



第4代 SiC MOSFET 半桥评估板 使用说明书

< 关于高压电注意事项 >

◇在开始操作之前请务必阅读使用说明书并正确使用!

本文档仅限于 SiC MOSFET 用评估板(P04SCT4018KE -EVK-001, P05SCT4018KR-EVK-001)的使用方法。

关于电路图、BOM、布局等详细内容, 请参照产品说明书。

为了您的操作安全, 在使用评估板前请务必阅读本文档全文!



此外, 根据所使用的电压和电路板结构的不同, **可能会产生危及生命安全的电压。**
请务必严格遵守下述方框内的注意事项。

< 使用前 >

- ① 请确认无因基板掉落等导致的零件损坏或脱落现象。
- ② 请确认无导电性物体掉落在基板上。
- ③ 焊接模块和评估板时, 请注意焊锡飞溅。
- ④ 请确认基板上无结露或水滴。

< 通电时 >

- ⑤ 请注意勿使导电性物体接触基板。
- ⑥ 在操作过程中, 即使是偶发的短接触或手靠近时的放电, 也有可能导致严重事态或危及生命安全。请务必不要徒手触摸基板或靠基板太近。另外, 使用镊子、螺丝刀等导电性器具进行操作作业时也同样请注意上述内容。
- ⑦ 施加超过额定值的电压时, 可能会因为短路等导致零件破裂。因为也请注意由于零件飞散等原因导致的危险。
- ⑧ 基板工作状态下进行操作时请注意因热等引起的基板、零件变色和漏液等、以及低温评估时产生的结露。

< 使用后 >

- ⑨ 评估板中可能会有储存高电压的电路。即使切断了所连接的电源回路, 也有可能仍储存有电荷, 因此使用后请务必进行放电, 确认放电完成后再进行相关处理。
- ⑩ 请注意与过热部件接触导致的烫伤等。

由于本评估板是用于研究开发设备的基板, 因此**只有各设备中被允许处理高电压的人员才可以使用**。此外, 在使用高电压进行操作作业时, 建议明示「高电压作业中」等, 并在安全环境下操作, 如带有联锁装置等的防护罩或佩戴护目镜等。此外, 请一并阅读本文开篇中与本评估板**短路保护**相关的注意事项。

SiC MOSFET 评估板

第4代 SiC MOSFET 评估板 使用说明书

本用户指南介绍了第4代 SiC MOSFET 评估板的使用方法。

由于 SiC MOSFET 涉及到使用高电压及大电流，因此为了确定优化 EMC 噪声和电源效率的工作条件，需要在各种条件下进行评估。但是，构建适当的评估环境并非易事。为评估开关特性，我们准备了能够简单地设定各种条件的评估板，可高效地实施 SiC MOSFET 的评估。

该用户指南对封装 TO-247N 以及 TO-247-44L 用评估板的使用方法进行了说明。关于产品规格的详细信息，请参阅《第4代 SiC MOSFET 评估板产品说明书》。

本评估板不含对评估器件的短路保护功能。

因此，即使是正常动作下的评估方法，一旦偏离客户选定的评估器件的电气规格（最大电流等）而使用，则有可能产生破裂声音，并导致器件严重损坏，因此请勿偏离评估器件的规格进行操作。另外，为防万一发生严重损坏，请在采取防止碎片飞散的措施以及使用保护用具等的前提下，使用本评估板。

1. 前言

由于本电路板中存在多个外部供给的电压源和信号源，因此必须遵守以下规定的上电及下电时序，从而避免破坏等问题的产生。

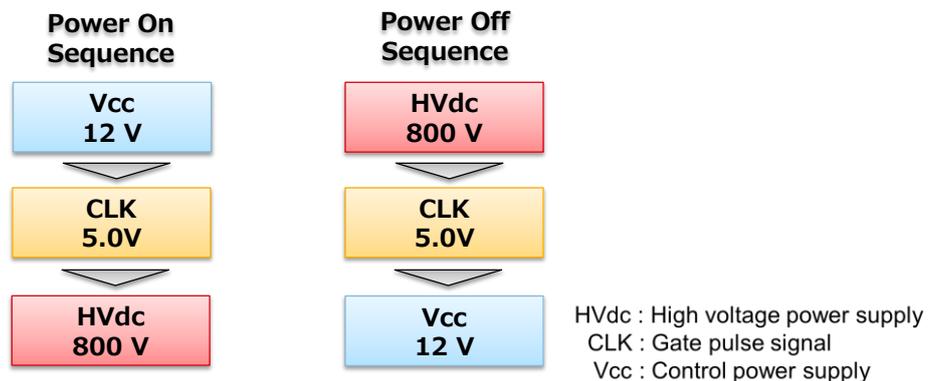


Figure 1. On/Off 时序

本基板默认设计的是使用“SCT4018KE”或“SCT4018KR”时最适于各元器件的栅极驱动电路。此外，也可贴装其他封装如“TO-247N”、“TO-247-4L”的元器件进行评估。贴装其他元器件时，请根据各器件的特性，参考“4.栅极(Gate)驱动电压的设定方法”“5.栅极电阻设定方法”，变更栅极驱动电路的常数。

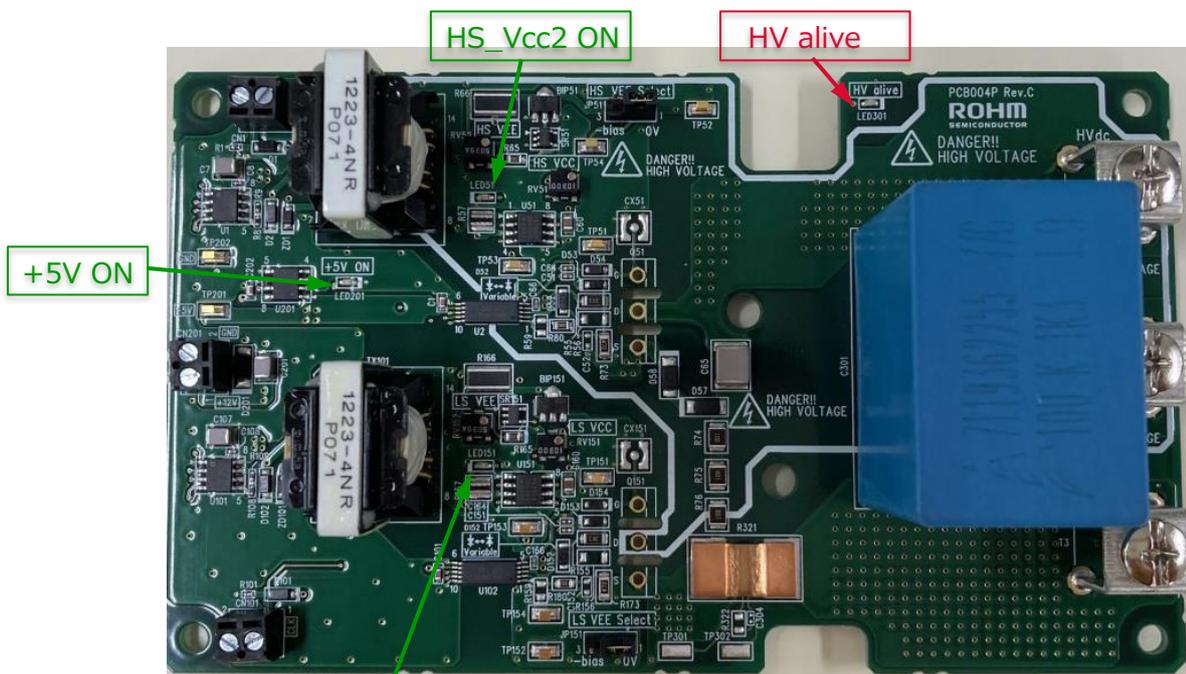
第4代SiC MOSFET系列的各产品阵容与规格如Table.1所示。

Table1. 第4代SiC MOSFET产品阵容一览

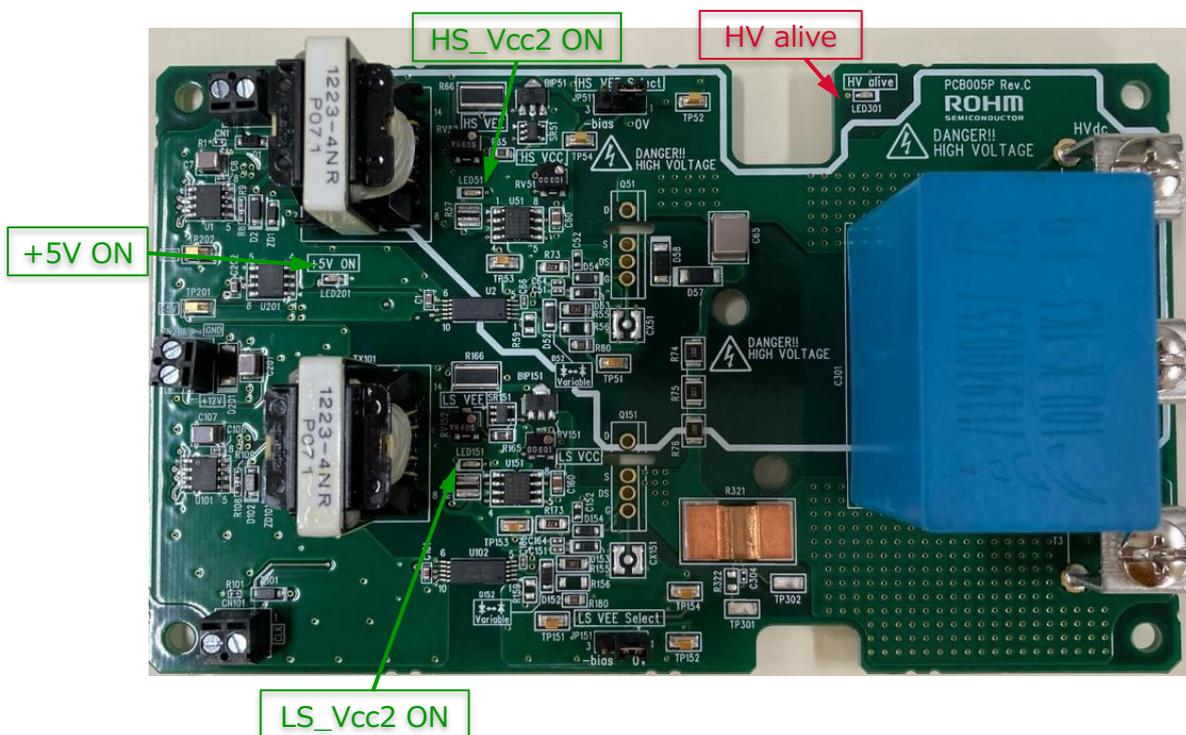
Product Name	V _{DSS} (V)	R _{ON} (Typ.) (mΩ)	I _D (A)	P _D (W)	T _j (Max) (°C)	Package		
SCT4045DE	750	45	34	115	175	TO-247N 		
SCT4026DE		26	56	176				
SCT4013DE		13	105	312				
SCT4062KE	1200	62	26	115		175	TO-247-4L 	
SCT4036KE		36	43	176				
SCT4018KE		18	81	312				
SCT4045DR	750	45	34	115				TO-247-4L 
SCT4026DR		26	56	176				
SCT4013DR		13	105	312				
SCT4062KR	1200	62	26	115			TO-247-4L 	
SCT4036KR		36	43	176				
SCT4018KR		18	81	312				

2. LED 显示

为了能更容易地掌握电路板的工作状态，本基板配置了若干 LED。
LED 的概略安装位置如 Figure 2.所示，其详细情况如 Table2.所示。



(a) PCB004P for TO-247N



(b) PCB005P for TO-247-4L

Figure 2. LED Location

Table 2. LED 点灯及其含义

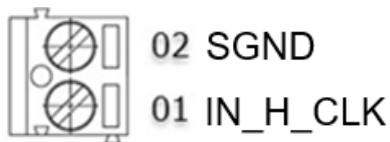
丝印标记	LED	LED 点灯	详细说明
HV alive	红	点灯	高压电源 HVdc 中存在 20V 以上的电压时则会亮灯。即使切断高压电源也有可能亮灯，因此亮灯时切勿触碰电路板。
		灭灯	HVdc 的电压 20V 以下。
+5V_ON	绿	点灯	通常动作时亮灯。点亮时输出控制用电源 (+12V)。
		灭灯	未施加控制用电源。
HS_Vcc2_ON LS_Vcc2_ON	绿	点灯	通常动作时亮灯。栅极驱动用绝缘电源正常启动。
		灭灯	栅极驱动用绝缘电源没有输出。

3. 连接器 引脚配置

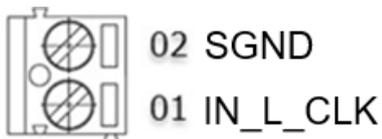
连接器引脚配置如 figure 3.所示。

另外，各信号及电源端子的定义如 table3.及 table4.所示。

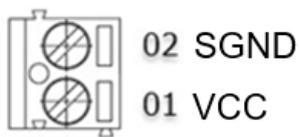
- (1) CN1 (HS 侧信号输入连接器)



- (2) CN101 (LS 侧信号输入连接器)



- (3) CN201 (控制电源连接器)



- (4) JP51 (HS 侧负偏压/0V 切换连接器)



- (5) JP151 (LS 侧负偏压/0V 切换连接器)

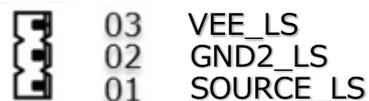


Figure 3. 连接器引脚配置(Top view)

Table 3. 电源端子的定义

电源端子	信号	详细说明
T1	HVdc	高电压输入端子 Buck 或逆变器动作时为输入端子， Boost 动作时为输出端子。
T2	Vsw	HS 侧 MOSFET 的功率源极端子以及 LS 侧 MOSFET 的漏极端子 在电路板内连接，不能断开。
T3	PGND	Power GND 端子 与输入信号侧的 SGND 连接。(可断开)

Table 4. 信号线的定义

连接器	引脚编号	信号	I/O	详细说明
CN1	01	IN_H_CLK	I	HS 侧 MOSFET ON/OFF 信号。“H” 时 ON。 Open 时用 2.2kΩ电阻下拉。
	02	SGND	--	输入信号侧 GND。可以与 DUT 侧 GND 完全分离。
CN101	01	IN_L_CLK	I	LS 侧 MOSFET ON/OFF 信号。“H” 时 OFF。 Open 时用 2.2kΩ电阻下拉。
	02	SGND	--	输入信号侧 GND。
CN201	01	Vcc	--	驱动 IC 及内部控制用电源端子。从该电源内部生成栅极驱动用电源。
	02	SGND	--	输入信号侧 GND。
JP51	01	SOURCE_HS	--	PCB004P: HS 侧 DUT 的 SOURCE 信号。 PCB005P: HS 侧 DUT 的 DRIVER SOURCE 信号。
	02	GND2_HS	--	HS 侧驱动 IC 的 GND2 信号。
	03	VEE_HS	--	HS 侧负偏压电源。
JP151	01	SOURCE_LS	--	PCB004P: LS 侧 DUT 的 SOURCE 信号。 PCB005P: LS 侧 DUT 的 DRIVER SOURCE 信号。
	02	GND2_LS	--	LS 侧驱动 IC 的 GND2 信号。
	03	VEE_LS	--	LS 侧负偏压电源。

4. 栅极(Gate)驱动电压的设定方法

栅极驱动电压由安装在主板上的绝缘型 Flyback 电源供给。该电源使用了罗姆的无光耦控制 IC (BD7F200EFJ), 并配备了向 HS 侧和 LS 侧分别输出正负驱动电压的变压器。

主板电源的布局如 Figure 4.所示。

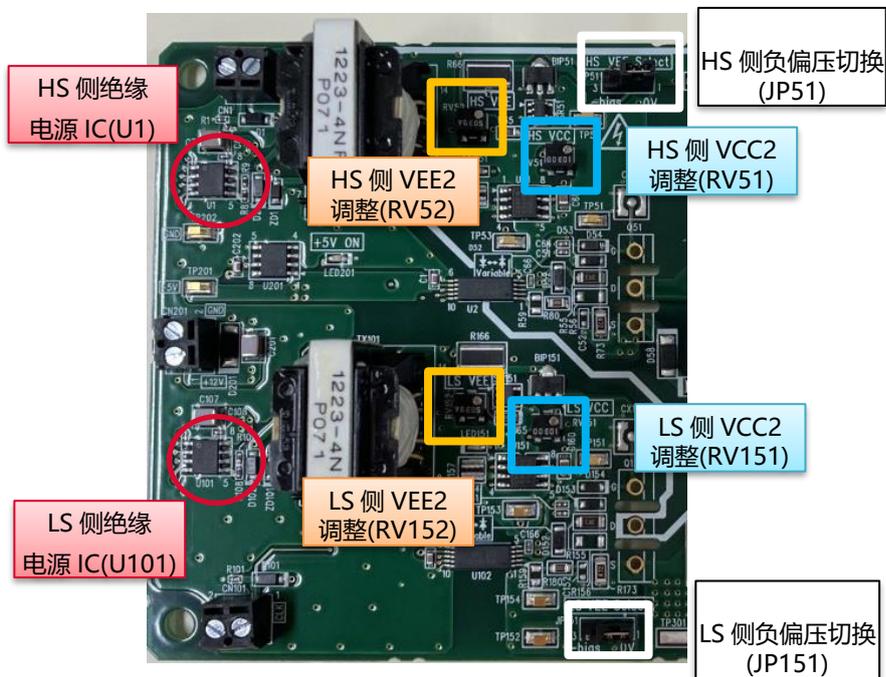


Figure 4. 栅极电源的构成 (Top View of PCB004P)

4. 1 正偏压(VCC2)的调整方法

绝缘型 Flyback 电源的变压器 (TX1、TX101) 输出存在正电压和负电压。作为 MOSFET 驱动电压 (正偏置) 的 VCC2 是通过 LDO 从其变压器正输出电压生成的, 可以通过可变电阻 RV51、RV151 来调整 LDO 的输出电压。可变电阻顺时针转动时输出电压变高。

4. 2 负偏压(VEE2)的调整方法

MOSFET OFF 时的偏置电压的负偏置 VEE2 从变压器 TX1、TX101 的负输出电压通过分路调节器 SR1、SR101 (TI 制 TIV 431) 和可变电阻 RV52、RV152 来调整, 通过旋转可变电阻可在 -4.5V ~ -2V 的范围内进行设定。VEE2 通过负偏置切换端子 JP51、JP151 供给, 选择零偏置和 VEE2 偏置。其设定方法如 Table5.所示。

Table 5. 负偏压 (VEE2) 的设定方法

连接器	引脚 No.	信号	设定方法
JP51 JP151	01	SOURCE	1-2 引脚连接: 0V 偏压设定
	02	DRIVER_SOURCE	
	03	GND2	2-3 引脚连接: 负偏压设定
		VEE	

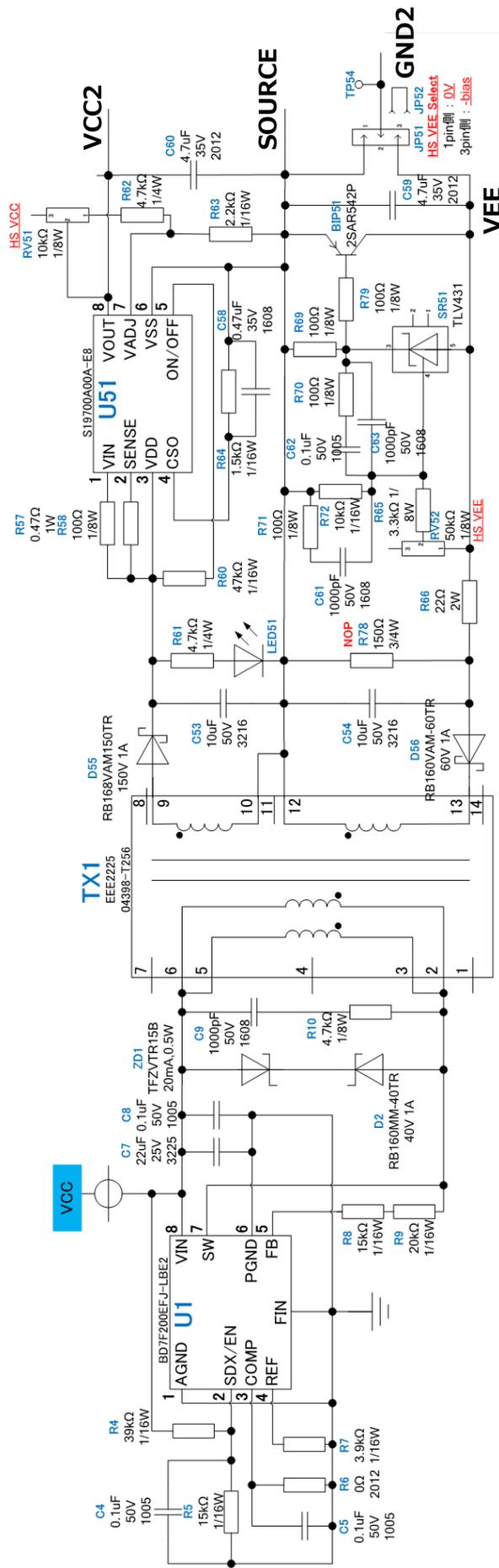


Figure 5. 栅极驱动电源电路 (HS 侧)

5. 栅极电阻设定方法

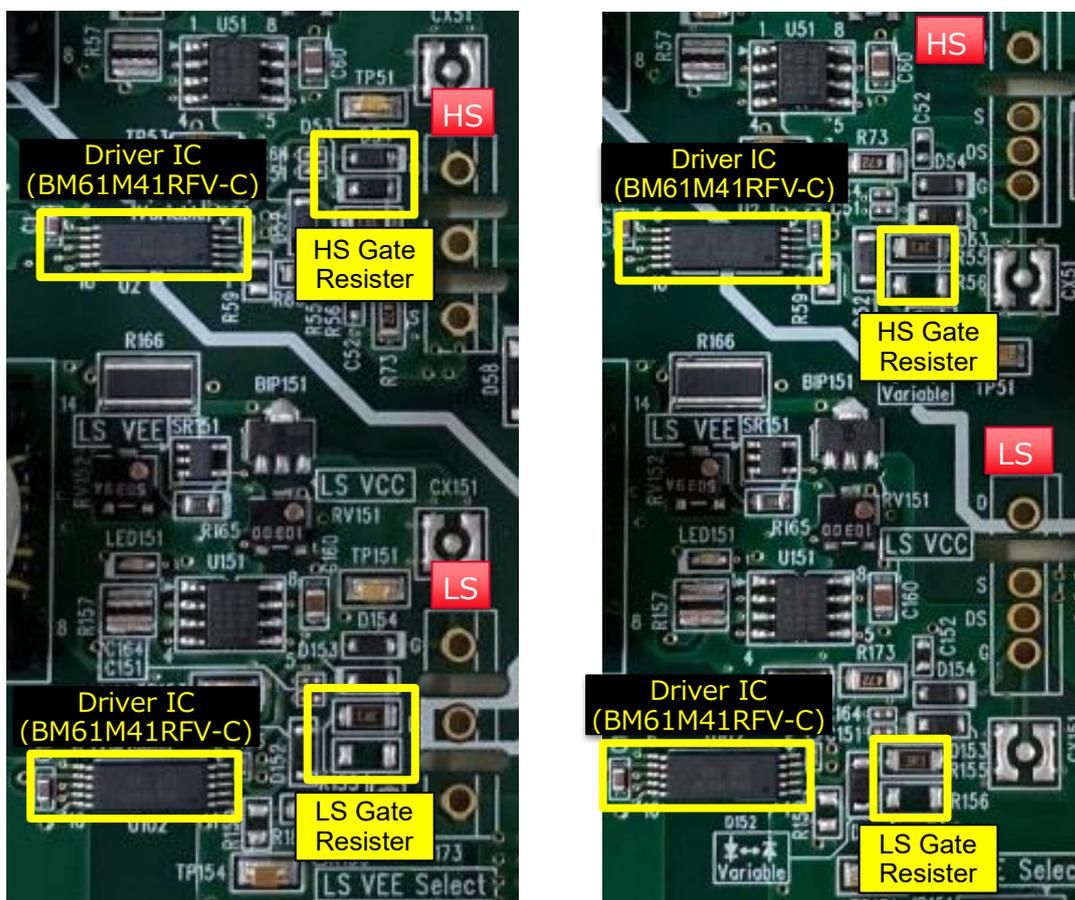
本基板配备有调整 MOSFET 开关速度的栅极电阻，连接了用于将关断侧设定为低阻的二极管 (D52、D152)，可分别调整导通和关断的开关速度。

导通：	HS 侧	R55
	LS 侧	R155
关断：	HS 侧	R56, D52
	LS 侧	R156, D152

Figure 6. (a) 显示 TO-247N、Figure 6. (b) 显示 TO-247-4L 的栅极驱动电路的安装状态， Figure 7 显示的是 TO-247N 用电路图。

罗姆的 MOSFET 驱动 IC (BM61M41RFV-C) 的输出信号通过栅极电阻直接驱动 MOSFET。由于驱动电路的布线电感会影响栅极-源极信号的浪涌电压特性，因此尽可能地缩短了布线长度，由最小限度的调整部件构成。

另外，TO-247N 和 TO-247-4L 的栅极端子的引脚不同，因此使用了适用于各个封装的基板布局。



(a) TO-247N 用 (PCB004P)

(b) TO-247-4L 用 (PCB005P)

Figure 6. 栅极驱动电路 安装状态

初始设定中导通和关断的调整电阻为相同的电路结构，通过 R55 进行调整。但如果想设定导通和关断各自的开关速度，则需要安装 R56，导通时通过电阻 R55，关断时通过 D52 和 R56 将驱动信号传达到 MOSFET。此时，导通时仅靠栅极电阻 R55，关断时 R55//R56 并联连接，使关断高速化。

另外，二极管 D52 的焊盘以阳极和阴极为对象，可以反过来安装。如果将阳极连接到驱动 IC (U2) 的 OUT 端子，则可以使导通高速化，可以根据所使用器件的特性来区分使用。

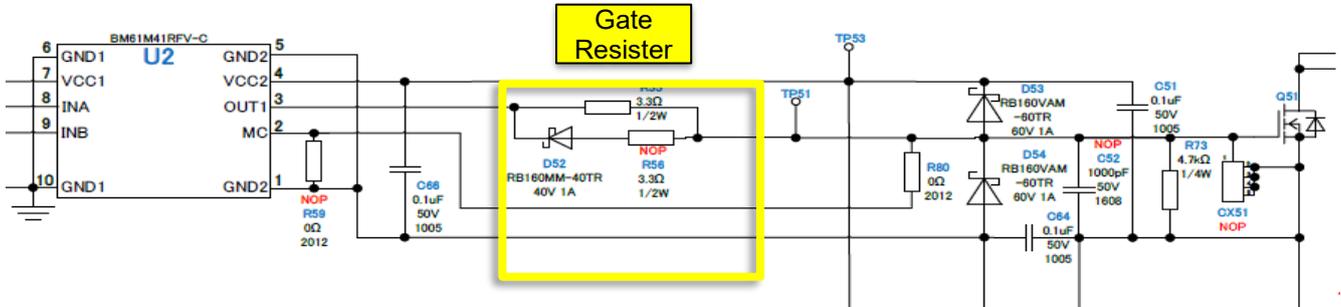


Figure7. 栅极驱动电路(PCB004P)

6. 使用光隔离探头进行栅极-源电压测量

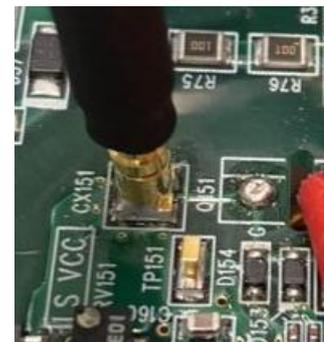
在本评估板中，HS 侧及 LS 侧 DUT 安装位置的栅极端子附近分别配置有 CX51、CX151，可以通过安装连接器，使用光隔离探头测量栅极-源极电压。通过使用光隔离探头，可以去除共模噪声的干扰，取得更高精度的波形。



(a)连接器安装用布局图



(b)使用光隔离探头进行测量



(c)探头连接部位

Figure 8. 使用 Coaxial 型分流电阻的测量方法

7. 器件电流的测试方法

7.1 使用罗氏线圈 (Rogowski) 电流探头测试

本评估板在 HS 侧及 LS 侧分别有 1 个通孔 (无镀锡), 且基板端面有切口, 使用 Rogowski 型电流探头可以简单测量流经各个器件的电流。HS 侧可测量漏极端子的电流, LS 侧可测量功率源极侧的电流。Figure 9.显示测量时与探头相关的连接状况的外观, 并放大照片显示了电流探头的安装情况。

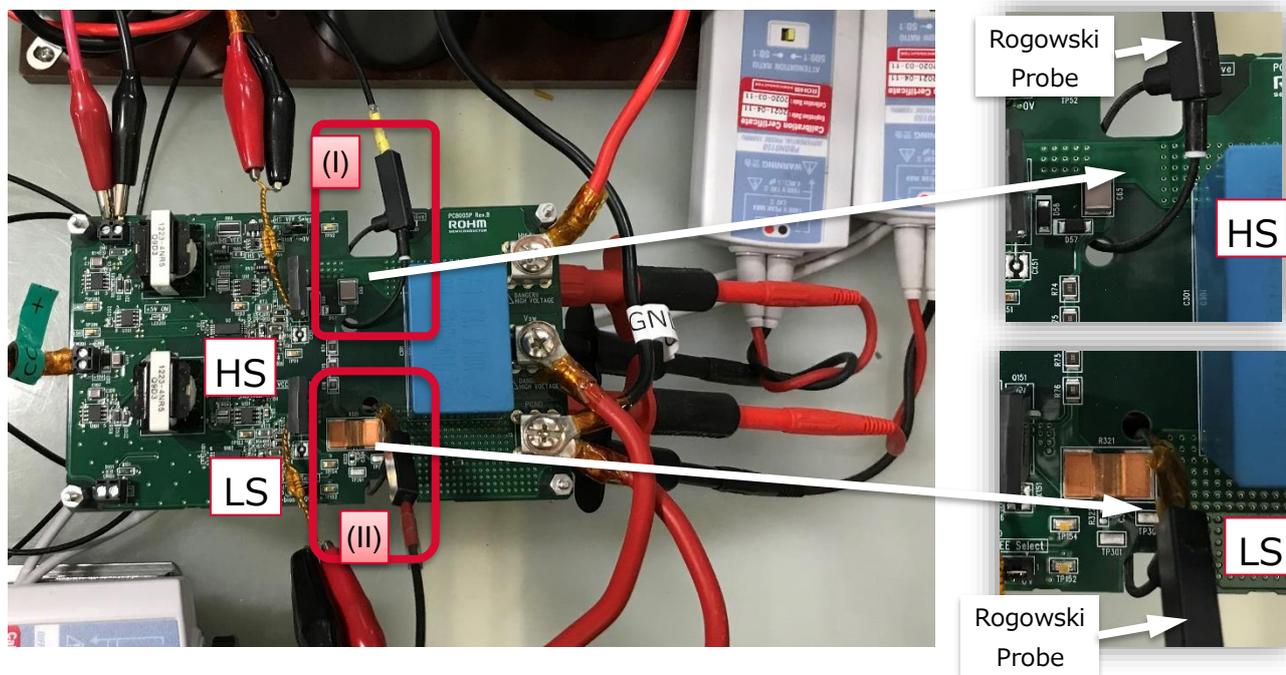


Figure 9. Rogowski 型电流探头测试电流 (PCB005P)

Rogowski 电流探头的头部部分大小各式各样, 适用于本基板的探头头部如 Figure 10.所示, 直径 25mm~30mm, 线径 3mm 以下。



Figure 10. 可适用的 Rogowski 电流探头的头部部分

7.2 Coaxial 型分流电阻的测量

由于 Rogowski 型电流探头在测量时可以不切断电流路径进行测量，因此可以在再现器件使用电路的状态下进行波形观测，但测量的频带不会太宽。

除了 Rogowski 型电流探头以外，电流波形的观测还可以用箝位型电流探头和分流电阻进行测量，需要根据测定条件选定测量仪器。使用箝位型电流探头时，为了安装探头需要延长配线，这对 DUT 的开关特性有很大影响，因此不推荐。另外，一般的分流电阻由于自身的封装电感会引起较大的噪声，所以无法正确测量开关时的电流波形。而使用可以测量 ns 级电流上升的 Coaxial 型分流电阻，就能够测量 DUT 的开关特性。

一般的 Rogowski 型电流探头和 Coaxial 型分流电阻的特性对比一览表如 Table6.所示。Rogowski 型的测量带宽为数十 MHz，而 Coaxial 型的测量带宽可以支持数 GHz。

Table 6. Rogowski 型电流探头和 Coaxial 型分流电阻的特性对比

Model (Manufacturer)	Rogowski			Coaxial		
	SS-285A (IWATSU)	CWT3 (PEM)	TRCP0600 (Tektronix)	SDN-414-01 (T&M Research)	SDN-414-025 (T&M Research)	SDN-414-10 (T&M Research)
HF frequency	30MHz	16MHz	30MHz	400MHz	1200MHz	2000MHz
di/dt or rise time (Peak Value)	4A/ns (N/A)	4A/ns (40A/ns)	N/A	1ns	0.3ns	0.18ns

本评估板采用了可以用 Coaxial 型分流电阻进行测量的布局。去除 Figure 11. (a) 所示的电阻 R321 (0.1mΩ)，断开下臂的源极线，将 Coaxial 型分流电阻按 (b) 所示进行焊接，测量下臂 DUT 的源极电流。此时，Coaxial 型分流电阻的 GND 侧为 DUT 的源极侧，Coaxial 型分流电阻的 GND (示波器内 GND) 为 DUT 的源极侧，以此为基准。这是为了在用一般的无源探头测量下臂 DUT 的栅极-源极间电压 V_{GS} 时，防止 GND 电平的不一致。

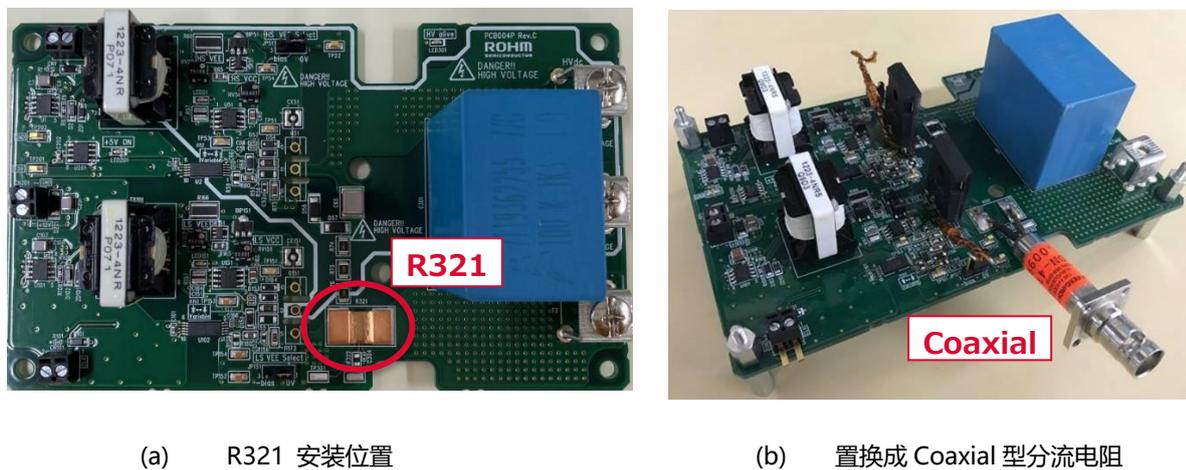


Figure 11. Coaxial 型分流电阻测量方法

8. 散热器的安装方法

使用本电路板进行数 kW 的功率转换，如利用电源拓扑进行效率测量等时，器件自身的消耗功率达到十几 W，因此必须使用散热片等进行冷却。散热片需要安装在器件焊接面一侧。为了将续流用器件也安装在同一散热片上，将 DUT 设计在同一面。将安装示例图形化后如 Figure 12.所示，安装后的状态如 Figure 13.中的图片所示。Sankyo Thermo-Tech 制的同类产品（33BS136）热阻为 $1.16^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

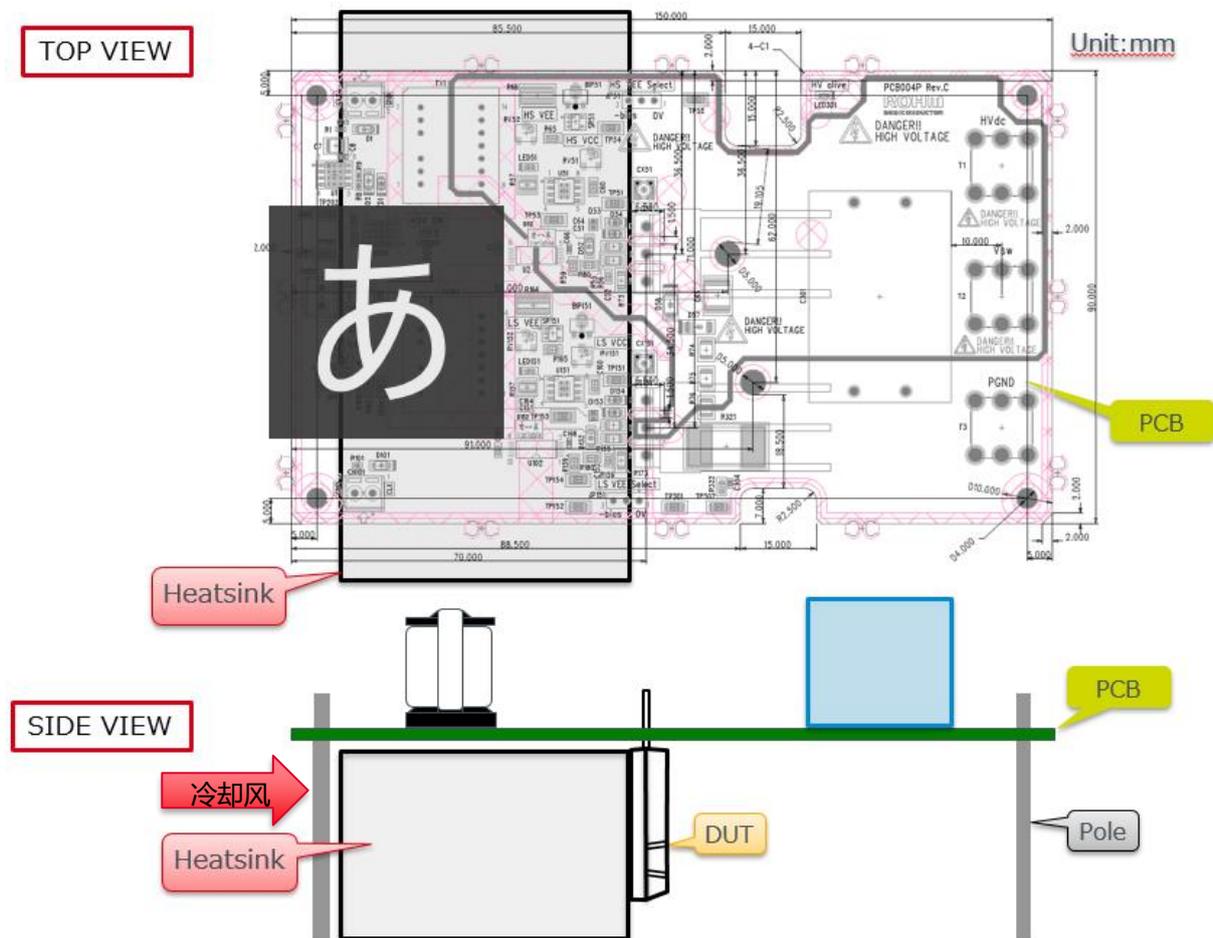
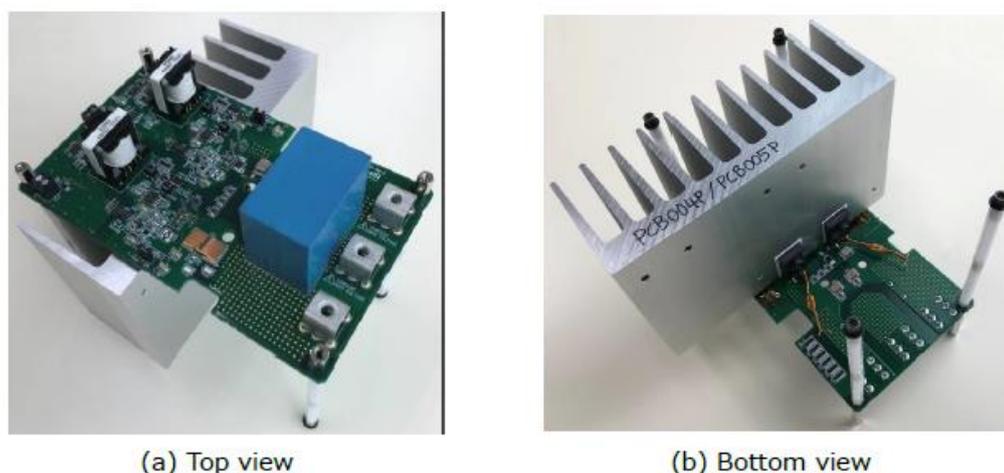


Figure 12. 散热器安装图



(a) Top view

(b) Bottom view

Figure 13. 散热器安装示例

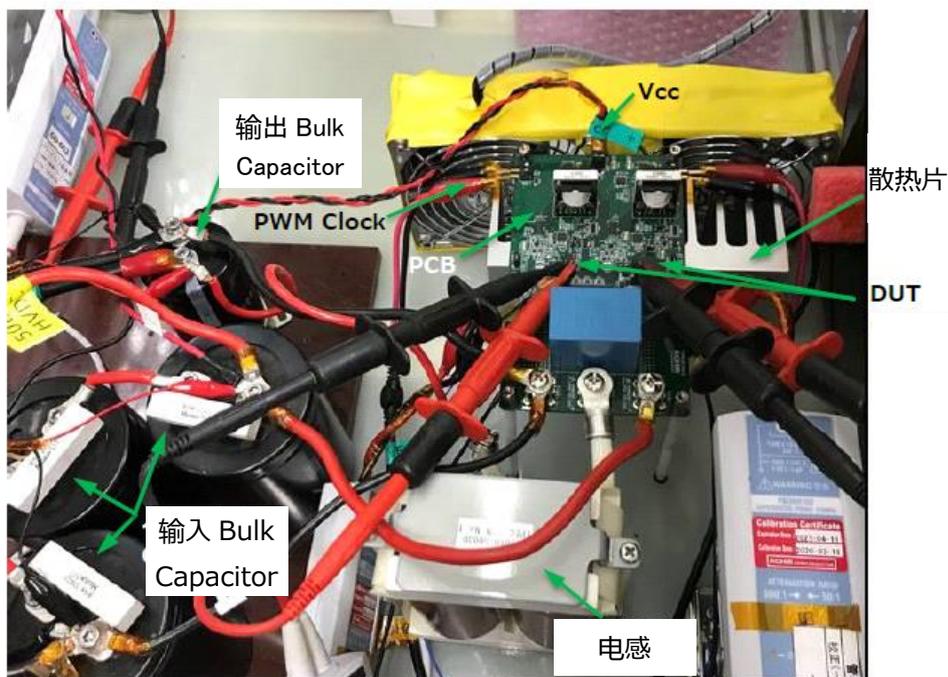


Figure 14. 安装散热片时的测量情景

Synch Buck ($V_{in}=500V$, $V_{out}=250V$)

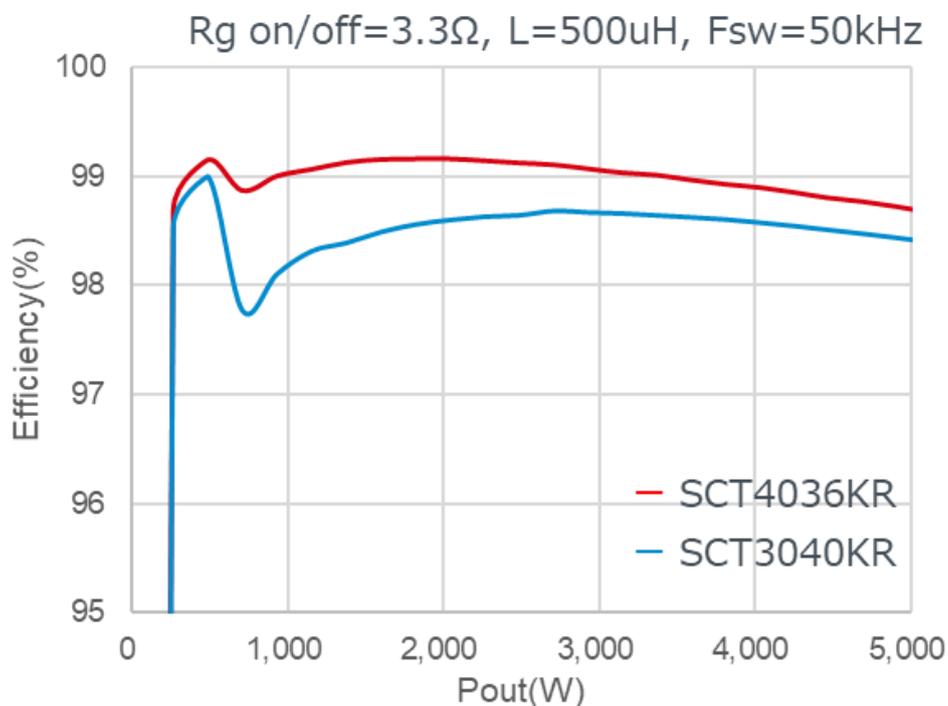


Figure 15. 效率
(SCT4036KR, BUCK, $R_g=3.3\Omega$)

9. 评估板的连接示例

9.1 HS 侧 MOSFET 的双脉冲(Double Pulse)试验

使用 HS 侧 MOSFET 的双脉冲测试电路如 figure 16.所示。

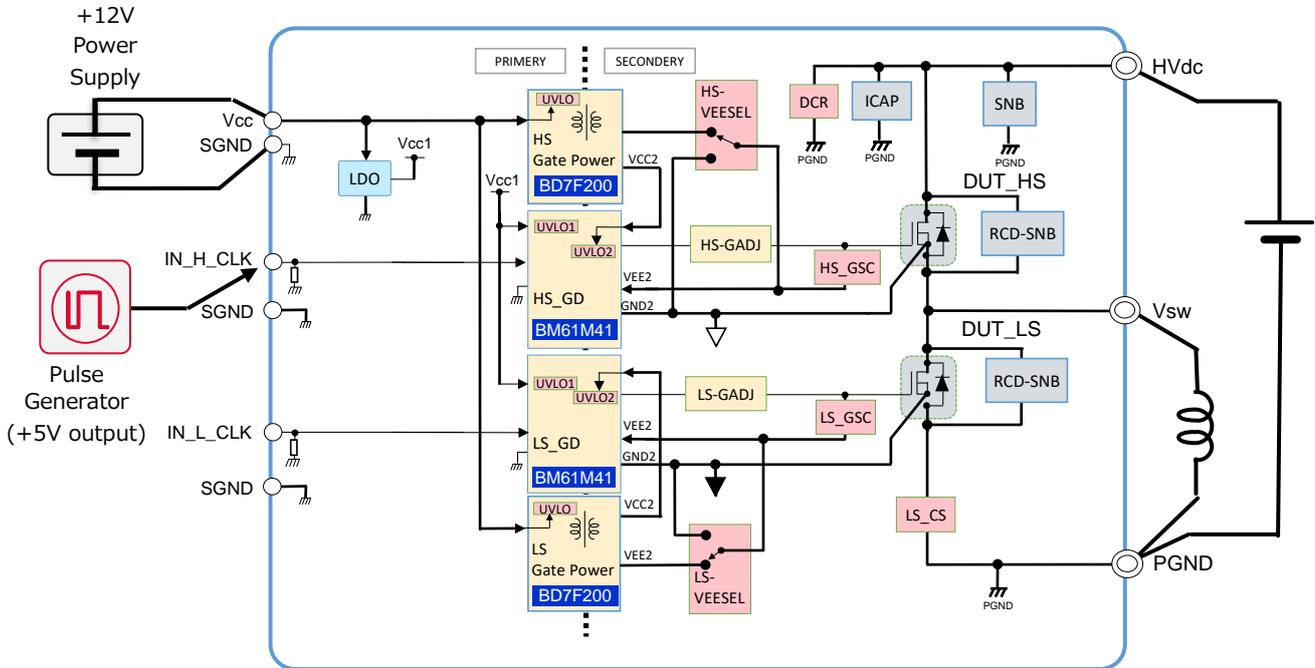


Figure 16. HS 侧双脉冲电路

准备好脉冲发生器，将 CLK 信号连接到 IN_H_CLK 端子（CN1 1pin）。将控制用 12V 电源连接到 Vcc 端子（CN201），将高压 HVdc 电源连接到 HVdc 端子（T1）。操作步骤如下。

- ① 按照+12V→HVdc 的顺序上电。
- ② 由脉冲发生器输入脉冲信号。

流经电感（L）的最大电流 $I_{D(\text{peak})}$ 可以用以下公式进行概算。

$$I_{D(\text{PEAK})} \approx \text{HVdc}/L * T_{\text{DP_TTL}} \quad [\text{A}]$$

HVdc: 印加电压[V]

L: 电感值[μH]

$T_{\text{DP_TTL}}$: 双脉冲信号的总时间[μs]

通常，双脉冲信号是单发信号，但是周期性地印加时，需要充分地确保电感电流 $I_{D(\text{PEAK})}$ 的复位时间。复位电压只有续流二极管的正向电压 V_F 部分、所以可以通过

$$T_{\text{RST}} = I_{D(\text{PEAK})} * L / V_F \quad [\mu\text{s}]$$

掌握大概时间，确保 2 倍左右的复位时间 T_{RST} 。另外，虽然不需要散热片，但如果要反复进行双脉冲测试，则需要注意续流二极管的温度上升。

9.2 LS 侧 MOSFET 的双脉冲试验

使用 LS 侧的 MOSFET 的双脉冲测试电路如 figure 17.所示。

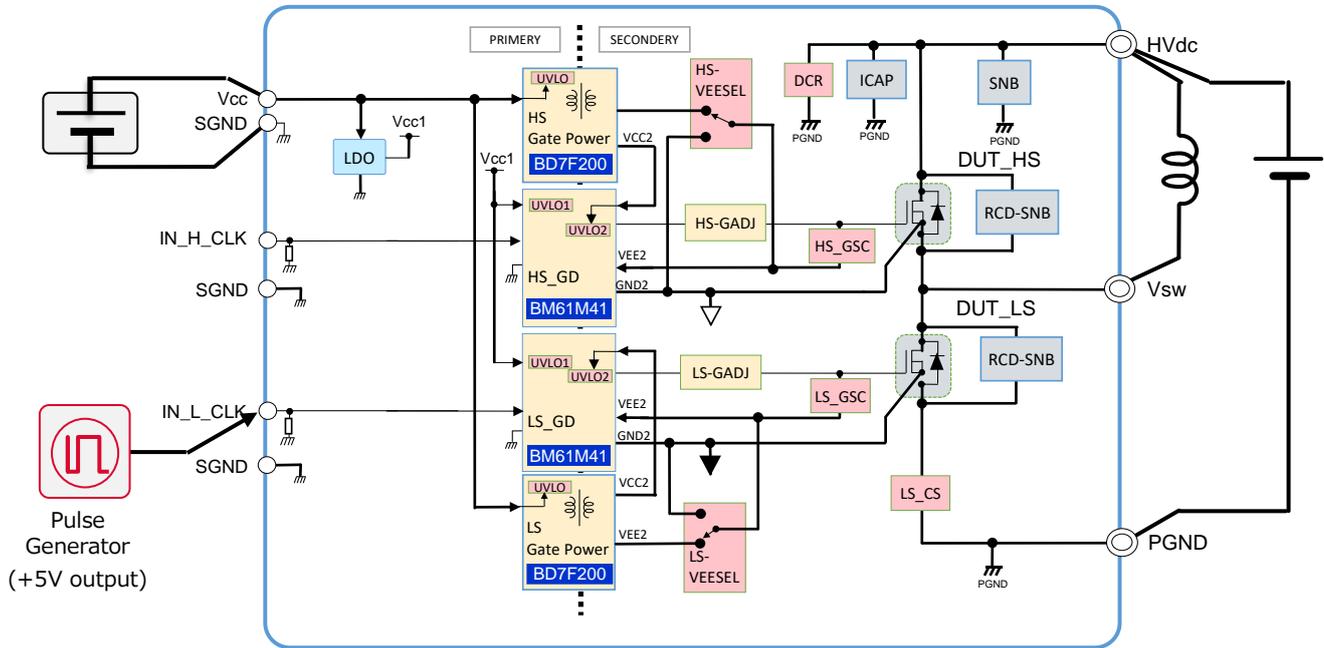


Figure 17. LS 侧双脉冲电路

准备脉冲发生器，从外部将 CLK 信号连接到 IN_L_CLK 端子 (CN101 1pin) 后，操作步骤与 HS 侧相同。

9.4 2电平 逆变器电路

由半桥构成的 2 电平逆变器的动作测量电路如 figure 19.所示。

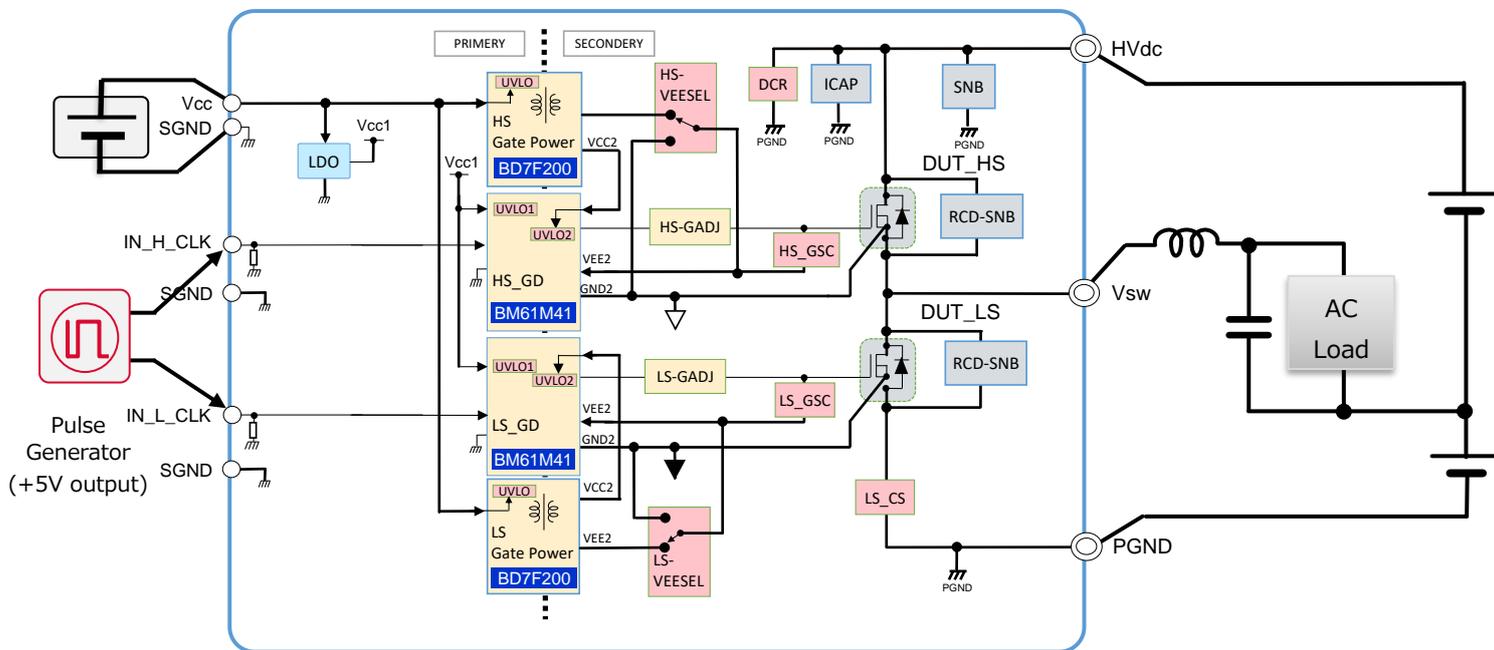


Figure 19. 2 电平 逆变器动作试验电路

首先，准备脉冲发生器，将 CLK 信号连接到 IN_H_CLK 端子和 IN_L_CLK 端子 (CN1, CN101 1pin)。将控制用 12V 电源连接到 Vcc 端子 (CN201)，将负载电感连接到 Vsw 端子 (T2)。准备 2 台具有相同电压的高压 HVdc 电源，串联连接，上侧连接到 HVdc 端子 (T1)，下侧连接到 PGND 端子 (T3)。在负载电感的一侧连接平滑用电容器和 AC 负载，将其返回线连接到串联连接的高压 HVdc 电源的中点。

AC 输出为 + 侧时 HS 侧、- 侧时 LS 侧进行开关动作，通过 Duty 控制 CLK 信号输出正弦波电压。

操作步骤如下。

- ① +12V 电源加入。
- ② 通过脉冲发生器设定开关频率和占空比、输入 CLK 信号。
- ③ HVdc 电源加入。
- ④ 通过 AC 负载设备调整输出电流。

此外，增大负载电流时，请注意评估器件的发热，必要时安装可充分冷却的散热片，或考虑周围温度。

9.5 同步整流型 Buck 电源电路

使用 HS 侧 MOSFET 的 Buck 动作测量电路如 figure 20.所示。

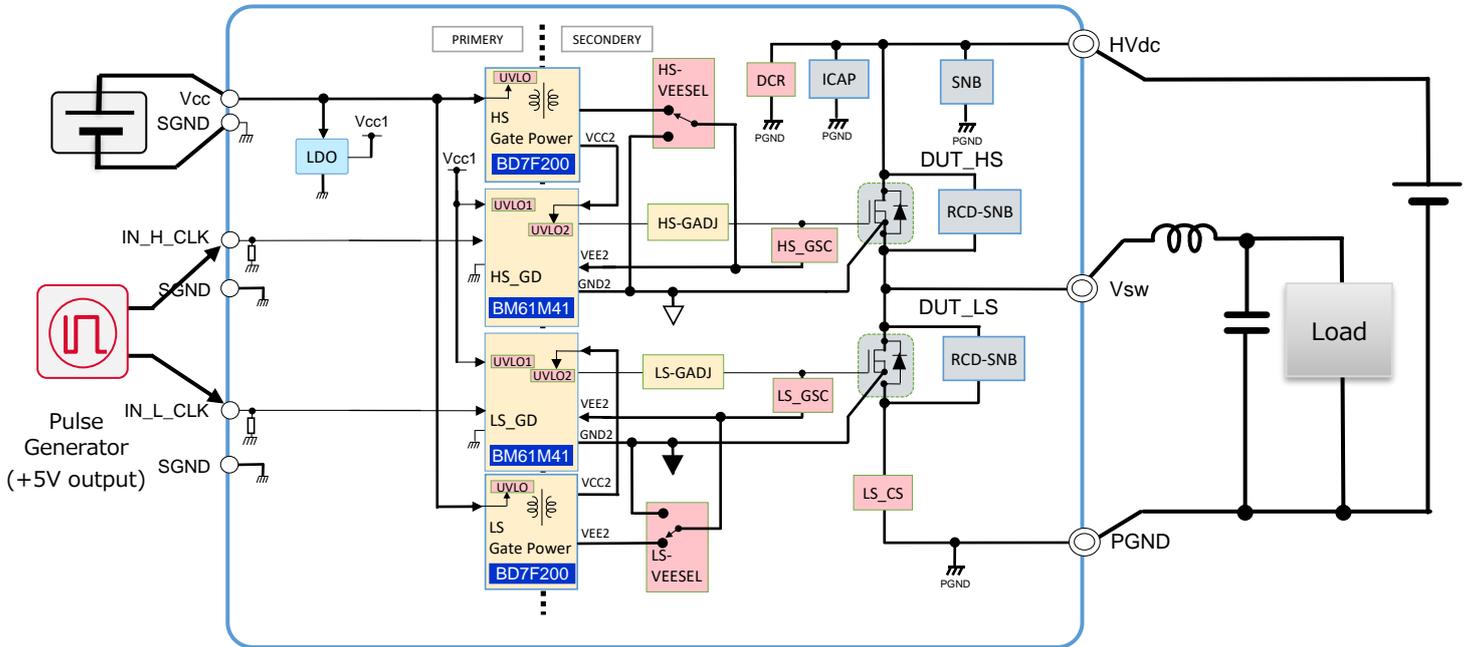


Figure 20. 同步整流 Buck 电源的动作测量电路

准备好脉冲发生器，从外部将 CLK 信号连接到 IN_H_CLK 端子 (CN1 pin) 和 IN_L_CLK 端子 (CN101, 1pin)。将控制用 12V 电源连接到 Vcc 端子 (CN201)，将高压 HVdc 电源连接到 HVdc 端子 (T1)，将负载电感连接到 Vsw 端子 (T2)。将平滑电容器和负载连接到负载电感的一侧。因为 HVdc 侧为输入，输出电容器已安装在本电路板上，所以基本上不需要再加电容了，但当振荡频率较低时，建议外置适当值的电容。届时请充分确保电容器的额定电压。

操作步骤如下。

- ① +12V 电源上电。
- ② 通过脉冲发生器设定开关频率和占空比，输入 CLK 信号。
- ③ HVdc 电源上电。
- ④ 通过电子负载装置调整输出电流。

在电感电流连续的 CCM 模式下，输出电压大致如下。

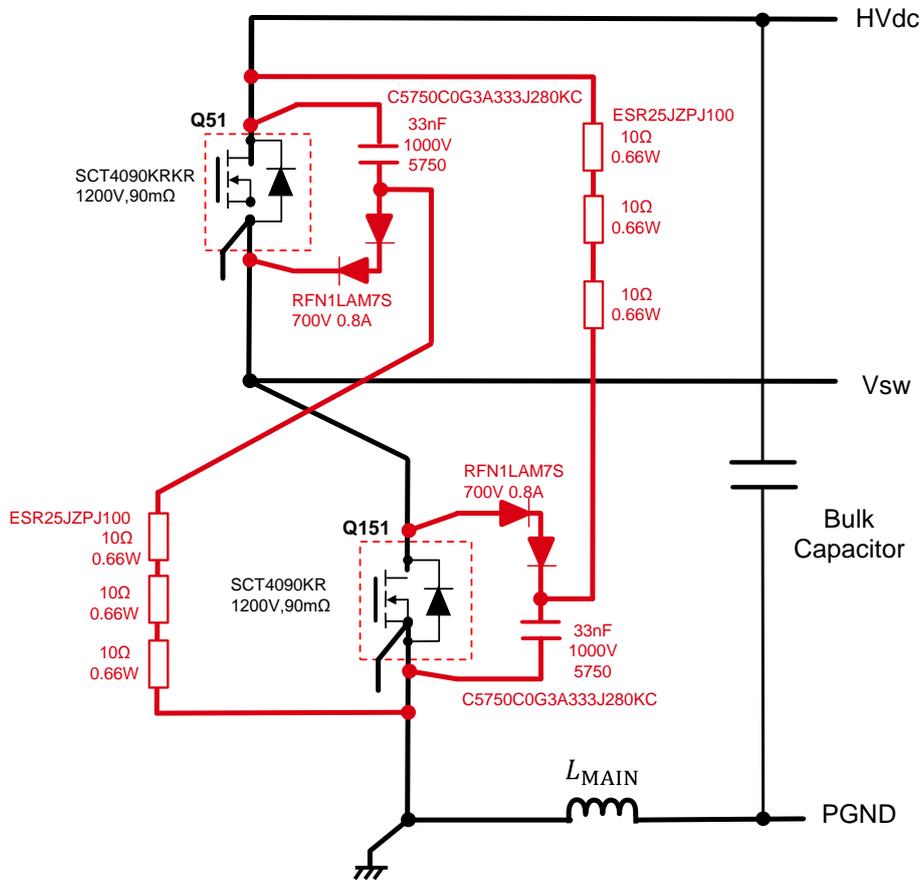
$$V_{out} = \text{Duty} \cdot V_{in}$$

另一方面，在电感器电流不连续的 DCM 模式下，输出电压与输入电压相等，这是为了进行开环控制而不间断脉冲。因为输入电压和电压相等，请注意电子负载装置的耐压等。

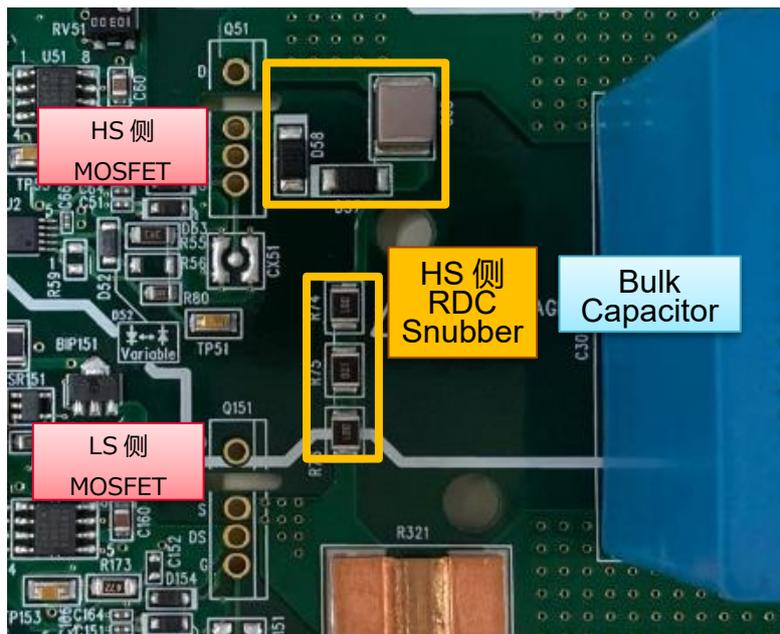
为了防止 HS 侧和 LS 侧 MOSFET 同时导通，请充分确保 IN_H_CLK 信号和 IN_L_CLK 信号的死区时间。此外，增大负载电流时，请注意评估器件的发热情况，必要时安装可进行充分冷却的散热片，或考虑周围温度。

10. 缓冲电路

本电路板为了抑制 MOSFET 的导通、关断浪涌，在漏源极之间进行了包含非放电型 RCD 缓冲电路 (*3) 的布局。其电路图和安装示例如图 21 所示。



(a) 电路图



(b) 安装示例(PCB005P, HS 侧)

Figure 21. RCD 非放电缓冲电路

由于缓冲电路内的电阻仅消耗超过高压输入电压 HVdc 的浪涌部分，所以非放电型缓冲电路是最适合高频开关电路的方式，但由于版图布局复杂，所以请在 4 层以上的电路板上使用。

缓冲电路内的电阻带来的功耗 P_{SNB} ，全部因缓冲电路内的电阻 R_{SNB} 而被消耗，因此，

$$P_{SNB} = \frac{L_{MAIN} \times I_{MAIN}^2 \times f_{SW}}{2}$$

其中， L_{MAIN} 是主电路的配线电感，是到块电容器 (Bulk Capacitor) 为止的配线电感， I_{MAIN} 是 MOSFET 关断时的漏极电流， f_{SW} 是 MOSFET 的开关频率。

另一方面，吸收电容器的电容 C_{SNB} 根据电感中积累的能量，用以下公式求出。

$$C_{SNB} = \frac{L_{MAIN} \times I_{MAIN}^2}{V_{SURGE}^2 - V_{HVdc}^2}$$

其中， V_{HVdc} 是高压电源、 V_{SURGE} 是浪涌电压的最大值。

另外 R_{SNB} 的电阻值可以用以下公式计算。

$$R_{SNB} < \frac{-1}{C_{SNB} \times \ln[(V_{SURGE} - V_{SNB}) / (V_{SURGE})]} \times \frac{1}{f_{sw}}$$

这是在 MOSFET 的一个周期内，将 C_{SNB} 吸收的能量全部放电，最大限度地达到了浪涌吸收效果。

Figure 22.通过 SCT4018KR 的双脉冲测试，显示了缓冲电路的验证结果。导通时根据缓冲电路的有无会有所差别，关断时 VDS 关断浪涌从 1207V 减少到 1070V，但对开关速度几乎没有影响。

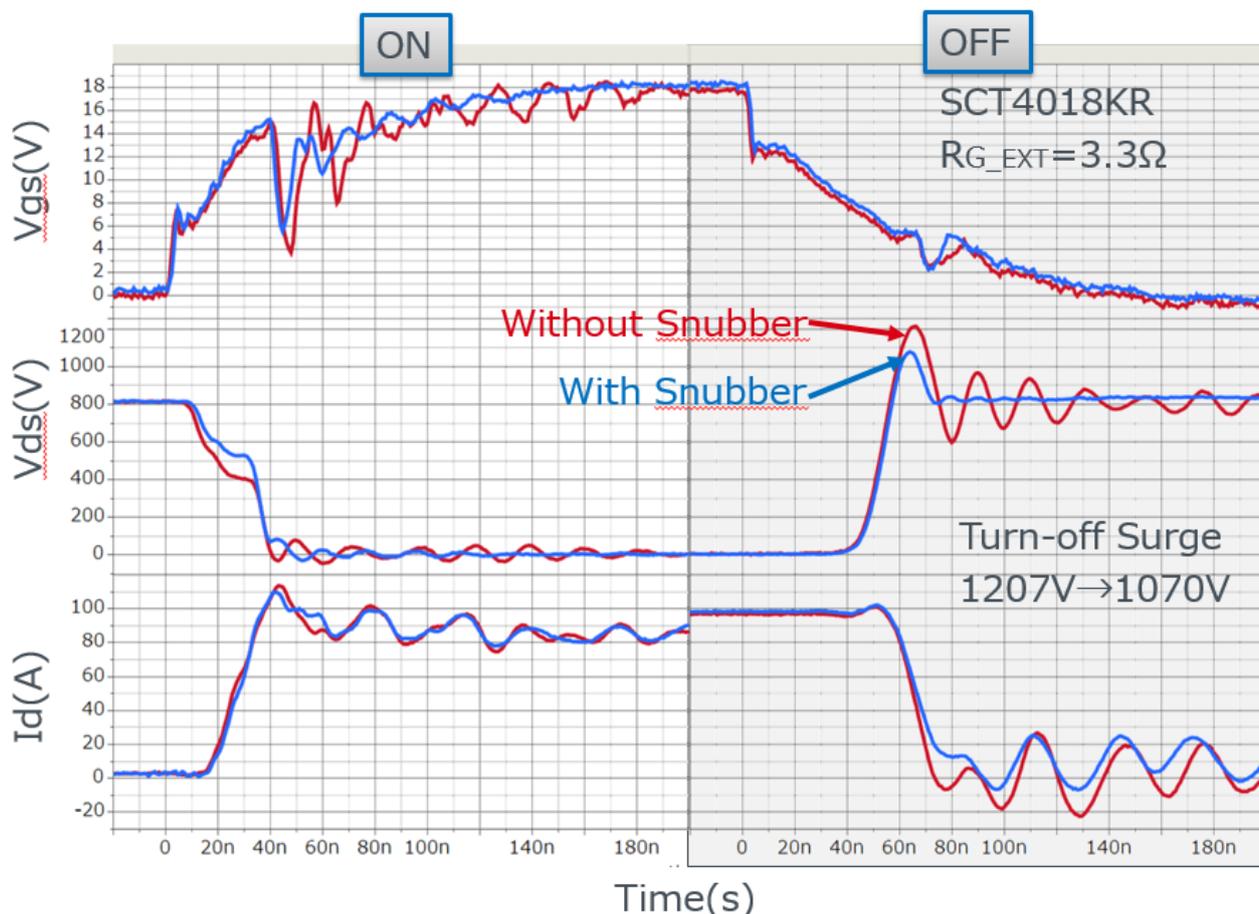


Figure 22. 缓冲电路的效果 (SCT4018KR)

11. 栅极-源极信号的保护电路

11.1 保护电路的种类

本电路板内置有吸收 MOSFET 的栅极-源极端子中产生的浪涌电压的保护电路。保护电路如 Table7.所示，有 3 个功能（箝位电路）和 4 个对策电路。栅极-源极电压受开关动作时 V_{DS} 和 I_D 的变化影响较大，因此需要通过这些保护电路适当抑制浪涌电压。另外，关于栅极-源极电压的动作及浪涌的抑制方法，另行发布了相关应用笔记 (*1)、(*2)，请一并参照。

电路图如 Figure 23.所示。

Table 7. 保护电路和动作详细说明

项	功能 (箝位电路)	对应部品	动作详细说明	初始设定
(I)	正浪涌电压抑制	D53, C51 D153, C151	在 MOSFET 的 V_{DS} 变化完成时会产生正侧浪涌。 导通时可能会超过 V_{DS} 最大额定值，因此用 D53 (D153) 将其箝位在 V_{CC2} 上。C51 (C151) 是旁路电容，布局在 D53 (D153) 附近。	安装
(II)	负浪涌电压抑制	D54, C64 D154, C164	桥式结构中的 MOSFET 进行关断动作时，在非开关侧 MOSFET 的 V_{GS} 中会产生负浪涌，有时会超过最大额定值，因此将其箝位在关断驱动电压 (V_{EE2}) 中。C64 (C164) 是旁路电容，布局在 D54 (D154) 附近。	安装
(III)	防止自开启 自开启浪涌电压抑制	R80 R180	桥式结构中的 MOSFET 进行导通动作时，会发生非开关侧 MOSFET 的 V_{GS} 的抬起 (与 V_{DS} 联动上升)，若超过栅极阈值 $V_{GS(th)}$ 则可能会导通 (所谓的自导通)。因此，通过用驱动 IC (BM61M41 RFV-C) 的 MC 信号将其箝位在关断驱动电压中，来抑制 V_{GS} 的上升。	安装
(IV)		C52 C152	如果 MOSFET 的 C_{rss}/C_{iss} 比值变大，则 V_{GS} 会变得容易抬起。(充电电流与 C_{rss} 成比例) 通过向 C_{iss} 追加并联电容，缩小 C_{rss}/C_{iss} 比，防止抬升到 $V_{GS(th)}$ 以上。所追加的电容值越大，抬升量越小，但这需要一定的驱动能力，且伴随着开关损失的增加，所以应在考虑发热的同时决定追加电容的容量。	未安装

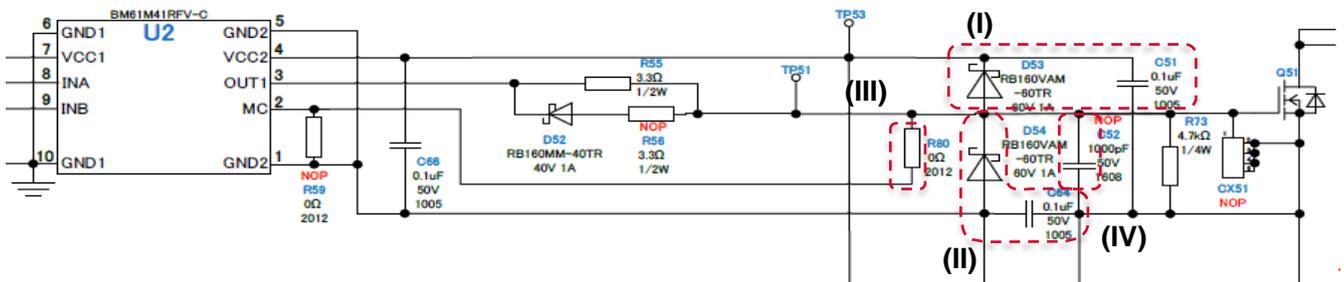


Figure 23. 栅极-源极信号的保护电路(PCB004P)

由于 V_{GS} 的浪涌电压发生在短短几十 ns 的时间内，所以要尽量减小这些箝位电路的焊盘电感，所以必须布局在 MOSFET 的附近。

SiC MOSFET 一般比 Si 系 MOSFET 栅极-源极电压的额定值要窄，因此推荐安装这些箝位电路。通过使用多个这些对策电路，可以更有效地抑制 V_{GS} 的浪涌电压，靠近 MOSFET 的优先顺序如下所示，使用内置米勒箝位 (MC) 信号的驱动 IC 时，尽可能布局在驱动 MOSFET 附近，缩短 MC 端子和 MOSFET 之间的焊盘线长，减少寄生电感。

(II)负浪涌电压箝位电路 → (I)正浪涌电压箝位电路 → (IV)增加 GS 间电容(C_{GS})

Figure 24.中显示的是保护电路的安装示例。(a) 是 TO-247N 用基板 (PCB004P)，(b) 是 TO-247-4L 用基板 (PCB005P)。由于栅极端子的引脚在 TO-247N 和 TO247-4L 之间是相反的，所以保护电路要选择最适合各封装的安装布局。

另外，关于有无保护电路是否会引起波形的差异，Figure 25.展示了几个例子，但不仅器件自身的特性，安装基板也会很大地影响到实际动作，所以必须用实机进行确认。

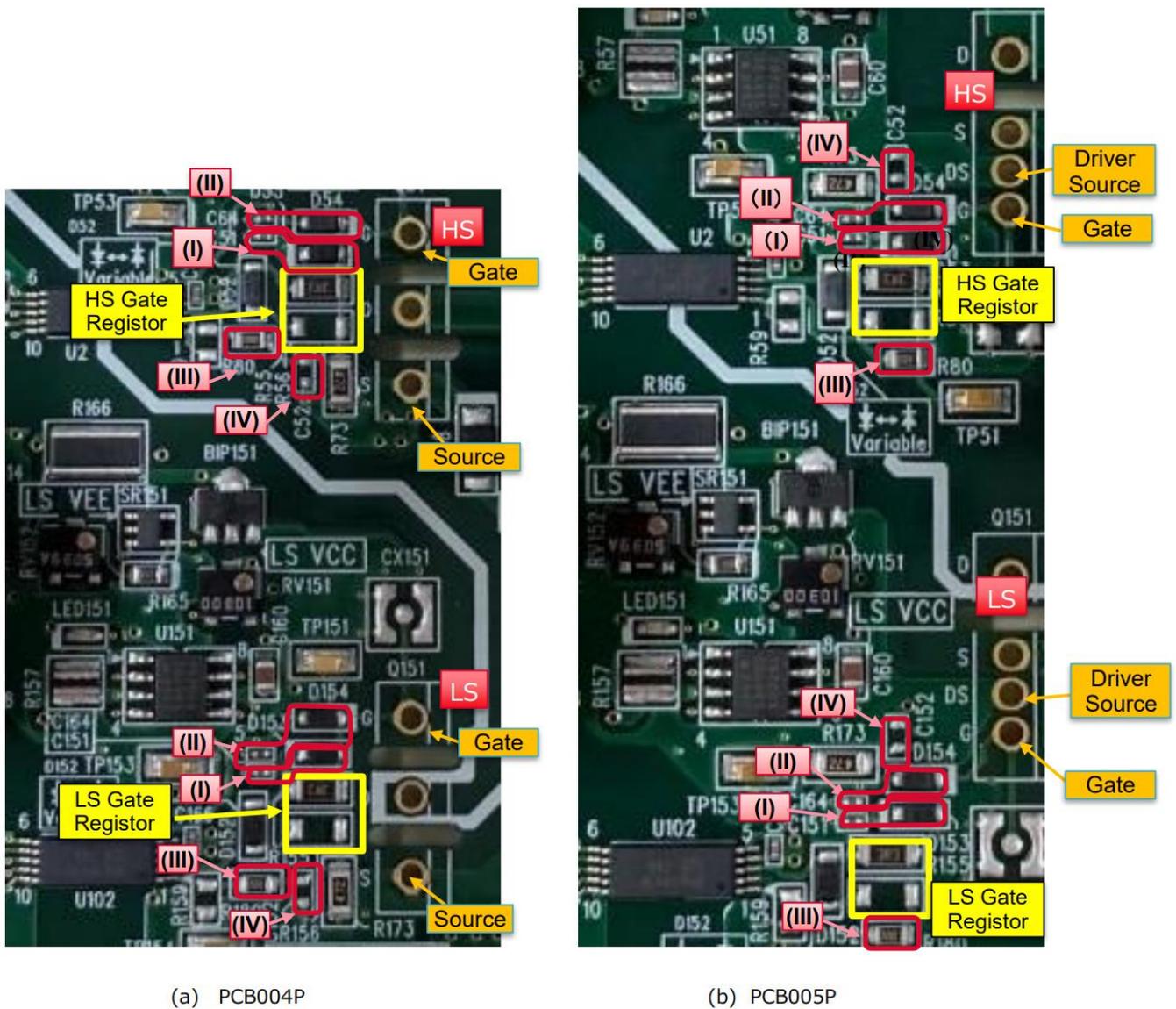


Figure 24. 栅极-源极电压 保护电路的安装位置

11.2 通过保护电路抑制浪涌电压效果

将 SCT4090KR 连接到桥式结构上，实施开关高侧 (HS) 的双脉冲测试，显示通过保护电路降低 V_{GS} 浪涌电压的效果事例。Figure 25. (a) 是测量电路，(b) 是测量波形。

外置栅极电阻 R_{G_EXT} 为 3.3Ω 。最上面的波形为 HS 侧 V_{GS} ，第二个为 LS 侧 V_{GS} ，第三个为 HS 侧 V_{DS} ，最下面的波形为 HS 侧 I_D 。栅极-源极端子的浪涌在导通时在 HS 侧产生正浪涌，关断时在 LS 侧产生负浪涌。关于浪涌产生的原因，我们另外准备了应用笔记 (*1)、(*4)，不在此赘述，但是如果完全没有安装保护电路 (No Protection) 的话，则可能会发生超出 MOSFET 栅极额定电压的浪涌。

■测试条件

DUT: SCT4018KR

E: 800V

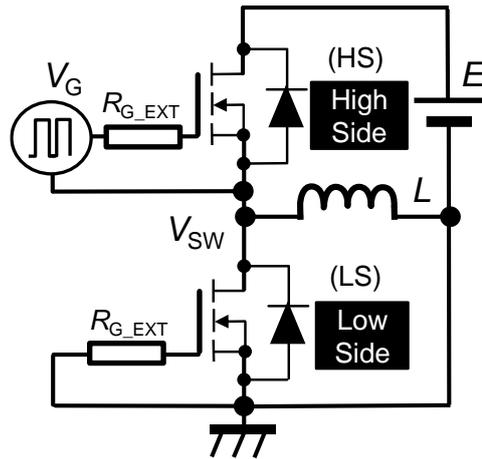
L: 250 μ H

Drain 电流: 约 80A

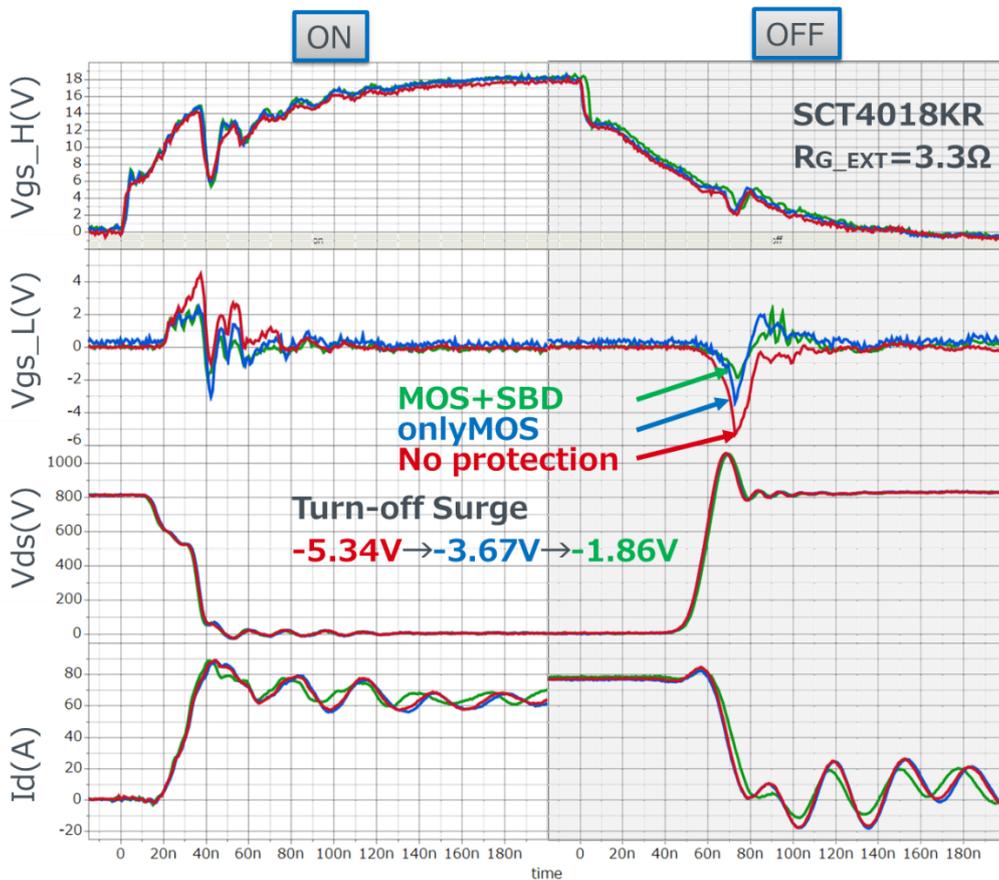
脉宽: 2.5 μ s

R_{G_EXT} : 3.3Ω

评估板: PCB005P Rev.C



(a) 测试电路



(b) 测试波形

Figure 25. 保护电路的效果 (SCT4018KR)

另一方面，通过连接作为保护电路之一的驱动 IC (BM61M41 RFV-C) 的米勒箝位信号 (MC 信号)，可以抑制关断时的浪涌。但是，由于 MC 信号需要高速应答，所以需要尽可能缩短与 MOSFET 的配线长度，然而由于优先执行速度调整用栅极电阻 R_{G_EXT} 等的安装位置，而不能安装在 MOSFET 附近的情况也会发生，根据布局的不同，箝位效果也有可能不那么理想。从经验上来看，距离 20mm 以上的话，箝位效果会变得非常差。

因此，通过在 MOSFET 的正下方配置箝位 SBD，附加抑制负浪涌的电路 (MC 信号+Clamp SBD)，可以进一步提高浪涌抑制效果，在本次测定中，将栅极浪涌电压抑制在了额定值内。

这样，在栅极端子中，与 MOSFET 的瞬态动作联动的浪涌会发生在正方向和负方向上，因此从设计阶段开始就将保护电路配置在 MOSFET 附近是非常重要的。

12. 注意事项

由于本评估板要处理数百 V 的电压，所以需要始终注意避免因故障而陷入危险状态。故障不仅会发生在本电路板上，还可能因为接线错误连接、施加规定外电压等错误处理而产生问题。

Table 8.中列出了需要特别注意的事项，除此之外也请在实施所有防止故障的措施的基础上进行使用。

Table 8. 常见故障一览表

Function	Items	Details
DCR	LED 不点灯	向 HVdc-PGND 端子施加电压时，确认 LED301 (红色) 是否点亮。未点亮时，应确认所施加的电压源或配线等。 输入输出电压达到约 20V 以上时亮灯。
HVdc Vsw	误配线 施加规定以外的电压	严禁施加规定值 (1200V) 以上的电压，防止发生配线连接错误等情况。此外，运行中请勿触碰配线。
Vcc	误配线 施加规定以外的电压	为了不致施加正负逆向电压，应在误用前确认配线。但是，由于有逆接用二极管，因此应将 Vcc 电源的 OPC 设定为 1A ~ 3A。(为保护逆接用二极管) 另外，施加规定电压以外的电压会导致故障，请充分确认后再操作。
SNB RDC_SNB	MLCC 烧损	由于使用了 MLCC，机械压力容易导致断裂等短路故障，因此请注意不要对基板造成过度冲击。 如果施加电压时感觉到什么不对，请立即采取切断施加电压等避免危险的措施。
IN_H_CLK IN_L_CLK	施加连续脉冲	当连续施加驱动 DUT 的 CLK 信号时，由于流过超过规定的电流可能会损坏 DUT，因此请务必在满足 DUT 电特性的范围内使用。
DUT	驱动 IC 破损	如果在 DUT 的栅极-源极之间处于短路状态下，开启驱动的 CLK 信号的话，则短路电流会从 Vcc2 通过 OUT 端子，流向 GND2，当外置电阻器阻值较小时，有可能会破坏驱动 IC 的 OUT 端子，因此在动作前务必确认栅极-源极间的短路状态。

参考资料:

- *1 《桥式电路相关的 Gate-Source 电压的动作》

应用手册 (No. 62AN044C Rev.002)

罗姆半导体公司, 2020 年 4 月

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/mosfet/sic-mosfet_gate-source_voltage_an-c.pdf

- *2 《栅极-源极电压的浪涌抑制方法》

应用手册 (No. 62AN043C Rev.002)

罗姆半导体公司, 2020 年 4 月

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/mosfet/sicmosfet-surge%20suppression_an_c.pdf

- *3 《缓冲电路的设计方法》

应用手册 (No. 62AN069C Rev.002)

罗姆半导体公司, 2020 年 4 月

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/mosfet/sic-mos_snubber_circuit_design_an-c.pdf

- *4 《通过驱动源极端子改善开关损耗》

应用手册 (No. 62AN045C Rev.002)

罗姆半导体公司, 2020 年 4 月

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/mosfet/sicmosfet_swloss_an-c.pdf

- *5 Nippon Automatic Control 网站首页

<https://naccjp.com/nacc/lp/cwt/>

- *6 T&M Research Products, Inc. 网站首页

https://www.tandmresearch.com/index.php?mact=ListIt2Products,cntnt01,detail,0&cntnt01item=series-sdn-414&cntnt01template_summary=Side&cntnt01returnid=19

- *7 《How to Select the Right Current Probe》

应用手册 (No. 5992-2656EN)

KEYSIGHT TECHNOLOGIES, 2018 年 9 月

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.com.cn/contactus>