



采用 D4i™ 技术的
离线 PFC 反激式次级控制
LED 路灯参考设计

Microchip 信息

商标

“Microchip”的名称和徽标组合、“M”徽标及其他名称、徽标和品牌均为 Microchip Technology Incorporated 或其关联公司和 / 或子公司在美国和 / 或其他国家或地区的注册商标或商标（“Microchip 商标”）。有关 Microchip 商标的信息，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/about/legal-information/microchip-trademarks>。

ISBN: 979-8-3371-1630-3

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。您须自行确保应用符合您的规范。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-services>。

Microchip “按原样” 提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或附带的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。

如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》（Digital Millennium Copyright Act）
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

目录

前言	5
第 1 章 产品概述	
1.1 简介	9
1.2 关键器件概述	9
1.2.1 MCP1012 器件概述	9
1.2.2 HV96001 器件概述	10
1.2.3 ATSAMD21E18A 器件概述	11
1.2.4 D4i 协议栈	11
第 2 章 安装和运行	
2.1 使用入门	13
2.1.1 为采用 D4i™ 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计供电	13
2.1.2 调光能力	14
2.2 功率因数控制实现原理	15
2.3 LED 驱动器控制	16
2.4 设置 / 配置	17
附录 A 原理图和布线图	
A.1 简介	19
A.2 EV41W52H——功率级	20
A.3 EV41W52H——HV96001 电路	21
A.4 EV41W52H——D4i™ 硬件	22
A.5 EV41W52H——顶层丝印层	23
A.6 EV41W52H——顶层覆铜和丝印层	23
A.7 EV41W52H——顶层覆铜	24
A.8 EV41W52H——底层覆铜	24
A.9 EV41W52H——底层覆铜和丝印层	25
A.10 EV41W52H——底层丝印层	25
附录 B 物料清单 (BOM)	
表 B-1: 物料清单 (BOM) ——Microchip 器件	32
表 B-2: 物料清单 (BOM) ——不要安装	32
附录 C 性能曲线和波形	
C.1 参考设计性能	33
C.2 性能曲线	37

注：

前言

客户须知

本文档如同所有其他文档一样具有时效性。Microchip 会不断改进工具和文档以满足客户的需求，因此实际使用中有些对话框和 / 或工具说明可能与本文档所述之内容有所不同。请访问我们的网站 (www.microchip.com) 获取最新文档。

文档均标记有“DS”编号。该编号出现在每页底部的页码之前。DS 编号的命名约定为“DSXXXXXXXXX_A_CN”，其中“XXXXXXXXX”为文档编号，“A”为文档版本。

欲了解开发工具的最新信息，请参考 **MPLAB® IDE** 在线帮助。从 **Help** (帮助) 菜单选择 **Topics** (主题)，打开现有在线帮助文件列表。

简介

本章包含使用采用 D4i™ 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计前需要了解的一般信息。本章所述内容包括：

- [文档编排](#)
- [本指南中使用的约定](#)
- [推荐读物](#)
- [Microchip 网站](#)
- [客户支持](#)
- [文档版本历史](#)

文档编排

本文档介绍如何使用采用 D4i 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计。本手册的内容编排如下：

- [第 1 章 “产品概述”](#) —— 有关采用 D4i 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计的重要信息。
- [第 2 章 “安装和运行”](#) —— 包含对该参考设计的说明以及入门指南。
- [附录 A “原理图和布线图”](#) —— 显示了采用 D4i 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计的原理图和布线图。
- [附录 B “物料清单 \(BOM\) ”](#) —— 列出了构建采用 D4i 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计所用的部件。
- [附录 C “性能曲线和波形”](#) —— 显示典型性能图。

本指南中使用的约定

本指南采用以下文档约定：

文档约定

说明	表示	示例
Arial 字体：		
斜体字	参考书目	<i>MPLAB® IDE User's Guide</i>
	需强调的文字	…… 为仅有的编译器 ……
首字母大写	窗口	Output 窗口
	对话框	Settings 对话框
	菜单选择	选择 Enable Programmer
引用	窗口或对话框中的字段名	“Save project before build”
带右尖括号且有下划线的斜体文字	菜单路径	<u>File>Save</u>
粗体字	对话框按钮	单击 OK
	选项卡	单击 Power 选项卡
N'Rnnnn	verilog 格式的数字，其中 N 为总位数， R 为基数， n 为其中一位。	4'b0010, 2'hF1
尖括号 < > 括起的文字	键盘上的按键	按下 <Enter>, <F1>
Courier New 字体：		
常规 Courier New	源代码示例	#define START
	文件名	autoexec.bat
	文件路径	c:\mcc18\h
	关键字	_asm, _endasm, static
	命令行选项	-Opa+, -Opa-
	二进制位值	0, 1
	常量	0xFF, 'A'
斜体 Courier New	可变参数	file.o, 其中 file 可以是任一有效文件名
方括号 []	可选参数	mcc18 [选项] file [选项]
花括号和竖线: {}	选择互斥参数; “或” 选择	errorlevel {0 1}
省略号 ...	代替重复文字	var_name [, var_name...]
	表示由用户提供的代码	void main (void) { ... }

推荐读物

本用户指南说明如何使用采用 D4i™ 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计。下面列出了其他有用的文档。以下 Microchip 文档均已提供，建议读者作为补充参考资料。

- **MCP1012 数据手册 —— 《隔离转换器的初级侧启动 IC》 (DS20006277B_CN)**
- **HV96001 数据手册 —— 《具有增强型 PWM 和模拟调光功能的次级侧、微型接口、无闪烁 LED 控制器》 (DS20006291A_CN)**
- **SAM D21/DA1 Family Data Sheet —— “Low-Power, 32-bit Cortex-M0+ MCU with Advanced Analog and PWM” (DS40001882)**

Microchip 网站

Microchip 网站 (www.microchip.com) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。可使用常用的互联浏览器访问。网站提供以下信息：

- **产品支持** — 数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持** — 常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务** — 产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (FAE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师 (FAE) 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档最后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<https://www.microchip.com/support>。

文档版本历史

版本 A (2024 年 12 月)

- 本文档的初始版本。

注：

第 1 章 产品概述

1.1 简介

本章涵盖以下主题：

- [关键器件概述](#)

1.2 关键器件概述

1.2.1 MCP1012 器件概述

MCP1012 的主要功能是利用内部开环峰值电流模式电流调节器启动反激式转换器。MCP1012 通过隔离介质（如脉冲变压器或数字光电耦合器）从次级侧控制器接受 PWM 命令，从而成为初级侧栅极驱动器。它集成了多种保护功能，包括欠压锁定（undervoltage lockout, UVLO）、用于偏置电源的过压锁定（overvoltage lockout, OVLO）保护以及过温保护（overtemperature protection, OTP）。此外，MCP1012 在其内部电流调节器或次级控制器的控制下提供峰值逐周期限流。

1.2.1.1 主要特性

MCP1012 器件具有以下主要特性：

- 高压（High Voltage, HV）启动能力（500V 连续电压，700V 瞬态电压，串联 10 kΩ 电阻）
- 用于启动的内部开环峰值电流模式（Peak Current-Mode, PCM）电流调节器（少量外部元件），并集成了稳健的栅极驱动器
- 电流调节器（典型恒定关断时间 21 秒）
- 防止连续导通模式（Continuous Conduction Mode, CCM）操作
- 用于设置启动功率的可编程低频振荡器（Low-Frequency Oscillator, LFO）周期
- 能够通过隔离器接受来自次级控制器的外部 PWM 命令
- 欠压锁定（UVLO）和过压锁定（OVLO）VDD 保护、逐周期限流和过温保护（热关断）
- 休眠和唤醒命令，待机功耗低（<15 mW）

1.2.2 HV96001 器件概述

HV96001 LED 驱动器针对需要宽调光能力的离线照明应用。该器件能够进行线性调光和 PWM 调光，其中 PWM 调光能够实现无闪烁调光，可调低至 0.01% 及以下。HV96001 特别适用于可承受宽范围 LED 负载电压的 LED 驱动器设计。该器件调整交流 - 直流转换级的输出电压，在宽 LED 负载电压范围内保持高转换效率。它还能对 LED 电流幅度进行精确控制，从而保持恒定的色温。该器件适用于宽范围 PWM 调光，可稳定控制 LED 电流波形， PWM 调光脉宽低至 150 ns 及以下。

HV96001 驱动器 IC 可调节反激式转换器的输出电压，使升压转换器 (Boost Converter, BC) 运行时输入和输出电压之间的差值较小，该差值也称为余量电压。升压转换器以较小的余量电压运行 (换句话说以较小的电压升压比运行)，因此可以缩小升压转换器的体积并提高工作效率。

HV96001 包括两个反馈稳压器：用于控制反激式输出电压的反激式稳压器 (FRO 引脚)，以及用于控制 LED 电流幅度的升压稳压器 (BRO 引脚)。光耦合器驱动电路控制光耦合器，光耦合器提供控制信号，用于驱动反激式转换器的功率 FET。

1.2.2.1 主要特性

- 宽输入电压范围：8V 至 60V
- 线性（模拟）调光，可对 LED 电流进行宽范围的幅度控制
- 脉宽调制（Pulse-Width Modulation, PWM）（数字）调光：
 - 可调低至 0.01% 及以下
 - PWM 脉冲宽度低于 150 ns
 - PWM 调光频率最高 20 kHz
- 反激式转换器具有自动输出电压调节功能，以保持系统高效。
- 升压转换器：
 - 几乎没有输出电压纹波，可实现无纹波的 LED 电流
 - 100 Hz/120 Hz 纹波抑制
 - 200 kHz 固定开关频率
 - 兼容 SEPIC 拓扑
- VDD 稳压器：
 - 60V 输入电压 /5V 输出电压
 - 10 mA 驱动用于为外部负载供电
- 故障恢复功能，使用定时电容设置自动重试延迟。
- 欠压检测：
 - VDD 电压
 - 供电电压（反激式输出电压）
- LED 负载电压的过压检测（升压输出电压）
- 负载开关电流的过流检测
- DIM 输入信号的零位卡滞检测
- 输出短路保护，带自动重试延迟

1.2.3 ATSAMD21E18A 器件概述

ATSAMD21E18 是一款基于 Microchip ARM® Cortex®-M0+ 的低功耗、高性能闪存单片机，非常适合各种家居自动化、消费类、计量和工业应用。其特性包括：

- 256 KB 闪存和 32 KB SRAM
- 工作频率最高 48 MHz
- 四个串行通信模块（Serial Communication Module, SERCOM），可配置为 UART/USART、SPI 或 I²C；三个 16 位定时器 / 计数器；32 位实时时钟和日历；18 个 PWM 通道；一个 14 通道 12 位 ADC；一个 10 位 DAC。
- 全速 USB 器件和嵌入式主机
- 支持最多 60 个触摸通道
- 1.62V 至 3.63V 电源
- 轻松将引脚迁移到 SAMD21G 和 SAMD21J 器件
- 由 **MPLAB® X IDE** 和 **MPLAB Harmony** 提供支持

1.2.3.1 主要特性

- 256 KB 系统内自编程闪存
- 32 KB SRAM 存储器
- 上电复位（Power-on Reset, POR）和欠压检测（Brown-out Detection, BOD）
- 内部和外部时钟选项，具有 48 MHz 数字频率锁定环（DFLL48M）和 48 MHz 至 96 MHz 小数分频
- 外部中断控制器（External Interrupt Controller, EIC）
- 16 个外部中断
- 1 个不可屏蔽的中断
- 2 引脚串行调试（Serial Wire Debug, SWD）编程、测试和调试接口
- 12 通道直接存储器访问控制器（Direct Memory Access Controller, DMAC）
- 最多 4 个具有可选互补输出的比较通道
- 跨端口引脚生成同步脉宽调制（PWM）模式
- 具有时钟 / 日历功能的 32 位实时计数器（Real Time Counter, RTC）
- 看门狗定时器（Watchdog Timer, WDT）
- I²C 总线最高 3.4 MHz
- SMBUS/PMBUS
- SPI
- 差分和单端输入
- 自动偏移和增益误差补偿
- 10 位 350 ksps 数模转换器（Digital-to-Analog Converter, DAC）
- 2 个具有窗口比较功能的模拟比较器（Analog Comparator, AC）
- 26 个 GPIO 引脚
- 32 引脚 TQSP、QFN 和 WLCSP
- 1.62V - 3.63V

1.2.4 D4i 协议栈

D4i 协议栈由一家专业公司开发和提供，该公司是 D4i 联盟的成员，提供在定制项目中实施所需的所有必要指导和支持。

该公司是来自德国克雷费尔德的 MBS GmbH，他们为本文中所述的 LED 驱动器开发了 D4i 协议栈，因此灯具制造商可以快速轻松地为其产品配备 D4i 通信协议，无需使自己的开发人员。为了帮助客户快速实现开发目标，MBS GmbH 还提供与 D4i 协议相关的全方位服务。这些服务包括根据客户要求进行特定的集成（例如在街道照明区域），以及通过签订维护合同，位于克雷费尔德的专家团队还将为 MBS GmbH 的客户提供楼宇自动化方面的支持。因此，从硬件首稿到修订以及从硬件接口定义到最终认

证产品，开发人员将全程提供支持。MBS GmbH 还拥有一个广受好评的测试实验室，用于进行合规性测试。如果您有任何问题，请致电 +49 2151 72940 或发送电子邮件到 info@mbs-solutions.de。

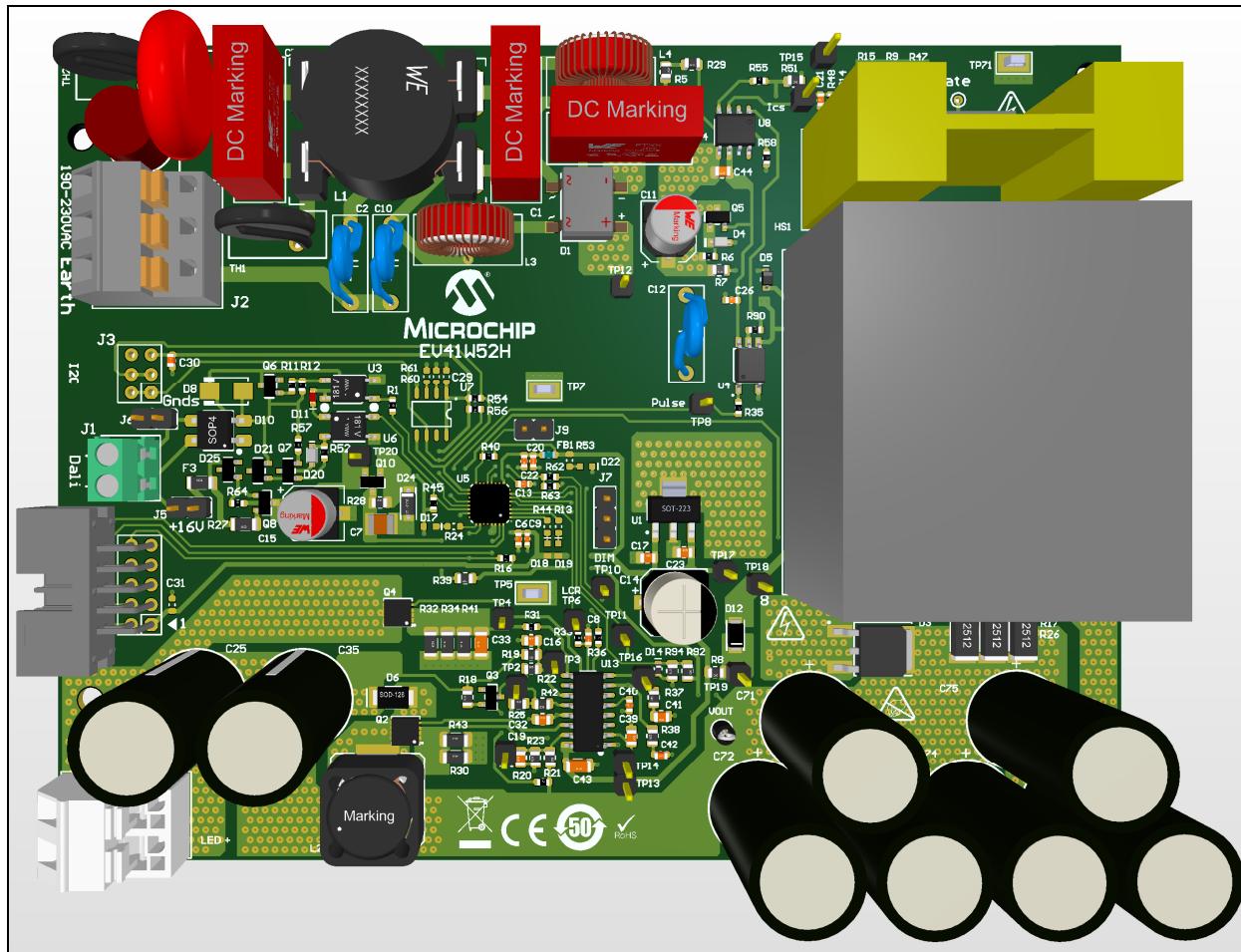


图 1-1: 采用 D4i™ 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计 (EV41W52H)

第 2 章 安装和运行

2.1 使用入门

采用 D4i 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计经过完全组装和测试，可用于评估和演示 MCP1012 控制器和 HV96001 LED 驱动器。该评估板的反激式拓扑能够提供 40 至 100V 的电气隔离输出电压，最大电流为 1A。实际的评估板调谐是在反激式转换器的变压器次级侧整流直流输出端提供 45V 至 68V 电压，并通过 HV96001 在输出端向 LED 负载提供 74V 至 76V 电压 /1.2A 至 1.3A 电流，使功率达到 100W。该应用使用 UART 连接将控制固件上传至次级侧控制器 MCU32。

MCU32 通过 D4i 协议（数字 DALI-2™）确保 PSU（LED 驱动器在行业内称为电源单元）与外部主 D4i 控制器板（基于 MCU32）之间的连接，该板可使用 LTE 模块中的 SIM 卡通过 LTE 发送和接收命令。这样，集成式系统支持用户读取和发送影响评估板功能参数的控制命令，例如：启动、开 / 关、线性调光控制、PWM 调光控制、LED 负载温度读取、功率因数（Power Factor, PF）读取、感应日光以及在夜间触发不同光照等级的接近运动传感器。这些将在后续的应用笔记 “Intelligent Street Lighting Device with D4i™ and LTE Communication on PIC32CX SG61 MCU” 中详细介绍。

D4i 协议栈从 MBS GmbH 购买。此处显示的所有产品均处于开发阶段，未获得 DALI-2™/D4i/DALI+™ 认证，且尚未上市。

2.1.1 为采用 D4i 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计供电

评估板工作电压为 190 至 265 VAC。在实验室测试和评估需要可变交流电源。电源需要至少 1A 的输出能力和 190 至 265 VAC 的电压范围。这可从直接由电网供电的自耦变压器或电子交流 / 交流电源获取。

MCP1012 是一个启动控制器，连接至交流市电时，可向次级侧提供受控的启动电能传输。

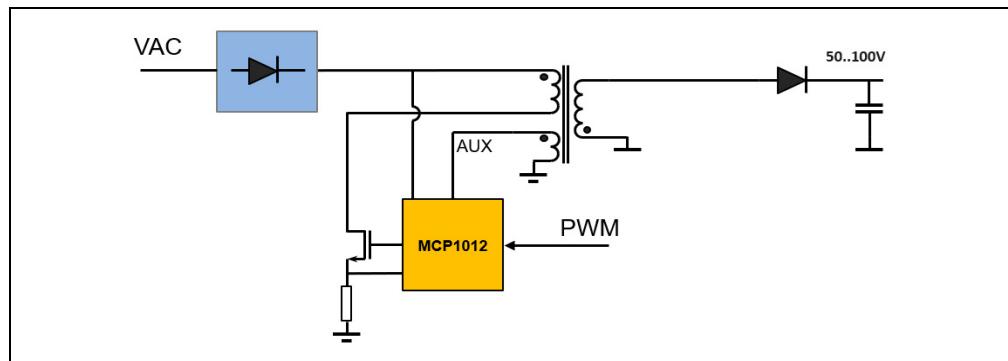


图 2-1: MCP1012 启动电路

次级侧通电后，Microchip MCU32 可用作系统控制器。通过使用 PFM 类型的控制（频率调制脉冲）或所谓的恒定导通时间（Constant-on-Time, COT）技术，MCU32 可确保在应用的交流侧实现自然功率因数校正（Power Factor Correction, PFC）。这可使用 HV96001 LED 驱动器（反激式输出稳压器）的 FRO 引脚上的电压信号作为反馈来实现，该信号决定了次级侧的反激式直流输出电压值。该电压值（FRO 引脚）会变化，以在主输出绕组上维持 5V 至 7V 电压余量，确保 HV96001 LED 驱动器的升压级以最佳状态运行，以便 LED 驱动器线性输出级的电流调节在输出端保持最高效率。这可确保稳定的 LED 负载电流，并最大程度减少 HV96001 的线性输出 FET 稳压器的能量损耗。

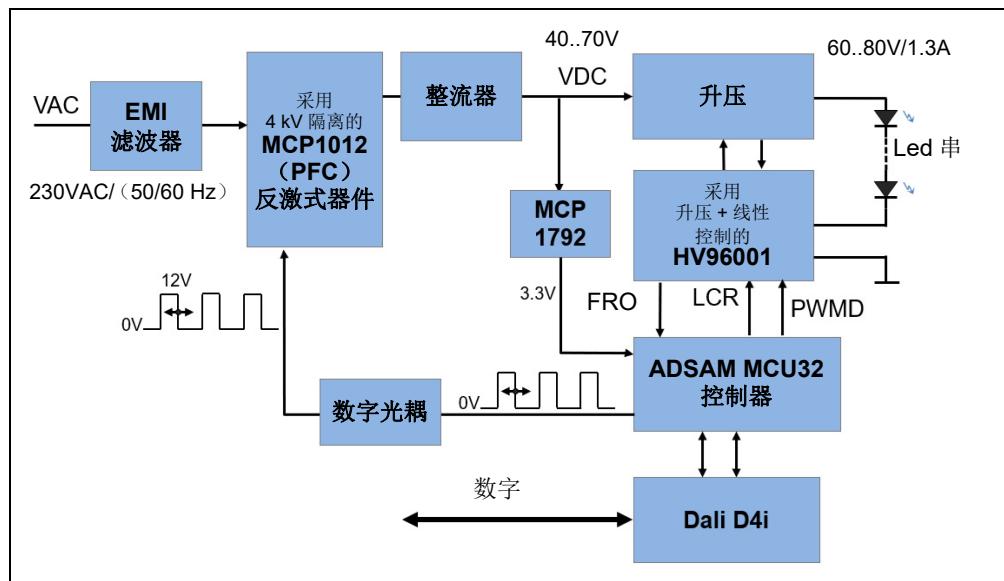


图 2-2: 系统架构

此参考设计可作为开发智能路灯 LED 驱动器的平台，此类驱动器需要高级功能，并可通过手机或其他远程控制设备（笔记本电脑、平板电脑和台式电脑）进行远程控制。

注 1: 本文档中的固件可能不是最新版本。请查看参考设计网页获取最新版本。

2: FRO——HV96001 输出——反激式稳压器输出；
 LCR——HV96001 输入——线性电流调节器参考电压（0 至 400 mV）
 PWMD——HV96001 输入——PWM 调光（1 kHz）。

2.1.2 调光能力

LED 驱动器可通过 D4i 协议接收调光命令，以调整 LED 的光强度。LED 驱动器 HV96001 通过在 LCR 引脚上在 0 - 400 mV 的范围内调节电压进行线性调光，或通过在调光引脚上提供 1 kHz 信号进行 PWM 调光。该 IC 还可以结合使用两种调光方式，将占空比降低至 1%，从而实现精细调整。可通过 J9 连接器设置所需的模式。当评估板通电时，单片机会读取 J9 的状态，如果连接器通过跳线短接，则选择线性调光控制，如果 J9 连接器的引脚畅通，则选择 PWM 调光控制。出于安全原因并防止意外触碰到评估板，只在启动时读取连接器状态。要切换模式，用户必须切断电源，安装或拆卸 J9 上的跳线，然后重新接通电源。

2.2 功率因数控制实现原理

该反激式器件采用断续模式（Discontinuous Mode, DCM）运行，在此情况下，占空比 D 不能超过 49%，如下图所示：

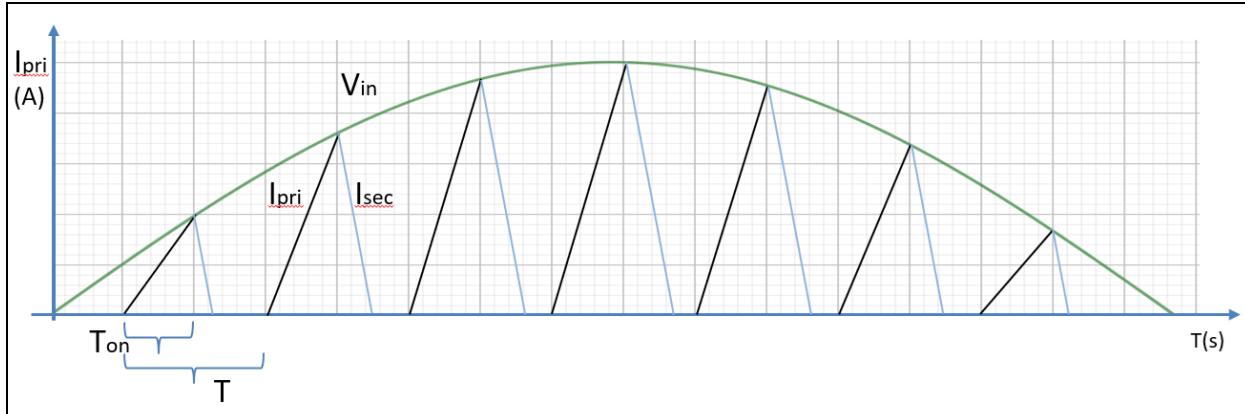


图 2-3： 输入电流随输入交流电压的正弦波形变化

以下公式解释了如何保持功率因数：

公式 2-1： 初级绕组电流

$$I_{pk} = \frac{V_{IN}}{L} T_{ON}$$

公式 2-2： 初级绕组上的平均电流 —— 与 V_{IN} 成正比

$$I_{avg} = \frac{I_{pk}}{T} T_{ON} = \frac{V_{IN}}{2LT} T_{ON}^2 \sim V_{IN}$$

在这种情况下，平均输入电流与反激式器件初级绕组的电流相同，并与输入电压 V_{IN} 成正比。

由于 V_{IN} 为正弦波形，因此 I_{avg} 也为正弦波形，并提供高 PF 和低谐波 ATHD 失真。

T_{ON} 缓慢变化以控制传输至 HV96001 LED 驱动器输入端的输出功率。

2.3 LED 驱动器控制

演示工作流程中简要介绍了固件的功能。系统首先初始化必要的外设，随后单片机读取反激器件的输出电压，如果该值超过内部设定的阈值，则触发 OVP 功能。OVP 功能会让 MCP1012 停止运行，当电压低于固件中的阈值时，它将退出 OVP 环路。

电路将根据 HV96001 的 FRO 引脚提供的反馈，计算反激式反馈的 COT 参数。

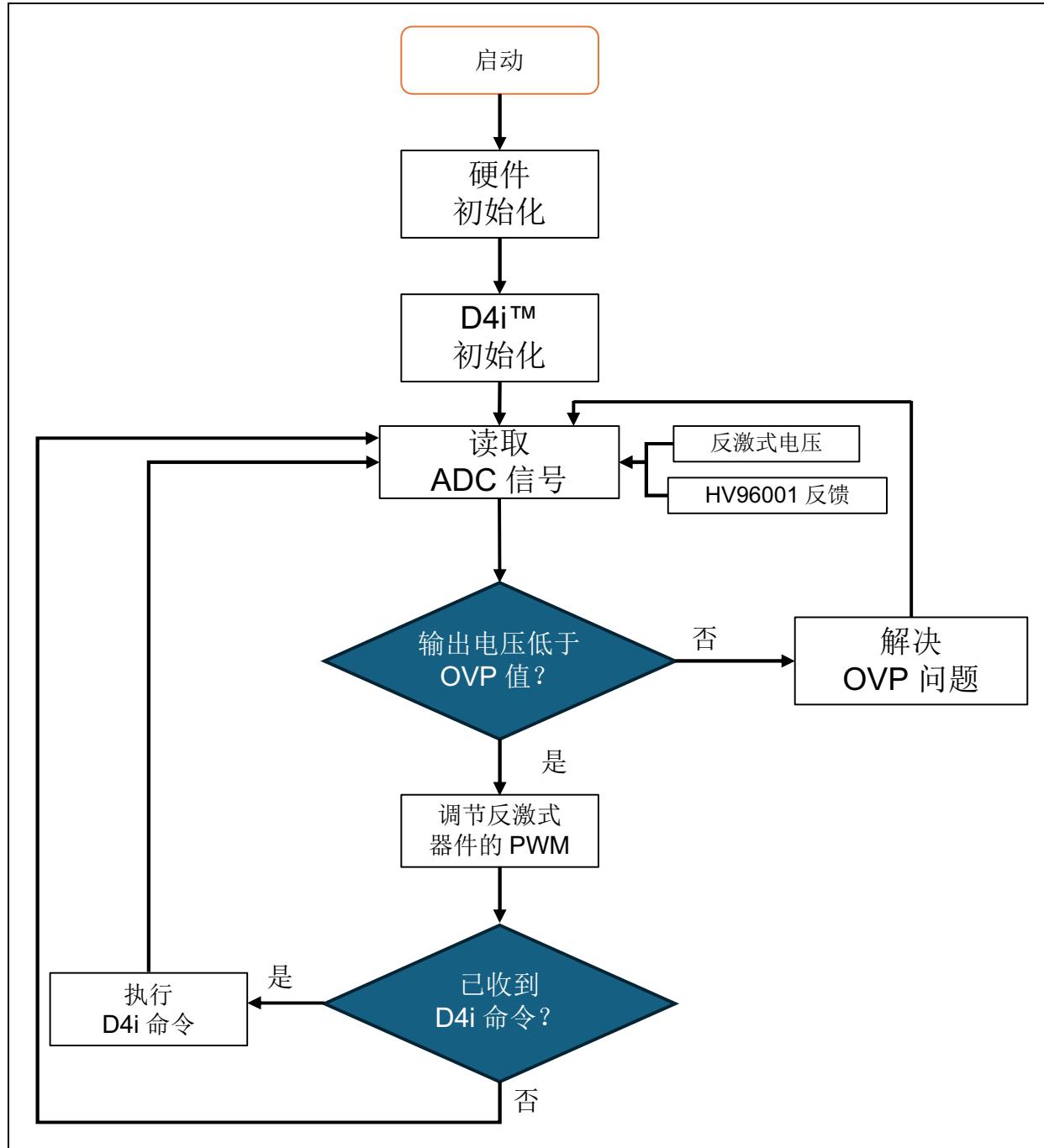


图 2-4: 固件工作流程

在该应用中，可发送至 LED 驱动器板的实现命令是调光命令（以百分比表示）和开 / 关命令。在进一步开发中，根据硬件功能，还可以实现其他命令（例如报告 LED 驱动器温度和 LED 负载实际功率）。

当 GPIO 引脚首次改变状态并开始解码接收到的位时，D4i™ 中断功能启动。在检测到帧停止后，系统会处理接收的数据，执行信号错误检查，然后解码数据并调用回调函数。



图 2-5: D4i™ 中断程序

2.4 设置 / 配置

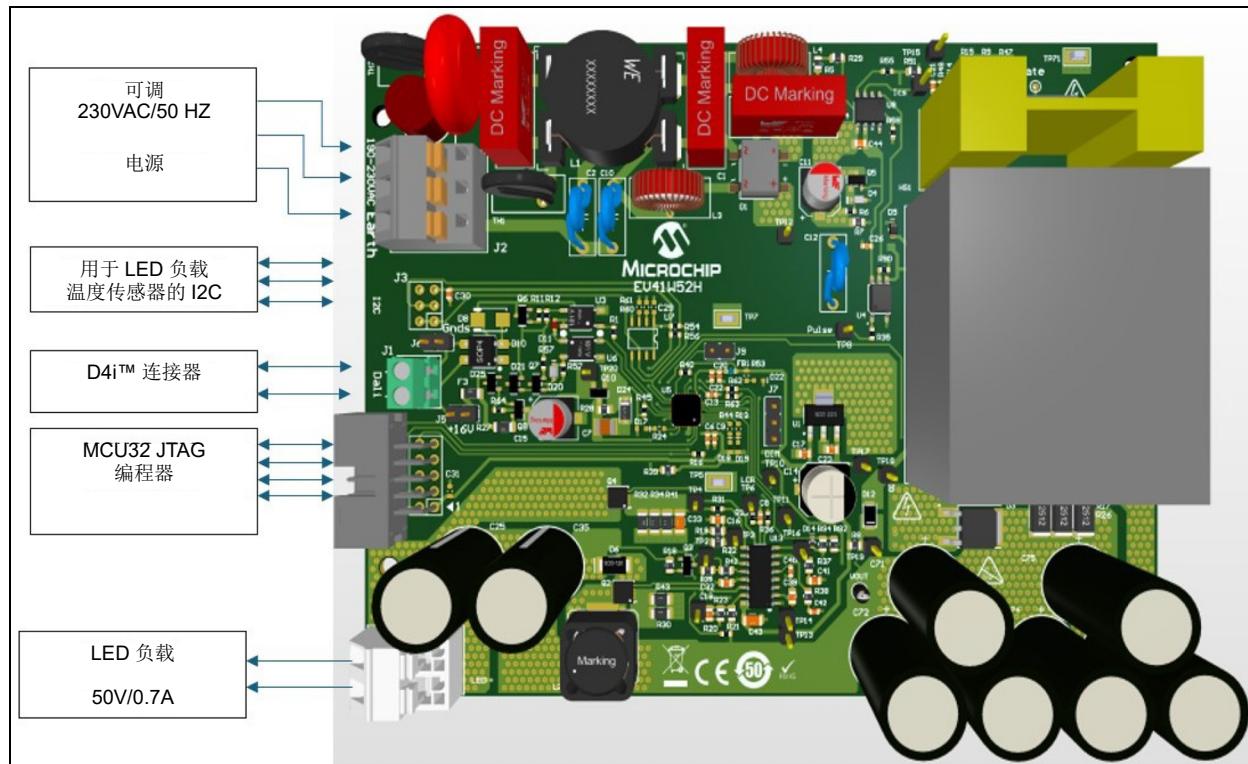


图 2-6: 采用 D4i™ 技术的离线 PFC 反激式次级控制 LED 路灯参考设计 (EV41W52H) —— 连接图

注：

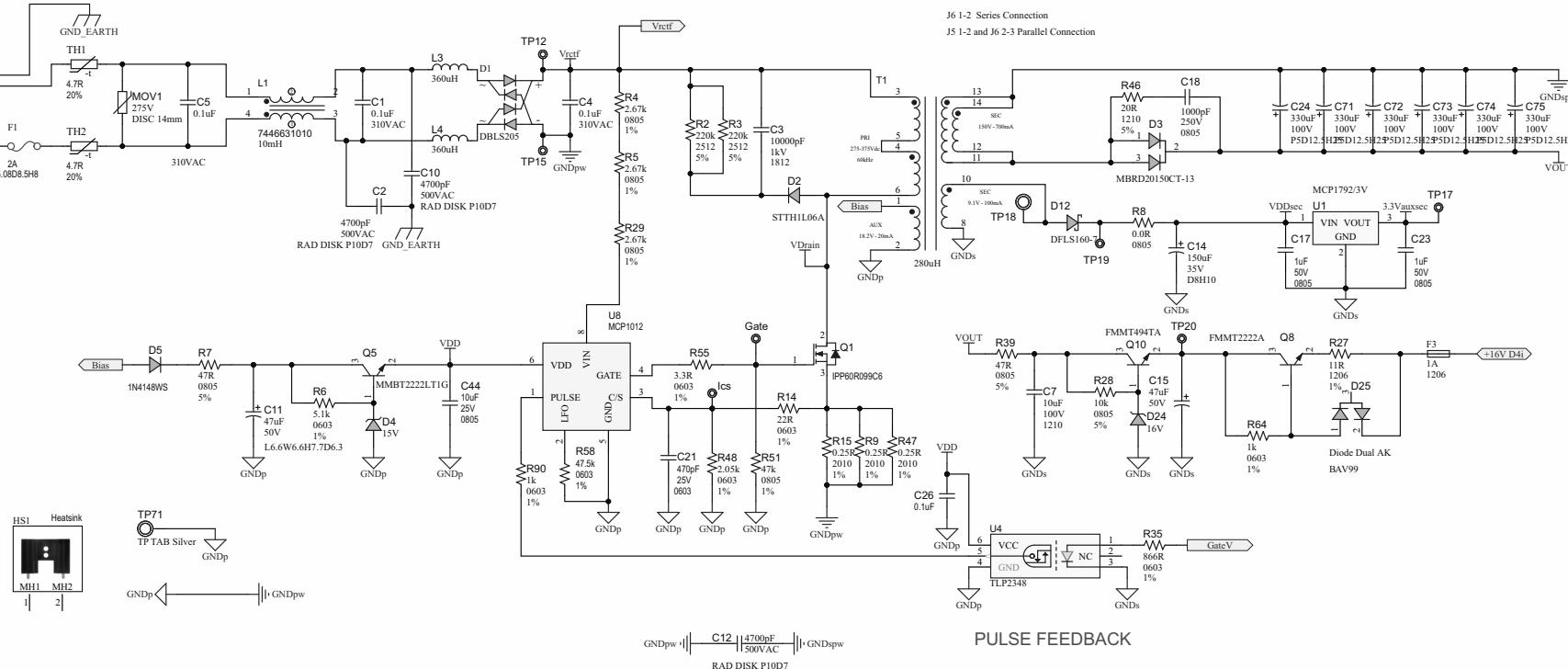
附录 A 原理图和布线图

A.1 简介

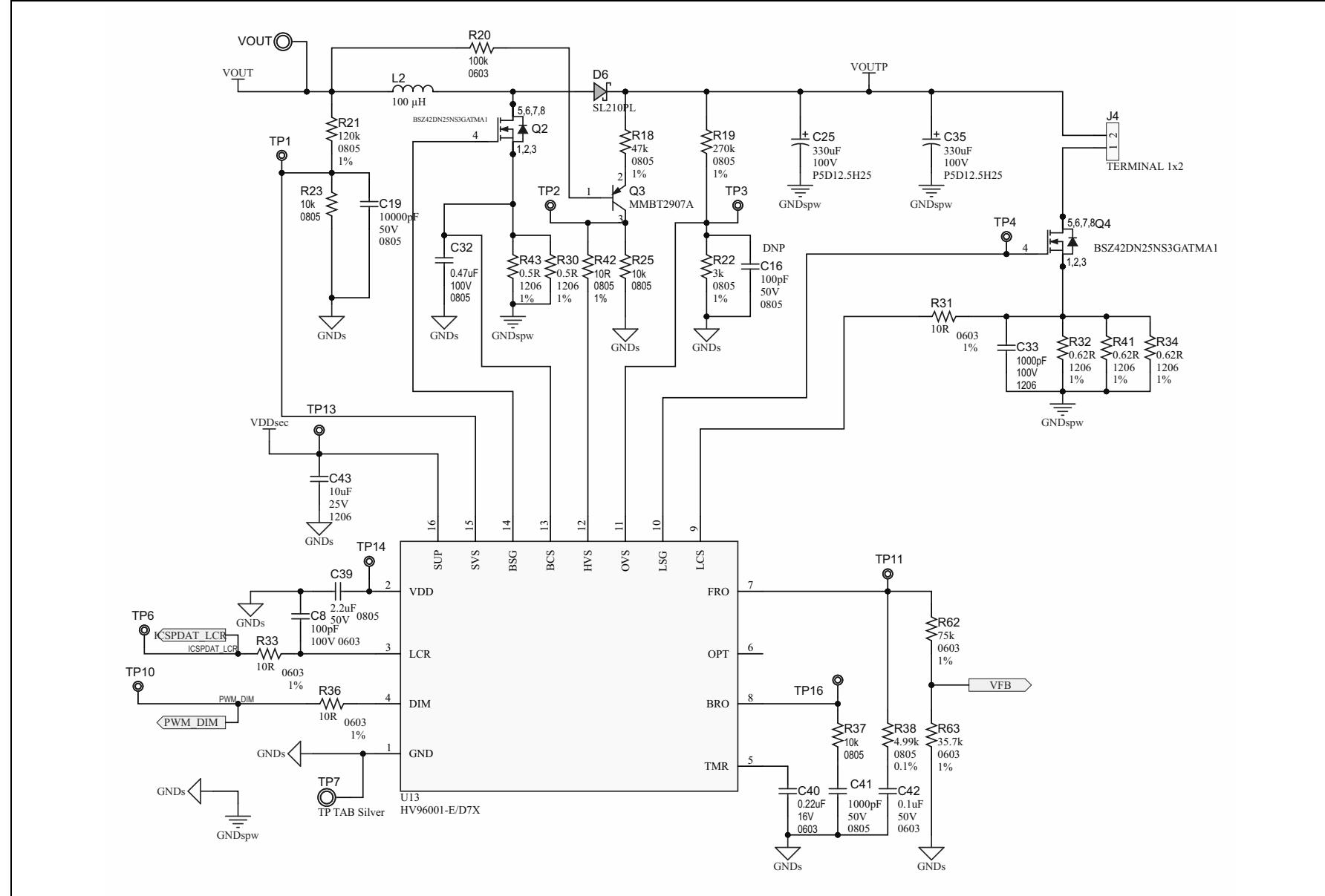
本附录包含采用D4i技术的离线PFC反激式次级控制LED路灯参考设计的原理图和布线图。

- [EV41W52H](#)—— 功率级
- [EV41W52H](#)——HV96001 电路
- [EV41W52H](#)——D4i™ 硬件
- [EV41W52H](#)—— 顶层丝印层
- [EV41W52H](#)—— 顶层覆铜和丝印层
- [EV41W52H](#)—— 顶层覆铜
- [EV41W52H](#)—— 底层覆铜
- [EV41W52H](#)—— 底层覆铜和丝印层
- [EV41W52H](#)—— 底层丝印层

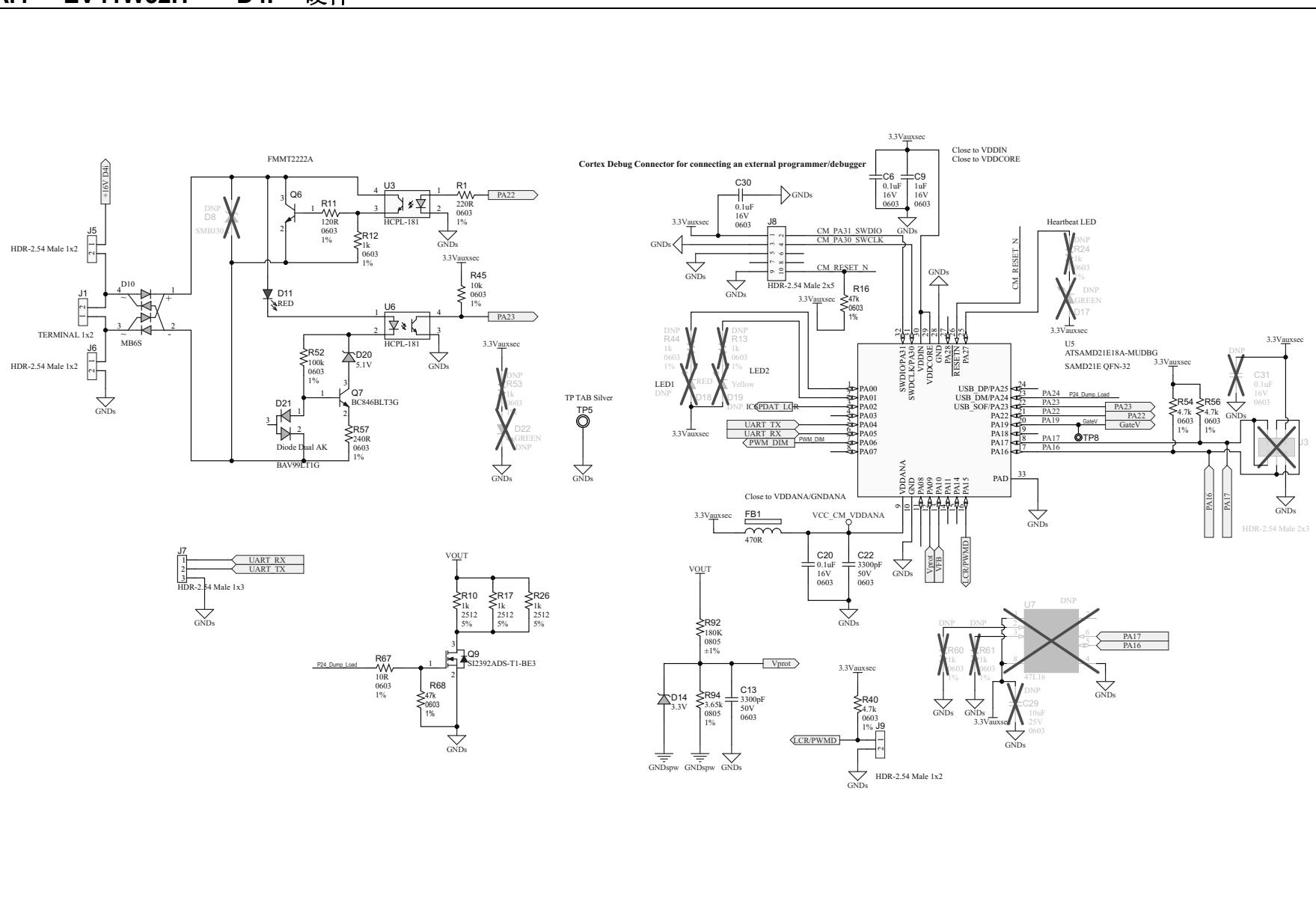
A.2 EV41W52H——功率级



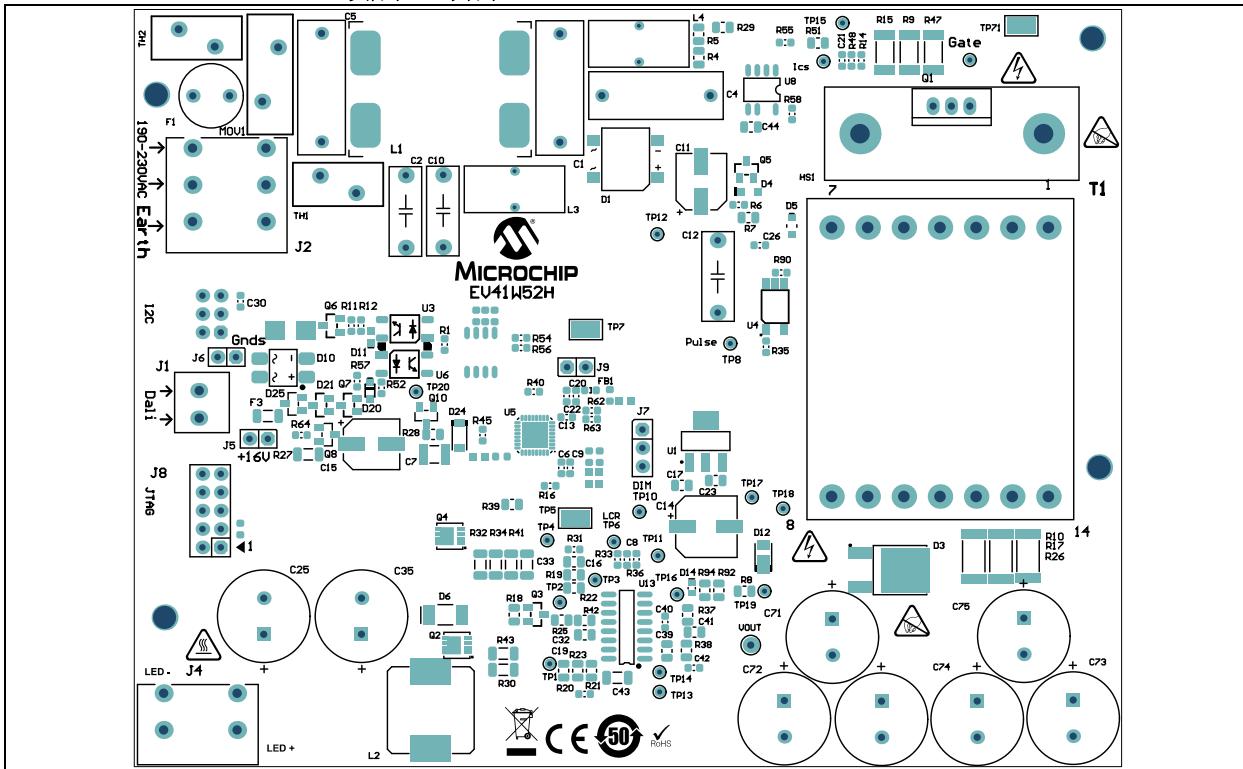
A.3 EV41W52H—HV96001 电路



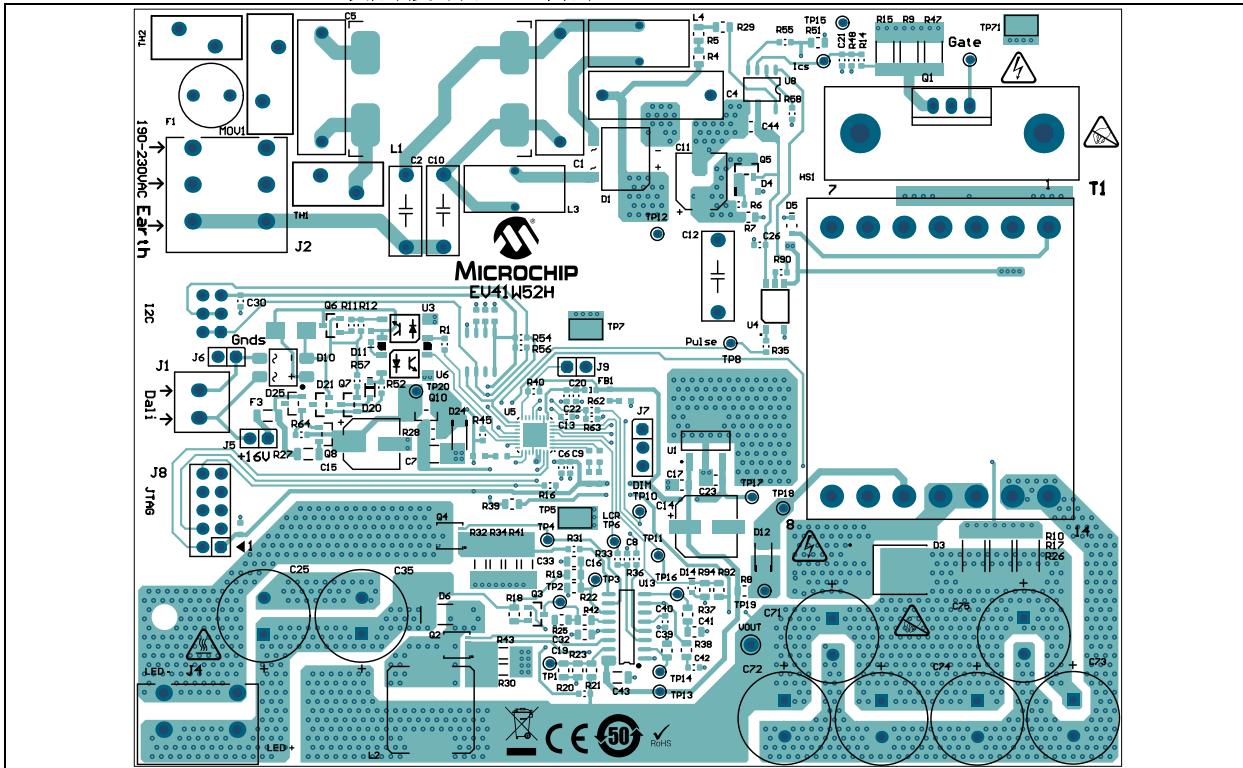
A.4 EV41W52H—D4I™ 硬件



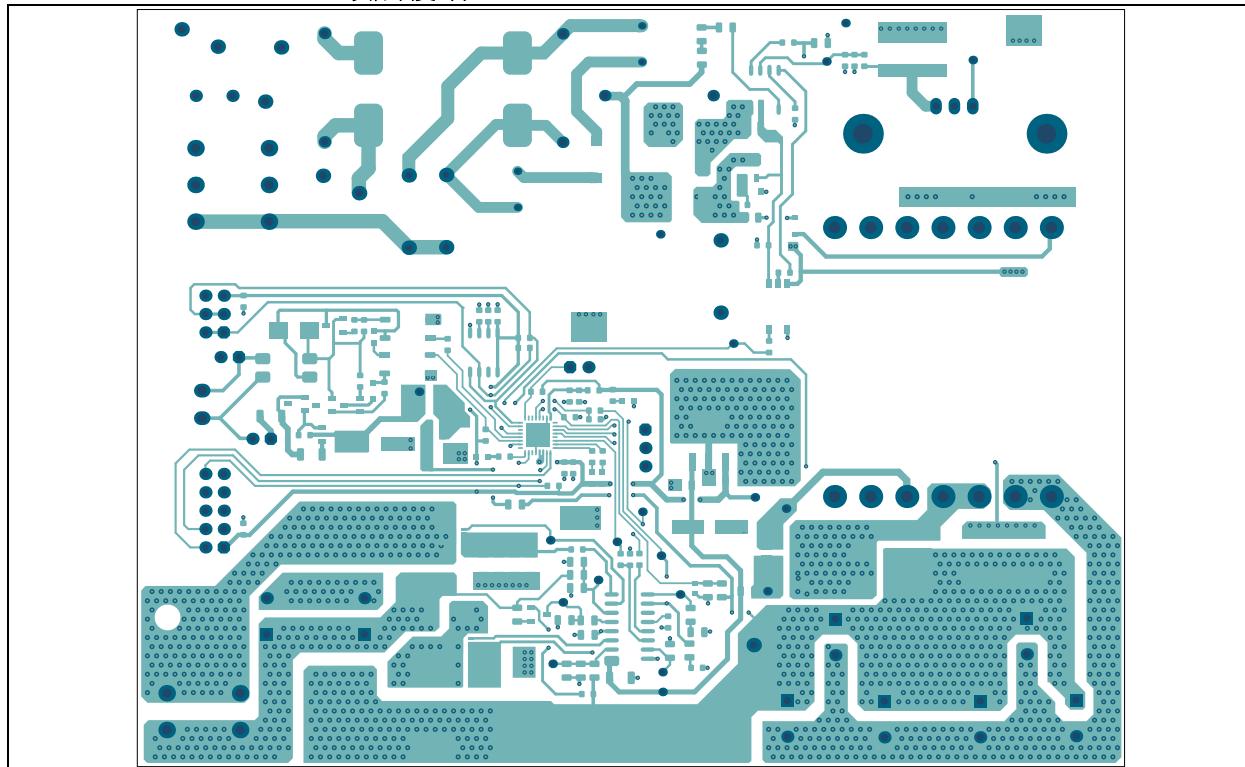
A.5 EV41W52H——顶层丝印层



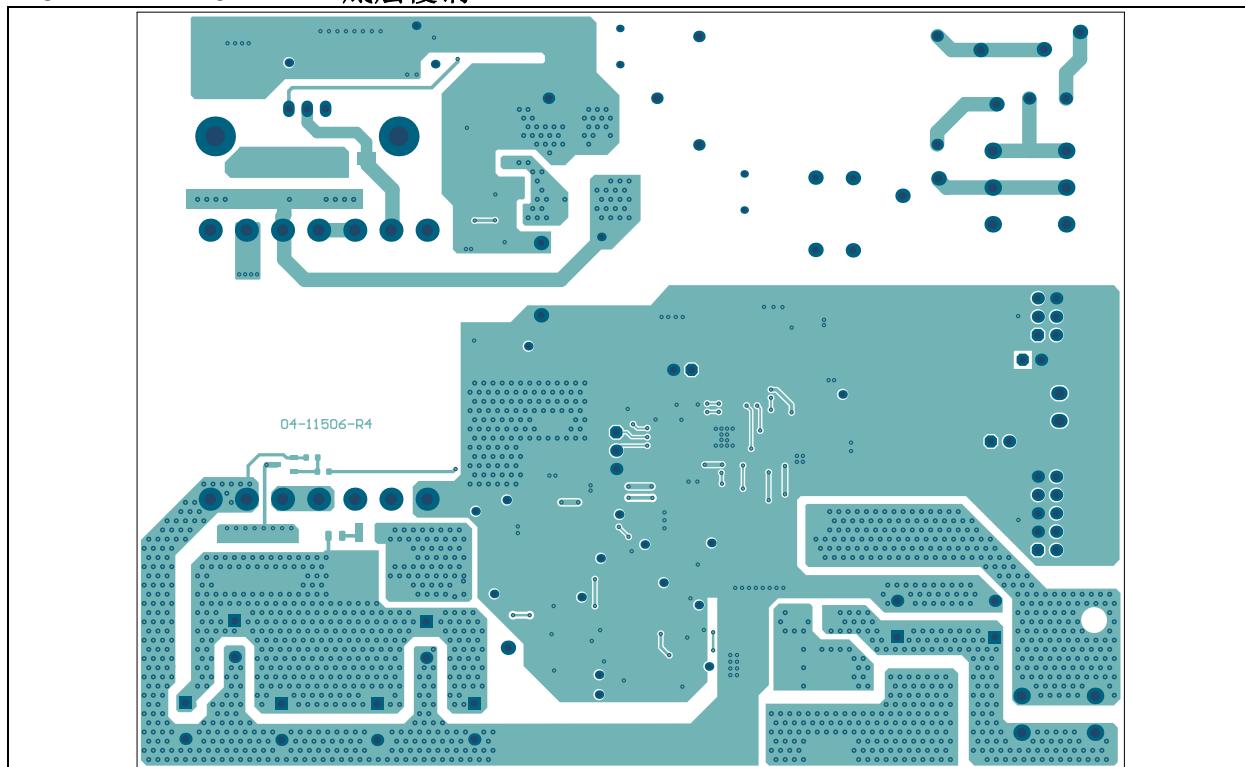
A.6 EV41W52H—顶层覆铜和丝印层



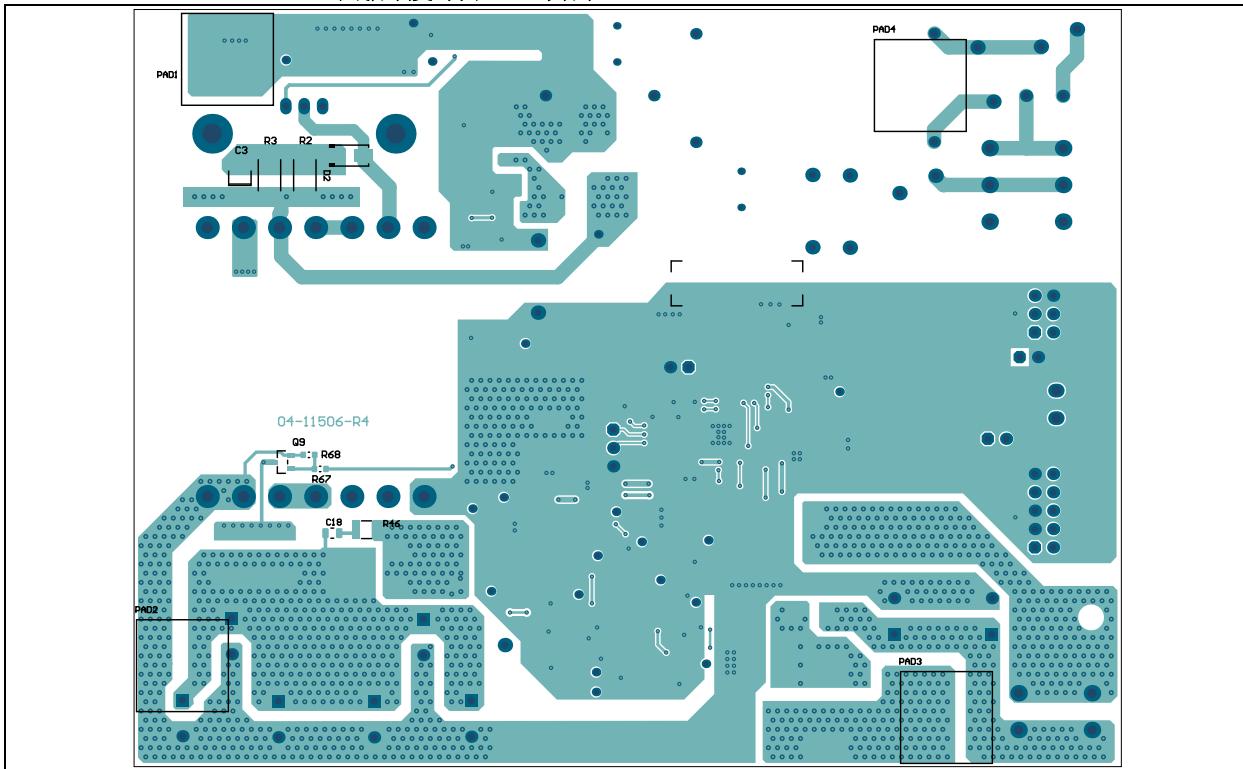
A.7 EV41W52H——顶层覆铜



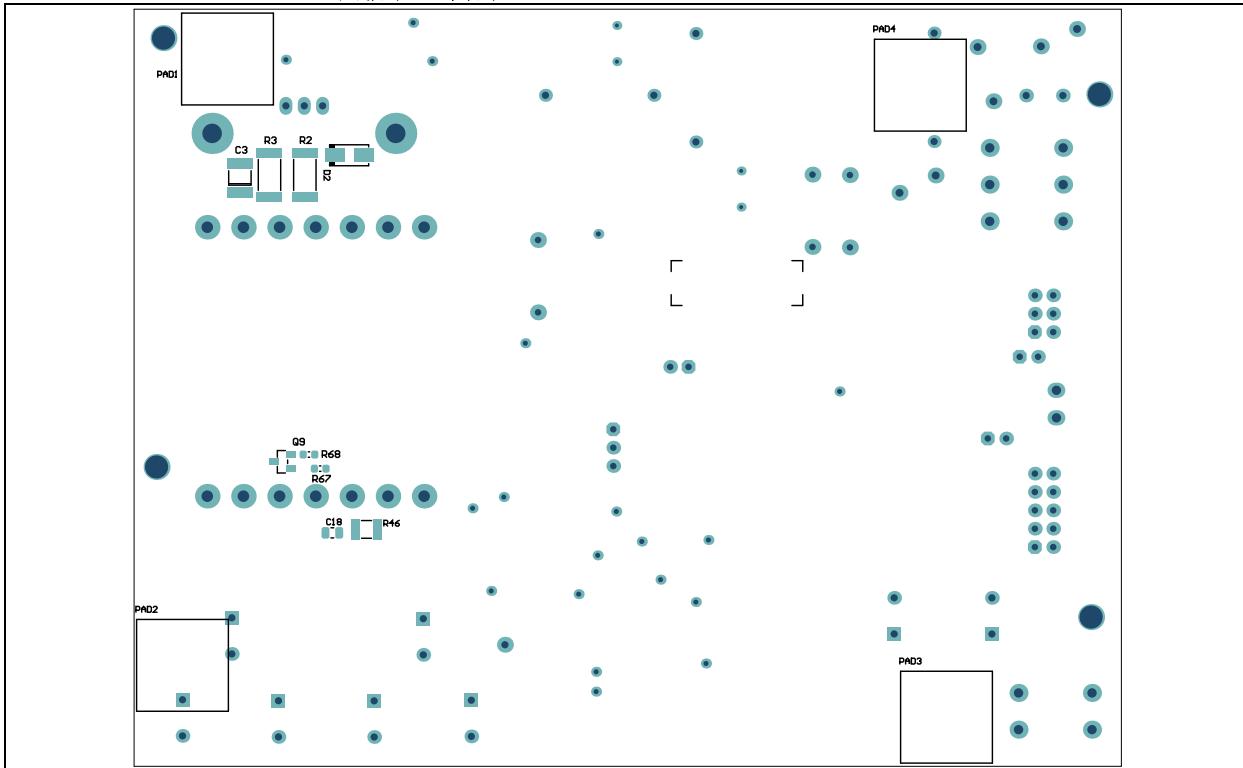
A.8 EV41W52H——底层覆铜



A.9 EV41W52H——底层覆铜和丝印层



A.10 EV41W52H——底层丝印层



注：

附录 B 物料清单 (BOM)

物料清单 (BOM)

数量	参考	说明	制造商	部件编号
3	C1, C4, C5	Capacitor, film, 0.1 μ F, 310VAC, 20%, RAD, P15L18W6H12	Würth Elektronik	890334025017CS
3	C2, C10, C12	Capacitor, ceramic, 4700 pF, 500VAC, 20%, Y5V, RAD, P10D7L7W4H12	Vishay® Intertechnologies	VY1472M51Y5VQ63V0
8	C24, C25, C35, C71, C72, C73, C74, C75	Capacitor, aluminum, 330 μ F, 100V, 20%, RAD, P5D12.5H25	Nichicon Corporation	UFW2A331MHD
1	C3	Capacitor, ceramic, 10000 pF, 1 kV, 20%, X7R, SMD, 1812	Johanson Dielectrics Inc.	102S43W103MV4E
3	C6, C20, C30	Capacitor, ceramic, 0.1 μ F, 16V, 10%, X7R, SMD, 0603	Würth Elektronik	885012206046
1	C7	Capacitor, ceramic, 10 μ F, 100V, 10%, X7S, SMD, 1210	Murata Electronics®	GRM32EC72A106KE05L
1	C8	Capacitor, ceramic, 100 pF, 100V, 5%, C0G, SMD, 0603	KEMET	C0603C101J1GACTU
1	C9	Capacitor, ceramic, 1 μ F, 16V, 10%, X7R, SMD, 0603	Kyocera AVX®	0603YC105KAT2A
2	C11, C15	Capacitor, aluminum, 47 μ F, 50V, 20%, SMD, L6.6W6.6H7.7D6.3	Würth Elektronik	865080645012
2	C13, C22	Capacitor, ceramic, 3300 pF, 50V, 10%, X7R, SMD, 0603	KEMET	C0603C332K5RAC7867
1	C14	Capacitor, aluminum, Polymer, 150 μ F, 35V, 20%, SMD, D8H10, AEC-Q200	Nichicon Corporation	PCR1V151MCL6GS
1	C16	Capacitor, ceramic, 100 pF, 50V, 10%, C0G, 0805	KEMET	C0805C101K5GACTU
1	C19	Capacitor, ceramic, 10000 pF, 50V, 10%, X7R, SMD, 0805	Würth Elektronik	885012207092
2	C17, C23	Capacitor, ceramic, 1 μ F, 50V, 10%, X7R, AEC-Q200, SMD, 0805	TDK Corporation	CGA4J3X7R1H105K125AB
1	C18	Capacitor, ceramic, 1000 pF, 250V, 10%, X7R, SMD, 0805	Murata Electronics	GRM21AR72E102KW01D
1	C21	Capacitor, ceramic, 470 pF, 25V, 5%, NP0, SMD, 0603	Kyocera AVX	06033A471JAT2A
1	C26	Capacitor, ceramic, 0.1 μ F, 50V, 20%, Y5V, SMD, 0603	Kyocera AVX	06035G104ZAT2A
1	C32	Capacitor, ceramic, 0.47 μ F, 100V, 10%, X7R, SMD, 0805	Kyocera AVX	08051C474KAT2A

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用物料清单 (Bill of Materials, BOM) 均为符合 RoHS 规范的元件。

物料清单 (BOM) (续)

数量	参考	说明	制造商	部件编号
1	C33	Capacitor, ceramic, 1000 pF, 100V, 10%, X7R, SMD, 1206	KEMET	C1206Y102K1RACTU
1	C39	Capacitor, ceramic, 2.2 µF, 50V, 10%, X5R, SMD, 0805	TDK Corporation	C2012X5R1H225K
1	C40	Capacitor, ceramic, 0.22 µF, 16V, 20%, Y5V, SMD, 0603	KEMET	C0603C224Z4VACTU
1	C41	Capacitor, ceramic, 1000 pF, 50V, 10%, NP0, SMD, 0805	Würth Elektronik	885012007063
1	C42	Capacitor, ceramic, 100 nF, 50V, 10%, X7R, SMD, 0603, AEC-Q200	Kyocera AVX	06035C104K4T2A
1	C43	Capacitor, ceramic, 10 µF, 25V, 10%, X7R, SMD, 1206	Murata Electronics	GRM31CR71E106KA12L
1	C44	Capacitor, ceramic, 10 µF, 25V, 10%, X5R, SMD, 0805	TDK Corporation	C2012X5R1E106K125AB
1	D1	Diode, rectifier, BRG, 1.15V, 2A, 600V, SMD, 4-SDIP	Taiwan Semiconductor	DBLS205G
1	D2	Diode, rectifier, 1.3V, 1A, 600V, SMD, SMA	STMicroelectronics	STTH1L06A
1	D3	Diode, Schottky, Array, 0.9V, 2x10A, 150V, SMD, TO-252-3	Diodes Incorporated®	MBRD20150CT-13
1	D4	Diode, zener, 15V, 310 mW, SMD, SOD-323	Nexperia	PZU15B,115
1	D5	Diode, rectifier, 1.25V, 150 mA, 75V, SOD-323	Diodes Incorporated®	1N4148WS-7-F
1	D6	Diode, Schottky, 720 mV, 2A, 100V, SMD, SOD-123FL	Micro Commercial Components	SL210PL-TP
1	D10	Diode, rectifier, BRG, 1V, 0.5A, 600V, SMD, SOIC-4	Fairchild Semiconductor®	MB6S
1	D11	Diode, LED, red, 1.9V, 20 mA, 40 mcd, clear, SMD, 0603	Para Light Corp.	L-C191KRCT-U1
1	D12	Diode, Schottky, 500 mV, 1A, 60V, POWERDI-123	Diodes Incorporated®	DFLS160-7
1	D14	Diode, Zener, 3.3V, 500 mW, SOD-523	onsemi™	MM5Z3V3T1G
1	D20	Diode, Zener, 5.1V, 500 mW, SMD, SOD-323F	Diodes Incorporated	UDZ5V1BF-7
1	D21	Diode, Rectifier, Array, 1.25V, 215 mA, 100V, SMD, SOT-23	onsemi™	BAV99LT1G
1	D24	Diode, Zener, 16V, 500 mW, SOD-123	onsemi	SZMMSZ5246BT1G
1	D25	Diode, rectifier, Array, 1.25V, 200 mA, 70V, SOT-23-3	Micro Commercial Components (MCC)®	BAV99-TP
1	F1	Resistor, fuse, 2A, 300VAC, Slow, Radial, TH, P5.08D8.5H8	Littelfuse®	38312000000
1	F3	Resistor, Fuse, 1A, 63V, fast, ceramic, SMD, 1206	Cooper Industries	TR/3216FF1-R
1	FB1	Ferrite, 470R@100 MHz, 1A, SMD, 0603	Würth Elektronik	742792645

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用物料清单 (Bill of Materials, BOM) 均为符合 RoHS 规范的元件。

物料清单 (BOM) (续)

数量	参考	说明	制造商	部件编号
1	J1	Connector, terminal, 3.81 mm, 1x2, female, 16-24AWG, 10A, TH, R/A	FCI	20020327-D021B01LF
1	J2	Connector, terminal, 5.08 mm, 1x3, female, 16-22AWG, 10A, TH, R/A	Würth Elektronik	691415520003
1	J4	Connector, terminal, 5.08 mm, 1x2, female, 16-22AWG, 12A, TH, R/A	CamdenBoss Ltd.	CSTB/2
3	J5, J6, J9	Connector, HDR-2.54, male, 1x2, tin, 6.75 MH, TH, vertical	Molex®, LLC	0901200122
1	J7	Connector, HDR-2.54, male, 1x3, Tin, 6.75 MH, TH, vertical	Molex, LLC	90120-0123
1	J8	Connector, HDR-2.54, male, 2x5, Gold, Shroud, TH, R/A	Sullins Connector Solutions	SBH11-PBPC-D05-RA-BK
1	L1	Common Mode Choke, 10 MH, 1A, SMD	Würth Elektronik	7446631010
1	L2	Inductor, 100 μ H, 2.5A, 20%, SMD, L12W12H10, AEC-Q200	Würth Elektronik	7447709101
2	L3, L4	Inductor, 360 μ H, 400 mA, 20%, Toroid, TH	Würth Elektronik	7447037
1	MOV1	Resistor, varistor, 275V, 132J, TH, DISC, 14 mm	Würth Elektronik	820542711
4	PAD1, PAD2, PAD3, PAD4	Mechanical, headers & wires, rubber pad, square, L12.1, W12.1, H3.1, black	Hammond Manufacturing Ltd.	1421T8BK
1	Q1	Transistor, MOSFET, N-CH, 600V, 37.9A, 278W, TO-220-3	Infineon Technologies AG	IPP60R099C6
2	Q2, Q4	Transistor, MOSFET, N-CH, 250V, 5A, 33.8W, TSDSON-8	Infineon Technologies AG	BSZ42DN25NS3GATMA1
1	Q3	Transistor, BJT, PNP, 60V, 800 mA, 350 mW, SOT-23-3	Anbon Semiconductor	MMBT2907A
1	Q5	Transistor, BJT, NPN, 30V, 600 mA, 300 mW, SOT-23-3	onsemi Semiconductor®	MMBT2222LT1G
3	Q6, Q8	Transistor, BJT, NPN, 40V, 600 mA, 330 mW, SOT-23-3	onsemi Semiconductor®	MMBT2222ALT1G
1	Q7	Transistor, BJT, NPN, 65V, 100 mA, 300 mW, SOT-23-3	onsemi Semiconductor®	BC846BLT3G
1	Q9	Transistor, MOSFET, N-CH, 100V, 3.1A, 2.5W, SOT-23-3	Vishay Intertechnologies	SI2392ADS-T1-BE3
1	Q10	Transistor, BJT, NPN, 120V, 1A, 500 mW, SOT-23-3	Diodes Incorporated	FMMT494TA
1	R1	Resistor, Thick Film, 220R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-07220RL
2	R2, R3	Resistor, Thick Film, 220k, 5%, 1W, SMD, 2512	Vishay Intertechnologies	CRCW2512220KJNEG
3	R4, R5, R29	Resistor, Thick Film, 2.67k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Yageo Corporation	RC0805FR-072K67L

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用物料清单 (Bill of Materials, BOM) 均为符合 RoHS 规范的元件。

物料清单 (BOM) (续)

数量	参考	说明	制造商	部件编号
1	R6	Resistor, Thick Film, 5.1k, 1%, 1/10W, SMD, 0603, AEC-Q200	Vishay Intertechnologies	CRCW06035K10FKEA
2	R7, R39	Resistor, Thick Film, 47R, 5%, 1/8W, SMD, 0805	Yageo Corporation	RC0805JR-0747RL
1	R8	Resistor, 0.0 Ohm, 1/4W, 1%, SMD, 0805	Yageo Corporation	RC0805JR-7W0RL
3	R9, R15, R46	Resistor, Metal, 0.25R, 1%, 1W, SMD, 2010, AEC-Q200	Vishay Intertechnologies	WSL2010R2500FEA18
3	R10, R17, R26	Resistor, Thick Film, 1k, 5%, 1W, SMD, 2512	Vishay Intertechnologies	CRCW25121K00JNEG
1	R11	Resistor, Thick Film, 120R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Stackpole Electronics Inc.	RMCF0603FT120R
1	R12	Resistor, Thick Film, 1k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Vishay Intertechnologies	CRCW06031K00FKEAC
1	R14	Resistor, Thick Film, 22R, 1%, 1/10W, SMD, 0603, AEC-Q200, RS	Vishay Intertechnologies	CRCW060322R0FKEA
2	R16, R68	Resistor, Thick Film, 47k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic® - ECG	ERJ-3EKF4702V
2	R18, R51	Resistor, Thick Film, 47k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Stackpole Electronics Inc.	RMCF0805FT47K0
1	R19	Resistor, Thick Film, 270k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Vishay Intertechnologies	CRCW0805270KFKEA
1	R20	Resistor, Thin Film, 100k, 1%, 1/8W, SMD, 0603	Vishay Intertechnologies	MCT06030C1003FP500
1	R21	Resistor, Thick Film, 120k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Yageo Corporation	RC0805FR-07120KL
1	R22	Resistor, Thick Film, 3k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Panasonic - ECG	ERJ-6ENF3001V
4	R23, R25, R28, R37	Resistor, Thick Film, 10k, 5%, 1/2W, SMD, 0805	Panasonic - ECG	ERJ-P06J103V
1	R27	Resistor, Thick Film, 11R, 1%, 1/4W, SMD, 1206	Panasonic - ECG	ERJ-8ENF11R0V
2	R30, R43	Resistor, Thick Film, 0.5R, 1%, 1/2W, SMD, 1206	Stackpole Electronics Inc.	CSR1206FKR500
3	R31, R33, R36	Resistor, Thick Film, 10R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Stackpole Electronics Inc.	RMCF0603FT10R0
3	R32, R34, R41	Resistor, Thick Film, 0.62R, 1%, 1/2W, SMD, 1206	Panasonic - ECG	ERJ-8BQFR62V
1	R35	Resistor, Thick Film, 866 Ohm, 1/10W, 1%, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF8660V
1	R38	Resistor, Thin Film, 4.99k, 0.1%, 1/8W, SMD, 0805, AEC-Q200	Panasonic - ECG	ERA-6AEB4991V
3	R40, R54, R56	Resistor, Thick Film, 4.7k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-074K7L
1	R42	Resistor, Thick Film, 10R, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Vishay Intertechnologies	CRCW080510R0FKEAC
1	R45	Resistor, Thin Film, 10k, 1%, 1/8W, SMD, 0603	Stackpole Electronics Inc.	RNCP0603FTD10K0

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用物料清单 (Bill of Materials, BOM) 均为符合 RoHS 规范的元件。

物料清单 (BOM) (续)

数量	参考	说明	制造商	部件编号
1	R46	Resistor, Thick Film, 20R, 5%, 1/2W, SMD, 1210	Vishay Intertechnologies	CRCW121020R0JNEA
1	R48	Resistor, Thick Film, 2.05k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-072K05L
1	R52	Resistor, Thin Film, 100k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-07100KL
1	R55	Resistor, Thick Film, 3.3R, 1%, 1/10W, SMD, 0603, AEC-Q200	Vishay®/Dale	CRCW06033R30FKEA
1	R57	Resistor, Thick Film, 240R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-07240RL
1	R58	Resistor, Thick Film, 47.5k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Vishay Intertechnologies	CRCW060347K5FKEA
1	R62	Resistor, Thick Film, 75k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF7502V
1	R63	Resistor, Thick Film, 35.7k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Vishay Intertechnologies	CRCW060335K7FKEA
1	R64	Resistor, Thick Film, 1k, 1%, 1/10W, SMD, 0603, AEC-Q200	Panasonic - ECG	ERJ-3EKF1001V
1	R67	Resistor, Thick Film, 10R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-0710RL
1	R90	Resistor, Thin Film, 1k, 1%, 1/10W, SMD, 0603, AEC-Q200	Stackpole Electronics Inc.	RMCF0603FT1K00
1	R92	Resistor, Thin Film, 180K, 0.1%, 1/8W, SMD, 0805	Vishay Intertechnologies	RCS0805180KFKEA
1	R94	Resistor, Thick Film, 3.65k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Yageo Corporation	RC0805FR-073K65L
1	T1	Transistor, Preliminary	Würth Elektronik	750319841
2	TH1, TH2	Resistor, Thermistor, NTC, 4.7 Ohms, 3A, Radial	TDK Corporation	B57153S479M
3	TP5, TP7, TP71	Connector, TP, TAB, silver, mini, 3.8x2.03, SMD	Keystone® Electronics Corp.	5019
2	U3, U6	IC, photo, 4-SMD	Avago Technologies	HCPL-181-00CE
1	U4	IC, photo, 3.75 kV, SOIC-6_5pin	Toshiba	TLP2348
1	VOUT	Misc, test point, multi purpose, mini, black	Keystone® Electronics Corp.	5001
1	HS1	Mechanical, headers & wires, heatsink, L34.9 mm x W12.7 mm x H25.4 mm, black, anodize	Boyd Laconia, LLC	531002B02500G
1	LABEL1	LabelPCBA, 18x6 mm, Datamatrix Assy#/Rev/Serial/Date	ACT Logimark AS	505462
1	PCB1	Printed Circuit Board	—	04-11506-R4
1	PCBA1	PCB Assembly	—	02-00397-R4

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用物料清单 (Bill of Materials, BOM) 均为符合 RoHS 规范的元件。

表 B-1: 物料清单 (BOM) —— Microchip 器件

数量	参考	说明	制造商	部件编号
1	U1	Analog, LDO, 3V, SOT-223-3	Microchip Technology Inc.	MCP1792-3302H/DB
1	U5	Microcontroller, 32-bit, 48 MHz, 256 Kb, 32 Kb, QFN-32	Microchip Technology Inc.	ATSAMD21E18A-MUDBG
1	U8	IC, SOIC-8	Microchip Technology Inc.	MCP1012-V/EKA
1	U13	Analog LED Driver, SOIC-16	Microchip Technology Inc.	HV96001-E/D7X

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用 BOM 均为符合 RoHS 规范的元件。

表 B-2: 物料清单 (BOM) —— 不要安装

数量	参考	说明	制造商	部件编号
0	C29	Capacitor, ceramic, 10 μ F, 25V, 20%, X5R, SMD, 0603	Murata Electronics®	GRM188R61E106MA73D
0	C31	Capacitor, ceramic, 0.1 μ F, 16V, 10%, X7R, SMD, 0603	Würth Elektronik	885012206046
0	D8	Diode, TVS, 30V, 600W, SMD, DO-214AA_SMB	Vishay® Intertechnologies	SMBJ30A-E3/52
0	D17, D22	Diode, LED, green, 2.1V, 30 mA, 12 mcd, clear, SMD, 0603	Lite-On® Inc.	LTST-C191GKT
0	D18	Diode, LED, red, 1.9V, 20 mA 40 mcd, clear, SMD, 0603	PARA Light	L-C191KRCT-U1
0	D19	Diode, LED, yellow, 2.1V, 20 mA, 8 mcd, clear, SMD, 0603	Kingbright Company LLC	APT1608YC
0	J3	Connector, HDR-2.54, male, 2x3, gold, shroud, TH, R/A	Adam Tech	BHR-06-HUA
0	R13, R24, R44, R53, R60, R61	Resistor, Thick Film, 1k, 1%, 1/10W, SMD, 0603, AEC-Q200	Panasonic® - ECG	ERJ-3EKF1001V
0	U7	Memory, Serial EERAM, 16K, 1 MHz, SOIC-8	Microchip Technology Inc.	47L16-I/SN

注 1: 本物料清单中列出的元件是 PCB 装配中的代表性元件。已发布的生产用 BOM 均为符合 RoHS 规范的元件。

附录 C 性能曲线和波形

C.1 参考设计性能

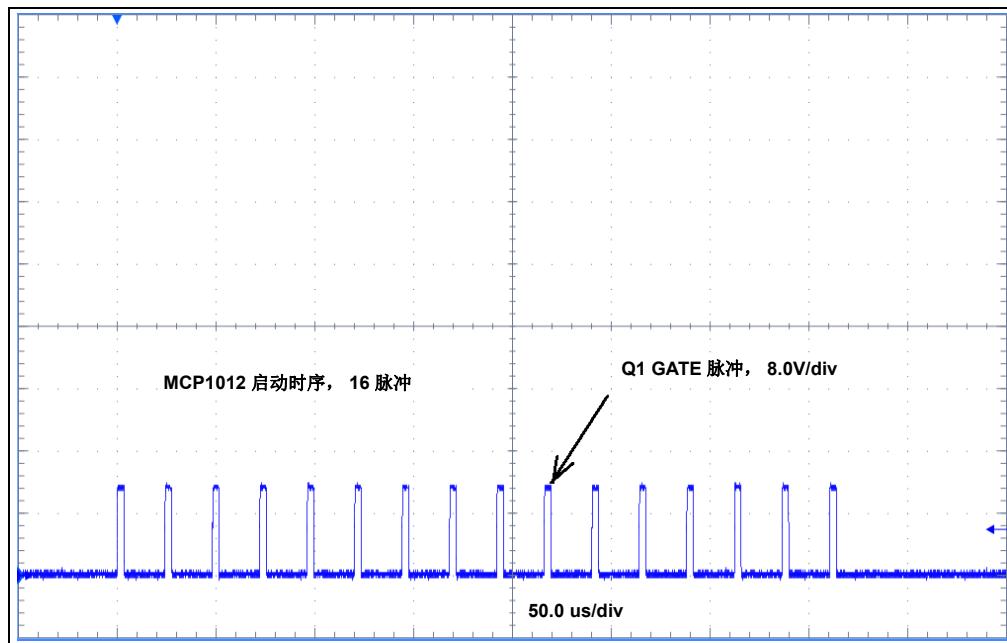


图 C-1: 230VAC MCP1012 在开环无负载条件下的总启动时序

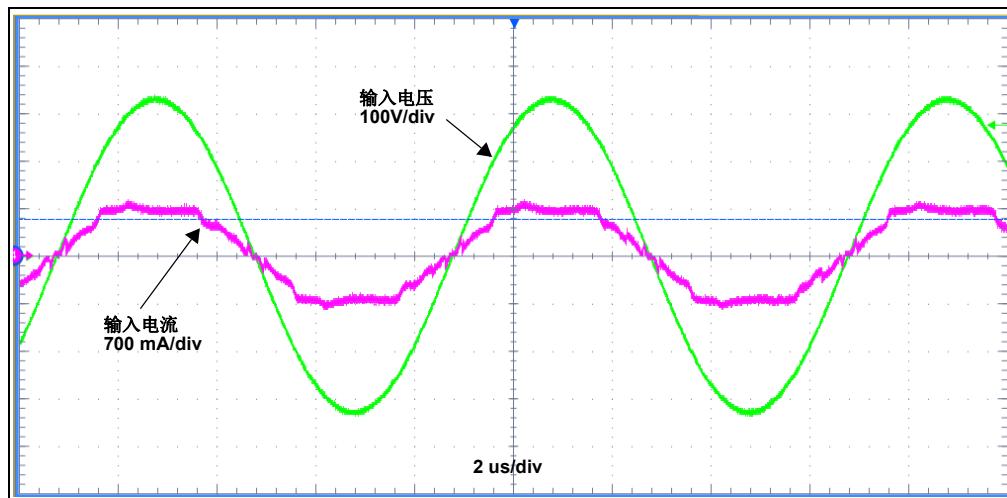


图 C-2: 230VAC 50 Hz 输入电流—线路电压曲线

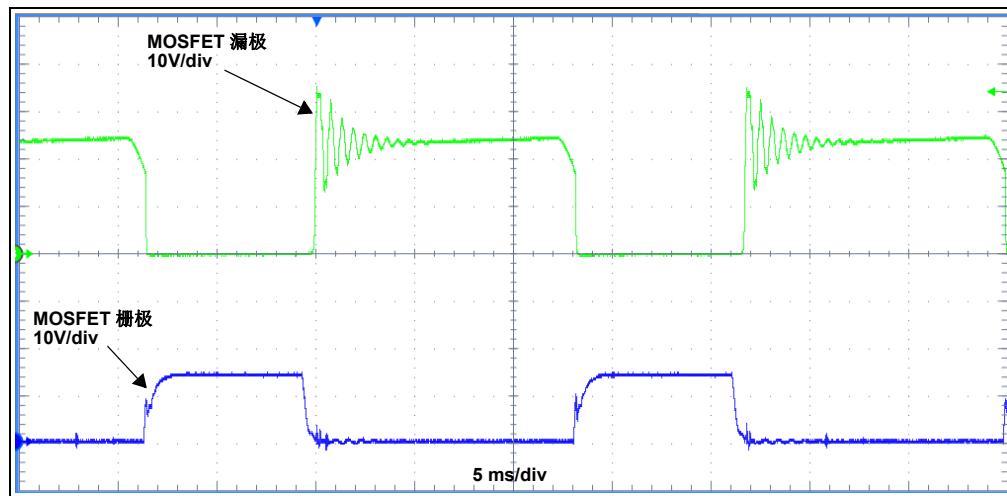


图 C-3: 230VAC 50Hz 时反激式器件初级侧开关波形

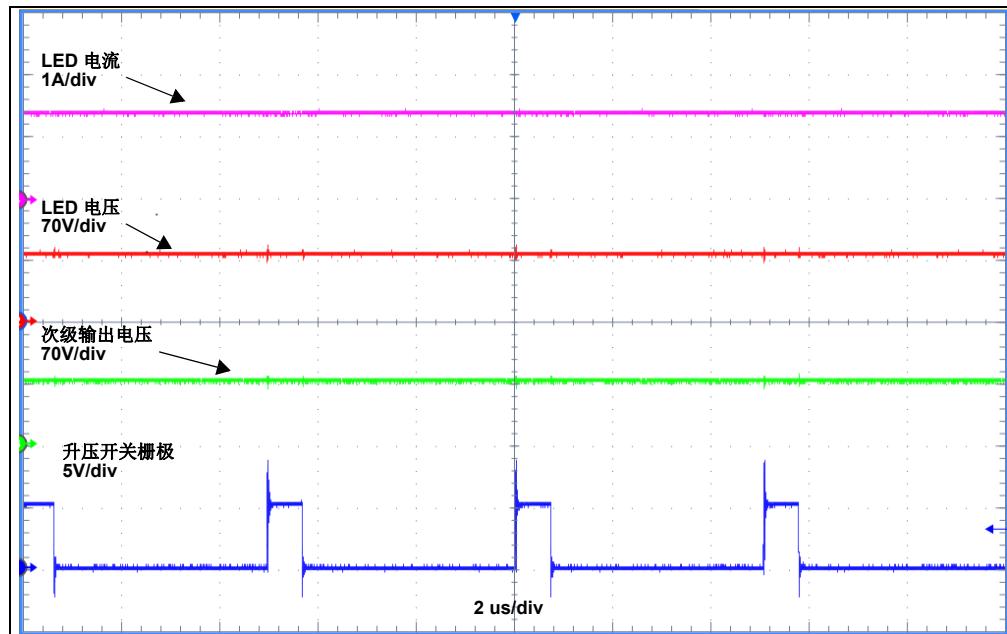


图 C-4: 反激式器件的次级输出电压和 HV96001 的升压级及 LED 负载电流

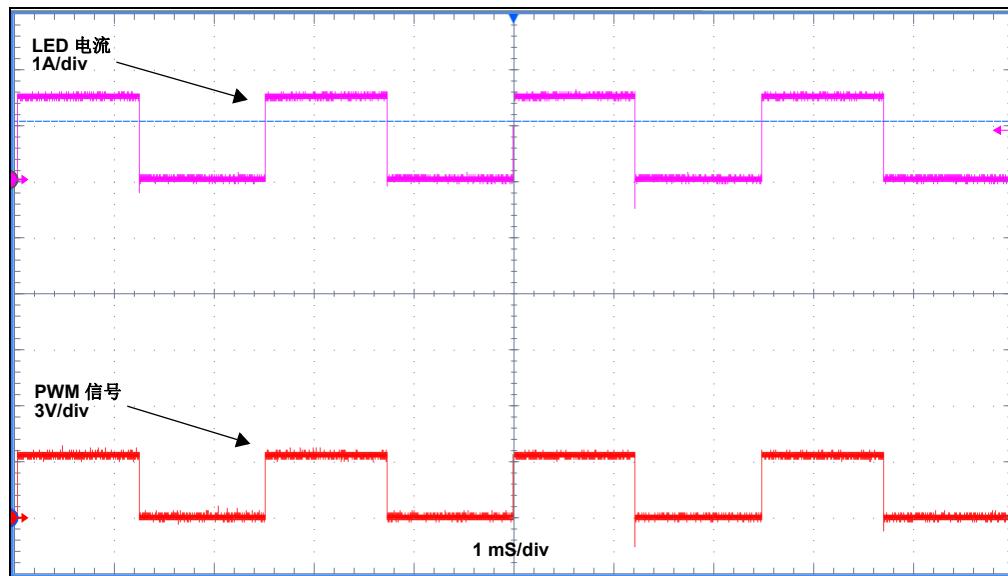


图 C-5: 50% PWM 调光

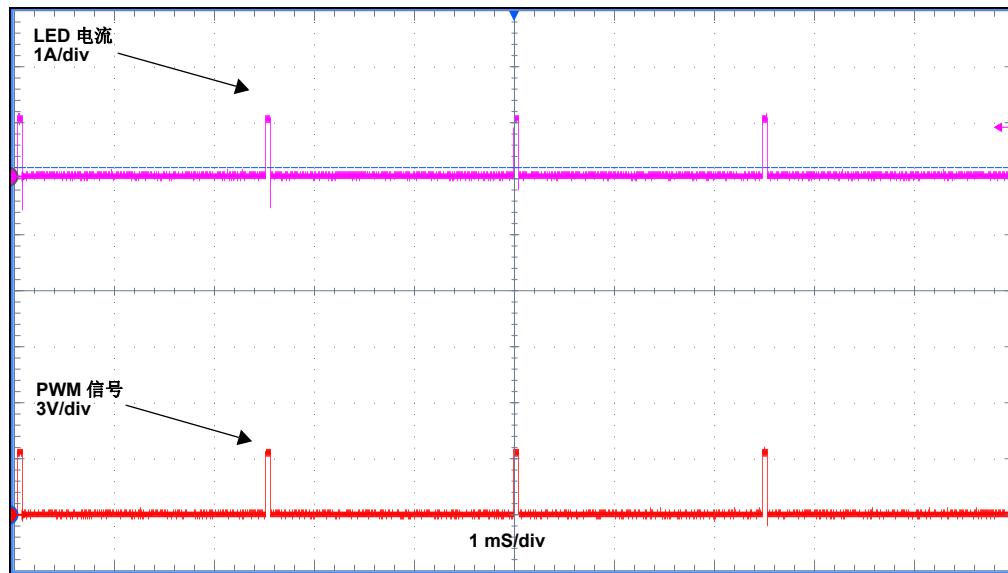


图 C-6: 1% PWM 调光

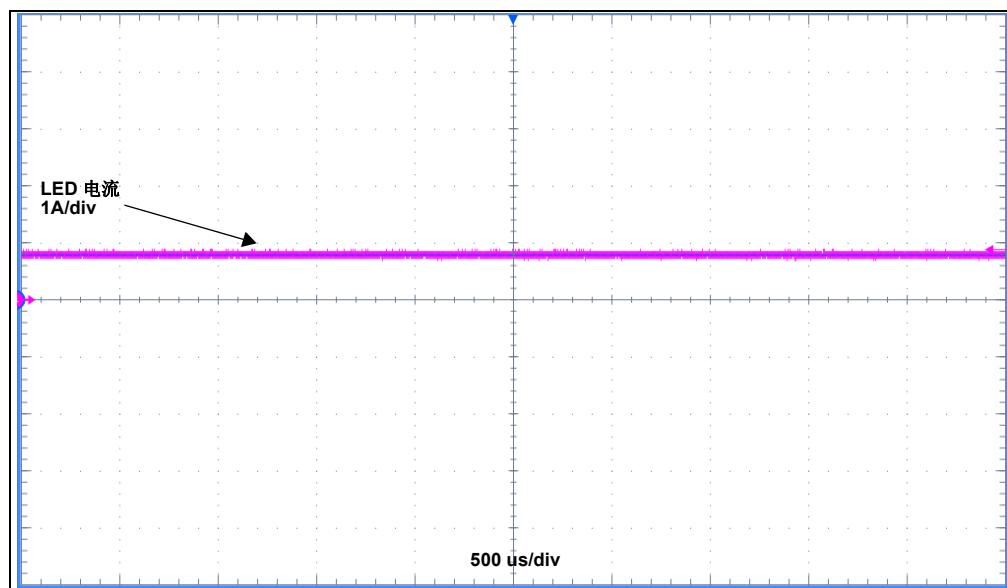


图 C-7: 200 mV LCR 调光

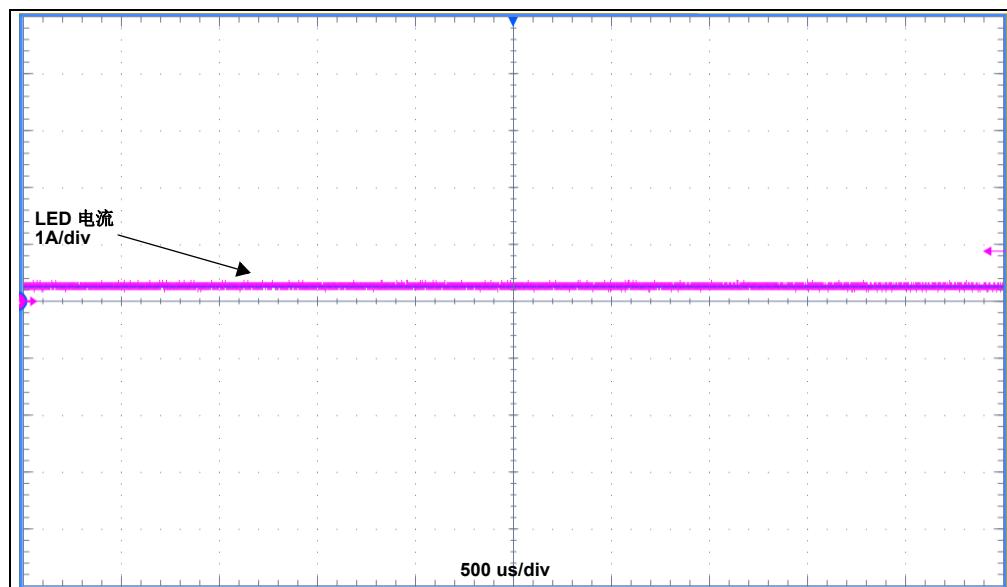


图 C-8: 1 mV LCR 调光

C.2 性能曲线

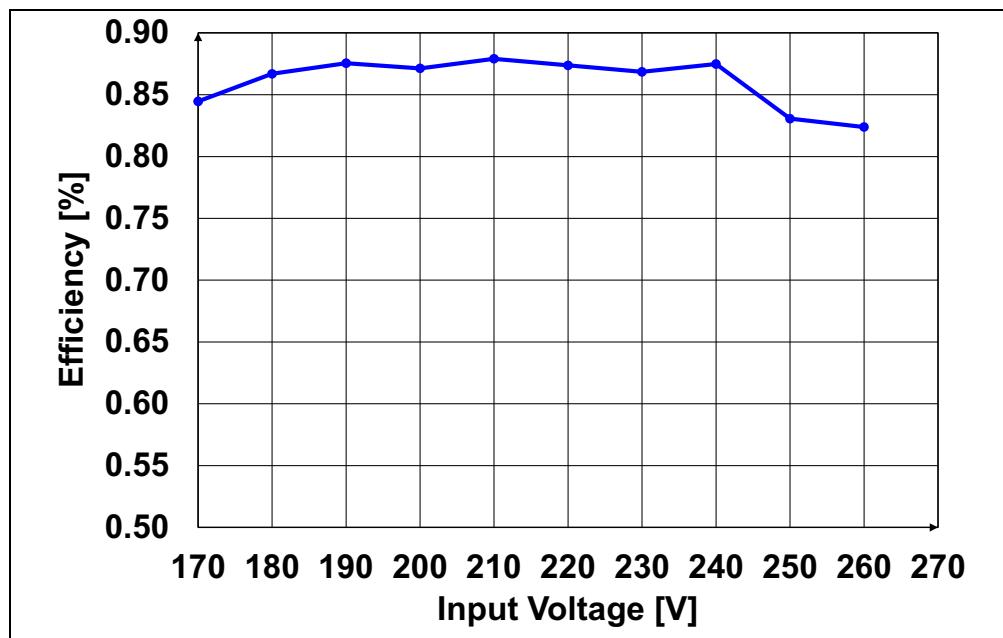


图 C-9: 效率—输入电压曲线

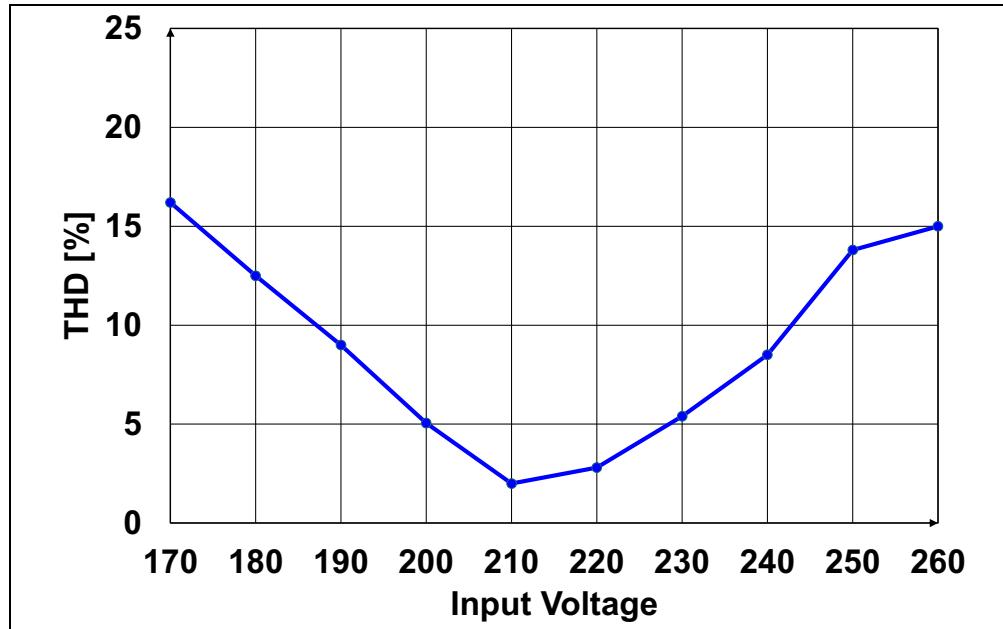


图 C-10: THD—输入电压曲线

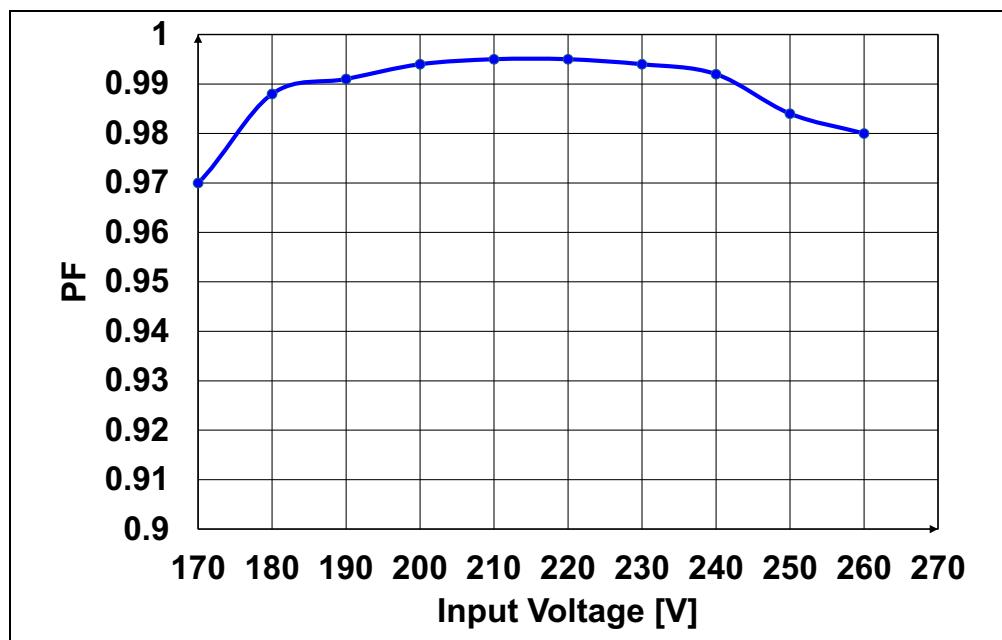


图 C-11: PF — 输入电压曲线