

## Technical Article

## 補償二極體壓降變化



John Betten

雖然二極體的整流特性十分實用，但是其產生的順向壓降可能會因溫度而出現大幅差異。如此會增加損耗，並可能導致電源供應器中出現容差誤差。

雖然可能無法消除損耗，但在特定應用中，仍可能以可減少容差誤差的方式來使用二極體。本文將提供三個範例，向您展示如何實現此目標。

您可以使用電阻器和稽納二極體來打造簡單的低電流電壓穩壓器。這類穩壓器通常適合用於內部偏壓電壓等非關鍵應用。電路一般會將輸出電壓調節至約  $\pm 10\%$  容差。但若能在串聯中加入二極體，便可改善穩壓。

圖 1 顯示添加了與稽納二極體串聯的二極體。圖 1 中的曲線繪製出各種稽納電壓的溫度係數。高於 4.7V 的值，溫度係數變為正值，因此隨着操作溫度升高，稽納二極體的電壓也會升高。如果搭配二極體的負溫度係數，增加的稽納電壓將會因二極體順向電壓減少而部分抵銷，進而消除溫度誤差。

低於 4.7V 的稽納值具有負溫度係數，因此在串聯中添加二極體，實際上會增加穩壓誤差。

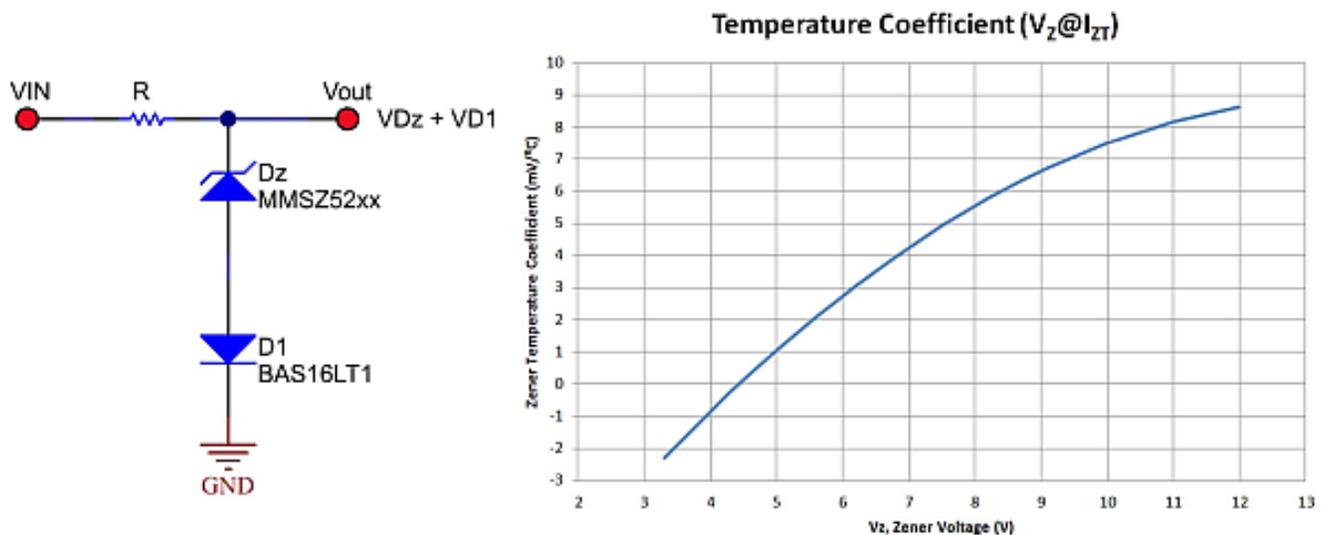


圖 1. 與負溫度係數二極體串聯的正溫度係數稽納二極體，可減少溫度誤差。

舉例來說，7.5V 稽納二極體顯示的溫度係數為  $+5\text{mV}/^\circ\text{C}$ ，而傳統二極體 (BAT16) 在 10mA 時約為  $-1.6\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。當二極體電流非常小時，此值的負值會越來越大 ( $-3\text{mV}/^\circ\text{C}$ )，因此請務必在稽納二極體的電流層級進行檢查。理想情況下，兩個溫度係數會完全抵銷，但這並不符合現實或一定必須如此，因為簡單的改善可能已經足夠。對於具有較高正溫度係數的較高電壓稽納二極體，兩個 (或更多) 二極體可改善抵銷效果。

圖 2 顯示所計算的圖 1 電壓穩壓誤差，以及與各種稽納值的輸出電壓比較：沒有串聯二極體、具有一個串聯二極體，以及具有兩個串聯二極體，且在  $25^\circ\text{C}$  到  $100^\circ\text{C}$  之間運作。圖 2 中的垂直線條顯示添加串聯二極體即可在 7.5V 輸出時將溫度相依誤差減少 3-5%。

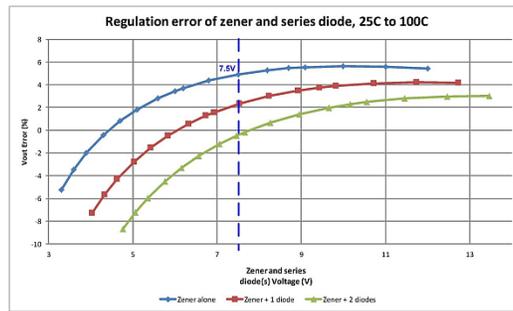


图 2. 以串聯添加一個或多個穩壓值超過 4.7V 的二極體，可減少電壓穩壓錯誤。

第二個範例包含需要位準移位器以將輸出電壓資訊傳送至控制電路的轉換器。

图 3 是負輸入到正輸出反相降壓升壓。控制電路參考  $-V_{in}$  軌，但輸出電壓參考 GND。為了讓控制電路準確調節輸出電壓，位準移位器會在「FB 與  $-V_{in}$ 」間重新產生差動「 $V_{out}$  至 GND」電壓。在此實作中，電流來源約等於  $(V_{out} - V_{be Q1})/R$  從  $V_{out}$  流至  $-V_{in}$  的 R。此電流會流入較低電阻器，以重新建構參考  $-V_{in}$  的輸出電壓。添加配置為二極體的 Q2，即可還原 Q1 的  $V_{be}$  壓降損失。FB 針腳的位準移位電壓現在可近似地複製  $V_{out}$  與 GND 間的位準移位電壓，但與  $\beta$  相關的小誤差除外。

添加「二極體」Q2 的優點之一，是其順向電壓將十分接近 Q1，因為兩者中會流過幾乎完全相同的電流。為了在 Q2 上實現最佳電壓匹配，您應使用與 Q1 相同的電晶體。另一個優點是兩個電晶體都具有相同的溫度係數，讓其順向電壓可更精確地追蹤彼此。與  $V_{be}$  變化相關的溫度誤差會顯著減少，因為它們會相互抵銷 ( $V_{FB} \sim V_{out} - V_{be Q1} + V_{be Q2}$ )。重點在於將 Q1 與 Q2 置於靠近彼此的位置，讓其可暴露在相同溫度下，或在可能的情況下，可使用雙電晶體封裝。

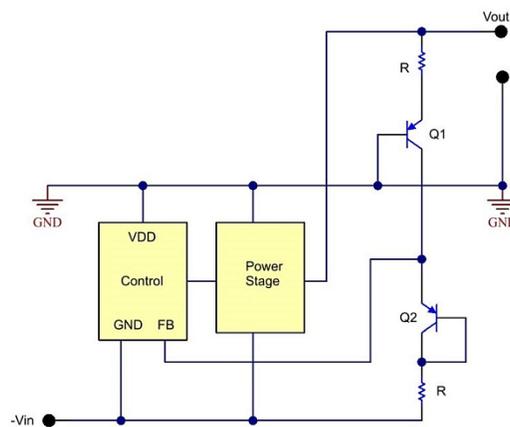


图 3. 位準移位器實作 Q2 以抵銷與 Q1 相關的變化。

图 4 中顯示的第三個範例，顯示了具有一系列電荷泵級的升壓轉換器，其中每一級「n」都會在「 $V_{n+1}$ 」的總輸出中加上大約「 $V_1$ 」。如需有關電壓倍頻器操作的更多詳細資訊，請參閱「[用電訣竅：進行輸出電壓倍頻](#)」。

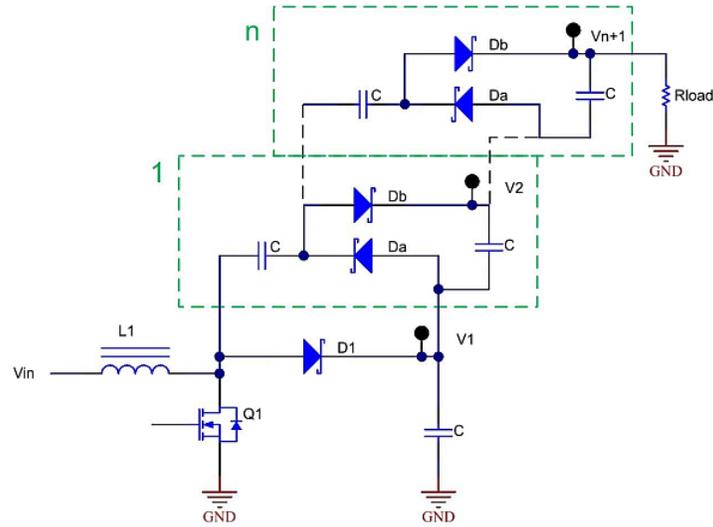


图 4. 电荷泵二极管压降可相互抵消。

方程式 1 计算总输出电压的近似值为：

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

在方程式 1 中，您可以看到  $V_{n+1}$  主要由  $n$  的倍数决定，但会因与二极管正向压降和电荷泵传输电容器之漣波電壓相關的「誤差項」而減少。假設所有二極體都是相同類型，且其正向電壓相等：

$V_{D1} = V_{Da} = V_{Db}$ ，則方程式 2 為：

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

在方程式 2 中，右側的「誤差項」將輸出減少至低於其理想的  $n+1$  倍數。為了改進這一點，針對  $V_{Da}$  和  $V_{Db}$  使用肖特基二極體，並針對  $V_{D1}$  使用傳統二極體，且正向壓降等於：

$V_{Da} = V_{Db} = V_{D1} / 2$ ，則方程式 3 為：

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

在方程式 3 中，您可以看到能夠減少與二極體壓降相關的誤差項，從而進一步增加輸出電壓。雖然方程式 3 仍是近似值，但概念是有效的，因為輸出電壓將會增加。

二極體正向電壓和溫度變化通常會降低電路性能，但不一定總是如此。這些設計範例展現了可抵消二極體溫度相依特性或將其最小化的方法。

歡迎查看 TI 在 Power House 的[用電訣竅部落格系列](#)。

另請參閱：

- [輕鬆測量二極體電容及反向復原](#)
- [用電訣竅 #79：高轉換速率的負載瞬態測試](#)

先前發佈在 [EDN.com](#) 上。

## 重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated