Is Now Part of

ON Semiconductor®

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
www.onsemi.com

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

用户指南：

FEBFAN9611_S388V1

FAN9611 400-W交错式 双BCM PFC控制器 评估板

飞兆特色产品： FAN9611

请将 有关此评估板的问题或评论提交至： “全球支持中心”

[*Fairchild Semiconductor.com*]

请联系当地飞兆销售代表 获取评估板。

目录

本用户指南支持可用于交错式临界导通模式功率因数校正电源的FAN9611 400-W评估板。本用户指南应当与FAN9611数据手册以及飞兆应用指南*“AN-6086 – 采用FAN9611 / FAN9612的交错式临界导通模式PFC的设计依据”配合使用。*评估板可互换使用，以评估FAN9611（10 V导通阈值）或FAN9612控制器（12.5 V导通阈值）。更多信息，请访问飞兆半导体网站www.fairchildsemi.com。该评估板可通过顶部丝印标记“FAN9612 400W INTERLEAVED PFC CONVERTER”和“FEB388”加以识别。

1. 评估板概述

FAN9611交错式双临界导通模式(BCM)功率因数校正(PFC)控制器可控制两个并行连接的180°异相升压传动系统。交错式功能可将控制技术的最大实际功率从300 W左右扩展至800 W以上。与常用于更高功率的连续导通模式(CCM)技术不同，BCM可以实现升压二极管固有的零电流开关（不产生反向恢复损耗），这样就允许在不牺牲效率的情况下采用成本较低的二极管。此外，输入和输出滤波器的体积更小了，这是因为传动系统间纹波电流的消除以及开关频率的有效增倍。

带峰值检测的先进前馈线路可在线路瞬变时最大程度减少输出电压变化。为了确保在轻负载条件下稳定运行并具有较少的开关损耗，最大开关频率固定在525 kHz。在任何工作条件下都能保持同步。

保护功能有：输出过压保护、过流保护、反馈开路保护、欠压闭锁保护、掉电保护和冗余闭锁过压保护。FAN9611采用无铅16引脚SOIC封装。

该FAN9611评估板为4层板，针对400 W (400 V / 1 A)额定功率而设计。凭借相位管理功能，效率在低压线路和高压线路时保持在96%以上，甚至在额定输出功率低至10%时也是如此。线路电压为115 V_{AC}和230 V_{AC}时，满载条件下的效率分别为96.4%和98.2%。

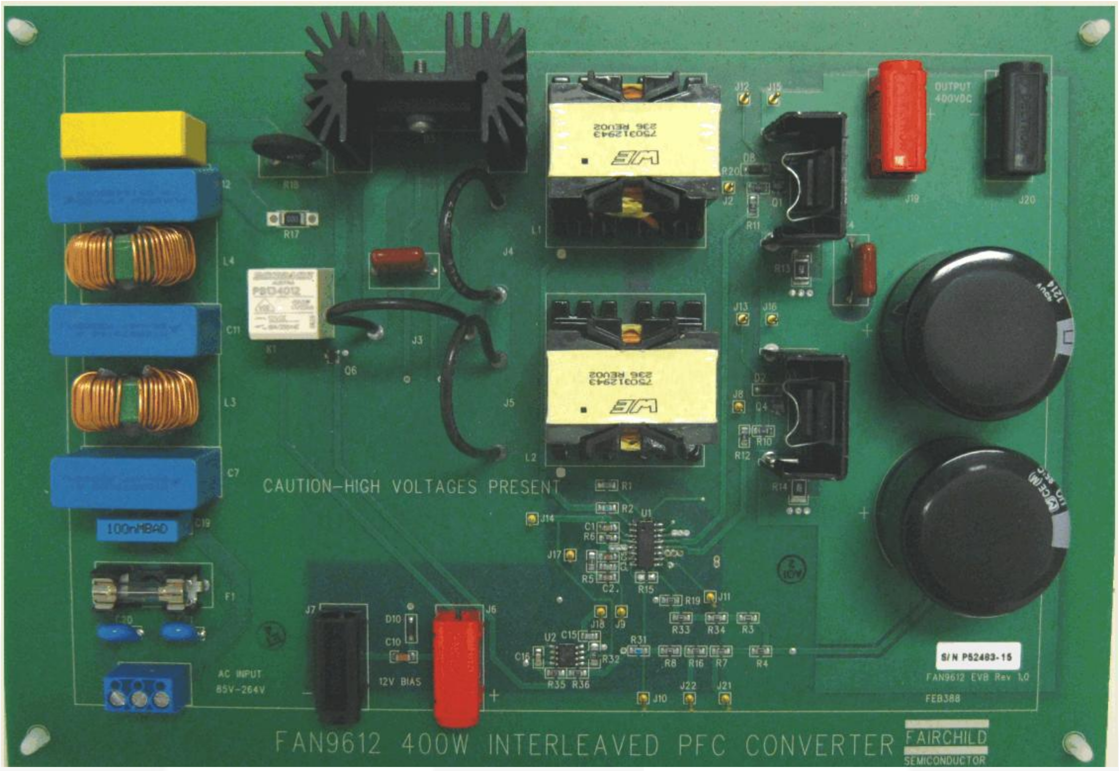

CAUTION—HIGH VOLTAGES PRESENT
FAN9612 400W INTERLEAVED PFC CONVERTER
FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR
OUTPUT
400VDC
AC INPUT
85V-264V
12V BIAS
100nMBAD
FAN9612 EVB Rev 1.0
FEB388

图1. 俯视图

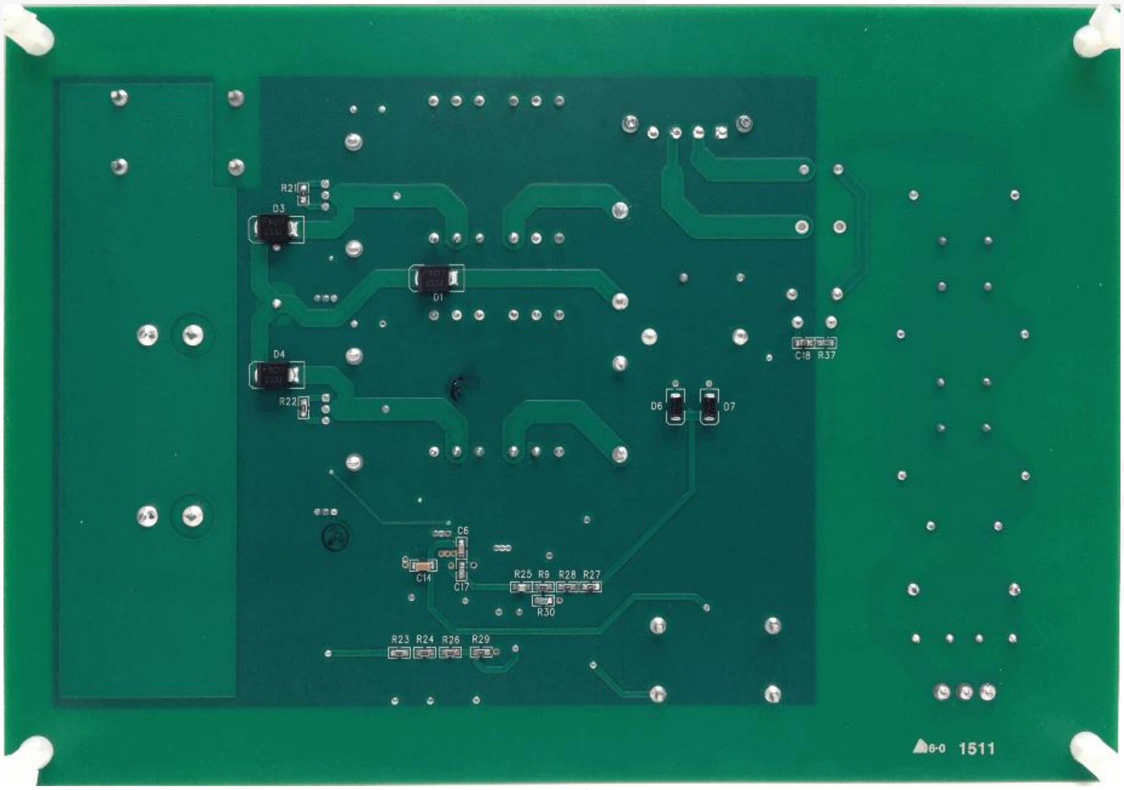

1511

图2. 底视图

2. 主要特性

- 低总谐波失真、高功率因数
- 180° 异相同步
- 轻负载时的相位自动禁用
- 灌电流为1.8A、拉电流为1.0A的高电流栅极驱动器
- 可减少过冲的跨导(g_M)误差放大器
- 带$(V_{IN})^2$前馈功能的电压模式控制
- 设有可编程软启动时间的闭环软启动，可减少过冲
- 可避免音频噪声的最小重启定时器频率
- 最大开关频率箝位
- 带软恢复功能的欠压保护
- FB引脚提供非闭锁OVP（过压保护），OVP引脚提供二次闭锁保护
- 开路反馈保护
- 针对每一相位都提供过流和功率限制保护
- 低启动电流： 80 µA（典型值）
- 采用直流输入电压和50-Hz至400-Hz交流输入工作

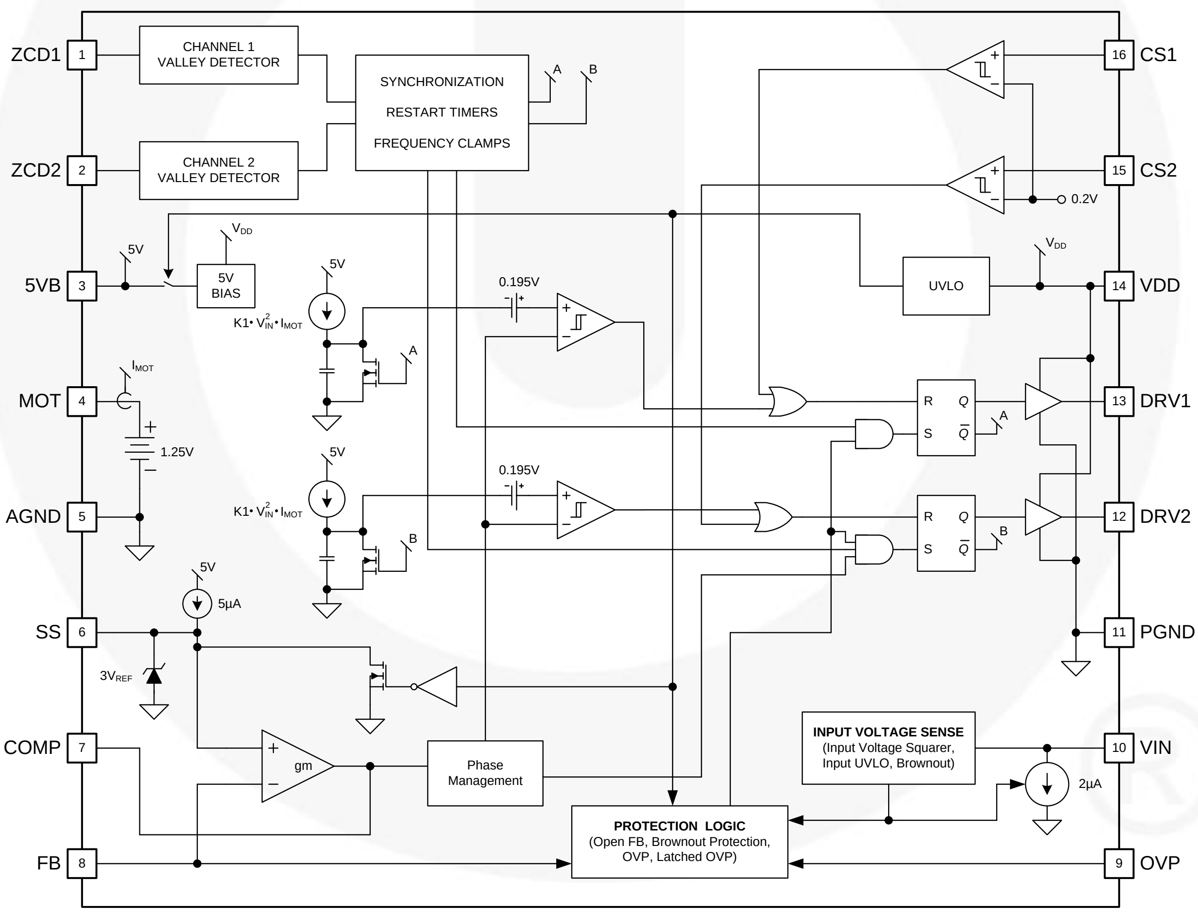


图3. 框图

3. 规格

该评估板设计和优化时针对的是下列条件：

输入电压范围	额定输出功率	输出电压 （额定电流）
V_{IN}标称值： 85~264 V_{AC} V_{DD}电源： 13 V_{DC}~18 V_{DC}	400 W	400 V – 1 A

注意：

1. 20 ms保持时间内的最小输出电压为330 V_{DC}。

- V_{LINE} = 85~264 V_{AC}
- V_{OUT} = 400 V
- f_{SW} > 50 kHz
- 负载低至20%时，效率大于96% (115 V_{AC})
- 负载低至20%时，效率大于97% (230 V_{AC})
- 满载时PF大于0.99

评估板内置保护功能的跳变点设置如下：

- 非闭锁输出OVP跳变点设定为标称输出电压的108%。
- 闭锁输出OVP跳变点设定为标称输出电压的117%。
- 线路UVLO（掉电保护）跳变点设为68 V_{AC}（10 V_{AC}迟滞）。
- 每个MOSFET的逐脉冲限流设为9.1 A。

最大功率限值设为额定输出功率的120%左右。对于高线路电压(230 V_{AC})，相位管理功能允许在标称输出功率的15%左右进行切相/相位叠加。该电平可通过修改MOT电阻(R6)进行编程。

4. 测试步骤

测试评估板前：作为直流供电电压的V_{DD}，作为线路输入的交流供电电压以及作为输出的直流电气负载应当与评估板正确连接。

1. 首先为控制芯片提供 V_{DD}。电压应高于 13 V *（参见 V_{DD}导通阈值电压的规格表 1）。*

表1. 摘自FAN9611数据手册的规格

符号	参数	工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源						
$I_{STARTUP}$	启动电源电流	V_{DD} = V_{ON} – 0.2 V		80	110	µA
I_{DD}	工作电流	输出未转换		3.7	5.2	mA
I_{DD_DYM}	动态工作电流	f_{SW} = 50 kHz; C_{LOAD} = 2 nF		4	6	mA
V_{ON}	UVLO启动阈值	V_{DD}增大	9.5	10.0	10.5	V
V_{OFF}	UVLO停止阈值	V_{DD}减小	7.0	7.5	8.0	V
V_{HYS}	UVLO 滞环	V_{ON} – V_{OFF}		2.5		V

2. 连接交流电压(85~265 V_{AC})以启动 FAN9611 / 12 评估板。由于 FAN9611 / 12 具有掉电保护，因此任何低于工作范围的电压都会触发保护。
3. 改变负载电流(0~1 A)并检查工作情况。

5. 原理图

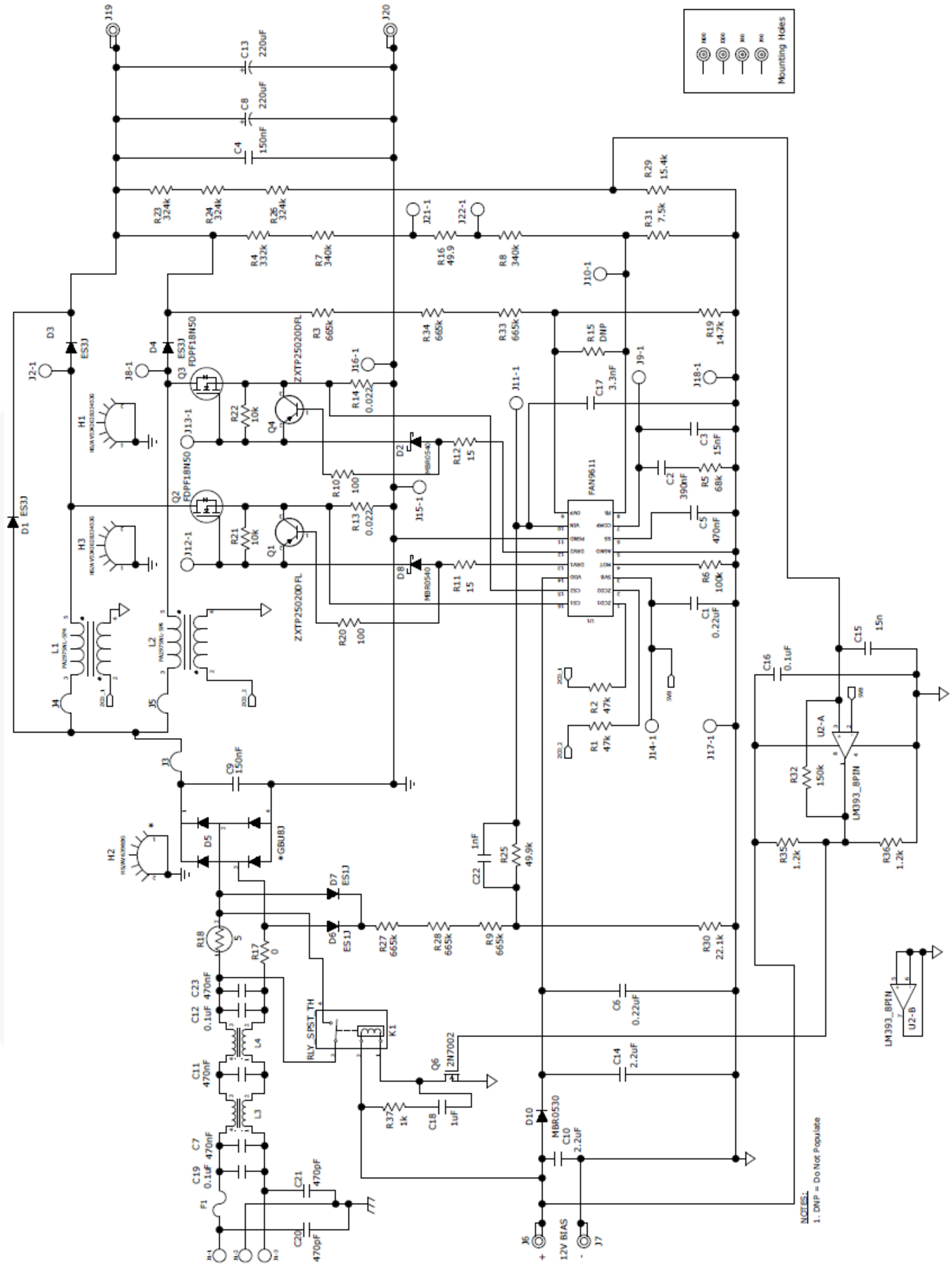


图4. FAN9611 400-W评估板原理图

6. 升压电感规格

750312943, Wurth Electronics Midcom (www.we-online.com/midcom)

或者

PA2975NL-5P4, Pulse Electronics (www.pulseelectronics.com)

- 磁芯： PQ3230 (Ae=161 mm^2)
- 线筒： PQ3230
- 电感值：H 200 μH

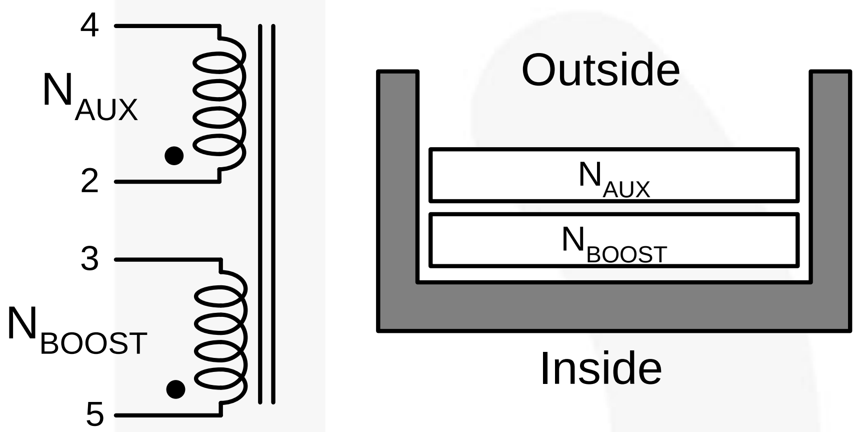
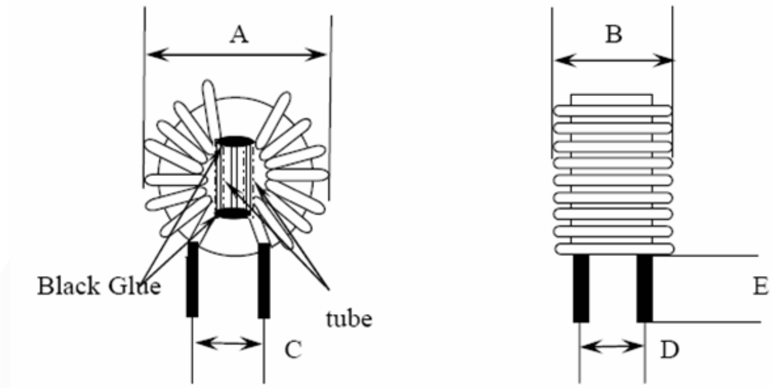


图5. 该FAN9611 / 12评估板使用的升压电感

表2. 电感匝数规格

	引脚	匝数
N1	5 → 3	30
绝缘带		
N2	2 → 4	3
绝缘带		

7. 线路滤波器电感规格



A : 30 mm（最大值）
B: 15 mm（最大值）
C: 11 mm
D: 13 mm
E: 15± mm

电气规格（1 kHz，1 V）

- 电感： 9.0 mH（每绕组最小值）
- 直流电阻： 0.05 Ω（每绕组最大值）
- 匝数： 0.9 mm×2/30.5（每绕组）

图6. 线路滤波器电感规格

表3. 材料清单

组件	材料	生产厂商	UL文件编号
磁芯	T22x14x08	磁芯T22x14x08，TOMITA	
绕线	THFN-216	Ta Ya Electric Wire Co,. Ltd.	E197768
	UEWN/U	PACIFIC Wire and cable Co., Ltd.	E201757
	UEWE	Tai-1 Electric Wire & Cable Co., Ltd.	E85640
	UWY	Jang Shing Wire Co., Ltd.	E174837
焊点	96.5%, Sn, 3%, Ag, 0.5% Cu	Xin Yuan Co., Ltd.	

8. PCB布局

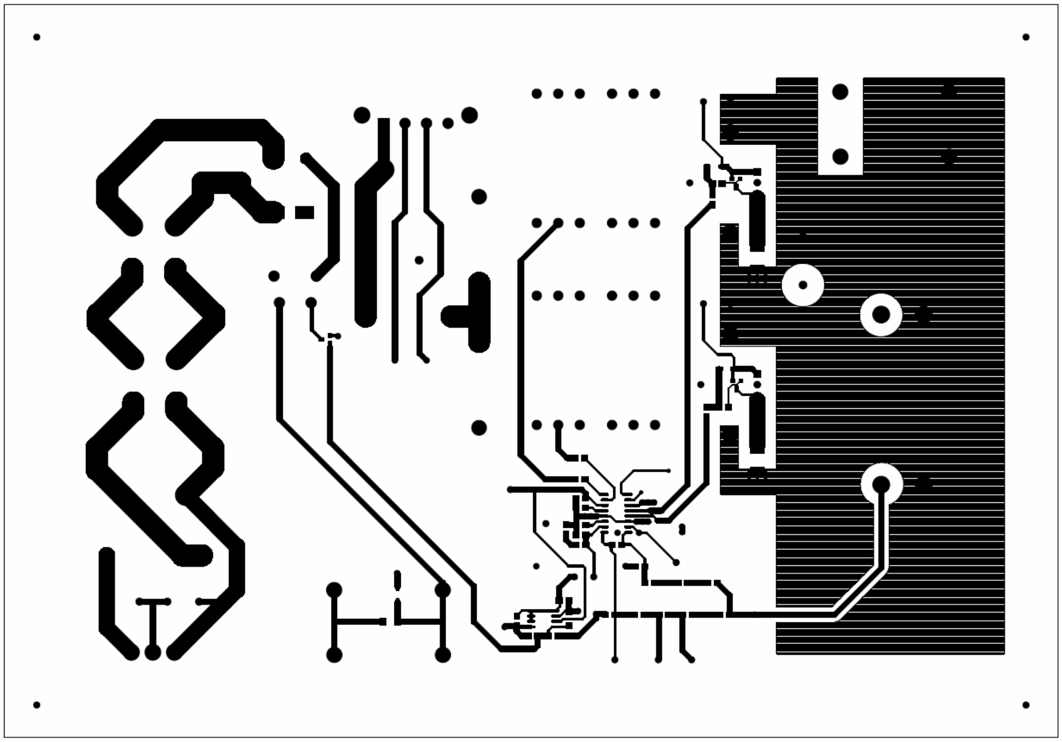


图7. 第一层（顶层）

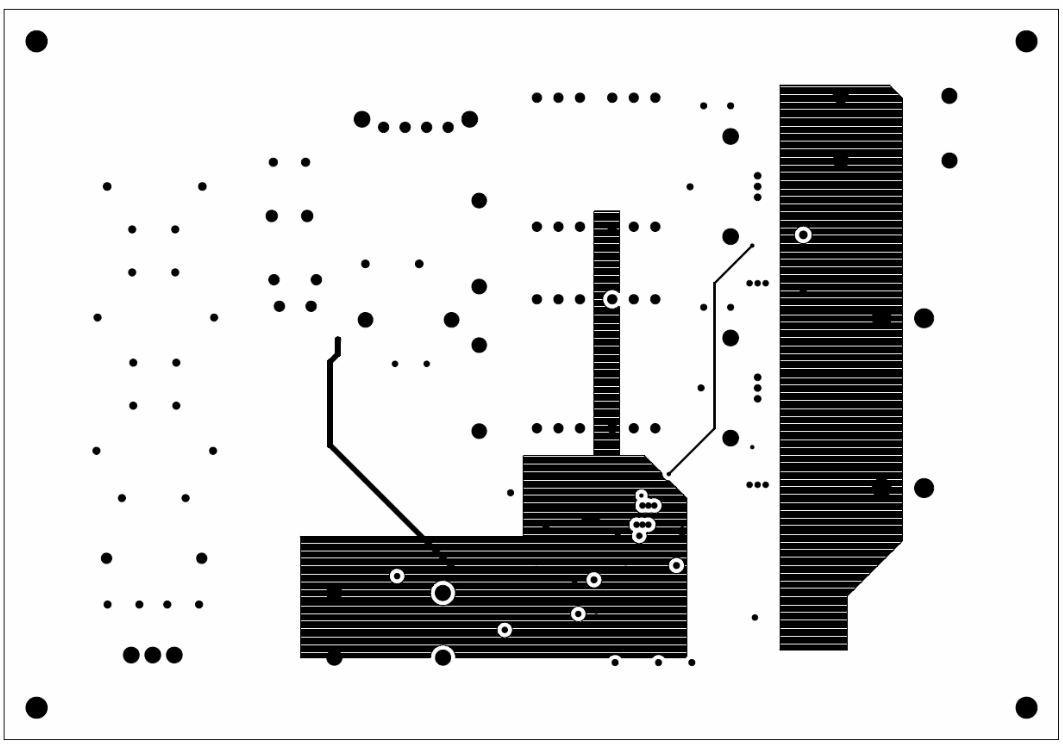


图8. 第二层（平面层）

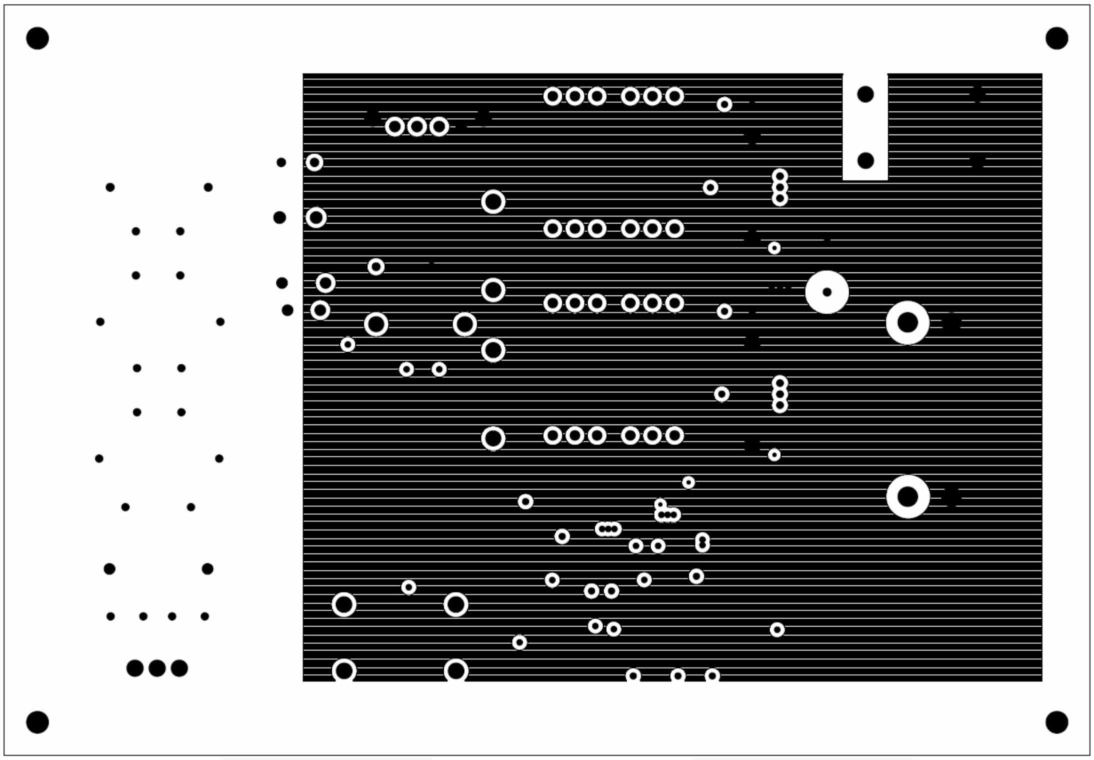


图9. 第三层（接地层）

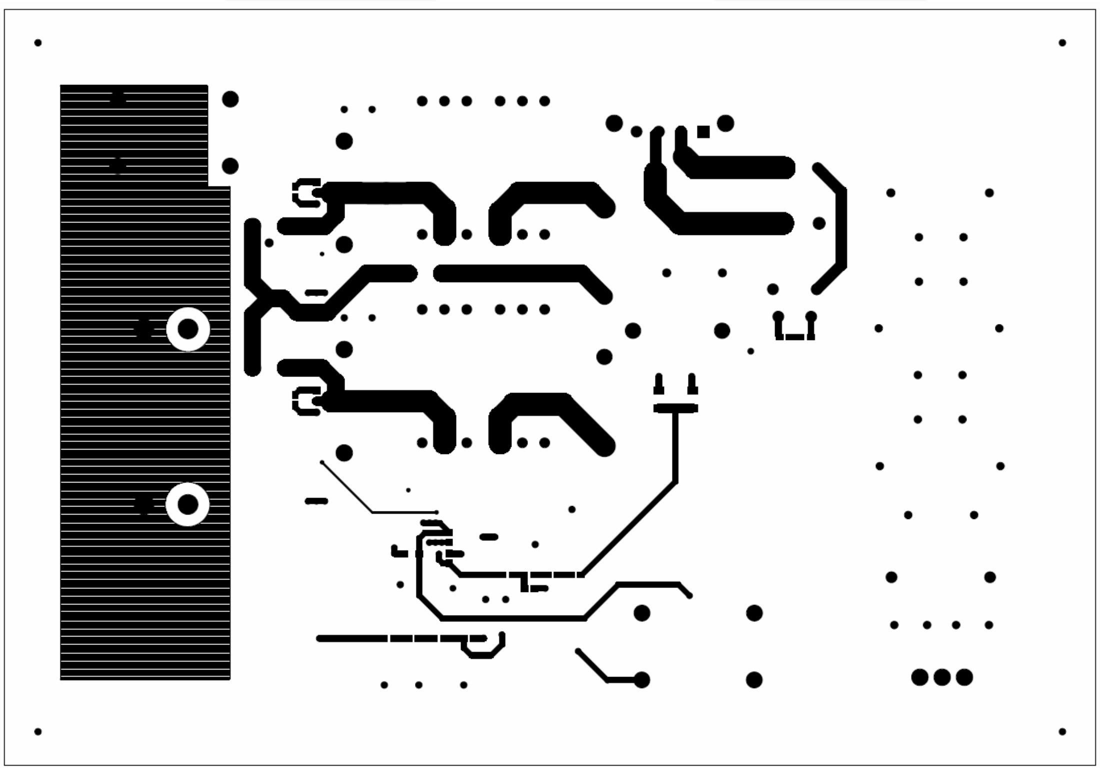


图10.　　　　第四层（底层）

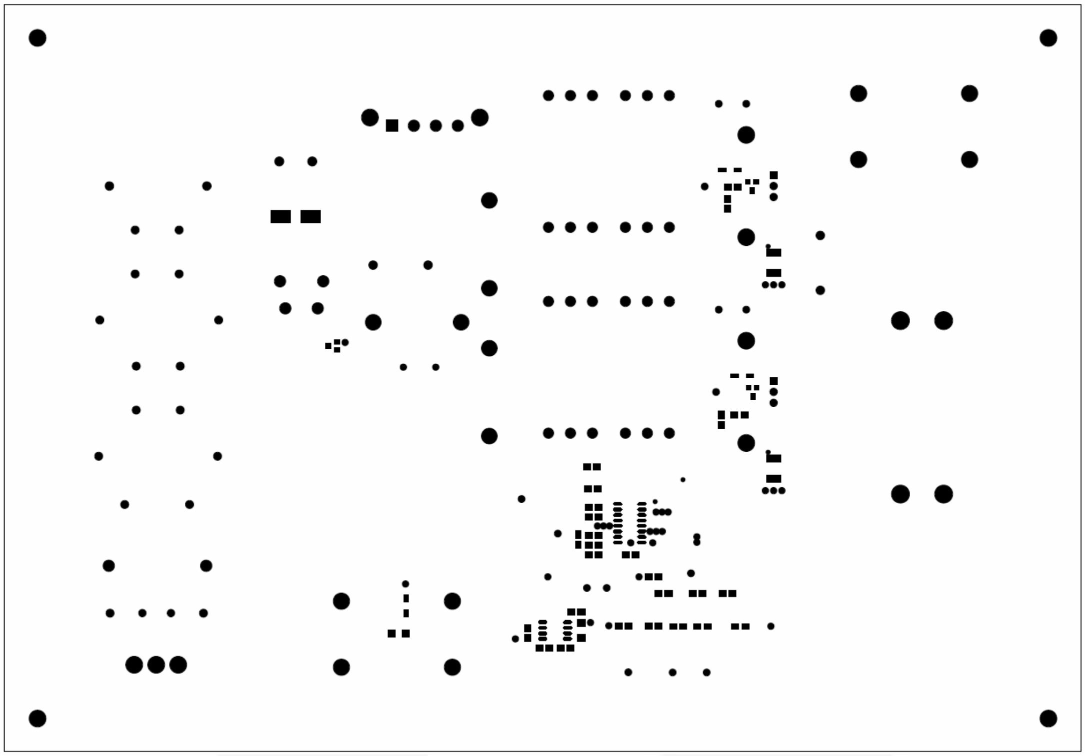


图11. 顶部焊接掩膜

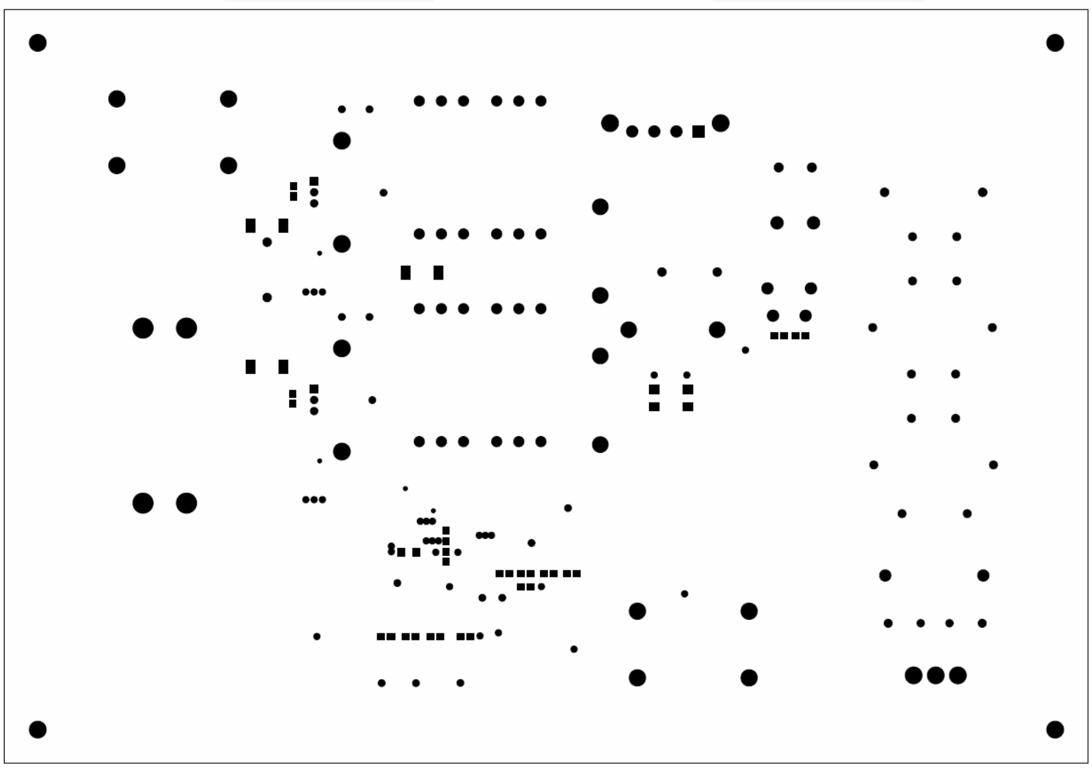


图12. 底部焊接掩膜

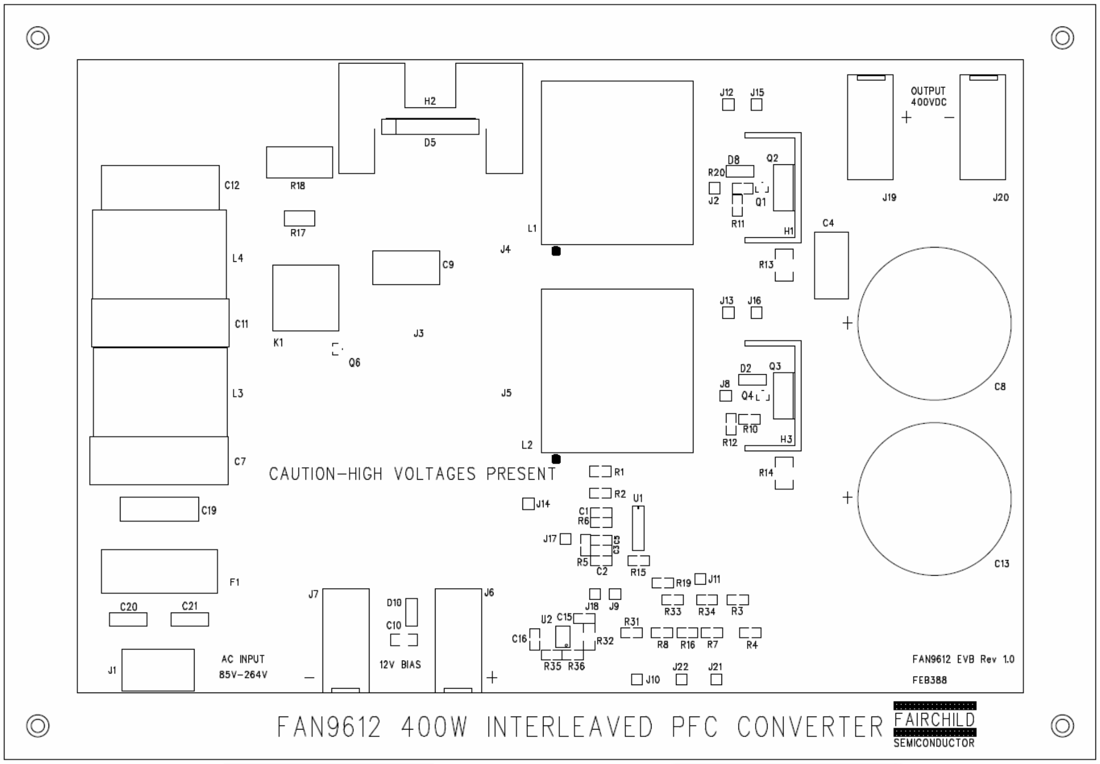


图13.　　　顶部丝印

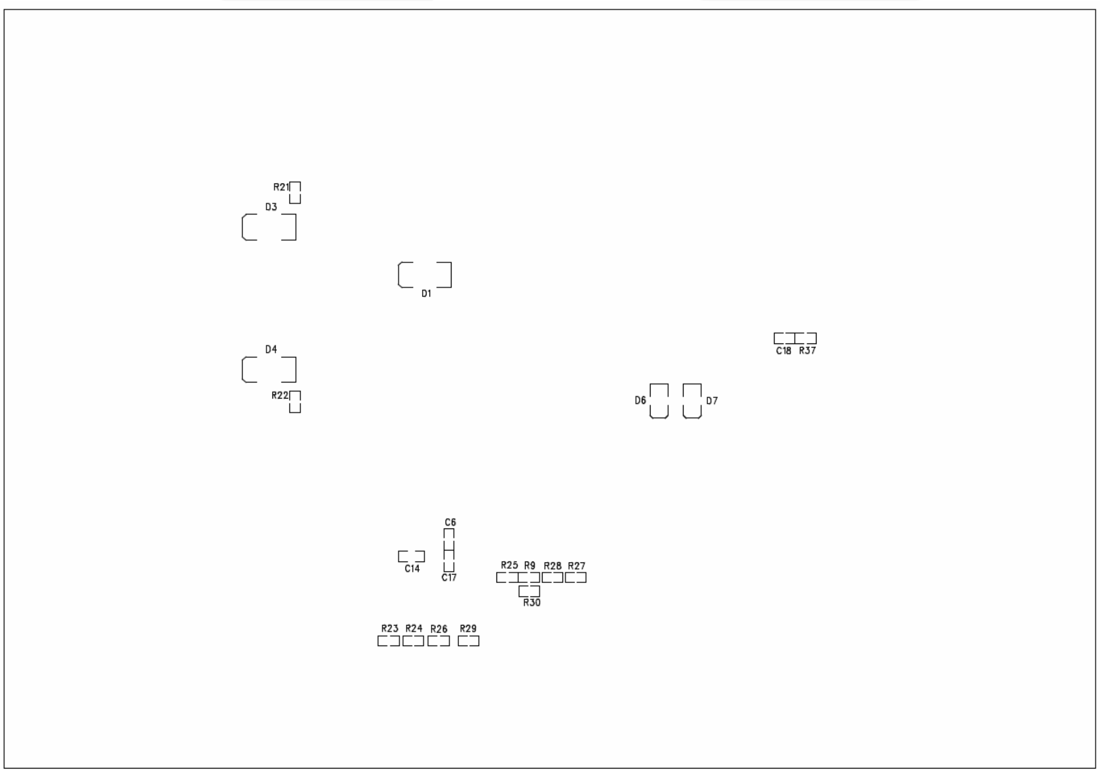


图14.　　　底部丝印

9. 物料成本(BOM)

数量	标号	器件编号	数值	说明	封装类型	生产厂商
2	C1 C6		0.22 µF	CAP, SMD, CERAMIC, 25 V, X7R	805	STD
1	C2		390 nF	CAP, SMD, CERAMIC, 25 V, X7R	805	STD
2	C4 C9	ECWF2W154JAQ	150 nF	电容，400 V，5%，聚丙烯	径向，通孔	Panasonic-ECG
1	C5		470 nF	CAP, SMD, CERAMIC,25 V, X7R	805	STD
2	C7 C11 C23	B32914A3474	470 nF, 330 V	电容，330 V_{AC}，10%，聚丙烯	盒装，通孔	EPCOS
2	C8 C13	EETUQ2W221E	220 µF	电容，铝，电解	径向，通孔	Panasonic
2	C10 C14		2.2 µF	CAP, SMD, CERAMIC, 25 V, X7R	1206	STD
1	C12	HQX104K275R2	0.1 µF, 275 V	电容，X系列，250 V_{AC}，5%，聚丙烯	盒装，通孔	Fuhjyyu Electronic Industrial Co.
1	C15		15 nF	CAP, SMD, CERAMIC,25 V, X7R	805	STD
1	C16		0.1 µF	CAP, SMD, CERAMIC, 25 V, X7R	805	STD
1	C18		1 µF	CAP, SMD, CERAMIC,50 V, X5R	805	STD
1	C19	PHE840MB 6100MB05R17	0.1 µF	电容，X型，275 V_{AC}，10%，聚丙烯	盒装，轴向	KEMET
2	C20-21	CS85-B2GA471KYNS	470 pF	电容，陶瓷，250 V_{AC}，10%，Y5P，	碟装，通孔	TDK Corporation
1	C22		1 nF	CAP, SMD, CERAMIC, 25 V, X7R	805	STD
3	D1 D3-4	S3J		二极管，600 V，3 A，标准恢复	SMC	飞兆半导体
2	D2 D8	MBR0540		二极管，肖特基，40 V，500 mA	SOD-123	飞兆半导体
1	D5	GBU8J		桥式整流器，600 V，8 A	通孔	飞兆半导体
2	D6-7	ES1J		二极管，快速恢复，1 A 600 V	SMA	飞兆半导体
1	D10	MBR0530		二极管，肖特基，30 V 500 mA SOD-123	SOD-123	飞兆半导体
1	F1	31.8201		保险丝支架，5x20 mm，250 V_{AC}，10 A	PCB安装，通孔	Schurter Inc
2	H1 H3	534202B33453G		散热片，13.4° C/W，带Tab-Koolclip的TO-220，用于Q2-3	1"x0.475"x1.18"	Aavid Thermalloy
1	H2	639BG		用于D5的TO-220散热片，桥接整流器	1.65"x1.5"	Aavid Thermalloy
1	J1	ED100/3DS		端子板，5 mm垂直，3个位置	通孔	On Shore Technology, Inc.
14	J2 J8-18 J21-22	3103-1-00-15-00-00-08-0		探针引脚，金，0.3" x 40密尔直径，31密尔安装长度	通孔	密尔（最大值）
3	J3-5			跳线，#16，绝缘，用于电流探针测量	通孔	自定义
2	J6 J19	571-0500		香蕉插座，175，水平，Insulated_RED	通孔	Deltron
2	J7 J20	571-0100		香蕉插座，175，水平，Insulated_BLK	通孔	Deltron
2	L1-2	750312943 PA2975NL-5P4	200 µH	耦合电感，PQ3230，Pri-30T，Sec-3T	通孔	Wurth Midcom Pulse Electronics
2	L3-4	TRN-0197		共模噪声	通孔	SEN HUEI INDUSTRIAL CO.,LTD
2	Q1 Q4	ZXTP25020DFL		晶体管，PNP，20 V，1.5 A	SOT-23	Zetex
2	Q2-3	FDPF18N50		MOSFET，NCH，500 V，18 A，0.265 Ω	TO-220	飞兆半导体

BOM（续）

数量	标号	器件编号	数值	说明	封装类型	生产厂商
2	R1-2		47 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD

数量	标号	器件编号	数值	说明	封装类型	生产厂商
6	R3 R9 R27-28 R33-34		665 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R4		332 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R5		68 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R6		100 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R7-8		340 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R10 R20		100 Ω	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R11-12		15 Ω	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R15		DNP	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R16		49.9 Ω	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R17		0	RES, SMD, 1/2 W	2010	STD
1	R18	B57237S0509M000	5 Ω	热敏电阻, 5 Ω	通孔	EPCOS
1	R19		14.7 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
4	PCB每角插入1个	LCBS-12-01		锁定电路板支架, 3/4", PCB每角1个	离板高度	Richco Plastic Company
1	1个（D5、H2）	3103		尼龙垫圈, #4x0.187", 黑色	垫圈	Keystone Electronics
1	1个（D5、H2）	MLWZ 003		分裂式锁紧垫圈, Metric M 3, 锌	垫圈	B&F Fastener
1	1个（D5、H2）	HNZ440		六角螺母, #4-40, 锌	螺母	B&F Fastener
1	1个（D5、H2）	PMS 440 0050 PH		Screw Machine Phillips, 4-40x1/2", 锌	螺丝	B&F Fastener
1	PWB	FAN9611/12 FEB388 Rev. 0.0.1	FEB388	PWB, 9.8" x 6.8"	PWB	飞兆半导体
2	R1-2		47 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
6	R3 R9 R27-28 R33-34		665 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R4		332 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R5		68 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R6		100 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R7-8		340 kΩ	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R10 R20		100 Ω	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R11-12		15 Ω	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
2	R13-14		0.022 Ω	RES, SMD, 1/2 W	1812	STD
1	R15		DNP	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	R16		49.9 Ω	RES, SMD, 1/8 W	805	STD
1	U1	FAN9611		交错式双BCM PFC控制器 1234	SOIC-16	飞兆半导体

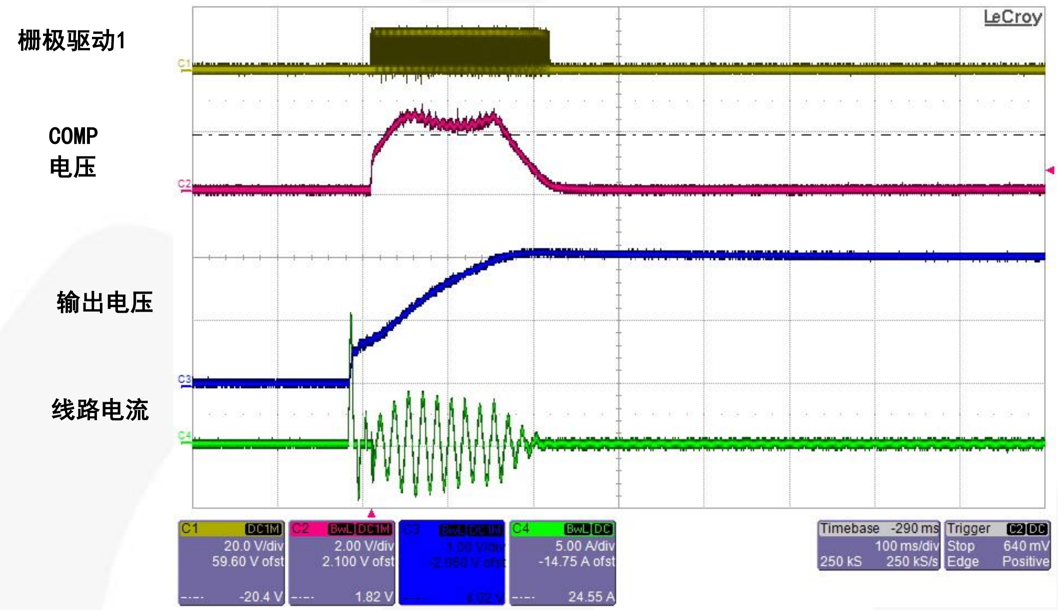
注意：

2. DNP = 不安装。STD = 标准组件。

10. 测试结果

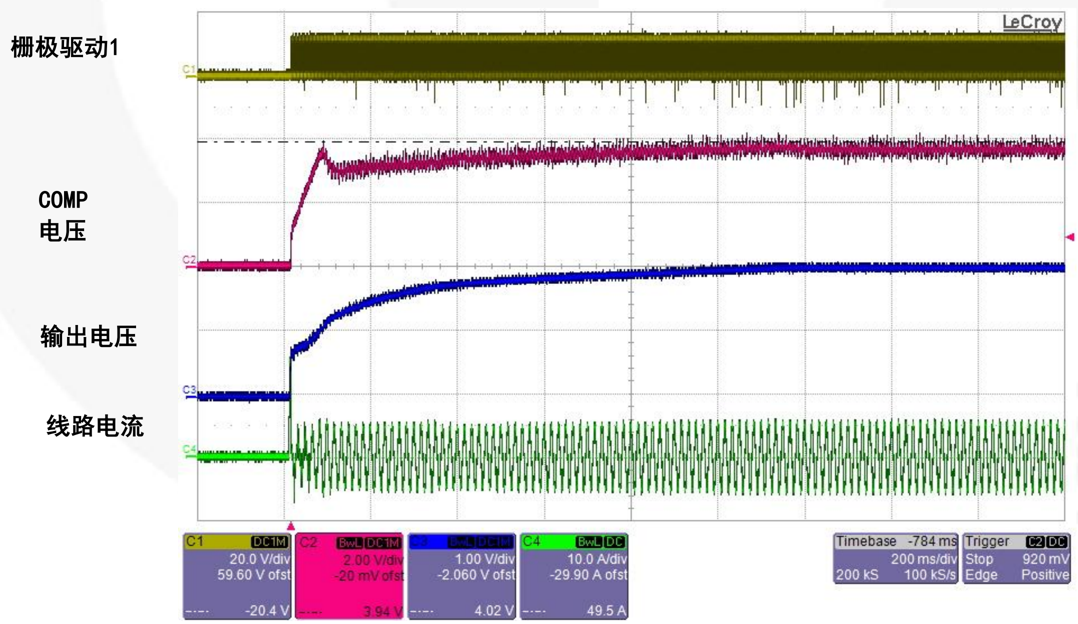
10.1. 启动

图15和图16分别显示线路电压为115 V_{AC}时，空载和满载条件下的启动运行。由于是闭环软启动，空载启动和满载启动时几乎观察不到过冲。



沟道 1： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)，沟道 2： COMP 电压(2 V / div)，
沟道 3： 输出电压(200 V / div)，沟道 4： 线路电流(5 A / div)，时间(100 ms / div)

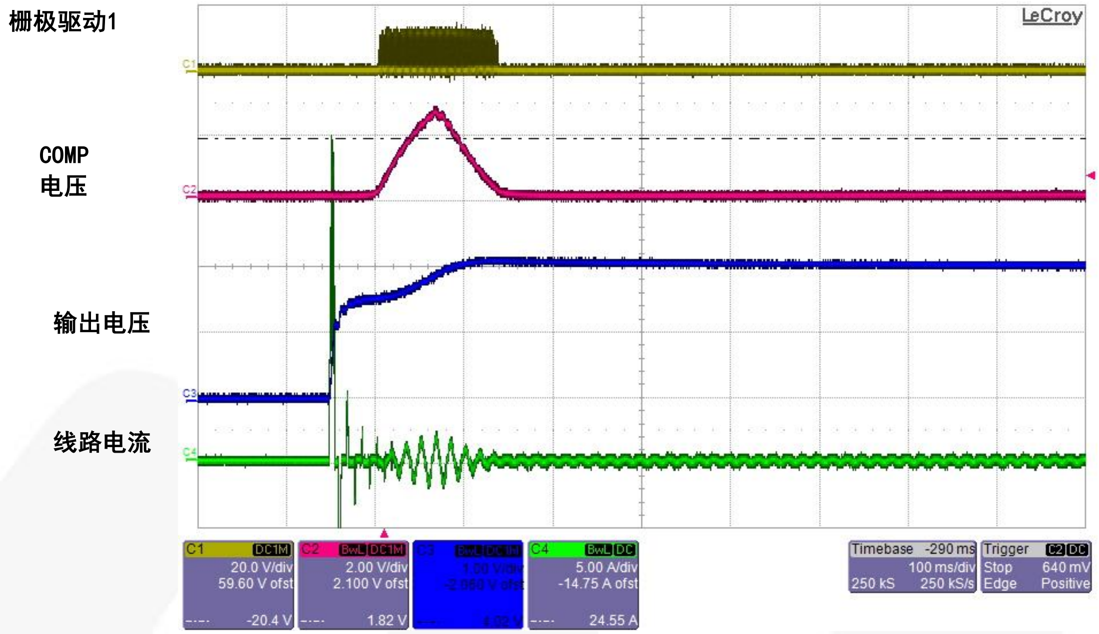
图15. 115 V_{AC}时的空载启动



沟道 1： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)，沟道 2： COMP 电压(2 V / div)，
沟道 3： 输出电压(200 V / div)，沟道 4： 线路电流(10 A / div)，时间(200 ms / div)

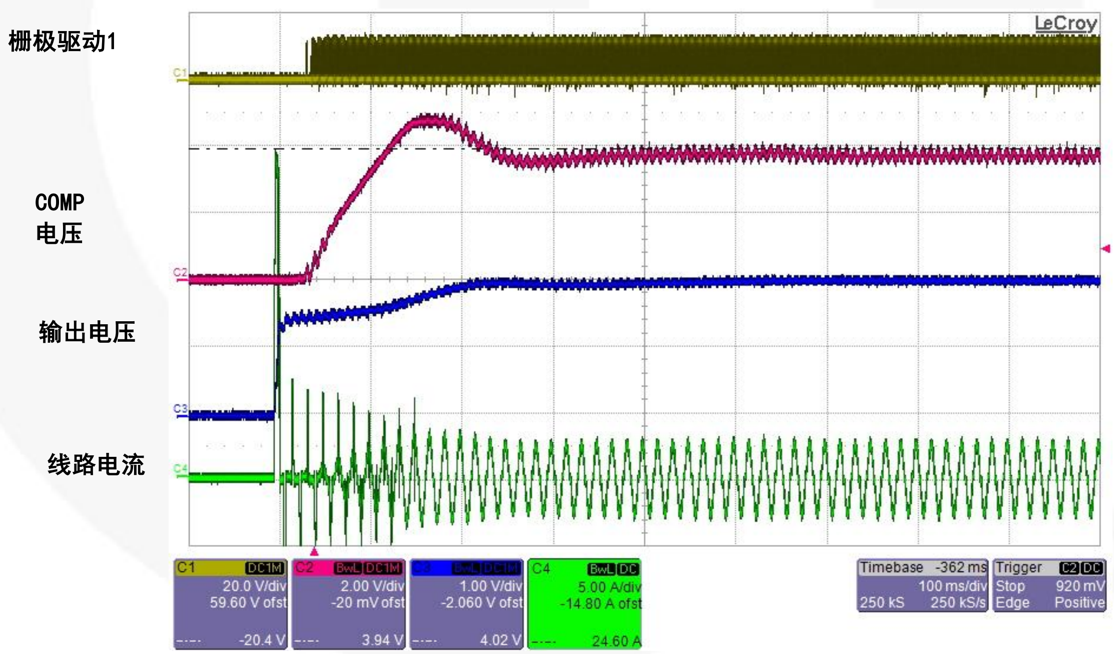
图16. 115 V_{AC}时的满载启动

图17和图18分别显示线路电压为230 V_{AC}时，空载和满载条件下的启动运行。由于是闭环软启动，空载启动和满载启动时几乎观察不到过冲。



沟道1： 栅极驱动1电压(20 V / div)，沟道2： COMP电压(2 V / div)，
沟道3： 输出电压(200 V / div)，沟道4： 线路电流(5 A / div)，时间(100 ms / div)

图17. 230 V_{AC}时的空载启动

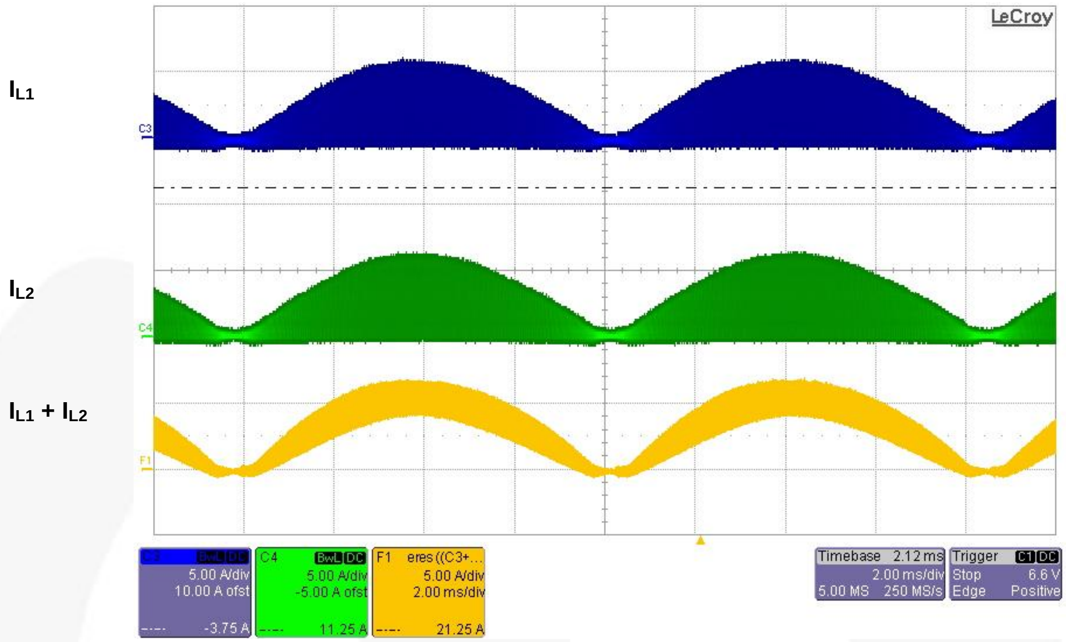


沟道1： 栅极驱动1电压(20 V / div)，沟道2： COMP电压(2 V / div)，
沟道3： 输出电压(200 V / div)，沟道4： 线路电流(5 A / div)，时间(100 ms / div)

图18. 230 V_{AC}时的满载启动

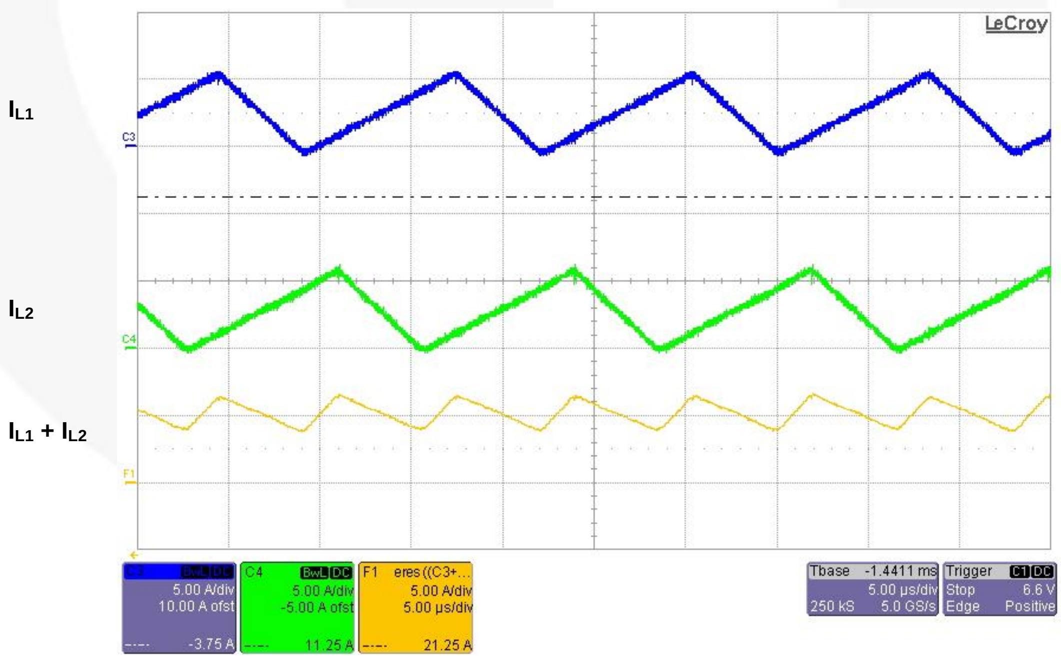
10.2. 正常运行

图19和图20分别显示线路电压为115 V_{AC}时以及满载条件下两个电感的电流及两者之和。这两个电感的电流相加后，纹波电流相对较小，这是因为交错工作时纹波相消。



CH3：电感L1电流(5 A / div)，沟道4： 电感L2电流(5 A / div)，
F1：两个电感的电流之和(5 A / div)，时间(2 ms / div)

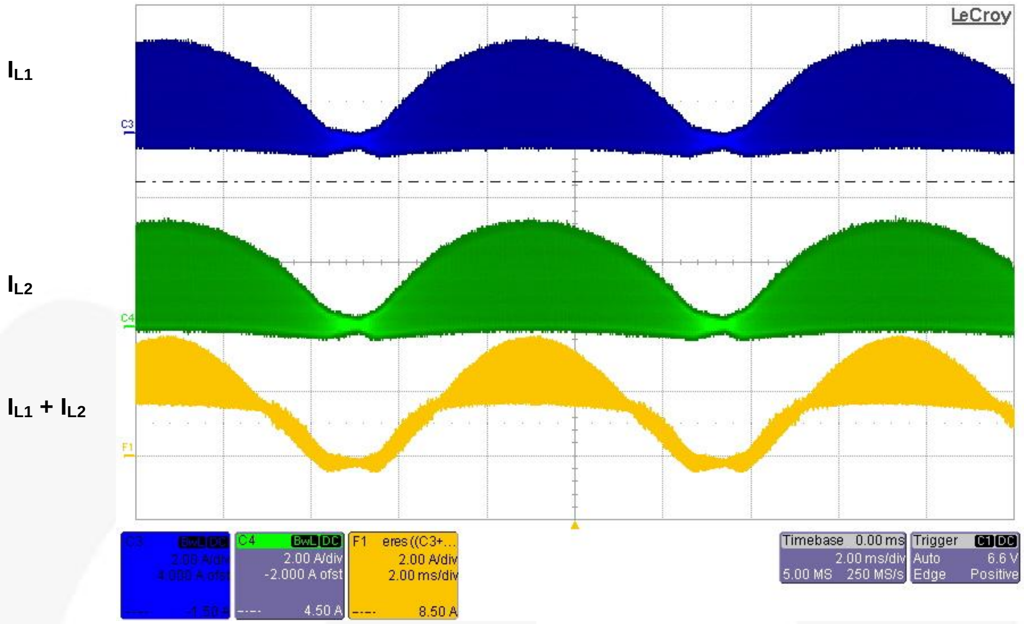
图19. 满载和115 V_{AC}时的电感电流波形



CH3：电感L1电流(5 A / div)，沟道4： 电感L2电流(5 A / div)，
F1：两个电感的电流之和(5 A / div)，时间(5 µs / div)

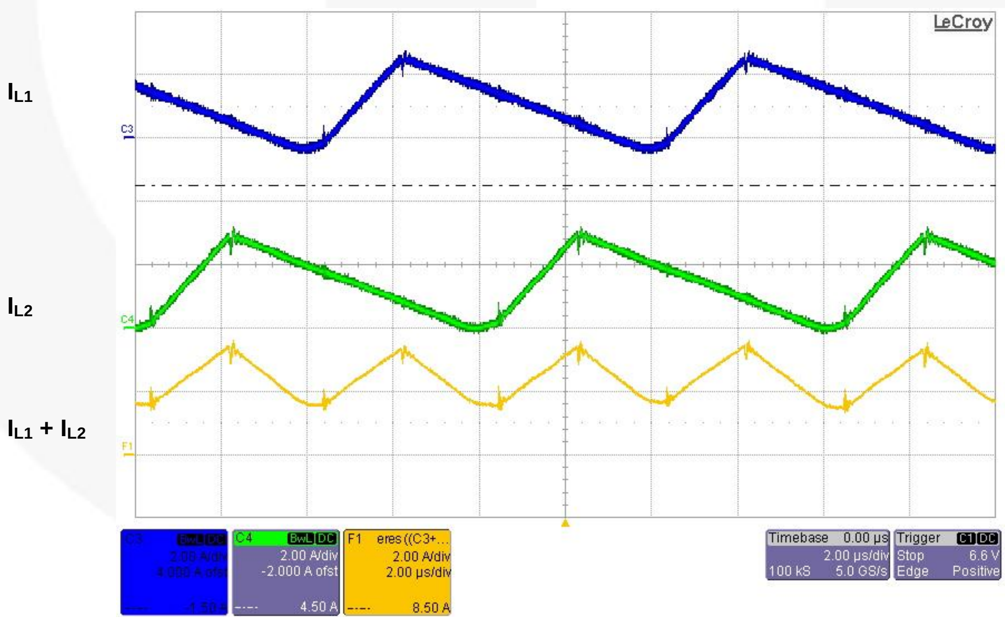
图20. 峰值线路电压时，图19中电感电流波形的缩放

图21和图22分别显示线路电压为230 V_{AC}时以及满载条件下两个电感的电流及两者之和。这两个电感的电流相加后，纹波电流相对较小，这是因为交错工作时纹波相消。



CH3：电感L1电流(2 A / div)，沟道4： 电感L2电流(2 A / div)，
F1：两个电感的电流之和(2 A / div)，时间(2 ms / div)

图21. 满载和230 V_{AC}时的电感电流波形

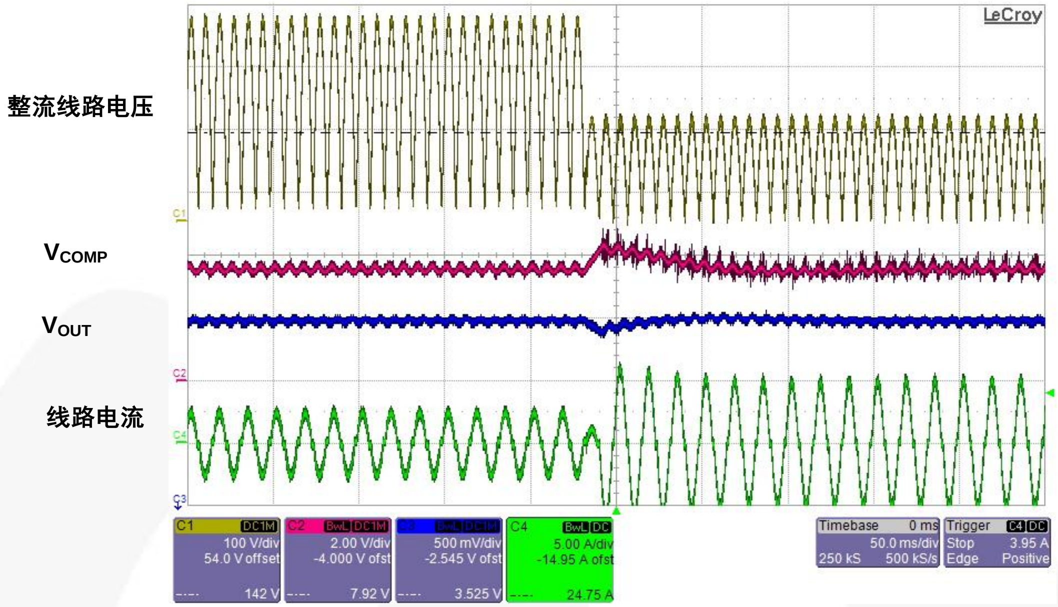


CH3：电感L1电流(2 A / div)，沟道4： 电感L2电流(2 A / div)，
F1：两个电感的电流之和(2 A / div)，时间(2 µs / div)

图22. 峰值线路电压时，图21中电感电流波形的缩放

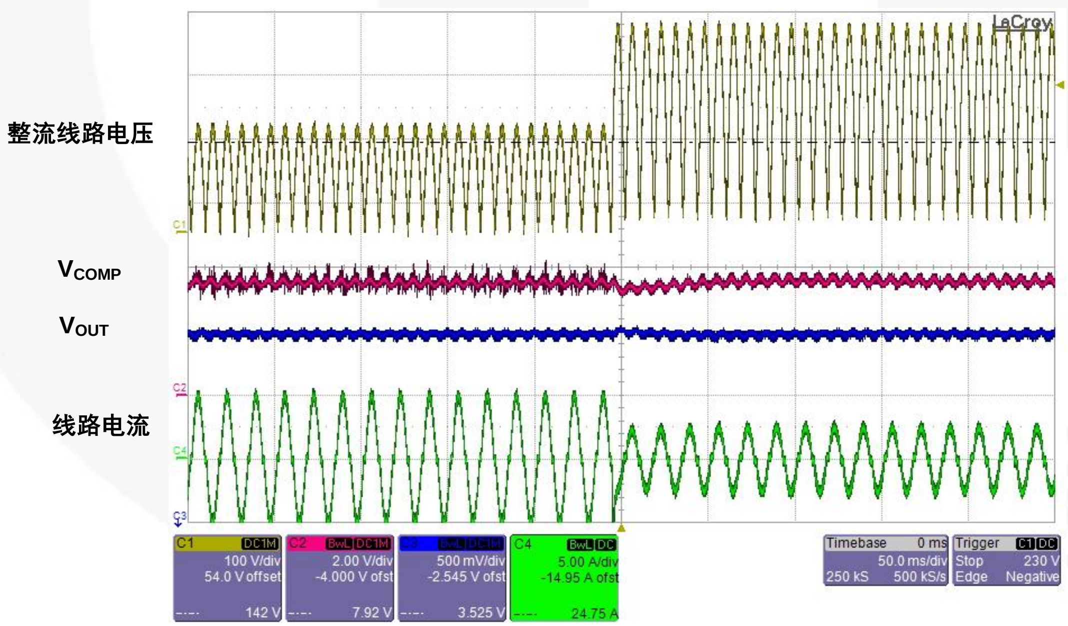
10.3. 线路瞬变

图23和图24显示线路瞬变操作以及线路前馈功能对输出电压的最小效应。线路电压从230 V_{AC}变为115 V_{AC}时，可观察到20 V（标称输出电压的5%）左右的电压欠冲。线路电压从115 V_{AC}变为230 V_{AC}时，几乎观察不到有电压欠冲。



CH1：整流线路电压(100 V / div)，沟道2： COMP电压(2 V / div)，
CH3：输出电压(100 V / div)，沟道4： 线路电流(5 A / div)，时间(50 ms / div)

图23. 满载条件下的线路瞬变响应(230 V_{AC} →115 V_{AC})

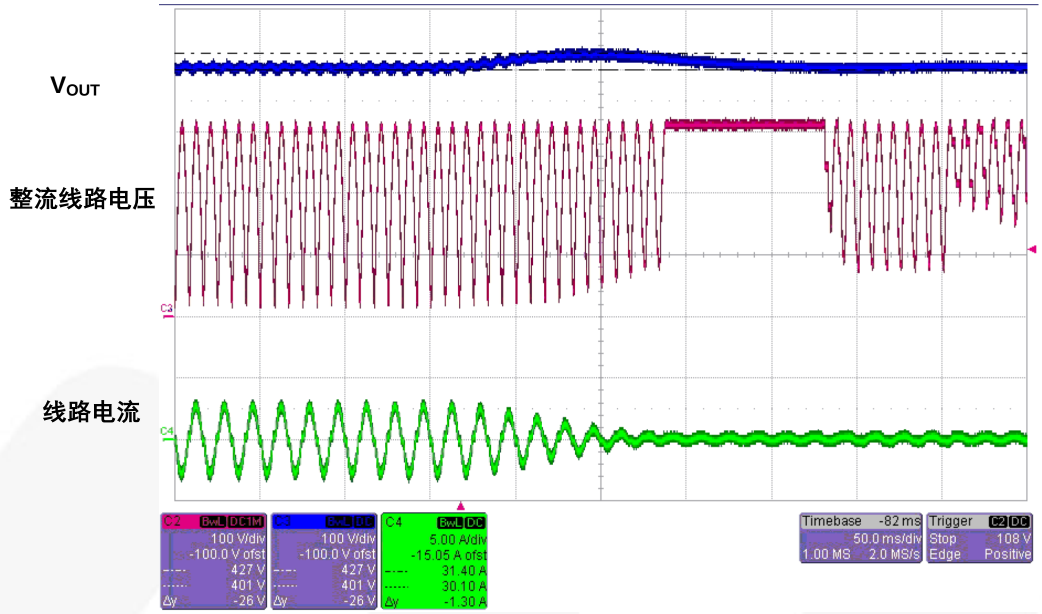


CH1：整流线路电压(100 V / div)，沟道2： COMP电压(2 V / div)，
CH3：输出电压(100 V / div)，沟道4： 线路电流(5 A / div)，时间(50 ms / div)

图24. 满载条件下的线路瞬变响应(115 V_{AC} →230 V_{AC})

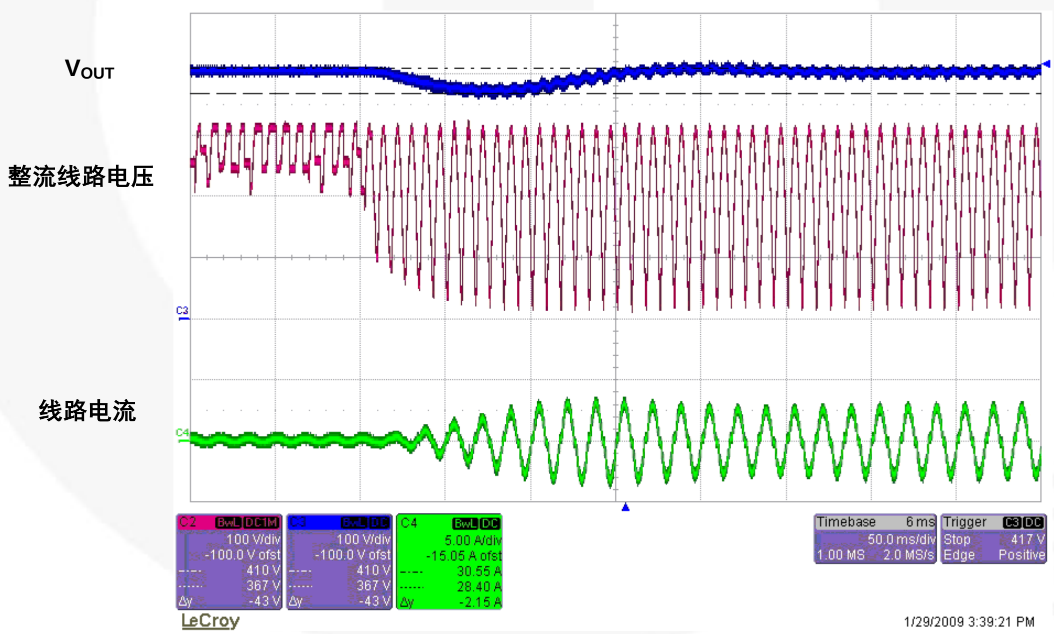
10.4. 负载瞬变

图25和图26显示的是负载瞬变操作。输出负载从100%变为0%时，可观察到26 V（标称输出电压的6.5%）的过冲。输出负载从0%变为100%时，可观察到43 V（标称输出电压的11%）的欠冲。



CH2：整流线路电压(100 V / div)，沟道3： 输出电压(100 V / div)，
沟道4： 线路电流(5 A / div)，时间(50 ms / div)

图25.　　230 V$_{AC}$（满载→空载）时的负载瞬变响应

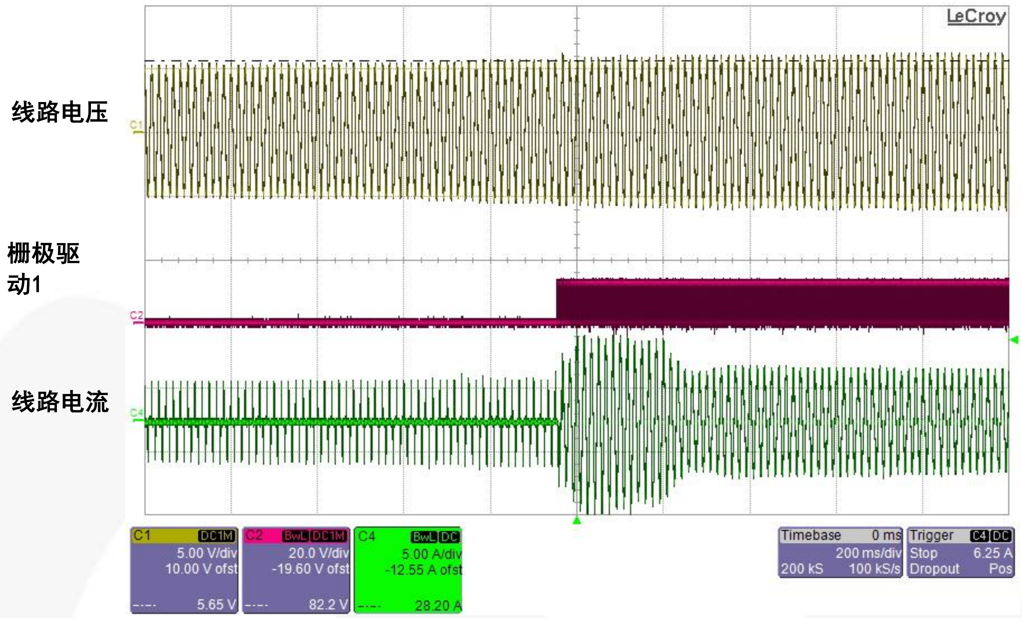


CH2：整流线路电压(100 V / div)，沟道3： 输出电压(100 V / div)，
沟道4： 线路电流(5 A / div)，时间(50 ms / div)

图26.　　230 V$_{AC}$（空载→满载）时的负载瞬变响应

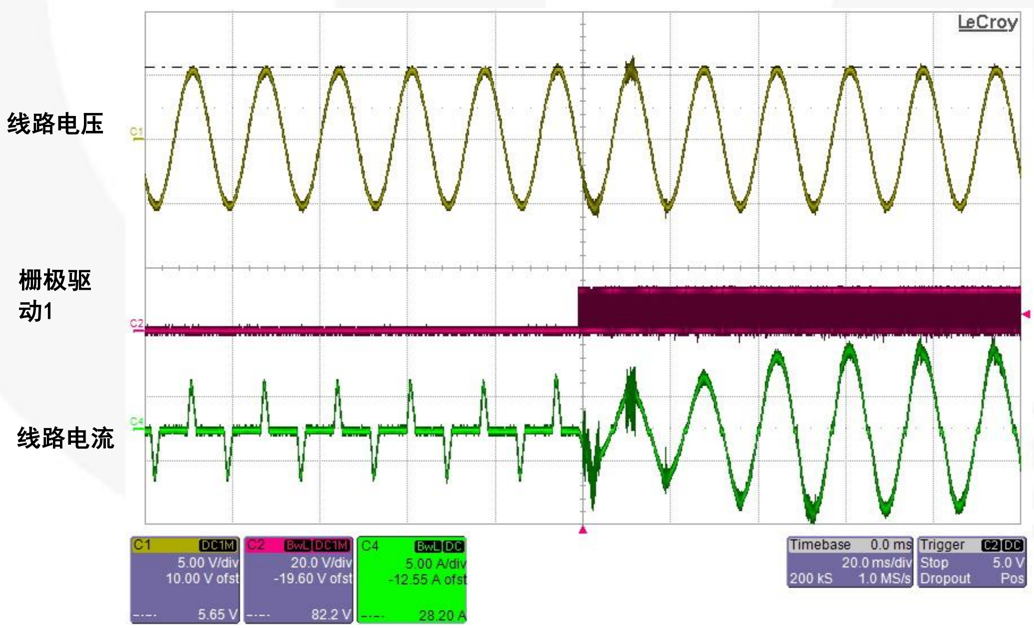
10.5. 掉电保护

图 27 和 图 28 显 示 的 是 线 路 电 压 缓 慢 增 大 时 的 启 动 运 行 线路电压达到大约78 V_{AC}时，电源开启。



CH1：线路电压(100 V / div)，沟道 2： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)，
CH4：线路电流(5 A / div)，时间(200 ms / div)

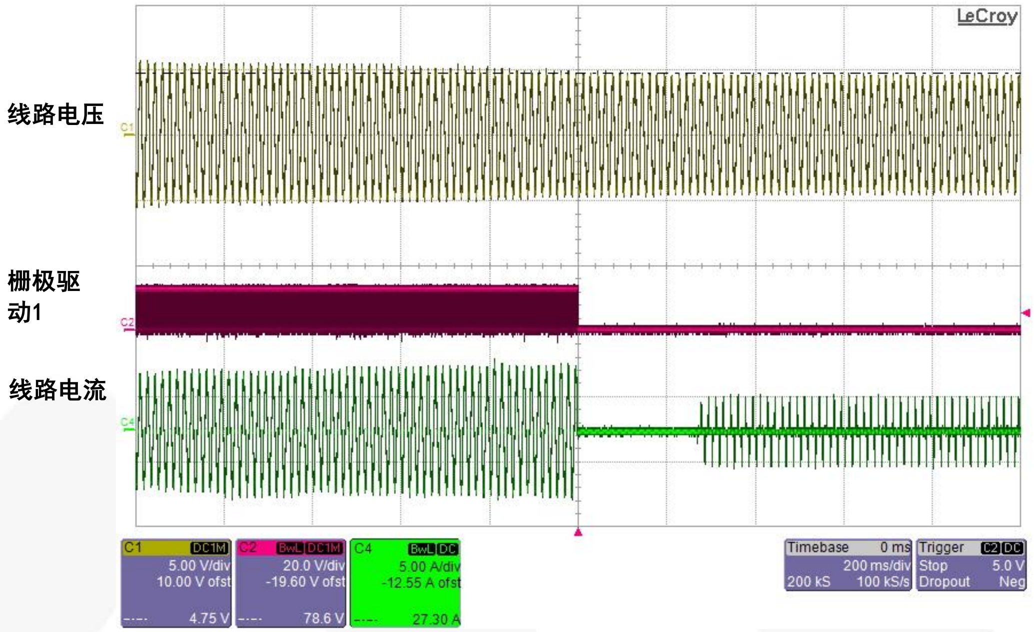
图27. 缓慢增大线路电压的情况下启动



CH1：线路电压(100 V / div)，沟道 2： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)，
CH4：线路电流(5 A / div)，时间(20 ms / div)

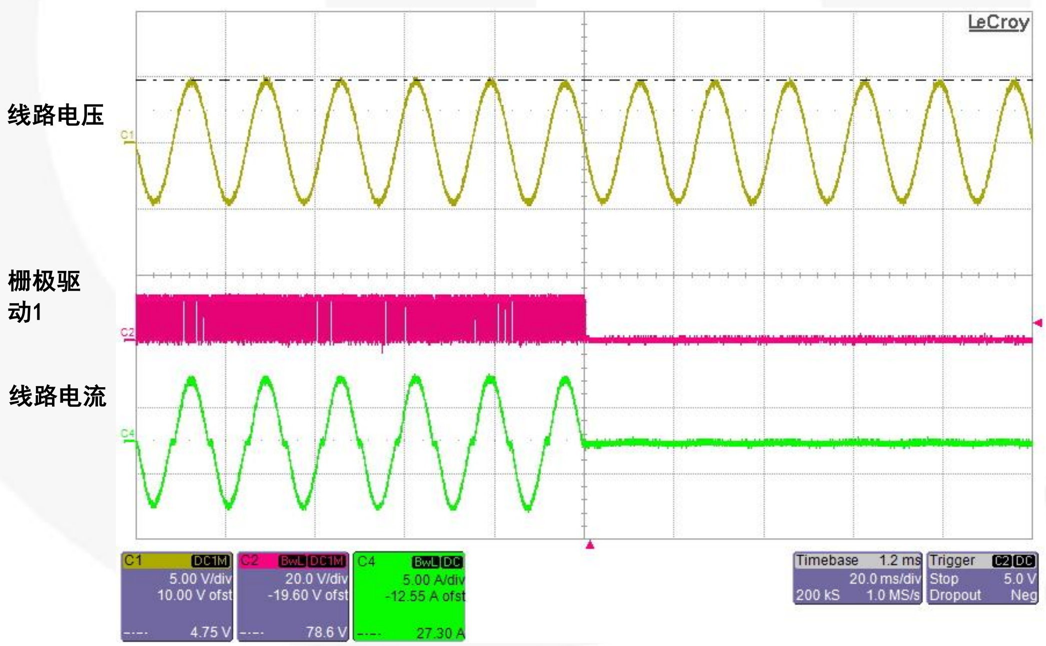
图28. 缓慢减小线路电压的情况下关断

图29和图30显示的是线路电压缓慢减小时的关断运行 线路电压低于68 V_{AC}时，电源关断。



CH1：线路电压(100 V / div)，沟道2： 栅极驱动1电压(20 V / div)，
CH4：线路电流(5 A / div)，时间(200 ms / div)

图29. 缓慢增大线路电压的情况下启动

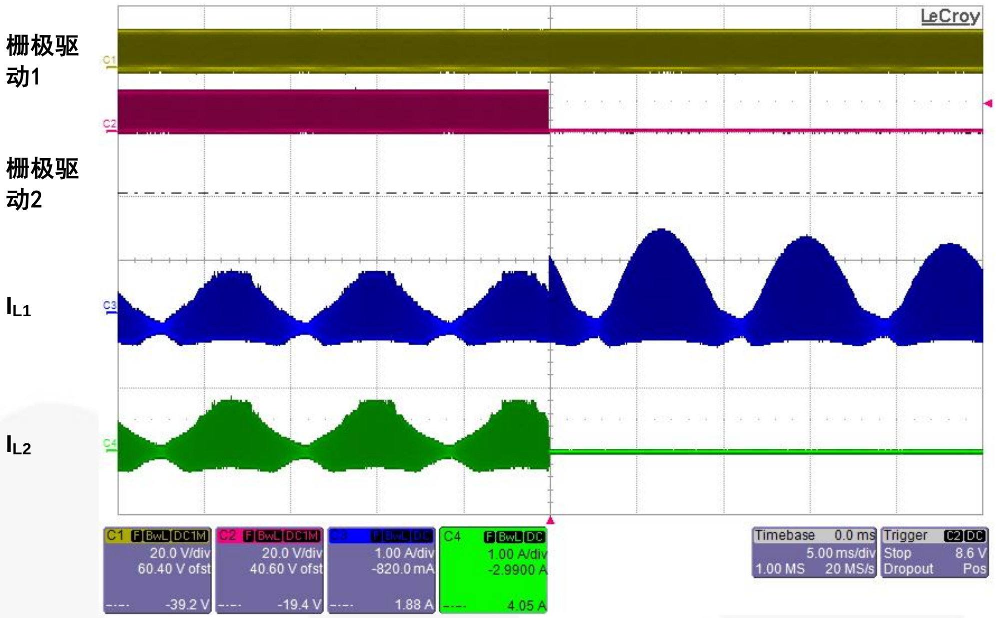


CH1：线路电压(100 V / div)，沟道2： 栅极驱动1电压(20 V / div)，
CH4：线路电流(5 A / div)，时间(20 ms / div)

图30. 缓慢减小线路电压的情况下关断

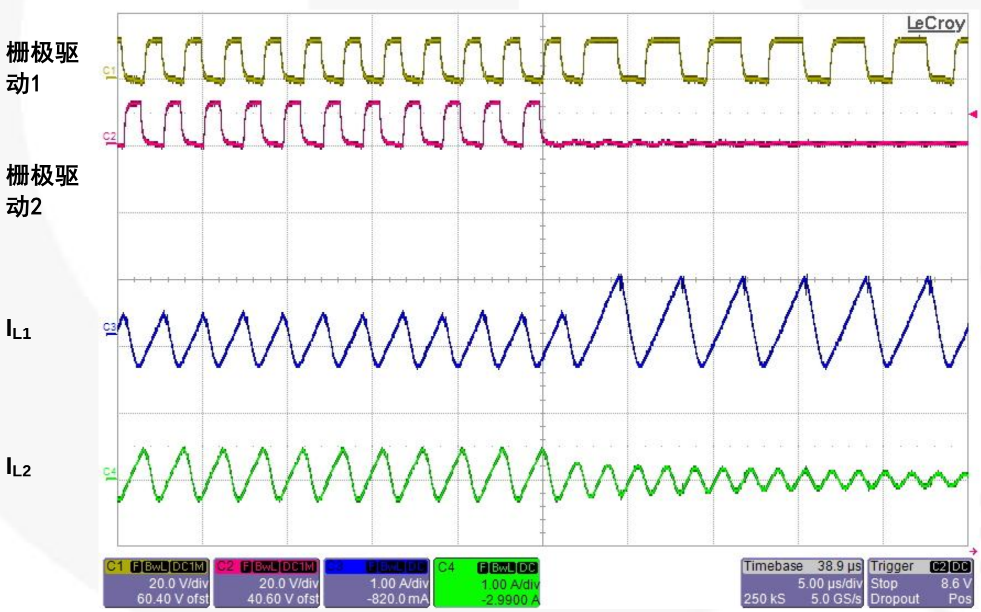
10.6. 相位管理

图31和图32显示的是切相波形。如图所示，沟道1栅极驱动信号的占空比在通道2栅极驱动信号禁用时倍增，实现最少的线路电流干扰并确保平滑瞬变。



CH1： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)，沟道 2： 栅极驱动 2 电压(20 V / div)，
沟道 3： 电感 L1 电流(1 A / div)，沟道 4： 电感 L2 电流(1 A / div)，时间(5 ms / div)

图31. 切相操作

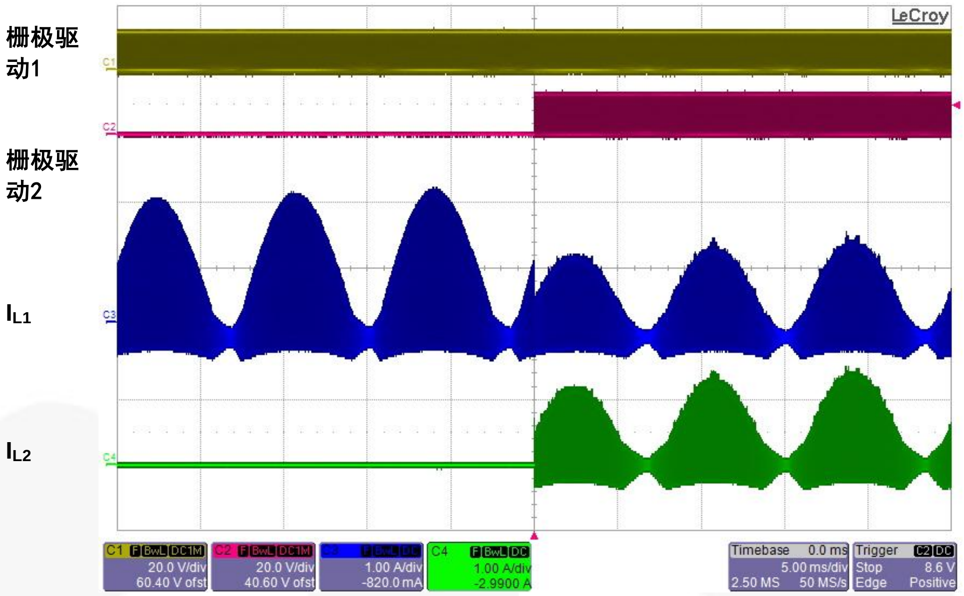


CH1： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)，沟道 2： 栅极驱动 2 电压(20 V / div)，
沟道 3： 电感 L1 电流(1 A / div)，沟道 4： 电感 L2 电流(1 A / div)，时间(5 µs / div)

图32. 切相操作（时间线放大）

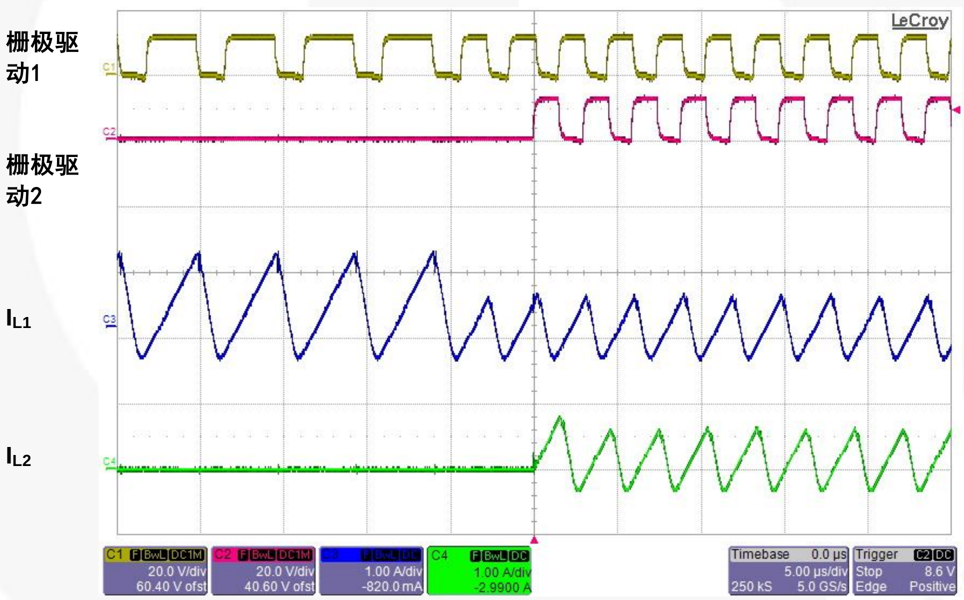
图33和图34显示的是相位叠加波形。如图所示，沟道1栅极驱动信号的占空比在通道2栅极驱动信号使能前减半，实现最少的线路电流干扰并确保平滑瞬变。在图34

中，相位叠加操作时，略过栅极驱动2的第一个脉冲，确保瞬变时的180°异相交错工作。



CH1：栅极驱动 1 电压(20 V / div)，沟道 2： 栅极驱动 2 电压(20 V / div)，
沟道 3： 电感 L1 电流(1 A / div)，沟道 4： 电感 L2 电流(1 A / div)，时间(5 ms / div)

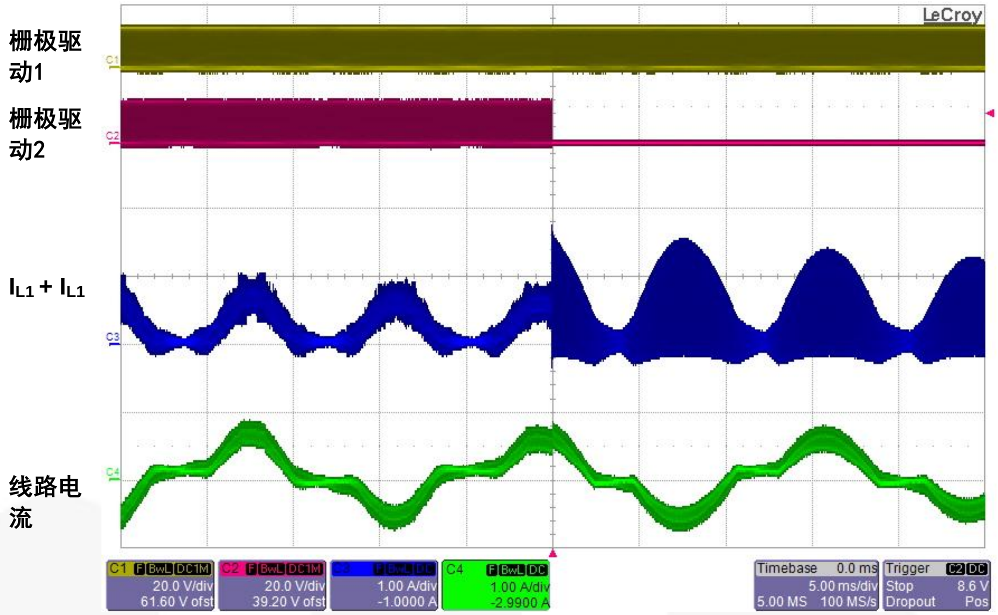
图**33.** **相位叠加操作**



CH1：栅极驱动 1 电压(20 V / div)，沟道 2： 栅极驱动 2 电压(20 V / div)，
沟道 3： 电感 L1 电流(1 A / div)，沟道 4： 电感 L2 电流(1 A / div)，时间(5 µs / div)

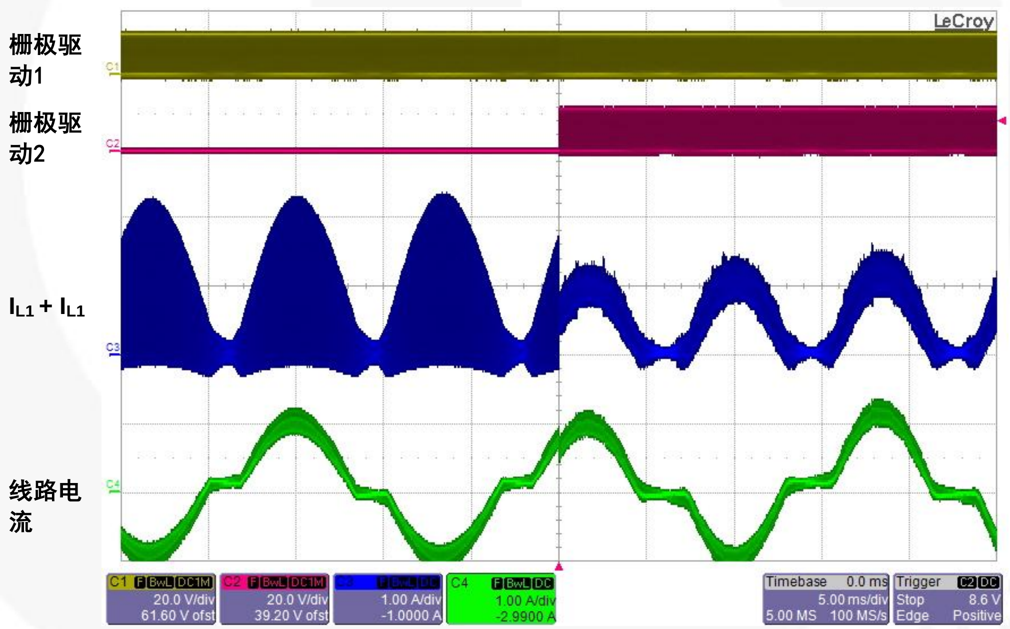
图**34.** **相位叠加操作（时间线放大）**

图35和图36显示的是两个电感的电流之和以及切相和相位叠加时的线路电流。相位管理期间存在较小的线路电流干扰，因为电感电流的负电流部分使电感电流的实际平均值低于峰值的一半，如图32和图34所示。然而，相位管理在相对较轻的负载条件下发生，因此该效应可以忽略不计。



CH1： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)， 沟道 2： 栅极驱动 2 电压(20 V / div)，
沟道 3： 两个电感的电流之和(1 A / div)， 沟道 4： 线路电流(1 A / div)， 时间
(5 ms / div)

图35. 切相和线路电流



CH1： 栅极驱动 1 电压(20 V / div)， 沟道 2： 栅极驱动 2 电压(20 V / div)，
沟道 3： 两个电感的电流之和(1 A / div)， 沟道 4： 线路电流(1 A / div)， 时间(5 ms / div)

图36. 相位叠加操作和线路电流

10.7. 效率

图37到图40显示的是输入电压分别为115 VAC和230 VAC时测得的400 W评估板（有/无相位管理功能）的效率。相位管理功能在轻负载条件下最多可将效率提升7%，具体取决于线路电压和负载条件。测试评估板上的相位管理阈值约为标称输出功率的15%（图37和图38）。增大MOT电阻可以上调它们的数值，获得更加理想的效率曲线（图39和图40）。

由于切相通过有效降低轻负载时的开关频率减少开关损耗，因此在开关损耗较高的230 V_{AC}线路上，效率能提高更多。115 V_{AC}线路上的效率相对提高较少，这是因为MOSFET以零电压开启，开关损耗忽略不计。

效率测量包括EMI滤波器损耗以及电缆损耗；但是，控制IC的功耗(<< 1 W)不包括在其中，因为外部电源用于V_{DD}。

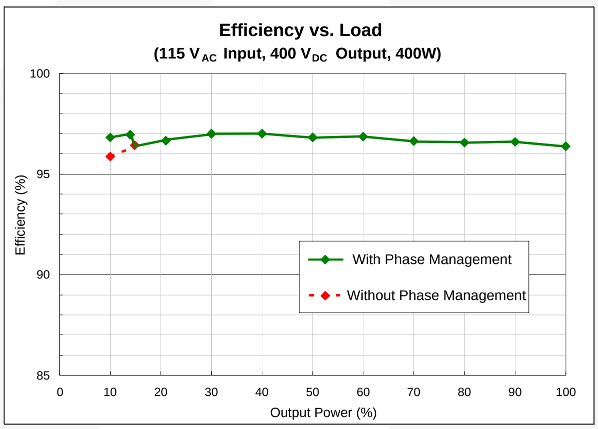


图37. 115 V_{AC}（默认阈值）时测得的效率

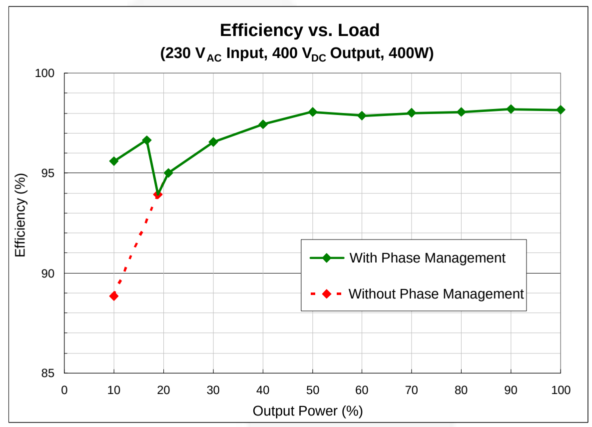


图38. 230 V_{AC}（默认阈值）时测得的效率

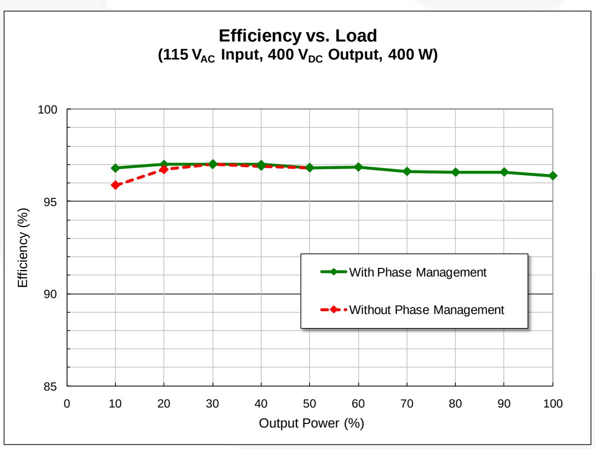


图39. 115 V_{AC}（调节阈值）时测得的效率

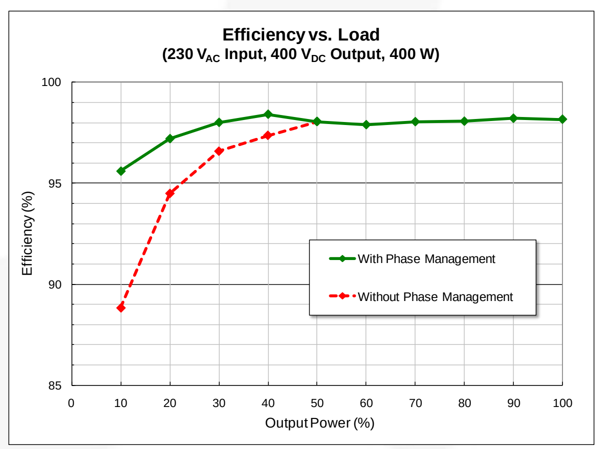


图40. 230 V_{AC}（调节阈值）时测得的效率

10.8. 谐波失真和功率因数

图41和图42分别采用EN61000 D类和C类规范比较输入电压为115 V_{AC}和230 V_{AC}时测得的谐波电流。D类适用于电视机和PC电源，C类适用于照明应用。从图中可以看出，两种规范均得到了满足，且裕量足够。

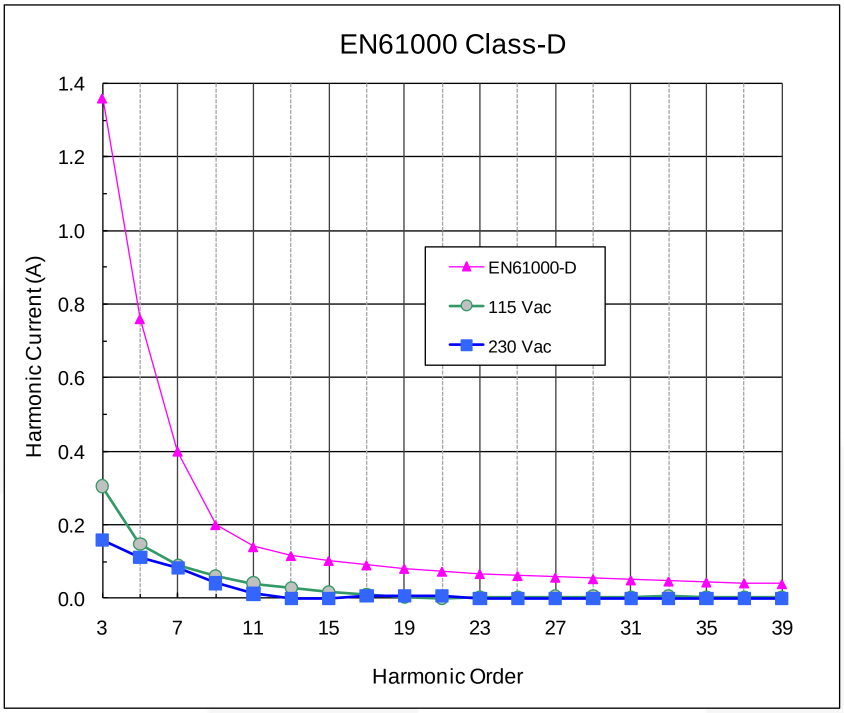


图41. 测得的谐波电流和EN61000 D类规范

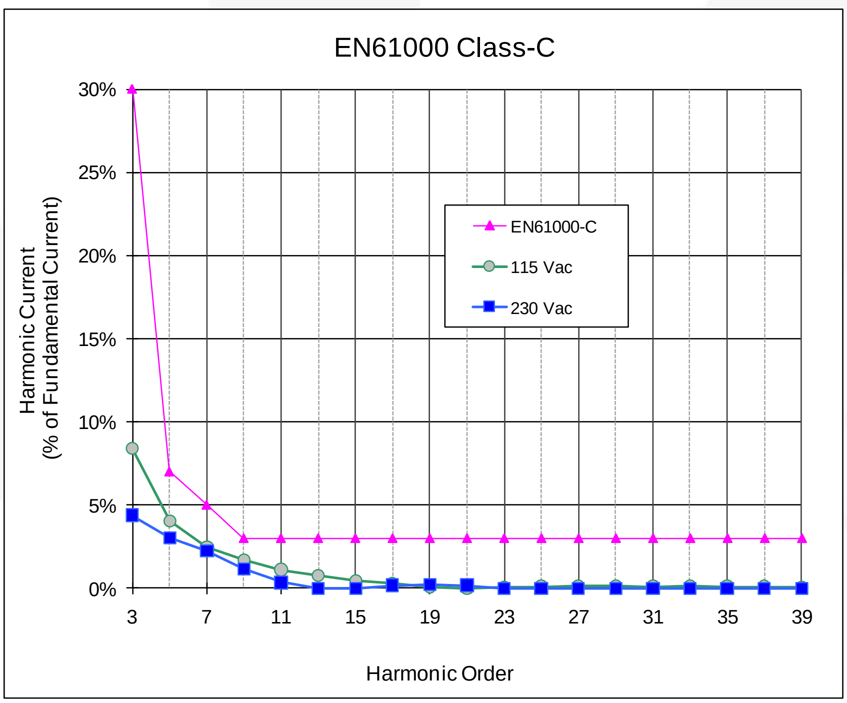


图42. 测得的谐波电流和EN61000 C类规范

图 43 显示的是输入电压为 115 V_{AC} 和 230 V_{AC} 时测得的功率因数。从图中可以看出，高于0.98的高功率因数可在100%至50%负载处得到。表4显示的是输入电压为115 V_{AC}和230 V_{AC}时的总谐波失真。

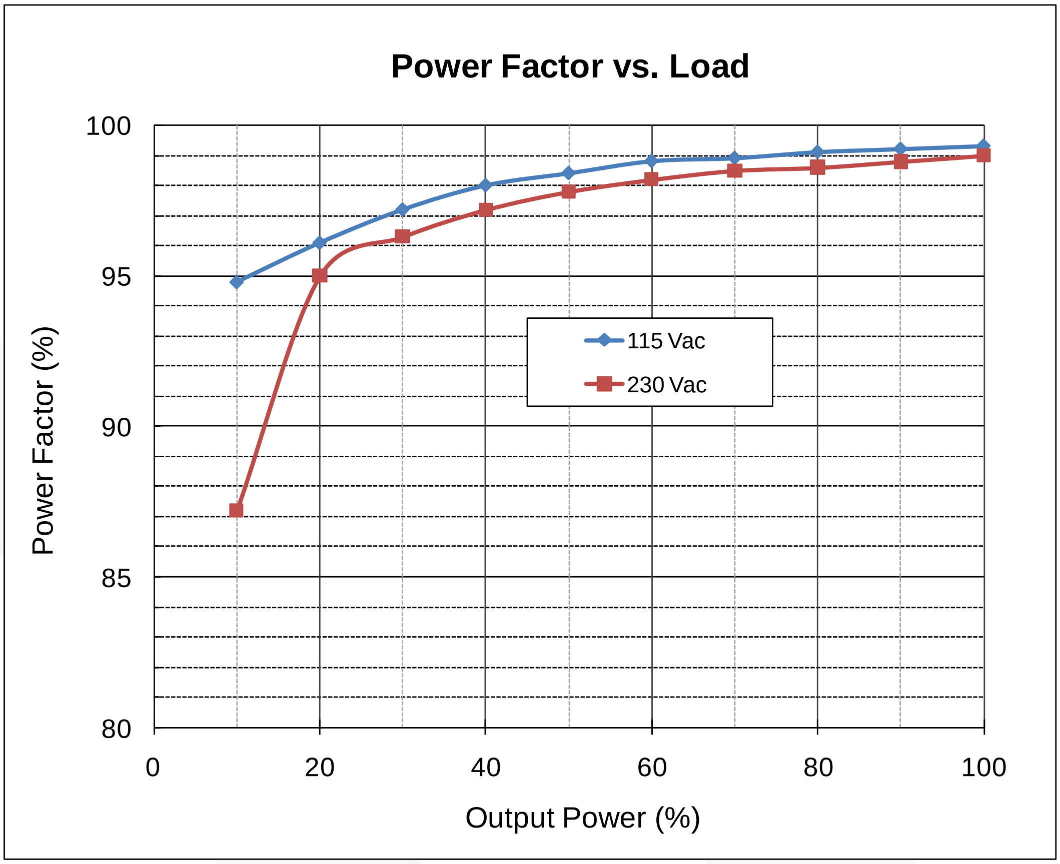


图43. 测得的功率因数

表4. 总谐波失真(THD)

线路电压	100%负载	75%负载	50%负载	25%负载
115 V_{AC}	9.68%	11.82%	15.87%	24.08%
230 V_{AC}	11.36%	12.95%	15.30%	16.81%

11. 参考文献

数据手册： FAN9611 双通道交错 BMC PFC 控制器

AN-6086 – “采用FAN9611 ／ FAN9612的交错式临界导通模式(BCM) PFC 的设计依据”

12. 订购信息

可订购部件编号	说明
FEBFAN9611_S388V1	FAN9611 400 W评估板

13. 修订记录

日期	修订版 #	说明
2013年5月	0.0.5	初始版/替代AN-9717 (FEB388-001)
2014 年 12 月	0.0.6	更新链接

WARNING AND DISCLAIMER

Replace components on the Evaluation Board only with those parts shown on the parts list (or Bill of Materials) in the Users' Guide. Contact an authorized Fairchild representative with any questions.

The Evaluation board (or kit) is for demonstration purposes only and neither the Board nor this User's Guide constitute a sales contract or create any kind of warranty, whether express or implied, as to the applications or products involved. Fairchild warrantees that its products meet Fairchild's published specifications, but does not guarantee that its products work in any specific application. Fairchild reserves the right to make changes without notice to any products described herein to improve reliability, function, or design. Either the applicable sales contract signed by Fairchild and Buyer or, if no contract exists, Fairchild's standard Terms and Conditions on the back of Fairchild invoices, govern the terms of sale of the products described herein.

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

ANTI-COUNTERFEITING POLICY

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, www.fairchildsemi.com, under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

ON Semiconductor and ON are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent−Marking.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303−675−2175 or 800−344−3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303−675−2176 or 800−344−3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800−282−9855 Toll Free USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81−3−5817−1050

ON Semiconductor Website: **www.onsemi.com**

Order Literature: http://www.onsemi.com/orderlit

For additional information, please contact your local Sales Representative