



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.

AN-9090

PFC SPM® 3系列版本 2升压PFC技术

总结

本应用笔记支持采用升压PFC拓扑（升压PFC SPM 3系列）的PFC SPM® 3系列版本 2升压PFC技术（升压PFC SPM 3系列）本应用笔记应与[升压PFC SPM 3系列数据手册](#)和[电感设计指南 \(AN-9091\)](#)配合使用

设计理念

一些国家最近正在尝试加紧能源法规的实施。例如，美国 能源部宣布将住宅中央空调的季节能源效率评级 (SEER) 标准提高至13级，从2006年1月开始实施。这表示相比过去等级为10的SEER标准，能效要求提高了30%。日本政府宣布自2010年起，能效需要比现有水平提高20%以满足京都议定书的规定，尤其是空调和冰箱；“节能”已成为全世界空调的最重要指标，各种用于提高效率的技术被开发出来。

飞兆半导体最近开发了新的功率因数校正 (PFC) 模块系列产品。若要满足国际谐波法规的要求（如IEC 61000-3-2），就需要用到功率因数校正电路。本应用笔记描述升压PFC模块，主要讨论其内部结构、内部元件工作原理、典型应用电路设计、有源PFC的控制方法和封装安装方法。

除此之外，本应用笔记还提供有关升压PFC SPM 3系列产品的技术信息，并含有设计示例，可让设计工程师采用飞兆半导体升压PFC SPM 3系列产品于较短的设计周期内创建有效且优化的设计。

详细特征与集成功能包括：

- 单一封装内的600 V/20 A和600 V/30 A额定值
- 升压PFC SPM® 3系列产品主要针对中等功率空调应用 (1.5~3 kW)
- 紧凑且高性价比的转移模塑封装让转换器设计趋于微型化
- 经过完整测试的IC和IGBT使器件具备高度的可靠性
- 集成式全桥二极管整流器
- 用于IGBT栅极驱动和保护的内置IC
- 快速恢复升压二极管最大程度地减少了反向恢复损耗
- 欠压闭锁 (UVLO) 和过流保护 (OCP) 功能，OCP通过外部分流电阻实现，同时具有故障信号输出功能 (VFO)
- 内置热敏电阻
- 优化IGBT开关特性，具有更低的开关损耗和EMI噪声
- 基板采用直接敷铜法 (DBC)，具有低泄露电流和高隔离电压
- 高电平有效输入信号逻辑解决了 V_{cc} （控制电源电压）和信号输入之间的启动和关断顺序受限问题，可提供故障安全操作特性。升压PFC SPM 3系列产品和3.3 V或5 V MCU/DSP产品间可实现直连，无需额外的外部序列逻辑。
- 隔离电压额定值为2000 V_{rms}（1分钟）

升压PFC技术

功率器件

升压PFC SPM® 3系列版本 2产品的改进主要得益于功率器件（如IGBT和FRD）在升压电路方面的技术进步。设计目标为降低功率损耗并提高这些功率器件的电流密度。请参见下文详细信息。

绝缘栅极双极性晶体管(IGBT)

升压PFC SPM 3系列使用的IGBT采用飞兆半导体先进的技术。凭借优化的非穿通型(NPT) IGBT技术，该封装拥有合适的安全工作区(SOA)，适用于每一种转换器应用，同时显著降低了通态导通损耗和开启/关断的开关损耗。

图 1 显示 IGBT 开关测试电路。图 2 和 图 3 显示 IGBT 关断波形对比（版本 1 与版本 2）。2. 版本 1 IGBT 是 SPMS IGBT，版本 2 IGBT 是 NPT IGBT。

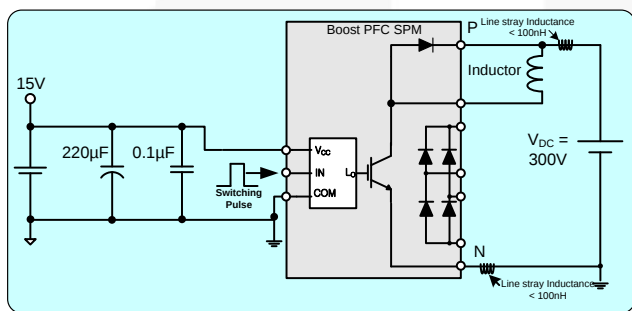


图 1. IGBT 开关测试电路图
(开关条件: $V_{bc}=400\text{ V}$ 、 $V_{cc}=15\text{ V}$ 、 $C_{Vcc}=220\text{ }\mu\text{F}$ 、
电感 = $500\text{ }\mu\text{H}$ 、总杂散 $L < 200\text{ nH}$)

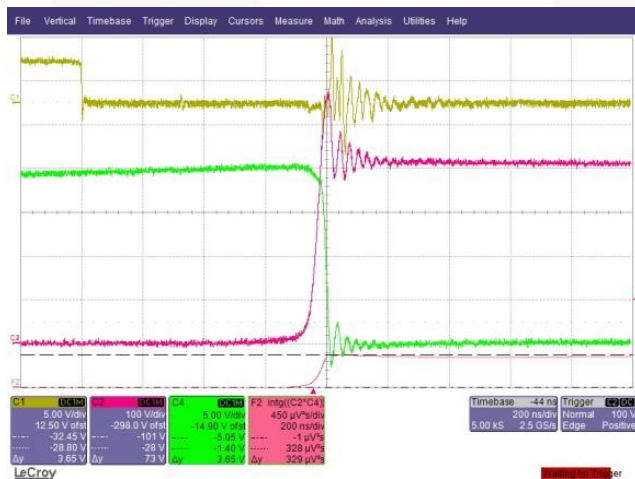


图 2. IGBT 关断开关波形对比（版本 1.0 IGBT 关断）

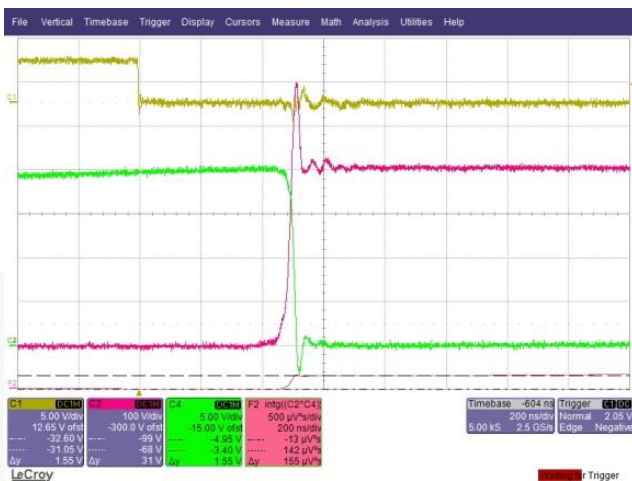


图 3. IGBT 关断开关波形对比（版本 2.0 IGBT 关断）

快速恢复二极管 (FRD)

FRD 使用了“超高速”二极管，具有低正向压降、高击穿电压和软恢复特性。图 4 显示 $T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 25°C 和 150°C 时的典型正向压降。显示反向恢复时间 t_{RR} ($T_c = 100^\circ\text{C}$)。

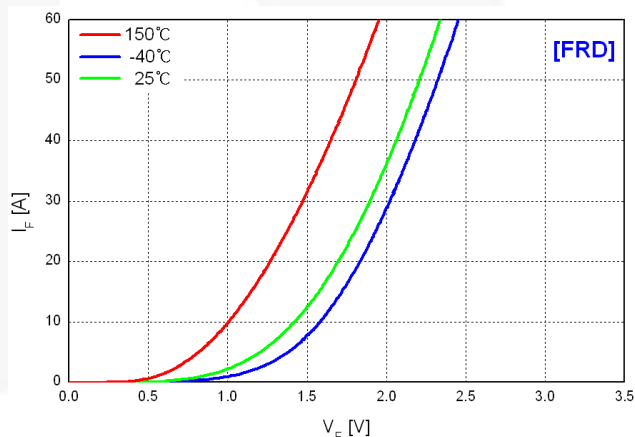


图 4. FRD 典型正向压降
(超高速二极管, $T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 25°C 、 150°C)

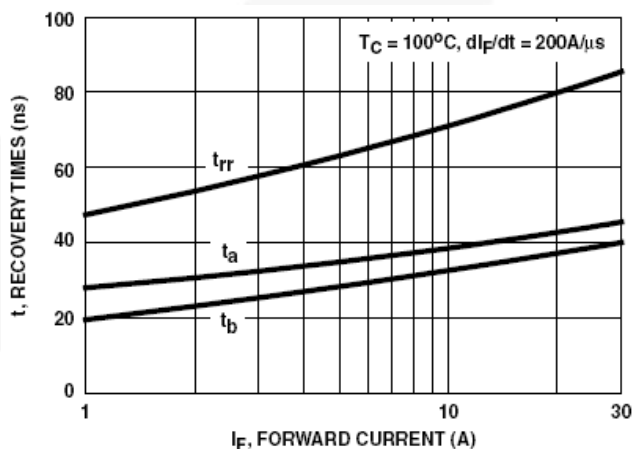


图 5. 快速恢复二极管 (FRD) 的反向恢复时间 t_{RR}
($T_c = 100^\circ\text{C}$)

整流二极管

图 7 和 图 8 显示整流二极管的典型正向压降 ($T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 25°C 和 150°C)。版本 1 和版本 2 使用具有给定电流额定值的相同二极管。图 8 和 图 9 显示 60 Hz 时的非重复峰值浪涌电流 (I_{FSM})。 I_{FSM} 是特定电流波形 (通常为 10 ms / 50 Hz 半正弦波, 有时为 8.3 ms / 60 Hz 半正弦波) 时的峰值正向浪涌电流。

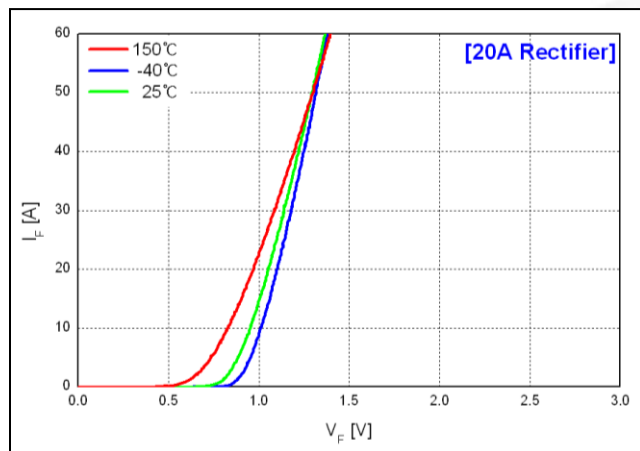


图 6. 输入整流二极管的正向压降典型值为 20 A ($T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 25°C 、 150°C)

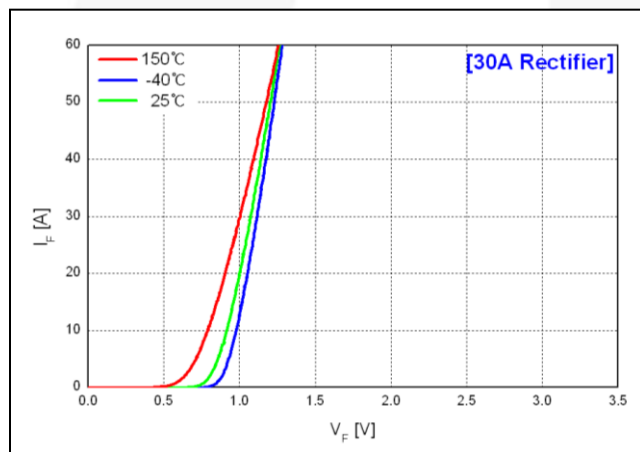


图 7. 输入整流二极管的正向压降典型值为 30 A ($T_c = -40^\circ\text{C}$ 、 25°C 、 150°C)

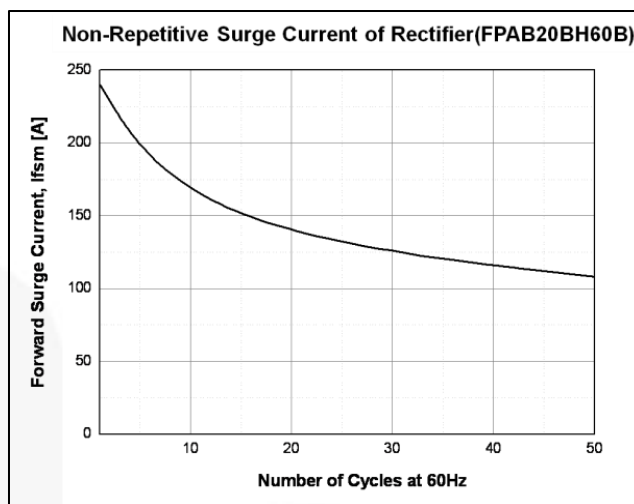


图 8. 60 Hz 时 FPAB20BH60B 的非重复峰值浪涌电流 (I_{FSM})

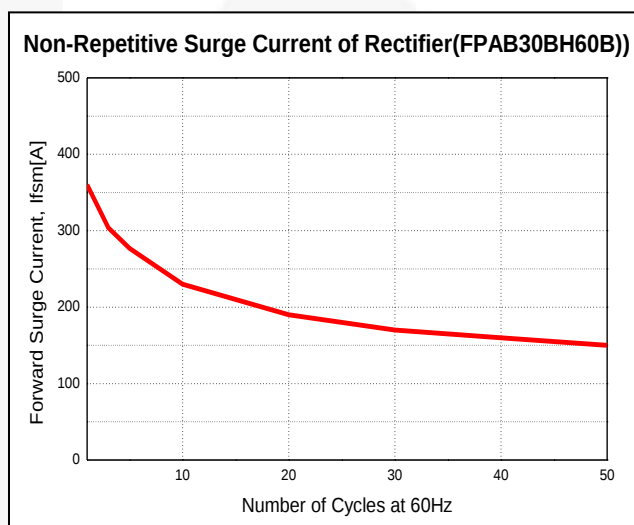


图 9. 60 Hz 时 FPAB30BH60B 的非重复峰值浪涌电流 (I_{FSM})

栅极驱动 IC

该 IGBT 的栅极驱动 IC 设计为仅提供低功耗驱动所需的最少功能。它具有低待机电流, 逻辑输入可配合 3.3 V 或 5.0 V 工作。该 IC 内置针对 V_{CE} 的欠压闭锁 (UVLO) 功能和针对内部功率元件的过流保护 (OCP) 功能。

封装

散热能力是限制功率模块额定电流值的重要因素。需要在散热特性、封装尺寸以及绝缘特性之间进行权衡。良好封装技术的关键在于成功优化封装尺寸，同时保持杰出的散热特性，而不降低绝缘等级。

在升压PFC SPM 3封装中，图 10直接敷铜法 (DBC) 技术将散热性能良好的裸铜直接附着在引线框架上。显示封装尺寸和升压PFC SPM 3封装的横截面。

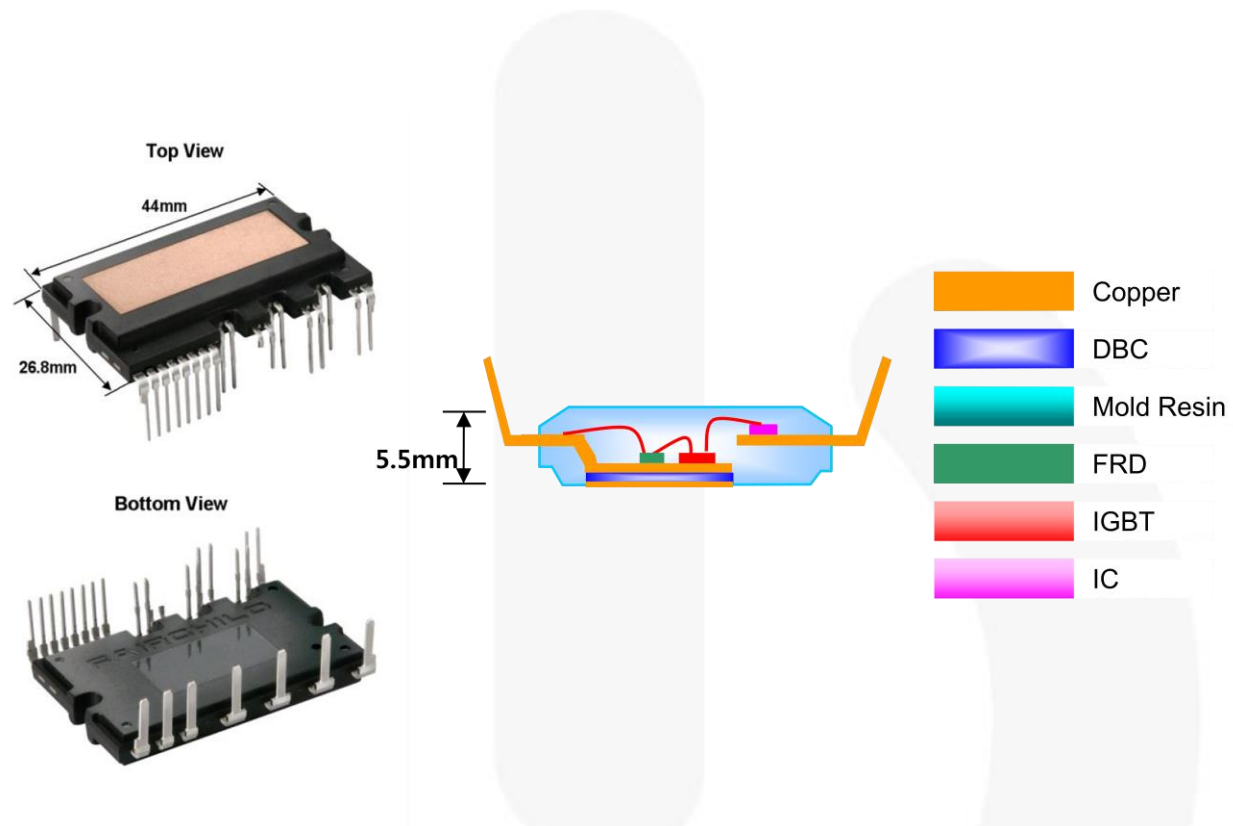


图 10. 升压PFC SPM 3封装的纵向结构

外形和引脚说明

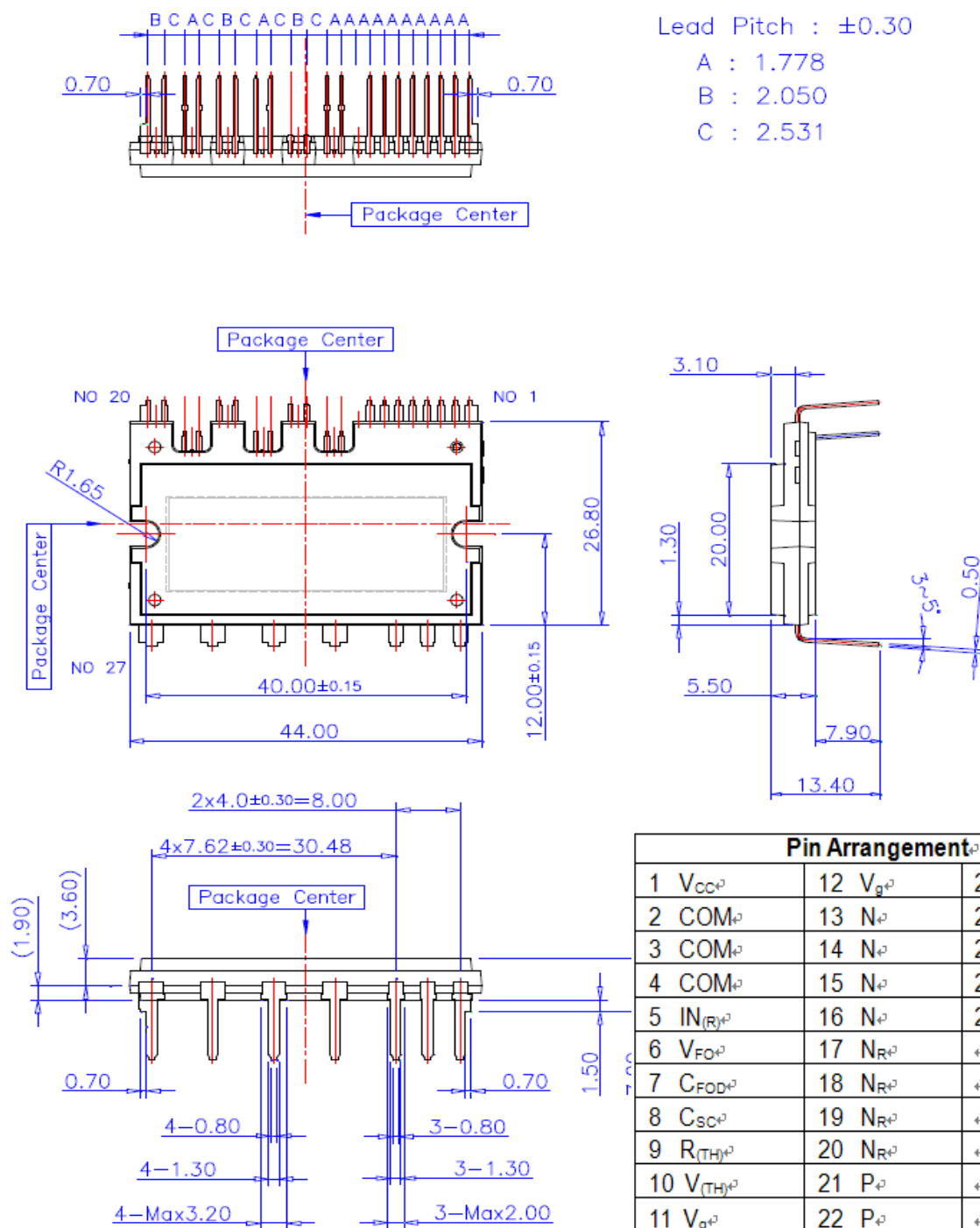
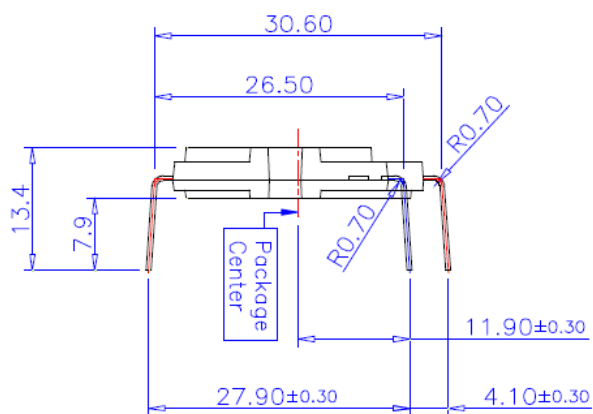
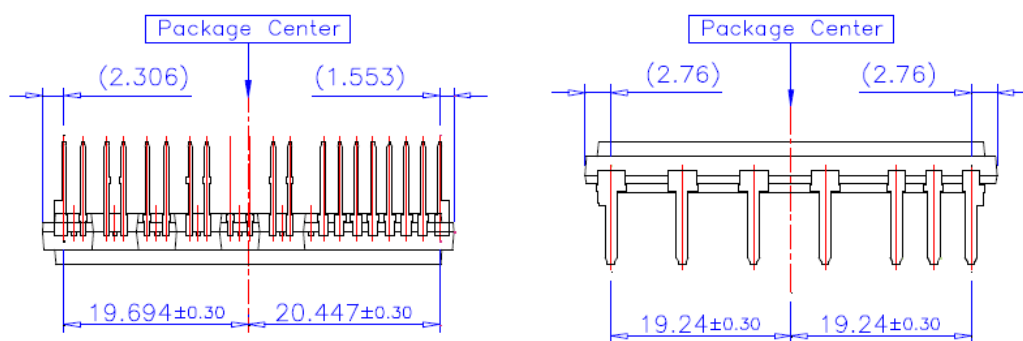


图 11. 外形图



Lead Forming Dimension



PKG Center to Lead Distance

图 12. 外形图

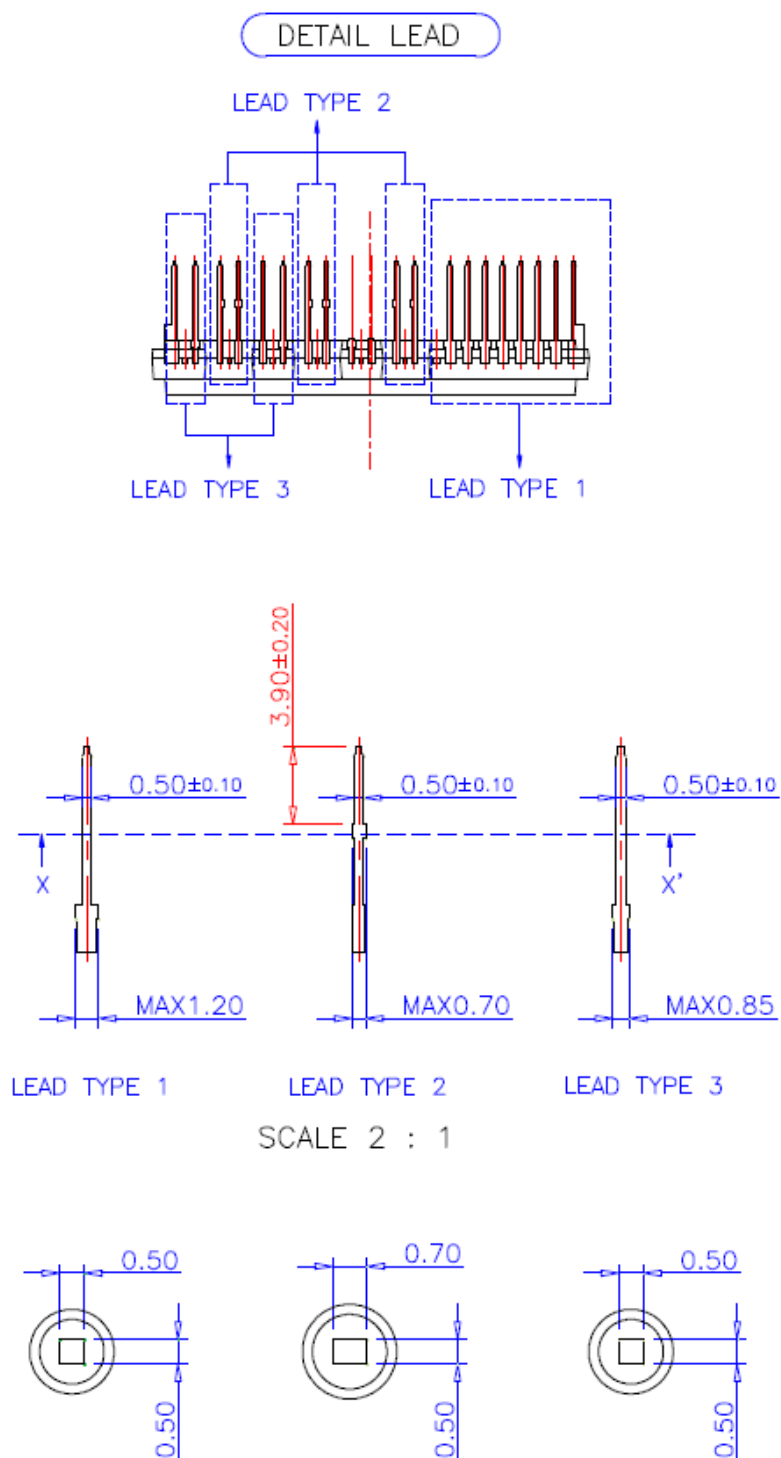


图 13. 封装外形详图

输入和输出引脚说明

图 14 和 0 显示升压PFC SPM® 3系列的引脚图。后文提供详细的功能说明。

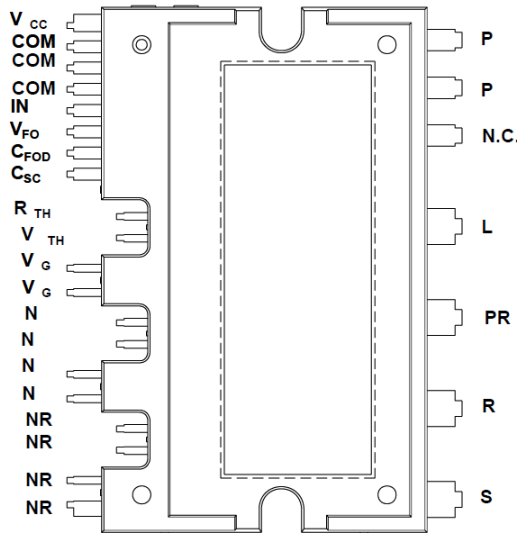


图 14. 引脚配置 (顶视图)

表 1. 引脚定义

引脚号	名称	说明
1	V _{CC}	驱动IC和IGBT的通用偏置电压
2, 3, 4	COM	电源（公共）地
5	IN	IGBT信号输入
6	V _{FO}	故障输出
7	C _{FOD}	用于选择故障输出持续时间的电容
8	C _{SC}	用于过流检测输入的电容（低通滤波器）
9	R _{TH}	NTC热敏电阻
10	V _{TH}	NTC热敏电阻
11, 12	N. C.	无连接
13~16	N	IGBT发射极
17~20	NR	整流器直流负端
21, 22	P	半转换器的正直流链路
23	N. C.	无连接
24	L	电感连接端子
25	PR	整流器直流正端
26	R	R相位交流输入
27	S	S相位交流输入

通用偏置电压引脚(V_{CC})

- 这是内置LVIC的电源控制引脚。

- 为了防止电源电压的噪声和纹波引起的故障，高品质滤波电容（低 ESR，低 ESL）应该靠近这些引脚安装。

通用电源接地引脚(COM)

- 升压PFC SPM® 3系列的通用引脚连接内部LVIC的控制地。
- 重要事项** 为了避免噪声影响，主电源电流不应流过此引脚。

信号输入引脚(IN)

- 信号输入IGBT的栅极驱动IC。
- 接受电压输入信号被激活。在内部该端子连接到由 5 V级CMOS 构成的施密特触发器电路。
- 该引脚的信号逻辑为高电平有效。当一个足够的逻辑电压施加到该引脚时，相应 IGBT 将会导通。
- 输入的走线应尽量短，以避免噪声影响。
- 为了防止信号振荡，推荐采用RC耦合，如 图 28所示。

过流检测引脚(C_{SC})

- C_{SC}和低端接地COM之间应当连接一个可感测电流的分流电阻，检测任何过流事件（参见 图 29）。
- 分流电阻必须经选择，以符合特定应用的检测电平。引脚C_{SC}需连接一个RC滤波器，用来消除噪声。一般而言，建议采用1~ 2 μs滤波器时间常数。
- 使分流电阻和C_{SC}引脚之间的连接长度尽可能短。

故障输出引脚(V_{FO})

- 故障输出报警引脚。对该引脚置位低电平有效输出信号，以表示转换器的故障状态条件。
- 警报条件为过流保护(OCF)或欠压闭锁(UVL0)。
- V_{FO}输出属于开漏配置。故障(F_oΩ)信号线通过4.7 k电阻上拉到5 V逻辑电源。

故障保护持续时间选择引脚(C_{FOD})

- 该引脚用来选择故障保护脉冲的持续时间。
- 应在该引脚和COM之间连接一个外部电容，以设置故障保护持续时间(t_{FOD})，该值由下式表示：

$$C_{FOD} = 18.3 \times 10^{-6} \times t_{FOD} [s] \quad (1)$$

其中，18.3 × 10⁻⁶表示IC的内部值。

正直流链路引脚(P)

- 这是转换器的直流链路正电源引脚。
- 该引脚通过内部连接升压二极管的阴极。
- 为了抑制由于直流链路走线或 PCB布局的寄生电感带来的浪涌电压，在靠近此引脚的地方连接一个滤波电容。（通常使用一个0.1 ~ 1.0 μF的金属薄膜电容）。

全桥二极管整流器的正直流链路引脚

(PR)

- 连接全桥整流器二极管直流母线电压正端引脚。
- 此引脚内部连接到高端整流二极管的阴极。
- 需要在此引脚和L引脚之间连接一个外部升压电感。

(L)

- 该引脚为PFC IGBT的集电极引脚。
- 该引脚通过PFC的外部电感连接到全桥二极管整流器的直流链路引脚PR。

IGBT的发射极引脚(N)

- 这些引脚连接IGBT的发射极。
- 通常，在这些引脚和N_R之间可连接一个分流电阻，感测IGBT电流

全桥二极管整流器的负直流链路引脚(N_R)

- 这些引脚是全桥整流器直流链路的负电源引脚（电源地）。
- 连接低端整流器二极管的阴极的引脚。

交流输入引脚(R、S)

- 这些是全桥整流器的输入引脚。
- 将这些引脚连接交流电源。

热敏电阻偏置电压(V_{TH})

- 该引脚为内部热敏电阻的偏压引脚。
- 该引脚应连接5 V逻辑电源。

用于热敏电阻（温度检测）的串联电阻(R_{TH})

- 进行温度检测时，该引脚应连接外部串联电阻。
- 外部串联电阻的选型应与每个应用的检测范围规格相匹配（详情请参阅图21）。
- 该配置使温度和感测电压呈线性关系。
-

内部电路

图 15 显示升压PFC SPM® 3系列的内部框图。请注意，升压PFC SPM 3系列内含单通道升压拓扑，由1个IGBT和1个二极管、1个驱动LVIC（用于栅极驱动）、整流二极管和1个NTC热敏电阻（用于温度检测）组成。

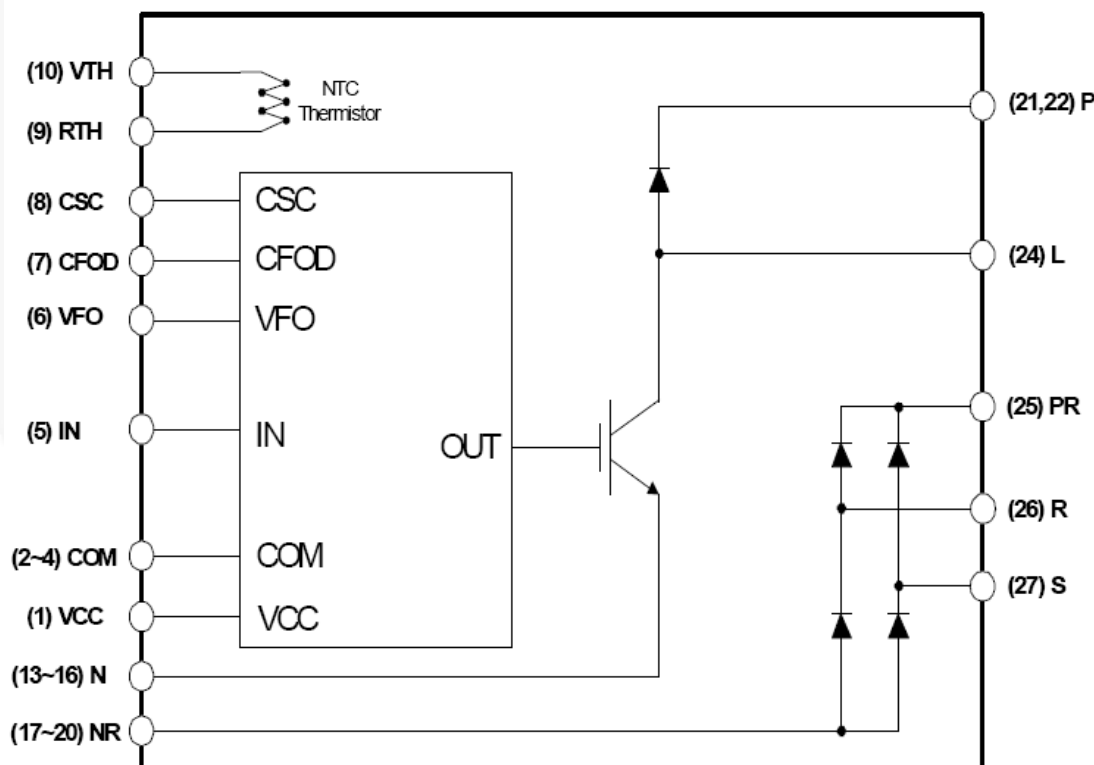


图 15. 内部框图

订购信息

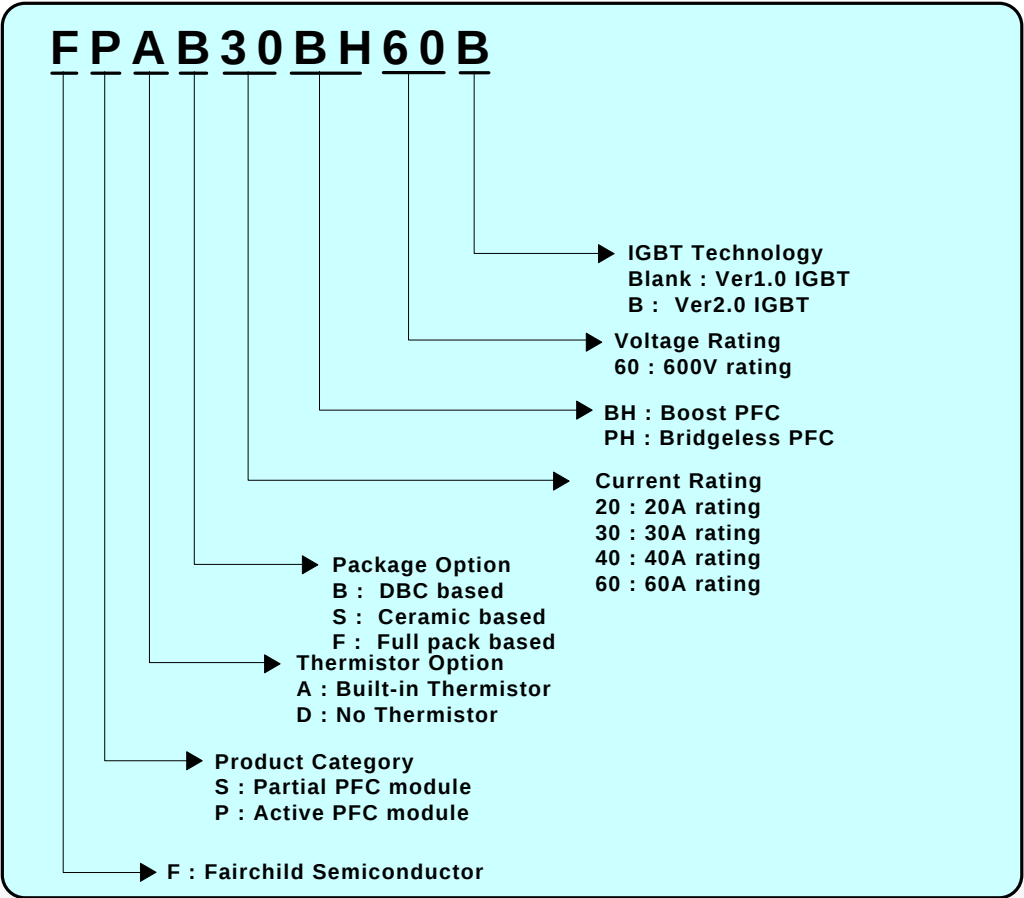


图 16. 订购信息

产品系列

表 2. 升压PFC SPM® 3系列版本 1和版本 2

器件编号	额定值		封装	隔离电压 (V _{rms})	主要应用场合
	电流 (A)	电压 (V)			
FPAB30BH60	30	600	DBC基板 (SPM27-1A)	2500 V _{rms} 正弦波, 1分钟	空调、 高功率家用电器
FPAB20BH60B ^新	20	600	DBC基板 (SPM27-1C)	2500 V _{rms} 正弦波, 1分钟	空调
FPAB30BH60B ^新	30	600	DBC基板 (SPM27-1C)	2500 V _{rms} 正弦波, 1分钟	空调

关键参数设计指南

过流保护 (OCP)

升压PFC SPM®图 17 3系列需要一个外部分流电阻用于过流检测，如 所示。LVIC内置过流保护 (OCP) 功能，可感测 C_{sc} 引脚电压。若此电压超过器件数据手册中指定的 $V_{sc(REF)}$ （过流阈值电压跳变电平， $V_{sc(REF)}$ 典型值为

0.5 V），则置位故障信号，且IGBT关断。为了避免开关噪声引起误跳变，需要使用RC滤波器。最大过流保护值通常需低于集电极标称额定值的1.5倍。IC过流保护时序图如 图 18所示。

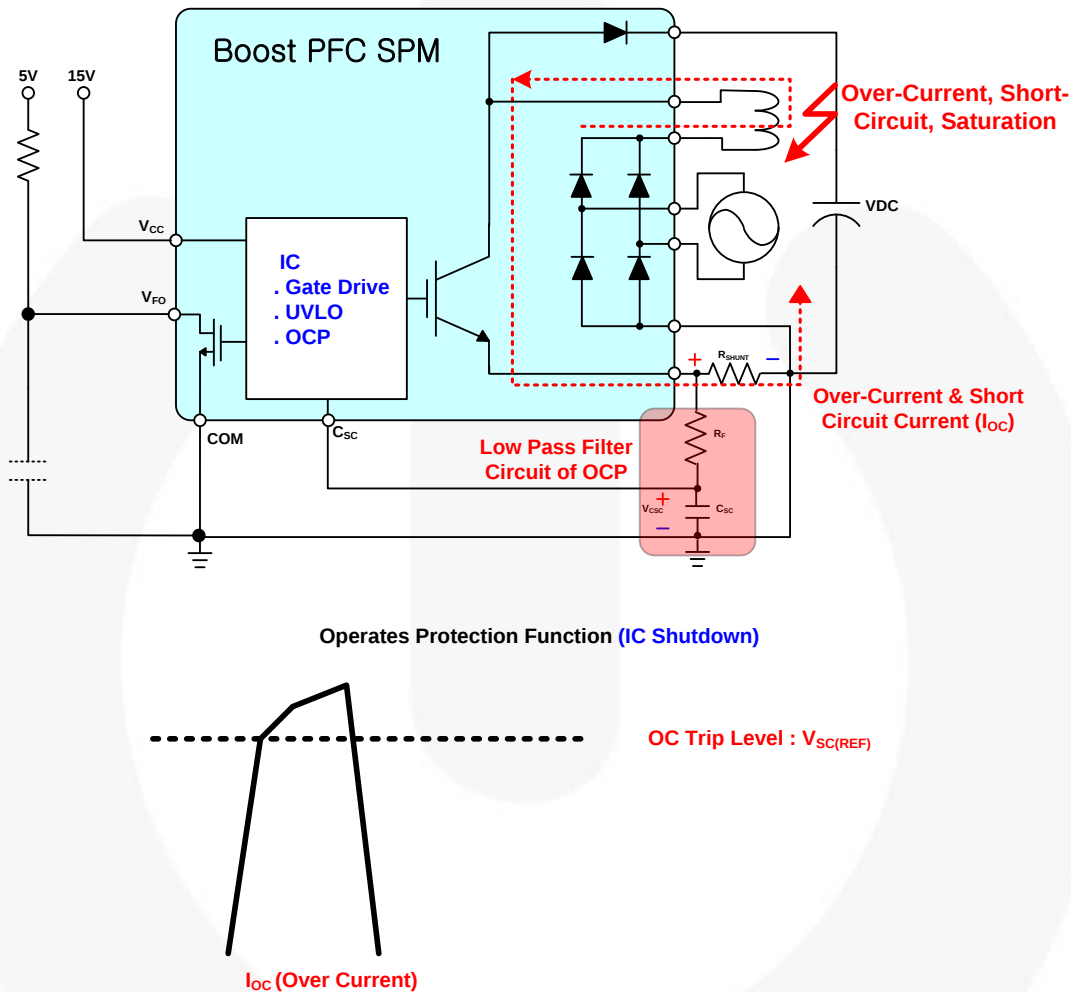


图 17. 过流保护 (OCP) 工作原理

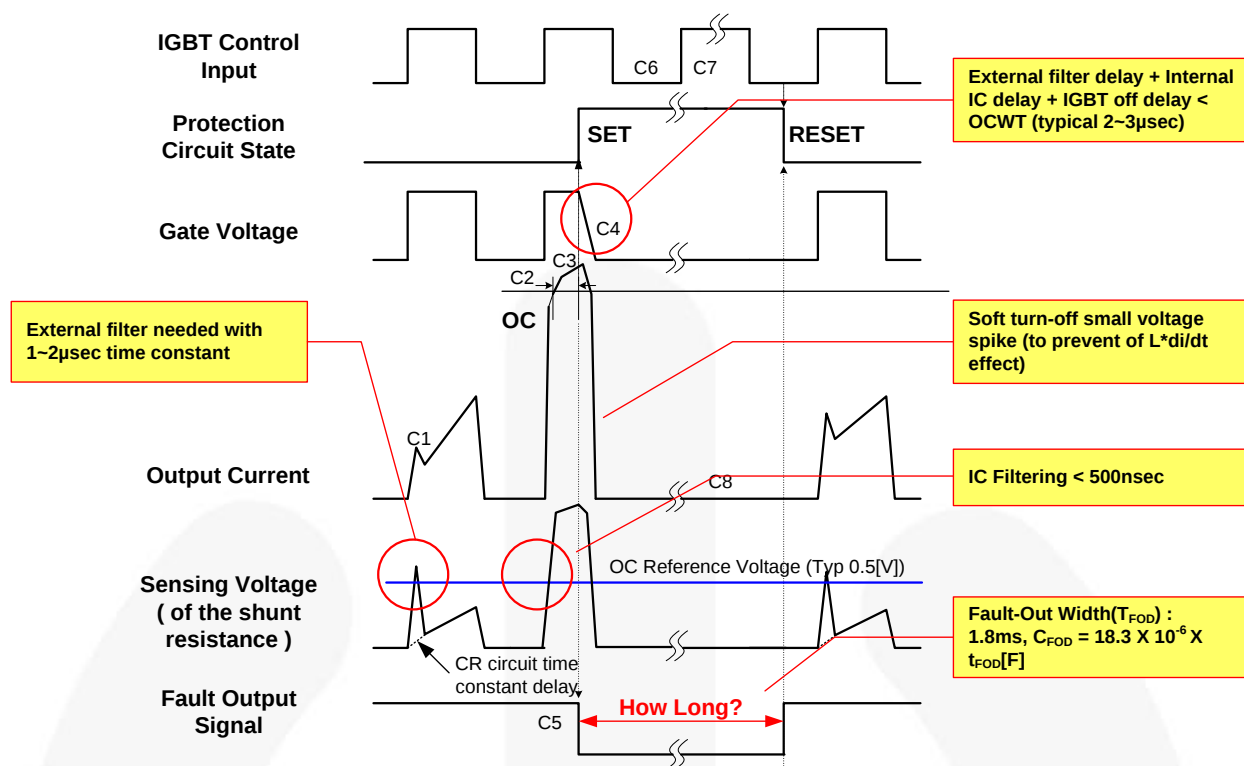


图 18. 过流保护功能时序图

- C1. 正常工作：IGBT 导通并加载负载电流。
- C2. 过流检测（OC触发）
- C3. IGBT栅极中断
- C4. 故障信号生成/IGBT缓慢关断
- C5. 故障输出计时器启动。故障输出信号的脉冲宽度通过外部电容 C_{FOD} 设置。
- C6. 输入“L”：IGBT 关断状态
- C7. 输入“H”：IGBT通态。故障输出激活期间，IGBT不会导通。
- C8. IGBT关断状态

检流电阻的选型

图 17 显示采用一个分流电阻的 OCP 电路示例。监控 IGBT 发射极电流，并通过 RC 滤波器传输该信号。若电流超过 OCP 参考电平，IGBT 栅极开关至关断状态，且 F_0 故障输出信号可传输至 MCU。由于 OC 事件不应重复发生，当提供 F_0 故障信号时，MCU 应立即停止用于 IGBT 工作的 PWM 输入。

分流电阻值可通过下式计算：

最大 OC 电流触发电平：

$$I_{OC(\text{最大值})} = 1.5 \times I_C(\text{额定电流})$$

也可由应用要求决定。

电流反馈范围：

$$I_{RMSMAX} \times 1.414 + \text{纹波 (考虑电感磁芯饱和)}$$

OC 跳变基准电压：

$$V_{OC} = \text{最小值 } 0.45 \text{ V, 典型值 } 0.5 \text{ V, 最大值 } 0.55 \text{ V}$$

检流电阻阻值为：

$$I_{OC(\text{最大值})} = V_{OC(\text{最大值})} / R_{SHUNT(\text{最小值})} \rightarrow R_{SHUNT(\text{最小值})} = V_{OC(\text{最大值})} / I_{OC(\text{最大值})}$$

如果检流电阻的偏差被限制低于 $\pm 5\%$ ，则：

$$R_{SHUNT(\text{典型值})} = R_{SHUNT(\text{最小值})} / 0.95, R_{SHUNT(\text{最大值})} = R_{SHUNT(\text{典型值})} \times 1.05$$

实际 OC 触发电流电平变为：

$$I_{OC(\text{典型值})} = V_{OC(\text{典型值})} / R_{SHUNT(\text{典型值})}, I_{OC(\text{最小值})} = V_{OC(\text{最小值})} / R_{SHUNT(\text{最大值})}$$

分流电阻功率额定值可计算如下：

$$P_{SHUNT} = (I_{RMS}^2 \times R_{SHUNT} \times \text{裕量}) / \text{降额比率}$$

其中：

I_{RMS} = 转换器最大负载电流；

R_{SHUNT} = $T_C = 25^\circ \text{C}$ 时的分流电阻典型值；

$T_{SHUNT} = 100^\circ \text{C}$ 时分流电阻的降额比例（来源于分流电阻数据手册）；且

裕量 = 安全裕量：建议值为 20%。

分流电阻值计算示例：FPAB20BH60B 分流电阻功耗： $\pm 5\%$ 。

表 3. OCP 电平规格 ($V_{SC(REF)}$)

工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
$T_J = 25^\circ \text{C}$ 、 $V_{OC} = 15 \text{ V}$ 时的规格	0.45	0.50	0.55	V

表 4. 过流触发电流值 ($R_{SHUNT} = 18.33 \text{ m}\Omega$ 最小值⁽¹⁾， $19.26 \text{ m}\Omega$ 典型值， $20.23 \text{ m}\Omega$ 最大值)

工作条件	最小值 ⁽²⁾	典型值 ⁽³⁾	最大值 ⁽⁴⁾	单位
$T_J = 25^\circ \text{C}$ 时的 OC 工作电平	22.24	25.91	30.00	A

注意：

- $R_{SHUNT(\text{最小值})} = V_{OC(\text{最大值})} / I_{OC(\text{最大值})} = 0.55 / 30 = 18.33 \text{ m}\Omega$
- $I_{OC(\text{最小值})} = V_{OC(\text{最小值})} / R_{SHUNT(\text{最大值})} = 0.45 / (0.0192 \times 1.05) = 22.24 \text{ A}$
- $I_{OC(\text{典型值})} = V_{OC(\text{典型值})} / R_{SHUNT(\text{典型值})} = 0.50 / (0.0183 / 0.95) = 25.91$
- 最大 OC 跳变电平： $1.5 \times I_C = 1.5 \times 20 = 30 \text{ A}$

分流电阻的功率额定值计算示例：

- 逆变器最大负载电流 (I_{RMS})：14 A_{RMS}
- $T_C = 25^\circ \text{C}$ 时的分流电阻值 ($R_{SHUNT(\text{最小值})}$)：18.33 m Ω
- $T_{SHUNT} = 100^\circ \text{C}$ 时的分流电阻降额比例：70%（参见图 19）
- 安全裕量：20%

P_{SHUNT} ：

$$(I_{RMS}^2 \times R_{SHUNT} \times \text{裕量}) / \text{降额比例} = (14^2 \times 0.01833 \times 1.2) / 0.7 = 6.16 \text{ W}$$

因此，合适的分流电阻功率额定值为 10.0 W。

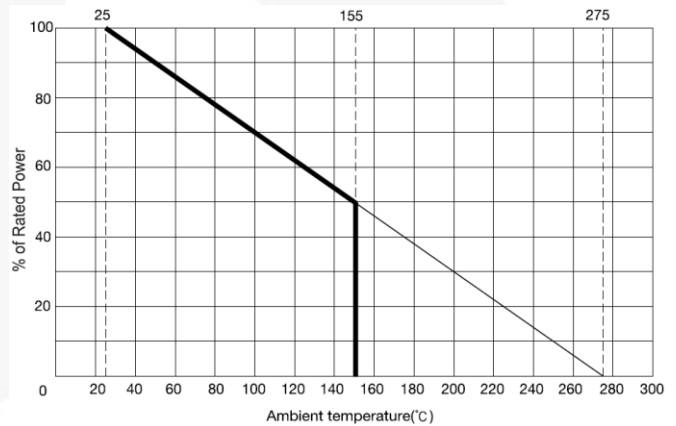


图 19. 检流电阻降额曲线范例（源自 RARA ELEG。）

内部时间延迟的时间常数

为了防止与 OCP 电路故障相关的噪声，需要一个 RC 滤波器（参考上文 R_{FCSC} 图 17）。RC 时间常数取决于 IGBT 中的噪声持续时间和短路电流耐受时间 (t_{SCWT})。

如果外部分流电阻压降超过 OCP 电平，则信号通过 RC 滤波器施加到 C_{SC} 引脚。RC 滤波器延时时间 (t_1) 即 C_{SC} 表 5 引脚电压上升到参考 OCP 电平所需要的时间。显示 OCP 电平规格。IC 具有一个内部滤波时间（抑制噪声的逻辑滤波时间： t_2 ）。因此，在设计 V_{SC} 的 RC 滤波器时，需要考虑此类型的滤波时间。

表 5. OCP 电平规格 ($V_{SC(REF)}$)

工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
$T_J = 25^\circ \text{C}$ 、 $V_{OC} = 15 \text{ V}$ 时的规格	0.45	0.50	0.55	V

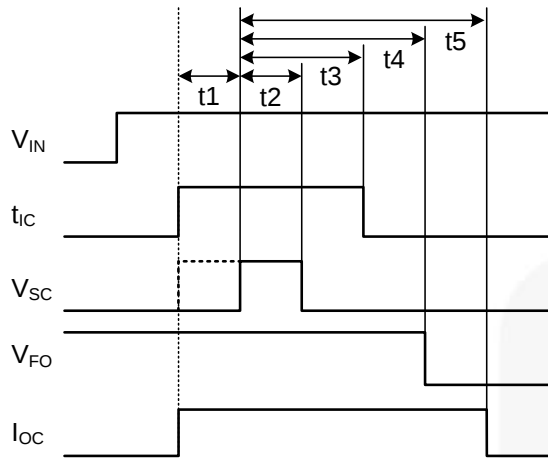


图 20. OC保护的内部延迟图

- V_{IN} : 输入信号电压
- t_{IC} : IC 延迟
- V_{SC} : C_{SC} 引脚电压
- V_{F0} : V_{F0} 引脚电压
- I_{OC} : 过流（短路）
- t_1 : V_{SC} 的 RC 滤波器滤波时间
- t_2 : C_{SC} 滤波时间。
若 V_{SC} 宽度小于 t_2 , 则 OCP 无法动作。
- t_3 : 从 C_{SC} 触发到 IC 延迟的延迟时间。
- t_4 : 从 C_{SC} 触发到输出故障保护信号的延迟。
- t_5 : 从 C_{SC} 触发到过流的延迟时间。

表 6. OC保护电路的内部延迟时间

项目	最小值	典型值	最大值	单位
内部滤波器延迟时间 (t_2)		0.5	0.8	μS
IC和F ₀ 传输延迟时间 (t_3)		0.8	1.8	μS
F ₀ 故障保护信号时间 (t_4)		4.0	4.5	μS

- 注意:
- 5. 为了在所有工作条件下确保具有安全过流保护 (OCP)，发生过流事件后， C_{SC} 应在2.0 μs 内触发。
 - 6. 建议从发生过流事件到 C_{SC} 触发之间的时间取最小值。

图 21 和 图 22 显示过流保护 (OCP) 功能的工作波形。一般情况下， τ (CSRC滤波器的时间常数) 并不精确，因为 I_{OC} (过流) 具有快速的 di/dt 。因此，在确定 C_{SC} 的RC滤波器时间常数时，需要考虑到这种情况。

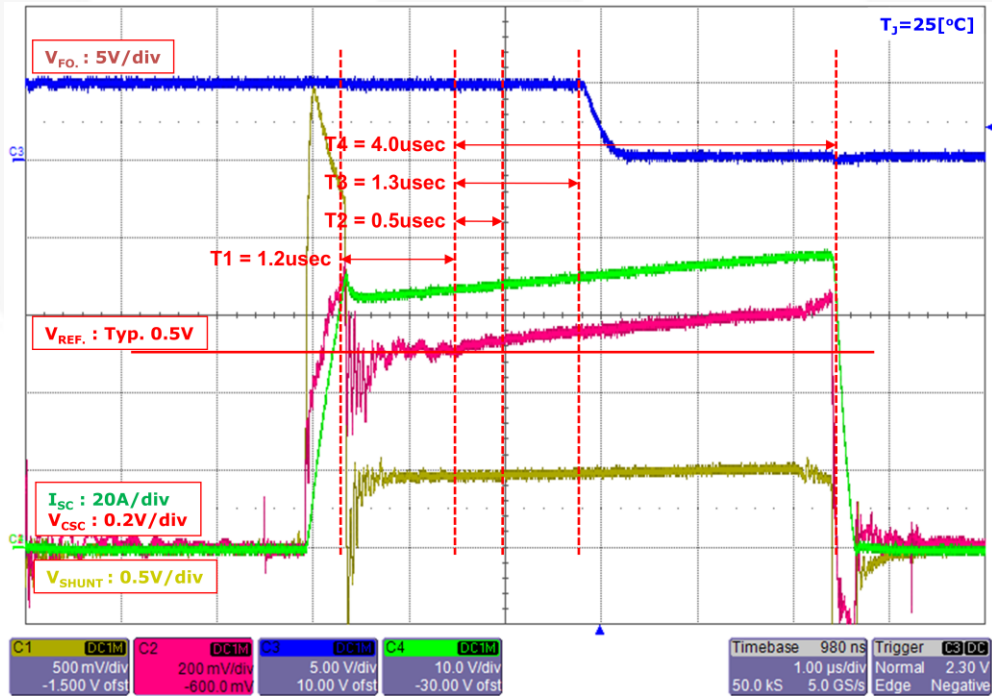


图 21. 过流保护 (OCP) 功能的工作波形
(RC滤波器时间常数: 1.5 μs , $R_{SC}=1.5 [\text{k}\Omega]$, $C_{SC}=1 [\text{nF}]$, $R_{SHUNT}=15 [\text{m}\Omega]$)

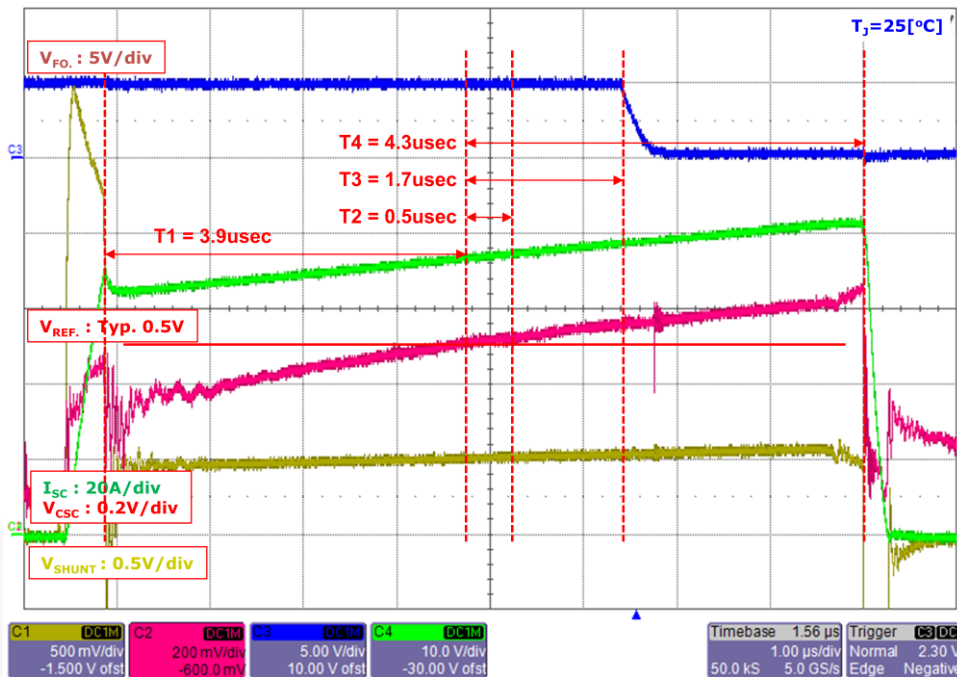


图 22. 过流保护 (OCP) 功能的工作波形。
(RC滤波器时间常数: $3.8 \mu s$, $R_{SC}=3.8 [K\Omega]$, $C_{SC}=1 [nF]$, $R_{SHUNT}=15 [m\Omega]$)

因此, 从发生过流OC到IGBT栅极关断的 t_{TOTAL} (总时间) 变为:

$$t_{TOTAL} = \text{RC filter delay (t1)} + \text{Delay from } C_{SC} \text{ trigger to } I_{OC}(t4)$$

从而总延迟时间 (t_{TOTAL}) 应小于SCSOA曲线的OCWT。

$$\text{Over - Current Withstanding Time (tOCWT)} > t_{TOTAL}(t1 + t4)$$

RC滤波器的时间常数应设置在 $1.5 \sim 2.0 \mu s$ 范围内, 因为IGBT和其他器件应在所有工作条件下得到保护。

软关断

LVIC具有软关断功能, 可以保护IGBT免受 V_{PN} (电源电压) 过压影响 (由过流硬关断引起的过压)。“过流硬关断”表示故障条件下, 保护功能 (UVLO、OCP) 启动前, 输入信号便关断了IGBT。这种情况下, V_{PN} (电源电压) 可能由于 I_{SC} (过流) 的高 di/dt 而快速上升。 V_{PN} 的这种快速上升产生过压, 引起IGBT损坏。通过缓慢释放 V_{GE} (IGBT的栅极-发射极电压) 电荷, 软关断功能可防止IGBT快速关断。

LVIC内部框图和软关断功能的工作序列如图 23 和图 24 所示。保护功能包括两个内部保护功能 (欠压闭锁 (UVLO) 和过流保护 (OCP))。当IGBT在正常条件下关断时, 通过栅极驱动器模块关断栅极信号 ($V_{IN,L}$), IC可立即关断IGBT。前置驱动器开启栅极驱动器模块的输出缓冲器, 通过路径1 (①, 图 24中) 对栅极电荷进行放电

。当IGBT在保护功能下关断时, 通过保护电路的输出 (禁用输出缓冲器, 高阻态), 在保护功能信号作用下栅极驱动器被禁用。保护电路的输出开启软关断功能。因此, V_{GE} 通过软关断路径2缓慢放电 (②, 图 24中)。

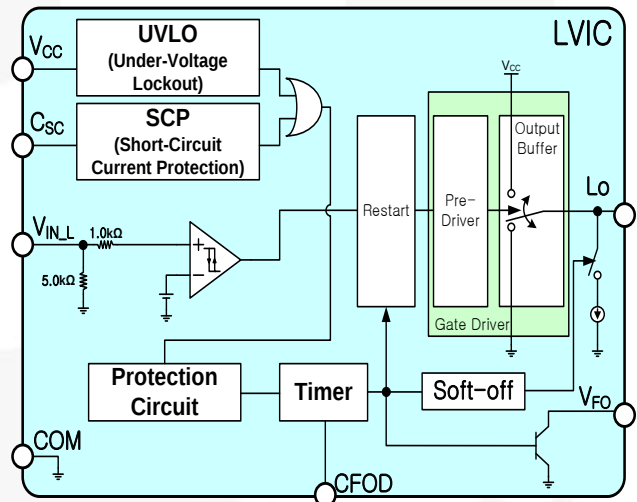


图 23. LVIC内部框图

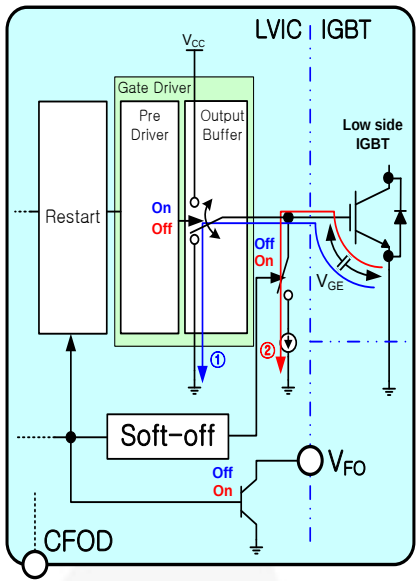


图 24. 软关断的工作顺序

硬关断与软关断开关动作之间的差别如图 30所示。IGBT的硬关断会产生很大的过冲（高达100 V）。这种情况下，直流链路电容的电源电压应限制为400 V，以便安全保护升压PFC SPM® 3系列（FPAB20BH60B数据手册显示V_{PN}为450 V且V_{PN}（浪涌）为500 V）。V_{PN}图 1（浪涌）由线路杂散电感噪声，如 所示。在过流故障情况下，会发生持续时间少于2 μs左右的硬关断。发生正常的过流故障时，激活保护电路，并软关断IGBT，以防止产生过大的过冲电压。

图 25 表示安全工作区测试的实验结果。强烈建议不要让升压PFC SPM 3系列产品工作在这些条件下（V_{PN}=400 V，T_J=150° C，I_c= 45 A，关断时电流额定值为1.5倍，寄生电感约为10 nF）。

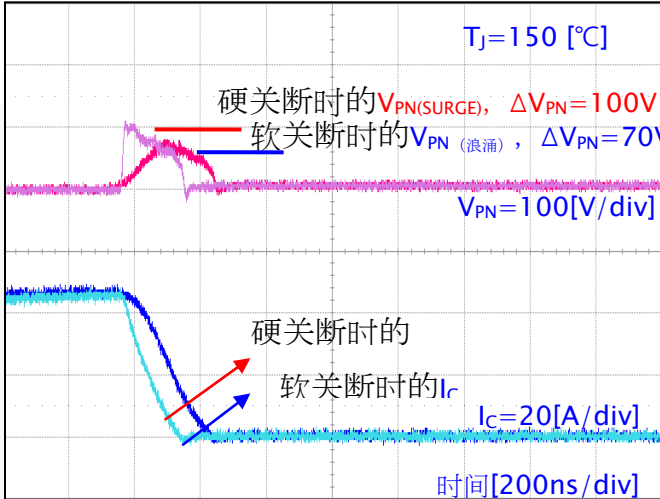


图 25. FPAB30BH60B的过流关断波形（V_m=400 V，T_J=150°C）

表 7. 绝对最大额定值的详细说明（针对FPAB30BH60B）

项目	符号	额定值	说明
输入电源电压。	V _i	264 V（最大值）	R-S之间的最大输入交流电压。
输入电源电压（浪涌）	V _i （浪涌）	500 V	R-S之间的最大输入交流浪涌电压。
输出电压	V _{PN}	450 V	P-N 间的最大稳态电压（非开关模式）；若 P-N 间的电压超过额定值则需要一个制动电路。
输出电压（浪涌）	V _{PN} （浪涌）	500 V	P-N之间的最大浪涌电压（非开关模式）。由于存在杂散电感，若P-N浪涌电压超过该值则需要一个缓冲电路。
集电极-发射极之间电压	V _{CES}	600 V	内置IGBT的最大集电极-发射极电压。
单只 IGBT 集电极电流	± I _c	30 A	T _c =25° C、T _J <150° C时允许的最大直流连续 IGBT集电极电流。
单只 IGBT 集电极电流（峰值）	I _{CP}	60 A	T _c =25° C、T _J <150° C、1 ms脉冲宽度情况下允许的最大直流连续 IGBT集电极电流。
结温	T _J	-40~150° C	PFC SPM®集成的功率芯片最大结温额定值为150° C。然而，为了确保器件的安全工作，平均结温应限制为125° C。虽然在T _J =150° C下，IGBT和FRD芯片不会立即遭到破坏，但其功率周期能力有所下降。
自我保护电源电压限值（OCP能力）	V _{PN} (PROT)	400 V	在V _{oc} =13.5 ~ 16.5 V、非重复、小于2 μs的情况下。过流条件下安全关断IGBT的最大电源电压。

故障输出电路

表 8. 故障输出最大额定值

参数	符号	条件	额定值	单位
故障输出电源电压	V_{F0}	施加于 V_{F0} -COM之间	$-0.3 \sim V_{OC} + 0.3$	V
故障输出电流	I_{F0}	V_{F0} 引脚处的灌电流	5.0	mA

表 9. 电气特性

参数	符号	工作条件	最小值	最大值	单位
故障输出电压	V_{F0H}	$V_{SC}=0$ V, V_{F0} 电路: 4.7 k Ω 至 5 V上拉电阻	4.5		V
	V_{F0L}	$V_{SC}=0$ V, V_{F0} 电路: 4.7 k Ω 至 5 V上拉电阻		0.8	V

因为F₀端子属于开漏类型，所以应当通过上拉电阻将其上拉至5 V或15 V电平。电阻必须满足上述规格。

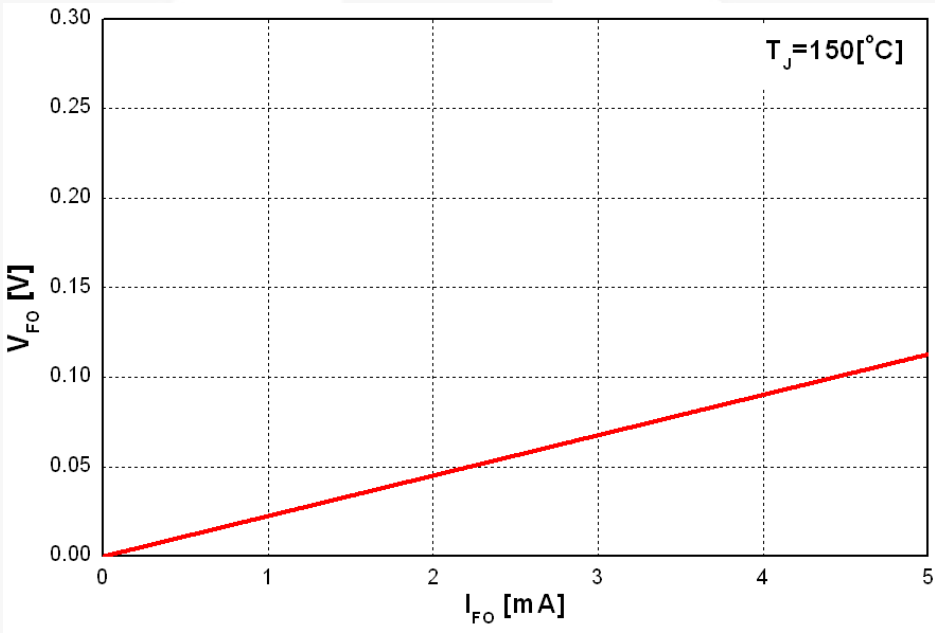


图 26. V_{F0} 端子的电压-电流特性

欠压闭锁保护

LVIC具有欠压闭锁(UVLO)保护功能，以防止IGBT在栅极驱动电压不足时工作。这种保护的时序图如图27所示。

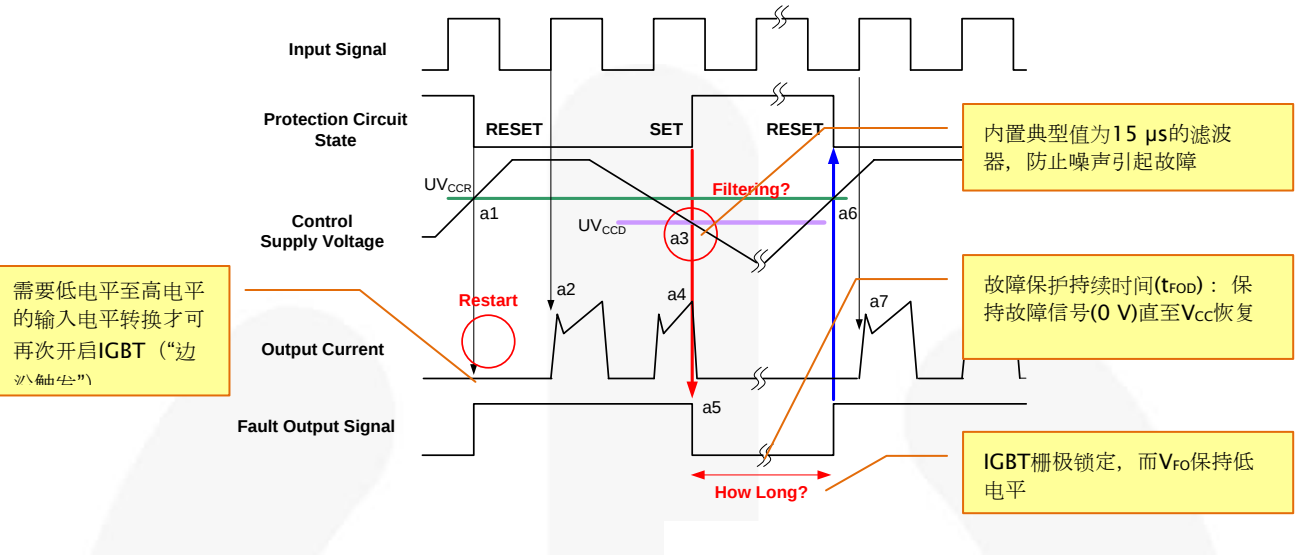


图 27. 低端欠压保护功能的时序图

- a1: 控制电源电压上升：电压上升到 UV_{CCR} 后，当施加下一个输入时，电路开启
- a2: 正常工作：IGBT 导通并加载负载电流。
- a3: 欠压保护 (UV_{CCD})
- a4: 不论控制输入的条件，IGBT 关闭
- a5: 故障输出工作启动
- a6: 欠压复位 (UV_{CCR})
- a7: 正常工作：IGBT 导通并加载负载电流。

表 10.UVLO（欠压闭锁）功能的规格

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
UV_{CCD}	电源电路欠压保护	检测电平	10.7	11.9	13.0	V
UV_{CCR}		复位电平	11.2	12.4	13.2	V

NTC热敏电阻电路（监控 T_c ）

升压PFC SPM® 3系列集成负温度系数 (NTC) 热敏电阻，用于模块温度感测。此热敏电阻与功率芯片 (IGBT/FRD) 都位于DBC基板上，能很好地反映功率芯片的温度（参见图 30）。

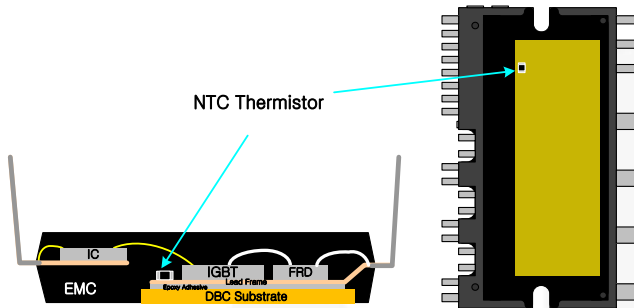


图 30. 升压PFC SPM 3封装中的NTC热敏电阻位置

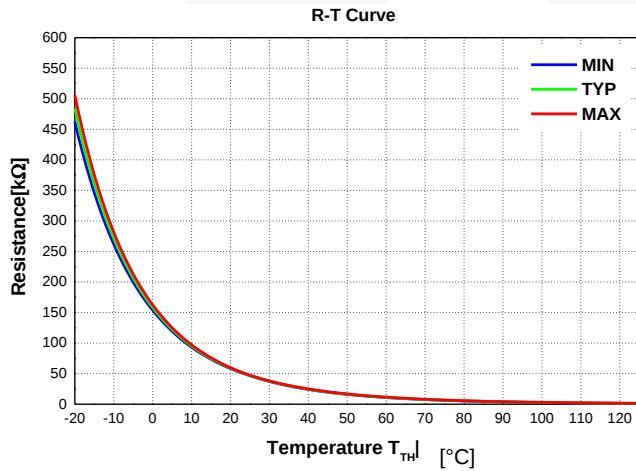


图 31. 3系列封装中的NTC热敏电阻R-T曲线

通常情况下，借助 NTC 热敏电阻，设计人员可以采用两种电路进行温度保护（监控）。一种是使用模数转换器 (ADC)，另一种是使用比较器电路。图 32 和 图 33 显示采用NTC热敏电阻的两个示例。

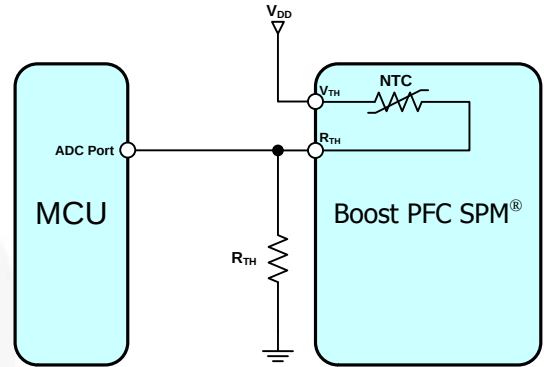


图 32. 采用MCU的OT保护电路

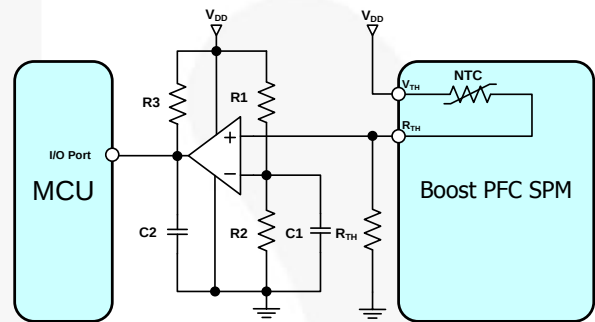


图 33. 采用比较器的OT保护电路

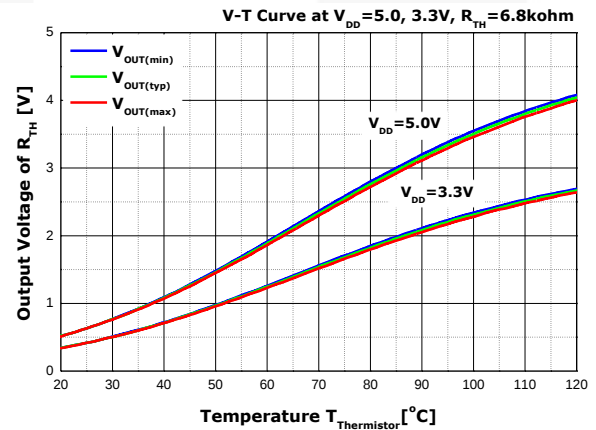


图 34. 图 32的V-T曲线

表 13.NTC热敏电阻的R-T表(1-1)

T _{NTC} (° C)	R _{MIN} (kΩ)	R _{TYP} (kΩ)	R _{MAX} (kΩ)	T (° C)	R _{MIN} (kΩ)	R _{TYP} (kΩ)	R _{MAX} (kΩ)
0	153.8063	158.2144	162.7327	30	37.1428	37.6431	38.1463
1	146.0956	150.1651	154.3326	31	35.5329	36.0351	36.5408
2	138.8168	142.5725	146.4152	32	34.0011	34.5041	35.0111
3	131.9431	135.4081	138.9502	33	32.5433	33.0462	33.5534
4	125.4497	128.6453	131.9091	34	31.1555	31.6573	32.1640
5	119.3135	122.2594	125.2655	35	29.8340	30.3339	30.8392
6	113.5129	116.2273	118.9947	36	28.5760	29.0734	29.5764
7	108.0276	110.5275	113.0739	37	27.3776	27.8717	28.3720
8	102.8388	105.1398	107.4814	38	26.2356	26.7260	27.2228
9	97.9288	100.0454	102.1974	39	25.1472	25.6332	26.1261
10	93.2812	95.2267	97.2031	40	24.1094	24.5907	25.0792
11	88.8803	90.6673	92.4810	41	23.1198	23.5960	24.0796
12	84.7119	86.3519	88.0148	42	22.1759	22.6466	23.1249
13	80.7624	82.2661	83.7894	43	21.2753	21.7401	22.2129
14	77.0190	78.3963	79.7903	44	20.4158	20.8746	21.3416
15	73.4700	74.7302	76.0043	45	19.5953	20.0478	20.5088
16	70.1042	71.2558	72.4189	46	18.8120	19.2580	19.7126
17	66.9112	67.9620	69.0224	47	18.0638	18.5032	18.9514
18	63.8812	64.8386	65.8039	48	17.3492	17.7818	18.2234
19	61.0050	61.8759	62.7530	49	16.6663	17.0921	17.5269
20	58.2739	59.0647	59.8601	50	16.0137	16.4325	16.8605
21	55.6798	56.3961	57.1160	51	15.3899	15.8016	16.2227
22	53.2152	53.8628	54.5127	52	14.7934	15.1981	15.6122
23	50.8732	51.4569	52.0422	53	14.2230	14.6205	15.0277
24	48.6469	49.1715	49.6969	54	13.6773	14.0677	14.4678
25	46.5300	47.0000	47.4700	55	13.1552	13.5385	13.9316
26	44.4567	44.9360	45.4159	56	12.6556	13.0318	13.4178
27	42.4868	42.9737	43.4618	57	12.1774	12.5465	12.9255
28	40.6147	41.1075	41.6021	58	11.7195	12.0815	12.4536
29	38.8351	39.3323	39.8319	59	11.2810	11.6361	12.0011
30	37.1428	37.6431	38.1463	60	10.8610	11.2091	11.5673

表 14.NTC 热敏电阻的 R-T 表格 (1-2)

T _{NTC} (° C)	R _{MIN} (kΩ)	R _{TYP} (kΩ)	R _{MAX} (kΩ)	T (° C)	R _{MIN} (kΩ)	R _{TYP} (kΩ)	R _{MAX} (kΩ)
61	10.4594	10.8007	11.1520	91	3.6675	3.8463	4.0334
62	10.0746	10.4091	10.7536	92	3.5505	3.7253	3.9084
63	9.7058	10.0336	10.3714	93	3.4377	3.6087	3.7879
64	9.3522	9.6734	10.0046	94	3.3290	3.4963	3.6716
65	9.0133	9.3279	9.6525	95	3.2242	3.3878	3.5593
66	8.6882	8.9963	9.3145	96	3.1235	3.2836	3.4515
67	8.3764	8.6782	8.9899	97	3.0264	3.1830	3.3473
68	8.0773	8.3727	8.6782	98	2.9328	3.0860	3.2468
69	7.7902	8.0795	8.3787	99	2.8425	2.9923	3.1497
70	7.5147	7.7979	8.0910	100	2.7553	2.9019	3.0559
71	7.2496	7.5268	7.8138	101	2.6712	2.8146	2.9654
72	6.9950	7.2663	7.5474	102	2.5901	2.7303	2.8779
73	6.7505	7.0160	7.2913	103	2.5117	2.6489	2.7933
74	6.5157	6.7755	7.0450	104	2.4360	2.5703	2.7117
75	6.2901	6.5443	6.8082	105	2.3630	2.4943	2.6327
76	6.0739	6.3227	6.5810	106	2.2921	2.4206	2.5560
77	5.8662	6.1096	6.3624	107	2.2236	2.3493	2.4819
78	5.6665	5.9046	6.1521	108	2.1575	2.2805	2.4102
79	5.4745	5.7075	5.9498	109	2.0936	2.2139	2.3409
80	5.2899	5.5178	5.7549	110	2.0319	2.1496	2.2739
81	5.1129	5.3358	5.5680	111	1.9725	2.0877	2.2094
82	4.9426	5.1607	5.3879	112	1.9151	2.0278	2.1470
83	4.7788	4.9921	5.2145	113	1.8596	1.9699	2.0866
84	4.6211	4.8299	5.0475	114	1.8060	1.9139	2.0282
85	4.4694	4.6736	4.8866	115	1.7541	1.8598	1.9716
86	4.3228	4.5226	4.7310	116	1.7042	1.8076	1.9171
87	4.1817	4.3771	4.5811	117	1.6559	1.7572	1.8644
88	4.0459	4.2369	4.4366	118	1.6092	1.7083	1.8134
89	3.9150	4.1019	4.2973	119	1.5640	1.6611	1.7639
90	3.7890	3.9717	4.1629	120	1.5203	1.6153	1.7161

通用应用电路示例和PCB布局指南

常见应用电路示例

图 35 显示应用电路示例的原理图。控制信号直接连接MCU或UCC3818。

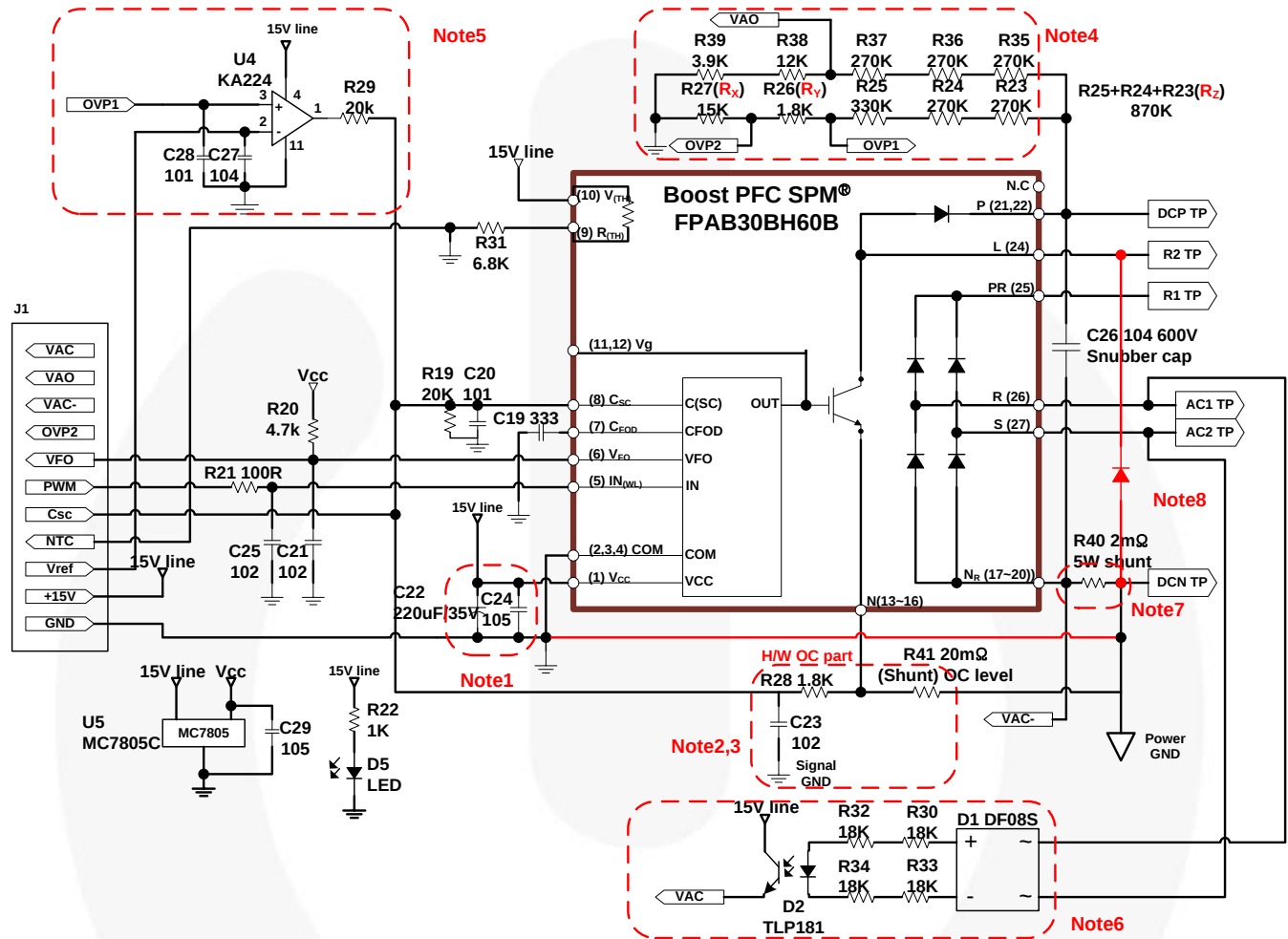


图 35. 升压PFC SPM 3系列应用电路示例

注意：

- 位于 V_{cc} -COM之间的陶瓷电容（C24，105）数值需大于100 nF，并尽可能靠近引脚安装。
- 由于使用的分流电阻为10 mΩ，过流电平为50 A。
- 若未使用SPM的OCP，则不应使用R28和C23，并且R41应当为0 Ω。
- 还可使用双级OVP。由于电容值较大，直流链路电压改变缓慢，因此OVP不需要快速响应。可视需要激活PFC控制器的OVP。

评估板选择的元件值如下：

$$R_x = 15 \text{ [K}\Omega\text{]}, R_y = 1.8 \text{ [K}\Omega\text{]}, R_z = 870 \text{ [K]}$$

OVP等级1 - PFC

发生过压情况时，PFC停止工作，产生故障保护信号，持续时间为故障保护的持续时间（由 C_{FOD} 设置）。

$$\frac{R_x + R_y}{R_x + R_y + R_z} = \frac{V_{REF}}{V_{DC_PK}} \Rightarrow V_{DC_PK} = \frac{R_x + R_y + R_z}{R_x + R_y} V_{REF} = \frac{886.8}{16.8} \cdot 7.5 = 395[V]$$

过压电平可通过 V_{REF} 和电阻值调节。

OVP等级2 - 外部PFC控制器

OVP等级2的电压电平高于OVP等级1的电平。

$$\frac{R_x}{R_x + R_y + R_z} = \frac{V_{REF}}{V_{DC_PK}} \Rightarrow V_{DC_PK} = \frac{R_x + R_y + R_z}{R_x} V_{REF} = \frac{886.8}{15} \cdot 7.5 = 443[V]$$

注意：

11. PFC评估板能保护功率模块免受过压情况的影响。发生过压事件时，PFC停止工作，产生故障保护信号，持续时间为故障保护的持续时间（由C_{F00}设置）。建议使用比较器解决方案。
12. 电源输入交流电压感测电路。通常，PFC IC需要具备输入交流电压的幅度和相位。
13. 如果未使用FAN6982（PFC IC），则R40必须为0 Ω。
14. 必须使用外部反并联二极管，阻止轻载和零开关条件下的负V_{ce}电压。此外，采用升压PFC SPM[®] 3封装的IGBT可能会由于重复反向雪崩而受损。

印刷线路板 (PCB) 布局指南

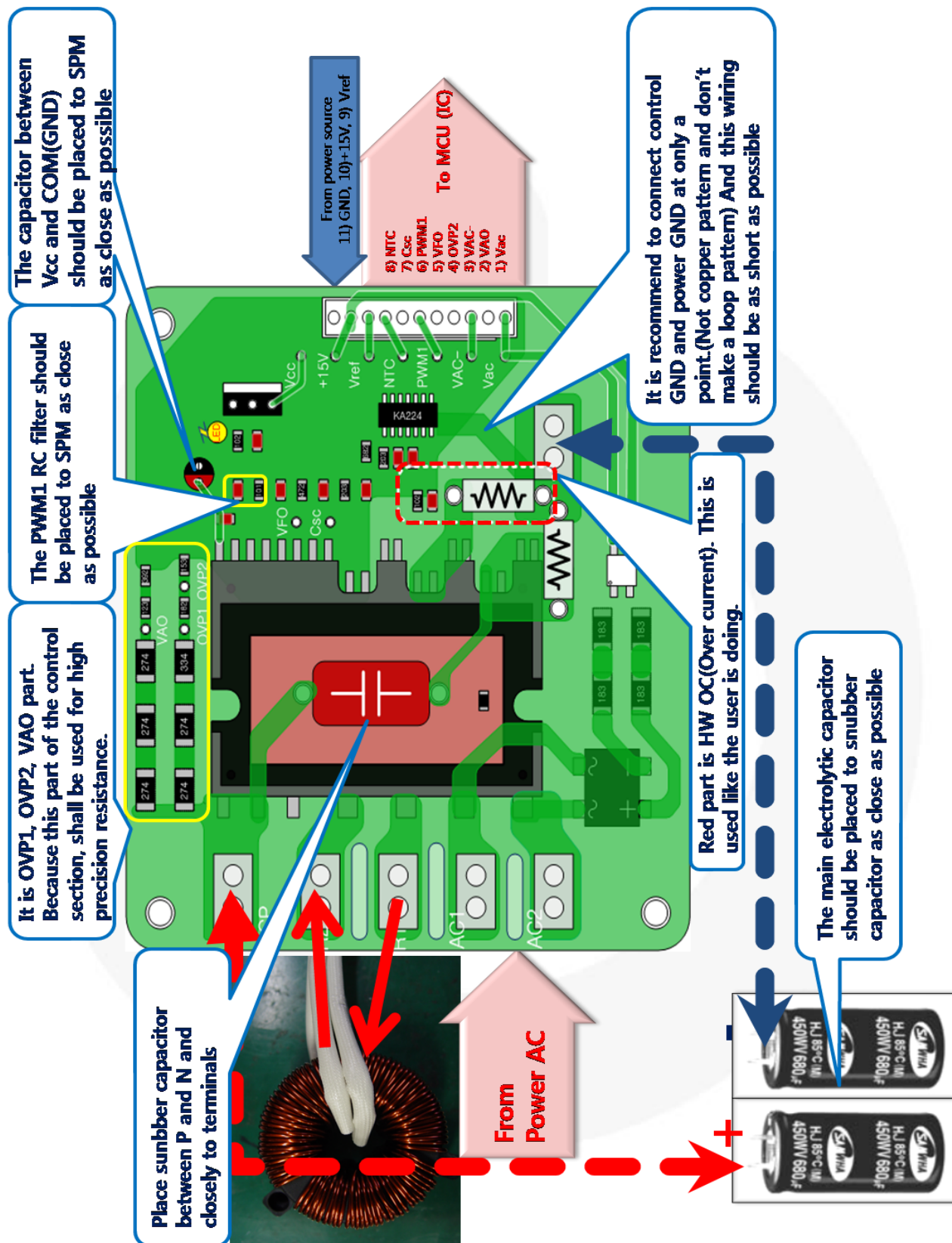


图 36. 印刷线路板 (PCB) 布局指南

实验结果

表 15.测试条件 (FPAB30BH60B)

项目	条件
V_{DC}	15 V
V_{AC}	172 V / 268 V
V_{PN}	目标电压380 V
电流 (仿真结果)	30 A峰值 ($T_C < 108^{\circ}C$, $T_J = 150^{\circ}C$, $V_I = 220\text{ V}$, $V_{PN} = 400\text{ V}$)
负载	电气负载
T_A	$25^{\circ}C$
开关 f_{SW}	22 kHz
分流电阻	10 mΩ, OCP电平50 A
温度更低	未使用
缓冲电容	薄膜电阻105

测试结果

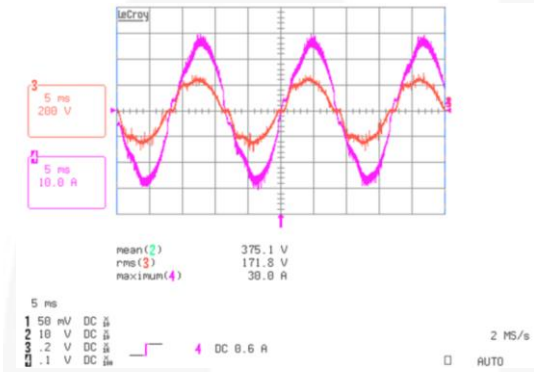


图 37. 输入交流171.8 V，输出直流30 A峰值，
直流链路375 V (CH3: 输入电压[200 V/div],
CH4: 输入电流[10 A/div])

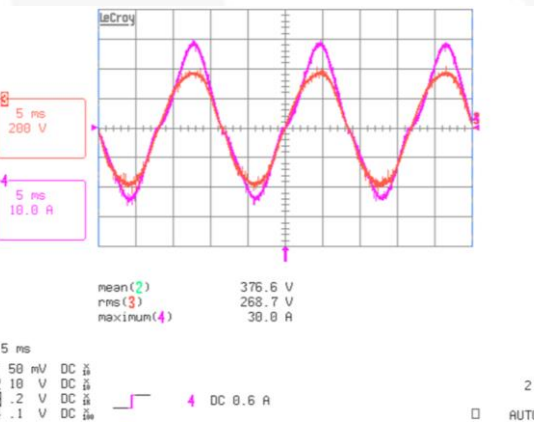


图 38. 输入交流268.7 V，输出直流30 A峰值，
直流链路376.6 V (CH3: 输入电压[200 V/div],
CH4: 输入电流[10 A/div])

表 16.测试结果 (FPAB30BH60B)

波形	V_{AC} [V _{RMS}]	V_{PN} [V]	f_{SW} [kHz]	T_A [$^{\circ}C$]	T_C [$^{\circ}C$]
图 37	171.8	375.0	22.0	25.0	76.8
图 38	268.7	376.6	22.0	25.0	64.8

附录测试

必须使用外部反并联二极管，防止空载和零开关条件时产生负 V_{CE} 电压；否则，升压PFC SPM[®] 3系列可能会由于重复反向雪崩而损坏。

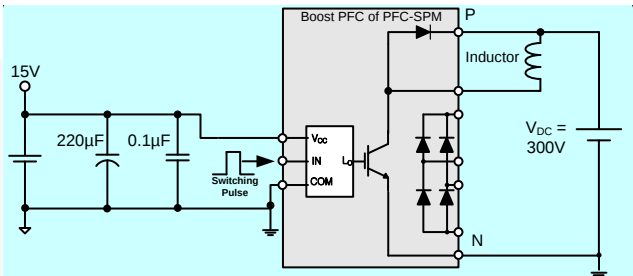


图 39. 无反并联二极管的电路

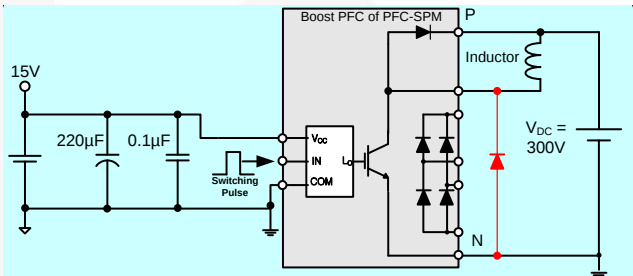


图 40. 带反并联二极管的电路

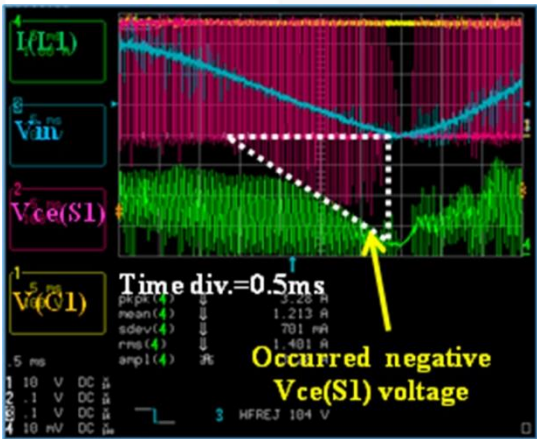


图 41. 无反并联二极管

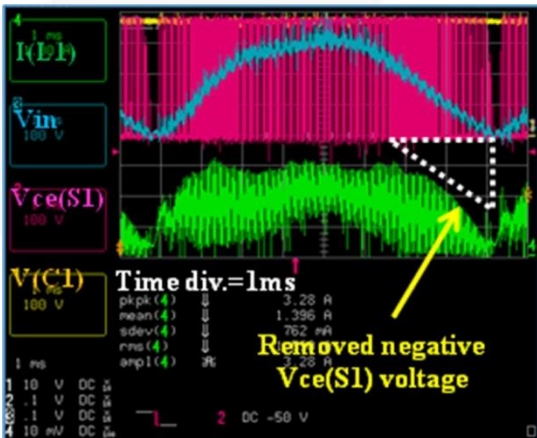


图 42. 带反并联二极管 (FRD 600 V 1A)

相关资源

[FPAB30BH60B – PFC SPM 3系列版本2, 用于单相升压PFC](#)

[FPAB20BH60B – PFC SPM 3系列版本2, 用于单相升压PFC](#)

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.

ON Semiconductor and  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