

参考设计:

**HFRD-28.0**

Rev 1; 8/07

---

---

## 参考设计

# 1Gbps 至 8.5Gbps、有源 SFP 铜缆组件

---

---

Maxim 高频/光纤通信组



*Maxim Integrated Products*

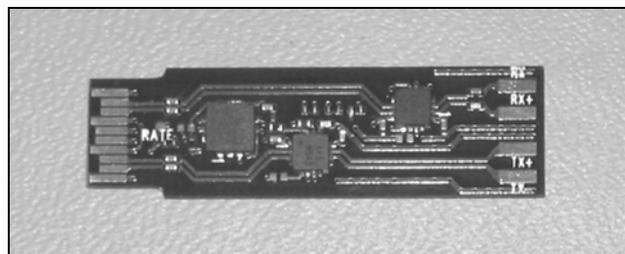


# 1Gbps 至 8.5Gbps、有源 SFP 铜缆组件

## 1 概述

高频参考设计(HFRD)-28.0 是可集成在小外形可插拔(SFP)铜缆组件内的有源发送器和接收器。如果配合 24AWG Amphenol SpectraStrip® SkewClear®电缆使用,在 1Gbps 至 8.5Gbps 速率下,能够支持 10 米传输距离。HFRD-28.0 的发送端口采用 MAX3984 预加重驱动器。可编程控制发送器的预加重,以补偿不同的电缆长度。这种可调节功能使所有 SFP 电缆能够使用同一电路板设计。设置预加重后,数据存储在通过 SFP I<sup>2</sup>C 串口编程、具有 GPIO 的 EEPROM DS28CZ04 内。另一 MAX3984 用作电缆接收。

HFRD-28.0 提供完整的技术文档、性能评估和完全安装的电路板,降低了有源电缆组件实验的风险,避免了可行性研究中的琐碎问题,不需要花费精力构建电路板,而是直接进入实验阶段,提前验证产品的设计指标!



### 1.1 特性

- 原理图
- 材料清单
- Gerber 文件
- SFP 和 SFP+兼容性
- 单电源 3.3V 供电
- 725mW 功耗
- 可编程发送器预加重
- 全面支持 SFP 串行接口
- PCB (HFRD-28.0)支持多种 SFP 架构
- 在 8.5Gbps 速率下支持 10 米 24AWG 电缆传输
- 经过完全装配和测试
- 不包括电缆和 SFP

## 2 获取更多信息

可以提供数量有限的 1Gbps至 8.5Gbps铜缆SFP板 (HFRD-28.0)。了解关于参考设计的详细信息或索取已装配的电路板,请于太平洋时间上午 8 点至下午 5 点致电 (503) 547-2391,或发电子邮件至: [strategicapps@maximhq.com](mailto:strategicapps@maximhq.com) (English only)。

*SpectraStrip* 和 *SkewClear* 是 Amphenol Corporation 的注册商标。

### 3 参考设计详细说明

HFRD-28.0 1Gbps 至 8.5Gbps SFP 铜缆收发器功能框图如图 1 所示。完整的原理图在本文后续章节介绍。

主要元件包括：

- MAX3984 预加重驱动器，用于发送器电缆驱动。
- MAX3984 预加重驱动器，用于接收器主板驱动。
- DS28CZ04 I<sup>2</sup>C 接口 EEPROM，带有通用输入/输出接口(GPIO)。

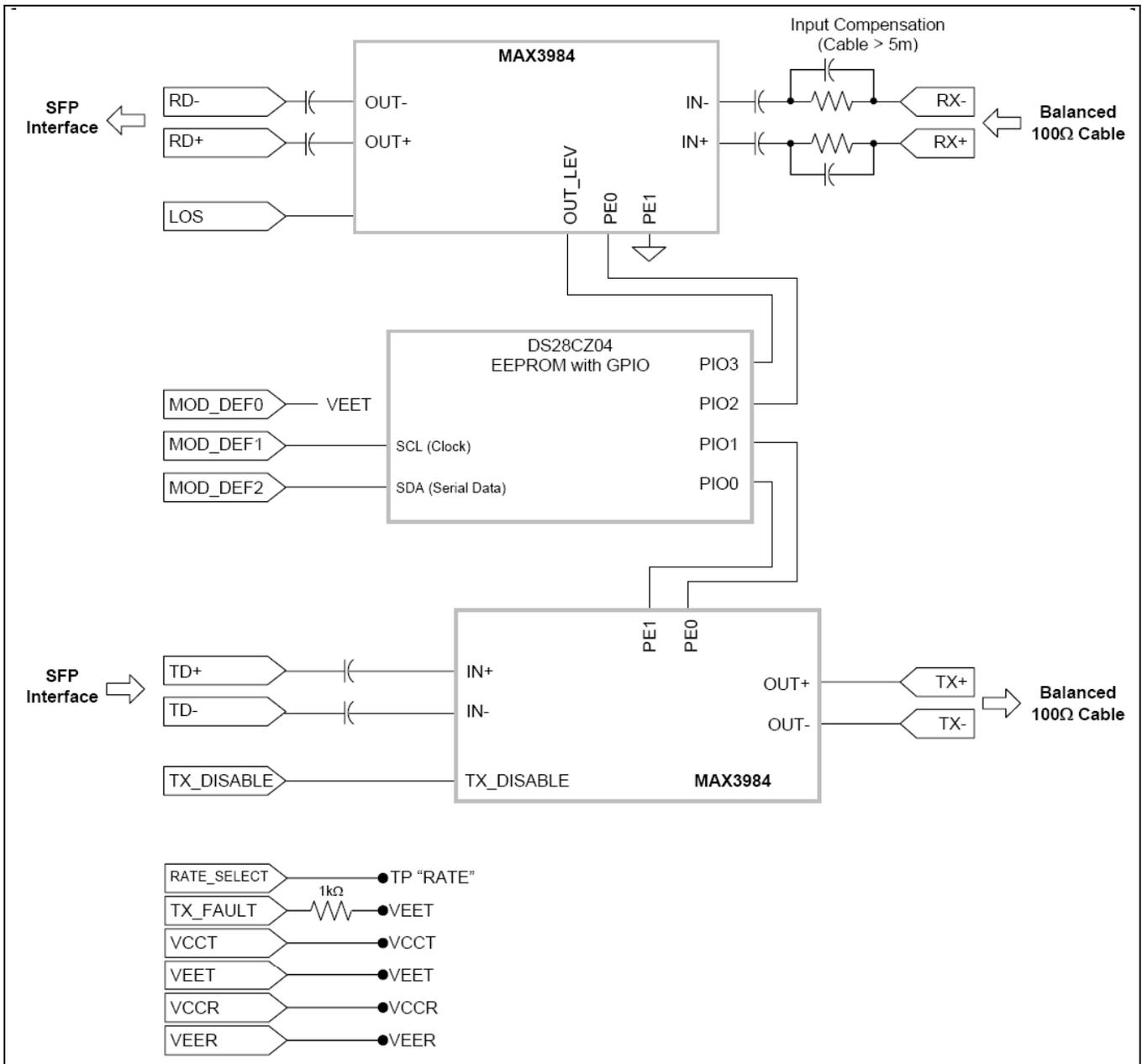


图 1. HFRD-28.0 功能框图

## 4 有源铜缆组件

在电路板布局中有一块不含任何元件和布线的“空白”区域。尽管 SFP 模块的外形尺寸由多源协议规定，但不同模块供应商所提供的产品内部设计不同，如不同的冲头、安装区、开槽和接头等。HFRD-28.0 的“空白”区域可以方便模块组装。图 2 所示电路板带手工切槽，以适合 SFP 金属封装(没有包含在 HFRD-28.0 中)。SFP 封装是

Methode 生产的无源组件 (型号为 IB-160-50)，由制造商在 Beaverton, Oregon 的代理“ All American”提供。电缆为 Amphenol 生产的 24 AWG 双绞线, SpectraStrip SkewClear。本设计也可以使用其它规格的电缆，但由于标准不同，损耗特性也不同。例如，28AWG 预计在 8.5Gbps 的损耗要比 24AWG 高出大约 1.4 倍。也可以通过传输距离比较损耗。使用 24AWG 电缆时，最大传输距离比 28AWG 长 40%。

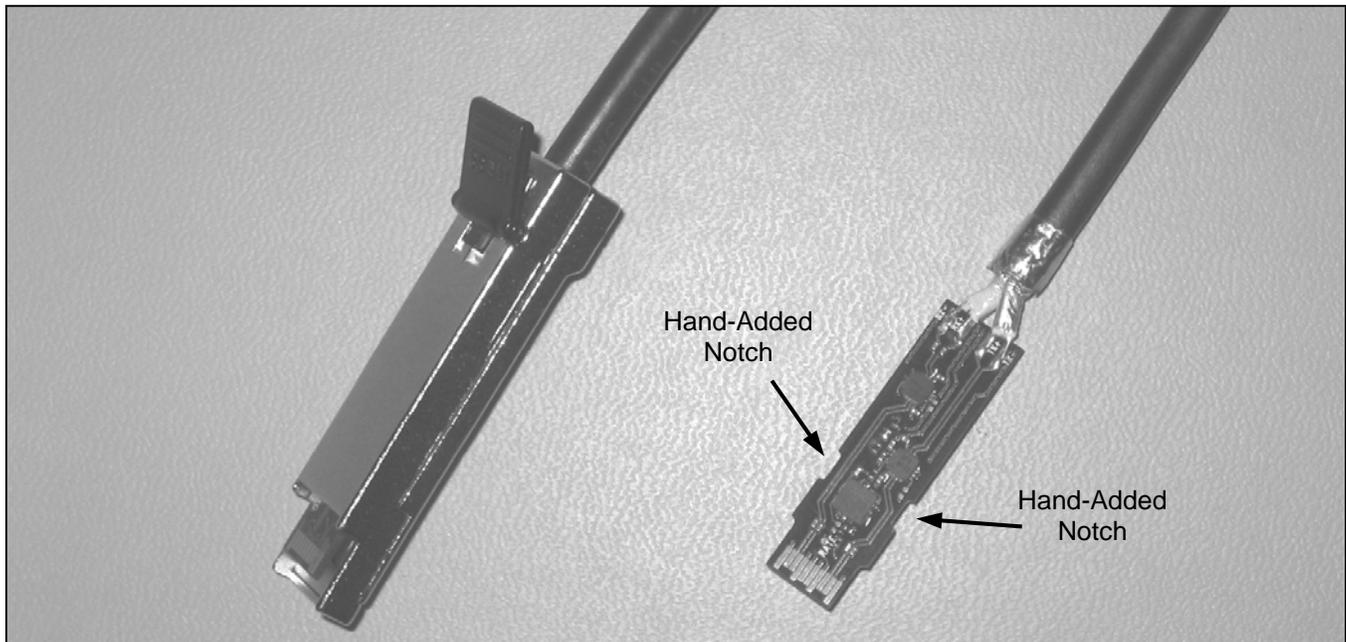


图2. 带有机架 (左侧)的有源电路板(右侧)为全功能 SFP 铜缆收发器，这种机械设计允许沿电路板长边定制开槽和安装区，厚度为 1mm。

## 4.1 电缆发送器, MAX3984

图 3 是MAX3984的功能框图，MAX3984作为电缆发送器，针对不同的长度电缆可以提供4级预加重补偿，2级可选择的输出摆幅。检测到输入信号幅度过低时，触发信号丢失 (LOS) 指示。内部

通道的信号检测器在检测到没有足够的输入信号时关断输出，MAX3984的数据输入(IN+, IN-)具有可选择的(on/off)均衡，足以补偿8.5Gbps信号在10英寸FR4板上的传输。

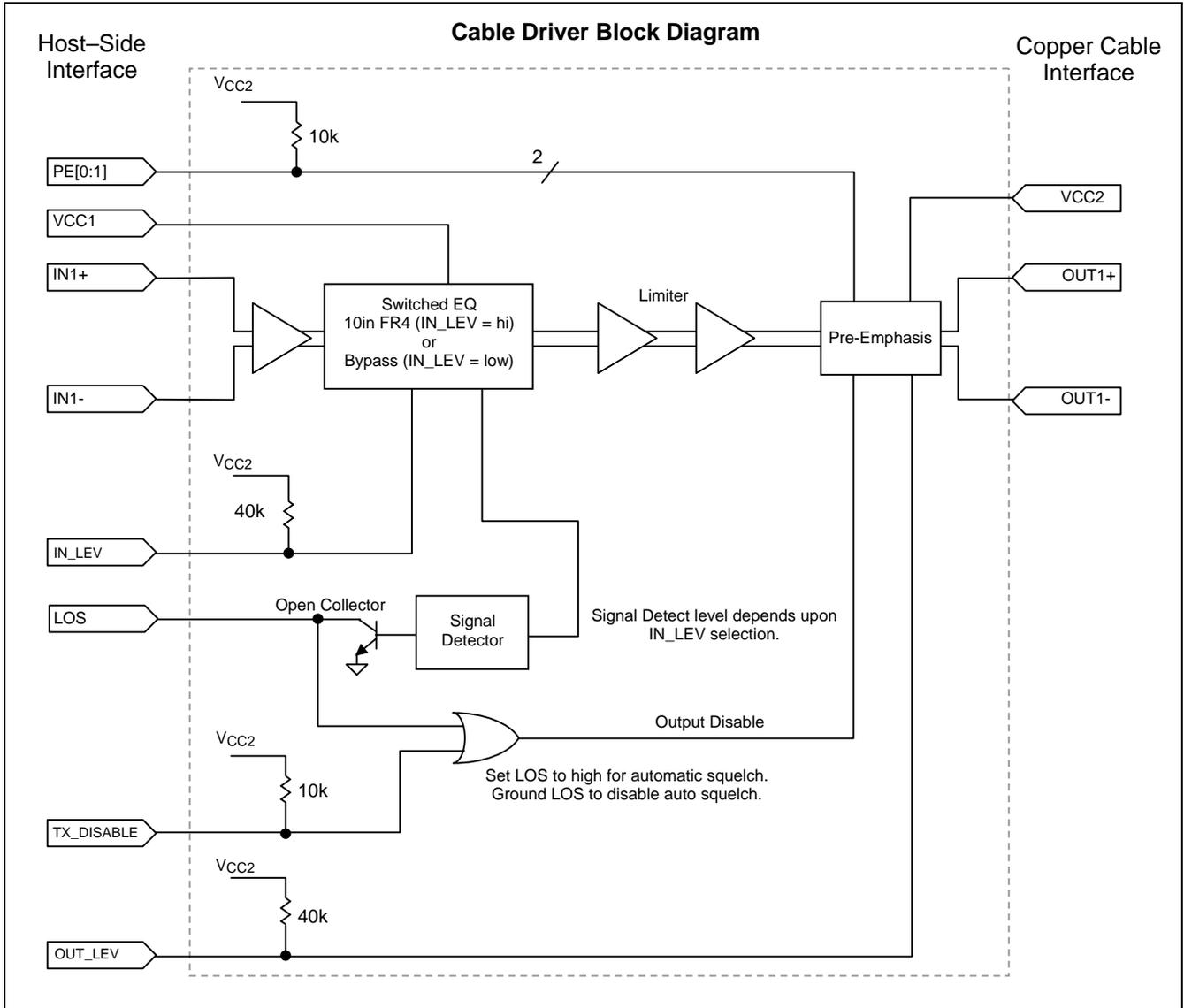


图 3. MAX3984 提供可调整的预加重，用于补偿 10 米 24AWG 电缆。

## 4.2 串行控制接口, DS28CZ04

SFP 串行接口由 EEPROM DS28CZ04 的 I<sup>2</sup>C 接口提供, DS28CZ04 包含一个串行 I<sup>2</sup>C/SMBus™ 接口、4k 位 EEPROM、4 个双向通用端口 (GPIO)。DS28CZ04 能够在标准或快速模式下通过 I<sup>2</sup>C 接口与主处理器通信。器件具有 512 字节存储器, 排列成 2 个 256 字节存储区 (低段、高段)。存储器映射和器件地址与 SFF-8472 数字诊断地址分配一致。整个 EEPROM 可以通过将 WP 拉到 V<sub>CC</sub> 实现写保护。DS28CZ04 包含几个 EEPROM 寄存器, 允许用户定义以下上电缺省条件: 独立的 GPIO 输出状态 (例如: 高电平或低电平)、独立的 GPIO 数据方向 (例如: 输入或输出)、独立的 GPIO 输出类型 (例如: 推挽或开漏输出) 以及独立的 GPIO 读数据反向 (例如: 真或伪)。上电后, GPIO 的设置可以通过 SRAM 重写, 不会影响上电缺省值。

本应用中, DS28CZ04 配置成所有 GPIO 端口为开漏输出。其中两个输出控制送入电缆的信号 的 4 级预加重, 其它 GPIO 控制驱动到主板的 2 级预加重调节 (例如, SFP 接口处的 RX+ 和 RX-), 最后一个 GPIO 控制驱动到主板的信号幅度。

其它信息, 请参考 DS28CZ04 数据资料, 可从网站: [www.maxim-ic.com.cn](http://www.maxim-ic.com.cn) 下载。

## 4.3 电缆接收器, MAX3984

本设计的接收部分也采用了 MAX3984, MAX3984 恢复信号幅度并为 SFP 接口提供一个信号丢失 (LOS) 状态位, 当输入信号跌落到一个预设值以下置位 LOS 状态位。MAX3984 输入端的 RC 峰化网络 (R = 39、C = 22pF) 有助于延长电缆长度, 输出预加重用于补偿主板端连接器产生的抖动和眼图闭合。

*SMBus 是 Intel Corporation 的商标。*

## 4.4 配置选择

利用参考设计可以方便评估不同配置下的性能, 以下讨论相关的配置。

### 4.4.1 发送器输出电平

MAX3984 驱动电缆的输出电平由 R1 设定, 去掉 R1 设定最大输出 1100mV<sub>P-P</sub>, 安装 R1 则将输出限制在 900mV<sub>P-P</sub>。详细信息请参考 **控制寄存器** 部分。

### 4.4.2 发送器预加重控制

MAX3984 电缆驱动的预加重由 DS28CZ04 的输出端口 PIO0 和 PIO1 控制, 可以设置为 3dB、6dB、9dB 和 12dB。细节信息请参考 **控制寄存器** 部分。

### 4.4.3 接收器输出电平

MAX3984 驱动到主板的输出幅度由 DS28CZ04 控制, 输出端口 PIO3 可以设置为逻辑 1, 得到最大输出 1100mV<sub>P-P</sub>, 或设置为逻辑 0, 得到最小输出 900mV<sub>P-P</sub>。详细信息请参考 **控制寄存器** 部分。

### 4.4.4 接收预加重控制

MAX3984 驱动主板的预加重由 DS28CZ04 的输出端口 PIO2 控制, 设置为 3dB 或 6dB。

### 4.4.5 写保护控制

电阻 R8、R9 决定了 DS28CZ04 的写保护状态, 去掉 R8、安装 R9 使能 DS28CZ04 的编程; 安装 R8、去掉 R9, 可保护 DS28CZ04 的存储器内容。

## 5 控制寄存器

### 5.1 上电缺省设置

DS28CZ04 在寄存器 76h 和 77h 为 GPIO 装载初始条件，这些寄存器决定输出类型、数据传输方向和输出逻辑状态。以下表格中，“X”表示无关状态，可以为 0，也可以为 1。

接收器输出电平设置(B3)，置 1 得到 1100mV<sub>P-P</sub> 输出；置 0 得到 900mV<sub>P-P</sub> 输出。此输出电平包括预加重和主板 SFP 12、13 引脚 (RX-和 RX+)的驱动。

接收预加重电平设置(B2)，置 1 选择 6dB 预加重；置 0 选择 3dB 预加重。控制主板 SFP 第 12、13 引脚 (RX-和 RX+)信号的预加重。

发送预加重电平 (B1、B0)，置为 1、1 时选择最大预加重 12dB；置为 1、0 时选择 9dB 预加重；置为 0、1 时选择 6dB 预加重；置为 0、0 时选择最小预加重 3dB。控制电缆驱动信号的预加重。

表 1. 上电缺省设置

Hex Address	B7 (msb)	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0 (lsb)
76	0	0	0	0	Rx output level	Rx pre-emphasis level	Tx pre-emphasis level (msb)	Tx pre-emphasis level (lsb)
77	1	1	1	1	X	X	X	X

### 5.2 运行时间变量

上电缺省设置装载后，每个输出状态可以通过表 2 寄存器重新设置。

表 2. 运行时间设置

Hex Address	B7 (msb)	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0 (lsb)
7C	X	X	X	X	1	1	1	Tx pre-emphasis level (lsb)
7D	X	X	X	X	1	1	1	Tx pre-emphasis level (msb)
7E	X	X	X	X	1	1	1	Rx pre-emphasis level
7F	X	X	X	X	1	1	1	Rx output level

## 6 评估

### 6.1 测试装置

图 4 是测试装置连接图，Agilent 的 ParBERT® 模板发生器提供 2.5Gbps 的 “aggressor” 信号，

PRBS 2<sup>7</sup>-1 模板；利用 Agilent 的 70843B 提供 “victim” 信号，SFP 主板至 SMA 适配板 (HFRD-15.3) 连接在实验设备和电缆组件之间，Tektronix CSA8000 示波器监测眼图。

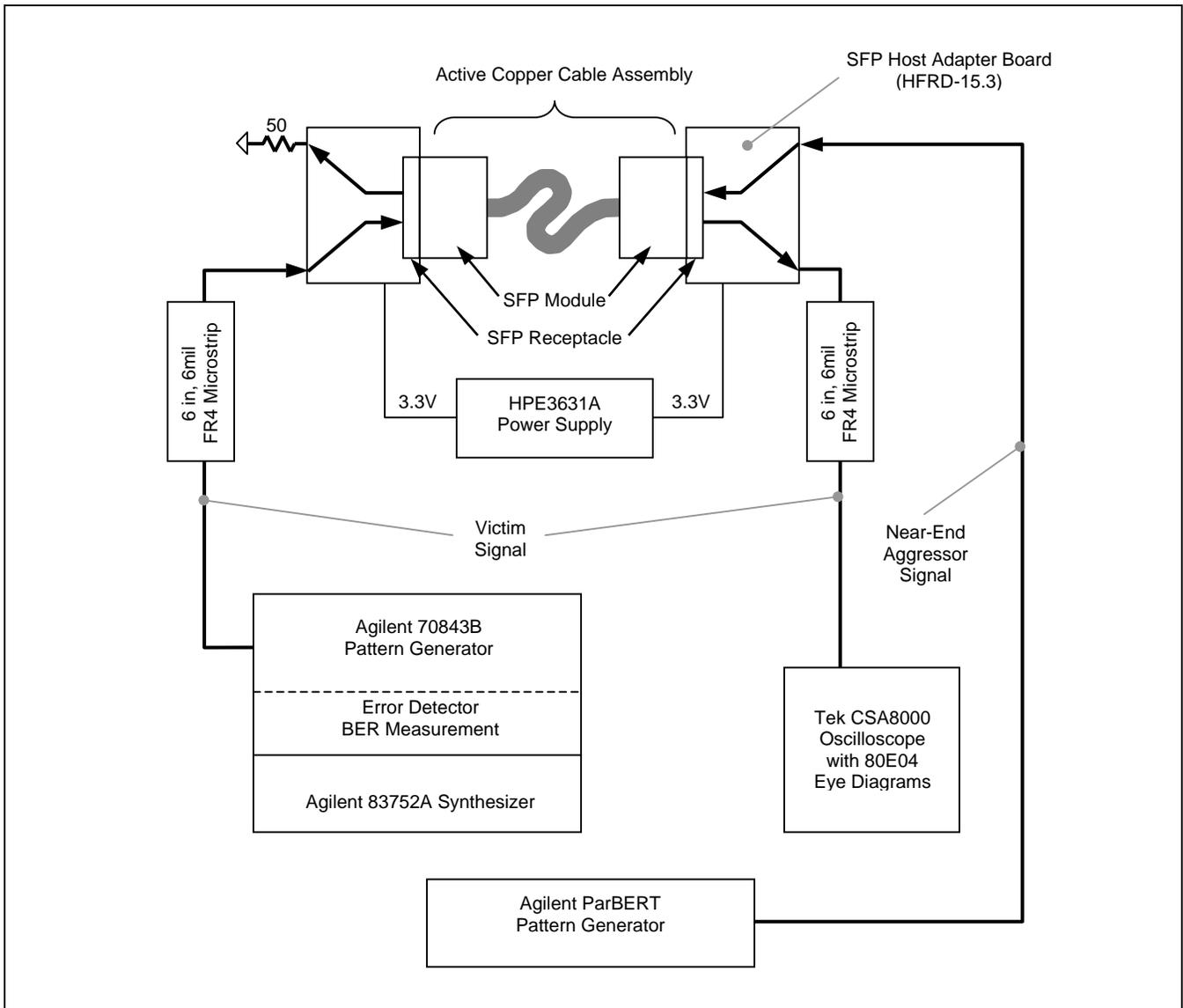


图 4. 测试装置

ParBERT® 是 Agilent Technologies Inc. 的商标。

## 6.2 结果

### 6.2.1 最小和最大输入

SFP 模块可以接受  $500\text{mV}_{\text{P-P}}$  至  $2400\text{mV}_{\text{P-P}}$  的差分驱动幅度，最近设计的更高速率的 SFP 模块输入灵敏度和过载能力都有所变化，对于低速率应用，必须能够接受  $2400\text{mV}_{\text{P-P}}$  的差分驱动；对于  $8.5\text{G}$  速率，发送端的输入过载降低到了  $700\text{mV}_{\text{P-P}}$ ，图 5 是经过 10 米电缆组件后接收到的信号。远端发送器驱动为  $360\text{mV}_{\text{P-P}}$ 。图 6 给出

发送器由  $1200\text{mV}_{\text{P-P}}$  信号驱动时的电缆输出，两种情况没有明显差异。测试基于  $8.5\text{Gbps}$  PRBS  $2^7-1$  模板。另外，上述测试采用  $1000\text{mV}_{\text{P-P}}$  干扰信号 (靠近接收输出) 仿真双向传输，近端存在干扰时，可以得到优异的  $8.5\text{Gbps}$  端到端测试性能。

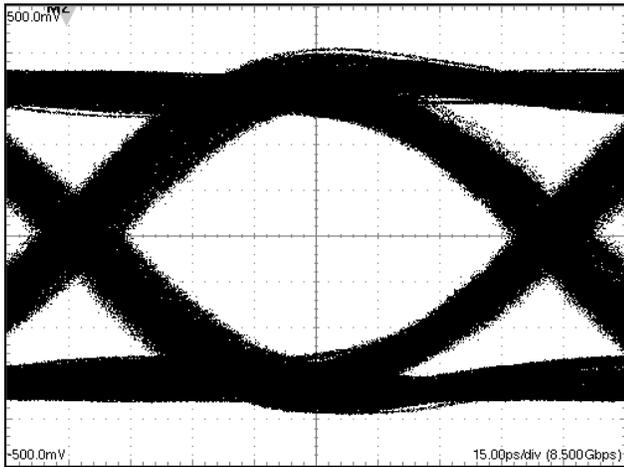


图 5. SFP 在  $8.5\text{Gbps}$  速率下的输出， $360\text{mV}_{\text{P-P}}$  远端数据源， $1000\text{mV}_{\text{P-P}}$  近端串扰作用在 SFP 收发器输入

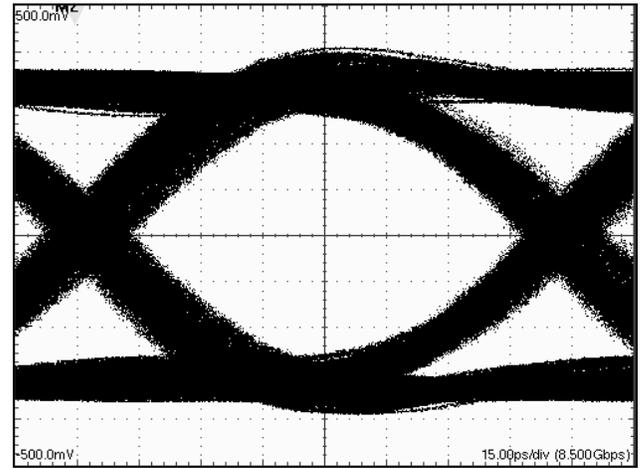


图 6. SFP 在  $8.5\text{Gbps}$  速率下的输出， $1200\text{mV}_{\text{P-P}}$  远端数据源， $1000\text{mV}_{\text{P-P}}$  近端串扰作用在 SFP 收发器输入

### 6.3 发送器性能

图 7 给出了不同电缆长度、不同预加重设置下的眼图，从该图可以看出：电缆越长，需要的预加重越大。MAX3984 控制位 PE0 和 PE1 分别连接

在 DS28CZ04 的 PIO0 和 PIO1。去掉 R1 设置最大摆幅电缆发送信号。加入接收器后，所得到的放大和恢复信号如图 8 所示。

以下数据来自 MAX3984 驱动的 24AWG 电缆输出。

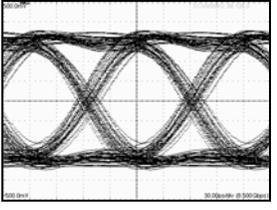
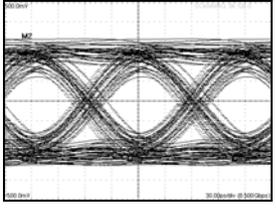
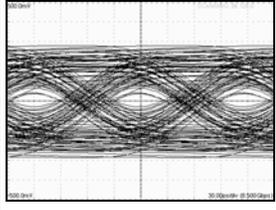
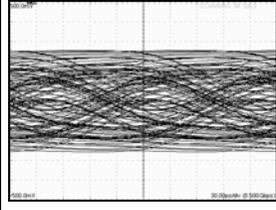
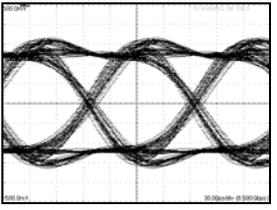
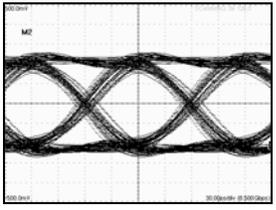
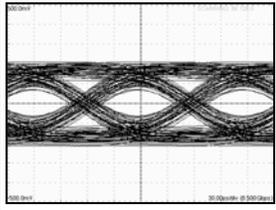
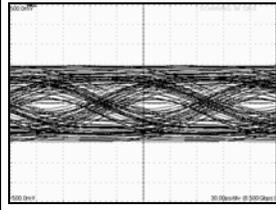
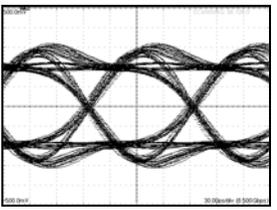
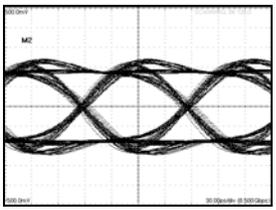
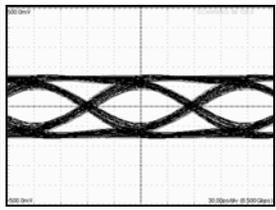
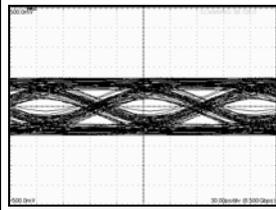
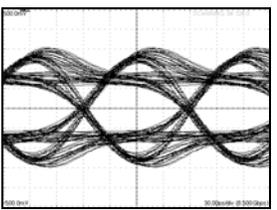
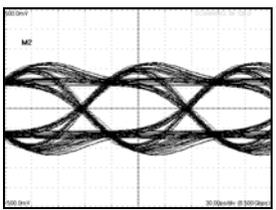
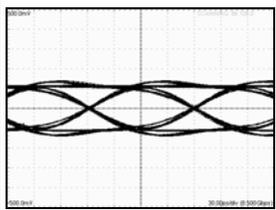
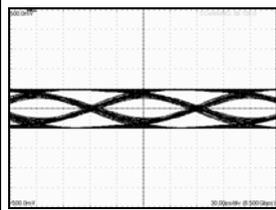
	R1 (PE1)	R0 (PE0)	3m, 8.5Gbps	5m, 8.5Gbps	7.5m, 8.5Gbps	10m, 8.5Gbps
Minimum Pre-Emphasis	0	0	 ⇆440mV ⇆90ps	 ⇆280mV ⇆69ps	 ⇆50V ⇆45s	 ⇆0V ⇆0ps
		1	 ⇆420mV ⇆96ps	 ⇆300mV ⇆84ps	 ⇆120mV ⇆75ps	 ⇆0V ⇆0ps
Maximum Pre-Emphasis	1	0	 ⇆340mV ⇆102ps	 ⇆280mV ⇆93ps	 ⇆160mV ⇆93ps	 ⇆60mV ⇆60ps
		1	 ⇆220mV ⇆102ps	 ⇆200mV ⇆96ps	 ⇆180mV ⇆105ps	 ⇆90mV ⇆84ps

图 7. MAX3984 预加重设置 (PE1、PE0) 与电缆输出(没有接收器的情况)，垂直方向眼图开度用⇆表示，水平方向眼图开度用⇆表示。所显示的波形基于相同刻度，横向刻度 = 300ps、纵向刻度 = 1000mV。测试模板为 PRBS 2<sup>7</sup>-1，发送器输出设置到最大摆幅，去掉 R1。眼图利用 TEK CSA8000、FrameScan™ 测试。

FrameScan 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。

完整的有源电缆装配电路输出，电缆两端使用 HFRD-28.0。眼图为模块的接收器输出，电缆接收器设置为最大输出摆幅，最小预加重。

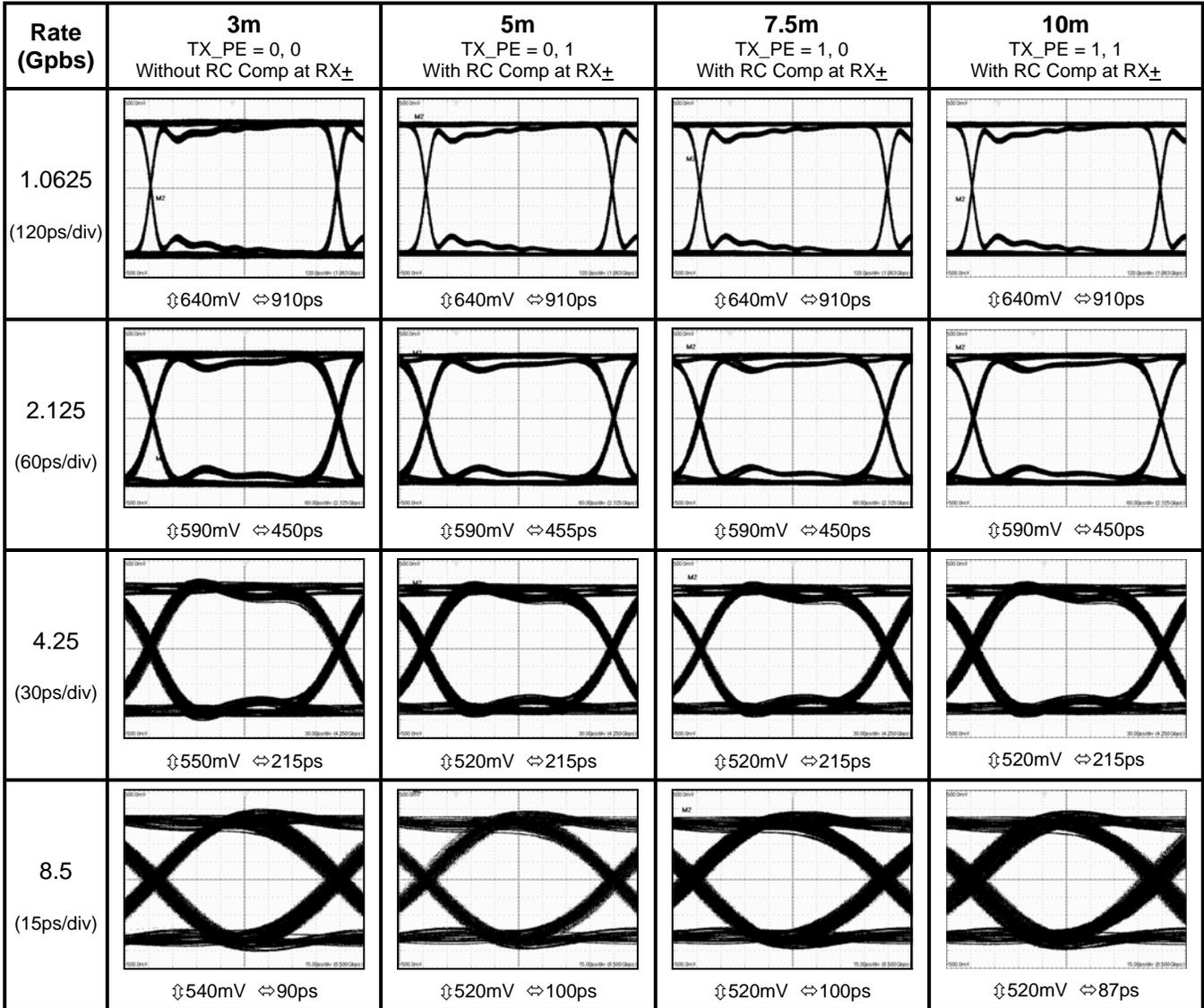


图 8. 没有干扰时的 SFP 输出，垂直方向刻度为 1000mV，模板是 PRBS  $2^7-1$ ，眼图由 TEK CSA8000 示波器测试，连续测试 2000 个波形。

# 7 支持文档

## 7.1 HFRD-28.0 原理图

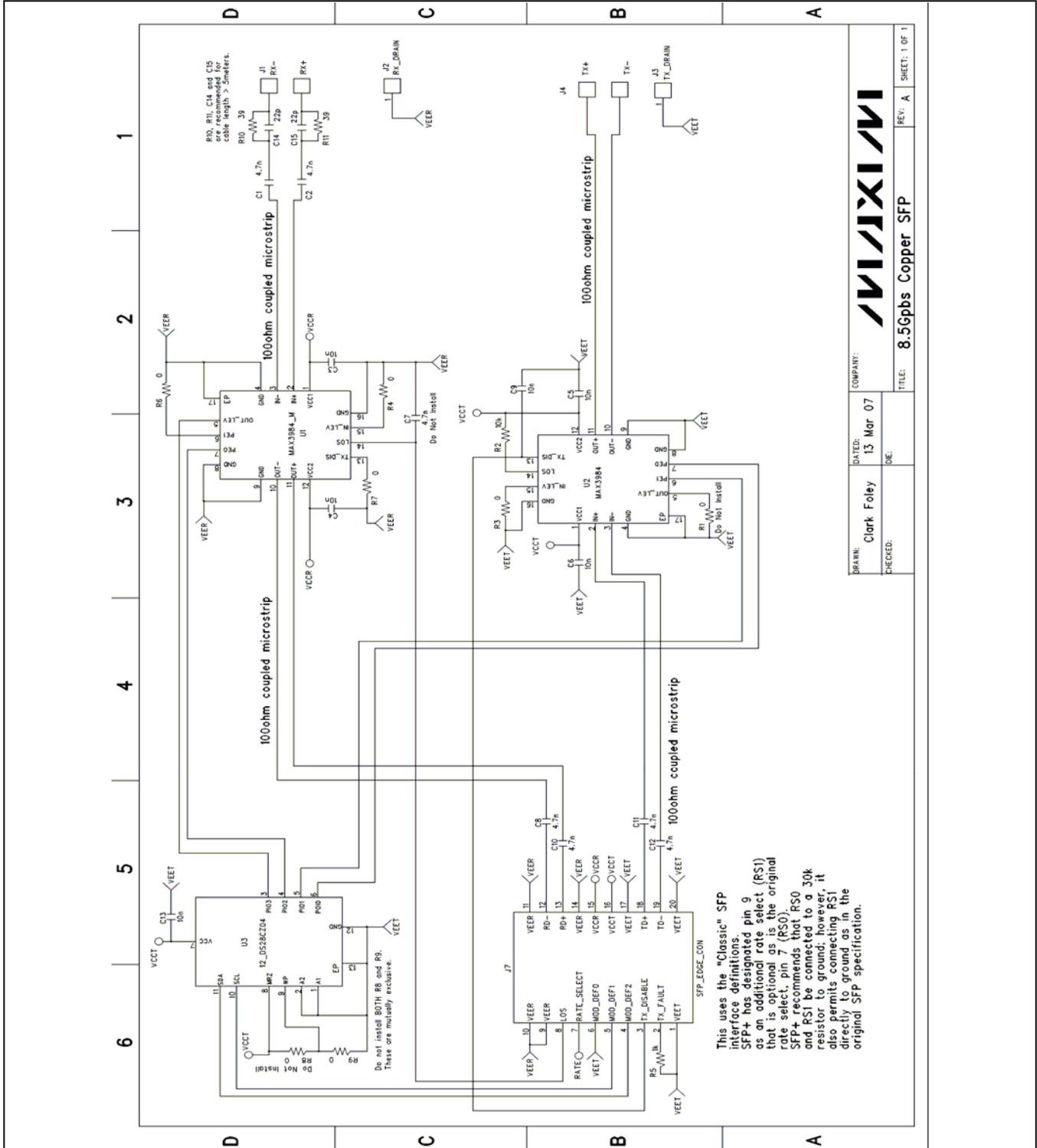


图9. HFRD-28.0 原理图

## 7.2 HFRD-28.0 布局

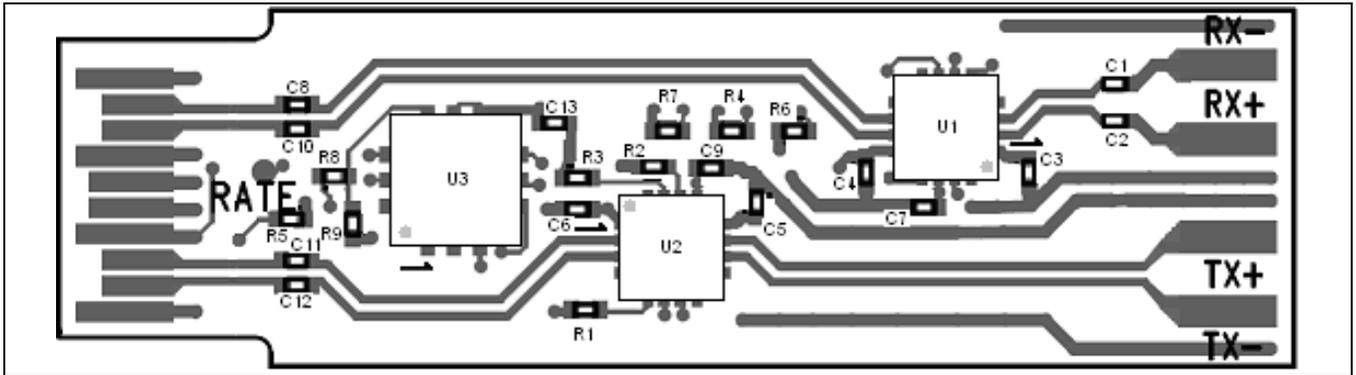


图 10. 参考设计的元件装配图(顶层)

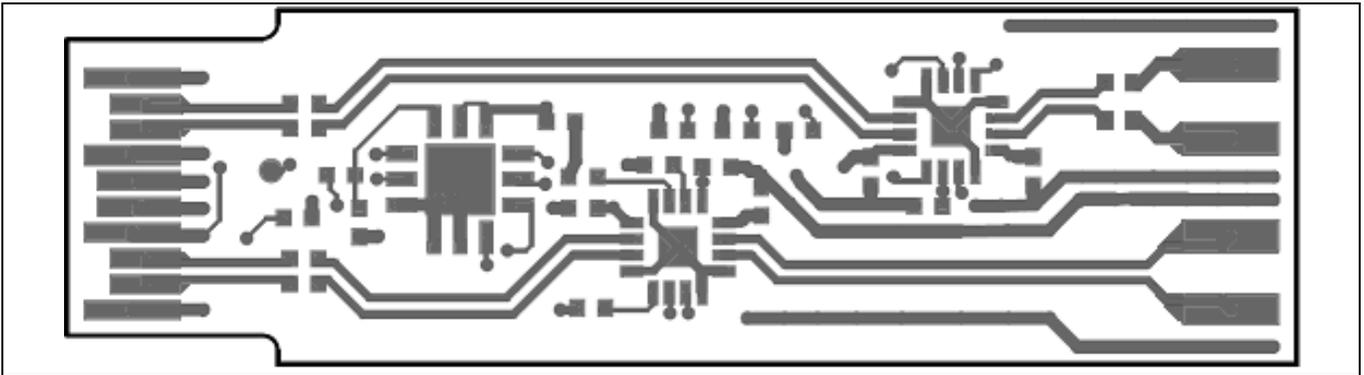


图 11. 第 1 层(顶层)

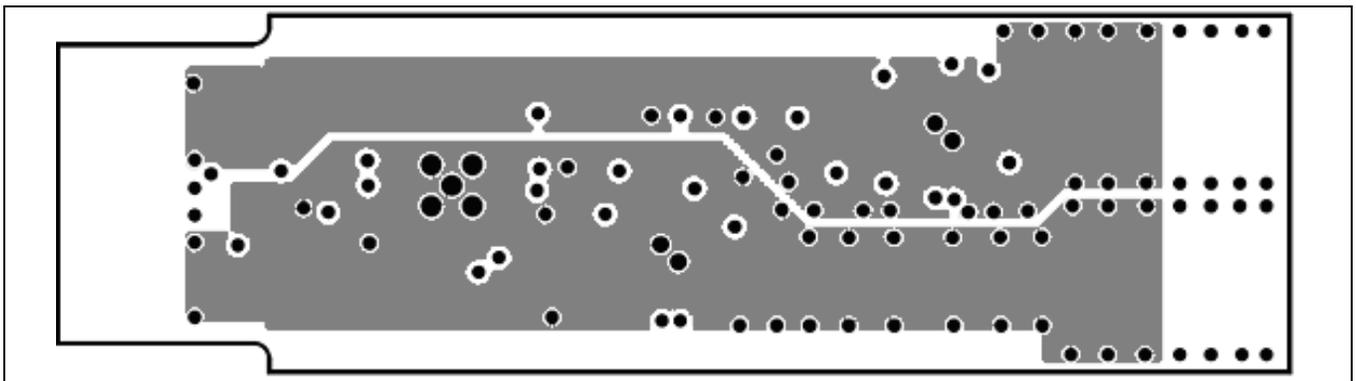


图 12. 第 2 层, 顶层传输线的参考地

## HFRD-28.0 布局 (续)

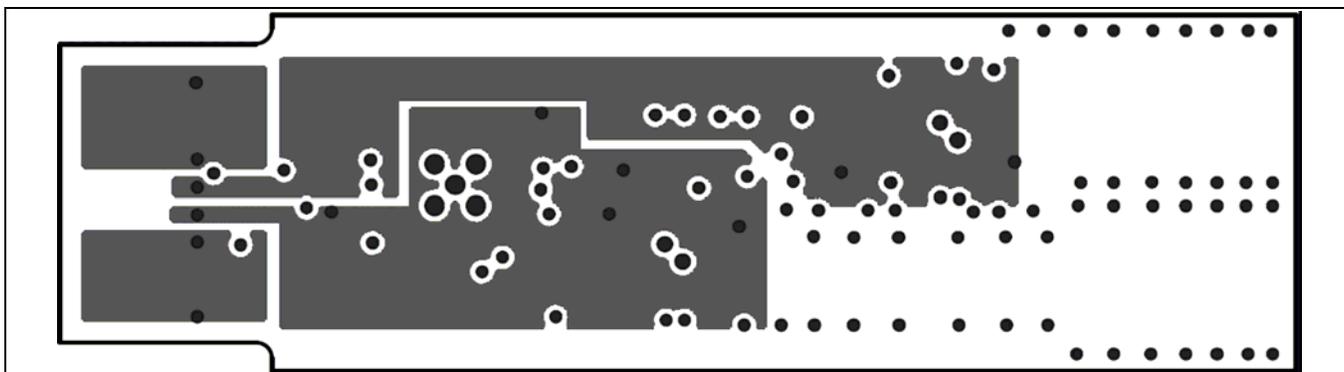


图 13. 第 3 层, 3.3V 电源层

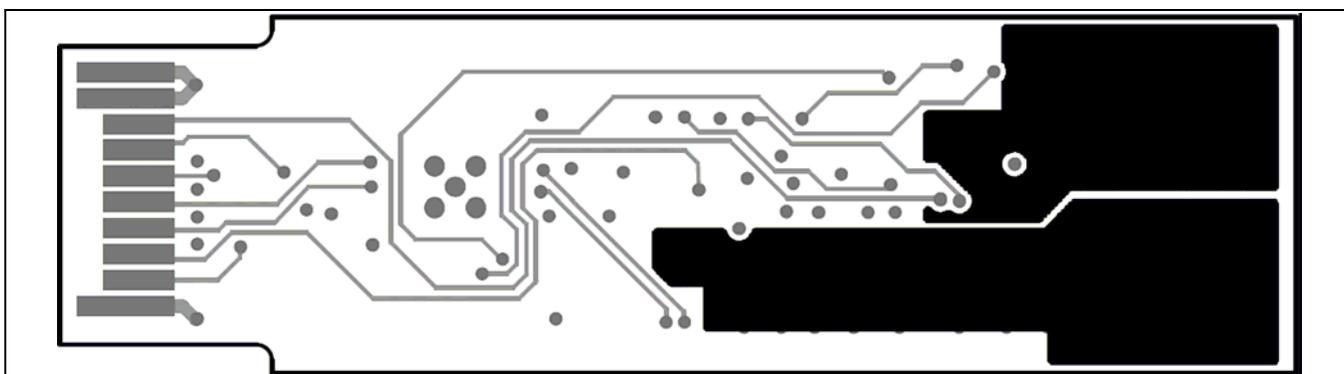


图 14. 第 4 层 (底层), 顶视图, 两个大面积覆铜区域为电源回路, 并用于两个 MAX3984 的散热

### 7.3 元件布局

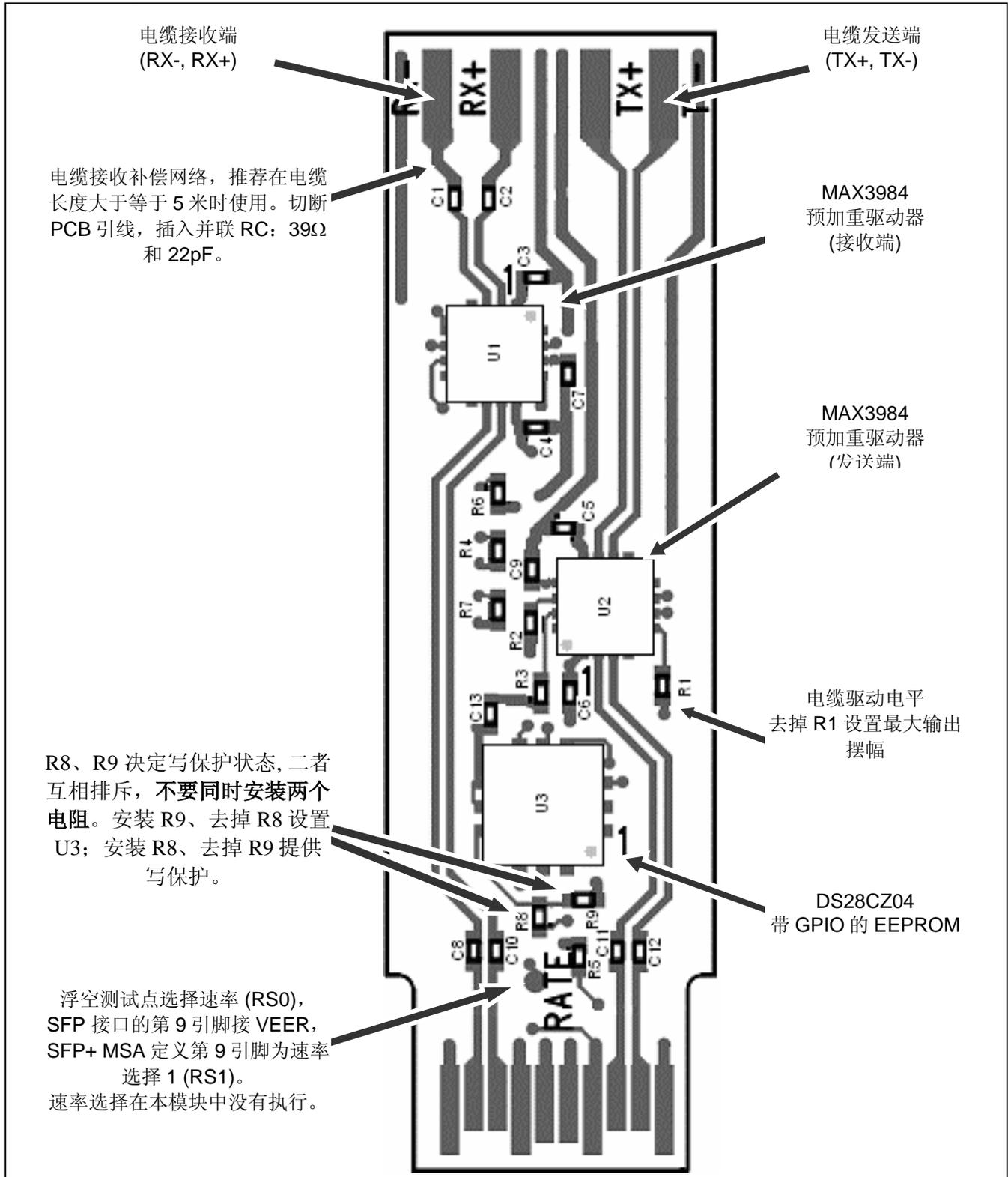


图 15. 顶层元件布局图

## 7.4 机械尺寸

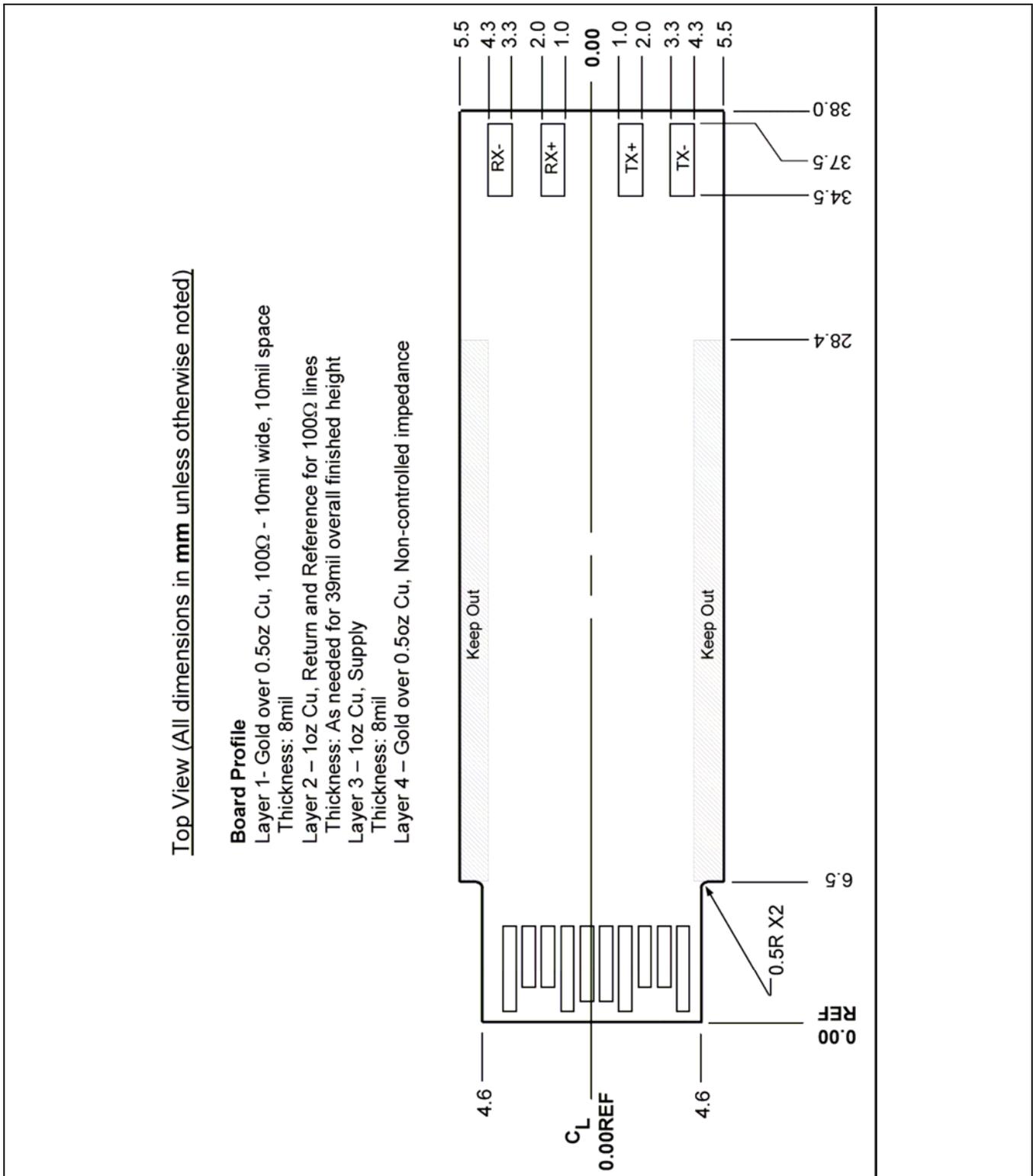


图 16. 尺寸图，“空白”区域没有引线和元件，可以开槽安装固定器，放置焊盘

## 7.5 HFRD-28.0 材料清单

有几个 0Ω 电阻用于不同配置，本参考设计出厂时采用以下配置：

1. R8 没有安装，只安装了 R9。没有写保护设置，允许编程、存储信息至 EEPROM。
2. R1 没有安装，使 U2 在电缆输入端提供最大输出摆幅。
3. 编程 DS28CZ04，Rx 输出最大摆幅驱动主板，设置最小 Rx 输出预加重驱动主板，最大预加重驱动电缆。

## 7.6 附加材料 (不含)

### 7.6.1 电缆

推荐使用 Amphenol SpectraStrip SkewClear 24AWG 100Ω屏蔽电缆，型号为 166-2499-997。

表 5. BOM 列表

Reference	Quantity	Value	Tolerance (%)	Voltage (V)	Description
C3, C4, C5, C6, C9, C13	6	10nF	10	25	Ceramic capacitor X7R (0402)
C1, C2, C8, C10, C11, C12	6	4.7nF	10	25	Ceramic capacitor X7R (0402)
C7	<b>Not Installed</b>	4.7nF	10	25	Ceramic capacitor X7R (0402)
C14, C15	2 (Optional)	22pF	10	25	Ceramic capacitor X7R (0402) Optional compensation. Use with R10 and R11.
R10, R11	2 (Optional)	39	5		Resistor (0402) Optional compensation. Use with C14 and C15.
R1, R8	<b>Not Installed</b>	0			Resistor (0402)
R3, R4, R6, R7, R9	5	0			Resistor (0402)
R2	1	10k	5		Resistor (0402)
R5	1	1K	5		Resistor (0402)
U1, U2	2				MAX3984UTE cable driver with selectable pre-emphasis and input equalization.
U3	1				DS28CZ04 I <sup>2</sup> C EEPROM with GPIO control