

## 摘要

本应用手册介绍了电磁兼容性 (EMC) 测试, 包括对 IEC 61000-4-x 和 CISPR 11 测试标准的简要介绍, 以及其规定的测试设置。在本设计中, 通过光纤从 ADS8686S EMC 测试板收集数据的测试方案已被证明是可靠和可行的。测试结果还证明了一种基于 ADS8686S、EMC 性能优异的设计解决方案, 可适用于工业应用。该测试方法和数据收集解决方案可用于精密 ADC 系统任何类似的 IEC 61000-4-x 和 CISPR 11 测试。

## 内容

1 引言.....	3
2 电路设计和测试系统.....	4
2.1 设计说明.....	4
2.2 测试系统.....	7
2.3 标准和测试准则.....	8
3 测试细节和结果.....	9
3.1 电快速瞬变 (EFT).....	9
3.2 静电放电 (ESD).....	11
3.3 浪涌抗扰度 (SI).....	13
3.4 传导抗扰度 (CI).....	15
3.5 辐射抗扰度 (RI).....	16
3.6 辐射发射 (RE).....	18
4 原理图.....	23
5 PCB 布局.....	29
6 物料清单.....	32
7 鸣谢.....	34
8 参考文献.....	34
9 修订历史记录.....	34

## 插图清单

图 1-1. ADS8686S EMC 测试板.....	3
图 2-1. ADS8686S EMC 测试板电路.....	5
图 2-2. PCB 布局布线设计 - 内负层上的平面边缘.....	6
图 2-3. EMC 测试通用设置.....	7
图 3-1. EFT 测试的实验室设置图.....	9
图 3-2. EFT 测试的实验室设置照片.....	10
图 3-3. ESD 测试的实验室设置图.....	11
图 3-4. 分别使用 ESD 枪 1 和 ESD 枪 2 向 HCP 和 VCP 放电.....	12
图 3-5. ESD 测试的实验室设置照片.....	12
图 3-6. 浪涌测试的实验室设置图.....	13
图 3-7. 浪涌测试的实验室设置照片.....	14
图 3-8. 传导抗扰度测试的实验室设置图.....	15
图 3-9. 传导抗扰度测试的实验室设置照片.....	15
图 3-10. 辐射抗扰度测试的实验室设置图.....	16
图 3-11. 辐射抗扰度测试的实验室设置照片.....	17
图 3-12. A 类和 B 类第 1 组设备的 CISPR 11 辐射发射限值.....	18
图 3-13. 辐射发射测试的实验室设置图.....	19

图 3-14. 辐射发射测试的实验室设置照片.....	19
图 3-15. 测试 1 - 水平天线极化下测得的辐射发射.....	20
图 3-16. 测试 2 - 水平天线极化下测得的辐射发射.....	20
图 3-17. 测试 3 - 垂直天线极化下测得的辐射发射.....	21
图 4-1. 原理图 - ADC.....	23
图 4-2. 原理图 - ADC 输入 - A.....	24
图 4-3. 原理图 - ADC 输入 - B.....	25
图 4-4. 原理图 - 数字隔离.....	26
图 4-5. 原理图 - 电源.....	27
图 4-6. 原理图 - 硬件.....	28
图 5-1. 布局布线 - 顶层.....	29
图 5-2. 布局布线 - 内接地层.....	29
图 5-3. 布局布线 - 内电源层.....	30
图 5-4. 布局布线 - 底层.....	30
图 5-5. 顶部丝印.....	31
图 5-6. 底部丝印.....	31

## 表格清单

表 2-1. 测试准则.....	8
表 3-1. EFT 测试结果.....	10
表 3-2. ESD 测试结果.....	12
表 3-3. 浪涌测试结果.....	14
表 3-4. 传导抗扰度测试结果.....	16
表 3-5. 辐射抗扰度测试结果.....	17
表 3-6. CISPR 11 电磁辐射干扰限值 ( 准峰值 ) .....	18
表 3-7. 辐射发射测试结果.....	22
表 6-1. 物料清单.....	32

## 商标

Littelfuse® is a registered trademark of Littelfuse, Inc..

Eaton® is a registered trademark of Eaton Corporation plc.

ZEUS® is a registered trademark of ZEUS Battery Products.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

ADS8686S 是一种 16 通道、16 位、1MSPS、双路同步采样、逐次逼近寄存器 (SAR) 模数转换器 (ADC)，它具有集成模拟前端 (AFE)，借助超范围配置，可实现最高  $\pm 12V$  范围的单端双极输入。利用具有  $1M\Omega$  输入阻抗的集成式 AFE，可不再需要外部 ADC 驱动器。这些特性使得该 ADC 适合工业自动化应用，包括电网基础设施和模拟输入模块。图 1-1 说明了 ADS8686S EMC 测试板。

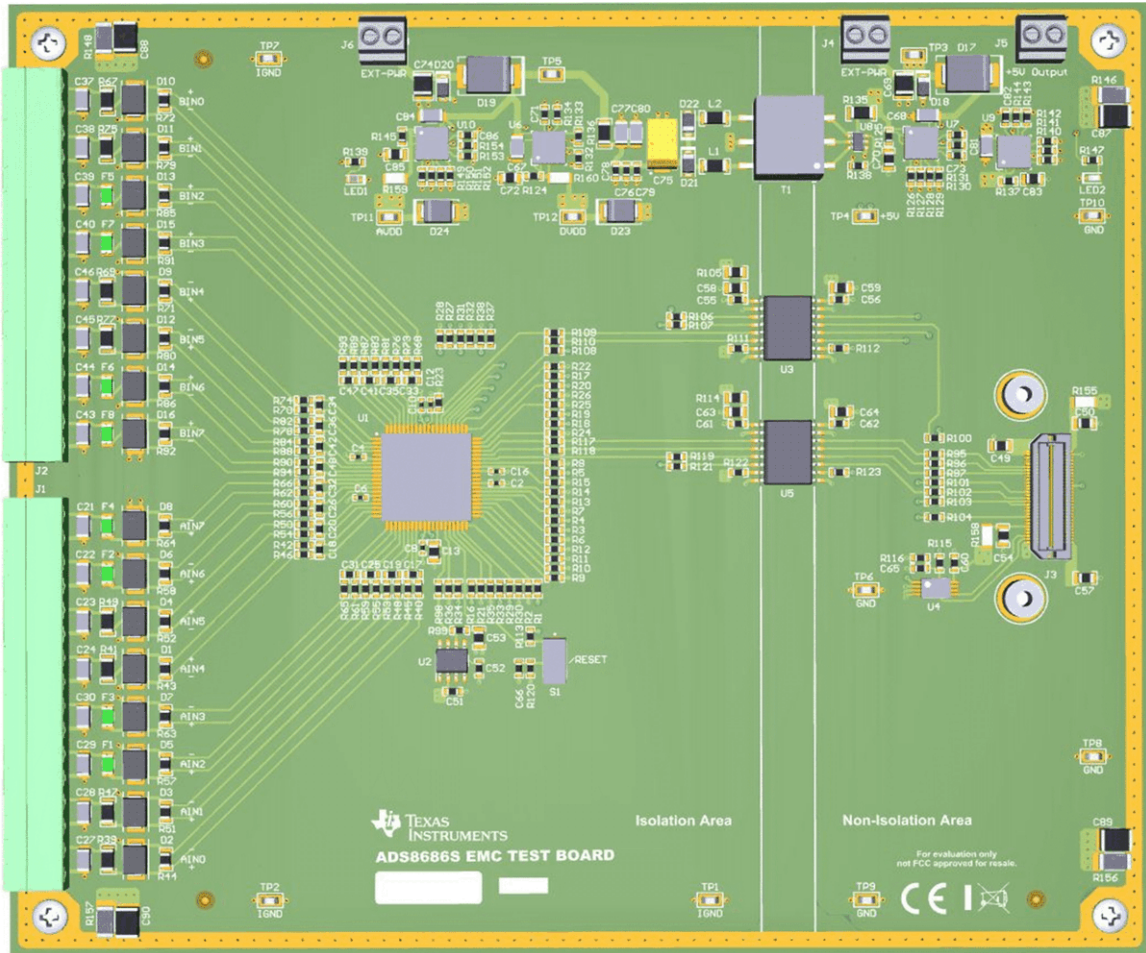


图 1-1. ADS8686S EMC 测试板

## 2 电路设计和测试系统

### 2.1 设计说明

该电路设计有 16 个模拟输入通道、隔离式电源和一个隔离式数字串行外设接口 (SPI)，通过该接口可与精密主机接口 (PHI) 控制器卡连接，用于监测来自 ADS8686S 的转换数据。印刷电路板 (PCB) 布局布线满足 IEC 61000-4-x 和 CISPR 11 标准，可以在恶劣的电磁环境中工作。每个模拟输入上都设计有外部保护电路，用于保护 ADS8686S 免受电过电压 (EOS) 故障的影响，以及浪涌 (IEC61000-4-5)、静电放电 (ESD) (IEC61000-4-2)、电快速瞬变 (EFT) (IEC61000-4-4) 瞬态信号的影响。

#### 2.1.1 输入保护

ADC 每个通道的模拟输入都有一个双向瞬态电压抑制器 (TVS) 二极管 ( Littelfuse® 公司的 SMBJ10CA ) 保护，使其不受瞬态信号的影响；同时一个正温度系数 (PTC) 自恢复保险丝 ( Eaton® 公司的 PTS120660V010 ) 与模拟输入串联，以限制 EMC 测试条件下的瞬态电流。PTC 保险丝是一种在正常条件下具有低电阻，而在发生过电流时具有高电阻的器件。PTC 全称为正温度系数，因此 PTC 电阻会随着温度的升高而增加。在具有高瞬态信号的测试条件下，电阻自发热会导致电阻越过跳变点，并且电阻急剧增加。大跳变电阻可以有效地限制高瞬态电流。一旦故障情况消除，PTC 就会恢复到低电阻状态；但是，该器件有一定的迟滞，需要一些时间才能达到低电阻值。

在 ADC 的每个模拟通道上，分别设计一个 250V 高电压 C0G 型 15nF 陶瓷电容器，并将其放置在输入端子块旁，以便可以通过最短路径将瞬态能量释放到地面。

#### 2.1.2 电源设计和保护

电源的设计和保护从电路的非隔离侧或隔离侧来管理：

- 非隔离侧

低压降稳压器 (LDO) TPS7A4700 (U7) 用于将 6V 至 12V 输入降低为 +5V，以便为测试板上的非隔离侧电路供电，包括 SN6505 (U8)，这是一种低噪声、低电磁干扰 (EMI) 推挽式变压器驱动器。第二个 TPS7A4700 (U9) 用于将 U7 输出调节至 +3.3V，供测试板上的 ISO7742 数字隔离器 ( U3 和 U5 ) 使用。

双向 TVS 二极管 ( MBJ15CA , D18 ) 用于对任何从外部电源施加到端子块 (J4) 的高瞬态或故障信号进行钳制。TVS 二极管能够钳制高于 15V ( 标称值 ) 的瞬态电压。在 D18 之后，插入一个肖特基二极管 ( MBRS4201 , D17 )。这两个二极管的用途是，防止从外部电源连接到 J4 上的电源输入可能发生误接线。隔离侧的电源采用相同的保护方案。

- 隔离侧

隔离侧的电源 ( +3.3V 和 +5V ) 由两个低压降稳压器 (LDO) U6 和 U10 生成，它们会调节来自变压器 (T1) 和 SN6505 (U8) 的输出，后者是测试板上非隔离侧的一种低噪声、低 EMI 推挽式变压器驱动器。

TPS7A4700 (U6) 会为 ADS8686S ADC 和 REF5025 (U2) 电压基准生成 +5V 电源。第二个 TPS7A4700 (U10) 为 ADS8686S (U1) 以及测试板隔离侧上的数字隔离器 ( U3 和 U5 ) 生成 +3.3V 电源。+5V 电源采用 5.6V TVS 二极管 (D24) 保护，+3.3V 电源采用 3.9V TVS 二极管 (D23) 保护。

ADS8686S EMC 测试板上的电源电路经过专门设计，可与典型工业系统中的稳健设计兼容。ADS8686S EMC 测试板具有使用两个直流电源供电的替代解决方案，可在测试板的隔离侧和非隔离侧分别提供必要的电源。

#### 2.1.3 数字隔离设计

该电路采用 ISO7742 数字隔离器设计，用于隔离数据通信。ISO7742 隔离器通过高抗扰度  $5kV_{RMS}$  隔离电压、 $8kV_{PK}$  最大瞬态隔离电压和  $6kV_{PK}$  最大浪涌隔离电压进行强化。该隔离器最高支持 100MSPS 的信号速率，通常具有低传播延迟 (10.7ns) 和宽电源电压范围 ( 2.35V 至 5.5V )。

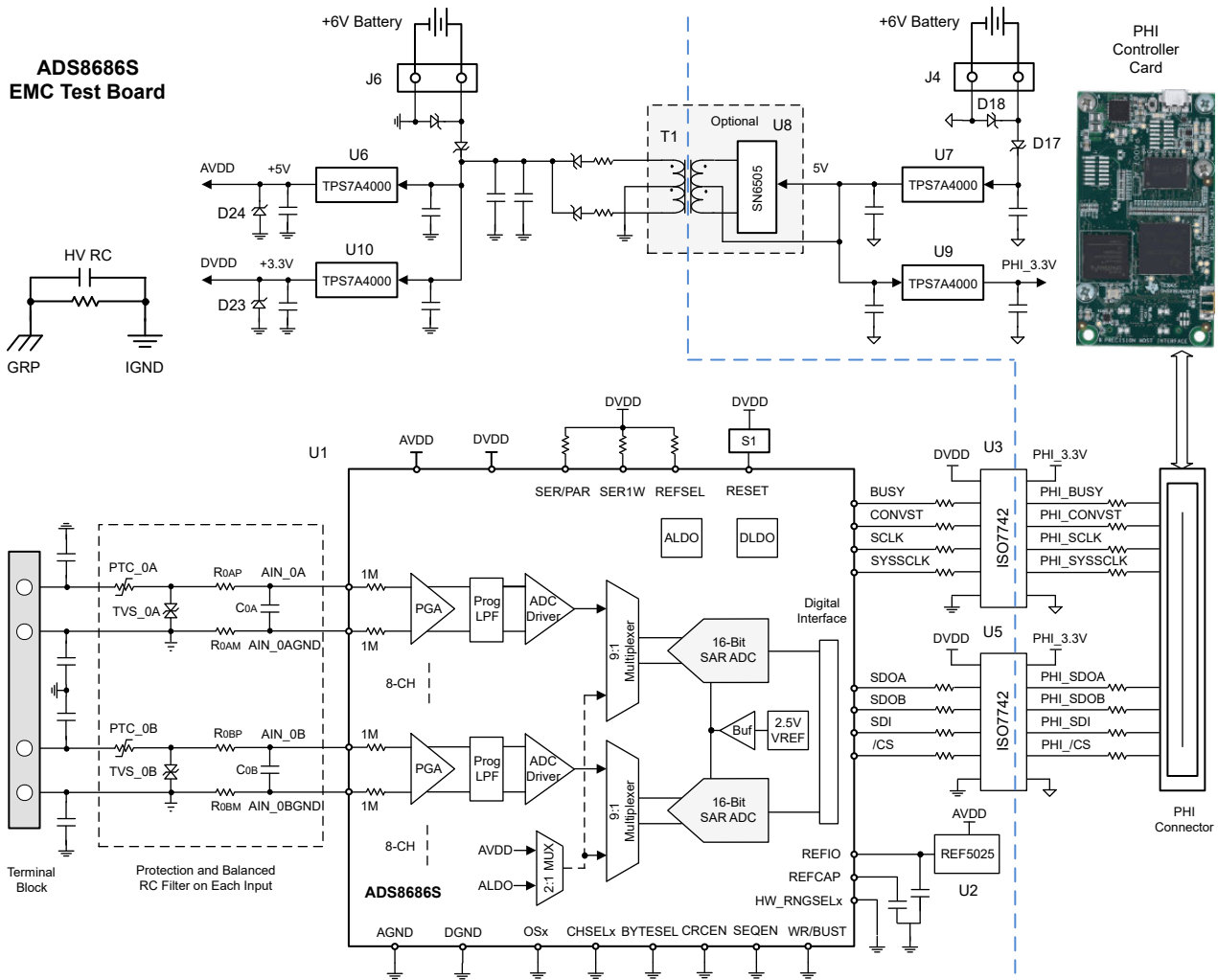


图 2-1. ADS8686S EMC 测试板电路

### 2.1.4 元件选择和布局布线注意事项

在测试板的隔离侧，一个高压 3kV 2.2nF 电容器与一个 2.2kV、3.3MΩ 电阻器并联放置在保护接地和大地接地之间，用于提供一个瞬态能量放电路径。隔离侧上有两个放电路径。测试板上的非隔离区使用了相同的方案。

ADS8686S 和精密主机接口 (PHI) 控制器板间的数字线路上的 49.9Ω 阻尼电阻旨在减弱电气瞬态信号，并减慢快速逻辑边沿，以便尽可能地减少 EMI (电磁干扰) 或 RFI (射频干扰) 问题。

去耦电容放置在尽可能靠近需要去耦的器件的位置，并使用过孔连接到接地层。使用电源层而不是单独的走线，以便减少电感并为接地层提供更好的去耦。

ADS8686S 是单端输入 ADC；但是，它会对正引脚 (AIN\_nA/B) 和负输入引脚 (AIN\_nA/BGND) 之间的差值进行采样。在这种设计中，每个沟道中这两个信号的走线作为一个差分对彼此靠近布线，这样一来，这两条走线受到的任何外部干扰和噪声干扰都会向两条走线增加等量的干扰。因此，感应噪声信号是一种共模信号，ADC 将会在共模抑制比 (CMRR) 规格限制范围内抑制该信号。

多层 PCB 中应尽可能避免过孔或导通孔，这是因为每个过孔都会引入电容和电感。此外，时钟等关键走线应在同一层上布线，而不使用过孔，以便尽可能地减少射频 (RF) 发射和易感性。在这种设计中，不使用过孔进行跨层模拟信号布线，所有模拟信号的走线都布置在顶层。

ADS8686S EMC 测试板基于四层 PCB，这是实用性建议推荐的最小叠层数量。第二层是内部接地 (GND 和 IGND) 层，可实现良好的去耦，以及作为相邻层时用做接地回路。到达电路板边缘的电源层和接地层噪声可能会辐射到电路板之外。在围绕整个电路板的 PCB 边缘上具有防护环，这是一种接地技术，可以将噪声反射回电路板，并将噪声环境隔离在防护环之外，这是因为正常工作时没有电流会流过保护环。防护环通常连接到外壳和接

地。ADS8686S EMC 测试板上的防护环设计在顶层和底层，这些层上的边缘防护装置每 100mil 间隔使用过孔连接在一起，最高可以减弱 GHz 的高频信号发射。

在 EMC 测试板上，整个隔离栅的间隔设计得尽可能宽，以便保持 IEC 测试的高压隔离要求。暴露在 PCB 板边缘的平面可以提供一条击穿路径，尤其是当平面末端以尖角形位于电路板的边缘时，此时它会增强电场并成为一条电弧位置。图 2-2 中一个良好的 PCB 设计示例表明，内部平面的尖角平面被磨圆，并且从边缘位置后移，以便加强隔离设计并避免潜在的击穿。

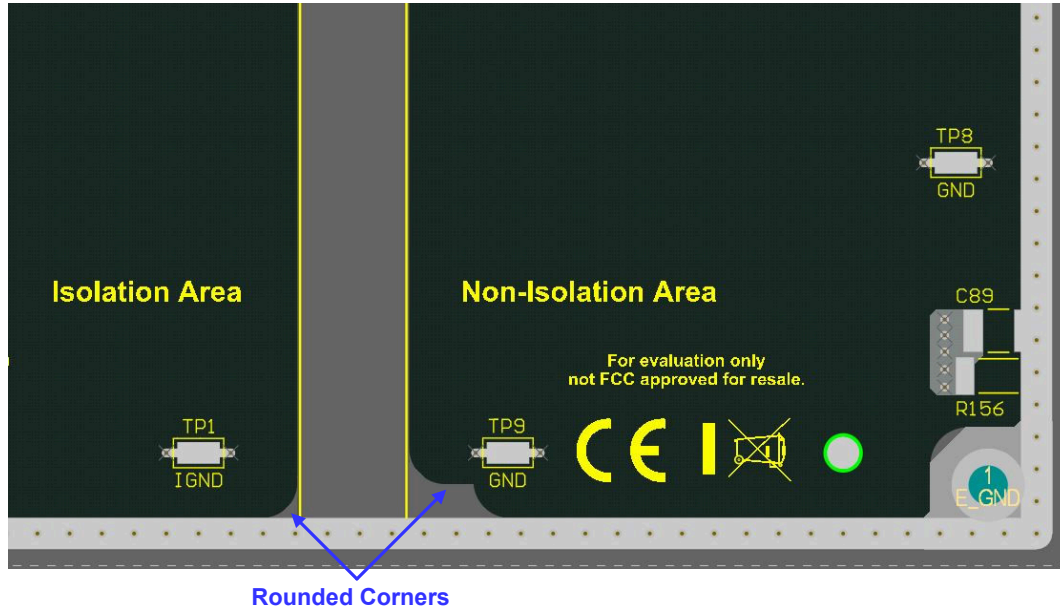


图 2-2. PCB 布局布线设计 - 内负层上的平面边缘

## 2.2 测试系统

图 2-3 显示了用于 EMC 测试的 ADS8686S EMC 测试板的通用设置。开发了一个软件脚本，用来配置笔记本电脑上的运行参数，如串行外设接口 (SPI)、时钟频率配置、ADC 模式选择、数据捕获和分析、数据监控和导出后处理。在每次 EMC 测试中，软件和 PHI 控制器会在 EMC 事件之前获取数据，以便验证测试系统和受试设备 (EUT)。在 EMC 测试期间，会持续监测数据，在 EMC 测试后，获取数据以检查 EUT 的功能性。

PHI 控制器卡通过 USB 2.0 (或更高版本) 接口，在 ADS8686S EMC 测试板和笔记本电脑之间提供了必要的通信接口，用于数字输入和输出。在笔记本电脑和 PHI 控制器卡之间使用光收发器对 (位驱动器) 来隔离苛刻的瞬态信号和测试环境，为用户设备提供额外的保护。

### 2.2.1 参考文献

需要以下设备和软件来测试电路：

- ADS8686S EMC 测试板
- 德州仪器 (TI) 的 PHI 控制器卡
- 带光纤电缆的光收发器对 (位驱动器)
- 带精密负载电阻 (100 Ω) 的 2m 长双绞线
- ZEUS® 6V 电池 1 和 2
- 每次 EMC 测试的专用设备
- 运行 64 位版本 Microsoft® Windows® 10 的笔记本电脑
- 为 EMC 测试而开发的软件脚本

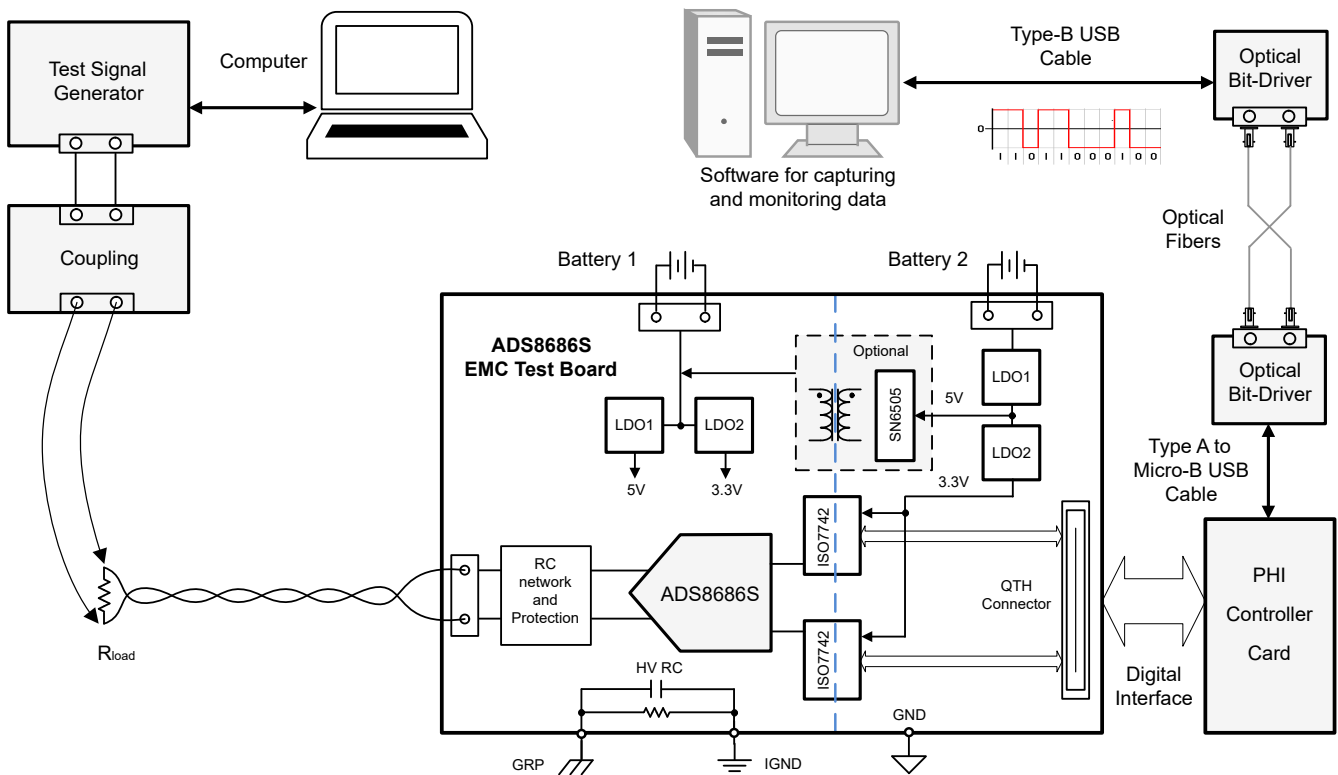


图 2-3. EMC 测试通用设置

## 2.3 标准和测试准则

ADS8686S EMC 测试板可以满足工业应用的 EMC 和 EMI 测试标准及准则。根据该标准，选择了以下六项测试：

- IEC 61000-4-2：静电放电 (ESD)
- IEC 61000-4-3：辐射抗扰度 (RI)
- IEC 61000-4-4：电快速瞬变 (EFT)
- IEC 61000-4-5：浪涌抗扰度 (SI)
- IEC 61000-4-6：传导抗扰度 (CI)
- CISPR 11：工业、科技和医疗 (ISM) 设备的 EMI 辐射发射

测试准则见 [表 2-1](#)。

**表 2-1. 测试准则**

标准	说明
A	性能正常，处于规定限值范围内
B	暂时性的性能损失，可在扰动结束后恢复
C	暂时性的功能或性能损失，可在用户干预下恢复
D	由于数据损坏或丢失而造成的永久性功能或性能损失



### 3 测试细节和结果

#### 3.1 电快速瞬变 (EFT)

IEC 61000-4-4 标准在测试信号和要求方面规定了关于 EFT 测试的细节。该测试的目的是，验证 EFT 对持续时间短、上升速度快且可能会耦合入信号线的瞬态信号突发流的抗扰度。该标准为信号和控制端口定义了具有两种重复频率的四个测试电压电平：0.25kV、0.5kV、1kV 和 2kV，重复频率为 5kHz 和 100kHz。每次测试都涵盖正极和负极性放电。ADS8686S EMC 测试板经过了标准 1kV 和 2kV 测试，并且在 4kV 等级下接受了测试，这高于要求值，但有时也会需要。100kHz 重复频率下的 EFT 测试不太常见，比 5kHz 更加激进。ADS8686S EMC 测试板在两种频率下都接受了测试。EFT 瞬变脉冲群包含 75 个快速脉冲，后跟一个中断间隔，而突发流被定义为 5kHz 下 15ms、100kHz 下 0.75ms 并据此进行测试，同时每 300ms 重复突发一次。每一个突发脉冲都是一个双指数波形，上升时间为 5ns，总脉冲持续时间为 50ns。每次测试的总测试时间约为一分钟。

图 3-1 显示了 EFT 抗扰度测试的设置和连接图。在此设置中，2m 双绞线输入线穿过一个 1m 长的标准电容 EFT 耦合夹，从而对 ADS8686S EMC 测试板的模拟输入施加了 EFT 威胁。测试装置中的所有电缆都保持在绝缘支撑中。EUT 放置在接地参考平面 (GRP) 上，并通过 0.1m 高的绝缘支撑材料与 GRP 隔离。

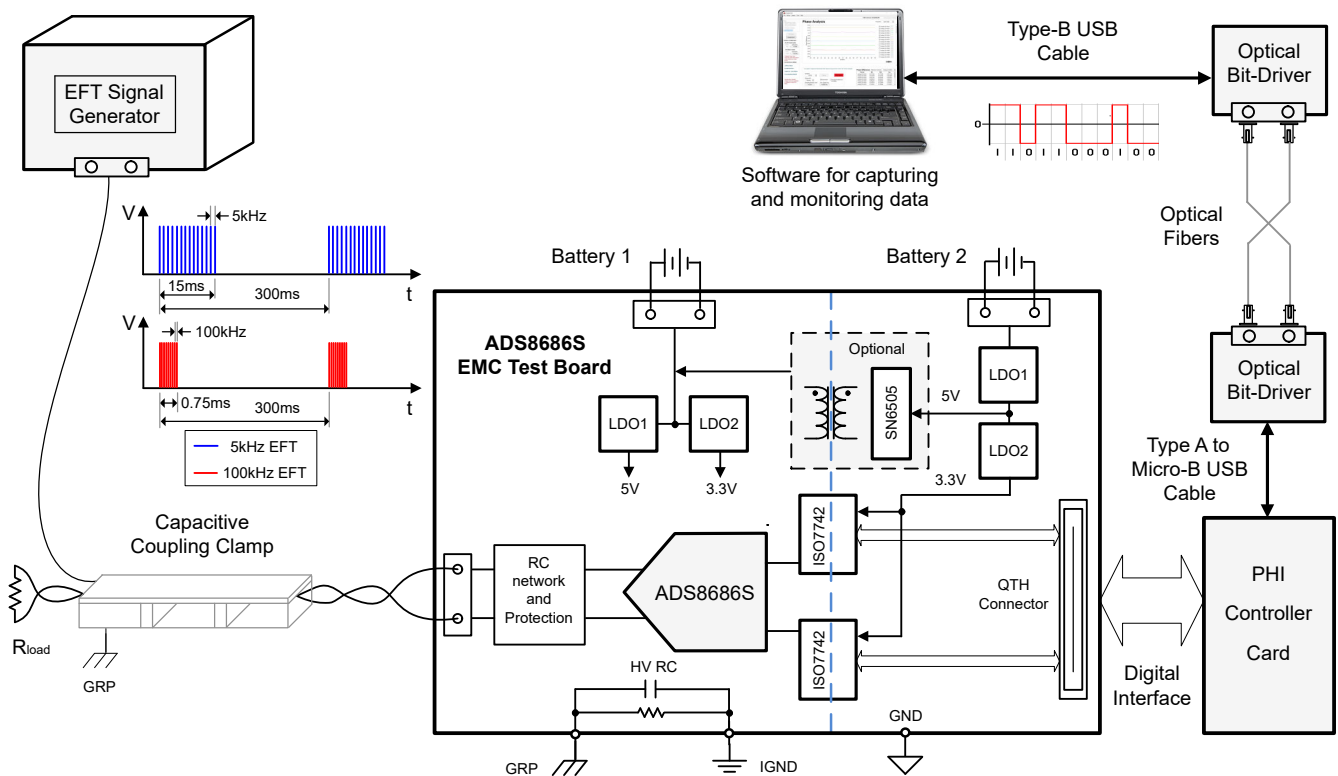


图 3-1. EFT 测试的实验室设置图

图 3-2 显示了 EFT 测试的实际设置照片。

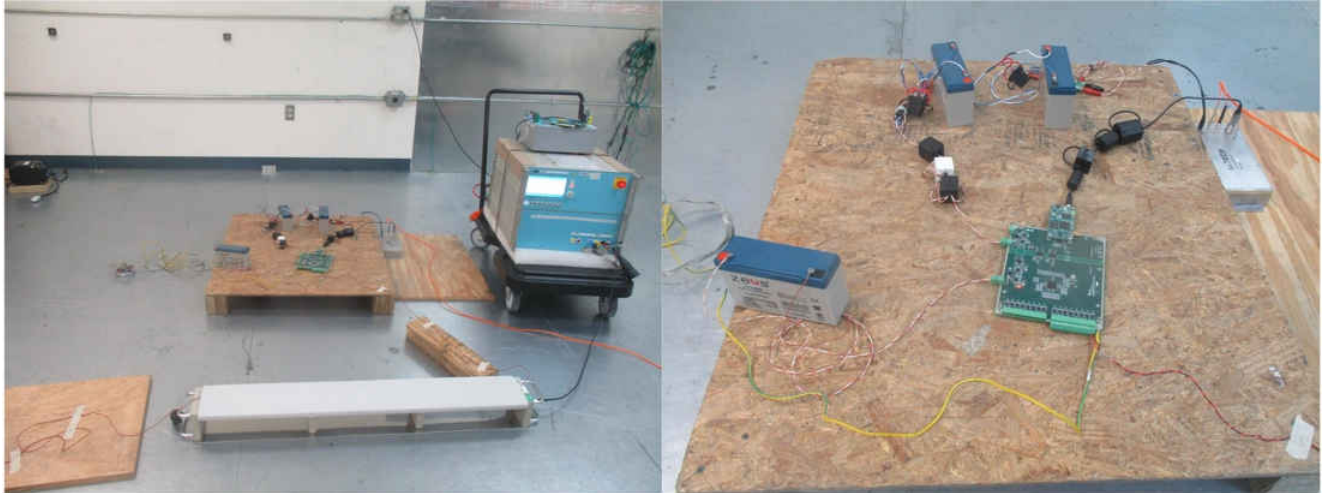


图 3-2. EFT 测试的实验室设置照片

表 3-1 显示了 EFT 测试的结果。

表 3-1. EFT 测试结果

测试	IEC 标准	测试信号		测试等级	标准	测试结果
		电压	频率			
EFT	IEC 61000-4-4	±1kV	5kHz	2	A	通过
		±2kV		3	B	通过
		±4 kV		4	B	通过
		±1kV	100 kHz	2	A	通过
		±2kV		3	B	通过
		±4 kV		4	B	通过

### 3.2 静电放电 (ESD)

IEC 61000-4-2 标准规定了 ESD 测试的细节，包括测试条件和设置要求。IEC 61000-4-2 测试的主要目的是，确定 EUT 在运行过程中对外部 ESD 事件的抗扰度。图 3-3 显示了 ESD 测试的设置和连接图。将一张 0.8m 高的木桌放在 GRP 地面上。桌上放置一个 1.6m × 0.8m 的水平耦合平面 (HCP)。EUT 在一个 0.5mm 厚的绝缘垫上进行测试和隔离，该绝缘垫放置在 HCP 上。EUT 放置在距离垂直耦合平面 (VCP) 0.1m 处，该平面的尺寸为 0.5m × 0.5m，放置在绝缘垫上。

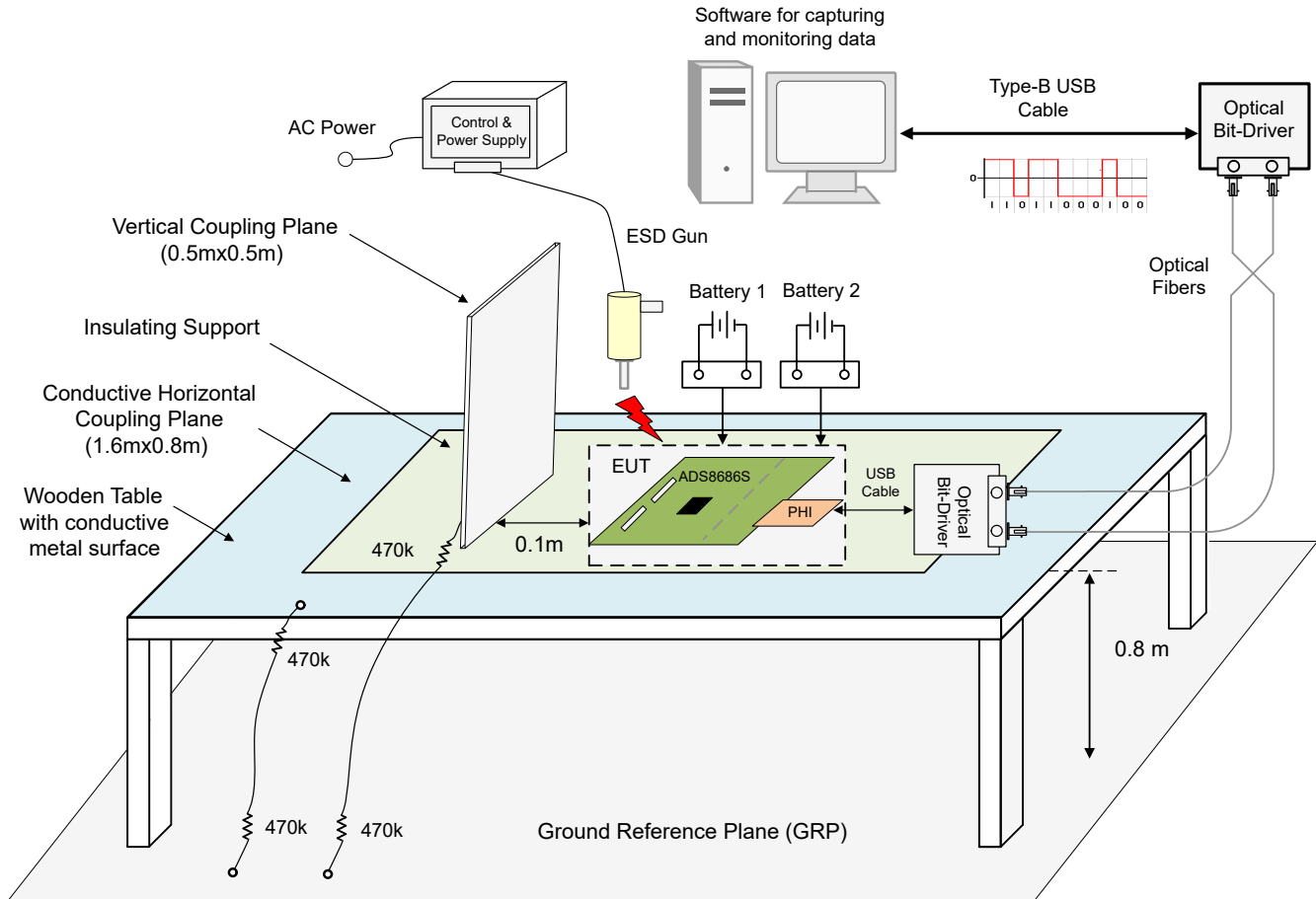


图 3-3. ESD 测试的实验室设置图

ESD 测试有两种类型：接触放电和空气放电。接触放电测试是最激进的直接放电测试，在测试过程中，ESD 枪的尖端放置在 ADS8686S EMC 测试板输入端子块 (J1 和 J2) 的导电螺钉上。空气放电测试以三种不同的方式进行：直接空气间隙放电、向水平耦合平面 (HCP) 和垂直耦合平面 (VCP) 间接放电。在空气间隙放电测试中，ESD 枪的尖端放置在 ADS8686S EMC 测试板输入端子块 (J1 和 J2) 的绝缘表面附近。在对 HCP 和 VCP 进行放电测试时，ESD 信号会释放到附近的导电平面中，表示对安装该设计的设备机架产生 ESD 冲击。图 3-4 显示了施加 ESD 冲击的放大视图。对于向 HCP 和 VCP 的放电，分别由 ESD 枪 1 和 ESD 枪 2 在接触放电模式下完成。测试中将 ESD 枪保持在耦合平面内并与边缘垂直，然后将 ESD 冲击释放到平面的边缘。

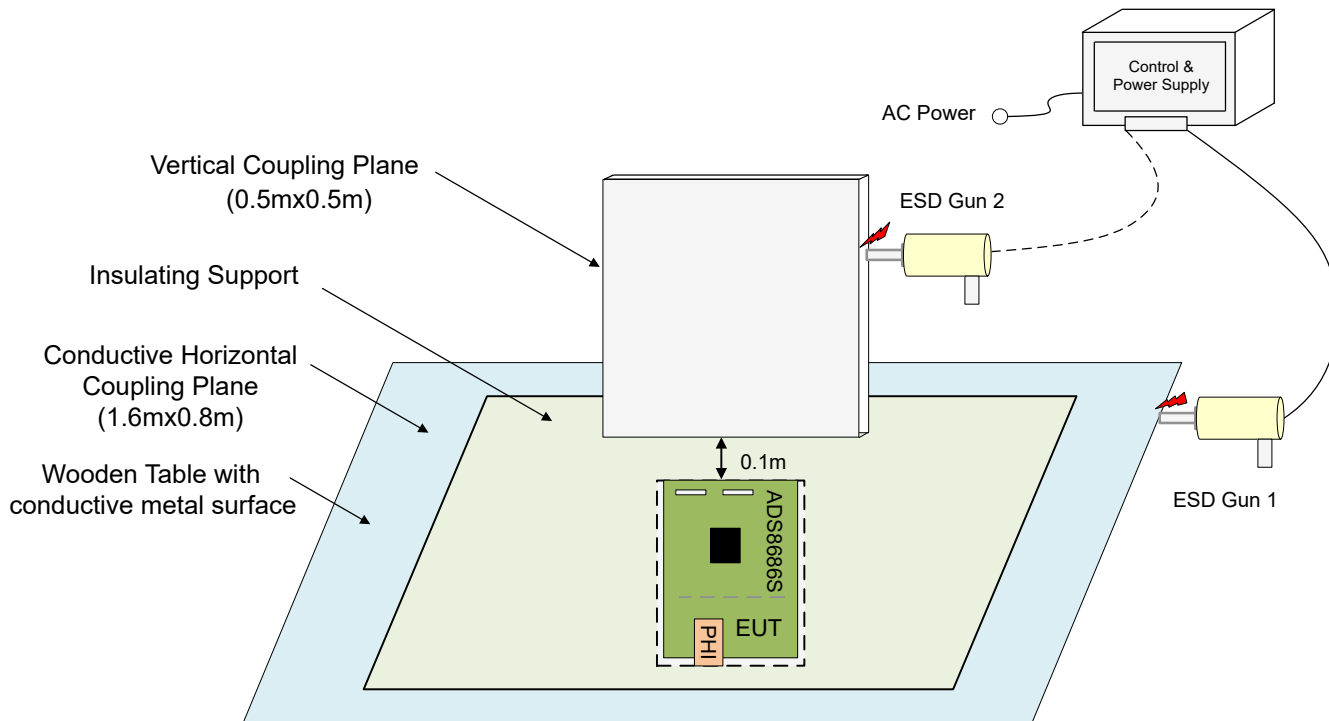


图 3-4. 分别使用 ESD 枪 1 和 ESD 枪 2 向 HCP 和 VCP 放电

图 3-5 显示了 ESD 测试的实际设置照片。



图 3-5. ESD 测试的实验室设置照片

对于 ESD 测试，在每个额定值下，对 EUT 至少进行了 20 次放电测试，正极和负极各放电 10 次。表 3-2 显示了 ESD 测试的结果。

表 3-2. ESD 测试结果

测试	IEC 标准	类型	测试电压	测试等级	标准	测试结果
ESD	IEC 61000-4-2	接触放电	+8 kV	4	A	通过
			- 8kV		A	通过
		空气放电	+15 kV	4	A	通过
			-15 kV		A	通过

### 3.3 浪涌抗扰度 (SI)

IEC 61000-4-5 标准详细说明了在特定源阻抗和耦合模式 (线对线或线对地) 下, 执行浪涌测试所需的测试设备和程序。该测试的目的是, 验证在电源线和数据线上, EUT 对由负载变化和短路故障、直接或间接雷击引起的电力系统开关引起的高能浪涌的抗扰度。IEC 61000-4-5 规定了两种类型的组合波发生器 (CWG)。10  $\mu\text{s}/700 \mu\text{s}$  CWG 专门用于测试对称电信线路的端口。其他情况下, 全部使用 1.2  $\mu\text{s}/50 \mu\text{s}$  CWG。其他情况下的浪涌均包括 1.2  $\mu\text{s}/50 \mu\text{s}$  (上升时间为 1.2  $\mu\text{s}$ , 脉冲宽度为 50  $\mu\text{s}$ ) 开路电压波形, 以及 8  $\mu\text{s}/20 \mu\text{s}$  (上升时间为 8  $\mu\text{s}$ , 脉冲宽度为 20  $\mu\text{s}$ ) 短路电流波形。在每个额定值下, EUT 会经受 5 个正浪涌和 5 个负浪涌。浪涌每分钟至少重复一次。浪涌测试需要耦合和去耦网络 (CDN)。IEC 61000-4-5 定义了不同情况下耦合网络中使用的阻抗和电容。通过耦合和去耦网络 (CDN117), 用 0.5  $\mu\text{F}$  电容器和双绞线对 EUT 进行浪涌测试。

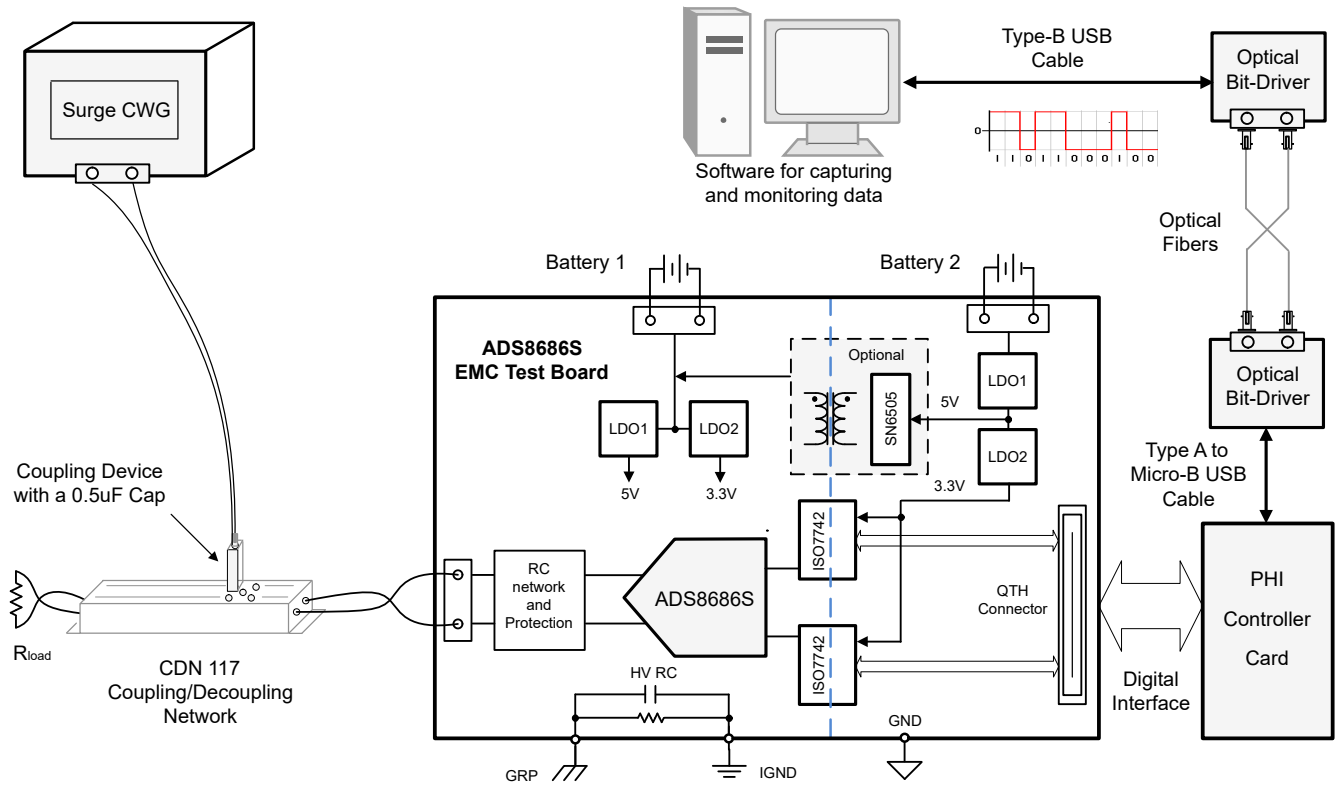


图 3-6. 浪涌测试的实验室设置图

图 3-7 显示了浪涌测试的实际设置照片。示波器用于在测试期间，监测浪涌信号发生器的输出信号。



图 3-7. 浪涌测试的实验室设置照片

表 3-3 显示了浪涌测试的结果。

表 3-3. 浪涌测试结果

测试	标准	类型	阻抗	测试电压	测试等级	标准	测试结果
浪涌	IEC 61000-4-5	线对线	42 Ω ( 2 Ω 源阻抗 + 耦合网络的 40 Ω )	500V	1	A	通过
		线对地	42 Ω ( 2 Ω 源阻抗 + 耦合网络的 40 Ω )			B	通过
		线对线	42 Ω ( 2 Ω 源阻抗 + 耦合网络的 40 Ω )	1kV	2	A	通过
			仅 2 Ω 源阻抗 <sup>(1)</sup>			B	通过
		线对地	42 Ω ( 2 Ω 源阻抗 + 耦合网络的 40 Ω )			B	通过
			仅 2 Ω 源阻抗 <sup>(1)</sup>			B	通过

(1) 该测试的峰值电流较高 ( 1 级为 250A , 2 级为 500A ) , 比表中的其他测试更加激进。

### 3.4 传导抗扰度 (CI)

IEC 61000-4-6 标准规定了有关传导抗扰度测试的细节。该测试用于验证 EUT 对 EMC 板输入端子上感应的传导电磁干扰的抗扰度。测试信号由射频信号发生器产生，而射频功率放大设备用于将测试信号放大到指定电平。测试信号通过注入探头注入到 EMC 板输入内。频谱分析仪 1 用于监测功率放大器的输出，频谱分析仪 2 用于通过监测探头对注入信号进行监控和验证。测试中使用 80% 振幅的干扰信号（由 1kHz 正弦信号进行调制），从 150kHz 到 80MHz，对信号频率进行了扫描。应用并测试了两个场强级别：3V/m 和 10V/m。

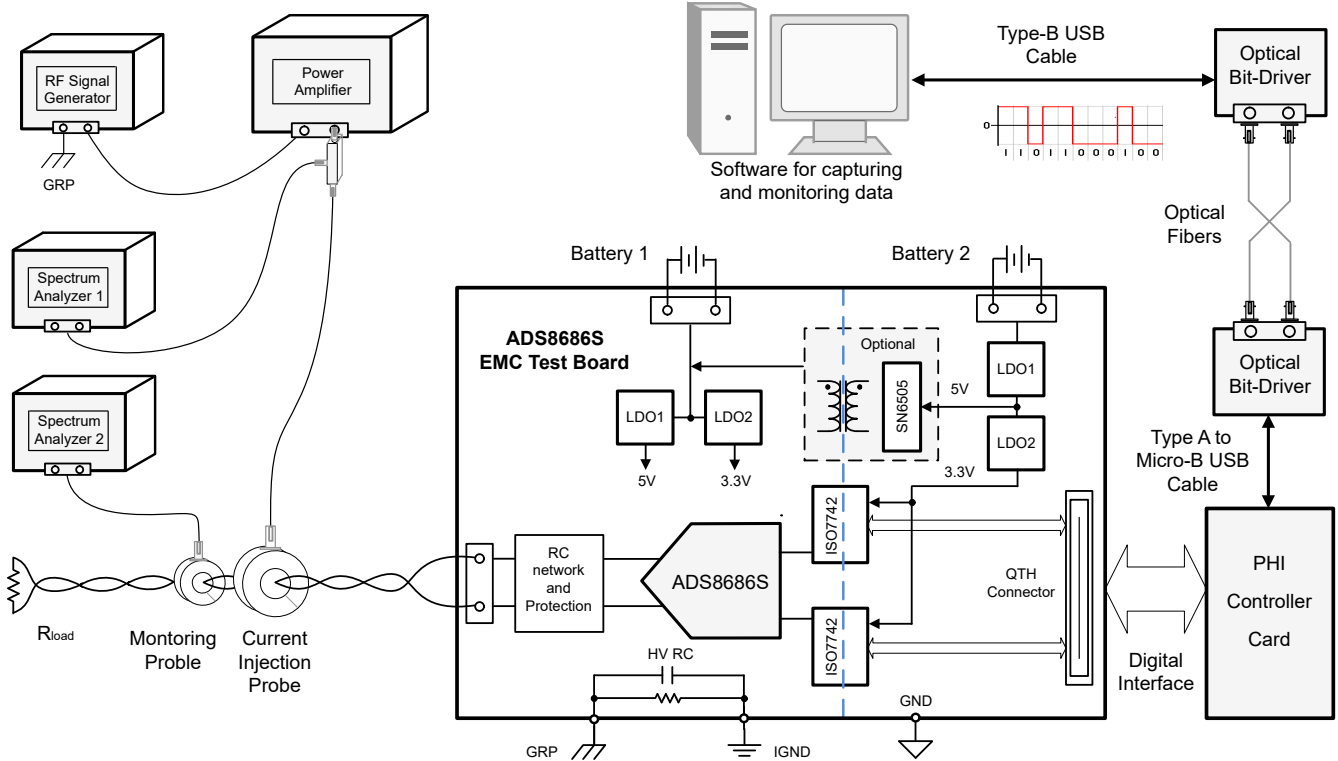


图 3-8. 传导抗扰度测试的实验室设置图

图 3-9 显示了传导抗扰度测试的实际设置照片。

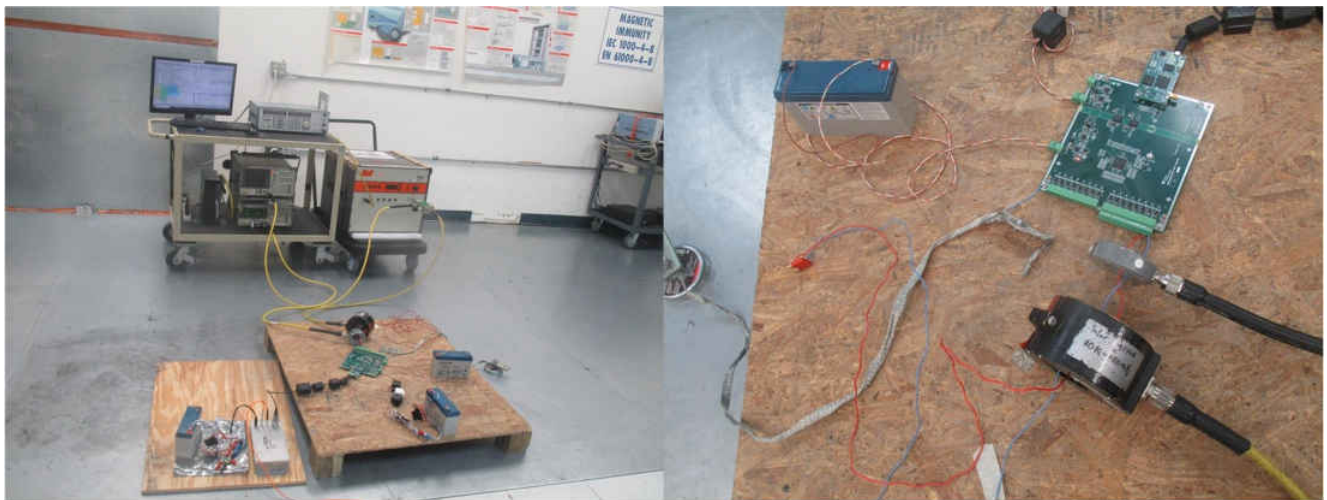


图 3-9. 传导抗扰度测试的实验室设置照片

表 3-4 显示了传导抗扰度测试的结果。

表 3-4. 传导抗扰度测试结果

测试	IEC 标准	测试信号		测试等级	标准	测试结果
		场强	频率			
传导抗扰度 (CI)	IEC 61000-4-6	3V/m	150kHz - 80MHz	2	A	通过
		10V/m	150kHz - 80MHz	3	A	通过

### 3.5 辐射抗扰度 (RI)

IEC 61000-4-3 标准规定了有关辐射抗扰度测试的细节。该测试的目的是，验证 EUT 对无线电发射器、手机和其他工业电磁源产生的电磁辐射的抗扰度。本测试在电波暗室中进行，期间 EUT 放置在 0.8m 高的非导电桌上。EUT 与天线之间的测试距离为 3m。在每个额定值下，EUT 暴露在水平和垂直极性场中进行测试。测试中使用 80% 振幅的干扰信号（由 1kHz 正弦信号进行调制），从 80MHz 到 1GHz，然后从 1GHz 到 2.7GHz，对射频测试信号进行了扫描。每个频率范围的场强为 10V/m 和 18V/m。在测试中，使用 PHI 控制器卡从 EUT 获取转换数据，并通过完全隔离的光纤电缆，将其发送到在暗室外运行软件脚本的笔记本电脑。

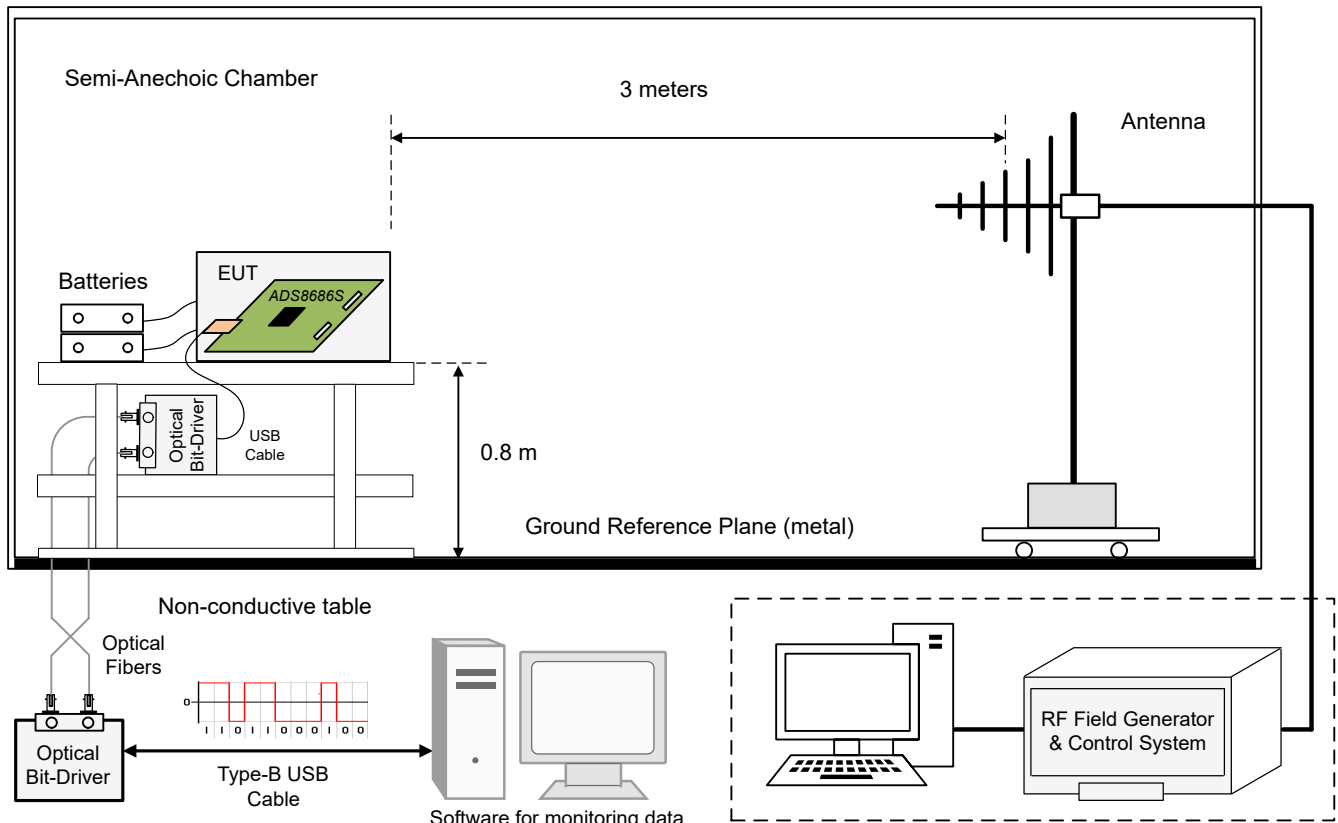


图 3-10. 辐射抗扰度测试的实验室设置图



图 3-11 显示了辐射抗扰度测试的实际设置照片。

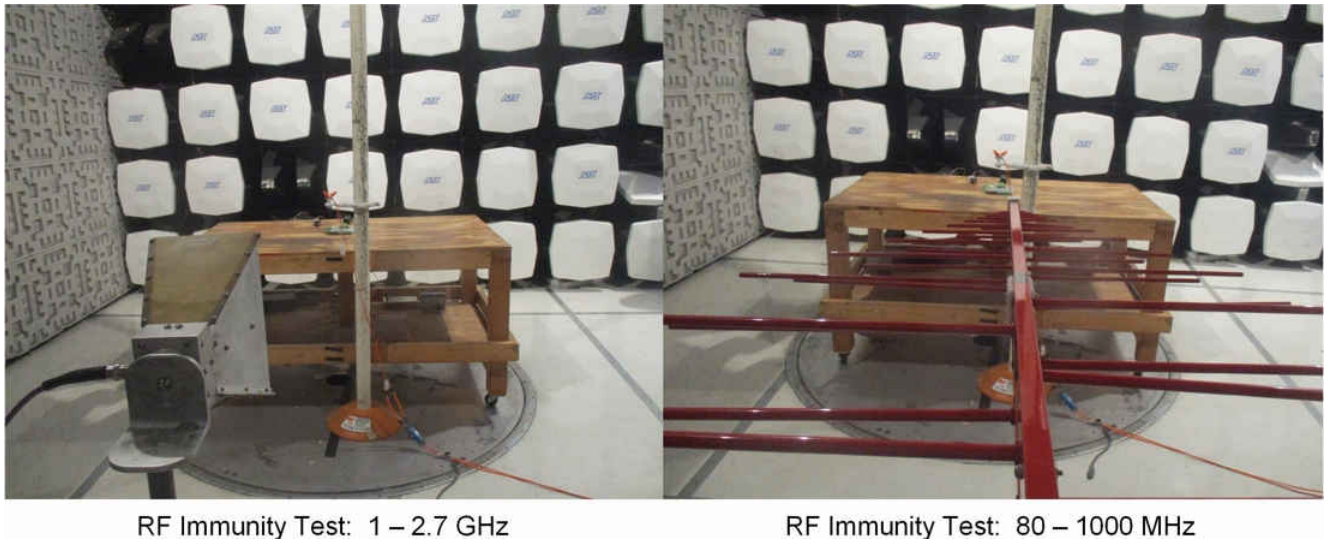


图 3-11. 辐射抗扰度测试的实验室设置照片

表 3-5 显示了辐射抗扰度测试的结果。

表 3-5. 辐射抗扰度测试结果

测试	IEC 标准	测试信号			测试等级	标准	测试结果
		场强	频率	天线极化			
辐射抗扰度 (RI)	IEC 61000-4-3	10V/m	80-1000 MHz	水平	3	A	通过
				垂直		A	通过
			1-2.7 GHz	水平		A	通过
				垂直		A	通过
		18V/m	80-1000 MHz	水平	> 3	A	通过
				垂直		A	通过
			1-2.7 GHz	水平		A	通过
				垂直		A	通过

### 3.6 辐射发射 (RE)

CISPR 11 标准定义了关于工业、科学和医疗 (ISM) 设备辐射干扰的要求、测试程序和限值。该测试的目的是，测量和评估由 EUT 产生的辐射发射。测试在半电波暗室中进行，期间 EUT 放置在 0.8m 高的非导电桌上。该放置 EUT 的桌子可以从 0° 到 360° 旋转，从而找到最大辐射发射的方向。接收天线的高度在 1m 和 4m 之间变化，从中找出最大场强。EUT 与接收天线之间的测量距离为 3m。另一种测量距离为 10m，此时的限值不同。EUT 在 30MHz 和 1GHz 之间的频带上进行扫描。EUT 产生的辐射由接收天线接收，该天线在每次测试时设置在水平或垂直极化位置。天线信号与 EMI 测试接收器和频谱分析仪的输入相连接，以便使用指定的分辨率带宽和检波器类型，进行信号采集和分析。必要时，可以使用前置放大器。EUT 的测试系统配置为准峰值检测模式，可以通过频段内的能量重复率对其进行有效权衡。

表 3-6 显示了第 1 组 ISM 设备的 CISPR 11 准峰值 (QP) 限值，其中包括所有仅将射频能量用于设备内部运转的 ISM 设备。

表 3-6. CISPR 11 电磁辐射干扰限值 ( 准峰值 )

频率范围 (MHz)	3m 距离		10m 距离	
	A 类 (dB $\mu$ V/m)	B 类 (dB $\mu$ V/m)	A 类 (dB $\mu$ V/m)	B 类 (dB $\mu$ V/m)
30-230	50.5	40.5	40	30
230 - 1000	57.5	47.5	47	37

#### 备注

主要在住宅环境中使用的设备必须符合 B 类限值，而所有其他设备需符合 A 类规定。

图 3-12 绘制了使用 QP 检波器时，天线与 EUT 距离 3m 和 10m 位置的 A 类和 B 类相关限值线。

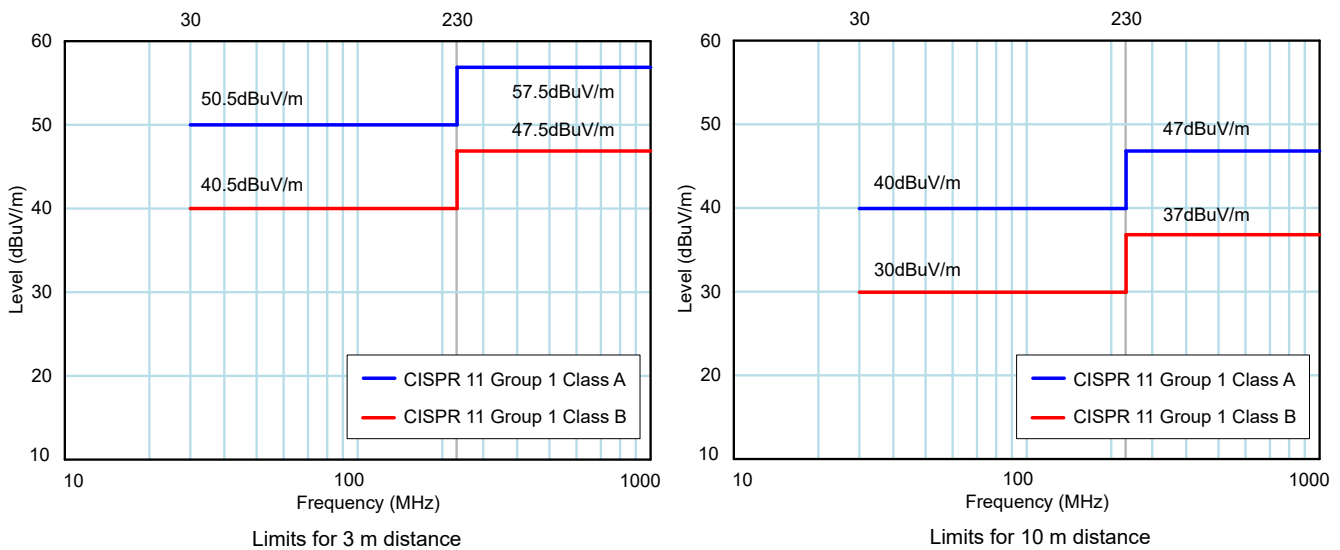


图 3-12. A 类和 B 类第 1 组设备的 CISPR 11 辐射发射限值

设计有 ADS8686S 的工业系统通常属于 A 类第 1 组设备类别。ADS8686S EUT 和接收天线之间的测量距离为 3m。

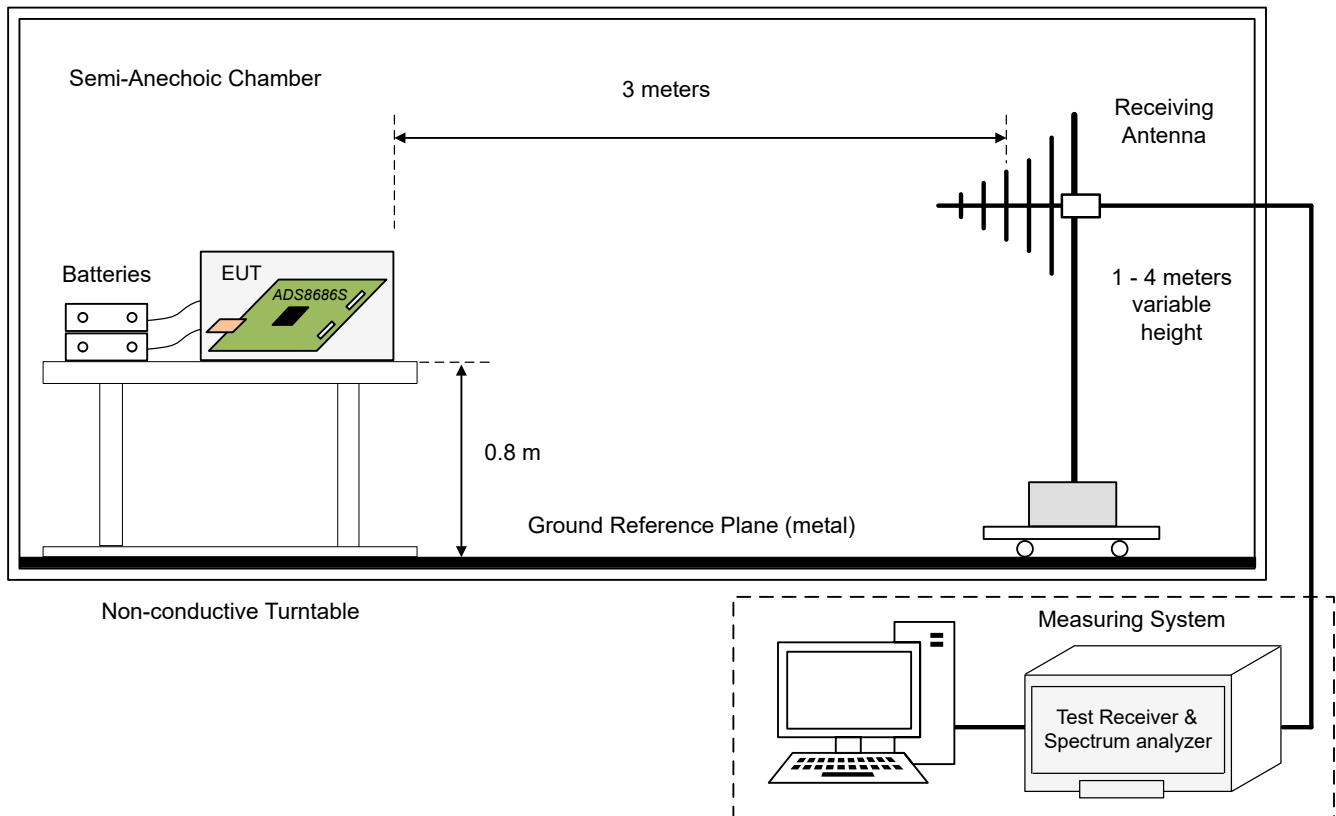


图 3-13. 辐射发射测试的实验室设置图

图 3-14 显示了辐射发射测试的实际设置照片。

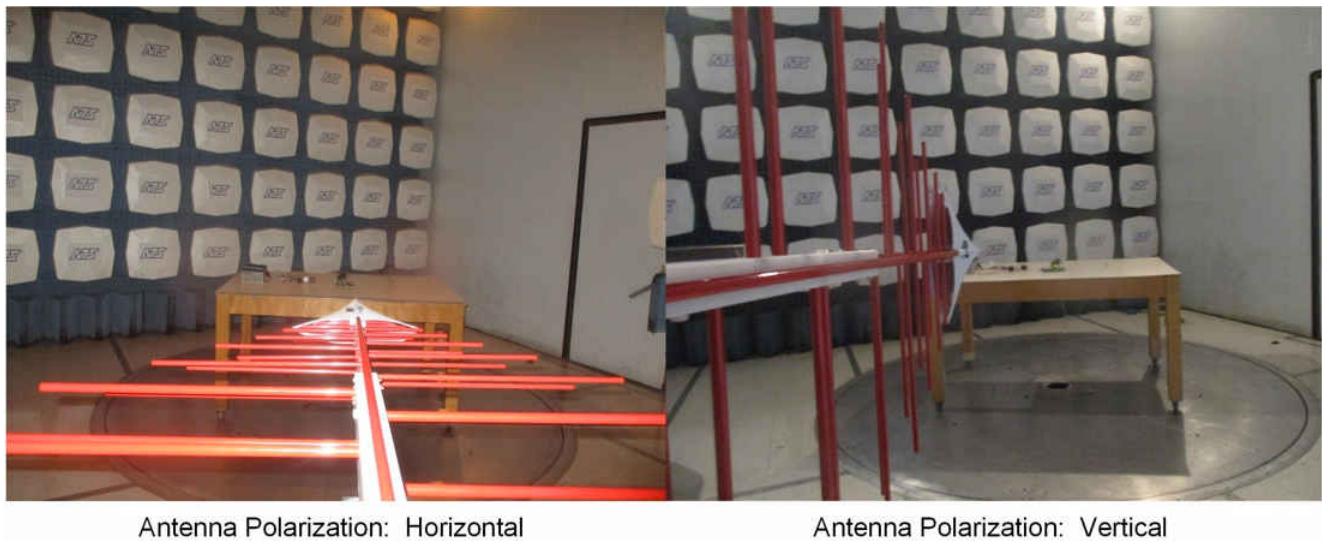


图 3-14. 辐射发射测试的实验室设置照片

图 3-15、图 3-16 和图 3-17 显示了在不同串行时钟 (SCLK) 频率和采样率下，使用 PHI 控制器卡测得的 ADS8686S EMC 测试板辐射发射值。

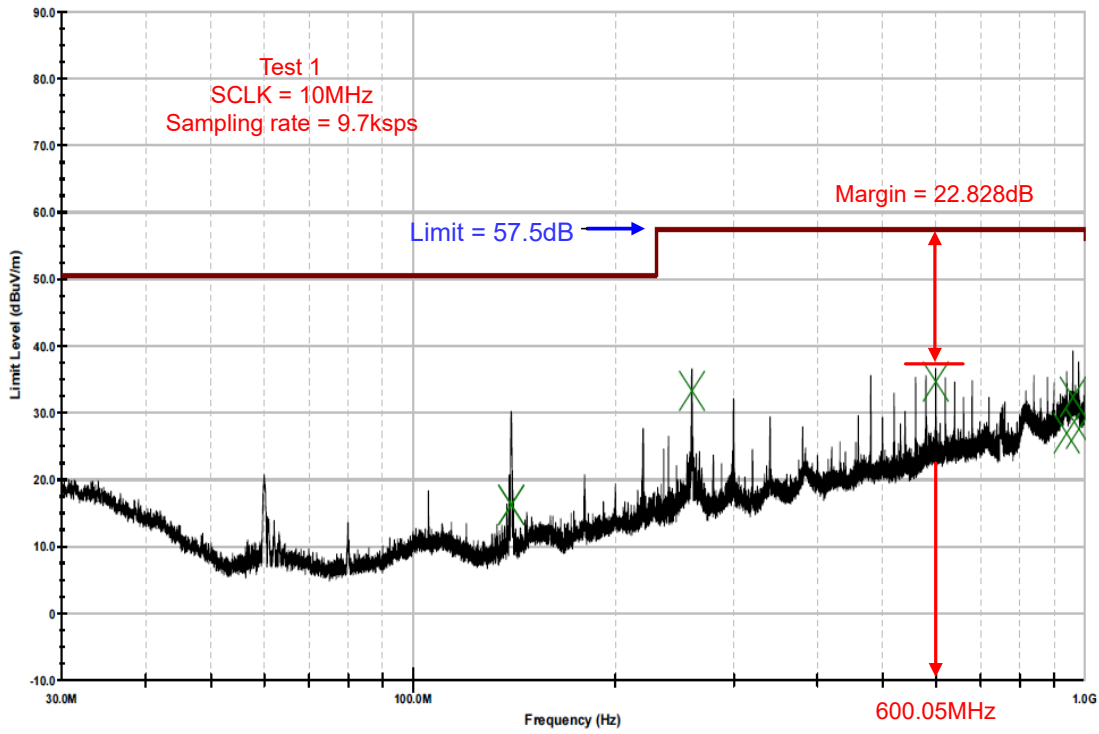


图 3-15. 测试 1 - 水平天线极化下测得的辐射发射

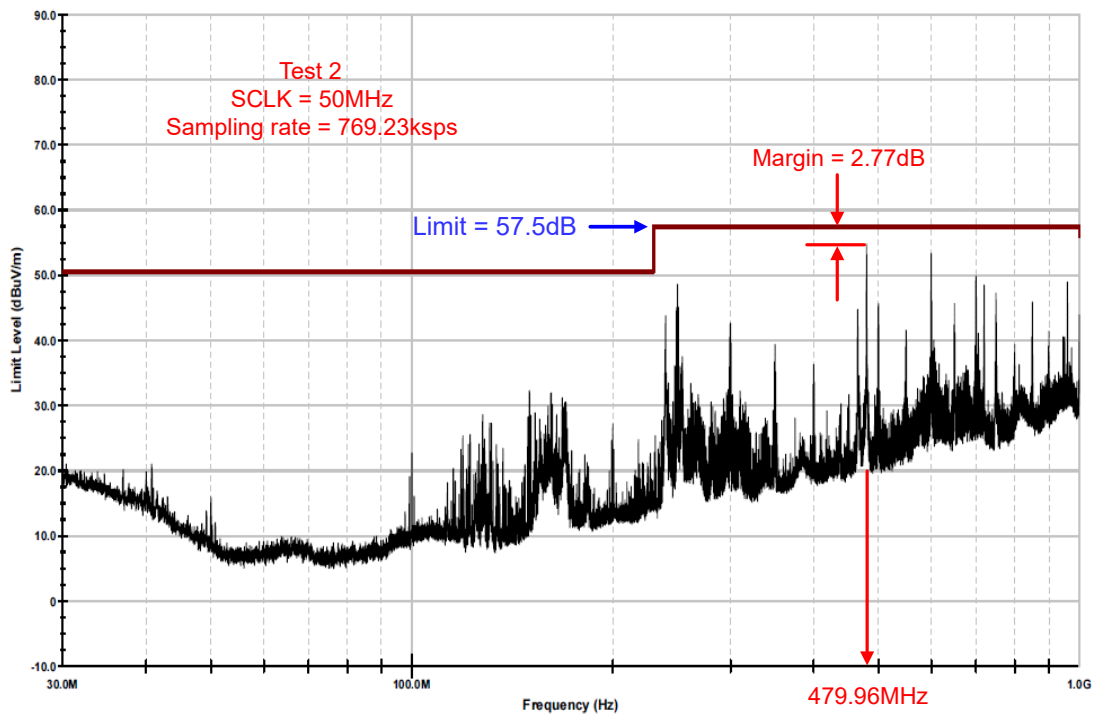


图 3-16. 测试 2 - 水平天线极化下测得的辐射发射

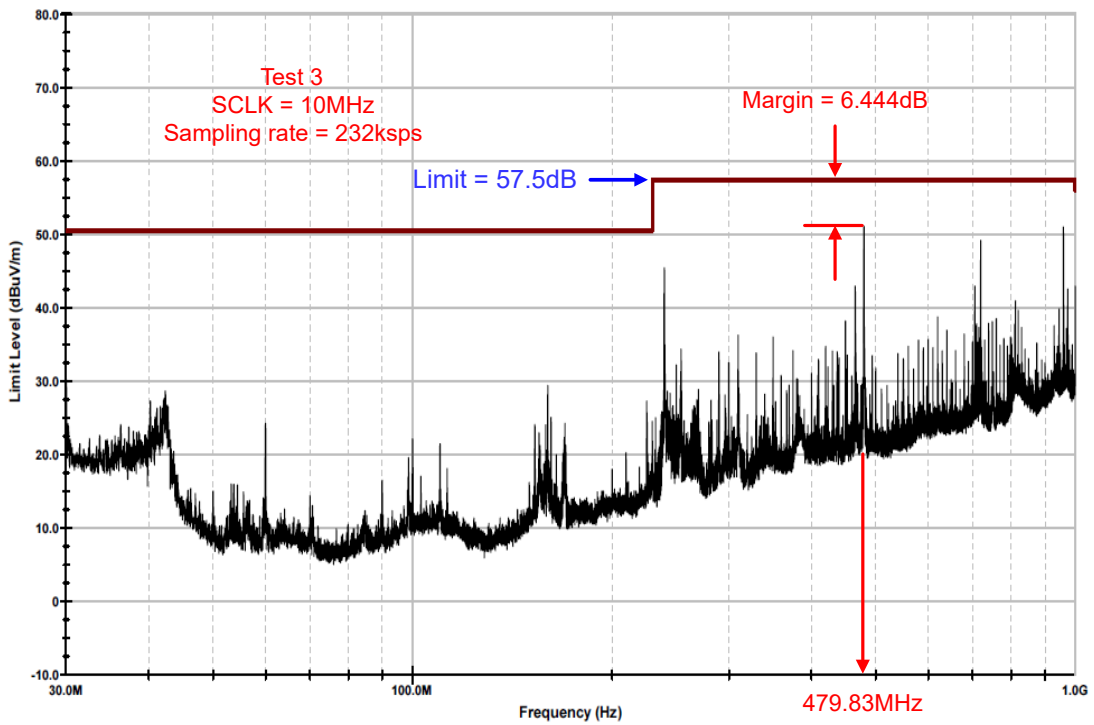


图 3-17. 测试 3 - 垂直天线极化下测得的辐射发射

表 3-7 显示了辐射发射测试的结果。

表 3-7. 辐射发射测试结果

测试	IEC 标准	测试条件			准峰值限制 (QP) dB $\mu$ V/m	标准	测试结果 (通过裕量)		
		天线距离	频率	天线极化					
辐射发射 (RE)	适用于 ISM 的 CISPR 11	测试 1 : SCLK = 10MHz ; 采样率 = 9.7kSPS	30-1000 MHz	水平	50.5 (30 - 230MHz)	A	在 139.92 MHz 时为 -34.247dB		
					57.5 (230 - 1000MHz)	A	在 600.05 MHz 时为 -22.828dB		
				垂直	50.5 (30 - 230MHz)	A	在 54.93 MHz 时为 -30.477dB		
					57.5 (230 - 1000MHz)	A	在 679.95 MHz 时为 -28.297dB		
				测试 2 : SCLK = 50MHz ; 采样率 = 769.23kSPS	30-1000 MHz	水平	50.5 (30 - 230MHz)	A	在 149.998 MHz 时为 -18.188dB
							57.5 (230 - 1000MHz)	A	在 479.96 MHz 时为 -2.77dB
		垂直	50.5 (30 - 230MHz)			A	在 40.78 MHz 时为 -16.985dB		
			57.5 (230 - 1000MHz)			A	在 479.789 MHz 时为 -5.645dB		
		测试 3 : SCLK = 10MHz ; 采样率 = 232kSPS	30-1000 MHz			水平	50.5 (30 - 230MHz)	A	在 160 MHz 时为 -12.589dB
							57.5 (230 - 1000MHz)	A	在 239.94 MHz 时为 -10.823dB
				垂直	50.5 (30 - 230MHz)	A	在 30 MHz 时为 -19.099dB		
					57.5 (230 - 1000MHz)	A	在 479.83 MHz 时为 -6.444dB		

注意：表中的黄色框表示通过测试的裕量较小。

## 4 原理图

图 4-1 至图 4-6 显示了原理图。

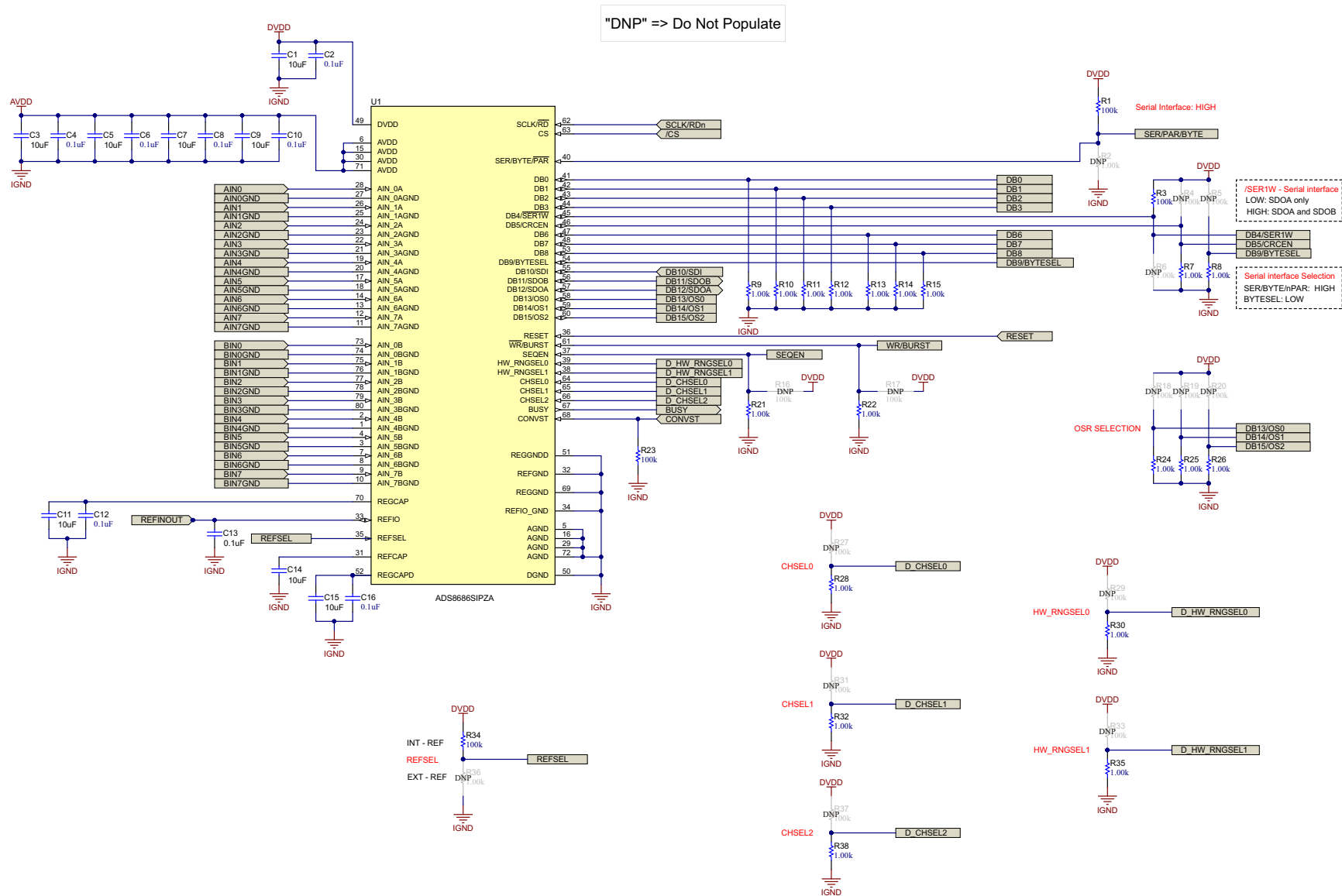


图 4-1. 原理图 - ADC

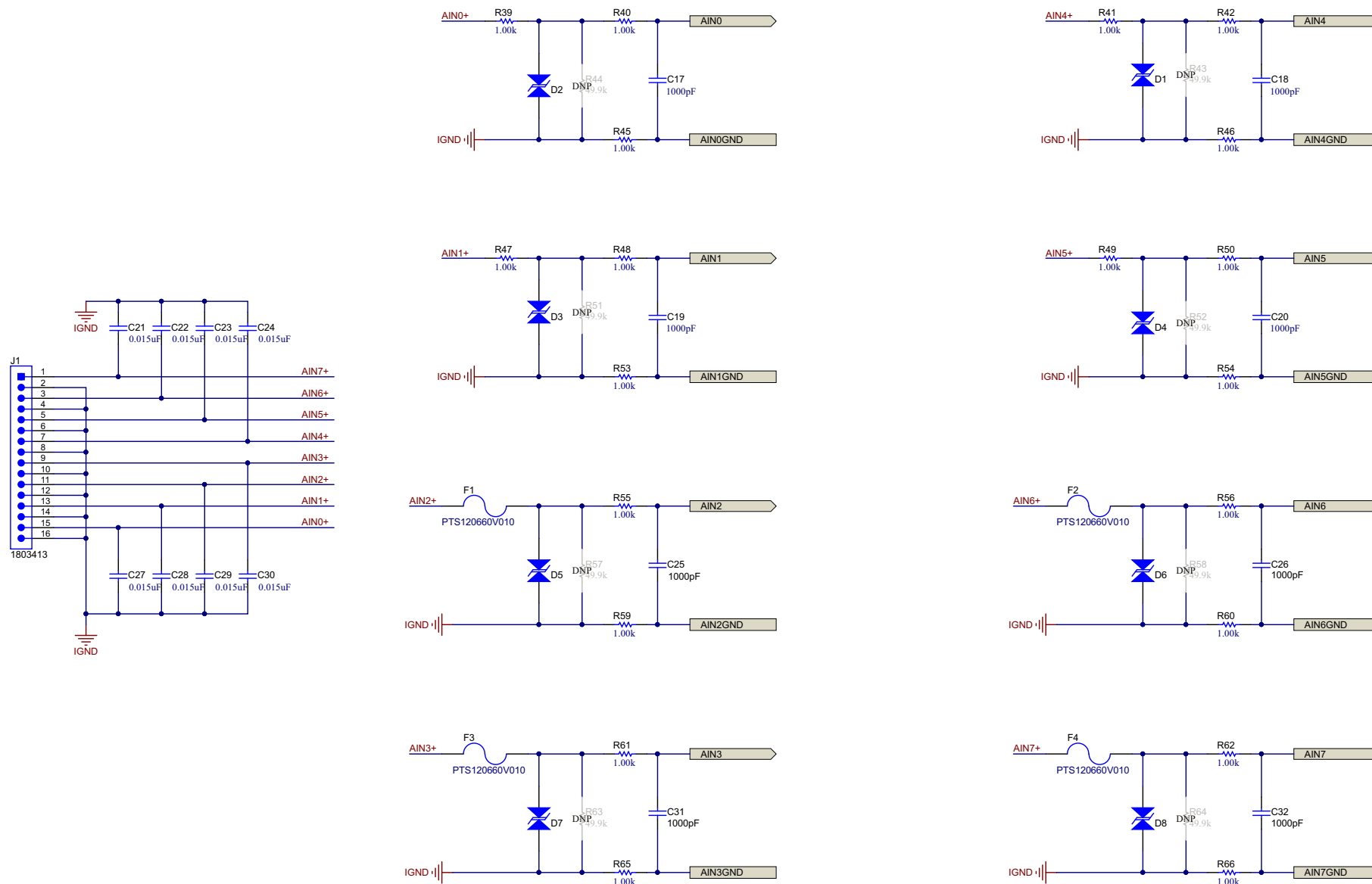


图 4-2. 原理图 - ADC 输入 - A



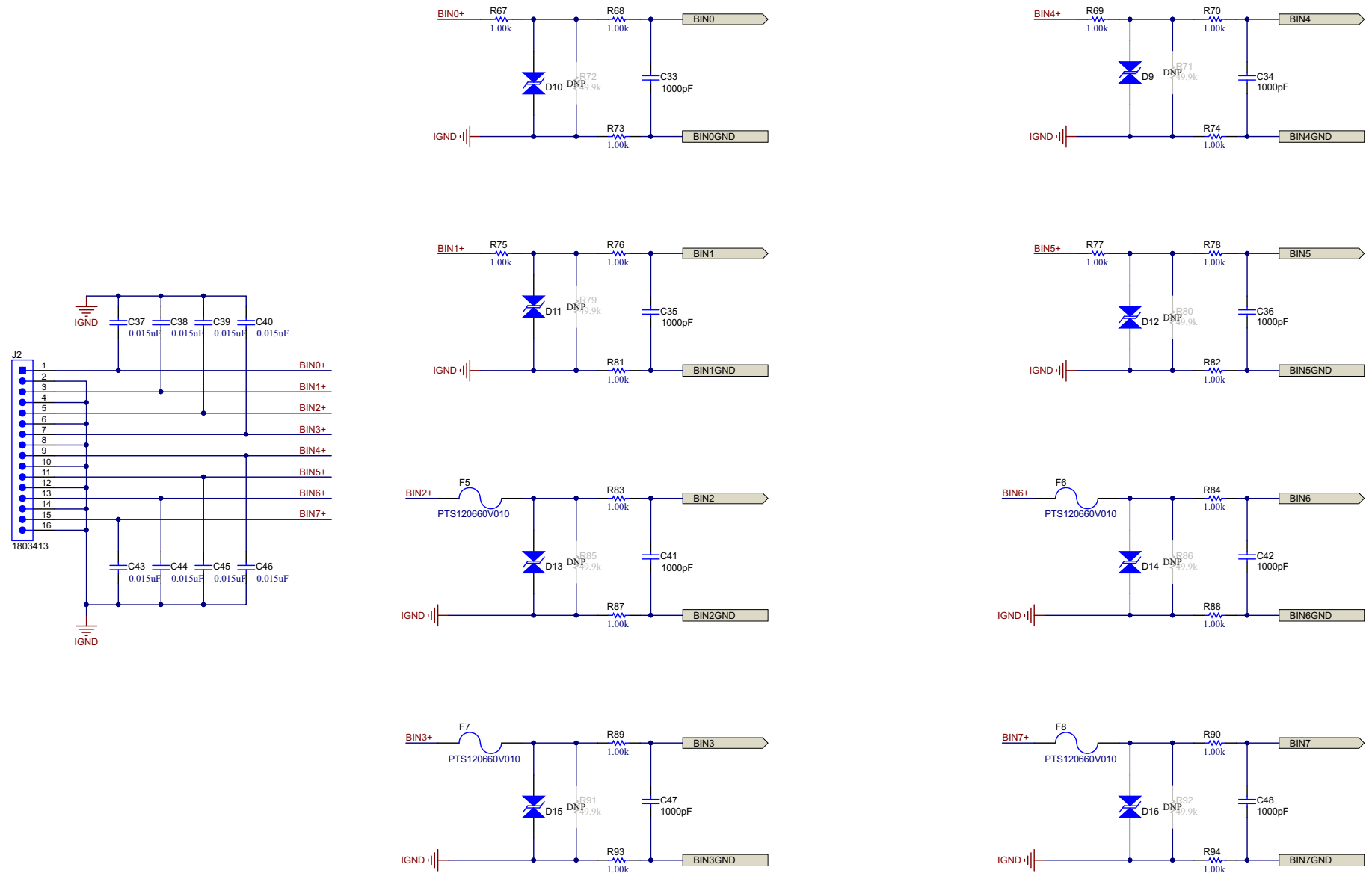


图 4-3. 原理图 - ADC 输入 - B

"DNP" ==> Do Not Populate

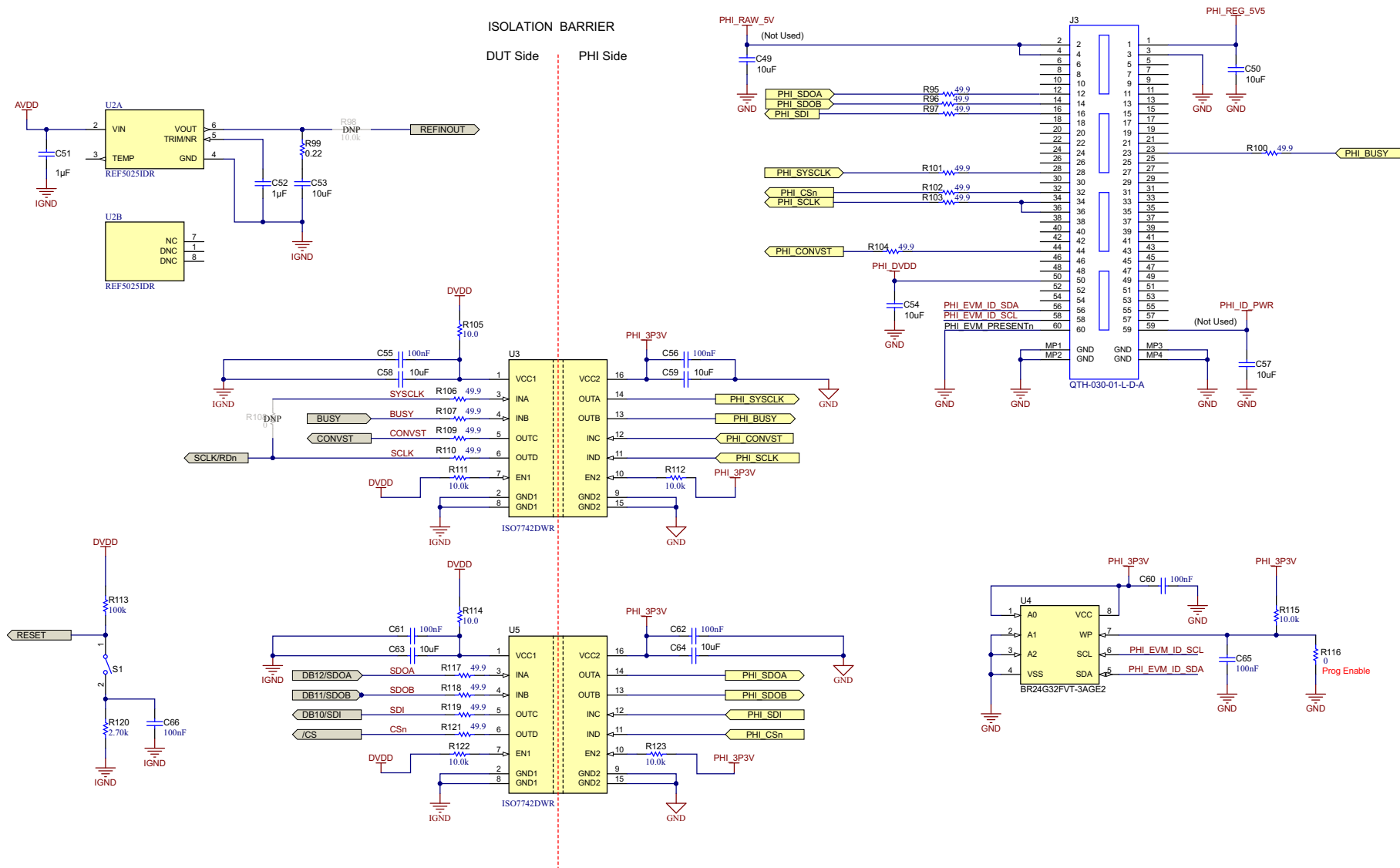


图 4-4. 原理图 - 数字隔离

"DNP" => Do Not Populate

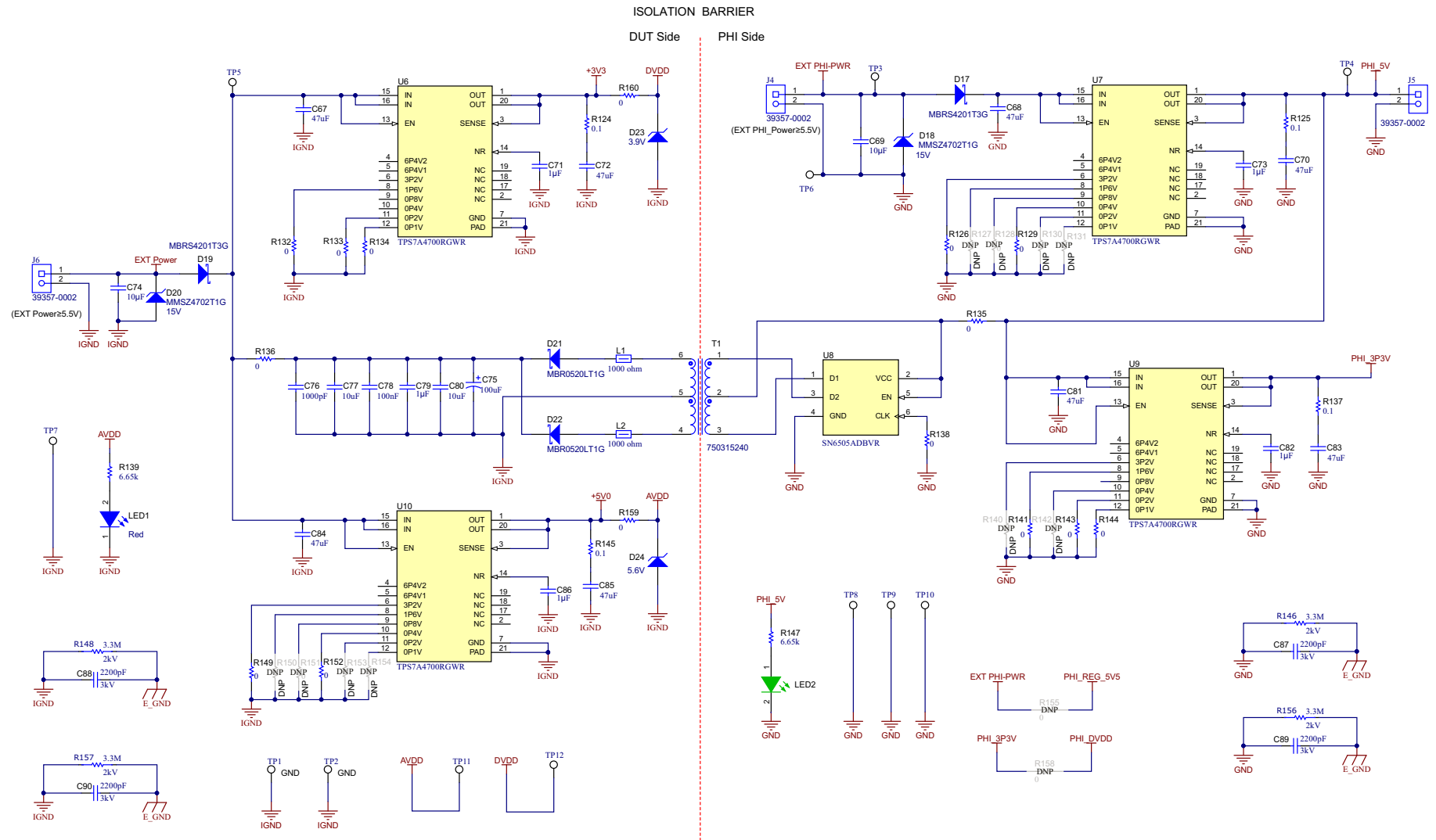
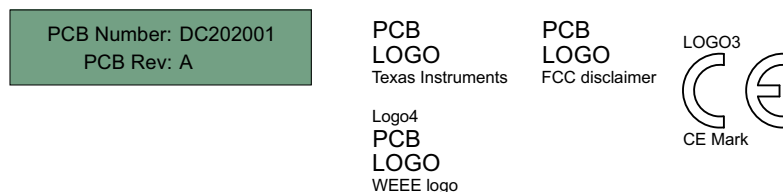
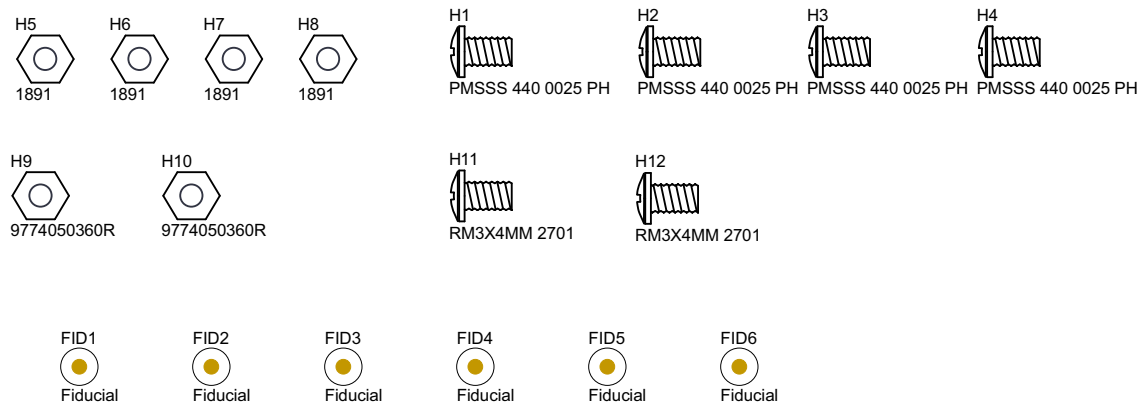


图 4-5. 原理图 - 电源



IPC2  
 MECH  
 PA007  
 CLB1  
 MECH  
 USB Cable

LBL1  
 PCB Label  
 THT-14-423-10  
 Size: 0.65" x 0.20 "

ZZ1  
 Assembly Note  
 These assemblies are ESD sensitive, ESD precautions shall be observed.  
 ZZ2  
 Assembly Note  
 These assemblies must be clean and free from flux and all contaminants. Use of no clean flux is not acceptable.  
 ZZ3  
 Assembly Note  
 These assemblies must comply with workmanship standards IPC-A-610 Class 2, unless otherwise specified.

图 4-6. 原理图 - 硬件

## 5 PCB 布局

图 5-1 至图 5-6 说明了 PCB 布局布线图像。

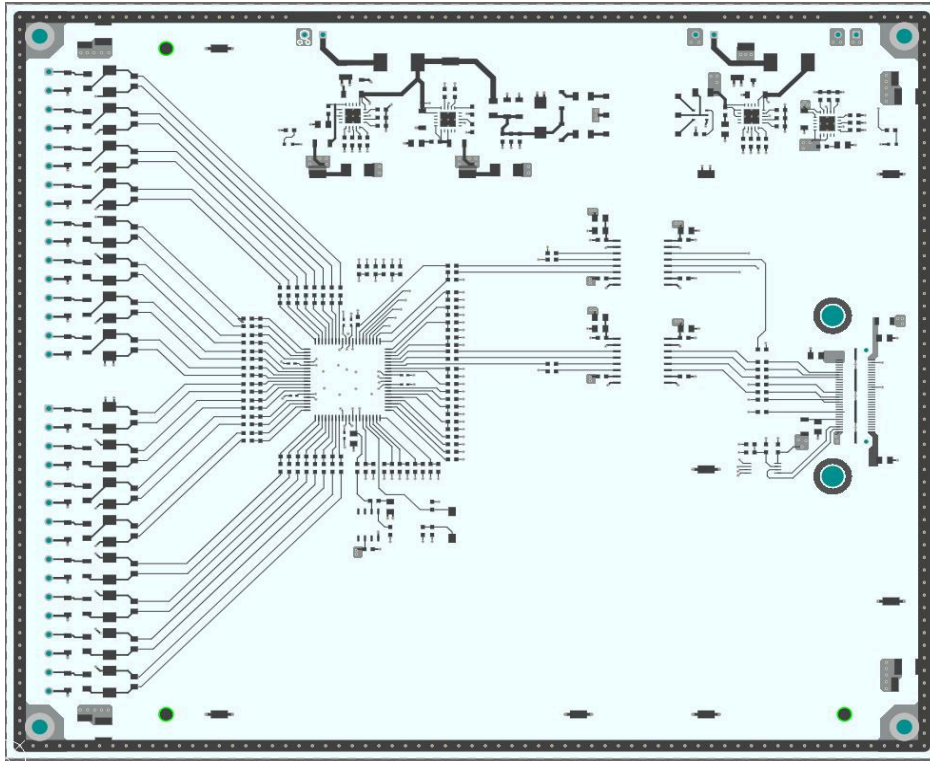


图 5-1. 布局布线 - 顶层

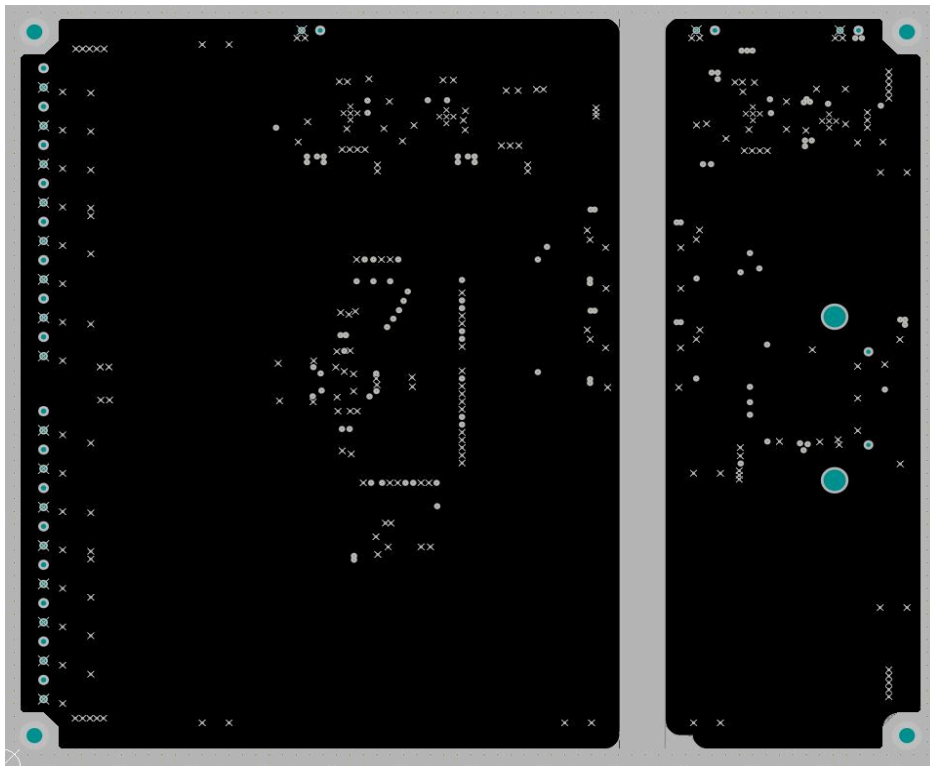


图 5-2. 布局布线 - 内接地层

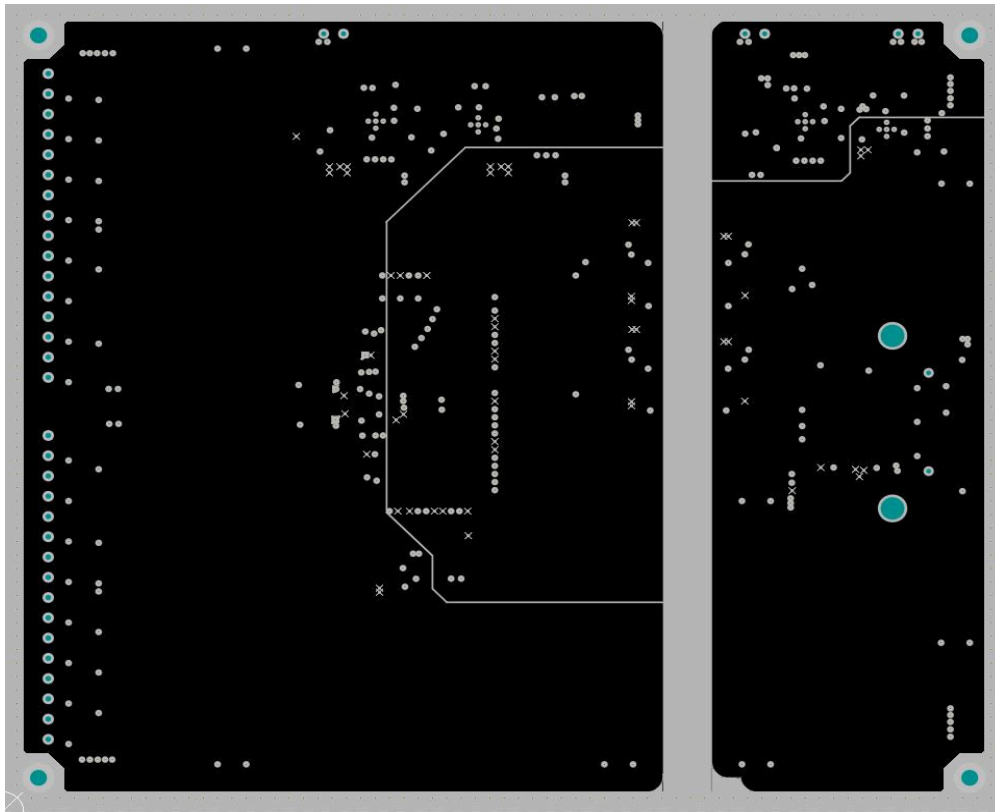


图 5-3. 布局布线 - 内电源层

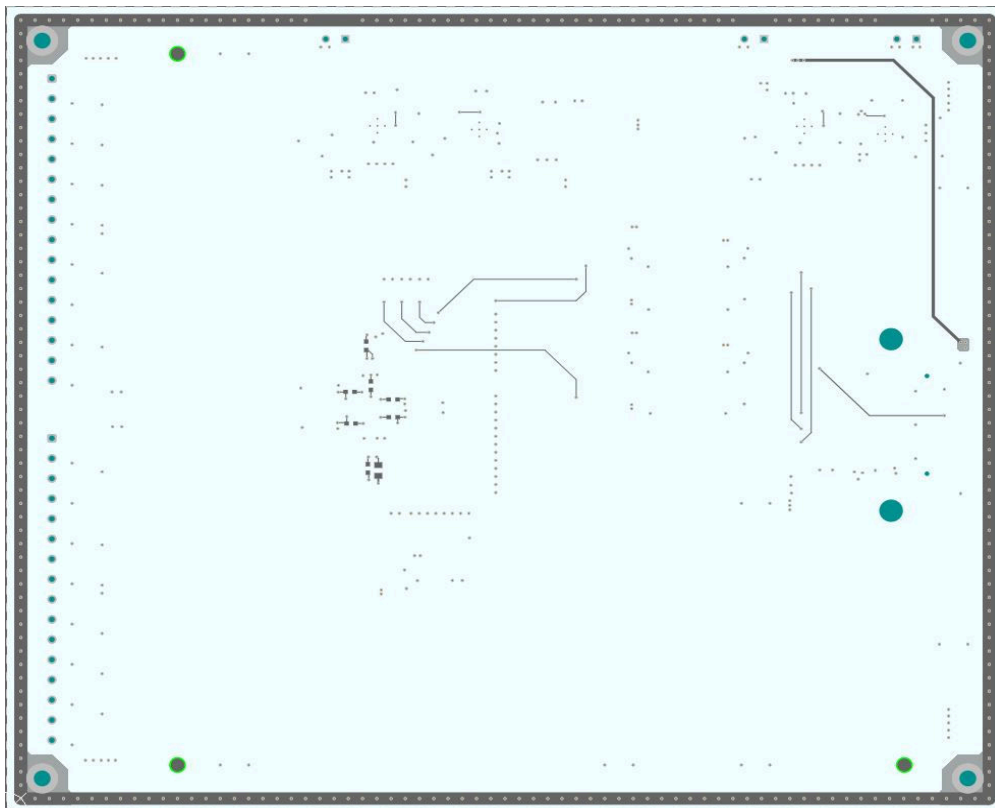


图 5-4. 布局布线 - 底层

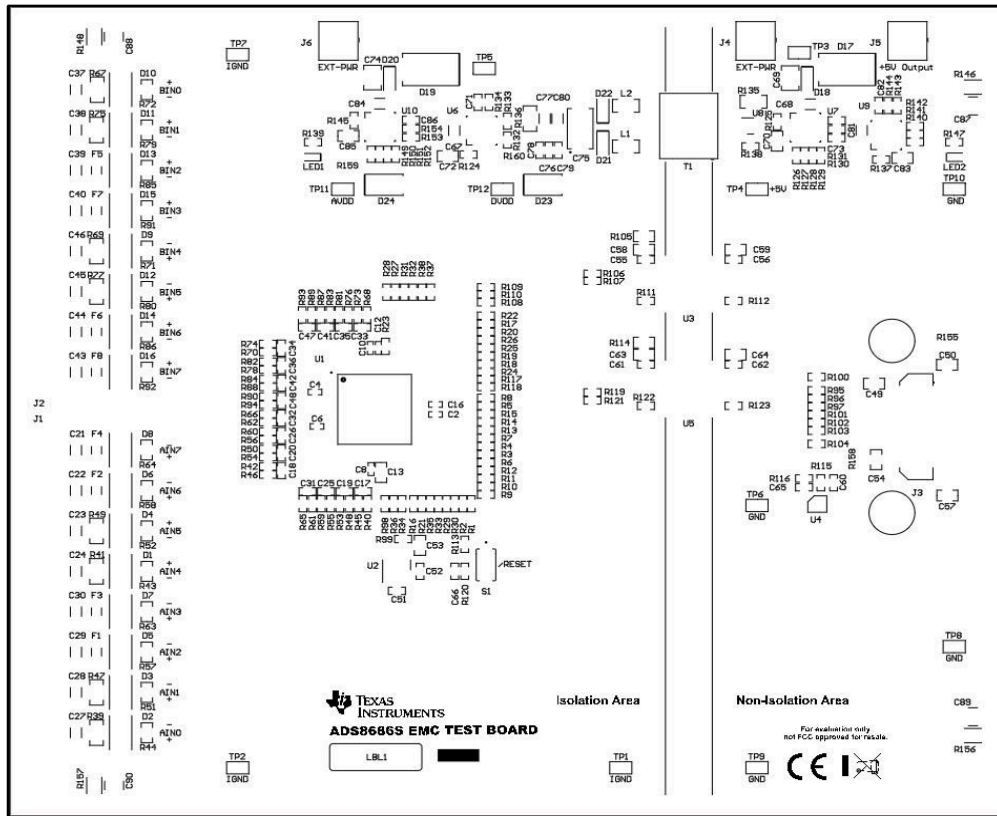


图 5-5. 顶部丝印

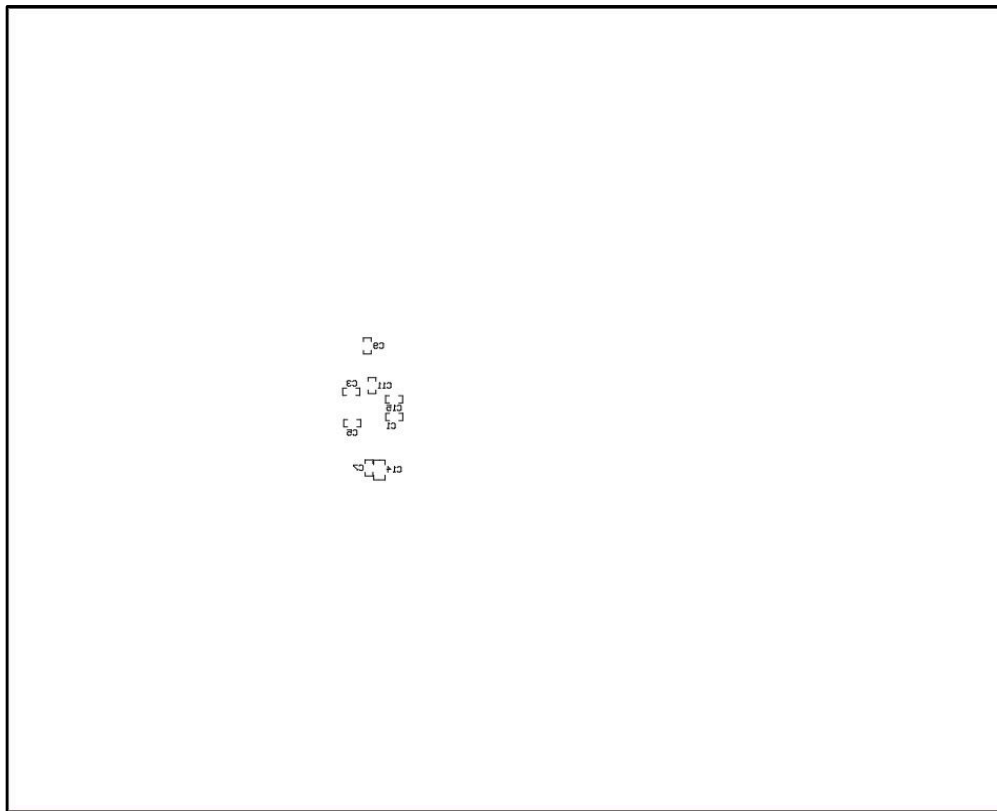


图 5-6. 底部丝印

## 6 物料清单

表 6-1 列出了该电路设计的 BOM。

表 6-1. 物料清单

名称	器件型号	制造商	说明
C1、C3、C5、C7、C9、C11、C15	GRM188R60J106ME84	MuRata	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 6.3V, $\pm$ 20%, X5R, 0603
C2、C4、C6、C8、C10、C12、C16	GRM155R71C104KA88D	MuRata	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 16V, $\pm$ 10%, X7R, 0402
C13	C0805C104K4RACTU	Kemet	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 16V, $\pm$ 10%, X7R, 0805
C14、C49、C50、C53、C54、C57、C58、C59、C63、C64	C0805C106K8PACTU	Kemet	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 10V, $\pm$ 10%, X5R, 0805
C17、C18、C19、C20、C25、C26、C31、C32、C33、C34、C35、C36、C41、C42、C47、C48、C76	GRM1885C1H102FA01J	MuRata	电容, 陶瓷, 1000pF, 50V, $\pm$ 1%, C0G/NP0, 0603
C21、C22、C23、C24、C27、C28、C29、C30、C37、C38、C39、C40、C43、C44、C45、C46	C3216C0G2E153J160AA	TDK	电容, 陶瓷, 0.015 $\mu$ F, 250V, $\pm$ 5%, C0G/NP0, 1206_190
C51、C52、C71、C73、C79、C82、C86	TMK107BJ105KA-T	Taiyo Yuden	电容, 陶瓷, 1 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 10%, X5R, 0603
C55、C56、C60、C61、C62、C65、C66、C78	C0603C104K5RACTU	Kemet	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603
C67、C68、C81、C84	C3216X5R1E476M160AC	TDK	电容, 陶瓷, 47 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 20%, X5R, 1206_190
C69、C74	CL32B106KBJNNWE	Samsung Electro-Mechanics	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 1210
C70、C72、C83、C85	C2012X5R1A476M125AC	TDK	电容, 陶瓷, 47 $\mu$ F, 10V, $\pm$ 20%, X5R, 0805
C75	293D107X9020E2TE3	Vishay-Sprague	电容, 钽, 100 $\mu$ F, 20V, $\pm$ 10%, 0.5 $\Omega$ , SMD
C77、C80	CL31A106KBHNNNE	Samsung Electro-Mechanics	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X5R, 1206_190
C87、C88、C89、C90	1812HC222KAT1A	AVX	电容, 陶瓷, 2200pF, 3000V, $\pm$ 10%, X7R, 1812
CLB1	6607652	CNC Teck	102-1092-BL-00100; 线缆, USB, A 公型转 B Micro 公型, 1M; 6607652 包装项
D1、D2、D3、D4、D5、D6、D7、D8、D9、D10、D11、D12、D13、D14、D15、D16	SMBJ10CA	Littelfuse	二极管, TVS, 双向, 10V, SMB
D17、D19	MBRS4201T3G	ON Semiconductor	二极管, 肖特基, 200V, 4A, SMC
D18、D20	MMSZ4702T1G	ON Semiconductor	二极管, 齐纳, 15V, 500mW, SOD-123
D21、D22	MBR0520LT1G	ON Semiconductor	二极管, 肖特基, 20V, 0.5A, SOD-123
D23	1SMB5915BT3G	ON Semiconductor	二极管, 齐纳, 3.9V, 550mW, SMB
D24	1SMB5919BT3G	ON Semiconductor	二极管, 齐纳, 5.6V, 550mW, SMB
F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8	PTS120660V010	Eaton	保险丝, 0.1A, 60VDC, SMD
FID1、FID2、FID3、FID4、FID5、FID6	不适用	不适用	基准标记。没有需要购买或安装的元件。
H1、H2、H3、H4	PMSSS 440 0025 PH	B&F Fastener Supply	机械螺钉盘 飞利浦 4-40
H5、H6、H7、H8	1891	Keystone	六角螺柱, 4-40, 铝, 1/4 英寸
H9、H10	9774050360R	Würth Elektronik	圆形电路板衬垫 M3 钢制 5MM



表 6-1. 物料清单 (continued)

名称	器件型号	制造商	说明
H11、H12	RM3X4MM 2701	APM HEXSEAL	机械螺钉盘 飞利浦 M3
J1、J2	1803413	Phoenix Contact	端子块, 3.81mm, 16 × 1, R/A, TH
J3	QTH-030-01-L-D-A	Samtec	接头 (有罩), 19.7mil, 30 × 2, 金, SMT
J4, J5, J6	39357-0002	Molex	端子块, 3.5mm, 2 × 1, 锡, TH
L1、L2	HZ1206D102R-10	Laird-Signal Integrity Products	铁氧体磁珠, 1000 Ω (在 100MHz 时), 0.4A, 1206
LBL1	THT-14-423-10	Brady	热转印打印标签, 0.650" (宽) × 0.200" (高) - 10,000/卷
LED1	150060RS75000	Würth Elektronik	LED, 红光, SMD
LED2	LTST-C193TGKT-5A	Lite-On	LED, 绿光, SMD
R1、R3、R23、R34、R113	RC0603FR-07100KL	Yageo	电阻器, 100k, 1%, 0.1W, 0603
R7、R8、R9、R10、R11、R12、R13、R14、R15、R21、R22、R24、R25、R26、R28、R30、R32、R35、R38	RC0603FR-071KL	Yageo	电阻器, 1.00k, 1%, 0.1W, 0603
R39、R41、R47、R49、R67、R69、R75、R77	CRCW12061K00FKEA	Vishay-Dale	电阻器, 1.00 k, 1%, 0.25W, 1206
R40、R42、R45、R46、R48、R50、R53、R54、R55、R56、R59、R60、R61、R62、R65、R66、R68、R70、R73、R74、R76、R78、R81、R82、R83、R84、R87、R88、R89、R90、R93、R94	RT0603BRD071KL	Yageo America	电阻器, 1.00k, 0.1%, 0.1W, 0603
R95、R96、R97、R100、R101、R102、R103、R104、R106、R107、R109、R110、R117、R118、R119、R121	RC0603FR-0749R9L	Yageo	电阻器, 49.9, 1%, 0.1W, 0603
R99	ERJ-3RQFR22V	Panasonic	电阻器, 0.22, 1%, 0.1W, 0603
R105、R114	ERJ-P06F10R0V	Panasonic	电阻器, 10.0, 1%, 0.5W, AEC-Q200 0 级, 0805
R111、R112、R115、R122、R123	RC0603FR-0710KL	Yageo	电阻器, 10.0k, 1%, 0.1W, 0603
R116、R126、R129、R132、R133、R134、R138、R141、R143、R144、R149、R152	CRCW06030000Z0EA	Vishay-Dale	电阻器, 0, 5%, 0.1W, 0603
R120	RC0603FR-072K7L	Yageo	电阻器, 2.70k, 1%, 0.1W, 0603
R124、R125、R137、R145	ERJ-3RSFR10V	Panasonic	电阻器, 0.1, 1%, 0.1W, 0603
R135、R136	CRCW12060000Z0EAHP	Vishay-Dale	电阻器, 0, 0.75W, AEC-Q200 0 级, 1206
R139、R147	RC0603FR-076K65L	Yageo	电阻器, 6.65k, 1%, 0.1W, 0603
R146、R148、R156、R157	CHV2010-FX-3304ELF	Bourns	电阻器, SMD, 3.3m Ω, 1%, 1/2W, 2010
R159、R160	5108	Keystone	电阻器, 0, 1%, 0.5 W, 1206
S1	EVQPNF04M	Panasonic	开关, 触控式, 单刀单掷-常开, 0.05A, 12V, SMD
T1	750315240	Würth Elektronik	变压器, 110μH, SMT
TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6, TP7, TP8, TP9, TP10, TP11, TP12	5015	Keystone	测试点, 微型, SMT

表 6-1. 物料清单 (continued)

名称	器件型号	制造商	说明
U1	<a href="#">ADS8686SIPZA</a>	德州仪器 (TI)	16 通道, 16 位, 1MSPS, 双路, 集成模拟前端同步采样 ADC, PZA0080A (LQFP-80)
U2	<a href="#">REF5025IDR</a>	德州仪器 (TI)	低噪声, 极低漂移, 精密电压基准, -40°C 至 125°C, 8 引脚 SOIC(D), 绿色 (RoHS, 无梯/溴)
U3, U5	<a href="#">ISO7742DWR</a>	德州仪器 (TI)	高速, 低功耗, 强健 EMC 四通道数字隔离器, DW0016B (SOIC-16)
U4	BR24G32FVT-3AGE2	Rohm	I2C BUS EEPROM (2 线), TSSOP-B8
U6、U7、U9、U10	<a href="#">TPS7A4700RGWR</a>	德州仪器 (TI)	36V, 1A, 4.17 $\mu$ V <sub>RMS</sub> , 射频 LDO 稳压器, RGW0020A (VQFN-20)
U8	<a href="#">SN6505ADBVR</a>	德州仪器 (TI)	用于隔离电源的低噪声 1A 变压器驱动器, 内部时钟 160kHz, DBV0006A (SOT-23-6)
R2、R6、R36	RC0603FR-071KL	Yageo	电阻器, 1.00k, 1%, 0.1W, 0603
R4、R5、R16、R17、R18、R19、R20、R27、R29、R31、R33、R37	RC0603FR-07100KL	Yageo	电阻器, 100k, 1%, 0.1W, 0603
R43、R44、R51、R52、R57、R58、R63、R64、R71、R72、R79、R80、R85、R86、R91、R92	CRCW080549K9FKEA	Vishay-Dale	电阻器, 49.9k, 1%, 0.125W, 0805
R98	RC0603FR-0710KL	Yageo	电阻器, 10.0k, 1%, 0.1W, 0603
R108、R127、R128、R130、R131、R140、R142、R150、R151、R153、R154	CRCW06030000Z0EA	Vishay-Dale	电阻器, 0, 5%, 0.1 W, 0603
R155、R158	5108	Keystone	电阻器, 0, 1%, 0.5 W, 1206

## 7 鸣谢

作者感谢德州仪器 (TI) 精密 ADC 应用经理 Collin Wells 对本设计所做的贡献, 以及他对测试提供的帮助。

## 8 参考文献

- 德州仪器 (TI), [ADS8686S 具有集成模拟前端的 16 通道 16 位 1MSPS 双路同步采样 ADC](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [ADS8686SEVM-PDK](#) ADS8686S 16 通道 16 位 1MSPS 双路同步采样 ADC 性能演示套件 (PDK)

## 9 修订历史记录

注: 以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (April 2022) to Revision A (May 2022)	Page
• 更改了文档标题并更新了摘要 .....	1
• 更新了 <a href="#">EFT 测试的实验室设置图</a> 图像。 .....	9
• 更新了 <a href="#">辐射发射测试结果</a> 值。 .....	22

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司