

Technical Article

补偿二极管压降变化



John Betten

尽管二极管的整流特性很有用，但在不同温度下，它们产生的正向压降差异很大。这会增加损耗，可能会在电源中引入容差误差。

虽然可能无法消除二极管的损耗，但在某些应用中可以使用它们来减少容差误差。本文将提供三个示例，向您展示如何做到这一点。

您可以利用电阻器和齐纳二极管，构建一个简单的低电流稳压器。这类稳压器通常足以满足非关键应用的需求，如内部偏置电压。电路通常会将输出电压调节至大约 $\pm 10\%$ 容差。不过，通过增加一个串联二极管，可以改善稳压效果。

图 1 显示增加了一个与齐纳二极管串联的二极管。图 1 中的曲线绘制了不同齐纳电压的温度系数。当值超过 4.7V，温度系数会变为越来越大的正值，因此随着工作温度的升高，齐纳二极管上的电压将会增加。如果配合二极管的负温度系数，增加的齐纳电压一部分会因二极管正向电压降低而抵消，从而消除温度误差。

低于 4.7V 的齐纳值具有负温度系数，因此增加串联二极管实际上会加大调节误差。

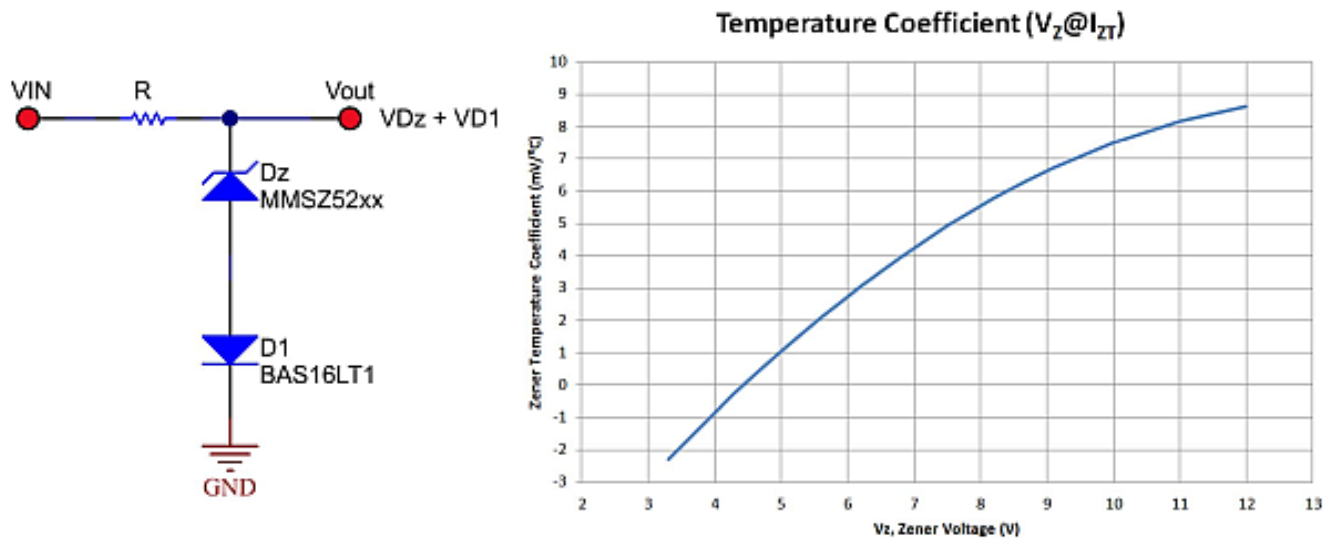


图 1. 正温度系数齐纳二极管与负温度系数二极管相串联，可减小温度误差。

例如，7.5V 齐纳二极管显示温度系数为 $+5\text{mV}/^\circ\text{C}$ ，而传统二极管 (BAT16) 在 10mA 下的温度系数约为 $-1.6\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。当二极管电流非常小时，该值变为越来越小的负值 ($-3\text{mV}/^\circ\text{C}$)，因此请务必在齐纳二极管的电流水平下进行检查。理想情况下，两个温度系数将完全抵消，但这并不现实，也并非总是有此必要，因为简单的改进可能就已足够。对于正温度系数更高的较高电压齐纳二极管，两个 (或更多) 二极管可能会改善消除效果。

图 2 显示了不同齐纳值 (无串联二极管、具有一个串联二极管和具有两个串联二极管) 的输出电压下，计算出的图 1 对应电压调节误差，工作温度在 25°C 和 100°C 之间。图 2 中的垂直线显示，在 7.5V 输出下，增加串联二极管可以将温度相关误差减小 3-5%。

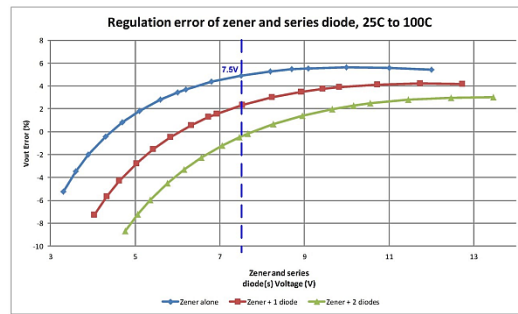


图 2. 在超过 4.7V 的齐纳值下增加一个或多个串联二极管可减小电压调节误差。

第二个示例涉及一些转换器，它们需要一个电平转换器来将输出电压信息发送到控制电路。

图 3 是负输入转正输出反相降压/升压。控制电路以 $-V_{in}$ 轨为基准，但输出电压以 GND 为基准。为了使控制电路准确调节输出电压，电平转换器会在“FB 和 $-V_{in}$ ”之间重建差分“ V_{out} 至 GND”电压。在这种实现中，电流源大约等于从 V_{out} 到 $-V_{in}$ 的 $(V_{out} - V_{be Q1})/R$ 流。该电流在下电阻器中流动，从而重建以 $-V_{in}$ 为基准的输出电压。通过添加配置为二极管的 Q2，会恢复从 Q1 损耗的 V_{be} 压降。现在，除了与 β 相关的小误差外，FB 引脚上的电平转换电压会密切复制 V_{out} 和 GND 之间的电平转换电压。

增加“二极管”Q2 的一个优点是，它的正向电压将非常接近 Q1 的电压，因为流经二者的电流几乎完全相同。要在 Q2 上实现最佳的电压匹配，应使用与 Q1 相同的晶体管。另一个优点是两个晶体管具有相同的温度系数，使得它们的正向电压可以更精确地相互跟踪。与 V_{be} 差异相关的温度误差得以显著减小，因为它们会互相抵消 ($V_{FB} \sim V_{out} - V_{be Q1} + V_{be Q2}$)。Q1 和 Q2 务必要彼此靠近放置，以便它们暴露在相同的温度下，或者使二者尽可能使用双晶体管封装。

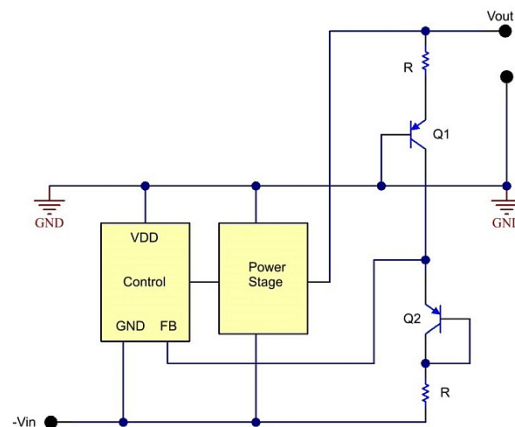


图 3. 电平转换器通过实现 Q2 来消除与 Q1 相关的差异。

图 4 中所显示的第三个示例显示了一个具有一系列电荷泵级的升压转换器，此时每个级“n”会在“ V_{n+1} ”时的总输出上增加大约“ V_1 ”。有关电压倍增器工作的更多详细信息，请参阅“[电源设计小贴士：倍增您的输出电压](#)”。

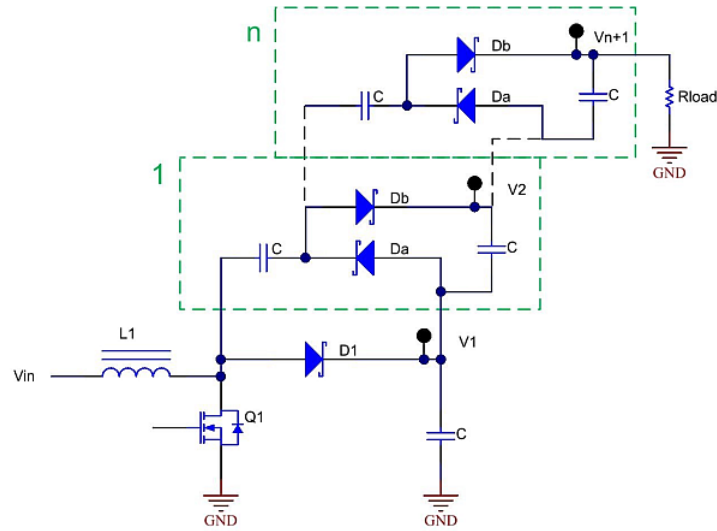


图 4. 电荷泵二极管压降可以相互抵消。

方程式 1 将总输出电压近似为：

$$V_{n+1} \sim (n+1) \times V1 + n \left(V_{D1} - V_{Da} - V_{Db} - \frac{I_{load}}{f_{sw} \times C} \right), n = \text{charge pump stages} \quad (1)$$

从方程式 1 可以看出， V_{n+1} 在很大程度上由 n 的倍数决定，但会因与二极管正向压降和电荷泵转换电容器纹波电压相关的“误差项”而降低。假设所有二极管类型相同，且其正向电压相等：

$V_{D1} = V_{Da} = V_{Db}$ ，则方程式 2 为：

$$V_{n+1} \sim (n+1) \times V1 - n \left(V_{D1} + \frac{I_{load}}{f_{sw} \times C} \right) \quad (2)$$

在方程式 2 中，右侧“误差项”会将输出降低至其理想的 $n+1$ 倍数以下。为了改善这一点，对 V_{Da} 和 V_{Db} 使用肖特基二极管，并对 V_{D1} 使用传统二极管，正向压降等于：

$V_{Da} = V_{Db} = V_{D1} / 2$ ，则方程式 3 为：

$$V_{n+1} \sim (n+1) \times V1 - n \left(\frac{I_{load}}{f_{sw} \times C} \right) \quad (3)$$

从方程式 3 可以看出，可以减小与二极管压降相关的误差项，从而进一步增加输出电压。虽然方程式 3 仍是一个近似值，但此概念有效，原因在于输出电压将会增加。

二极管正向电压和温度变化通常会降低电路性能，但并非总是如此。这些设计示例证明借助一些方法，可以消除或尽可能降低二极管的温度相关特性。

请在 Power House 上查看 TI 的 [电源设计小贴士博客系列](#)。

另请参阅：

- [轻松测量二极管电容和反向恢复](#)
- [电源设计小贴士 79：高压摆率负载瞬态测试](#)

之前在 [EDN.com](#) 上发布。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司