

EVM User's Guide: LM5125EVM-BST

LM5125EVM-BST 评估模块



说明

LM5125EVM-BST 评估模块展示了 LM5125-Q1 宽输入电压同步双相升压控制器的特性和性能。该 EVM 旨在简化配置，让用户能够在模块上评估不同状况。标准配置旨在提供 24V/300W 输出。输出电压可通过 ATRK/DTRK 引脚进行动态调节。

开始使用

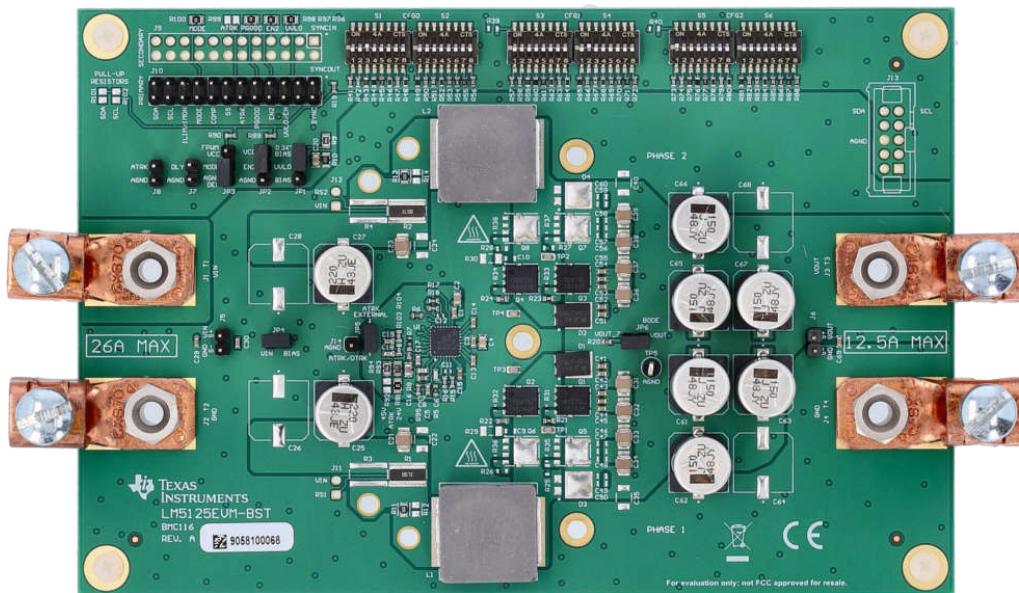
1. 确保跳线和 DIP 开关设置正确
2. 将 EVM 连接到电源和负载

特性

- 两相交错式升压转换器
- 峰值功率为 1kW、平均功率为 300W
- 来自模拟/PWM 的输出电压跟踪
- 旁路模式
- 可选双随机展频 (DRSS)
- 可编程欠压锁定 (UVLO)、软启动和死区时间
- 全面的故障保护
 - 峰值电流限值
 - 平均电流限值
 - 过压保护

应用

- 汽车级 H 类音频功率放大器
- 汽车级 LED 前照灯应用



1 评估模块概述

1.1 简介

LM5125 EVM-BST 评估模块提供功能齐全的双相同步升压转换器来评估 LM5125-Q1。该 EVM 在 9V 至 18V 的输入电压范围内运行，并可处理高达 42V 的输入瞬态。该 EVM 提供 24V 的输出电压，额定功率为 300W，峰值功率为 1kW。还可以通过 ATRK/DTRK 引脚将输出电压调节至高达 45V。

1.2 套件内容

- 一个 LM5125EVM-BST PCB 组件
- EVM 免责声明自述文件

1.3 规格

表 1-1. EVM 规格

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压	运行	9	14.4	18	V
输出电压	$R_{ATRK} = 40.2k\ \Omega$		24		V
	$R_{ATRK} = 75k\ \Omega$		45		V
额定输出功率	$V_{in} = 14.4V$		300		W
峰值输出功率, 100ms	$V_{in} = 14.4V$		1000		W
开关频率			400		kHz
效率	$V_{in} = 14.4V, V_{out} = 24V, P_{out}=300W$		97.5		%
	$V_{in} = 14.4V, V_{out} = 45V, P_{out}=300W$		95.7		%

1.4 器件信息

LM5125-Q1 是一款双相同步升压控制器，具有以下特性：

- 宽输入电压范围：2.5V 至 42V
- 6V 至 60V 可编程输出电压
- 输出电压动态跟踪
- 旁路模式
- 可编程 OVP
- 逐周期峰值电流限制
- 电感器电流监测
- 平均输入电流限制
- 可选死区时间

2 硬件

2.1 连接器、跳线、DIP 开关和测试点说明

本节介绍 EVM 的连接器、跳线、DIP 开关和测试点。

2.1.1 连接器说明

表 2-1. 连接器

连接器	引脚	说明
J1/T1	VIN	评估模块的正电源输入
J2/T2	GND	评估模块的负电源输入
J3/T3	VOUT	评估模块的正电源输出
J4/T4	GND	评估模块的负电源输出
J5	1	输入电压检测 VIN
	2	输入电压检测 GND
J6	1	输出电压检测 VOUT
	2	输出电压检测 GND

2.1.2 跳线说明

表 2-2. 跳线说明

连接器	引脚	说明	默认连接
JP1	1、2	UVLO/EN 引脚连接到 VIN 电阻分压器	Y
	2、3	UVLO/EN 引脚连接到 BIAS	
JP2	1、2	第 2 相导通	Y
	2、3	第 2 相关闭	
JP3	1、2	设置为 FPWM	
	2、3	设置为 DEM	Y
JP4	1、2	BIAS 引脚连接至 VIN	Y
JP5	1、2	RC 滤波器从 J8 连接到 ATRK/DTRK 引脚。	Y
JP6	1、2	用于波特图测量的注入信号输入	Y
J7	1、2	DLY 引脚	
J8	1,2	ATRK/DTRK 引脚的输入。插入 RC 滤波器。	
J10	1	U1 的引脚 23	
	3	无连接	
	5	UVLO/EN	
	7	EN2	
	9	PGOOD	
	11	ATRK/DTRK	
	13	SS	
	15	COMP	
	17	模式	
	19	ILIM/IMON	
	21	SCL	
	23	SDA	
	2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24	GND	

2.1.3 DIP 开关说明

CFG0 引脚定义死区时间和用于 V_{OUT} 编程的 ATRK/DTRK 引脚 $20\ \mu\text{A}$ 电流源。

表 2-3. CFG0 引脚设置

电平	死区时间 (ns)	$20\ \mu\text{A}$ ATRK 电流
1	14	开启
2	30	
3	50	
4	75	
5	100	
6	125	
7	150	
8	200	
9	18	关闭
10	30	
11	50	
12	75	
13	100	
14	125	
15	150	
16	200	

CFG1 引脚设置定义了 V_{OUT} 过压保护电平、时钟抖动、120% 输入电流限制保护 (I_{CL_latch}) 操作和电源正常引脚行为。

表 2-4. CFG1 引脚设置

电平	OVP 位 0	时钟抖动模式	I _{CL_latch}	PGOOD _{OVP_enable}
1	0	启用 (DRSS)	禁用	禁用
2	1			启用
3	0			
4	1			
5	0		启用	禁用
6	1			启用
7	0			
8	1			
9	0	禁用	禁用	禁用
10	1			启用
11	0			
12	1			
13	0		启用	禁用
14	1			启用
15	0			
16	1			

如果器件使用内部时钟发生器或施加于 SYNCIN 引脚的外部时钟，则 CFG2 引脚定义 V_{OUT} 过压保护电平。该引脚也用于配置器件是单独使用还是作为双器件配置的一部分，同时相应地启用和禁用 SYNCIN 和 SYNCOUT 引脚。在时钟同步期间，时钟抖动功能被禁用。

表 2-5. CFG2 引脚设置

电平	OVP 位 1	SYNCIN	时钟抖动
1	0	关闭	CFG1 引脚
2	1		
3	0		
4	1	开启	禁用
≥5	0		

表 2-6. 过压保护等级选择

OVP 电平	OVP 位 1	OVP 位 0
64V	0	0
50V	0	1
35V	1	0
28.5V	1	1

S1 至 S6 是 8 位 DIP 开关。

- S1 和 S2 用于 CFG0
 - S1 位置 1 选择电平 1，…，S1 位置 8 选择电平 8
 - S2 位置 1 选择电平 9，…，S2 位置 8 选择电平 16
- S3 和 S4 用于 CFG1
 - S3 位置 1 选择电平 1，…、S3 位置 8 选择电平 8
 - S4 位置 1 选择电平 9，…，S4 位置 8 选择电平 16
- S5 和 S6 用于 CFG2
 - S5 位置 1 选择电平 1，…，S5 位置 8 选择电平 8
 - S6 位置 1 选择电平 9，…，S6 位置 8 选择电平 16

默认为 S1 选择位置 3。这将为 CFG0 选择电平 3：

- 死区时间 = 50ns
- 20 μ A ATRK 电流源 = 开启

默认为 **S4 选择位置 2**。这将为 CFG1 选择电平 10：

- OVP 位 0 = 1
- DRSS = 禁用
- I_{CL_latch} = 禁用
- PGOOD_{OVP_enable} = 禁用

默认为 **S5 选择位置 1**。这将为 CFG2 选择电平 1：

- OVP 位 1 = 0
- 单芯片
- 相移 = 180°
- SYNCIN = 关闭
- SYNCOUT = 关闭

OVP 位 1 = 0 且 OVP 位 0 = 1 选择 OVP 电平至 50V。

备注

如果选择的死区时间低于 50ns 或在 $V_{out} > 50V$ 的条件下运行，则 EVM 可能会损坏。选择不超过 50V 的 OVP 电平。

2.1.4 测试点说明

表 2-7. 测试点说明

测试点	名称	说明
TP1	SW1	相位 1 的开关节点的测试点
TP2	SW2	相位 2 的开关节点的测试点
TP3	GND	GND 的测试点
TP4	GND	GND 的测试点
TP5	GND	GND 的测试点

2.1.5 易于使用的特性

输出电压跟踪

将模拟跟踪电压信号连接到 J8。高频 PWM 信号也是可以接受的，因为插入了一个两级 RC 滤波器。

选择 24V 和 45V 之间的 V_{out}

- 要将 V_{out} 设置为默认的 24V，只需将电阻 R91 焊接为 0 Ω ，并保持 R92 不焊接。
- 将电阻 R92 焊接为 0 Ω ，并保持 R91 不焊接，即可将 V_{out} 设置为 45V。

请参阅 图 2-1。

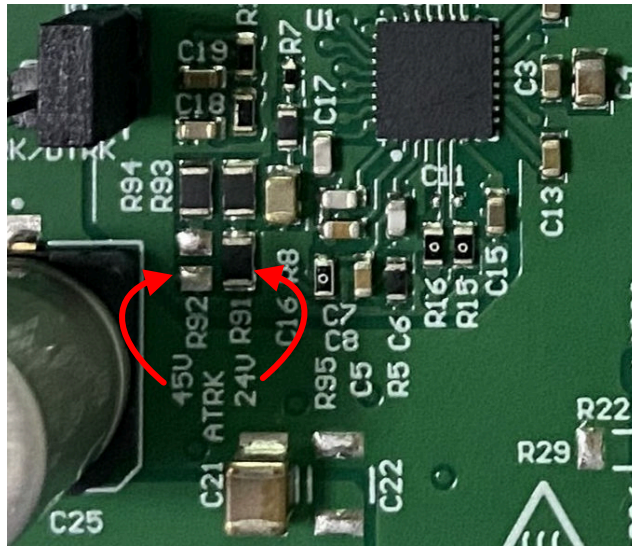


图 2-1. 选择 24V 和 45V 之间的 V_{out}

使用电流探头观察电感器电流

移除 R11，并在其通孔中焊接导线，即可使用电流探头测量 L1 电感的电流。请参阅图 2-2。

同样地，移除 R13 并焊接导线，即可测量 L2 电感的电流。

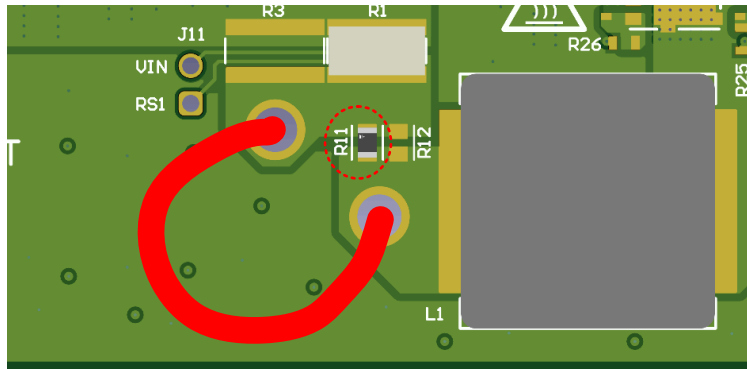


图 2-2. 观测 L1 电感器电流

3 实现结果

3.1 测试装置和过程

3.1.1 测试设置

图 3-1 展示了评估 EVM 所需的测试设置。

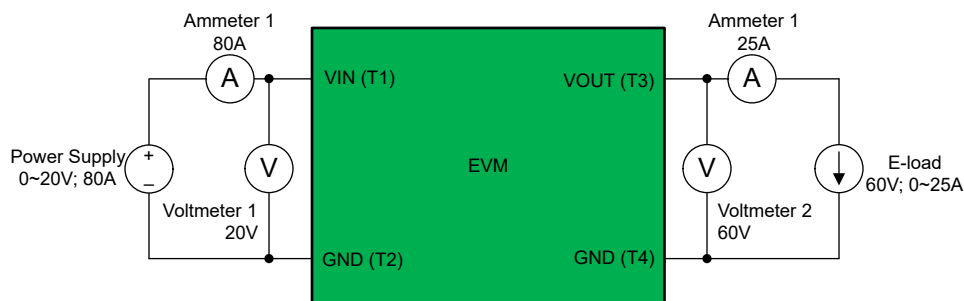


图 3-1. EVM 测试设置

需要以下测试设备：

- 电源：电源需要支持 20V/80A
- 电子负载：电子负载需要在 60V 时提供 1000W 的灌功率
- 万用表 (可选)
 - 电压表 1 (V_{IN})：能够测量 20V 的输入电压
 - 电压表 2 (V_{OUT})：能够测量 60V 的输出电压
 - 电流表 1 (I_{IN})：能够进行 80A 直流测量
 - 电流表 2 (I_{OUT})：能够进行 25A 直流测量
- 示波器：最小 200MHz 带宽

3.1.2 测试程序

1. 确保跳线和 DIP 开关设置正确。请参阅节 2.1.2 和节 2.1.3。
2. 请按照图 3-1 准备设置。
3. 将电源电压设置为 14.4V，将电子负载设置为 0.1A。打开电源后，电子负载的电压默认会被调节至 24V。
4. 可以根据需要更改负载和输入电压。

3.1.3 注意事项

	注意	注意表面高温。 接触会导致烫伤。 请勿触摸！
--	----	------------------------------

3.2 性能数据和结果

3.2.1 效率

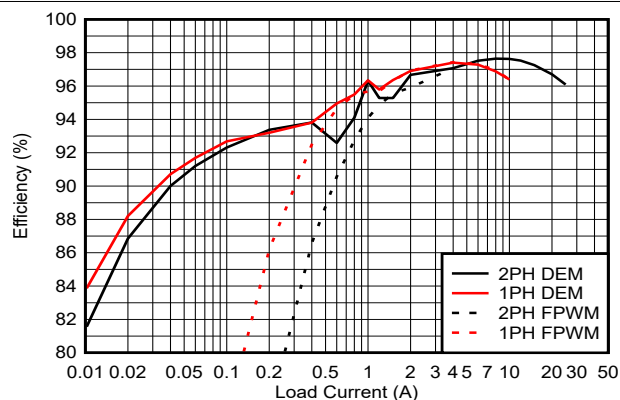


图 3-2. 效率与输出电流间的关系, $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$

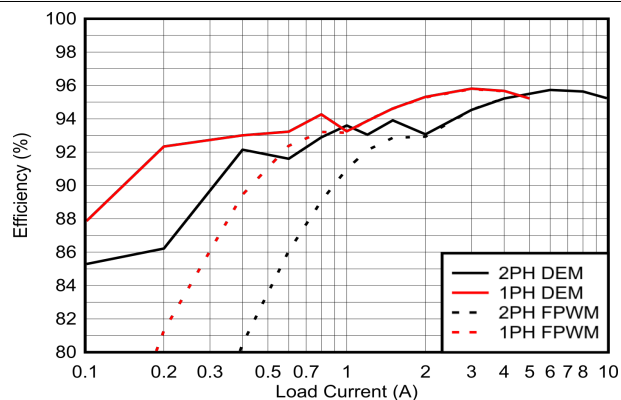


图 3-3. 效率与输出电流间的关系, $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 45V$

3.2.2 稳态波形

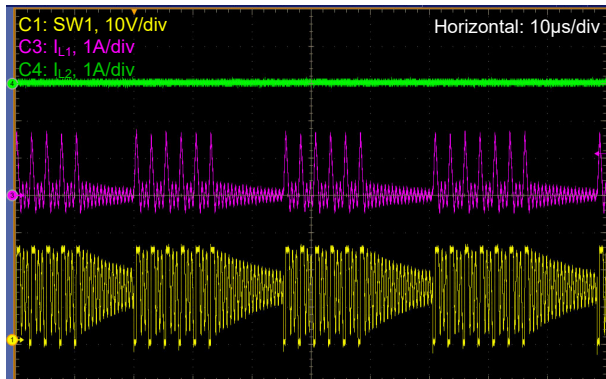


图 3-4. $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$, DEM, $I_{load} = 0.1A$

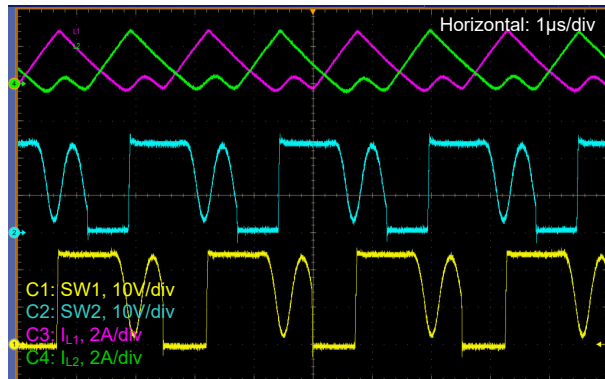


图 3-5. $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$, DEM, $I_{load} = 1A$

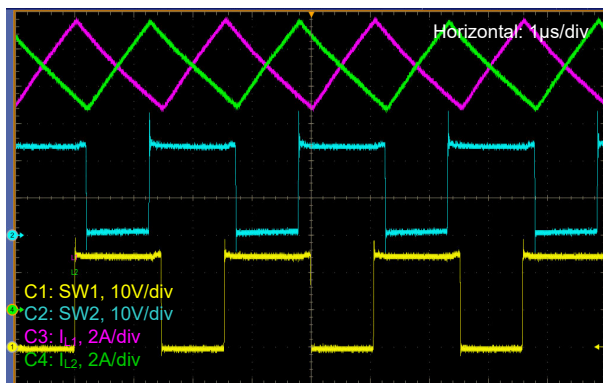


图 3-6. $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$, DEM, $I_{load} = 15A$

3.2.3 阶跃负载响应

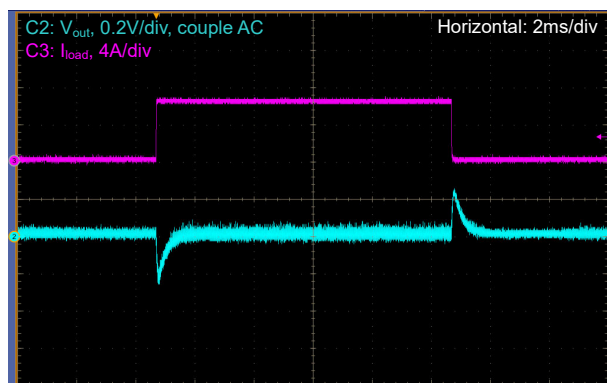


图 3-7. 负载瞬态, $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$, FPWM, $I_{load} = 0A$ 至 $6.25A$, $1A/\mu s$

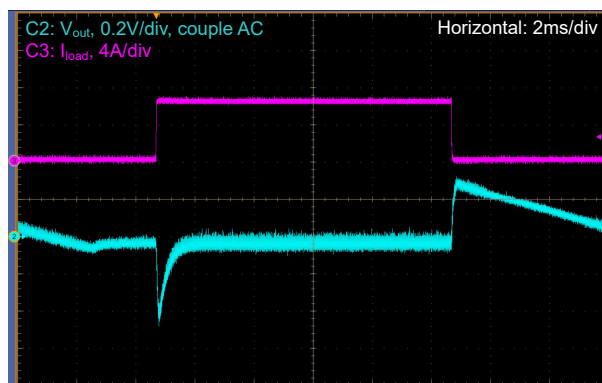


图 3-8. 负载瞬态, $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$, DEM, $I_{load} = 0A$ 至 $6.25A$, $1A/\mu s$

3.2.4 交流环路响应曲线

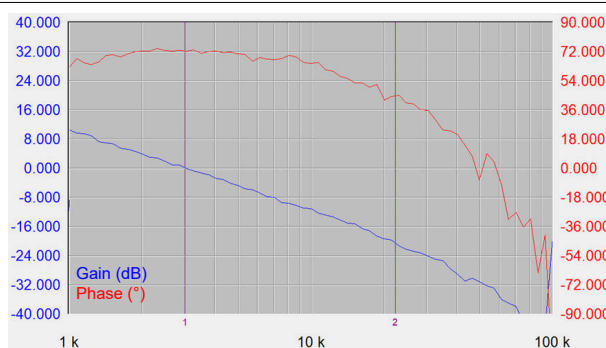


图 3-9. 波特图、 $V_{in}=14.4V$ 、 $V_{out}=40V$ 、 $I_{out}=10A$ (平均电流环路已禁用)

3.2.5 热性能

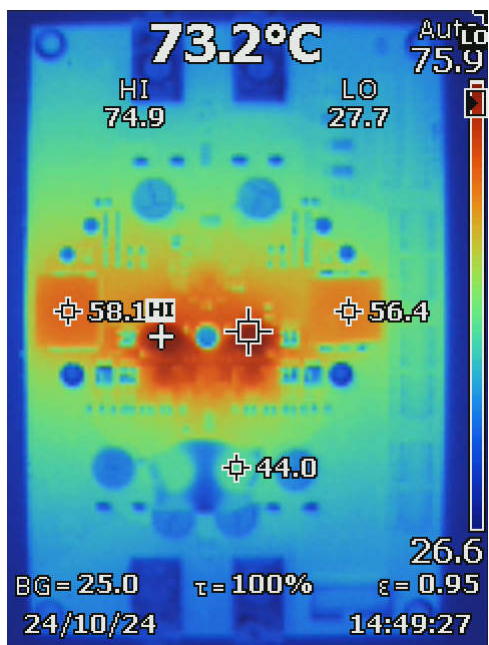


图 3-10. $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 24V$, $P_{OUT} = 300W$, 自然对流

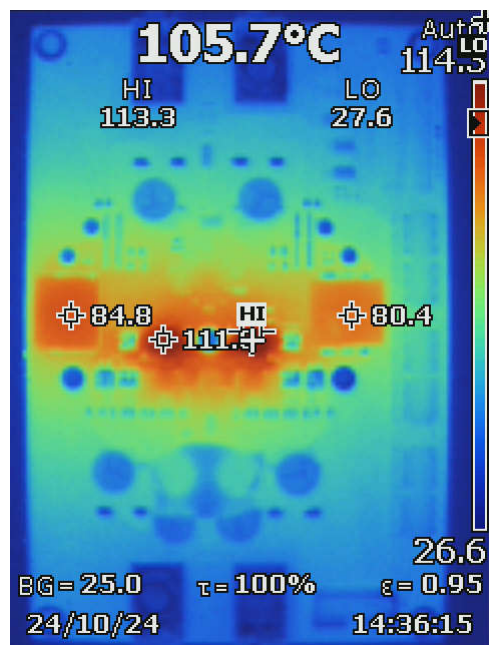


图 3-11. $V_{in} = 14.4V$, $V_{out} = 45V$, $P_{OUT} = 300W$, 自然对流

4 硬件设计文件

4.1 原理图

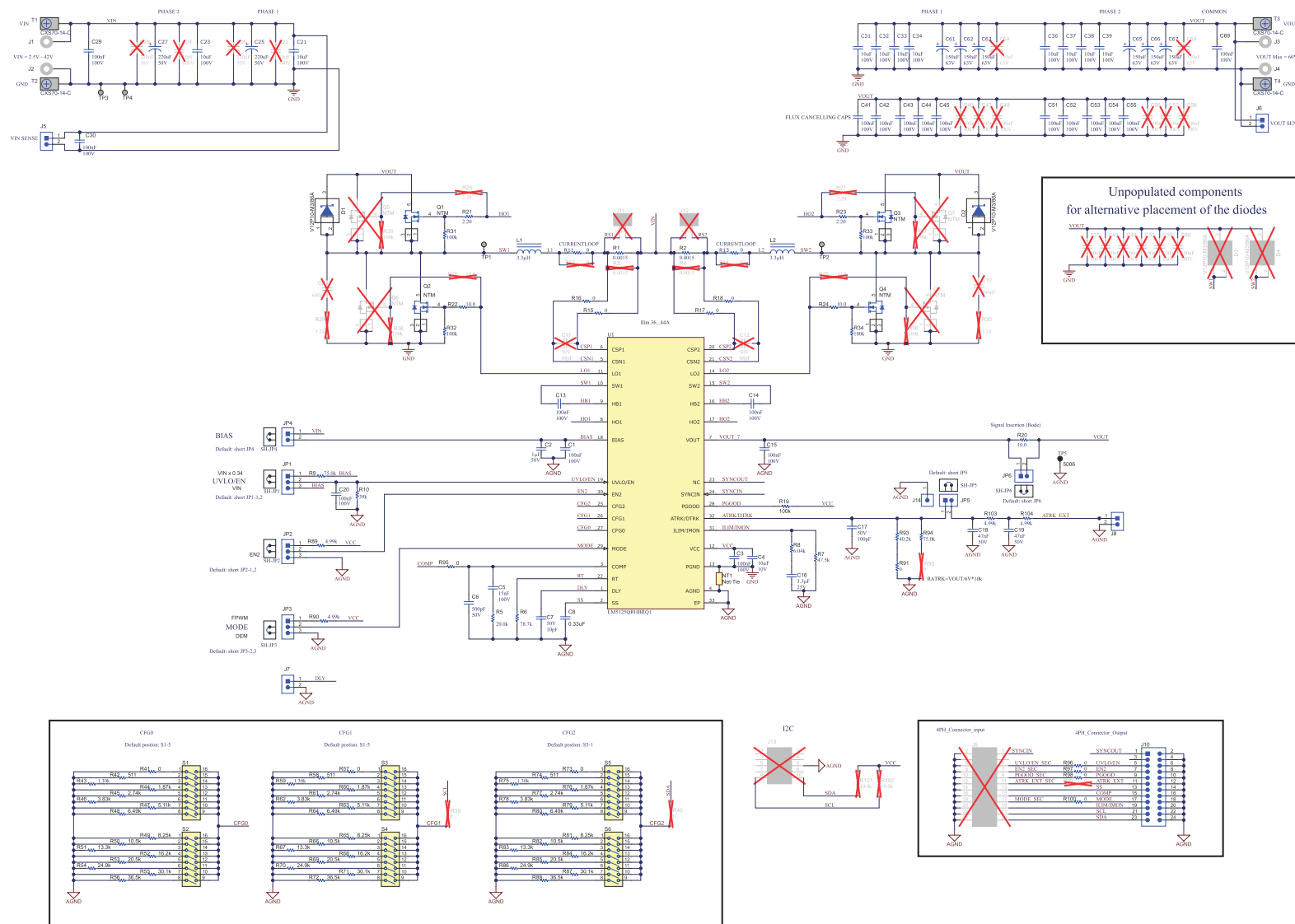


图 4-1. 原理图

4.2 PCB 板层

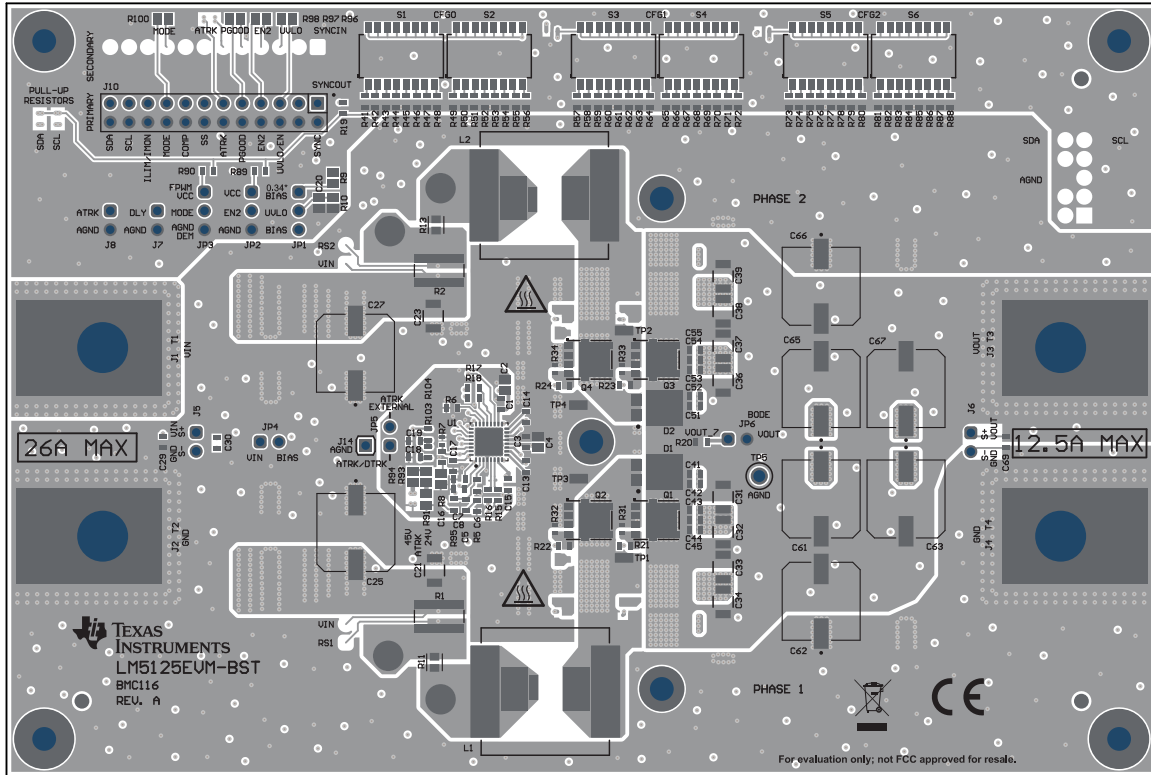


图 4-2. 顶部丝网印刷层

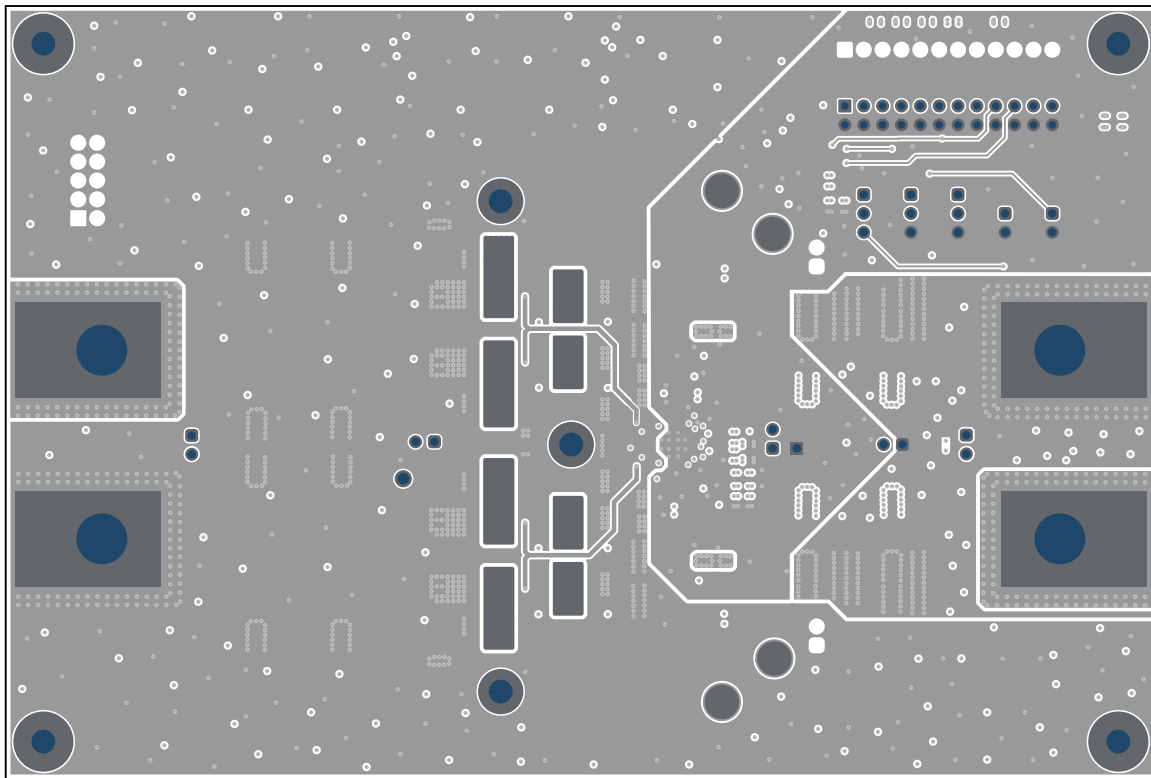


图 4-3. 底部丝网印刷层

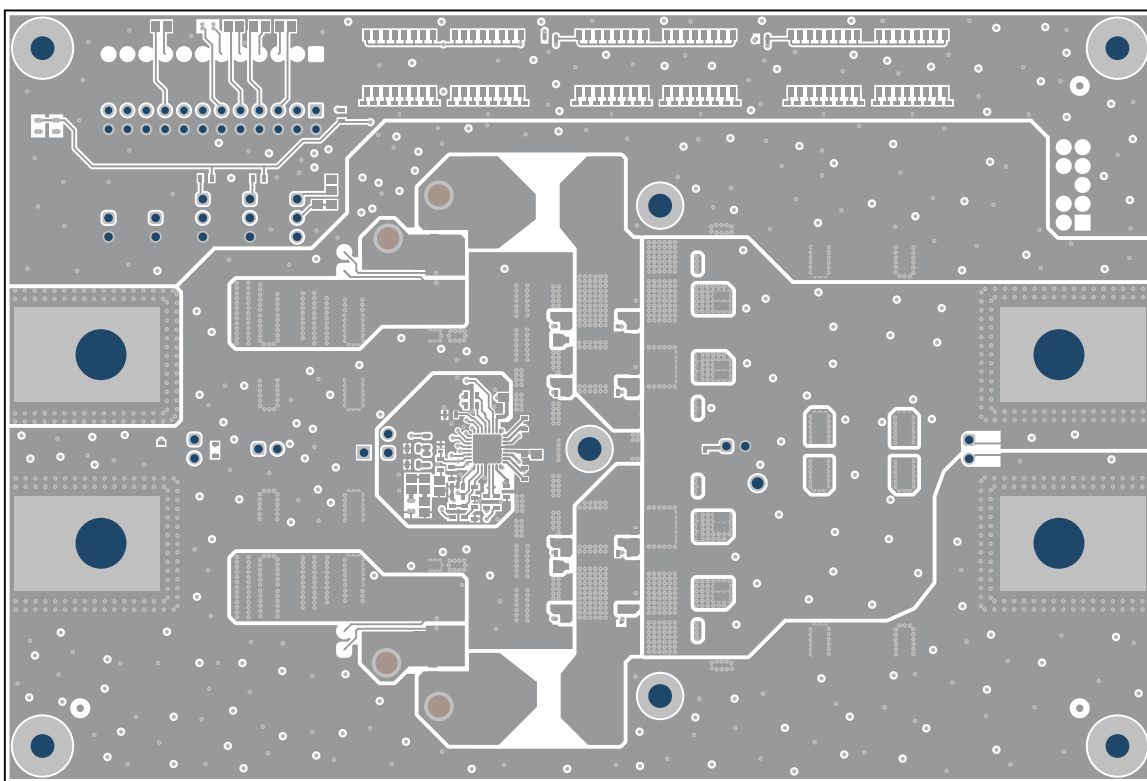


图 4-4. 顶层

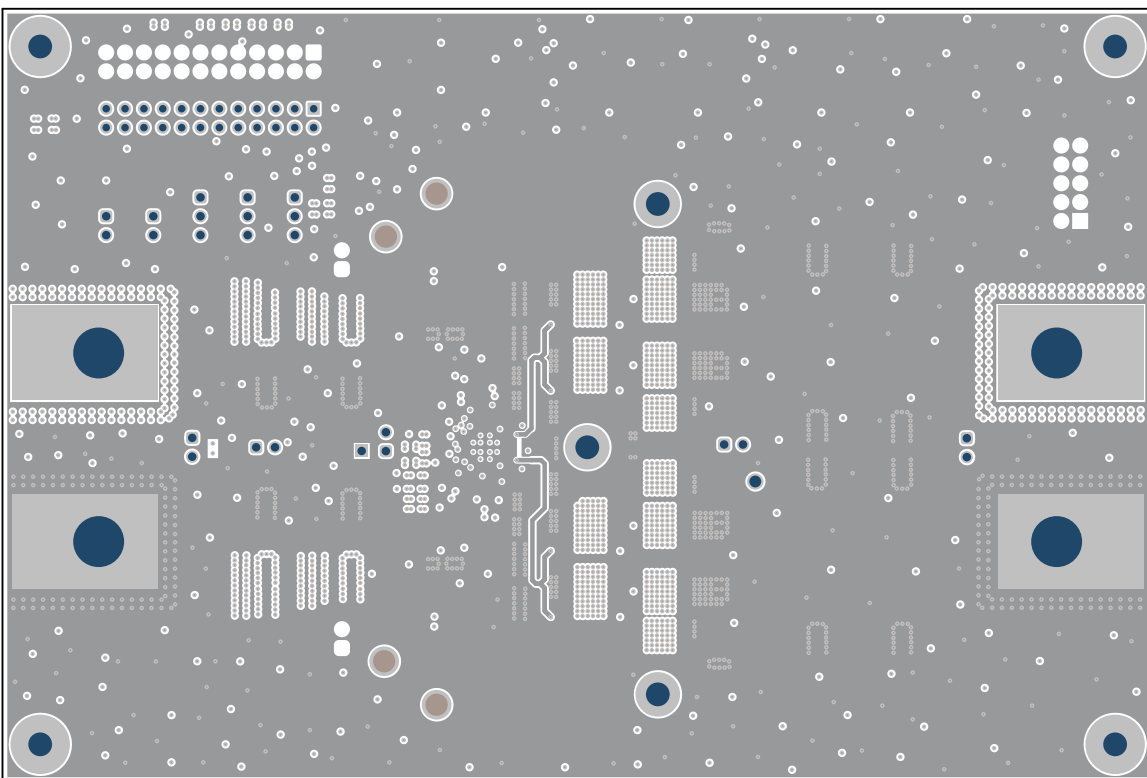


图 4-5. 信号层 1

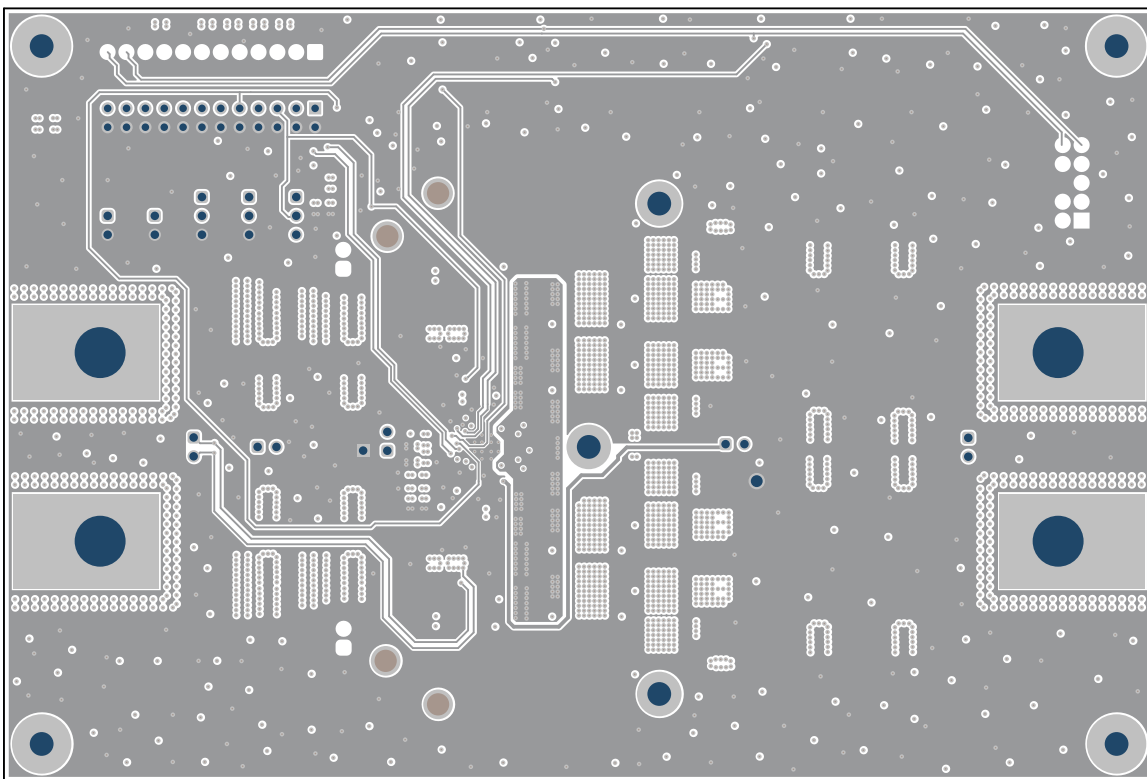


图 4-6. 信号层 2

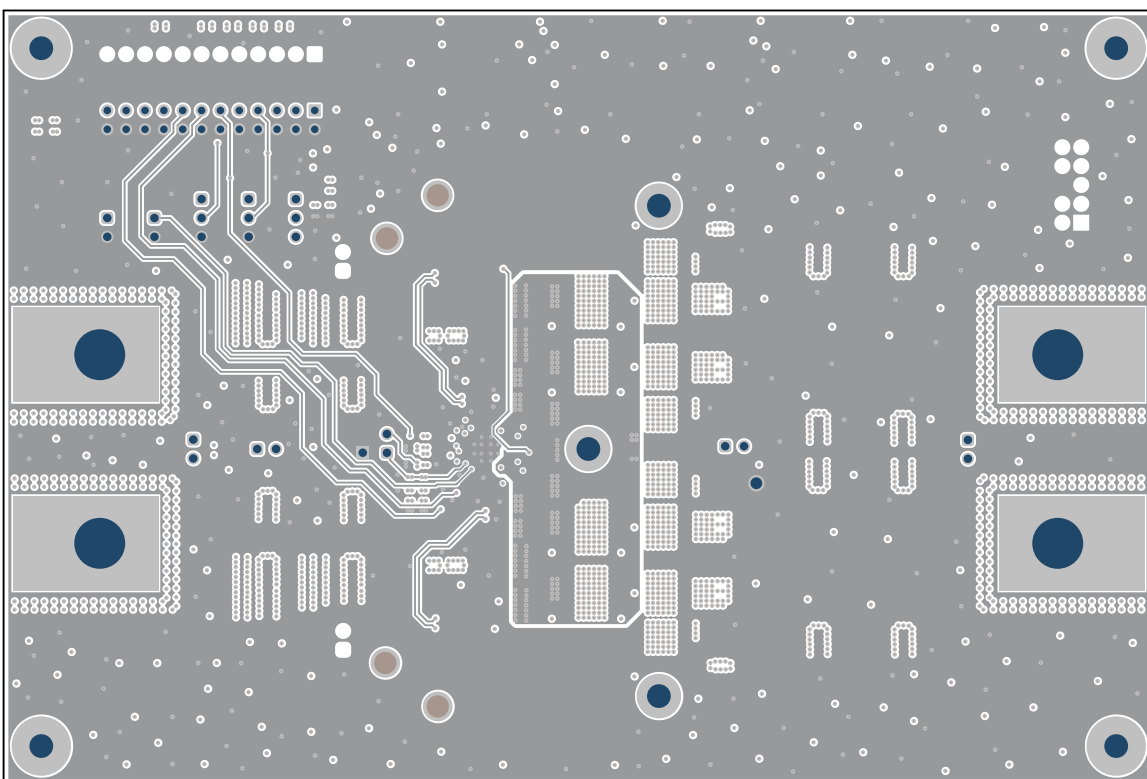


图 4-7. 信号层 3

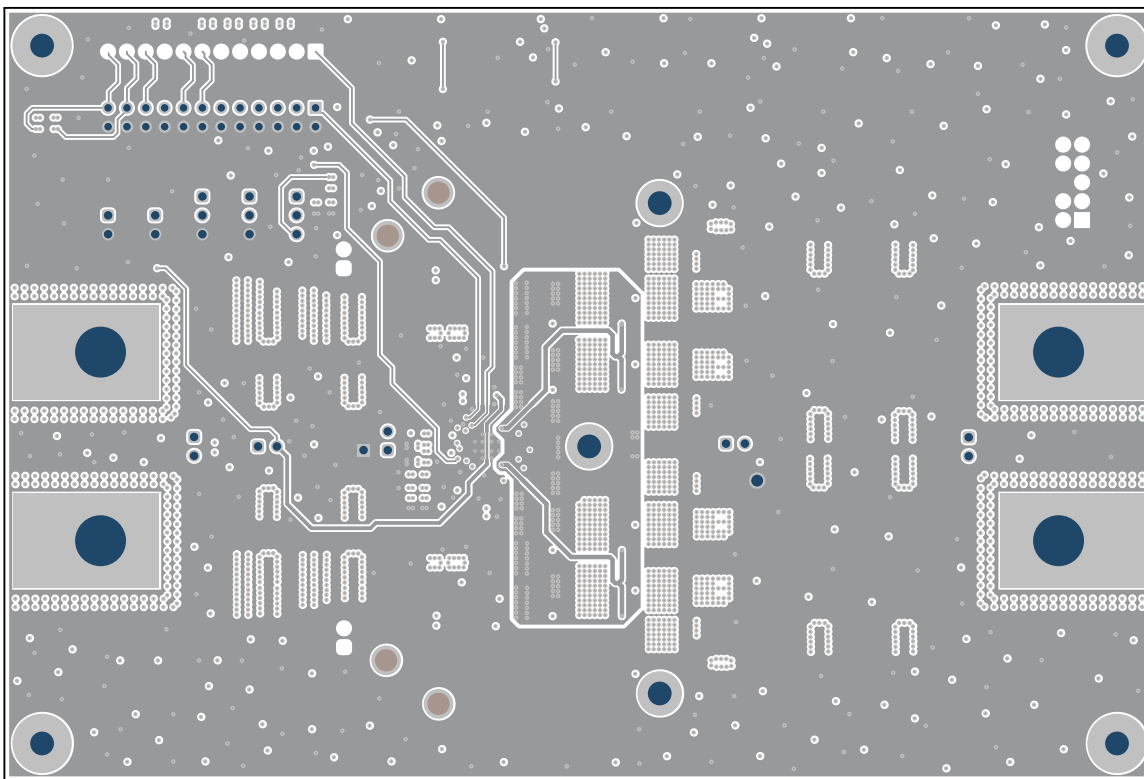


图 4-8. 信号层 4

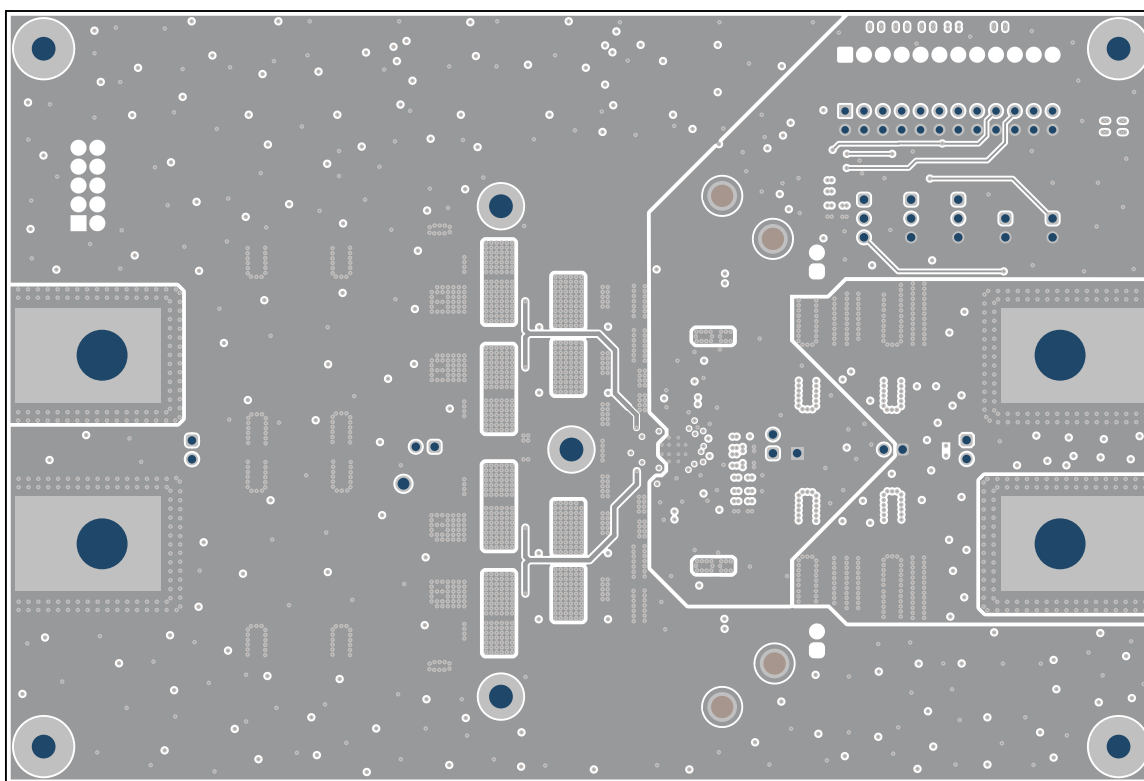


图 4-9. 底层

4.3 物料清单

表 4-1. 物料清单

位号	数量	说明	器件型号	制造商
C1、C3、C13、C14、C15、C29、C30、C41、C42、C43、C44、C45、C51、C52、C53、C54、C55、C69	18	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 100V, +/-10%, X7R, 0603	GRM188R72A104KA35D	MuRata
C2	1	电容, 陶瓷, 1 μ F, 50V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805	GCM21BR71H105KA03K	MuRata
C4	1	电容, 陶瓷, 10 μ F, 10V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805	GCJ21BR71A106KE01L	MuRata
C5	1	电容, 陶瓷, 0.015 μ F, 100V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0603	GCM188R72A153KA37D	MuRata
C6	1	电容, 陶瓷, 500pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0603	CC0603JRNPO9BN501	Yageo America
C7	1	电容, 陶瓷, 10pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0603	C1608C0G1H100D080AA	TDK
C8	1	电容, 陶瓷, 0.33 μ F, 10V, +/-10%, X5R, 0603	C0603C334K8PACTU	Kemet
C16	1	电容, 陶瓷, 3.3 μ F, 25V, +/-10%, X7R, 0805	C2012X7R1E335K125AB	TDK
C17	1	电容, 陶瓷, 100pF, 50V, +/-5%, C0G/NP0, 0603	C1608C0G1H101J080AE	TDK
C18、C19	2	电容, 陶瓷, 0.047 μ F, 50V, +/-10%, X7R, 0603	C1608X7R1H473K080AA	TDK
C20	1	电容, 陶瓷, 0.1 μ F, 100V, +/-10%, X7R, AEC-Q200 1 级, 0805	CGA4J2X7R2A104K125AA	TDK
C21、C23、C31、C32、C33、C34、C36、C37、C38、C39	10	10 μ F $\pm$ 10% 100V 陶瓷电容器 X7S 1210 (公制 3225)	GRM32EC72A106KE05L	Murata
C25、C27	2	铝混合聚合物电容器 220 μ F 20% 50V 寿命 4000 小时 AEC-Q200 径向 SMT	EEHZU1H221P	Panasonic
C61、C62、C63、C65、C66、C67	6	铝混合聚合物电容器 150 μ F 20% 63V 寿命 4000 小时 AEC-Q200 径向 SMT	EEHZU1J151P	Panasonic
D1、D2	2	二极管, 肖特基, 100V, 12A, AEC-Q101, TO-277A	V12P10-M3/86A	Vishay-Semiconductor
FID1、FID2、FID3	3	基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不适用	不适用
H1、H2、H3、H4	4	机械螺钉, 圆头, #4-40 x 1/4, 尼龙, 飞利浦盘形头	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	1902C	Keystone
J1、J2、J3、J4	4	标准香蕉插孔, 非绝缘, 15A	108-0740-001	Cinch Connectivity
J5、J6、J7、J8、JP4、JP5、JP6	7	接头, 2.54mm, 2x1, 金, TH	61300211121	Würth Elektronik
J10	1	接头, 100mil, 12x2, 金, TH	TSW-112-07-G-D	Samtec
J14	1	接头, 2.54mm, 1x1, 金, TH	61300111121	Würth Elektronik
JP1、JP2、JP3	3	接头, 2.54mm, 3x1, 金, TH	61300311121	Würth Elektronik
L1、L2	2	电感器, 屏蔽, 3.3 μ H, 32.2A, 0.00327 Ω , AEC-Q200 0 级, SMD	IHLP6767GZER3R3M5A	Vishay-Dale
Q1、Q2、Q3、Q4	4	MOSFET, N 沟道, 60V, 71A, SO-8FL	NTMFS5C670NLT1G	ON Semiconductor
R1、R2	2	电阻, 0.0015, 5%, 2W, 2512 宽	PML100HZPJV1L5	Rohm

表 4-1. 物料清单 (续)

位号	数量	说明	器件型号	制造商
R5	1	电阻, 20.0k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060320K0FKEA	Vishay-Dale
R6	1	电阻, 78.7k, 0.1%, 0.1W, 0603	RT0603BRD0778K7L	Yageo America
R7	1	电阻, 47.5k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	CRCW040247K5FKED	Vishay-Dale
R8	1	电阻, 6.04k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06036K04FKEA	Vishay-Dale
R9、R94	2	电阻, 75.0k, 1%, 0.125W, AEC-Q200 0 级, 0805	CRCW080575K0FKEA	Vishay-Dale
R10	1	电阻, 39k, 5%, 0.125W, AEC-Q200 0 级, 0805	CRCW080539K0JNEA	Vishay-Dale
R11、R13	2	0Ω 跳线片式电阻器 0805 (公制 2012), 金属元件	WSL080500000ZEA9	Vishay
R15、R16、R17、R18、R41、R57、R73	7	电阻, 0, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	RMCF0603ZT0R00	Stackpole Electronics Inc
R19	1	电阻, 100k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW0603100KFKEA	Vishay-Dale
R20、R22、R24	3	电阻, 10.0, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060310R0FKEA	Vishay-Dale
R21、R23	2	电阻, 2.20, 1%, 0.1W, 0603	ERJ-3RQF2R2V	Panasonic
R31、R32、R33、R34	4	电阻, 100k, 1%, 0.063W, AEC-Q200 0 级, 0402	CRCW0402100KFKEA	Vishay-Dale
R42、R58、R74	3	电阻, 511, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW0603511RFKEA	Vishay-Dale
R43、R59、R75	3	电阻, 1.30k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06031K30FKEA	Vishay-Dale
R44、R60、R76	3	电阻, 1.87k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06031K87FKEA	Vishay-Dale
R45、R61、R77	3	电阻, 2.74k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06032K74FKEA	Vishay-Dale
R46、R62、R78	3	电阻, 3.83k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06033K83FKEA	Vishay-Dale
R47、R63、R79	3	电阻, 5.11k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06035K11FKEA	Vishay-Dale
R48、R64、R80	3	电阻, 6.49k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06036K49FKEA	Vishay-Dale
R49、R65、R81	3	电阻, 8.25k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06038K25FKEA	Vishay-Dale
R50、R66、R82	3	电阻, 10.5k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060310K5FKEA	Vishay-Dale
R51、R67、R83	3	电阻, 13.3k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060313K3FKEA	Vishay-Dale
R52、R68、R84	3	电阻, 16.2k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060316K2FKEA	Vishay-Dale
R53、R69、R85	3	电阻, 20.5k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060320K5FKEA	Vishay-Dale
R54、R70、R86	3	电阻, 24.9k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060324K9FKEA	Vishay-Dale
R55、R71、R87	3	电阻, 30.1k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060330K1FKEA	Vishay-Dale
R56、R72、R88	3	电阻, 36.5k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW060336K5FKEA	Vishay-Dale
R89、R90、R103、R104	4	电阻, 4.99k, 1%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	CRCW06034K99FKEA	Vishay-Dale
R91、R96、R97、R98、R100	5	电阻, 0, 5%, 0.125W, AEC-Q200 0 级, 0805	CRCW08050000Z0EA	Vishay-Dale
R93	1	电阻, 40.2k, 1%, 0.125W, AEC-Q200 0 级, 0805	CRCW080540K2FKEA	Vishay-Dale
R95	1	电阻, 0, 5%, 0.1W, AEC-Q200 0 级, 0603	ERJ-3GEY0R00V	Panasonic

表 4-1. 物料清单 (续)

位号	数量	说明	器件型号	制造商
S1、S2、S3、S4、S5、S6	6	SPST 开关, 8 芯, 25mA, 24VDC, SMD	218-8LPST	CTS Electrocomponents
SH-JP1、SH-JP2、SH-JP3、SH-JP4、SH-JP5、SH-JP6	6	分流器, 100mil, 镀金, 黑色	SPC02SYAN	Sullins Connector Solutions
T1、T2、T3、T4	4	端子 70A 接线片	CXS70-14-C	Panduit
TP1、TP2、TP3、TP4	4	PC 测试点, SMT	RCU-0C	TE Connectivity
TP5	1	测试点, 紧凑型, 黑色, TH	5006	Keystone Electronics
U1	1	具有 VOUT 跟踪功能的宽 VIN、2.2MHz 双相升压控制器	LM5125QRHBRQ1	德州仪器 (TI)

5 其他信息

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 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 * (December 2024) to Revision A (April 2025)	Page
• 更新了图像以反映从修订版 E3 到修订版 A 的更改.....	1
• 更新了效率图.....	9
• 更新了原理图.....	12
• 更新了 PCB 层.....	13
• 更新了物料清单.....	17

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司