

说明

TIDA-00776 是一款 350W 功率因数稳压器，专为冰箱和其他经济实惠型的电器应用而优化。本参考设计是一款连续导通模式 (CCM) 升压转换器。它采用了 TI 的 UCC28180 功率因数校正 (PFC) 控制器，该控制器内置有所有必要且建议采用的保护。硬件经专门设计和测试，符合针对家用电器的 IEC61000-3-2 (2014) 的电流谐波要求。

本参考设计具有以下突出亮点：

- 提供一个经过全面测试的前端 PFC 电源平台，可覆盖低于 350W 功率级别要求的各种电器
- 在高压线路输入条件下，转换器效率峰值高达 98.2%，功率密度高，散热器件小，设计具有很强竞争力
- 强大的输出电源保护功能，可应对输出过流、输出过压和输出欠压故障情况

资源

TIDA-00776
UCC28180
UCC28881
TPS54202

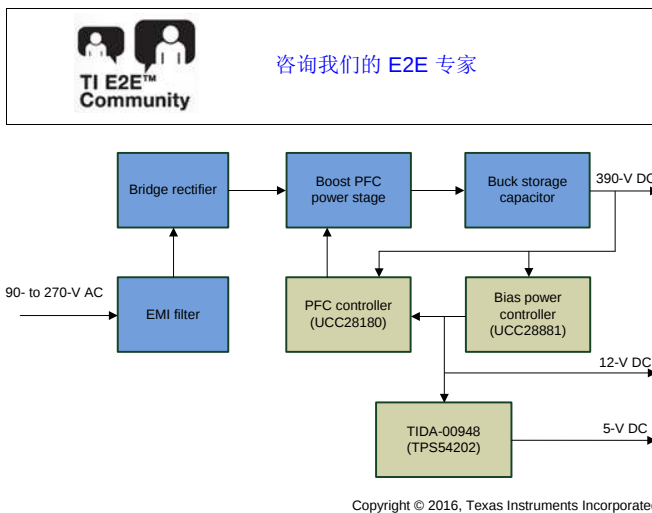
设计文件夹
产品文件夹
产品文件夹
产品文件夹

特性

- 90V 至 265V 交流通用输入
- 满足有关电流谐波的 IEC 61000-3-2 D 类要求
- 转换效率超过 98.2%（高压线）
- 135kHz 开关频率
- 82mm × 80mm × 25mm 的小尺寸 PCB
- 增强了输出过压和欠压情况下的动态响应
- 待机功耗极低，小于 300mW
- 软过流和逐周期峰值电流限制保护
- 集成偏置电源为 12V 直流和 5V 直流，具有 3W 输出
- 工作环境温度范围：
-20°C 至 55°C

应用

- 冰箱和冷冻柜
- 电动工具充电器
- 洗衣机
- 采用低于 350W 的无刷直流电机 (BLDC) 的电器应用



该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

1 系统概述

1.1 系统说明

冰箱和洗衣机等常用电器设备使用三相脉宽调制无刷直流 (BLDC) 或永磁同步电机 (PMSM) 驱动器。这些电机驱动器的额定马力 (HP) 通常较低, 介于 0.25HP (186W) 至 5HP (3,750W) 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感测电路
- 驱动三相逆变器的栅极驱动器
- 为栅极驱动器和 MCU 上电的电源

这些驱动器需要使用前端功率 PFC 稳压器来调节电源的输入电流, 并符合功率因数和电流总谐波失真 (THD) 方面的标准 (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, 有助于最大程度提高从市电中实际获得的能量。

下面列出了 PFC 电路的主要优势:

- **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。
- **促进电源保持**
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。这种增强型储能功能支持使用价格低廉的小型大容量电容器。
- **提高下行转换器效率**
PFC 可缩小施加于下行逆变器和转换器的动态电压范围, 正向压降会随之下降, 因此可使用电压额定值较低的下行整流器。运行占空比也可能会有所增加, 开关中的电流则会随之下降。

本参考设计是一种升压功率因数稳压器, 使用 UCC28180 器件作为 PFC 控制器, 可用于功率因数校正需求不高于 350W 的所有电器。本设计提供一种即时可用的有源前端平台, 用于运行通用交流工作电压范围为 90V 至 270V 的下行逆变器或直流/直流转换器。

本设计介绍了一款小型 (82mm × 80mm × 25mm) 高功率密度功率因数级, 其交流工作电压为 90V 至 270V, 可提供 350W 持续功率输出, 能够以 98% 的额定效率驱动逆变器或转换器。

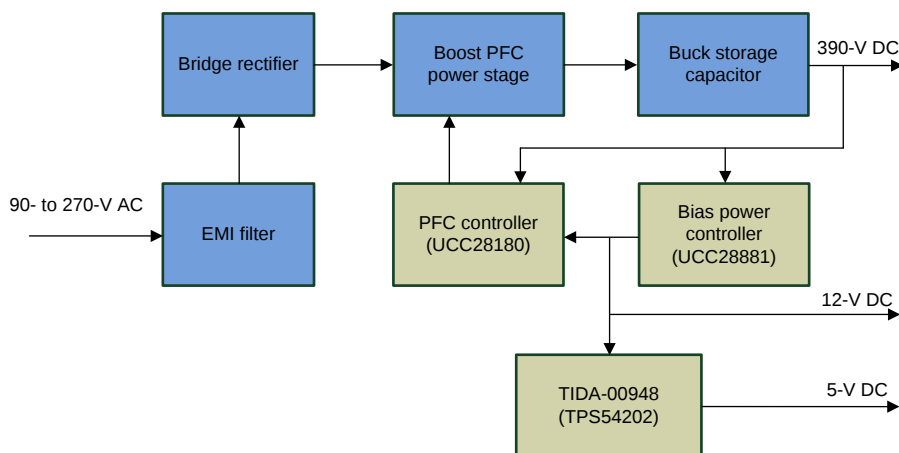
最重要的是, 本设计可以提供安全可靠的电源, 应对电器领域的主要挑战。此类电源内置保护功能, 能够以低功耗和极富竞争力的物料清单 (BOM) 成本实现高性能。

1.2 主要系统规格

表 1. 电气性能规格

参数	符号	测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
输入特性						
输入电压	V_{IN}	—	90	230	270	VAC
工频	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	—	10	—	A
输出特性						
输出电压	V_{OUT}	V_{IN} = 标称值, I_{OUT} = 最小值至最大值	—	390	—	V
输出电流	I_{OUT}	V_{IN} = 90V 交流电压至最大值	0	—	0.9	A
输出功率	P_{OUT}	V_{IN} = 90V 交流电压至最大值	—	—	350	W
线路调整率	—	V_{IN} = 最小值至最大值, I_{OUT} = 标称值	—	—	2	%
负载调节	—	V_{IN} = 最小值至最大值, I_{OUT} = 标称值	—	—	3	%
输出电压纹波	V_{OUT_RIPPLE}	V_{IN} = 标称值, I_{OUT} = 最大值	—	—	22	V
输出过压	V_{OVP}	I_{OUT} = 最小值至最大值	—	—	415	V
输出过流	I_{OCP}	V_{IN} = 最小值至最大值	1.5	—	—	A
系统特点						
开关频率	f_{SW}	—	—	135	—	kHz
峰值效率	η_{PEAK}	V_{IN} = 最大值 (使用 MOSFET 测试)	—	—	98.2	%
工作温度	T_{NOM}	存在空气流动	-25	—	55	°C

1.3 方框图



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 1. 350W PFC 稳压器方框图

1.4 主要产品

以下小节详细介绍了本参考设计中用于 PFC 控制器、偏置电源控制器和降压转换器的主要产品，包括 这些产品的 关键特性。有关重点产品的详细信息，请参见相关产品数据表。

1.4.1 UCC28180 — 升压 PFC 控制器

UCC28180 是一款高性能紧凑式 8 引脚 PFC 控制器，采用持续导通模式 (CCM)，频率可通过编程设定。控制器的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 使用调整后的电流回路电路在中等至满载（50 到 100%）条件下将 THD 降至 5% 以下。电流感应阈值有所下降，因此 UCC28180 器件所用分流电阻器的阻值可以下降 50%，从而可以在维持低水平 THD 的同时降低功率损耗。UCC28180 还带有一个集成快速栅极驱动器，可提供 2A 拉电流和 -1.5A 灌电流，无需使用外部栅极驱动器。

UCC28180 器件还有一套完整的系统保护 功能， 这些功能可以大幅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)

1.4.2 UCC28881 — 700V 最低静态电流离线开关

UCC28881 在一个单片器件中集成了控制器和 14Ω、700V 功率 MOSFET。该器件还集成了高压电流源，能够在经整流的市电电压下直接启动和运行。UCC28881 与具有较高电流处理功能的 UCC28880 属于同一系列。

其静态电流较低，能够实现出色的低负载效率。凭借 UCC28881，使用最少的外部组件即可构建降压、降压/升压以及反激拓扑等最常用的转换器拓扑。

UCC28881 集成了控制功率级启动的软启动功能，能够最大程度地减小功率级组件所受的压力。

使得 同样使得 器件适用于该应用：

- 集成 14Ω、700V 功率 MOSFET
- 集成高电压电流源，用于内置器件偏置电源
- 集成电流感应
- 内部软启动
- 自偏置开关（直接在经整流的市电电压下启动和运行）
- 支持降压、降压/升压和反激拓扑
- 器件静态电流小于 100μA
- 在负载电路短路期间提供稳定的电流保护
- 保护
 - 电流限制
 - 过载和输出短路保护
 - 过热

1.4.3 TPS54202 — 4.5V 至 28V 输入、2A 输出、同步降压转换器

TPS54202 是一款输入电压范围为 4.5V 至 28V 的 2A 同步降压转换器。该器件包含两个集成式开关 FET，并且具备内部回路补偿和 5ms 内部软启动功能，可以降低组件数量。

通过集成 MOSFET 并采用 SOT-23 封装，TPS54202 获得了高功率密度，并且在 PCB 上的占用空间非常小。

高级 Eco-mode™ 可以最大限度地提高轻负载效率并降低功率损耗。在 TPS54202 中，扩频频谱运行可以降低电磁干扰 (EMI)。

两个高侧 MOSFET 内的逐周期电流限制可在过载情况下保护转换器，并通过低侧 MOSFET 续流电流限制防止电流失控，增强限制效果。当过流持续时间超出预设时间时，将触发间断模式保护功能。

使得 同样使得 器件适用于该应用：

- 4.5V 至 28V 宽输入电压范围
- 集成 148mΩ 和 78mΩ MOSFET，持续输出电流为 2A
- 关断电流低至 2μA，静态电流为 45μA
- 内部 5ms 软启动
- 500kHz 固定开关频率
- 扩频频谱可降低 EMI
- 高级 Eco-mode 脉冲跳跃
- 峰值电流模式控制
- 内部环路补偿
- 通过间断模式保护为两个 MOSFET 提供过流保护
- 过压保护
- 热关断
- SOT-23 (6) 封装

2 系统设计原理

本参考设计是一款以 CCM 模式运行的 350W 升压 PFC 稳压器，实施中使用了 UCC28180 PFC 控制器。本设计专用于冰箱等常用电器中的逆变器供电驱动器。本 TI 设计结构简单，性能优越，可以替代符合 IEC61000-3-2 等电源谐波标准的现有大容量无源 PFC 电路。

2.1 设置开关频率

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。

本设计使用的开关频率为 135kHz。使用公式 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：

- $f_{\text{TYP}} = 65\text{kHz}$
- $R_{\text{TYP}} = 32.7\text{k}\Omega$
- $R_{\text{INT}} = 1\text{M}\Omega$

f_{TYP} 、 R_{TYP} 和 R_{INT} 是常数。请参阅器件的产品说明书以了解关更多详细信息[2]。

将上述常数代入公式 1 可计算 FREQ 和 GND 引脚间必须连接的相应电阻器的阻值。

$$R_{\text{FREQ}} = \frac{65\text{ kHz} \times 32.7\text{ k}\Omega \times 1\text{ M}\Omega}{(1355\text{ kHz} \times 1\text{ M}\Omega) + (135\text{ kHz} \times 32.7\text{ k}\Omega) - (65\text{ kHz} \times 32.7\text{ k}\Omega)}$$

$$R_{\text{FREQ}} = 15.4\text{k}\Omega$$

典型值为 15.4kΩ 的 FREQ 电阻器可产生 136kHz 的开关频率。

2.2 计算输出电容

假设未导通时长所占比重最小，所需输出电容可按公式 2 所示进行计算：

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

其中：

- ΔV_{OUT} 是输出的峰间电压纹波
- f_{LINE} 是输入工频
- P_{LOAD} 是输出负载功率

将这些值代入公式 2 可计算出：

$$C_{\text{O}} = \frac{2 \times 350}{\pi \times 390 \times 75 \times 50} = 152\mu\text{F}$$

所选电容为 150μF。

2.3 计算 PFC 扼流电感

UCC28180 是一款 CCM 控制器；但如果所选的电感器允许相对较高的纹波电流，转换器也可以在轻负载下以非连续模式 (DCM) 运行。高电感电流纹波将影响 CCM/DCM 转换边界值并导致轻载 THD 升高。这种电流也会影响输入电容器、RSENSE 和 CICOMP 值的选择。

如果选择的电感器纹波电流 ΔI_{RIPPLE} 为 20% 或更低，则能够在大多数工作范围内实现 CCM 运行。但这种低电感器纹波电流需要使用具有较高电感值的较大尺寸升压电感器才能提供。此设计在纹波性能与解决方案尺寸和成本之间进行了折衷。选用的是具有 40% 的 ΔI_{RIPPLE} 的电感器，以最大限度地减小电感器和 PCB 尺寸。尽管转换器能够在轻负载和较高输入电压条件下以非连续导通模式 (DCM) 运行；但它针对满负载时 230V 交流标称输入电压进行了优化。

占空比的最小值 D_{MIN} 的计算方式如公式 3 所示：

$$D_{\text{MIN}} = 1 - \frac{\sqrt{2} \times V_{\text{IN_MIN}} \times \left| \sin(2\pi \times f_{\text{LINE}} \times t) \right|}{V_{\text{O}}} = \frac{\sqrt{2} \times 90 \times 1}{390} = 0.15 \quad (3)$$

其中：

- $V_{\text{IN_MIN}}$ 是最低输入电压

然后，电感器峰值电流最大值 I_{PK} 的计算方式如公式 4 所示：

$$I_{\text{PK}} = \frac{\sqrt{2} \times \text{PO}}{\eta \times V_{\text{IN_MIN}}} = \frac{\sqrt{2} \times 350}{0.98 \times 90} = 5.62 \text{ A} \quad (4)$$

现在，可以基于占空比的最小值、电感器峰值电流最大值和电感器纹波电流，按公式 5 所示计算 PFC 扼流电感 (L_{MIN})：

$$L_{\text{MIN}} \geq \frac{\sqrt{2} \times V_{\text{IN_MIN}} \times D_{\text{MIN}}}{I_{\text{PK}} \times 0.4 \times f_{\text{SW}}} = \frac{\sqrt{2} \times 90 \times 0.15}{5.62 \times 0.4 \times 135 \times 10^3} = 65 \text{ } \mu\text{H} \quad (5)$$

2.4 设置开关频率

在选择开关元件时需考虑其额定电压及寄生性能。为了正确驱动所选元件，还需要考虑一些额外注意事项；我们将在本节对这些内容进行讨论。

MOSFET 开关由一个栅极输出驱动，该输出的电压针对大于 15.2V 的 VCC 偏置电压在内部钳制为 15.2V。建议您使用一个外部栅极驱动电阻器来限制上升时间并抑制由布局以及 MOSFET 寄生电感和电容造成的振铃效应。该电阻器还有助于满足转换器的 EMI 要求。此 TI 设计使用了一个 2Ω 的电阻器。该值取决于与实际布局相关的寄生元件，并且在初始测试期间进行了优化，以实现良好趋稳和低电阻损耗。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器以反并联方式放置。在 MOSFET 的栅极和接地端之间放置了一个 3.3kΩ 的电阻器，以使栅极电容放电并防止意外的快速瞬变触发导通所造成的损害。

FET 上的最高电压是最高输出升压电压（为 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。因此，此设计使用最高额定电压为 600V 的 IPP60R380E6 MOSFET。

出于成本竞争力考虑，此设计还可以使用 IGBT 来替换 MOSFET。MOSFET 需要适当尺寸的散热器。

2.5 偏置电源

此 TI 设计还提供 12V 的偏置电源，该电源可提供高达 3W 的输出功率。电源的核心是 UCC28881，这是一个低成本高电压的降压控制器。此器件可用于将高压直流输入（宽电压范围，从 90V 到 380V）或交流输入（范围从 85V 到 270V）转换成标准电源轨。根据电器要求，此设计满足高效率 (> 75%) 以及闲置模式下低于

100mW 的低待机功耗要求。此偏置电源参考设计可提供以下关键优势：

- 适用于宽泛的输入范围，包括直流输入（从 90V 到 380V）和交流输入（从 85V 到 270V）
- 集成高电压电流源，用于内置器件偏置电源
- 结合使用频率调制和峰值电流调制，从而实现高转换效率

控制器具有固有的安全功能，可检测受到损坏的开环反馈环路。在这种情况下，控制器将关闭 MOSFET，以防止低压系统组件遭遇潜在的过压状况和损坏。此外，控制器还会在短路、过流和过压状况下提供输出保护。

此 TI 设计不包含偏置电源测试。有关使用 UCC28881 对交流输入进行 12V 转换的更多详细信息，请参阅 [TIDA-00940](#) 设计。有关基于 TPS54202 进行 12V 到 5V（或 3.3V）转换的更多详细信息，请参阅基于直流/直流的 LDO 替代参考设计：

- [TIDA-00946](#)（5V、双层）
- [TIDA-00947](#)（3.3V、双层）
- [TIDA-00948](#)（5V、单层）
- [TIDA-00949](#)（3.3V、单层）

3 硬件入门

为了能够在 TIDA-00776 交流/直流电源转换器上轻松执行任意测试，本节将概述各种连接和建议的启动序列。

3.1 PCB 概述

图 2 显示了标有功能块的 PCB 图片。

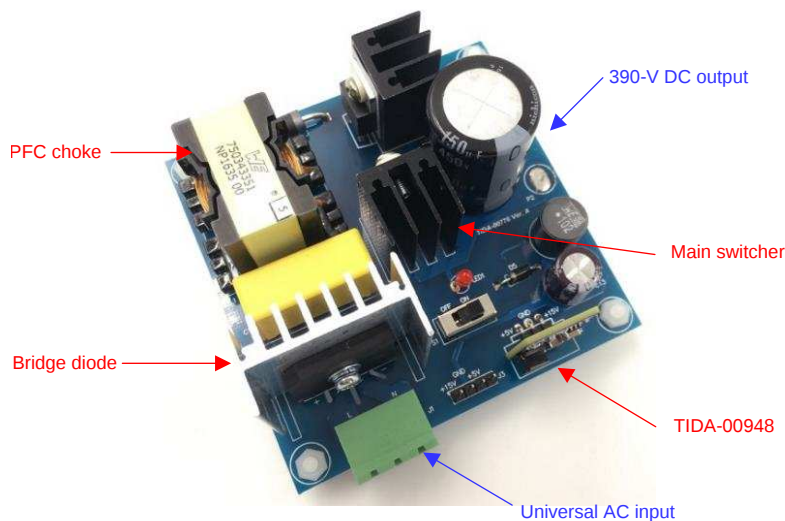


图 2. 标有功能块的 TIDA-00776 PCB

3.2 连接器设置

为了轻松将转换器连接到电源和负载以进行评估，表 2 中提供了电路板上所有连接器（J1、J2、J3 和输出连接器）的引脚详细信息。

表 2. 电路板的连接器设置

连接器	功能	说明
J1		
J1-1	相线	交流输入电源的相线
J1-2	—	未使用
J1-3	中立	交流输入电源的中性线
J2		
J2-1	5V	5V 偏置电源输出
J2-2	PGND	偏置电源的接地端
J2-3	12V	12V 偏置电源输出
J3		
J3-1	12V	12V 偏置电源输出
J3-2	PGND	偏置电源的接地端
J3-3	5V	5V 偏置电源输出
J3-4	—	未使用
输出		
P1	VDCBUS	PFC 输出
P2	PGND	偏置电源的接地端

3.3 上电流程

以下六个步骤概述了建议的交流/直流电源转换器的上电流程：

1. 根据表 2 中的定义，将参考电路板的输入端子 J1 连接到交流电源。
2. 将输出端子（P1 和 P2）与电子负载相连接，确保正确极性（P1 是 390V 直流输出端子，P2 是接地端）。
3. 从 0V 开始逐渐增大输入电压，直至打开 230V 交流电压。
4. 将 S1 的开关推到“ON”状态，以便从内部为 PFC 控制器供电。
5. 启动负载，从 PFC 输出端子吸引电流。
6. 执行所需的测试，以评估电源转换器的性能。

4 测试和结果

测试结果分成六个部分：

- 测试条件
- 测试设备
- 电源转换器的稳态性能特征
- 这些特征的列表形式总结
- 瞬态波形和特征行为
- 热性能测量

4.1 测试设置和条件

本节简要介绍测试设置和条件。通常，我们会使用两个通用仪表（分别用于测量输出电压和输出电流）和一个电源分析仪。电源分析仪负责测量输入电压、输入电流、功率因数和输入电流的 THD，除非另有说明，否则这些测量都是在室温 22.5°C 的条件下执行的。

在测试期间，电源的输入电压 (V_{IN}) 范围为 90V 到 270V 交流。电源分析仪的交流电源输入电流限制设置为 5A。输出端具有额定电压不低于 400V 的可变电子负载，可使负载电流在 0mA 至 1A 范围内变化。

图 3 显示了交流/直流转换器在测试台上的设置和运行。

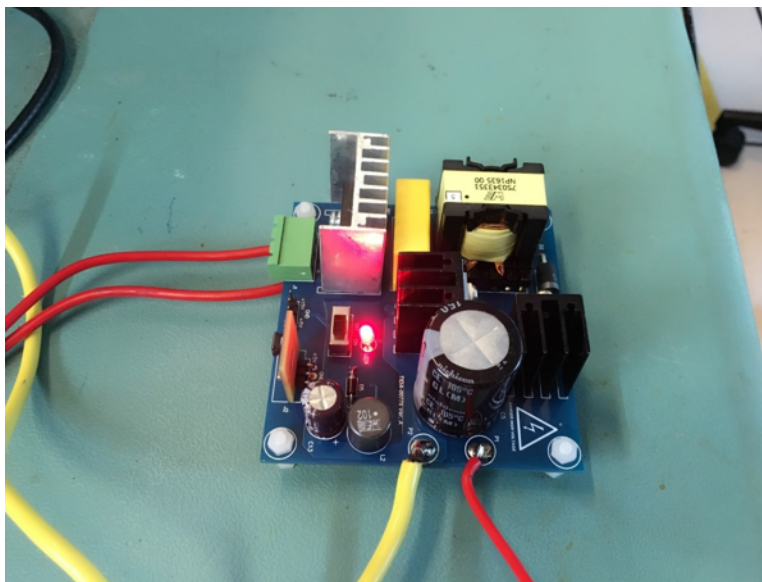


图 3. 在测试台上运行交流/直流转换器

4.2 测试设备

本部分在表 3 中列出了用于测试 TIDA-00776 的测试设备。

表 3. 测试设备

测试设备	部件号
示波器	Tektronix DPO 3054
电压探头	Tektronix P6139A
电流探头	Tektronix TCP202
万用表	Fluke 287C
电子负载	Chroma 63204
热像仪	Fluke TI110
电源分析仪	Voltech PM100

4.3 稳态转换器性能特征

本节介绍交流/直流电源转换器的相关稳态特征。测得的特征分为四个部分：

- 效率
- 功率因数和总谐波失真
- 负载调节率
- 谐波

4.3.1 效率

图 4 显示了三种典型交流输入电压电平下测得的交流/直流电源转换器的效率与负载电流之间的关系。

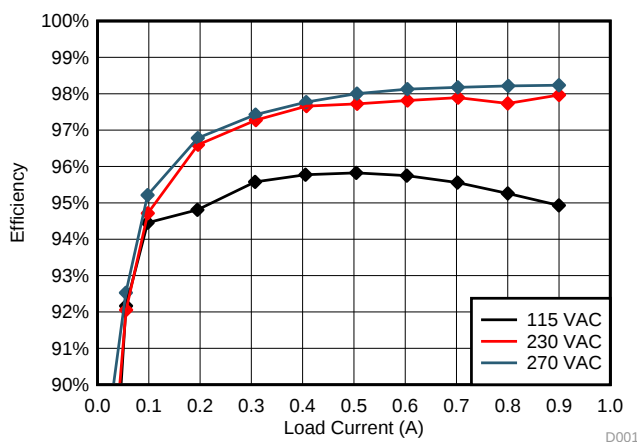


图 4. 效率与负载电流间的关系

对于高压线路输入，转换器可实现高达 98.2% 的效率。即使是在低压线路输入电平条件下，最大效率也接近 96%。因此，减少了冷却方面的需求，从而降低了总体系统尺寸和成本。此外，对于非常低的负载（额定满载的 5%），转换器的效率仍然十分出众，可保持在 90% 以上。

4.3.2 功率因数和总谐波电流失真

图 5 显示了三种典型交流输入电平下测得的转换器的功率因数与负载电流之间的关系。达到额定负载的 60% 时，功率因数大于 0.99。即使在额定负载的 10% 这种非常低的负载条件下，即使对于高压线路输入电压，功率因数也已经在 0.9 以上，所以功率因数校正可以在所有工作条件下都可以很好地发挥作用。

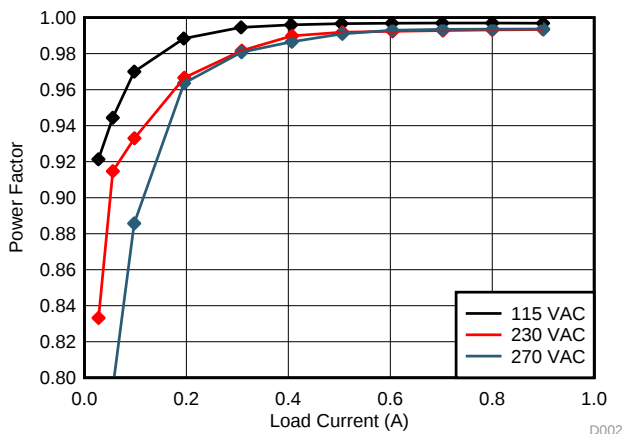


图 5. 功率因数与负载电流间的关系

图 6 展示了三种典型交流输入电平下测得的转换器的输入电流总谐波失真 (THDi) 与负载电流之间的关系。对于超过额定满载的 50% 的负载，输入电流的 THDi 远低于 7%。即使对于低至额定满载的 20% 的负载，THDi 也已经在 10% 以下。因此，高位电流谐波可以可靠地满足 IEC61000-3-2 的要求。

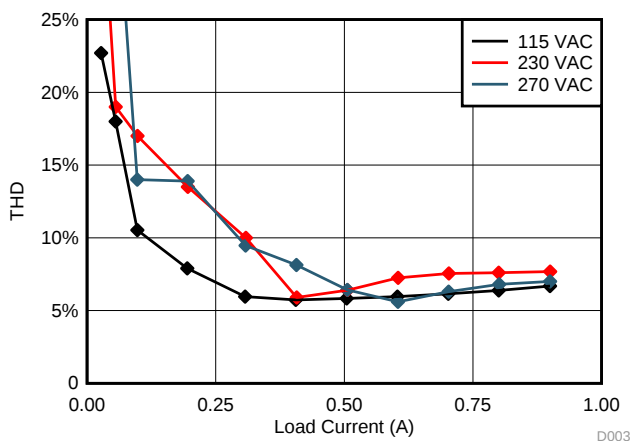


图 6. THDi 与负载电流间的关系

4.3.3 负载调节率

图 7 显示了从空载到满载的负载条件下所测得的转换器的负载调节率。负载调节率是指一定负载电流下的输出电压与平均输出电压之间的差异。其最大值低于 0.2%，这证明了 UCC28180 具有优异的负载调节能力。

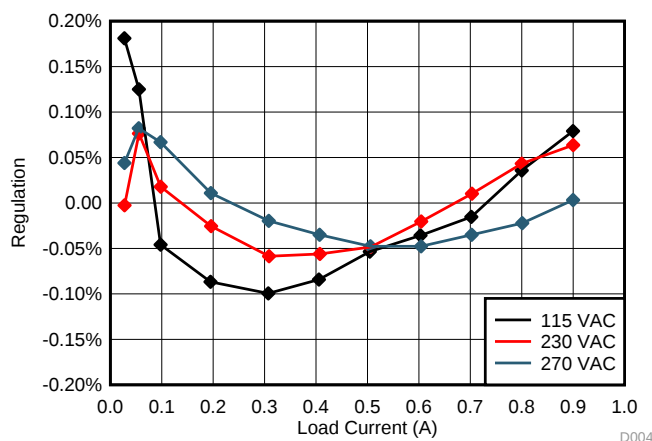


图 7. 相对输出电压调节与负载电流间的关系

4.3.4 谐波测量

达到要求的标准是所有实用设计最重要的要求之一。以下章节证明了转换器谐波低于严格的 IEC 61000-3-2:2014 标准定义的额定输出功率电平达到 10%、60% 和 100% 负载时的限值。该小节一开始将列出标准中定义的电平，然后依次介绍三种递增负载条件下的谐波特征。

表 4 中列出了 BSI IEC 61000-3-2:2014 标准要求交流/直流电源转换器在各谐波频率下不得超过的输入电流。

表 4. IEC61000-3-2 D 类设备的限值

谐波次数 (n)	每瓦允许的最大谐波电流 (mA/W)	允许的最大谐波电流 (A)
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (仅限奇次谐波)	$3.85/n$	请参阅 IEC 61000-3-2:2014 的表 1

IEC61000-3-2, D 类是最严格的标准，因为 D 类的限值取决于输出功率电平，这意味着在低负载条件下最难通过此类标准。

表 5 概述了当负载分别为额定输出功率的 10%、60% 和 100% 时的目标输出电压和施加的负载电流。

表 5. 输出电压和电流负载与额定输出功率的百分比间的对应关系

参数	额定输出功率的百分比		
	10%	60%	100%
额定功率 (W)	39	200	350
输出电压 (V)	390	390	390
输出电流 (A)	0.10	0.50	0.90

图 8 比较了在恒定负载为额定输出功率的 10% 时测得的转换器电流电平和 IEC 61000-3-2:2014 指定的限值（谐波最高为工频的 39 次谐波）。转换器的输入电流“TIDA-00776_40W 负载”在所有谐波频率下均低于相应的“IEC61000-3-2 D 类”限值。

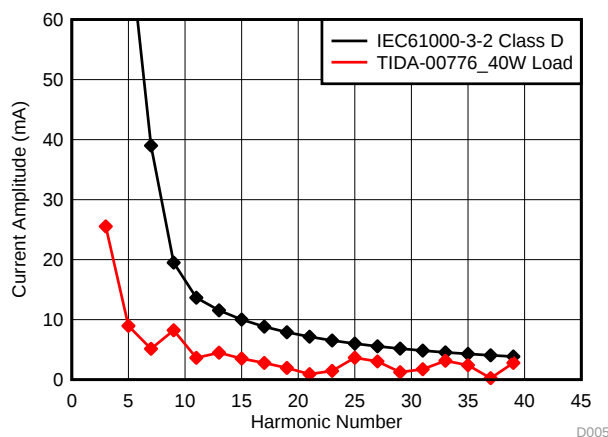


图 8. 10% 额定输出功率条件下的电流谐波限值和转换器电流

图 9 比较在恒定负载为额定输出功率的 60% 的条件下，针对各谐波所测得的电流电平和指定限值。对于 60% 的额定负载，转换器的电流“TIDA-00776_200W 负载”在所有谐波条件下，不仅低于“IEC61000-3-2 D 类”的限值，而且还有裕量。

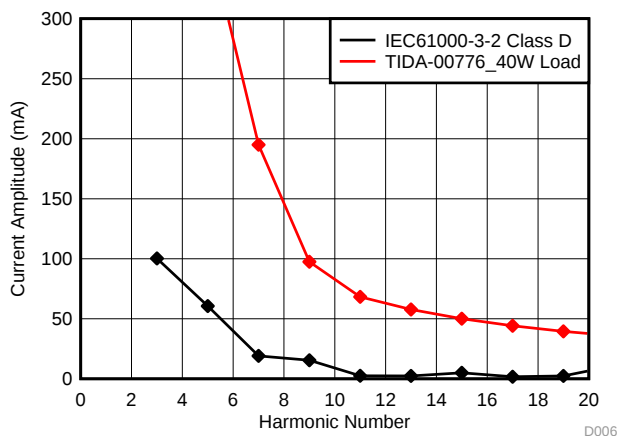


图 9. 200W 输入功率时的电流谐波

图 10 比较了针对各谐波所测得的电流电平和指定限值。这次特定测试中的负载消耗了 100% 的额定输出功率。在这种满载条件下，转换器的电流“TIDA-00776_350W 负载”在所有谐波条件下，不仅保持低于“IEC61000-3-2 D 类”的限值，而且还有大量裕量。

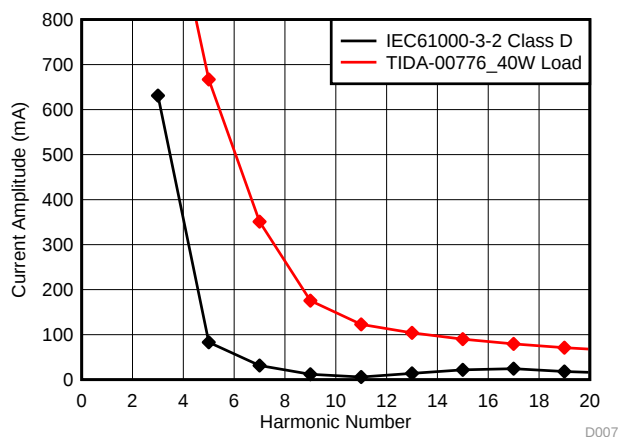


图 10. 350W 输入功率时的电流谐波

表 12 在一个表格中总结了之前展示的所测得的电流值。可以将电源转换器电流与根据 IEC61000-3-2 针对负载分别为额定输出功率的 10%、60% 和 100% 时的输出功率电平所设置的适用限值进行比较，并且可参考至最多 39 次谐波。

4.4 稳态测量值的列表形式总结

我们根据相关的电源转换器运行状态以列表形式总结了交流/直流转换器的稳态特征，将其分组为有负载、无负载、待机和过载运行特征。本小节在结尾提供了谐波与适用限值的对照表。

4.4.1 效率和调节特征与负载的关系

以下三个表格总结了不同线路电压电平下电源转换器的性能特征与不断递增的负载电流之间的关系。这些特征包括效率、功率因数、总谐波电流失真 (THDi)、输出电压以及功率和电流电平。

表 6 总结了在 115V 交流线路电压输入电平条件下，稳态电源转换器性能特征与不断递增的负载电流的之间的关系。

表 6. 115V 交流线路输入条件下的性能数据（包括效率、功率因数和 THD）

V_{INAC} (V)	I_{INAC} (A)	PF	P_{INAC} (W)	i_{THD} (%)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	P_{OUT} (W)	η (%)
115	0.12	0.92	12.5	22.70	392.8	0.03	10.8	85.9
115	0.22	0.94	23.6	18.00	392.6	0.06	21.8	92.2
115	0.36	0.97	40.6	10.53	391.9	0.10	38.3	94.5
115	0.71	0.99	80.5	7.90	391.8	0.19	76.3	94.8
115	1.10	0.99	125.9	5.96	391.7	0.31	120.3	95.6
115	1.45	1.00	165.9	5.73	391.8	0.41	158.9	95.8
115	1.80	1.00	206.4	5.83	391.9	0.50	197.7	95.8
115	2.16	1.00	246.9	5.96	392.0	0.60	236.4	95.7
115	2.52	1.00	288.0	6.15	392.0	0.70	275.2	95.6
115	2.88	1.00	329.4	6.38	392.2	0.80	313.8	95.3
115	3.25	1.00	371.9	6.68	392.4	0.90	353.0	94.9

表 7 总结了在 230V 交流线路电压输入电平条件下的转换器特征。

表 7. 230V 交流线路输入条件下的性能数据（包括效率、功率因数和 THD）

V_{INAC} (V)	I_{INAC} (A)	PF	P_{INAC} (W)	i_{THD} (%)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	P_{OUT} (W)	η (%)
230	0.06	0.83	12.4	34.60	392.7	0.03	10.9	87.4
230	0.11	0.91	23.8	19.00	393.0	0.06	21.9	92.1
230	0.19	0.93	40.6	17.00	392.8	0.10	38.5	94.7
230	0.36	0.97	79.7	13.50	392.6	0.20	76.9	96.6
230	0.55	0.98	124.6	10.00	392.5	0.31	121.2	97.3
230	0.72	0.99	163.8	5.90	392.5	0.41	159.9	97.7
230	0.89	0.99	203.3	6.40	392.5	0.51	198.6	97.7
230	1.06	0.99	242.6	7.25	392.6	0.60	237.3	97.8
230	1.24	0.99	282.1	7.55	392.7	0.70	276.2	97.9
230	1.41	0.99	321.6	7.60	392.9	0.80	314.3	97.7
230	1.58	0.99	361.0	7.68	393.0	0.90	353.7	98.0

表 8 总结了在 270V 交流线路电压输入电平条件下的转换器特征。

表 8. 270V 交流线路输入条件下的性能数据（包括效率、功率因数和 THD）

V_{INAC} (V)	I_{INAC} (A)	PF	P_{INAC} (W)	i_{THD} (%)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (A)	P_{OUT} (W)	η (%)
270	0.07	0.61	12.1	55.00	393.1	0.03	10.8	89.6
270	0.11	0.79	23.5	35.00	393.2	0.06	21.7	92.5
270	0.17	0.89	40.3	14.00	393.1	0.10	38.4	95.2
270	0.30	0.96	79.4	13.90	392.9	0.20	76.8	96.8
270	0.47	0.98	124.2	9.47	392.8	0.31	121.0	97.4
270	0.61	0.99	163.5	8.13	392.7	0.41	159.8	97.8
270	0.76	0.99	202.7	6.42	392.7	0.51	198.6	98.0
270	0.90	0.99	241.8	5.60	392.7	0.60	237.3	98.1
270	1.05	0.99	281.1	6.30	392.7	0.70	276.0	98.2
270	1.19	0.99	320.3	6.80	392.8	0.80	314.6	98.2
270	1.34	0.99	359.9	7.00	392.9	0.90	353.5	98.2

从这些表格中可以看出，即使在非常低的负载下，功率因数也很容易就超过 0.9，并且输入电流的 THD 低于 10%。在高压线路输入条件下，TIDA-00776 可以实现高达 98.2% 的转换器效率，并且即使在低压线路输入条件下，也可以获得接近 96% 的效率。此外，对于非常低的负载（额定满载的 3%），也可以获得非常出色的轻负载效率。

4.4.2 无负载功耗

电源转换器的无负载功耗是在多个交流线路电压输入电平条件下采集的。测试过程中启用了 PFC 控制器。

表 9 以列表形式展示了无负载功耗的结果。

表 9. 稳压输出的无负载电流和功耗

V_{INAC} (VAC)	I_{INAC} (mA)	P_{INAC} (W)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (mA)	P_{OUT} (W)	空载功率 (W)
90	18.5	1.23	392.8	0	0	1.23
115	18.3	1.34	391.8	0	0	1.34
150	14.6	0.86	391.5	0	0	0.86
195	11.3	0.62	391.6	0	0	0.62
230	10.9	0.58	391.5	0	0	0.58
270	12.8	0.47	391.3	0	0	0.47

由于此运行模式下存在有源输出调节，因此输出电压为 390 V 直流，高压线路电压的功耗将低于 0.6W。通过切换到待机模式还可进一步降低此功耗。

4.4.3 待机功耗

待机功耗是在多个交流输入线路电压条件下测量的，测量时禁用了 PFC 控制器。表 10 以列表形式展示了整流输出配置的结果。

表 10. 整流输出条件下的待机功耗

V_{INAC} (VAC)	I_{INAC} (mA)	P_{INAC} (W)	V_{OUT} (V)	I_{OUT} (mA)	P_{OUT} (W)	待机功耗 (W)
90	9.0	0.22	125.2	0	0	0.22
115	8.1	0.22	160.6	0	0	0.22
150	7.7	0.25	210.2	0	0	0.25
195	7.3	0.28	273.9	0	0	0.28
230	7.7	0.32	323.4	0	0	0.32
270	7.9	0.38	380.0	0	0	0.38

此运行模式禁用 PFC 控制器。只有偏置电源和反馈电阻器耗电，因此待机功率始终非常低（低于 0.4W）。

4.4.4 过载和电流测量

表 11 显示了递增过载条件下的输出电压和总谐波失真。即使有 17% 的过载，THD 仍然低至 7.5% 左右。

表 11. 过流测量

负载百分比	V_{INAC} (VAC)	电流 (A)	电压 (V)	THDi (%)	功耗 (W)
100%	230	0.89	391.5	7.3	347
105%	230	0.93	391.7	7.4	363
108%	230	0.96	391.8	7.4	375
113%	230	1.00	391.8	7.5	391
117%	230	1.04	391.8	7.5	408
122%	230	1.08	391.8	7.6	424

4.4.5 谐波测量

本节的表 12 中记录了第 4.3.4 节的测试结果，以供参考。其中列出了当负载分别为额定输出功率电平的 10%、60% 和 100% 时各转换器谐波（最高为 39 次谐波）所对应的数据。此外，还列出了按严格的 IEC 61000-3-2:2014 标准定义的相应限值。

表 12. 电流谐波限值和转换器电流

谐波次数	额定输出功率的百分比					
	10%		60%		100%	
	谐波振幅 (mV)					
	测量值	限值	测量值	限值	测量值	限值
1	177.25	—	884.6	—	1569.6	—
3	25.54	132.6	100.3	663.0	631.0	1193.4
5	8.96	74.1	60.6	370.5	82.9	666.9
7	5.14	39.0	19.1	195.0	31.4	351.0
9	8.23	19.5	15.4	97.5	12.0	175.5
11	3.64	13.7	2.5	68.3	5.8	122.9
13	4.50	11.6	2.4	57.8	13.9	104.0
15	3.52	10.0	5.0	50.1	21.8	90.1
17	2.78	8.8	1.7	44.2	24.4	79.5
19	1.95	7.9	2.4	39.5	18.2	71.1
21	0.92	7.2	11.0	35.8	13.9	64.4
23	1.46	6.5	11.7	32.6	9.6	58.8
25	3.65	6.0	14.1	30.0	7.6	54.1
27	3.04	5.6	18.5	27.8	4.9	50.1
29	1.25	5.2	15.6	25.9	3.5	46.6
31	1.74	4.8	12.3	24.2	3.8	43.6
33	3.15	4.6	7.6	22.8	3.4	41.0
35	2.41	4.3	3.2	21.5	4.6	38.6
37	0.25	4.1	1.2	20.3	4.0	36.5
39	2.79	3.9	3.6	19.3	1.8	34.7

从轻负载到满载条件，转换器的电流均低于“IEC61000-3-2 D 类”针对 230V 交流条件下所有谐波的限值，且还有大量裕量。

4.5 瞬态表现和特征

本小节将按以下顺序讨论电源转换器的相关瞬态特征：

- 启动和关闭行为
- 满载输入电压和电流波形
- 工频和开关频率下的输出电压纹波
- PFC 扼流电流、栅极和开关节点瞬态行为
- 瞬态突变负载变化阶跃响应行为

4.5.1 启动和关闭行为

启动和关闭是评估电源转换器稳定可靠运行能力的重要测试。此类测试分别针对 50Hz 和 60Hz 的工频执行并记录。线路电压电平在所有情况下均选择为 230V 交流。

图 11 用亮蓝色表示转换器线路输入电流瞬态，用深蓝色表示上升输出电压，并且显示了持续 200ms 的初始启动阶段。电流起初快速增加，然后稳定在 CCM 中，大容量电容通过输出电压迅速充电。当设置 PFC 调节后，第一个周期中的输入电流小峰值将消失。充电电流随着使用 50Hz 工频而变化，电压增量则随之变化。转换器按预期启动。

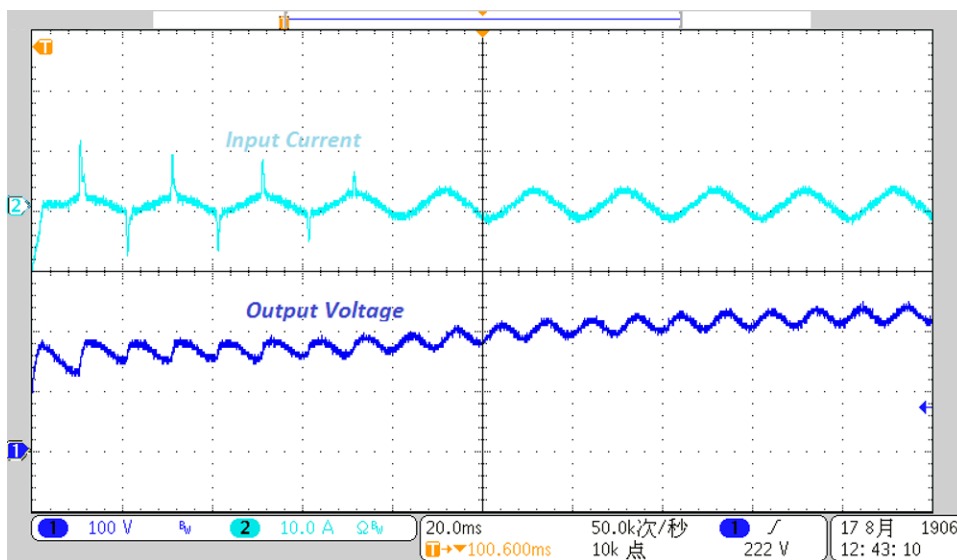


图 11. 230V 交流 50Hz 线路电压输入条件下的启动行为

图 12 用亮蓝色表示转换器线路输入电流，用深蓝色表示输出电压。起初恒定的开关输入电流随着使用 50Hz 的工频发生变化。在所显示的 1s 时间内，转换器在 580ms 被禁用。转换器被禁用后，电流被瞬间关闭，大容量电容上的输出电压以恒定电流（由电子负载消耗）持续放电。转换器按预期顺利关闭。

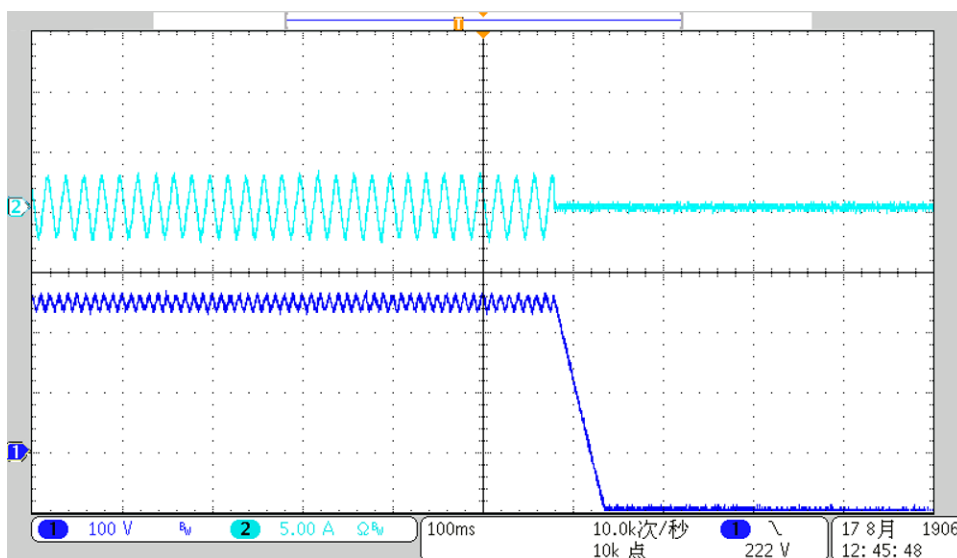


图 12. 230V 交流 50Hz 输入电压条件下的关闭行为

图 13 展示了 60Hz 工频条件下 200ms 时间段内的转换器初始启动。输入电流（亮蓝色）起初快速增加，然后稳定在 CCM 中，并为大容量电容充电。在接近 60Hz 的工频时，充电电流会有所变化，输出电压（深蓝色）的增量则随之变化。60 Hz 的工频不会改变启动行为。转换器按预期启动。

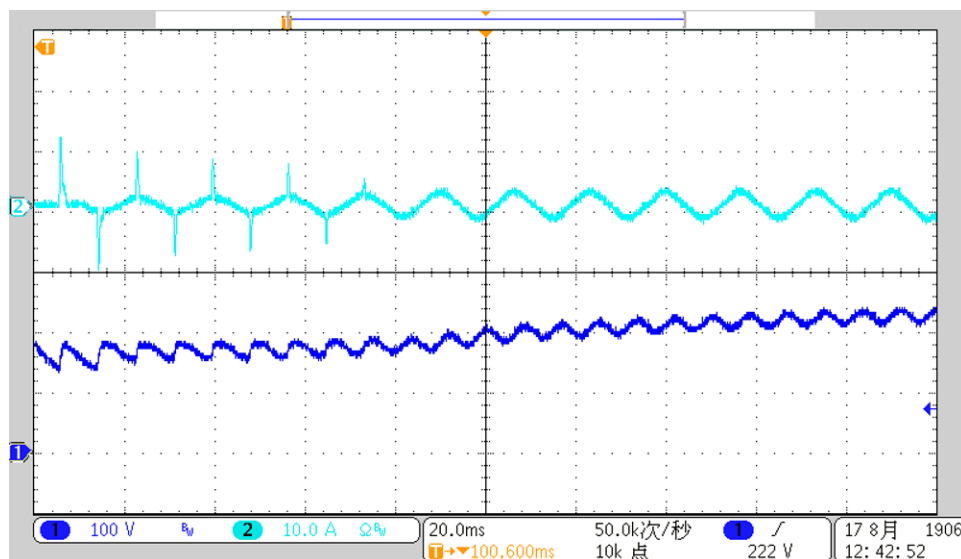


图 13. 230V 交流 60Hz 输入电压条件下的启动行为

图 14 展示了 60Hz 工频测试中 1s 时间段内的转换器关闭行为。起初恒定的开关输入电流（亮蓝色）随着使用工频 60Hz 而发生变化。在所显示的 1s 时间内，转换器在 600ms 后被禁用。然后，电流被瞬间关闭，大容量电容上的输出电压（深蓝色）以恒定电流（由电子负载消耗）持续放电。转换器按预期快速顺利地关闭，且不受工频影响。

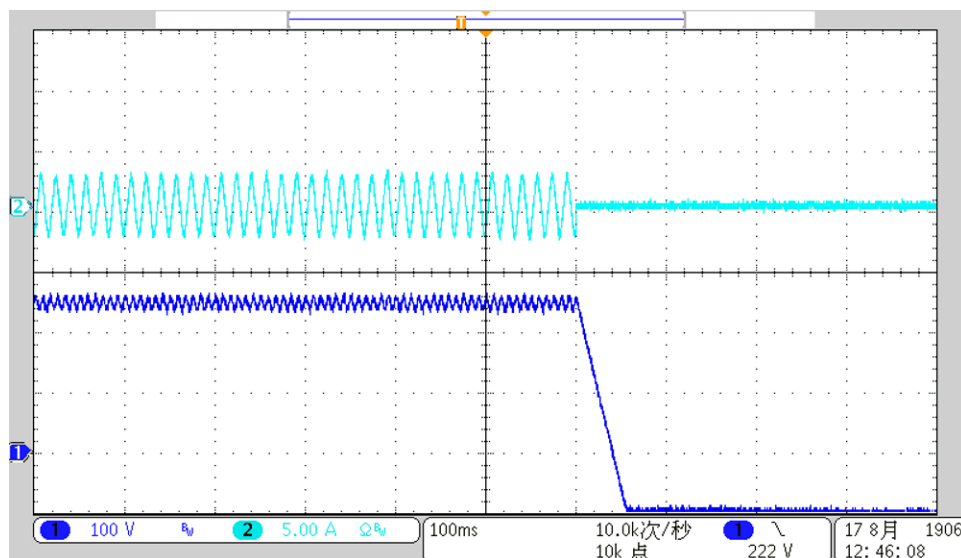


图 14. 230V 交流 60Hz 输入电压条件下的关闭行为

4.5.2 满载输入电压和电流波形

图 15 显示了满载条件下 230V 交流时的输入电压（深蓝色）和输入电流（亮蓝色）波形。正如预期的那样，由于测量的高功率因数和低失真，电流与输入电压非常接近并且同相。

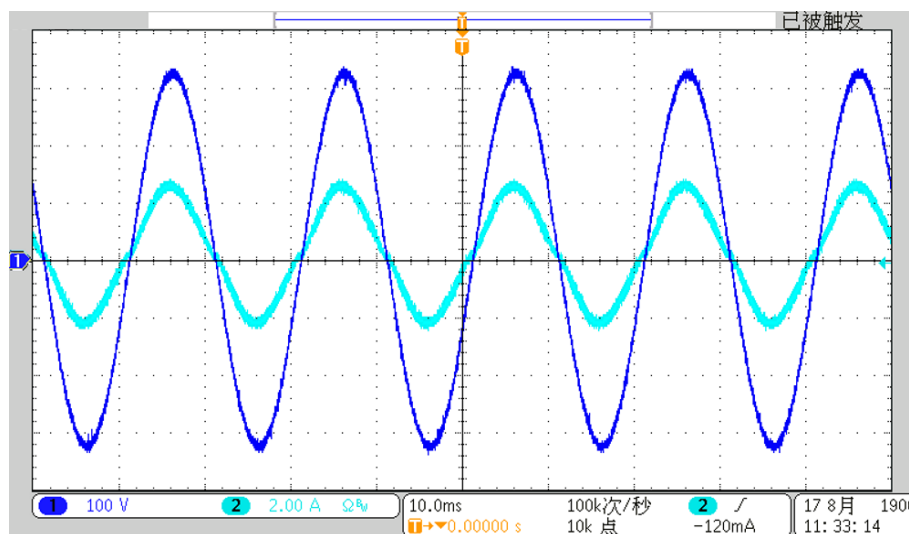


图 15. 在 230V 交流输入下满载时的输入电压和电流

4.5.3 输出电压纹波

本节介绍在两种不同工频条件下，工频和开关频率下交流/直流电源转换器的 390V 直流输出中出现的纹波。

图 16 显示了 50Hz 的工频下，在 40ms 周期内，转换器在 390V 直流输出条件下的输出电压。预计小于 5% 的峰间纹波与解决方案成本、尺寸和性能之间的折衷有关。工频输出电压纹波与大容量电容成比例。为了优化此 TI 设计的成本和解决方案尺寸，我们使用了电容非常小的大容量电容器，电容仅有 150μF。因此，工频纹波不可忽略。相关应用应该非常愿意接受这种折衷；即使通过慢调节回路，也可以非常有效地抑制 50Hz 的低频纹波。对于更严格的工频纹波要求，可以使用电容较大的大容量电容器。

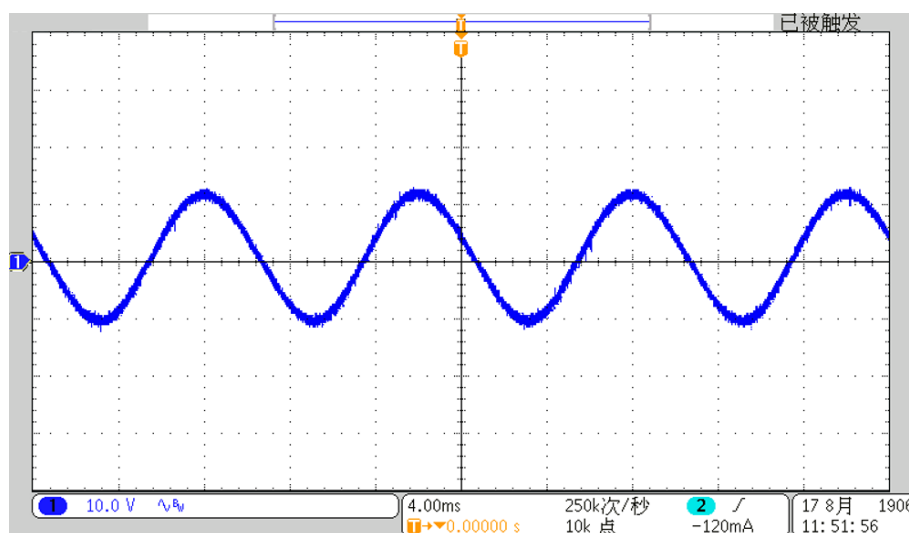


图 16. 50Hz 工频输出电压纹波

图 17 显示了在 40ms 内，在 60Hz 的工频下，可以观察到的转换器在 390V 直流输出条件下预计少于 5% 的峰间纹波。再次说明，这种纹波与大容量电容器的尺寸之间存在折衷。

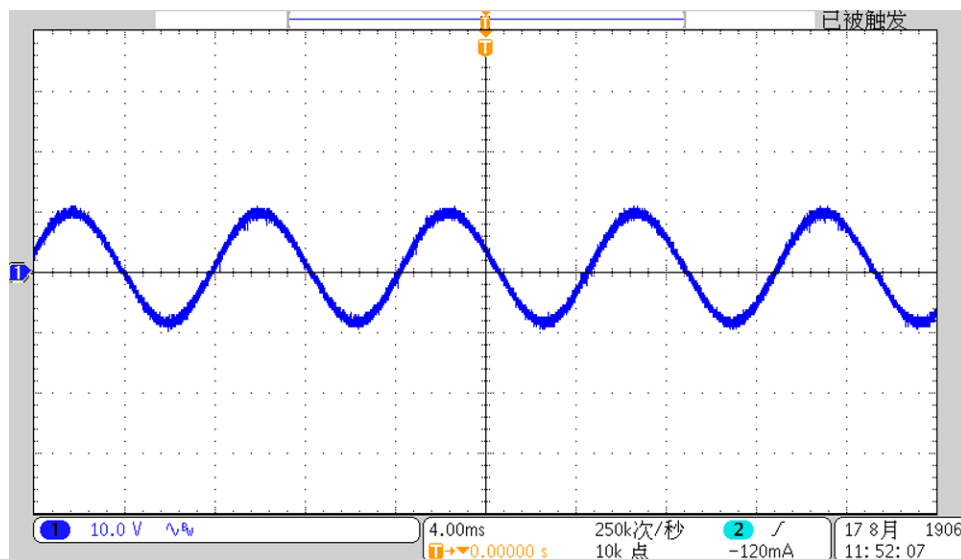


图 17. 60Hz 工频输出电压纹波

图 18 显示了在 40μs 内，在 50Hz 的工频下，转换器在 390V 直流输出条件下预计少于 1% 的峰间开关纹波。

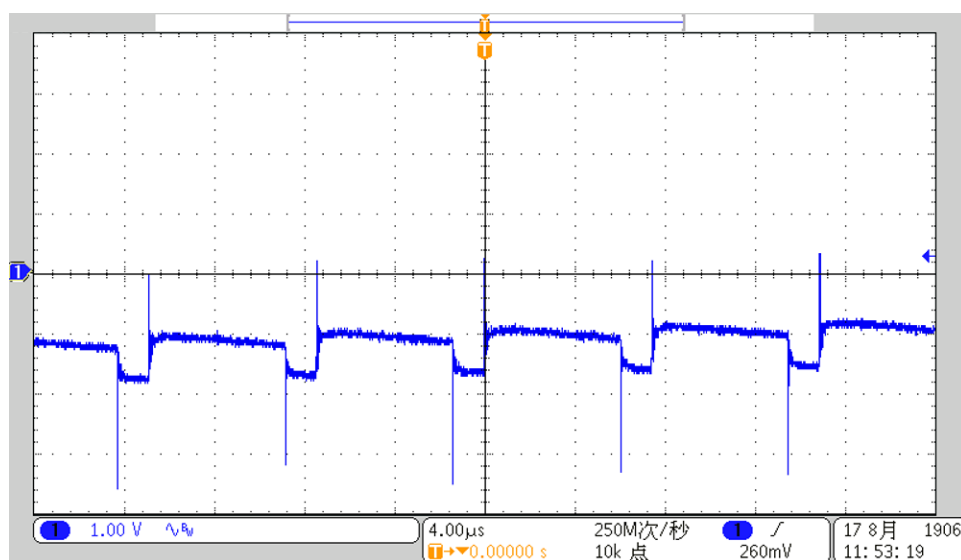


图 18. 50Hz 工频时开关频率下的输出电压纹波

图 19 显示了在 $40\mu\text{s}$ 内，在 60Hz 的工频下，转换器在 390V 直流输出条件下预计少于 1% 的峰间开关纹波。

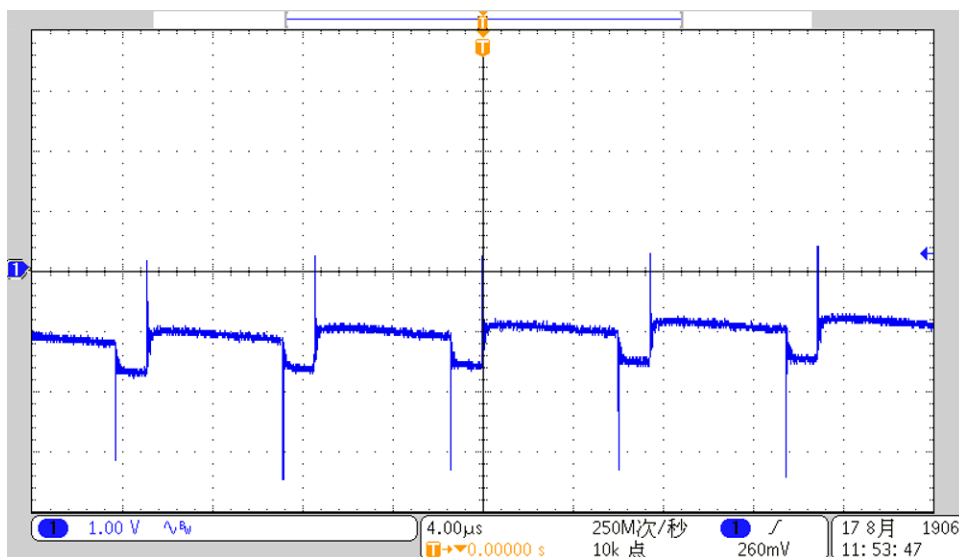


图 19. 60Hz 工频时开关频率下的输出电压纹波

4.5.4 PFC 扼流电流、栅极和开关节点波形

在本小节中，通过考虑典型 PFC 扼流电流、栅极电压和开关节点电压瞬态来研究转换器的可靠性。

图 20 显示了工频刻度上的 PFC 扼流电流（亮蓝色）和栅极驱动器的输出波形（深蓝色）。PFC 扼流电流的小纹波表明始终在 CCM 中运行。因此，总谐波失真较低，并且导致电感器的电流纹波和功耗也很低。

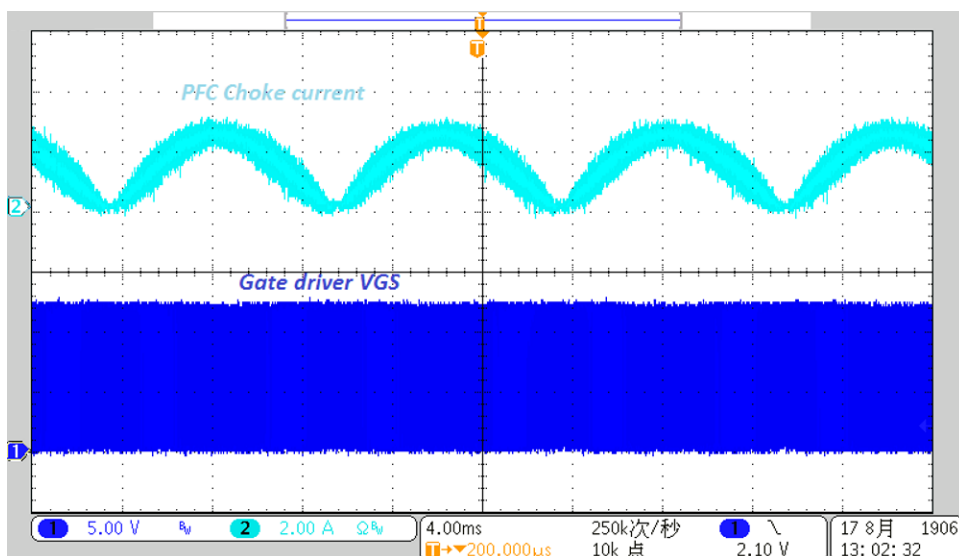


图 20. 工频刻度上的扼流电流和 VGS 波形

图 21 显示了开关频率刻度上的 PFC 扼流电流（亮蓝色）和栅极驱动器的输出波形（分别为 MOSFET 栅极电压 VGS [深蓝色] 和漏极电压 VDS [品红色]）。平滑的开关波形证明虽有阶跃但仍整体良好的阻尼动态趋稳，这能够实现快速通电和断电以及高效率。任何振铃或过冲的消失都会最大限度地减少噪音、降低过滤要求 and 成本。

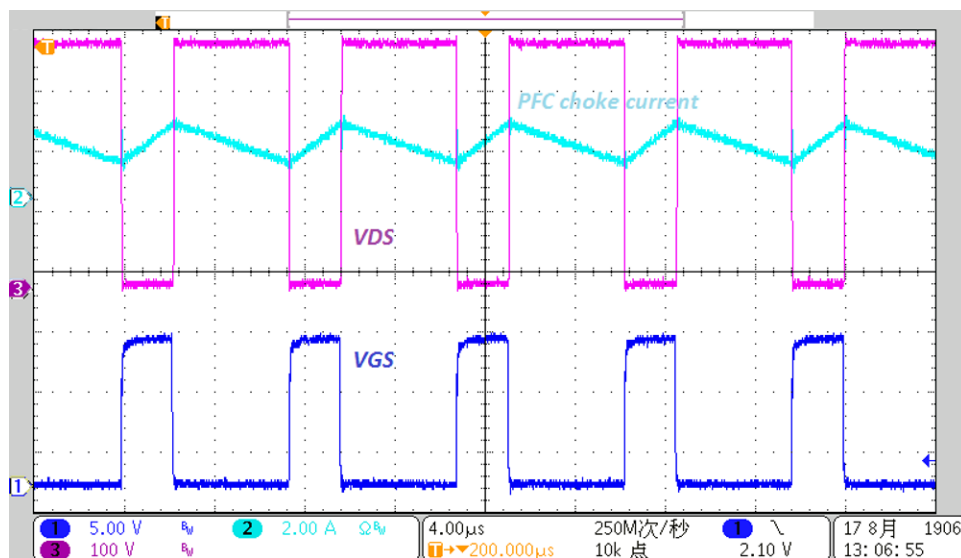


图 21. 开关频率刻度上的扼流电流、VGS 和 VDS

图 22 放大显示了当 MOSFET 在 230 V 交流线路电压的满载条件下通电时的栅极电压 VGS（深蓝色）和漏极电压 VDS（品红色）。可以看到，通电过程快速且平稳。

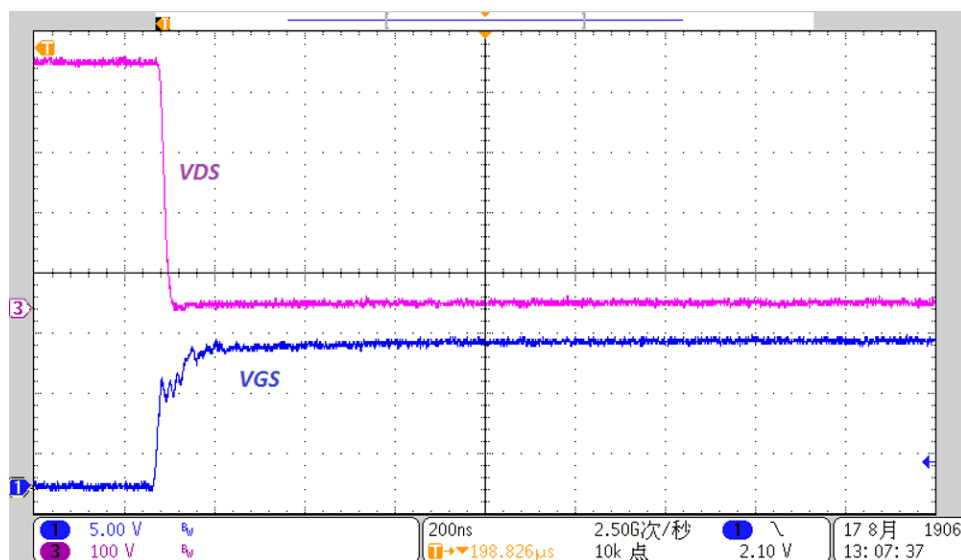


图 22. VGS 和 VDS MOSFET 通电波形

图 23 放大显示了当 MOSFET 在 230 V 交流线路电压的满载条件下断电时的栅极电压 VGS（深蓝色）和漏极电压 VDS（品红色）。断电过程快速且平稳。

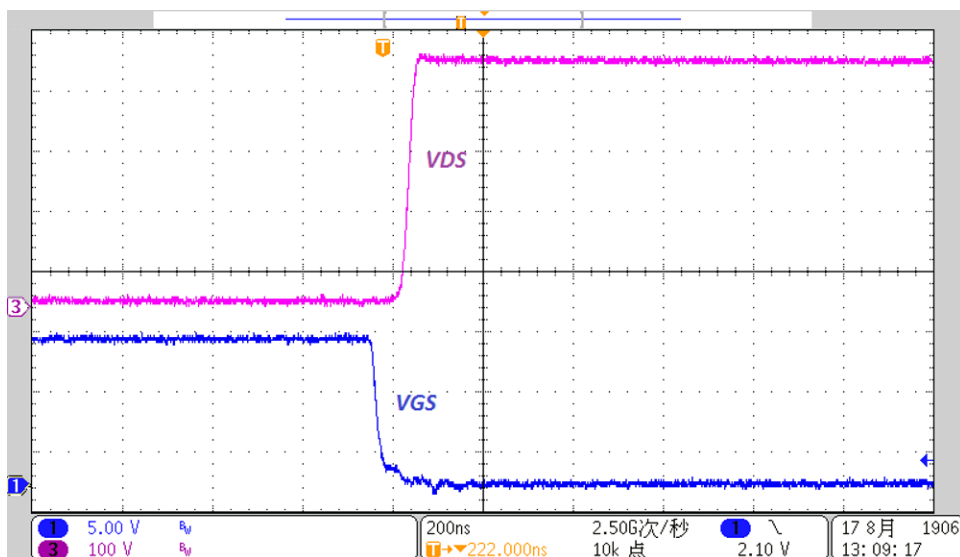


图 23. VGS 和 VDS MOSFET 断电波形

4.5.5 瞬态突变负载变化阶跃响应行为

用于评估电源转换器的动态行为性质的另一个非常有用的标准是其对突然负载变化的响应。因此，此报告也测试和记录了此行为。负载阶跃响应使用周期性突变电子负载进行测试。

图 24 显示了在 230V 交流的线路电压输入电平下，阶跃负载电流（亮蓝色）从 0A 到 0.9A 再反向从 0.9A 到 0A 的过程。由于存在瞬子负载阶跃，因此输出电压（深蓝色）下降超过 5%，然后 UCC28180 增强型动态响应 (EDR) 将快速增加电流并抑制输出电压下降。

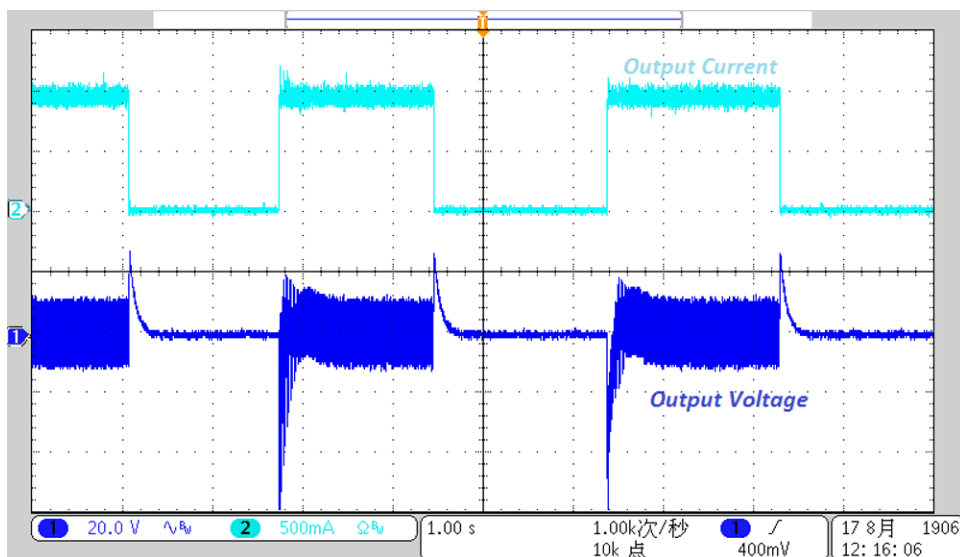


图 24. 230V 输入下的负载瞬态

4.6 热性能测量

完善的热管理是任何电源转换器的冷却工作量与成本之间的折衷。为了更好地了解功率组件的温度和实际工作温度，我们在封闭、无气流的室温 (25°C) 条件下，针对不同输入电压和负载水平，在不同的负载条件下绘制了热感图像。我们让转换器在负载变化后运行了 30 分钟，然后采集热感图像。这段时间确保了工作温度趋稳。

图 25 表明了 在 220W 负载和 90V 交流输入电压下，整个交流/直流电源转换器的温度分布情况。

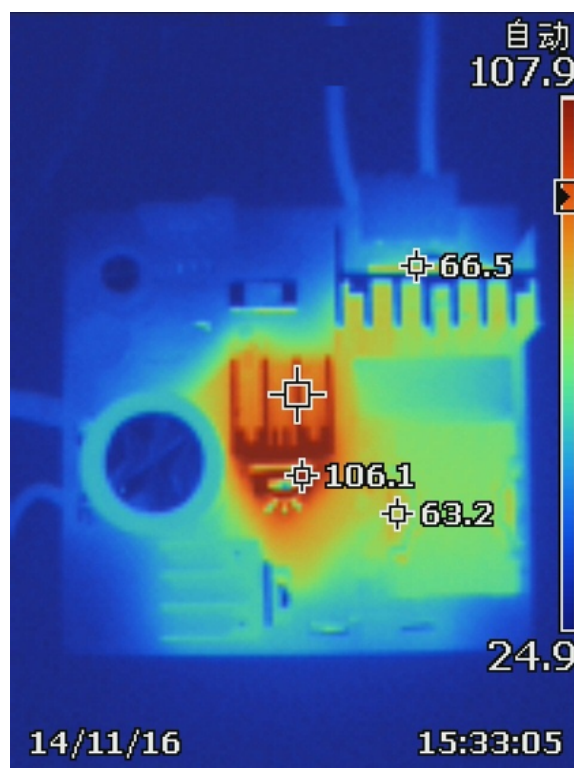


图 25. 90V 交流输入和 180W 负载下的转换器 PCB 顶部热感图像

表 13 总结了图 25 中的转换器组件的温度。

表 13. 90V 交流输入和 180W 负载下的
组件温度总结

参数	值
输入电压	90V
输出功率	180W
环境温度	25°C
主开关	106.1°C
PFC 扼流线圈	63.2°C
桥式二极管	66.5°C

除了主开关，温度都远低于 70°C。主开关处的最高温度是 106°C。这个结果与预期一致，因为低压线路输入电压代表了主开关最差的功率损耗情况。鉴于较高的典型最大开关结温，环境温度升高的裕量绰绰有余。

此外，通过将冷却体的散热能力平衡至更接近低压线路散热能力，可以实现更相似的组件温度。无论如何，如果主开关放置在 PCB 的边框上，并且将外壳用作冷却体，则组件温度将显著降低并自动实现更高的平衡性。

图 26 展示了在 220W 负载和 115V 交流输入线路电压下，整个转换器的温度分布情况。

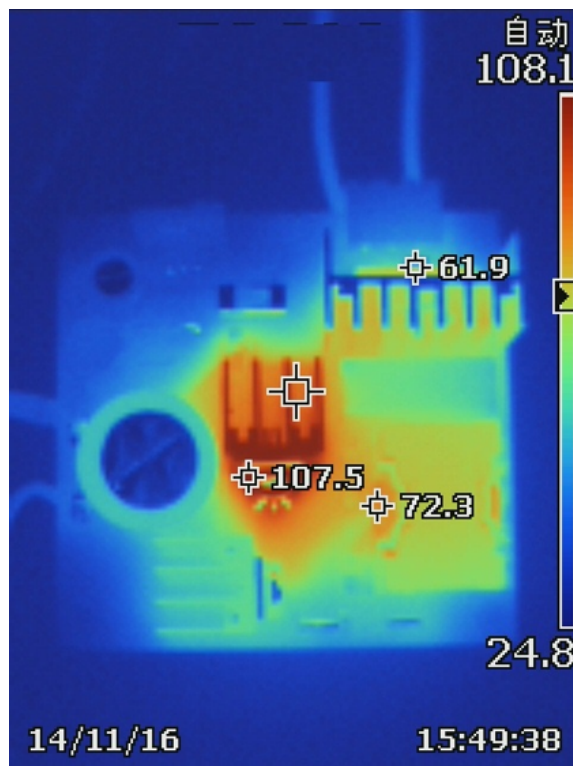


图 26. 115V 交流输入和 220W 负载下的转换器 PCB 顶部热感图像

表 14 总结了图 26 中的转换器组件的温度。正如预期的那样，由于相同的原因，温度与以前的测试结果非常相似。

表 14. 115V 交流输入和 220W 负载下的
组件温度总结

参数	值
输入电压	115V
输出功率	220W
环境温度	25°C
主开关	107.5°C
PFC 扼流线圈	72.5°C
桥式二极管	61.9°C

图 27 展示了在 350W 负载和 230V 交流输入电压下，整个转换器的温度分布情况。



图 27. 230V 交流输入和 350W 负载下的转换器 PCB 顶部热感图像

表 15 总结了图 27 中的转换器组件的温度。在此条件下，所有组件的温度都非常低，甚至开关晶体管温度都低于 70°C，组件温度也非常均衡。

表 15. 230V 交流输入和 220W 负载下的
组件温度总结

参数	值
输入电压	230V
输出功率	350W
环境温度	25°C
主开关	66.1°C
PFC 扼流线圈	57.9°C
桥式二极管	57.5°C

5 设计文件

5.1 电路原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-00776](#) 的设计文件。

5.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-00776](#) 的设计文件。

5.3 PCB 图

要下载层图，请参阅 [TIDA-00776](#) 的设计文件。

5.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件，请参阅 [TIDA-00776](#) 的设计文件。

5.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-00776](#) 的设计文件。

5.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-00776](#) 的设计文件。

6 相关文档

1. 德州仪器 (TI)，《[使用 UCC28180EVM-573 360W 功率因数校正模块](#)》，UCC28180EVM-573 用户指南 (SLUUA3)
2. 德州仪器 (TI)，《[频率可编程、以连续导通模式 \(CCM\) 运行的 UCC28180 升压功率因数校正 \(PFC\) 控制器](#)》，UCC28180 产品说明书 (SLUSBQ5)
3. 德州仪器 (TI)，《[效率高达 80% 的 3W 非隔离式偏置电源、15dB 裕量 EMI 性能参考设计](#)》，TIDA-00940 用户指南 (TIDUBM8)
4. 德州仪器 (TI)，《[采用双层 TO-220 外形且效率为 94% 的 5V 1A 低 EMI、直流/直流模块参考设计](#)》，TIDA-00946 用户指南 (TIDUBX3)
5. 德州仪器 (TI)，《[采用双层 TO-220 外形且效率为 92% 的 3.3V 1A 低 EMI、直流/直流模块参考设计](#)》，TIDA-00947 用户指南 (TIDUBX5)
6. 德州仪器 (TI)，《[采用单层 TO-247 外形且效率为 94% 的 5V 1A 低 EMI、直流/直流模块参考设计](#)》，TIDA-00948 用户指南 (TIDUBX4)
7. 德州仪器 (TI)，《[采用单层 TO-247 外形且效率为 92% 的 5V 1A 低 EMI、直流/直流模块参考设计](#)》，TIDA-00949 用户指南 (TIDUBX6)

6.1 商标

All trademarks are the property of their respective owners.

7 关于作者

YUAN (JASON) TAO 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发面向工业领域的参考设计解决方案。他将其在电力电子、高频直流/直流和交流/直流转换器以及模拟电路设计领域的丰富经验运用到实际工作中。他于 2007 年获得上海交通大学集成电路设计与制造硕士学位。

KEVIN STAUDER 是德州仪器 (TI) 工业系统团队的系统工程师，负责为工业 优化。

修订版本 A 历史记录

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from Original (December 2016) to A Revision	Page
• 已更改 语言和图片，以适应当前样式指南	1

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法理授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无屡发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](#)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司