

采用小巧高效的电源和数据转换器解决方案实现更高的光学模块数据速率



Dorian Brillet De Cande, Chris Glaser, Adrian Soltero

摘要

通过使用更小的集成电源和数据转换器解决方案，以尺寸受限和散热受限的外形提供更高的数据速率，是光学模块一直以来的发展趋势。若要应对这些挑战，TI 采用创新型解决方案，提供具有更高功率密度的转换器，同时保持信号质量并实现更大的设计灵活性。

内容

1 引言	2
2 为高电流 DSP 内核电压轨供电	3
2.1 解决方案尺寸	4
2.2 热性能	5
2.3 输出纹波（满载稳态）	6
3 为数字 I/O 和逻辑电路供电	7
3.1 较低电流的解决方案尺寸	7
3.2 针对较高电流的解决方案尺寸	8
4 为 EAM、EML 控制器和激光驱动器偏置电路供电	10
4.1 AMC60804 EML 控制器	10
4.2 用于 EAM 的负电源电压	11
5 为接收电路供电：TIA、光电二极管或 APD	13
6 在实现 DAC 时进行输出电压调整	15
7 结论	16
8 参考文献	16

商标

MicroSiP™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

现代光学模块可将电数据转换为光数据，从而克服与电力传输相关的损耗。每一代产品都提供比上一代更高的数据速率，例如 100Gbps、400Gbps，而且很快就会达到 800Gbps。如何将这种越来越高的性能融入到标准化的外形尺寸中（例如双密度四通道小型可插拔 (QSFP-DD) 封装或八通道小型可插拔 (OSFP) 封装）是所有光学模块面临的共同挑战。

系统设计人员有时需要提供具有更高数据速率的解决方案，但仍需采用上一代产品的外形尺寸，以实现向下兼容。由于功率预算取决于外形尺寸本身的热限制，这些电子产品必须仍在相同的功率预算内运行。

从电源方面来说，更高的数据速率需要更高的电流，并且需要尽量少的功率损耗和尽可能小的解决方案尺寸。系统设计人员需要更高的电流来为更高性能时钟和数据恢复 (CDR)、齿轮箱或数字信号处理器 (DSP) 芯片组供电，从而处理不断增长的数据量，同时还要尽可能降低功率损失以保持整个系统在其热预算范围内运行。最终，这些数据路径芯片组经常会将电源推挤到印刷电路板 (PCB) 的背面，那里面积有限，高度经常被限制在 1.2mm 以内。

热限制和空间限制是光学模块的重要影响因素。本文演示了适用于光学模块的开关直流/直流降压转换器和数据转换器优化设计。

图 1-1 显示了典型电源架构的示例，其中包含用于光学模块的控制和偏置数据转换器。3.3V 输入转换为每个子系统所需的多个不同电压。

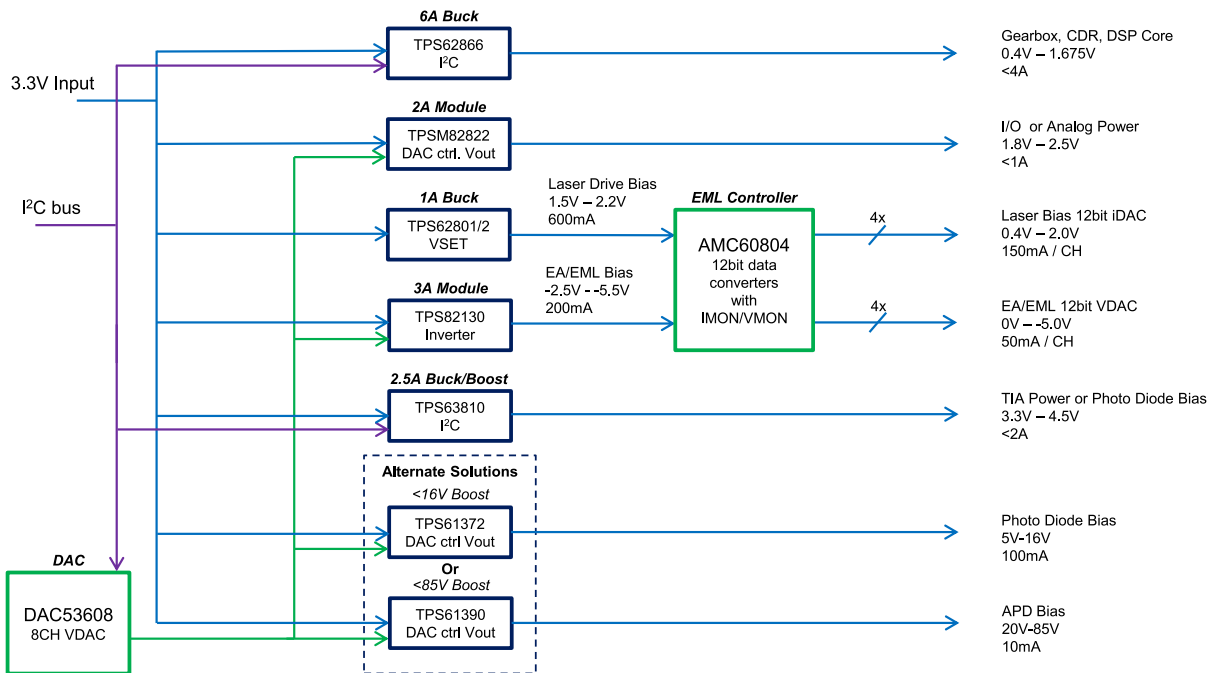


图 1-1. 使用控制和偏置数据转换器的光学模块电源树

2 为高电流 DSP 内核电压轨供电

对于大多数的数字信号处理器 (DSP) 而言, 主内核电压轨的电压可以在 0.5V 至 1.2V 之间变化。该电压轨是系统中的主要功耗轨, 这也意味着它是电源解决方案中的主要热源。设计人员需要特别注意该电压轨的效率和散热。

工程师可以使用不同的方法来增强光学模块中 DSP 的性能。一种简单的方法是在测试期间找到优化的 DSP 电源电压设置点, 而不是在运行期间修改该设置点。优化的电压设置点往往因 DSP 供应商的不同而不同。

另一种方法是在运行期间调整电源电压以降低功耗。一些 DSP 实现了动态电压调节 (DVS) 特性, 能够根据系统要求实时以不同的性能水平运行。

在高温或输入信号衰减严重的情况下, DSP 内核使用更高的电压, 例如 0.95V。随着温度降低或输入信号质量提高, DSP 内核电压可下降至 0.9V (示例值)。对于 3A 负载电流, 这种达 50mV 的输出电压的降低可实现 150mW 的显著功耗节省。这有助于设计人员满足模块的平均功耗限制。

实现输出电压调整特性的一种方法是使用模拟信号。数模转换器 (DAC) 的电流或电压输出在馈入直流/直流转换器的反馈引脚时, 会调整内核电压。鉴于需要额外的电路, 尽管确实会对 DSP 电源电压进行了更精细的调整, 但这种方法需要更多的 PCB 面积。更多信息, 请参阅第 5 节: [在实现 DAC 时进行输出电压调整](#)。

为了使用更少的 PCB 面积, 并动态地调整除输出电压之外的其他运行参数, 光学模块通常具有一个 I2C 总线连接到系统中的所有可控制器件。某些电源可通过 I2C 进行控制, 以便根据系统需要的变化快速调整其输出电压、运行模式和其他设置。另请参阅第 4 节: [为接收电路供电: TIA、光电二极管或 APD](#)。

若要为内核电压轨供电, 请选择具有 I2C 接口和小解决方案尺寸的大电流电源。使用 6A TPS62866 时, 设计人员能够使用 I2C 接口以 5mV 的步长动态地更改输出电压, 并采用小型 Wafer Chip-Scale Package (WCSP) 封装来实现高功率密度。

图 2-1 显示了 TPS62866 的应用原理图及其巧妙应对尺寸限制的少量元件。

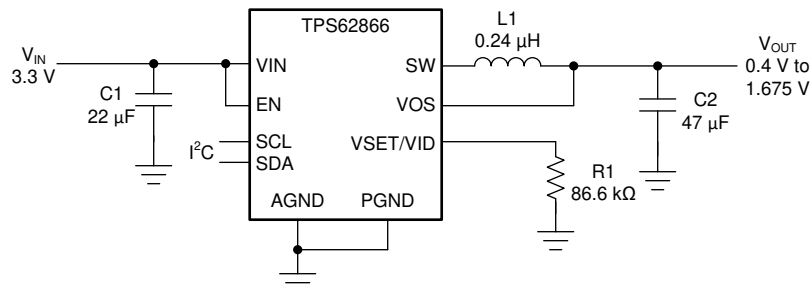


图 2-1. TPS62866 通过使用 VSET 引脚和 I2C 通信来减少元件数量

图 2-2 显示了 TPS62866 的 PCB 布局，该布局针对 22mm² 的解决方案尺寸进行了优化，最大高度为 1.2mm。
表 2-1 列出了使用的元件。

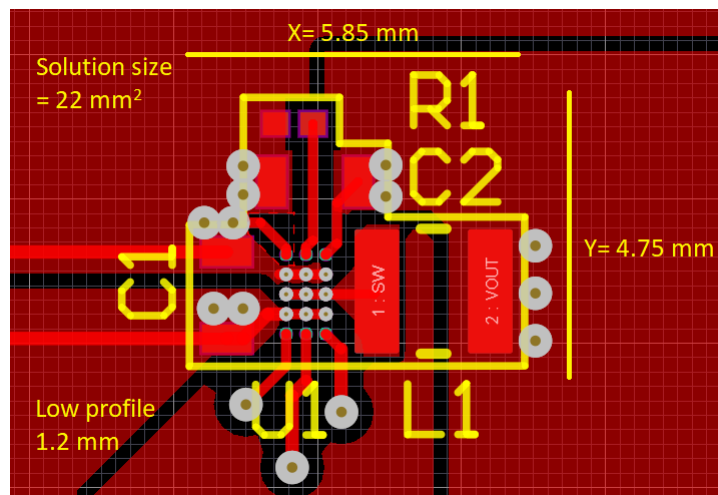


图 2-2. 6A TPS62866 采用其 I²C 接口和小巧的解决方案尺寸为 DSP 内核电压轨供电

表 2-1. 仅占用 22mm² 的 6A DSP 内核电压轨的 BOM

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
U1	采用 WCSP 封装且具有 I ² C 接口的 TPS62866 6A 降压转换器	1.78 × 1.05mm 高 0.5mm	德州仪器 (TI)
L1	IHHP1008ABERR22M01 电感器 0.22μH 20% (6.6A , 10.5mΩ)	2.5 × 2.0mm 高 1.2mm	Vishay Dale (威世达勒)
C1	CL10A226KQ8NRNE 陶瓷电容器 22μF 6.3V X5R 0603	1.6 × 0.8mm 高 0.9mm	Samsung (三星)
C2	GRM188R60J476ME15D 陶瓷电容器 47μF 6.3V X5R 0603	1.6 × 0.8 mm 高 0.8mm	Murata (村田)
R1	CRCW020186K6FKED 电阻器 SMD 86.6kΩ 1% 1/20W 0201	0.6 × 0.3mm 高 0.28mm	Vishay Dale (威世达勒)

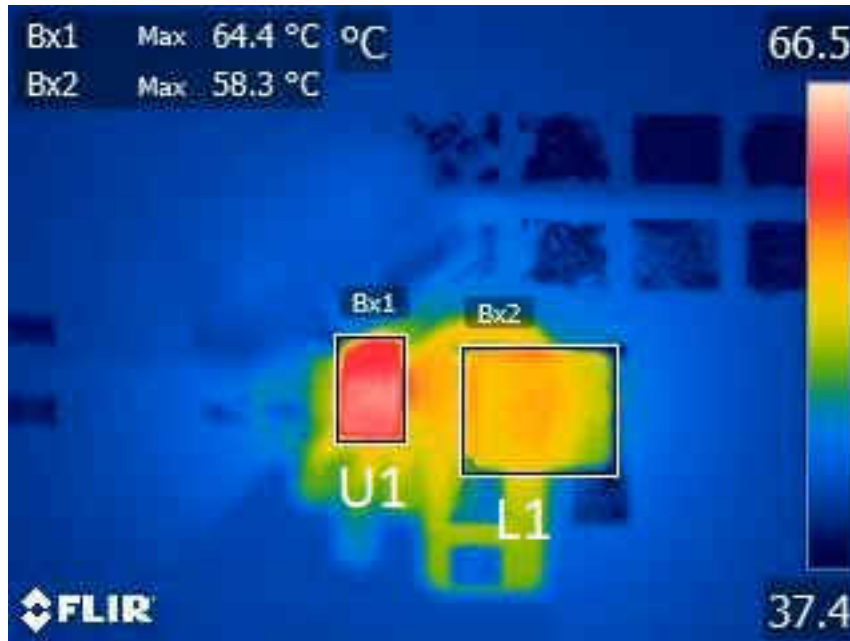
2.1 解决方案尺寸

如表 2-1 所示，集成电路 (IC) 和电容器相对较短，而最高的元件是电感器。具有较低 DCR 的电感器可提高效率，但需要更大和/或更高的电感器，将电源解决方案放置在 PCB 的顶部能够实现这一目的。

2.2 热性能

DSP 内核的负载电流范围通常为 3A 至 5.5A。这些较高的负载会产生大量热量。由于光学模块在狭小的空间内有大量的发热元件，其内部的温度会显著升高。这个较高的内部温度即为光学模块内每个器件的环境温度。若要在热额定值内运行每个器件，需要确保温升足够低。

图 2-3 所示为 TPS62866 在 6A 满载下的热像图。在这个最高电流下，IC 仅出现 40°C 的中等温升，而小型电感器的温升甚至更小。即使在高于 70°C 的环境温度下，两个元件仍能在其 125°C 的额定温度范围内正常运行。处理器内核在稳态非峰值运行中消耗的负载电流通常较低，这会产生较少的功率损失和较低的温升，从而能够在较高的环境温度下运行。表 2-2 所示为不同负载条件下的 IC 热性能。



运行条件： $V_{IN} = 3.3V$ ，6A 时 $V_{OUT} = 0.9V$

图 2-3. 为 6A DSP 内核电压轨供电的 TPS62866 产生 40°C 的中度温升

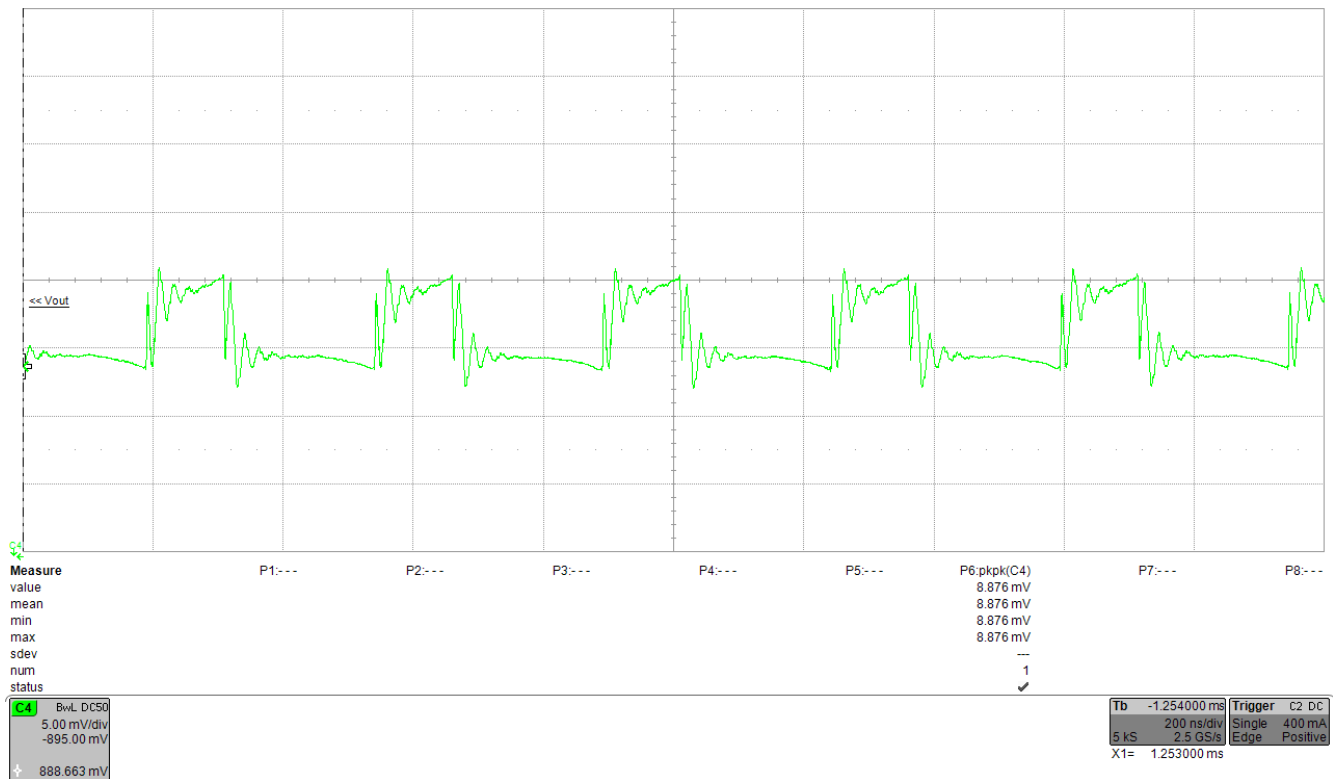
表 2-2. TPS62866 热性能

负载	$I_{OUT} = 2.0 A$	$I_{OUT} = 4.0 A$	$I_{OUT} = 6.0 A$
温升	9.1°C	25.8°C	41.5°C

信号处理链中的某些元件对温度很敏感，可能会随着温度的变化而出现性能漂移。因此，必须使 IC 温升保持尽可能小。

2.3 输出纹波 (满载稳态)

在光学模块中，DSP 内核负责发送和接收高速不归零 (NRZ) 或四级脉冲振幅调制 (PAM4) 信号。对于系统工程师来说，提供低纹波电源轨以尽可能减轻 DSP 中的噪声影响非常重要。图 2-4 显示了 TPS62866 在满载 6A 时的输出纹波。在此最大电流下，图中显示了小于 10mV 的输出纹波。



输出纹波： $V_{IN} = 3.3V$ ，6A 时 $V_{OUT} = 0.9V$

图 2-4. TPS62866 在满载时实现低输出纹波 (小于 10mV)

增加总输出电容或添加更小外壳尺寸的电容器 (DSP 的输入引脚处通常需要这类电容器) 可实现更小的输出电压纹波。这些较小的电容器可减小不需要的电感和电阻，从而进一步减小纹波。通过 I²C 在强制脉宽调制 (PWM) 模式下运行 TPS62866 将保持低输出电压纹波。

3 为数字 I/O 和逻辑电路供电

若要为各种电路供电，例如微控制器 (MCU) 输入/输出 (I/O)、振荡器或激光驱动器偏置电路 (工作电流小于 1A)，请选择解决方案尺寸非常小的降压转换器。TPS62802 的开关频率高达 4MHz，从而减小了其输出滤波器的尺寸，该器件采用微型 WCSP 封装，是市场上非常小的解决方案尺寸之一。大多数降压转换器都是在低于其满额定负载电流时具有峰值效率，因此建议在负载电流小于约 600mA 时使用 TPS62802。在高于此水平的电流下，可以使用更高电流的 2A TPSM82822 电源模块为该电源轨供电，因为它在更高的电流下具有更高的效率。

3.1 较低电流的解决方案尺寸

TPS62802 的输出电压范围为 1.8V 至 3.3V，步长为 100mV。输出设置可以适应 1.8V 的 MCU I/O 或振荡器、2.2V 的激光驱动器偏置或 2.5V 的模拟偏置，以便为接收信号强度指示器 (RSSI) 运算放大器电路供电。此器件系列还包含其他型号，例如 TPS62801，其输出电压范围可以设置为 0.8V 至 1.55V，步长为 50mV，可用于较低的输出电压设置。

图 3-1 显示了 TPS62802 的应用原理图及其应对超小型设计的较少元件数。TPS62802 系列需要在 VSEL/MODE 引脚上提供一个电阻器，而不是通常的两个电阻器，用于设置输出电压并节省空间。

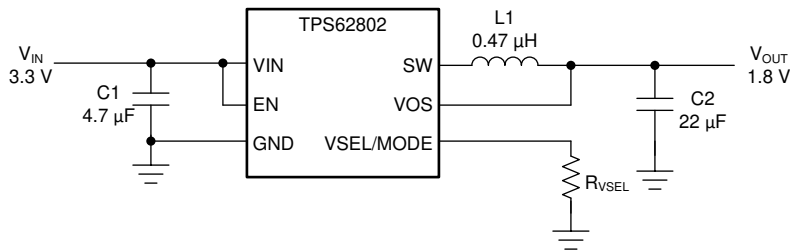


图 3-1. TPS62802 使用 VSEL 引脚来减少元件数量

图 3-2 显示了 TPS62802 PCB 布局，该布局具有优化的 8.4mm² 解决方案尺寸和 1.0mm 的最大高度。表 3-1 列出了使用的元件。

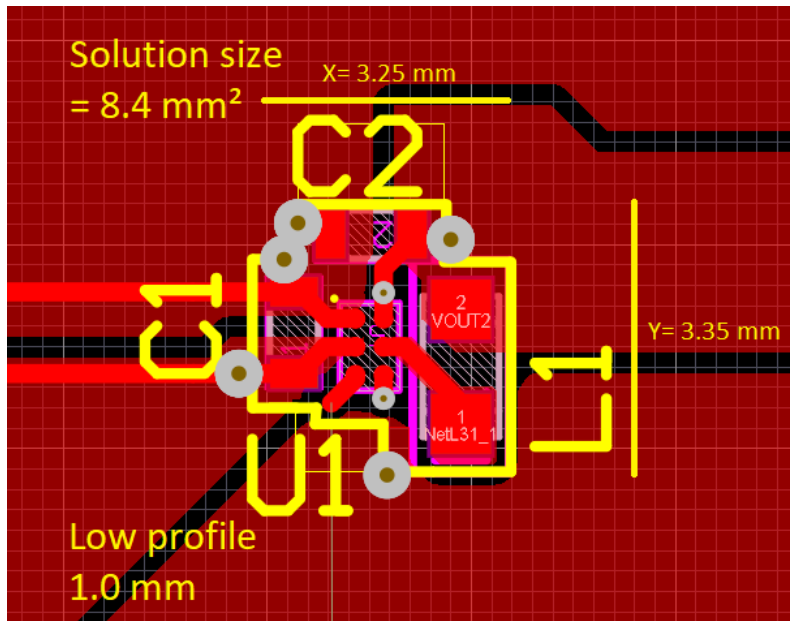


图 3-2. 1A TPS62802 采用小巧的解决方案尺寸为逻辑电路电源轨供电

表 3-1. 仅占用 8.4mm² 的 1A 逻辑电路电源轨的物料清单 (BOM)

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
U1	采用 WCSP 封装的 TPS62802 1A 降压转换器	1.05 × 0.70mm 高 0.4mm	德州仪器 (TI)

表 3-1. 仅占用 8.4mm² 的 1A 逻辑电路电源轨的物料清单 (BOM) (continued)

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
L1	DFE18SANR47MG0L 电感器 0.47μH 20% (3.1A , 45mΩ)	1.6 × 0.8mm 高 1.0mm	Murata (村田)
C1	GRM155R60J475ME47D 陶瓷电容器 4.7μF 6.3V X5R 0402	1.0 × 0.5mm 高 0.5mm	Murata (村田)
C2	CM05X5R226M06AH080 陶瓷电容器 22μF 20% 6.3V X5R 0402	1.0 × 0.5mm 高 0.5mm	Kyocera (京瓷)

3.2 针对较高电流的解决方案尺寸

为 I/O 电路、振荡器、激光驱动器偏置电路或模拟偏置电路供电需要更高的电流或更高的效率，这需要能提供更高电流的电源。使用具有更高电流的器件的另一个好处是，大多数降压转换器以额定电流运行时的效率更高。例如，以 1A 负载电流运行 1A TPS62802 可实现约 88% 的效率，而以相同的 1A 负载运行 2A TPSM82822 电源模块可实现 91% 的效率。这种效率的提高有助于减少系统中的功耗。

图 3-3 显示了 TPSM82822 电源模块的应用原理图，该电源模块集成了功率电感器以节省空间并简化设计。对于 3.3V_{IN} 至 1.8V_{OUT} 设计，TPSM82822 在负载电流大于约 400mA 时自动以低纹波 PWM 模式运行。

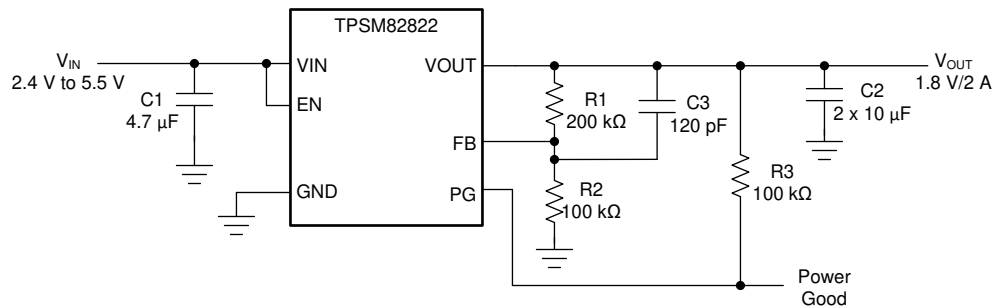

图 3-3. TPSM82822 电源模块集成电感器以提供小尺寸解决方案

图 3-4 显示了 TPSM82822 PCB 布局，该布局具有优化的 12mm² 解决方案尺寸和 1.1mm 的最大高度。表 3-2 列出了使用的元件。

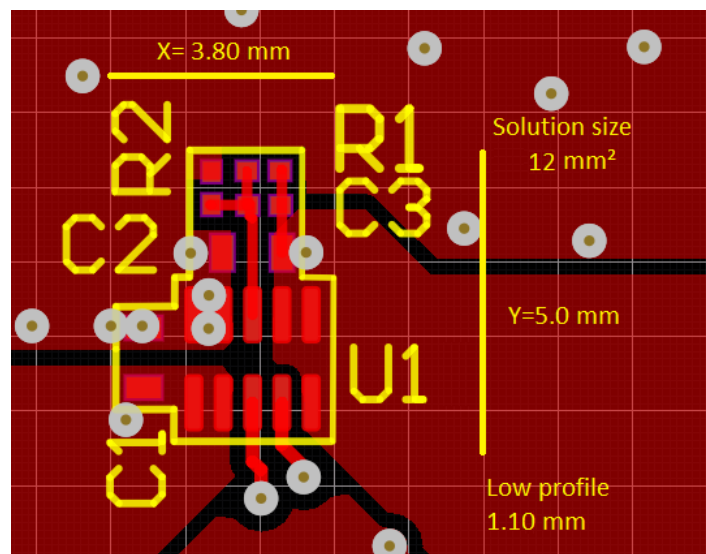

图 3-4. TPSM82822 电源模块集成电感器以提供小尺寸解决方案

表 3-2. 仅占用 12mm² 的较高电流逻辑电路电源轨的 BOM

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
U1	TPSM82822 2A 降压转换器电源模块	2.0 × 2.5mm 高 1.1mm	德州仪器 (TI)
C1	GRM155R61C475ME11D 陶瓷电容器 4.7μF 20% 4V X5R 0402	1.0 × 0.5mm 高 0.5mm	Murata (村田)
C2	AMK105EBJ226MV 陶瓷电容器 22μF 20% 6.3V X5R 0402	1.0 × 0.5mm 高 0.5mm	Taiyo Yuden (太阳诱电)
R1	RC0201FS-7D200KL 电阻器 SMD 200k Ω 1% 1/20W 0201	0.6 × 0.3mm 高 0.28mm	Yageo America (国巨)
R2	RC0201FS-7D200KL 电阻器 SMD 200k Ω OHM 1% 1/20W 0201	0.6 × 0.3mm 高 0.28mm	Yageo America (国巨)
C3	GRM033R71E121KA01D 陶瓷电容器 120pF 10% 25V X7R 0201	0.6 × 0.3mm 高 0.28mm	Murata (村田)

4 为 EAM、EML 控制器和激光驱动器偏置电路供电

新型和新一代光学模块通常依赖于电吸收调制器 (EAM)，作为外部调制激光器 (EML) 结构的一部分，以适当的光功率和线性度传输高速 PAM4 数据。

电吸收调制器需要可调反向偏置或负电压才能正常运行。此外，为了控制 EAM 过热的不同的运行条件，工程师必须监控电流。同样，为 EAM 提供光源的激光器偏置电路必须具有可调的电流水平以偏置激光二极管，同时具有电压监控功能以获取反馈。

4.1 AMC60804 EML 控制器

控制和偏置 EML 结构需要许多子块，并且会耗费 QSFP-DD 或 OSFP 外形尺寸上有限的 PCB 面积。AMC60804 EML 控制器可解决这一挑战，并帮助工程师在尽可能小的 PCB 面积上实现集成解决方案。

AMC60804 包括电流输出 DAC 的四个用于驱动激光器的通道、电压输出 DAC 的四个可设置为负电压范围以偏置 EAM 的通道以及 ADC 输入的四个用于监控 RSSI 的通道。此外，这些数据转换器在所有通道上都集成了电流和电压监控以获得反馈。输出可以通过 I2C 或串行外设接口 (SPI) 进行设置和监控，并且设计为可适应大多数 EML 或硅光子学结构。

图 4-1 显示了 AMC60804 的高级方框图和集成子块。

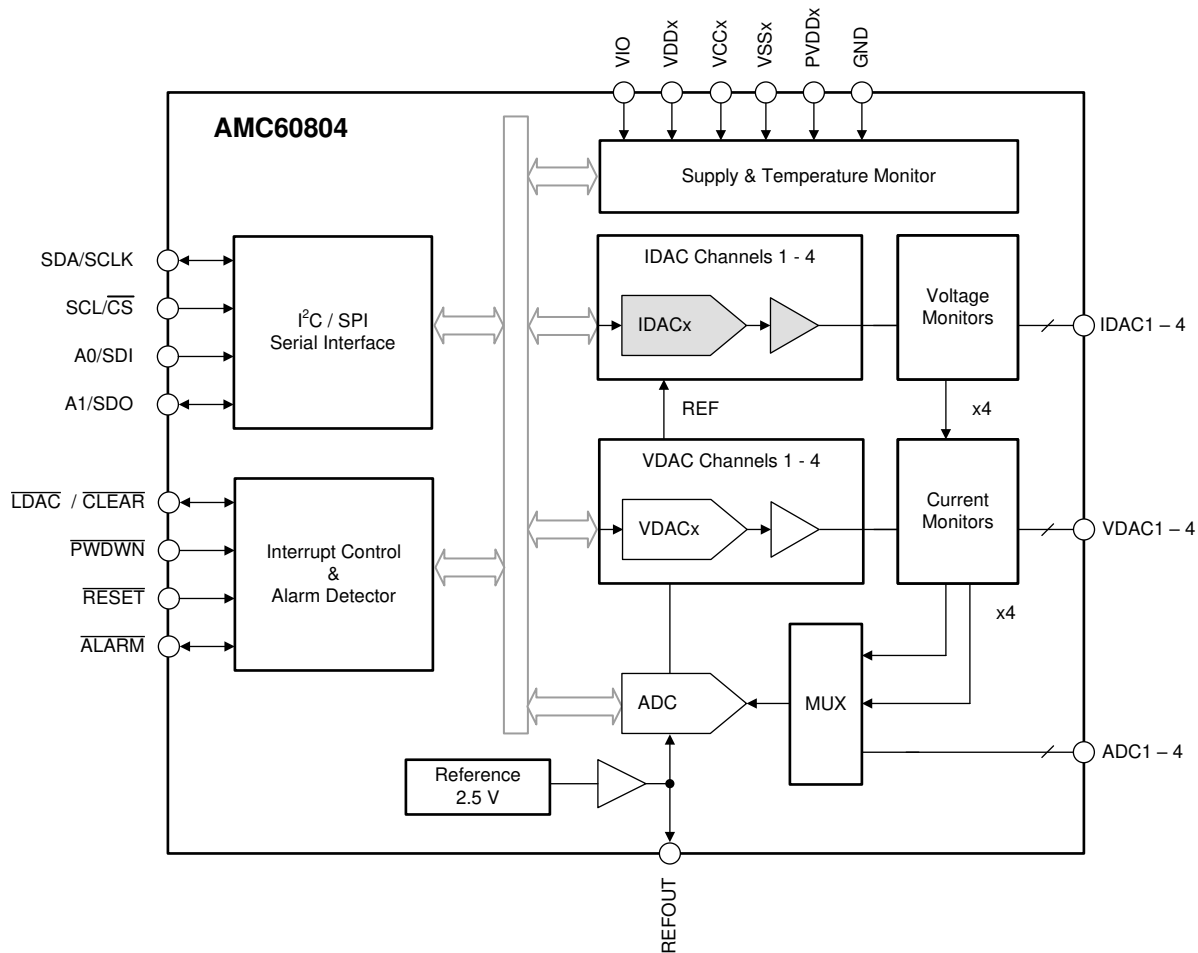


图 4-1. AMC60804 为 EML 结构提供全面的偏置和控制

AMC60804 需要四个不同电源：用于激光偏置电路的电源 VDD (PVDD)、用于 EAM 负电压电源的 VSS、用于内部电路的 VDD 以及用于设置 I/O 电平的 VIO (如果独立于 VDD)。本文重点介绍前两个电源，因为 VDD 和 VIO 通常都连接到 3.3V 的模块输入端。

如第 3.1 节：较低电流的解决方案尺寸中所述，TPS62802 可为 AMC60804 上的 PVDD 激光器偏置电路供电。启动后切换 VSEL/MODE 引脚将会设置 PWM 模式并确保负载电流具有适当纹波。

4.2 用于 EAM 的负电源电压

在反相降压/升压拓扑中使用 TPS82130 MicroSiP™ 电源模块降压转换器将产生 VSS 负电源电压以偏置 EAM。适用于小型低噪声系统的 3V 至 11.5V 输入电压、-5V 输出电压、1.5A 反相电源模块参考设计支持 -5V 输出电压，并且可通过 3.3V 输入电压提供高达 1A 的电流。

图 4-2 所示为反相降压/升压原理图。

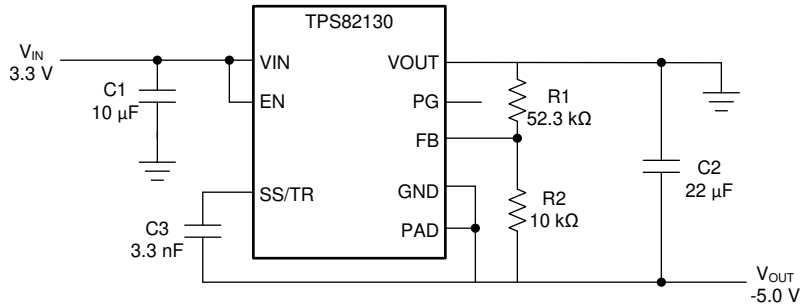


图 4-2. 反相降压/升压拓扑中的 TPS82130

图 4-3 显示了解决方案尺寸为 50mm² 且外部元件尽可能少的 PCB 布局。表 4-1 列出了使用的元件。

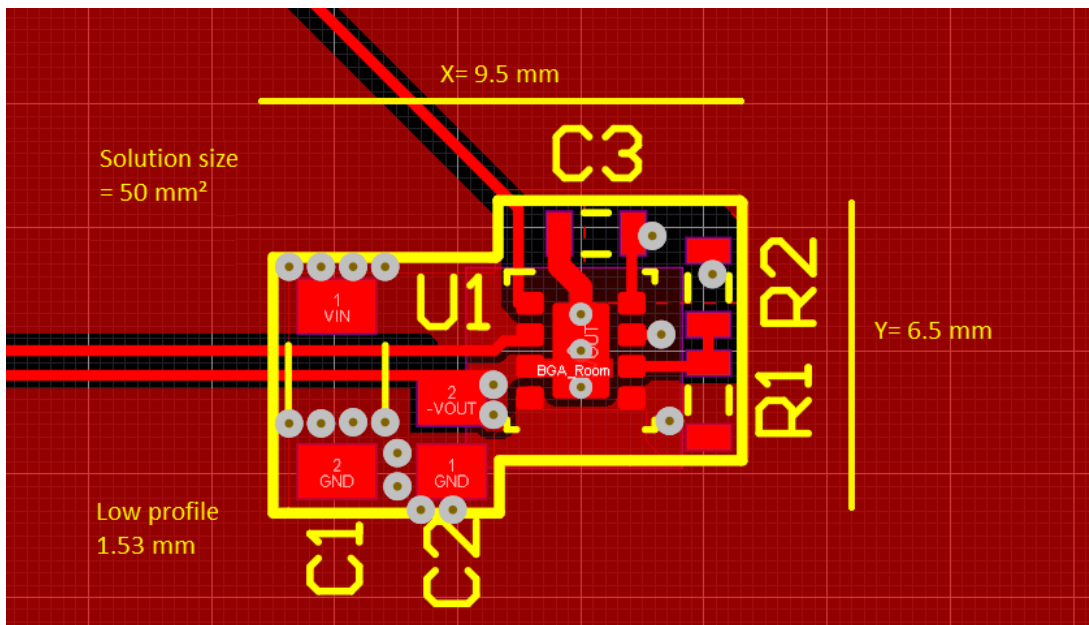


图 4-3. 采用反相降压/升压拓扑的 3A TPS82130 为 EAM 的负电源供电，解决方案尺寸仅为 50mm²

表 4-1. 采用反相降压/升压拓扑的 TPS82130 BOM

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
U1	具有集成电感器的 TPS82130 3A、17V 降压转换器	3.0 × 2.8mm 高 1.53mm	德州仪器 (TI)
C1	C3216X7R1E106M160AE 电容器 10 µ F 25V X7R 1206	3.2 × 1.6mm 高 1.6mm	TDK
C2	C2012X7S1A226M125AC 电容器 22 µ F 10V X7S 0805	2.0 × 1.25mm 高 1.25mm	TDK
C3	GRM1885C1H332JA01D 电容器 3,300pF 50V C0G/NP0 0603	1.6 × 0.8mm 高 0.8mm	Murata (村田)

表 4-1. 采用反相降压/升压拓扑的 TPS82130 BOM (continued)

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
R1	RC0603FR-0752K3L 电阻器 SMD 52.3k Ω 1% 1/10W 0603	1.6 × 0.8mm 高 0.55mm	Yageo America (国巨)
R2	RC0603FR-0710KL 电阻器 SMD 10k Ω 1% 1/10W 0603	1.6 × 0.8mm 高 0.55mm	Yageo America (国巨)

5 为接收电路供电：TIA、光电二极管或 APD

接收电路包括一个光电二极管或雪崩光电二极管 (APD)，它将光信号转换为电流脉冲，并发送到跨阻放大器 (TIA)，后者将信号输出为电压供 DSP 进行解密。这些元件可能需要比 3.3V 输入所提供的电压更高的电压才能正确偏置。因此，工程师需要使用降压/升压或升压直流/直流转换器。

接收光电二极管通常偏置在 3.0V 至 5.0V 之间。利用新的制造工艺，光电二极管可在 3.5V 时具有优化的线性范围，正向电流介于 1mA 至 50mA 范围内。TIA 可能需要类似范围内的电源来适应光电二极管并确保内部电路充分偏置。

通过 3.3V 输入电压调节 3.5V 电源轨需要使用降压/升压转换器。使用降压/升压转换器，即使输入电压非常接近输出电压，并且输入电压因线路或负载瞬变而变化，也能适当调节输出电压。降压/升压转换器可根据运行条件在降压、升压和降压/升压运行模式之间自动切换。

若要为光电二极管供电，请选择解决方案尺寸较小的降压/升压电源。TPS63810 采用小型 WCSP 封装并使用 I²C 接口设置输出电压，将电阻器减少了两个，从而减少了元件数。

此外，输出电压可能需要适应系统中的温度或功耗。I²C 接口为动态更改输出电压提供了一种简单方法，并允许使用强制 PWM 模式以在低正向电流时保持低纹波。

图 5-1 所示为 TPS63810 的应用原理图及其小巧简单的设计。

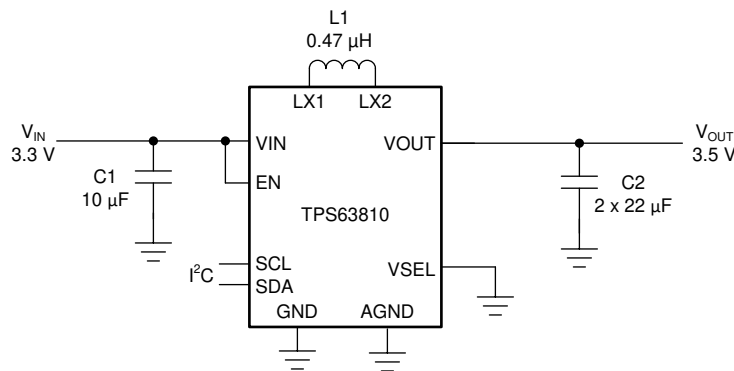


图 5-1. TPS63810 调节接近 V_{IN} 的 V_{OUT}

图 5-2 显示了解决方案尺寸仅为 22mm^2 且厚度仅为 1.2mm 的 PCB 布局。表 5-1 列出了使用的元件。

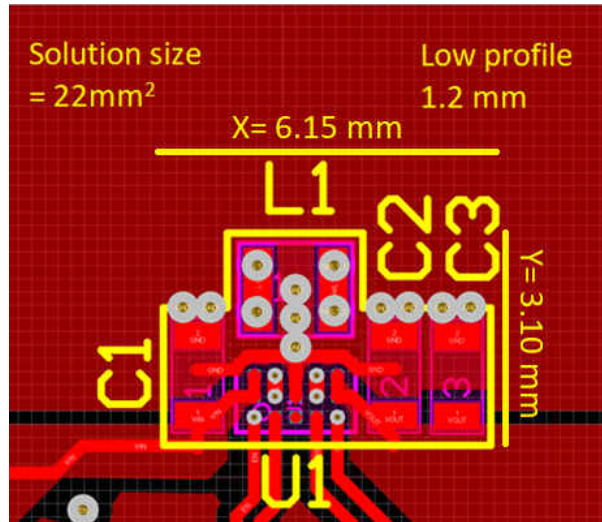


图 5-2. TPS63810 的 PCB 布局，解决方案尺寸仅为 22mm^2

表 5-1. 解决方案尺寸仅为 22mm^2 的光电二极管的 BOM

参考资料	说明	x、y、z 尺寸	制造商
U1	采用 WCSP 封装且具有 I2C 接口的 TPS63810 6A 降压/升压转换器	$2.3 \times 1.4\text{mm}$ 高 0.625mm	德州仪器 (TI)
L1	DFE201612E-R47M 电感器 $0.47 \mu\text{H}$ 20% 5.5A 26mΩ	$2.0 \times 1.6\text{mm}$ 高 1.2mm	Murata (村田)
C1	GRM188R60J106ME84 电容器 $10 \mu\text{F}$ 6.3V X5R 0603	$1.6 \times 0.8\text{mm}$ 高 0.8mm	Murata (村田)
C2、C3	GRM188R60J476ME15D 电容器 $47 \mu\text{F}$ 6.3V X5R 0603	$1.6 \times 0.8\text{mm}$ 高 0.8mm	Murata (村田)

如果光电二极管需要更高的电压，请考虑使用 TPS61372 同步升压转换器来提供介于 5V 和 16V 之间的输出电压。它可以强制进入 PWM 模式，从而提供最低的纹波。

系统工程师可以使用 TPS61390 为 APD 或需要 20V 至 85V 电压的任何光学元件供电。它不仅在小型封装中提供高压升压，而且还具有许多集成特性，可通过分立式解决方案减小所需的面积。集成特性包括用于报告光强度的电流监控和用于在高光功率下保护 APD 的快速响应时间电流限制。

6 在实现 DAC 时进行输出电压调整

如前所述，根据运行条件或温度优化，实时更改直流/直流的输出电压可能很有用。在系统开发过程中，通过输出电压调整，设计人员能够确定优化的电源电压设置点以及电源电压裕度。

光学模块制造商需要对他们的产品进行全面测试，以确保产品上市前具有高可靠性。由于电源电压调节可能会发生变化或漂移（取决于温度、输入电压的波动或影响检测节点的寄生效应导致的不准确性），执行电压裕度测试可以将电源电压调整到负载的指定电源电压范围的最小值和最大值，并确认负载仍然正常运行。

DAC 会产生一个模拟信号，当添加到直流/直流转换器的反馈引脚时，该模拟信号可实现输出电压调整。选择精密电压输出 DAC，例如 10 位 8 通道单极 DAC53608。该器件尺寸小节，可节省 PCB 面积，同时仍然能够为多个通道留出余量。

图 6-1 显示了如何实现这样的解决方案来控制直流/直流稳压器的输出电压。

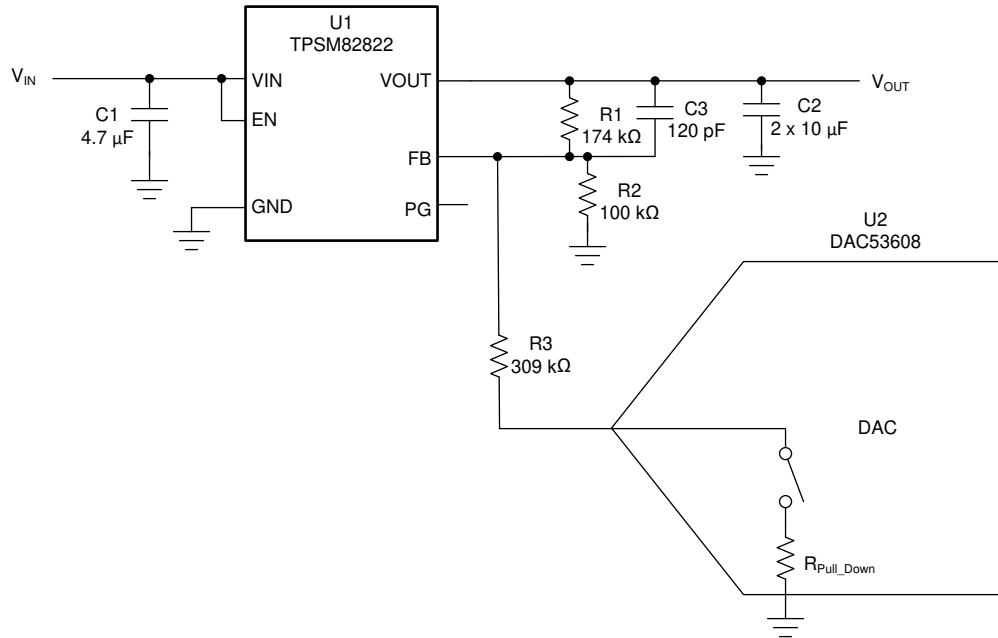


图 6-1. DAC53608 调整 TPSM82822 输出电压

DAC53608 的另一个优点是，它的禁用输出具有大约 10kΩ 的下拉电阻器。这个内部下拉电阻器可从 DAC 输出中消除从禁用到启用转换时的加电干扰，这种加电干扰会导致启动期间输出电压发生瞬变。《适用于直流/直流转换器的输出电压调节方法技术简介》是模拟设计期刊中的一篇文章，介绍了使用这种高分辨率电压输出 DAC 的多种配置。

7 结论

随着光学模块中传输的数据量日益增长，电路设计复杂性以及元件的功率需求也在不断增加。新的直流/直流转换器和数据转换器设计需要实现更高的功率密度，同时能在高温下高效运行。诸如动态输出电压调整等降低功耗的方法是控制系统发热并帮助工程师保持在其功率预算范围内的关键。将无源器件集成到电源模块中（以及将许多子电路集成到单个电源或数据转换器 IC 中）可减少所需的 PCB 面积，并能够提高数据速率。

8 参考文献

- 德州仪器 (TI), [在紧凑的降压电源模块中实现高导热性能应用简介](#)
- 德州仪器 (TI), [《适用于直流/直流转换器的输出电压调节方法》](#)
- 德州仪器 (TI), [适用于小型低噪声系统的 3V 至 11.5V 输入电压、-5V 输出电压、1.5A 反相电源模块参考设计](#)
- 德州仪器 (TI), [《高功率密度降压转换器的热性能优化》](#)

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