

Application Brief

低噪声齐纳二极管



Sebastian Muriel

简介

齐纳二极管是二极管系列中用途最为广泛的产品之一，因为齐纳二极管可用作低成本电压稳压器，还可针对过压事件提供钳位保护。作为电压稳压器和过压钳位，齐纳二极管可胜任许多不同的应用，例如电动工具或车辆中的电池管理电路。齐纳二极管也广泛用于可穿戴设备、充电器等应用的电源设计。电池供电应用可能需要低至 μA 级的工作电流，而大多数齐纳二极管的测试电流均以 mA 级为标准。在测试电流为 $50\text{-}500\mu\text{A}$ 的范围内， V_z 可能会出现显著漂移，对于要求电压严格稳定的应用而言，这可能是不可接受的。低测试电流下的这种 V_z 行为称为齐纳噪声现象。TI 的齐纳二极管 ($z \leq 8.2\text{V}$) 在这些较低的测试电流下具有较低的 V_z 漂移，适用于低电流运行的应用。这些二极管采用微型多源封装，与稳压器 IC 相比可以节省布板空间，也可以节省 BOM 成本。

齐纳噪声现象

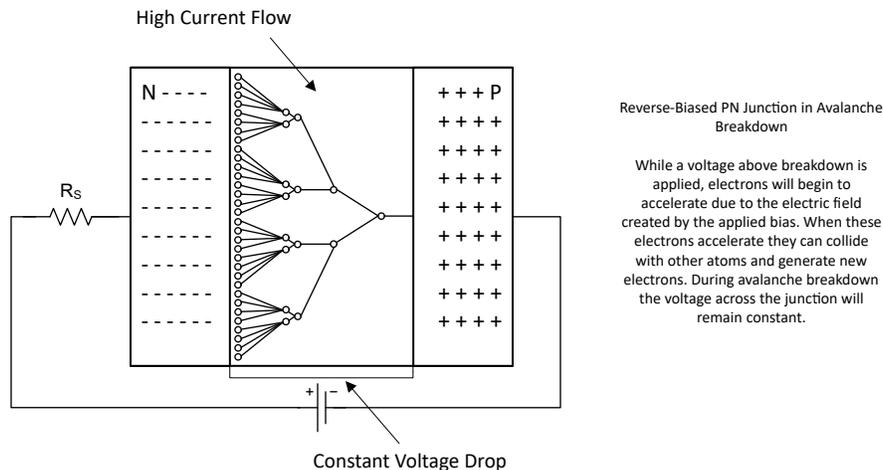


图 1. 反向偏置下进入雪崩击穿的 PN 结

要使齐纳二极管提供稳定的 V_z ，它必须进入雪崩模式，这需要两个条件：

- 施加的场强 (或反向电压) 足够高，能够使二极管进入击穿状态
- 一定的最小泄漏电流就必须流动

当电流低于 1mA 时，二极管可能会瞬间退出雪崩击穿状态。在这种情况下，二极管的行为可能与电容器类似。上升电压信号的时间常数由电流驱动器的电阻和二极管电容 (C_d) 决定。

一旦二极管充电至足够高的电压，就可能发生另一次雪崩击穿。在这些条件下，雪崩击穿的进入或退出周期会导致齐纳二极管上的电压上升，这种现象称为齐纳噪声。

图 2 显示了 39V 齐纳二极管在反向电流为 $50\mu\text{A}$ 时的噪声现象。在每个上升斜率之间，二极管会短暂退出雪崩模式，阻止电子通过 p-n 结合流动。一旦累积了足够的电荷，将束缚电子激发出来，就可能发生与其他电子的碰撞，从而电离出更多电子，直到再次触发雪崩击穿。在 $50\mu\text{A}$ 以内的低反向电流下，电压会下降，直到达到低于击穿电压，二极管再次退出雪崩模式。雪崩击穿状态的反复切换会导致齐纳噪声的产生。在反向电流达到约 1mA 或更高时，只要施加足够的反向电压，二极管就可以持续处于雪崩击穿状态。这也是为何大多数齐纳二极管都是在 mA 级反向电流下进行参数表征，此时可观察到更稳定的 V_z 。

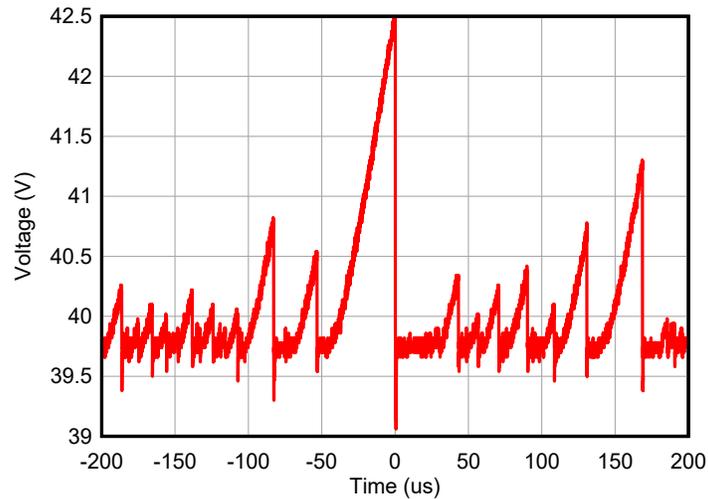


图 2. 50uA 时 Vz 为 39V

图 3 展示了 TI 的 BZX84C8V2 与某款竞品 8.2V 齐纳二极管在 50uA 测试电流下的 Vz 漂移情况。TI 二极管的峰值间电压更低，且具有更小的响铃，更快趋稳的 Vz。在这些较低的测试电流下，噪声现象更为明显，而 TI 的设计在所测试的二极管中表现出较低的峰值间噪声。

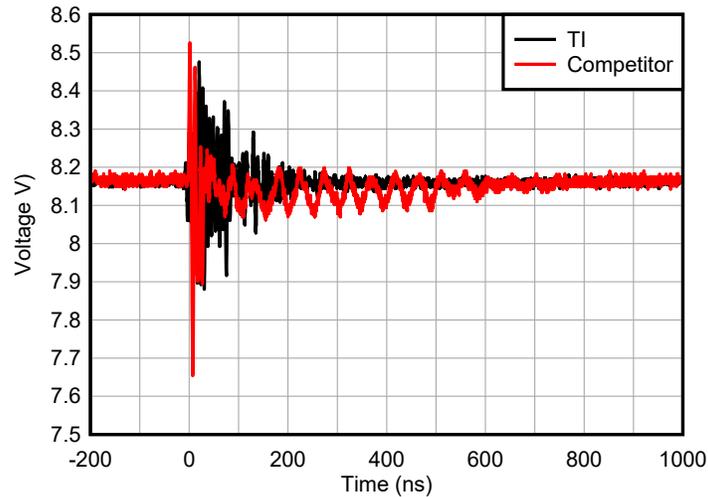


图 3. 50uA 时 Vz 为 8.2V

从理论上讲，随着测试电流的增加，峰值间噪声应会减小，因为更大的电流能在施加等于或高于 Vz 的电压时维持雪崩击穿状态。由于工艺技术的差异，维持雪崩击穿所需的电流可能因供应商而异。TI 的齐纳二极管在测试电流增大时持续展现出较低的噪声，而部分竞争产品在 500uA 下噪声反而更高。

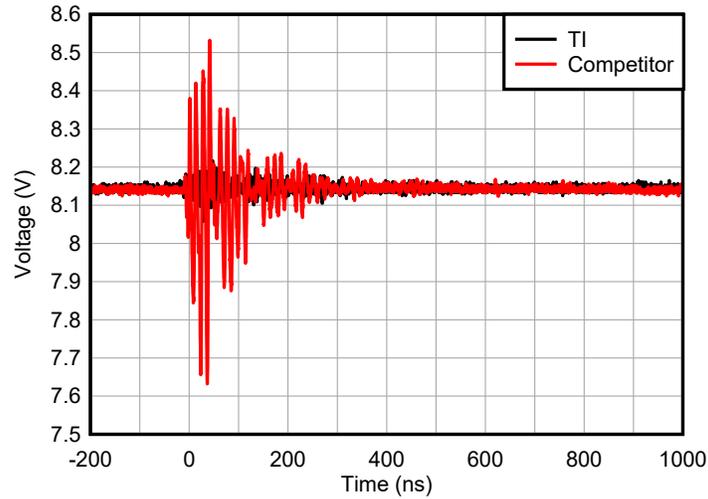


图 4. 500uA 时 V_z 为 8.2V

示例应用程序

齐纳二极管常用于具有监控功能的电池组设计，可用于检测电芯过压/欠压、过热，以及充放电过流等情况。在低电流下表征的齐纳二极管非常适合应用于电池管理单元的低功耗模式，此类模式下通常只能消耗几 μA 电流。齐纳二极管在电池组设计中的广泛应用不仅限于电压调节，还用于对诸如 MCU GPIO 或电池监控 IC 的温度传感器引脚等只能承受几伏特的敏感电路提供钳位保护。当齐纳二极管遇到瞬态脉冲，且偏置电流很小甚至没有时，过冲可能会更加严重。在这类场景中，能在低电流下保持稳定 V_z 的齐纳二极管可实现更稳定的钳位电压。

在下方所示的电池组参考设计的简化电路中，当开关(SW) 触发时，电芯 1 的电压可能会发生波动。若该电压未被钳位至绝对最大额定电压以下，电池监测 IC 的温度检测引脚可能受损。唤醒后电压监控将恢复正常，但仍需使用 D1 齐纳二极管以调节直流电压和/或钳位瞬态电压。

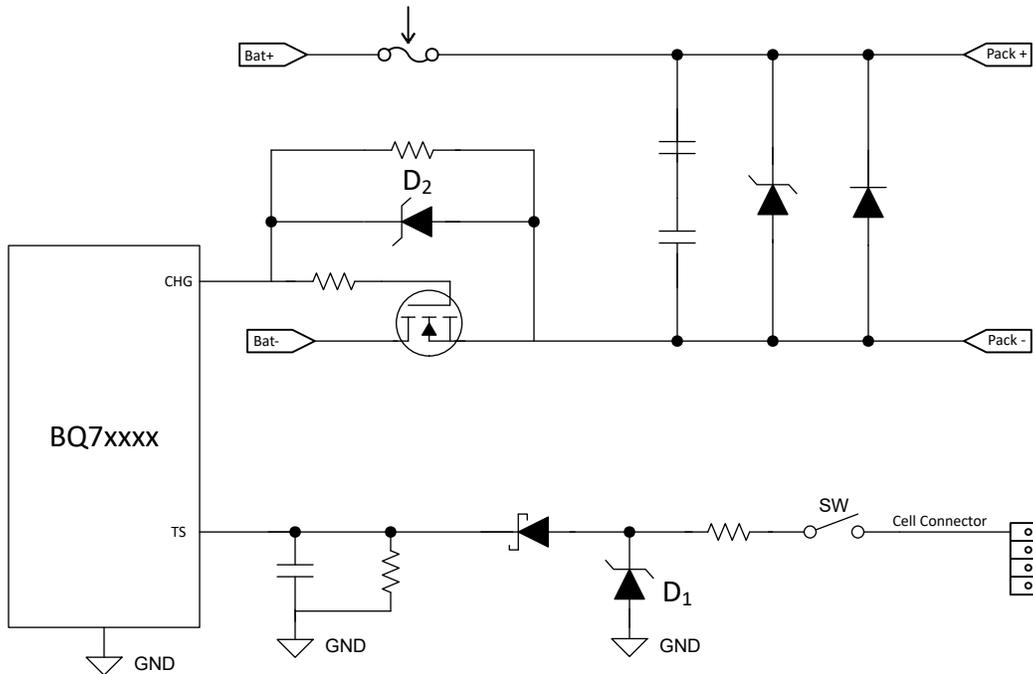


图 5. 简化的电池监控器保护电路

还需要 D2 齐纳二极管以实现钳位瞬变，这可能会损坏连接到电池组 +/- 连接的外部充电/放电控制 FET 的 V_{GS} 。在电池侧，电芯均衡 FET 也需要瞬态钳位保护。

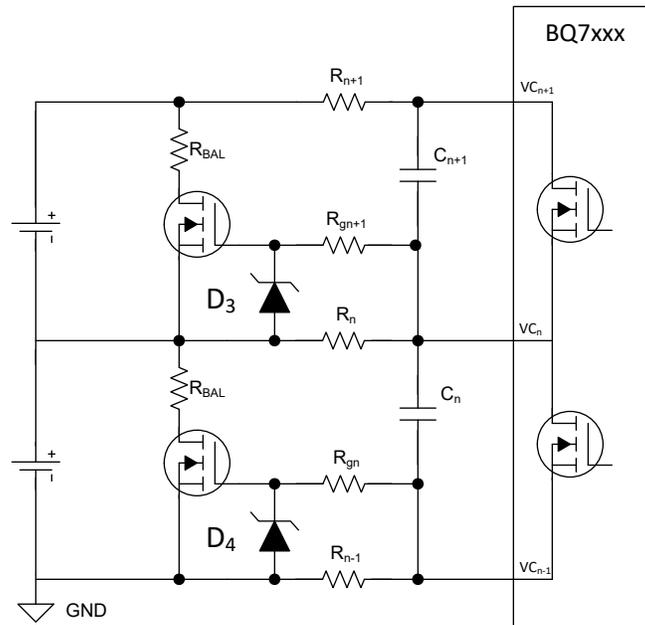


图 6. 简化的电池电芯保护电路

此电池组参考设计中还有一个 CAN 收发器，它使用 5.6V 齐纳二极管来钳制 5V 电源的任何电压峰值。

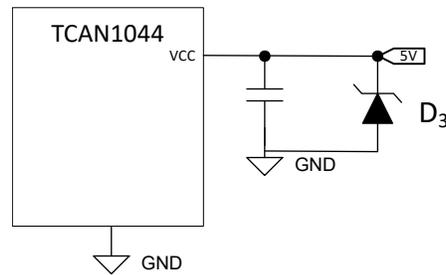


图 7. 电源引脚保护或稳压电路

在备用电池单元等电池供电应用中，为了最大限度延长续航时间，电源系统通常需在低电流下运行。下图中的 D1 和 D2 齐纳二极管用于将降压/升压控制器的 BOOT 至 SW 节点电压保持在绝对最大额定值以下。这些开关节点可能会响铃，导致 BOOT 至 SW 电压达到峰值。与业内常规齐纳二极管相比，TI 的产品具备更低电容。这一点对于开关节点电源尤为关键，有助于降低因寄生电容引起的额外开关损耗。

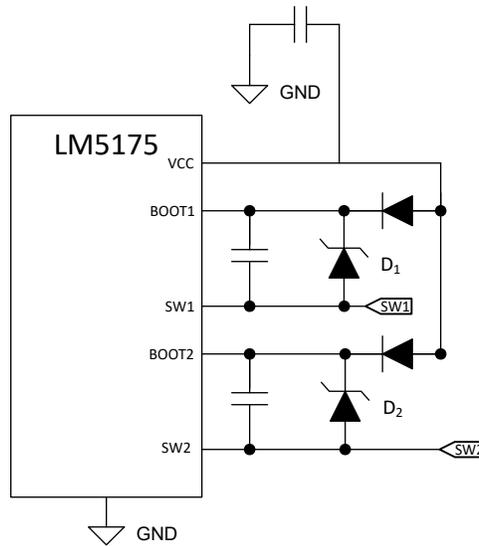


图 8. 降压/升压控制器 SW 节点保护

结语

齐纳二极管是电力电子中不可或缺的元件，广泛应用于多个市场，为系统提供经济且可靠的电压调节与钳位保护。但是，由于齐纳噪声现象的存在，需要表征低电流下的齐纳二极管性能来提供稳定的电压调节。TI 的低噪声齐纳二极管可在低至数 μA 的电流下仍保持稳定击穿电压，从而有效解决这一限制。详细了解并在此处浏览我们的齐纳二极管选型：[齐纳二极管](#)。

商标

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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司