



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-9075

智能功率模块，Motion 1200 V SPM 2 系列用户指南

1.	介绍	2
1.1	设计理念	2
1.2	订购信息	3
1.3	特性和集成功能	3
2.	产品简介	4
2.1	详细的引脚定义和通知	5
2.2	绝对最大额定值	6
2.3	电气特性	9
3.	封装	11
3.1	封装轮廓详图	12
3.2	标识信息	13
4.	保护工作序列	14
4.1	短路电流保护 (SCP)	14
4.2	欠压锁定保护	15
5.	关键参数设计指南	16
5.1	选择 RSC 电阻用于保护	16
5.2	在 N 端子用于电流感测与保护的电流取样电阻选择	18
5.3	内部延迟的时间常数	19
5.6	输入信号电路 (IN(xH)、IN(xL))	21
5.7.1.	自举电路的工作原理	22
5.7.2.	选择自举电容时，应考虑初始充电	22
5.7.3.	选择自举电容考虑操作	24
5.8	内置自举二极管	25
5.9	NTC 热敏电阻的电路 (模块的温度监控)	26
6.	印刷电路板 (PCB) 设计	29
6.2	PCB 布局指南	30
7.	装箱信息	31

1. 介绍

本应用指南支持额定 1200-V Motion SPM® 系列产品。应与 Motion SPM 2 数据手册、Fairchild 的 Motion SPM 评估板用户指南 (FEB212_001) 和应用指南配合使用 [AN-9079 — 热性能信息](#) 和 [AN-9076 — 安装指南](#)。

1.1 设计理念

最小化封装和低功耗模块，更好的可靠性。这些优势是因为应用了新的 1200 V 栅极驱动高电压集成电路 (LVIC)、先进硅技术的新型绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 和改进的直接敷铜法 (DBC) 基板转移模塑封装。与现有分立式解决方案相比，Motion SPM 2 压缩了电路板空间

并提高了可靠性。目标应用是工业用变频电机驱动器，如空调、通用变频器和伺服电机。

在一块基板上将设计优势与测量功率芯片温度的 NTC 热敏电阻（如，IGBT、快速恢复二极管 (FRD)）完美结合。大多数客户希望知道功率芯片的确切温度，因为温度会影响产品的质量、可靠性和使用寿命。由于模块内的集成功率芯片（如 IGBT、FRD）在高电压条件下运转，这个愿望很难实现。由于客户不能直接感测功率芯片的温度，他们采用外部 NTC 热敏电阻来感测模块和散热器的温度。由于成本原因，此方法不能准确反映功率元件的温度，但非常简单。而 Motion SPM 2 的 NTC 热敏电阻与功率芯片在同一块陶瓷基板上集成，因此，能够更精确地反映功率芯片的温度。

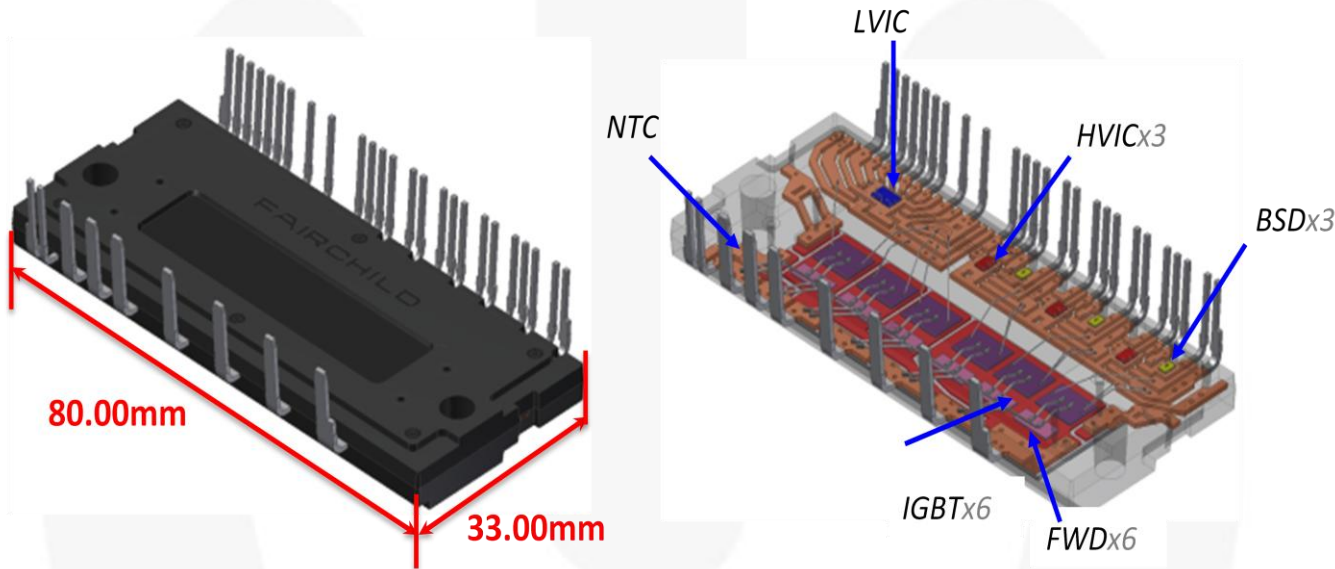


图 1. Motion SPM 2 系列的外部视图和内部结构

表 1. 产品系列和目标应用

目标应用	飞兆半导体器件	IGBT 额定值	电机额定值 ⁽¹⁾	绝缘电压
工业用电机驱动器、系统 空调、通用变频器、伺服 电机	FNA21012A	10 A / 1200 V	1.5 kW / 440 V _{AC}	V _{ISO} = 2500 V _{RMS} (正弦 60 Hz, 1-min 全短接引脚散热片)
	FNA22512A	25 A / 1200 V	3.7 kW / 440 V _{AC}	
	FNA23512A	35 A / 1200 V	5.5 kW / 440 V _{AC}	

说明：

- 这些电机额定值是在以下条件下的模拟结果：V_{AC} = 440 V、V_{DD} = 15 V、T_C = 100°C、T_J = 150°C、f_{PWM} = 5 kHz、PF = 0.8、MI = 0.9、电机效率 = 0.75、150% 过载 1 分钟。
这些电机额定值是通用的，因此，可根据具体条件更改。

1.2 订购信息

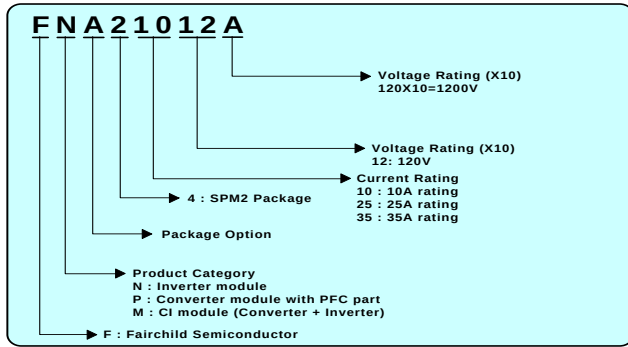


图 2. 订购信息

1.3 特性和集成功能

- DBC 基板
 - 卓越的导热性，防止 2500 Vrms 绝缘电压从引脚传导至散热器
- 集成元件：
 - 用于高侧 IGBT 控制的单通道 HVIC（三个 HVIC）
 - 用于低侧 IGBT 控制的三通道 LVIC（一个 LVIC）
 - 六个 IGBT / 二极管；用于低侧的感测 IGBT
 - 用于温度感测的 NTC 热敏电阻
 - 自举二极管
- 控制驱动器电源：
 - 集成自举二极管，可兼容单直流电源
- 高侧栅极驱动器（单通道）
 - 高压电平转换电路
 - 输入接口：有源高
 - 兼容 3.3 V 控制器输出
 - 无故障信号的欠压锁定
- 低侧栅极驱动器（三通道）
 - 输入接口：有源高
 - 兼容 3.3 V 控制器输出
 - 有故障信号的欠压锁定
 - 短路与过流保护
- 检测来自外部电阻 (RSC) 和 RSC 引脚的感测电流
- 软关闭可防止过高的浪涌电压
- 通过外部电容 (C_{FOD}) 和 CFOD 引脚可以控制故障保护持续时间

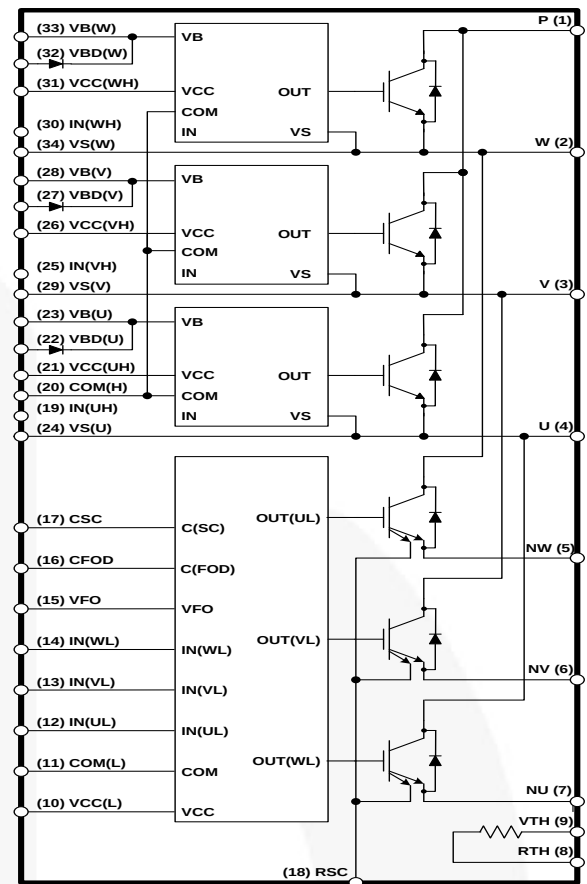


图 3. 内部等效电路，输入 / 输出引脚

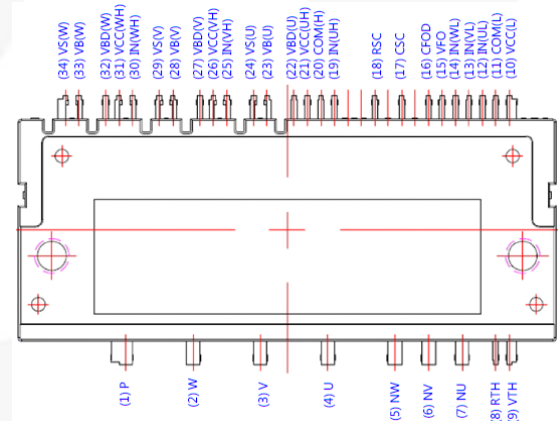


图 4. 封装俯视图和引脚分配

2. 产品简介

本章节讨论引脚描述、电气规格、特性和封装。

表 2. 引脚描述

引脚号	名称	描述
1	P	正直流母线输入
2	W	W 相输出
3	V	V 相输出
4	U	U 相输出
5	NW	W 相的负直流母线输入
6	NV	V 相的负直流母线输入
7	NU	U 相的负直流母线输入
8	RTH	热敏电阻的串联电阻（温度检测）
9	VTH	热敏电阻偏压
10	VCC(L)	驱动 IC 和 IGBT 的低侧偏置电压
11	COM(L)	低侧公共地
12	IN(UL)	低侧 U 相的信号输入
13	IN(VL)	低侧 V 相的信号输入
14	IN(WL)	低侧 W 相的信号输入
15	VFO	故障输出
16	CFOD	用于选择故障输出持续时间的电容
17	CSC	用于短路检测输入的电容（低通滤波器）
18	RSC	短路电流感测电阻
19	IN(UH)	高侧共用电源接地
20	COM(H)	无连接
21	VCC(UH)	U 相 IGBT 驱动的高侧偏压
22	VBD(U)	高侧 U 相的自举二极管阳极
23	VB(U)	U 相 IGBT 驱动的高侧偏压
24	VS(U)	U 相 IGBT 驱动的高侧偏压接地
25	IN(VH)	高侧 V 相的信号输入
26	VCC(VH)	V 相 IC 高侧偏压
27	VBD(V)	高侧 V 相的自举二极管阳极
28	VB(V)	V 相 IGBT 驱动的高侧偏压
29	VS(V)	V 相 IGBT 驱动的高侧偏压的地
30	IN(WH)	高侧 W 相的信号输入
31	VCC(WH)	W 相 IC 高侧偏压
32	VBD(W)	高侧 W 相的自举二极管阳极
33	VB(W)	W 相 IGBT 驱动的高侧偏压
34	VS(W)	W 相 IGBT 驱动的高侧偏压的地

2.1 详细的引脚定义和通知

- 驱动 IGBT 的高侧偏压引脚/驱动 IGBT 的高侧偏压接地引脚：
 - ▶ 引脚：VB(U)-VS(U), VB(V)-VS(V), VB(W)-VS(W)
 - 这些是驱动电源引脚，为高侧 IGBT 提供栅极驱动电源。
 - 自举二极管的电路方案优势在于高侧 IGBT 无需外部电源。
 - 通过 V_{CC} 电源在相应低侧 IGBT 导通状态时为每个自举电容充电。
 - 为了防止电源电压的噪声和纹波引起的故障，低 ESR、低 ESL 滤波器电容应该尽量靠近这些引脚安装。
- 低侧偏压引脚/高侧偏压引脚：
 - ▶ 引脚：VCC(L)、VCC(UH)、VCC(VH)、VCC(WH)
 - 内置 IC 的电源控制引脚。
 - 与外部连接的四个引脚。
 - 为了防止电源电压的噪声和纹波引起的故障，低 ESR、低 ESL 滤波器电容应该尽量靠近这些引脚安装。
- 低侧公共接地引脚：
 - ▶ 引脚：COM(L), COM(H)
 - 是内置 IC 的电源地引脚。
 - 这两个引脚应该在外部接线。
 - **重要事项** 为了避免噪声影响，不允许主功率电路的电流流过该引脚。
- 自举二极管阳极引脚：
 - ▶ 引脚：VBD(UH), VBD(VH), VBD(WH),
 - 这些引脚连接内部自举二极管，用于每个高侧自举。
 - 外部电阻应在引脚和每个 $V_{CC}(xH)$ 之间连接。
- 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。
 - 这些引脚由电压输入信号激活。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。
- 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。
- 每个输入的走线应该尽量短，以防止 MotionSPM 2 遭受噪声影响。
- 为了防止信号振荡，推荐采用 RC 耦合，如图 46 所示。
- 用于短路电流检测的电阻连接引脚
 - ▶ 引脚：RSC
 - 低侧感测 IGBT 电流通过此引脚。可通过外部电阻在此引脚检测出短路和过流。（参考图 16）
 - 若使用 N 端子的三个分流电阻实现 OCP 和 SCP，而不是通过 RSC 进行检测感测，则 RSC 应该连接至 COM。
- 短路和过流检测输入引脚
 - ▶ 引脚：CSC
 - 应在 CSC 和 COM 引脚之间连接电流感测检测电阻 (R_{SC})，以检测是否存在过流和短路电流。（参考图 16）。
 - 取样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 CSC 引脚以消除噪声。
 - 应尽量缩短 CSC 引脚与取样电阻之间的连线长度。
- 故障输出引脚
 - ▶ 引脚：VFO
 - 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。
 - 警报条件：短路电流保护 (SCP)，和低侧偏置欠压锁定 (UVLO)。
 - VFO 输出配置为漏极开路。VFO 信号线路应拉至 5 V 逻辑电源，带约 4.7 k Ω 电阻。
- 热敏电阻偏压
 - ▶ 引脚：VTH
 - 是内部热敏电阻的偏压引脚。该引脚应连接 5 V 逻辑电源。

- 热敏电阻的串联电阻（温度检测）
 - ▶ 引脚：RTH
 - 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。
 - 应根据每个应用规格匹配的检测范围来选择外部串联电阻。
(详细信息，请参见图 46)。
- 正直流链路引脚
 - ▶ 引脚：P
 - 连接逆变器直流母线电压正端引脚。
 - 内部连接到高侧 IGBT 集电极的引脚。
 - 为了抑制由于直流母线走线或 PCB 布局电感导致的浪涌电压，在靠近此引脚的地方连接一个平滑滤波电容。
(小提示：通常使用金属薄膜电容)。
- 负直流母线引脚
 - ▶ 引脚：NU, NV, NW
 - 连接逆变器直流母线电压负端引脚（功率地）。
 - 连接到每相的低侧 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。

2.2 绝对最大额定值

除非另有说明， $T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 。

表 3. 逆变器

符号	参数	工作条件		额定值	单位
V_{PN}	电源电压	在 P – NU, NV, NW 之间应用		900	V
$V_{PN(Surge)}$	电源电压（浪涌）	在 P – NU, NV, NW 之间应用		1000	V
V_{CES}	集电极–发射极电压			1200	V
$\pm I_C$	单只 IGBT 集电极电流	$T_C = 25^{\circ}\text{C}$, $T_J \leq 150^{\circ}\text{C}$	FNA21012A	10	A
			FNA22512A	25	
			FNA23512A	35	
$\pm I_{CP}$	单只 IGBT 集电极电流（峰值）	$T_C = 25^{\circ}\text{C}$, $T_J \leq 150^{\circ}\text{C}$, 低于 1 ms 脉冲宽度	FNA21012A	20	A
			FNA22512A	50	
			FNA23512A	70	
P_C	集电极功耗	$T_C = 25^{\circ}\text{C}$ 每单芯片	FNA21012A	93	W
			FNA22512A	154	
			FNA23512A	171	
T_J	工作结温 ⁽²⁾			-40~150	$^{\circ}\text{C}$

说明：

2. 在 Motion SPM 2 产品中集成的功率芯片的最大结温额定值是 150°C 。

表 4. 控制部分

符号	参数	工作条件	额定值	单位
V_{CC}	控制电源电压	在 $V_{CC}(H)$, $V_{CC}(H)$ - COM 之间应用	20	V
V_{BS}	高端控制偏压	在 $V_B(x)$, $V_S(x)$ 之间应用	20	V
V_{IN}	输入信号电压	在 $IN(xH)$, $IN(xL)$ - COM 之间应用	$-0.3 \sim V_{CC} + 0.3$	V
V_{FO}	故障输出电源电压	施加在 V_{FO} - COM 之间	$-0.3 \sim V_{CC} + 0.3$	V
I_{FO}	故障输出电流	在 V_{FO} 引脚的灌电流	2	mA
V_{SC}	电流感测输入电压	施加在 CSC - COM 之间	$-0.3 \sim V_{CC} + 0.3$	V

表 5. 自举组件

符号	参数	工作条件	额定值	单位
V_{RRM}	最大重复反向电压		1200	V
I_F	正向电流	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$	1.0	A
I_{FP}	正向电流（峰值）	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$, 低于 1 ms 脉冲宽度	2.0	A
T_J	工作结温		$-40 \sim 150$	$^\circ\text{C}$

表 6. 整个系统

符号	参数	工作条件	额定值	单位
$V_{PN(Prot)}$	自我保护限制电压（短路保护容量）	V_{CC} , $V_{BS} = 13.5 \sim 16.5 \text{ V}$, $T_J = 50^\circ\text{C}$, 非重复值, $< 2 \mu\text{s}$	800	V
T_C	模块壳体工作温度	如需相关特性, 请参见图 46	$-40 \sim 125$	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	存储温度		$-40 \sim 125$	$^\circ\text{C}$
V_{ISO}	绝缘电压	60 Hz, 正弦, 1 分钟, 引脚连接散热器	2500	V_{rms}

表 7. 热阻

符号	参数	工作条件		额定值	单位
R _{th(j-c)Q}	结-至-外壳热阻	逆变器 IGBT 组件（每 1/6 模块）	FNA21012A	1.33	°C/W
			FNA22512A	0.81	
			FNA23512A	0.73	
R _{th(j-c)F}		逆变器 FWD 组件（每 1/6 模块）	FNA21012A	2.30	
			FNA22512A	1.58	
			FNA23512A	1.26	

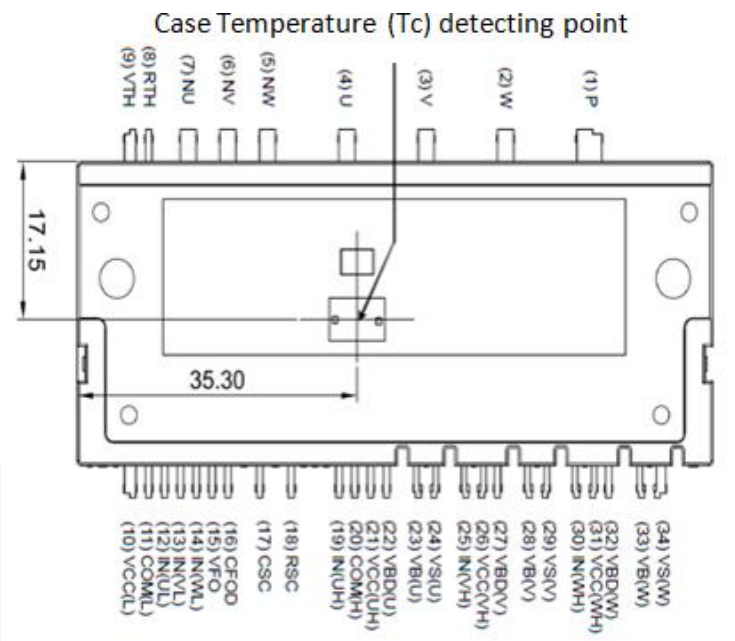


图 5. 外壳温度 (T_c) 检测点

表 8. 推荐工作条件

符号	参数	工作条件		最小值	典型值	最大值	单位
V _{PN}	电源电压	施加在 P - NU, NV, NW 之间		400	600	800	V
V _{CC}	控制电源电压	在 VCC(xH) - COM(H)、VCC(L) - COM(L) 之间应用		13.5	15.0	16.5	V
V _{BS}	高侧偏压	在 VB(x) - VS(x) 之间应用		13.0	15.0	18.5	V
dV _{CC} /dt, dV _{BS} /dt	控制电源波动			-1		+1	V/μs
t _{d_{ead}}	防止臂短的死区时间	适用于每个输入信号	FNA21012A	2.0			μs
			FNA22512A	2.0			
			FNA23512A	2.0			
f _{PWM}	PWM 输入信号	-40°C ≤ T _c ≤ 125°C, - 40°C ≤ T _j ≤ 150°C				20	kHz
V _{SEN}	电流感测产生的电压	在 NU、NV、NW - COM(H, L) (包括浪涌电压) 之间应用		-5		5	V
P _{WIN(ON)}	最小输入脉冲宽度 ⁽³⁾			1.5			μs
P _{WIN(OFF)}				1.5			
T _j	结温			-40		150	°C

说明：

3. 若输入脉冲宽度低于建议值，本产品可能无响应。

2.3 电气特性

除非另有说明， $T_J=25^{\circ}\text{C}$ 。

表 9. 逆变器组件（基于 FNA21012A）

符号	参数	工作条件		最小值	典型值	最大值	单位
$V_{CE(SAT)}$	集电极-发射器饱和电压	$V_{CC}, V_{BS}=15\text{ V}, V_{IN}=5\text{ V}$	$I_C=10\text{ A}, T_J=25^{\circ}\text{C}$		2.2	2.8	V
V_F	FWD 正向电压	$V_{IN}=0\text{ V}$	$I_F=10\text{ A}, T_J=25^{\circ}\text{C}$		2.2	2.8	V
H_S	t_{ON}	$V_{PN}=600\text{ V}, V_{CC}=15\text{ V}, V_{BS}=15\text{ V}, I_C=10\text{ A}$ $T_J=25, V_{IN}=0\text{ V}\leftrightarrow 5\text{ V}$, 感性负载 ⁽⁴⁾		0.45	0.85	1.35	μs
	$t_{C(ON)}$				0.25	0.55	
	t_{OFF}				0.95	1.45	
	$t_{C(OFF)}$				0.10	0.40	
	t_{rr}				0.25		
L_S	t_{ON}				0.75	1.25	
	$t_{C(ON)}$				0.20	0.50	
	t_{OFF}				0.95	1.45	
	$t_{C(OFF)}$				0.10	0.40	
	t_{rr}				0.20		
I_{CES}	集电极-发射极泄漏电流	$V_{CE}=V_{CES}$				5	mA

说明：

4. t_{ON} 和 t_{OFF} 包括内部驱动 IC 的传输延迟。 $t_{C(ON)}$ 和 $t_{C(OFF)}$ 指在内部给定的栅极驱动条件下，IGBT 本身的开关时间。关于更多详细信息，请参见图 6 和图 7。

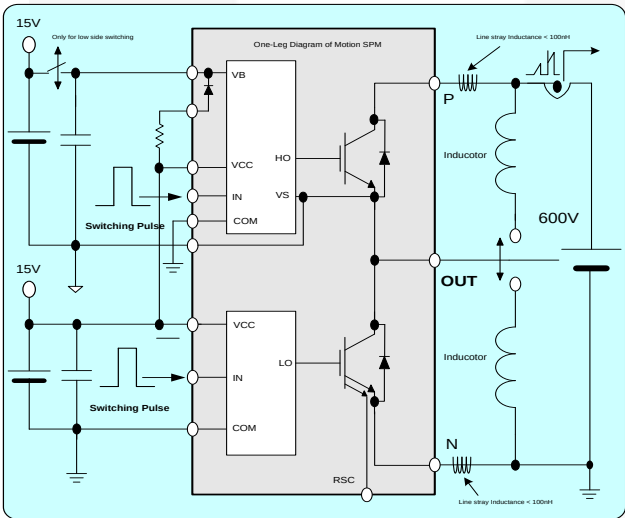


图 6. 开关评估电路

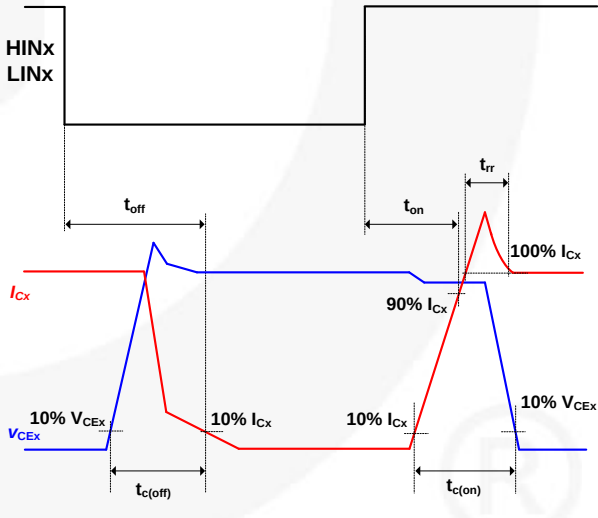


图 7. 开关时间定义

表 10. 控制部分

符号	参数	工作条件			最小值	典型值	最大值	单位
I _{QCCH}	V _{CC} 静态电源 电流	V _{CC} (xH)=15 V, IN(xH)=0 V	V _{CC} (xH) - COM(H)				0.15	mA
I _{QCCL}		V _{CC} (L)=15 V, IN(xL)=0 V	V _{CC} (L) - COM(L)				5.0	
I _{PCCH}	操作高侧 V _{CC} 电源电流	V _{CC} (xH)=15 V, f _{PWM} =20 kHz, 占空比 =50%, 应用至高侧单 PWM 信号输入	FNA21012A				0.3	mA
			FNA22512A				0.3	
			FNA23512A				0.3	
I _{PCCL}	操作低侧 V _{CC} 电源电流	V _{CC} (L)=15 V, f _{PWM} =20 kHz, 占空比 =50%, 应用于低侧的单 PWM 信号输入	FNA21012A				8.5	mA
			FNA22512A				13.0	
			FNA23512A				15.5	
I _{QBS}	V _{BS} 静态电源 电流	V _{BS} =15 V, IN(xH)=0 V	VB(x) - VS(x)				0.3	mA
I _{PBS}	V _{BS} 工作电源 电流	V _{CC} =V _{BS} =15 V, f _{PWM} =20 kHz, 占空比 =50%, 应用于高侧的单 PWM 信号输入	FNA21012A				4.5	mA
			FNA22512A				9.0	
			FNA23512A				12.0	
V _{FOH}	故障输出电压	V _{CC} =15 V, V _{SC} =0 V, V _{FO} 电路: 4.7 kW 至 5 V 上拉电阻			4.5			V
V _{FOL}		V _{CC} =15 V, V _{SC} =1 V, V _{FO} 电路: 4.7 kW 至 5 V 上拉电阻					0.5	
I _{SEN}	每个感测 IGBT 的感测 电流	V _{CC} =15 V, V _{IN} =5 V, R _{SC} =0, 在 NU、NV、NW 端子没有连接电流检测电阻	FNA21012A	I _C =10 A		7		mA
			FNA22512A	I _C =25 A		23		
			FNA23512A	I _C =35 A		36		
V _{SC(ref)}	短路跳闸电平	V _{CC} =15 V ⁽⁵⁾	CSC - COM(L)		0.43	0.50	0.57	V
I _{SC}	用于跳变的短 路电流电平	没有在 NU、V、W 端子处连接分流电阻 ⁽⁵⁾	FNA21012A	R _{SC} =68 (±1%)		20		A
			FNA22512A	R _{SC} =27 (±1%)		50		
			FNA23512A	R _{SC} =16 (±1%)		70		
UV _{CCD}	电源电路、 欠压保护	检测电平			10.3		12.8	V
UV _{CCR}		复位电平			10.8		13.3	
UV _{BSD}		检测电平			9.5		12.0	
UV _{BSR}		复位电平			10.0		12.5	
t _{FOD}	故障保护脉冲 宽度 ⁽⁶⁾	C _{FOD} =开路			50.0			μs
		C _{FOD} =2.2 nF			1.7			ms
V _{IN(ON)}	导通阈值电压	在 IN(xH)-COM(H), IN(xL)-COM(L) 之间应用					2.6	V
V _{IN(OFF)}	关断阈值电压				0.8			
R _{TH}	热敏电阻的电 阻值 ⁽⁷⁾	T _{TH} =25°C				47.0		k
		T _{TH} =100°C				2.9		

注意:

- 仅在低侧应用短路电流保护功能, 因为在低侧 IGBT 从主电流中分离出感测电流。如果插入检测电阻来监测 NU、NV、NW 端子的相电流, 则短路电流的跳变电平改变。
- 故障保护脉冲宽度 t_{FOD} 由 C_{FOD} 电容值决定。
- T_{TH} 是热敏电阻的温度。为了确定外壳温度 (T_C), 请实验特定应用。

3. 封装

由于热损耗是限制功率模块电流性能的重要因素，封装的热损耗特性对于确定产品性能很重要。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 1200 V Motion SPM 2 中，我们开发了 DBC 基板技术，实现了良好的散热特性。功率芯片直接与 DBC 基板连接 substrate。此技术用于 1200 V Motion SPM 2，获得了更佳的可可靠性和散热性。

图 8 图 9 显示 Motion SPM 2 封装的封装外形和横截面。

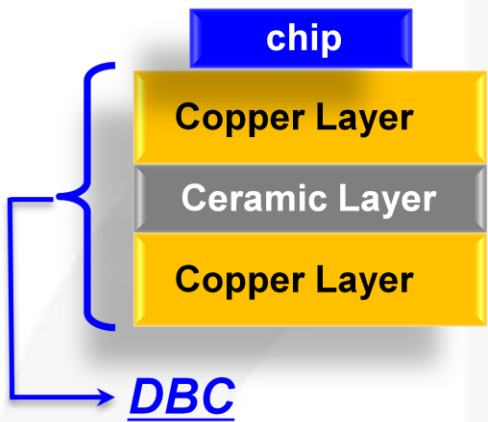


图 8. 散热的纵剖结构

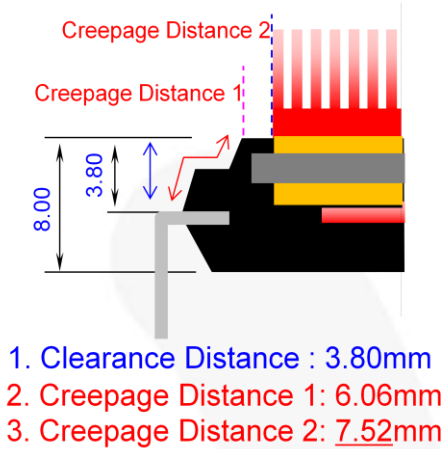


图 9. 隔离距离

表 11. 机械特性和额定值

参数	工作条件		数值			单位
			最小值	典型值	最大值	
器件平面度	如需相关特性，请参见图 10		0		+200	μm
安装扭矩	安装螺丝：M4	建议 0.9 N·m	0.9	1.0	1.5	N·m
		建议 9.1 kg·cm	9.1	10.1	15.1	kg·cm
端子拉力强度	负载 19.6 N		10			s
端子弯曲强度	负载 9.8 N, 90° 弯曲		2			时间
重量				50		g

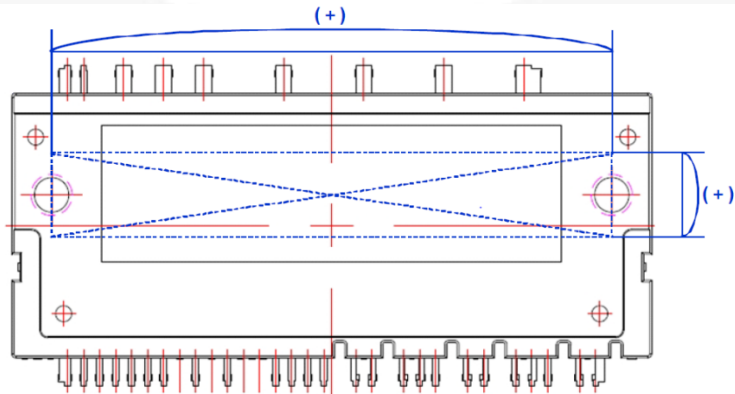
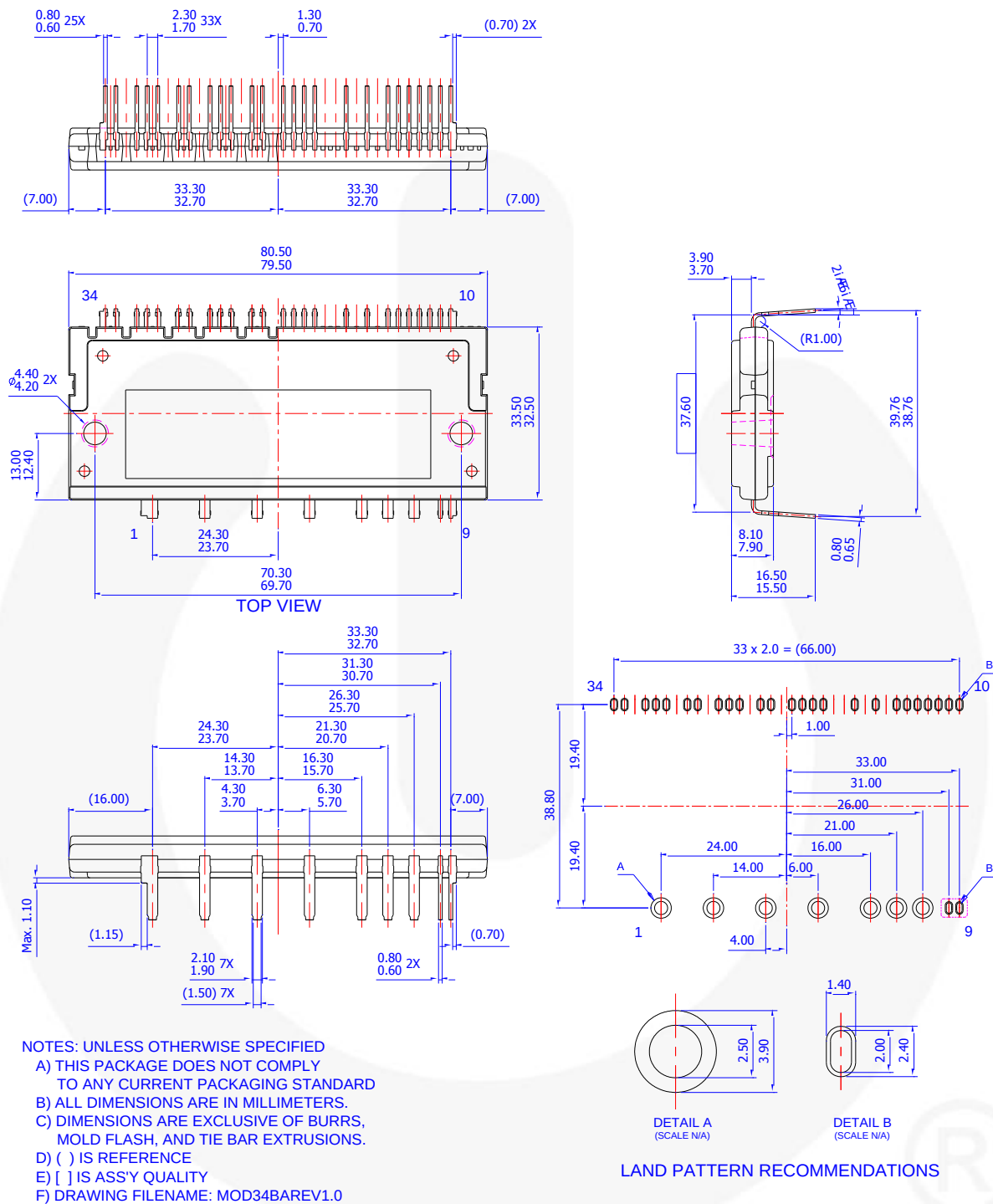


图 10. 平面度测量位置

3.1 封装轮廓详图



3.2 标识信息

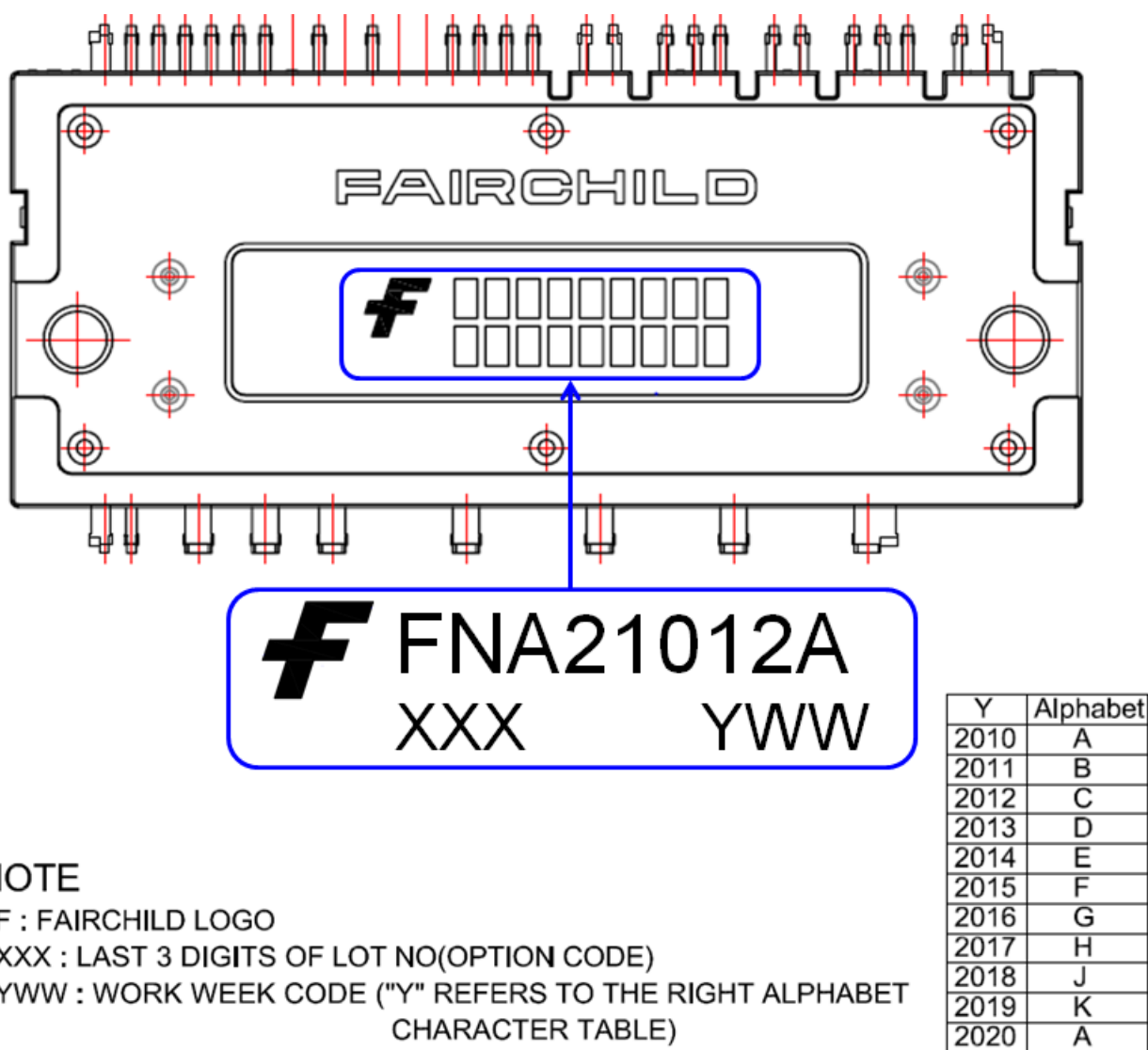


图 11. 标识信息

4. 保护工作序列

4.1 短路电流保护 (SCP)

Motion SPM 2 采用感测电流来检测电阻 (R_{SC})，用以检测短路电流，如图 12 所示。LVIC 有一个内置短路电流保护功能。此保护功能感测到达 CSC 引脚的电压。若该电压超过器件数据表中指定的 $V_{SC(ref)}$ （短路跳闸阈值电压电平）（典型 $V_{SC(ref)}$ 为 0.5 V），则会发出一个故

障信号并关断所有低侧 IGBT。短路电流的最大流量一般取决于栅极电压：较高的栅极电压 (V_{CC} & V_{BS}) 产生较大的短路电流。为了避免潜在的问题，应该将最大短路跳变电平设为低于标称额定集电极电流的 1.7 倍。LVIC 短路电流保护时序图如图 13 所示。

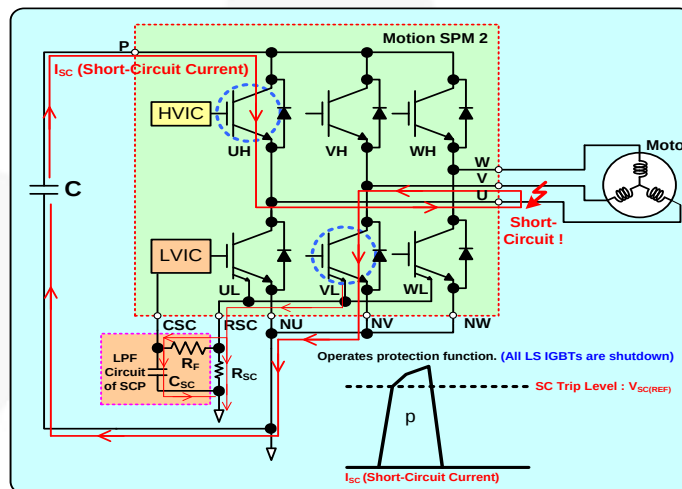


图 12. 短路电流保护操作

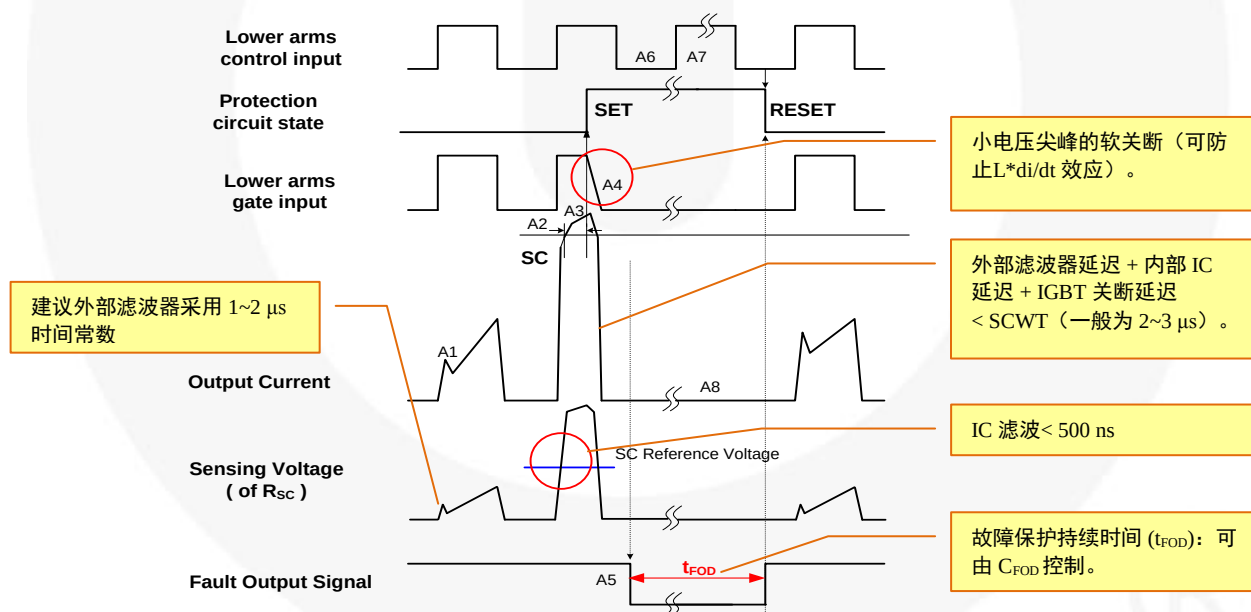


图 13. 短路电流保护功能的时序图

注意:

8. A1-正常操作: IGBT 导通并加载电流。
9. A2-短路电流检测 (SC 触发器)。
10. A3-硬 IGBT 栅极中断。
11. A4-IGBT 通过软关断功能来关闭
12. A5-故障输出定时器操作, 从内部延迟开始 (typ. $2.0\ \mu s$), t_{FOD} 是由 C_{FOD} 控制。
13. A6-输入 "L": IGBT 关断状态。
14. A7-输入 "H": IGBT 导通状态, 单在有源故障输出期间, IGBT 不开启。
15. A8-IGBT 保持关断状态。

4.2 欠压锁定保护

LVIC 的欠压锁定保护 (UVLO) 功能可保护低侧 IGBT 避免在栅极驱动电压不足时操作。这种保护的时序图如图 14 所示。

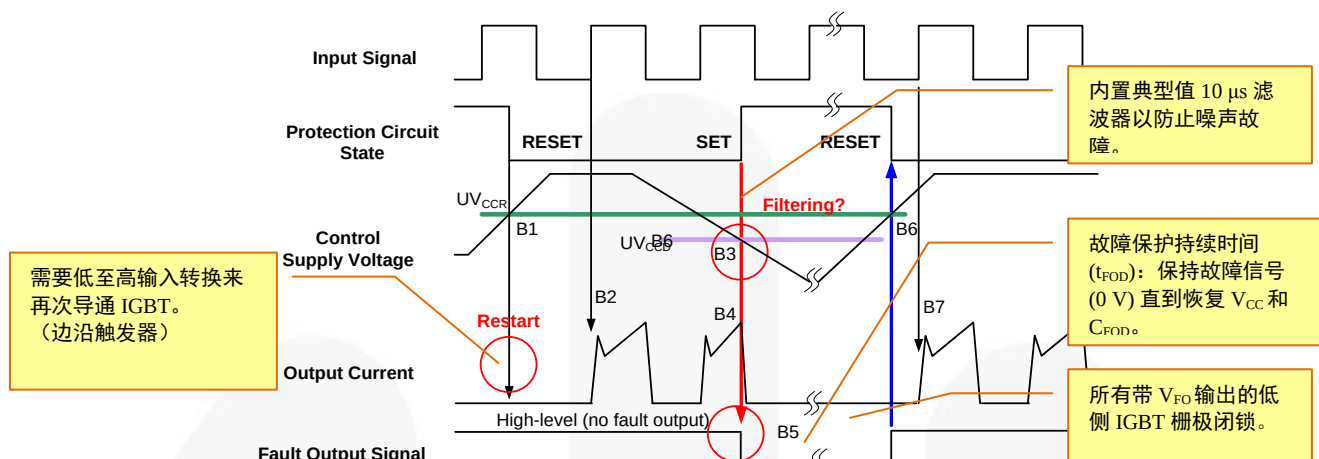


图 14. 低侧欠压保护功能时序图

注意:

16. B1-控制电源电压升高: 电压升高至 UV_{CCR} 后, 当下一输入进入时, 电路开始操作。
17. B2-正常操作: IGBT 导通并加载负载电流
18. B3-欠压检测 (UV_{CCR})。
19. B4-IGBT 关闭, 无论是否存在控制输入。
20. B5-故障输出信号开始。
21. B6-欠压重置 (UV_{CCR})。
22. B7-正常操作: IGBT 导通并加载负载电流 若外部电容的故障保护持续时间 (t_{FOD}) (在 C_{FOD} 引脚) 大于 UV_{CCR} 时序, 则在 t_{FOD} 后清除故障输出和 IGBT 状态。

HVIC 的欠压锁定功能保护高侧 IGBT 避免遭受栅极驱动电压不足问题。这种保护的时序图如图 15 所示。在低 HVIC 偏置条件下不触发故障保护 (FO) 警报。

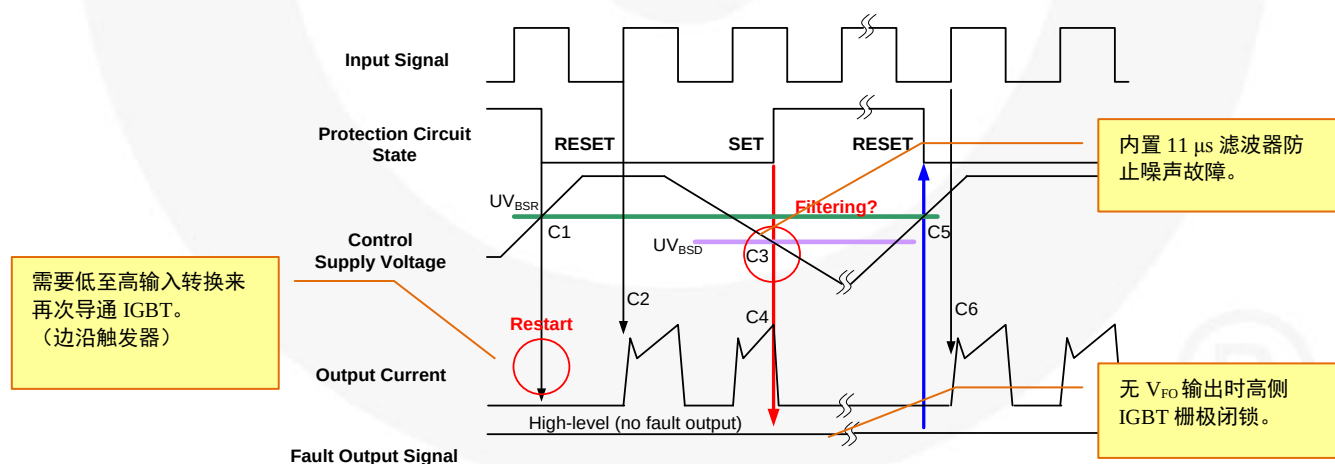


图 15. 高侧欠压保护功能时序图

注意:

23. C1-控制电源电压升高: 电压升高至 UV_{BSR} 后, 当下一输入进入时, 电路开始操作。
24. C2-正常操作: IGBT 导通并加载负载电流。
25. C3-欠压检测 (UV_{BSR})。
26. 无论是否存在控制输入, C4-IGBT 关闭, 但是无故障输出信号。
27. C5-欠压重置 (UV_{BSR})。
28. C6-正常操作: IGBT 导通并加载负载电流。

5. 关键参数设计指南

为了操作稳定性，根据 Motion SPM 2 系列的操作特性，我们为无源组件和偏置条件提供了建议参数。

5.1 选择 RSC 电阻用于保护

图 16 是采用 R_{SC} 电阻作为短路保护的示例电路。感测 IGBT 用于低侧。设计者可用 RSC 引脚作为过流保护 (OCP) 和短路保护 (SCP)，无需在 N 端子连接外部分流电阻。检测到 RSC 上的线路电流，保护性操作信号通过 RC 滤波器。若电流超过 $V_{SC(ref)}$ ，则 N 端三个 IGBT 的栅极全部关断，故障信号从 Motion SPM 2 传输至 MCU。由于不允许出现重复短路，所以发出故障信号后，应立即终止 IGBT 运行。

图 46 显示 FNA21012A 的“ R_{SC} 电阻与跳闸电流”曲线，条件是分流电阻 = 0 Ω 。

对于电流感测，在每个 N 端子采用一个外部电流取样电阻。来自 RSC 引脚的感测电压受到外部电流取样电阻的影响，如图 18 所示。

图 17 通过图 22 显示一个分流电阻条件下 Motion SPM2 的 RSC 值。为了在三个分流电阻结构中获得恰当的 RSC 值，应根据 N 端子分流电阻和目标保护电流电平考虑确定 RSC 值。

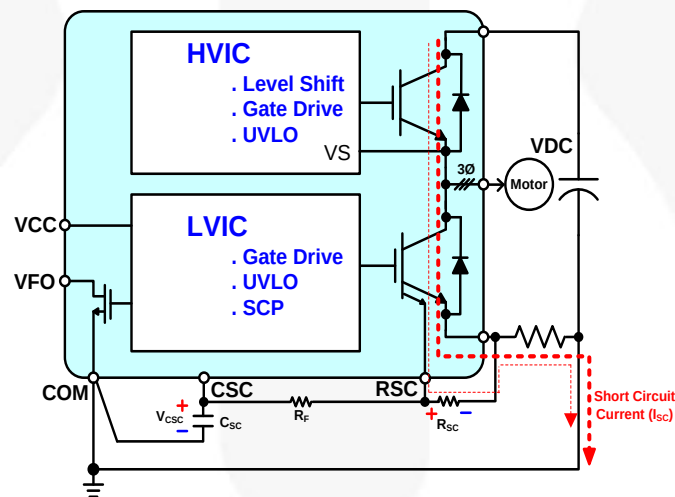


图 16. 引线短路造成短路条件时的电流路径

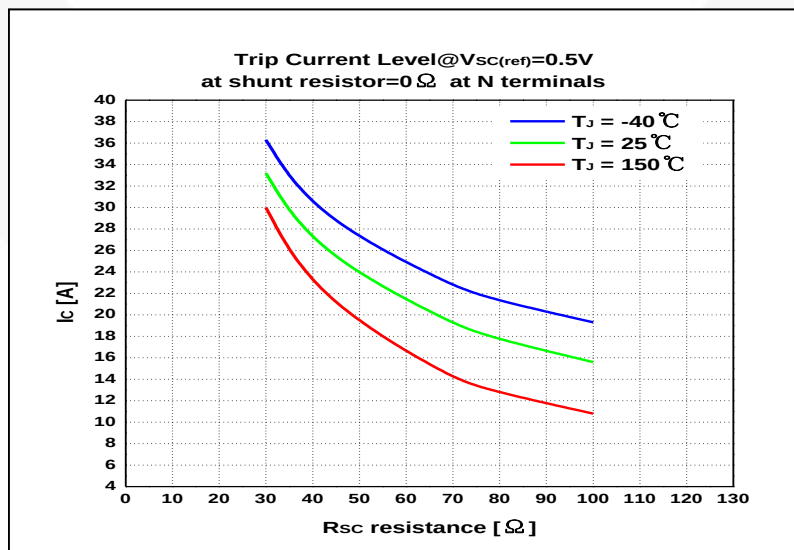


图 17. R_{SC} 电阻值与跳变电流电平，用于在 FNA21012A 结温变量中提供保护

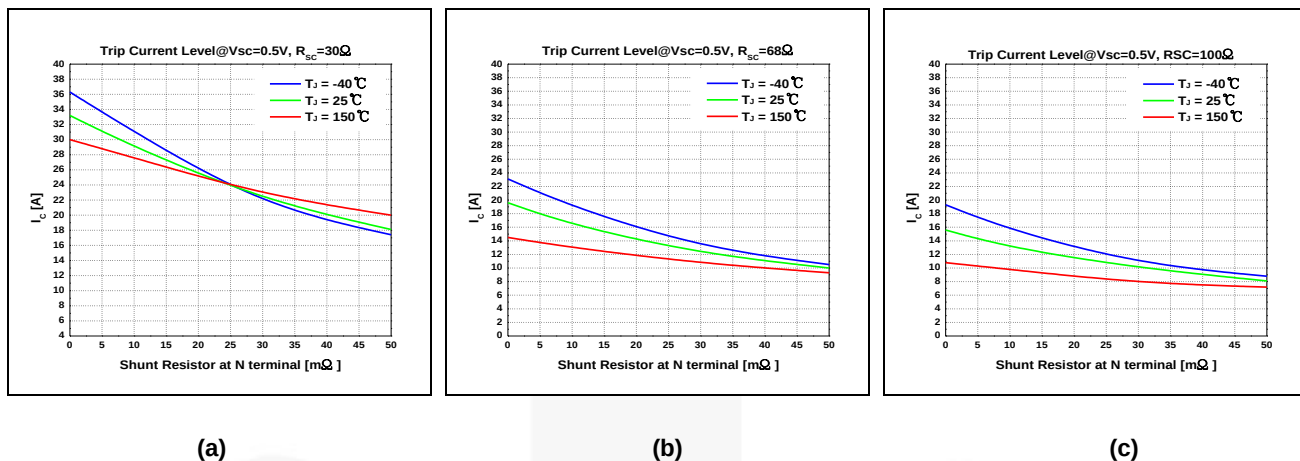


图 18. FNA21012A 的跳闸电流水平与分流电阻

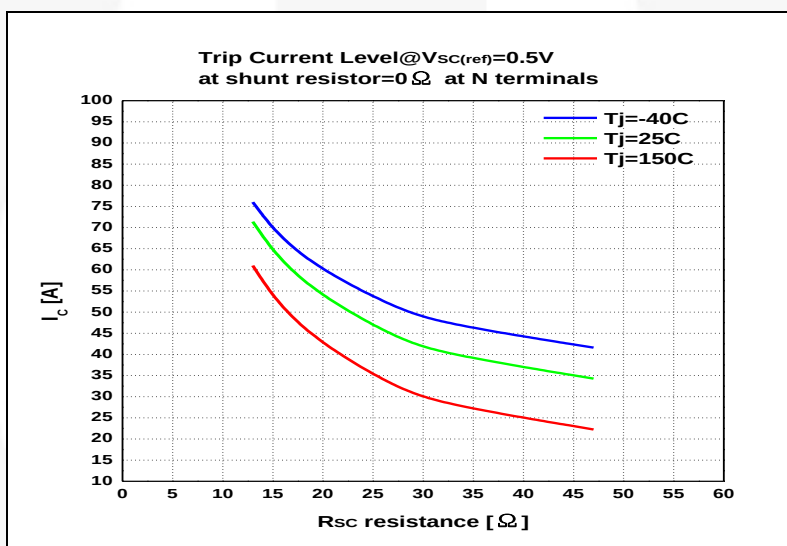
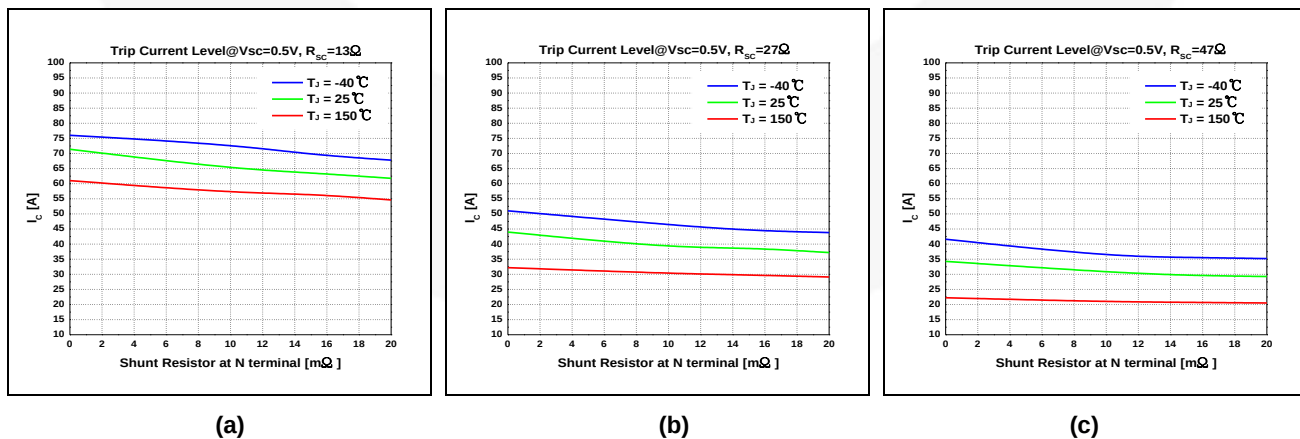
(a): $R_{SC}=30\ \Omega$, (b): $R_{SC}=68\ \Omega$, (c): $R_{SC}=100\ \Omega$ 图 19. R_{SC} 电阻值与跳闸电流水平，用于在 FNA22512A 的不同结温下提供保护

图 20. FNA22512A 的跳闸电流水平与分流电阻

(a): $R_{SC}=13\ \Omega$, (b): $R_{SC}=27\ \Omega$, (c): $R_{SC}=47\ \Omega$

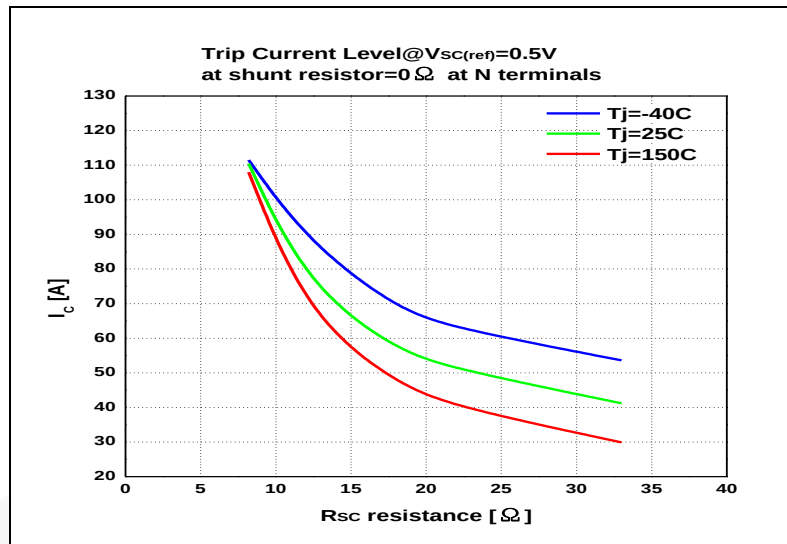
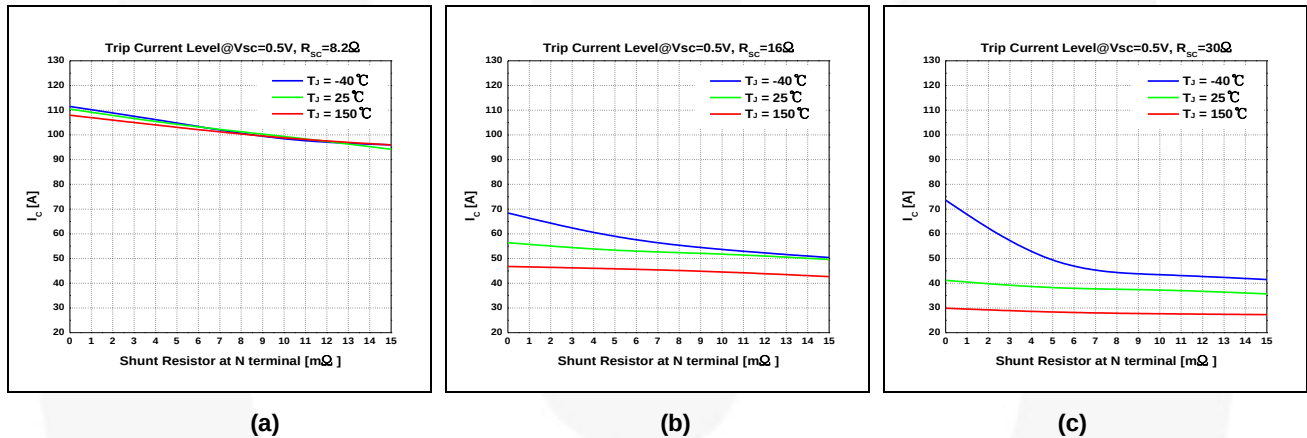
图 21. R_{SC} 电阻值与跳闸电流电平, 用于在 FNA21012A 结温变量中提供保护

图 22. FNA23512A 的跳闸电流电平与分流电阻

(a): $R_{SC}=8.2\ \Omega$, (b): $R_{SC}=16\ \Omega$, (c): $R_{SC}=30\ \Omega$

5.2 在 N 端子用于电流感测与保护的电流取样电阻选择

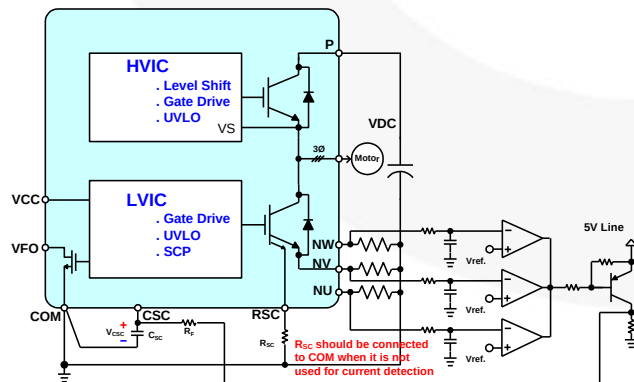


图 23. 用于过流和短路保护 (不使用 RSC 引脚) 的建议电路

若在 N 端子的 OCP 和 SCP 使用三个电流取样电阻, 不从 RSC 检测感测, 则 RSC 应该连接至 COM。从 N 端

子电流取样电阻到 CSC 的外部 RC 时间常数在短路时应低于 $2\ \mu s$ 以获得稳定关断。

通过以下简单等式可以计算出合适的分流电阻。

$$V_{SC(ref)} = \text{最小值 } 0.43\text{ V} / \text{典型值 } 0.5\text{ V} / \text{最大值 } 0.57\text{ V} \quad (\text{参见表 12。})$$

分流电阻:

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

若电流取样电阻的偏差低于 $\pm 5\%$:

$$R_{SHUNT(\text{典型值})} = R_{SHUNT(\text{最小值})} / 0.95 \rightarrow$$

$$R_{SHUNT(\text{最大值})} = R_{SHUNT(\text{典型值})} \times 1.05$$

实际 SC 跳变电流电平为:

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

逆变器输出功率:

$$P_{OUT} = \sqrt{3} \times V_{O_LL} \times I_{RMS} \times PF$$

$$V_{O_LL} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times MI \times \frac{1}{2} \times V_{DC_Link}$$

其中:

V_{O_LL} : 逆变器输出 Lin 到线路电压

MI = 调制指数

V_{DC_Link} = 直流母线电压

I_{RMS} = 逆变器最大负载电流

PF = 功率因数

平均直流电流:

$$I_{DC_AVG} = V_{DC_Link} / (P_{out} \times \text{Eff})$$

其中: Eff = 逆变器效率。

电流取样电阻功率额定值可计算如下:

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

其中:

I_{DC_AVG} : 逆变器平均负载电流

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

降额比例: 分流电阻数据表中, $T_{SHUNT}=100[^\circ\text{C}]$ 时的分流电阻

裕量: 安全裕量 (由客户决定)。

电流取样电阻值计算示例: FNA21012A 分流电阻偏差是 $\pm 5\%$ 。

表 12. OCP & SCP 电平 (VSC (参考值)) 规格

工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
规格 条件: $T_J=25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC}=15\text{ V}$	0.43	0.50	0.57	V

✓ 分流电阻计算示例

计算条件:

- DUT: FNA21012A
- 分流电阻容差: $\pm 5\%$
- SC 触发参考电压:

$$V_{SC}(\text{最小值}) = 0.43\text{ V}, V_{SC}(\text{典型值}) = 0.50\text{ V}, V_{SC}(\text{最大值}) = 0.57\text{ V}$$

- 逆变器的最大负载电流 (I_{RMS}): 5 A_{rms}
- 逆变器的最大峰值负载电流 ($I_{C(max)}$): 10 A
- 调制指数 (MI): 0.9
- 直流母线电压 (V_{DC_Link}): 600 V

- 功率因数 (PF): 0.8
- 逆变器效率 (Eff): 0.95
- $T_C = 25^\circ\text{C}$ 时的分流电阻值 (R_{SHUNT}): $40\text{ m}\Omega$
- $T_{SHUNT} = 100^\circ\text{C}$ 时的分流电阻降额比例: 70% (参考图 46)。
- 安全裕量: 20%

✓ 计算结果:

- $I_{SC}(\text{最大值}) : 1.5 \times I_{C(max)} = 1.5 \times 10\text{ A} = 15\text{ A}$
- $R_{SHUNT}(\text{最小值}) : V_{SC(max)} / I_{SC(max)} = 0.57\text{ V} / 15\text{ A} = 38\text{ m}\Omega$
- $R_{SHUNT}(\text{典型值}) : R_{SHUNT}(\text{最小值}) / 0.95 = 38\text{ m}\Omega / 0.95 = 40\text{ m}\Omega$
- $R_{SHUNT}(\text{最大值}) : R_{SHUNT}(\text{典型值}) \times 1.05 = 40.0\text{ m}\Omega \times 1.05 = 42\text{ m}\Omega$
- $I_{SC}(\text{最小值}) : V_{SC}(\text{最小值}) / R_{SHUNT}(\text{最大值}) = 0.43\text{ V} / 42\text{ m}\Omega = 10.2\text{ A}$
- $I_{SC}(\text{典型值}) : V_{SC}(\text{典型值}) / R_{SHUNT}(\text{典型值}) = 0.5\text{ V} / 40\text{ m}\Omega = 12.5\text{ A}$
- $V_{O_LL} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times MI \times \frac{1}{2} \times V_{DC_Link} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.9 \times 0.5 \times 600 = 330.7$
- $P_{OUT} = \sqrt{3} \times V_{O_LL} \times I_{RMS} \times PF = \sqrt{3} \times 330.7 \times 5 \times 0.8 = 2291\text{ W}$
- $I_{DC_AVG} = (P_{OUT} / \text{Eff}) / V_{DC_Link} = 4.64\text{ A}$
- $P_{SHUNT} = (I_{DC_AVG}^2 \times R_{SHUNT} \times \text{裕量}) / \text{降额比例}$
 $= (4.64^2 \times 0.040 \times 1.2) / 0.7 = 1.48\text{ W}$
 (因此, 分流电阻的适当功率降额超过 2 W)

表 13. FNA21012A 的工作短路电流范围, 条件是 $T_J = 25^\circ\text{C}$ ($R_{SHUNT} = 38\text{ m}\Omega$ (最小值)、 $40\text{ m}\Omega$ (典型值)、 $42\text{ m}\Omega$ (最大值))

工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
工作 SC 水平	10	12	15	A

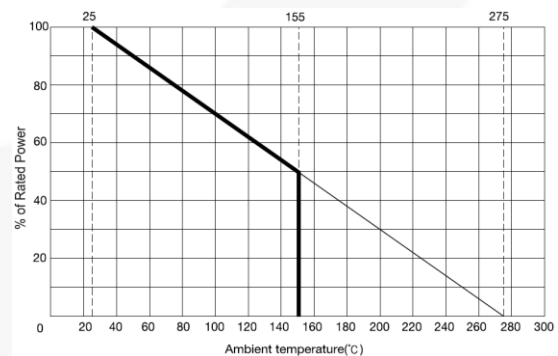


图 24. 电流取样电阻的降额曲线示例 (来自 RARA 电路)

5.3 内部延迟的时间常数

RC 滤波器防止噪声相关的短路电流保护 (SCP) 电路故障。RC 时间常数由 Motion SPM 2 应用的噪声时间和短路电流耐受时间 (SCWT) 决定。若 R_{SC} 电压超过 SCP 电平, 则通过 RC 滤波器施加至 CSC 引脚。RC 滤波器延

迟 (T1) 是 CSC 引脚电压升高到参考的 SCP 电平所需的时间。LVIC 有一个内部滤波器时间 (用以移除噪声的逻辑滤波器时间: T2)。Consider this filter time when designing the RC filter of V_{CSC} .

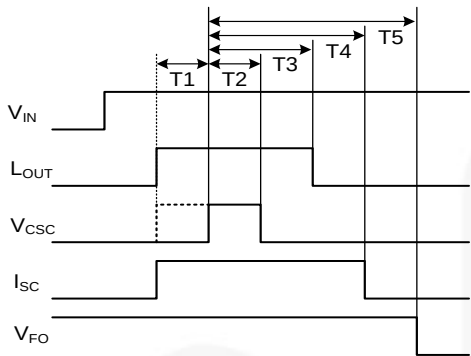


图 25. 时序图

- 注意:**
- 29. V_{IN} : 输入信号电压。
 - 30. L_{OUT} : 低侧 IGBT 的 V_{GE} 。
 - 31. V_{CSC} : CSC 引脚的电压。
 - 32. I_{SC} : 短路电流。
 - 33. V_{FO} : VFO 引脚的电压。
 - 34. T1: filtering time of RC filter of V_{CSC} .
 - 35. T2: CSC 的滤波时间。若 V_{CSC} 宽度低于 T2, 则 SCP 不工作。
 - 36. T3: 从 CSC 触发到栅极电压下降的延迟。
 - 37. T4: 从 CSC 触发到短路电流的延迟。
 - 38. T5: 从 CCSC 触发到故障保护信号的延迟。

表 14. 短路电路条件下的时间表: V_{CSC} to L_{OUT} , I_{SC} , V_{FO}

用于测试的器件	典型值在 $T_J=25^{\circ}\text{C}$ 时	典型值在 $T_J=150^{\circ}\text{C}$ 时	最大值在 $T_J=25^{\circ}\text{C}$ 时
FNA21012A	T2=0.25 μs	T2=0.09 μs	考虑 $\pm 20\%$ 偏差, T4 = 3.6 μs
	T3=0.62 μs	T3=0.57 μs	
	T4=3 μs	T4=3.3 μs	
	T5=4.1 μs	T5=4.25 μs	

- 注意:**
- 39. 为了确保在所有工作条件下的安全短路保护, C_{SC} 应在短路发生后 1.0 μs 内触发。(建议: $SCWT < 5.0 \mu\text{s}$, 条件: $V_{DC}=800 \text{ V}$, $V_{CC}=16.5 \text{ V}$, $T_J=150^{\circ}\text{C}$).
 - 40. 建议从短路到 CSC 触发的延迟应降至最低。

5.4 软关断

LVIC 软关断功能保护低侧 IGBT 免受 V_{PN} (电源电压) 过压损坏, 通过“短路硬关断”来提供保护, 即在短路条件下在 SCP 功能之前利用短输入信号来关断 IGBT。这样, 通过快速和大 di/dt 的 I_{SC} (短路电流), V_{PN} 快速升高。此类 V_{PN} 的快速升高可能由于过压导致 IGBT 损坏。因此, 软关断功能防止 IGBT 快速关闭, 而是为 V_{GE} 缓慢放电 (IGBT 栅极至发射极的电压)。

LVIC 内部框图和软关断功能的工作序列如 26 和 27 所示。此功能通过两个内部保护功能实现 (VLO 和 SCP)。当 IGBT 在正常条件下关闭时, LVIC 通过栅极驱动器块关断栅极信号 ($IN(xL)$) 来立刻关断 IGBT。驱动器导通前置栅极驱动器模块的输出缓冲器 (路径①) 当 IGBT 由保护功能关断时, 由保护功能信号通过保护电路输出 (禁用输出缓冲器, 高 Z) 和软关断功能的保护电路导通开关输出来停用栅极驱动器。 V_{GE} (IGBT 栅极发射极电压) 通过软关断电路来缓慢放电 (路径②)。

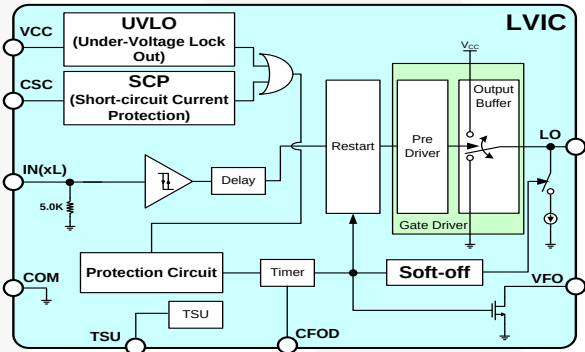


图 26. LVIC 的内部框图

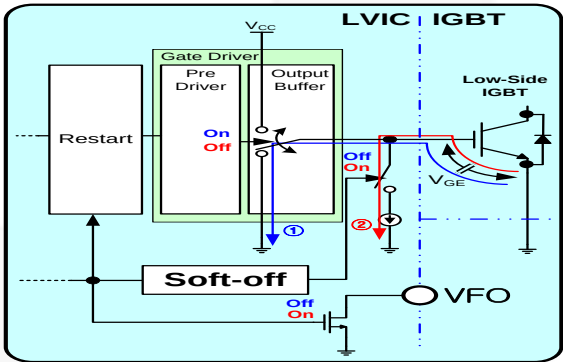


图 27. 软关断的工作序列

图 28 图 29 显示在 $V_{DC}=800\text{ V}$ ，浪涌电压在 P 和 N 引脚之间 (V_{PN} (浪涌)) 限制在低于 1000 V 的范围内时成功操作的正常关断开关操作。图 28 和图 29 也显示了硬关断和软关断开关操作之间的差异。IGBT 的硬关断会产生很大的过冲 (高达 155 V)。直流母线电容电源电压应限制为 800 V 以便安全保护 1200 V Motion SPM 2。硬关断且持续时间低于 $\sim 2\text{ }\mu\text{s}$ ，可能在短路故障时发生。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。在此条件下，过冲电压 $<100\text{ V}$ 。

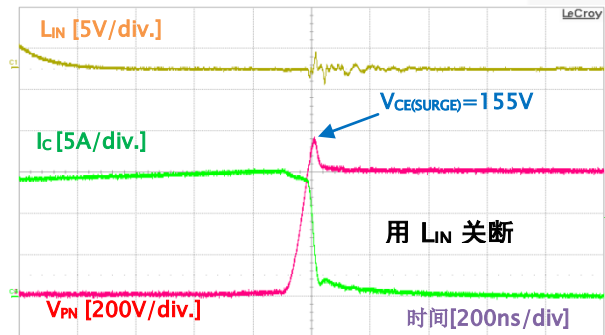


图 28. 通过输入 (FNA21012A 来关断, 参考条件: $V_{DC}=600\text{ V}$ 、 $T_J=25^{\circ}\text{C}$)

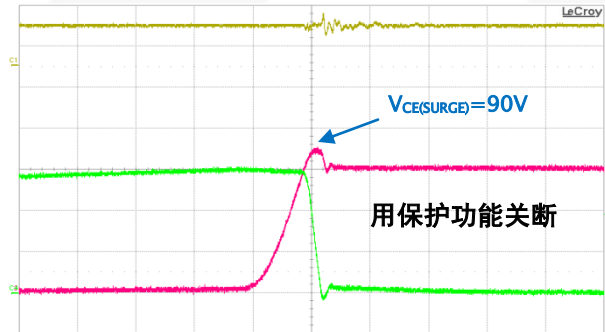


图 29. 用软关断功能关断 (FNA21012A, 参考条件: $V_{DC}=600\text{ V}$ 、 $T_J=25^{\circ}\text{C}$)

5.5 故障输出电路

表 15. 故障输出最大额定值

符号	项目	条件	额定值	单位
V_{FO}	故障输出电源电压	施加于 V_{FO} -COM 之间	$-0.3 \sim V_{CC}+0.3$	V
I_{FO}	故障输出电流	在 V_{FO} 引脚的灌电流	2	mA

表 16. 电气特性

符号	项目	工作条件	最小值	最大值	单位
V_{FOH}	故障输出电源电压	$V_{CC}=15\text{ V}$, $V_{SC}=0$, V_{FO} 电路: $4.7\text{ k}\Omega$ 至 5 V 上拉电阻	4.5		V
V_{FOL}				0.5	V

因为 V_{FO} 端子是漏极开路类型; 应使用上拉电阻来上拉。电阻必须满足上述规格。

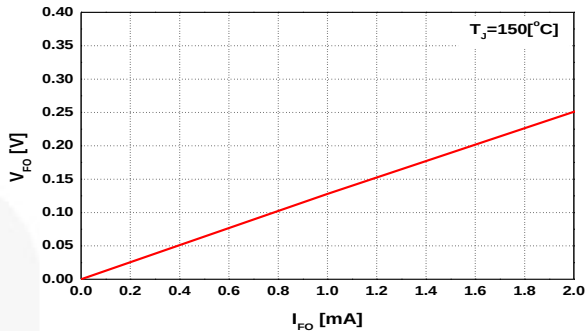


图 30. V_{FO} 端子的电压-电流特性

5.6 输入信号电路 (IN(xH)、IN(xL))

图 28 显示 MCU 和 Motion SPM 2 之间的 I/O 接口电路。因为 Motion SPM 2 输入逻辑高电平有效, 而且有内置下拉电阻, 因此, 无需外部下拉电阻。

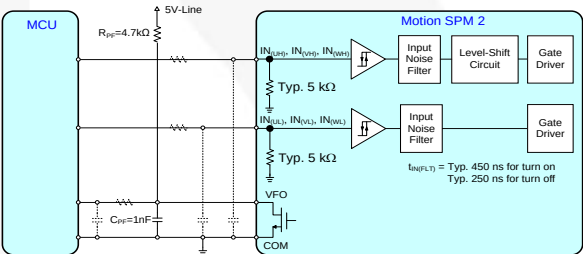


图 31. 建议的 CPU I/O 接口电路

在图 46 中显示输入和故障输出的最大额定电压。由于故障输出是漏极开路, 其额定值是 $V_{CC}+0.3\text{ V}$, 因此, 可以使用 15 V 电源接口。但是, 建议为故障输出配置 5 V 逻辑电源, 与输入信号相同。并建议在 MCU 和 Motion SPM 2 两端的 V_{FO} 信号线路上安装的去耦电容尽量靠近每个器件。每个输入端的 RC 耦合 (图 46 中以虚线表示) 可能随具体应用中的 PWM 控制方案和 PCB 布局的接线阻抗而有所变化。

Motion SPM 2 系列的输入信号部分集成了一个 $5\text{ k}\Omega$ (典型值) 的下拉电阻。因此, 在 MCU 输出和 Motion SPM 2 输入之间使用外部滤波电阻时, 应注意输入端的信号压降, 以满足导通阈值电压要求。

表 17. 输入和 VFO 引脚的最大额定值

符号	项目	条件	额定值	单位
VIN	输入信号电压	在 $IN_{(XH)}$ 、 $IN_{(XL)}$ -COM(x) 之间应用	-0.3 ~ $V_{CC} + 0.3$	V
VFO	故障输出电源电压	在 V_{FO} -COM(L) 之间应用	-0.3 ~ $V_{CC} + 0.3$	V

表 18. 输入阈值电压额定值 ($V_{CC}=15\text{ V}$, $T_J=25^\circ\text{C}$)

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

5.7 自举电路设计

5.7.1. 自举电路的工作原理

V_{BS} 电压，即 VB (U, V, W) 和 VS (U, V, W) 之间的压差，为 Motion SPM 2 系列中的 HVIC 提供电源。该电源范围为 13.0 V~18.5 V，以确保 HVIC 可完全驱动高侧 IGBT。用于 V_{BS} 的欠压锁定保护功能确保 HVIC 在 V_{BS} 压降低于特定电压时不驱动高侧 IGBT（参见数据手册）。此功能防止 IGBT 在高功耗模式下工作。

产生 V_{BS} 浮动电源有许多方法，其中一种是此处所描述的自举模式（参见图 32）。该方法的优点是简单，便宜。但是，自举电容的电荷补充限制了导通周期和导通时间。自举电源由自举二极管、电阻、和电容组成。自举电路的电流路径如图 32 所示。当 V_S 下拉至地（低侧 IGBT 导通或低侧 FRD 续流），自举电容 (C_{BS}) 通过自举二极管 (D_{BS}) 和来自 V_{CC} 电源的电阻 (R_{BS}) 充电。

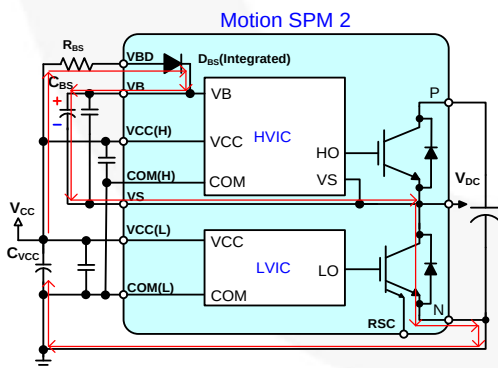


图 32. 低侧 IGBT 导通时 HVIC 的电源电压 (V_{BS}) 的自举电路电流路径

5.7.2. 选择自举电容时，应考虑初始充电

初始自举充电需要足够的低侧 IGBT 导通时间才能为自举电容完全充满电。初始充电时间 (t_{charge}) 可通过下列公式计算：

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

其中：

V_F = 自举二极管两端的正向压降；

V_{BS} (最小值) = 自举电容的最小值；

V_{LS} = 低侧 IGBT 两端或负载的压降；以及

Δ = PWM 占空比。

自举电容初始充电后；根据初始充电方法、 V_{CC} 线路 SMPS 输出电流、 V_{CC} 源极电容和自举电容生成 V_{CC} 压降。若 V_{CC} 压降达到 UV_{CCD} 电平，低侧关断，并产生故障信号。为了避免此类故障，应考虑相关参数和初始充电方法。为了在初始充电时减少 V_{CC} 压降，建议采用大 V_{CC} 电容并选择优化的低侧导通方法。低侧 IGBT 应有足够的导通时间，以便 PWM 开始正常工作前对自举电容完全充电。

图 34 显示初始自举充电序列的示例。建立 V_{CC} 之后， V_{BS} 需要导通低侧 IGBT 进行充电。PWM 信号通常由中断产生，定时器以基于开关载波频率的固定间隔触发该中断。因此，需要在不产生互补高侧 PWM 信号的情况下保持该结构。 V_{CC} 电容值应足以为所有三相 V_{BS} 电容供应足够必要的电荷。若在 V_{BS} 达到 UV_{VLO} 重置电平之前，开启了正常操作，则高侧 IGBT 不能在创建故障信号的情况下开关。在某些应用中，这可能导致电机启动失败。若三相同时充电，流经单个电流取样电阻的初始充电电流可能超过过流保护电平值。因此，自举电容的初始充电时间应按图中所示分开图 34。自举电容因素和充电方式（低侧 IGBT 驱动方式）的影响如图 35 所示。

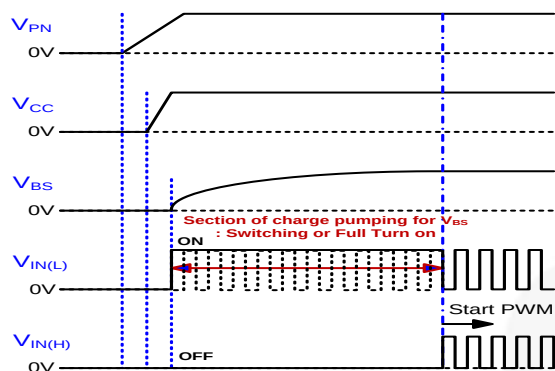


图 33. 初始自举充电的时序图

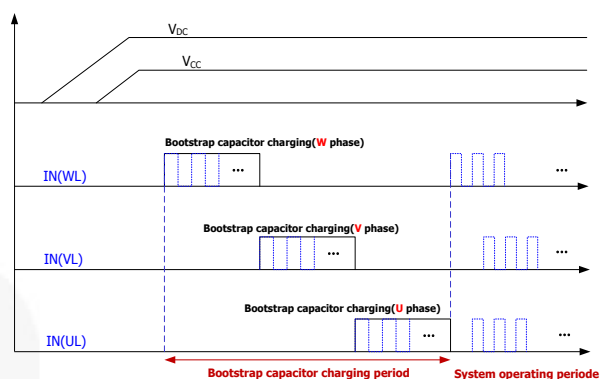


图 34. 建议的初始自举电容充电时序

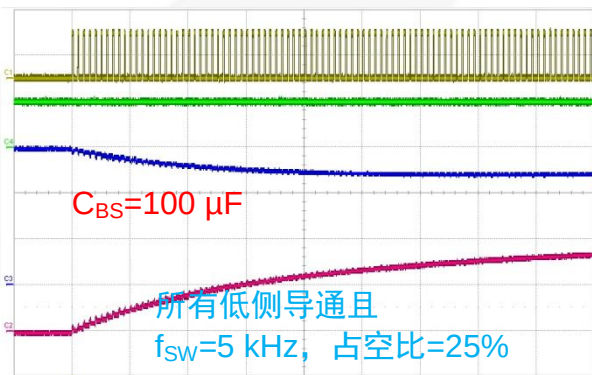
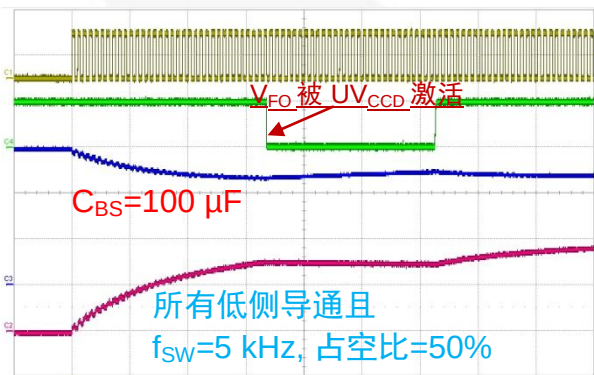
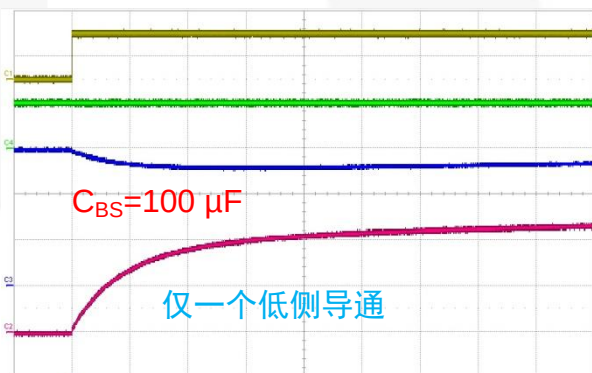
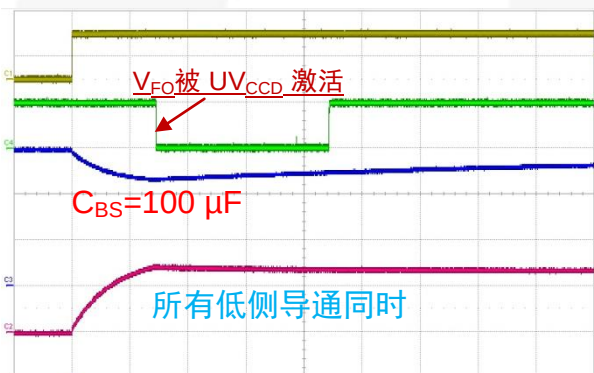
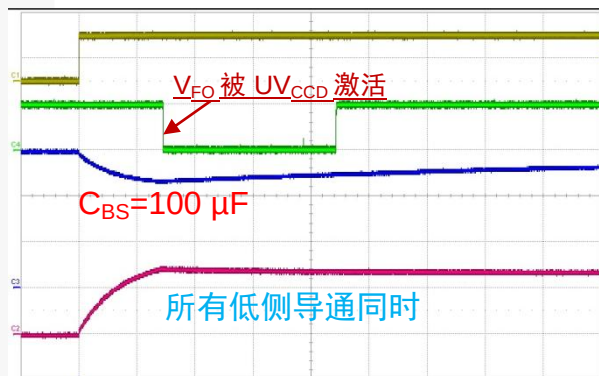
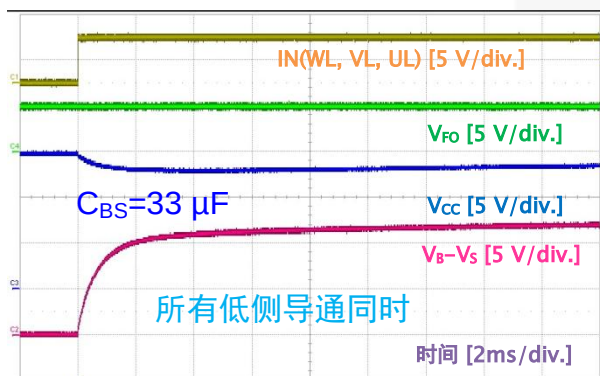


图 35. 根据自举电容和充电方法操作的初始充电
(参考条件: $V_{CC}=15\text{ V}/300\text{ mA}$, V_{CC} 电容=220 μF , 自举电容=100 μF , $R_{BS}=20\ \Omega$)

5.7.3. 选择自举电容考虑操作

自举电容的大小通过下面的公式计算：

$$C_{BS} = \frac{I_{leak} \times \Delta t}{\Delta V_{BS}}$$

其中：

Δt ：高侧 IGBT 的最大导通脉冲宽度；

ΔV_{BS} ： C_{BS} 允许的放电电压（电压波纹）

I_{leak} ： C_{BS} 的最大放电电流。

主要依据以下机理：

- 高侧 IGBT 导通时的栅极充电
- 在 HVIC 中进入高侧电路的静态电流
- 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} 电容泄漏电流（非电解电容可忽略）
- 自举二极管的反向恢复电荷

实际情况下，建议为 Motion SPM 2 系列采用 4.5 mA 的 I_{leak} 。考虑到功耗和可靠性，电容通常选为计算值的 2-3 倍。只有高侧 IGBT 关断，且 $V_{S(x)}$ 电压下降至地时 CBS 才能充电。

低侧 IGBT 的导通时间必须足够弥补损失的电荷，为 C_{BS} 完全充电。因此，低侧 IGBT 存在一个固有最小导通时间（或高侧 IGBT 的关断时间）。

自举电容 A 的计算示例

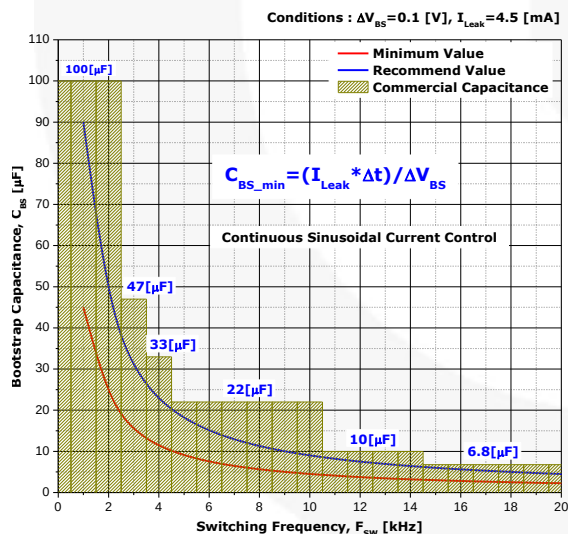


图 36. 不同开关频率下的自举电容的电容值

根据开关频率和建议 ΔV_{BS}

- I_{leak} ：电路电流 = 4.5 mA
(关于 FNA21012A，请参阅表 19)
- ΔV_{BS} ：放电电压 = 0.1 V（建议值）
- Δt ：高侧 IGBT 的最大导通脉冲宽度 = 0.2 ms（取决于应用）

$$C_{BS_min} = \frac{I_{leak} \times \Delta t}{\Delta V_{BS}} = \frac{4.5 \text{ mA} \times 0.2 \text{ ms}}{0.1 \text{ V}} = 19 \times 10^{-6}$$

→ 2 倍以上 → 18 μF (22 μF STD 值)

表 19. VBS 工作电源电流

符号	工作条件	器件	最大值	单位
IPBS	$V_{CC} = V_{BS} = 15 \text{ V}$ 、 $f_{PWM} = 20 \text{ kHz}$ 、 占空比 = 50%，施加于高 侧一个 PWM 信号输入	FNA21012A	4.5	mA
		FNA22512A	9.0	
		FNA23512A	12.0	

说明：

41. 电容值可根据开关频率、所需电容和建议的 V_{BS} 电压 13.0~18.5 V（来自数据手册）而改变。上述结果仅仅为计算举例。此值可根据实际控制方法和器件的使用时间来改变。

自举电容 B 的计算示例

根据工作条件， UV_{BS} 功能和可允许的建议 $V_{B(x)}-V_{S(x)}$

为了避免意外的欠压保护，并确保 V_{BS} 在建议值范围内，应根据工作条件选择自举电容。自举电压波纹受到自举电阻、负载条件、输出频率和开关频率的影响。检查系统中最大负载条件下的自举电压。图 37 显示操作中 $V_{B(x)}-V_{S(x)}$ 纹波电压示例。

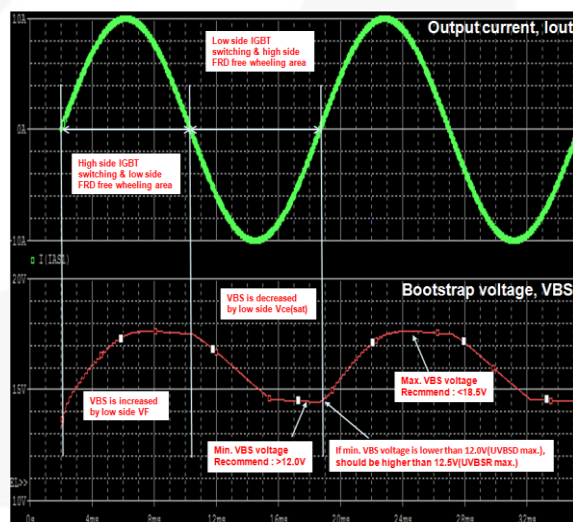


图 37. 在操作中的自举纹波电压建议

5.8 内置自举二极管

当高侧 IGBT 或 FRD 导电时，自举二极管 (D_{BS}) 承受整个总线电压。建议自举二极管采用超过 1200 V 的耐受电压。该二极管必须具有低于 100 ns 的恢复时间特性，这样才能使自举电容回馈至 V_{CC} 电源的电荷数量最少。一般来说，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})。Motion SPM 2 自举二极管的 I-V 特性如图 38 和图 39 所示。自举电阻 (R_{BS}) 降低 dV_{BS}/dt 并限制自举电容的初始充电电流 (I_{charge})。为了防止初始自举电容充电时的很大峰值电流，应使用一个额外的串联电阻来限流。很大的峰值电流可能造成过电流保护和自举二极管应力。确保自举二极管的脉冲电流限制在 2 A，因此，应使用最小 10 Ω 的串联电阻来限流。一般来说，建议采用 10 倍数的 Ω 作为 R_{BS} 。对于选择 R_{BS} ，应考虑脉冲功率额定值用于自举电容的初始充电。为了使用大自举电容，需要自举电阻的高脉冲功率额定值。电阻脉冲功率额定值的示例如图 40 所示。

Motion SPM 2 自举二极管的特性：

- 快速恢复二极管：1200 V/1 A
- t_{rr} ：80 ns（典型值）

表 20. 自举二极管的规格

符号	参数	工作条件	典型值	单位
V_F	正向压降	$I_F=1\text{ A}$, $T_C=25^\circ\text{C}$	2.2	V
t_{rr}	反向恢复时间	$I_F=1\text{ A}$, $T_C=25^\circ\text{C}$, $di_F/dt=50\text{ A}/\mu\text{s}$	80	ns

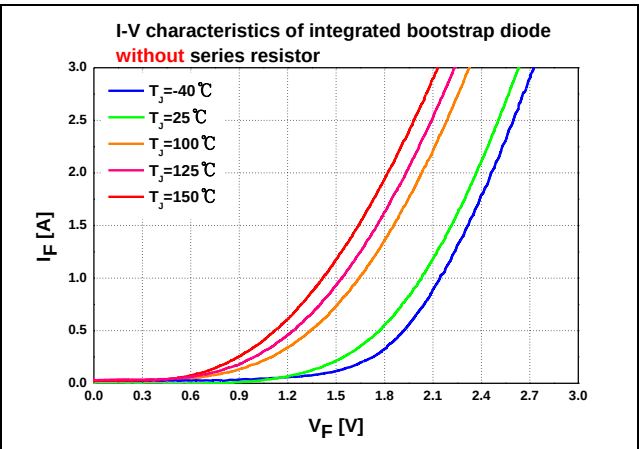


图 38. 集成式自举二极管串联（不带串联电阻）的特性 I-V

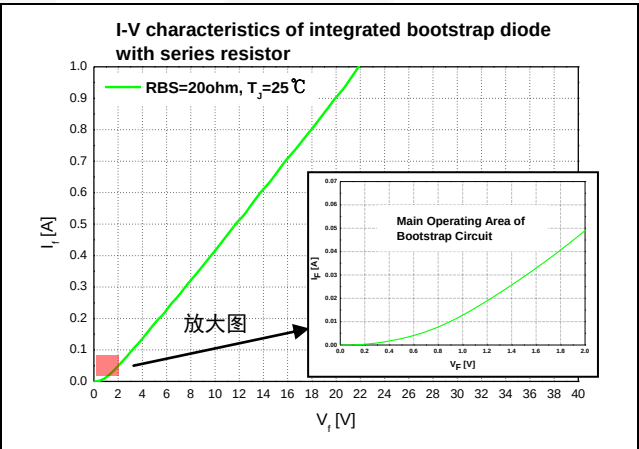


图 39. 集成式自举二极管串联（带串联电阻）的特性 I-V

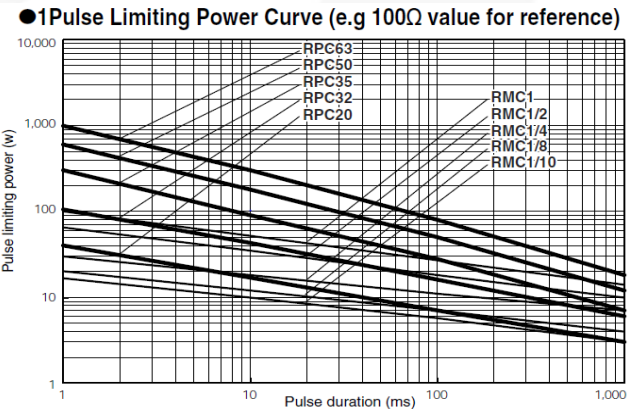


图 40. 电阻脉冲功率曲线示例（来自 KAMAYA OHM）

5.9 NTC 热敏电阻的电路（模块的温度监控）

Motion SPM 2 系列包括负温度系数 (NTC) 热敏电阻，用于模块内的温度感测。此热敏电阻位于 DBC 基板带功率芯片 (IGBT/FRD)，并精确报告功率芯片的温度（请参见图 42.）。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（监控）。一种是使用模拟-数字转换器 (ADC) 电路。另一种是使用比较器电路。图 44 和图 45 显示用于 NTC 热敏电阻的两种电路示例。

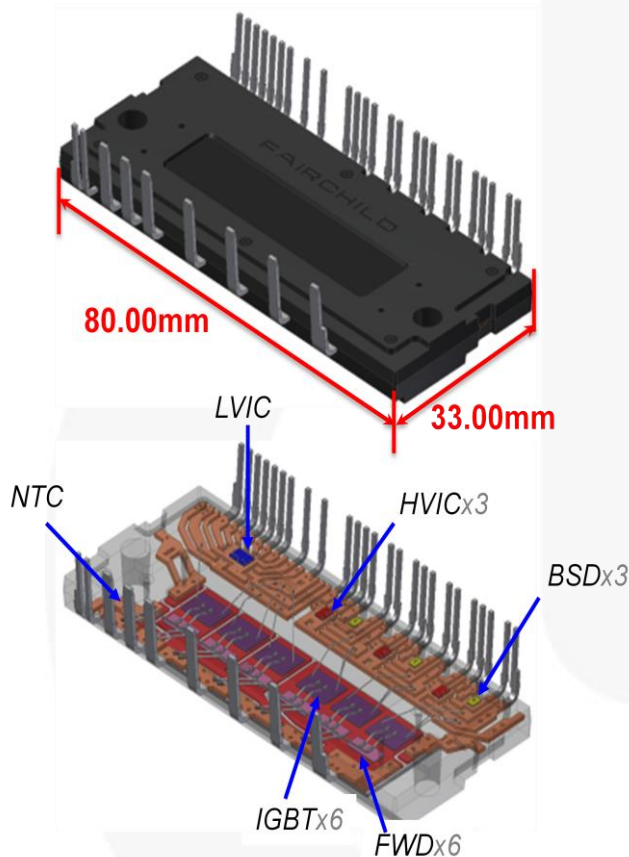


图 41. 1200-V Motion SPM 2

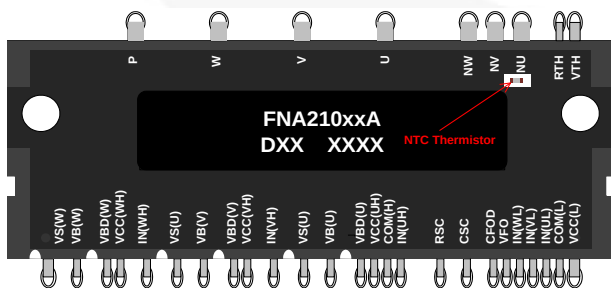


图 42. NTC 热敏电阻在 1200-V Motion SPM 2 中的位置

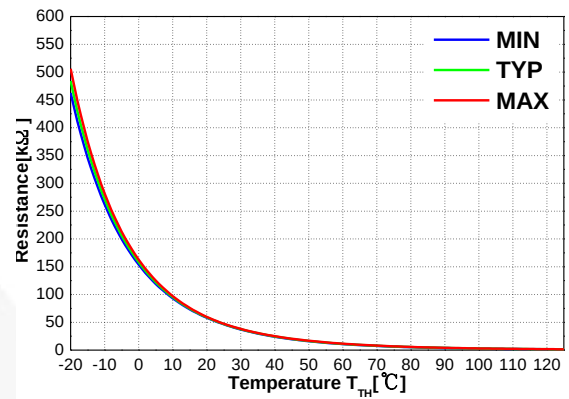


图 43. NTC 热敏电阻的 NTC R-T 曲线

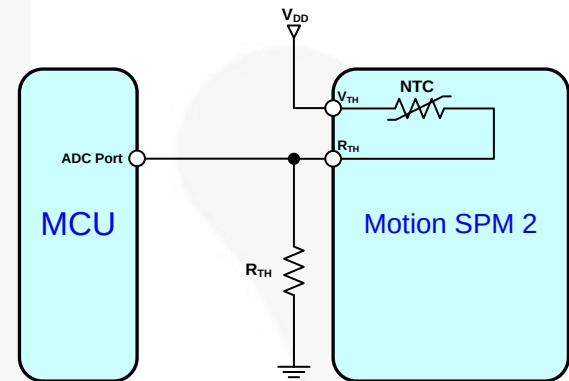


图 44. OT 保护电路 (MCU)

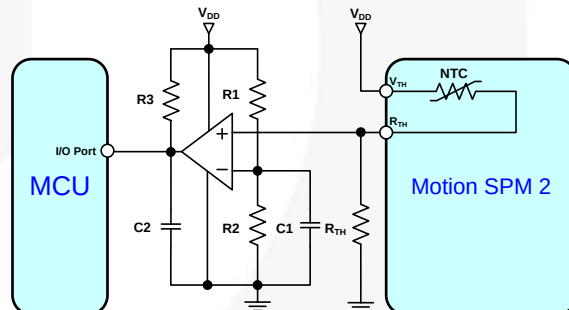


表 21. NTC 热敏电阻的 R-T 表

T _{NTC} (°C)	R _{min} (kΩ)	R _{cent} (kΩ)	R _{max} (kΩ)	T _{NTC} (°C)	R _{min} (kΩ)	R _{cent} (kΩ)	R _{max} (kΩ)
0	153.8063	158.2144	162.7327	61	10.4594	10.8007	11.1520
1	146.0956	150.1651	154.3326	62	10.0746	10.4091	10.7536
2	138.8168	142.5725	146.4152	63	9.7058	10.0336	10.3714
3	131.9431	135.4081	138.9502	64	9.3522	9.6734	10.0046
4	125.4497	128.6453	131.9091	65	9.0133	9.3279	9.6525
5	119.3135	122.2594	125.2655	66	8.6882	8.9963	9.3145
6	113.5129	116.2273	118.9947	67	8.3764	8.6782	8.9899
7	108.0276	110.5275	113.0739	68	8.0773	8.3727	8.6782
8	102.8388	105.1398	107.4814	69	7.7902	8.0795	8.3787
9	97.9288	100.0454	102.1974	70	7.5147	7.7979	8.0910
10	93.2812	95.2267	97.2031	71	7.2496	7.5268	7.8138
11	88.8803	90.6673	92.4810	72	6.9950	7.2663	7.5474
12	84.7119	86.3519	88.0148	73	6.7505	7.0160	7.2913
13	80.7624	82.2661	83.7894	74	6.5157	6.7755	7.0450
14	77.0190	78.3963	79.7903	75	6.2901	6.5443	6.8082
15	73.4700	74.7302	76.0043	76	6.0739	6.3227	6.5810
16	70.1042	71.2558	72.4189	77	5.8662	6.1096	6.3624
17	66.9112	67.9620	69.0224	78	5.6665	5.9046	6.1521
18	63.8812	64.8386	65.8039	79	5.4745	5.7075	5.9498
19	61.0050	61.8759	62.7530	80	5.2899	5.5178	5.7549
20	58.2739	59.0647	59.8601	81	5.1129	5.3358	5.5680
21	55.6798	56.3961	57.1160	82	4.9426	5.1607	5.3879
22	53.2152	53.8628	54.5127	83	4.7788	4.9921	5.2145
23	50.8732	51.4569	52.0422	84	4.6211	4.8299	5.0475
24	48.6469	49.1715	49.6969	85	4.4694	4.6736	4.8866
25	46.5300	47.0000	47.4700	86	4.3228	4.5226	4.7310
26	44.4567	44.9360	45.4159	87	4.1817	4.3771	4.5811
27	42.4868	42.9737	43.4618	88	4.0459	4.2369	4.4366
28	40.6147	41.1075	41.6021	89	3.9150	4.1019	4.2973
29	38.8351	39.3323	39.8319	90	3.7890	3.9717	4.1629
30	37.1428	37.6431	38.1463	91	3.6675	3.8463	4.0334
31	35.5329	36.0351	36.5408	92	3.5505	3.7253	3.9084
32	34.0011	34.5041	35.0111	93	3.4377	3.6087	3.7879
33	32.5433	33.0462	33.5534	94	3.3290	3.4963	3.6716
34	31.1555	31.6573	32.1640	95	3.2242	3.3878	3.5593
35	29.8340	30.3339	30.8392	96	3.1235	3.2836	3.4515
36	28.5760	29.0734	29.5764	97	3.0264	3.1830	3.3473
37	27.3776	27.8717	28.3720	98	2.9328	3.0860	3.2468
38	26.2356	26.7260	27.2228	99	2.8425	2.9923	3.1497
39	25.1472	25.6332	26.1261	100	2.7553	2.9019	3.0559
40	24.1094	24.5907	25.0792	101	2.6712	2.8146	2.9654
41	23.1198	23.5960	24.0796	102	2.5901	2.7303	2.8779
42	22.1759	22.6466	23.1249	103	2.5117	2.6489	2.7933

T_{NTC} (°C)	R_{min} (k Ω)	R_{cent} (k Ω)	R_{max} (k Ω)	T_{NTC} (°C)	R_{min} (k Ω)	R_{cent} (k Ω)	R_{max} (k Ω)
43	21.2753	21.7401	22.2129	104	2.4360	2.5703	2.7117
44	20.4158	20.8746	21.3416	105	2.3630	2.4943	2.6327
45	19.5953	20.0478	20.5088	106	2.2921	2.4206	2.5560
46	18.8120	19.2580	19.7126	107	2.2236	2.3493	2.4819
47	18.0638	18.5032	18.9514	108	2.1575	2.2805	2.4102
48	17.3492	17.7818	18.2234	109	2.0936	2.2139	2.3409
49	16.6663	17.0921	17.5269	110	2.0319	2.1496	2.2739
50	16.0137	16.4325	16.8605	111	1.9725	2.0877	2.2094
51	15.3899	15.8016	16.2227	112	1.9151	2.0278	2.1470
52	14.7934	15.1981	15.6122	113	1.8596	1.9699	2.0866
53	14.2230	14.6205	15.0277	114	1.8060	1.9139	2.0282
54	13.6773	14.0677	14.4678	115	1.7541	1.8598	1.9716
55	13.1552	13.5385	13.9316	116	1.7042	1.8076	1.9171
56	12.6556	13.0318	13.4178	117	1.6559	1.7572	1.8644
57	12.1774	12.5465	12.9255	118	1.6092	1.7083	1.8134
58	11.7195	12.0815	12.4536	119	1.564	1.6611	1.7639
59	11.2810	11.6361	12.0011	120	1.5203	1.6153	1.7161
60	10.8610	11.2091	11.5673				

6. 印刷电路板 (PCB) 设计

6.1 常见应用电路示例

图 47 显示接口原理图的一般应用电路，其中控制信号直接连接 MCU。图 48 显示 Motion SPM 2 中 PCB 布局指南。

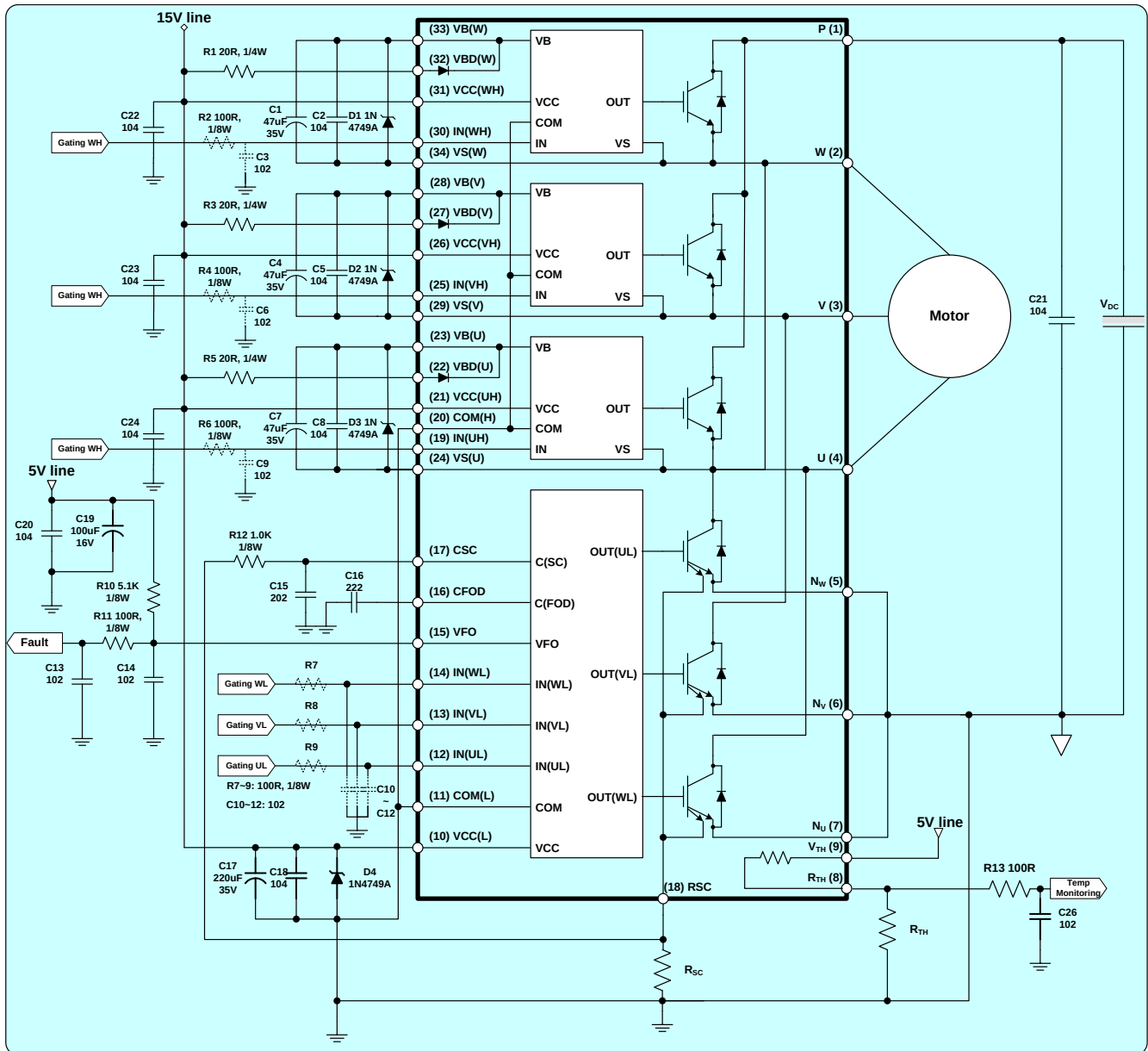
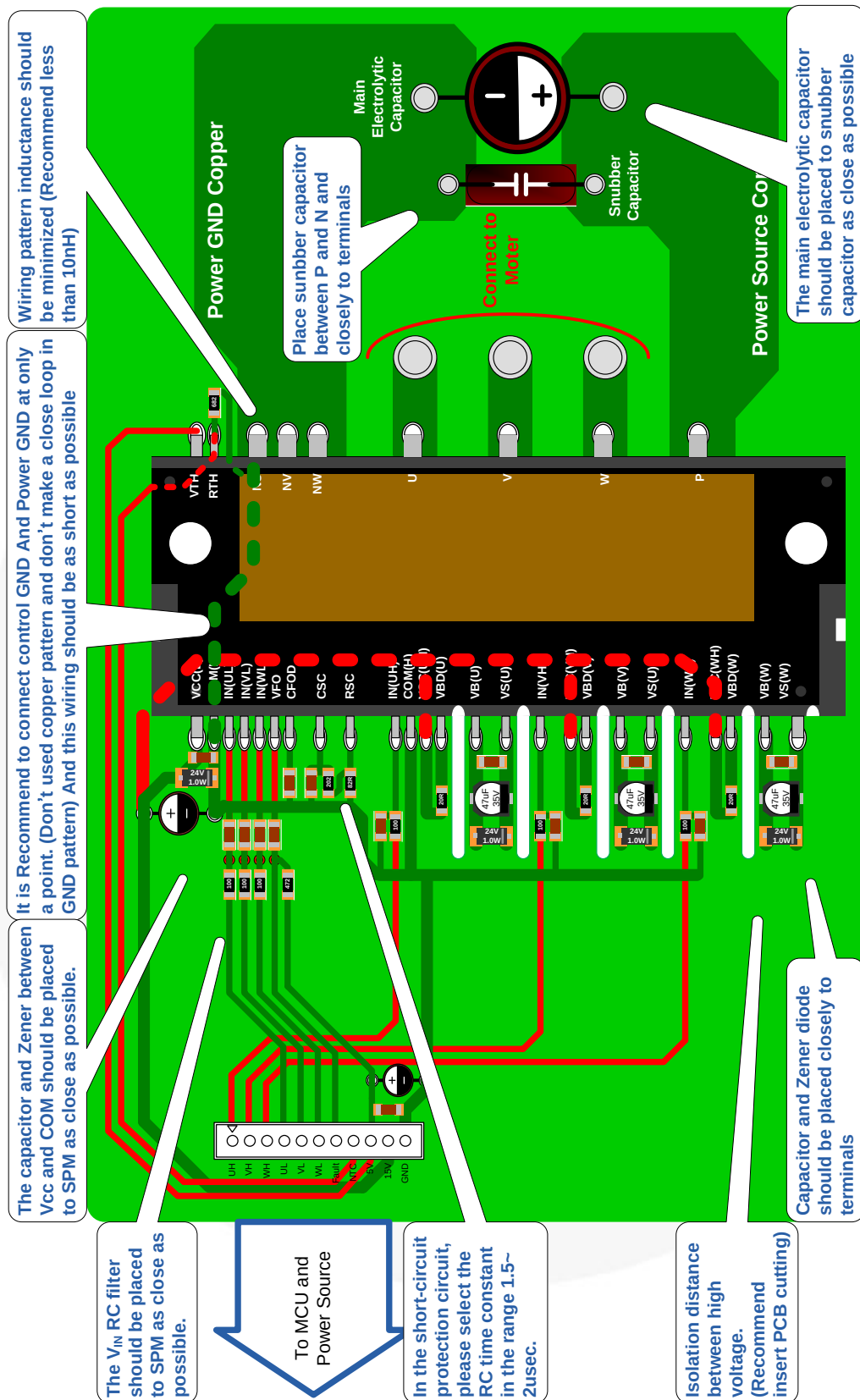


图 47. Motion SPM 2一般应用电路

6.2 PCB 布局指南

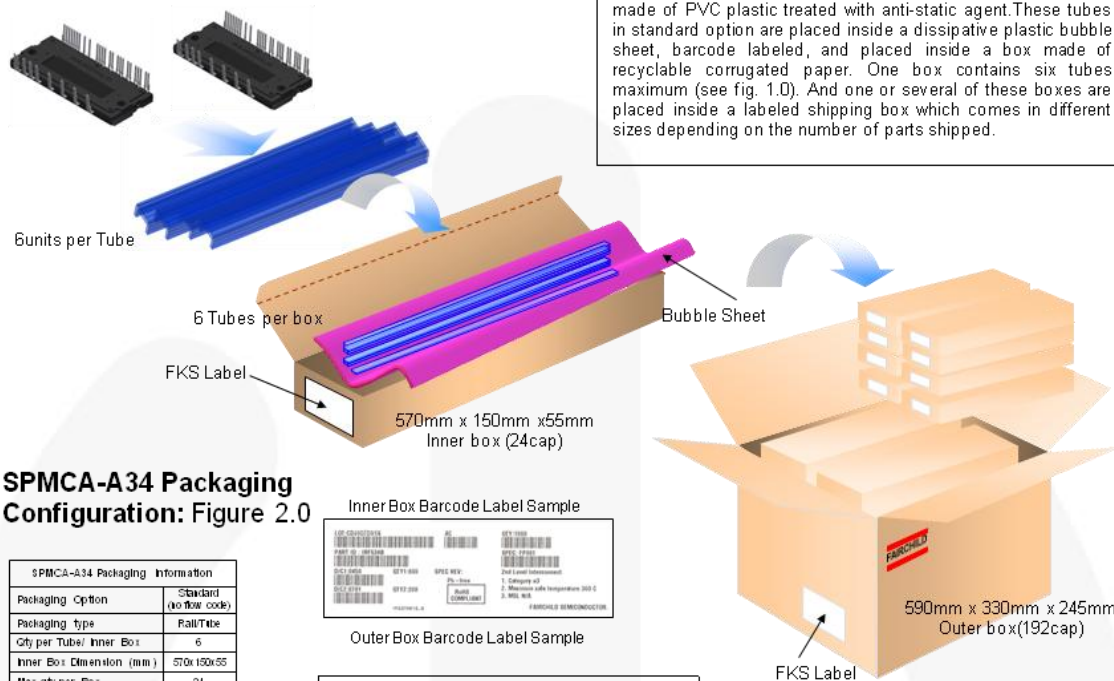


Large DIP SPM (SPM2 PKG) Design for PCB Layout (Direct coupling)

图 48. Motion SPM 2 的印刷电路板 (PCB) 布局指南

7. 装箱信息

SPMCA-A34 Tube Packing Configuration: Figure 1.0



SPMCA-A34 Packaging Configuration: Figure 2.0

SPMCA-A34 Packaging Information	
Packaging Option	Standard (no flow code)
Packaging type	Roll/Tube
Qty per Tube/ Inner Box	6
Inner Box Dimension (mm)	570x150x55
Max qty per Box	24
Outer Box Dimension (mm)	590x330x245
Max qty per Box	192
Weight per unit (gm)	-
Notes/Comments	



Outer Box Barcode Label Sample



SPMCA-A34 Tube Configuration: Figure 3.0

Note: All dimensions are in mm

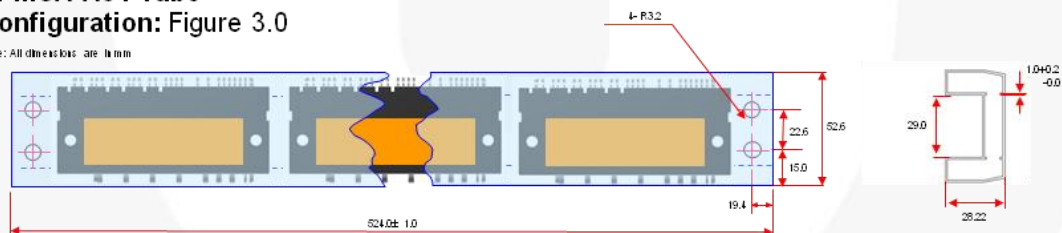


图 49. 装箱信息

相关资源

[AN-9076 —1200-V Motion SPM 2 系列安装指南](#)

[AN-9079 —1200-V Motion SPM 2 系列热性能与安装扭矩](#)

[FNA21012A 产品信息](#)

[FNA22512A 产品信息](#)

[FNA23512A 产品信息](#)

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