

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

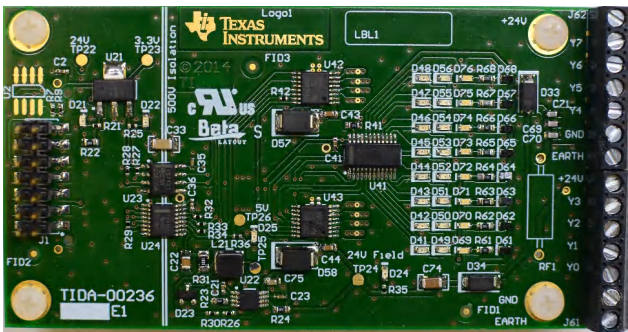
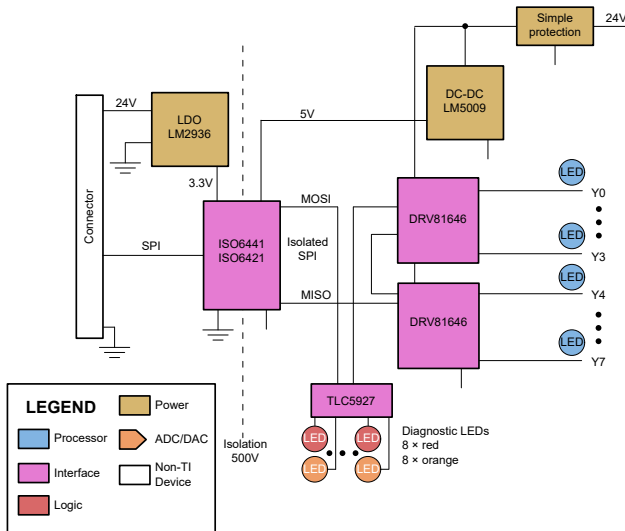
- 高密度 8 通道 24V 低侧数字输出
- 500mA/通道非稳压 (20%)，2A 峰值
- 数据串行器，用于节省隔离通道
- 能够开关电感负载
- 用于指示输出状态和故障的 LED
- 独立使用或与 [TIDA-00123](#) 配合使用

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



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家



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 $T_A = 60^\circ\text{C}$	-	500	600	mA
		每通道 $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	700	1000	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	-	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%	$R_L = 48\ \Omega$, $V_{LOAD} = 24\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	600	-	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	-	ns
t_{PD}	传播延迟 (锁存到输出变化)	$R_L = 48\ \Omega$, $V_{LOAD} = 24\text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	150	-	ns
I_{PEAK}	峰值电流 (1ms)		2.3		3.8	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

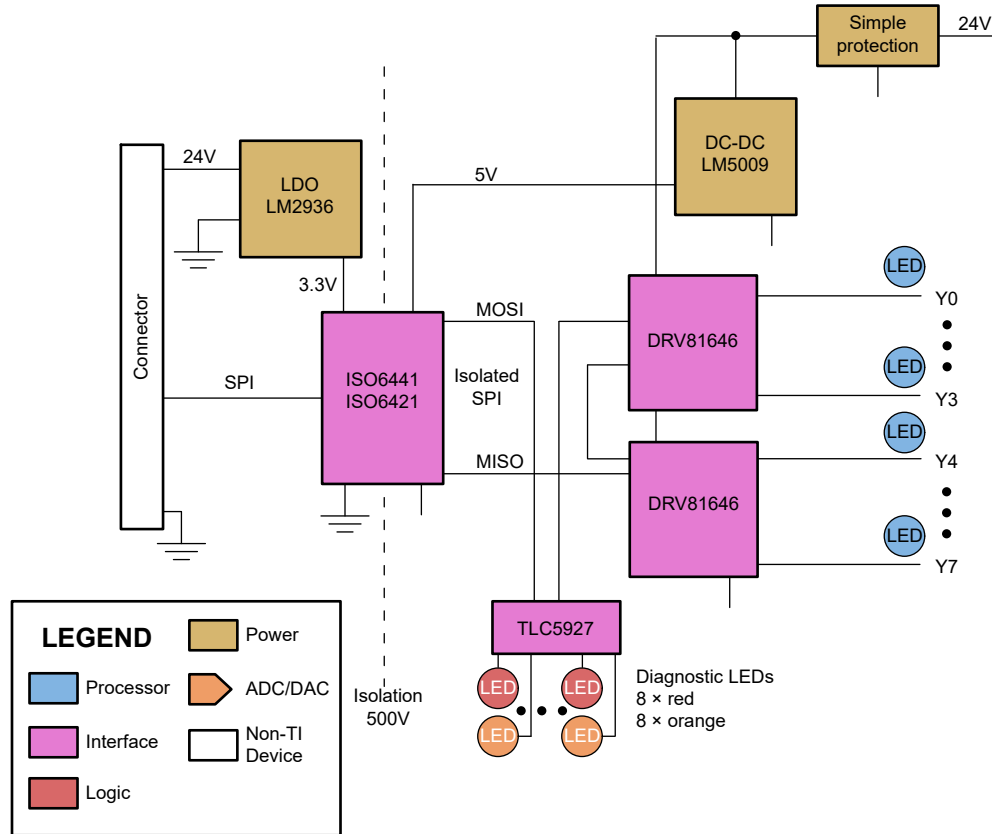


图 3-1. 简化版方框图

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

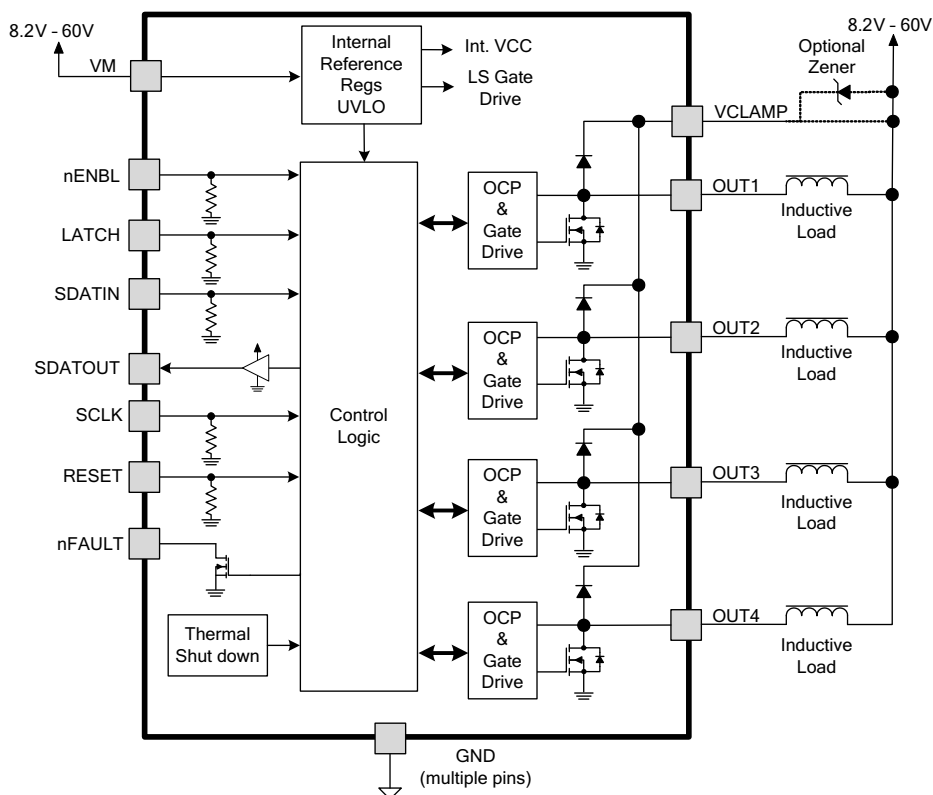


图 3-2. DRV81646 功能框图

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，因此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 $5000V_{RMS}$ 下提供符合 UL 标准的电隔离一分钟，或提供符合 VDE 标准的 $10400V_{PK}$ 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 $R_{\text{DS(ON)}}$ 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。

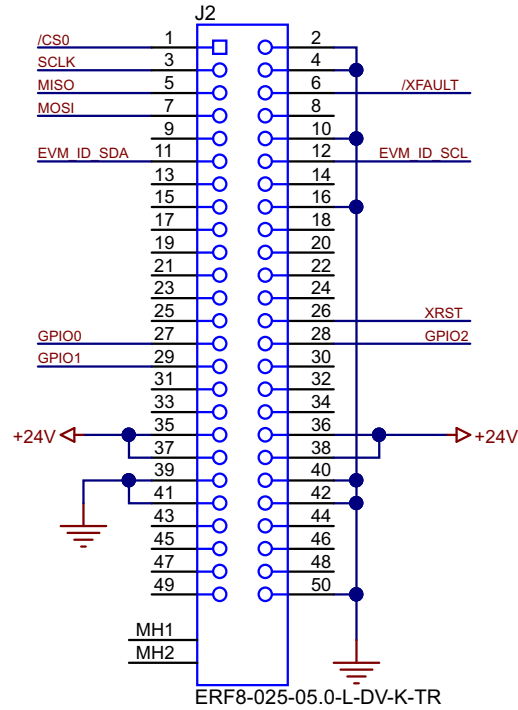


图 5-1. 连接器 J2 (底面)

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。

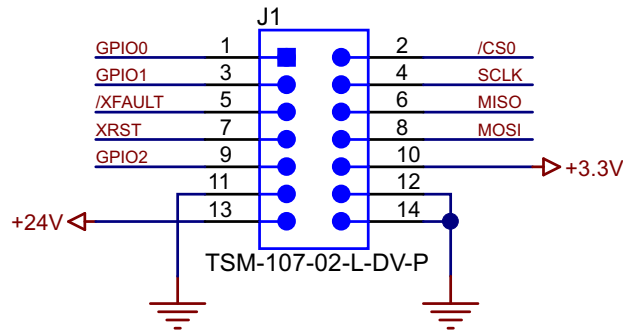


图 5-2. 连接器 J1 (顶面)

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。

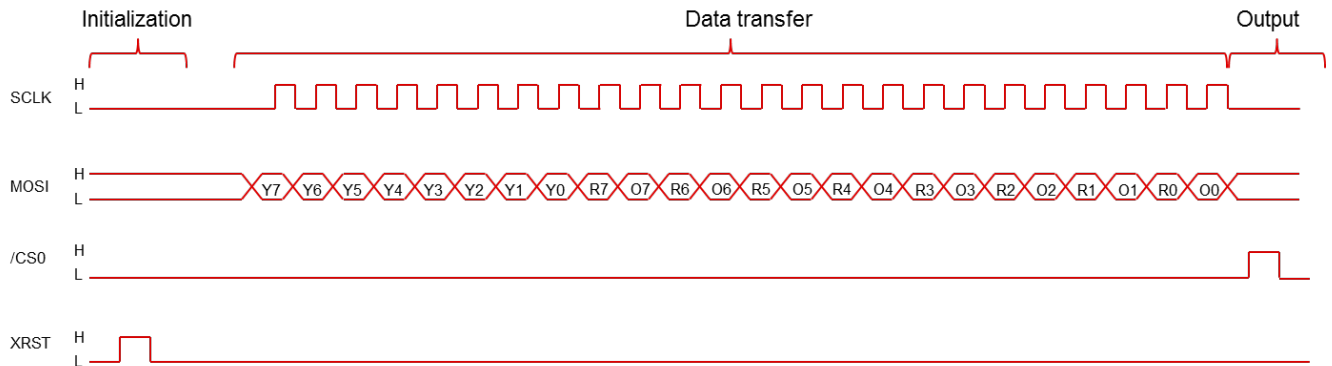


图 6-1. 数据位传输模式

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 $48\ \Omega$ 、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。

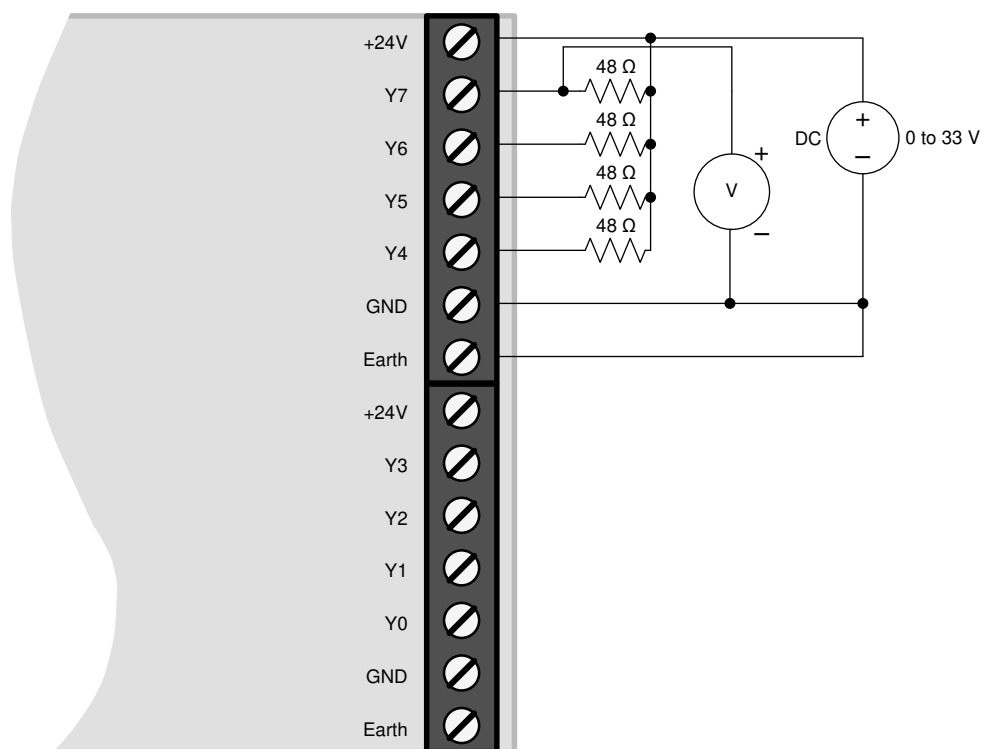


图 7-1. 过压和欠压锁定的测量设置

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 48 Ω 、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，触发器来自通道 1。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。

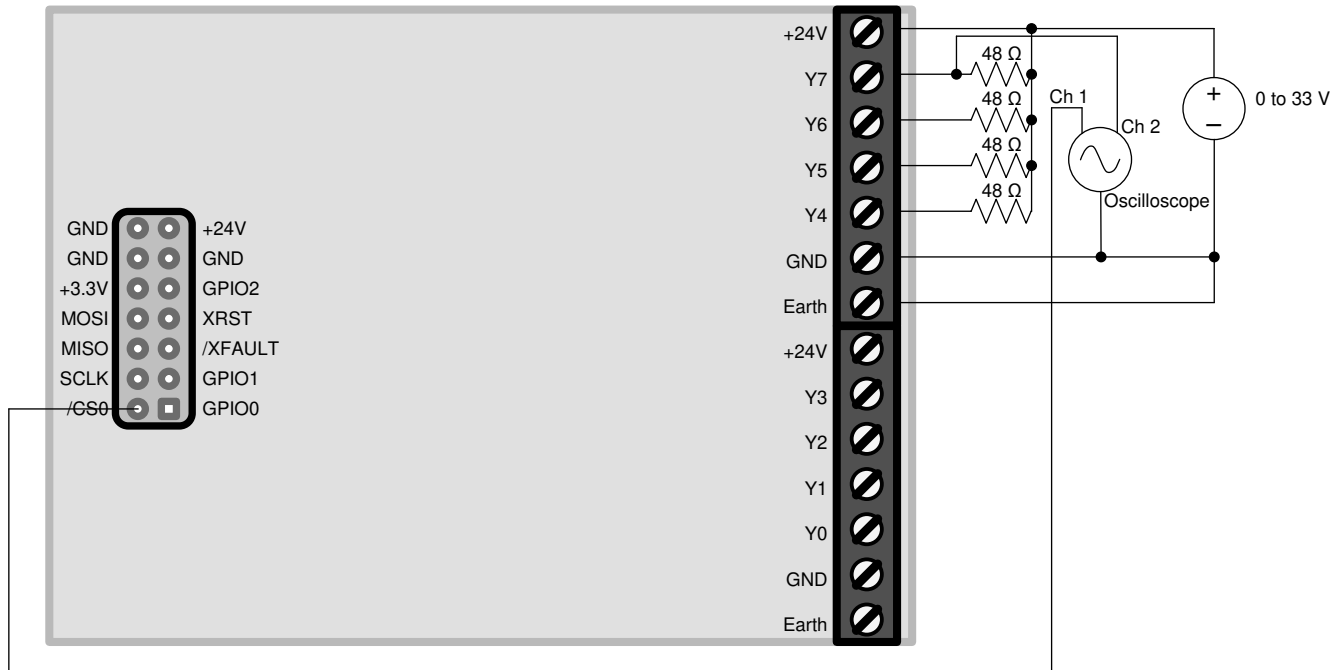


图 7-2. 上升和下降时间以及传播延迟的测量设置

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。

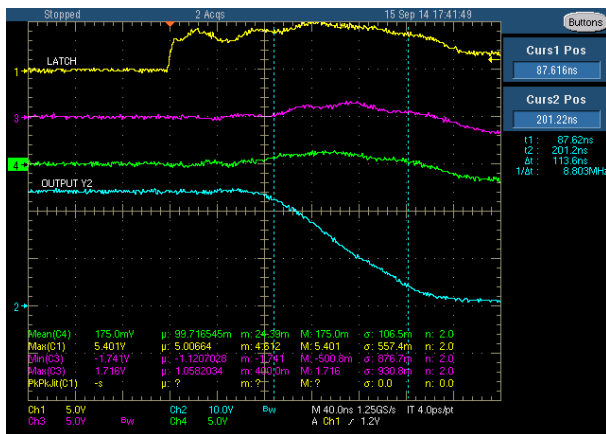


图 8-1. 下降时间

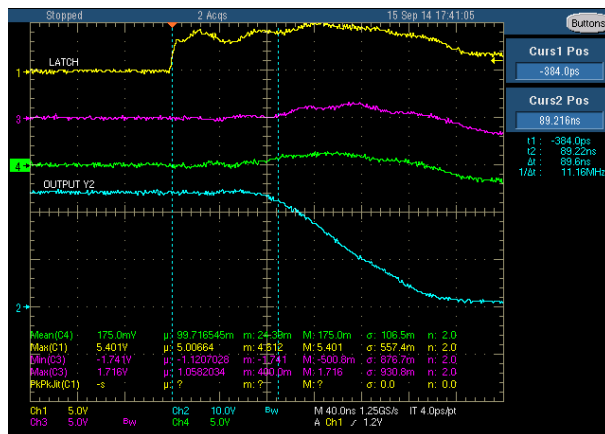


图 8-2. t_{PD} 下降沿

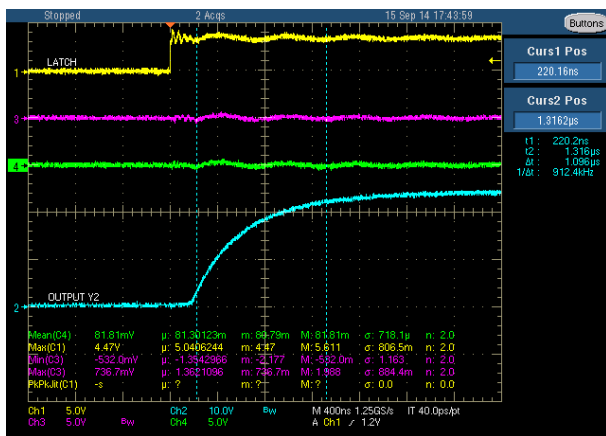


图 8-3. 上升时间

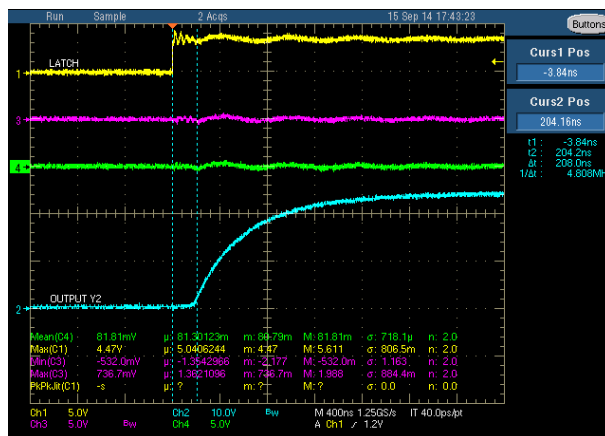


图 8-4. t_{PD} 上升沿

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。

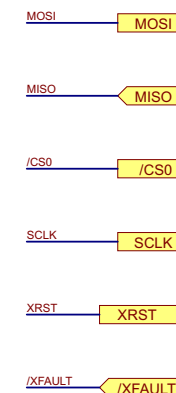
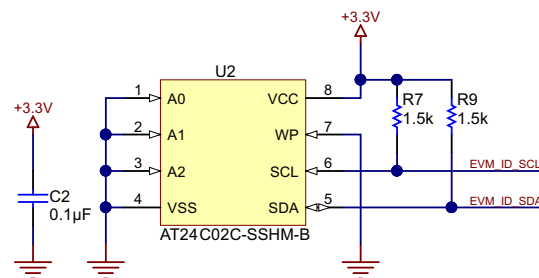
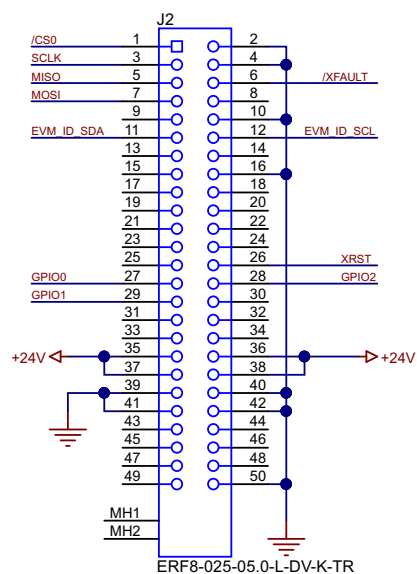


图 9-1. 连接器原理图

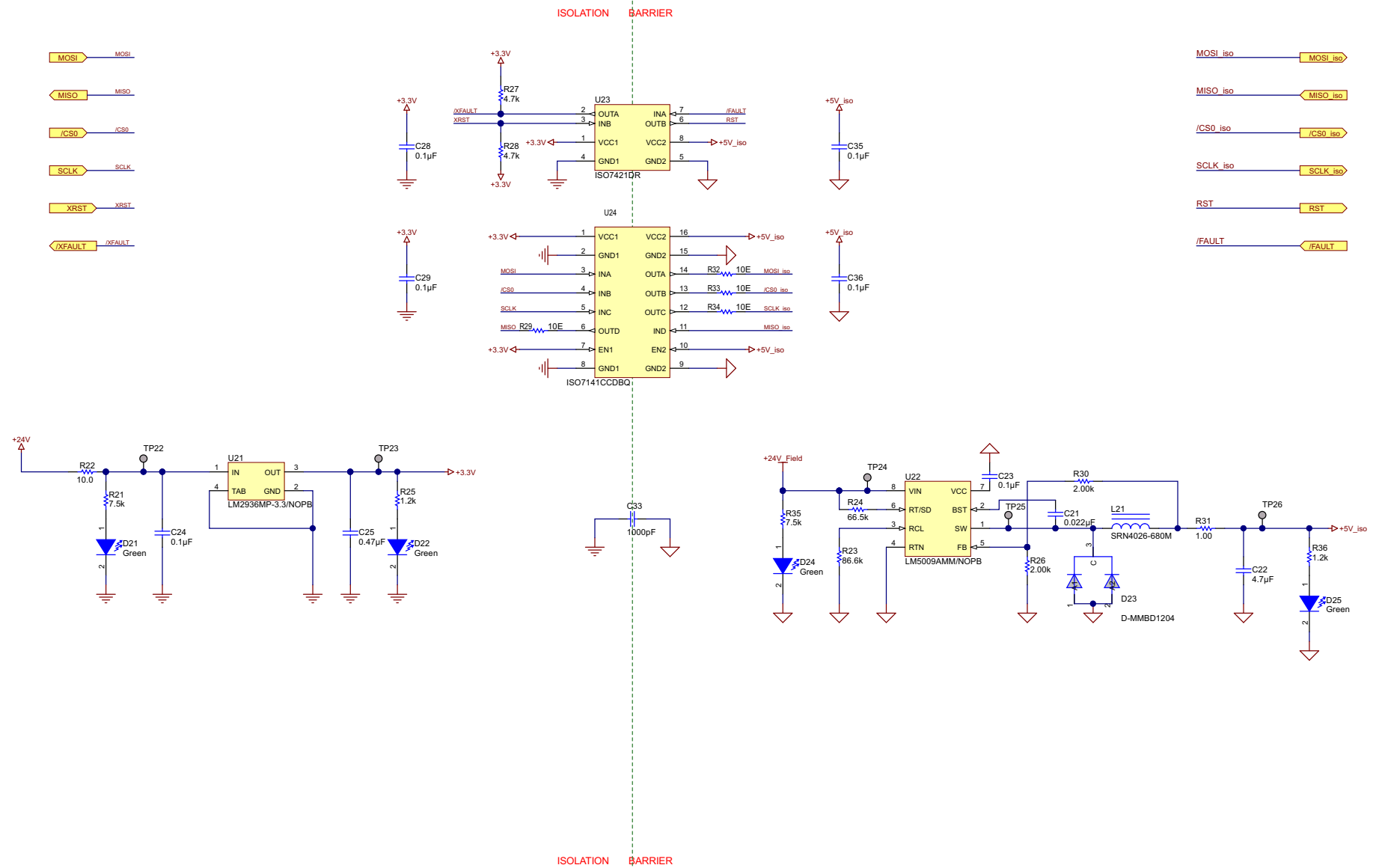


图 9-2. PSU 原理图

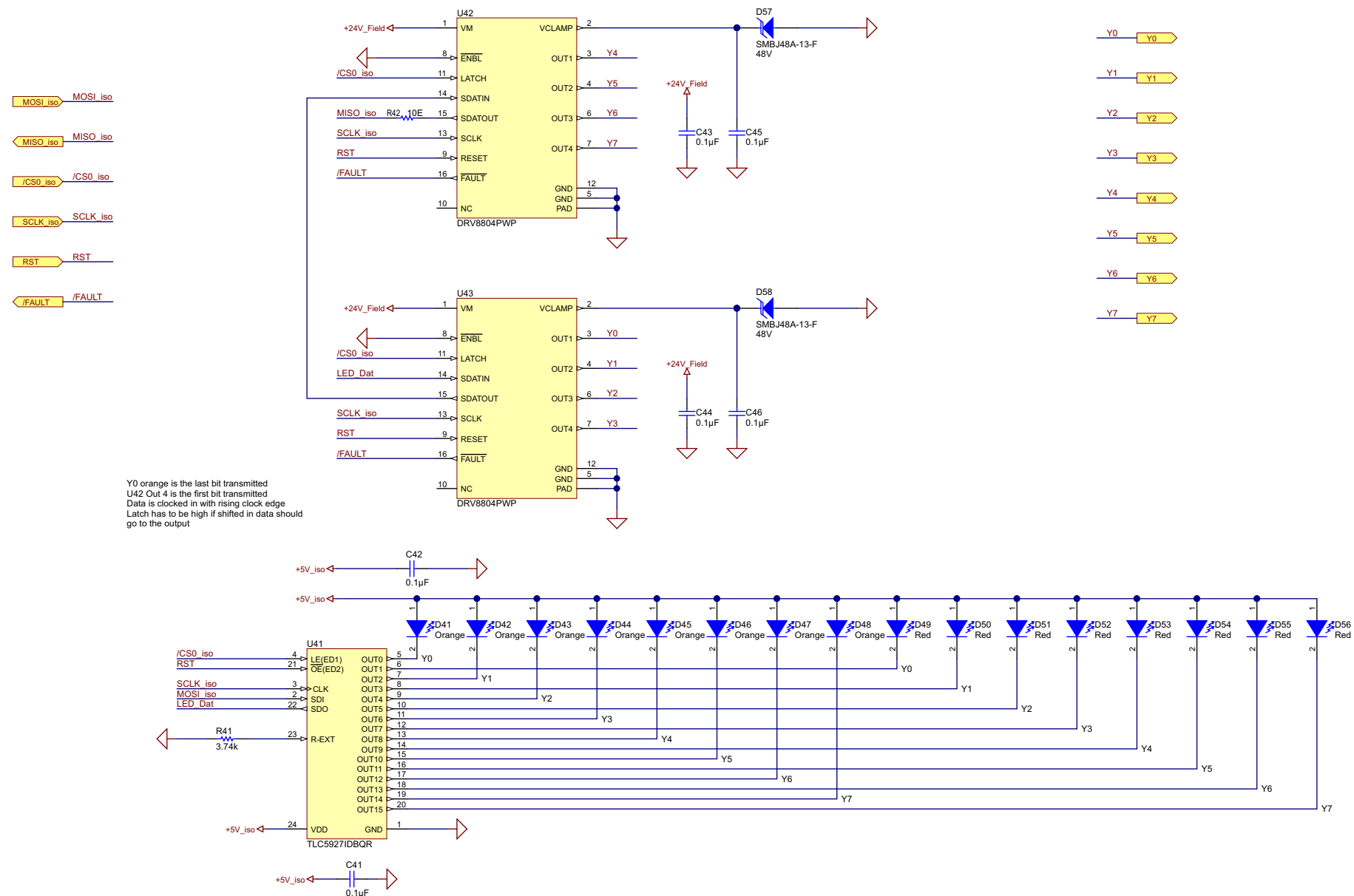


图 9-3. LED 驱动器和功率级原理图

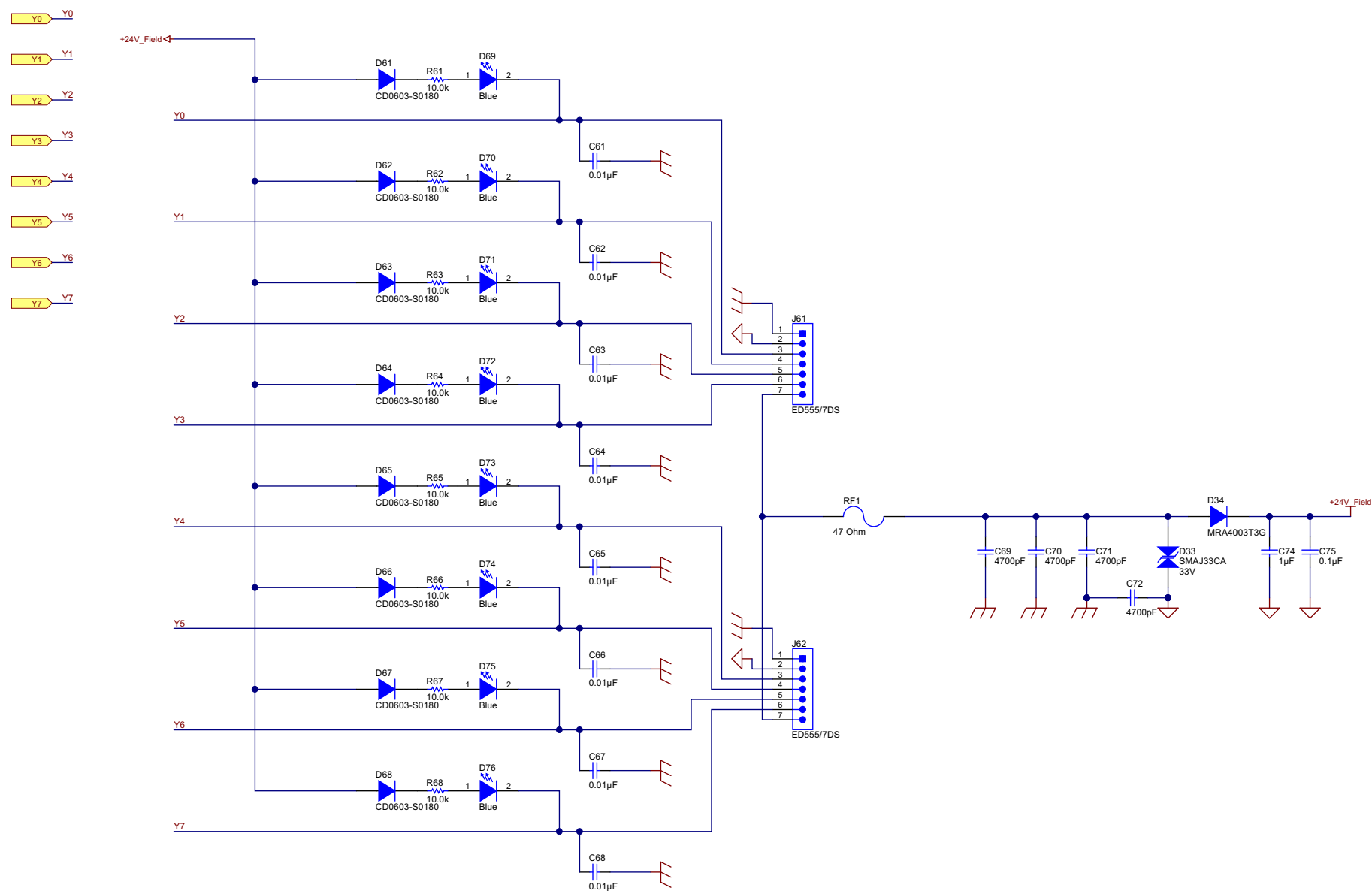


图 9-4. 输出连接器和保护原理图

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	IPC B1		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	CL21B104KCF5FNE	0805_HV	CL21B104KCF5FNE
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, 7×2, 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, 0.852 Ω, 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, 1.5k Ω, 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04021K50JNED	0402	CRCW04021K50JNED
29	2	R21、R35	7.5 k	电阻, 7.5k Ω, 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, 10.0 Ω , 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060310R0FKEA	0603	CRCW060310R0FKEA
31	1	R23	86.6k	电阻, 86.6k Ω , 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060386K6FKEA	0603	CRCW060386K6FKEA
32	1	R24	66.5k	电阻, 66.5k Ω , 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060366K5FKEA	0603	CRCW060366K5FKEA
33	2	R25、R36	1.2 k	电阻, 1.2k Ω , 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04021K20JNED	0402S	CRCW04021K20JNED
34	2	R26、R30	2.00k	电阻, 2.00k Ω , 1%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04022K00FKED	0402	CRCW04022K00FKED
35	2	R27、R28	4.7k	电阻, 4.7k Ω , 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW04024K70JNED	0402S	CRCW04024K70JNED
36	5	R29、R32、R33、R34、R42	10 E	电阻, 10 Ω , 5%, 0.063W, 0402	Vishay-Dale	CRCW040210R0JNED	0402S	CRCW040210R0JNED
37	1	R31	1.00	电阻, 1.00 Ω , 1%, 0.125W, 0805	Vishay-Dale	CRCW08051R00FKEA	0805_HV	CRCW08051R00FKEA
38	1	R41	3.74 k	电阻, 3.74k Ω , 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW06033K74FKEA	0603	CRCW06033K74FKEA
39	8	R61、R62、R63、R64、R65、 R66、R67、R68	10.0 k	电阻, 10.0k Ω , 1%, 0.1W, 0603	Vishay-Dale	CRCW060310K0FKEA	0603	CRCW060310K0FKEA
40	1	RF1	47	电阻, 47 Ω , 10%, 2W, 易熔, TH	TT Electronics/IRC	EMC2-47RKI	EMC2	47 Ω
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, 无锡/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, 无锡/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。

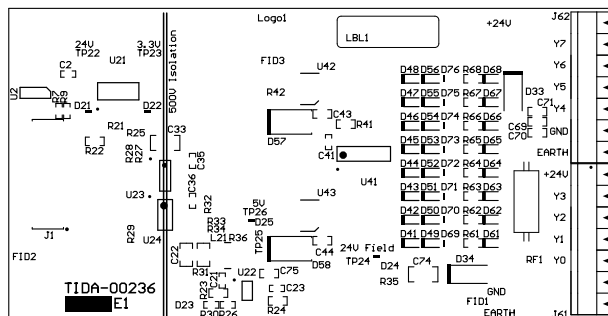


图 9-5. 顶部丝印

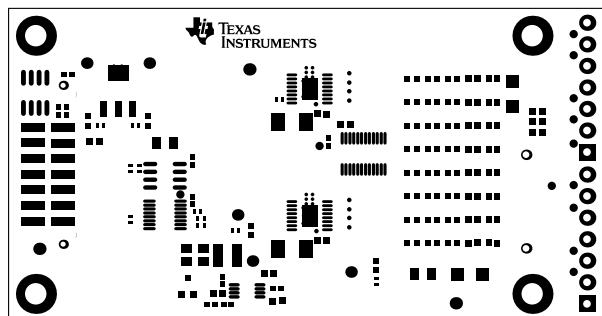


图 9-6. 顶部阻焊层

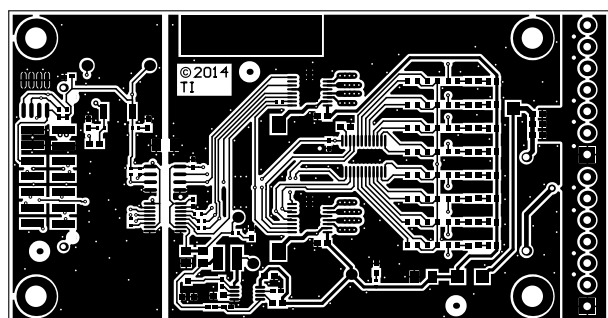


图 9-7. 顶层

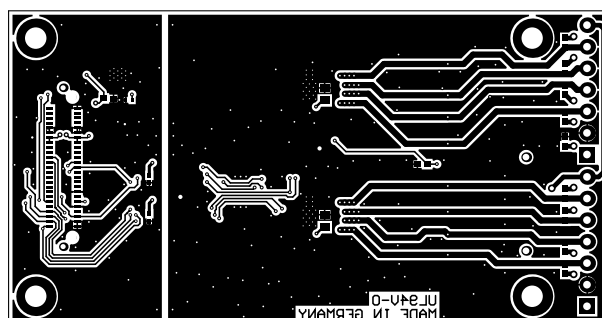


图 9-8. 底层

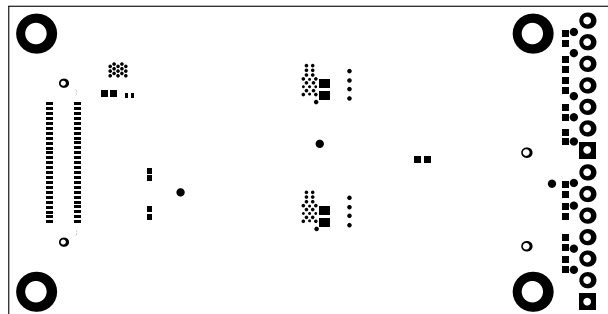


图 9-9. 底部阻焊层

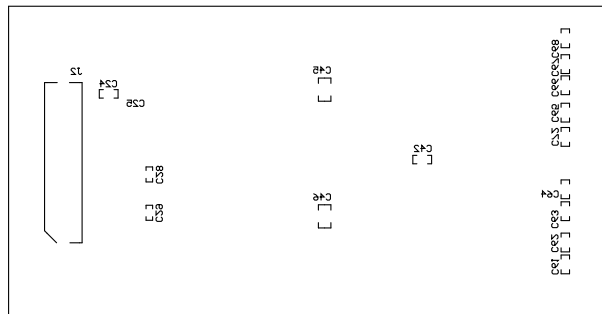
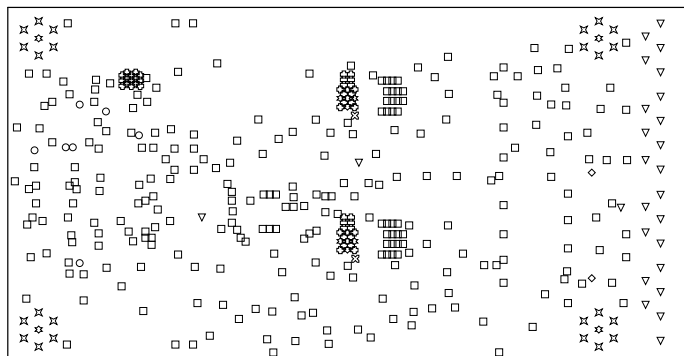


图 9-10. 底部丝印



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 9-11. 钻孔图

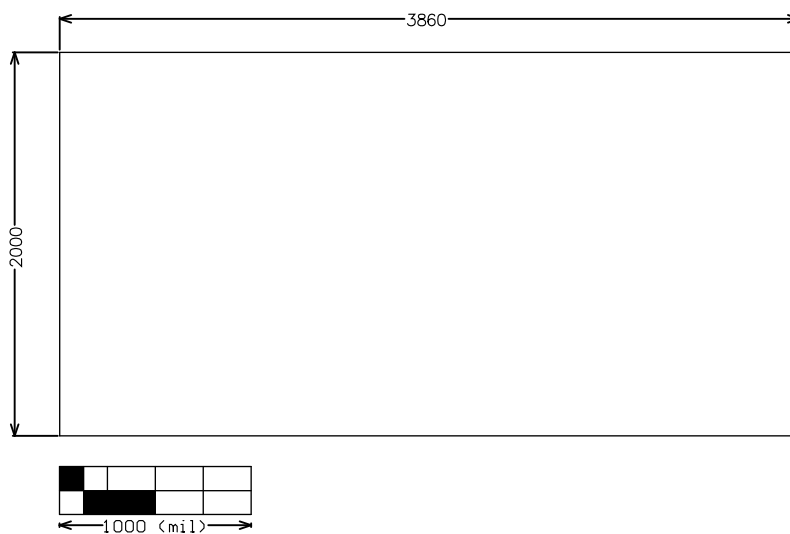


图 9-12. 机械尺寸

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。

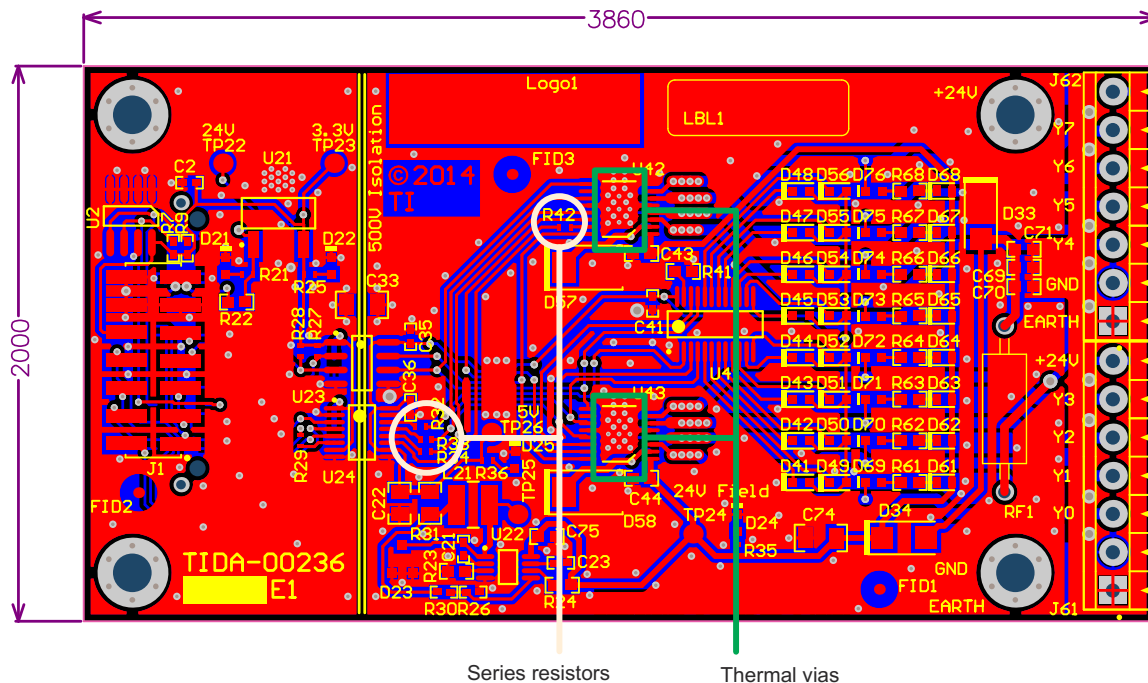


图 9-13. 布局指南 1

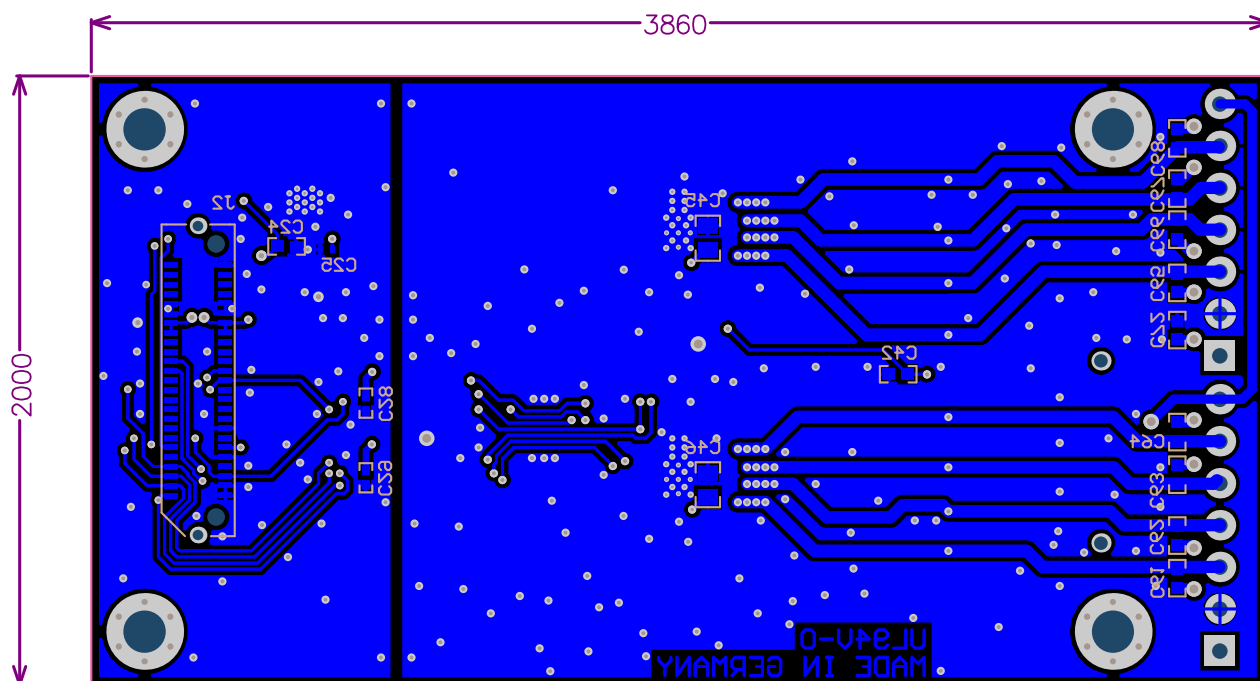


图 9-14. 底层

9.4 Altium 工程

要下载 Altium 工程文件，请参阅 [TIDA-00236](#) 中的设计文件。

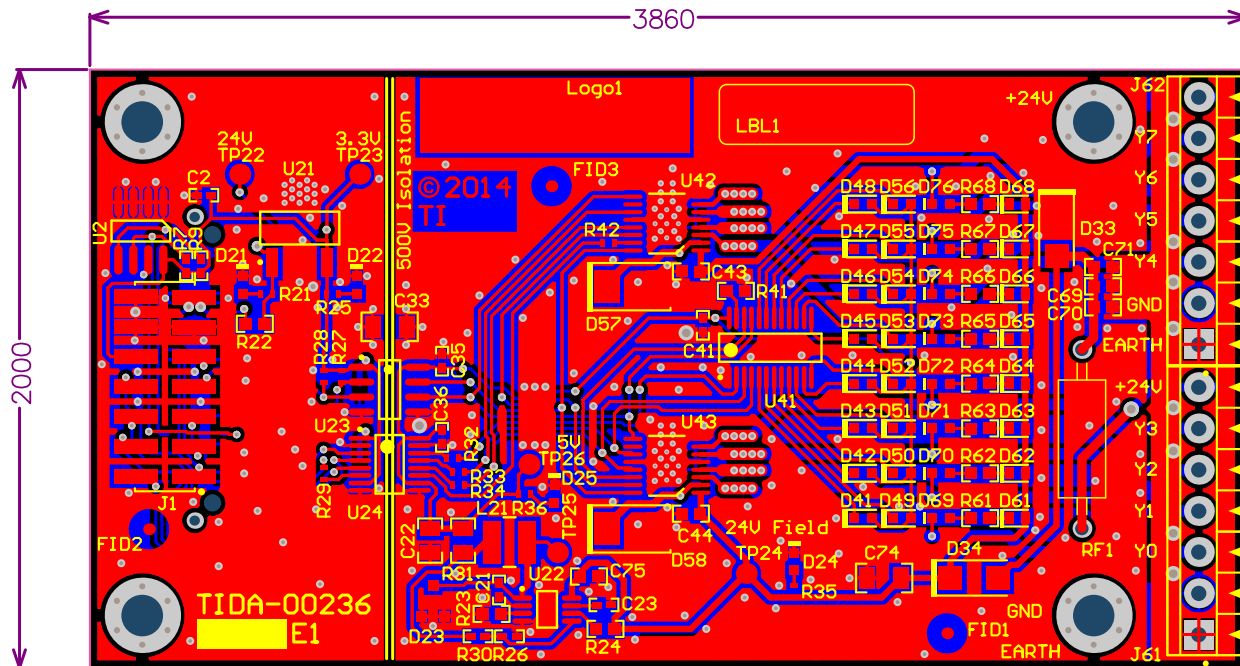


图 9-15. 所有层

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。

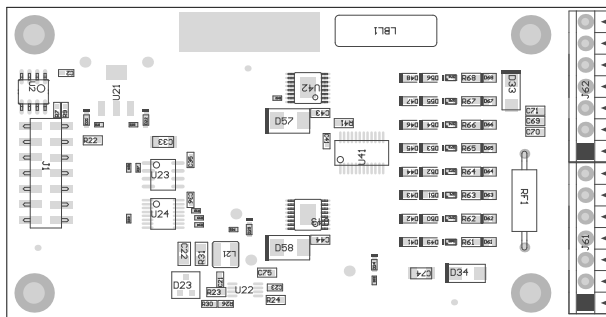


图 9-16. 顶部装配图

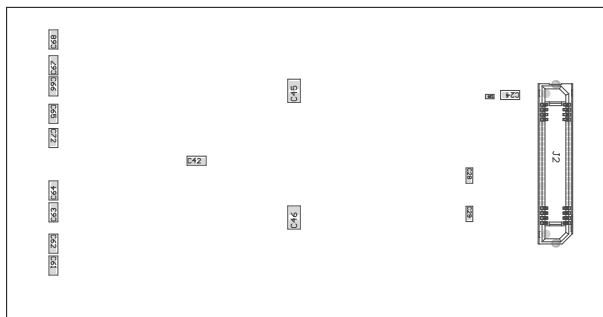


图 9-17. 底部装配图

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

1. 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
2. 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