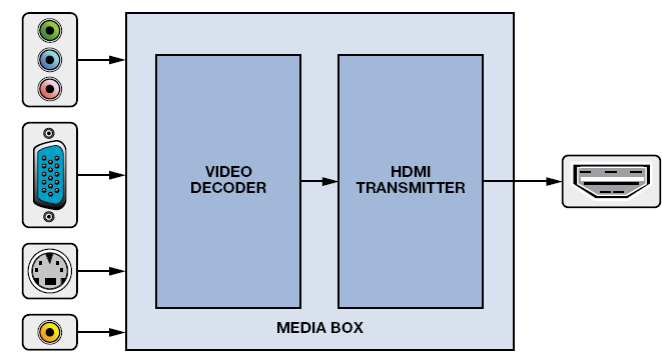


图 1. 媒体盒将模拟信号转换为 HDMI

新使用者可能认为 HDMI 是一种相对较复杂的标准,需要经过验证的软件驱动器、互通性和兼容性测试，从而保证一种设备

与其它各种设备结合使用时能够正常工作。这似乎有点难以把握，遇到新技术时常常会发生这种情况。

然而，先进的半导体技术正在解决这些难题，模拟域和数字域均实现了改进，包括通过更高性能的模块来均衡较差的差分信号，以及利用更复杂的算法来减少软件开销和纠正位错误。

本文说明先进的半导体解决方案和灵巧的软件如何帮助实现 HDMI。两种基本器件——HDMI-VGA (“HDMI2VGA”)和 VGA-HDMI (“VGA2HDMI”)转换器——为熟悉视频应用的工程师提供一种简单的模拟视频与数字视频相互转换的方法。

虽然 HDMI 已成为事实上的高清视频接口，但 VGA 仍是笔记本电脑上最常用的接口。本文还会说明如何使这两种接口互连。

HDMI 应用和视频标准简介

HDMI 接口利用 *最小差分传输信号(TMDS)* 线传输包形式的视频、音频和数据。除了这些多媒体信号以外，接口还包括 *显示器数据通道(DDC)* 信号，用于交换 *扩展显示识别数据(EDID)* 和 *高带宽数字内容保护信息(HDCP)*。

此外，HDMI 接口还可以配备 *消费电子控制(CEC)*、*音频回授通道(ARC)* 和 *家庭以太网通道(HEC)*。由于这些不是本文所述应用的重要部分，本文将不予讨论。

EDID 数据包括一个 128 字节 (VESA—视频设备标准协会) 或 256 字节 (CEA-861—消费电子协会) 数据模块，用于说明视频接收器(Rx)的视频和 (可选) 音频能力。EDID 由视频源 (播放器) 利用 I²C 协议通过 DDC 线从视频接收器读取。视频源必须发送视频接收器支持的且列于 EDID 中的首选或最佳视频模式。EDID 可能还包含关于视频接收器音频能力的信息，以及支持的音频模式列表和相应的频率。

VGA 和 HDMI 均有 DDC 连接,用以支持视频源与接收器之间的通信。EDID 的前 128 字节可以由 VGA 和 HDMI 共享。根据 ADI 公司 HDMI 兼容性测试(CT)实验室的经验，EDID 的前 128 字节更容易出错，因为一些工程师不熟悉 HDMI 规范的严格要求，而且大多数文章都是侧重于 EDID 扩展模块。

表 1 显示了 EDID 前 128 个字节中容易出错的部分。有关 EDID 前 128 个字节之后的 CEA 扩展模块设计的详细信息，请参阅 CEA-861 规范。

表 1. EDID 简介

地址	字节	描述	注释
00h	8	表头: (00 FF FF FF FF FF FF 00)h	必须有的固定模块表头
08h	10	供应商和产品标识	
08h	2	ID 制造商名称	Microsoft [®] 发布的三个压缩 ASCII 字符
12h	2	EDID 结构版本和修订	
12h	1	版本号: 01h	固定
13h	1	修订编号: 03h	固定
18h	1	功能支持	诸如电源管理和颜色类型之类的功能。位 1 应置 1。
36h	72	18 字节数据模块	
36h	18	首选时序模式	表示一种能够支持产生最佳质量屏幕图像的时序。对于大多数平板显示器，首选时序模式是平板的原生时序。
48h	18	详细时序#2 或显示器描述符	表示详细时序，也可以用作显示器描述符。显示器描述符应使用两个字，一个用作监视范围限值，一个用作监视名称。详细时序模块应在显示器描述符模块之前。
5Ah	18	详细时序#3 或显示器描述符	
6Ch	18	详细时序#4 或显示器描述符	
7Eh	1	扩展模块数 N	随后的 128 字节 EDID 扩展模块的数量。
7Fh	1	校验和	此 EDID 模块中所有 128 字节的 1 字节和应等于 0。
80...		模块映射或 CEA 扩展	

VGA 和 HDMI 的时序格式由上述两个标准设置组分别定义：VESA 和 CEA/EIA。VESA 时序格式的定义参见“VESA 监视时序和协同视频时序标准”；HDMI 时序格式的定义参见 CEA-861。VESA 时序格式包括主要用于 PC 和笔记本电脑的标准，如 VGA、XGA、SXGA 等。CEA-861 描述电视和增清/高清显示器所用的标准，如 480p、576p、720p 和 1080p 等。在这些时序格式中，只有 640 × 480p @ 60 Hz 这一种格式是强制性的，为 VESA 和 CEA-861 标准所共有。PC 和电视均必须支持这种模式，因此本例使用该模式。表 2 比较了一般支持的视频标准。详细数据请参阅相应的规范。

表 2. 最常用的 VESA 和 CEA-861 标准 (p = 逐行, i = 隔行)

VESA (显示器监视时序)	CEA-861
640 × 350p @ 85 MHz	720 × 576i @ 50 Hz
640 × 400p @ 85 Hz	720 × 576p @ 50/100 Hz
720 × 400p @ 85 Hz	640 × 480p @ 59.94/60 Hz
640 × 480p @ 60/72/75/85 Hz	720 × 480i @ 59.94/60 Hz
800 × 600p @ 56/60/72/75/85 Hz	720 × 480p @ 59.94/60/119.88/120 Hz
1024 × 768i @ 43 Hz	1280 × 720p @ 50/59.94/60/100/119.88/120 Hz
1024 × 768p @ 60/70/75/85 Hz	1920 × 1080i @ 50/59.94/60/100/200 Hz
1152 × 864p @ 75 Hz	1920 × 1080p @ 59.94/60 Hz
1280 × 960p @ 60/85 Hz	1440 × 480p @ 59.94/60 Hz
1280 × 1024p @ 60/75/85 Hz	1440 × 576p @ 50 Hz
1600 × 1200p @ 60/65/70/75/85 Hz	720(1440) × 240p @ 59.94/60 Hz
1920 × 1440p @ 60/75 Hz	720(1440) × 288p @ 50 Hz

应用和部分要求简介

HDMI2VGA 和 VGA2HDMI 转换器的重要要求是确保视频源发送的信号符合正确的视频标准。这是通过提供一个具有适当 EDID 内容的视频源来实现的。一旦收到，就可以将正确的视频标准转换为最终 HDMI 或 VGA 标准。

图 2 和图 3 中的功能框图显示了 HDMI2VGA 和 VGA2HDMI 转换的相应过程。HDMI2VGA 转换器假设 HDMI Rx 内置 EDID。

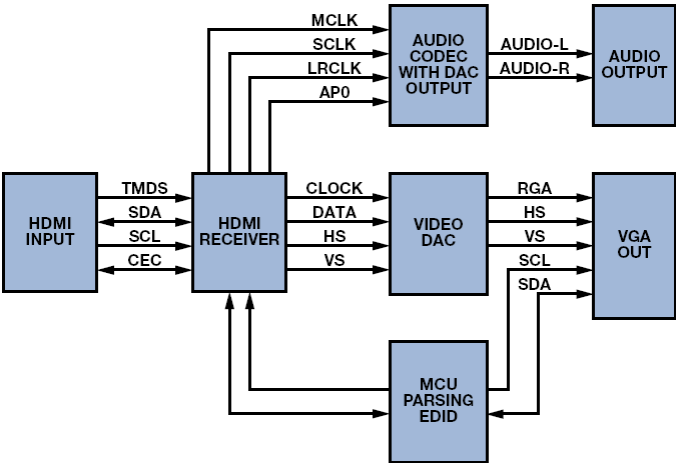


图 2. 具有音频提取功能的 HDMI2VGA 转换器

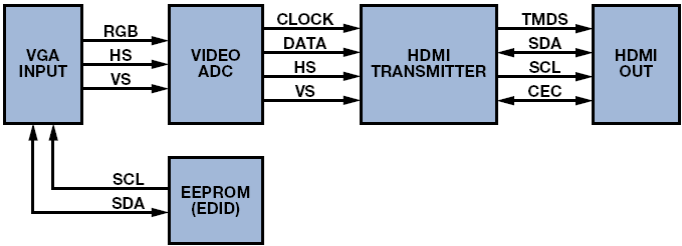


图 3. VGA2HDMI 转换器

工作原理

VGA2HDMI：VGA 源从接收器读取 EDID 内容，利用 DDC 线路通道获取支持的时序列表，然后视频源开始发送视频流。VGA 电缆具有 RGB 信号和独立的水平(HSYNC)与垂直(VSYNC)同步信号。下游 VGA ADC 锁定 HSYNC 以重新产生采样时钟。VGA 解码器将输入的同步信号与时钟对齐。

数据使能(DE)信号指示视频的有效区域。VGA ADC 并不输出此信号，它是 HDMI 信号编码的强制要求。DE 的逻辑高电平部分表示有效像素，或者说视频信号的可视部分。DE 的逻辑低电平部分表示视频信号的消隐部分。

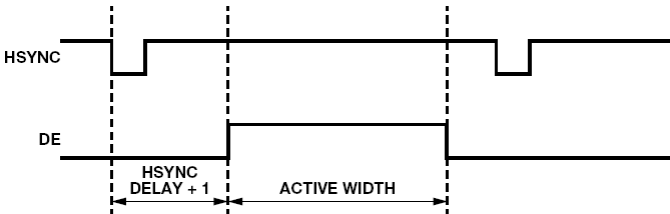


图 4. 水平 DE 生成

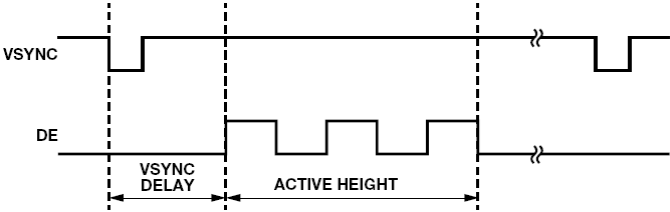


图 5. 垂直 DE 生成

DE 信号对于产生有效 HDMI 流至关重要。如果没有 DE 信号，可以通过 HDMI 发送器(Tx)来补偿，它能重新生成 DE 信号。现代 HDMI 发送器可以利用若干参数设置，如 HSYNC 延迟、VSYNC 延迟、有效宽度和有效高度等，从 HSYNC 和 VSYNC 输入产生 DE 信号（如图 4 和图 5 所示），确保兼容 HDMI 信号传输。

HSYNC 延迟定义从 HSYNC 前沿到 DE 前沿的像素数。VSYNC 延迟定义 VSYNC 和 DE 前沿之间的 HSYNC 脉冲数。有效宽度表示有效水平像素数，有效高度表示有效视频的行数。DE 生成功能也可用于显示功能，例如使有效视频区域处于屏幕的中央。

显示位置调整是 VGA 输入的强制要求。数字化模拟输入信号的第一个和最后一个像素不得靠近任何 HSYNC/VSYNC 脉冲或与之重合。DE 信号低电平期间（如垂直或水平消隐间隔）用于发送额外的 HDMI 数据和音频数据包，不得违反要求。ADC 采样阶段可能会引起这种不对齐现象。屏幕可视区域中的黑条可能意味着有效区域不对齐。对于复合视频广播信号 (CVBS)，此现象可通过过扫描 5%到 10%进行校正。

VGA 旨在显示整个有效区域，不落下任何区域。画面不会过扫描，因此显示位置调整对于 VGA 转 HDMI 很重要。最佳情况下，黑条可以被自动识别，图像可以自动调整到最终屏幕的中央，或者根据回读信息手动调整。如果 VGA ADC 连接到后端定标器，有效视频将能正确地与整个可视区域重新对齐。

然而，使用定标器解决有效视频区域不对齐问题会提高设计成本及相关风险。例如，利用定标器和视频图案，有效区域内一个小白框周围的黑色区域可能会被视为无用条而予以消除。黑色区域消除后，白框就变为纯白色背景。另一方面，半白半黑图像会产生失真。为了防止此类不当失真，必须采取某种预防机制。

HDMI Tx 一旦锁定并重新产生 DE 信号，就会向 HDMI 接收器（如电视等）发送视频流。与此同时，片上音频器件，如音频编解码器等，也可以通过 I²S、S/PDIF 或 DSD 向 HDMI Tx 发送音频流。HDMI 的优势之一是可以同时发送视频和音频。

VGA2HDMI 转换板上电且源和接收器连接后，MCU 应通过 HDMI Tx DDC 线回读 HDMI 接收器的 EDID 内容。MCU 应将 EDID 的前 128 字节略微更改后复制到 VGA DDC 通道的 EEPROM，因为 VGA DDC 通道一般不支持用于 HDMI 的 CEA 扩展。表 3 列出了需要的更改。

表 3. VGA2HDMI 转换器需要的更改列表

更改	原因
EDID 0x14[7]从 1 变为 0	表示模拟 VGA 输入
更改既有时序、标准时序、首选时序和详细时序	超过 VGA 转换器和 HDMI Tx 支持的最大值的时序必须更改为最大时序或较小的时序
0x7E 设置为 00	无 EDID 扩展模块
更改 0x7F	校验和必须根据以上变更重新计算

HDMI2VGA：HDMI2VGA 转换器首先必须向 HDMI 源提供适当的 EDID 内容，然后才能接收所需的 640 × 480p 信号，或者视频源/显示器支持的其它常见标准。HDMI Rx 一般将 EDID 内容存储在内部，处理热插拔检测线（表示显示器已连接），接收、解码并解读输入的视频和音频流。

由于 HDMI 流将音频、视频和数据合并在一起，因此 HDMI Rx 也必须支持回读辅助信息，如颜色空间、视频标准和音频模式等。多数 HDMI 接收器会自适应接收流，自动将任何颜色空间（YCbCr 4:4:4、YCbCr 4:2:2、RGB 4:4:4）转换为视频 DAC

要求的 RGB 4:4:4 颜色空间。自动颜色空间转换(CSC)确保将正确的颜色空间发送至后端器件。

输入 HDMI 流经过处理并解码为所需的标准后，便通过像素总线输出到视频 DAC 和音频编解码器。视频 DAC 通常具有 RGB 像素总线和时钟输入，但无同步信号。HSYNC 和 VSYNC 信号可通过缓冲器输出到 VGA 输出，最终输出到监视器或其它显示器。

HDMI 音频流可以承载许多不同标准，例如：L-PCM、DSD、DST、DTS、高比特率音频、AC3 和其它压缩位流。多数 HDMI 接收器在提取音频标准方面没有问题，但进一步处理可能有问题。根据后端器件不同，可能优先使用简单标准，而不是复杂标准，以便能将其轻松转换为扬声器用模拟输出。HDMI 规范确保所有器件至少支持 32 kHz、44.1 kHz 和 48 kHz LPCM。

因此，必须产生 EDID 信号，这个信号既与提取 HDMI2VGA 转换器的音频能力相匹配，又与 VGA 显示器的原始信号相匹配。这可以通过一个经由 DDC 线从 VGA 显示器检索 EDID 内容的简单算法来实现。回读数据应经过解析和验证，确保监视器允许的频率不高于 HDMI Rx 或视频 DAC 支持的频率（参见表 4）。EDID 镜像可以利用一个列出音频能力的额外 CEA 模块进行扩展，以反映 HDMI2VGA 转换器仅支持线性 PCM 标准的音频。包含所有模块的预备 EDID 数据因此可以向 HDMI 源提供。向热插拔检测线（HDMI 线缆的一部分）发送脉冲后，HDMI 源应从转换器重新读取 EDID。

可以利用一个简单的微控制器或 CPU 来控制整个电路，读取 VGA EDID 并对 HDMI Rx 和音频 DAC/编解码器进行编程。一般不需要控制视频 DAC，因为它没有 I²C 或 SPI 等控制端口。

表 4. HDMI2VGA 转换器需要的更改列表

更改	原因
0x14[7]从 0 变为 1	表示数字输入
检查标准时序信息并视需要更改（字节 0x26 至 0x35）	超过转换器和 HDMI Rx 支持的最大值的时序必须更改为最大时序或较小的时序
检查 DTD（详细时序描述符）（字节 0x36 至 0x47）	超过转换器和 HDMI Rx 支持的最大值的时序必须更改为最大时序或较小的时序（例如，更改为 640 × 480p）
0x7E 设置为 1	EDID 末尾必须增加一个模块
更改 0x7F	必须重新计算从字节 0 到 0x7E 的校验和
增加额外 CEA-861 模块	
0x80 至 0xFF 描述音频	增加 CEA-861 模块以指示音频转换器的能力

内容保护考虑

典型模拟 VGA 不提供内容保护，因此独立转换器不应允许解密内容保护数据，否则最终用户将能访问原始字数据。另一方面，如果该电路是较大器件的组成部分，只要它不允许用户访问未加密的视频流，就可以使用它。

电路示例

示例 VGA 转 HDMI 板使用高性能 8 位显示器接口 [AD9983A](#)，它支持最高 UXGA 时序和 RGB/YPbPr 输入，以及高性能 165 MHz HDMI 发送器 [ADV7513](#)，它支持 24 位 TTL 输入、3D 视频和可变输入格式。利用这些器件可以快速方便地构建一个 VGA2HDMI 转换器。ADV7513 还有一个内置 DE 生成模块，因而不需外部 FPGA 来产生丢失的 DE 信号。ADV7513 也有一个嵌入式 EDID 处理模块，可以自动从 HDMI Rx 回读 EDID 信息，或者手动强制回读。

同样，构建一个 HDMI2VGA 转换器也不是非常复杂。利用低功耗 165 MHz HDMI 接收器 [ADV7611](#) 和三通道、8 位、330 MHz 视频 DAC [ADV7125](#)，可以构建一个高度集成的视频路径。Rx 包括内置的 EDID、用于处理热插拔置位的电路、可以

输出 RGB 4:4:4 的自动 CSC（与接收的颜色空间无关），以及一个支持亮度/对比度调整和同步信号重新对齐的器件处理模块。低功耗音频编解码器 [SSM2604](#) 可以解码立体声 I²S 流，并通过 DAC 以任意音量输出。该音频编解码器的时钟源可以从 ADV7611 MCLK 线获得，不需要外部晶振，配置只需要执行几次写操作。

一个简单的 MCU，例如内置振荡器的精密模拟微控制器 [ADuC7020](#)，就能控制整个系统，包括 EDID 处理、颜色增强和一个带按钮、滚动条、旋钮的简单用户接口。

图 6 和图 7 分别显示 VGA2HDMI 转换器的重要部件——视频数字化仪(AD9983A)和 HDMI Tx (ADV7513)的示例原理图。不包括 MCU 电路。

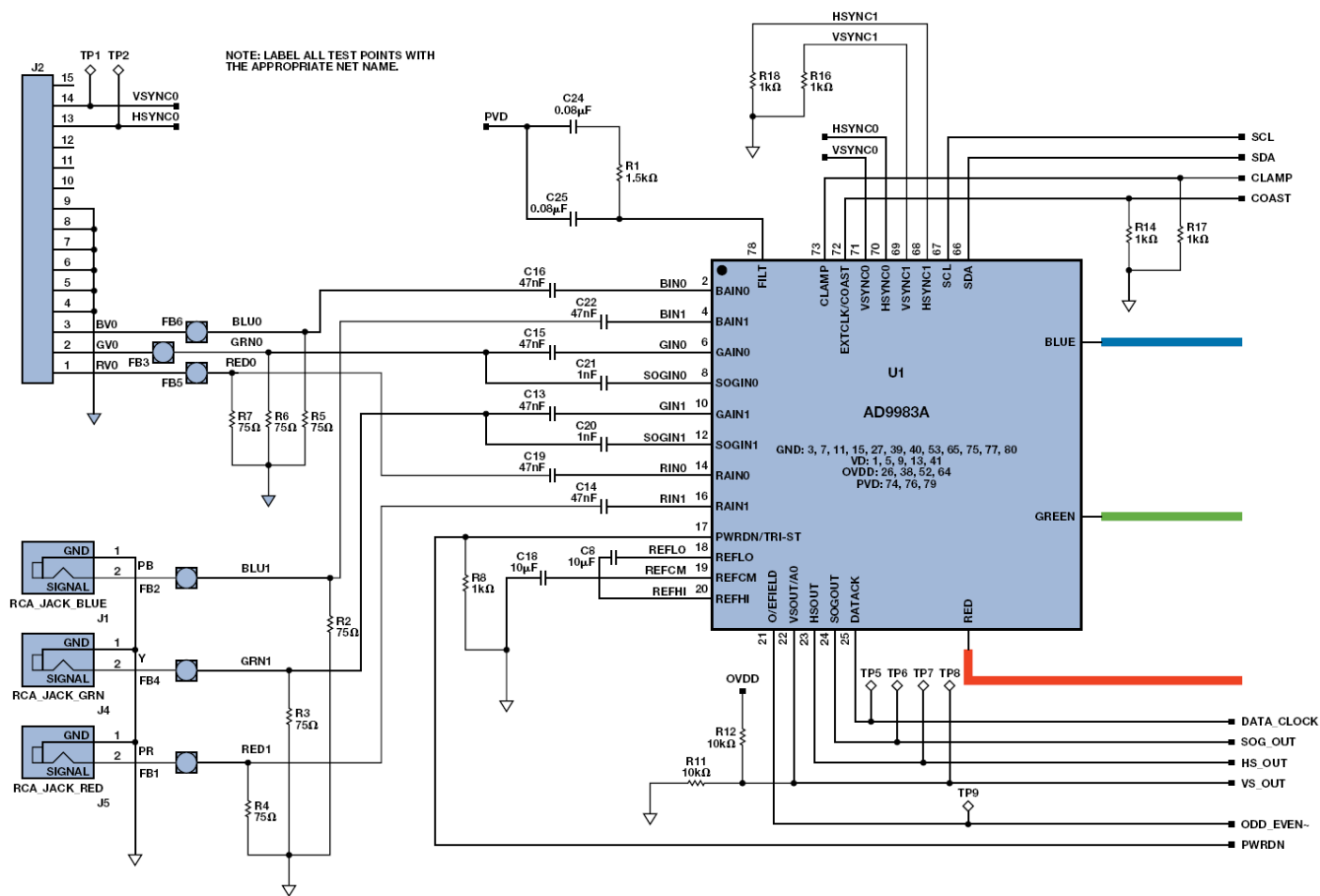
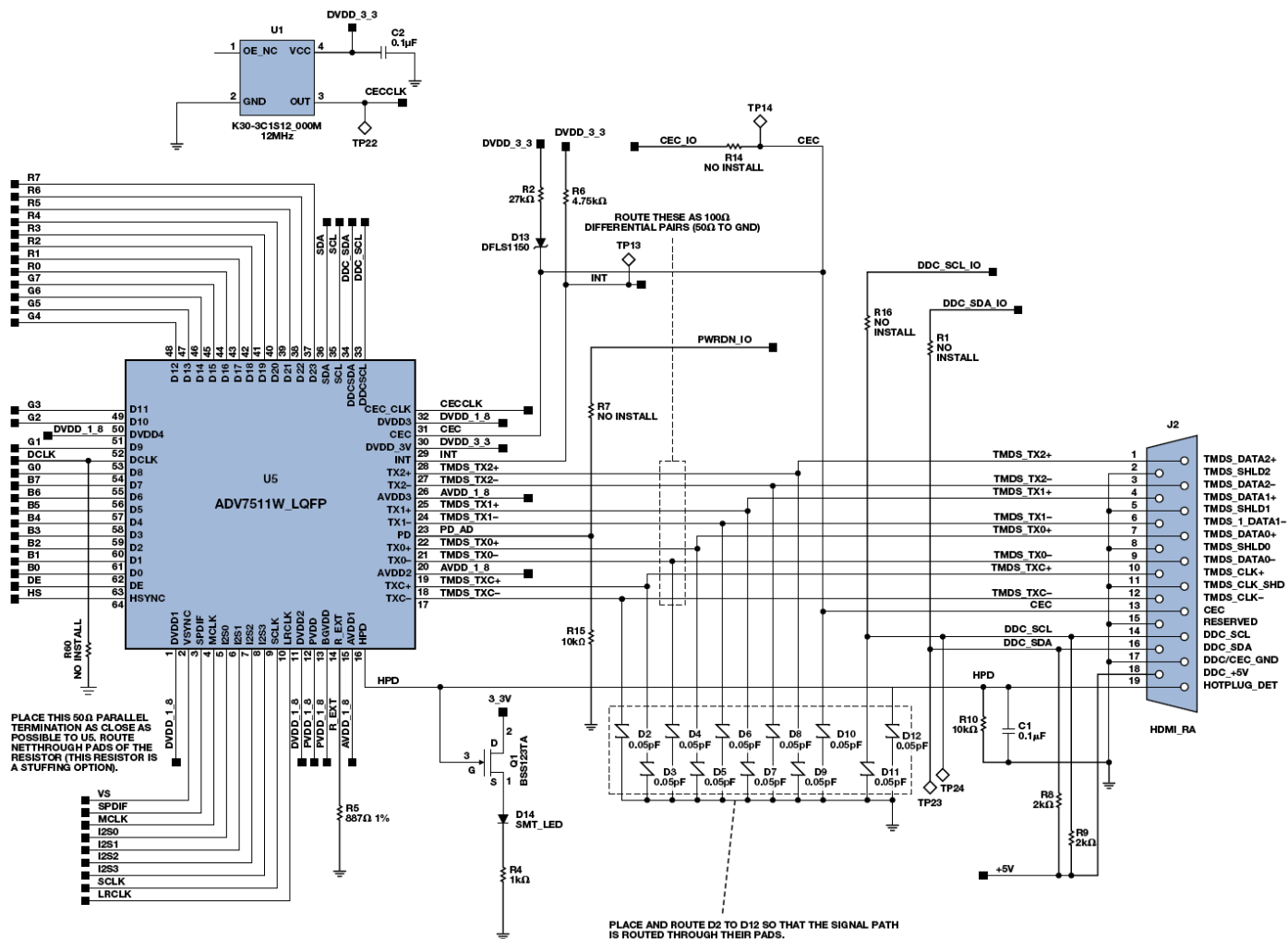


图 6. AD9983A 原理图



结束语

ADI 公司的音频、视频和微控制器器件可以实现高集成的 HDMI2VGA 或 VGA2HDMI 转换器，转换器从 USB 连接器获取的少量电源供电。

两种转换器均表明：利用 ADI 器件，可以轻松实现采用 HDMI 技术的应用。对于应在 HDMI 中继器配置中工作的设备，HDMI 系统复杂度会提高，因为这要求处理 HDCP 协议和整个 HDMI 树。两种转换器均不使用 HDMI 中继器配置。

视频接收器（显示器）、视频发生器（源）和视频转换器等应用要求软件堆栈相对较小，因此可以快速轻松地实现。有关更多信息和原理图，请参阅 ADI 公司的[中文技术论坛](#)网页。

欢迎您在[中文技术论坛](#)上的[模拟对话社区](#)对 **HDMI-VGA 转换**发表评论。

参考文献

A DTV Profile for Uncompressed High Speed Digital Interfaces
(CEA-861-E).

显示器监视时序(DMT)、协同视频时序(CVT)和增强扩展显示识别数据(E-EDID)标准可从 [VESA](#) 获得。

作者簡介

Brett Li [brett.li@analog.com] 于 2006 年加入 ADI 公司，是一名资深应用工程师，负责 ATV 产品和 HDMI 预测实验室。Brett 分别于 1999 年和 2004 年获得北京理工大学电气工程学士学位和博士学位。2004 年至 2006 年，他在 Pixelworks 工作。



Witold Kaczurba [witold.kaczurba@analog.com]
是 ADI 公司高级电视部（爱尔兰利默里克）资深应用工程师，负责支持解码器和 HDMI 产品。2007 年从波兰弗罗茨瓦夫理工大学毕业并获得电气工程硕士学位后，他加入 ADI 公司。学生期间，他曾为小型电子和 IT 公司工作，后来作 ADI 公司（爱尔兰），随后成为应用工程师。

