

Product Overview

适用于电池供电可穿戴应用的低静态电流降压转换器



简介

可穿戴技术不断发展，在更小的外形尺寸中集成了更多新功能和改进功能，因此，智能手表、健身追踪器和医疗可穿戴器件等产品对功耗越来越敏感。这些器件主要由小型电池供电，包括锂离子电池、锂聚合物电池，以及近年来兴起的硅碳负极电池 (SiAnode)。

电源管理之所以是设计中的关键环节，是因为许多可穿戴应用几乎始终处于关闭状态：系统大部分时间都运行在深度睡眠或待机模式下，仅在测量、数据传输或响应事件时才会定期唤醒。在这种情况下，电源转换器的动态损耗和开关损耗不再是主要考虑因素，而静态电流 I_Q 则成为决定电池寿命的主要因素。在长时间闲置期间，即使 I_Q 看起来很小，累积的电流消耗也可能显著缩短电池的使用寿命。

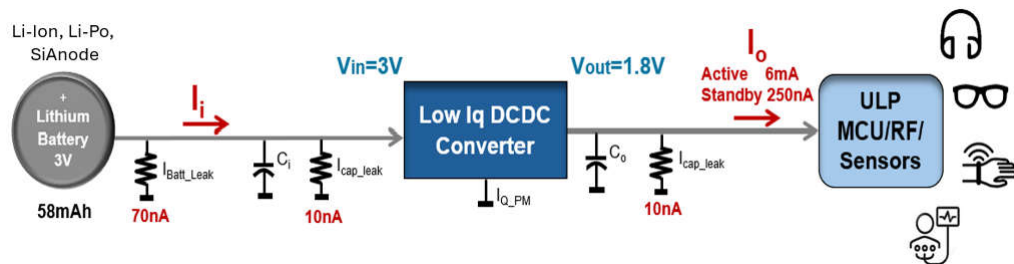


图 1. 适用于电池供电应用的低 I_Q 降压转换器

由于降压转换器相比线性稳压器和低压降稳压器 (LDO) 具有更高的效率，因此广泛应用于这些场景。然而，电池供电器件必须针对两项关键要求进行专门优化：一是将 I_Q 降至几微安甚至几百纳安的水平；二是缩小设计尺寸，以适应可穿戴器件极其有限的空间。此外，随着行业逐渐采用硅碳负极电池以实现更高的能量密度，电源转换器还必须具备足够灵活的输入电压范围，以适应这类电池特有的放电曲线。

德州仪器 (TI) 提供丰富的小尺寸、低静态电流降压转换器产品系列，专为满足电池供电可穿戴器件的严格要求而设计，如图 1 所示。我们正积极推进产品路线图的演进，确保产品设计不仅满足当前的 I_Q 要求，还能适应下一代电池技术。

需要了解的三项主要规格

选择合适的降压转换器时，需要了解数据表中的各项术语及其在实际应用中的含义。对于电池供电的可穿戴应用，区分以下几项电流规格至关重要：

- **关断电流 I_{SD} ：**
 - 此参数表示器件连接到输入电源且处于禁用状态或关断模式时流过的微小泄漏电流。通常，这是降压转换器在各种工作状态下产生的最低电流消耗。所有降压器件在关断且无负载时，都会产生少量关断电流。
- **非开关 I_Q ：**
 - 此参数表示降压转换器已使能但未主动进行开关操作时消耗的静态电流。在此状态下，内部控制逻辑处于空闲模式，因此电流消耗非常低。例如，采用脉冲频率模式 (PFM) 的器件在开启且无负载时，就可能处于这种状态。
- **开关 I_Q ：**
 - 此参数表示集成电路 (IC) 主动进行开关操作以调节输出电压时消耗的静态电流。此时，大多数内部电路（例如栅极驱动器、振荡器和控制环路）都在运行，因此静态电流高于非开关状态下的水平。一个常见示例是采用脉宽调制 (PWM) 的降压转换器：即使处于空载状态且已使能，仍会持续进行开关操作。

设计电池供电的可穿戴应用时，客户通常会面临哪些主要挑战？

无论是智能手表、健身追踪器、耳塞、医疗监测设备还是助听器，工程师通常都面临一系列严峻挑战，这也对电源管理提出了更高要求。一方面，空间极其有限，几乎没有妥协余地：可穿戴器件必须采用更小巧的外形设计，确保佩戴舒适且不显突兀，同时还要在有限的印刷电路板 (PCB) 面积内集成整个电源子系统。另一方面，延长电池使用寿命的迫切需求也增加了可穿戴器件的设计复杂度。目前，40mAh 至 200mAh 的小容量电池已广泛应用于可穿戴器件，需要同时为微控制器 (MCU)、无线系统 (BLE/Wi-Fi®)、各种集成传感器和显示屏供电。因此，电源架构中的每个器件都需要经过专门设计，以支持超低静态电流 I_Q 。即使是微安级的待机电流消耗，也可能大幅缩短电池的使用寿命。由于可穿戴系统经常在正常工作模式和轻载模式之间切换，因此在满足上述限制的同时，还必须确保器件在宽负载范围内保持较高效率。

如何为您的应用选择合适的低 IQ 降压转换器？

ti.com 提供多种针对低输入电压可穿戴应用优化的低静态电流降压转换器。表 1 列出了最新的低 IQ 器件，并重点介绍其电流额定值、封装选项和推荐物料清单 (BOM)：

表 1. 低 IQ 降压选型指南

	V _{in} 最小值 (V)	I _{out} 最大值 (mA)	开关频率 (MHz)	效率	封装	设计尺寸 (mm ²)	典型 BOM	
							L (μH)	C _{out} (μF)
TPS62840 (60nA IQ)	1.8	750	1.8	88 % (I = 10μA) 92 % (I = 100mA)	WCSP-6	<14	2.2	10、22
					QFN-8	<17		
					HVSSOP-8	<35		
TPS62843 (275nA IQ)	1.8	600	1.5	86 % (I = 10μA) 92 % (I = 100mA)	WCSP-6	约 5	1	10、22
					SOT563-6	约 5		
TPSM82843* (275nA IQ)	1.8	600	1.5	85 % (I = 10μA) 91 % (I = 100mA)	QFN-FCMOD-7	14	无	10、22
TPS6280x (2.3μA IQ)	1.75	600	1.5	90 % (I = 1mA)	WCSP-6	5	1	4.7、 10、22
		1000	4	92 % (I = 400mA)		3.5	0.47	
TPS62860/1 (2.3μA IQ)	1.75	600	1.5	90 % (I = 1mA)	WCSP-8	5.5	1	4.7、 10、22
		1000	4	92 % (I = 400mA) V _{out} =1.9875V)		4	0.47	

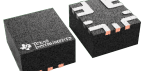
* TI 提供多款低 IQ 电源模块，例如采用 QFN 封装并集成电感器的 TPSM82843，以及采用 MicroSIP™ 封装、IQ 仅为 360nA 的 TPSM82740。

上述所有器件均采用适合射频应用的 DCS-Control™ 拓扑结构。

低 IQ、低输入电压降压转换器有哪些封装选项？

TI 为低压降压转换器提供多种封装和引脚配置选项，专为低功耗和空间受限的应用而设计。表 2 中列出了每种封装的描述和价值主张。

表 2. 低 IQ 降压转换器的封装选项

封装/参数	DSBGA	WCSP	SOT563-6	VSON-HR	QFN (模块)
典型尺寸 (mm × mm × mm) (长 × 宽 × 高)	0.80 × 1.0 × 0.37 (6 个引脚) 1.4 × 0.70 × 0.4 (8 引脚)	0.97 × 1.47 × 0.5 (6 个引脚)	1.6 × 1.6 × 0.6	1.5 × 2 × 1 (8 个引脚)	2.45 × 2.7 × 1.29 (7 个引脚)
价值主张	超紧凑设计	占板面积小且无需引线框架，非常适合采用 BGA 封装的超紧凑、低功耗设计。	标准化占板面积	在尺寸、热性能和组装便利性之间实现良好平衡。	出色的整体热性能和机械稳健性
					

低 IQ 降压转换器提供的其他功能集：

MODE 引脚：

为了在较宽的负载电流范围内保持高效率，随着负载电流降低，转换器可以自动切换至 **PFM** 模式，也称为脉冲跳跃模式或节能模式 (**PSM**)。在此模式下，转换器通过跳过部分开关脉冲来降低器件的电流消耗（静态电流），从而提高转换效率。在固定频率 **PWM** 模式下，轻负载时可能出现负电感电流（电流从输出端流向输入端）；脉冲跳跃可消除这种电流。这种工作模式的代价是 V_{out} 纹波较大。

如果应用需要更低的 V_{out} 纹波和更低的噪声水平，且可以接受轻负载效率有所降低，则可选择强制 **PWM** 模式。在该模式下，器件始终工作于连续导通模式。

许多 TI 降压转换器都设有 **MODE** 引脚，可根据应用需求选择自动切换至 **PFM** 模式或 **FPWM** 模式。图 2 展示了相应的效率曲线。

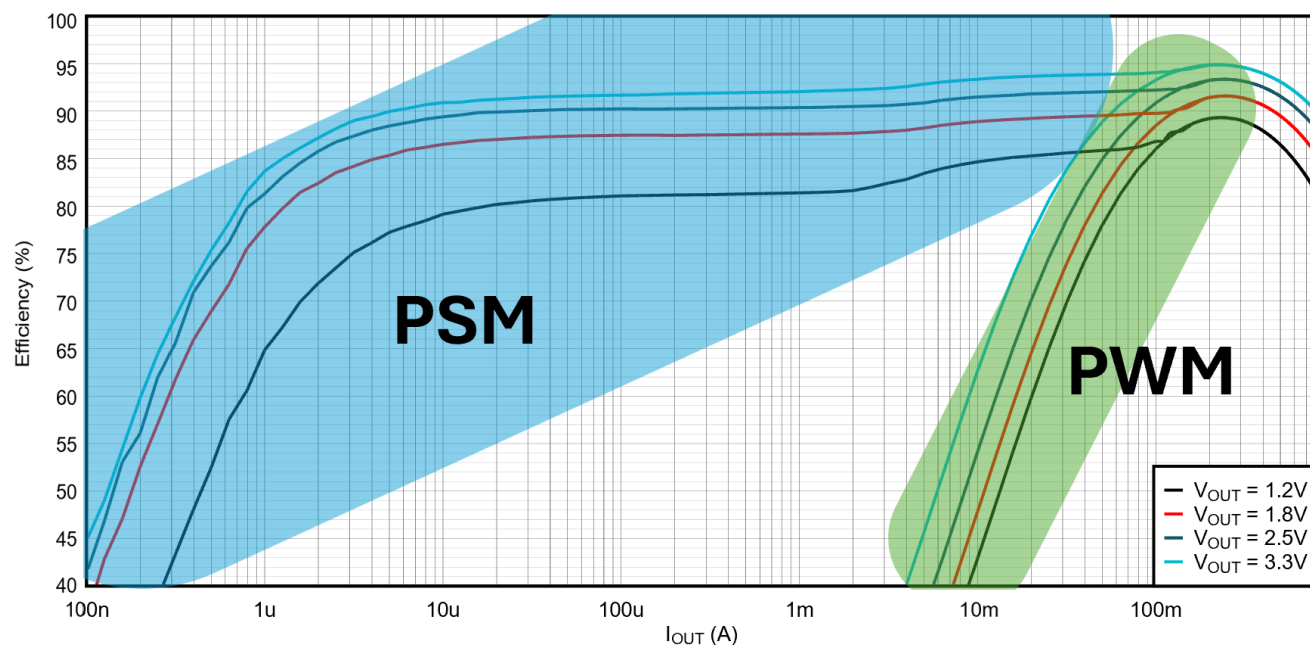


图 2. TPS62840 在 PSM 和 PWM 模式下的效率与负载关系曲线， $V_{in} = 5V$

STOP 功能/引脚：

STOP 模式相当于让降压转换器暂时停止工作。普通开关稳压器虽然效率较高，但不可避免地会产生微小的开关噪声和纹波，可能干扰对无失真数据采集或射频通信有较高要求的应用。当 STOP 引脚被置为逻辑高电平时，转换器会在当前开关周期结束后完全停止开关。在此期间，输出负载会短暂地仅由输出电容 C_{out} 供电。这样，ADC、传感器或射频模块便能在电源噪声干扰较小的短暂时段内进行测量或信号传输。STOP 引脚一旦被置为逻辑低电平，稳压器便会立即恢复开关工作，无需等待启动或软启动延迟。

在 STOP 模式下，输出电压随时间的变化可通过以下公式估算：

$$V_{out}(t) = V_{out, set} - I_{out} \times \frac{t}{C_{out}}, \quad (1)$$

其中， $V_{out, set}$ 为设定的输出电压， I_{out} 为使输出电容 C_{out} 放电的恒定输出电流。

STOP 模式持续时间越长，或负载电流越大，输出电压下降就越多。输出电容越大，输出电压下降得越慢。对于负载电流在 $100\mu A$ 至 $20mA$ 范围内的极轻负载应用，这项功能尤为重要。

动态电压调节 (DVS)

这是一种控制技术，可根据应用系统的需求和负载条件的变化，动态调节开关稳压器的输出电压。DVS 旨在提高能效、降低功耗，同时灵活适应快速变化的性能要求。如图 3 所示，在轻载或空闲模式下，电压会自动降低以节省功耗；执行高性能任务时，电压则会立即升高。

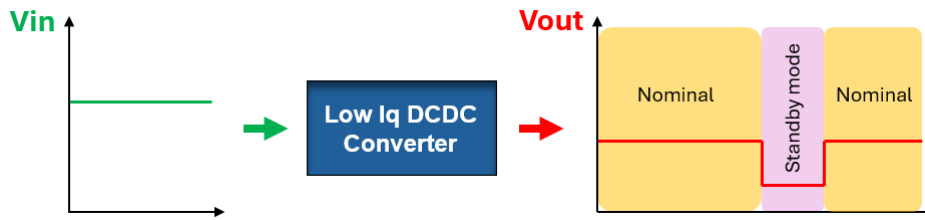


图 3. 采用 DVS 降低直流/直流降压转换器功耗的方法

TI 根据用户需求，通过以下几种常见方式实现动态电压调节：

I²C 接口：

处理器可以通过总线发送命令，以数字方式调整预设电压、斜坡速度及其他内部参数。借助这种方式，软件可以按照精确的小步进实时调节输出电压，例如 [TPS628600](#) 就支持此功能。

硬件选择引脚/VSEL 引脚：

如果只需通过开关稳压器的外部硬件引脚在两个至四个电压选项中进行选择，则可以在器件运行期间更改这些引脚的逻辑电平来实现。例如，[TPS62740](#)、[TPS62743](#) 和 [TPS62860](#)。

如表 3 所示，TPS62860/1 支持通过 I2C 接口或专用 VSEL 引脚动态控制 V_{out} ，不同型号具有不同的默认 V_{out} 设置：

表 3. TPS62860/1 器件比较

可订购编号	输出电流 (A)	默认 V_{out} 设置 (V)	默认运行	I2C 地址	开关频率 (MHz)	用户界面
TPS628600YCH	0.6	0.6、1.1	正常运行 (PWM、PFM)	0×40	1.5	EN、I2C、VSEL
TPS628601YCH	0.6	0.6、0.7、0.8、1.0	正常运行 (PWM、PFM)	0×40	1.5	2×VSEL、EN、PG
TPS628603YCH	0.6	1.05、0.65	正常运行 (PWM、PFM)	0×40	1.5	EN、I2C、VSEL
TPS628604YCH	0.6	0.85、1.1	正常运行 (PWM、PFM)	0×40	1.5	EN、I2C、VSEL
TPS628610YCH	1	0.6、1.1	正常运行 (PWM、PFM)	0×40	4	EN、I2C、VSEL
TPS628605YCH	0.6	1.8、1.8	VSEL = LOW (正常运行 [PWM、PFM])、VSEL = HIGH (PFWM 运行)	0×41	1.5	EN、I2C、VSEL
TPS628606YCH	0.6	1.0125、1.0125	VSEL = LOW (正常运行 [PWM、PFM])、VSEL = HIGH (PFWM 运行)	0×40	1.5	EN、I2C、VSEL

了解详情

- 德州仪器 (TI)，[轻负载效率 and 低 IQ 视频](#)
- 德州仪器 (TI)，[使用 TPS6282xA 和 TPS62830x 进行动态电压调节 \(DVS\) 应用简介](#)
- 德州仪器 (TI)，[STOP 功能在低噪声数据采集应用中的优势](#) 技术文章
- 德州仪器 (TI)，[了解 3 种静态电流 \(Iq\) 规格](#) 技术文章
- 德州仪器 (TI)，[解读低 IQ：使用 WEBENCH® 为超低功耗应用设计接近 100% 占空比](#) 技术文章
- 德州仪器 (TI)，[IQ：定义、常见误解及其使用方式](#) 模拟应用期刊
- 德州仪器 (TI)，[使用电压纹波小于 150μV、IQ 低于 100nA 的降压转换器延长电池寿命](#) 应用报告

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

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