

Application Note

如何确定 VCC 自偏置 GaN 反激式转换器的 VCC 电容器的大小



Max Wang, Jennu Ou

摘要

本应用手册介绍如何确定 VCC 自偏置氮化镓 (GaN) 集成反激式转换器的 VCC 电容器大小。本文档首先介绍 USB PD 充电器应用中 VCC 自偏置的优势。随后，本文档讲解在不同交流线路和负载条件下的 VCC 自偏置，着重介绍 VCC 自偏置在保持稳定 VCC 电压方面的作用，以及对空载功耗的影响。讨论进一步延伸到适当 VCC 电容的设计计算，验证 VCC 电压是否稳定和空载功耗是否已降至最低，目标功耗低至 30mW。此综合分析为在功耗敏感型应用中提高基于 GaN 的反激式转换器的性能和效率提供了基本准则。

内容

1 简介.....	2
2 不同交流线路和负载条件下的 VCC 自偏置.....	3
3 VCC 电容器配置.....	4
4 VCC 自偏置 GaN 反激式 65W 交流/直流 USB PD 充电器.....	6
5 总结.....	7
6 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

交流/直流 USB 电力输送 (PD) 充电器需要更高的效率和紧凑的尺寸，这给电源设计带来了重大挑战。对于低于 100W 的电源应用，准谐振 (QR) 反激式拓扑尤其受欢迎，因为它利用谷底开关技术提高了效率并降低了开关损耗。随着 GaN 等半导体技术的进步，反激式拓扑不断实现更高的功率密度和效率，使其成为 USB PD 充电器和其他紧凑型电源等应用的理想之选。图 1-1 显示了 TI 采用自偏置 VCC UCG28826 的 GaN 集成反激式转换器。

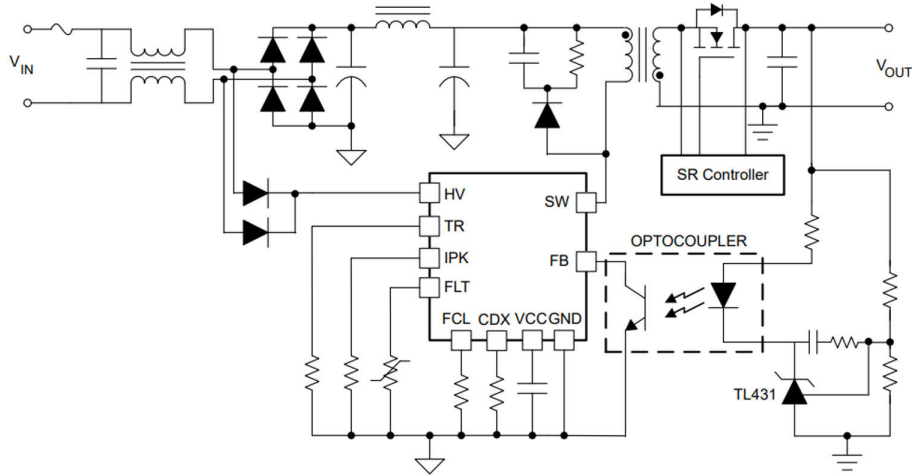


图 1-1. 采用 UCG28826 的交流/直流反激式转换器的简化原理图

对于大部分反激式控制器，VCC 引脚为器件提供偏置，从而为内部基准、栅极驱动器、稳压器、控制电路和保护功能供电。需要通过辅助绕组提供额外的整流电路来提供 VCC 偏置。因此，使用此方法获得的 VCC 偏置与输出电压成正比。因此，这就产生了两个问题：辅助绕组会增大电路的体积，而需要宽输出电压范围的应用则需要内部和外部功率转换级来缩小至 VCC 范围，从而增加外部元件并降低效率。

自偏置 VCC 电路可用于应对上述问题。通过在 VCC 引脚上采用电容器，可以收集开关节点和变压器中存储的能量，作为控制器的电源。使用该方法，无需辅助绕组。该方法利用正确的外部电容器配置来实现精确的电压检测和输出电压。此外，去除辅助绕组不仅简化了变压器制造，还简化了 EMI 设计过程。

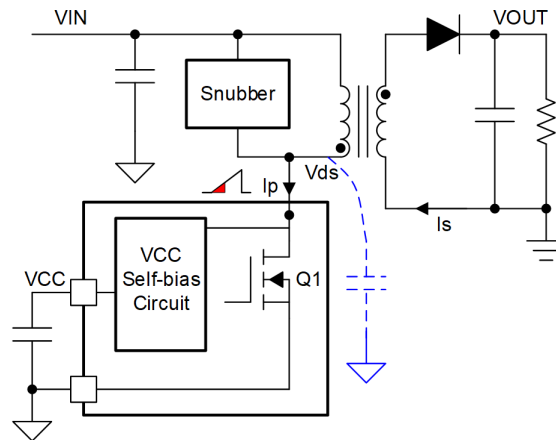


图 1-2. VCC 自偏置

2 不同交流线路和负载条件下的 VCC 自偏置

VCC 自偏置电路旨在根据输入和输出条件执行能量收集。如 图 2-1 中所示，在 QR 反激式操作期间电路从开关节点电容器实现能量收集。在特定条件下（例如低交流线路输入），当反射输出电压等于或超过 VBUS 输入电压且 Coss 电容器中没有存储能量时，将从电感器中收集能量，如 图 2-1 中所示。一小部分初级开关电流通过内部路径流向 VCC 电容器。因此，UCG28826 可在不同的工作条件下无缝地从电容器和电感器收集能量。

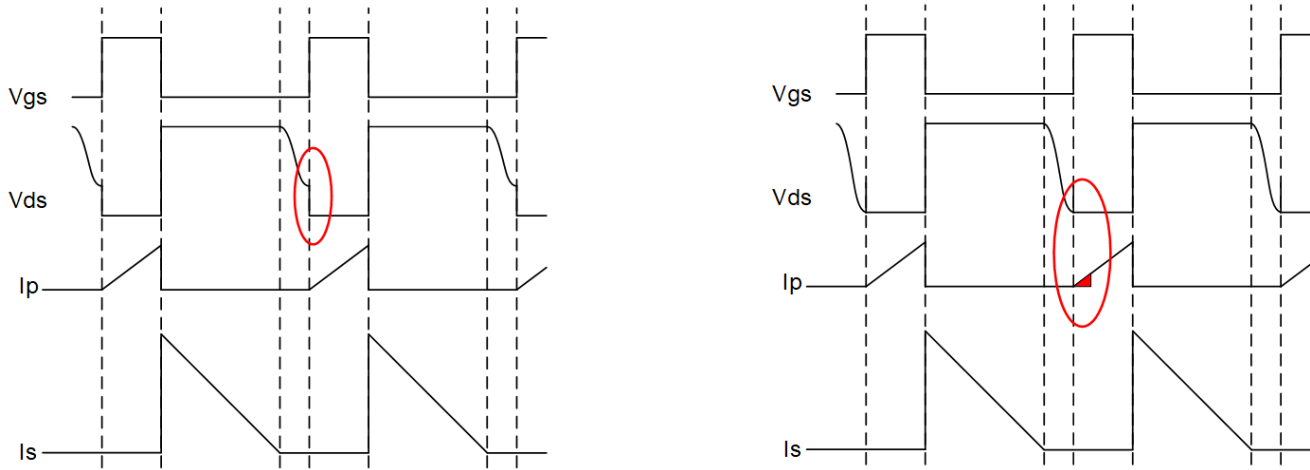


图 2-1. VCC 电容器能量收集

为了验证 VCC 电压在每个开关周期内是否持续，在没有开关事件的较长周期内会出现潜在的挑战，例如在开路负载条件或突发模式下，非开关间隔可能会延长至超过 40ms。在这种延长的间隔期间，需要额外的能量来维持 VCC 电压。如 图 3-1 中所示，当 VCC 电压降至 5.6V 以下时，UCG28826 通过从高压 (HV) 引脚提供 VCC 偏置来解决此问题。但是，这种方法可能会效率较低，尤其是当 HV 引脚电压明显高于 VCC 电压时。为了优化效率，请在 HV 引脚电压接近 VCC 电平（通常在交流线路周期的过零点附近）时为 VCC 电容器充电。该方法可最大限度地减少了能量损耗并提高了 VCC 充电效率，从而提高空载功耗性能。如果不实施此策略，在轻负载或无负载条件下可能会对系统的整体功效产生不利影响。因此，正确配置 VCC 电容器的容值非常重要。

3 VCC 电容器配置

假设 VCC 电压略高于触发 VCC 充电的 5.6V 阈值（例如假设 $V_{CC} = 5.61V$ ），并在 HV 引脚上发生过零事件之后。在这种情况下，需要计算所需的电容，以确保在下一个半个线路周期过零之前 VCC 电压不会降至 5.3V 的承受水平以下，从而激活高压充电路径。当在突发模式下 UCG28826 的静态电流等于 250mA 时，电压在 10.6ms（47Hz 交流周期的一半时间）内从 5.6V 下降到 5.3V，根据 [方程式 1](#) VCC 电容必须为 8.83μF

$$I = C \times dV/dt \quad (1)$$

考虑到直流电压降额、温度影响和容差，10μF 电容器是用于通过自偏置功能保持 VCC 电压调节的最小电容，否则 VCC 电压在半个交流线路周期内降至 5.3V 以下，并在 HV 引脚变为高电平时触发随机充电事件，从而可能导致额外的空载功耗。如 [图 3-1](#) 中所示，当 VCC 电容器为 4.7μF 时，VCC 充电频率是随机的，在这种情况下空载功耗为 86mW。

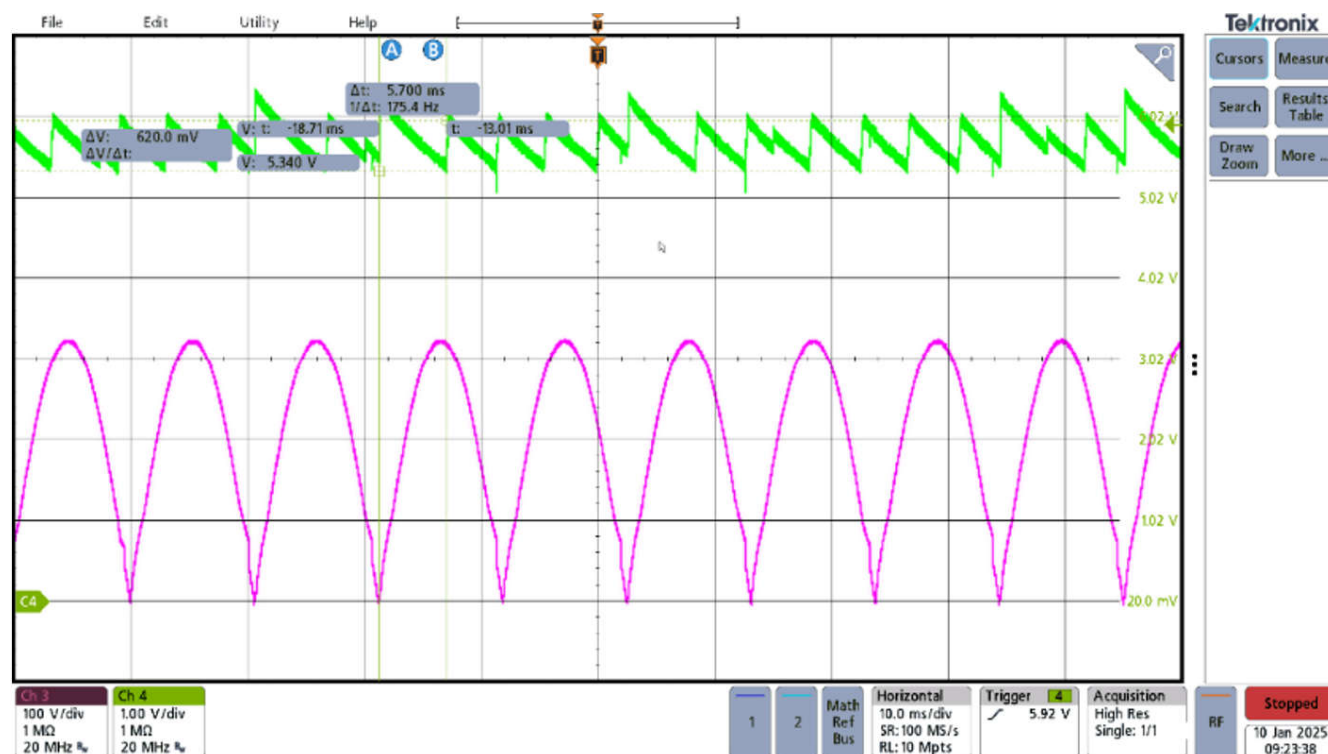


图 3-1. 230VAC，47Hz，VCC=4.7uF，开路负载，89mW 待机功耗、CH3：HV CH4：VCC

VCC 电容会增加，以延长半个交流周期内保持在 5.3V 以上的时间，因此电容不太可能在交流过零处为 VCC 充电。如 [图 3-2](#) 中所示，当 VCC 电容器为 20μF 时，VCC 充电频率为 47Hz，空载功耗为 28mW。

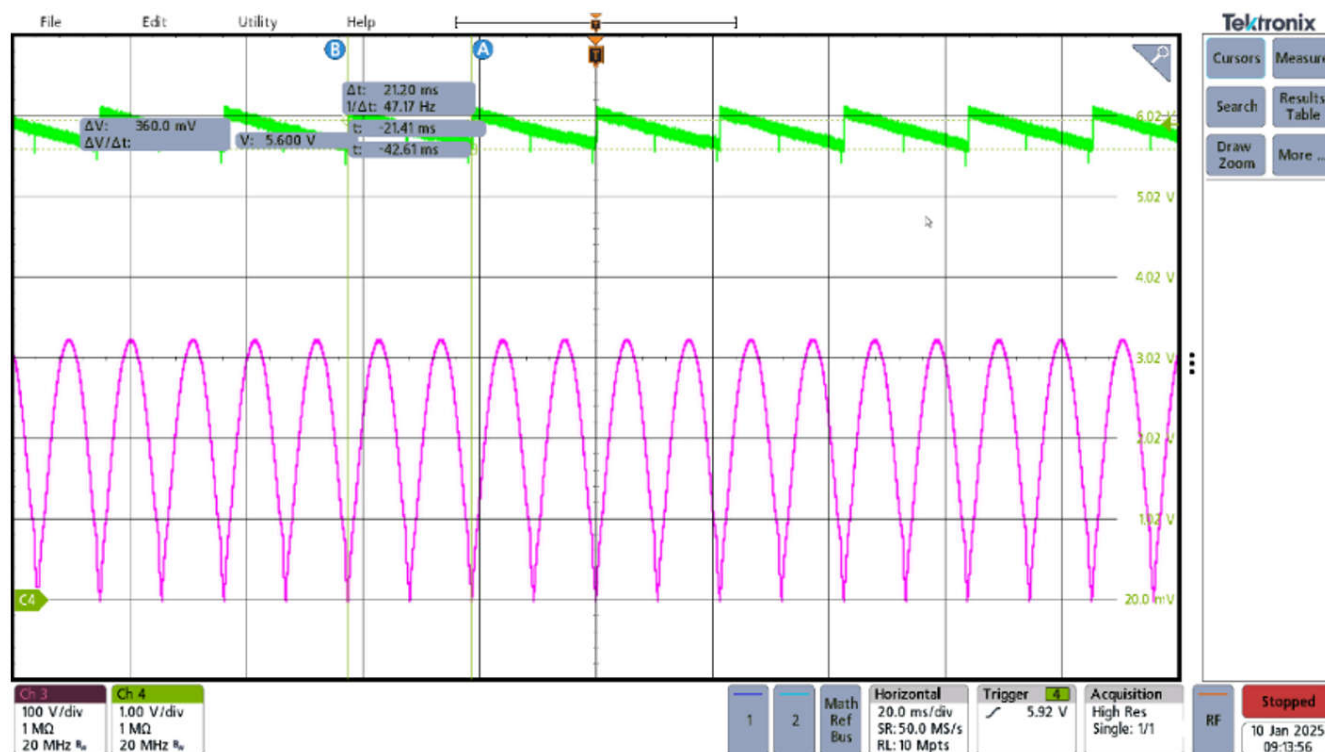


图 3-2. 230VAC , 47Hz , VCC=20uF , 开路负载 , 28mW 待机功耗 , CH3 : HV CH4 : VCC

表 3-1 列出了不同 VCC 电容器的性能结论表。

表 3-1. 不同 C_{VCC} 下的性能结论

测试条件	C_{VCC}	VCC 充电频率	空载功耗
230VAC , 47Hz , 开路负载	4.7 μ F	随机	86mW
230VAC , 47Hz , 开路负载	20 μ F	47Hz	28mW
230VAC , 47Hz , 开路负载	44 μ F	47/2=23.5Hz	27.2mW

为了验证测试结果的准确性, 请勿在 HV 引脚上使用高电容探头或将 HV 引脚串联的任何较大的电阻器为置有效。对于第一种情况, 考虑到 HV 引脚具有高阻抗特性, 该引脚上存在额外的电容会阻止在交流线路的每个半个周期内放电至大约 0V。这种干扰可能导致 IC 无法与过零点处的线路频率同步。因此, 在 HV 引脚电压下可能会不规律地进行 VCC 充电过程, 导致空载功耗增加。在第二种情况下, 将一个高阻值电阻器与 HV 引脚串联会在交流过零阶段将充电电流限制为 VCC。因此, 一旦 VCC 降低至生存模式所需的 5.3V 阈值以下, 在较高的输入电压下可能会不规律地进行 VCC 充电, 并且还可能导致空载功耗增加。

4 VCC 自偏置 GaN 反激式 65W 交流/直流 USB PD 充电器

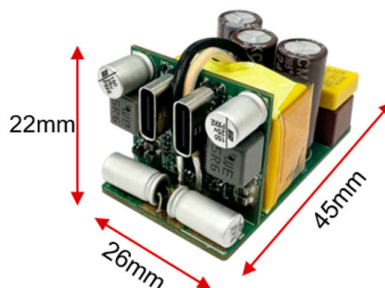


图 4-1. PMP41117 设计

表 4-1. PMP41117 设计参数

参数	值
交流输入电压	90-264VAC
输出电压	5-20V/3.25A
变压器	ATQ23-14
匝数比	7:1
变压器电感	200uH
开关频率	90-140kHz
效率	90VAC 时为 93.2%
功率密度	2.3W/CC

图 4-1 和 表 4-1 显示了 65W 双 USB 端口交流/直流 USB PD 充电器设计。此设计利用简化的 VCC 自偏置电路和基于 GaN 的设计 (使用 UCG28826) 的高度集成，可实现 2.3W/cc 的功率密度和 93.2% 的交流/直流转换级效率。

5 总结

采用 VCC 自偏置电路可以完全省去控制器的传统 VCC 偏置电路以及变压器和整流器中关联的辅助绕组，从而在宽输出电压范围内提高 VCC 偏置电路的效率。本文档提供了有关确定 VCC 电容器大小的设计指南，以验证正常运行。借助此功能，工程师可以实现更加简化和优化的 USB PD 充电器设计。

6 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [具有集成式 GaN 的通用交流输入 65W 双 USB Type-C® 端口 USB PD 充电器参考设计](#), 测试报告。
2. 德州仪器 (TI), [UCG28826 具有集成式 GaN 的自偏置高频 QR 反激式转换器](#), 数据表。

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