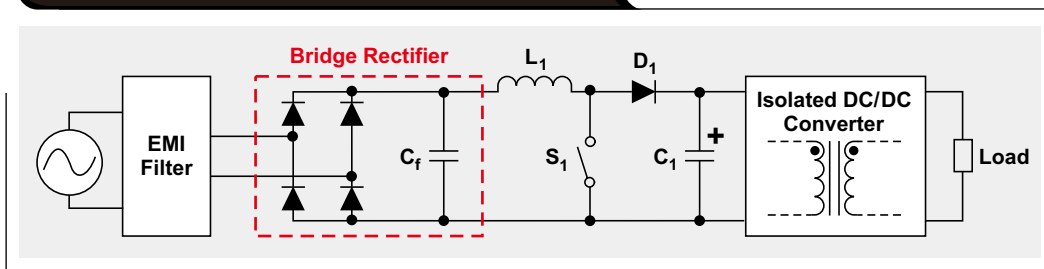


利用一个标准的 PFC 控制器来设计转换模式、无桥 PFC

作者: Sheng-Yang Yu

应用工程师, 电源设计服务

图 1: 具有高功率因数要求的传统两级电源系统



引言

本文提供了采用一个标准的低成本功率因数校正 (PFC) 控制器来构建高效率转换模式 (TM) 无桥 PFC 电源的相关设计信息。在美国西北能源效率联盟 (Northwest Energy Efficiency Alliance) 的 80 PLUS® 计划^[1]的推动之下, 计算机电源制造商们急于探究改善转换器效率的方法。图 1 示出了一个具有高功率因数要求的标准电源系统。

经过整流的输入电压被提升至一个高于最大输入的电平, 以确保在整个输入范围内实现高功率因数。在升压 PFC 之后, 一个隔离式 DC/DC 转换器通过一个安全隔离变压器对增高电压进行降压。对于一个具有 400 W 输出功率的两级电源, 在满负载和 120 VAC/60Hz 输入条件下, 桥式整流二极管中的功率耗散有可能升至高达 6 W。仅仅是因为桥式整流二极管产生的功率耗散就导致效率下降了 1.5%。因此, 用无桥 PFC^[2] (整流器与升压转换器的组合) 取代传统的 PFC 可改善转换器效率。不过, 相比于标准的模拟 PFC 控制器, 无桥 PFC 控制的复杂性导致其控制器的成本较为昂贵。此外, 无桥 PFC MOSFET 上的寄生电容所产生的电磁干扰 (EMI) 也高于传统 PFC。^[3]

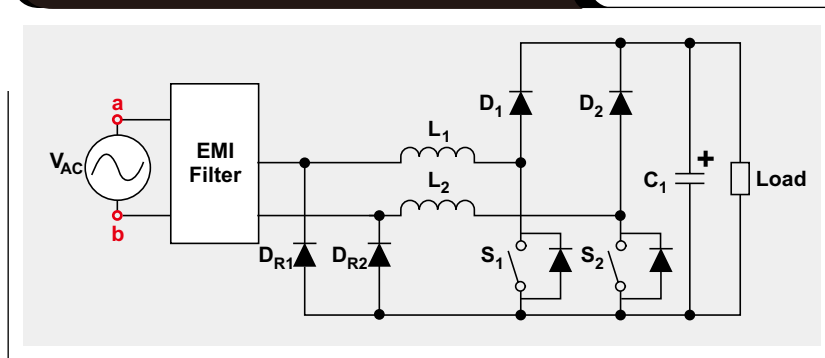
上述问题极大地增加了无桥 PFC 电路的成本。图 2 示出了一种采用回程二极管 (return diode)^[4] 的替代型无桥 PFC。

图 2 中的慢恢复型回程二极管 D_{R1} 和 D_{R2} 减轻了 EMI 问题。而且, 同一个脉宽调制 (PWM) 信号可用于驱动两个 MOSFET, 这极大地降低了控制的复杂性和控制器的成本。

本文着重讨论将低成本的标准模拟 PFC 控制器用于具有回程二极管的 TM 无桥 PFC 的设计考虑因素。利用 UCC28051 TM-PFC 控制器; 一个 TM 无桥 PFC 和一个 TM 传统 PFC 制作了二个用于性能评估的 370 W 参考板。实验结果显示: 在 120 VAC 条件下, 采用 TM 无桥 PFC 原型可实现 97% 以上的效率, 比采用 TM 传统 PFC 原型时大约高出了 1%。

另外, 诸如 TI C2000™ 实时微控制器 [5] 等数字控制器也被广泛地用于控制无桥 PFC。

图 2: 采用回程二极管的无桥 PFC



电路工作原理和设计考虑因素

电路工作原理

图 3 所示的 TM 无桥 PFC 的电路工作原理与升压型转换器很相似。当 $V_{AC} > 0$ (或 $V_a - V_b > 0$) 时, 主电流流过第一个升压转换器组件 (L_1 、 S_1 、 D_1 、 C_1) 和负载, 然后经由 D_{R2} 返回电源。当 $V_{AC} < 0$ (或 $V_a - V_b < 0$) , 主电流流过第二个升压转换器组件 (L_2 、 S_2 、 D_2 、 C_2) 和负载, 然后经由 D_{R1} 返回电源。回程二极管允许两个开关 S_1 和 S_2 同时接通或关断, 以保持升压转换器正常工作。

设计考虑因素

标准的 TM-PFC 控制器依赖电流检测和零电流侦测 (ZCD) 电路的感测结果作为驱动信号接通 / 关断的触发器。电流检测电路用于侦测电感器电流的峰值以关掉开关。ZCD 电路负责侦测电感器电流的零电流点以接通开关。

标准 TM-PFC 控制器的另一个特征是其开关频率范围要比昂贵的数字控制器窄得多。正确地设计 PFC 电感器是很重要的, 因为它们决定了开关频率。当把一个标准的 TM-PFC 控制器应用于 TM 无桥 PFC 时有三个主要的考虑因素: 电流检测电路设计、ZCD 设计和 PFC 电感器设计。

电流检测设计

对于无桥 PFC 电流检测来说, 用于峰值电流检测电路的功率电阻器 (图 4a 中的 R_{CS1} 和 R_{CS2}) 不再是首选。这主要是因为将要检测两根开关引线 (switch leg)。如果每个开关与一个电流检测电阻器相串联, 那么就需要额外的电路以确保控制器从期望的开关引线接收电流检测信号。由于这些电路通常需要较高的电流检测电阻, 因此伴随着电流检测电阻器的使用将出现功率损耗的增加。因为二极管电压降的缘故, R_{CS1} 和 R_{CS2} 需要较高的电阻。

如图 4b 所示, 建议使用电流变压器取代电流检测器来进行电流检测。采用电流变压器的电流检测电路中的二极管可确保能够检测来自期望开关引线的峰值电流, 并且最大限度地减少电流检测电路中的功率损耗。

图 3: 采用回程二极管的无桥 PFC 的工作原理

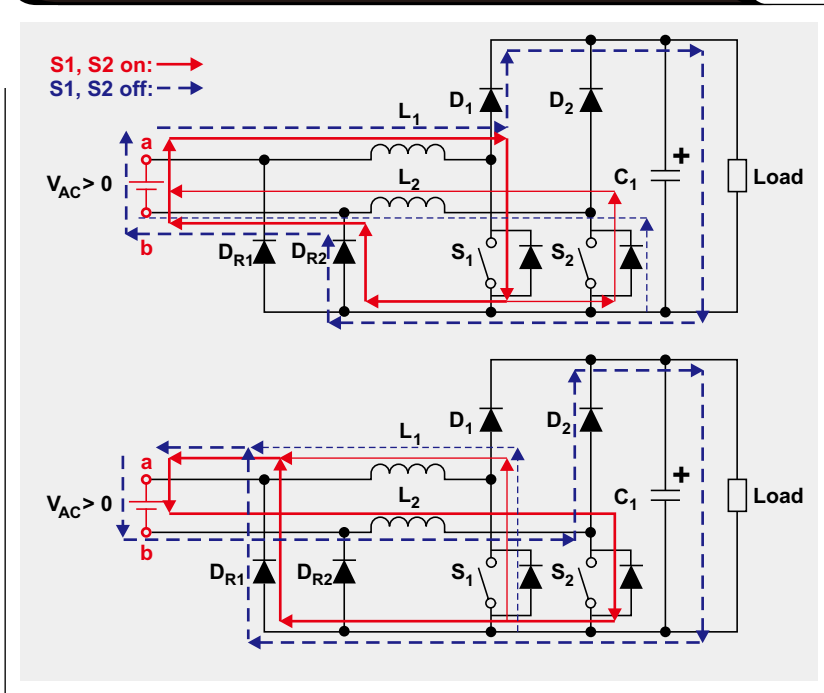
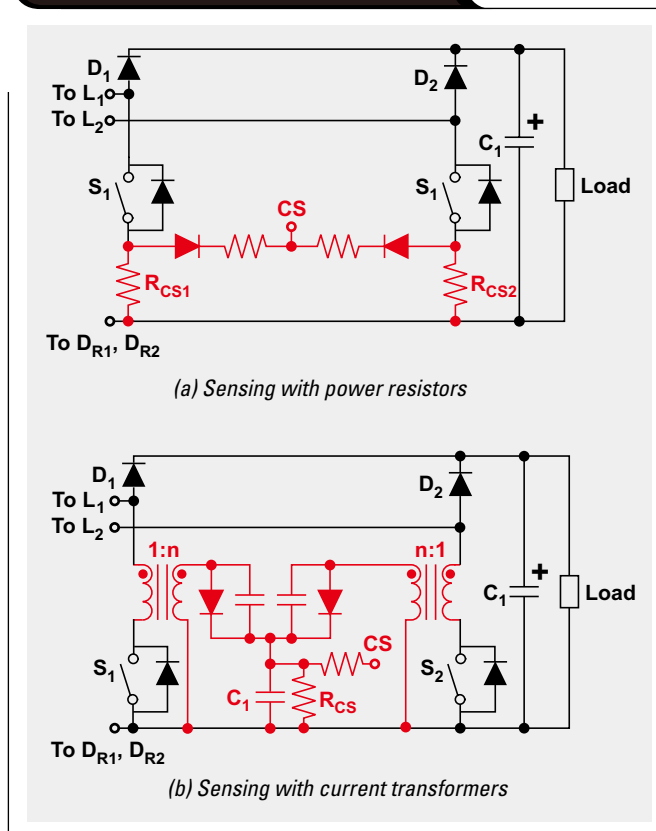


图 4: 电流检测电路



零电流侦测设计

在标准的 TM 升压 PFC 中，ZCD 是通过检测来自 PFC 电感器的一个辅助绕组的电压信号实现的（图 5a）。该 ZCD 电路运用了电感器的伏特-秒特性。当升压二极管 D_1 导通时，正电压出现在 IC 的 ZCD 引脚。而且，借助正确的 L_1 匝数比设计， V_{ZCD} 可大于 V_{REF} 。一旦电感器电流减小至零，电感器的电压将改变其极性。此时 ZCD 电压从正 ($V_{ZCD} > V_{REF}$) 变为负 ($V_{ZCD} < V_{REF}$)。内部比较器将检测到这种电压极性瞬变，并把驱动信号拉至高电平以接通 S_1 。

当采用 TM 无桥 PFC 时，所有的零电流事件都必须检测到。有可能必需把 TM 升压 PFC 的 ZCD 电路应用到 TM 无桥 PFC 中的两个电感器，并引入隔离二极管。然而，隔离二极管的使用会延长 V_{ZCD} 的下降持续时间并使 ZCD 引脚对噪声敏感，这将导致错误的触发和保护动作。如果不使用电感器辅助绕组，而代之以一个串接式 RC 电路（图 5b），则可提供一种简单的可选检测方案。

当 S_1 和 S_2 均关断时，仍然有一个开关（一般是 MOSFET）通过其体二极管传导电流。于是，在两根开关引线之间产生了一个电压差。ZCD 电路中的电容器被充电，并导致 $V_{ZCD} > V_{REF}$ 。当电感器电流变至零时该电压差变为零，从而使得 $V_{ZCD} < V_{REF}$ 并触发接通过程。简而言之，该电路运用电容器的充电/放电来实现 ZCD。

PFC 电感器设计

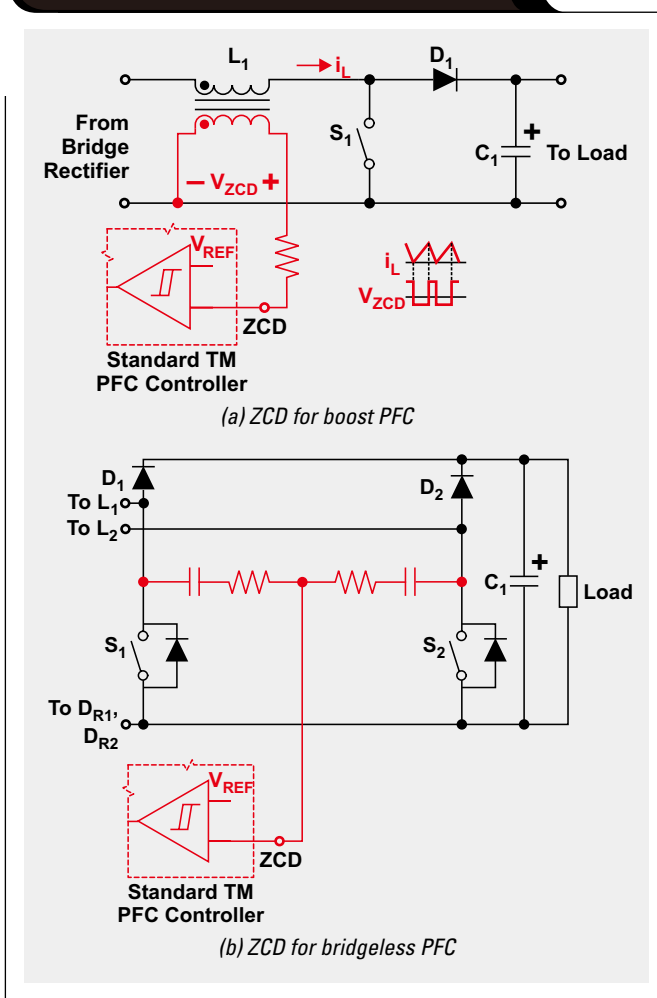
与连续导通模式 (CCM) PFC 电路不同，TM PFC 在一个 AC 周期中需要各种不同的开关频率，以确保电感器电流在下一个开关周期开始之前被放电至零。一般来说，模拟 TM-PFC 控制器的工作频率范围比数字控制器窄。因此，在大多数场合中，为了确保开关频率处在 IC 的限值范围之内，为 TM 无桥 PFC 中的升压电感器选择正确的电感值就变成了一项重要的任务。电感值是可以计算的。

$$L_1 = \frac{V_{in_min}(rms)}{2I_{in}(rms) \left[\text{at } V_{in_min}(rms) \right]} \times t_{on_max} \tag{1}$$

$$= \frac{V_{in_min}(rms)}{2I_{in}(rms) \left[\text{at } V_{in_min}(rms) \right]} \times \frac{V_{out} - \sqrt{2} \times V_{in_min}(rms)}{V_{out} \times f_{sw_min}}$$

式中的 t_{on_max} 是开关 S_1 和 S_2 在最小输入电压 (V_{in_min}) 条件下的最大导通时间， f_{sw_min} 是在 V_{in_min} 条件下的最小开关频率。输入电流的 rms 值 ($I_{in}(rms)$) 可利用 $I_{in}(rms) = P_{out}/(V_{in}(rms) \times \eta)$ 来确定，其中的 η 为 PFC 效率。

图 5：零电流侦测电路



一旦确定了电感，即可以求得固定输入 AC 电压下转换器在一个 AC 开关周期中的开关频率。

$$f_i = \frac{D_i}{t_{on}} = \frac{V_{out} - \sqrt{2} \times V_{in}(rms) \times \sin(\omega_{AC} x_i)}{V_{out} \times t_{on}} \tag{2}$$

式中的 D_i 为第 i 个开关动作中的占空比， $\omega_{AC} = 2\pi f_{AC}$ 和 f_{AC} 是 AC 开关频率。第 i 个开关动作的开始时间为 x_i ，因此当 $x_1 = 0$ 时，就可以确定 x_{i+1} 。

$$x_{i+1} = \sum_{j=1}^i \frac{t_{on}}{D_j} \tag{3}$$

现在，设想一个具有 380 V 输出电压、390 W 输出功率和 90 VAC 至 264 VAC 通用 AC 输入的 TM 无桥 PFC。当把 f_{sw_min} 设定为 65 kHz 且假设 η 为 96% 时，利用 (1) 式可计算出电感值为 104 μ H。现在，借助电感计算值来应用 (2) 式和 (3) 式。图 6 示出了在 120 VAC 和 240

VAC 条件下的开关频率变化。结果显示：由于高电流操作期间的开关频率均低于控制器的频率限值，因此就该设计而言 ($f_{sw_max} \cong 400$ kHz)，在低线路电压输入和高线路电压输入情况下皆能确保一个很高的功率因数。

电路实现方案和实验验证

制作了两个 380 W、TM-PFC 参考板（传统升压和无桥）以比较性能。对于升压开关，把一个具有 $R_{DS(on)} = 140$ m Ω 的 N 沟道 MOSFET 用于升压 PFC，并将具有 $R_{DS(on)} = 199$ m Ω 的 N 沟道 MOSFET 用于无桥 PFC。两个参考板均使用了 UCC28051 TM-PFC 控制器和具有 PQ3220 铁氧体磁芯的电感器。请注意，对于升压 PFC 参考板，两个 260 μ H 电感器采取并联连接以共享升压电感器上的磁通密度和功率损耗。在无桥 PFC 参考板中，把两个 100 μ H 电感器用作升压转换器。传统升压 PFC 中的整流器和无桥 PFC 中的回程二极管采用了相同的低成本桥式整流二极管。无桥 PFC 参考板运用了采用电流变压器和一个 RC 连接式 ZCD 电路的电流检测方法。

图 7 示出了 TM 无桥 PFC 的电感器电流波形。请注意，当一个电感器处理开关操作时，另一个电感器传导负电流。这是因为升压电感器的电感在 50/60 Hz 频率下是非常低的。所以，部分返回电流通过升压电感器（而不是回程二极管）流回到电源。

图 6: TM 无桥 PFC 在半个 AC 周期中的开关频率

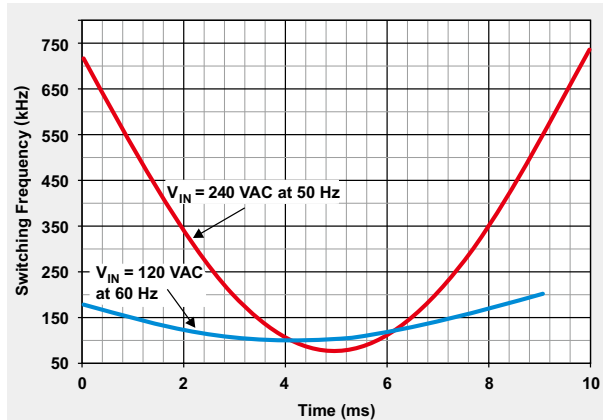


图 7: TM 无桥 PFC 在 350 W 输出时的电感器电流

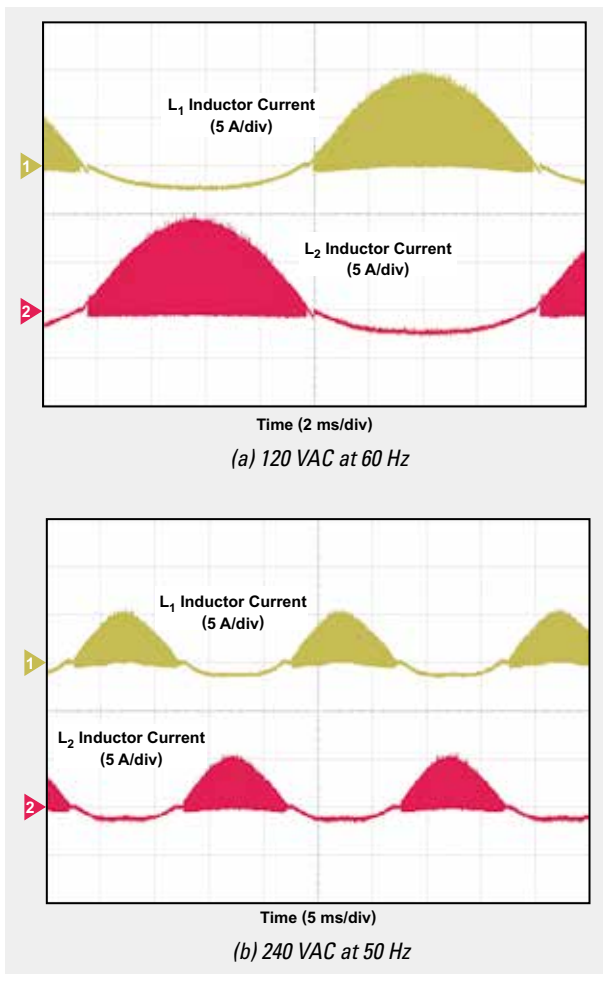


图 8 比较了这两款原型的效率。在轻负载到中等负载的范围内，我们发现：相比于升压 PFC，TM 无桥 PFC 的效率提升了大约 1%。原型的功率因数测量结果示于图 9。在 120 VAC 和 240 VAC 条件下均获得了高功率因数，从而验证了先前的分析。

结论

低成本 TM 无桥 PFC 的设计考虑因素表明：标准的 PFC 控制器可用以极大地降低总体电路成本，同时保持无桥 PFC 电路的固有优势。与传统 TM PFC 的实验对比有力地证明：利用 TM 无桥 PFC 可实现效率的改善。

参考文献

1. 《80 PLUS 认证电源和制造商》。参见：
www.plugloadsolutions.com
2. 作者：L. Huber、Y. Jang 和 M. M. Jovanovic，《无桥 PFC 升压整流器的性能评估》，Power Electronics, IEEE Transactions, vol. 23, pp. 1381~1390, 2008 年。
3. 作者：B. Lu、R. Brown 和 M. Soldano，《采用一种周期控制方法的无桥 PFC 实现方案》，Proc. APEC 2005, pp. 812~817, Vol. 2。
4. 作者：A. F. d. Souza 和 I. Barbi，《具有减低的传导和换相损耗的高功率因数整流器》，Proc. INTELEC 1999, p. 5。
5. 《Piccolo™ MCU 高电压数字电源开发套件》，德州仪器，2011 年。参见：http://www.ti.com/webemail/pdf_redirects/sprt605_pdf_redirect.shtml
6. 作者：X. Liu 和 Z. Wang，《UCC28070 实现无桥功率因数 (PFC) 前置稳压器设计》，Application Report (SLUA517)，德州仪器，2009 年 7 月。参见：http://www.ti.com/webemail/pdf_redirects/slua517_pdf_redirect.shtml

相关网址

www.ti.com/4q14-ucc28051

参考设计

具有通用 AC 输入和 28 V 输出的 350 W PSU:

www.ti.com/4q14-pmp953

采用转换模式无桥 PFC 和 LLC-SRS 的 310 W PSU:

www.ti.com/4q14-pmp9640

订阅 AAJ:

www.ti.com.cn/subscribe-aaaj

图 8: 参考板的转换器效率

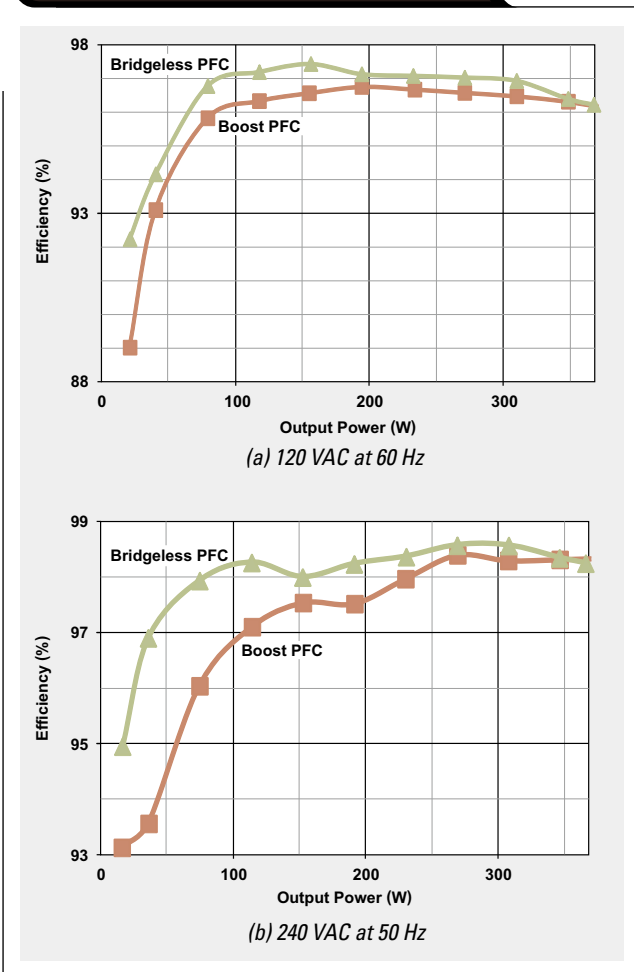
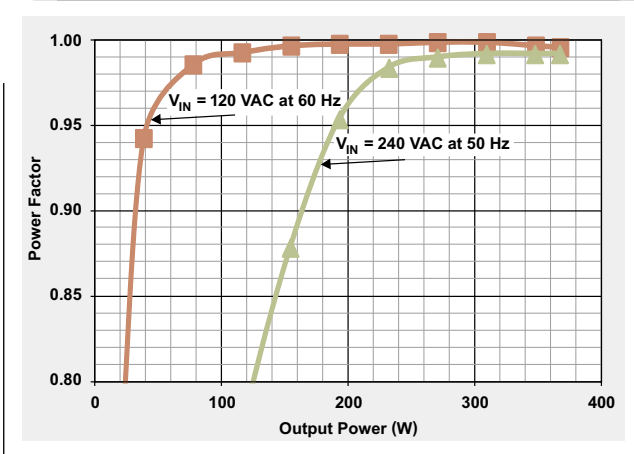


图 9: TM 无桥 PFC 的功率因数



TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 ti.com.cn/tidesigns 查询最适合您的设计文档。



WEBENCH
Design Center



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。
电源在线培训课程

www.ti.com.cn/webench
www.ti.com.cn/powerlab
www.ti.com.cn/powertraining

WEBENCH® Designer My Designs

Clocks	Filters	传感器
电源	FPGA/μP	LED

输入您的供电要求:

直流 交流

最小 最大

输入电压 14.0 V 22.0 V

输出 3.3 V 2.0 A

环境温度 30 °C

多负载 单输出

Power Architect **开始设计**

WEBENCH® Designer My Designs

最小 最大

输入电压 14.0 V 22.0 V

输出 3.3 V 2.0 A

环境温度 30 °C

SIMPLE SWITCHER®

开始设计 ▶

德州仪器在线技术支持社区

www.deyisupport.com

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



weibo.com/tisemi

热门产品

DAC8760	用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC
DAC7760	单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC
ADS1247	极低噪声、精密 24 位 模数转换器
ADS1120	具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC
ISO7242	四通道 2/2 25Mbps 数字隔离器
ISO7631FM	4kV _{PK} 低功耗三通道、150Mbps 数字隔离器
TPS54062	4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器
TLK105L	工业温度、单端口 10/100Mbps 以太网物理层
SN65HVD255	CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760



重要声明

德州仪器及其下属子公司 (TI) 有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准终止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是最新且完整的。所有半导体产品 (本文也指“组件”) 的销售都遵循在确认订单时 TI 的销售条款与条件。

TI 确保其销售的组件性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。TI 仅在认为有必要时才采用测试或其它质量控制技术。除非相关法律有强制规定, 否则 TI 没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 没有义务承担应用帮助或客户产品设计。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充足的设计与操作安全保障措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或使用了 TI 组件或服务的任何产品组合、机器或流程相关的其他 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限做出任何担保或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、担保或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其他知识产权方面的许可, 或 TI 的专利权以及 TI 其他知识产权的许可。

如需复制 TI 产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 不得对内容进行任何篡改, 且须带有相关授权、条件、限制和声明。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要遵从其他限制条件。

经销 TI 组件或服务时, 如果经销商对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数之间存在差异或存在虚假成分, 则相关 TI 组件或服务的所有明示或暗含的保修将作废, 且此行为被视为不正当的欺诈性商业行为。TI 不对任何此类虚假陈述承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持可能仍由 TI 提供, 但其将自行负责符合与其产品及在其应用中使用 TI 组件相关的所有法律、法规和安全方面的要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的所有专业技术和知识, 可预见故障的危险、监测故障及其后果、降低可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全攸关的应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些情况下, TI 可能进行特别促销推进安全应用的发展。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足相关功能安全标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然受这些条款约束。

TI 组件未获得用于 FDA 三级 (或类似生命攸关的医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是专门设计用于军事/航空应用或环境的产品。客户认可并同意, 如将不带有该标识的 TI 组件用于军事或航空航天应用, 则风险由客户自行承担, 客户自行负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 特别标示了符合 ISO/TS16949 要求的特定组件, 这类组件主要用于汽车。在任何情况下, TI 均不因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 的要求而承担任何责任。

产品

音频	www.ti.com/audio
放大器	amplifier.ti.com
数据转换器	dataconverter.ti.com
DLP® 产品	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
时钟与定时器	www.ti.com/clocks
接口	interface.ti.com
逻辑	logic.ti.com
电源管理	power.ti.com
微控制器	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP 应用处理器	www.ti.com/omap
无线连接	www.ti.com/wirelessconnectivity

应用

汽车与运输	www.ti.com/automotive
通信与电信	www.ti.com/communications
计算机及外设	www.ti.com/computers
消费电子	www.ti.com/consumer-apps
能源和照明	www.ti.com/energy
工业控制	www.ti.com/industrial
医疗	www.ti.com/medical
安防	www.ti.com/security
空间、航空和国防	www.ti.com/space-avionics-defense
视频和影像	www.ti.com/video
TI E2E 社区	e2e.ti.com

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

© 2014 年德州仪器公司版权所有

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司