



Daniel Hartung

Space Power

## 摘要

反激式转换器是卫星中常用的转换器类型，用于将 28V 总线转换为较低的电压（例如 5V）。该设计详细说明了在采用和不采用同步整流的情况下如何使用 TPS7H5001-SP 控制器以高达 10A 的电流降低电压。

## 内容

说明.....	2
特性.....	2
应用.....	2
<b>1 系统概述.....</b>	<b>3</b>
1.1 方框图.....	3
1.2 设计注意事项.....	4
1.3 系统设计原理.....	4
<b>2 测试结果.....</b>	<b>9</b>
2.1 测试和结果.....	9
<b>3 设计文件.....</b>	<b>15</b>
3.1 原理图.....	15
3.2 物料清单.....	16
3.3 装配图.....	20
<b>4 相关文档.....</b>	<b>25</b>

## 插图清单

图 1-1. 设计电路板图片.....	3
图 2-1. 效率与输出电流之间的关系.....	9
图 2-2. 28V <sub>IN</sub> 频率响应.....	10
图 2-3. 28V 输入电压的顶部电路板热特性.....	10
图 2-4. 28V 输入电压的底部电路板热特性.....	10
图 2-5. 输出电压纹波.....	11
图 2-6. 10A 负载降压.....	11
图 2-7. 10A 负载升压.....	12
图 2-8. 输出满载时的启动.....	12
图 2-9. 输出无负载时的启动.....	12
图 2-10. 输出满载时的关断.....	13
图 2-11. 主开关 MOSFET 上的电压应力.....	13
图 2-12. 输出 FET 和二极管应力.....	14
图 3-1. 主原理图.....	15
图 3-2. 顶部覆盖层.....	20
图 3-3. 顶部阻焊层.....	20
图 3-4. 顶层.....	21
图 3-5. 信号层 1.....	21
图 3-6. 信号层 2.....	22
图 3-7. 信号层 3.....	22
图 3-8. 信号层 4.....	23
图 3-9. 信号层 5.....	23
图 3-10. 信号层 6.....	24

图 3-11. 底层.....	24
图 3-12. 底部阻焊层.....	25
图 3-13. 底部阻焊层.....	25

## 表格清单

表 2-1. 测试参数.....	9
表 2-2. 频率响应特性.....	10

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 说明

TPS7H5001-SP 控制器在 10A 时将 28V 输入降至 5V 输出。主转换器使用同步整流进行了测试，并将效率与未使用同步整流的同一转换器进行了比较。查找无源器件所需值的公式与 28V 电源轨的结果一起进行审查。无源器件旨在反映航天级元件，但可能没有完美的类似产品。主变压器使用航天级材料。

## 特性

- 使用新型耐辐射 PWM 控制器实现高效率
- 使用 TPS7H5001-SP 内置输出实现同步整流
- 使用电流检测变压器进行高侧电流检测
- 使用电流限制引脚进行逐脉冲电流限制

## 应用

- [命令和数据处理](#)
- [卫星电力系统 \(EPS\)](#)
- [光学成像有效载荷](#)
- [雷达成像有效载荷](#)
- [通信负载](#)

# 1 系统概述

## 1.1 方框图

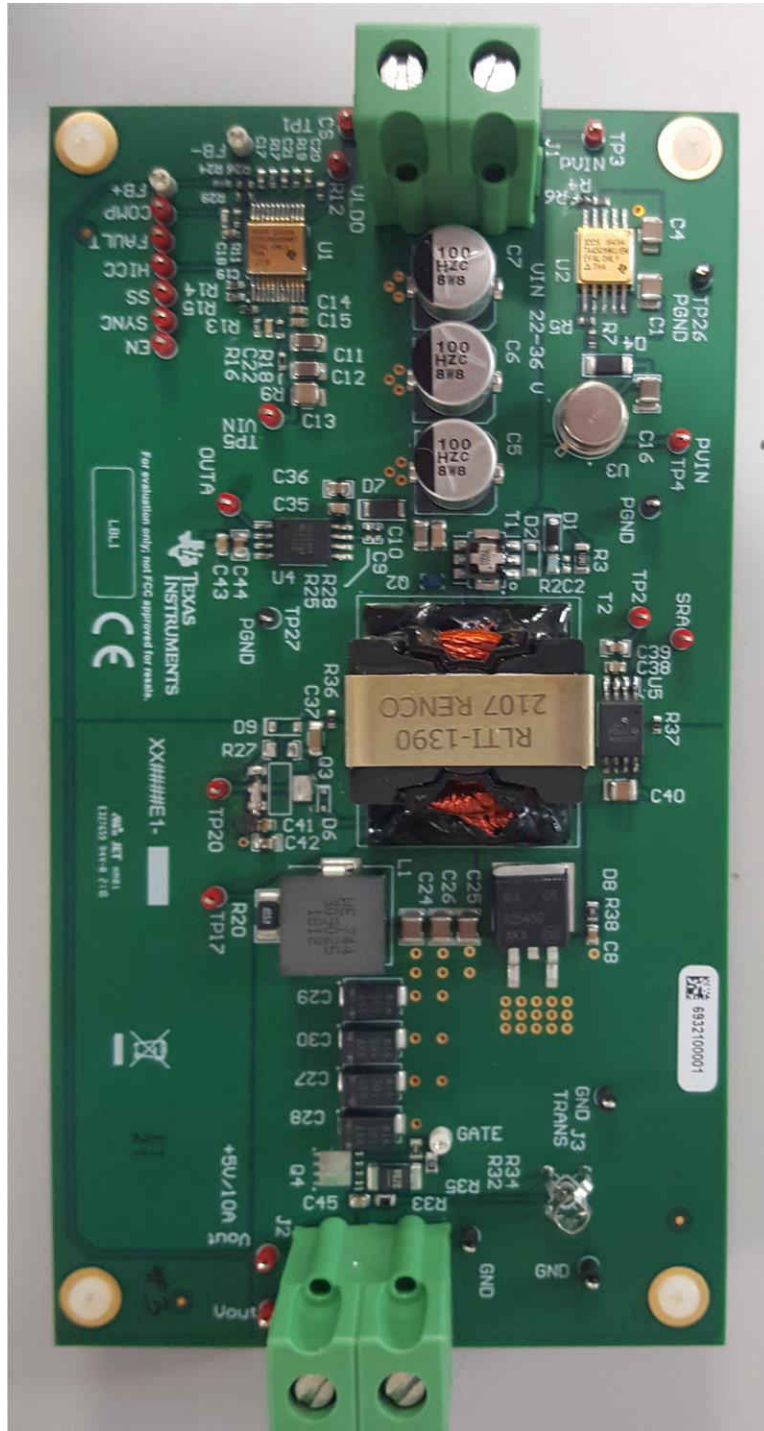


图 1-1. 设计电路板图片

## 1.2 设计注意事项

TPS7H5001-SP 反激式板使用 TPS7H5001-SP 和 UCC5304 器件构成同步降压转换器，以便在 10A 电流条件下将 28V 电池电压轨转换为 5V 电压轨，适用于航天级电源系统的中间轨。在设计中，底部 GaN FET 的发热会限制输出电流。由于 TPS7H5001 的初级开关输出具有大约 150mA 的峰值电流能力，因此使用 UCC5304 栅极驱动器放大电流，为同步降压转换器的 FET 提供足够的驱动电流。这些输出与 TPS7H5001-SP 无关，可以根据设计提高或降低这些输出值。虽然隔离式转换器通常在设计中包含隔离式反馈，但我们并未重点关注该设计功能，因此可以解释转换器中其他无源器件的设计。在整个转换器设计过程中，我们使用公式来确定起始值。有时本节的公式中的值与示意图中显示的值不完全一致。大多数情况下，这是由实验中可用的值引起的舍入导致的。

## 1.3 系统设计原理

### 1.3.1 开关频率

选择开关频率时需要在效率、带宽和尺寸之间进行权衡。更高的开关频率具有更大的带宽和更小的尺寸，但与更低的开关频率相比，效率更低。之所以选择 500kHz 的开关频率，是因为变压器的航天级材料会因产生的热量超过该值而增大尺寸。这使得所选频率允许转换器具有尽可能小的磁场。然后将计时电阻器选择为 204kΩ。

$$R_T = \frac{112,000}{f_{SW}(\text{kHz})} - 19.7 = \frac{112,000}{500 \text{ kHz}} - 19.7 = 204.3 \text{ k}\Omega \quad (1)$$

### 1.3.2 变压器

该设计的变压器包含两个主要值，即匝数比和初级侧电感。方程式 2 提供了作为占空比的函数的匝数比。如果需要匝数比实现最大的转换器占空比，则计算结果将提供最大的匝数比。TPS7H5001-SP 设计的目标占空比为 33%。这允许在两个方向上为占空比因瞬态而发生变化留出空间，并使其保持在最小导通时间之上。可以使用方程式 2 和方程式 3 来计算变压器的匝数比。

$$N_{ps} = \frac{V_{in} \times D}{(V_{out} + V_{Diode}) \times (1 - D)} \quad (2)$$

$$N_{ps} = \frac{28 \text{ V} \times 0.33}{(5 \text{ V} + 0.5 \text{ V}) \times (1 - 0.33)} = 2.5 \quad (3)$$

设计中的匝数比通常会因变压器的制造方式而异。在本例中，计划了辅助绕组，但未使用。由于该因素以及需要匝数的完整值，匝数比为 8:3。如果不需要辅助绕组，则建议使用 3:1 的匝数比，因为当占空比发生变化时，由于初级侧的匝数较少，开关节点上的寄生尖峰较小。

通过选择合适的纹波电流，可以确定变压器的初级电感。较高的电感通常意味着电流纹波较小，从而降低 EMI 和噪声，但较高的电感也会增加物理尺寸并限制设计的带宽。较低的电感则相反，它会增大电流纹波，降低 EMI，降低噪声，减小物理尺寸并增加设计的有限带宽。纹波电流百分比可以是 20% 至 80% 范围内的任何值，具体取决于设计。可以使用方程式 4 和方程式 5 通过纹波电流百分比来确定初级电感。

$$L_{PRI} = \frac{V_{in}^2 \times D^2}{V_{out} \times I_{out} \times f_{osc} \times \%Ripple} \quad (4)$$

$$\frac{(28 \text{ V})^2 \times 0.33^2}{5 \text{ V} \times 10 \text{ A} \times 500 \text{ kHz} \times 0.4} = 8.54 \text{ }\mu\text{H} \quad (5)$$

在制造变压器时存在很多物理限制，因此该电感通常会略有变化。对于 TPS7H5001-SP 设计，使用 μH 级的初级电感。这对应于大约 0.38 的波纹百分比。变压器的峰值电流和初级电流通常也可用于确定变压器的物理结构，如方程式 6 至方程式 13 所示。

$$I_{Ripple} = \frac{V_{out} \times I_{out} \times \%Ripple}{V_{in} \times D} \quad (6)$$

$$I_{Ripple} = \frac{5 \text{ V} \times 10 \text{ A} \times 0.38}{28 \text{ V} \times 0.33} = 2.06 \text{ A} \quad (7)$$

$$I_{\text{PriPeak}} = \frac{V_{\text{out}} \times I_{\text{out}}}{V_{\text{in}} \times D \times \eta} + \frac{I_{\text{Ripple}}}{2} \quad (8)$$

$$I_{\text{PriPeak}} = \frac{5 \text{ V} \times 10 \text{ A}}{28 \text{ V} \times 0.33 \times 0.8} + \frac{2.06}{2} = 7.79 \text{ A} \quad (9)$$

$$I_{\text{PriRMS}} = \sqrt{D \times \left( \frac{V_{\text{out}} \times I_{\text{out}}}{V_{\text{in}} \times D} \right)^2 + \frac{I_{\text{Ripple}}^2}{3}} \quad (10)$$

$$I_{\text{PriRMS}} = \sqrt{0.33 \times \left( \frac{5 \text{ V} \times 10 \text{ A}}{28 \text{ V} \times 0.33} \right)^2 + \frac{(2.06 \text{ A})^2}{3}} = 3.33 \text{ A} \quad (11)$$

$$I_{\text{SecRMS}} = \sqrt{\left( (1 - D) \times I_{\text{out}} \right)^2 + \frac{(I_{\text{Ripple}} \times N_{\text{ps}})^2}{3}} \quad (12)$$

$$I_{\text{SecRMS}} = \sqrt{0.67 \times (10 \text{ A})^2 + \frac{(2.06 \text{ A} \times 2.67)^2}{3}} = 8.78 \text{ A} \quad (13)$$

### 1.3.3 RCD 和二极钳位

通常使用电阻器和电容器进行反激式钳位，这包含了有关如何选择电阻器和电容器值的设计理念。通过测试来确定电阻和电容值，但可以得到起始值。要计算出 RCD 钳位所需的电阻器和电容器，首先选择节点允许的过冲大小。可以使用 [方程式 14](#) 来确定钳位电压。

$$V_{\text{clamp}} = K_{\text{clamp}} \times N_{\text{ps}} \times (V_{\text{out}} + V_{\text{Diode}}) \quad (14)$$

建议  $K_{\text{clamp}}$  值为 1.5，因为该值仅允许 50% 左右的过冲。通过了解变压器的寄生电感以及允许缓冲器电压在开关周期内改变多少，用户可以使用 [方程式 15](#) 和 [方程式 16](#) 来确定电阻器和电容器的起始值。

$$R_{\text{clamp}} = \frac{V_{\text{clamp}}^2}{\frac{1}{2} \times L_{\text{leakage}} \times I_{\text{PriPeak}}^2 \times \frac{V_{\text{clamp}}}{V_{\text{clamp}} - N_{\text{ps}} \times (V_{\text{out}} + V_{\text{Diode}})} \times f_{\text{osc}}} \quad (15)$$

$$C_{\text{clamp}} = \frac{V_{\text{clamp}}}{\Delta V_{\text{clamp}} \times V_{\text{clamp}} \times R_{\text{clamp}} \times f_{\text{osc}}} \quad (16)$$

通常为  $\Delta V_{\text{clamp}}$  使用 10% 的起始值。通过测试，确定需要 1k $\Omega$  的电阻器值和 15nF 的电容器值。

### 1.3.4 输出二极管和 MOSFET

可以通过[方程式 17](#) 和[方程式 18](#) 来计算转换器在次级侧的二极管或 MOSFET 上施加的电压应力。

$$V_{\text{SecStress}} = V_{\text{out}} + \frac{V_{\text{in}}}{N_{\text{ps}}} \quad (17)$$

$$V_{\text{SecStress}} = 5 \text{ V} + \frac{28 \text{ V}}{2.67} = 15 \text{ V} \quad (18)$$

所选的任何二极管都需要远高于该值的额定电压，因为该值不包含公式中的寄生尖峰。所选择的 UC1843-SP 二极管具有 45V 的额定电压。

### 1.3.5 输出滤波器和电容

对于大多数设计，会选择纹波电压并通过该值计算出输出电容。TPS7H5001-SP 设计的开始方式与使用[方程式 19](#) 至[方程式 22](#) 的设计的开始方式类似。

$$C_{\text{out}} > \frac{I_{\text{out}} \times D}{V_{\text{Ripple}} \times f_{\text{osc}}} \quad (19)$$

$$C_{\text{out}} > \frac{10 \text{ A} \times 0.33}{50 \text{ mV} \times 500 \text{ kHz}} = 133 \text{ } \mu\text{F} \quad (20)$$

$$C_{\text{out}} > \frac{\Delta I_{\text{step}}}{2\pi \times \Delta V_{\text{out}} \times f_{\text{co}}} \quad (21)$$

$$C_{\text{out}} > \frac{10 \text{ A}}{2\pi \times 0.15 \text{ V} \times 10.0 \text{ kHz}} = 1 \text{ mF} \quad (22)$$

选择了大约 1145 $\mu\text{F}$  的值，来保持较低的输出电压纹波。请注意，通过添加一个输出滤波器并在一小部分输出电容之后添加一个电感器，可以进一步降低设计中的输出电压纹波。选择了六个陶瓷电容器放置在输出滤波器之前，然后添加大型钽电容器和一些小型陶瓷电容器作为输出滤波器的一部分。初始陶瓷电容器有助于降低初始电流纹波，但具有非常大的输出电压纹波。放置在陶瓷电容器和输出端之间的电感器和电容器组合会使该电压纹波衰减。利用[方程式 23](#) 至[方程式 28](#)，可以确定特定输出滤波器电感产生的衰减量。选择了 500nH 的电感来衰减输出电压纹波。

$$F_{\text{resonant}} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L_{\text{Filter}} \times C_{\text{OBulk}}}} \quad (23)$$

$$F_{\text{resonant}} = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{0.5 \text{ nH} \times 1127 \text{ } \mu\text{F}}} = 6.7 \text{ kHz} \quad (24)$$

$$F_{\text{Zero}} = \frac{1}{2\pi \times C_{\text{OBulk}} \times \text{ESR}_{\text{OBulk}}} \quad (25)$$

$$F_{\text{Zero}} = \frac{1}{2\pi \times 1127 \text{ } \mu\text{F} \times 0.009 \text{ } \Omega} = 15.69 \text{ kHz} \quad (26)$$

$$\text{Attenuation}_{\text{fsW}} = 40 \times \log_{10}\left(\frac{f_{\text{osc}}}{f_{\text{resonant}}}\right) - 20 \times \log_{10}\left(\frac{f_{\text{osc}}}{f_{\text{zero}}}\right) \quad (27)$$

$$\text{Attenuation}_{\text{fsW}} = 40 \times \log_{10}\left(\frac{200 \text{ kHz}}{6.7 \text{ kHz}}\right) - 20 \times \log_{10}\left(\frac{200 \text{ kHz}}{15.69 \text{ kHz}}\right) = 36.88 \text{ dB} \quad (28)$$

有时，输出滤波器会导致在高频率下出现峰值，可以通过添加一个与电感器并联的电阻器来抑制该峰值。对于 UC1843A-SP 设计，0.5  $\Omega$  用作非常保守的值。可以使用[方程式 29](#) 至[方程式 32](#) 来计算抑制峰值所需的电阻。

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2(C_{\text{OCerm}} + C_{\text{OBulk}})}{L_{\text{Filter}} \times C_{\text{OCerm}} \times C_{\text{OBulk}}}} \quad (29)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2(19 \text{ } \mu\text{F} + 1127 \text{ } \mu\text{F})}{500 \text{ nH} \times 19 \text{ } \mu\text{F} \times 1127 \text{ } \mu\text{F}}} = 463 \text{ kHz} \quad (30)$$

$$R_{\text{Filter}} = \frac{R_o \times L_{\text{Filter}} \times \left( C_{o\text{Cerm}} + C_{o\text{Bulk}} \right) - \frac{L_{\text{Filter}}}{\omega_o}}{R_o \times \left( C_{o\text{Cerm}} + C_{o\text{Bulk}} \right) - L_{\text{Filter}} \times C_{o\text{Cerm}}} \quad (31)$$

$$R_{\text{Filter}} = \frac{0.5 \times 500 \text{ nH} \times \left( 19 \text{ }\mu\text{F} + 1127 \text{ }\mu\text{F} \right) - \frac{500 \text{ nH}}{463 \text{ kHz}}}{0.5 \times \left( 19 \text{ }\mu\text{F} + 1127 \text{ }\mu\text{F} \right) - 500 \text{ nH} \times 19 \text{ }\mu\text{F}} = 0.232 \text{ }\Omega \quad (32)$$

### 1.3.6 补偿

可以使用[方程式 33](#) 至[方程式 38](#) 来计算反激式转换器的极点和零点。

$$f_{\text{ZESR}} = \frac{1 + D}{2\pi \times C_{\text{out}} \times R_{\text{ESR}}} \quad (33)$$

$$f_{\text{ZESR}} = \frac{1 + 0.33}{2\pi \times 1146 \text{ }\mu\text{F} \times 0.009 \text{ }\Omega} = 20.52 \text{ kHz} \quad (34)$$

$$f_{\text{P}} = \frac{1}{2\pi \times C_{\text{out}} \times R_o} \quad (35)$$

$$f_{\text{P}} = \frac{1}{2\pi \times 1146 \text{ }\mu\text{F} \times 0.5} = 278 \text{ Hz} \quad (36)$$

$$f_{\text{RHPZ}} = \frac{R_{\text{out}} \times (1 - D)^2}{2\pi \times \frac{L_{\text{PRI}}}{N_{\text{ps}}^2} \times D} \quad (37)$$

$$f_{\text{RHPZ}} = \frac{0.5 \times (1 - 0.33)^2}{2\pi \times \frac{9 \text{ }\mu\text{H}}{2.67^2} \times 0.33} = 86 \text{ kHz} \quad (38)$$

选择了 IIB 型补偿来补偿反激式转换器的极点和零点。由于反激式转换器的右半平面零点 (RHPZ) 无法得到补偿，因此转换器的交叉频率需要处于转换器的 RHPZ 以下四分之一至整个十倍频程之间。IIB 型补偿具有 1 个极点和 1 个零点，可帮助补偿转换器。将来自补偿的极点放置在转换器的 RHPZ 附近，并将来自补偿的零点放置在预期交叉频率之前的十倍频程处。根据这些指南，为转换器选择了转换器的补偿值。对于电路板的非隔离部分，这意味着根据这些指南选择补偿电阻器和电容器的值。这允许在不更改系统的极点和零点的情况下控制系统中的增益。添加隔离式反馈回路通常会改变实现补偿的方式。需要对补偿值进行优化，可以通过测试对这些值进行验证。

### 1.3.7 控制器无源器件

检测电阻用于检测变压器的纹波电流并在转换器的峰值电流过高时关闭开关周期。CS 引脚的电压阈值约为 1V，由于匝数比为 1:100，电流检测变压器的增益为 100，因此根据峰值电流确定检测电阻的公式如[方程式 39](#) 和[方程式 40](#) 所示。

$$R_{\text{CS}} = \frac{V_{\text{CS Threshold}} \times G_{\text{CS Transformer}}}{I_{\text{limit}}} \quad (39)$$

$$R_{\text{CS}} = \frac{1\text{V} \times 100\text{V}}{10\text{A}} = 10.0\Omega \quad (40)$$

$I_{\text{limit}}$  需要大于  $I_{\text{PriPeak}}$ 。

通过使用转换器到 VSENSE 引脚的电阻分压器来设置电源转换器的输出电压。对于所选的 10kΩ 电阻值，可以使用[方程式 41](#) 来确定相应的值。

$$R_{\text{bottom}} = \frac{V_{\text{ref}}}{V_{\text{out}} - V_{\text{ref}}} \times R_{\text{top}} = \frac{0.613 \text{ V}}{5 \text{ V} - 0.613 \text{ V}} \times 10 \text{ k}\Omega = 1.37 \text{ k}\Omega \quad (41)$$

TPS7H5001-SP 允许对两个独立的死区时间进行编程。这样就可以优化死区时间，从而防止初级开关和同步开关之间发生击穿，同时实现出色的转换器效率。可以使用 [方程式 42](#) 来确定所需死区时间的值。

$$R_{PS} = R_{SP} = 1.207 \times DT - 8.858 = 1.207 \times 24 \text{ ns} - 8.858 = 20.11 \text{ k}\Omega \quad (42)$$

使用软启动 (SS) 引脚和 AVSS 之间的电容器对器件的软启动进行编程。[方程式 43](#) 显示了 SS 电容器的计算结果：

$$C_{SS} = \frac{t_{SS} \times I_{SS}}{V_{ref}} = \frac{7 \text{ ms} \times 2.7 \mu\text{A}}{0.613 \text{ V}} = 30.8 \text{ nF} \quad (43)$$

利用前沿消隐时间消除初级开关输出 OUTA 或 OUTB 变为高电平后电流检测环路中的任何瞬态噪声。所选前沿消隐时间为 100ns。[方程式 44](#) 展示了在所选 LEB 时间内对 LEB 电阻器进行编程的计算方法。

$$R_{LEB} = 1.212 \times LEB - 9.484 = 1.212 \times 50 \text{ ns} - 9.484 = 51 \text{ k}\Omega \quad (44)$$



## 2 测试结果

### 2.1 测试和结果

#### 2.1.1 测试设置

表 2-1. 测试参数

参数	规格
输入电源	28VDC
输出电压	5VDC
输出电流	0A 至 10 A
工作温度	25°C
UC1843A-SP 的开关频率	200 kHz
峰值输入电流限制	10A
带宽	约 10kHz
相位裕度	约 75°

#### 2.1.2 测试结果

##### 2.1.2.1 效率

图 2-1 中所示的效率测量是在电路板以满输出负载运行 20 分钟后进行的。非同步测量的测试设置是通过禁用用作非同步整流器的 GaN FET 进行的。两次测量是使用同一个板进行的。

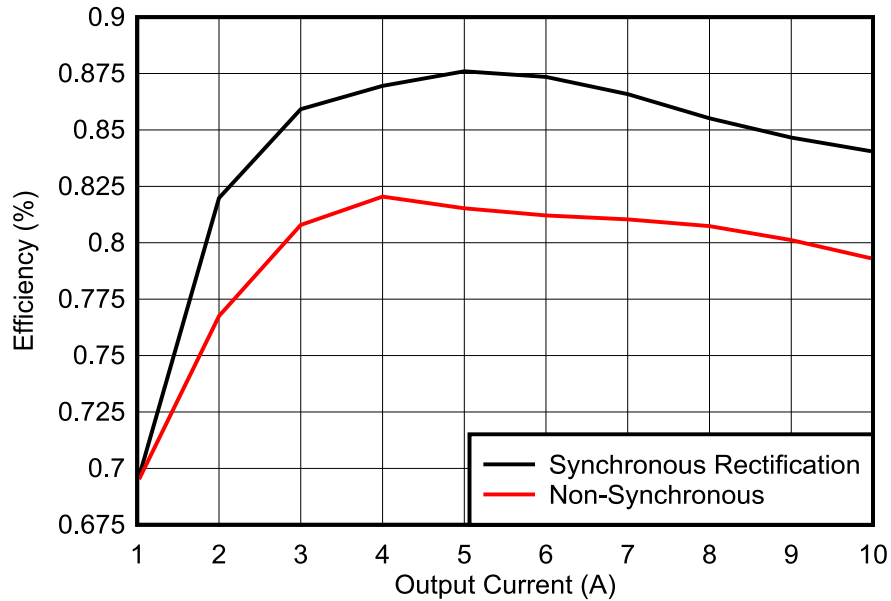


图 2-1. 效率与输出电流之间的关系

### 2.1.2.2 频率响应

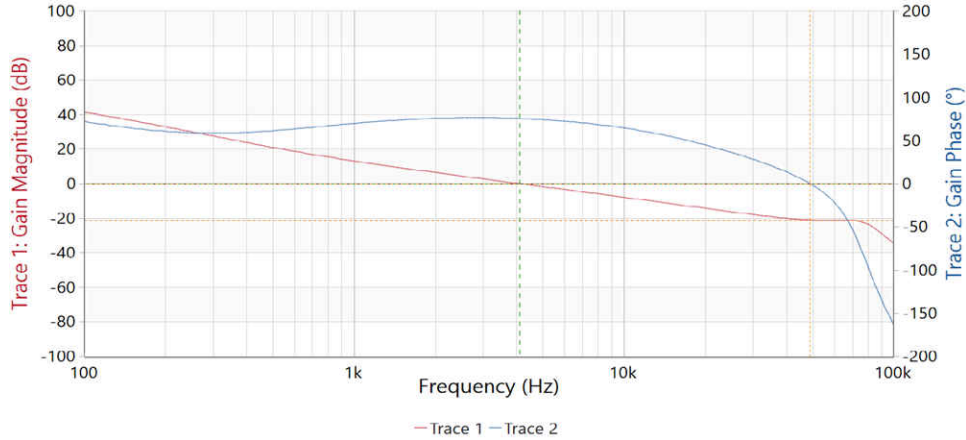


图 2-2. 28V<sub>IN</sub> 频率响应

频率响应是在 10A 输出电流下得到的。

表 2-2. 频率响应特性

参数	值
交叉频率	4.12 kHz
相位裕度	75.4°
相位交叉	49.1 kHz
增益裕量	-21.0dB

### 2.1.2.3 热特性

热测量是在输出满载情况下运行 20 分钟后在 28V 输入电压下进行的。顶部的热点是 GaN FET 和变压器。底部的热点是 RCD 钳位的电阻器。



图 2-3. 28V 输入电压的顶部电路板热特性

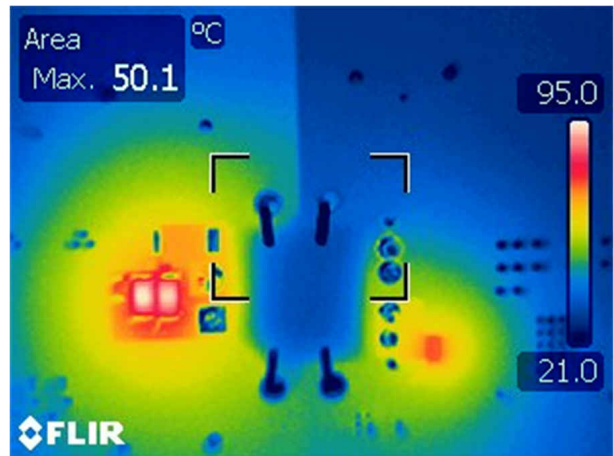


图 2-4. 28V 输入电压的底部电路板热特性

### 2.1.2.4 输出电压纹波

图 2-5 展示了输出电压纹波波形。

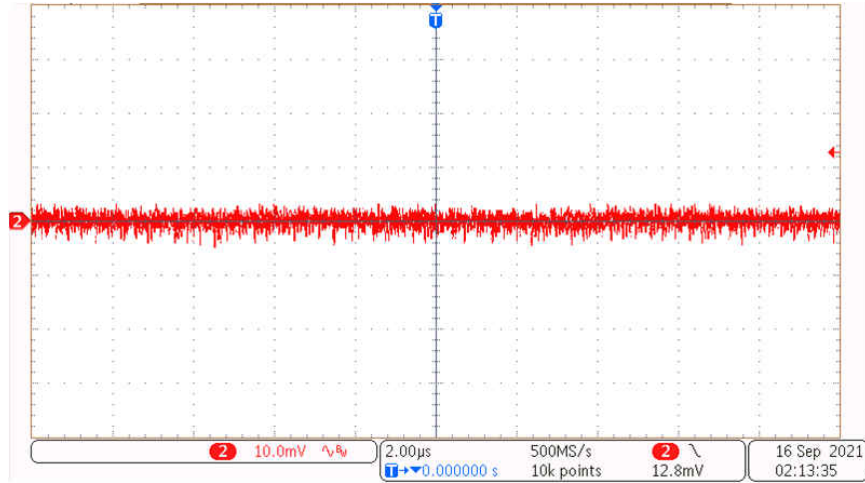


图 2-5. 输出电压纹波

### 2.1.2.5 负载阶跃

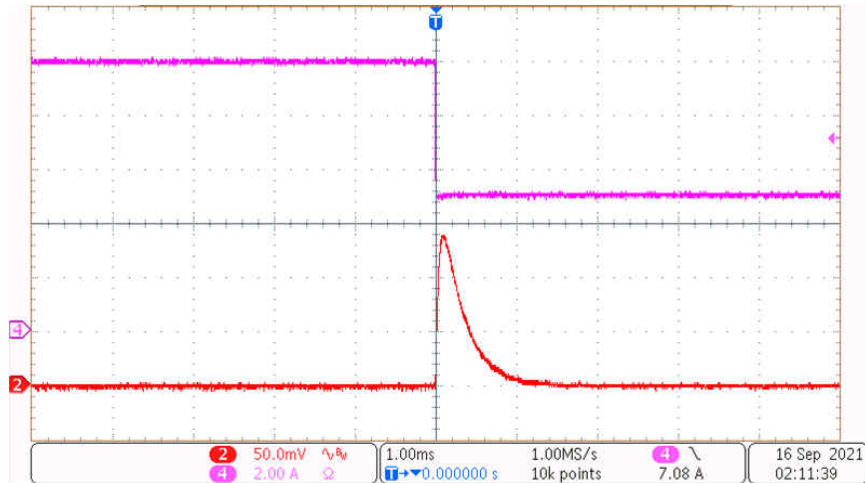


图 2-6. 10A 负载降压

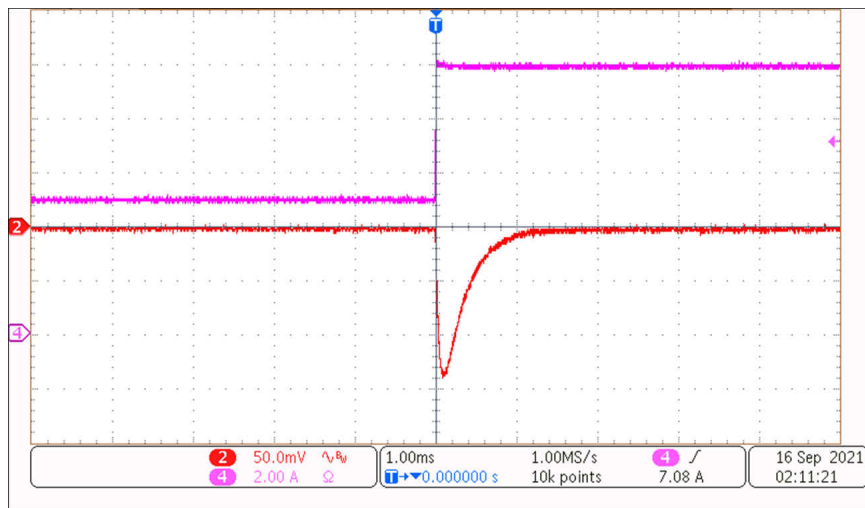


图 2-7. 10A 负载升压

### 2.1.2.6 启动

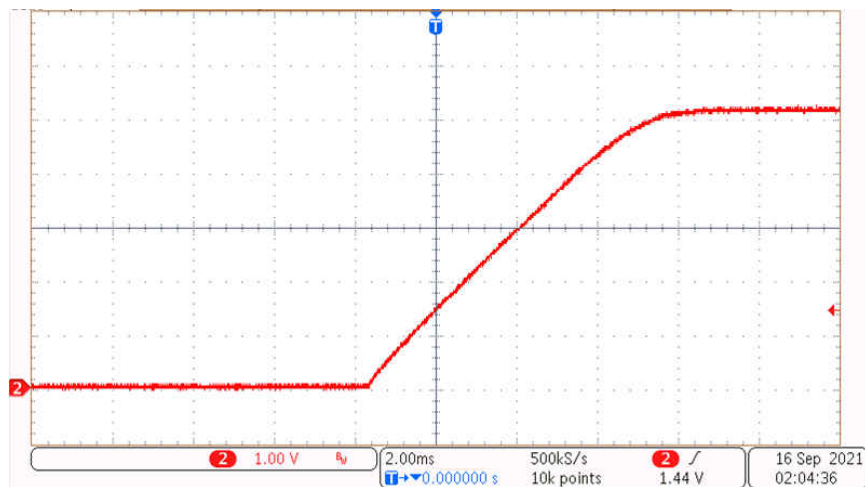


图 2-8. 输出满载时的启动

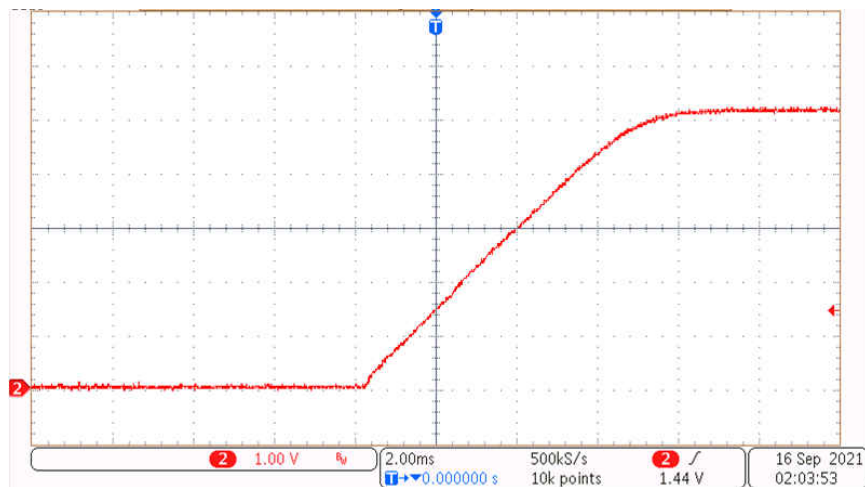


图 2-9. 输出无负载时的启动

### 2.1.2.7 关断



图 2-10. 输出满载时的关断

### 2.1.2.8 元件应力

对于图 2-11 和图 2-12 中的测试，向输入端施加了 28V 的电压，输出端提供的电流为 10A。对于输出 FET 和二极管应力，电压是相对于接地端测量的，因此必须添加输出电压以显示输出二极管上的真实应力。

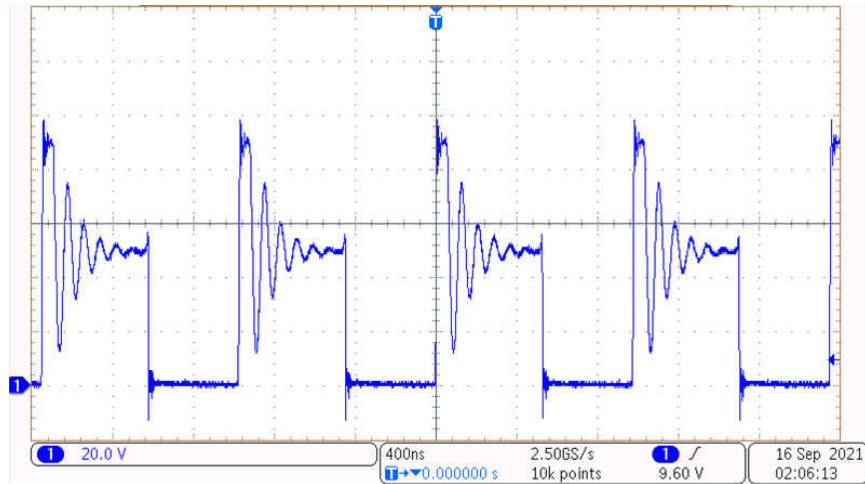


图 2-11. 主开关 MOSFET 上的电压应力

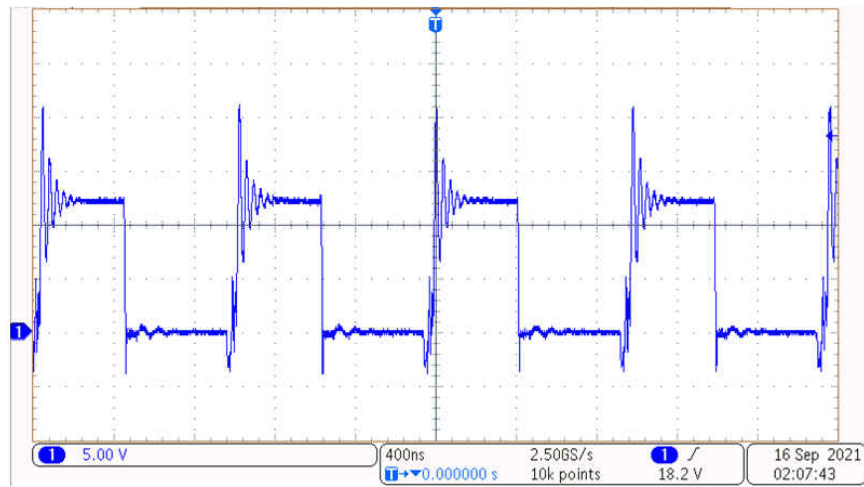


图 2-12. 输出 FET 和二极管应力

### 3 设计文件

#### 3.1 原理图

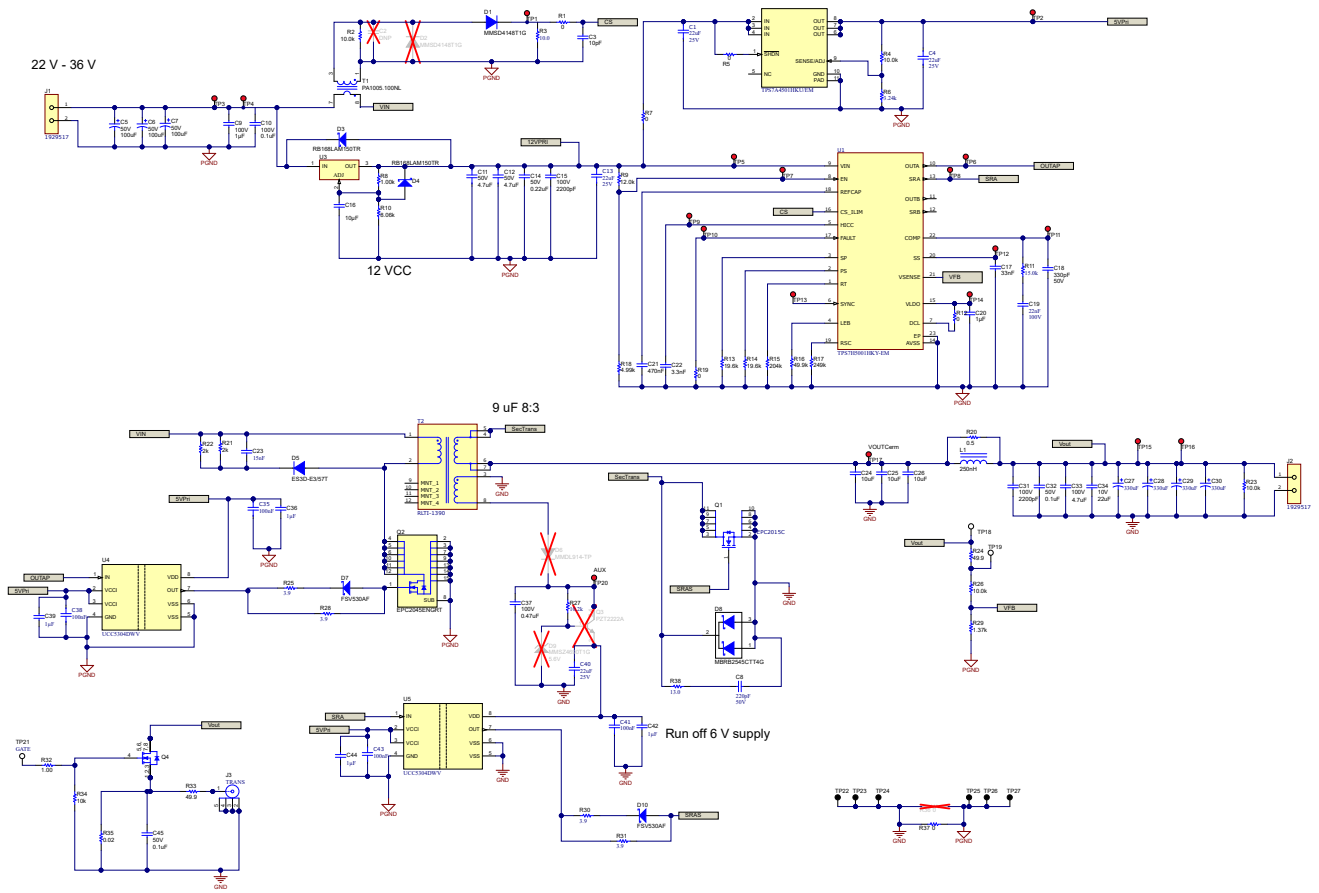


图 3-1. 主原理图

### 3.2 物料清单

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
!PCB1	1		印刷电路板		XX####	不限
C1、C4、C13、C40	4	22 $\mu$ F	22 $\mu$ F, $\pm$ 20%, 25V 陶瓷电容器, X7R, 1210 (公制 3225)	1210	GRM32ER71E226ME15K	村田 (Murata)
C3	1	10pF	电容, 陶瓷, 10pF, 10V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	0603	0603ZC100KAT2A	AVX
C5、C6、C7	3	100 $\mu$ F	电容, 混合聚合物, 100 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 20%, 28 欧姆, 10x10 SMD	10x10	EEHZC1H101P	Panasonic
C8	1	220pF	电容, 陶瓷, 220pF, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0805	0805	C0805C221K5RACTU	Kemet
C9	1	1 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 1 $\mu$ F, 100V, $\pm$ 10%, X7R, 1206	1206	CC1206KKX7R0BB105	Yageo America
C10	1	0.1 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 100V, $\pm$ 10%, X7R, 1206	1206	12061C104KAT2A	AVX
C11、C12	2		4.7 $\mu$ F, $\pm$ 10%, 50V 陶瓷电容器, X7R, 1206 (公制 3216)	1206	885012208094	Würth Electronics
C14	1	0.22 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.22 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	0603	CGA3E3X7R1H224K080AB	TDK
C15	1	2200pF	电容, 陶瓷, 2200pF, 100V, $\pm$ 5%, X7R, 0603	0603	06031C222JAT2A	AVX
C16	1	10 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 63V, $\pm$ 20%, X7R, 1210	1210	GRM32ER71J106MA12L	Murata
C17	1	0.033 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.033 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 5%, X7R, 0603	0603	C0603C333J3RACTU	Kemet
C18	1	330 pF	电容, 陶瓷, 330pF, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	0603	C0603C331K5RACTU	Kemet (基美)
C19	1	0.022 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.022 $\mu$ F, 100V, $\pm$ 10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	0603	CGA3E2X7R2A223K080AA	TDK
C20	1	1 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 1 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	0603	CGA3E1X7R1E105K080AD	TDK
C21	1	0.47 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.47 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	0603	C1608X7R1H474K080AC	TDK
C22	1	3300pF	电容, 陶瓷, 3300pF, 100V, $\pm$ 5%, X7R, 0603	0603	06031C332JAT2A	AVX
C23	1	330 pF	电容, 陶瓷, 330pF, 630V, $\pm$ 5%, C0G/NP0, 1206	1206	GRM31A5C2J331JW01D	Murata
C24, C25, C26	3	10 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 1210	1210	GRM32ER71H106KA12L	Murata
C27, C28, C29, C30	4	330 $\mu$ F	电容, 钽聚合物, 330 $\mu$ F, 10V, $\pm$ 20%, 0.006 $\Omega$ , 7343-43 SMD	7343-43	T530X337M010ATE006	Kemet
C31	1	2200pF	电容, 陶瓷, 2200pF, 100V, $\pm$ 10%, X7R, 0805	0805	08051C222KAT2A	AVX
C32	1	0.1 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 1210	1210	C1210C104K5RACTU	Kemet
C33	1	4.7 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 4.7 $\mu$ F, 100V, $\pm$ 10%, X7S, AEC-Q200 1 级, 1210	1210	CGA6M3X7S2A475K200AB	TDK
C34	1	22 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 22 $\mu$ F, 10V, $\pm$ 10%, X7R, 1210	1210	GRM32ER71A226ME20L	Murata



标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
C35、C38、C41、C43	4		0.1 $\mu$ F $\pm$ 10% 50 V 陶瓷电容器 X7R 0805 ( 公制 2012 )	0805	GCE21BR71H104KA01L	Murata
C36、C39、C42、C44	4	1 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 1 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0805	0805	GJ821BR71H105KA12L	Murata ( 村田 )
C37	1	0.47 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.47 $\mu$ F, 100V, $\pm$ 10%, X7R, 1206	1206	C3216X7R2A474K160AA	TDK
C45	1	0.1 $\mu$ F	电容, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0805	0805	C0805C104K5RACTU	Kemet ( 基美 )
D1	1	100 V	二极管, 开关, 100V, 0.2A, SOD-123	SOD-123	MMSD4148T1G	ON Semiconductor ( 安森美半导体 )
D3, D4	2	150V	二极管, 肖特基, 150V, 1A, SOD-128	SOD-128	RB168LAM150TR	Rohm
D5	1	200V	二极管, 超快速, 200V, 3A, SMC	SMC	ES3D-E3/57T	Vishay-Semiconductor
D6	1	100 V	二极管, 开关, 100V, 0.2A, SOD-323	SOD-323	MMDL914-TP	Micro Commercial Components
D7、D10	2	30V	二极管, 肖特基, 30V, 5A, AEC-Q101, SMAF	SMAF	FSV530AF	Fairchild Semiconductor
D8	1	45 V	二极管, 肖特基, 45V, 30A, DDPAK	DDPAK	MBRB2545CTT4G	ON Semiconductor
D9	1	5.6V	二极管, 齐纳, 5.6V, 500mW, SOD-123	SOD-123	MMSZ4690T1G	ON Semiconductor
H1、H2、H3、H4	4		机械螺钉, 圆头, #4-40 $\times$ 1/4, 尼龙, 盘头十字	螺钉	NY PMS 440 0025 PH	B&F Fastener Supply
H5、H6、H7、H8	4		六角螺柱, 0.5"L #4-40, 尼龙	螺柱	1902C	Keystone
J1、J2	2		固定端子块 MKDSP 10HV/2-10	HDR2	1929517	Phoenix Contact
J3	1		紧凑型探头尖端电路板测试点, TH, 25 件装	TH 示波器探头	131-5031-00	Tektronix
L1	1	250nH	电感器, 屏蔽鼓芯, 铁氧体, 250nH, 50A, 0.000165 $\Omega$ , SMD	12.5mm $\times$ 13mm	744309025	Würth Elektronik
LBL1	1		热转印打印标签, 0.650" ( 宽 ) $\times$ 0.200" ( 高 ) - 10,000/卷	PCB 标签, 0.650 $\times$ 0.200 英寸	THT-14-423-10	Brady
Q1	1		N 沟道 40V 53A (T <sub>A</sub> ) 表面贴装芯片	POWER_MOSFET_N_CH_4 MM105_1MM635	EPC2015C	EPC
Q2	1	100 V	MOSFET, N 沟道, 100V, 16A, 2.5 $\times$ 1.5mm	2.5 $\times$ 1.5mm	EPC2045ENGRT	EPC
Q3	1	40V	晶体管, NPN, 40V, 1A, SOT-223	SOT-223	PZT2222A	Fairchild Semiconductor
Q4	1	25V	MOSFET, N 沟道, 25V, 113A, DQH0008A (VSON-CLIP-8)	DQH0008A	CSD16408Q5	德州仪器 (TI)
R1、R5、R7、R12、R19、R36、R37	7	0	电阻, 0, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	0603	RMCF0603ZT0R00	Stackpole Electronics Inc
R2	1	10.0k $\Omega$	电阻, 10.0k, 1%, 0.2W, 0805	0805	MCU08050C1002FP500	Vishay/Beyschlag ( 威世/贝士拉革 )
R3	1	10.0	电阻, 10.0, 1%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206	1206	CRCW120610R0FKEA	Vishay-Dale

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
R4、R13、R14、R23、R26	5	10.0k	电阻, 10.0k, 0.1%, 0.1W, 0603	0603	RT0603BRD0710KL	Yageo America
R6	1	3.24k	电阻, 3.24k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-073K24L	Yageo
R8	1	1.00k	电阻, 1.00k, 1%, 0.1W, 0603	0603	ERJ-3EKF1001V	Panasonic
R9	1	12.0k	电阻, 12.0k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-0712KL	国巨 (Yageo)
R10	1	8.06k $\Omega$	电阻, 8.06k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-078K06L	Yageo
R11	1	15.0k	电阻, 15.0k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	0603	CRCW060315K0FKEA	Vishay-Dale
R15	1	90.9k	电阻, 90.9k $\Omega$ , 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-0790K9L	Yageo
R16	1	49.9k	电阻, 49.9k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-0749K9L	Yageo ( 国巨 )
R17	1	249k	电阻, 249k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-07249KL	Yageo
R18	1	4.99k $\Omega$	电阻, 4.99k, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-074K99L	Yageo
R20	1	0.5	电阻, 0.5, 1%, 1W, 2010	2010	CSRN2010FKR500	Stackpole Electronics Inc ( 斯塔克波尔电子公司 )
R21、R22	2	100k	电阻, 100k, 1%, 1W, AEC-Q200 0 级, 2512	2512	CRCW2512100KFKEG	Vishay-Dale
R24	1	49.9	电阻, 49.9, 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-0749R9L	Yageo America
R25、R28、R30、R31	4	3.9	电阻, 3.9 $\Omega$ , 5%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	0402	CRCW04023R90JNED	Vishay-Dale ( 威世达勒 )
R27	1	10.2k	电阻, 10.2k, 1%, 0.25W, AEC-Q200 0 级, 1206	1206	CRCW120610K2FKEA	Vishay-Dale
R29	1	1.37k	电阻, 1.37k $\Omega$ , 1%, 0.1W, 0603	0603	RC0603FR-071K37L	Yageo
R32	1	1.00	电阻器, 1.00, 1%, 0.125W, 0805	0805	RC0805FR-071RL	Yageo America
R33	1	49.9	电阻器, 49.9, 0.1%, 0.125W, 0805	0805	RT0805BRD0749R9L	Yageo America ( 国巨 )
R34	1	10k	电阻, 10k, 5%, 0.125W, AEC-Q200 0 级, 0805	0805	CRCW080510K0JNEA	Vishay-Dale
R35	1	0.02	电阻器, 0.02, 1%, 1W, AEC-Q200 0 级, 2512	2512	LRMAM2512-R02FT4	TT Electronics/IRC
R38	1	13.0	电阻, 13.0, 1%, 0.125W, AEC-Q200 0 级, 0805	0805	CRCW080513R0FKEA	Vishay-Dale
T1	1		SMT 电流检测变压器	P82xx	PA1005.100NL	Pulse Engineering
TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8、TP9、TP10、TP11、TP12、TP13、TP14、TP15、TP16、TP17、TP20	18		测试点, 微型, 红色, TH	红色微型测试点	5000	Keystone

标识符	数量	值	说明	封装参考	器件型号	制造商
TP18、TP19、TP21	3		测试点，微型，白色，TH	白色微型测试点	5002	Keystone
TP22、TP23、TP24、TP25、TP26、TP27	6		测试点，微型，黑色，TH	黑色微型测试点	5001	Keystone
U2	1		宽输入电压低压降稳压器，HKU0010A (CFP-10)	HKU0010A	TPS7A4501HKU/EM	德州仪器 (TI)
U3	1		3 端可调稳压器，3 引脚 TO-39	NDT0003A		德州仪器 (TI)
U4，U5	2		具有高噪声抗扰性的 4A/6A、单通道增强型隔离栅极驱动器，DWV0008A (SOIC-8)	DWV0008A	UCC5304DWV	德州仪器 (TI)
C2	0	0.01 $\mu$ F	电容，陶瓷，0.01 $\mu$ F，50V， $\pm$ 10%，X7R，0603	0603	885012206089	Wurth Elektronik ( 伍尔特电子 )
D2	0	100V	二极管，开关，100V，0.2A，SOD-123	SOD-123	MMSD4148T1G	ON Semiconductor ( 安森美半导体 )
FID1，FID2，FID3	0		基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不适用	不适用	不适用
T2	0		反激式变压器，初级侧 9.3m $\Omega$ ，次级侧 21/1.64m $\Omega$ ，500VAC	PTH_XFRMR_1IN30_1IN15	RLTI-1390	Renco Electronics
U1	0		耐辐射 Si 和 GaN 双输出控制器	CFP22	TPS7H5001HKY-EM	德州仪器 (TI)

### 3.3 装配图

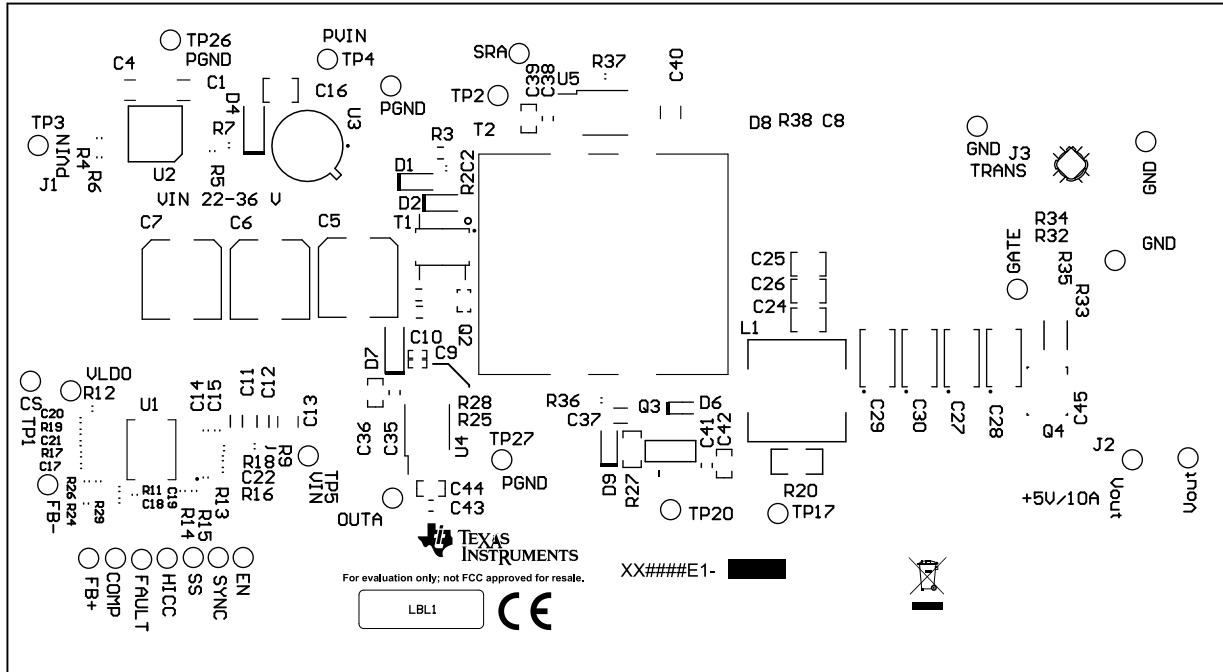


图 3-2. 顶部覆盖层

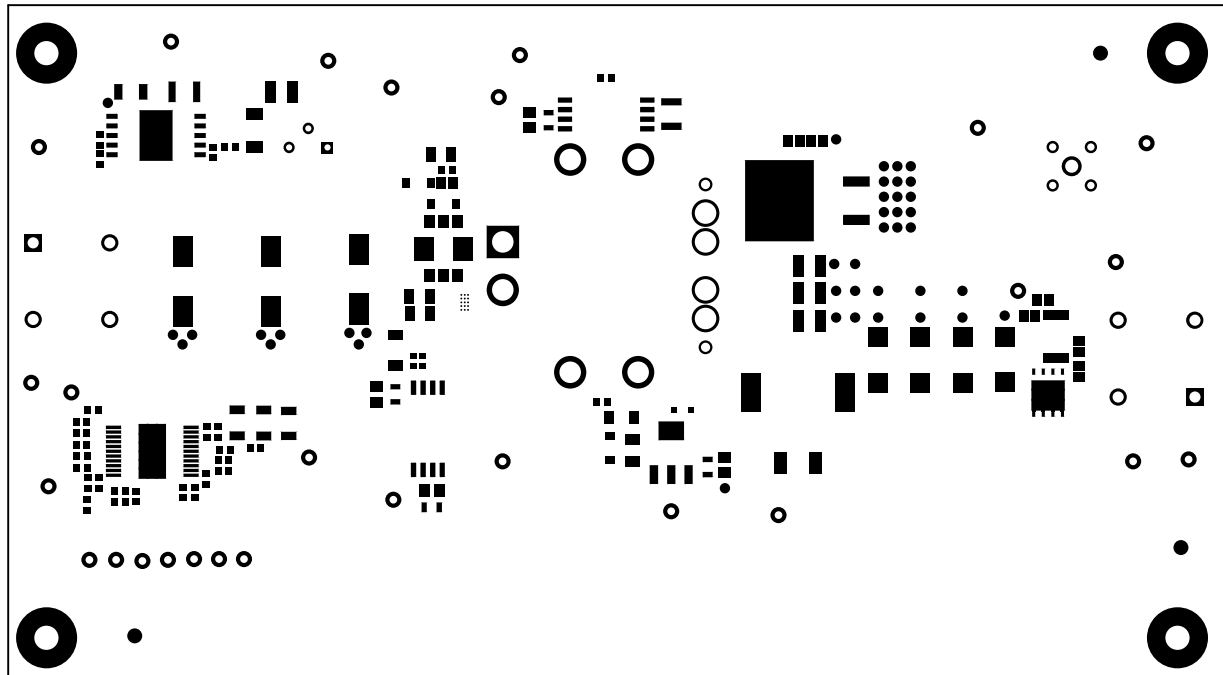


图 3-3. 顶部阻焊层

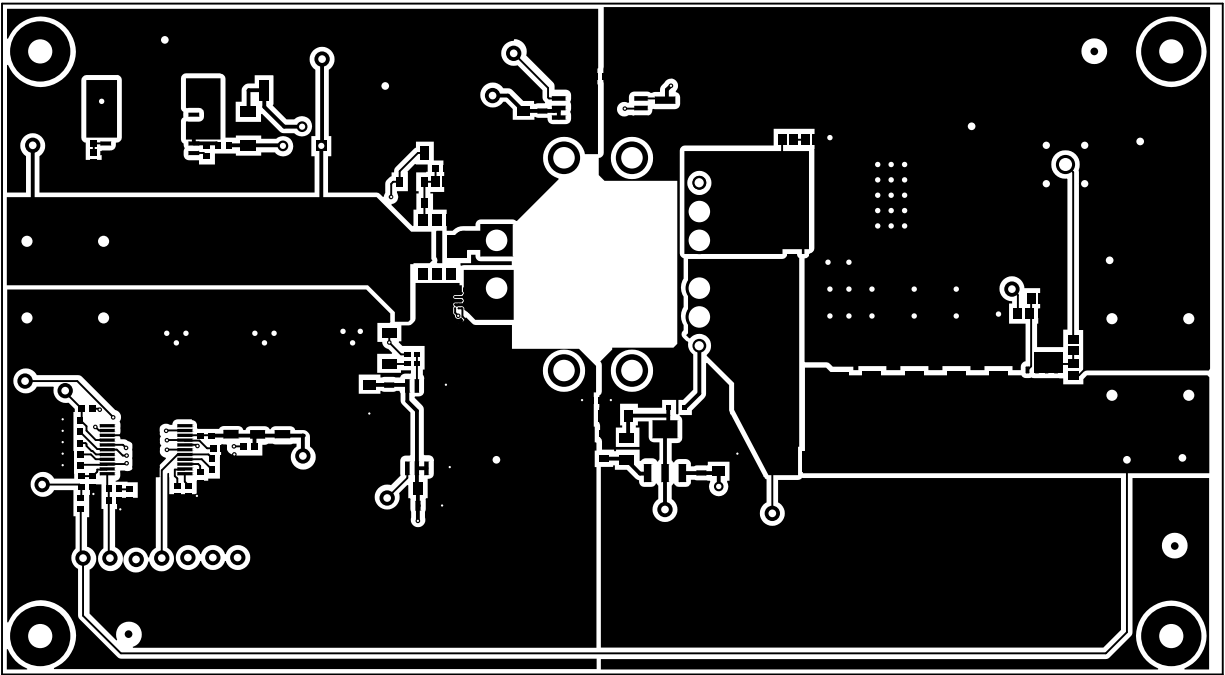


图 3-4. 顶层

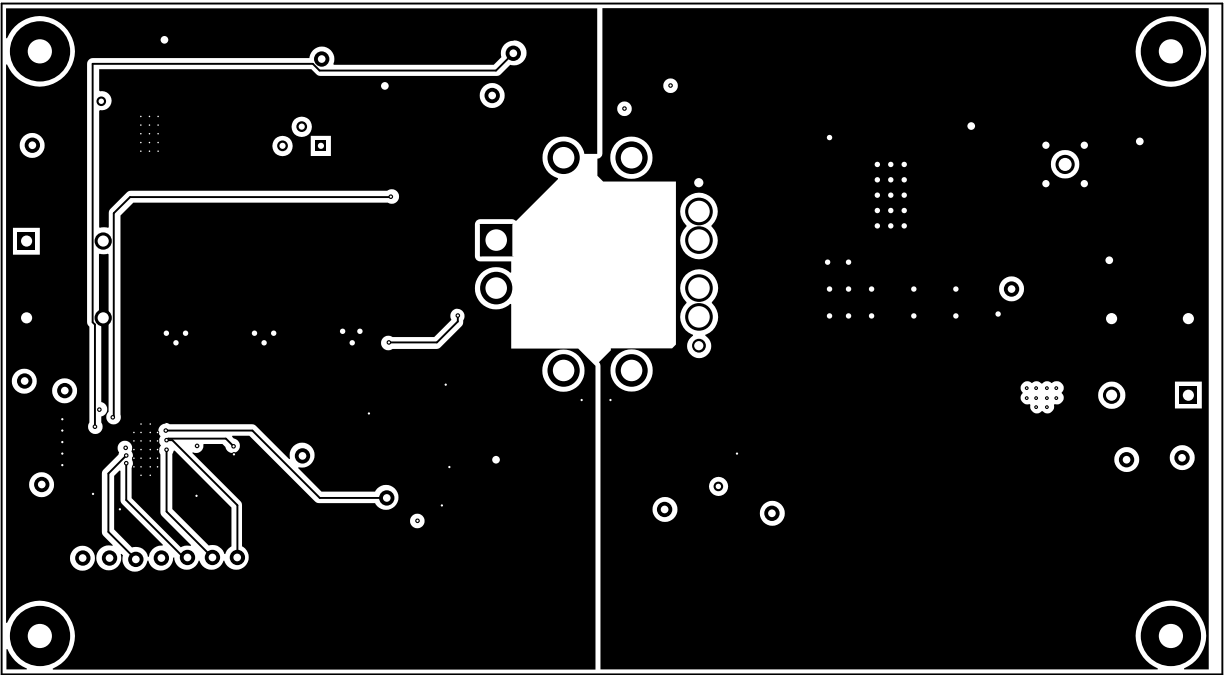


图 3-5. 信号层 1

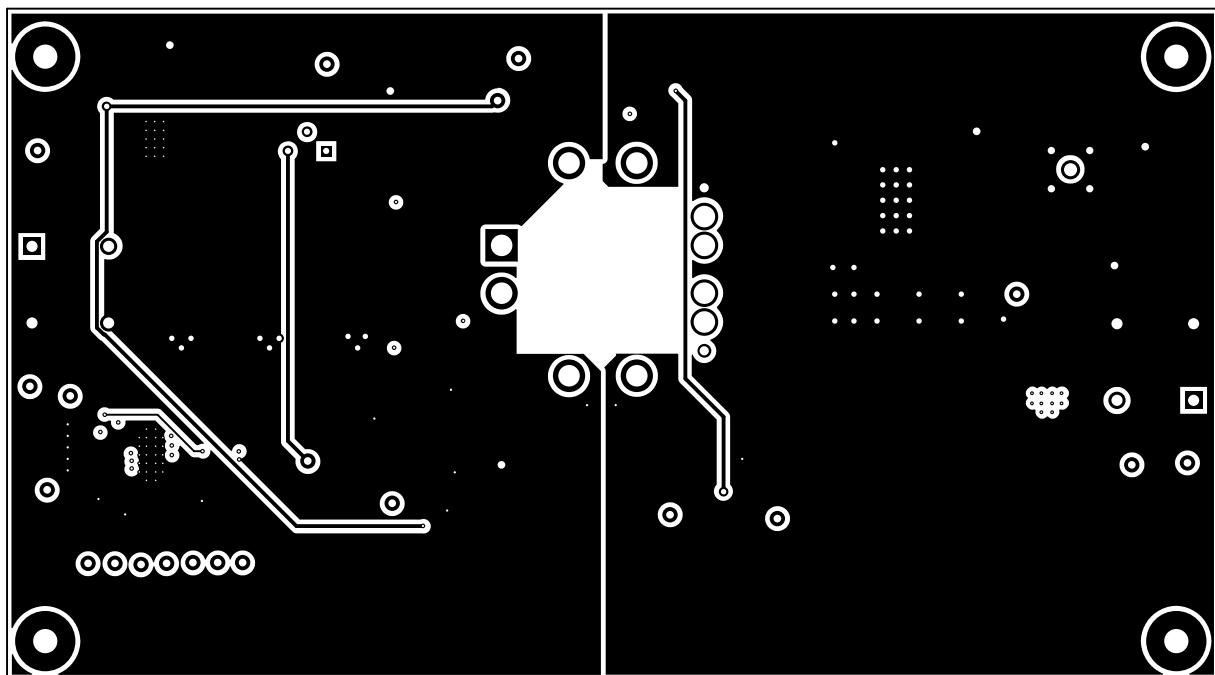


图 3-6. 信号层 2

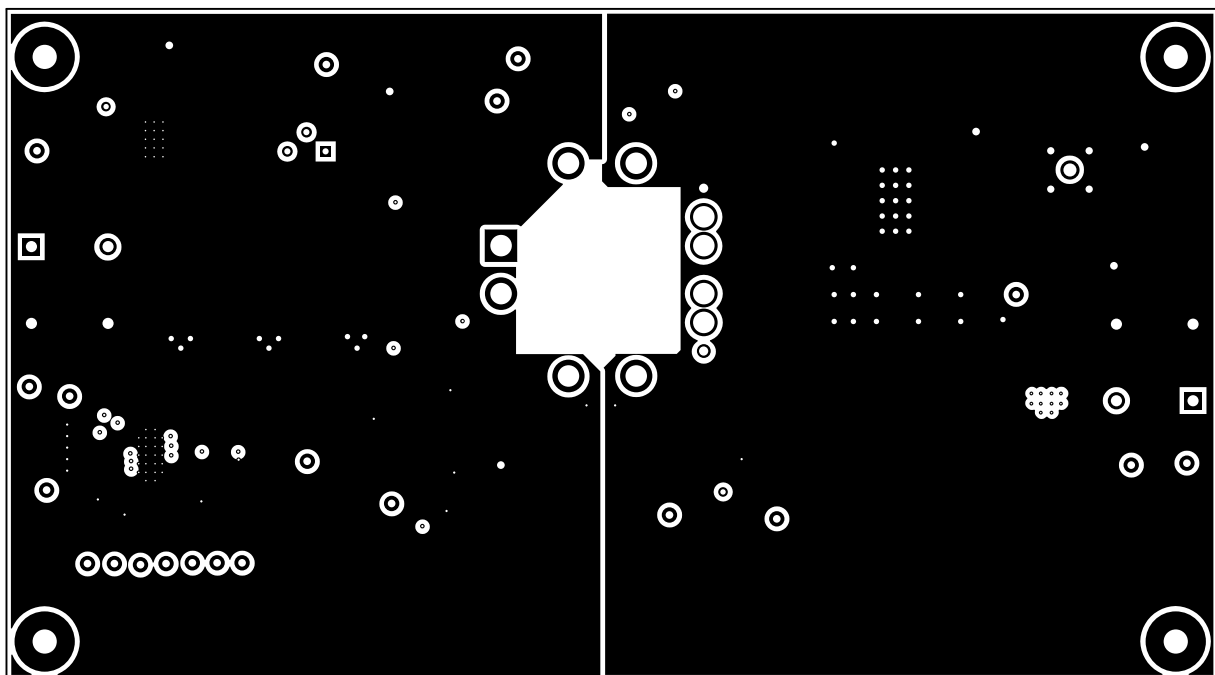


图 3-7. 信号层 3

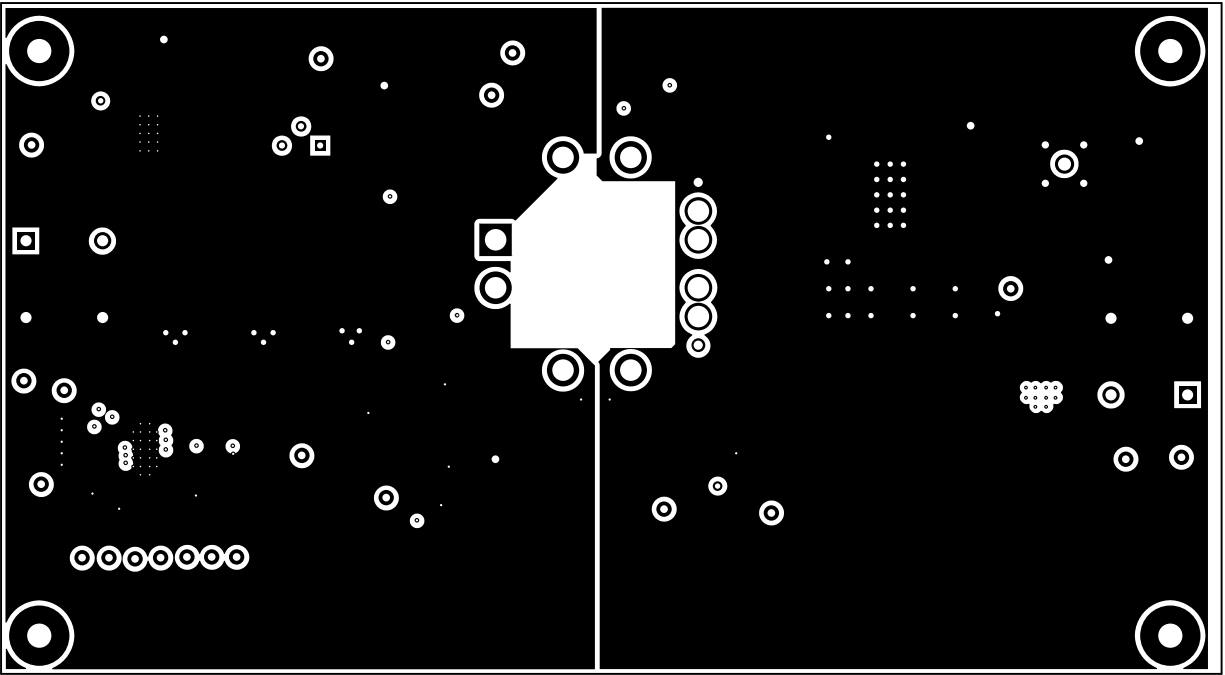


图 3-8. 信号层 4

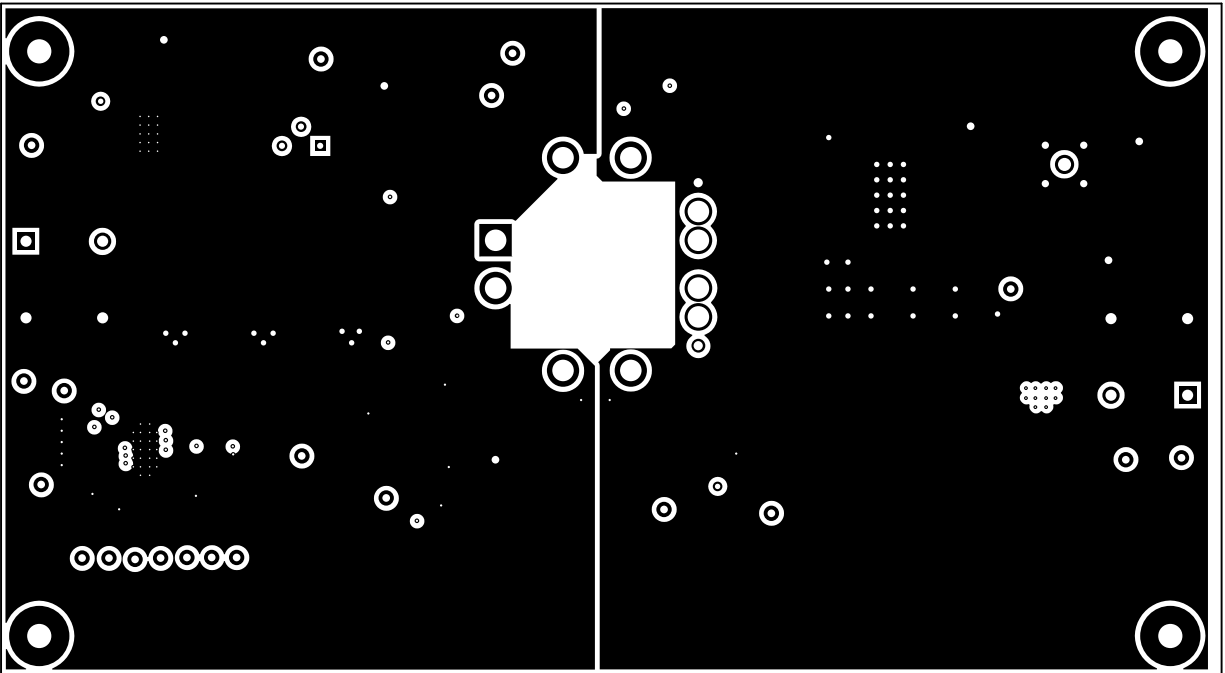


图 3-9. 信号层 5

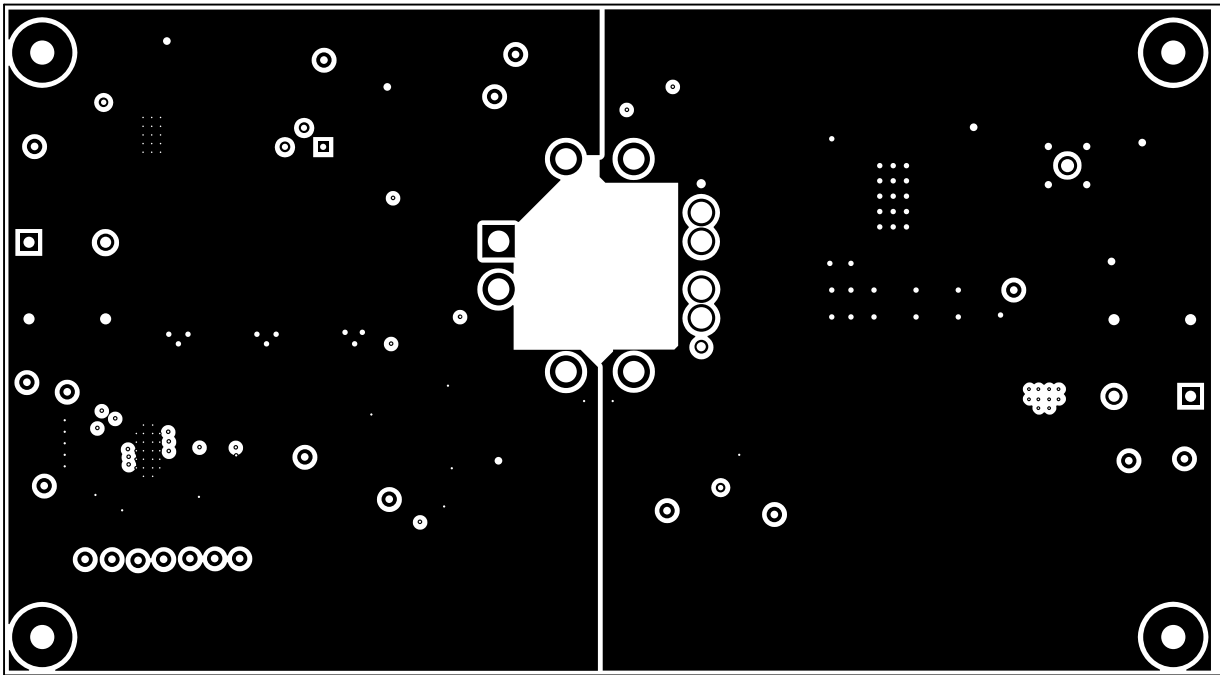


图 3-10. 信号层 6

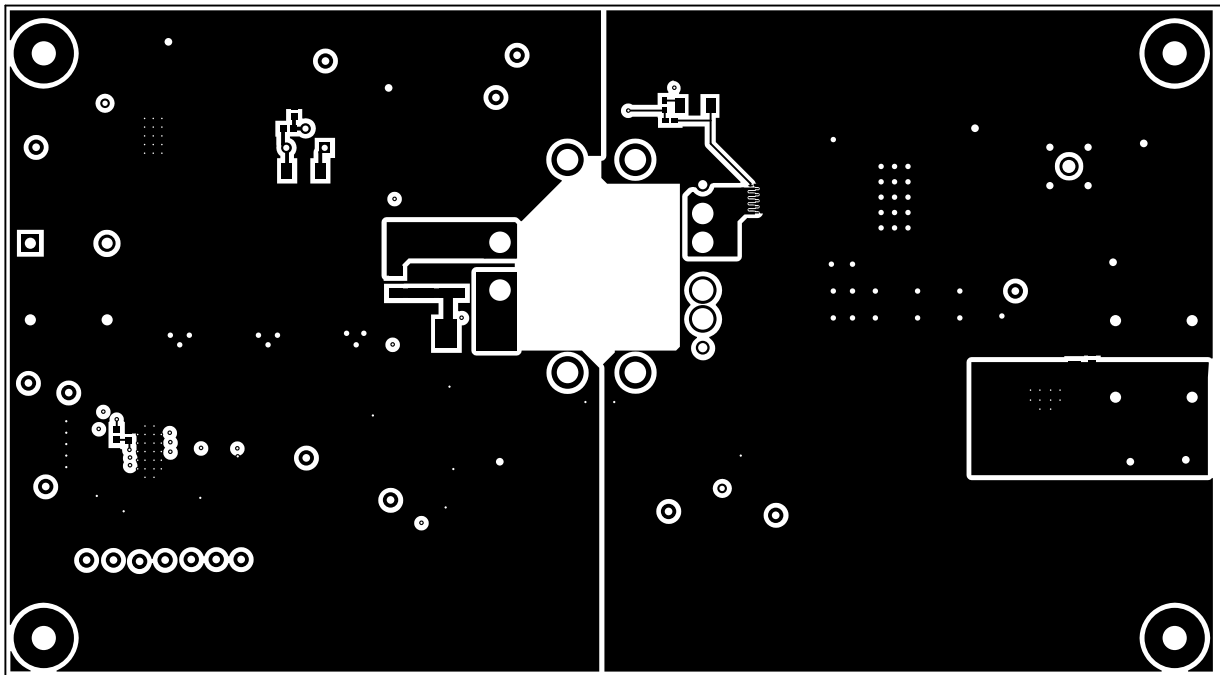


图 3-11. 底层



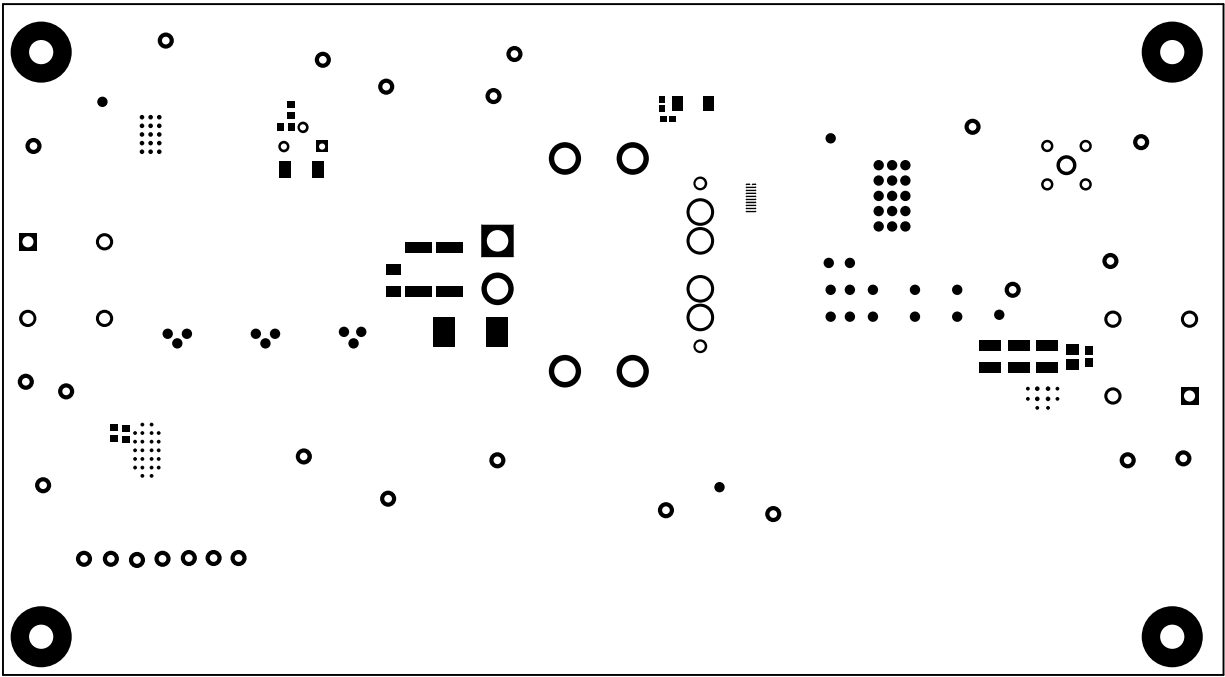


图 3-12. 底部阻焊层

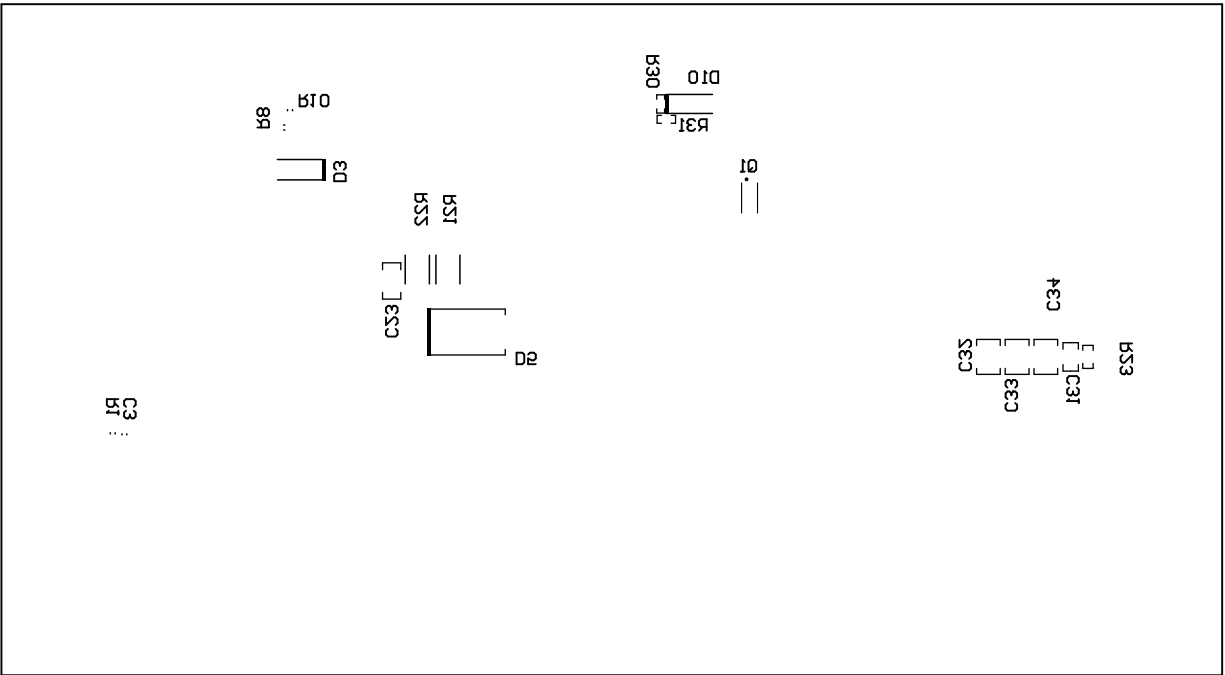


图 3-13. 底部阻焊层

## 4 相关文档

1. 德州仪器 (TI), [使用 DRV3204EVM 评估 DRV3203-Q1 数据表](#)

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司