

Design Guide: TIDA-00236

用于 PLC 的低侧 0.5A 8 通道数字输出模块

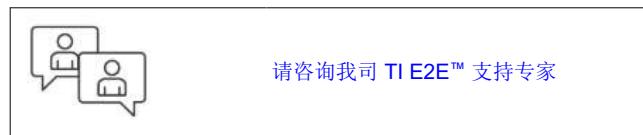


说明

TI 参考设计为您提供了包括方法、测试和设计文件在内的基础信息，以便您快速评估和定制系统。**TI 参考设计**可帮助您缩短产品上市时间。

资源

TIDA-00236	设计文件夹
TIDA-00123	设计文件夹
DRV81646	产品文件夹
ISO6441	产品文件夹
ISO6421	产品文件夹
TLC5927	产品文件夹
LM5009	产品文件夹
LM2936	产品文件夹

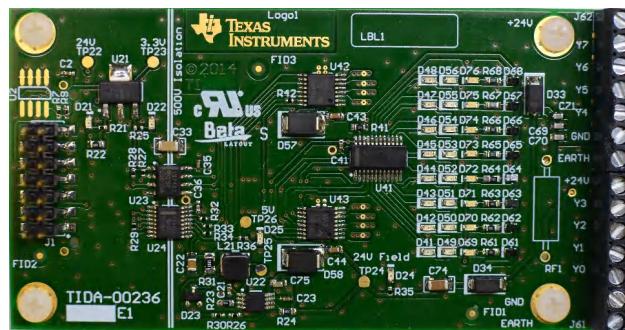
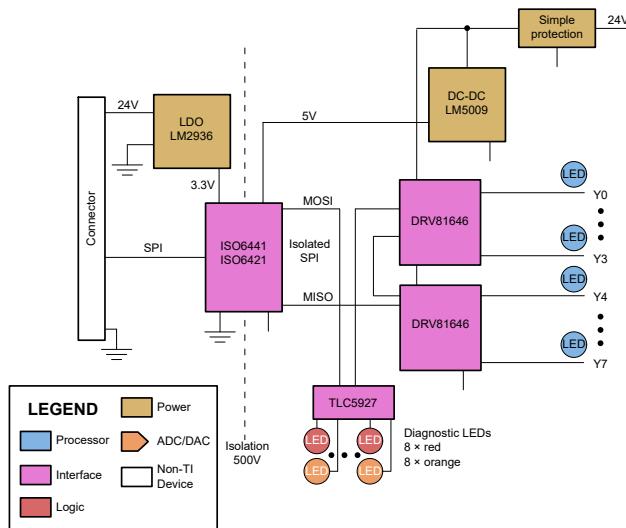


特性

- 高密度 8 通道 24V 低侧数字输出
 - 500mA/通道非稳压 (20%) , 2A 峰值
 - 数据串行器, 用于节省隔离通道
 - 能够开关电感负载
 - 用于指示输出状态和故障的 LED
 - 独立使用或与 [TIDA-00123](#) 配合使用

应用

- 可编程逻辑控制器 (PLC) I/O 模块
 - 分布式控制系统 (DCS) I/O 模块
 - 电机控制 I/O 模块
 - 传感器集中器



1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

符号	参数	条件	规格			单位
			最小值	典型值	最大值	
V_{IN}	输入电压	正常运行	10	24	33	V
I_{IN}	输入电流	正常运行	-	15	50	mA
V_{LOAD}	负载电源电压	正常运行	0	24	44	V
I_{LOAD}	负载电流	每通道 $T_A = 60^\circ C$	-	500	600	mA
		每通道 $T_A = 25^\circ C$	-	700	1000	mA
P_{LOSS}	每通道功率损耗	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24V$, $T_A = 25^\circ C$	-	200	-	mW
f_{SW}	开关频率	阻性负载		1000		Hz
		电感负载， 0.1H 所有通道		10		Hz
t_{RISE}	负载电压上升时间 10%...90%	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24V$, $T_A = 25^\circ C$	-	600	-	ns
t_{FALL}	负载电压下降时间 90%...10%	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24V$, $T_A = 25^\circ C$	-	120	-	ns
t_{PD}	传播延迟 (锁存到输出变化)	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24V$, $T_A = 25^\circ C$	-	150	-	ns
I_{PEAK}	峰值电流 (1ms)			2.3		A
P_{IND}	每组通道的电感电源 ⁽¹⁾				0.5	J/s

(1) 输出 Y0 到 Y3 为一组，输出 Y4 到 Y7 为一组。

2 系统说明

数字输出 (DO) 模块是 PLC 或 DCS 系统中的标准模块。DO 模块用于永久导通和关断电阻、电容或电感负载，或通过脉宽调制 (PWM) 控制它们。

带 MOSFET 的数字输出可作为高侧或低侧开关实现。此设计使用低侧开关原理，这意味着负载连接到 24V 电源与模块输出之间的输出端。因此，开关低于从 24V 直流电源看到的负载。

此原理的优势是开关 MOSFET 的成本更低，因为 MOSFET 可以是 NMOS 类型，与具有相同 $R_{DS(on)}$ 的 PMOS FET 相比，此类 MOSFET 更小，不需要比电源电压更高的电压即可使 FET 在饱和区域运行。相反，低侧配置对腐蚀更为敏感，因为即使在关断时，负载也会一直连接到 24V 电源。该配置还意味着接地短路会意外导通负载。

大多数情况下，数字输出与输出控制之间进行电隔离。此设计使用低功耗数字隔离器将 24V 场电源与 SPI 控制信号分开。使用 SPI 作为控制接口可将隔离通道的数量从八个减少到四个。场侧还有来自 24V DC 的高效电源，为数字隔离器、LED 驱动器和状态 LED 供电。

电路板和连接器的外形尺寸使 TIDA-00236 能够与 TIDA-00123 搭配使用，并使用板载微控制器 (MCU) 来控制输出。该板还可以单独使用，并使用顶部的标准连接器连接到任何能够处理 SPI 通信的 MCU 或微处理器 (MPU)。

3 方框图

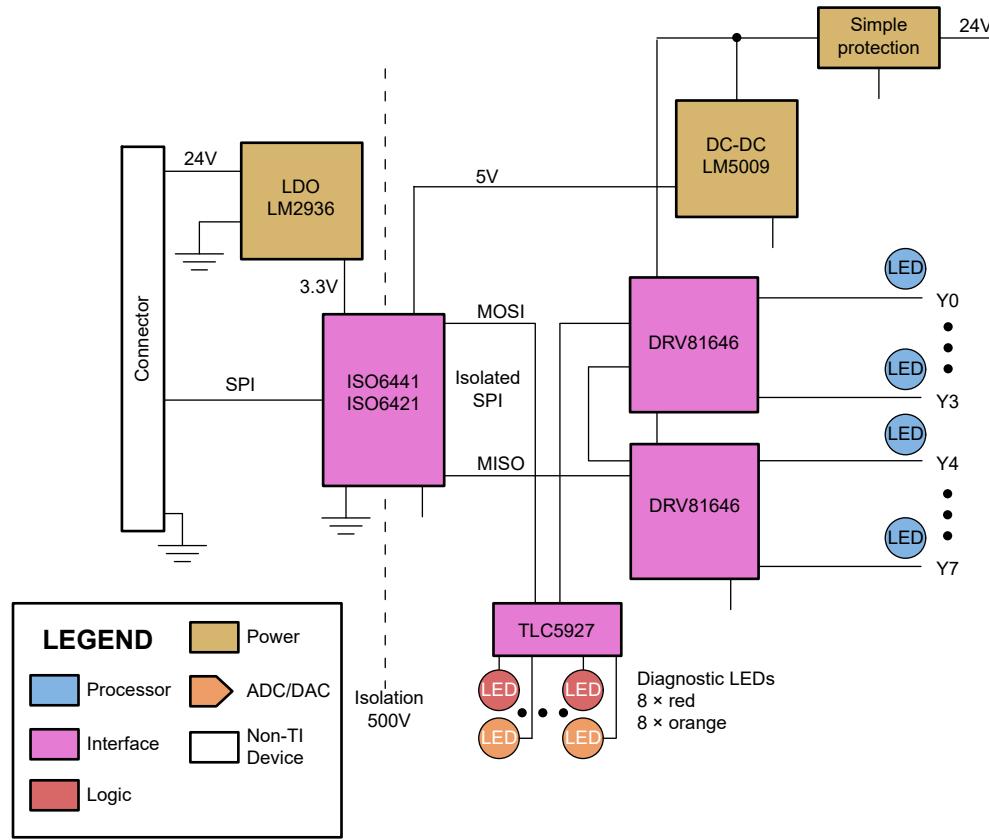


图 3-1. 简化版方框图

3.1 重点产品

TIDA-00236 有八个配置为低侧驱动器的数字输出。该设计使用两个 DRV81646，每个器件中集成了四个受保护的低侧驱动器。片上移位寄存器控制逻辑使得通过 SPI 控制输出成为可能，并且还可以采用菊花链形式连接多个器件（在本例中为两个）。与并联控制方法相比，这样可以节省隔离通道，因为一个 SPI 通道（四条线路）可以控制八个或更多个输出通道。ISO6441 可为 SPI 通道提供电隔离。每个 DRV81646 还有一个全局故障引脚，可指示四个输出通道中任何一个上的故障。这些信号连接到 ISO6421，后者可将信号电隔离。LM5009 用于在低成本降压配置提供 5V 电压，可为 ISO6441 和 ISO6421 的次级侧供电。该 5V 电压也用于为 TLC5927（包括 LED）供电。LED 照明驱动器 TLC5927 为每个输出驱动两个可编程状态 LED，总计 16 个。另外八个状态 LED 连接到 DRV81646 的输出端，指示输出的物理状态。LM2936 是一款低成本低压降（LDO）器件，可为 ISO6441 和 ISO6421 的初级侧提供 3.3V 电压。

3.1.1 DRV81646

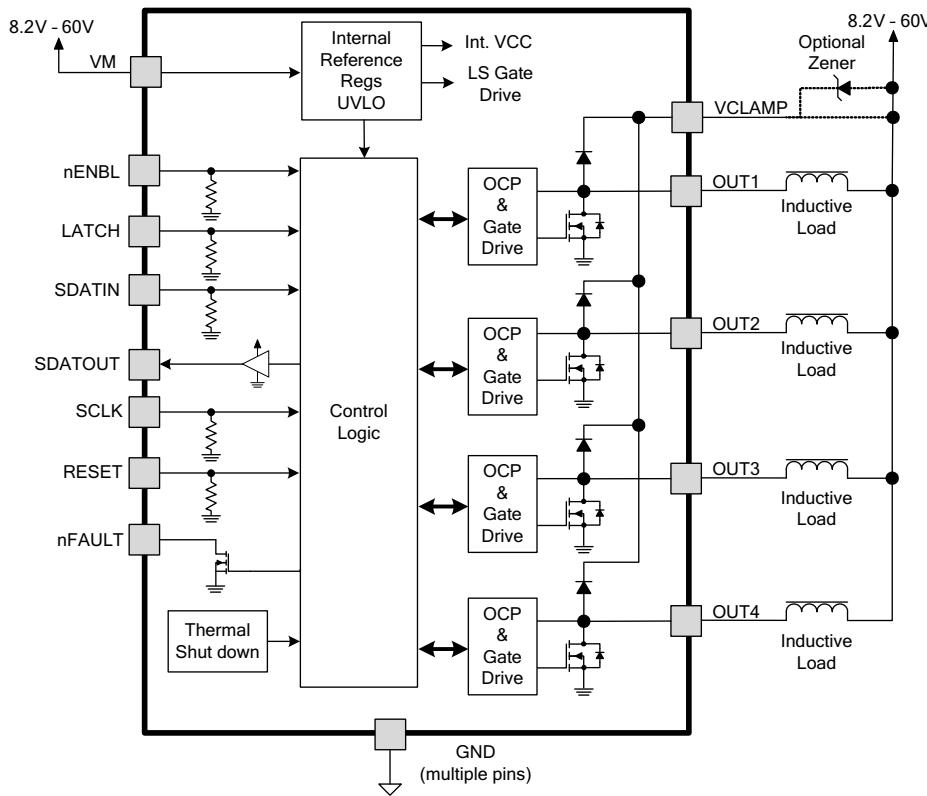


图 3-2. DRV81646 功能框图

DRV81646 是一款具有过流保护功能的四通道低侧驱动器，与内置钳位二极管相结合，使该器件非常适合驱动电阻负载、电容负载或电感负载。控制逻辑提供了一个 SPI，它可以采用菊花链形式连接多个器件。DRV81646 还支持并行 (GPIO) 接口控制。DRV8803 具有类似的功能，但使用并行接口而非 SPI，因而此设计也可用于评估该器件的热性能和驱动性能。

内置的关断功能可用于过流保护、短路保护、欠压闭锁和过热保护，全部连接到 nFAULT 引脚。

3.1.2 ISO6441 和 ISO6421

ISO6441 和 ISO6421 可在 $5000\text{V}_{\text{RMS}}$ 下提供符合 UL 标准的电隔离一分钟，或提供符合 VDE 标准的 $10400\text{V}_{\text{PK}}$ 电隔离。ISO6441 提供三个正向通道和一个反向通道，因此非常适合 SPI 通信隔离。ISO6421 有一个正向通道和一个反向通道，用于隔离 /XFAULT 信号。ISO6441 的工作速度高达 150Mbps ，远高于此设计中使用的 SPI 通信速度。ISO6421 的速度也足以支持低速信号 /XFAULT 和 RST。

3.1.3 LM5009

LM5009 是一款具有集成 FET 的宽输入范围非同步降压转换器。此设计通过 24V 现场连接器提供的 5V 稳压输出为 ISO6441、ISO6421 和 LED 驱动器（包括 LED）供电。

3.1.4 TLC5927

TLC5927 专为具有开路负载、短路负载、过热检测和恒流控制的 LED 照明应用而设计。TLC5927 包含一个 16 位移位寄存器和数据锁存器，它们将串行输入数据转换为并行输出格式。TLC5927 输出级有 16 个稳流端口，可提供均匀且恒定的电流，从而驱动 LED。

4 系统设计原理

ISO6441 将主机与 SPI 信号的场侧隔离。ISO6441 是一款速度超快的隔离器，可轻松支持高达 1Mbps 的数据速度。因此，可通过此接口控制大量输出。在 1Mbps 下，理论上可以 4kHz 的刷新率控制多达 250 个输出信号。此小型设计展示了八个输出以及额外的 16 个诊断 LED，总共需要 24 个输出信号。鉴于这些要求，采用相同控制技术最多可实现 64 个输出。此设计为完全静态，出于诊断目的，串行移位时钟可低至 DC。

4.1 低侧驱动器选择

为了展示小巧的外形，此设计使用两个 DRV81646 器件。这些器件在 PWP 封装中集成了四个电源输出，布板空间为 $5 \times 7\text{mm}$ ，只需 PCB 冷却即可在每个输出端同时驱动 0.5A。大约 15cm^2 的面积足以在 85°C 的环境温度下运行。DRV81646 器件向公共钳位引脚提供内部二极管，这可设置与工作电压不同的钳位电压，从而实现快速电感放电。然后，放电在外部齐纳二极管 (D57 和 D58) 中进行。齐纳二极管的功率能力决定了模块可以处理的电感放电量，并可根据具体应用进行设置。TIDA-00236 使用 48V 钳位，而齐纳二极管的耗散功率各为 3W。因此，每个输出可能每秒发生一次 750mJ 的电感放电。

4.2 热管理

热管理预算根据以下设计注意事项计算：

- 结温保持在 150°C 以下
- 封装的结至底板热阻为 2.3 K/W
- 散热过孔的内径为 8mil ，能够达到 170K/W
- 布板空间提供的空气热阻约为每平方厘米 900 K/W (请参阅 [参考 2](#) 中的公式 23)

DRV8804 的 $R_{DS(ON)}$ 最大值为 $140\text{m}\Omega$ ，当四个输出在 0.5A 电流下导通时，每个器件的总功率耗散为 0.28W ($4 \times 0.5 \times 0.140$)。对于 60°C 的环境温度，结温会升高 8.5°C (来自 $0.28\text{W} \times 30.6^\circ\text{C/W} = 8.5^\circ\text{C}$)。TIDA-00236 让每个器件具有 15 个散热过孔，可对每个 FET 进行足够的冷却。对于每个 DRV81646，TIDA-00236 可提供大约 10cm^2 的散热面积。

如果希望环境温度超过 85°C ，请使用四层电路板。在采用适当 PCB 布局和散热过孔的 PWP 封装中，DRV81646 可在 85°C 下提供每通道 2.0A 的电流。

4.3 关闭电感负载

TIDA-00236 可用于关闭电机、阀门等电感负载。电感负载会存储能量。当开关要关闭电感负载时，就会释放这些能量。电感器会尝试保持电流流动，这可能会导致开关输出端出现高电压尖峰。防止出现尖峰的典型方法是续流二极管。这些二极管可限制电感器上的电压，使电压不超过二极管正向电压（典型值为 0.7V）。假设电源为 24V，则开关输出端得到的电压为 24.7V。该方法很简单，但其缺点是电流会在一段时间内持续流动。该时间与续流电压成反比。对于过程控制系统中的喷射阀之类高速执行器，并不需要这样。首选方法是使用齐纳二极管来提高续流电压。在此参考设计中，续流电压被钳位到 48V。在 24V 电源下，此钳位会产生 24V 的续流电压，并导致电感器的电流衰减快得多。因此，此参考设计最适合直接控制步进电机或喷射阀。

DRV81646 通过在每个输出端部署一个集成式钳位二极管保护低侧开关。所有钳位二极管都被馈送到外部齐纳二极管的一个引脚。该二极管将电压钳位到 65V。

TIDA-0023 中的外部齐纳二极管（D57 和 D58）是 3W TVS 二极管，其冷却功耗计算值为 500mW，这意味着一个 DRV81646 的所有输出可以吸收 0.5J/s 的能量。100mH 的电感负载在 0.5A 电流下可以存储大约 12.5mJ ($E = \frac{1}{2} \times L \times I^2$) 能量。因此，对于一个输出，负载的开关频率可达 40Hz，如果所有四个输出全部加载并开关，则频率可达 10Hz。DRV81646 支持高达 500kHz 的开关频率，因此可以选择更大的齐纳二极管来获得更高的频率。

4.4 开关灯泡

TIDA-00236 可用于开关传统灯泡。此类负载的冷电阻非常低，因此初始电流可能比连续电流高 10 倍。24V、5W 灯泡的浪涌电流为 2A，处在 DRV81646 的工作范围内。较大的灯泡会触发 DRV81646 中的过流保护或 ILIM 模拟电流限制功能。这样的灯泡不会损坏器件，但灯泡可能无法按预期方式导通。

5 入门硬件

TIDA-00236 可用作 TIDA-00123 PLC 评估平台中的插件卡，也可用作具有能够处理 SPI 通信的任何处理器的独立卡。为了连接到 TIDA-00123 平台，连接器 J2 会处理通信。

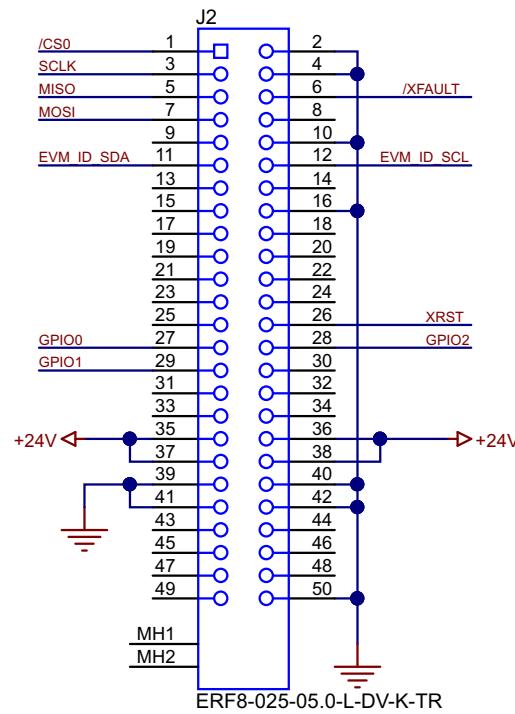


图 5-1. 连接器 J2 (底面)

位于板顶面的连接器 J1 是一个 14 极连接器，可使用标准扁平电缆将板连接到任何处理器平台。

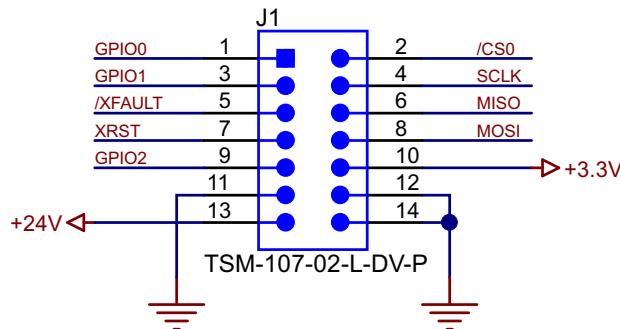


图 5-2. 连接器 J1 (顶面)

表 5-1 中所述的引脚必须连接到 TIDA-00236 的连接器 J1，以便与该卡进行通信。

表 5-1. 引脚说明 J1

J1	信号	说明
2	/CS0	芯片选择/锁存：上升沿用于将数据传输到输出 Y0 至 Y7
4	SCLK	串行时钟
7	XRST	复位：高电平以复位输出
8	MOSI	主器件输出从器件输入：数据发送到数字输出卡
13	24V	5 至 24V 主机侧电源
14	GND	接地信号

5.1 串行外设接口 (SPI)

实现的串行接口是标准 SPI，其四个通道全部实现。连接到电路板的处理器必须充当 SPI 主机，并在 SCLK 引脚上提供时钟。

表 5-2. SPI 信号接头

引脚	说明	J1 上的位置	J2 上的位置
SCLK	串行时钟 (从主机输出)	4	3
PICO	控制器输出，外设输入	8	7
POCI	控制器输入，外设输出	6	5
/CS0	芯片选择和锁存 (低电平有效，数据传输到输出 Y0 至 Y7 并有上升沿)。	2	1

5.2 故障信号

/XFAULT (J1 上的引脚 5 和 J2 上的引脚 6) 是八个输出中任何一个的全局故障信号。如果任何 DRV81646 通道发生过流事件，则该引脚会被驱动为低电平。同时，发生过流事件的输出关闭。在重试启动和清除故障信号之前，输出会保持关断状态 15.5ms 至 62ms，具体取决于 COD 引脚电阻值。如果切断 24V 现场电源 (J61 或 J62)，也会清除 /XFAULT。

如果 DRV81646 中的整体裸片温度超过安全限值，则会关断所有输出并将 /XFAULT 驱动为低电平。当温度降到限值以下时，将恢复运行。

5.3 电源

为了使电路板运行，需要向连接器 J2 上的引脚 35、36、37 或 38 或连接器 J1 上的引脚 13 提供 24V 电源。接地需要根据图 5-1 或图 5-2 进行连接，具体取决于所使用的连接器。此电源通过 LM2936 为 ISO6441 和 ISO6421 的初级侧供电。

5.4 输出和现场电源连接器

在连接器 J61 和 J62 中，将 24V 和接地端连接到标记过的螺纹端子。这八个负载可以连接在 24V 与连接器 J61 和 J62 上标记为 Y7 到 Y0 的八个输出之间。J61 和 J62 上的接地端连接到机器接地。

6 固件入门

TIDA-00236_demo_code.c 是 C 代码中的 SPI 驱动程序，经过小幅修改后可在大多数 MCU 和 MPU 平台上编译。下列各节描述了代码中的核心模块。

6.1 数据位

DB23:DB0 通过软件控制的 SPI 发送到数字输出卡。DB23:DB16 对应于输出 Y7-Y0。DB15:DB0 对应于八个红色 LED (D49 至 D56) 和八个交错的橙色 LED (D41 至 D48)，如表 6-1 所示。

表 6-1. 数据位 (DB23:DB0) 及相应的功能

数据位 (DB23:DB0)																							
23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0	R7	O7	R6	O6	R5	O5	R4	O4	R3	O3	R2	O2	R1	O1	R0	O0

DB23:DB0 的发送顺序如下：

1. 将 XRST (J1 上的引脚 7 或 J2 上的引脚 26) 置为有效以复位该卡并将引脚置为无效。
2. 置位 /CS0 (J1 上的引脚 2 或 J2 上的引脚 1) 以启用该卡。
3. 将 SCLK (J1 上的引脚 4 或 J2 上的引脚 3) 设置为低电平。以 MSB (DB23) 为首将 DB23:DB0 (J1 上的引脚 8 或 J2 上的引脚 7) 发送至 MOSI，并将 SCLK 置为高电平。对 DB23:DB0 重复此操作总计 24 次，以移出所有数据位。

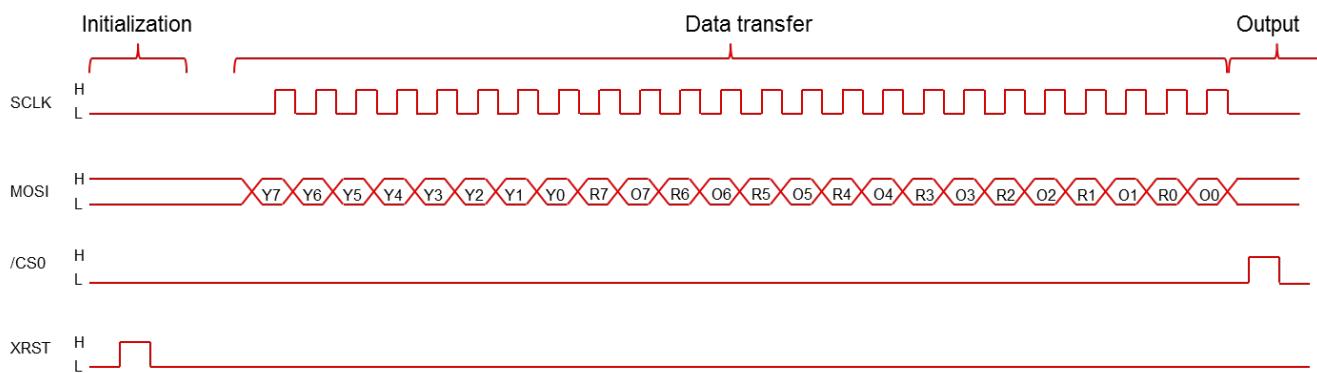


图 6-1. 数据位传输模式

6.2 SPI 用 GPIO

该代码假定地址 0x100 上有一个端口 (变量 IOPort)。对于 SPI 通信，表 6-2 中列出了 GPIO。

表 6-2. 用于 SPI 的 GPIO

SPI 信号	SCLK	MOSI	MISO	/CS	XRST	/XFAULT
端口引脚	0	1	2	3	4	5

如果使用其他端口和引脚，则应相应地更改 IOPort 和 Pin_Masks 变量中的地址。在代码中，逐一设置输出 (Y7 至 Y0) 并检查 /XFAULT 引脚。如果 /XFAULT 为高电平，则点亮红色 LED (D49 至 D56)。

在此代码示例中未使用 MOSI。换句话说，没有从卡到控制器端的 SPI 数据传输。

7 测试设置

7.1 输出电流能力

GW inSTEK GPS-4303 四路输出直流电源为：

- 两个 0 至 30V，电流可达 3A)
- 一个 8 至 15V，电流为 1A
- 一个 2.2 至 5.5V，电流为 1A

一组中的所有四个输出 (Y0 至 Y3 或 Y4 至 Y7) 都与单独的 48Ω 、12W 电阻器连接到电源的 24V。GND 和接地连接到电源的 0V。然后，所有输出均编程为导通。从电源流入电阻器的电流应为 2A。在 25°C 的室温下，观察驱动开关的温度并在 50°C 附近稳定下来。开关上的压降约为 250mV。

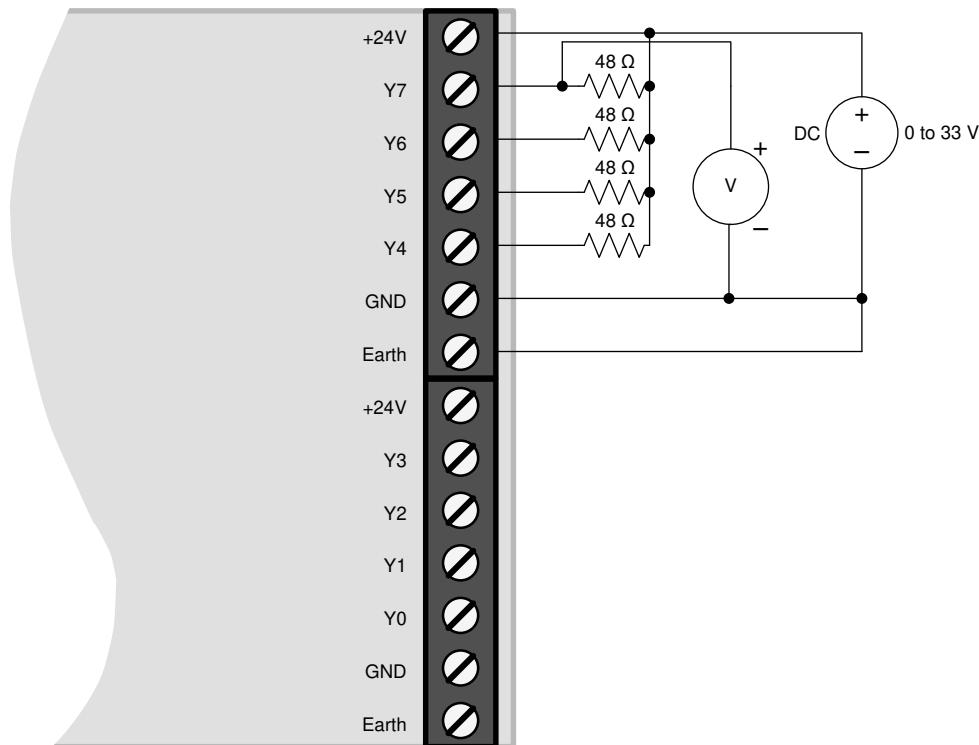


图 7-1. 过压和欠压锁定的测量设置

7.2 上升和下降时间，传播延迟

GW inSTEK GPS-4303 四路输出直流电源为：

- 两个 0 至 30V，电流可达 3A)
- 一个 8 至 15V，电流为 1A
- 一个 2.2 至 5.5V，电流为 1A
- 示波器：Tektronix TDS 3034

一组中的所有四个输出 (Y4 至 Y7) 都与单独的 48Ω 、12W 电阻器连接到电源的 24V。GND 和接地连接到电源的 0V。将示波器通过通道 1 连接到主机侧的锁存输入，通过通道 2 连接到输出 Y7。将示波器设置为正常的触发上升沿，触发电平为 1V。然后，所有输出均编程为导通。示波器捕获 Y7 上的下降沿。之后，所有输出均编程为关闭，示波器捕获 Y7 上的上升沿。对同一组的其他三个输出重复测量。然后，将电阻器连接到第二组输出 (Y0 至 Y3)，并在这些输出上继续进行测量。

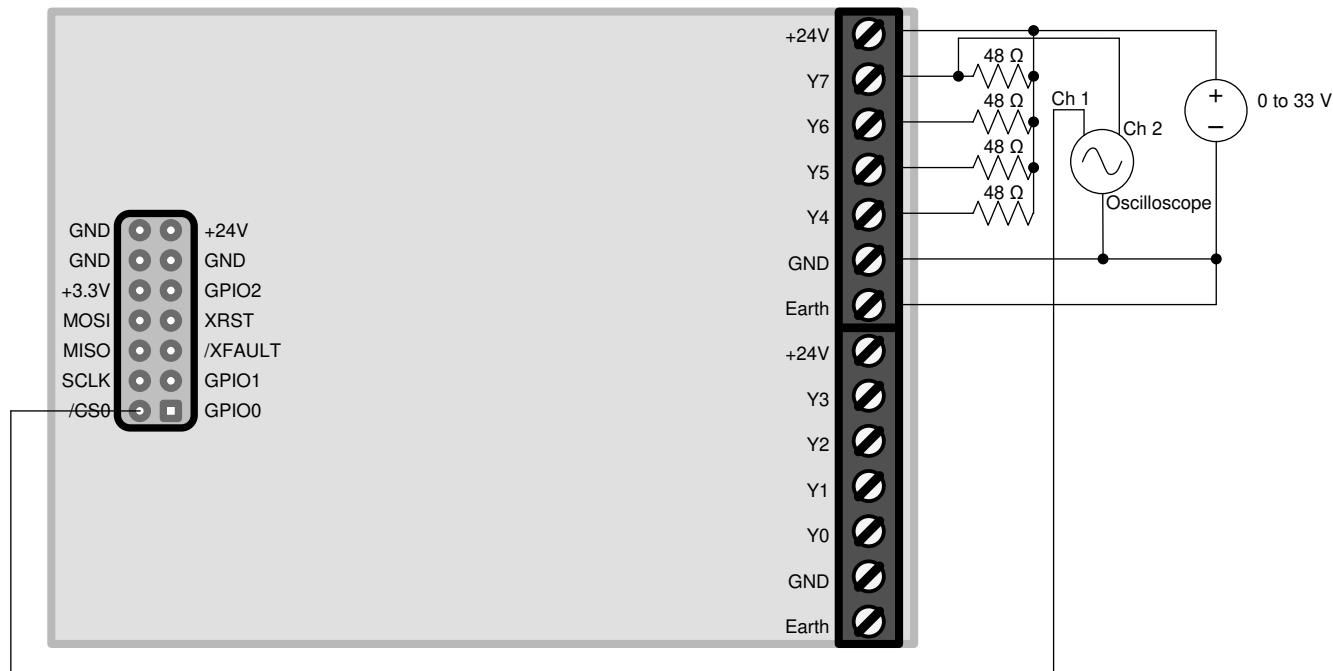


图 7-2. 上升和下降时间以及传播延迟的测量设置

8 测试数据

表 8-1. 测试结果

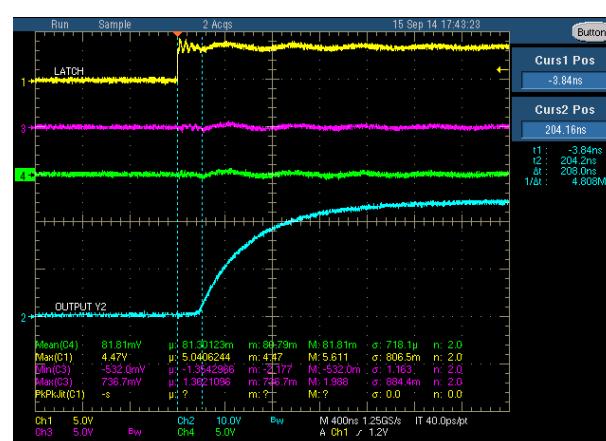
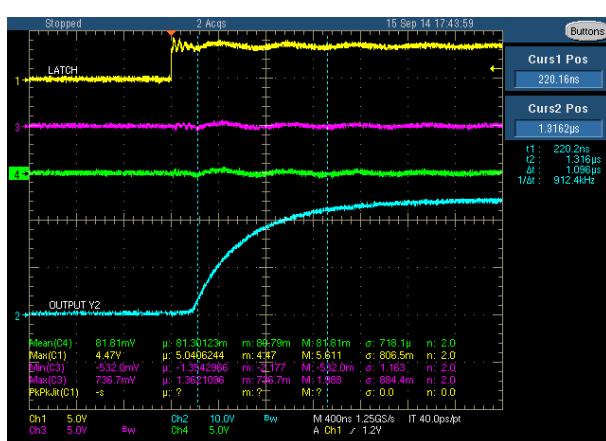
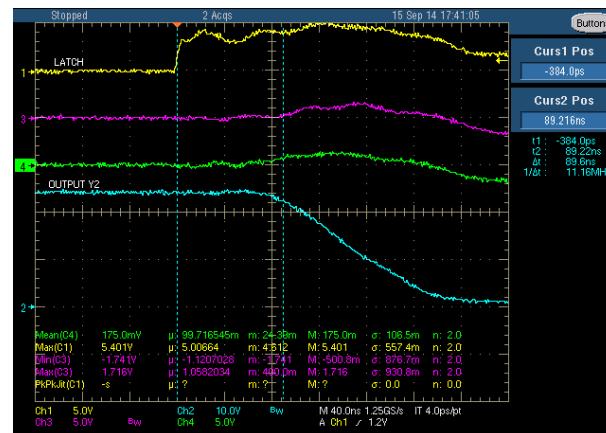
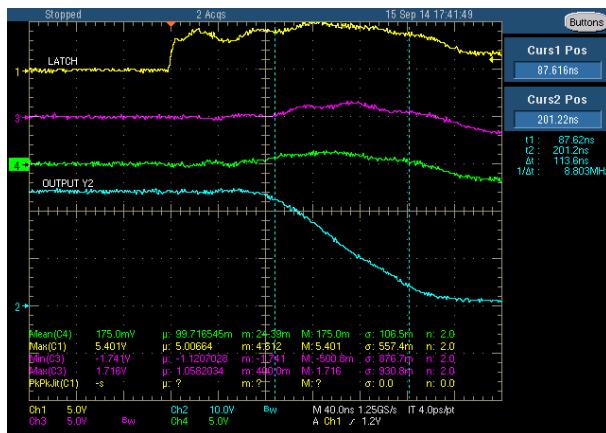
符号	参数	条件	规格			测量	单位
			最小值	典型值	最大值		
V _{IN}	输入电压	正常运行	10	24	33	24.5	V
I _{IN}	输入电流	正常运行	-	15	50 ⁽¹⁾	14	mA
V _{LOAD}	负载电源电压	正常运行	0	24	44	24.5	V
I _{LOAD}	负载电流	每通道 $T_A = 60^\circ\text{C}$	-	500	600	- ⁽²⁾	mA
		每通道 $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	700	1000	- ⁽²⁾	mA
P _{LOSS}	每通道功率损耗	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	200	-	- ⁽²⁾	mW
f _{SW}	开关频率	阻性负载		1000		1000	Hz
		电感负载， 0.1H 所有通道		10		- ⁽²⁾	Hz
t _{RISE}	负载电压上升时间 10%...90%	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	600	-	550	ns
t _{FALL}	负载电压下降时间 90%...10%	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	120	-	125	ns
t _{PD}	传播延迟 (锁存到输出变化)	$R_L = 48 \Omega$, $V_{LOAD} = 24\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	60	150	200	165	ns
I _{PEAK}	峰值电流 (1ms)		2.3		3.8	- ⁽²⁾	A
P _{IND}	每组通道的电感电源 ⁽³⁾				0.5	- ⁽²⁾	J/s

(1) 取决于亮起的 LED 数量和通信活动频繁程度

(2) 根据从 DRV8804 数据表得出的计算结果。DRV81646 可达到更高的性能和更低的温度。

(3) 输出 Y0 到 Y3 为一组，输出 Y4 到 Y7 为一组

在图 8-1 和图 8-2 中，通道 3 (紫色) 连接到主机连接器的 /CS0 信号，并在上升沿触发。该边沿会使数据传输到输出 Y0 到 Y7，因此最适合捕获输出转换 (通道 4 , 绿色) 和传播延迟测量的时序。下降时间取决于驱动器中的输出晶体管的开关速度。由于采用开漏配置，上升时间源自由连接到参考设计中开关输出的 10nF 电容器、驱动器输出电容和输出端的 48Ω 负载电阻器形成的 RC 组合。



9 设计文件

9.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-00236](#) 中的设计文件。

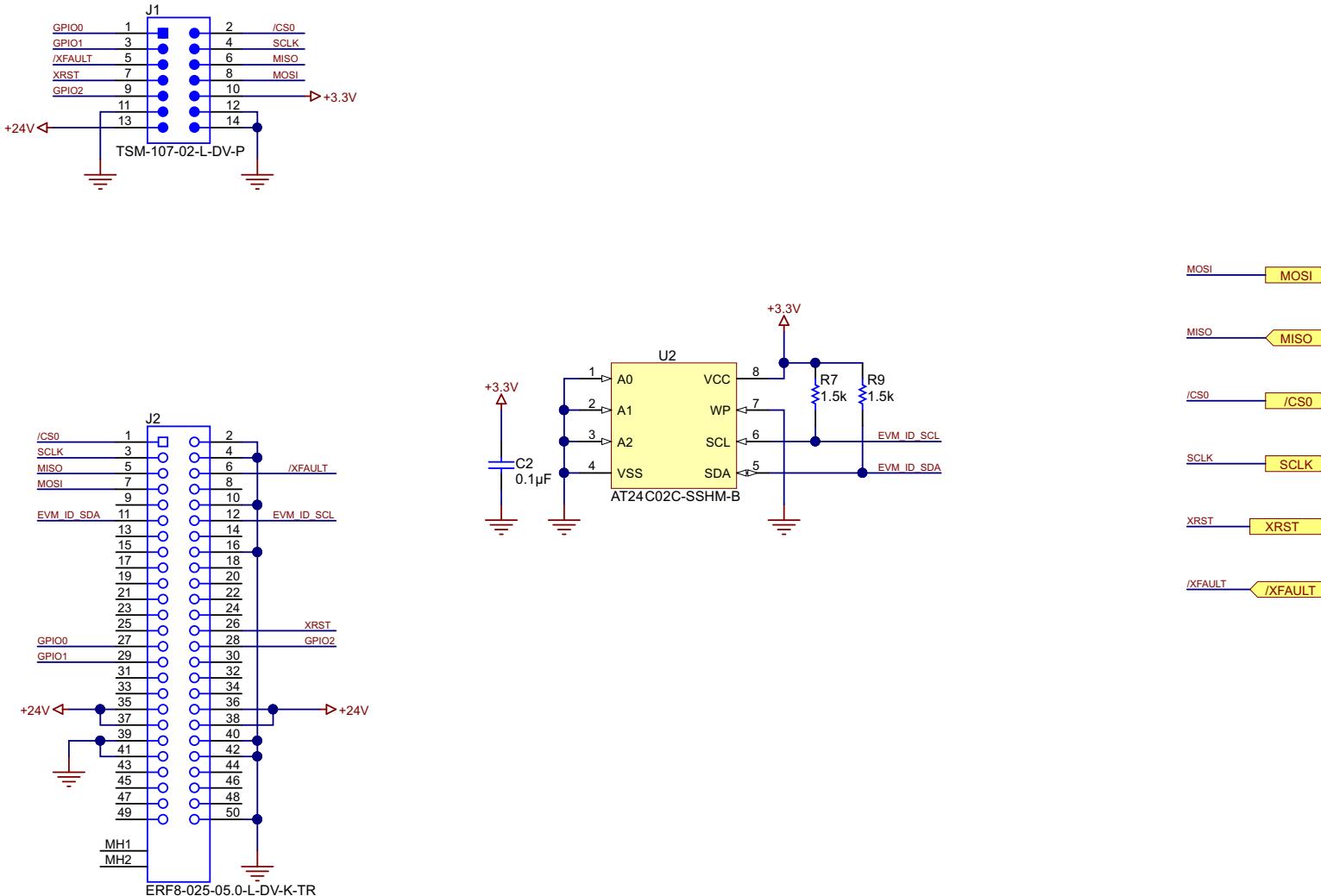


图 9-1. 连接器原理图

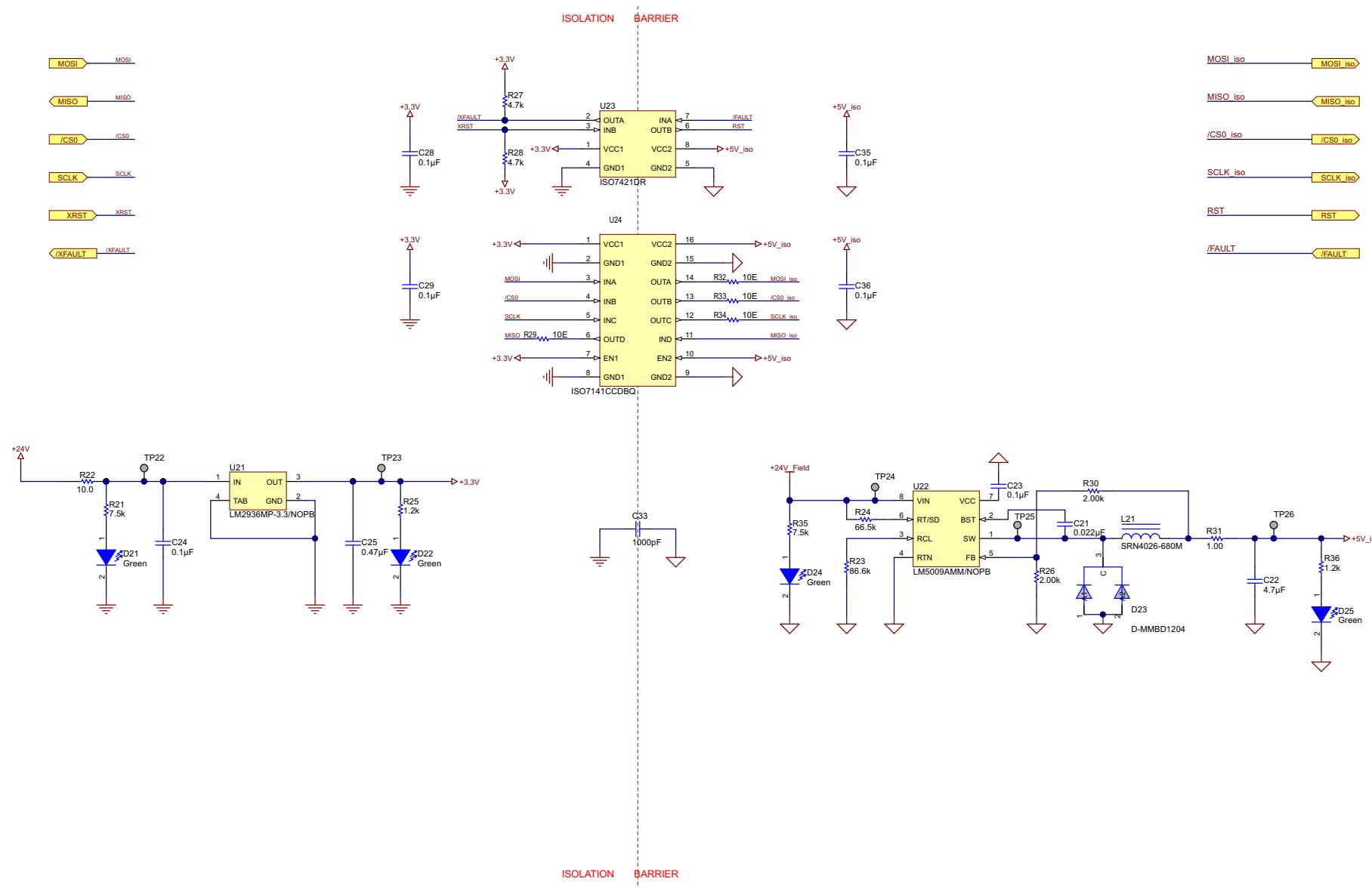


图 9-2. PSU 原理图

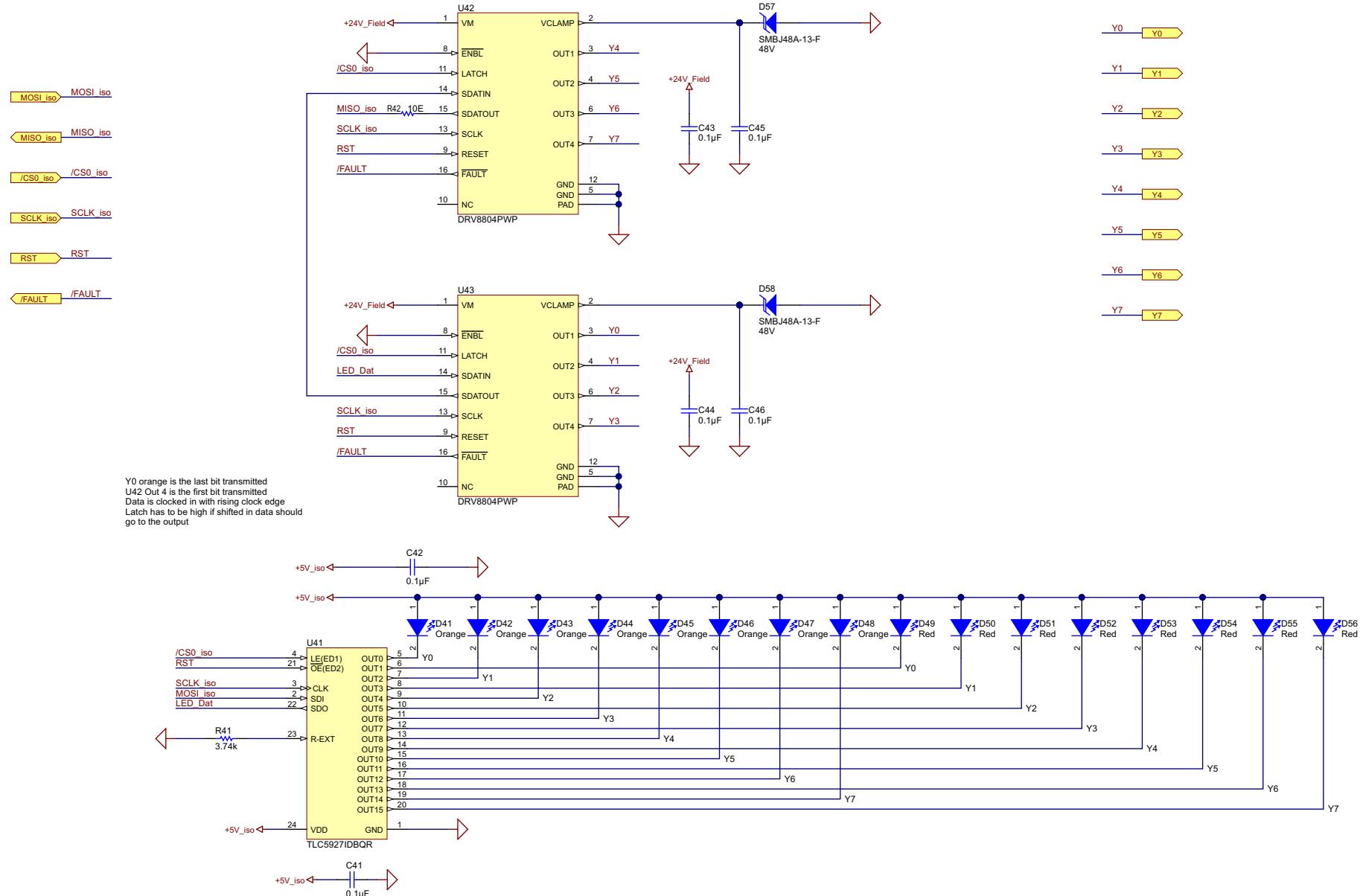


图 9-3. LED 驱动器和功率级原理图

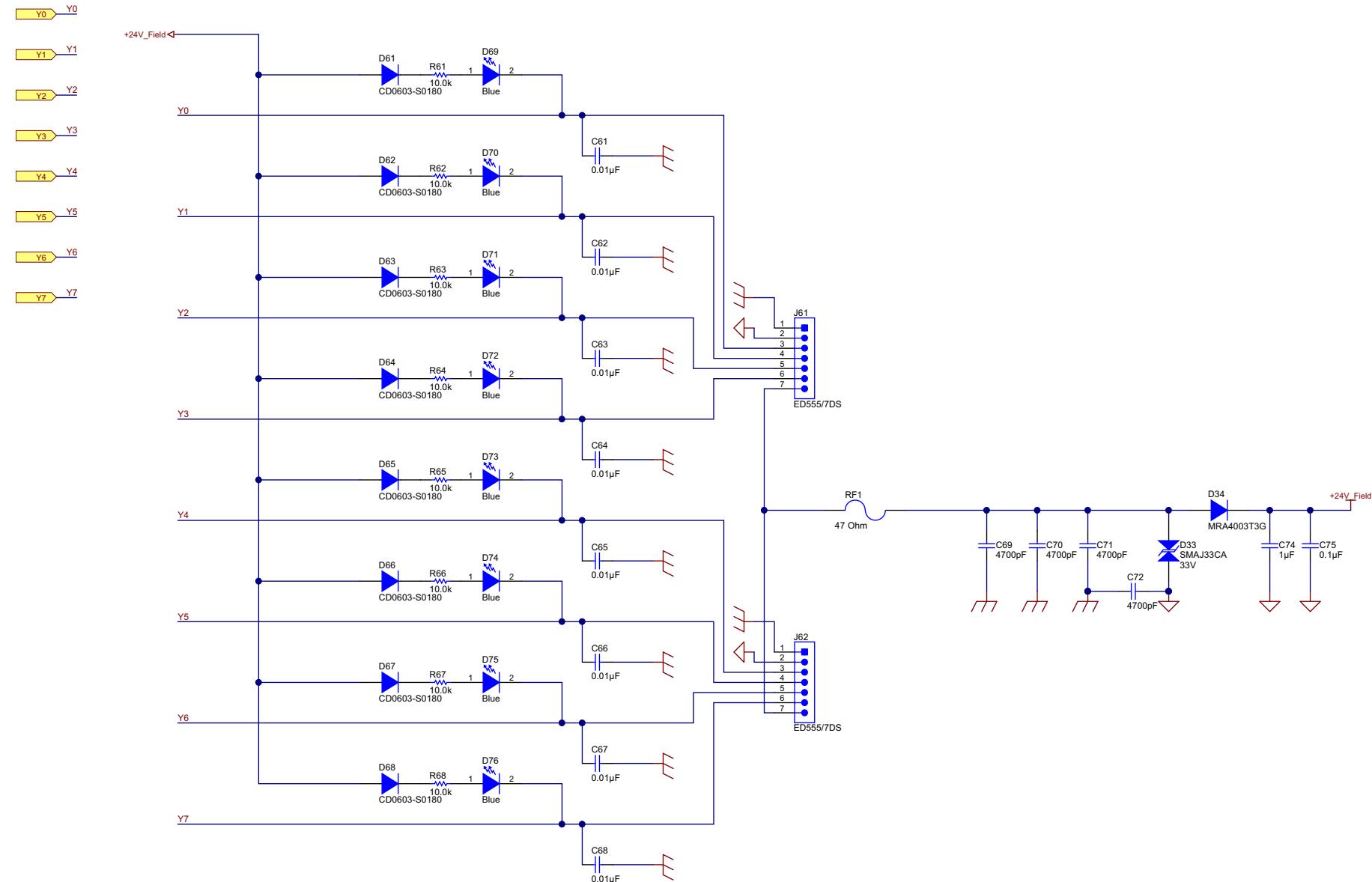


图 9-4. 输出连接器和保护原理图

9.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM) , 请参阅 [TIDA-00236](#) 中的设计文件。

表 9-1. BOM

项目	数量	基准	值	部件说明	制造商	制造商 器件型号	PCB 封装	注释
1	1	IPCB1		印刷电路板	不限	PCB		印刷电路板
2	7	C2、C23、C28、C29、C35、C36、C41	0.1μF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 25V, ±10%, X5R, 0402	MuRata	GRM155R61E104KA87D	0402	GRM155R61E104KA87D
3	1	C21	0.022μF	电容, 陶瓷, 0.022μF, 50V, ±10%, C0G/NP0, 0402	MuRata	GCM155R71H223KA55D	0402	GCM155R71H223KA55D
4	1	C22	4.7μF	电容, 陶瓷, 4.7μF, 16V, ±10%, X7R, 0805	MuRata	GRM21BR71C475KA73L	0805_HV	GRM21BR71C475KA73L
5	1	C24	0.1μF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 50V, ±10%, X7R, 0603	MuRata	GCM188R71H104KA57D	0603	GCM188R71H104KA57D
6	1	C25	0.47μF	电容, 陶瓷, 0.47μF, 6.3V, ±10%, X5R, 0402	MuRata	GRM155R60J474KE19D	0402S	GRM155R60J474KE19D
7	1	C33	1000pF	电容, 陶瓷, 1000pF, 2KV, 10% X7R 1206	Johanson Dielectrics Inc	202R18W102KV4E	1206	202R18W102KV4E
8	3	C42、C43、C44	0.1μF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 50V, ±10%, X7R, 0603	AVX	06035C104KAT2A	0603	06035C104KAT2A
9	2	C45、C46	0.1μF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 100V, ±10%, X7R, 0805	Samsung	CL21B104KCFSFNE	0805_HV	CL21B104KCFSFNE
10	8	C61、C62、C63、C64、C65、C66、C67、C68	0.01μF	电容, 陶瓷, 0.01μF, 50V, ±10%, X8R, 0603	TDK	C1608X8R1H103K	0603	C1608X8R1H103K
11	4	C69、C70、C71、C72	4700pF	电容, 陶瓷, 4700pF, 50V, ±10%, X5R, 0603	MuRata	GRM188R61H472KA01D	0603	GRM188R61H472KA01D
12	1	C74	1μF	电容, 陶瓷, 1μF, 50V, ±10%, X7R, 1206	TDK	C3216X7R1H105K	1206	C3216X7R1H105K
13	1	C75	0.1μF	电容, 陶瓷, 0.1μF, 50V, ±10%, X7R, 0603	Kemet	C0603C104K5RACTU	0603	C0603C104K5RACTU
14	4	D21、D22、D24、D25	绿色	LED, 绿色, SMD	Lite-On	LTST-C190KGKT	LED_LTST-C190_G	LTST-C190KGKT
15	1	D23	MMBD1204	二极管, 小信号, 100V, 200mA	Fairchild	D-MMBD1204	SOT-23	D-MMBD1204
16	1	D33	33V	二极管, TVS, 双向, 33V, 400W, SMA	Littelfuse	SMAJ33CA	SMA	SMAJ33CA
17	1	D34	300V	二极管, 标准恢复整流器, 300V, 1A, SMA	ON Semiconductor	MRA4003T3G	SMA	MRA4003T3G
18	8	D41、D42、D43、D44、D45、D46、D47、D48	橙色	LED, 橙色, SMD	Lite-On	LTST-C190KFKT	LED_LTST-C190	LTST-C190KFKT
19	8	D49、D50、D51、D52、D53、D54、D55、D56	红色	LED, 红色, SMD	Lite-On	LTST-C190CKT	LED_LTST-C190_Red	LTST-C190CKT
20	2	D57、D58	48V	二极管, TVS, 单向, 48V, 600W, SMB	Diodes Inc.	SMBJ48A-13-F	SMB	SMBJ48A-13-F
21	8	D61、D62、D63、D64、D65、D66、D67、D68	90V	二极管, 开关, 90V, 0.1A, 0603 二极管	Bourns	CD0603-S0180	Diode_0603	CD0603-S0180
22	8	D69、D70、D71、D72、D73、D74、D75、D76	蓝色	LED, 蓝色, SMD	OSRAM	LB Q39G-L2N2-35-1	LB Q39G_BLUE	LB Q39G-L2N2-35-1
23	1	J1		接头, 100mil, 7x2, 垂直, 金, SMT	Samtec	TSM-107-02-L-DV-P	SAMTEC_TSM-107-02-L-DV-P	TSM-107-02-L-DV-P
24	1	J2		插座, 0.8mm, 25x2, SMT	Samtec	ERF8-025-05.0-L-DV-K-TR	CONN_ERF8-025-05_0-L-DV-L-TR	ERF8-025-05.0-L-DV-K-TR
25	2	J61、J62		端子块, 6A, 3.5mm 间距, 7 位, TH	On-Shore Technology	ED555/7DS	On-Shore_ED555-7DS	ED555/7DS
26	1	L21	68μH	电感, 绕制, 铁氧体, 68μH, 0.35A, 0.852Ω, SMD	Bourns	SRN4026-680M	SRN4026	SRN4026-680M
27	1	LBL1		热转印可打印标签, 0.650" (宽) × 0.200" (高) - 10,000/卷	Brady	THT-14-423-10	Label_650x200	尺寸 : 0.65" × 0.20"
28	2	R7、R9	1.5 k	电阻, 1.5kΩ, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04021K50JNED	0402	CRCW04021K50JNED
29	2	R21、R35	7.5 k	电阻, 7.5kΩ, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04027K50JNED	0402S	CRCW04027K50JNED

表 9-1. BOM (续)

项目	数量	基准	值	部件说明	制造商	制造商 器件型号	PCB 封装	注释
30	1	R22	10.0	电阻, 10.0Ω, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060310R0FKEA	0603	CRCW060310R0FKEA
31	1	R23	86.6k	电阻, 86.6kΩ, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060386K6FKEA	0603	CRCW060386K6FKEA
32	1	R24	66.5k	电阻, 66.5kΩ, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060366K5FKEA	0603	CRCW060366K5FKEA
33	2	R25、R36	1.2 k	电阻, 1.2kΩ, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04021K20JNED	0402S	CRCW04021K20JNED
34	2	R26、R30	2.00k	电阻, 2.00kΩ, 1%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04022K00FKED	0402	CRCW04022K00FKED
35	2	R27、R28	4.7k	电阻, 4.7kΩ, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04024K70JNED	0402S	CRCW04024K70JNED
36	5	R29、R32、R33、R34、R42	10 E	电阻, 10Ω, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW040210R0JNED	0402S	CRCW040210R0JNED
37	1	R31	1.00	电阻, 1.00Ω, 1%, 0.125W, 0805	Vishay-Dale	CRCW08051R00FKEA	0805_HV	CRCW08051R00FKEA
38	1	R41	3.74 k	电阻, 3.74kΩ, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW06033K74FKEA	0603	CRCW06033K74FKEA
39	8	R61、R62、R63、R64、R65、R66、R67、R68	10.0 k	电阻, 10.0kΩ, 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060310K0FKEA	0603	CRCW060310K0FKEA
40	1	RF1	47	电阻, 47Ω, 10%, 2W, 易熔, TH	TT Electronics/IRC	EMC2-47RKI	EMC2	47Ω
41	1	U2		IC, EEPROM, 2KB, 1MHz, SOIC-8	Atmel	AT24C02C-SSHM-B	SOIC-8M	AT24C02C-SSHM-B
42	1	U21		超低静态电流 LDO 稳压器, 4 引脚 SOT-223, 无铅	National Semiconductor	LM2936MP-3.3/NOPB	MP04A_N	LM2936MP-3.3/NOPB
43	1	U22		100V、150mA 恒定导通时间降压开关稳压器, 8 引脚 MSOP, 无铅	德州仪器 (TI)	LM5009AMM/NOPB	MUA08A_N	LM5009AMM/NOPB
44	1	U23		150Mbps 双通道, 1/1, 数字隔离器, 2.25V / 5V, -40°C 至 125°C, 8 引脚 SOIC (D), 绿色环保 (符合 RoHS, 无锑/无溴)	德州仪器 (TI)	ISO6421DR	D0008A_N	ISO6421DR
45	1	U24		10400-VPK 小尺寸低功耗四通道数字隔离器, DBQ0016A	德州仪器 (TI)	ISO6441DBQR	DBQ0016A_N	ISO6441DBQR
46	1	U41		16 位恒流 LED 灌流驱动器, 3 至 5.5V, -40°C 至 85°C, 24 引脚 SOP (DBQ24), 绿色环保 (符合 RoHS, 无锑/无溴)	德州仪器 (TI)	TLC5927IDBQR	DBQ0024A_N	TLC5927IDBQR
47	2	U42、U43		四通道串行接口低侧驱动器 IC, PWP0016D	德州仪器 (TI)	DRV8804PWPR	PWP0016D_N	DRV8804PWPR
48	2	U42、U43 备选		四通道低侧驱动器, 支持硬件、SPI 以及可配置转换率和截止持续时间, PWP-20	德州仪器 (TI)	DRV81646PWPR	PWP0020AC	DRV81646PWPR

9.3 PCB 布局

9.3.1 板层图

要下载板层图，请参阅 [TIDA-00236](#) 中的设计文件。

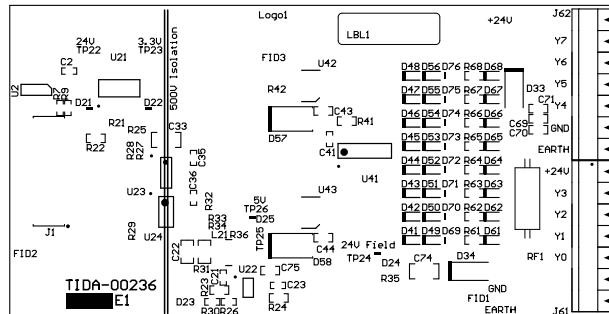


图 9-5. 顶部丝印

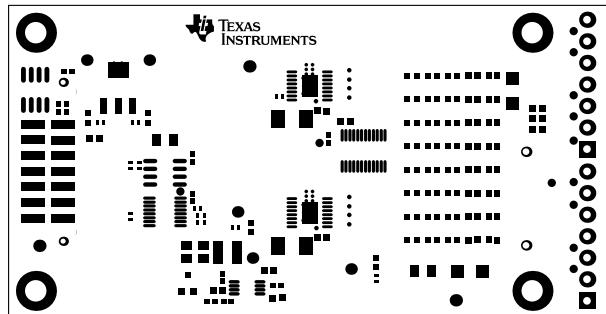


图 9-6. 顶部阻焊层

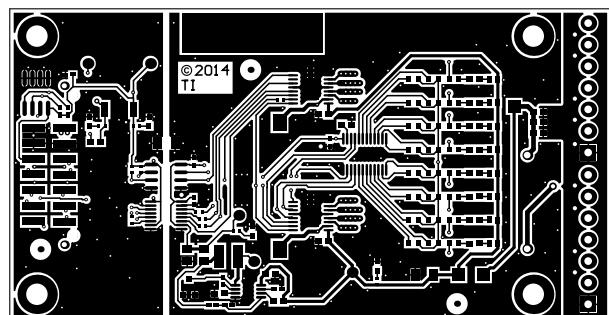


图 9-7. 顶层

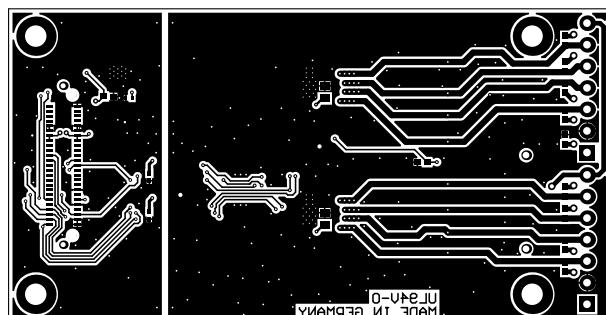


图 9-8. 底层

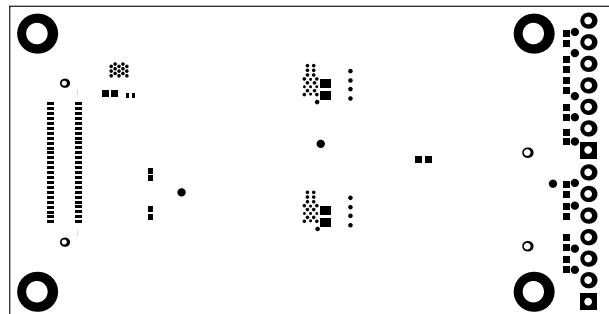


图 9-9. 底部阻焊层

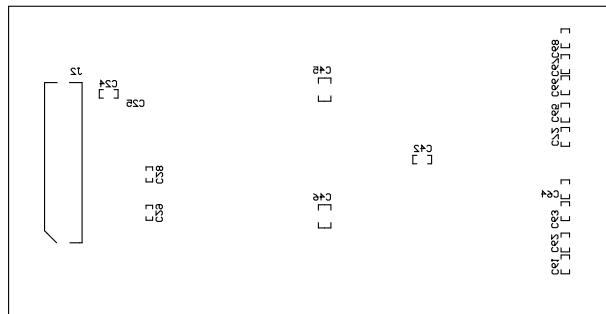


图 9-10. 底部丝印

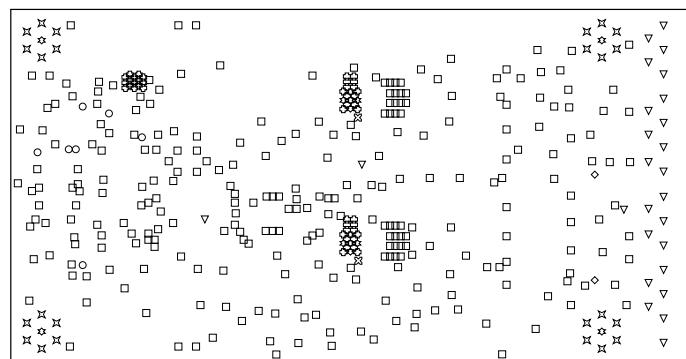


图 9-11. 钻孔图

Symbol	Hit Count	Tool Size	Plated	Hole Type
✖	10	7.874mil (0.2mm)	PTH	Round
○	43	8mil (0.203mm)	PTH	Round
☒	2	10mil (0.254mm)	PTH	Round
□	274	12mil (0.305mm)	PTH	Round
○	5	16mil (0.406mm)	PTH	Round
✖	24	19.685mil (0.5mm)	PTH	Round
▽	12	28mil (0.711mm)	PTH	Round
□	2	33mil (0.838mm)	PTH	Round
◇	2	43.307mil (1.1mm)	PTH	Round
▽	14	50mil (1.27mm)	PTH	Round
○	2	57.087mil (1.45mm)	NPTH	Round
✖	4	137.795mil (3.5mm)	PTH	Round
394 Total				

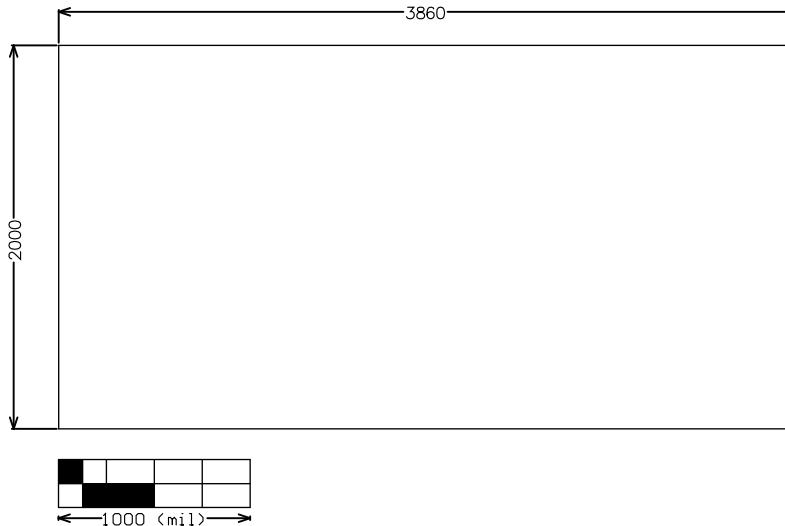


图 9-12. 机械尺寸

9.3.2 布局建议

ISO6441 和 ISO6421 专为高速运行而设计。为了更大限度地减少反射和可能的位错误，在所有数据和时钟输出中增加了串联电阻器。相应区域在图 9-13 中以黄色圈出。

为了对 DRV81646 进行有效冷却，器件下方需要有绿色圆圈标明的散热过孔。如图 9-14 所示，在底部有一个较大的连续覆铜区作为散热器。用户必须防止布线意外阻碍热流。有关布局指南和最佳实践的更多信息，请参阅[电机驱动器电路板布局最佳实践应用手册](#)。

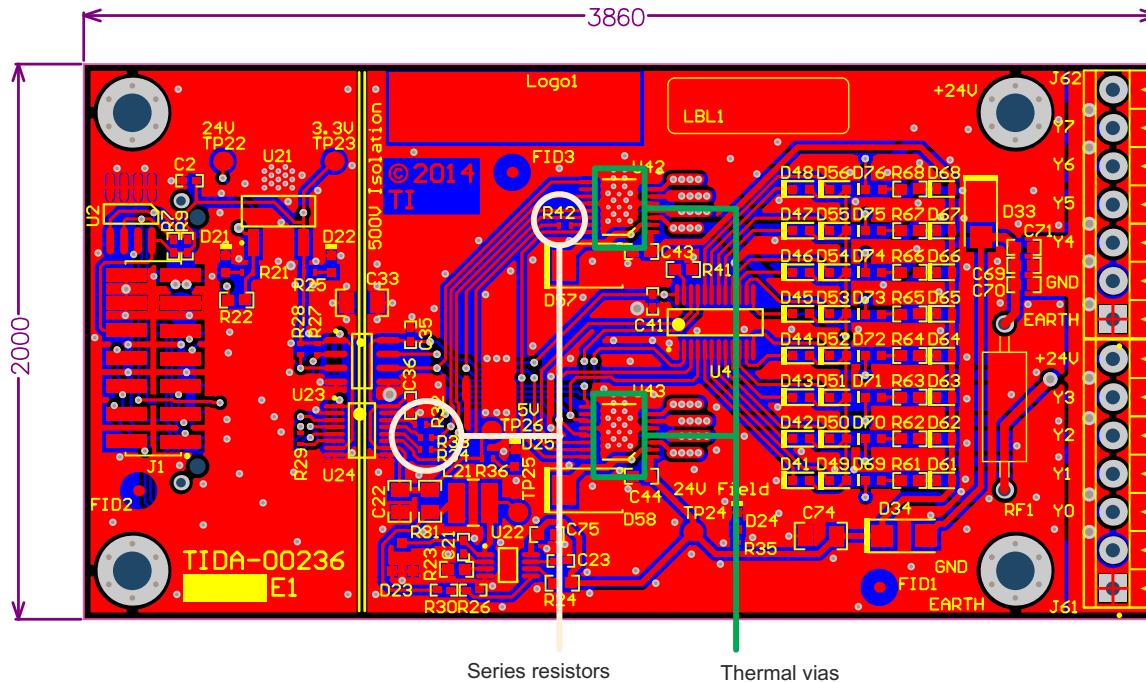


图 9-13. 布局指南 1

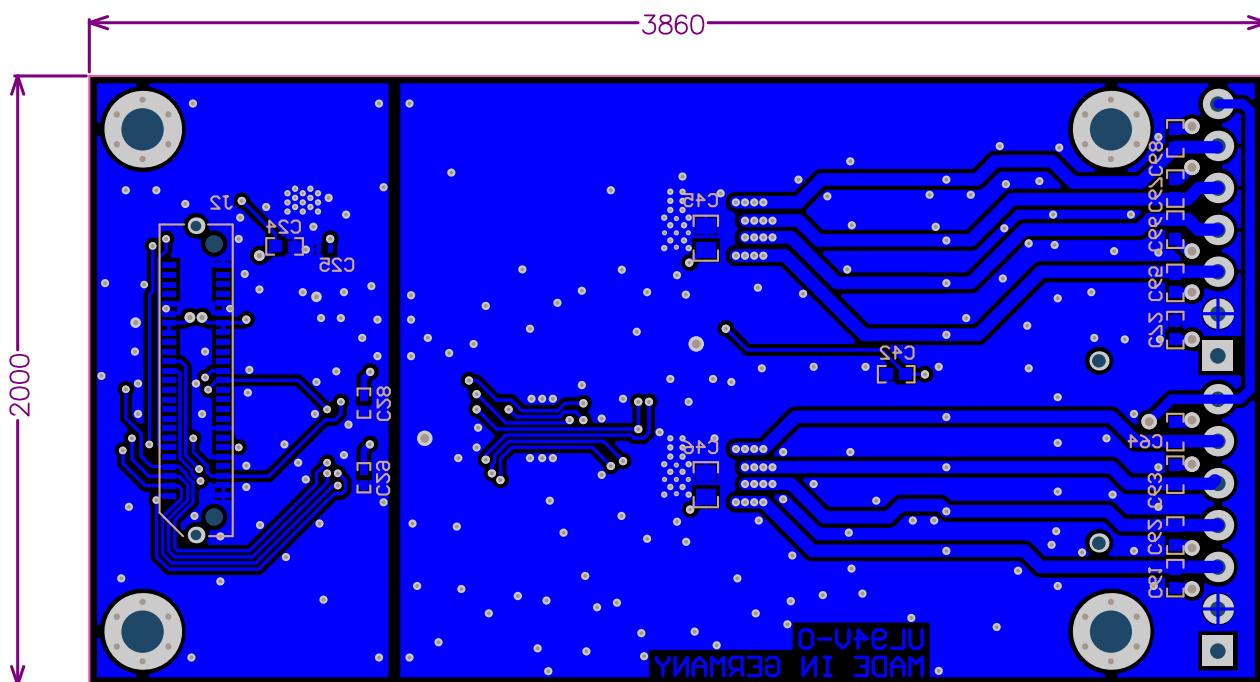


图 9-14. 底层

9.4 Altium 工程

要下载 Altium 工程文件，请参阅 TIDA-00236 中的设计文件。

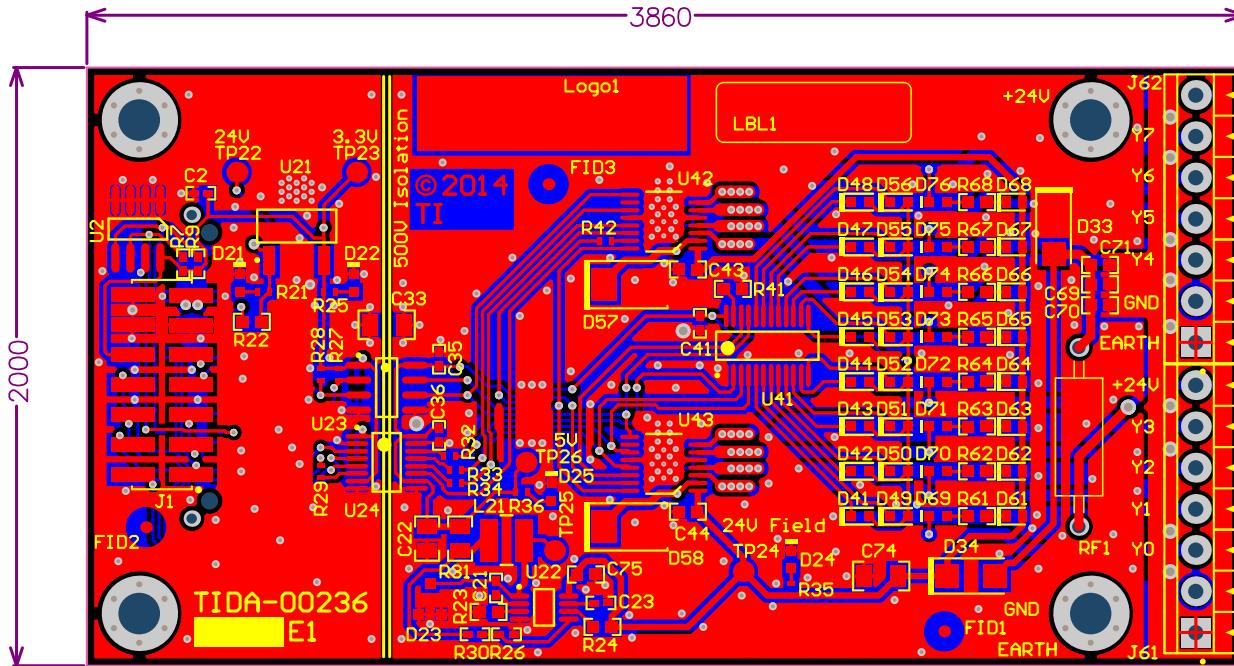


图 9-15. 所有层

9.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-00236](#) 的设计文件。

9.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-00236](#) 中的设计文件。

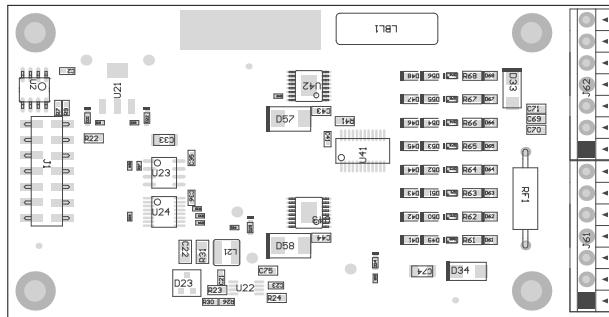


图 9-16. 顶部装配图

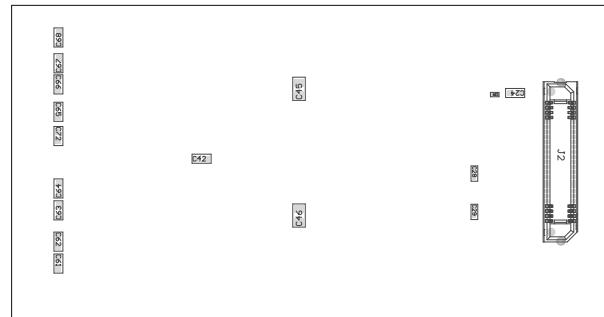


图 9-17. 底部装配图

9.7 软件文件

要下载软件文件，请参阅 [TIDA-00236](#) 中的设计文件。

10 参考资料

- 德州仪器 (TI), [使用 Tiva C 系列 ARM Cortex-M4 MCU 的 PLC I/O 模块前端控制器设计指南](#)
- 德州仪器 (TI), [表面贴装布局的散热注意事项研讨会](#)

11 作者简介

INGOLF FRANK 是德州仪器 (TI) 工厂自动化与控制团队的系统工程师，专注于 PLC I/O 模块。Ingolf 的工作涉及多个产品系列和技术，能利用尽可能更佳的设计来实现系统级应用设计。Ingolf 于 1991 年毕业于德国比勒费尔德应用科学大学，并获信息技术领域电气工程学位 [Dipl.Ing.(FH)]。

ANUPAM MAJJAGI 在德州仪器 (TI) 的工厂自动化与控制团队完成了硕士论文。他的论文中有一部分涉及编写测试程序和固件来测试 TIDA-00236 并与设计进行通信。他正在德国 Hochschule Darmstadt 攻读嵌入和微电子学硕士学位。

HENRIK MANNESSON 是德国德州仪器 (TI) 工厂自动化与控制团队的一名系统工程师。Henrik 毕业于瑞典隆德的隆德理工学院 (LTH)，并获电气工程专业理学硕士学位 (MSEE)。

12 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 * (September 2014) to Revision A (January 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 在文档中通篇将器件支持从 ISO7141 和 ISO7421 更改为 ISO6441 和 ISO6421。此外，将 DRV8804 更改为 DRV81646。	1

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出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#))、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026 , 德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期 : 2025 年 10 月