

Dilip Jain, Naveen Bevara

摘要

随着汽车配电系统中区域架构的不断演变，人们对高边开关控制器的需求不断增长，该控制器可通过外部 MOSFET 驱动大多数初级和次级高电流负载。这些系统设计包括配电箱以及 PTC 加热器、车身电机等负载。

汽车 OEM 对 12V 汽车系统的关键系统要求之一是保护 DUT 免受电池反向连接的影响。在汽车电池维护期间或车辆跨接启动过程中，电池在重新安装过程中可能会发生反极性连接，这可能导致连接的子系统、电路和组件遭到损坏。需要设计适当的保护电路，以确保 DUT 受到保护并能够应对电池反向情况。根据负载类型，可通过背对背电源开关或正向负载开关拓扑实现电池反向保护。

本应用手册重点介绍了如何使用 TPS1211-Q1 高边开关控制器为具有各种电路配置的各种高电流负载实现电池反向保护。

内容

1 TPS1211-Q1 高边开关控制器概述.....	2
2 具有电池反向保护的系统设计示例.....	3
2.1 设计 1：配电箱.....	3
2.2 设计 2：车身电机负载驱动.....	4
2.3 设计 3：加热器负载驱动.....	5
3 总结.....	8
4 参考文献.....	9

插图清单

图 1-1. TPS1211-Q1 功能方框图.....	2
图 2-1. 采用 LM74500-Q1 控制器且具有分组电池反向保护功能的配电箱.....	3
图 2-2. 用于驱动电机负载的 TPS1211-Q1 应用原理图.....	4
图 2-3. TPS1211-Q1 具有基于 MOSFET 的接地侧断开关的应用原理图.....	5
图 2-4. 在电池反向情况下，在 MOSFET 关闭的情况下驱动 PTC 加热器负载的 TPS1211-Q1 应用原理图.....	6
图 2-5. TPS1211-Q1 在电池反向条件下、MOSFET 导通时驱动 PTC 加热器负载的应用原理图.....	6
图 2-6. 展示了 MOSFET 导通时的电池反向保护的性能图.....	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 TPS1211-Q1 高边开关控制器概述

TPS1211-Q1 系列是一款具有保护和诊断功能的 45V 智能高边驱动器。该器件具有 3.5V 至 40V 的宽工作电压范围，适用于 12V 系统设计。该器件具有强大的 3.7A 峰值拉电流 (PU) 和 4A 峰值灌电流 (PD) 栅极驱动器，可在大电流系统设计中与并联 FET 进行电源开关。将 INP 用作栅极驱动器控制输入。通过放置外部 R-C 元件，可实现 MOSFET 压摆率控制 (导通和关断)。

该器件具有精确的电流检测 (在 30mV 下为 $\pm 2\%$) 输出 (IMON) 支持系统设计，可用于能源管理。该器件集成了具有 FLT_I 输出的两级过流保护，具有完全可调的阈值和响应时间。可以配置自动重试和锁存故障行为。该器件具有带 FLT_T 输出的远程过热保护功能，可实现强大的系统保护。TPS1211-Q1 具有精确的过压保护 ($< \pm 2\%$)，可提供强大的负载保护。TPS1211-Q1 将预充电驱动器 (G) 与控制输入 (INP_G) 集成，

此功能支持必须通过先预充电然后再打开主功率 FET 来驱动大容量负载的系统设计。TPS1211-Q1 使用 EN/UVLO 引脚提供精确的欠压保护 ($< \pm 2\%$)。将 EN/UVLO 拉至低电平 ($< 0.3V$) 以关闭器件并进入关断模式。在关断模式下，控制器在 12V 电源输入下的总关断电流为 0.9 μA (典型值)。图 1-1 显示了 TPS1211-Q1 功能方框图。

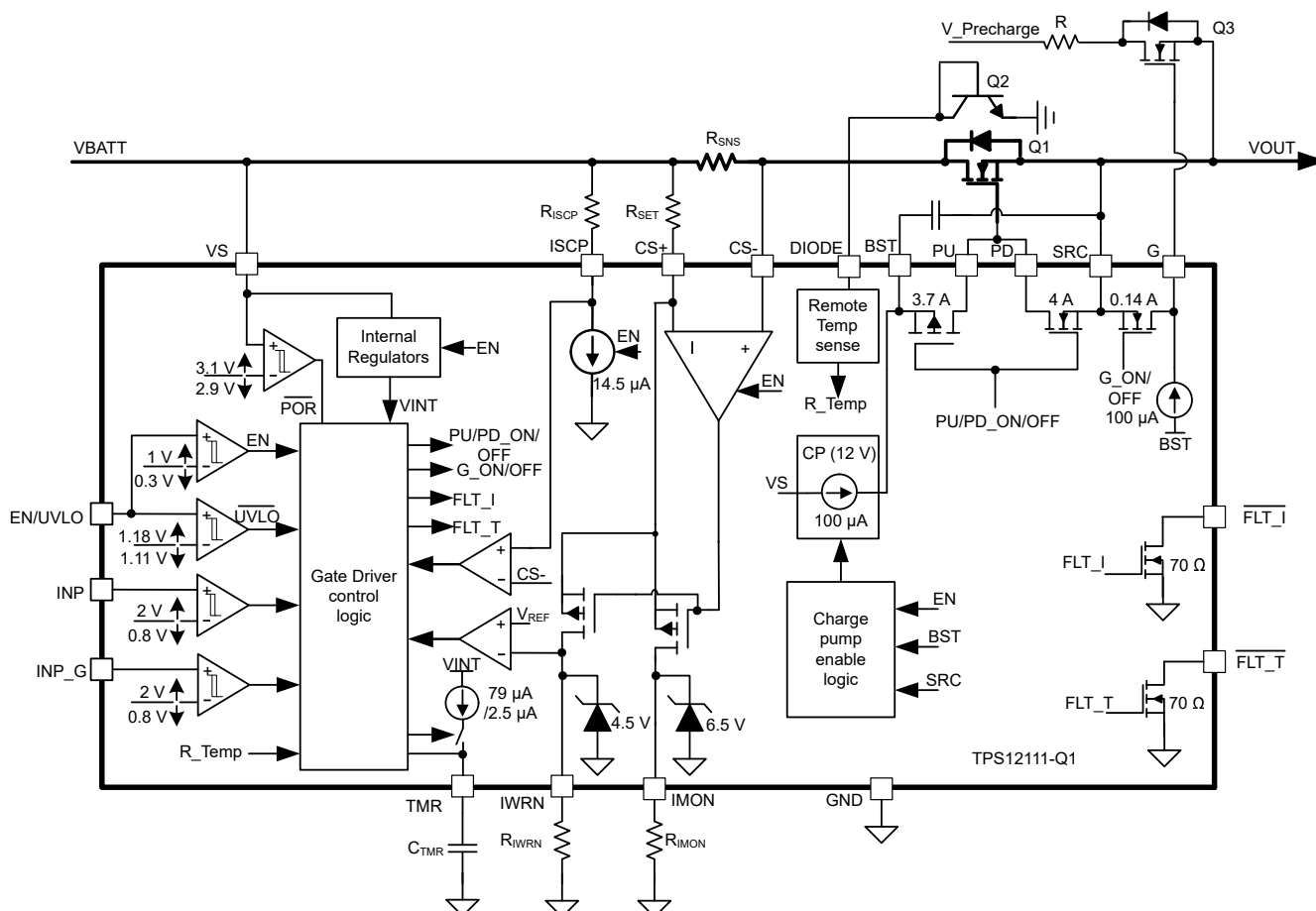


图 1-1. TPS1211-Q1 功能方框图

2 具有电池反向保护的系统设计示例

2.1 设计 1：配电盒

图 2-1 显示了具有双通道输出 V_{OUT1} 和 V_{OUT2} 的配电盒示例。输入电源可以来自电池或直流/直流。使用 LM74500-Q1 反极性保护控制器和外部 MOSFET Q1 实现分组输入电池反向保护方案。

LM74500-Q1 电池反向保护级的输出连接到 TPS12110-Q1 高边开关控制器。LM74500-Q1 电路可使 TPS12110-Q1 IC 和连接到输出端的负载在输入电池反向状态下受到保护。在输入电池反向条件下，LM74500-Q1 控制器将 GATE 拉至源，MOSFET Q1 关断，断开与下游 TPS12110-Q1 IC 和负载的输入电池连接。

TPS12110-Q1 不会接触到反向电压，因此在系统设计的这一部分中不需要任何特殊的反向保护技术。

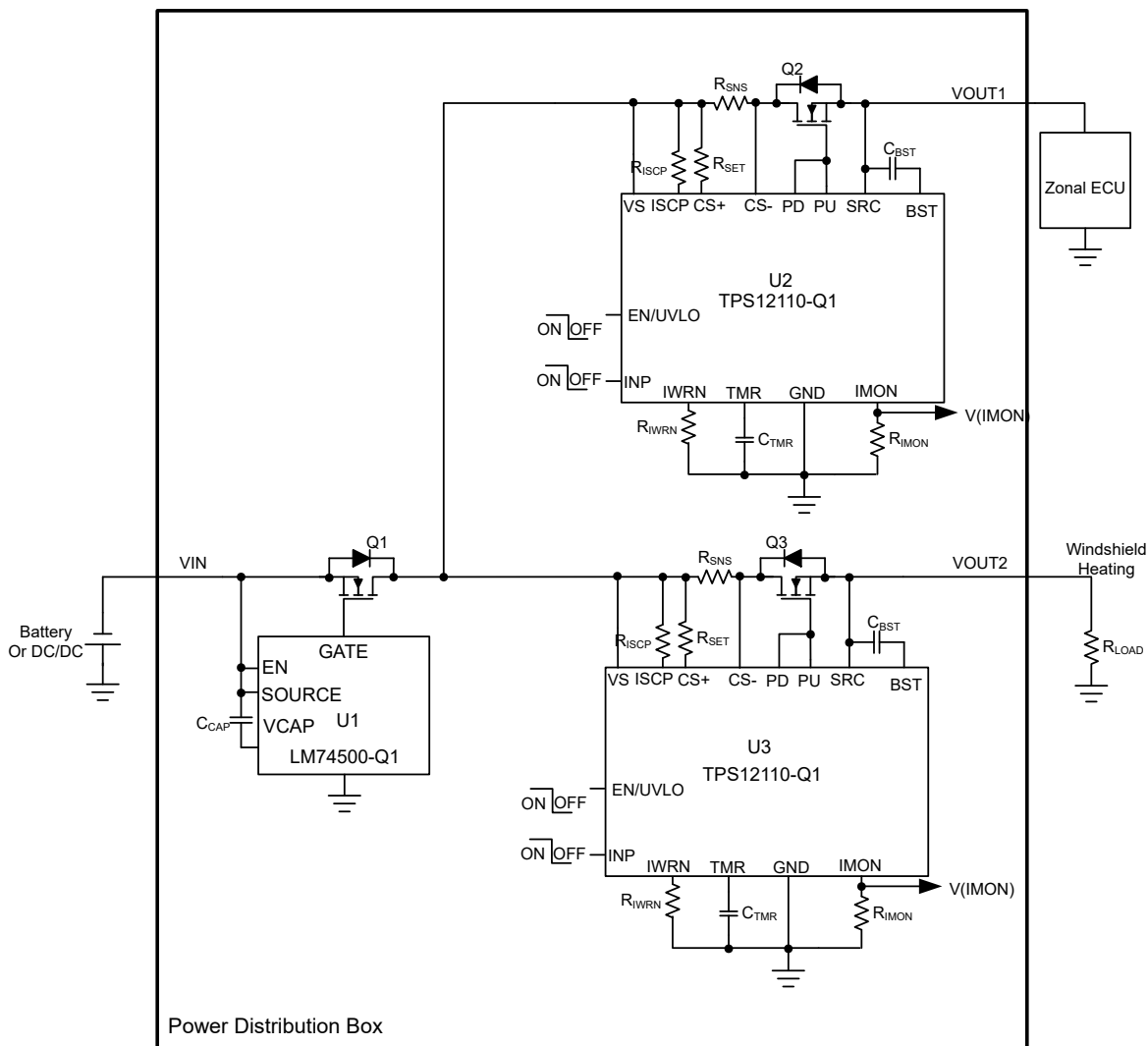


图 2-1. 采用 LM74500-Q1 控制器且具有分组电池反向保护功能的配电盒

2.2 设计 2：车身电机负载驱动

在汽车系统中，车身电机等负载可能会将能量传递回输入电源，并且需要反向过流保护。图 2-2 显示了基于背对背 MOSFET (Q1 和 Q2) 的 TPS12111-Q1 典型应用电路，用于设计适用于车身电机负载的安全断开开关。

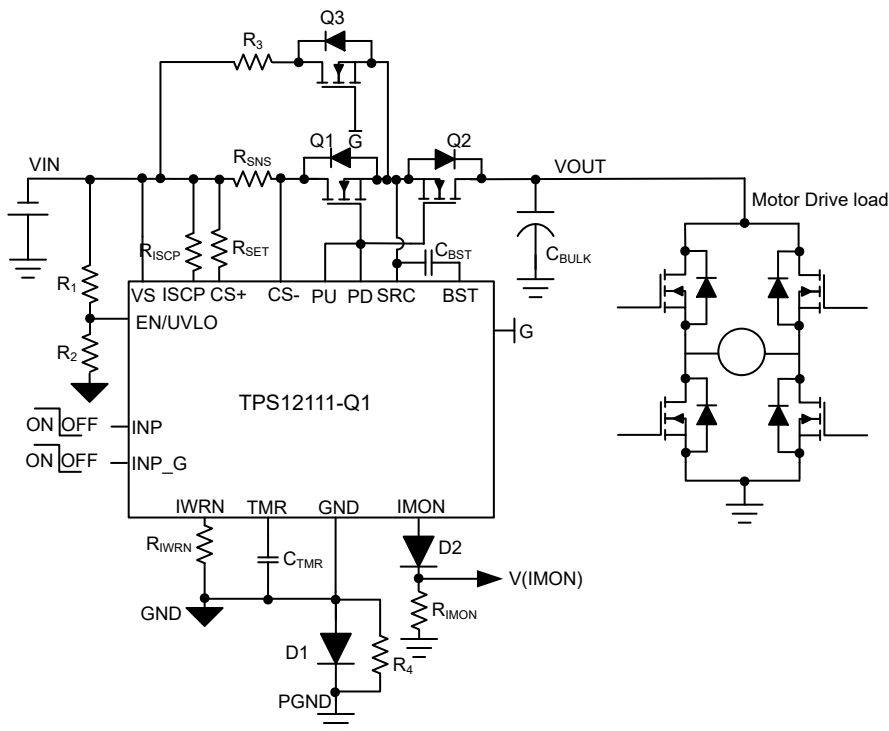


图 2-2. 用于驱动电机负载的 TPS12111-Q1 应用原理图

预充电电阻 R_3 和 MOSFET Q3 构成了输出电容 $C_{(BULK)}$ 的充电路径。在高电流设计中, 预充电路径通常用于将主 FET Q1 和 Q2 并联的系统设计。Q1 MOSFET 用于在过流、短路和欠压等系统故障期间断开负载。

若没有 MOSFET Q2，在输入电池反向条件下，由于 PGND、电机桥 MOSFET 和 MOSFET Q1 形成的闭合电路，将产生非常高的反向电流。这种高电流受电路寄生效应的限制，可能会损坏电机桥、MOSFET Q1 和 PCB 引线。在这种情况下，使用 MOSFET Q2 来阻断反向电流，因为 TPS12111-Q1 将 PD 拉至 SRC，以使 Q2 保持关断状态。

需要使用二极管 **D1** 和电阻器 **R₄** 来保护 **TPS12111-Q1** 在电池反向情况下不受反向电流注入的影响。二极管 **D1** 会向控制输入信号以及阈值设置添加失调电压，以检测欠压故障情况。

如图 2-3 所示, 用断开开关 Q4 替换 D1 和 R4 电路可以消除该失调电压。D1 是一个栅极钳位齐纳二极管, 其 V_z 低于 Q4 的 V_{GS} 绝对最大额定值。

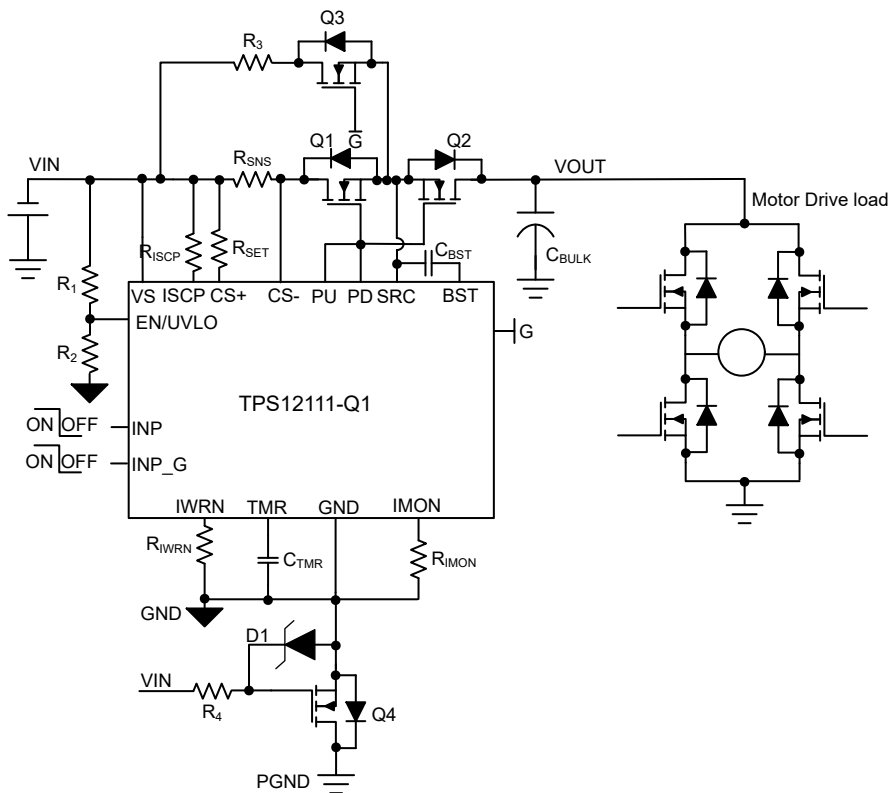


图 2-3. TPS12111-Q1 具有基于 MOSFET 的接地侧断开开关的应用原理图

2.3 设计 3：加热器负载驱动

与车身电机不同，用于座椅加热和挡风玻璃加热的 PTC 加热器等阻性负载不会产生反向电流，因此在技术上无需在电源开关路径中使用背对背 MOSFET。

下一节介绍了此类负载情况下的电池反向保护技术。

2.3.1 在关闭 MOSFET 的情况下实现电池反向保护

图 2-4 显示了用于驱动加热器负载的 TPS12110-Q1 应用电路。可以向 INP 引脚施加 PWM 信号，以控制负载的导通或关断持续时间。

由于电源路径中没有反向阻断 MOSFET，因此在电池反向情况下，有反向电流从 PGND、负载、MOSFET Q1 体二极管流向电池，如图 2-4 所示。

在这种情况下，MOSFET Q1 会出现高功率耗散，并会因体二极管上的过热和电流应力而损坏。添加反向阻断 MOSFET 可作为一种技术设计，用以避免这种应力并保护 MOSFET Q1。但是，诸如 $R_{DS(on)}$ 、额定电流等阻断 MOSFET 特性必须与 MOSFET Q1 相同。此设计使功率级的成本增加了一倍，并增加了设计尺寸，这在高电流系统设计中是不可接受的。

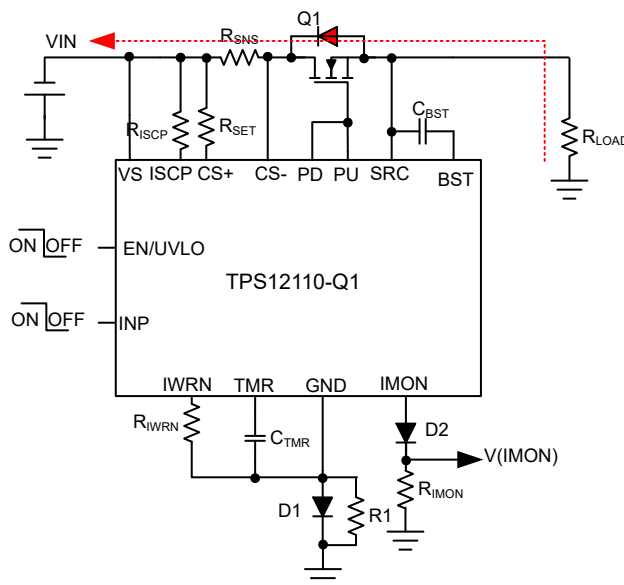


图 2-4. 在电池反向情况下，在 MOSFET 关闭的情况下驱动 PTC 加热器负载的 TPS12110-Q1 应用原理图

2.3.2 在打开 MOSFET 的情况下实现电池反向保护

在输入期间打开 MOSFET Q1 时，电池反向情况可解决节 2.3.1 中提到的难题。图 2-5 显示了用以在电池反向情况下打开 MOSFET Q1 的 TPS12110-Q1 应用电路。

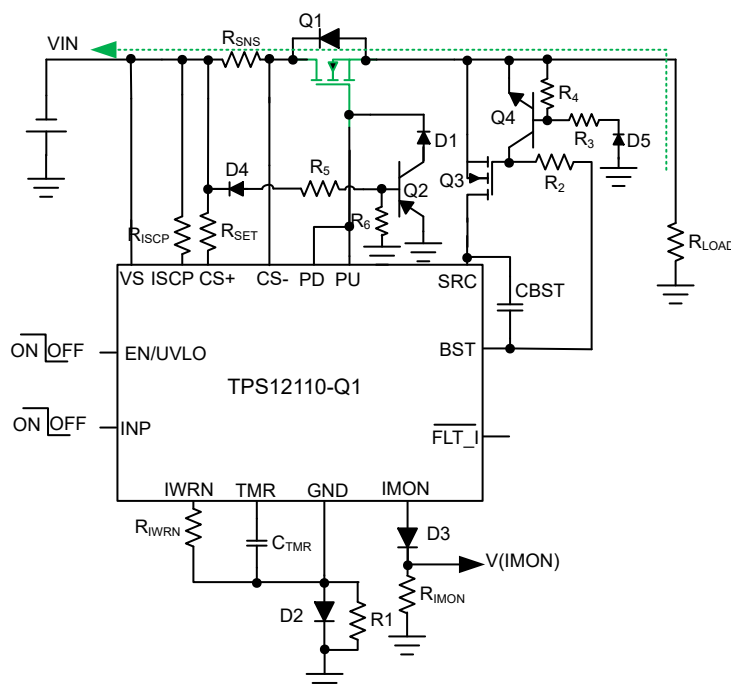


图 2-5. TPS12110-Q1 在电池反向条件下、MOSFET 导通时驱动 PTC 加热器负载的应用原理图

根据图 2-5 中所示的应用电路，可以在输入电池反向条件下打开 MOSFET Q1。在输入电池反向条件下，MOSFET Q1 的源极跟随输入反向电压。在此情况下，D5、R3、R4 路径会导通并打开 Q4，然后关闭 Q3。Q3 是一个信号 N-FET，用于在输入电池反向情况下将 Q1 的源极与器件 SRC 引脚断开。R6、R5、D4 路径会导通并打开 Q2。D1 的阳极通过 Q2 连接到 GND。Q1 的栅极电压被拉至 D1 (-1V) 的 V_F ，源极端子被拉至负 VIN 减去 Q1 的体二极管压降 ($-14V + 1V = -13V$)。这导致 $-1V - (-13V) = 12V$ 的 V_{GS} 驱动打开 MOSFET Q1，负载电流通过 MOSFET Q1 的 $R_{DS(on)}$ 。

在正 VIN 电平下的正常运行期间，Q2 和 Q4 关断。Q3 由 TPS1211-Q1 的 BST 驱动器打开，将 MOSFET Q1 的源极连接到 TPS1211-Q1 的 SRC 端子。二极管 D1 与 GND 断开连接。

- D1、D2、D3、D4、D5 = BAS40H,115
- Q2 = MMBT3906WT1G
- Q3 = PMV60ENEAR
- Q4 = MMBT3904WT1G
- R1、R4、R6 = 10k Ω
- R2 = 100k Ω
- R3、R5 = 1k Ω

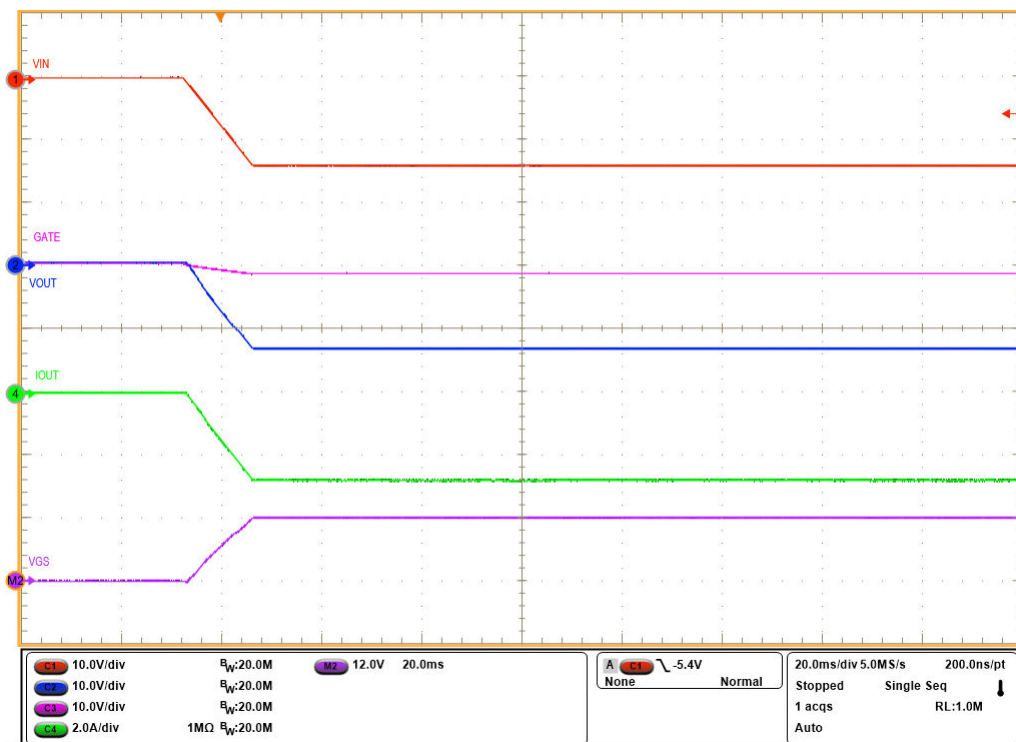


图 2-6. 展示了 MOSFET 导通时的电池反向保护的性能图

3 总结

根据负载类型，可通过背对背电源开关或正向负载开关拓扑实现电池反向保护。如本应用手册所述，各种电池反接保护系统设计示例均基于 **TPS1211-Q1** 高边开关控制器，可根据负载类型加以采用。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI) , [TPS1211-Q1 具有保护和诊断功能的 45V 汽车智能高边驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI) , [LM74500-Q1 反极性保护控制器](#) 数据表。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司