

## Design Guide: TIDA-00779

## 效率高于 98% 并针对 BOM 和尺寸进行优化的 230V、3.5kW PFC 参考设计



## 说明

此设计指南介绍了一款具有成本优势的 3.5kW PFC，该 PFC 专为室内空调和其他大型电器而设计。此参考设计是一款使用 TI 的 UCC28180 PFC 控制器实现的连续导通模式 (CCM) 升压转换器，提供了所有必要的内置保护功能。硬件经过特别设计，已通过 IEC 61000 针对家用电器的浪涌和 EFT 要求的测试。此设计指南提供一个现成的前端 PFC 平台，适用于高达 3.5kW 功率级别要求的各种电器。此外，此设计在 230V 输入电压下的峰值效率高达 98%，可实现高功率密度，允许使用小型散热器，富有竞争力。

## 资源

<a href="#">TIDA-00779</a>	设计文件夹
<a href="#">UCC28180</a> 、 <a href="#">UCC28881</a>	产品文件夹
<a href="#">UCC27524</a> 、 <a href="#">UCC27531</a>	产品文件夹

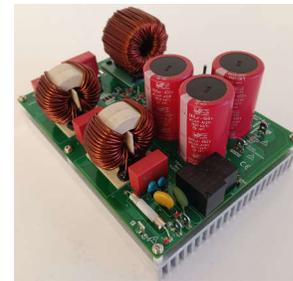
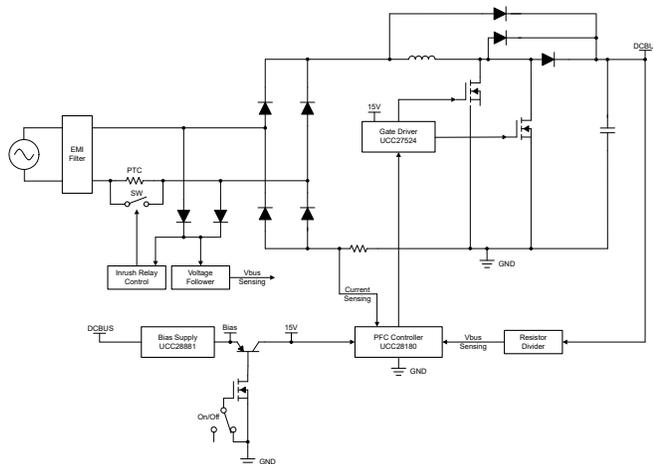


## 特性

- 峰值效率大于 98%，可使用更小的散热器
- 宽满载工作输入电压范围：190V 至 270V 交流
- 在 230V 交流电压下具有大于 0.99 的高功率因数，从 1.4kW 到 3.8kW (满载的 28% 到 108%) 的 THD 低于 5%
- 高达 3.5kW 的大功率输出，覆盖大部分单相输入 PFC 应用
- 板载辅助电源可简化测试与验证
- 稳健的输出电源，针对输出过流、输出过压和输出欠压现象提供保护
- 符合 EFT 规范 IEC 6000-4-4 及浪涌规范 IEC 61000-4-5 的要求
- PCB 尺寸 200mm × 145mm。

## 应用

- 空调
- HVAC
- 功率大于 480W 的工业交流/直流设备
- 单相 UPS
- 其他大型电器



## 1 系统说明

主要电器设备（如空调、冰箱和洗衣机）使用三相脉宽调制直流无刷电机 (BLDC) 或永磁同步电机 (PMSM) 驱动。这些电机驱动的额定马力通常较低，介于 0.25HP (186W) 至 5HP (3.75kW) 之间。控制 BLDC 或者 PMSM 电机的定子电流需要使用电子驱动。典型电子驱动的组成部分包括：

- 带有三相逆变器的功率级，具备所需功率能力
- 实现电机控制算法的微控制器单元 (MCU)
- 控制闭环速度或转矩的电机电压和电流检测电路
- 栅极驱动器，用于驱动三相逆变器
- 为栅极驱动器和 MCU 上电的电源

这些驱动需要使用前端功率因数校正 (PFC) 稳压器为电源的输入电流整形并满足功率因数和电流 THD 标准（如 IEC61000-2-3）。PFC 电路会对将与市电电压同相的电源的输入电流进行调节，有助于更大程度提高从市电中实际获得的能量。前端 PFC 还具备以下优势：

- **降低 RMS 输入电流**  
例如，额定值为 230V/5A 的电源电路可用功率限制为约 575W，其功率因数 (PF) 为 0.5。将 PF 提升至 0.99 会使传输功率近乎加倍（达到 1138W），可带功率更高的负载。
- **改善电源保持**  
有源 PFC 电路保持一个与输入电压无关的固定中间直流总线电压，因此系统储存的能量不会随输入电压的下降而减少。这允许使用具有成本效益的小型大容量电容。
- **提升下行转换器效率**  
PFC 减小了施加于下行逆变器和转换器的动态电压范围。因此，整流器的额定电压可能下降，正向压降也随之减小。运行占空比可能有所增加，开关中的电流会随之下降。

本参考设计是一款升压 PF 稳压器，通过将 UCC28180 器件用作 PFC 控制器来实现，适用于所有要求 PF 校正功率达到 3.5kW 的电器。本参考设计提供了一种现成的有源前端平台，适用于操作高压线交流电压范围为 190V 至 270V 的下行逆变器或直流/直流转换器。

本参考设计演示了一款采用小型封装 (200mm x 145mm) 的高功率密度 PF 级，其交流工作电压为 190V 至 270V，可提供 3.5kW 持续功率输出，能够在不使用 SiC 器件的情况下以超过 98% 的额定效率驱动逆变器或转换器。本参考设计同时为升压跟踪器配置提供了灵活性，其中的升压电压可以根据交流输入电压发生变化。但当升压电压超出峰值输入电压时，本参考设计仅能以升压后的电压运行。升压跟踪器配置有助于降低 PFC 稳压器和下游逆变器或转换器中的开关损耗。

综上所述，面对电器领域的关键挑战，本参考设计提供安全可靠的电源。此类电源内置全套保护功能，以较低功耗及极富竞争力的物料清单 (BOM) 成本实现高性能。

## 1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	符号	测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
<b>输入特性</b>						
输入电压	$V_{IN}$	—	150	230	270	V AC
频率	$F_{AC}$	—	47	—	64	Hz
功率因数	PF	$V_{IN}$ = 标称值, $I_{OUT}$ = 最大值	—	0.99	—	—
输入电流	$I_{IN}$	$V_{IN}$ = 标称值, $I_{OUT}$ = 最大值	—	20	—	A
<b>输出特性</b>						
输出电压	$V_{OUT}$	$V_{IN}$ = 标称值, $I_{OUT}$ = 最小值至最大值	—	380	—	V
输出电流	$I_{OUT}$	$V_{IN}$ = 190V 交流电压至最大值	0	—	9	A
输出功率	$P_{OUT}$	$V_{IN}$ = 190V 交流电压至最大值	—	—	3.5	kW
线路调整率		$V_{IN}$ = 最小值至最大值, $I_{OUT}$ = 标称值	—	—	2	%
负载调整率		$V_{IN}$ = 标称值, $I_{OUT}$ = 最小值至最大值	—	—	3	%
输出电压纹波	$V_{OUT\_RIPPLE}$	$V_{IN}$ = 标称值, $I_{OUT}$ = 最大值	—	—	17.5	V
输出过压	$V_{OVP}$	$I_{OUT}$ = 最小值至最大值	—	—	430	V
输出过流	$I_{OCP}$	$V_{IN}$ = 最小值至最大值	12	—	—	A
<b>系统特性</b>						
开关频率	$f_{SW}$	—	—	45	—	kHz
峰值效率	$\eta_{PEAK}$	$V_{in}$ =230VAC, $V_{out}$ =382.54VDC, $P_{out}$ =1386W	—	—	98.128	%
工作温度	$T_{NOM}$	存在空气流动	-25	—	65	°C

## 2 系统概述

### 2.1 方框图

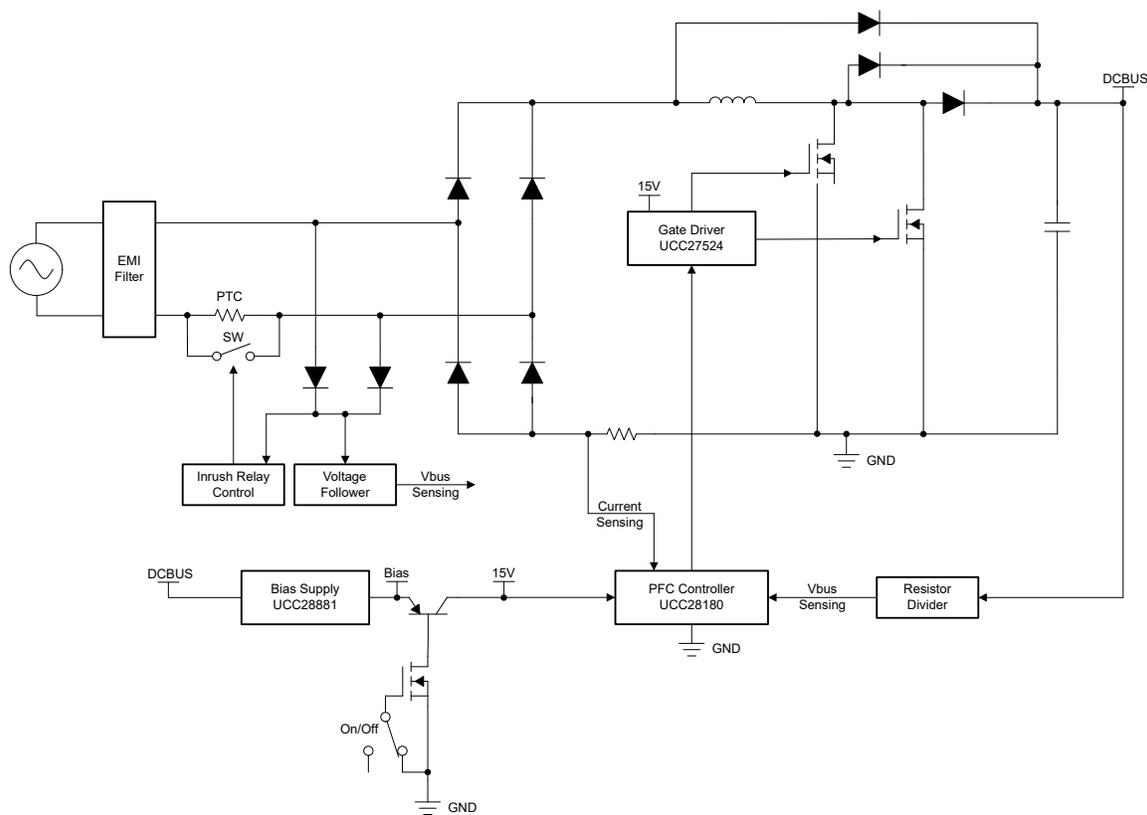


图 2-1. PFC 稳压器方框图

### 2.2 主要产品控制器和关键优势

以下小节介绍了本参考设计使用的重点产品，包括其选型的主要特性。有关重点器件的详细信息，请参阅相关产品数据表。

#### 2.2.1 UCC28180 - PFC 控制器

UCC28180 是一款高性能、采用 CCM、8 引脚、频率可通过编程设定的 PFC 控制器。该控制器的工作频率较大并且可通过编程设定，可为高频设计提供灵活性以优化组件。UCC28180 使用调整后的电流环路在 1.4kW 至 3.8kW 负载（满载的 28% 到 108%）条件下将 THD 降至 5% 以下。电流检测阈值有所下降，UCC28180 所用分流电阻的阻值因此可下降 50%，从而在 THD 维持较低水平的同时降低功耗。UCC28180 的组成部分还包括一个集成快速栅极驱动器，可驱动 2A 拉电流和 -1.5A 灌电流，无需使用外部栅极驱动器。

UCC28180 还具有一整套系统保护特性，可显著提高可靠性并进一步简化设计：

- 软过流
- 逐周期峰值电流限制
- 输出过压
- VCC 欠压锁定 (UVLO) 保护
- 引脚开路保护 (ISENSE 与 VSENSE 引脚)

## 2.2.2 UCC27524 - 双通道低侧栅极驱动器

UCC27524 器件是一款双通道、高速、低侧栅极驱动器器件，能够有效驱动 MOSFET 和 IGBT 开关管。为了增加稳定耐用性，UCC27524 在输入引脚上增加了直接处理 -5V 电压的能力。UCC27524 是一款双通道同相驱动器。使用能够从内部大大降低击穿电流的设计，UCC27524 能够将高达 5A 拉电流和 5A 灌电流的高峰值电流脉冲传送到容性负载，此器件还具有轨到轨驱动能力和典型值为 17ns 的超小传播延迟。除此之外，此驱动器特有两个通道间相匹配的内部传播延迟，这一特性使得此驱动器非常适合于诸如同步整流器等对于双栅极驱动有严格时序要求的应用。这还使得两个通道可以并行连接以有效增加电流驱动能力或者使用一个单一输入信号驱动两个并联在一起的开关。输入引脚阈值基于 TTL 和 CMOS 兼容的低压逻辑，此逻辑是固定的且与 VDD 电源电压无关。高低阈值间的宽滞后提供了记好的抗噪声性能。

## 2.2.3 UCC28881 - 700V 离线转换器

UCC28881 在单片器件中集成了控制器和 14 Ω、700V 功率 MOSFET。该器件还集成了高压电流内部器件辅助电源，能够在经整流的市电电压下直接启动和运行。UCC28881 与 UCC28880 属于同一器件系列，具备高电流处理能力。该器件的静态电流较低，能够提供出色的效率。借助 UCC28881，使用非常少的外部元件即可构建降压、降压/升压以及反激拓扑等常用的转换器拓扑。UCC28881 集成了控制功率级启动的电路软启动功能，能够更大幅度地减小功率级组件所受的压力。

## 2.3 系统设计原理

本参考设计是一款以连续导通模式运行的 3.5kW 升压 PFC 稳压器，通过使用 UCC28180 PFC 控制器来实现。本参考设计专为广泛应用于主要电器（如空调）中的逆变器馈电驱动量身定制。现有的大容量无源 PFC 电路用于满足电源谐波标准，本参考设计可视为性能优异的简易替代品。在满载条件下，系统在 190V 至 270V 交流宽输入工作电压范围内的效率超过 98%。此外，本参考设计内嵌了一些保护功能，包括输出过压保护和输出短路保护。

本参考设计的主要作用是为目标应用提供一个高效率、高 PF 和受保护的直流电源轨。

### 2.3.1 选择开关频率

通过在 FREQ 引脚与 GND 之间连接单个电阻，用户能够以编程方式设定 UCC28180 的开关频率。

本参考设计使用的开关频率为 45kHz。使用 [方程式 1](#) 计算通过编程设定开关频率的合理电阻值。

$$R_{\text{FREQ}} = \frac{f_{\text{TYP}} \times R_{\text{TYP}} \times R_{\text{INT}}}{(f_{\text{SW}} \times R_{\text{INT}}) + (R_{\text{TYP}} \times f_{\text{SW}}) - (R_{\text{TYP}} \times f_{\text{TYP}})} \quad (1)$$

其中：

- $f_{\text{TYP}}$ 、 $R_{\text{TYP}}$  和  $R_{\text{INT}}$  是控制器的内部固定常量，基于 UCC28180 控制逻辑
- $f_{\text{TYP}} = 65\text{kHz}$
- $R_{\text{TYP}} = 32.7\text{k}\Omega$
- $R_{\text{INT}} = 1\text{M}\Omega$

将上述常数代入 [方程式 2](#) 可计算 FREQ 和 GND 引脚间必须连接的相应电阻器的阻值。

$$R_{\text{FREQ}} = \frac{65\text{ kHz} \times 32.7\text{ k}\Omega \times 1\text{ M}\Omega}{(45\text{ kHz} \times 1\text{ M}\Omega) + (45\text{ kHz} \times 32.7\text{ k}\Omega) - (65\text{ kHz} \times 32.7\text{ k}\Omega)} = 47.9\text{ k}\Omega \quad (2)$$

典型值为 47kΩ 的 FREQ 电阻可产生 44kHz 开关频率。

### 2.3.2 计算输出电容

假设未导通时长所占比重最小，所需输出电容可按 [方程式 3](#) 所示进行计算：

$$C_{\text{O}} = \frac{2 \times P_{\text{LOAD}}}{\pi \times V_{\text{O}} \times \Delta V_{\text{O}} \times f_{\text{LINE}}} \quad (3)$$

其中

- $\Delta V_O$  = 输出的峰峰值电压纹波
- $f_{LINE}$  = 输入工频
- $P_{LOAD}$  = 输出负载功率

将上述值代入 [方程式 3](#)，可获得以下结果：

$$C_O = \frac{2 \times 3500}{\pi \times 390 \times 50 \times 50} = 2286 \mu\text{F} \quad (4)$$

选择 2040 $\mu\text{F}$  电容应对过载情况和器件老化产生的影响。

### 2.3.3 计算 PFC 扼流电感

UCC28180 是一款 CCM 控制器；如果所选电感允许实现相对较高的纹波电流，则在轻负载及较大输入电压范围内，转换器将被迫以断续模式 (DCM) 运行。高电感电流纹波将影响 CCM/DCM 边界值并导致轻载 THD 升高。这种电流也会影响输入电容、 $R_{SENSE}$  和  $C_{ICOMP}$  值的选择。电感纹波电流  $\Delta I_{RIPPLE}$  不超过 20% 允许转换器在多数工作范围内以 CCM 模式运行。然而，实现这种低电感纹波电流需要使用电感较大的升压电感，其物理尺寸也会很大。本参考设计执行了一些测量操作，旨在优化性能和尺寸并降低成本。选取的电感可实现 40% 峰峰值纹波电流，主要侧重点为更大限度节省空间以及转换器在高输入电压和轻负载条件下以 DCM 运行；然而，转换器在满载条件下针对 230V 标称交流输入电压进行了良好优化。

计算占空比的最小值  $D_{MIN}$ ，按 [方程式 5](#) 所示：

$$D_{MIN} = 1 - \frac{\sqrt{2} \times V_{IN\_MIN} \times \left| \sin(2\pi \times f_{LINE} \times t) \right|}{V_O} = \frac{\sqrt{2} \times 190 \times 1}{390} = 0.31 \quad (5)$$

根据 40% 可允许电感纹波，PFC 扼流电感  $L_{BST}$  在定义最大电感峰值电流  $I_{PK}$  后进行选择，如 [方程式 6](#) 所示：

$$I_{PK} = \frac{\sqrt{2} \times P_O}{\eta \times V_{IN\_MIN}} = \frac{\sqrt{2} \times 3500}{0.98 \times 190} = 26.6 \text{ A} \quad (6)$$

计算最小扼流电感  $L_{MIN}$ （根据可接受的纹波电流  $I_{RIPPLE}$ ），如 [方程式 7](#) 所示：

$$L_{MIN} \geq \frac{\sqrt{2} \times V_{IN\_MIN} \times D_{MIN}}{I_{PK} \times 0.4 \times f_{SW}} = \frac{\sqrt{2} \times 190 \times 0.31}{26.6 \times 0.4 \times 45 \times 10^3} = 174 \mu\text{H} \quad (7)$$

PFC 扼流电感的实际值为  $L_{MIN} = 180 \mu\text{H}$

### 2.3.4 选择开关元件

MOSFET 开关由一个栅极输出驱动，该输出针对大于 15.2V 的 VCC 偏置电压在内部被钳位至 15.2V。建议使用外部栅极驱动电阻限制上升时间，同时抑制由栅极驱动电路的寄生电感和电容引起的任何振铃效应。该电阻有助于满足转换器的所有 EMI 要求。本参考设计使用 22 $\Omega$  电阻；所有设计的最终值均取决于设计布局的相关寄生元件。为了便于快速关断，100V/1A 标准肖特基二极管或开关二极管与栅极驱动电阻以反并联方式放置。在 MOSFET 的栅极和接地端之间放置一个 10k $\Omega$  电阻，以使栅极电容放电并防止意外的  $dV/dT$  触发激活。

FET 两端的最高电压是最高输出升压电压（即 425V），这也是 PFC 转换器关断输出的过压设定值。考虑到电压降额 30%，MOSFET 的额定直流电压必须高于 550V。

本设计使用的 IPW60R099P6 MOSFET 电压为 600V，25 $^{\circ}\text{C}$  时电流为 37.9A，100 $^{\circ}\text{C}$  时电流为 24A。如果考虑成本，本参考设计也可使用 IGBT 替代 MOSFET。本参考设计需要为 MOSFET 或 IGBT 提供尺寸适宜的散热器。

### 2.3.5 升压跟踪器控制电路

传统 PFC 升压转换器设计的固定电压高于最高峰值线电压，以维持升压运行并对电源输入电流波形进行整形。升压电压不必恒定，但可以随交流输入电压发生变化，前提是电压经升压高于峰值输入电压。升压跟踪器控制电路有助于根据峰值输入电压设置输出电压。

根据峰值线电压的变化改变输出电压具备以下优势。

- **降低了升压电感**  
升压电感根据最大占空比、最低线电压和最低输出电压下允许的最大纹波电流进行选择。V<sub>OUT</sub> 下降将导致最大占空比降低，进而导致升压电感下降。
- **降低了欠压运行时的升压开关损失**  
离线 PFC 转换器中大量的转换器功耗均由升压 FET 的开关损耗导致。传统 PFC 升压相比，该升压跟踪器 PFC 在低输入线电压下的输出电压极低，减少了开关损耗。
- **减少了下行逆变器级和隔离式直流/直流转换器级中的开关损耗**  
三相逆变器驱动或隔离式直流/直流转换器级的开关损耗与升压稳压电压成正比。开关损耗随着输出电压的下降而降低，进而提升系统总体效率，这对于提升功率级的轻载效率作用显著。

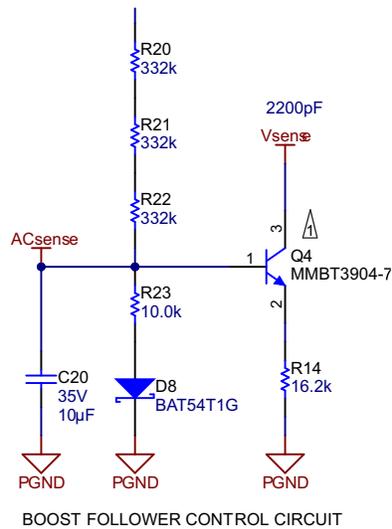


图 2-2. 电压跟随器电路

### 2.3.6 辅助电源

TIDA-00779 设计具有板载辅助电源，为 UCC28180 PFC 控制器、UCC27524 栅极驱动器以及用于为浪涌电流限制电阻分流的继电器供电。

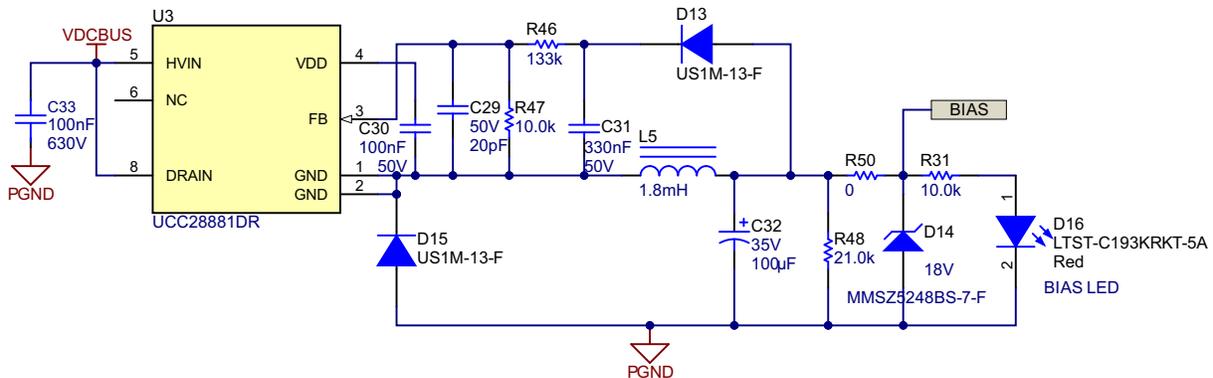


图 2-3. 辅助电源

### 2.3.7 打开/关闭开关

TIDA-00779 提供了用于打开或关闭 PFC 的开关。默认状态为 OFF，用户可以将 PFC 切换到 ON。

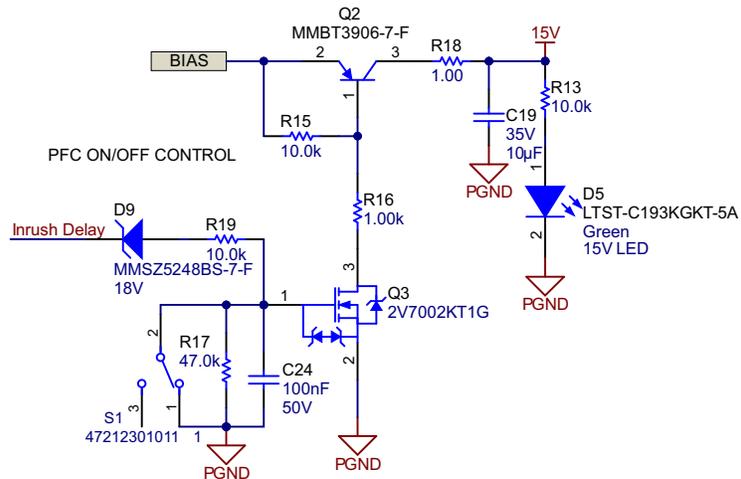


图 2-4. 打开/关闭开关电路

### 2.3.8 热设计

本参考设计采用散热器，其截面尺寸为 146mm×22mm，长度为 200mm。二极管电桥 BR1、MOSFET Q1、Q6、功率二极管 D1 和 D3 安装在散热器上。确保在 BR1 到散热器之间使用油脂来提高热阻，并在 MOSFET/二极管和散热器之间使用散热焊盘进行导热和绝缘。

### 3 硬件、测试要求和测试结果

#### 3.1 所需硬件

##### 3.1.1 测试条件

对于输入端，电源的交流电压 ( $V_{IN}$ ) 范围必须为 190V 到 270V。将输入交流源的输入电流限制为 25A。

对于输出端，使用电子可变负载或可变电阻负载，其额定电压不得低于 400V，负载电流必须在 0mA 至 10A 范围内变化。

##### 3.1.2 推荐使用的设备

请使用下列推荐的测试设备：

- Fluke 287C ( 万用表 )
- Chroma 61605 ( 交流电源 )
- Chroma 63204 ( 直流电子负载 )
- Yokogawa WT500 或 Hioki PW8001 ( 功率分析仪 )
- Tektronix DPO 3054 ( 示波器 )

##### 3.1.3 过程

1. 将参考电路板的输入引脚 ( P1 和 P2 ) 与交流源相连。
2. 将输出引脚 ( P4 和 P5 ) 与电子负载相连，保持正确极性 ( P4 是 390V 直流输出引脚，P5 是接地引脚 )。
3. 使用 S1 接通 PFC。
4. 逐渐将输入电压从 0V 增加至 190V 交流电压并接通。
5. 启动负载，从 PFC 输出端子吸引电流。
6. 为获得平滑开关波形，需遵守启动条件。

#### 3.2 测试结果

以下测试结果涵盖了稳态性能、功能性能波形及测试数据、瞬态性能波形、热性能测量、浪涌测量和 EFT 测量。

##### 3.2.1 性能数据

###### 3.2.1.1 效率和 iTHD

表 3-1 展示了在 230V 交流输入下经 Yokogawa WT500 测试的效率数据。

表 3-1. 在 230V 交流输入下的性能数据

$V_{INAC}$ (V)	$I_{INAC}$ (A)	$P_{INAC}$ (W)	PF	THDi (%)	$V_{OUT}$ (V)	$I_{OUT}$ (A)	$P_{OUT}$ (W)	效率 (%)
229.8	1.2858	238.4	0.9340	22.925	384.13	0.6014	231.1	96.935
229.31	3.1522	708.6	1.0000	6.7150	383.29	1.8114	694.4	97.989
228.82	5.1921	1177.1	1.0000	5.1510	382.86	3.0155	1154.9	98.117
228.60	6.2260	1413.0	1.0000	4.6050	382.91	3.6208	1386.6	98.128
228.34	7.2660	1649.4	1.0000	4.4460	382.70	4.2285	1618.4	98.116
228.10	8.2870	1880.8	1.0000	4.1360	382.54	4.8229	1845.1	98.100
228.03	8.4410	1915.2	1.0000	4.0980	382.38	4.9120	1878.4	98.078
227.88	9.3290	2116.3	1.0000	3.6610	382.34	5.4272	2075.4	98.066
227.62	11.3660	2349.7	1.0000	3.6180	382.10	6.0270	2303.2	98.021
227.33	11.5400	2513.6	1.0000	3.9840	381.77	6.7070	2560.7	97.974
227.12	12.5860	2847.8	1.0000	3.8840	381.84	7.3030	2788.7	97.925
226.62	14.6800	3314.7	1.0000	4.2800	381.55	8.4970	3242.4	97.820
226.32	15.7430	3550.4	1.0000	4.5440	381.32	9.1020	3471.1	97.767
226.07	16.7750	3778.5	1.0000	4.8880	381.17	9.6860	3692.1	97.714

表 3-1 展示了在 270V 交流输入下经 HIOKI PW8001 测试的效率数据。

**表 3-2. 在 270V 交流输入下的性能数据**

$V_{INAC}$ (V)	$I_{INAC}$ (A)	$P_{INAC}$ (W)	PF	THDi (%)	$V_{OUT}$ (V)	$I_{OUT}$ (A)	$P_{OUT}$ (W)	效率 (%)
270.21	0.3530	43.5	0.4557	21.522	403.28	0.0952	38.3	88.188
269.75	2.2216	584.3	0.9750	10.833	402.74	1.4202	572.0	97.866
269.62	2.7825	738.1	0.9838	6.930	403.20	1.7962	724.2	98.122
269.35	3.9289	1047.6	0.9899	6.309	402.99	2.5542	1029.3	98.257
269.26	4.3476	1160.4	0.9915	5.839	402.39	2.8338	1140.3	98.267
269.13	4.9228	1315.0	0.9925	5.578	402.80	3.2086	1292.4	98.283
268.88	5.7564	1538.5	0.9940	4.957	402.34	3.7596	1512.6	98.320
268.76	6.3351	1693.6	0.9949	4.693	402.43	4.1381	1665.3	98.330
268.69	6.9090	1847.3	0.9952	4.417	402.26	4.5154	1816.4	98.325
268.45	7.6492	2044.7	0.9957	4.192	402.26	4.9973	2.0102	98.314
268.43	7.9106	2114.7	0.9959	4.059	402.06	5.1706	2078.9	98.305
268.32	8.2264	2.1985	0.9960	4.050	402.17	5.3746	2161.5	98.316
268.27	8.6359	2308.0	0.9962	3.866	401.69	5.6469	2268.3	98.279
268.04	9.6551	2578.8	0.9965	3.929	402.03	6.3033	2534.1	98.265
267.91	10.0657	2687.4	0.9966	3.869	401.77	6.5735	2687.4	98.274
267.74	10.9498	2922.0	0.9967	4.003	401.91	7.1443	2871.4	98.270
267.05	14.0000	3726.6	0.9968	4.471	401.39	9.1110	3656.7	98.126
266.92	14.4043	3832.5	0.9968	4.445	400.85	9.3793	3759.7	98.101

### 3.2.1.2 待机功耗和输出电压

表 3-3 展示了电路板待机功耗和输出电压的测试结果。该待机功耗包括辅助电源。

**表 3-3. 待机功耗和输出电压**

$V_{INAC}$ (VAC)	$I_{INAC}$ (mA)	$P_{INAC}$ (W)	$V_{OUT}$ (V)
150	150.2	3.1	337.2
160	173.7	3.1	342.6
170	179.0	3.1	348.2
180	183.9	3.0	353.7
190	191.9	3.1	359.2
200	199.1	3.0	364.7
210	207.6	3.0	370.2
220	215.9	3.0	375.8
230	223.7	2.9	381.3
240	233.5	3.1	386.9
250	242.6	3.2	392.4
260	251.3	3.2	397.9
270	259.7	3.0	403.4
275	265.1	3.2	406.2

### 3.2.2 性能曲线

#### 3.2.2.1 效率曲线

图 3-1 展示了效率曲线。

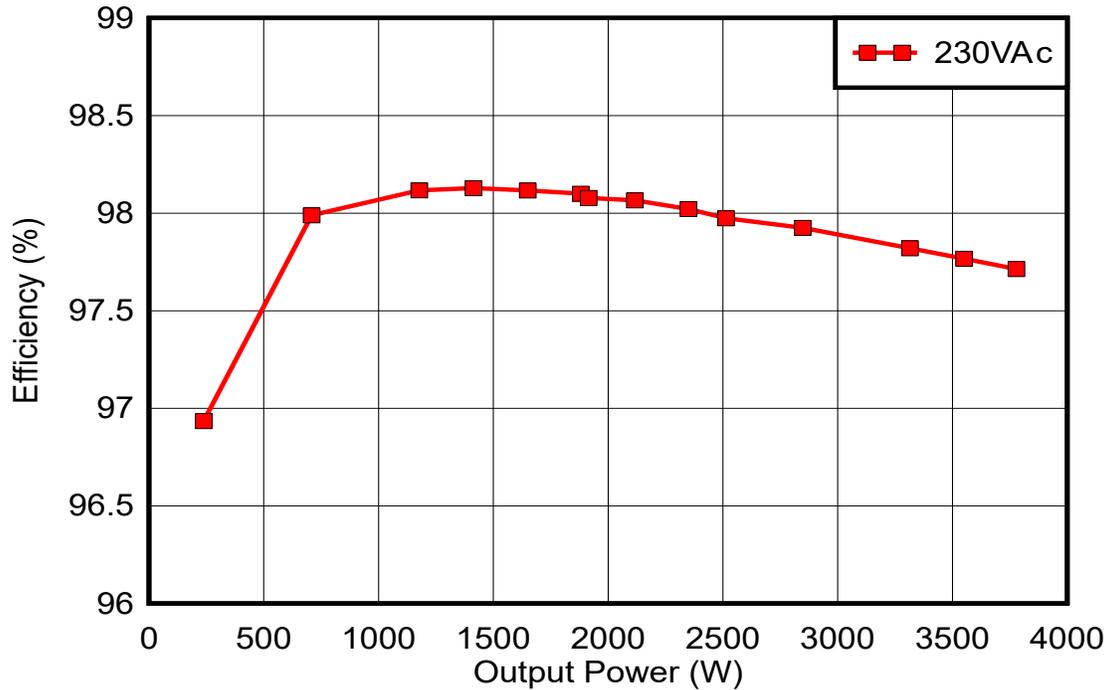


图 3-1. 不同负载条件对应的效率

#### 3.2.2.2 电压跟随器性能

图 3-2 和图 3-3 展示了电压跟随器电路的特性。

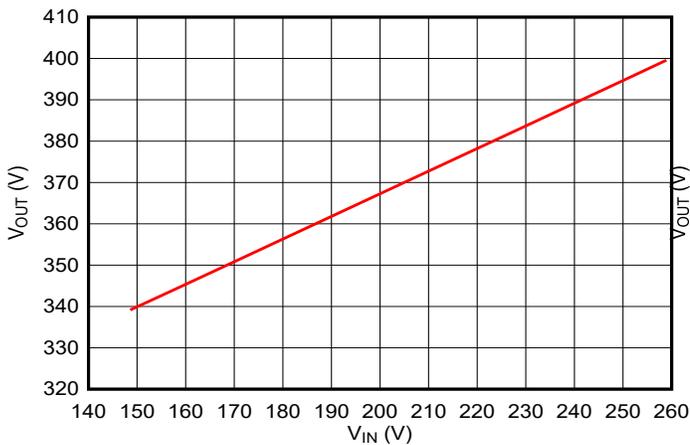


图 3-2. 1kW 负载条件下的输出电压

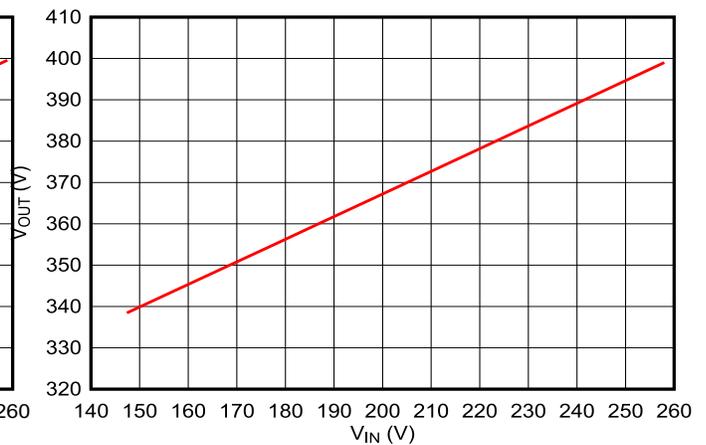


图 3-3. 2kW 负载条件下的输出电压

### 3.2.3 函数波形

#### 3.2.3.1 上电序列

图 3-4 展示了开关 S1 处于 ON 状态时的上电序列和负载特性。

电路板上电后，输出电解电容器可以充电以通过 PTC RT1 建立 VDCBUS，从而限制充电电流，然后辅助电源在 VDCBUS 足够高产生 Vbias 后开始工作。假设 S1 处于 ON 状态，PFC 控制器 UCC28180 在浪涌电流延迟时间后由 15V 供电，然后 PFC 转换器开始工作。该波形还显示了当 PFC 被逐阶跃 ( 1.3Arms、5.4Arms、7.5Arms、9.5Arms、10.6Arms ) 加载时的 DCBUS 压降。

负载 PFC 时会出现压降。

通道 1 是直流输出电压

通道 2 是交流输入电压

通道 3 是 MOSFET 漏源电压。

通道 4 是交流输入电流

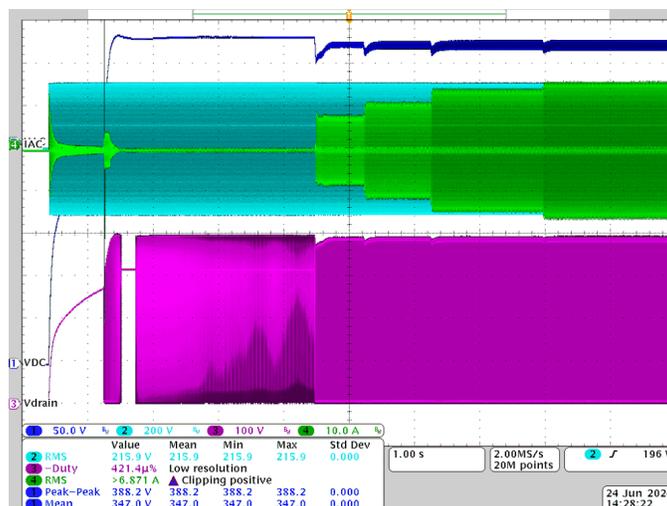


图 3-4. 加电时序

#### 3.2.3.2 浪涌电流保护

图 3-5 展示了浪涌电流保护功能，电路板已通电且处于导通状态。电压为 220VAC 时，浪涌电流保护延迟时间约为 850ms。

通道 1 是直流输出电压

通道 2 是交流输入电压

通道 3 为 15V。

通道 4 是交流输入电流

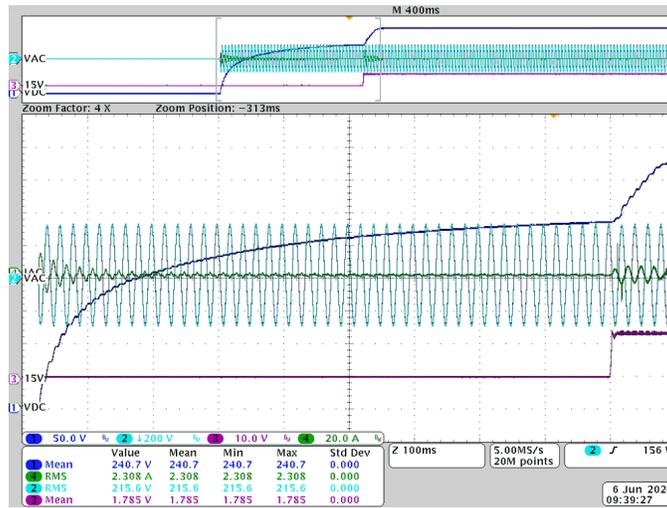


图 3-5. 启动和上电延迟

### 3.2.3.3 开关节点

图 3-6 和图 3-7 展示了在 230V 交流电压下，观察到的开关节点波形以及 MOSFET。

通道 1 是 MOSFET 栅极的电压

通道 2 是交流输入电压

通道 3 是 MOSFET 漏源电压

通道 4 是交流输入电流

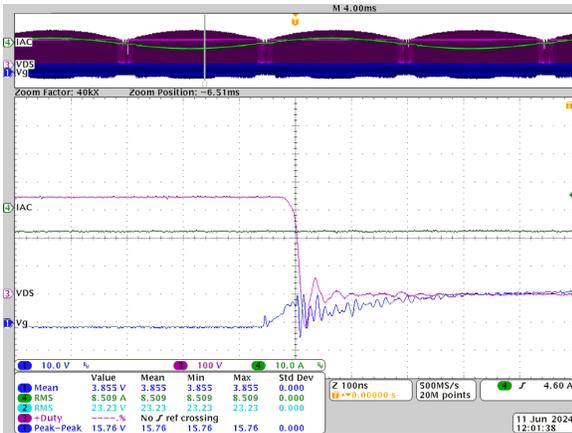


图 3-6. 导通 MOSFET

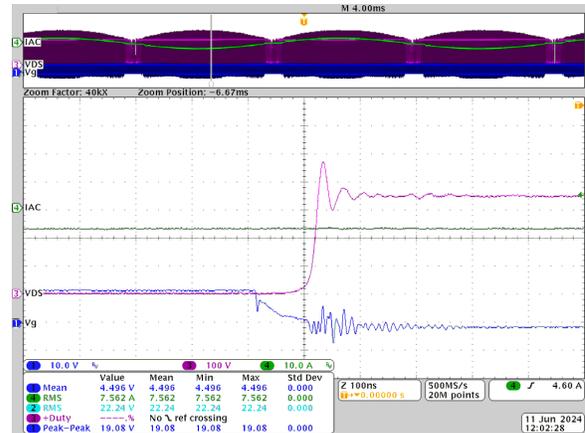


图 3-7. 关断 MOSFET

### 3.2.3.4 3.5kW、230VAC 下的波形

图 3-8 展示了 3.5kW、230VAC 下的波形，在此负载条件下的输出电压纹波为 17.5V。

通道 1 是直流输出电压

通道 2 是交流输入电压

通道 4 是交流输入电流

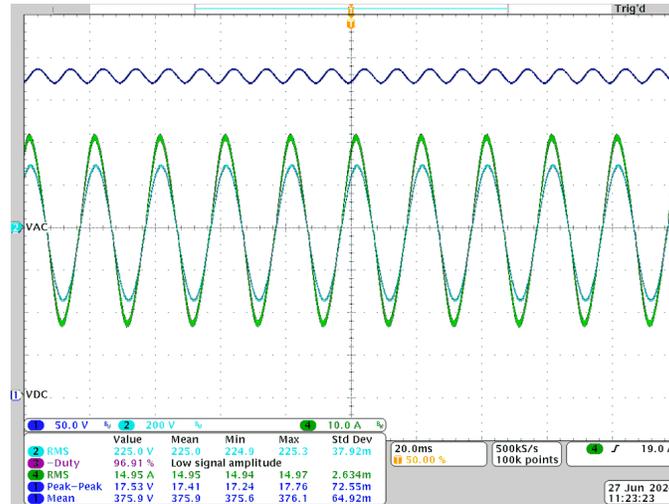


图 3-8. 3.5kW、230VAC 下的波形

### 3.2.4 热性能测量

为了充分了解功率组件温度和可能的最高工作温度，电路板在没有空气流动的密闭空间中以满载运行，绘制其在室温 (25°C) 下的热像。在采集热感图像之前，允许电路板运行 30 分钟，然后利用散热器两侧的两个 27CFM、24VDC、2.64W 冷却风扇提供的强制气流使散热器冷却下来。

图 3-9 所示为功率组件在 230V 交流输入电压和 3.5kW 功率输出下的温度。

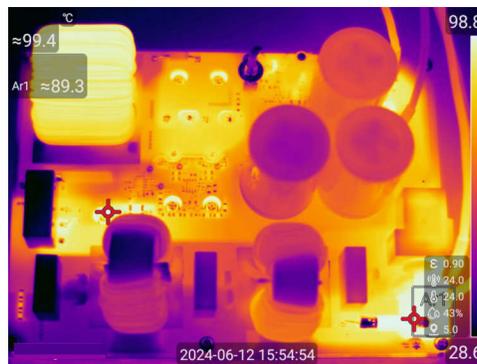


图 3-9. 230V 交流输入和 3.5kW 输出时的顶端温度

## 4 设计文件

### 4.1 原理图

请从 [TIDA-00779](#) 下载所有原理图。

### 4.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-00779](#) 中的设计文件。

## 5 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[适用于逆变器馈电驱动和电器的 230V、900W 功率因数调节器转换器 \(PFC\) 设计指南](#)。
2. 德州仪器 (TI)，[使用 UCC28180EVM-573 360W 功率因数校正模块 用户指南](#)
3. 德州仪器 (TI)，[UCC28180 具有可编程频率、连续导通模式 \(CCM\) 的升压功率因数校正 \(PFC\) 控制器 数据表](#)。

## 6 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 7 作者简介

**HELY ZHANG** 是德州仪器 (TI) 的系统应用工程师，负责开发与家用电器相关的电力输送器件和电机逆变器。Hely 于 2002 年获得了安徽理工大学电力电子专业硕士学位，在加入 TI 之前他曾就职于 SolarEdge 和通用电气。

## 8 修订历史记录

<b>Changes from Revision C (October 2017) to Revision D (August 2024)</b>	<b>Page</b>
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 更新了原理图以添加打开或关闭控制、板载辅助电源。重新设计上电逻辑和浪涌电流保护延迟电路、电压跟随器电路。更新了布局文件。更新了散热器。构建新电路板。在新电路板上重新执行所有测试.....	1

## 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