

## Application Note

## 使用 UCG2882x 系列器件设计固定输出电压反激式电路



Bing Lu

## 摘要

UCG2882x 是一款高频准谐振反激式转换器，内置 750V GaN 高电子迁移率晶体管 (HEMT)，可将交流电转换为直流电。UCG2882x 非常适合高功率密度应用，例如手机快速充电器和笔记本电脑适配器。该器件的主要特性是自偏置和无辅助检测方案，这种方案可消除对辅助绕组的需求，简化了 USB-PD 适配器设计并提高了效率。该器件还可用于固定输出电压应用。本应用手册阐述了采用 UCG2882x 系列的固定输出电压反激式的设计步骤。

## 内容

1 简介	2
2 USB-PD 与非 USB-PD 的对比	2
3 无辅助检测技术	4
4 设计示例	7
5 总结	8
6 参考资料	8

## 插图清单

图 2-1. USB-C 端口电压和额定功率	2
图 2-2. USB-PD 实施的简化电路	3
图 2-3. 非 USB-PD 反激式实施	3
图 3-1. 无辅助检测技术	4
图 3-2. OVP 功能模块框图	6

## 表格清单

表 2-1. USB-PD 标准的发展历程	2
表 3-1. 匝数比设置电阻值	4
表 3-2. 输出 OVP 的 TR 引脚电阻器设置	5

## 商标

USB-C® and USB Type-C® are registered trademarks of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

UCG2882x 是一款采用集成式 GaN HEMT 的高频准谐振反激式转换器。凭借自偏置和无辅助检测等先进技术，UCG2882x 显著简化了 USB-PD 适配器设计，实现了高效率、高功率密度和低待机功耗。

UCG2882x 集成了 USB-PD 适配器设计所需的所有基本功能，最大限度减少了外部元件数量。但是，由于该器件的特性是针对 USB-PD 设计的，因此当用于非 USB-PD 应用时，需要一些设计技巧才能使设计正常工作。

## 2 USB-PD 与非 USB-PD 的对比

USB 电力传输 (USB-PD) 是一种充电协议，允许 PD 端口为负载提供更高的功率，实现更快的充电速度，并为更多终端设备供电。USB-PD 允许 USB-C® 端口输出 5V 以外的其他电压。电压越高，可输送的功率越大。

表 2-1 显示了 USB-PD 标准的发展历程。在 USB-PD 3.1/3.2 标准下，支持的输出电压最高可达 48V，输出电流最高可达 5A。凭借高达 240W 的功率处理能力，USB-C 端口能以更快的速度为负载充电。

表 2-1. USB-PD 标准的发展历程

规格	最大电压	最大电流	最大功率
USB BC 1.2	5V	1.5A	7.5W
USB Type-C® 1.2	5V	3A	15W
USB PD3.0	20V	5A	100W
USB PD 3.1 和 USB PD 3.2	48V	5A	240W

USB-PD 根据负载要求运行。当手机等设备插入电源适配器 USB-C 端口时，会进行一个协商过程。电源适配器（供电方）和手机（受电方）协商由供电方可以提供和受电方可以接受的电压和电流电平。然后，供电方将 USB-C 端口输出电压修改为相应的电平。随后，充电过程便开始了。在此过程中，USB-C 端口的输出电压可以在 5V 至最大电压之间变化。根据 图 2-1，对于 65W USB-PD 适配器，支持的最大电压为 20V。

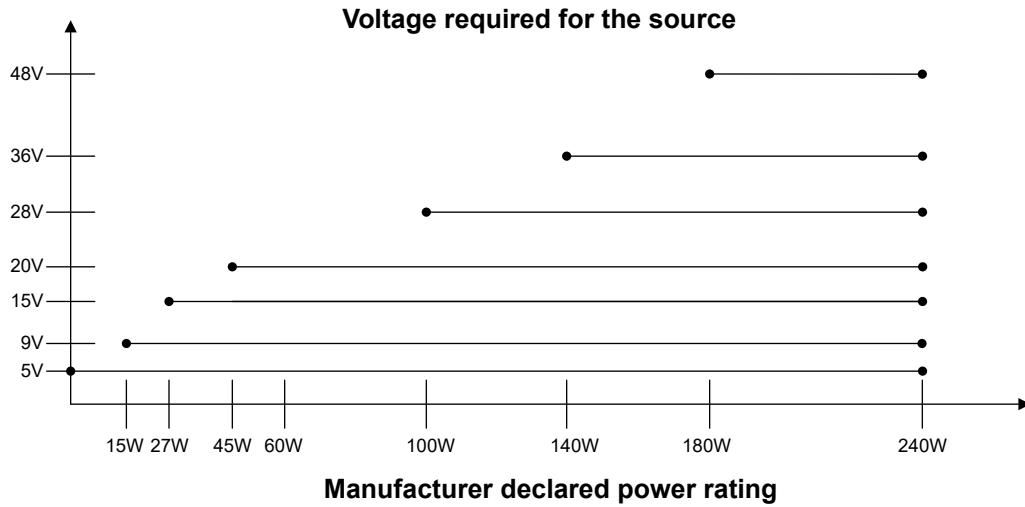


图 2-1. USB-C 端口电压和额定功率

当专为 USB-PD 应用而设计时，UCG2882x 通过光耦合器接收反馈信号。反馈信号由次级侧 USB-PD 控制器生成，该控制器负责控制输出电压电平。如 图 2-2 所示，与 USB-C 端口连接的 USB-PD 控制器通过集成控制环路生成反馈信号。

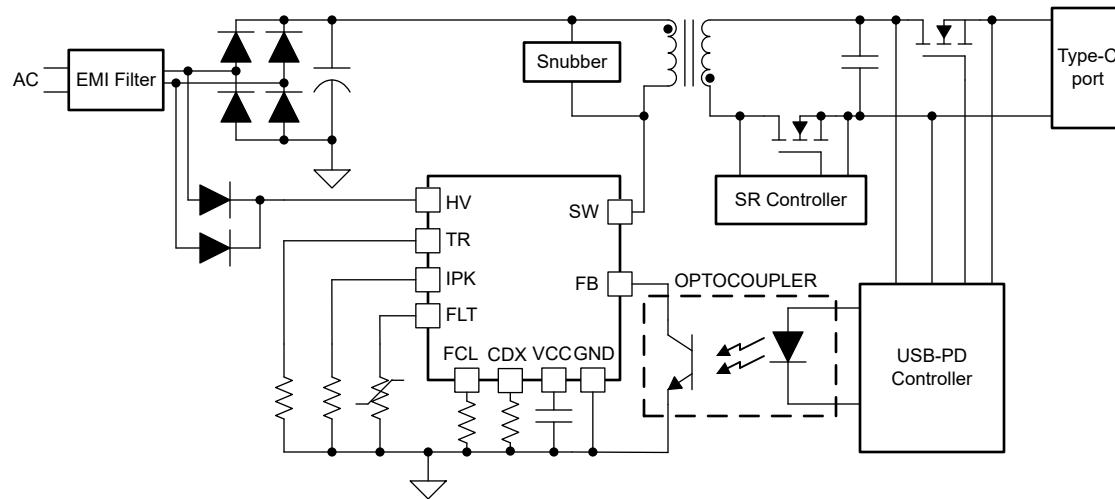


图 2-2. USB-PD 实施的简化电路

当设计用于非 USB-PD 应用场景时，输出电压是固定的。TL431 通常用于闭合输出电压调节环路。TL431 生成反馈信号，并通过光耦合器将信号传输回 UCG2882x。图 2-3 中说明了这种实施方式。

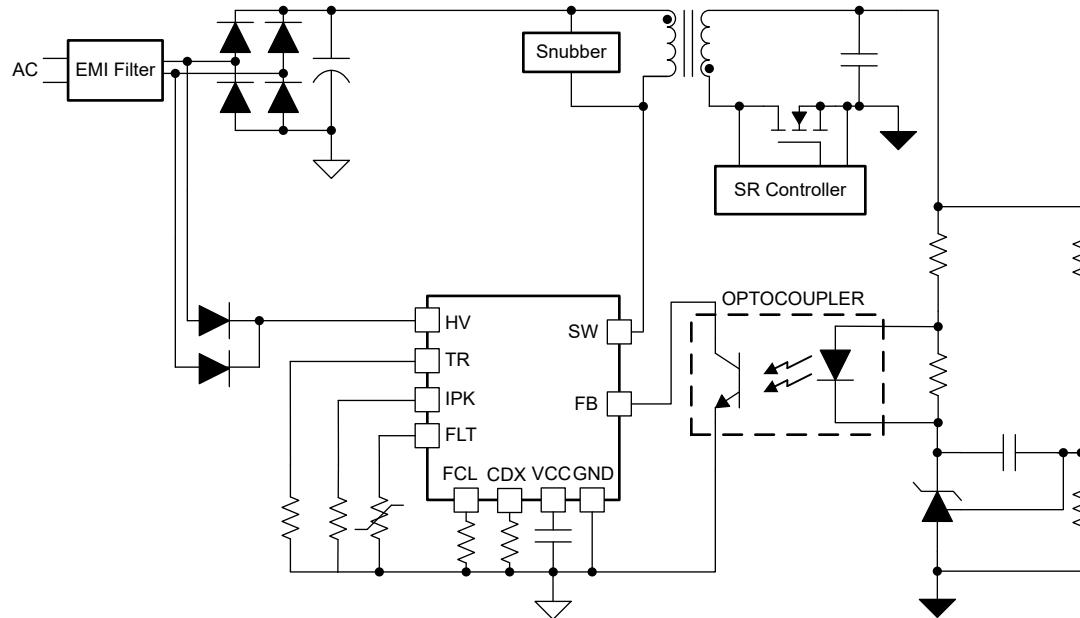


图 2-3. 非 USB-PD 反激式实施

### 3 无辅助检测技术

传统上，反激式转换器在反激式变压器上使用辅助绕组来提供控制器的偏置电压。由于输出电压可变，控制器的偏置电压会随输出电压而变化。偏置电压的大范围变化会导致更高的功率损耗，并且需要更多的外部元件来调节偏置电压。UCG2882x 采用自偏置技术，直接从功率级获取能量，解决与 USB-PD 可变输出电压相关的设计挑战。

此外，UCG2882x 通过无辅助检测技术消除了变压器辅助绕组。如 图 3-1 所示，使用集成分压器检测开关节点电压。通过信号后处理，可以从检测到的开关节点电压中推导出输入电压和反射的输出电压。

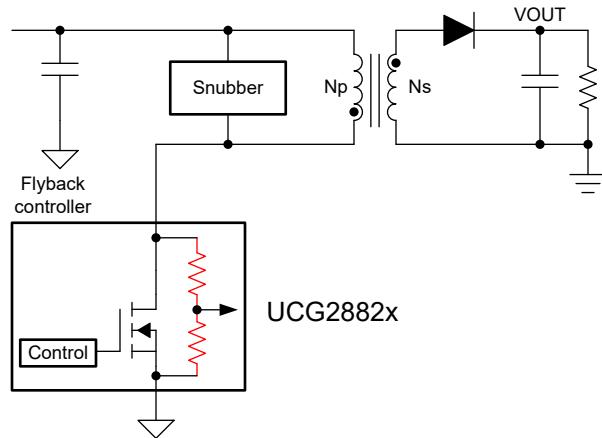


图 3-1. 无辅助检测技术

由于输出电压调节是通过次级侧的反馈环路实现的，因此在初级侧检测到的输出电压仅需用于保护目的。当在初级侧进行检测时，无辅助检测技术仅通过变压器检测反射输出电压，而非检测输出电压的绝对值。因此，需要使用变压器初级侧与次级侧的匝数比来计算输出电压的绝对值。

在 UCG2882x 中，变压器匝数比通过编程引脚 TR 设置。表 3-1 中总结了 TR 引脚的设置。在为 USB-PD 应用进行设计时，具有通用交流输入（85V 至 264V），变压器匝数比通常在此范围内，设计人员可以选择相应的设置来匹配变压器匝数比。通过匝数比设置，输出过压保护阈值设置为 25V，适合 USB-PD 应用中的 20V 输出。

表 3-1. 匝数比设置电阻值

TR 引脚电阻器 ( $k\Omega$ )	匝数比
0	7.875
5.23	6
6.34	6.125
7.68	6.25
9.31	6.375
11.3	6.5
13.7	6.625
16.9	6.75
20.5	6.875
25.5	7
31.6	7.125
39.2	7.25
51.1	7.375
66.5	7.5
84.5	7.625
113	7.75
174	7.875

但是，对于非 USB-PD 应用，或输出电压不是 20V 时，变压器匝数比可能超出此范围。有时，即使可以设置匝数比以匹配设计要求，25V OVP 可能不合适，也需要进行一些设置更改。

如前所述，UCG2882x 会检测反射输出电压，结合编程的变压器匝数比，输出电压 OVP 可设置为 25V。

UCG2882x 不是通过将反射电压除以变压器匝数比来计算输出电压，而是使用 TR 引脚设置来更改初级侧 OVP 阈值，因此等效地通过不同的匝数比设置实现相同的输出 OVP 水平。按照这一原则，增加了第三列，表 3-1 变为表 3-2，这与 UCG2882x 数据表中的表 7-1 相同。TR 引脚实际上是输出 OVP 设置引脚。TR 引脚不会设置输出 OVP 电平的绝对值，而是根据反射的输出电压设置输出 OVP 电平。

**表 3-2. 输出 OVP 的 TR 引脚电阻器设置**

TR 引脚电阻器 ( $k\Omega$ )	匝数比	$V_{OUT}$ OVP 阈值 (V, 反射到初级)
0	7.875	196.9
5.23	6	150
6.34	6.125	153.1
7.68	6.25	156.2
9.31	6.375	159.4
11.3	6.5	162.5
13.7	6.625	165.6
16.9	6.75	168.7
20.5	6.875	171.9
25.5	7	175
31.6	7.125	178.1
39.2	7.25	181.2
51.1	7.375	184.4
66.5	7.5	187.5
84.5	7.625	190.6
113	7.75	193.7
174	7.875	196.9

图 3-2 中展示了使用无辅助检测技术的初级侧 OVP 原理。

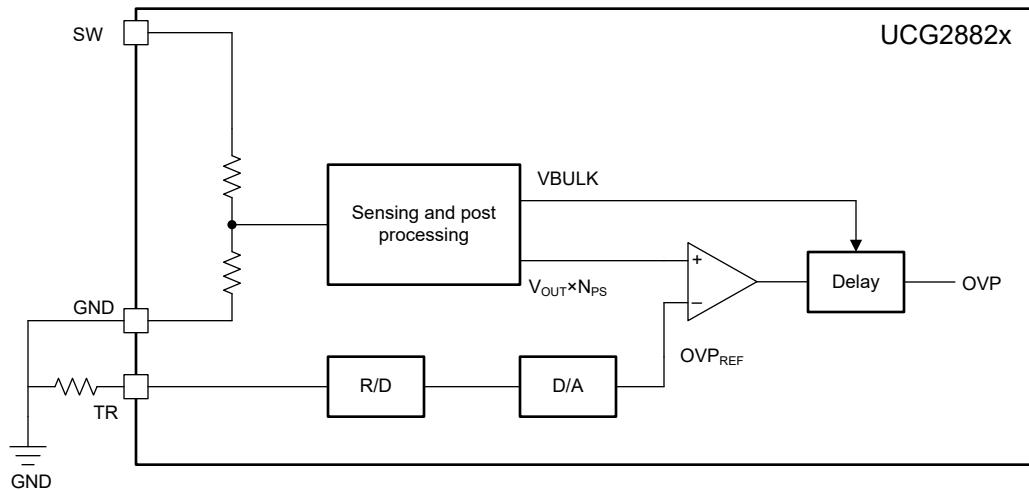


图 3-2. OVP 功能模块框图

## 4 设计示例

在针对非 USB-PD 应用进行设计时，或在输出电压不为 20V 的情况下，TR 引脚需要以不同于默认 20V 输出的方式进行编程，并设置适当的输出 OVP 电平。

使用通用输入、12V 输出设计和 24V 输出设计来演示设计过程。首先设计变压器以优化功率级性能。然后，可根据变压器设计对 RT 引脚进行编程。

对于通用输入、12V 输出的设计，变压器匝数比通常约为 10:1，这反映了当输出电压稳定在 12V 时，这会在初级侧产生 120V 的反射电压。这为集成式 GaN HEMT 电压应力提供了足够的裕度。此外，10:1 匝数比超出了数据表中的变压器匝数比设置。

对于 12V 输出，所需的 OVP 电平通常比调节电平高 20%。因此，输出 OVP 计算如下

$$V_{OVP} = 12V \times 1.2 = 14.4V \quad (1)$$

在 14.4V OVP 电平下，反射到初级侧的输出电压变为

$$V_{reflect} = V_{OVP} \times N_{PS} = 14.4V \times 10 = 144V \quad (2)$$

根据 [表 3-2](#) 中的第 3 列，TR 引脚设置为  $5.23\text{k}\Omega$ ，它提供 150V 反射输出电压的 OVP 设置。实际的 OVP 实现的计算公式如下

$$V_{OVP} = \frac{V_{reflect}}{N_{PS}} = \frac{150V}{10} = 15V \quad (3)$$

在该示例中，当 TR 引脚设置为  $5.23\text{k}\Omega$  时。根据 [表 3-1](#)，匝数比设置为 6，而不是实际匝数比 10。

对于通用输入、24V 输出的设计，变压器匝数比通常约为 5.5:1，这会在初级侧产生 132V 的反射电压。5.5:1 的匝数比也超出了数据表中的变压器匝数比设置范围。

对于 24V 输出，我们可以将 OVP 设置为比调节电平高 30%。因此，输出 OVP 计算如下

$$V_{OVP} = 24V \times 1.3 = 31.2V \quad (4)$$

在 31.2V OVP 电平下，反射到初级侧的输出电压变为

$$V_{reflect} = V_{OVP} \times N_{PS} = 31.2V \times 5.5 = 171.6V \quad (5)$$

根据 [表 3-2](#) 中的第 3 列，TR 引脚设置为  $20.5\text{k}\Omega$ ，它提供 171.9V 反射输出电压的 OVP 设置。实际的 OVP 实现的计算公式如下

$$V_{OVP} = \frac{V_{reflect}}{N_{PS}} = \frac{171.9V}{5.5} = 31.25V \quad (6)$$

在该示例中，当 TR 引脚设置为  $20.5\text{k}\Omega$  时。根据 [表 3-1](#)，匝数比设置为 6.875，而不是实际匝数比 5.5。

从这些示例中，当输出电压不为 20V 时，通过 TR 引脚设置的变压器匝数比可能与变压器中实现的匝数比完全不同。需要根据输出 OVP 需求设置 TR 引脚，而不是根据变压器匝数比实施。

## 5 总结

UCG2882x 专为优化 USB-PD 适配器设计而开发。当用于非 USB-PD 应用时，需要更改 TR 引脚设置方法。当为非 USB-PD 应用设计时，会对 TR 引脚进行编程，从而根据所需的 OVP 阈值设置反射输出电压电平，而不是使用 TR 引脚来设置变压器匝数比。

## 6 参考资料

1. 德州仪器 (TI) , [UCG2882x 具有集成式 GaN 的自偏置高频 QR 反激式转换器数据表](#)
2. 德州仪器 (TI) , [使用 UCG28826EVM-093 65W USB-C PD 高密度 GaN 集成式准谐振反激式转换器 EVM 用户指南](#)
3. 德州仪器 (TI) , [PMP41145 — 具有集成 GaN 的通用交流输入 65W、20V、3.25A 反激式参考设计](#)

## 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出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