

Application Brief

解决半导体测试和ATE应用中的电源设计难题



由于人工智能 (AI)、5G、物联网 (IoT) 和电动汽车 (EV) 的快速发展，近年来对半导体测试仪和自动测试设备 (ATE) 的需求持续增长。这些行业的芯片越来越复杂，因此需要更强大、更精确的 ATE 来进行测试。在设计半导体测试设备的电源时，随着这些测试仪的复杂性不断增加，通常会导致电流要求不断提高，并需要考虑许多其他特殊注意事项。

选择直流/直流转换器时，通常对噪声和频率有严格的要求，以避免影响设备的测量能力。同样，许多测试仪使用高功率 FPGA，后者通常需要低纹波内核电源轨。最重要的是，半导体测试设备追求尽可能高的功率密度和尽可能小的设计尺寸。本文介绍了使用降压稳压器为半导体测试和 ATE 提供电源时所面临的常见设计挑战。

表 1 列出了推荐用于半导体测试和 ATE 电源设计的直流/直流降压稳压器，其中包括具有外部频率同步功能的模块 (集成电感器) 和转换器 (集成 FET、独立电感器)。

表 1. 半导体测试和 ATE 电源管理器件

类型	模块	V _{IN}	I _{OUT}	尺寸	特性	转换器
功率密度高	TPSM843320	4V - 18V	3A	3.5mm × 3.5mm × 1.6mm	高效率，ACM，±0.5% 精度，可选 F _{SW} ：500kHz、750kHz、1MHz、1.5MHz、2.2MHz、F _{SYNC} 。电源正常，可调节软启动。	TPS543320
	TPSM843620	4V - 18V	6A			TPS543620
	TPSM843820	4V - 18V	8A			TPS543820
	TPSM843A22	4V - 18V	12A	6.5mm × 7.5mm × 4.0mm	高效率，ACM，±0.5% 精度，可选 F _{SW} ：500kHz、750kHz、1MHz、1.5MHz、2.2MHz、F _{SYNC} 。电源正常，可调节软启动。	TPS543A22
	TPSM843A26	4V - 18V	16A			TPS543A26
	TPSM843B22	4V - 18V	20A			TPS543B22 B25
	TPSM8F7620	3V-17V	4 × 6A	7mm × 12mm × 2.4mm	四路输出，可堆叠至 24A，具有 SYNC 功能的电流模式，内部和外部补偿，400kHz 至 2.2MHz 之间的连续可调 F _{SW} ，±0.5% 精度	不适用
	TPSM8F7420	3V-17V	4 × 4A	7mm × 12mm × 2.4mm	四路输出，可堆叠至 16A，具有 SYNC 功能的电流模式，内部和外部补偿，400kHz 至 2.2MHz 之间的连续可调 F _{SW} ，±0.5% 精度	不适用
	TPSM8D7620	3V-17V	2 × 6A	7mm × 6.5mm × 2.4mm	双路输出，可堆叠至 12A，具有 SYNC 功能的电流模式，内部和外部补偿，400kHz 至 2.2MHz 之间的连续可调 F _{SW} ，±0.5% 精度	不适用
	TPSM8D7420	3V-17V	2 × 4A	7mm × 6.5mm × 2.4mm	双路输出，可堆叠至 8A，具有 SYNC 功能的电流模式，内部和外部补偿，400kHz 至 2.2MHz 之间的连续可调 F _{SW} ，±0.5% 精度	不适用
低噪声和低纹波	TPSM82912	3V - 17V	2A	4.5mm × 5.5mm × 1.8mm	无需低压降 (LDO) 和无源后置滤波，低噪声和低纹波，CM，展频调制，F _{SW} ：1MHz、2.2MHz、F _{SYNC} 。电源正常，可调节软启动。	TPS62912
	TPSM82913	3V - 17V	3A			TPS62913
	TPSM82914	3V - 17V	4.5A	4.0mm × 4.7mm × 2.9mm	无需 LDO 和无源后置滤波，低噪声和低纹波，CM，展频调制，F _{SW} ：1MHz、1.4MHz、2.2MHz、F _{SYNC} 。电源正常，可调节软启动。	TPS62914
	TPSM82916	3V - 17V	6A			TPS62916、TPS62918
具有遥测功能的 PMBus®	TPSM8S6B24	4V - 16V	25A	16mm × 11mm × 4.3mm	具有遥测功能的 PMBus，堆栈 x4，CM，F _{SW} ：275kHz 至 1100kHz、F _{SYNC} 。电源正常，可调节软启动。	TPS546B24S
	TPSM8S6C24	4V - 16V	35A			TPS546D24S
	TPSM8D6B24	4V - 16V	50A (双路 25A)	16mm × 20mm × 4.3mm	具有遥测功能的 PMBus，堆栈 x2，CM，F _{SW} ：275kHz 至 1100kHz、F _{SYNC} 。电源正常，可调节软启动。	TPS546B24A
	TPSM8D6C24	4V - 16V	70A (双路 35A)			TPS546D24A
24V 输入	TPSM84338	4.5V - 28V	3A	3.3mm × 4.5mm × 2.0mm	宽电压范围，CM，F _{SW} ：200kHz 至 2.2MHz，F _{SYNC} ，展频调制。电源正常，可调节软启动。	TPS54538、TPS54338

利用模块设计减小尺寸

为了简化电源设计并更大限度地减小 PCB 尺寸, 请使用降压模块而不是降压转换器。以 TPSM843620 和转换器版本 TPS543620 为例: 测得的 TPS543620 转换器电路设计总尺寸约为 100.8mm^2 , 而测得的 TPSM843620 模块电路设计仅为 66mm^2 , 尺寸减小了 44%。图 1 展示了尺寸减小情况。TPS543620 和 TPSM843620 的 PCB 设计尺寸均根据数据表中针对相同应用的建议进行选择。

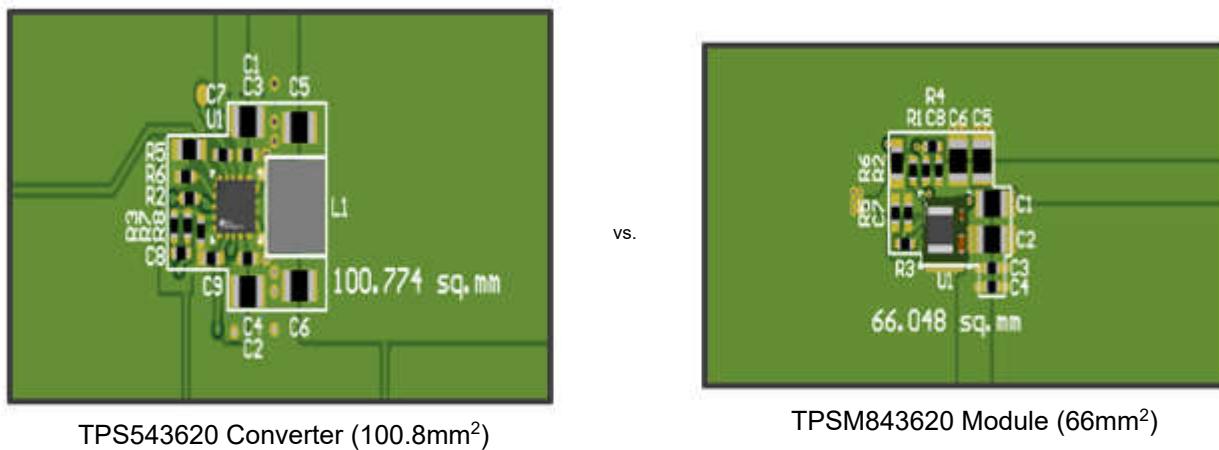


图 1. TPS543620 和 TPSM843620 之间的 PCB 尺寸比较

电源挑战

功率密度

对于 ATE 电源设计, 随着功率需求增加, 电路板面积和 Z 高度通常是限制因素。因此, 通常会为负载点设计选择电源模块, 因为这些模块可实现尽可能小的 X-Y 尺寸。TI 的新型 TPSM843B22 降压模块是一款支持电源设计人员优化功率密度设计的器件。该器件采用 $6.5\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ 封装, 提供 20A 电流, 并具有蝶形布局。当与集成电感器结合使用时, 该布局可实现 212mm^2 的优化对称布局并采用仅 4mm 高的超模压封装, 如图 2 所示。图 3 展示了该器件的示例 PCB 布局的对称性质。借助这种对称设计, 能够以最低的成本实现更高的功率密度和更佳的热性能。

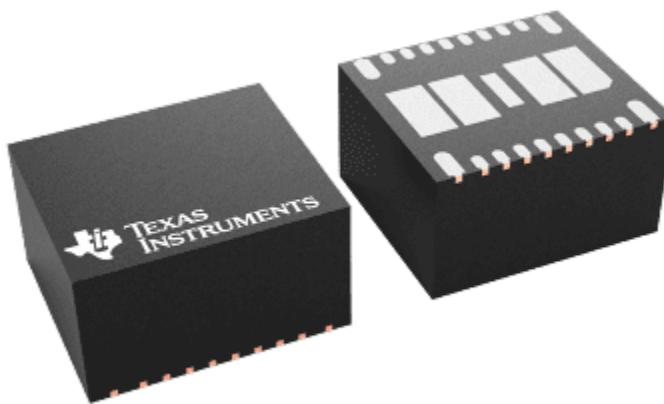


图 2. 超模压 TPSM843B22 封装

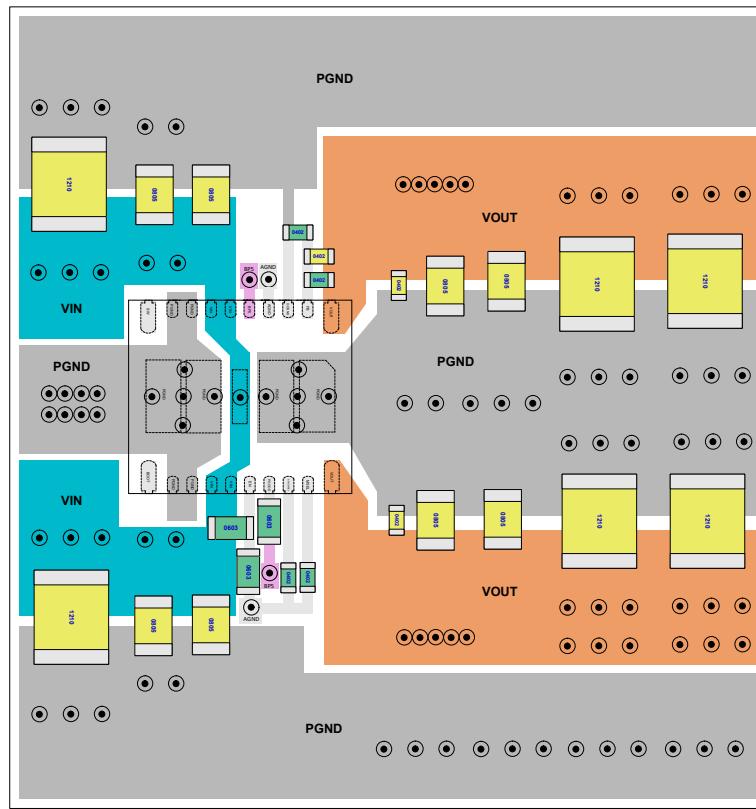


图 3. TPSM843B22 示例 PCB 布局

低噪声排放

半导体测试仪中使用的许多 ADC、DAC 和 AFE 都需要具有极低电压纹波或 $1/f$ 噪声水平的负载点 (PoL) 电源。过去，设计人员使用直流/直流转换器降低电压，然后使用 LDO 对 PoL 电源进行平滑处理，从而解决了该问题。这种方法的问题在于，添加 LDO 会增加所需的布板空间，并导致设计效率降低。借助 TPSM8291x 系列器件，设计人员能够完全放弃 LDO，而仅使用降压模块，从而在不牺牲效率的情况下实现出色的功率密度和噪声性能。

该器件的控制器设计为在 100Hz 至 100kHz 范围内 $1/f$ 噪声规格小于 $20\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 。这样低频噪声和所有相关谐波就不会影响 PoL 电压。 $1/f$ 噪声的衰减可以通过调整连接到 NR/SS 引脚的电容来实现。TPSM8291x 系列还具有集成环路补偿功能，允许设计人员添加第二级 L-C 滤波器。这使得能够在反馈环路内添加铁氧体磁珠，从而将输出纹波降低至 $< 10\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 。这项功能非常实用，可实现非常安静的 PoL 电源轨。该器件还支持可选的展频调制。虽然一些测试仪追求频率信号的可预测性和一致性，但展频功能的频率随机化使设计人员能够将 EMI 和电压纹波分散到更宽的频带上，从而降低纹波或 EMI 信号中的任何峰值。图 4 展示了展频对 V_{OUT} 纹波快速傅里叶变换 (FFT) 的影响。图 5 展示了铁氧体磁珠能够放置在基于集成补偿网络的反馈环路内的位置。

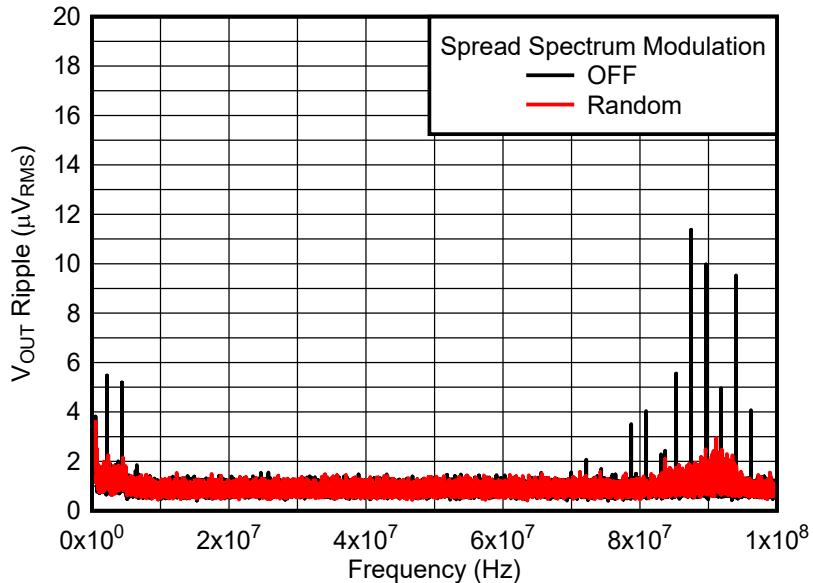


图 4. TPSM82913 12V_{IN} 至 3.3V_{OUT}、1A、2.2MHz 时的 V_{OUT} 纹波 FFT

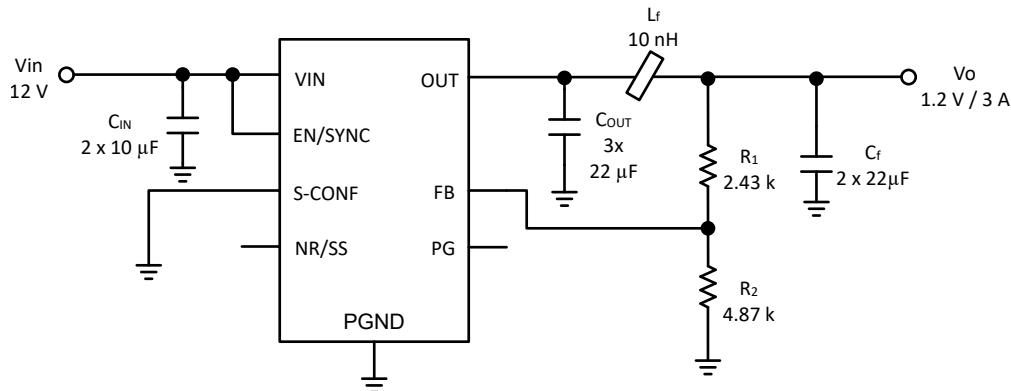


图 5. 采用集成式铁氧体磁珠滤波器补偿的典型 TPSM82913 应用

效率

效率也是 ATE 电源设计中的一个关键问题。使用效率较差的降压设计会消耗过多的能量，甚至可能导致系统出现热问题。TI 的新型 TPSM843620 是一款高效的 6A 降压模块，输入电压范围为 4V 至 18V，输出电压范围为 0.5V 至 5.5V，输出电流为 6A，并且封装尺寸较小 (3.5mm × 3.5mm × 1.6mm)。如 图 6 所示，该器件在以 1MHz 开关频率进行 12V 到 3.3V 的转换时，可实现约 92% 的效率。

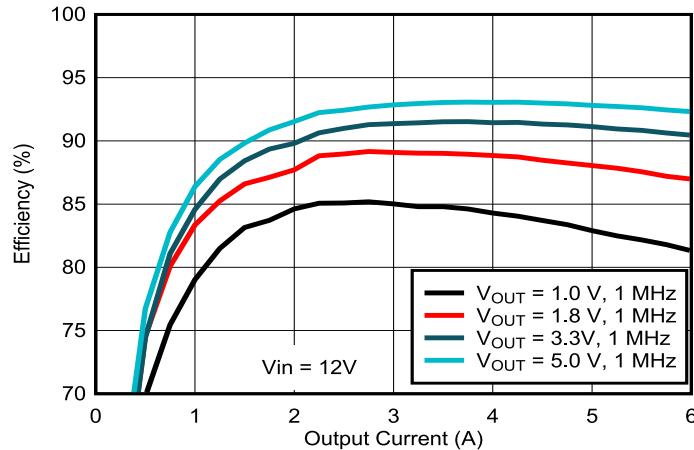


图 6. TPSM843620 在 12V_{IN} 时的效率

监测电源参数

为了进行监控或简化调试，有时在 ATE 电源设计中首选具有 PMBus 等数字接口的降压稳压器，尤其是用于更高电流的电源轨时。通过将降压稳压器与带有遥测功能的 PMBus 接口搭配使用，可以轻松监控实时输出电压并进行高精度电压调节。图形用户界面 (GUI) 可以监控温度和输出电流等各种参数，并可针对过警报和过故障设置不同的响应。该工具可在 *Fusion Digital Power Designer* 工具页面中找到。图 7 展示了可在其中更改规格和修改直流/直流稳压器的 GUI 屏幕。

因此，即使相关的 FPGA 不使用 PMBus 与直流/直流模块进行通信，PMBus 也是一个很有吸引力的选项。设计人员无需调整无源器件，即可在原型设计和测试阶段通过数字方式更改参数，并在最终生成电路板时通过引脚配件来将所有外部无源器件设置为控制运行。这可以在原型设计过程中节省大量焊接时间和麻烦，从而在开发过程中节省时间和成本。

TPSM8S6C24 是 TI 的新款 35A 降压模块，具有 PMBus 和遥测功能以及扩展安全功能，输入电压范围为 2.95V 至 16V，输出电压为 0.5V 至 3.6V。扩展安全功能通过提供写入锁定保护来尽可能地减少错误或恶意写入命令的风险，无需重新设计硬件，只需少量固件修改即可实现。有关扩展安全功能的详细信息，请参阅 [TPS546D24S 和 TPSM8S6C24 中的扩展安全功能](#)。

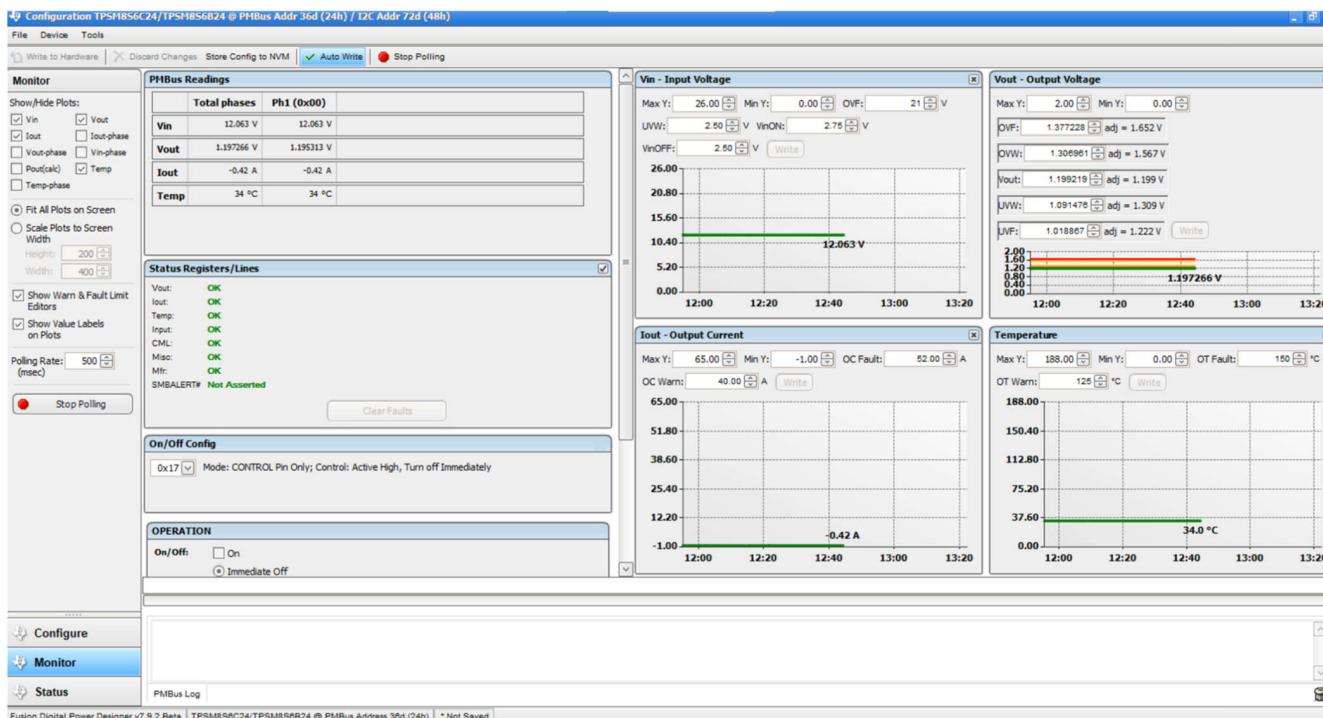


图 7. 监视器屏幕

结语

设计 ATE 电源需要考虑设计尺寸、噪声排放、效率和电源参数监测。TI 提供广泛的降压模块和转换器产品系列，能够有效解决从 3A 到 140A 负载电流要求的各种电源设计难题。

商标

PMBus® is a registered trademark of System Management Interface Forum, Inc.
所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月