



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-9070

采用 SPM45H 封装的智能功率模块 Motion SPM® 产品

目录

目录	1
简介	2
设计理念	2
SPM45H 封装技术	2
功率器件	2
IGBT	2
FRDs	5
栅极驱动 IC (HVIC, LVIC)	6
HVIC	6
LVIC	6
封装	6
外形和引脚说明	7
外形图	7
输入与输出引脚说明	11
内部电路	13
订购信息	13
关键参数设计指南	14
短路电流保护 (SCP)	14
内部延时的时间常数	16
软关断	17
故障输出电路	19
欠压闭锁保护 (UVLO)	20
输入信号电路 ($V_{IN(H)}$, $V_{IN(L)}$)	21
自举电路设计	22
自举电路的工作原理	22
自举电容的初次充电	22
自举电容的选型	24
自举电容的计算范例	24
内置自举二极管	25
NTC 热敏电阻电路 (监测 T_c)	26
常见应用电路示例	30
印刷线路板 (PCB) 布局指南	31
封装规格	32
相关资源	34

简介

本应用指南仅支持采用 SPM45H 封装的 Motion SPM® 产品。产品应与 Motion SPM 产品数据表、飞兆 SPM 参考设计 ([RD-344](#) 和 [RD-345](#)) 以及[相关应用指南 \(AN-9071: 热性能信息](#)和[AN-9072: 安装指南](#)) 共同使用。

设计理念

采用 SPM45H 封装的 Motion SPM 产品的关键设计目标就是创造改进可靠性的封装最小且功耗最低的模块。它的实现采用了新型三位一体的 HVIC (栅极驱动高压集成电路)、先进硅技术的新型 IGBT 以及改进陶瓷衬底基部压铸模封装技术。与现有 SPM3 封装相比, 这种新型 SPM45H 封装使得模块体积减少 40%, 并大大提升了可靠性。

第二个重要的设计优势在于其产品系列专注于具体的应用领域。SPM45H 封装的 Motion SPM 产品的目标应用场合为由逆变器供电的家用电器电动机传动系统, 包括空调、洗衣机、电冰箱和风机。

FNA4XX60X Motion SPM 专注于低开关频率 (低于 5kHz) 的应用场合, 例如电冰箱和空调, 得益于采用低 $V_{CE(SAT)}$ 的 IGBT。

FNB4XX60X Motion SPM 专注于高开关频率 (高于 5kHz) 的应用场合, 例如洗衣机、洗碗机和风机传动系统, 得益于采用低开关损耗 ($E_{SW(ON)}$ 和 $E_{SW(OFF)}$) 的 IGBT/FRD。客户可以挑选最能满足设计规格模块产品。

第三个设计优势在于集成有 NTC 热敏电阻, 可以测量处于相同衬底上的功率芯片温度, 例如 IGBT 和 FRD。由于温度对质量、可靠性、寿命提升都有影响, 大多数客户都想掌握功率芯片的精确温度。鉴于模块内部的集成功率芯片 (如 IGBT、FRD) 工作在高压条件下, 因此这种愿望受到一定限制。外部 NTC 热敏电阻可以用来检测模块温度或散热器温度, 无需直接检测功率芯片温度。虽然这种方法不能精确地反应功率元件的温度, 但也是一种简单、低成本的解决方案。鉴于 SPM45H 封装的 NTC 热敏电阻与功率芯片一同集成在陶瓷衬底上, 因此可以更加精确地测量功率芯片的温度。

详细特征与集成功能包括:

- 超小封装尺寸 (WxD: 39mmx23mm), 用于三相逆变桥模块
- 先进硅技术 IGBT 与 FRD, 具有低功耗和高强度
- 内置 NTC 热敏电阻, 用于检测功率芯片温度
- 内置自举二极管和独立 VS 引脚, 便捷的 PCB (印刷电路板) 布局
- 600V/5A 至 20A 额定值, 统一封装 (机械布局相同)
- 先进陶瓷衬底压铸模封装, 带来高可靠性
- 三相 IGBT 逆变桥, 包括门极驱动与保护的 IGBT
 - 高端: 针对控制电压的 UVLO (欠压闭锁) 保护, 没有故障输出信号 (V_{FO})
 - 低端: UVLO (欠压闭锁) 保护与 SCP (短路电流保护) 通过外部分流电阻, 具有故障输出信号 (V_{FO})
- 保护功能执行中的软关断功能
- 内置 HVIC, 提供单电源供电和无光耦接口
- 驱动 IC (HVIC/LVIC) 具有最小待机电流, 满足能量规范
- 高电平有效输入信号逻辑, 彻底解决了 V_{CC} (控制电源电压) 与信号输入之间的开机和关机顺序限制, 能够提供故障-安全运行, 适应 Motion SPM 产品与 3.3V MCU 或 DSP 之间直接连接, 无需附加额外顺序逻辑
- 鉴于最小封装尺寸, 隔离电压额定值为 2000V_{rms}, 持续一分钟

SPM45H 封装技术

功率器件

SPM45H 封装性能的改进主要是三相逆变器电路中功率器件 (比如 IGBT 和 FRD) 技术进步的结果。设计目标在于降低功率损耗并提高功率器件的电流密度。

IGBT

SPM45H 封装凝聚了飞兆半导体的最新技术。凭借先进 NPT (非穿通型) 技术的 IGBT, 该封装拥有合适的 SOA (安全工作区), 适用于每一种电动机控制应用, 同时显著地降低了通态导通损耗或通/断损耗。

对于 FNA4XX60X 系列, 为获得较低的 $V_{CE(SAT)}$, 牺牲了关断功耗 ($E_{SW(OFF)}$, IGBT 关断损耗), 在 $V_{CE(SAT)}$ (集电极-发射极) 与 $E_{SW(OFF)}$ 之间做出了折衷处理。

对于 FNB4XX60X 系列, 通过最大化增加现有 NPT IGBT 的开关速度, 降低了通/断损耗 ($E_{SW(ON)}$, $E_{SW(OFF)}$)。

表 1和图 1显示出，与先前的 PT（穿通型）IGBT 和 NPT（非穿通型）IGBT 相比，FNA4XX60X 系列的先进 NPT IGBT 的芯片尺寸几乎降低 30%，同时具有相同的 DC 性能。这种改进的硅技术允许芯片尺寸为缩减，同时性能保持不变。与 NPT IGBT 相比，这种先进 NPT IGBT 的开关损耗（尤其指关断损耗）增加 60%。

因此 FNA4XX60X 系列（应用先进 NPT IGBT）主要应用在低开频率的场合，例如空调和电冰箱。

表 1. 集电极-发射极饱和电压与 IGBT 开通/关断损耗

IGBT	芯片尺寸 [pu]	V _{CE(SAT)} [V], 需 I _c =10A, V _{GE} =15V		E _{SW(OFF)} [μJ], I _c =10A, V _{GE} =15V	
		T _J =25°C	T _J =125° C	T _J =25° C	T _J =125° C
PT IGBT 10A	1.3	1.90	2.00	520	760
NPT IGBT 10A	1.3	1.60	1.85	240	330
先进 NPT IGBT 10A	1.0	1.60	1.75	360	580

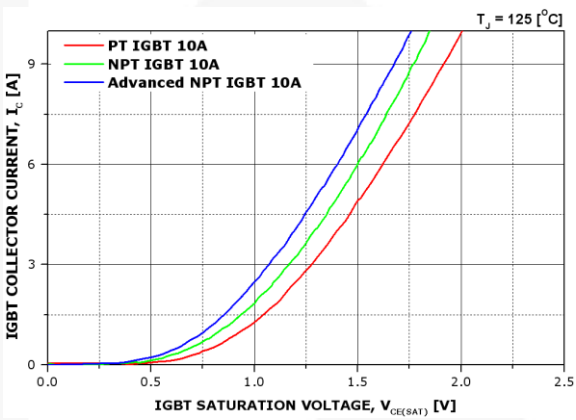
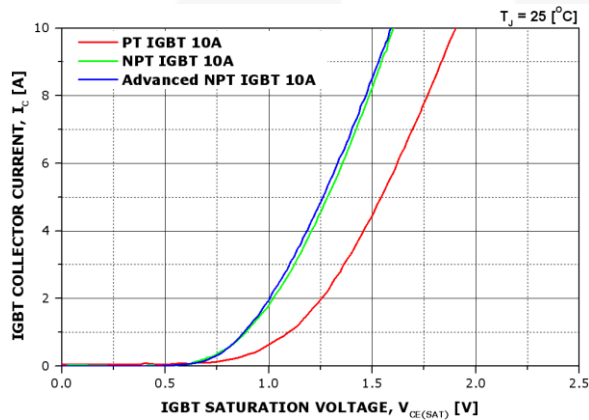


图 1. 各种 IGBT 的典型 V_{CE(SAT)}（集电极-发射极电压）比较

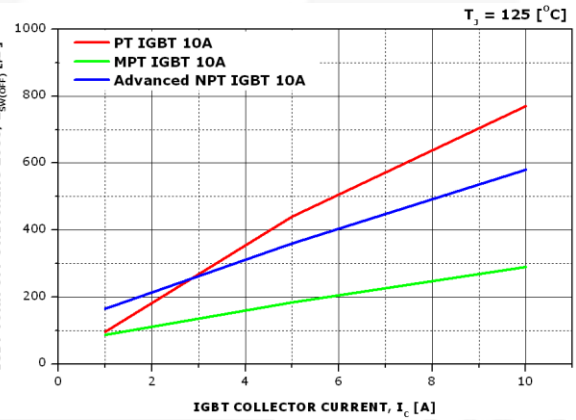
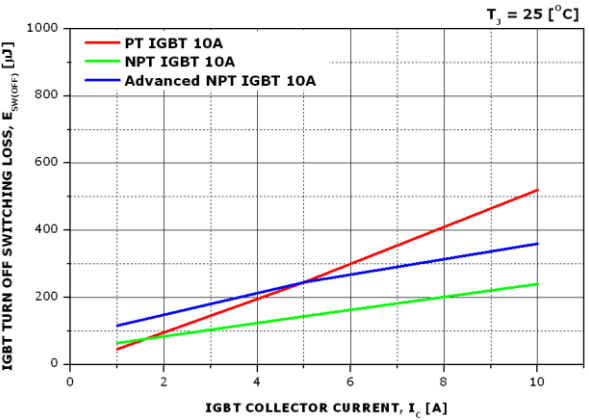


图 2. 各种 IGBT 的典型关断损耗（T_J=25° C, 125° C）比较

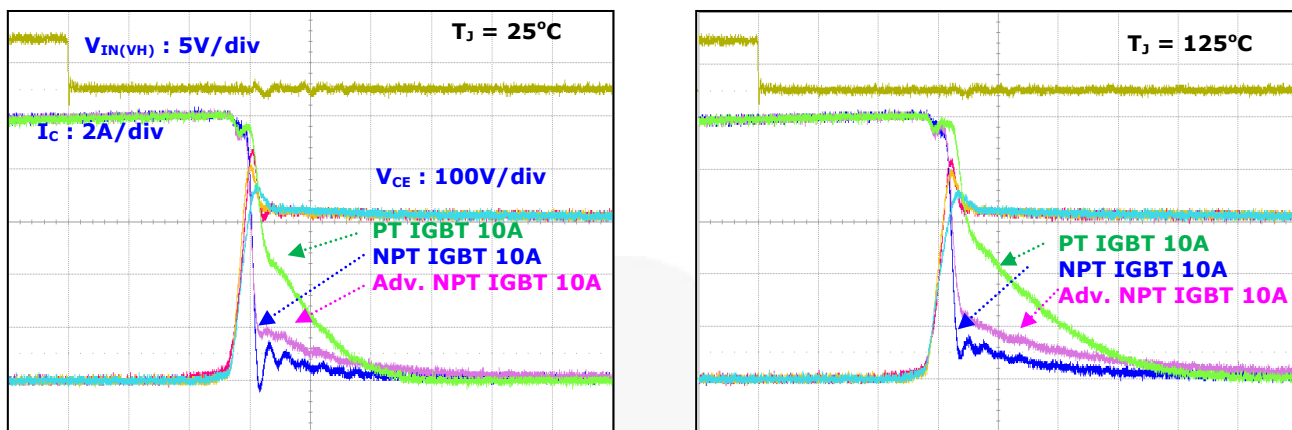


图 3. 先进 NPT IGBT 与现有 IGBT 的关断波形

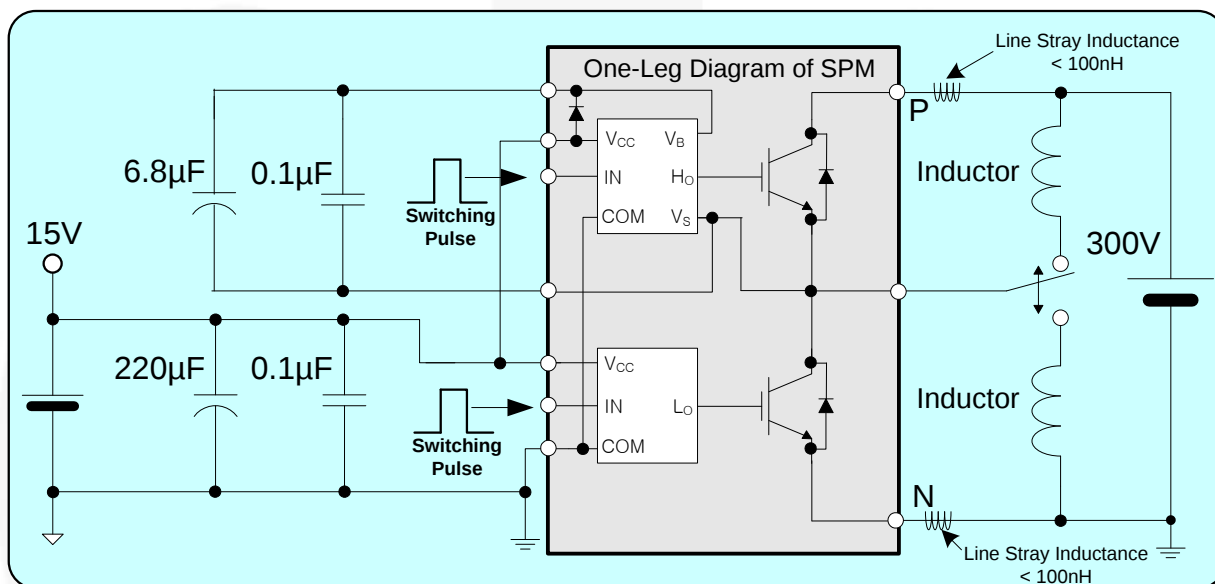
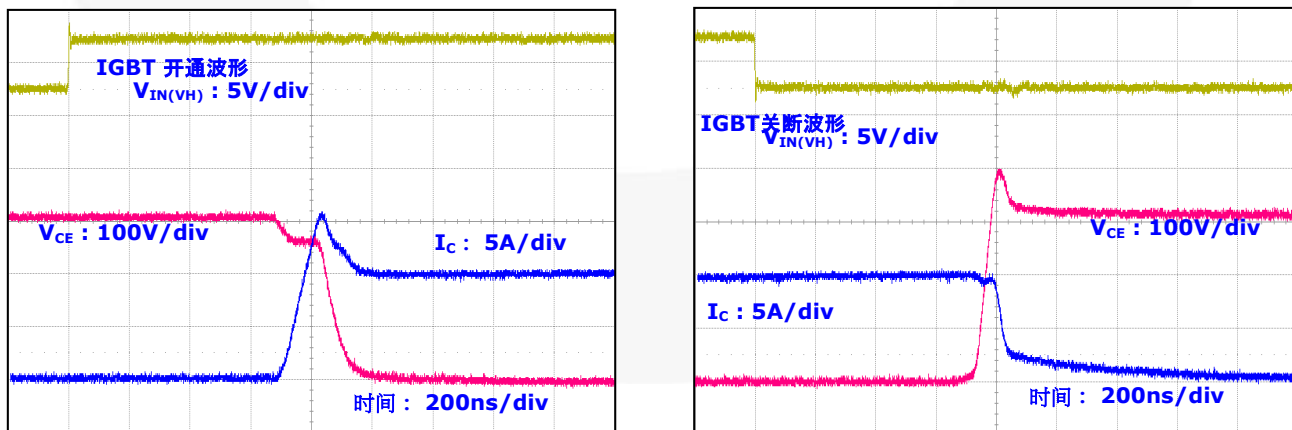


图 4. IGBT 开关测试电路图

(开关条件: $V_{DC}=300\text{V}$, $V_{GS}=15\text{V}$, $C_{VBS}=6.8\mu\text{F}$, $C_{VCC}=220\mu\text{F}$, 总杂散电感 $L<200\text{nH}$)

图 5. $T_J=125^\circ\text{C}$ 时 FNA41060 典型开通、关断波形

FRDs

FRD 应用一种先进的STEALTH™ 二极管，具有较低的正向导通压降和较高的击穿电压以及软恢复特性。

先进的 STEALTH 二极管已经优化，可在高频率的硬开关应用中实现低损耗性能。

在典型的工作条件下，先进 STEALTH™ 二极管具备较低的反向恢复电流 ($I_{RM(REC)}$) 和出色的软恢复能特性。

表 2与采用现有 SPM3 封装的现有超快速二极管相比，给出了采用SPM45H封装的先进 STEALTH™ 二极管的性能优势。

表 2. 超高速二极管与先进STEALTH™二极管的特性比较

	测试条件 ($T_J=125^{\circ}\text{C}$)	t_{rr} [ns]	t_a [ns]	t_b [ns]	软恢复系数	I_{rr} [A]
超快速二极管	$I_F=1\text{A}$, $dI_F/dt=100\text{A}/\mu\text{s}$, $V_R=30\text{V}$	170.23	54.52	115.71	2.12	0.77
	$I_F=15\text{A}$, $dI_F/dt=100\text{A}/\mu\text{s}$, $V_R=390\text{V}$	147.44	52.75	94.69	1.80	5.43
先进 STEALTH™ 二极管	$I_F=1\text{A}$, $dI_F/dt=100\text{A}/\mu\text{s}$, $V_R=30\text{V}$	168.54	49.09	119.45	2.43	0.67
	$I_F=15\text{A}$, $dI_F/dt=100\text{A}/\mu\text{s}$, $V_R=390\text{V}$	188.25	45.44	142.81	3.14	4.40

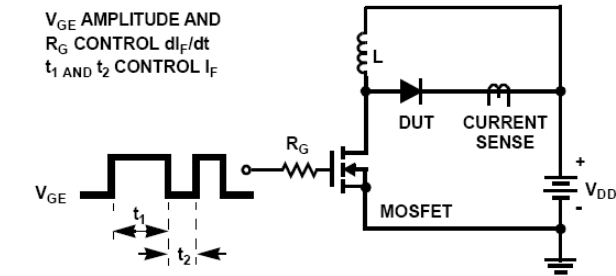


图 6. t_{rr} 测试电路

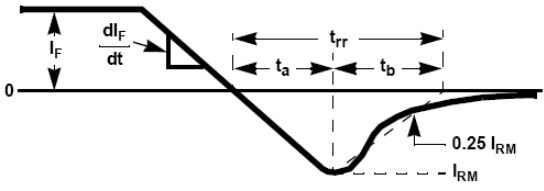


图 7. t_{rr} 波形和定义

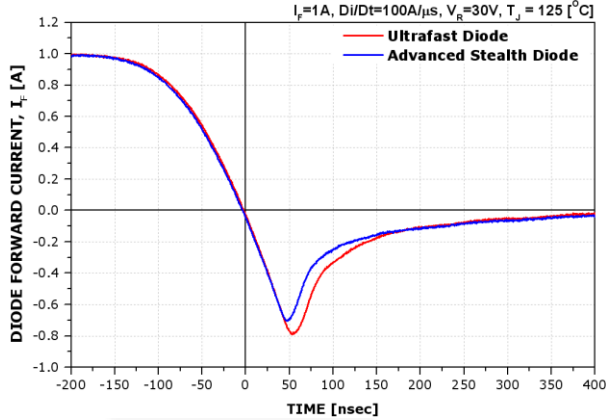


图 8. 超高速二极管与先进Stealth™二极管的RR波形比较

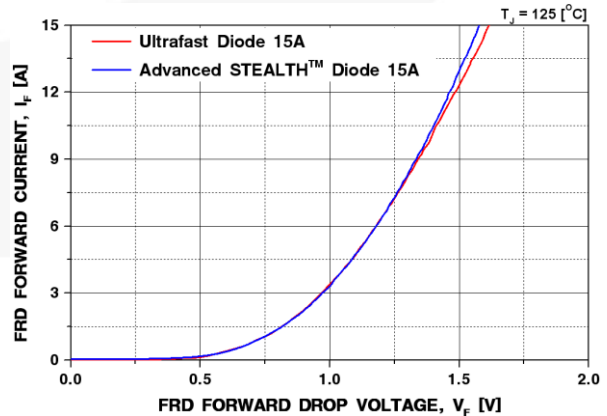
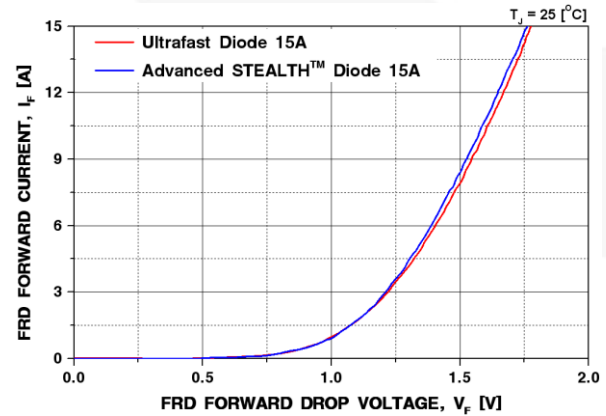
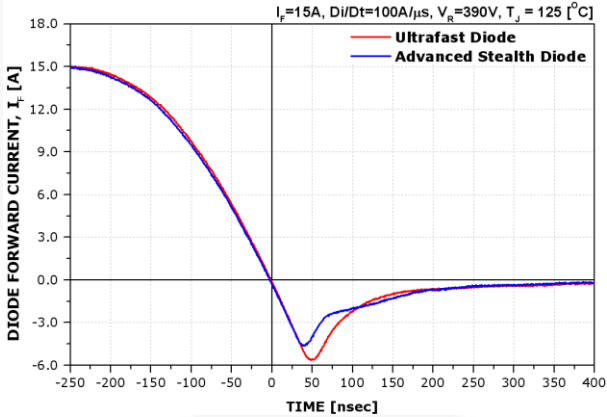


图 9. FRD 的典型 V_F （正向压降）比较

栅极驱动 IC (HVIC, LVIC)

HVIC (栅极驱动高压集成电路) 与 LVIC (栅极驱动低压集成电路) 的设计, 仅仅拥有小功率逆变器驱动所要求的最小功能需求。

HVIC

这种 SPM45H 封装中三位一体的 HVIC 包括三个 HVIC 功能, 优化了封装设计。HVIC 具有内置的高压电平转移功能, 允许以地电平参考的 PWM 信号直接发送到 Motion SPM 产品的高端 IGBT 栅极电路, 无光耦接口, 并简化了系统设计。HVIC 具有针对 V_{BS} 的内置 UVLO (欠压闭锁) 保护。由于自举电荷泵电路连接到 Motion SPM 的低端 V_{CC} 偏置电路, 高端栅极驱动电源可以从一个以控制地为参考的 15V 控制电源获得。由于在逆变器系统中要求使用传统的电源模块, 对于高端 IGBT 栅极驱动来说, 无需使用隔离的三个电压源。在 HVIC 技术领域取得的最新进展, 包括晶圆技术的引入, 使得芯片得以缩小。HVIC 的逻辑输入兼容标准的 3.3/5.0V CMOS/LSTTL 输出。HVIC 高压工艺和共模噪声消除技术可使高端驱动器在高 dv/dt 噪声环境下稳定运行。所有的 HVIC 均具有失效预防功能, 例如 dv/dt 过高引起的闭锁问题。

LVIC

这种新型 SPM45H 封装中的 LVIC 具有较低的待机电流和 LVIC 的逻辑输入, 兼容标准的 3.3/5.0V CMOS/LSTTL 输出。该 LVIC 具有针对 V_{CC} 的内置 UVLO (欠压闭锁) 和 SCP (短路电流保护), 还拥有针对内部功率器件的 OCP (过流保护)。

封装

由于散热是限制功率模块的电流能力的一个重要因素, 因此在确定 SPM45H 封装性能方面, 散热特性是至关重要的。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优化封装尺寸方面取得的成就, 同时拥有杰出的散热特性, 但是没有削弱绝缘等级。

在 SPM45H 封装中, 技术得到了开发, 具有良好散热特性的裸陶瓷直接附接在引线框架上。该技术已经在 SPM3 中得到了应用, 但是通过采用新型粘附方法, 该技术得以改进。这使得改进可靠性和散热能力成为可能, 同时保持成本效益。

图 10 给出了 SPM45H 封装的外形和剖面。

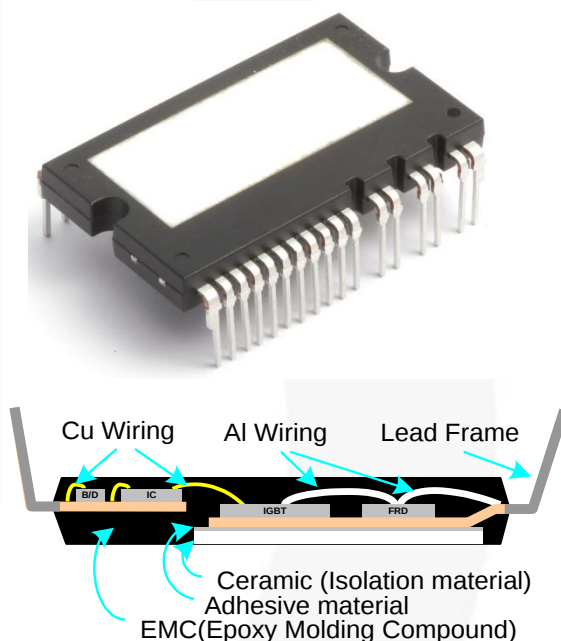


图 10. SPM45H 封装的垂直结构

外形图

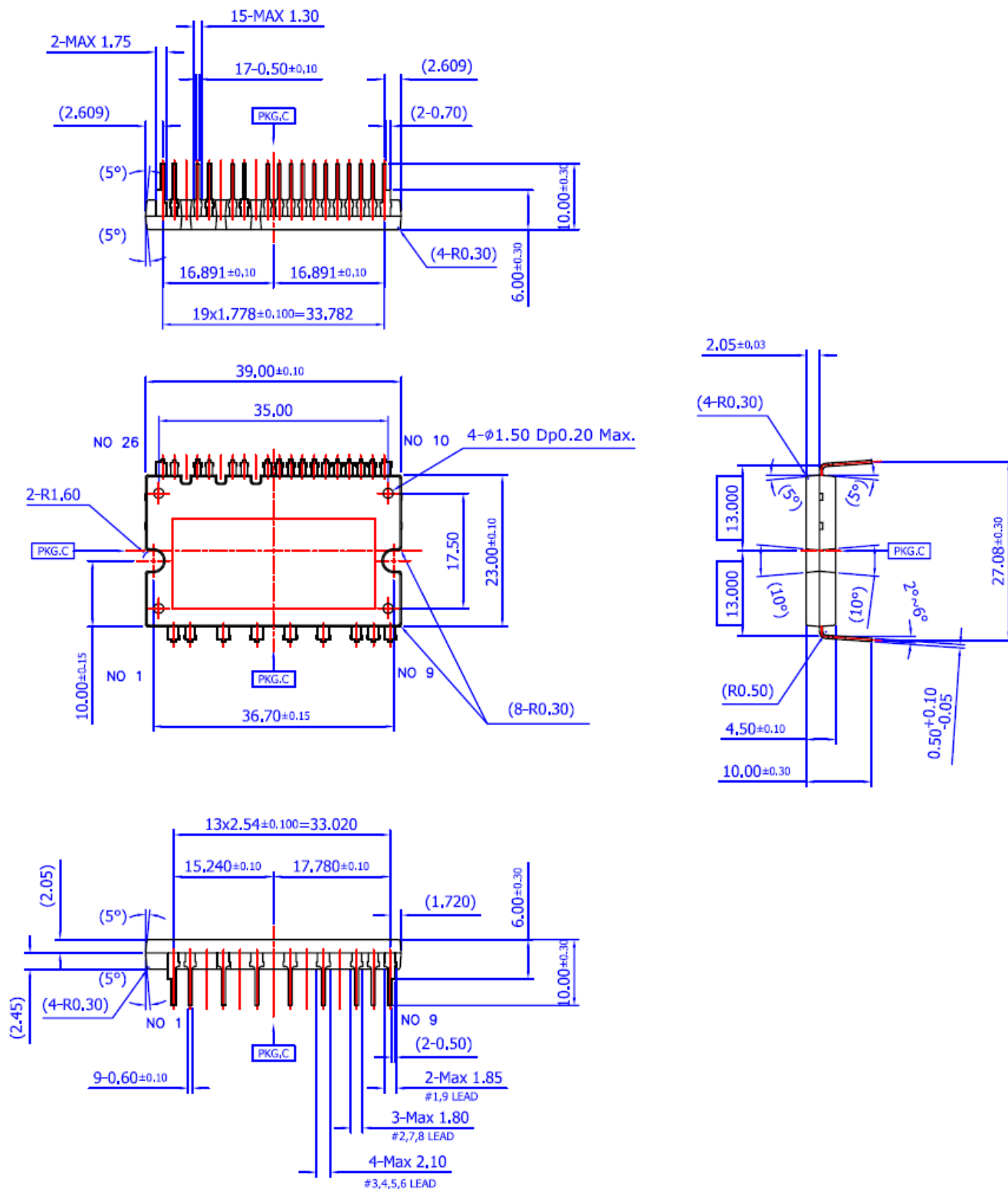


图 11. SPM26-AAA, 短引线与标准成型选项

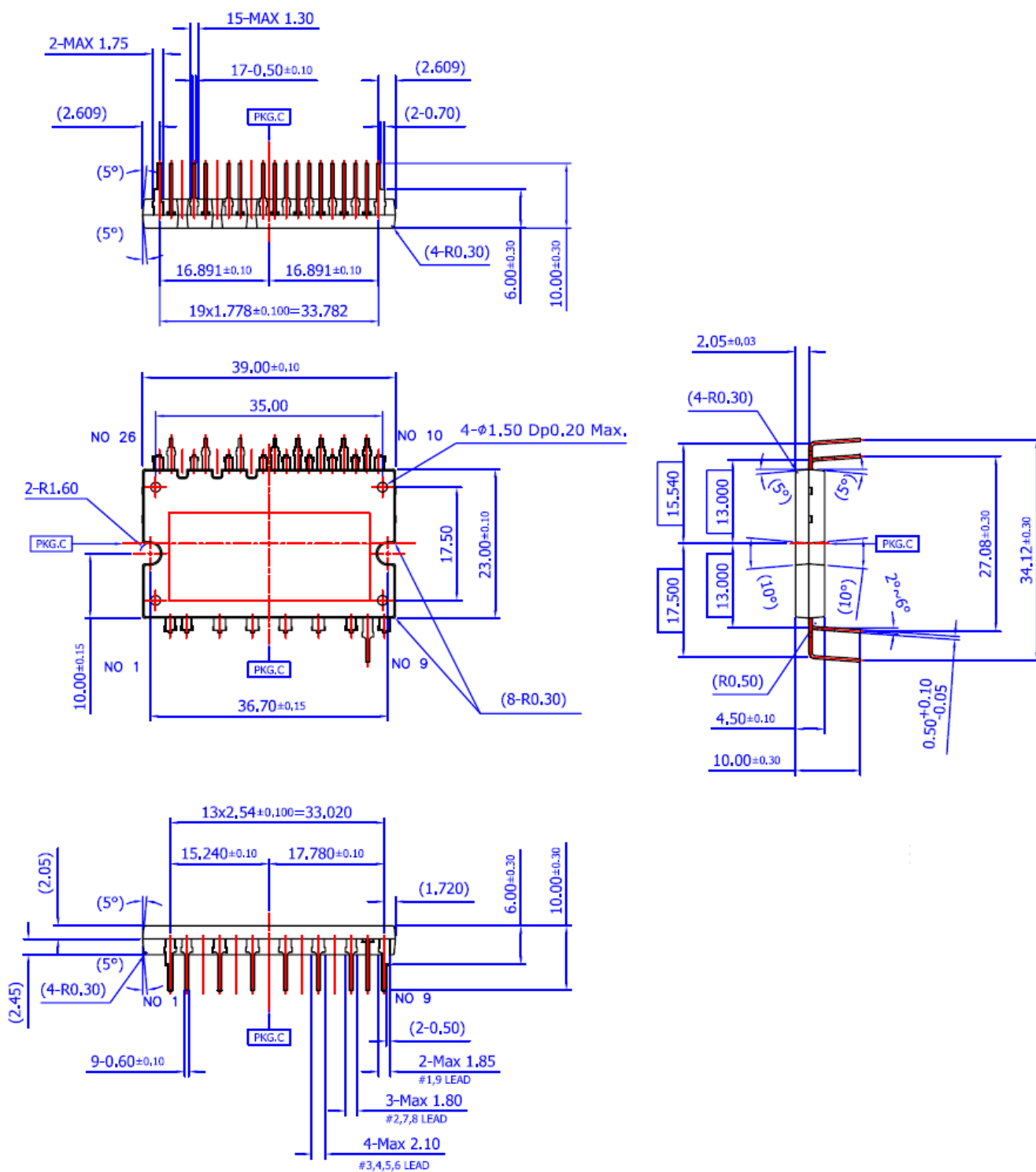


图 12. SPM26-AAB, 短引线以及信号与 N 端子双成型选项

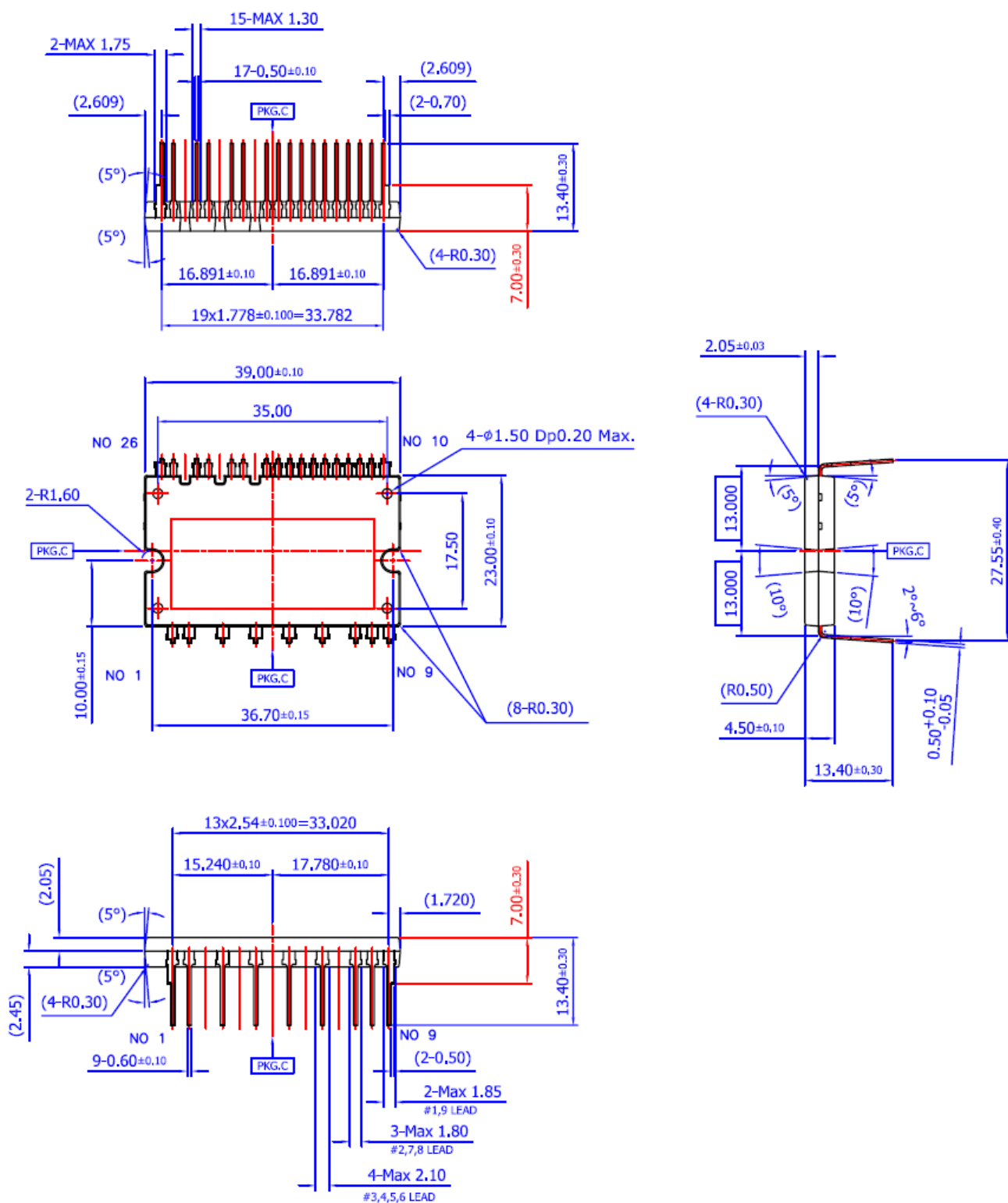


图 13. SPM26-AAC, 长引线 and 标准成型选项

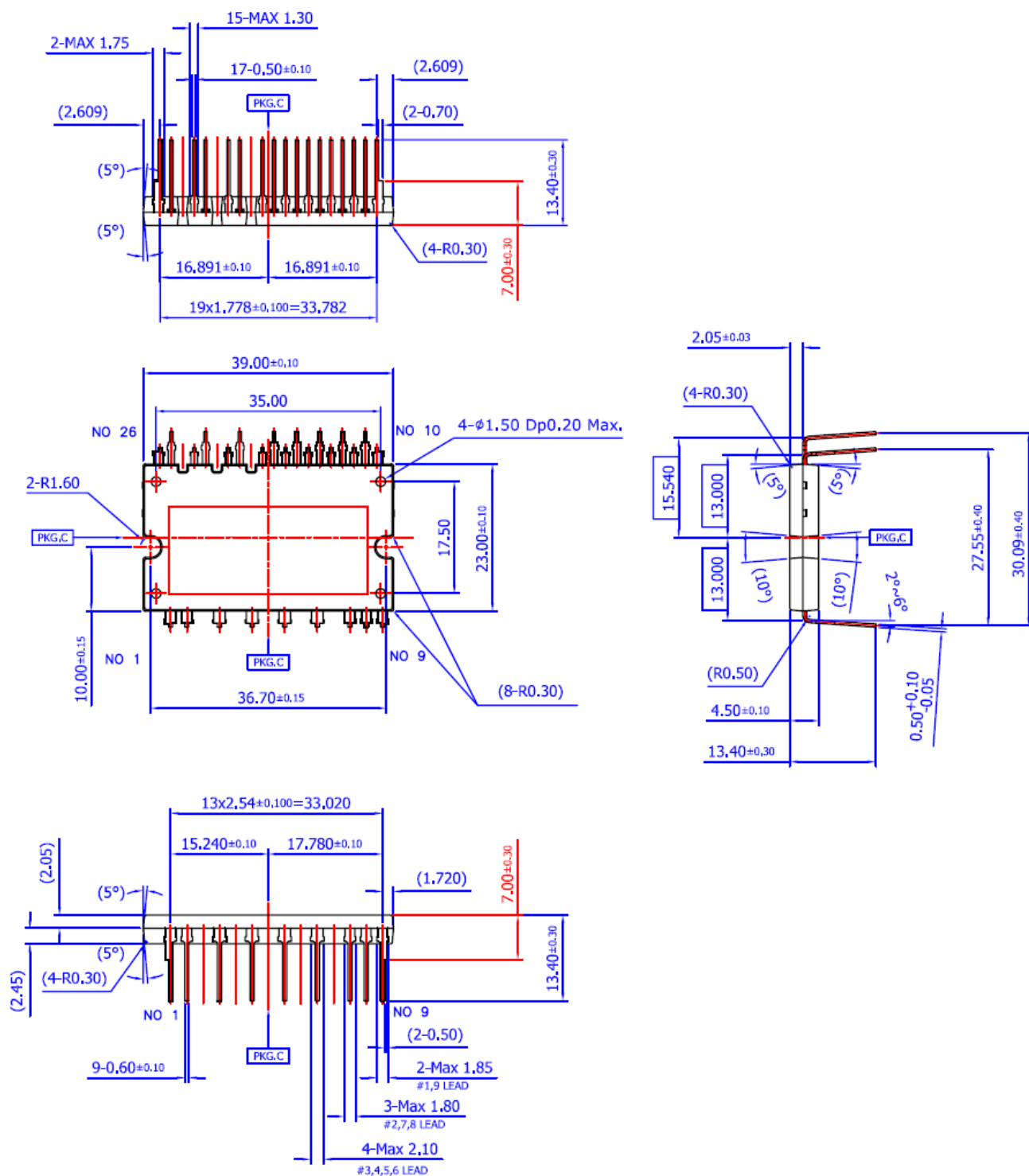


图 14. SPM26-AAD, 长引线以及信号与N端子双成型选项

输入与输出引脚说明

表 3中定义了 SPM45H 封装的 Motion SPM 产品的输入与输出引脚。

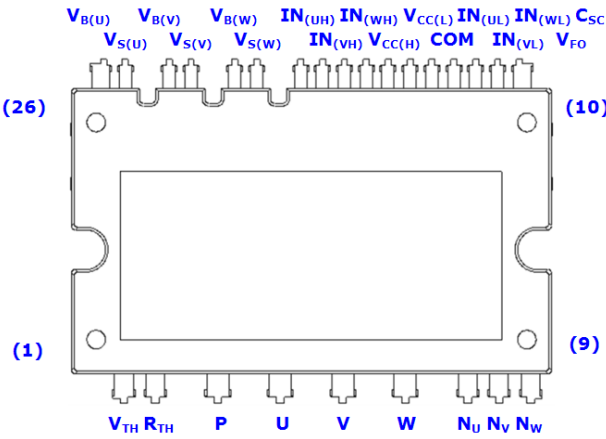


图 15. 引脚布局

表 3. 引脚描述

引脚号	名称	引脚描述
1	V_{TH}	热敏电阻偏压
2	R_{TH}	用于热敏电阻（温度检测）的串连电阻
3	P	直流正端
4	U	U相输出
5	V	V相输出
6	W	W相输出
7	N_U	U 相的直流环节负极
8	N_V	V 相的直流环节负极
9	N_W	W 相的直流环节负极
10	C_{SC}	短路电流感测输入电容（低通滤波器）
11	V_{F0}	故障输出
12	IN(WL)	低端 W 相的信号输入
13	IN(VL)	低端 V 相的信号输入
14	IN(UL)	低端 U 相的信号输入
15	COM	电源（公共）地
16	$V_{CC(L)}$	IC 和 IGBT 驱动的低端公共偏压
17	$V_{CC(H)}$	IC 和 IGBT 驱动的高端公共偏压
18	IN(WH)	高端 W 相的信号输入
19	IN(VH)	高端 V 相的信号输入
20	IN(UH)	高端 U 相的信号输入
21	$V_{S(W)}$	W 相 IGBT 驱动的高端偏压的地
22	$V_{B(W)}$	W 相 IGBT 驱动的高端偏压
23	$V_{S(V)}$	V 相 IGBT 驱动的高端偏压接地

引脚号	名称	引脚描述
24	$V_{B(V)}$	V 相 IGBT 驱动的高端偏压
25	$V_{S(U)}$	U 相 IGBT 驱动的高端偏压接地
26	$V_{B(U)}$	U 相 IGBT 驱动的高端偏压

IGBT 驱动的高端偏压引脚/IGBT 驱动的高端偏压接地引脚

►引脚： $V_{B(U)}-V_{S(U)}$, $V_{B(V)}-V_{S(V)}$, $V_{B(W)}-V_{S(W)}$

- 为高端 IGBT 提供栅极驱动功率的驱动电源引脚。
- 自举电路方案的优点在于驱动高端 IGBT 无需额外外部电源。
- 在低端 IGBT 导通时， V_{CC} 向同桥臂自举电容充电。
- 为了防止电源电压的噪声和纹波引起的故障，高品质（低 ESR，低 ESL）滤波电容应该就近安装在这些引脚处。

低端偏压 引脚/高端偏压 引脚

►引脚： $V_{CC(L)}$, $V_{CC(H)}$

- 内置 IC 的电源控制引脚。
- 这两个引脚应该在外部接线。
- 为了防止电源电压的噪声和纹波引起的故障，高品质（低 ESR，低 ESL）滤波电容应该就近安装在这些引脚处。

低端公共接地引脚

►引脚： COM 之间

- Motion SPM 产品公共引脚需要连接到内部 IC 的控制接地。
- **重要！** 为了避免噪声影响，不允许主功率电路的电流涌入该引脚。

信号输入引脚

►引脚: $IN_{(UL)}$, $IN_{(VL)}$, $IN_{(WL)}$, $IN_{(UH)}$, $IN_{(VH)}$, $IN_{(WH)}$

- 这些引脚负责控制内置 IGBT 的工作。
- 接受电压输入信号被激活。在内部这些端子连接到由 5V 级别的 CMOS 构成的施密特触发器电路。
- 引脚的逻辑信号为高电平有效。当一个足够的逻辑电压施加到这些引脚时, 相应 IGBT 将会开通。
- 每路输入的布线应该尽可能短, 以便保护 Motion SPM 产品免于噪声影响。
- 为了防止信号振荡, 推荐采用如图 32 所示的 RC 耦合。

短路电流检测引脚

►引脚: C_{SC}

- 检测短路电流时, 检流电阻应该连接在引脚 C_{SC} 前的低通滤波器和低端地 COM 之间 (参考图 20)。
- 分流电阻必须与应用场合的检测电流水平相匹配。RC 滤波器应连接至 C_{SC} 引脚以消除噪声。
- 应尽量缩短引脚 C_{SC} 与分流电阻之间的连线长度。

故障输出引脚

►引脚: V_{FO}

- 故障输出报警引脚。当 SPM 处于故障状态时, 该引脚被置于有效低电平。
- 报警条件指 SCP (短路电流保护) 或低端偏置 UVLO (欠压闭锁) 动作。
- V_{FO} 输出属于开漏配置。 V_{FO} 信号线通过大约 4.7k Ω 的电阻上拉到 5V 的逻辑电源。

热敏电阻偏压

►引脚: V_{TH}

- 该引脚为内部热敏电阻的偏压引脚。该引脚应该连接到 5V 逻辑电源。

用于热敏电阻 (温度检测) 的串连电阻

►引脚: R_{TH}

- 用于壳体温度 (T_c) 检测, 该引脚应该连接到一个外部串联电阻。
- 外部串联电阻的选型应该与特定应用指标相匹配 (关于细节, 参考图 42)。

直流母线电压正端引脚

►引脚: P

- 连接逆变器直流母线电压正端引脚。
- 连接到高端 IGBT 集电极的引脚。
- 为了抑制由直流环节布线或 PCB 布线电感引起的浪涌电压, 靠近该引脚连接一个平滑滤波电容 (典型地, 采用金属膜电容)。

直流连接负极引脚

►引脚: N_U , N_V , N_W

- 连接逆变器直流母线电压负端引脚 (功率地)。
- 连接到每相的低端 IGBT 发射极的引脚。

逆变器功率输出引脚

►引脚: U, V, W

- 连接逆变器负载 (比如, 电动机) 的输出引脚。

内部电路

图 16给出了 SPM45H 封装 Motion SPM 框图。说明：Motion SPM 内置有三相 IGBT 逆变器电路的功率模块、两个用于控制功能的驱动 IC、一个用于温度检测的 NTC 热敏电阻以及三个自举二极管。

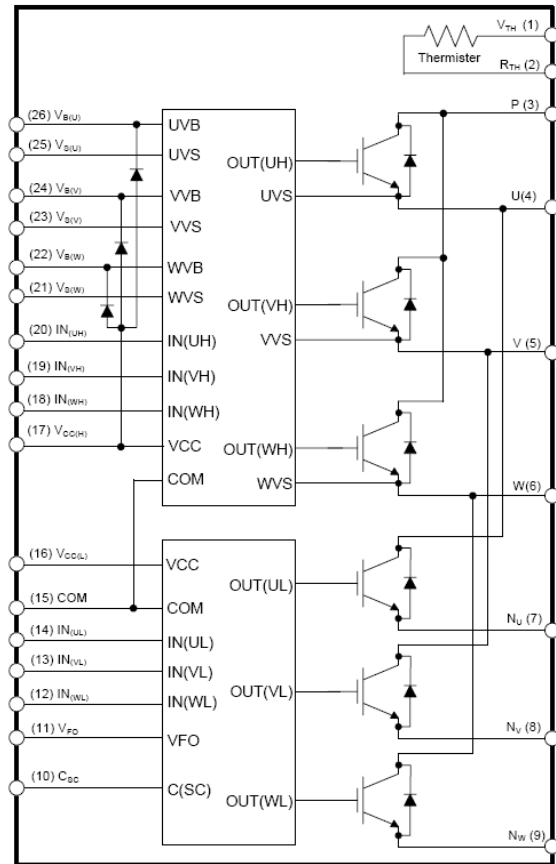


图 16. 内部框图

订购信息

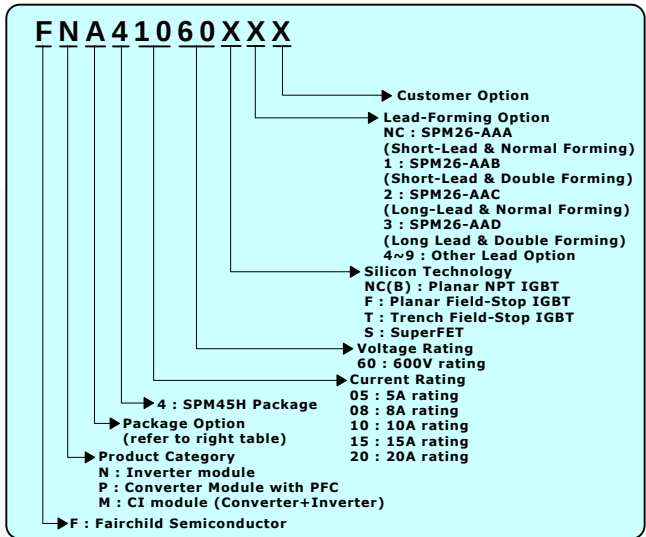


图 17. 顶部标志信息

表 4. 封装选项

后缀	基板	NTC 热敏电阻	产品选项
A	陶瓷	是	正常工作
B	陶瓷	是	快速
D	陶瓷	无	正常工作
E	陶瓷	无	快速

关键参数设计指南

短路电流保护 (SCP)

SPM45H 封装采用一个外部分流电阻, 进行短路电流保护, 如图 18所示。LVIC 具有内置短路电流保护功能, 可以检测至 C_{SC} 引脚的电压。如果该电压超过模块数据表中指定的 $V_{SC(REF)}$ (短路电流的阈值电压动作值) ($V_{SC(REF)}$ 典型值为 0.5V), 则声明一个故障信号, 所有低端 IGBT 关断。典型地, 最大短路电流幅值由栅极电压决定。较高的栅极电压 (V_{CG} & V_{BS}) 将导致较高的短路电流。为了此消除潜在问题, 最大短路电流动作取值通常设置低于 1.7 倍的集电极标称额定电流。LVIC 短路电流保护时序如图 19所示。

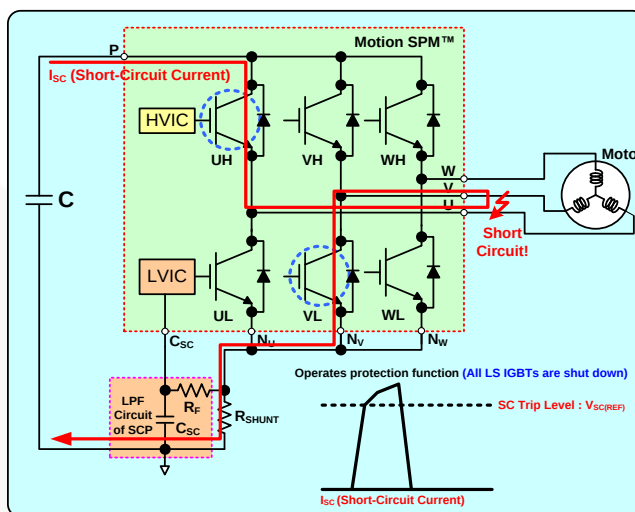


图 18. 短路电流保护的工作原理

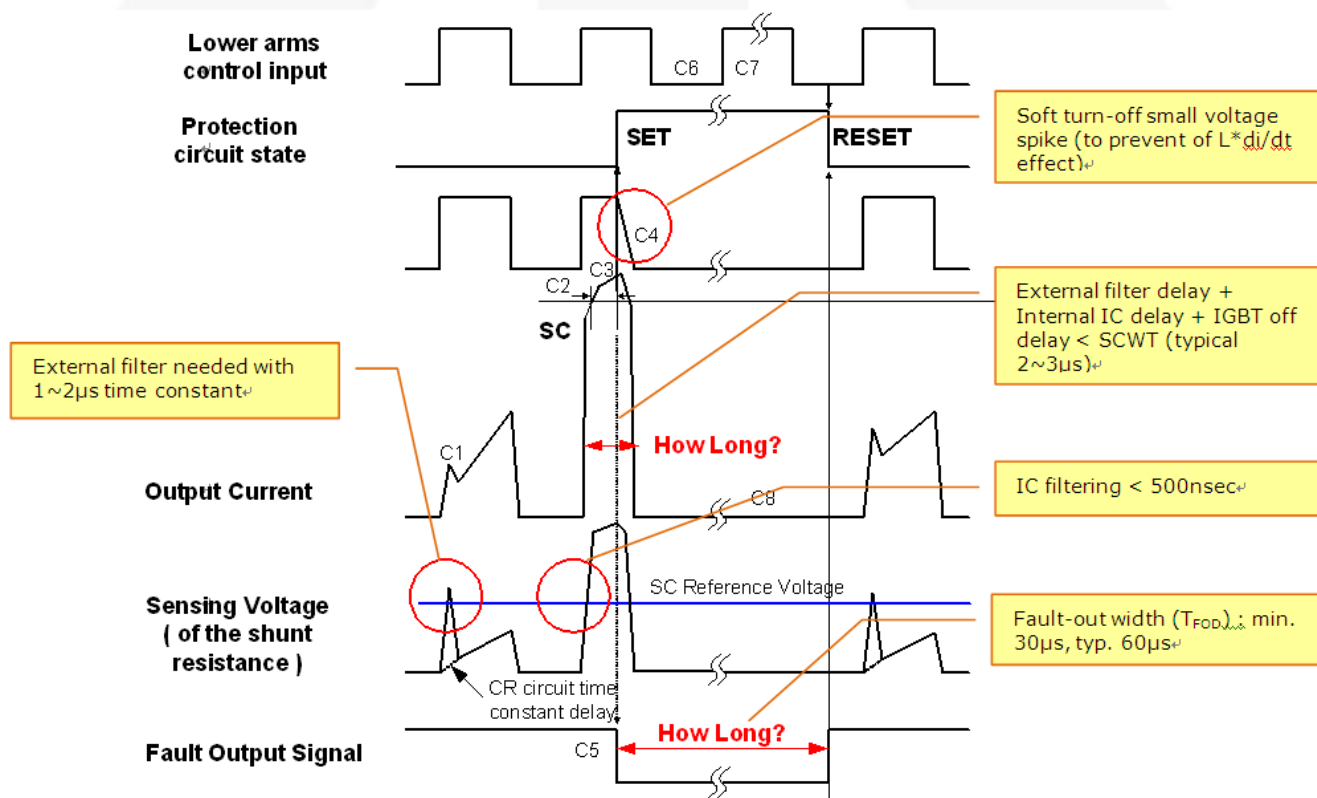


图 19. 短路电流保护功能的时序图

注意:

- C1. 正常工作: IGBT 导通并加载负载电流。
- C2. 短路电流感测 (SC 触发)
- C3. IGBT 栅极硬中断
- C4. IGBT 关断
- C5. 故障输出定时运行启动: 故障输出宽度 (t_{FOD}) = 最短 $30\mu s$
- C6. 输入 “L” IGBT 关断状态
- C7. 输入 “H”: IGBT 导通状态, 但是在故障输出有效的时间内, IGBT 不导通。
- C8. IGBT 关断状态

检流电阻的选型

图 20 给出了一个采用单检流电阻的 SC 保护电路示例。检测直流母线 N（负）端的线路电流，保护信号通过 RC 滤波器传递。如果电流超过 SC 的参考标准，N 端三相 IGBT 的所有栅极进入关断状态，F₀ 故障信号传递至 MCU。因为 SC 保护是非重复性的，所以 F₀ 故障信号输出后，IGBT 工作应该立即中断。

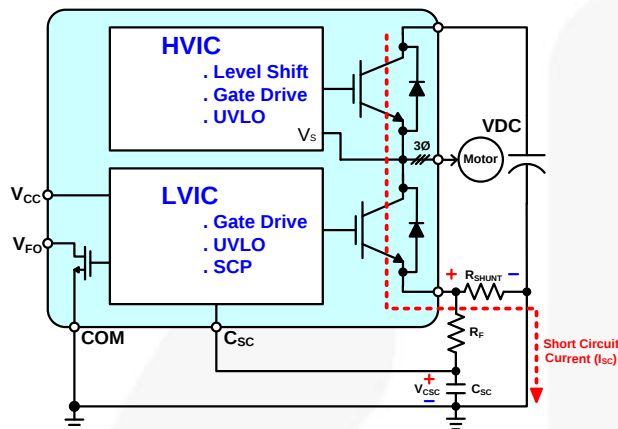


图 20. 采用单检流电阻的短路电流保护电路示例

检流电阻的阻值计算公式如下：

最大 SC 电流动作取值：

$$I_{SC(max)} = 1.5 \times I_C \text{ (额定电流)} \quad (1)$$

SC 动作参考电压：

$$V_{SC} = \text{最小值 } 0.45V, \text{ 典型值 } 0.5V, \text{ 最大值 } 0.55V \quad (2)$$

检流电阻阻值为：

$$I_{SC(max)} = V_{SC(max)} / R_{SHUNT(min)} \rightarrow R_{SHUNT(min)} = V_{SC(max)} / I_{SC(max)} \quad (3)$$

如果检流电阻的偏差被限制低于 $\pm 5\%$ ，则：

$$R_{SHUNT(typ)} = R_{SHUNT(min)} / 0.95,$$

$$R_{SHUNT(max)} = R_{SHUNT(typ)} \times 1.05$$

SEQ Equation\# "0" * MERGEFORMAT

实际 SC 动作电流取值成为：

$$I_{SC(typ)} = V_{SC(typ)} / R_{SHUNT(typ)}, \quad I_{SC(min)} = V_{SC(min)} / R_{SHUNT(max)} \quad (4)$$

检流电阻的额定功率按照如下计算公式：

$$P_{SHUNT} = (I_{RMS}^2 \times R_{SHUNT} \times \text{裕量}) / \text{降额比率} \quad (5)$$

- 逆变器的最大负载电流 (I_{RMS})
- $T_c=25^\circ\text{C}$ 时检流电阻典型值 (R_{SHUNT})
- $T_{SHUNT}=100^\circ\text{C}$ 时检流电阻的降额比率 (源自分流电阻的数据表)
- 安全裕量 (由客户选择)

检流电阻的阻值计算范例：FNA41560，检流电阻偏差： $\pm 5\%$ 。

表 5. SCP 取值 ($V_{SC(ref)}$) 的规格

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

表 6. 短路电流范围的测试 ($R_{SHUNT}=24.4m\Omega$ (min.)⁽¹⁾, $25.7m\Omega$ (典型值), $27.0m\Omega$ (最大值))

工作条件	最小值 ⁽²⁾	典型值 ⁽³⁾	最大值 ⁽⁴⁾	单位
$T_J = 25^\circ\text{C}$ 时运行 SC 取值	16.66	19.43	22.50	A

注意：

1. $R_{SHUNT(min)}: V_{SC(max)} / I_{SC(max)} = 0.55 / 22.5 = 24.4m\Omega$ 。
2. $I_{SC(min)}: V_{SC(min)} / R_{SHUNT(max)} = 0.45 / (0.0244 / 0.95 \times 1.05) = 16.66A$
3. $I_{SC(typ)}: V_{SC(typ)} / R_{SHUNT(typ)} = 0.50 / (0.0244 / 0.95) = 19.43A$
4. 最大 SC 动作取值： $1.5 \times I_C = 1.5 \times 15 = 22.5A$ 。

检流电阻的额定功率计算范例为：

- 逆变器最大负载电流 (I_{RMS}): $5A_{rms}$
- $T_c=25^\circ\text{C}$ 时检流电阻值 (R_{SHUNT}): $24.8m\Omega$
- $T_{SHUNT}=100^\circ\text{C}$ 时检流电阻的降额比率: 70% (参考图 21)
- 安全裕量: 20%

$$P_{SHUNT} = (I_{RMS}^2 \times R_{SHUNT} \times \text{裕量}) / \text{降额比率} = (5^2 \times 0.0248 \times 1.2) / 0.7 = 1.1W \quad (6)$$

这样检流电阻适当的额定功率应大于 $2.0W$ 。

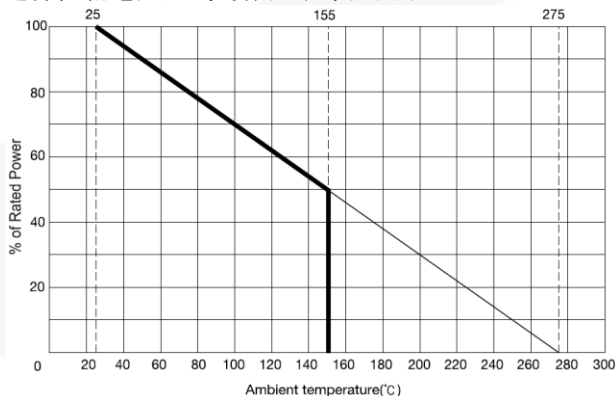


图 21. 检流线范例 (源自 ELEC.)

内部延时的时间常数

RC 滤波器（参考 R_{FCS} 图 20，如所示）的使用非常必要，可以防止与噪声相关的 SCP（短路电流保护）电路机能失常。RC 的时间常数取决于实际应用中的噪声持续时间和 Motion SPM 产品的 SCWT（短路电流耐受时间）。

如果外部检流电阻电压的跌落超过 SCP 取值，则信号通过 RC 滤波器，施加到 C_{SC} 引脚。RC 滤波器延时时间（T1）即为 C_{SC} 表 7 引脚电压上升到参考 SCP 取值所需要的时间。给出了 SCP 取值的技术指标。LVIC 具有一个内部滤波时间（抑制噪声的逻辑滤波时间：T2）。因此，在设计 V_{CSC} 的 RC 滤波器时，需要考虑到该滤波时间。

表 7. SCP 取值 ($V_{SO(ref)}$) 的规格

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

V_{IN} : 输入信号电压
 V_{CSC} : C_{SC} 引脚电压
 L_{OUT} : 低端 IGBT 的 V_{GE}
 I_{SC} : 短路电流
 V_{FO} : V_{FO} 引脚电压

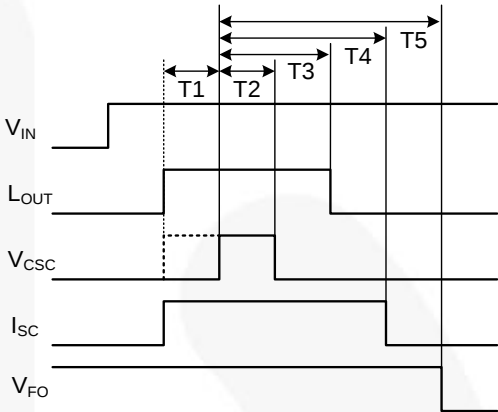


图 22. 时序图

注意：
T1: V_{CSC} 的 RC 滤波器的滤波时间
T2: C_{SC} 的滤波时间。如果 V_{CSC} 宽度小于 T2，SCP 不操作。
T3: C_{SC} 触发至栅极电压下降之间的延时
T4: C_{SC} 触发至短路电流之间的延时
T5: C_{SC} 触发至故障信号之间的延时

表 8. 短路条件的时间表: V_{CSC} 到 L_{OUT} , I_{SC} , V_{FO}

DUT	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 时的典型值	$T_J = 150^{\circ}\text{C}$ 时的典型值	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 时的最大值
FNA40860	$T2 = 0.40 \mu\text{s}$	$T2 = 0.30 \mu\text{s}$	考虑偏差 $\pm 20\%$, $T4 = 1.0 \mu\text{s}$
	$T3 = 0.65 \mu\text{s}$	$T3 = 0.60 \mu\text{s}$	
	$T4 = 0.80 \mu\text{s}$	$T4 = 0.75 \mu\text{s}$	
	$T5 = 1.20 \mu\text{s}$	$T5 = 1.75 \mu\text{s}$	

注意：
5. 在所有的工作条件下，为了确保安全的短路保护， C_{SC} 应该在短路出现后 $1.0 \mu\text{s}$ 之内触发，（ $SCWT < 2.0 \mu\text{s}$ ，条件： $V_{bc} = 400\text{V}$ $V_{oc} = 16.5\text{V}$, $T_J = 150^{\circ}\text{C}$ ，源自 FNA40860 数据表）。
6. 建议短路至 C_{SC} 触发之间的延时时间应该最短。

图 23与图 24 给出了 SCP（短路电流保护）功能的工作波形。一般情况下， T （ τ , C_{sc} 的 RC 滤波器的时间常数）并不十分精确，这是因为 I_{sc} （短路电流）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。一般情况下， T （ C_{sc} 的 RC 滤波器时间常数）在 OCP（过流保护）中比较精确。

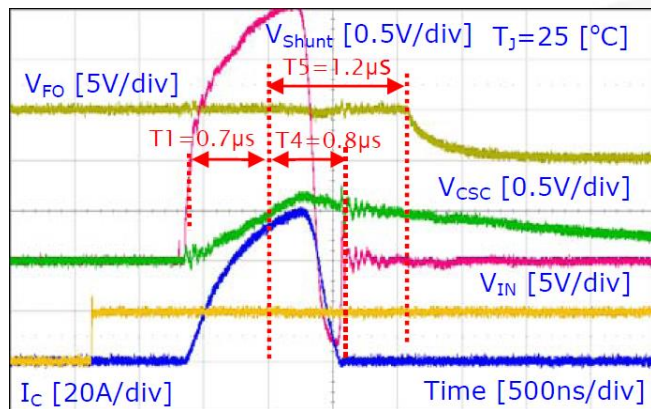


图 23. SCP（短路电流保护）功能波形（RC 滤波器时间常数：2 μ s ($R_{sc}=62[\Omega]$, $C_{sc}=33[nF]$, $R_{shunt}=40[m\Omega]$)

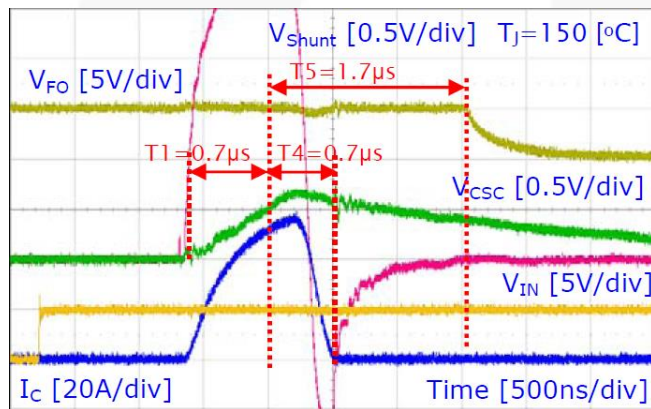


图 24. SCP（短路电流保护）功能时间常数（RC 滤波器时间常数：2 μ s ($R_{sc}=62[\Omega]$, $C_{sc}=33[nF]$, $R_{shunt}=40[m\Omega]$)

因此，自检测到 SC 动作电流至 IGBT 栅极关断的总时间 T_{TOTAL} 为：

$$t_{TOTAL} = RC \text{ 滤波器延时时间 } (T1) + \text{自 } C_{sc} \text{ 触发至 } I_{sc} \text{ 的延时 } (T4) \quad (6)$$

因此，总延时时间 (t_{TOTAL}) 应该小于 SCWT：

$$SCWT > t_{TOTAL} (T1 + T4) \quad (7)$$

式中，SCWT 为短路耐受时间。

建议 RC 滤波器的时间常数应该设置在 1.0 ~ 2.0 μ s 范围之内，使得在绝大数工作条件下均可以防止破坏发生。

软关断

LVIC 具有软关断功能，可以保护低端 IGBT，免受短路硬关断引起 V_{PN} （电源电压）过压。“短路硬关断”是指在短路条件下，在 SCP（短路电流保护）功能运行之前，短路信号直接关断 IGBT。在这种情况下， V_{PN} （电源电压）迅速地提升了 I_{sc} （短路电流）的 di/dt 。 V_{PN} 的这种快速上升，产生过压，引起 IGBT 损坏。通过慢速释放 V_{GE} （IGBT 的栅极-发射极之间的电压）电荷，软关断功能可以防止 IGBT 快速关断。

LVIC 的框图以及软关断功能的动作顺序如图 25和图 26所示。存在两种内部保护功能：UVLO 和 SCP。在正常条件下 IGBT 关断时，依据关断栅极信号 ($V_{IN,L}$)，通过栅极驱动器模块（栅极驱动器模块的预驱动器开通输出缓冲，中的路径图 26 ①），LVIC 立即关断 IGBT。然而，当 IGBT 在保护功能下关断时，通过保护电路的输出（禁止输出缓冲，高阻态），在保护功能信号作用下 IGBT 栅极驱动器被禁用。保护电路的输出接通软关断功能。这样，借助软关断电路， V_{GE} 进行慢速放电。（中的路径图 26 ②）。

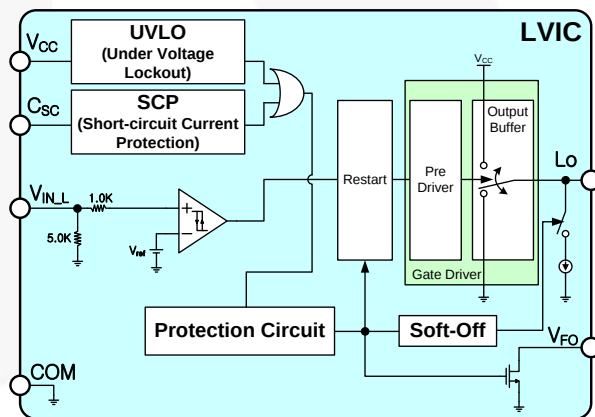


图 25. 内部框图

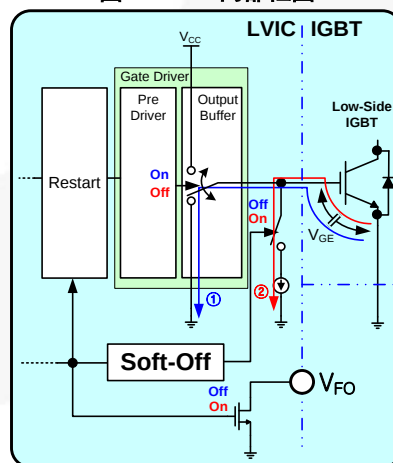


图 26. 软关断的工作顺序

图 27给出了令人满意的正常关断的开关执行过程， $V_{PN}=450V$ ， $T_J=25, 150^{\circ}C$ ，P、N引脚之间的浪涌电压 ($V_{PN(Surge)}$) 上限低于 500V。

硬关断与软关断开关动作之间的差别如图 28所示。IGBT 的硬关断引发很高的过冲（高达 100V）。因此，直流电容电源电压不应超过 400V，才能保护 Motion SPM 产品。在短路的情况下，会发生持续时间少于2ms的硬开关动作。当发生正常的短路故障，保护电路会立即工作，IGBT 也会被软关断，以防止产生过大的过冲电压。这种情况下的过冲电压约为 40~70V。

图 27和图 28为安全工作区测试的实验结果。但是，强烈建议切勿让 Motion SPM 在这些条件下工作。

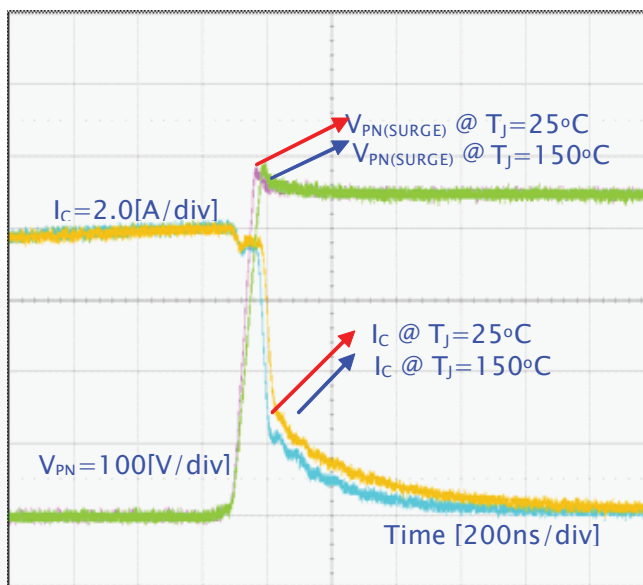


图 27. $V_{PN}=450V$ 、 $T_J=25, 150^{\circ}C$ 时 FNA40860 正常电流关断波形

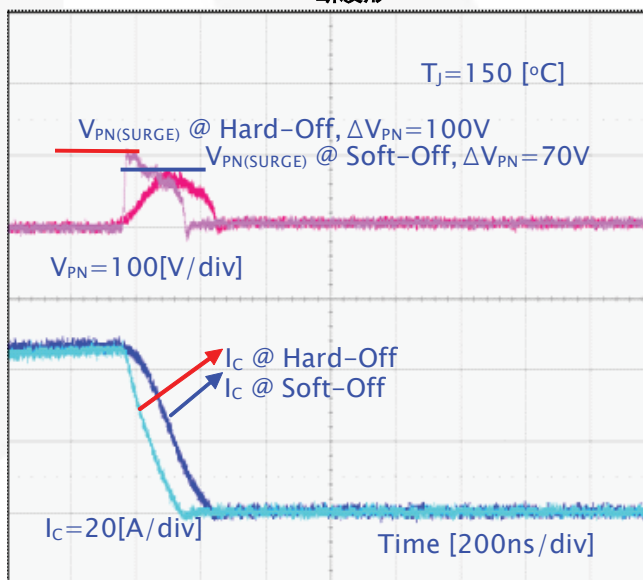


图 28. $V_{PN}=400V$ 、 $T_J=150^{\circ}C$ 时 FNA40860 的短路电流关断波形

表 9. 绝对最大额定值的详细说明（仅对 FNA40860，参见数据表）

项目	符号	额定值	说明
电源电压	V_{PN}	450V	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。
电源电压（浪涌）	$V_{PN(surge)}$	500V	P-N 间的最大浪涌电压（开关模式）。 若 P-N 间的浪涌电压超过该值，则需要一个缓冲电路。
集电极-发射极之间电压	V_{CES}	600V	内置 IGBT 能够承受的集电极-发射极电压。
单只 IGBT 集电极电流	$\pm I_C$	8A	$T_c=25^\circ\text{C}$ 时最大允许的 IGBT 集电极直流连续电流
结温	T_J	$-40\sim 150^\circ\text{C}$	集成在 Motion SPM 中的功率芯片的结温最大额定值为 150°C 。然而，为了确保 Motion SPM 的安全工作，平均结温应该限制在 125°C 。虽然在 $T_J=150^\circ\text{C}$ 下，IGBT 和 FRD 芯片不会立即受到破坏，但是它们的功率循环能力大为缩减。
自我保护限制电压（短路保护容量）	$V_{PN(prot)}$	400V	在 $V_{CC}=13.5 \sim 16.5\text{V}$ 的情况下，非重复性，小于 $2\mu\text{s}$ 。在 SC（短路电流）或 OC（过流）情况下，IGBT 能够安全关断的最大电源电压。若电压超过额定值，可能会破坏功率芯片。

故障输出电路

表 10. 故障输出最大额定值

项目	符号	条件	额定值	单位
故障输出电压	V_{FO}	施加在 $V_{FO}-\text{COM}$ 之间	$-0.3\sim V_{CC}+0.3$	V
故障输出电流	I_{FO}	V_{FO} 引脚处的灌电流	1.0	mA

表 11. 电气特性

项目	符号	工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
故障输出电压	V_{FOH}	$V_{SC}=0\text{V}$, V_{FO} 电路: $4.7\text{ k}\Omega$ 上拉至 5V	4.5			V
	V_{FOL}	$V_{SC}=1\text{V}$, V_{FO} 电路: $4.7\text{ k}\Omega$ 上拉至 5V			0.5	V

因为 V_{FO} 端子属于集电极开路，所以它必须经过一个上拉电阻上拉至 5V 或 15V 。电阻必须满足上述规格。

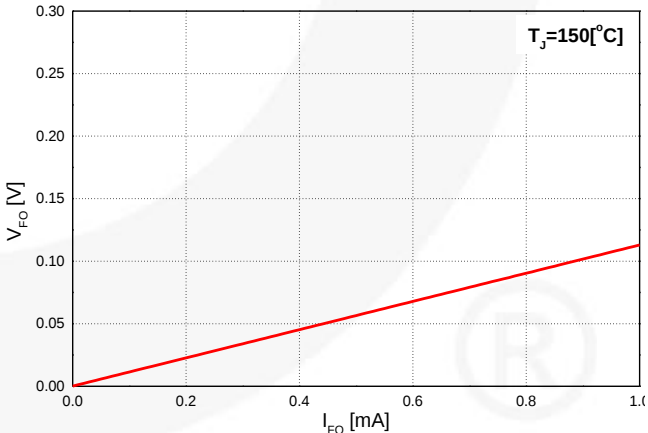


图 29. V_{FO} 端子的电压-电流特性

欠压闭锁保护 (UVLO)

LVIC 具有欠压闭锁保护, 可以保护低端 IGBT, 禁止其在栅极驱动电压不足时工作。这种保护的时序如图 30 所示。

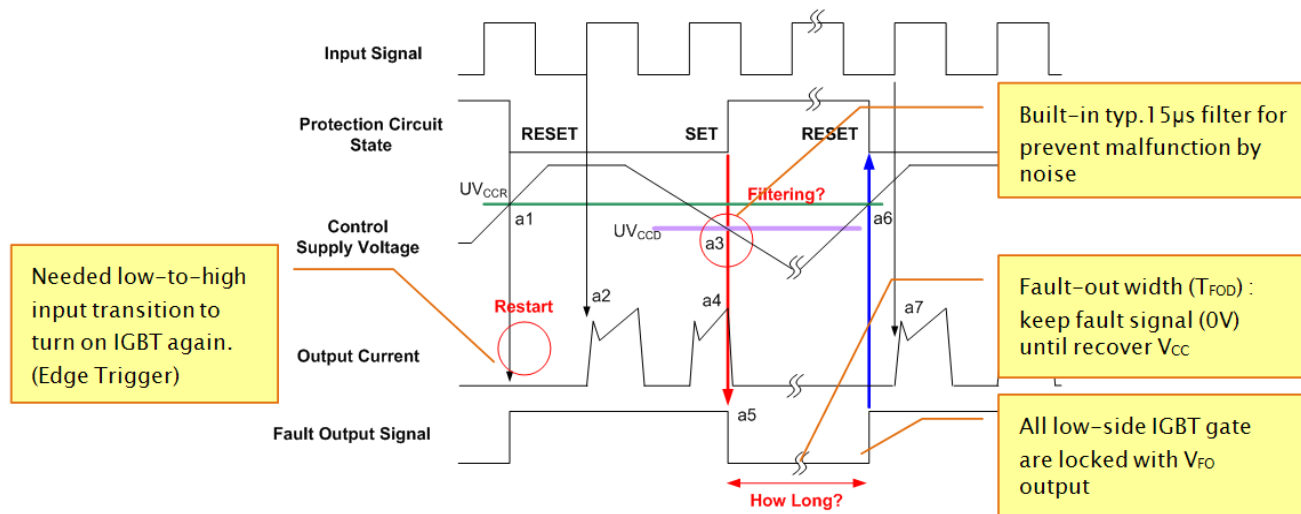


图 30. 低端欠压保护功能的时序图

注意:

- a1. 控制电源电压上升: 该电压上升到 UV_{CCR} , 当下一个输入施加时, 电路开始工作
- a2. 正常工作: IGBT 导通并加载负载电流。
- a3. 欠压检测 (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。

HVIC 具有欠压闭锁的功能, 保护高端 IGBT 在栅极驱动电压不足的情况下工作。这种保护的时序如图 31。对于低的 HVIC 偏压情况, 不提供 F_0 报警。

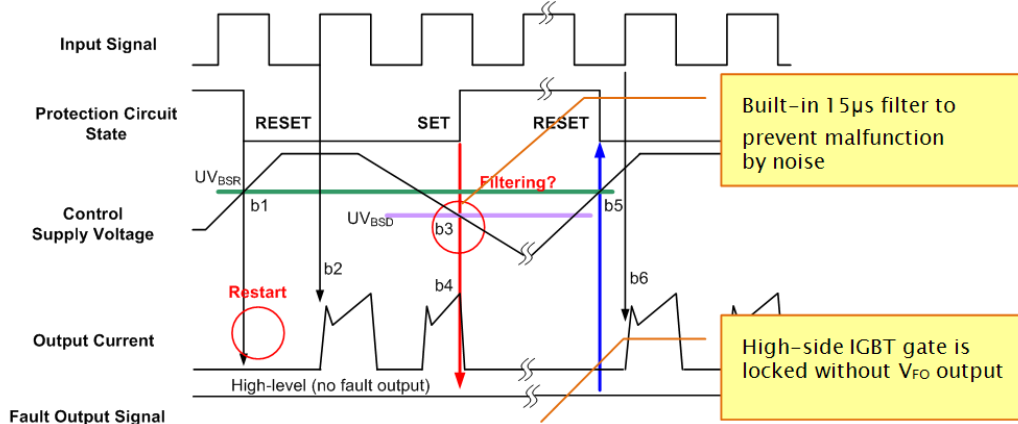


图 31. 高端欠压保护功能的时序图

注意:

- b1. 控制电源电压上升: 当电压上升到 UV_{BSR} 后, 等到下一个输入信号时, 对应的电路才开始动作。
- b2. 正常工作: IGBT 导通并加载负载电流。
- b3. 欠压检测 (UV_{BSD})
- b4. 不论控制输入的条件, IGBT 关闭, 无故障输出信号。
- b5. 欠压复位 (UV_{BSR})
- b6. 正常工作: IGBT 导通并加载负载电流。

表 12. UVLO（欠压闭锁）功能的规格

项目	参数	工作条件	最小值	最大值	单位
UV _{CD}	电源电路欠压保护	检测电平	10.5	13.0	V
UV _{CR}		复位电平	11.0	13.5	V
UV _{BSD}		检测电平	10.0	12.5	V
UV _{BSR}		复位电平	10.5	13.0	V

输入信号电路（V_{IN(O)}，V_{IN(L)}）

图 32给出了 MCU 与 Motion SPM 产品之间 I/O 接口电路。因为 Motion SPM 的逻辑输入是高电平有效，而且含有内置下拉电阻，所以不需要外部的上拉电阻。

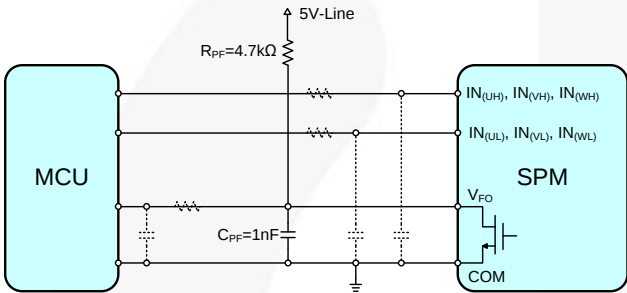


图 32. 推荐的 CPU I/O 接口电路

表 13. 输入与 F₀引脚的最大额定值

项目	符号	条件	额定值	单位
控制电源电压	V _{CC}	施加在 V _{CC(H)} -COM 与 V _{CC(L)} -COM 之间	20	V
输入信号电压	V _{IN}	施加在 IN _(UH) 、IN _(VH) 、IN _(WH) -COM 与 IN _(UL) 、IN _(VL) 、IN _(WL) -COM 之间	-0.3 ~ V _{CC} +0.3	V
故障输出电压	V _{F0}	施加在 V _{F0} -COM 之间	-0.3 ~ V _{CC} +0.3	V

输入与故障输出最大额定值电压如表 13所示。鉴于故障输出为开漏结构，其额定值为 V_{CC}+0.3V，可用 15V 电源接口。但是，建议将故障输出和输入信号配置成 5V 的逻辑电源。还建议采用解耦电容分别安放在 V_{F0} 与信号线路的 MCU 和 Motion SPM 终端，并尽可能靠近每一器件。每个输入端的 RC 耦合（图 32中虚线所示）可能因 PWM 控制方案和 PCB 板布局的连线电阻而产生变化。

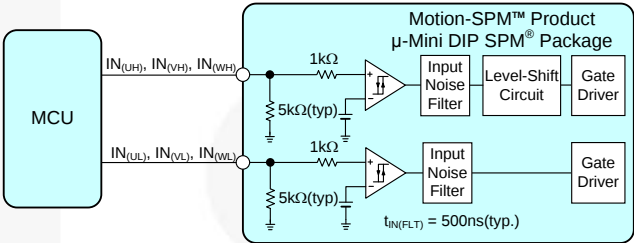


图 33. 信号输入端子的内部结构

SPM45H采用高电平有效的输入逻辑。它解除了开启或关闭期间，控制电源和输入信号之间的时序限制。因此，系统具有自动防故障功能。另外，每个输入电路中内置了下拉电阻。无需外部下拉电阻，减低了外部元件的数量。Motion SPM产品中的输入噪声滤波器能够抑制窄脉冲噪声，并防止 IGBT 功能失效和产生过多开关损耗。此外，通过降低输入信号的导通和关断阈值电压，如表 14所示，可以直接将输入信号连接到 3.3V 的 MCU 或 DSP 上。

表 14. 输入阈值电压额定值
(V_{CC}=15V，T_J=25°C)

项目	符号	条件	最小值	最大值	单位
导通阈值电压	V _{IN(ON)}	IN _(UH) ， IN _(VH) ，IN _(WH) - COM		2.6	V
关断阈值电压	V _{IN(OFF)}	IN _(UL) ， IN _(VL) ，IN _(WL) - COM	0.8		V

如图 33所示，Motion SPM 产品中的 μMini DIP 封装系列的输入信号部分集成有一个 5kΩ（典型值）下拉电阻。因此，当在 MCU 输出与 Motion SPM 输入之间采用外部滤波电阻时，应该注意 Motion SPM 输入端子处的信号压降，确保满足开通阈值电压要求。例如：图 32中虚线表示的部分，R=100Ω 且 C=1nF。

自举电路设计

自举电路的工作原理

V_{BS} 电压等于 $V_{B(U,V,W)}$ 与 $V_S(U,V,W)$ 之间的电压差，在 Motion SPM 产品的 SPM45H 封装系列中，用来为 HVIC 提供电源。这个电压的大小必须控制在 13.0~18.5V，以保证 HVIC 能够完全驱动高端 IGBT。SPM45H 封装包括一个针对 V_{BS} 的欠压闭锁保护，在 V_{BS} 电压跌落到指定电压以下时，确保 HVIC 不会驱动高端 IGBT（参考数据表）。这个功能保证 IGBT 不在高功耗模式下工作。

V_{BS} 浮动电源可以通过多种方式产生，包括此处描述的自举方法（参考图 34）。该方法具有简洁和廉价的优点。但是，由于自举电容需要时间补充电荷，导致占空比和导通时间受到限制。通过一个自举二极管、电阻和电容的组合电路形成自举电源，如图 35 和图 36 所示。自举电路的电流路径如图 35 所示。当 V_S 下拉到地端（通过地低端或负载）， V_{CC} 电源经过自举二极管 (DBS) 和电阻 (RBS) 对自举电容器 (CBS) 充电。

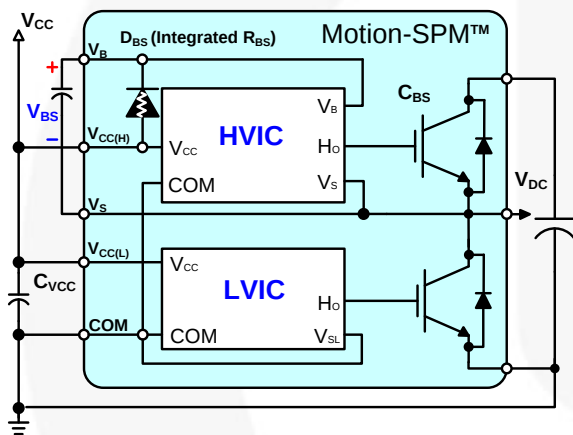


图 34. HVIC 电源电压 (V_{BS}) 的自举电路

自举电容的初次充电

对于初次自举充电，低端 IGBT 需要有足够的导通持续时间，才能完全充满自举电容。初次充电时间 (t_{charge}) 可以通过下面的公式计算：

$$t_{charge} = C_{BS} \times R_{BS} \times \frac{1}{\delta} \times \ln \frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_{BS(min)} - V_F - V_{LS}} \quad (8)$$

其中：

V_F = 自举二极管的正向压降

$V_{BS(min)}$ = 自举电容的最小值

V_{LS} = 低端 IGBT 或负载上的压降；且

δ = PWM 占空比。

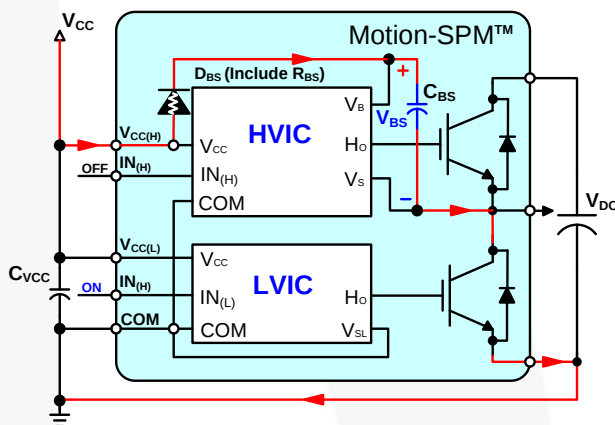


图 35. 自举电路

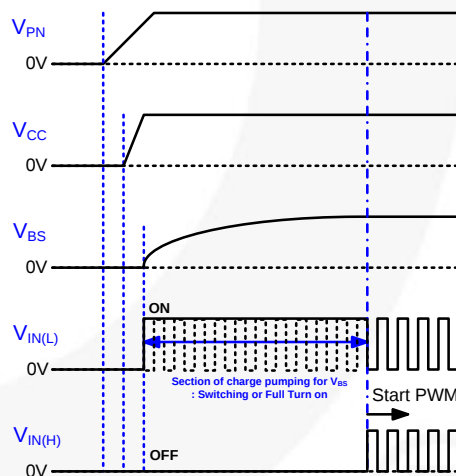


图 36. 自举电路初次充电时序

图 37 和图 38 给出了初次自举电容充电的实际波形。

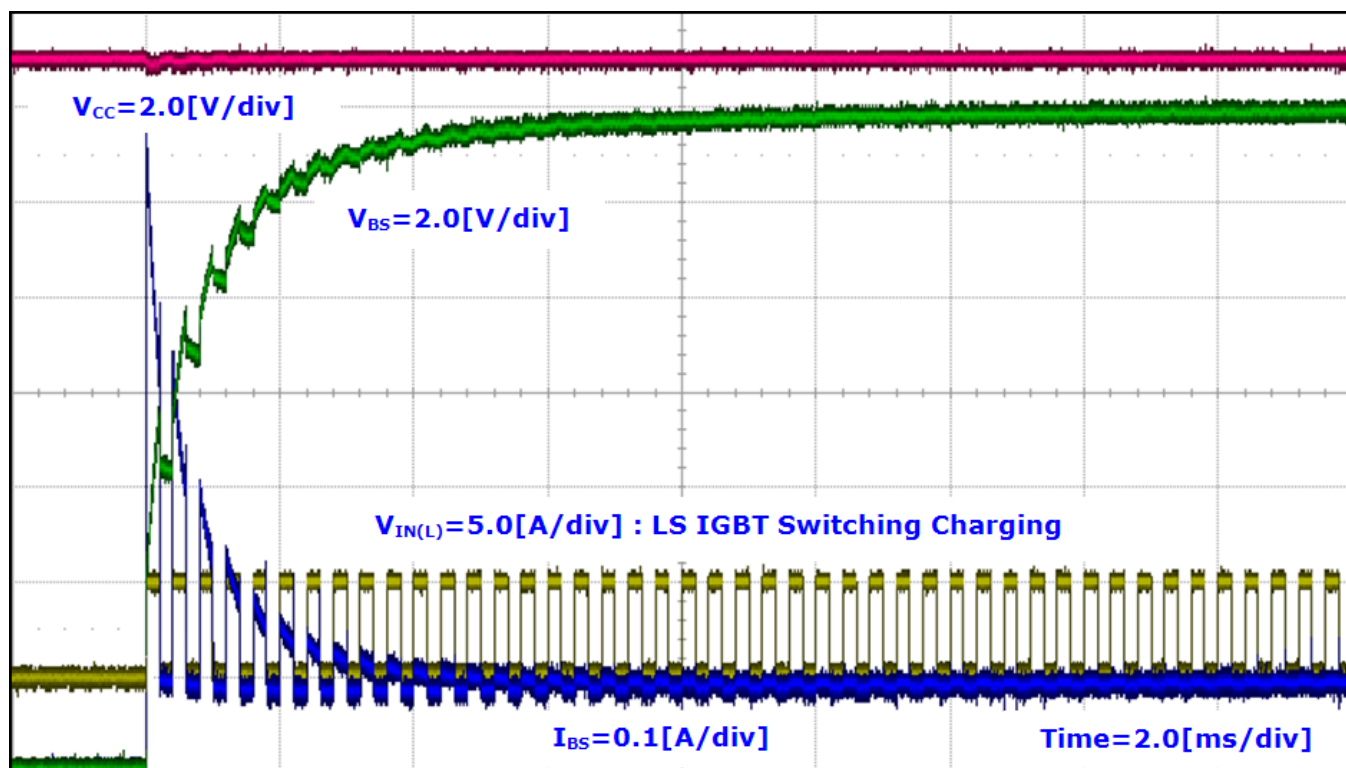


图 37. 自举电路的每一部分初次工作波形
(条件: $V_{DC}=300V$, $V_{CC}=15V$, $C_{BS}=22\mu F$, LS IGBT 导通时间= $200\mu s$)

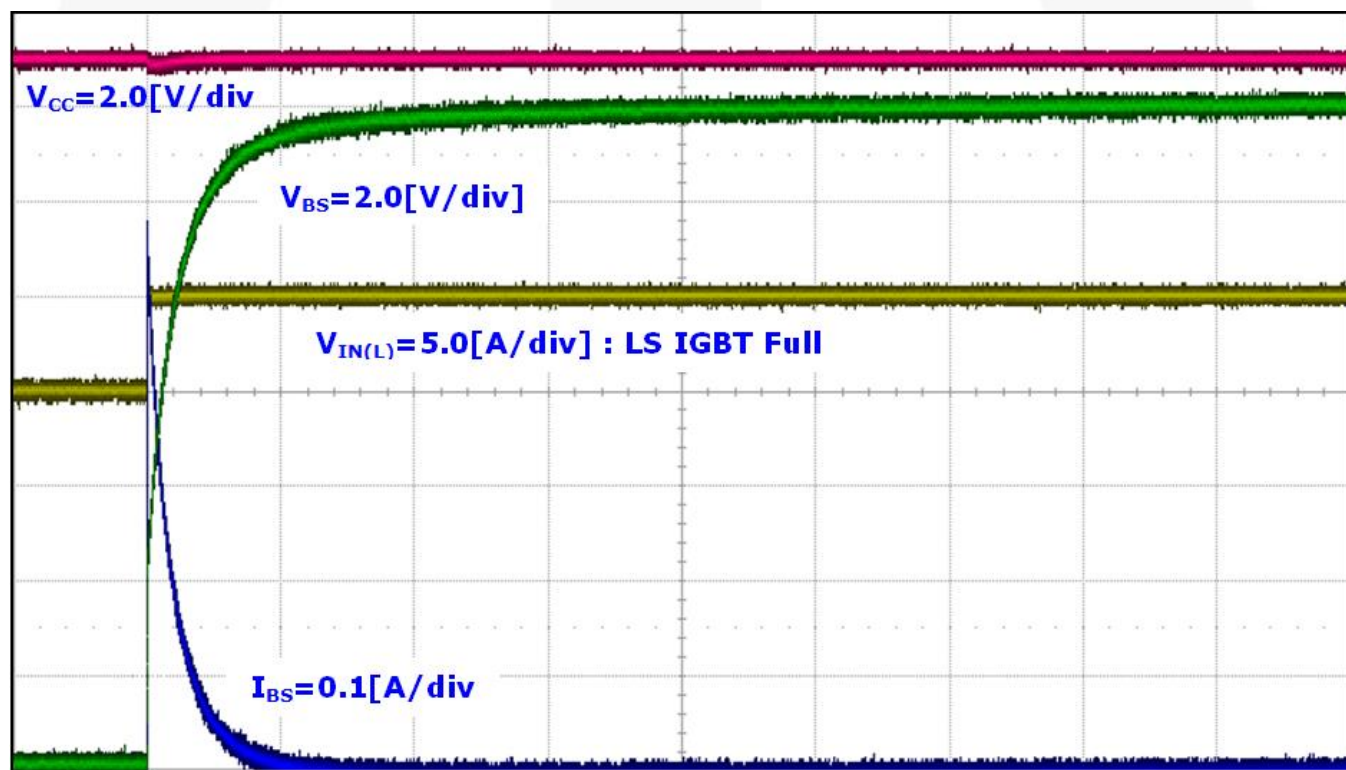


图 38. 自举电路的每一部分工作波形
(条件: $V_{DC}=300V$, $V_{CC}=15V$, $C_{BS}=22\mu F$, LS IGBT 完全导通)

自举电容的选型

自举电容的大小通过下面的公式计算：

$$C_{BS} = \frac{I_{Leak} \times \Delta t}{\Delta V_{BS}} \quad (9)$$

其中：

Δt = 高端 IGBT 的最大导通脉宽；

ΔV_{BS}

的允许放电电压（电压纹）；且

$I_{Leak} = C_{BS}$ 最大放电电流。

主要依据以下机理：

- 高端 IGBT 导通时的栅极电荷...
- HVIC 中高端电路的静态电流
- HVIC 中电平转移电路所需的电平转移电荷
- 自举二极管的漏电流
- C_{BS} 电容的漏电流（非电解电容不需考虑）
- 自举二极管的反向恢复电荷。

实际应用中，对于 Motion SPM 产品中的 SPM45H 系列，推荐 2mA 的 I_{Leak} 。考虑功耗和可靠性，实际选择的自举电容一般是计算值的 2~3 倍。当高端 IGBT 关闭和 V_s 电压下拉到地端时，方可对 C_{BS} 充电。因此，低端 IGBT 的导通时间必须足够大，以保证 C_{BS} 电容的消耗的电荷能完全得到补充。这样，存在这一个低端 IGBT 固有的最小导通时间（或高端 IGBT 的关断时间）。

自举电容的计算范例

$I_{Leak} = 2.0\text{mA}$ （推荐值）

$\Delta V_{BS} = 0.1\text{V}$ （推荐值）

$\Delta t = 0.2\text{ms}$ （依赖客户系统）

$$C_{BS_min} = \frac{I_{Leak} \times \Delta t}{\Delta V_{BS}} = \frac{2\text{mA} \times 0.2\text{ms}}{0.1\text{V}} = 4.0 \times 10^{-6} \quad (10)$$

→ 超过 2~3 倍 → $8\mu\text{F}$ 。

注意：

- 根据开关频率、所用电容以及推荐的 V_{BS} 电压 13.0~18.5 V（源自数据表），该电容的容值可以适度改变。上述结果仅仅为计算举例。根据实际控制方法和元件寿命，该容值可以改变。

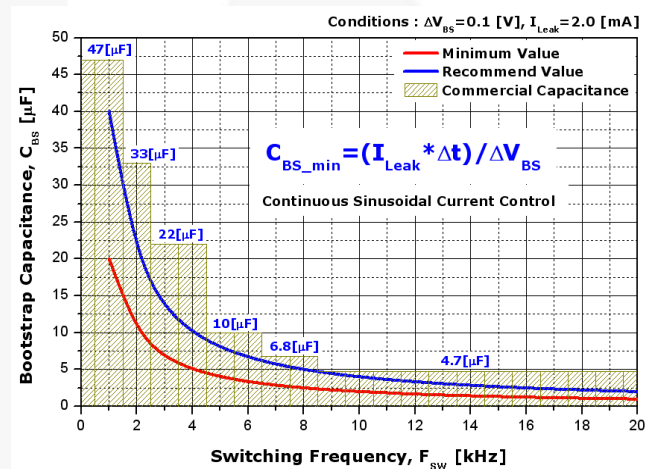


图 39. 自举电容的容值依赖开关频率变化

内置自举二极管

当高端 IGBT 或 FRD 导电时，自举二极管 (D_{BS}) 承受整个总线电压。因此，推荐其耐压大于 600V。重要的是，自举二极管为快速恢复二极管（恢复时间 $< 100\text{ns}$ ），这样才能减少由自举电容回馈到 V_{CC} 电源的电荷数量。自举电阻 (R_{BS}) 的一个主要作用是降低 dV_{BS}/dt 和限制自举电容的初次充电电流 (I_{charge})。

通常情况下，自举电路由自举二极管 (D_{BS})、自举电阻 (R_{BS}) 和自举电容 (C_{BS}) 组成。SPM45H 封装的内置自举二极管具有自举电阻特性，这是因为自举二极管具有特定的 V_F 特性曲线（参考图 40）。因此，电路工程师只需要采用外部自举电容来设计自举电路。

SPM45H 系列中内置自举二极管的特性包括：

- 快速恢复二极管：600V/0.5A
- t_{rr} ：80ns（典型值）
- 具有等效电阻特性（近似 15 Ω ）

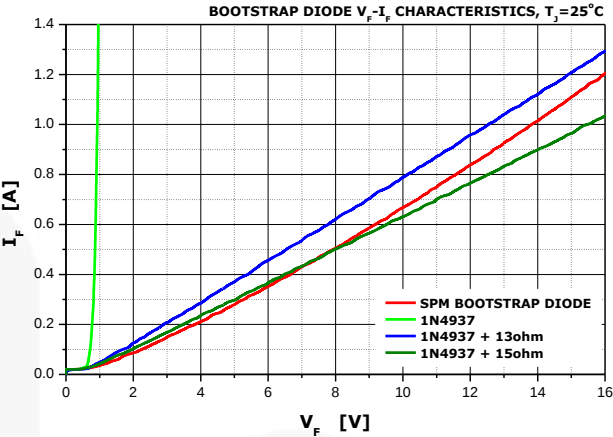


图 40. SPM45H 封装中自举二极管的 V_F - I_F 特性曲线

表 15. 自举二极管的规格

符号	参数	工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_F	正向压降	$I_F=0.1\text{A}$, $T_c=25^\circ\text{C}$	~	2.5	~	V
t_{rr}	反向恢复时间	$I_F=0.1\text{A}$, $T_c=25^\circ\text{C}$	~	80	~	ns

NTC 热敏电阻电路（监测 T_c ）

SPM45H封装（用于Motion SPM系列）包含有一个 NTC（负温度系数）热敏电阻，用于监测模块的壳温（ T_c ）。该热敏电阻与功率芯片（IGBT/FRD）一起置于陶瓷衬底

上。因此，通过热敏电阻可以精确地反应功率芯片的温度（参考图 41）。

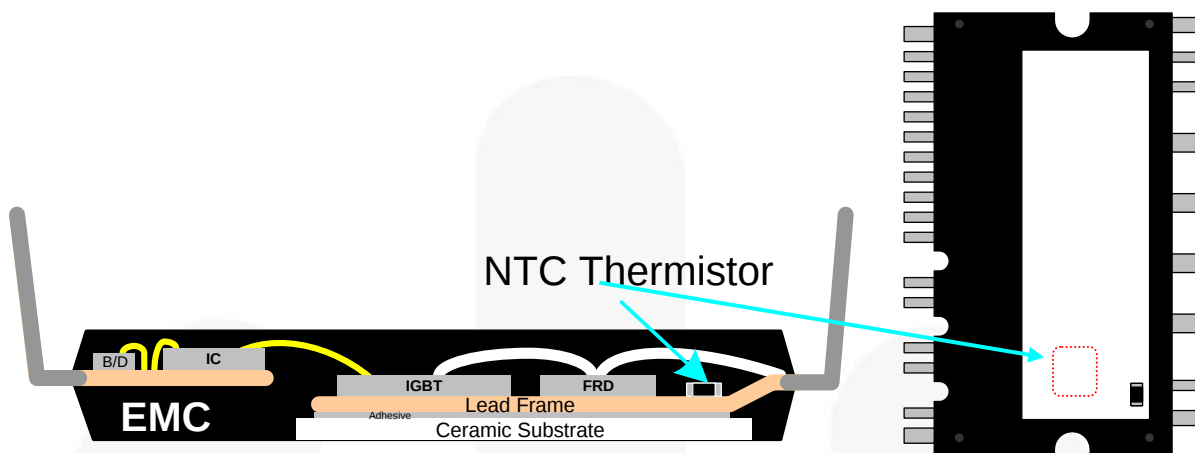


图 41. SPM45H 封装中 NTC 热敏电阻的位置

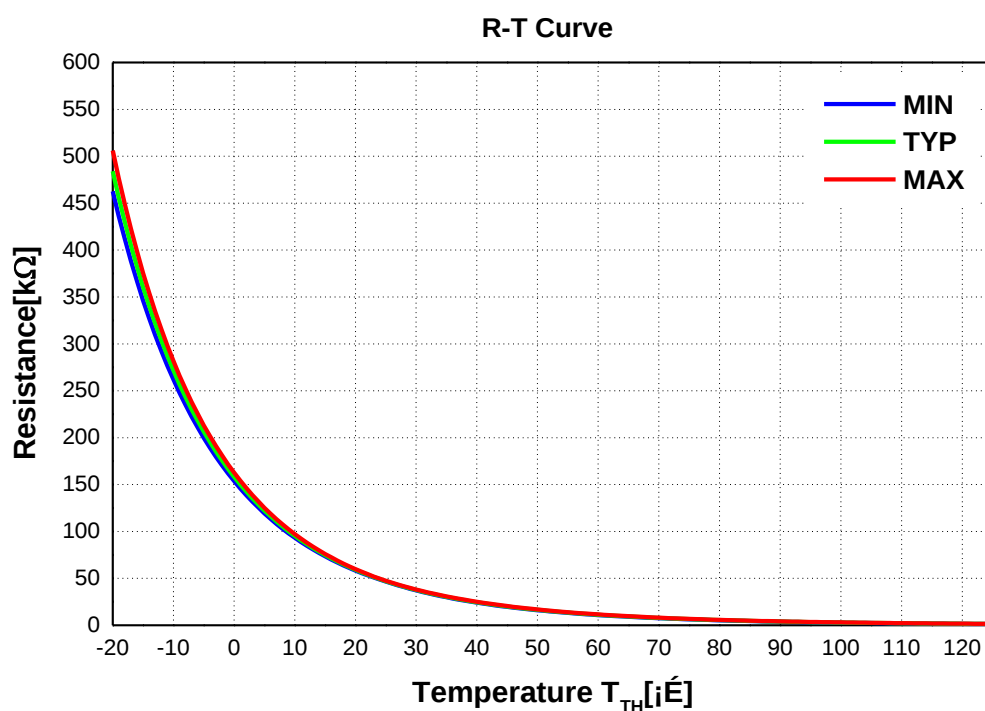


图 42. SPM45H封装中 NTC 热敏电阻的 R-T 曲线

通常情况下，借助 NTC 热敏电阻，电路设计人员可以采用两种电路进行温度保护（监测）。一个为 ADC 电路（模数转换器），另一个为比较器电路。图 43 和图 44 显示为采用 NTC 热敏电阻的应用电路示例。

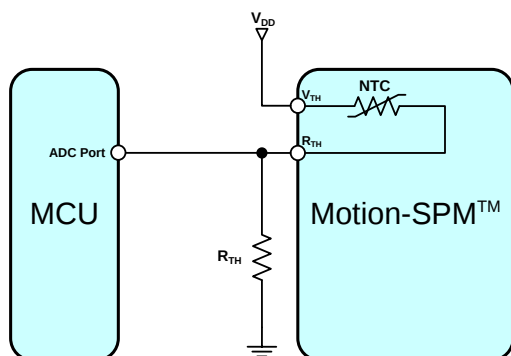


图 43. 采用 MCU 的 NTC 热敏电阻过温保护电路

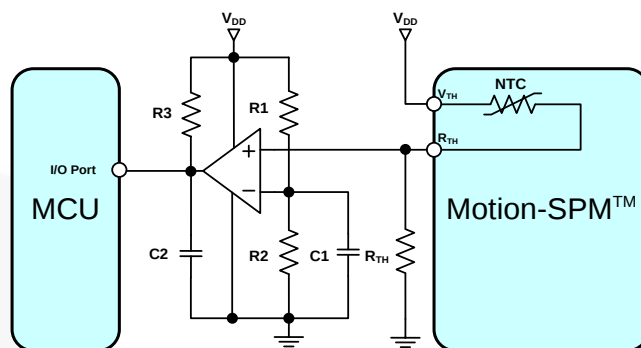


图 44. 采用比较器的 NTC 热敏电阻过温保护电路

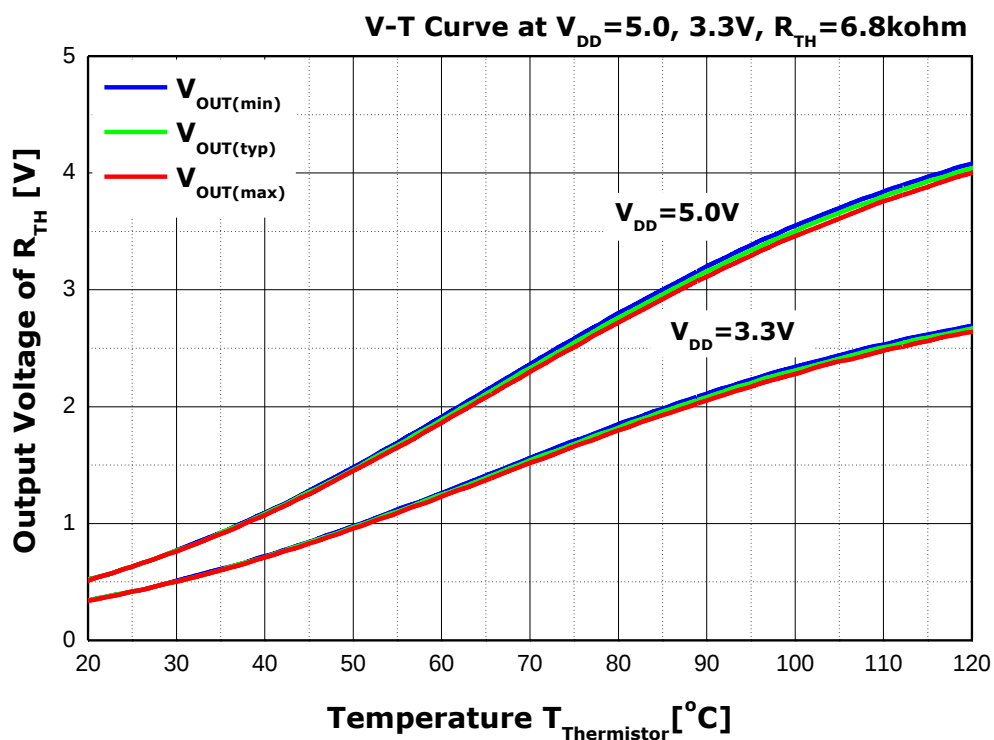


图 45. V-T 曲线 图 43

表 16. NTC 热敏电阻的 R-T 表格 (1-1)]

$T_{NTC} (^{\circ}C)$	$R_{min} (k\Omega)$	$R_{cent} (k\Omega)$	$R_{max} (k\Omega)$	$T (^{\circ}C)$	$R_{min} (k\Omega)$	$R_{cent} (k\Omega)$	$R_{max} (k\Omega)$
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	32.164
5	119.3135	122.2594	125.2655	35	29.834	30.3339	30.8392
6	113.5129	116.2273	118.9947	36	28.576	29.0734	29.5764
7	108.0276	110.5275	113.0739	37	27.3776	27.8717	28.372
8	102.8388	105.1398	107.4814	38	26.2356	26.726	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	92.481	41	23.1198	23.596	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	77.019	78.3963	79.7903	44	20.4158	20.8746	21.3416
15	73.47	74.7302	76.0043	45	19.5953	20.0478	20.5088
16	70.1042	71.2558	72.4189	46	18.812	19.258	19.7126
17	66.9112	67.962	69.0224	47	18.0638	18.5032	18.9514
18	63.8812	64.8386	65.8039	48	17.3492	17.7818	18.2234
19	61.005	61.8759	62.753	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	57.116	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	14.223	14.6205	15.0277
24	48.6469	49.1715	49.6969	54	13.6773	14.0677	14.4678
25	46.53	47	47.47	55	13.1552	13.5385	13.9316
26	44.4567	44.936	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	11.281	11.6361	12.0011
30	37.1428	37.6431	38.1463	60	10.861	11.2091	11.5673

表 17. NTC 热敏电阻的 R-T 表格 (1-2)

T _{NTC} (°C)	R _{min} (kΩ)	R _{cent} (kΩ)	R _{max} (kΩ)	T (°C)	R _{min} (kΩ)	R _{cent} (kΩ)	R _{max} (kΩ)
61	10.4594	10.8007	11.152	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	3.329	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	3.183	3.3473
68	8.0773	8.3727	8.6782	98	2.9328	3.086	3.2468
69	7.7902	8.0795	8.3787	99	2.8425	2.9923	3.1497
70	7.5147	7.7979	8.091	100	2.7553	2.9019	3.0559
71	7.2496	7.5268	7.8138	101	2.6712	2.8146	2.9654
72	6.995	7.2663	7.5474	102	2.5901	2.7303	2.8779
73	6.7505	7.016	7.2913	103	2.5117	2.6489	2.7933
74	6.5157	6.7755	7.045	104	2.436	2.5703	2.7117
75	6.2901	6.5443	6.8082	105	2.363	2.4943	2.6327
76	6.0739	6.3227	6.581	106	2.2921	2.4206	2.556
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	5.568	111	1.9725	2.0877	2.2094
82	4.9426	5.1607	5.3879	112	1.9151	2.0278	2.147
83	4.7788	4.9921	5.2145	113	1.8596	1.9699	2.0866
84	4.6211	4.8299	5.0475	114	1.806	1.9139	2.0282
85	4.4694	4.6736	4.8866	115	1.7541	1.8598	1.9716
86	4.3228	4.5226	4.731	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	3.915	4.1019	4.2973	119	1.564	1.6611	1.7639
90	3.789	3.9717	4.1629	120	1.5203	1.6153	1.7161

常见应用电路示例

图 46 给出了一般应用电路原理图，其中包含了与 MCU 直接连接的控制信号接口部分。

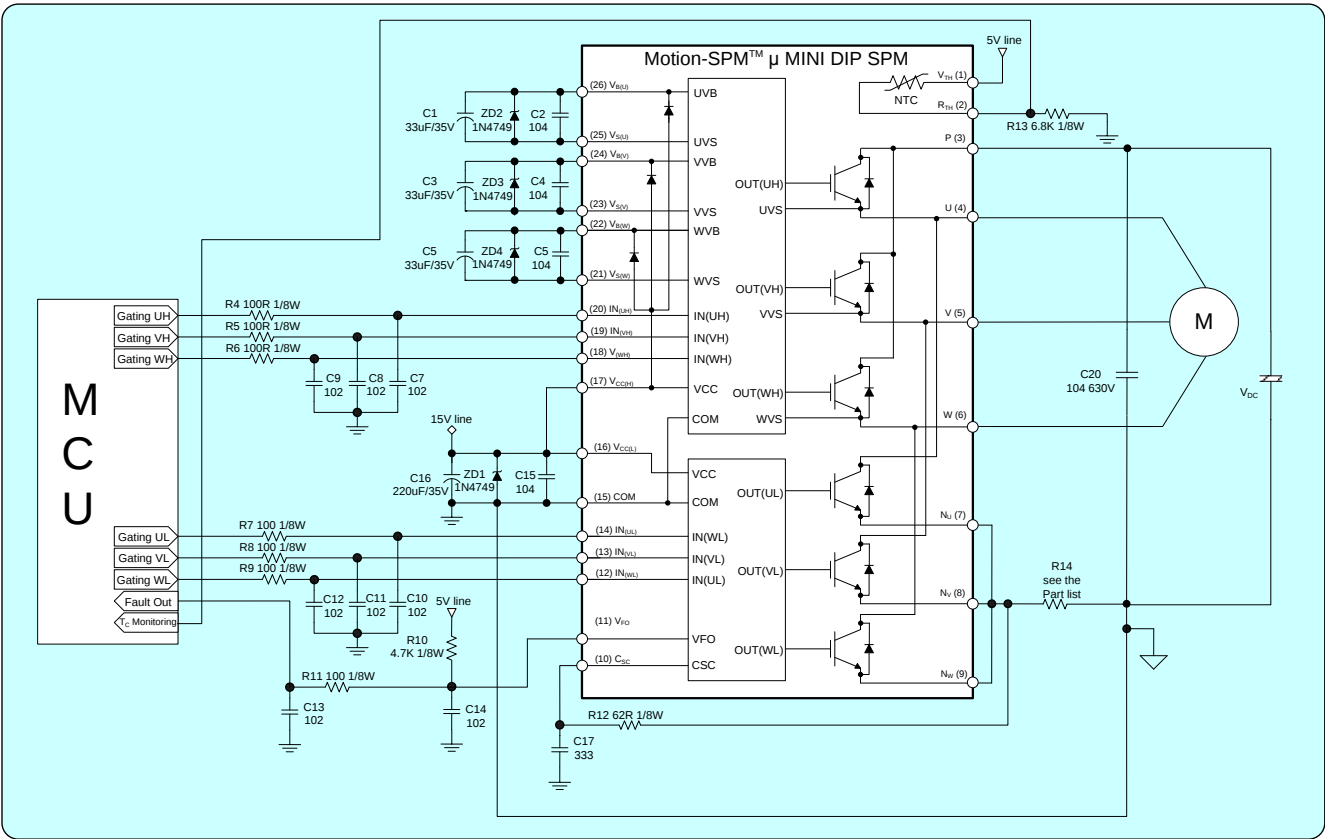


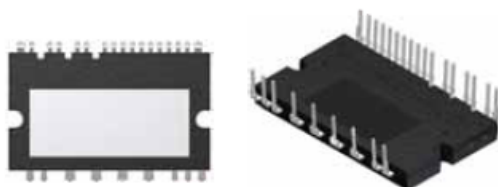
图 46. SPM45H封装的常见应用电路（单检流电阻方案）

封装规格

SPM26-AAA Tube Packing Data



SPM26-AAA Tube Packing Configuration: Figure 1.0



12 units per Tube

6 Tubes per box

FKS Label

570mm x 150mm x 55mm
Inner box (72cap)

Bubble Sheet

Packaging Description:

SPM26-AAA parts are shipped normally in tube. The tube is made of PVC plastic treated with anti-static agent. These tubes in standard option are placed inside a dissipative plastic bubble sheet, barcode labeled, and placed inside a box made of recyclable corrugated paper. One box contains six tubes maximum (see fig. 1.0). And one or several of these boxes are placed inside a labeled shipping box which comes in different sizes depending on the number of parts shipped. The other option comes in bulk as described in the Packaging Information table. The units in this option are placed inside a small box laid with anti-static bubble sheet. These smaller boxes are individually labeled and placed inside a larger box (see fig. 2.0). These larger boxes then will be placed finally inside a labeled shipping box which still comes in different sizes depending on the number of units shipped.

SPM26-AAA Packaging Information: Figure 2.0

SPM26-AAA Packaging Information	
Packaging Option	Standard (no flow code)
Packaging type	Roll/Tube
Qty per Tube/Inner Box	12
Inner Box Dimension (mm)	570x150x55
Max qty per Box	72
Outer Box Dimension (mm)	590x330x245
Max qty per Box	576
Weight per unit (gm)	-
Note/Comments	

Inner Box Barcode Label Sample



Outer Box Barcode Label Sample

590mm x 330mm x 245mm
Outer box(576cap)

FKS Label

SPM26-AAA Tube Information: Figure 3.0

Note: All dimensions are in mm

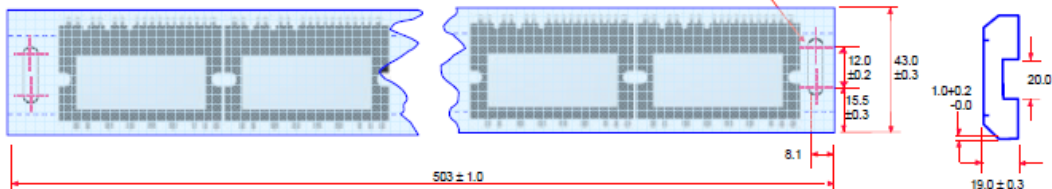
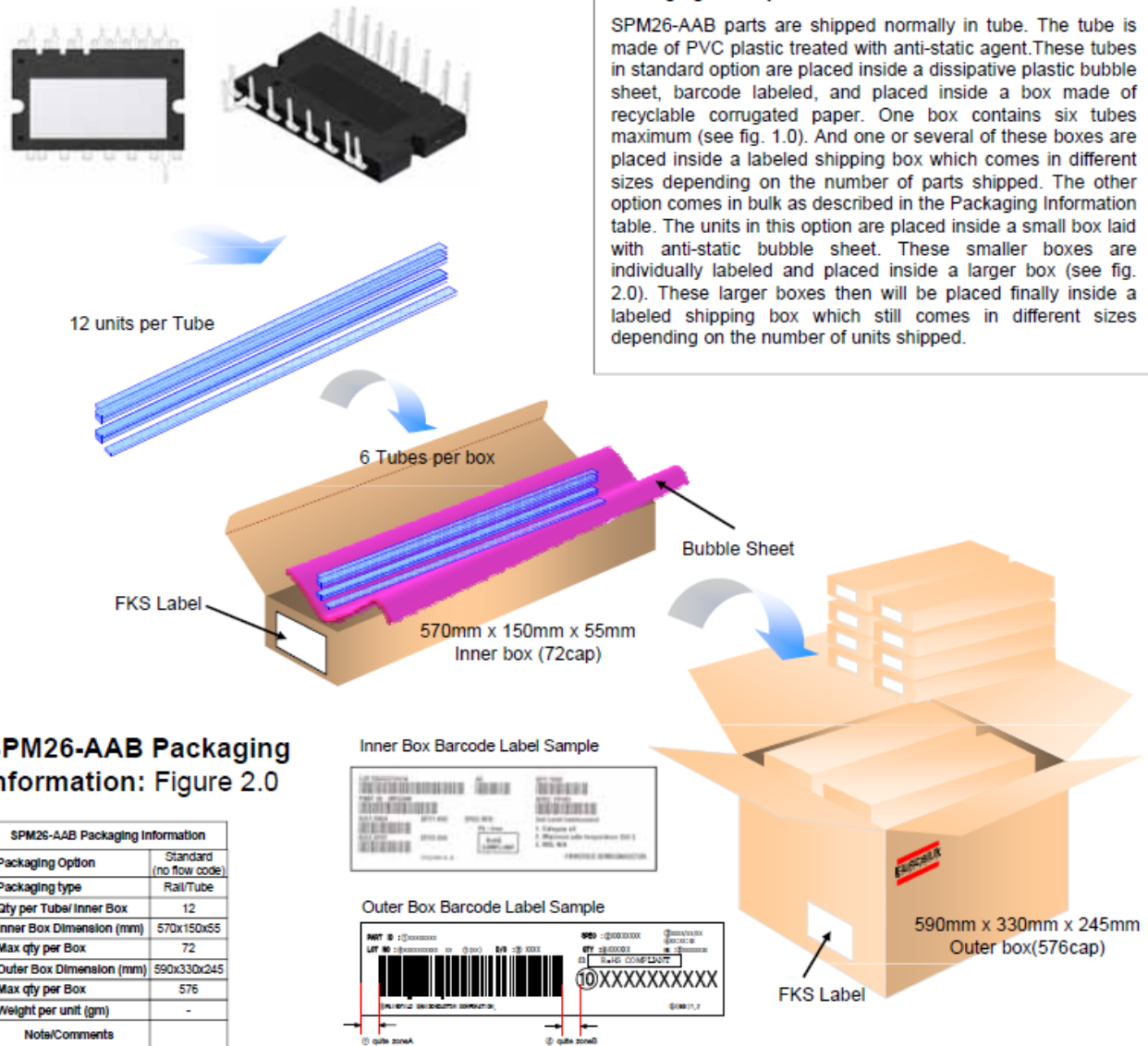


图 48. SPM26-AAA 封装规格

SPM26-AAB Tube Packing Data



SPM26-AAB Tube Packing Configuration: Figure 1.0



SPM26-AAB Tube Information: Figure 3.0

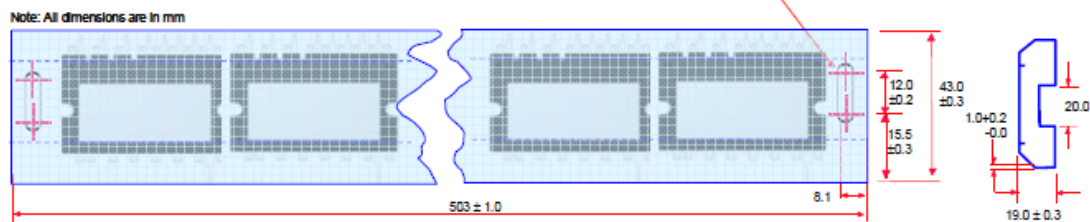


图 49. SPM26-AAB 封装规格

相关资源

[FNA40560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNA40860 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNA41060 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNA41560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB40560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB41060 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB41560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[AN-9071 — SPM45H 智能功率模块 Motion SPM®热性能信息](#)

[AN-9072 — SPM45H 智能功率模块 Motion SPM® 安装指南](#)

[RD-344 — FNA41560 参考设计（单检流电阻方案）](#)

[RD-345 — FNA41560 参考设计（三检流电阻方案）](#)

若要获取运动控制设计工具，请访问

http://www.fairchildsemi.com/design_tools/motion_control_design_tool/

注意：

在本指南及其他飞兆文档和产品手册中，下列术语可以互换：

DIP = SPM2、Mini-DIP = SPM3、Tiny-DIP = SPM5、 μ Mini-DIP = SPM45

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