

Application Brief

48V 配电中的功率与材料优化



Samuel Skranak

简介

基于 48V 的架构在汽车配电中的采用正以稳步而坚定的步伐逐步推进。48V 领域的优势在于能够实现更高水平的优化，即进一步降低功率损耗，并进一步减少材料用量（电缆、连接器和 PCB 面积）。然而，OEM 及其供应商在将负载从传统 12V 领域迁移时，也面临着新的挑战。

要使半导体器件满足这一目标，除了执行指定功能外，还必须具备有助于优化功耗和材料用量的特性。例如，配电开关不仅必须具备全面的电源管理功能，还应具备进一步降低功耗和材料用量的特性。这一构想在 TI 首款 48V 汽车智能电子保险丝 TPS481HS04-Q1 中成为现实。TPS481HS04-Q1 是一款开关，具备管理和降低功耗、减少材料用量的功能，最终有助于缓解 48V 迁移过程中的难点。

降低功耗

由于电压更高，且导通损耗会随负载电流增大而增加，因此成熟的 48V 架构在从 12V 迁移后能够降低功率损耗。利用 TPS481HS04-Q1 灵活的低功耗模式，还可进一步降低功耗。在该模式下，器件保持使能状态，并可在较低电流下继续供电，同时大幅降低静态电流消耗，静态电流消耗最多可降低两个数量级。

表 1. TPS481HS04-Q1 低功耗模式静态电流

规格			I _Q (μA)
手动	VBB I _Q	小型 FET	10
		大型 FET	15
	VDD I _Q	小型 FET	10
		大型 FET	15
自动	VBB I _Q		15
	VDD I _Q		15
正常运行	VBB I _Q		3300
	VDD I _Q		1650

这些数值基于量产前的芯片，可能与最终量产芯片有所不同

该器件提供两种变体：大型 FET 和小型 FET。这两种变体均具有可配置的退出电流，因此可以根据负载需求调节从低功耗模式到活动模式的转换。小型 FET 模式的退出电流较低，因此静态电流消耗更低，但可编程值范围也相应较小。大型 FET 模式的退出电流较高，因此范围更大，但静态电流消耗也更高。大型 FET 低功耗模式可配置为自动进入和退出，使器件能够在固定阈值下自主进入和退出 LPM。通过这两种变体，可以实现显著降低静态电流消耗的方案。表 1 显示了基于所用 FET 的典型静态电流消耗。

降低线束重量

与上一代 12V 电源网络相比，48V 电源网络自然可以采用更小线径的电缆。TI 的 48V 电子保险丝具有完整的 I²T 曲线，并提供多个调节参数，可对过流特性进行精确调整。该曲线表示一个可编程的能量阈值，代表熔断式保险丝的热限制。得益于集成式电流传感功能，该曲线能够更精确地与熔断式保险丝特性曲线或导线容差曲线匹配。使其与导线特性曲线匹配有助于减小导线规格。

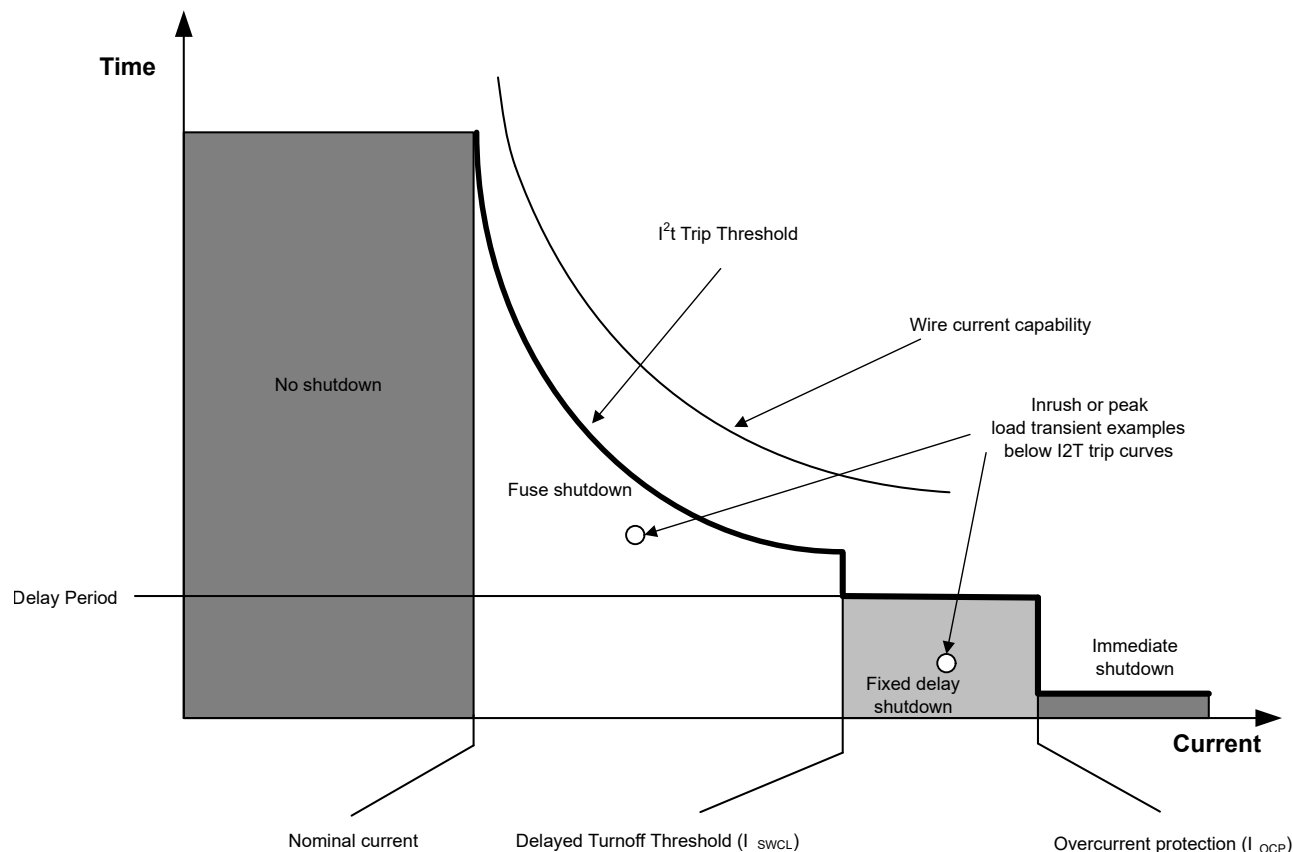


图 1. TPS481HS04-Q1 的可配置 I²T 曲线

如图 1 所示，可配置的 I²T 曲线由多个变量构成。该曲线包含四个区域：标称区域、累加 (I²T) 区域、延迟关断区域和立即关断区域。这些区域在 I²T 保护机制中分别发挥不同作用。可配置的标称限值是启动 I²T 累加的阈值。累加过程实际上是并行计算电流与时间的关系，以确定是否超过设定的 I²T 阈值。除此之外，还有一个延迟关断区域，在该区域中，可编程的延迟时间和阈值提供了另一种方式，用于定义对更快速、更强瞬态的容差。最后，立即关断区域支持配置快速触发限值，以提供瞬时保护。这些配置共同构成完整的功率曲线，在增加一层保护的同时，还能够进一步减轻 48V 系统的电缆重量。

一体化封装

如本文档前文所述，48V 的核心优势之一是减少材料用量，包括减少电缆和连接器的用量以及 PCB 面积。因此，半导体器件也必须遵循这一原则。尽管在 48V 领域中，单位 FET 面积所能提供的功率高于 12V 领域，但市场上一直没有集成式电子保险丝元件。早期的 48V 设计采用栅极驱动器和外部 FET 来驱动高功率负载。在这些情况下，元件层面的材料减少目标并未实现。采用 TPS481HS04-Q1 后，可以实现缩减 PCB 面积的优势。

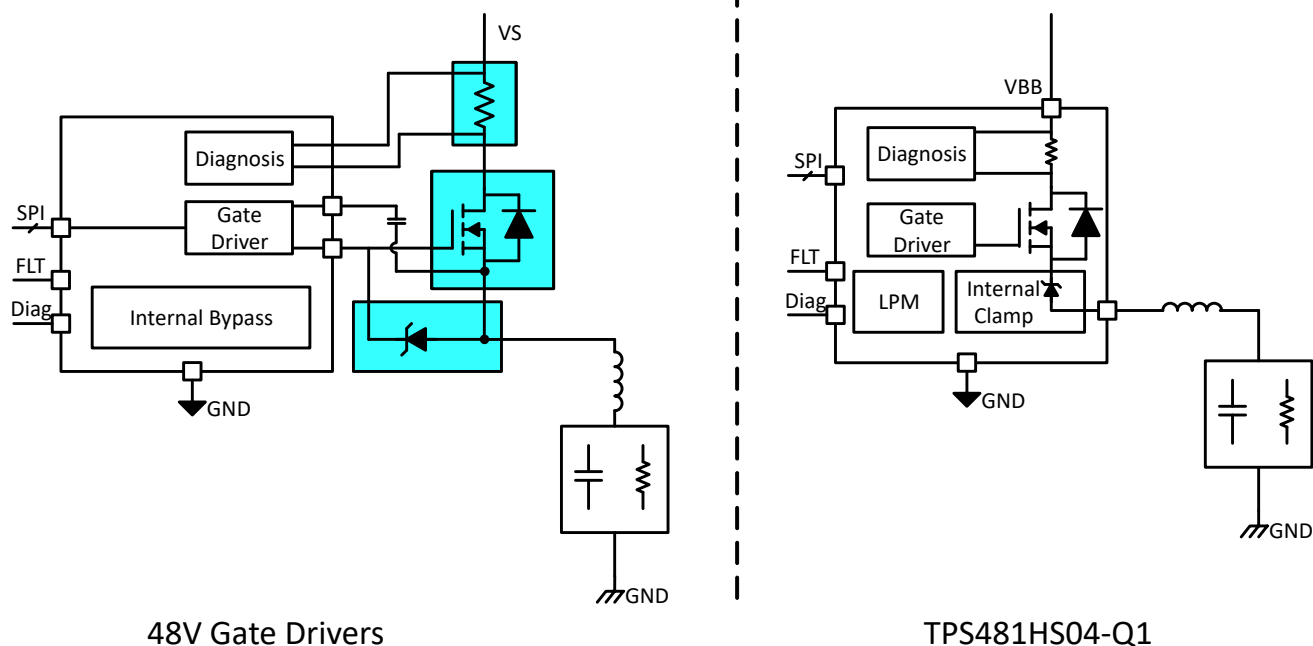


图 2. 集成式设计有助于减小 PCB 面积

如图 2 所示，并如表 2 中所列，集成式设计具有明显优势。对于低于 1kW 的电源轨，所需空间最多可缩减 80%。

表 2. 面积比较

尺寸比较 (mm ²)		
特性	48V 栅极驱动器	TPS481HS04-Q1
控制器	25	集成式
分流器	50	
FET	64	
钳位	40	
总计	170	32

浪涌管理方法

TPS481HS04-Q1 的功能集进一步发挥了 48V 的优势。同时，该器件也进一步拓展了配电开关的功能。以某种方式管理浪涌电流是电源开关的基本要求，而 TPS481HS04-Q1 还引入了多种额外的方法。这一功能对于配电至关重要，因为大多数 ECU 都具有输入大容量电容，需要以受控方式进行充电。使用 TPS481HS04-Q1 时，可以采用立即关断方法；如果器件在硬短路状态下启用，则当电流超过设定阈值后，FET 将被关断。如前所述， I^2T 是一种更先进的基于能量和时间的方法；同样，一旦发生超限，FET 就会被关断。除上述两种方法外，还提供三种电容充电方案，可根据电缆、负载或系统要求进行选择。

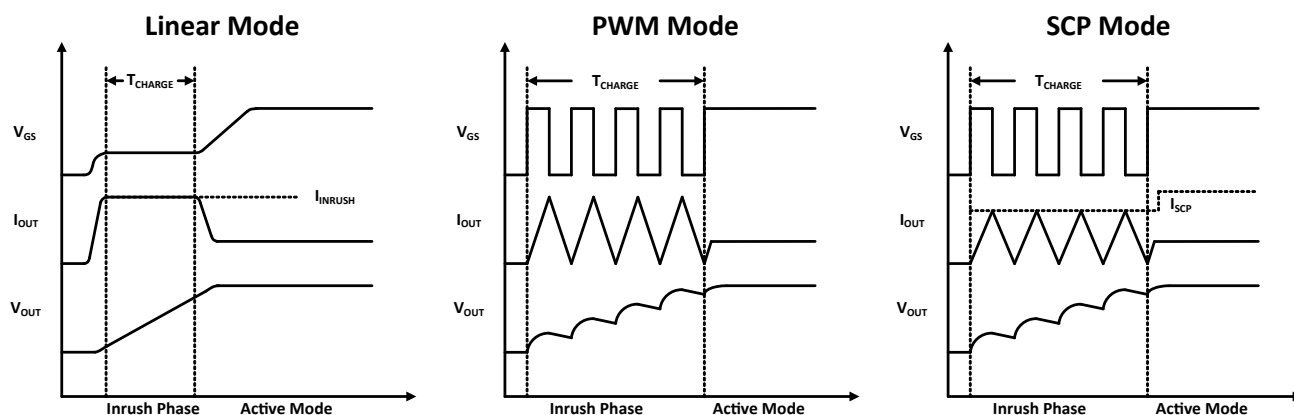


图 3. 提供三种不同的电容充电模式

每种模式都有不同的可配置参数和优势，具体如表 3 所示。第一种方法是线性电容充电模式，在该模式下，浪涌电流被钳位在设定值，以固定速率为负载充电。电流限值和充电持续时间均可配置。该模式开关噪声较低，适用于对 EMC 敏感的应用，并且易于配置。第二种模式基于 PWM。在该模式下，占空比、频率和持续时间均可配置。与线性模式相比，该模式具有更好的热管理性能，并提供更高程度的可配置性。最后一种模式是基于短路保护 (SCP) 的自动重试方案。在该方案中，器件会持续重试，并采用较低的电流限制；一旦超过该限制，器件将立即关断。持续时间和电流限制同样是可调参数。基于 SCP 的模式无需考虑线束电感，而线束电感会因电缆不同而有所变化。这些充电模式结合起来，可根据电缆、负载和系统要求提供很大的灵活性。

表 3. 电容充电方法

电容充电方法		
模式	可配置参数	优势
线性	1.浪涌电流限制 2.充电持续时间	易于配置，开关噪声低
PWM	1.充电持续时间 2.占空比 3.频率	热性能优异，可配置性高
SCP	1.浪涌电流限制 2.充电持续时间	热性能优异，可独立于线束电感进行设置

结语

为了从 48V 迁移中获得功耗和材料方面的收益，汽车制造商需要具备能够实现这一目标的工具。关于 48V 的讨论大多集中在配电领域，因此，实现 48V 相关功能的重任也很大程度上落在配电开关上。

如今，随着 TI 的 TPS481HS04-Q1 推向市场，实现这些目标所需的各项功能已集于一体。该器件配备高度可配置的 I²T 曲线，可实现保护并减小电缆规格；还具备低功耗模式，可进一步节省功耗；此外还提供多种电容充电方法，使其成为一款功能高度多样的配电器件。

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