

## Technical Article

## 如何利用自偏置转换器简化交流/直流反激式设计



Max Wang

市场对更小、更轻、更高效的交流/直流 USB 供电 (PD) 充电器的需求一直是电源设计工程师面临的挑战。在 100W 以下，准谐振反激结构仍然是主要的拓扑结构，氮化镓 (GaN) 技术可以进一步提高功率密度和效率。

然而，为主控制器提供偏置功率需要变压器上的辅助绕组以及整流和滤波电路。更糟糕的是，USB PD 充电器的输出电压范围很广。例如，USB PD 标准功率范围涵盖 5V 至 20V 输出电压，而最新的 USB PD 扩展功率范围支持的输出电压高达 48V。

由于辅助电压与输出电压成正比，主控制器上的偏置电压范围将扩大，因此需要额外的电路，而且还会降低效率。在这个电源设计小贴士中，我将介绍一种自偏置反激式转换器解决方案来应对这些设计挑战。

## 处理宽偏置电压

图 1、图 2、图 3 和图 4 显示了在 USB PD 充电器应用中处理宽偏置电压范围的四种不同方法。传统方法包括使用线性稳压器、抽头辅助绕组，甚至通过增加一个额外的直流/直流开关转换器来调节偏置电压。所有这些方法都会增加元件数量，增加成本或功率损耗，而自偏置完全消除了外部元件并提高了效率。

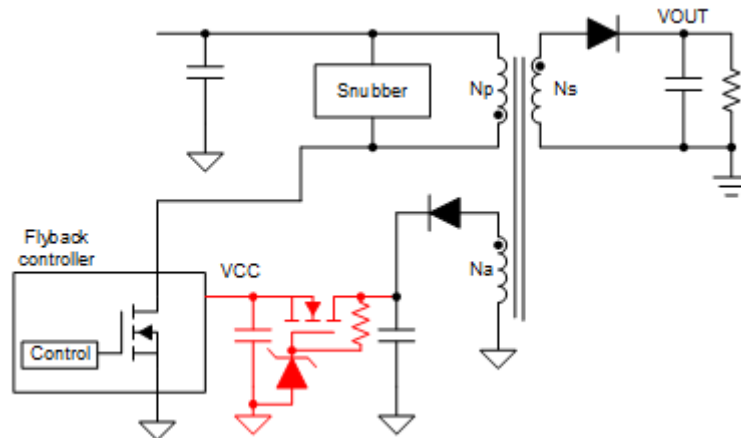


图 1. 采用离散线性稳压器且具有宽输出电压范围的应用的偏置电路。来源：德州仪器 (TI)

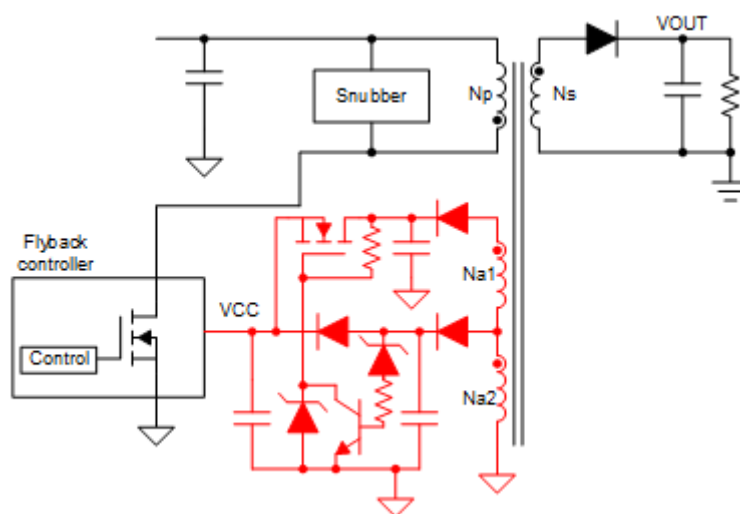


图 2. 采用抽头辅助绕组且具有宽输出电压范围的应用的偏置电路。来源：德州仪器 (TI)

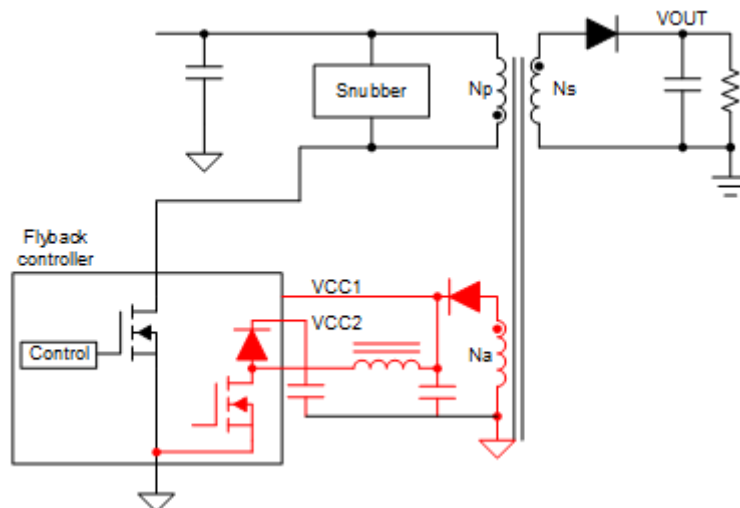


图 3. 采用升压转换器且具有宽输出电压范围的应用的偏置电路。来源：德州仪器 (TI)

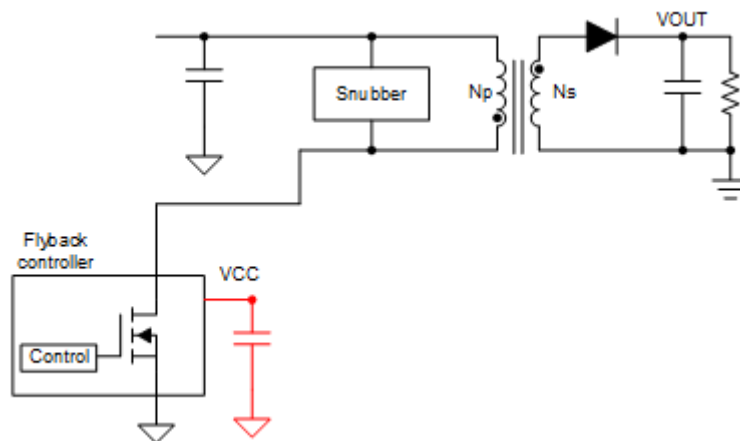


图 4. 采用自偏置 VCC 且具有宽输出电压范围的应用的偏置电路。来源：德州仪器 (TI)

## VCC 自偏置

反激式控制器总是可以直接从整流的交流输入电压中获得偏置功率，但这会导致功率损耗过大。自偏置的关键是从功率级收集能量，这些能量可以来自两个来源。一个是开关节点电容器存储的能量；另一个来源是存储在变压器的初级侧绕组中的能量。如图 5 所示，根据输入和输出条件，集成的自偏置电路理想情况下可以从这两个来源获取能量。

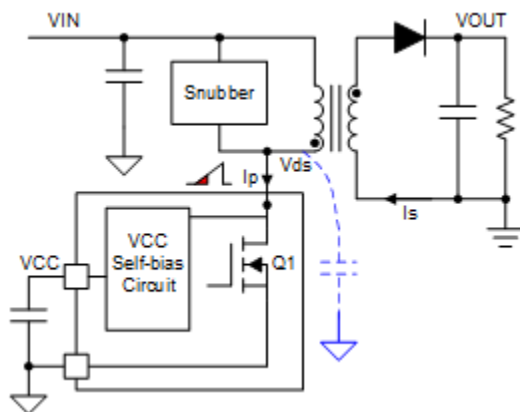


图 5. 自偏置电路从开关节点电容或磁化电感中获取能量。来源：德州仪器 (TI)

图 6 显示从开关节点电容器收集到的能量。这样就可以在每个开关周期中回收开关节点电容器中存储的能量，从而提高效率。在交流低线路输入等情况下，当反射输出电压与输入电压相同时，将发生自然零电压开关，并且开关节点电容器中没有能量，此时，电感能量收集将发挥作用，其中一小部分初级侧开关电流通过内部路径定向到 VCC 电容。

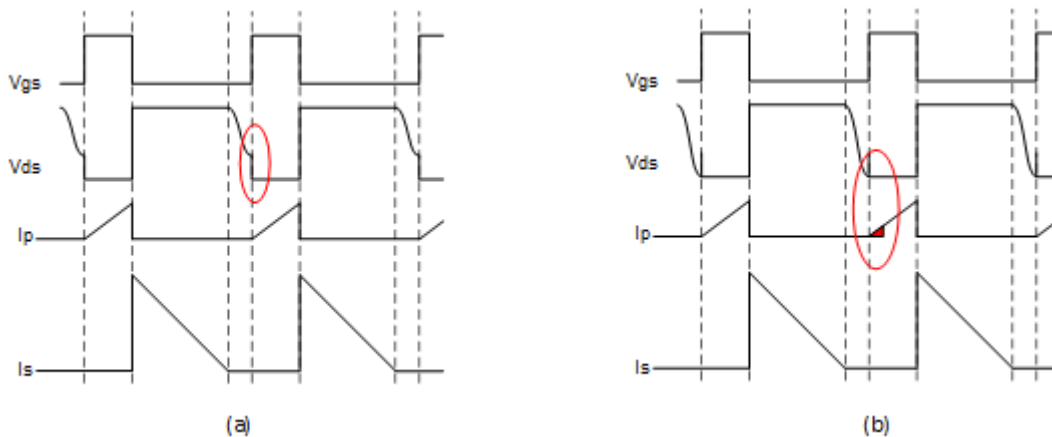


图 6. VCC 自偏置工作：(a) 在开关节点上收集电容器能量以及 (b) 通过初级侧电流收集电感能量。来源：德州仪器 (TI)

## 实现无辅助检测

许多反激式控制器都使用辅助绕组来检测输入和输出电压，并检测输出过压或输入欠压等情况。借助自偏置反激式转换器，可以使用开关节点电压进行输入和输出电压检测。如图 7 所示，检测到的电压为输入电压和反射输出电压之和。由于初级侧绕组上的平均电压为零，因此开关节点电压的平均值等于输入电压。

对于输出电压检测，它可以对反射输出电压进行采样，并且需要使用电阻器可编程引脚 [德州仪器 (TI) UCG28826 中的 TR 引脚] 告知控制器变压器的确切匝数比。

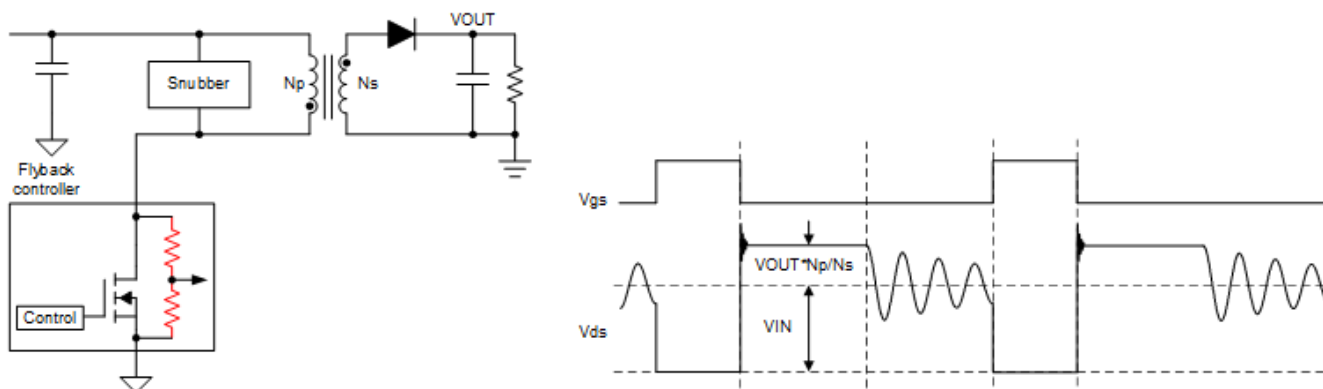


图 7. 无辅助电压检测，其中，检测到的电压是输入电压和反射输出电压之和。来源：德州仪器 (TI)

正确配置后，UCG28826 等自偏置器件可以准确提供各种保护，比如过功率和过压保护。图 8 显示了 USB PD 应用中的 UCG28826。

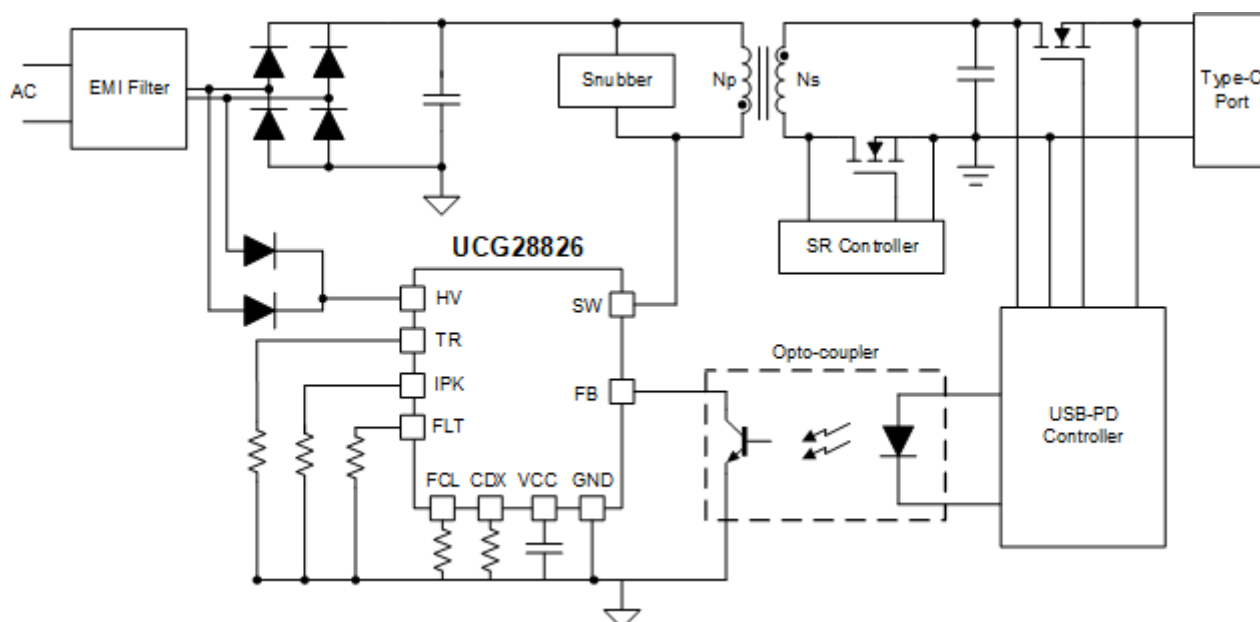


图 8. 采用 UCG28826 的自偏置 USB PD 设计，该设计可以准确提供过功率和过压保护等各种保护。来源：德州仪器 (TI)

图 9 显示了在单故障情况下，故意断开反馈引脚后的过压保护波形。对于标称 20V 输出，当输出上升到约 24.4V 时，控制器会检测输出电压并相应触发过压保护。

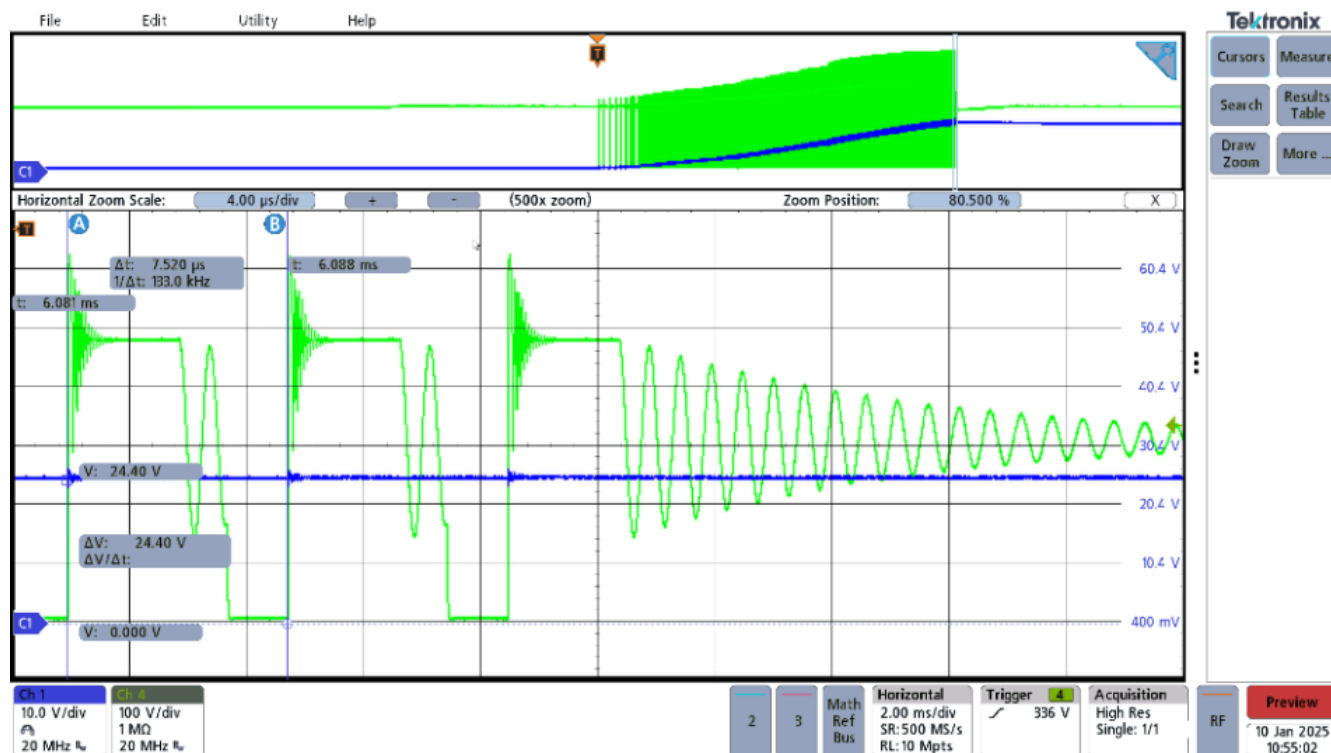


图 9. 通过无辅助检测实现过压保护的示例。通道 1 (CH1) 为  $V_{out}$ ，通道 2 (CH2) 为  $V_{sw}$ 。来源：德州仪器 (TI)

#### 原型设计和测试结果

图 10 显示了内置 GaN 电源开关的 TI 通用交流输入 65W 双 USB Type-C 端口 USB PD 充电器参考设计。由于在 UCG28826 中简化了自偏置特性并集成了 GaN 开关，因此，该参考设计在交流/直流级实现了  $2.3\text{W}/\text{cm}^3$  的功率密度和 93.2% 的转换效率。无辅助设计还简化了变压器制造并降低了成本。表 1 汇总了 65W 参考设计的设计参数。

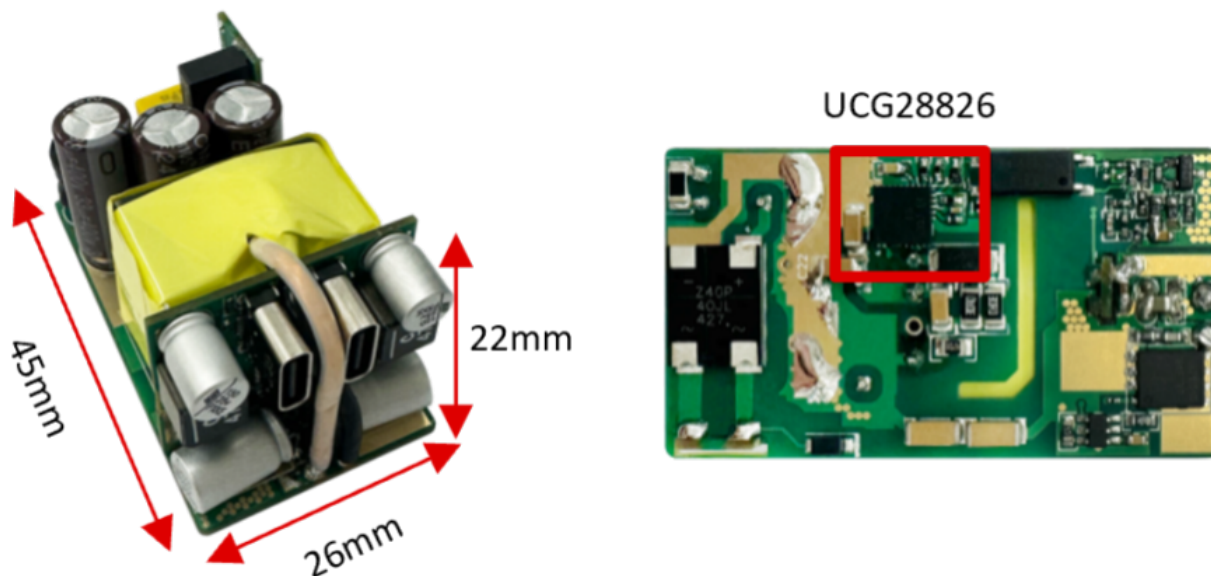


图 10. 通用交流输入 65W 参考设计电路板。来源：德州仪器 (TI)

表 1. 通用交流输入 65W 参考设计参数。

参数	值
交流输入电压	90-264V <sub>AC</sub>
输出电压和电流	5-20V, 3.25A ( 最大值 )
变压器	ATQ23-14
匝数比	7:1
变压器电感	200μH
开关频率 ( 满负载 )	90-140kHz
效率	93.2%, 在 90V <sub>AC</sub> 时 ( 仅限交流/直流级 )
功率密度	2.3W/cm <sup>3</sup>

## 简化版 USB PD 充电器

通过与控制器和 GaN 开关进行高级集成，可以简化 USB PD 充电器设计，但控制器的偏置电路和变压器上的相关辅助绕组仍然存在，这会降低效率并影响尺寸和成本。

集成的自偏置电路可以消除电路的这一部分，并增加具有宽范围输出的电源的功率密度。此外，在变压器上没有辅助绕组的情况下，仍然可以实现适当的输入和输出电压检测。

## 相关内容

- [拆解 GaN 充电器](#)
- [USB Type-C PD 3.0 规范、充电和设计](#)
- [电源设计小贴士 #138：闭合图腾柱无桥 PFC 控制环路的三种方法](#)
- [电源设计小贴士 #127：使用先进控制方法提高基于 GaN 的 PFC 的功率密度](#)
- [电源设计小贴士 #115：GaN 开关集成如何在 PFC 中实现低 THD 和高效率](#)
- [电源技巧 131：面向 1kW 高密度 LLC 电源模块的平面变压器尺寸和效率优化算法](#)

先前发布于 EDN.com 上。

## 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