



# **TO-247-4L**

## **Half-Bridge Evaluation Board**

### **Operation Manual**

## <High Voltage Safety Precautions>

- ◇ Read all safety precautions before use

Please note that this document covers only the SiC MOSFET for TO-247-4L evaluation board (P02SCT3040KR-EVK-001) and its functions. For additional information, please refer to the product specification.

### To ensure safe operation, please carefully read all precautions before handling the evaluation board



Depending on the configuration of the board and voltages used,

#### **Potentially lethal voltages may be generated.**

Therefore, please make sure to read and observe all safety precautions described in the red box below.

#### **Before Use**

- [1] Verify that the parts/components are not damaged or missing (i.e. due to the drops).
- [2] Check that there are no conductive foreign objects on the board.
- [3] Be careful when performing soldering on the module and/or evaluation board to ensure that solder splash does not occur.
- [4] Check that there is no condensation or water droplets on the circuit board.

#### **During Use**

- [5] Be careful to not allow conductive objects to come into contact with the board.
- [6] **Brief accidental contact or even bringing your hand close to the board may result in discharge and lead to severe injury or death.**

**Therefore, DO NOT touch the board with your bare hands or bring them too close to the board.**

In addition, as mentioned above please exercise extreme caution when using conductive tools such as tweezers and screwdrivers.

- [7] If used under conditions beyond its rated voltage, it may cause defects such as short-circuit or, depending on the circumstances, explosion or other permanent damages.
- [8] Be sure to wear insulated gloves when handling is required during operation.

#### **After Use**

- [9] The ROHM Evaluation Board contains the circuits which store the high voltage. Since it stores the charges even after the connected power circuits are cut, please discharge the electricity after using it, and please deal with it after confirming such electric discharge.
- [10] Protect against electric shocks by wearing insulated gloves when handling.

This evaluation board is intended for use only in research and development facilities and should be handled **only by qualified personnel familiar with all safety and operating procedures.**

We recommend carrying out operation in a safe environment that includes the use of high voltage signage at all entrances, safety interlocks, and protective glasses.

## SiC MOSFET 评估板

# TO-247-4L 半桥评估板 使用说明书

在 SiC MOSFET 等功率元器件的评估中，一般会涉及到高电压和大电流，因此要求恰当地构建其评估环境。然而，在探讨新封装时，立即得到最合适评估板是不太可能的。

对此，罗姆设计了这款评估板。评估板采用常见的电路配置--半桥电路，并配有驱动电路、驱动电源、过电流保护电路及栅极信号保护电路等，以便为客户提供最适合佳的评估环境，使客户可以简单轻松地准备适当的评估条件。

在本用户手册中，将介绍 TO-247-4L 封装用评估板的使用方法。如欲了解电路图、BOM、PCB 布局及电气规格等相关的详细信息，请参考《TO-247-4L 半桥评估板 产品规格书》(No.62UG025C Rev.001)。

## 1. 前言

本评估板具有多个由外部供给的电压源和信号源，因此严格遵守下面规定的开/关时序，可避免损坏等问题。

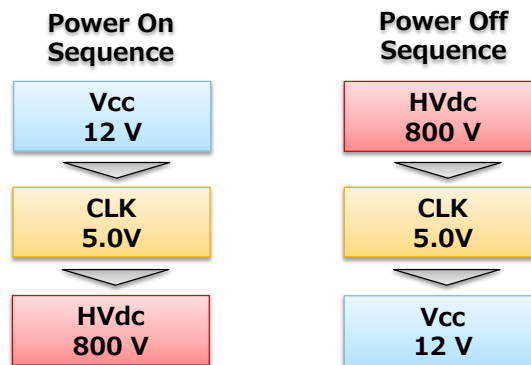


图 1. On/Off 时序

## 2. LED 显示

本评估板配有多个 LED，以方便把握评估板的工作状态。

LED 的大致设置位置如图 2 所示，其详细介绍见表 1，每种状态的 LED 灯亮情况见表 2。另外，当报警用 LED 灯亮时，会通过外部电路进入锁存状态，但配有用来将锁存复位的按钮。

消除异常状态后操作该复位按钮(无锁型按钮)，可解除锁存状态并恢复正常工作。当 LS\_FAULT 和 OCP 同时灯亮时，必须先进行 OCP 复位。

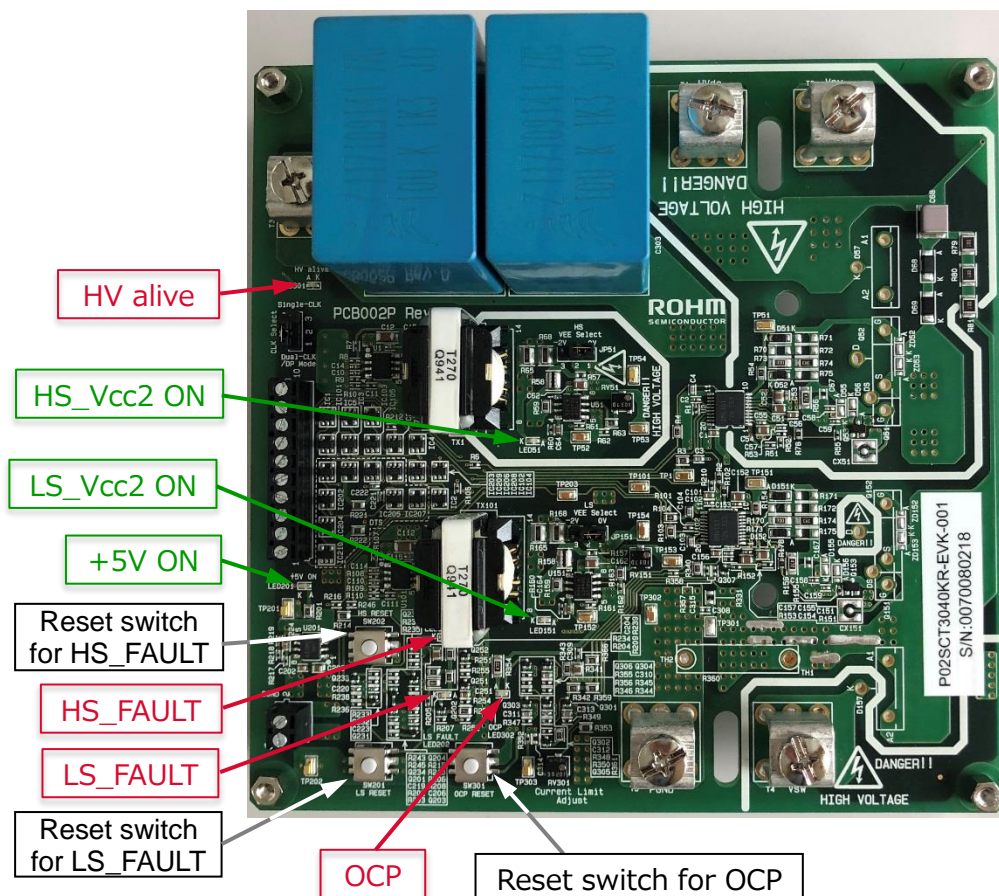


图 2. LED 和按钮开关的位置

表 1. LED 灯亮及其含义

符号	LED	LED 灯亮	详细说明
HV alive	红	灯亮	当高压电源 HVdc 存在 10V 以上的电压时灯亮。即使切断高压电源也有可能处于灯亮状态，因此灯亮时切勿触摸电路板。
		灯灭	HVdc 的电压在 10V 以下。
+5V_ON	绿	灯亮	正常工作时灯亮。灯亮时将输出控制用电源 (+12V)。
		灯灭	未施加控制用电源。
HS_Vcc2_ON LS_Vcc2_ON	绿	灯亮	正常工作时灯亮。栅极驱动用隔离电源正常启动。
		灯灭	栅极驱动用隔离电源未输出。
HS_FAULT LS_FAULT	红	灯亮	驱动 IC 的 FLT 信号输出时灯亮。
		灯灭	正常工作状态。
OCP	红	灯亮	当检测到 LS 端 MOSFET 的过电流时灯亮，同时 LS_FAULT 也灯亮。
		灯灭	正常工作状态。

表 2. FAULT LED 灯亮及其含义

状态	LED 灯亮			灯亮时的现象
	HS_FAULT	LS_FAULT	OCP	
Hs 端故障	灯亮	--	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>● HS 端栅极-源极短路</li> <li>● 检测到 HS 端 DESAT</li> <li>● 检测到 HS 端栅极隔离电源 (Vcc2_HS) 的 UVLO</li> <li>● INA_HS 信号与 OUT1_HS 信号的逻辑不匹配</li> </ul>
Ls 端故障	--	灯亮	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>● LS 端栅极-源极短路</li> <li>● 检测到 LS 端 DESAT</li> <li>● 检测到 LS 端栅极隔离电源 (Vcc2_LS) 的 UVLO</li> <li>● INA_LS 信号与 OUT1_LS 信号的逻辑不匹配</li> <li>● 10μs 以上及漏极流过超 30A 以上电流时 [NOTE1]</li> </ul>
OCP	--	灯亮	灯亮	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 检测到 LS 端 OCP (仅检测到漏极→源极的电流)</li> </ul>

[NOTE1] OCP 回路给出 VTSIN 信号的 Level shift 程度由 R359(470Ω)决定，漏极流过电流，Level shift 程度变大，

如果超过 VTSIN 信号的检测电平，LS\_FAULT 灯就亮。如需施加 10us 以上的脉宽，请把 R359 阻值改为 2.2kΩ。

### 3. OCP 调整方法

#### 3.1 OCP 检测信号

Over Current Protection (OCP) 电路通过检测 LS 端 MOSFET 的源极引脚和 PGND 间插入的电流感应电阻两端的电压，并将 OCP 检测信号输入至 LS 端 MOSFET 驱动 IC (U102) 的 VTSIN 信号 (01 引脚)，从而生成输入信号端的 FLT 信号，使包括 HS 端在内的所有 CLK 信号无效。

图 3 表示 OCP 电路。

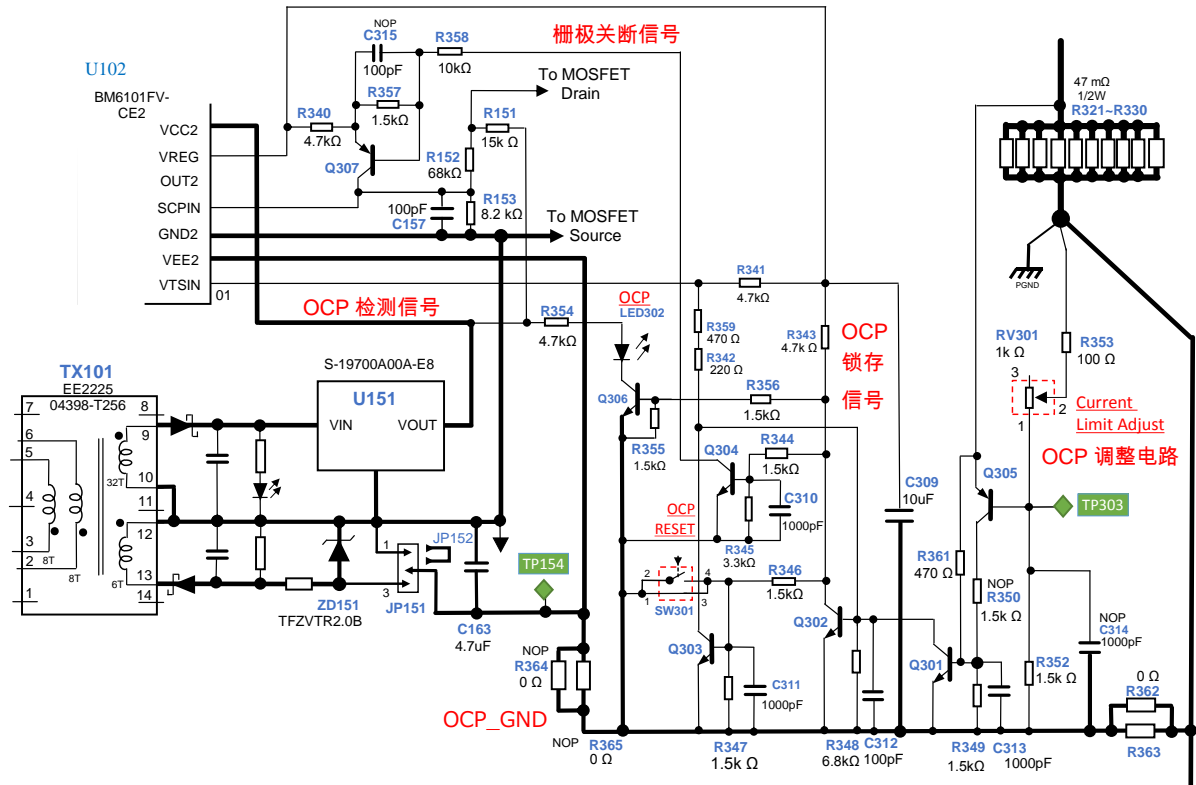


图 3. OCP 电路

为了最大限度地降低电流感应电阻消耗的功率，OCP 电路采用了可通过负偏压驱动的设计，但 VTSIN 信号基于 GND2 (03 引脚)，在负偏压驱动时，无法将 OCP 检测信号直接输入至 VTSIN 信号。为此，已经利用电阻 (R341,R342,R359) 的电平转换电路将 OCP 信号连接至 VTSIN 引脚，因此，要变更偏置电压时，需要重新调整该电平转换电路。表 3 表示每种偏置电压的电平转换电阻值。负偏压时，可通过可变电阻 RV301 来调整 OCP 启动点，拆除电阻 R361 即可工作，如果偏置电压改变，则需要通过 R353 重新调节 OCP 的调整范围。表 3 列出了每种偏置电压的电阻值。

表 3. 电平转换电阻的调整

偏置电压	R341	R342	R359	R353	R361	备注
零偏压		220	470	100	470	OCP 不可调
-2V		220	2.2k	100	未安装	OCP 通过 RV301 可调
-3.0V	4.7k	470	3.3k	56		
-3.6V		220	4.7k	47		
-4.0V		220	5.6k	39		

OCP 电路由启动用晶体管(Q301,Q305)、锁存用晶体管(Q303)、栅极关断信号用晶体管(Q304)及 LED 显示用晶体管(Q306) 组成。另外，还配有用来选择 OCP 电路的 GND (OCP\_GND) 的电阻 R362/R363 和 R364/R365。表 4 表示所选偏置电压和安装的电阻之间的关系。初始设置为零偏压。

表 4. 通过偏置电压设置 OCP\_GND 的方法

偏置电压	R362	R363	R364	R365
零偏压	0Ω	0Ω	不安装	不安装
负偏压	不安装	不安装	0Ω	0Ω

另外，为了最大限度地缩短 OCP 电路启动后到 LS 端 MOSFET 关断之间的时间，利用栅极关断信号直接提升驱动 IC (U102) 的 SCPIN 引脚电压，可在 SCP 启动后 1us 以内关断 MOSFET 的栅极信号。当 OCP 电路启动时，在 OCP 锁存电路启动、MOSFET 的栅极关断后也保持 OCP 状态，且 LED302 (红) 灯亮。消除 OCP 的产生原因后，按下 OCP 复位开关 (SW301) 即可将锁存电路复位。

图 4 表示 OCP 电路复位开关和调整用电阻等的安装位置。

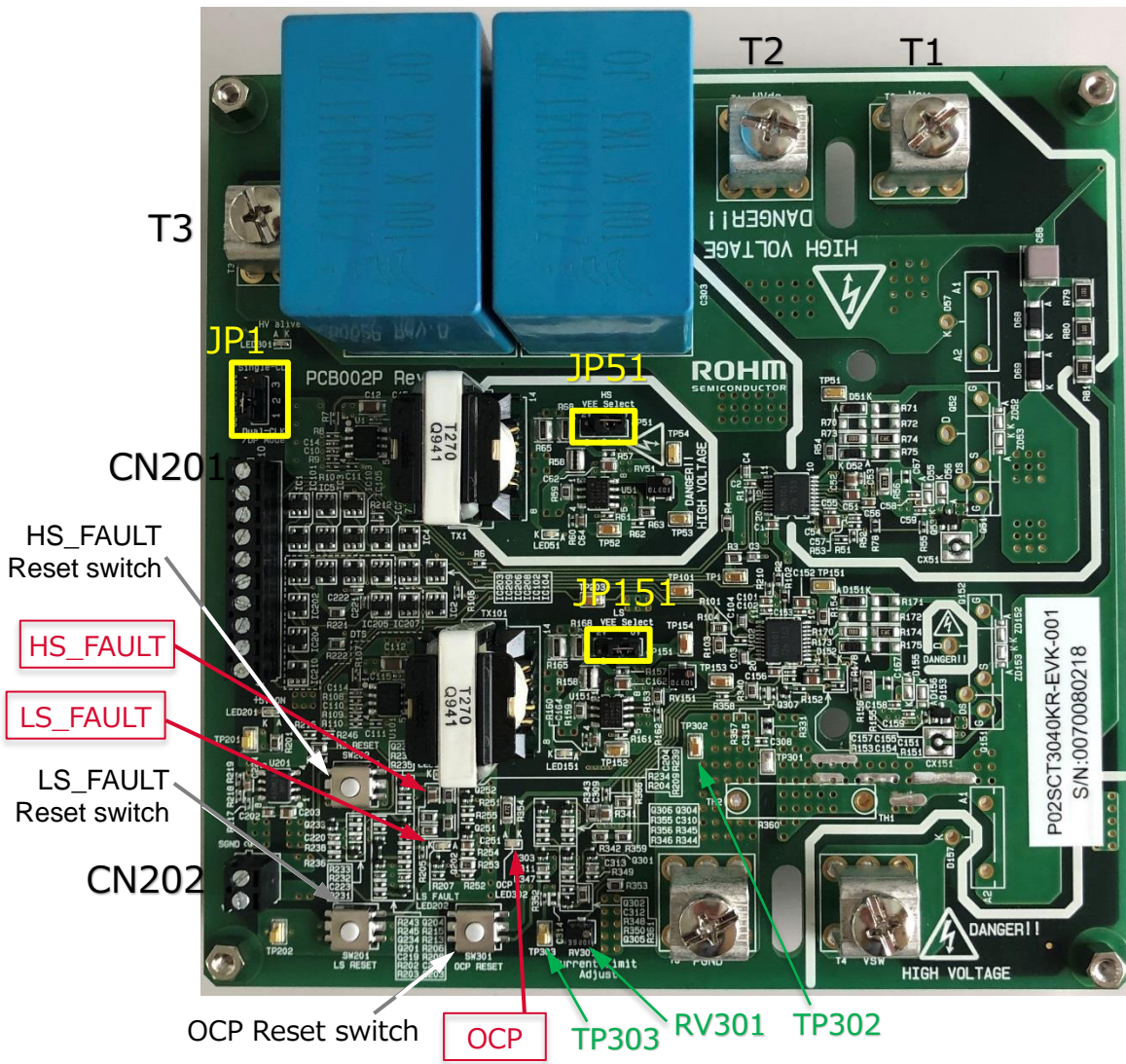


图 4. 连接器和 OCP 调整电路 配置图

### 3.2 设置零偏压时的调整方法

零偏压时无法调整 OCP 的设置，OCP 设置电流  $I_{OCP}$  大致如下：

$$I_{OCP} = ((R361//R350)+R349)/R349 * V_{BE\_Q301}/0.0047 = 171A$$

### 3.3 设置负偏压时的调整方法

负偏压时可利用可变电阻 RV301 来调整 OCP 点。调整方法如下：

- 将数字万用表等连接于 TP303 和 TP302 (TP302 为 GND 端)。
- 使 RV301 顺时针旋转，并读取 OCP 用 LED 灯亮时的电压值 ( $V_{BEMIN}$ )。约在 -0.65V 附近灯亮。
- 再使 RV301 逆时针旋转几圈，按下 OCP 用复位按钮，使 OCP 用的 LED 灯灭。
- 调整 RV301，并利用 TP303 的电压值  $V_{TP303}$ ，按以下公式设置 OCP 设置电流  $I_{OCP}$ 。

$$V_{TP303} = V_{BEMIN} + I_{OCP} * 0.0047$$

当顺时针调整 RV301 时， $I_{OCP}$  会变小。

表 5. OCP 设置电压示例

$I_{OCP}$	$V_{TP303}$
50 Amps	- 0.415 V
70 Amps	- 0.320 V
90 Amps	- 0.230 V
110 Amps	- 0.130 V
130 Amps	- 0.030 V

图 5 为负偏压时的 OCP 启动时序示例。

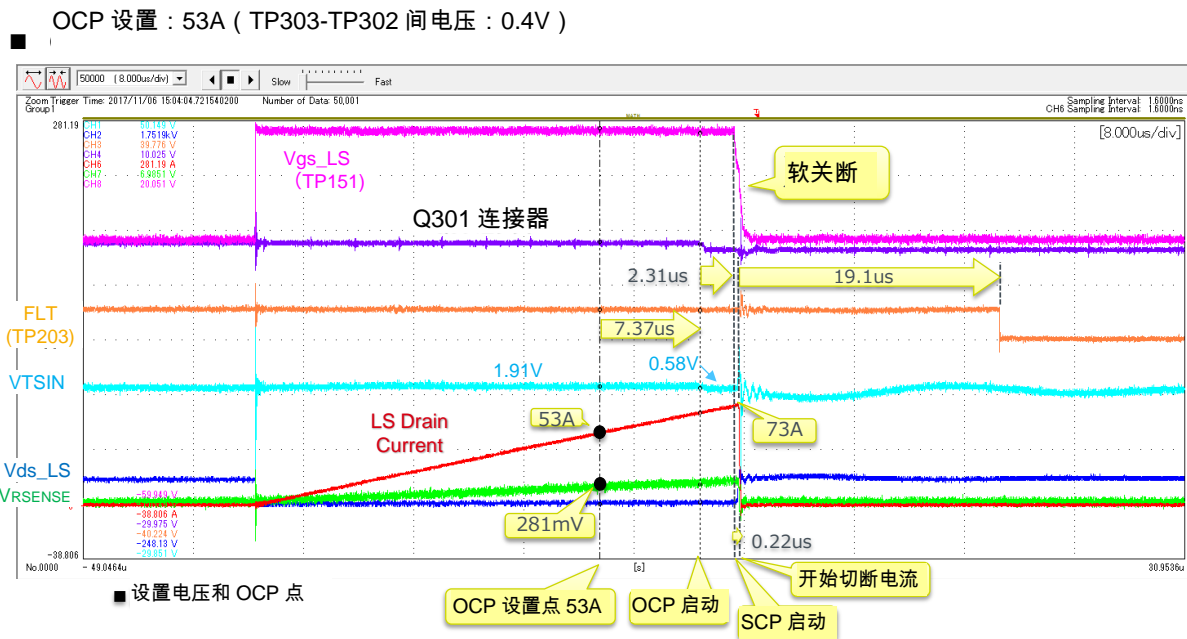


图 5. OCP 启动时序



$V_{TP303}$  的设置值为-0.4V，OCP 设置点为 53A。当先对栅极电压  $V_{gs\_LS}$  施加 18V 驱动电压时，漏极电流会增加。电流感应电阻中也会流过相同的电流，因此其两端电压  $V_{SENSE}$  也成正比上升。当  $V_{SENSE}$  电压升至约 281mV 时，会达到 OCP 设置点，Q305 会导通，但到 Q301 导通需要经过约 7.37us。这是因为 Q301 的基极电压被施加了 R349 和 R350 的分压，当负偏压低时，到达 Q301 导通的  $V_{BE}$  的时间会变长。

接下来，当 Q301 导通时，OCP 电路启动，约 2.31us 后，驱动 IC 的 SCP 电路启动，LS 端栅极信号的关断工作开始。此时，MOSFET 漏极电压的关断浪涌是通过软关断动作而不是正常关断动作来抑制的。然后，SCP 启动约 19us 后，输入信号端的 FLT 信号启动，LS\_FAULT LED（红）灯亮。

如上所述，受从 OCP 的设置值到电流实际关断的延迟时间影响，过电流会持续上升，因此设置实际的设置值时需要考虑到电路上的延迟和波动。

#### 4. 连接器引脚分配

连接器引脚分配如图 6 所示。

另外，各信号和电源引脚的定义见表 6 和表 7。

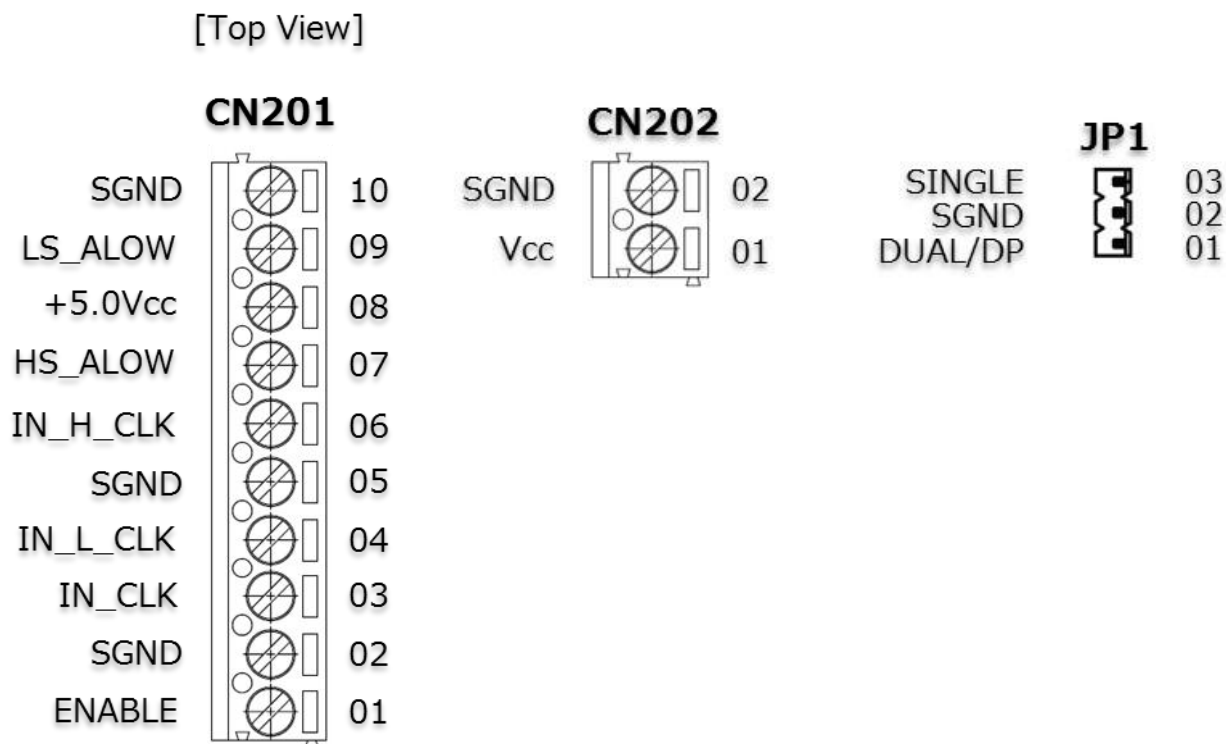


图 6. 连接器引脚分配

表 6. 电源引脚的定义

电源引脚	信号	详细说明
T1	HVdc	高电压输入引脚 Buck 或逆变器工作时为输入引脚，但 Boos 工作时为输出引脚。
T2 T4	Vsw	HS 端 MOSFET 的源极引脚和 LS 端 MOSFET 的漏极引脚 连接在评估板内，不可分离。
T3 T5	PGND	Power GND 引脚 连接于输入信号端 SGND。(可分离)

表 7. 信号线的定义

连接器	引脚 No.	信号	I/O	详细说明
CN201	01	ENABLE	I	驱动器 IC U2 和 U102 的公共使能信号（不可单独控制）“L”电平时驱动器 IC 工作。开路时通过 2.2kΩ 电阻上拉至+5V。
	02	SGND	--	输入信号端 GND。可与 DUT 端 GND 完全分离。
	03	IN_CLK	I	HS 端和 LS 端 MOSEFT 对称 ON/OFF 的信号。“H”电平时, HS 端 MOSFET 导通, LS 端 MOSFET 关断。“L”电平时, HS 端 MOSFET 关断, LS 端 MOSFET 导通。但是仅限通过“JP1”连接器设置于“Single-CLK Mode”端时有效。开路时通过 2.2kΩ 电阻下拉。
	04	IN_L_CLK	I	LS 端 MOSFET 的 ON/OFF 信号。“H”电平时导通。但是仅限通过“JP1”连接器设置于“Dual-CLK/DP Mode”端时有效。开路时通过 2.2kΩ 电阻下拉。
	05	SGND	--	输入信号端 GND。
	06	IN_H_CLK	I	HS 端 MOSFET 的 ON/OFF 信号。“H”电平时导通。但是仅限通过“JP1”连接器设置于“Dual-CLK/DP Mode”端时有效。开路时通过 2.2kΩ 电阻下拉。
	07	HS_ALLOW	I	“IN_H_CLK”信号的逻辑反相信号。“H”电平时, 当“IN_H_CLK”信号为“L”电平时 HS 端 MOSFET 导通。开路时通过 2.2kΩ 电阻下拉。
	08	+5Vcc	--	控制用电源(+5V)的输出引脚。最大输出为 20mA。用于输入信号上拉。
	09	LS_ALLOW	I	“IN_L_CLK”信号的逻辑反相信号。“H”电平时, 当“IN_L_CLK”信号为“L”电平时 LS 端 MOSFET 导通。开路时通过 2.2kΩ 电阻下拉。
	10	SGND	--	输入信号端 GND。
CN202	01	Vcc	--	驱动器 IC 和内部控制用电源引脚。从电源内部生成栅极驱动用电源。
	02	SGND	--	输入信号端 GND。
JP1	01	DUAL/DP	I	设置为“Dual-CLK/DP Mode”状态的信号。在“L”电平时“IN_x_CLK”信号有效。开路时通过 2.2kΩ 电阻上拉至+5Vcc。
	02	SGND	--	输入信号端 GND。
	03	SINGLE	I	设置为“Single-CLK Mode”状态的信号。在“DUAL/DP”信号非“L”电平时“IN_CLK”信号有效。开路时处于开放状态开路时处于高阻状态。

## 5. CLK Select 功能 (JP201 设置方法)

在 MOSFET 的桥接驱动中，必须防止 HS 端和 LS 端同时导通。本评估板具备通过外部的单一信号防止 HS 端和 LS 端同时导通，并可选择 Single-CLK 模式（有针对性地驱动）和 Dual/DP-CLK 模式（单独驱动导通/关断）的功能。通过连接器 JP201 的跳线设置进行选择。

- 当选择 Single-CLK 模式时，仅“IN\_CLK”信号有效。
- 当选择 Dual/DP-CLK 模式时，驱动 HS 端的“IN\_H\_CLK”信号和驱动 LS 端的“IN\_L\_CLK”信号有效。该模式包括 HS 端和 LS 端同时导通防止电路，但没有死区时间。
- 在进行双脉冲测试时，选择 DUAL/DP-CLK 模式，仅驱动 HS 端或 LS 端中的一端。

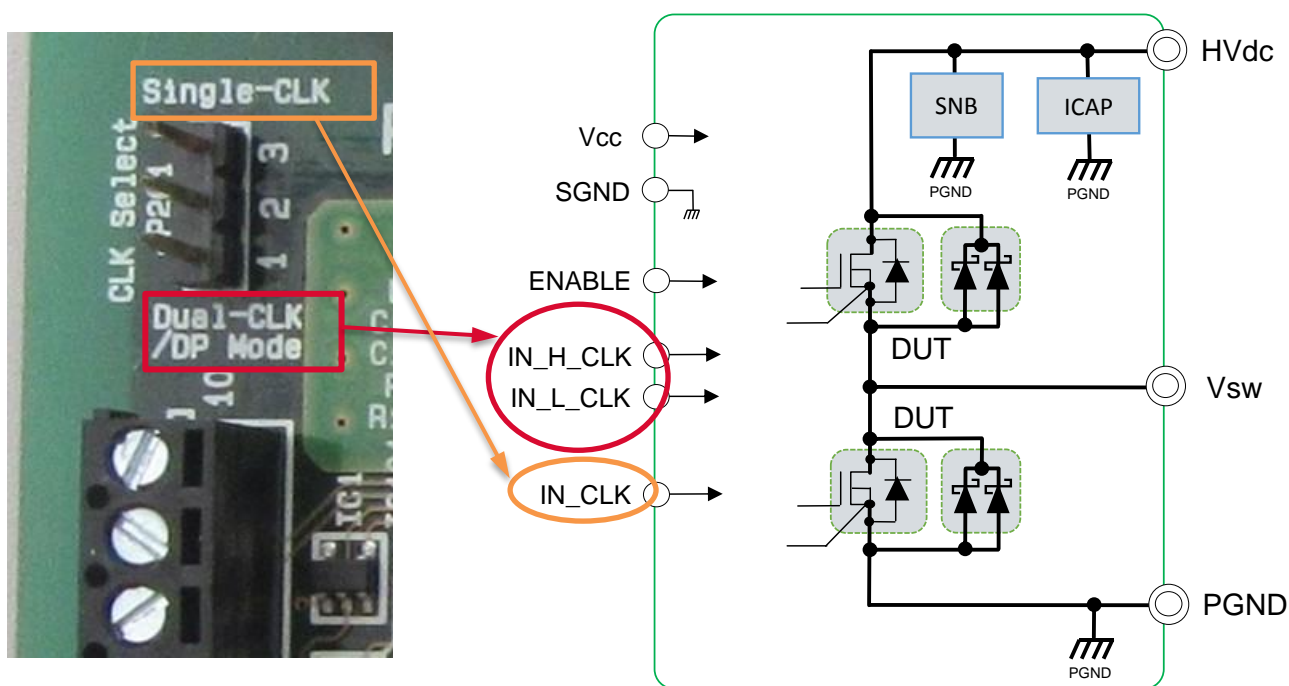
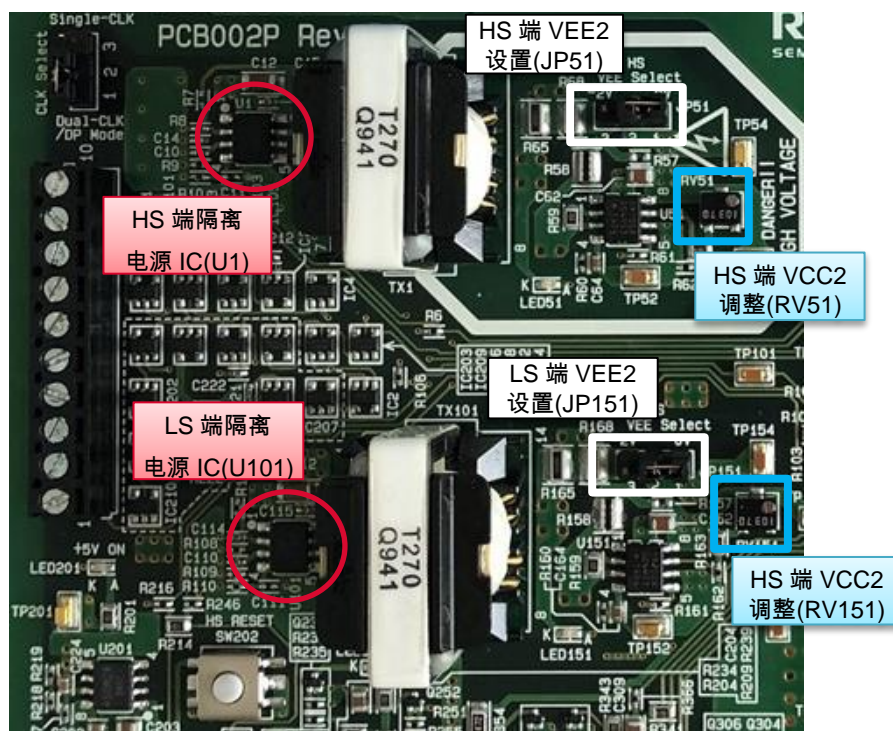


图 7. CLK Select 功能

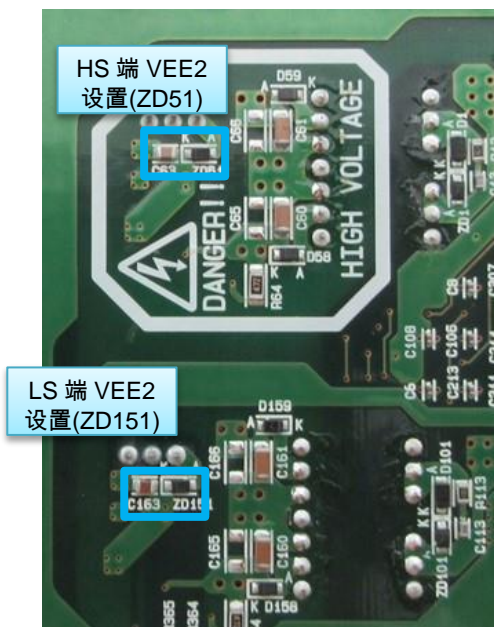
## 6. 栅极驱动电压的设置方法

栅极驱动电压由安装于板上的隔离型反激式电源供给。该反激式电源采用罗姆生产的无光耦控制 IC (BD7F200EFJ)，并配有将正负驱动电压分别输出至 HS 端和 LS 端的变压器。

图 8 表示板上电源的布局。



a) 顶部视图



b) 底部视图

图 8. 栅极电源的结构

### 6. 1 正偏压(VCC2)的调整方法

隔离型反激式电源的变压器 (TX1, TX101) 输出有正电压和负电压。MOSFET 的驱动电压 (正偏压) VCC2 是由其变压器正输出经由 LDO 生成的, 通过可变电阻 RV51、RV151 可调整 LDO 的输出电压。当使可变电阻顺时针旋转时, 输出电压会升高。此外, 虽然设置范围为 10.35V~20.56V, 但 VCC2 的 UVLO 的工作电压为 11.5V(typ), 因此在电压下降时需要注意。

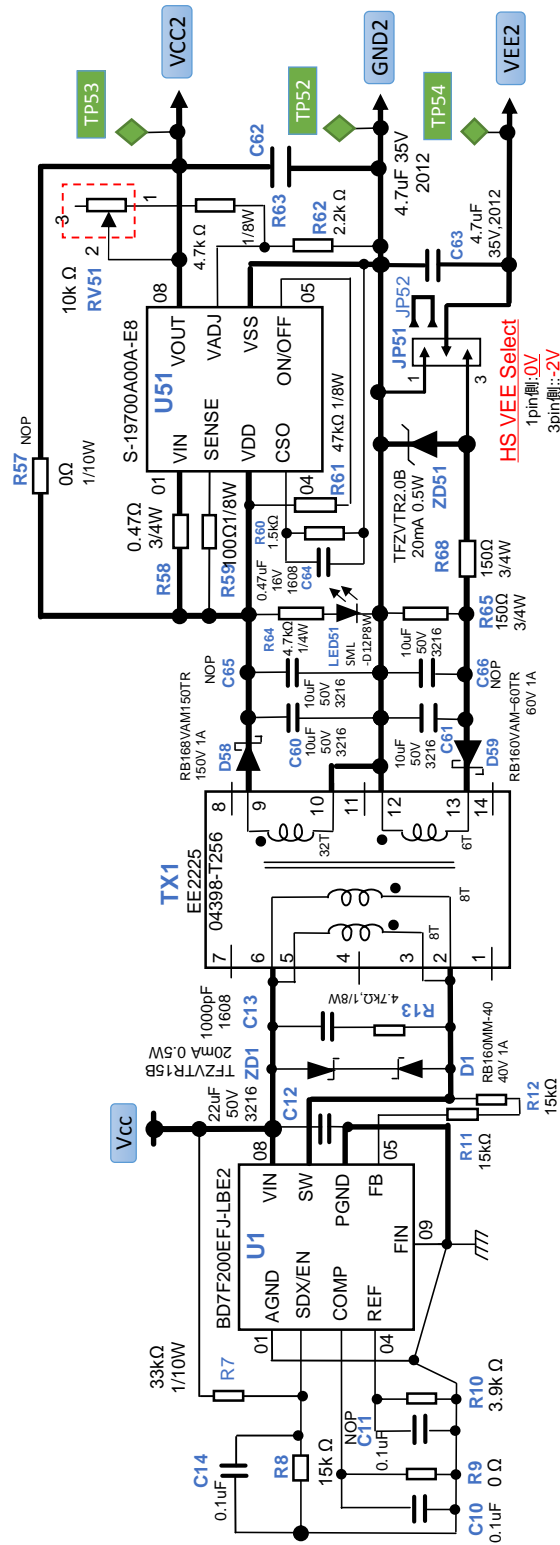


图 9. 栅极驱动电源电路 (HS 端)

另外，变压器的输出电压可以直接输出而不经由 LDO，此时给 R57、R157 安装 0Ω 电阻，拆除 R61 和 R161，可使 LDO 处于输出关断状态，变压器的输出电压直接输出至 VCC2。变压器的输出电压约为 23.3V。

## 6.2 负偏压(V<sub>EE2</sub>)的调整方法

MOSFET 关断时的偏置电压（即负偏压 V<sub>EE2</sub>）是从变压器 TX1、TX101 的负输出通过齐纳二极管 ZD51、ZD151（罗姆生产的 TFZVTR2.0B）稳定至-2V。V<sub>EE2</sub> 经由负偏压设置引脚 JP51、JP151 供给，可选择零偏压和-2V 偏压。其设置方法见表 8。

表 8. 负偏压（V<sub>EE2</sub>）的设置方法

连接器	引脚 No.	信号	详细说明
JP51	01	HS_GND2	HS 端 MOSFET 的驱动源极引脚。
	02	HS_VEE2	HS 端负偏压供给用引脚（V <sub>EE2</sub> ）。请勿置于开路状态。
	03	HS_N2V	HS 端负偏压电源引脚。初始设置为-2V。通过 ZD51 生成。最大可调整至-4.3V。
JP151	01	LS_GND2	LS 端 MOSFET 的驱动源极引脚。
	02	LS_VEE2	LS 端负偏压供给用引脚（V <sub>EE2</sub> ）。请勿置于开路状态。
	03	LS_N2V	LS 端负偏压电源引脚。初始设置为-2V。通过 ZD151 生成。直接连接于变压器引脚时最大可调整至-4.3V。

要变更负偏压时，可通过变更 ZD51、ZD151 来实现，但由于变压器的负输出电压约为-4.3V，因此可在 0V~-4.3V 的范围内进行设置。通过使 R68、R168 短路并拆除 ZD51 和 ZD151，也可直接提供变压器的负电压。用来设置任意负偏压的齐纳二极管（罗姆生产）一览表见表 9。

表 9. 负偏压用齐纳二极管和调整用电阻

设置电压	ZD51, ZD151	R68, R168
-2.4V	TFZVTR2.4B	120 ohm
-3.0V	TFZVTR3.0B	82 ohm
-3.6V	TFZVTR3.6B	47 ohm
-4.0V	拆除	0 ohm

## 7. 栅极电阻的设置方法

本评估板配有用来调整 MOSFET 开关速度的栅极电阻，而且还可以单独设置 HS 端和 LS 端。

导通： HS 端	R70, R71, R72, D51
LS 端	R170,R171,R172,D151
关断： HS 端	R73, R74, R75, D52
LS 端	R173,R174,R175,D152

电路结构的设计可利用元器件的特性灵活调整开关速度。

图 10 为栅极驱动电路的安装状态，图 11 为其电路图。

罗姆生产的 MOSFET 驱动 IC (BM6101FV-C) 的输出信号经由栅极电阻直接驱动 MOSFET。由于驱动电路的布线寄生电感版图电感会影响栅极-源极信号的浪涌电压特性，因此最好尽可能地缩短布线长度。这款评估板采用可单独调整导通时和关断时的栅极电阻的电路结构，以支持各种驱动条件。

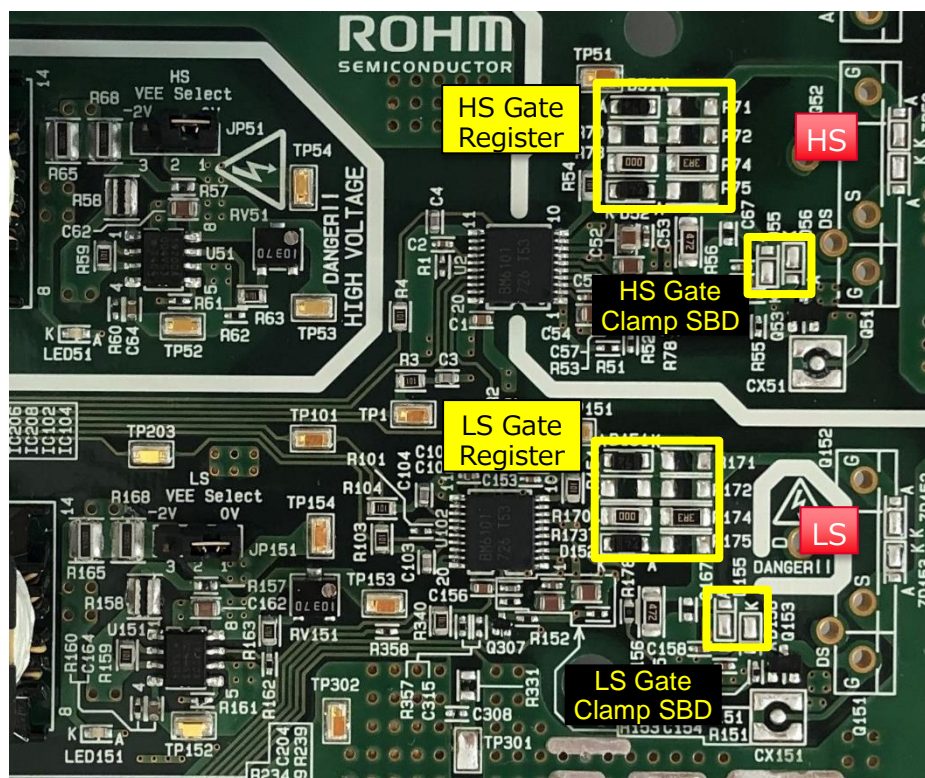


图 10. 栅极驱动电路 安装状态

希望单独设置 MOSFET 导通和关断的开关速度时，导通时通过二极管 D51 和 D151,关断时通过 D52 和 D152 将驱动信号传送至 MOSFET。此时，未安装电阻 R70、R73、R170、R173，通过 R71、R72、R171、R172 调整开关速度。

此外，还可通过 D51(D151)和 D52(D152)中的任意一方来调整开关速度。例如，要延迟导通时，仅使用 D52(D152)，通过使用 R73(R173)、R74(R174)、R75(R175)，导通时栅极电阻的合计值为  $R73(R173) + R74(R174) // R75(R175)$ ，关断时仅为  $R74(R174) // R75(R175)$ ，通过调整 R73(R173)，可延迟导通。要延迟关断时，仅使用 D51(D151)，并通过同样的设置即可实现。初始设置的导通和关断速度是相同的电路结构，通过 R74(R174)进行调整。



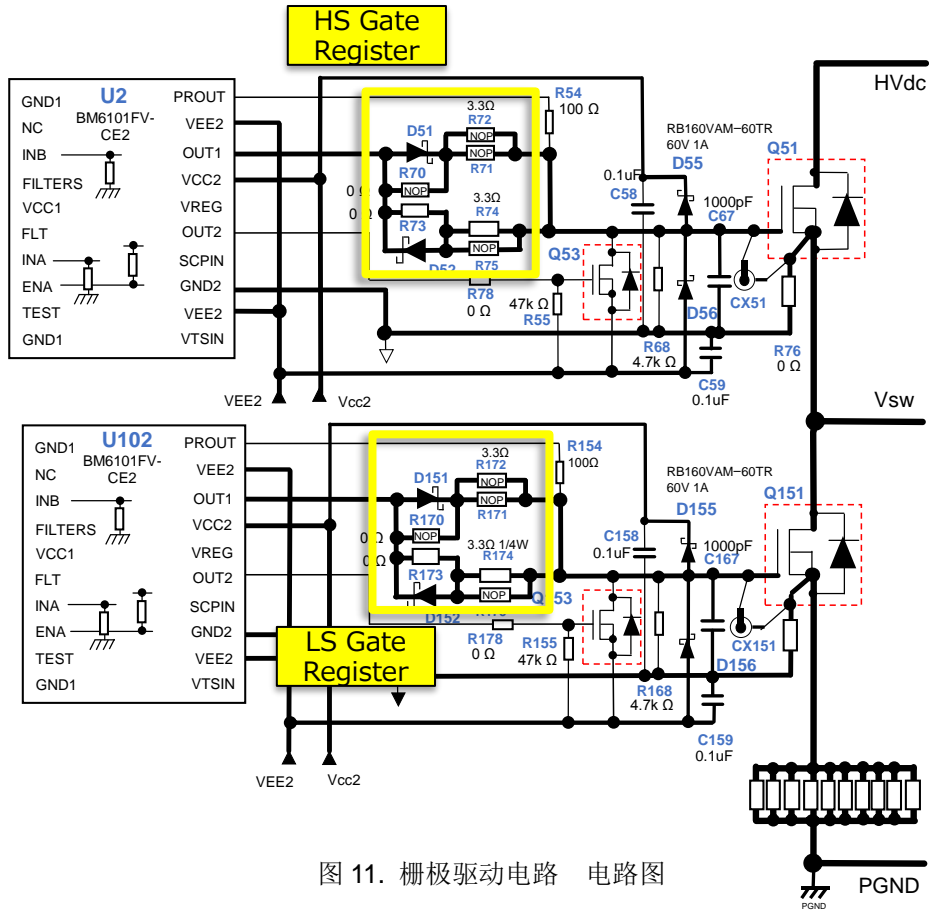
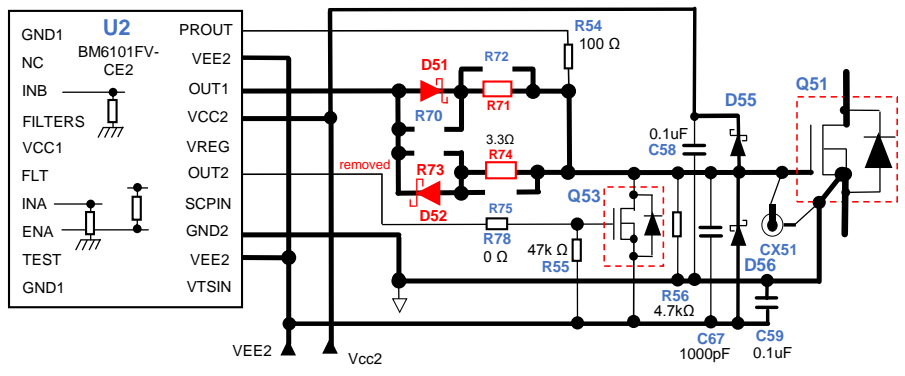


图 11. 栅极驱动电路 电路图

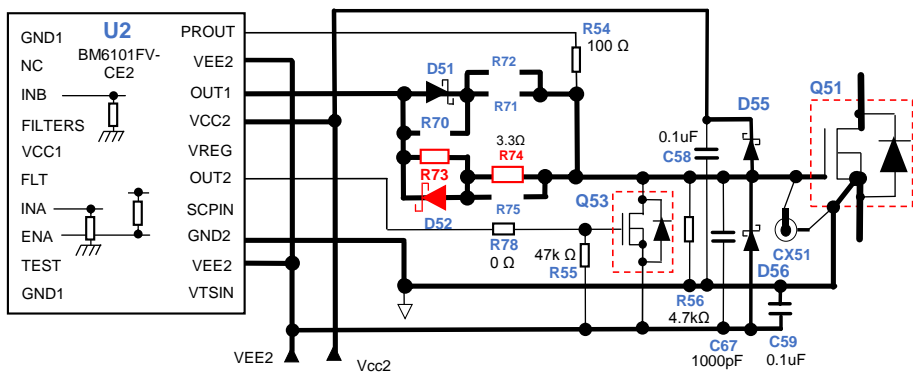
表 10 为调整方法的具体示例，除这里给出电路结构之外，还有其他设置方法。

表 10. 栅极驱动速度的调整方法

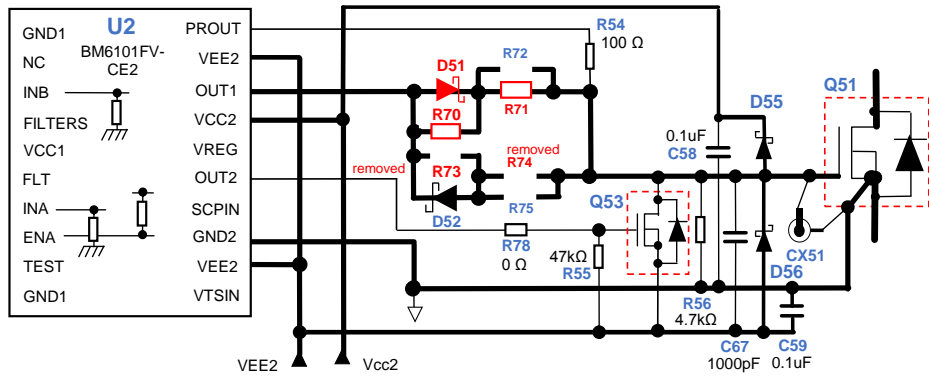
导通 关断 设置	栅极驱动电路中是否安装电阻和二极管									栅极电阻设置值 (HS 端)	
	D51	R70	R71	R72	D52	R73	R74	R75	导通	关断	
	D151	R170	R171	R172	D152	R173	R174	R175			
单独设置	安装	未安装	安装	安装	安装	未安装	安装	安装	R71//R72	R74//R75	
延迟导通 加速关断		未安装	未安装	未安装		安装	安装	安装	R73 + R74//R75	R74//R75	
加速导通 延迟关断		安装	安装	安装		未安装	未安装	未安装	R71//R72	R70 + R71//R72	
导通和关断的设置 相同		未安装	未安装	未安装		安装	安装	安装	R74//R75		
		安装 0 ohm	安装	安装		未安装	未安装	未安装	R71//R72		
初始设置 (导通关断相同)	安装	未安装	未安装	未安装	安装	0 ohm	3.3 ohm	未安装	3.3 ohm	3.3 ohm	



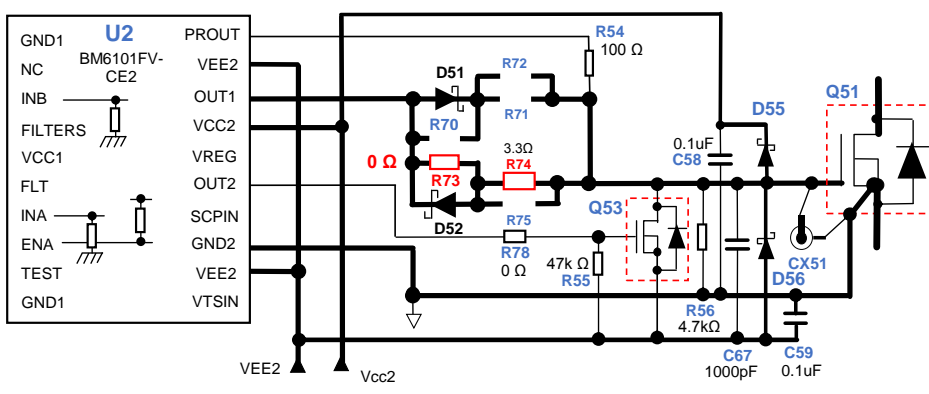
a) 单独调整导通和关断



b) 延迟导通, 加速关断



c) 加速导通, 延迟关断



d) 导通和关断相同 (默认)

图 12. 栅极电阻 设置示例

### 8. 死区时间的设置方法

当利用 CLK Select 功能选择了“Single-CLK”模式时，可通过 IN\_CLK 信号对 HS 端和 LS 端进行导通/关断，但必须防止 HS 端和 LS 端同时导通。因此，必须设置两端同时关断期间，即死区时间。

本评估板配有可内部生成该死区时间的电路，可通过电阻 R221 和 R222 进行调整。初始设置为 470Ω，死区时间约 300ns。可设置的电阻值最小为 220Ω，死区时间约为 270ns。

R221 和 R222 的值应尽可能相同，最终需要确认有无同时导通带来的直通电流，然后决定电阻 R221 和 R222 的值。图 13 表示设置用电阻的安装位置，图 14 表示设置电阻-死区时间之间的关系。

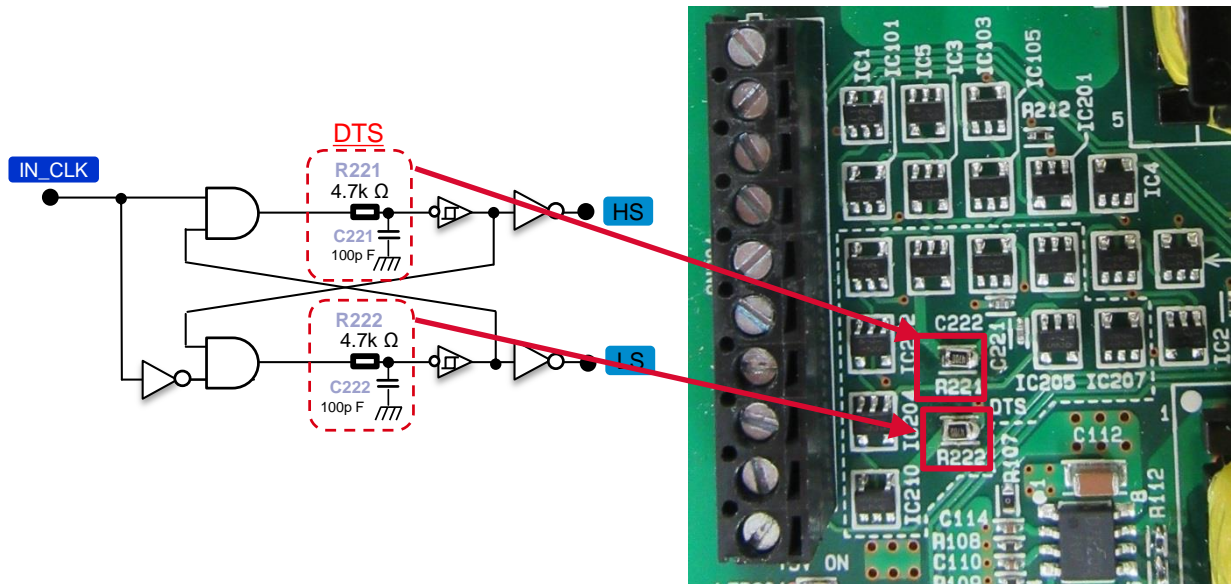


图 13. 死区时间设置电阻

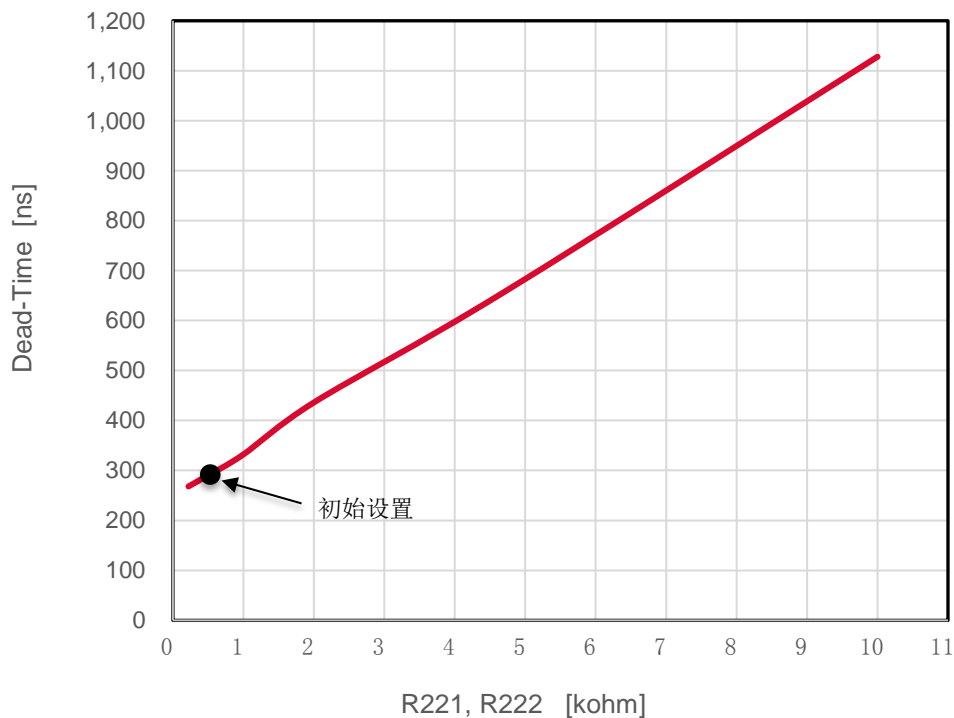


图 14. R221/R222 的死区时间设置特性

### 9. 元器件电流的测量方法

本评估板的 HS 端和 LS 端分别设有 2 个通孔（无电镀），使用 Rogowski 电流探头，可轻松测量流过每种元器件的电流。HS 端可测量漏极引脚的电流，LS 端可测量源极侧的电流。通孔的外观和安装方法如图 15 所示。

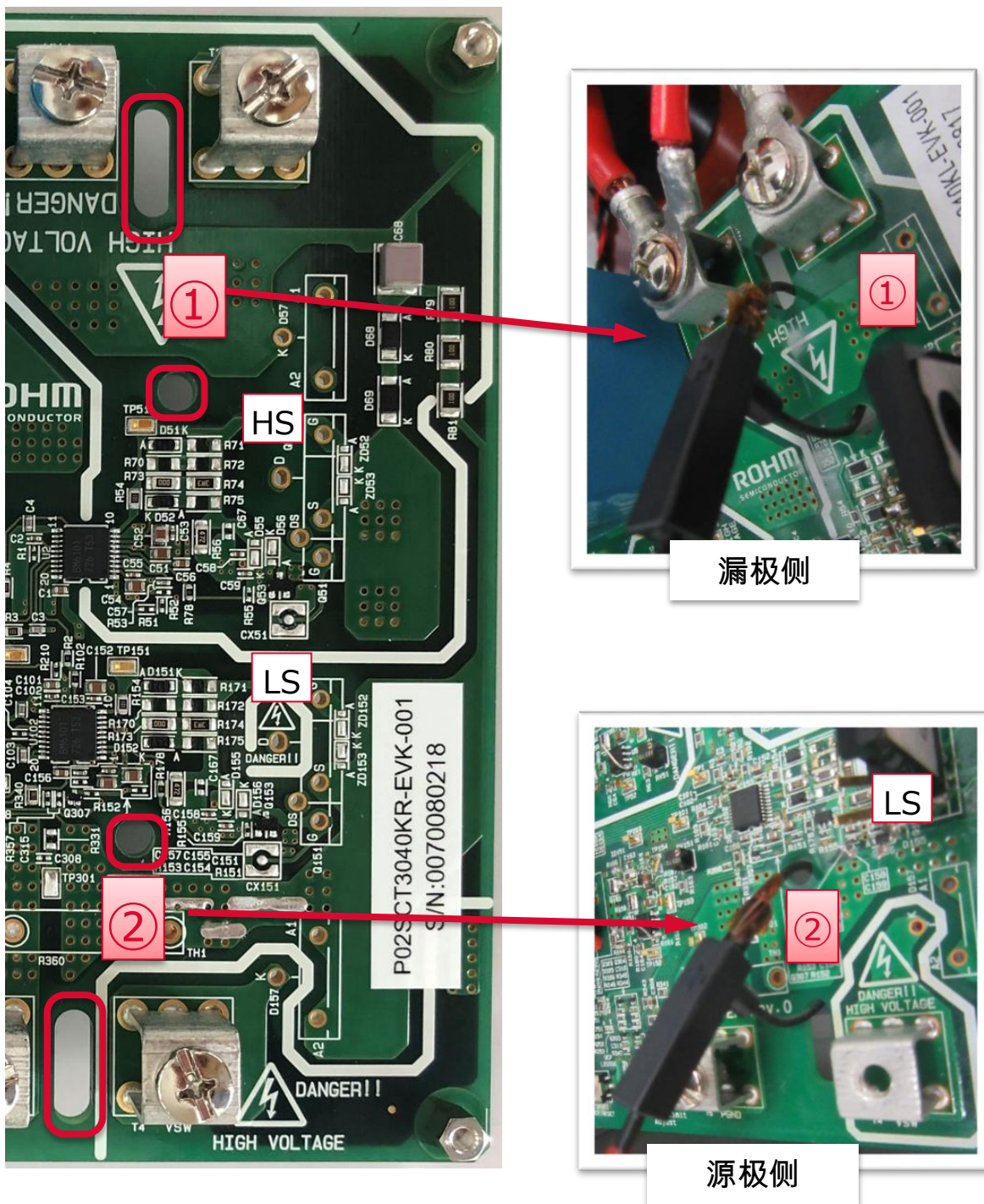


图 15. 利用 Rogowski 电流探头测量电流

Rogowski 电流探头的头部有多种尺寸，可用头部尺寸为直径 25mm~30mm、线径 3mm 以内，如图 16 所示。图 17 表示通孔的形状。



图 16. 可用 Rogowski 电流探头的头部

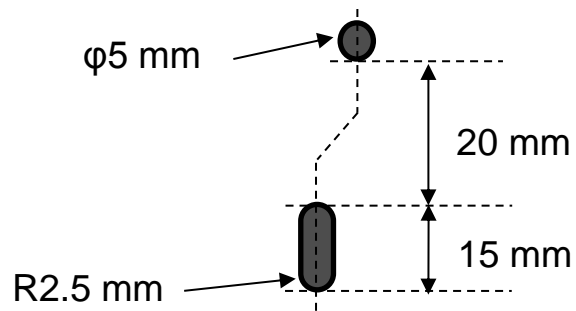


图 17. Rogowski 电流探头用通孔尺寸

### 10. DUT 的选择

本评估板原则上以 TO-247-4L 封装产品作为 DUT 进行评估，为了提供在同一条件下的评估环境，也可安装 TO-247-3L 封装产品。

图 18 为通用驱动电路（HS 端）。Q51 为 TO-247-4L，Q52 为 TO-247-3L，各引脚是连接着的，但 Q52 的栅极驱动电路的返回线（返回 GND2 的线路）由电阻 R77（LS 端 R177）分离。这是为了防止安装 4L 产品时源极引脚和返回线的耦合。作为初始设置并未安装 R77（R177），因此要评估 3L 产品时，需要安装 R77(R177)。

图 19 表示安装位置和引线成形。漏极引脚和源极引脚的通孔为共用通孔。

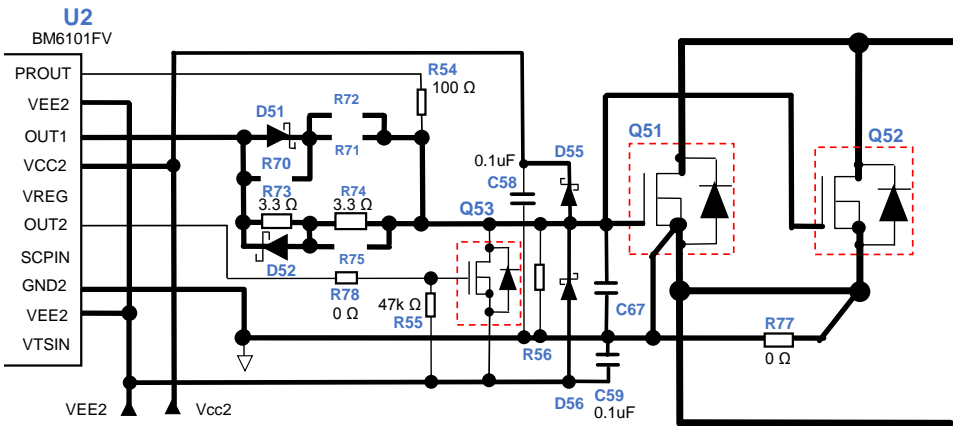


图 18. DUT 电路

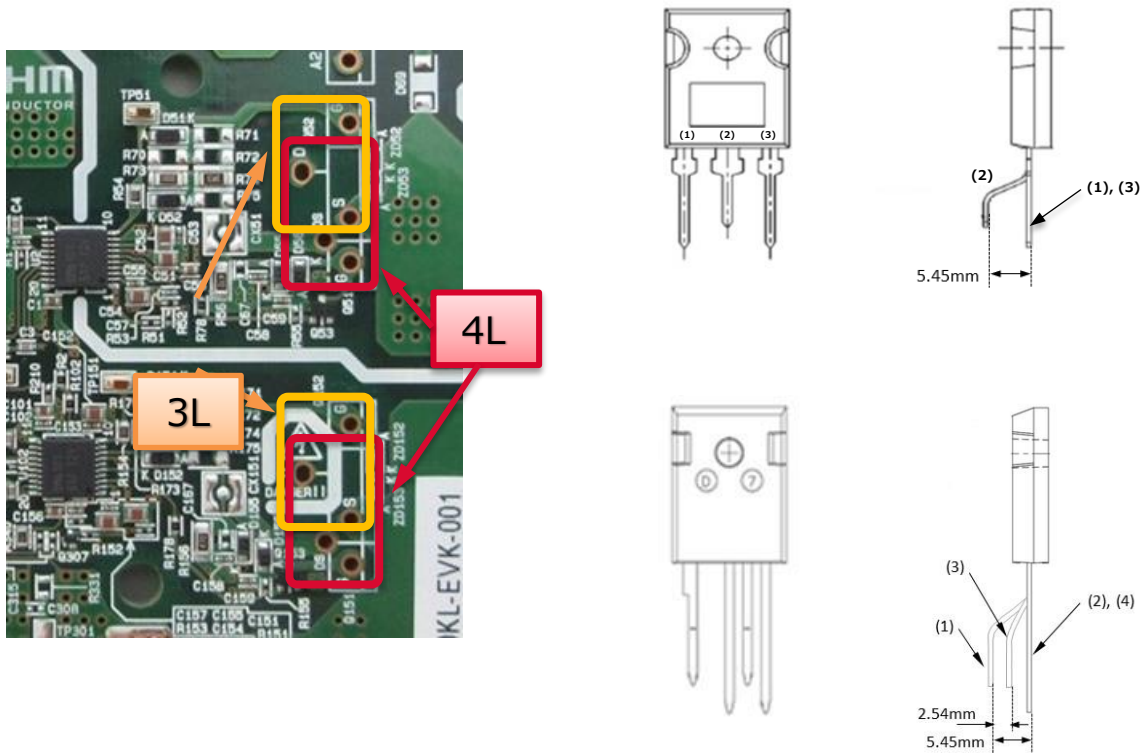


图 19. 4L 和 3L 的独立安装和引线成形

## 11. 散热器的安装方法

使用本评估板进行数 kW 的功率转换时（例如利用电源拓扑进行效率测量等），有时元器件自身的功耗可达到十数 W，必须通过散热器等进行冷却。换流用元器件也是一种散热器，采用了具有冷却功能的布局，图 20 表示其安装方法。

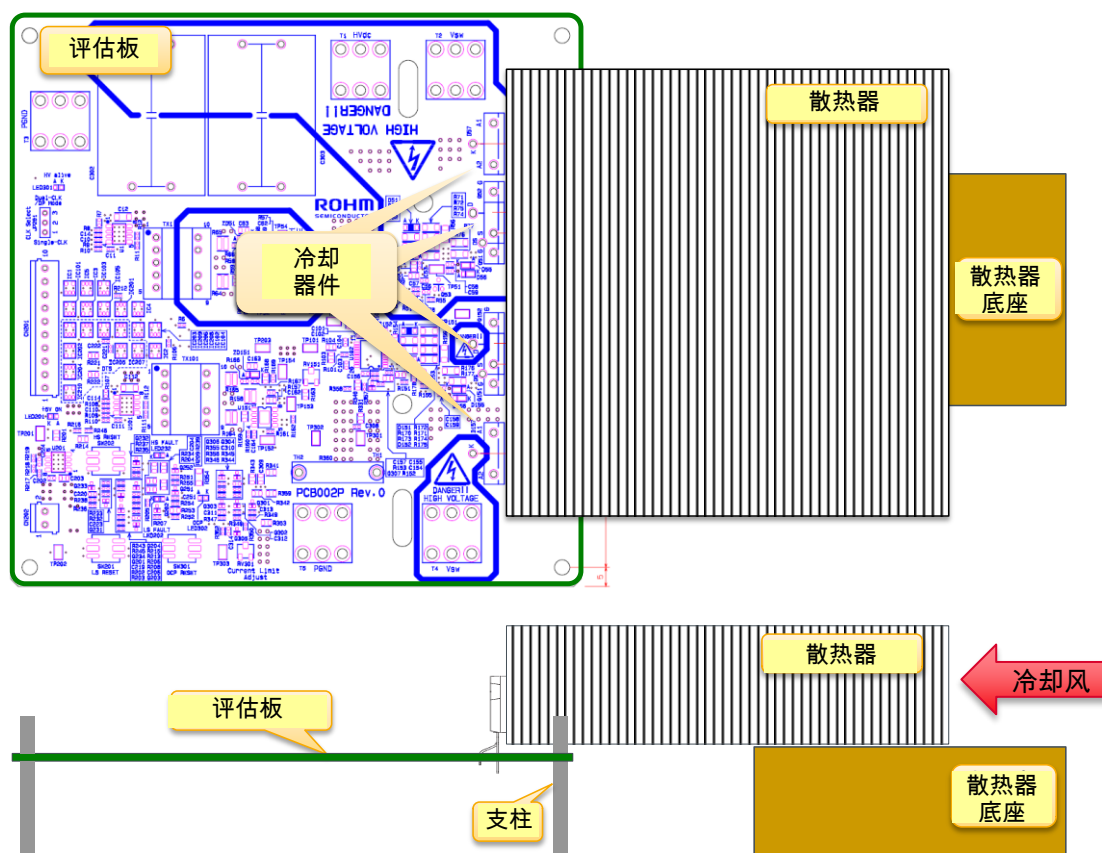


图 20. 散热器的安装方法

图 21 为散热器安装示例。

三协（Sankyo Thermo-Tech）公司生产的散热器中有适用产品，热阻为  $0.79^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

产品型号：90BS125



图 21. 散热器安装示例

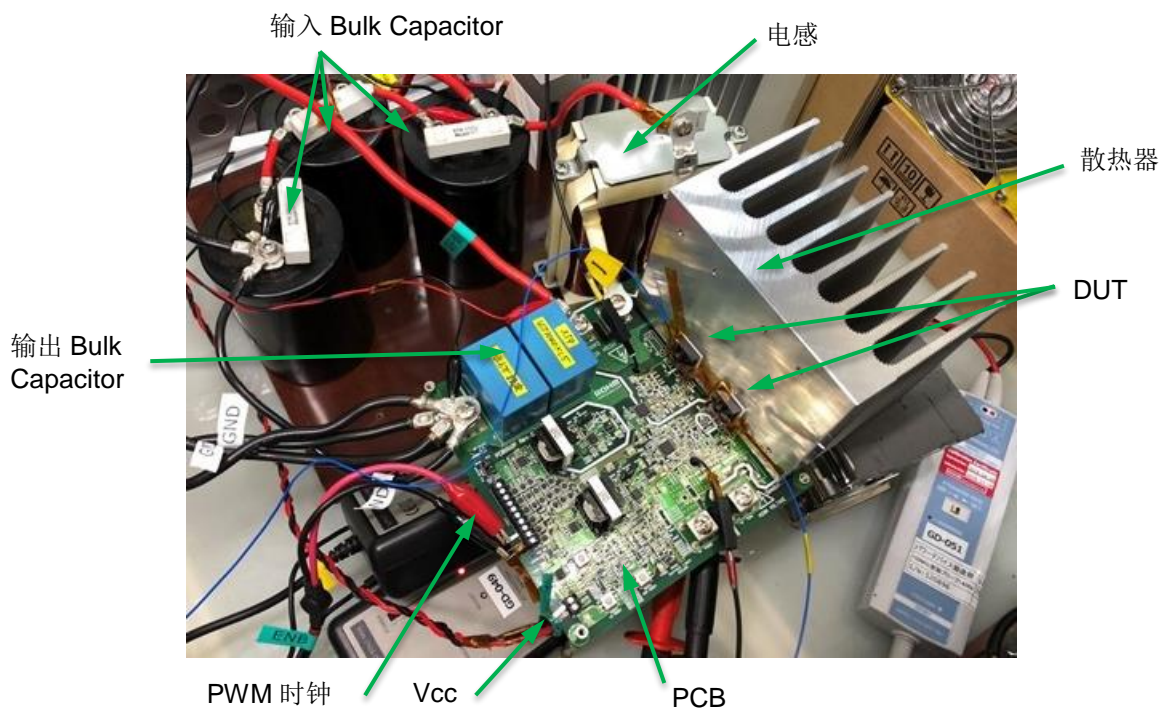


图 22. 散热器安装时的测量

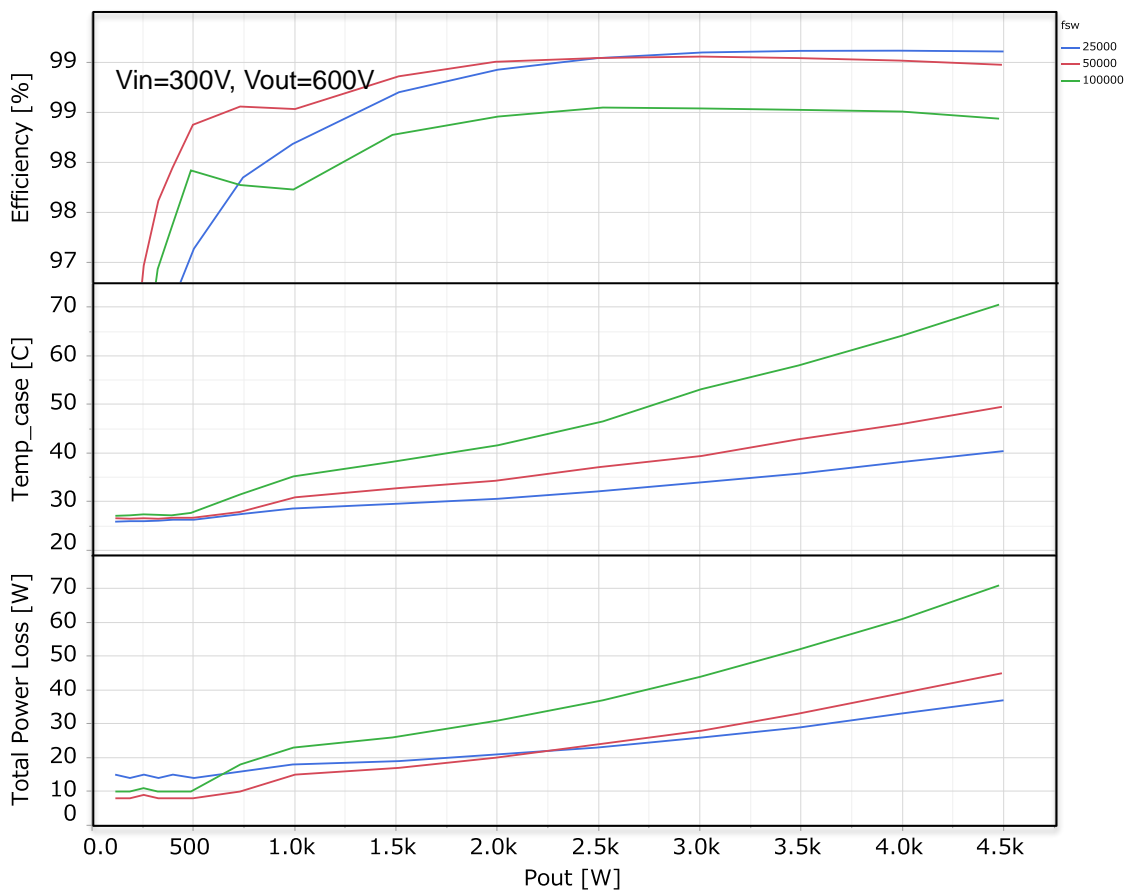


图 23. 元器件的表面温度  
(SCT3040KL, BOOST, Rg=3.3Ω)



## 12. 评估板的连接示例

### 12.1 HS 端 MOSFET 的双脉冲测试

使用 HS 端 MOSFET 的双脉冲测试方法如图 24 所示。

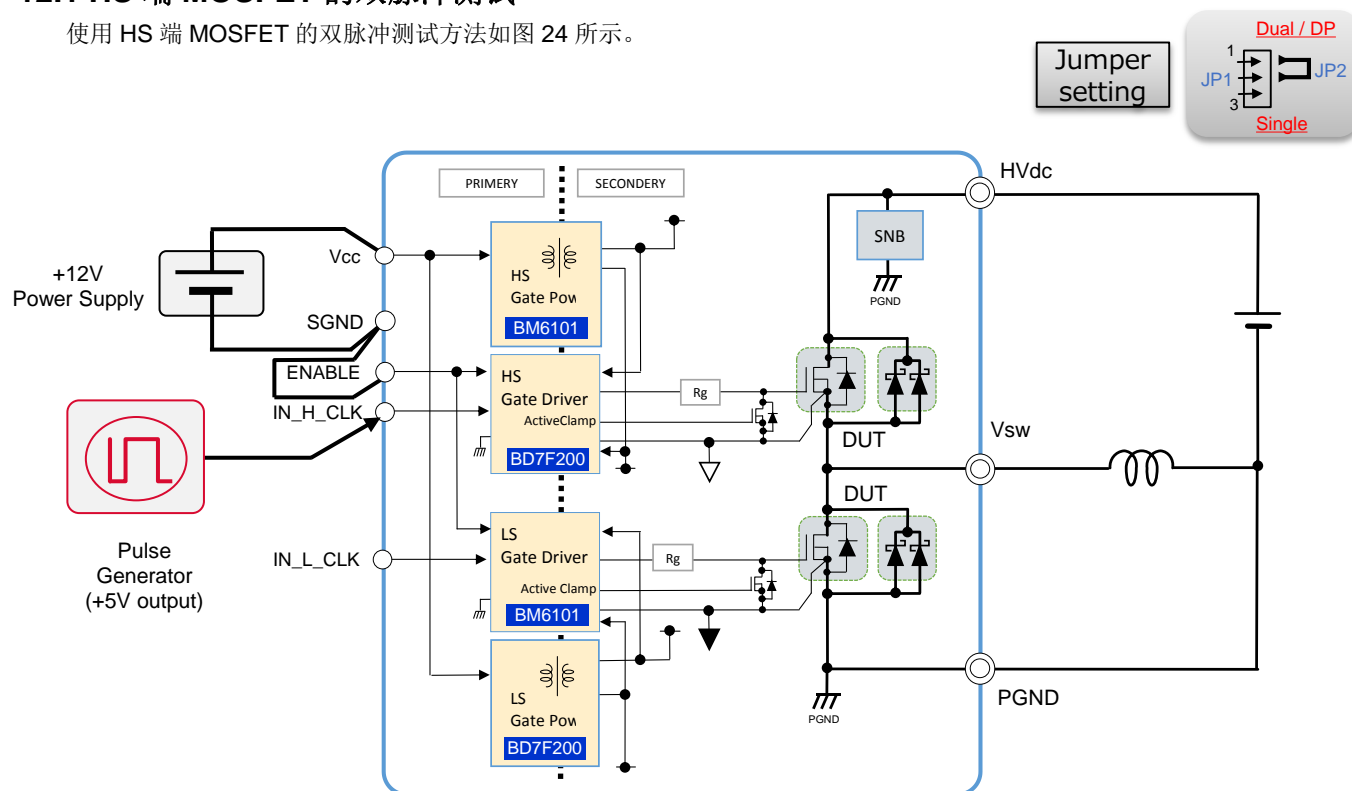


图 24. HS 端双脉冲测试

当脉冲发生器的单次触发模式为“Active Low”时，将 HS\_ALLOW 信号（CN201 7pin）与+5Vcc（CN201 8pin）连接。另外，OCP 电路不工作，但 DESAT 电路工作，因此会启动短路保护功能。

准备脉冲发生器，将 CLK 信号与 IN\_H\_CLK 引脚（CN201 6pin）连接。将控制用 12V 电源与 Vcc 引脚（CN202）连接，将高压 HVdc 电源与 HVdc 引脚（T1）连接。准备工作仅需设置 JP1。

- ① 将 JP1 设置为“Dual/DP”端。
- ② 将 ENABLE 信号直接连接至 SGND。

工作步骤如下：

- ③ 按“+12V→HVdc”的顺序接通电源。
- ④ 通过脉冲发生器输入脉冲信号。

流过电感（L）的最大电流 IDP 可通过以下公式粗略计算：

$$IDP \approx HVdc/L * TDP\_TTL [A]$$

HVdc: 施加电压[V]

L: 电感值[uH]

TDP\_TTL: 双脉冲信号的总时间[us]

通常情况下，双脉冲信号为单次触发，周期性施加时，需要充分确保电感电流 IDP 的复位时间。由于复位电压只有续流二极管的正向电压 Vf 的量，因此按

$$Trst = IDP * L / Vf [us]$$

的大致标准把握时间，确保其 2 倍左右的复位时间 Trst。虽然不需要散热器，但反复进行双脉冲测试时，要注意续流二极管的温度上升情况。

## 12.2 LS 端 MOSFET 的双脉冲测试

使用 LS 端 MOSFET 的双脉冲测试方法如图 25 所示。

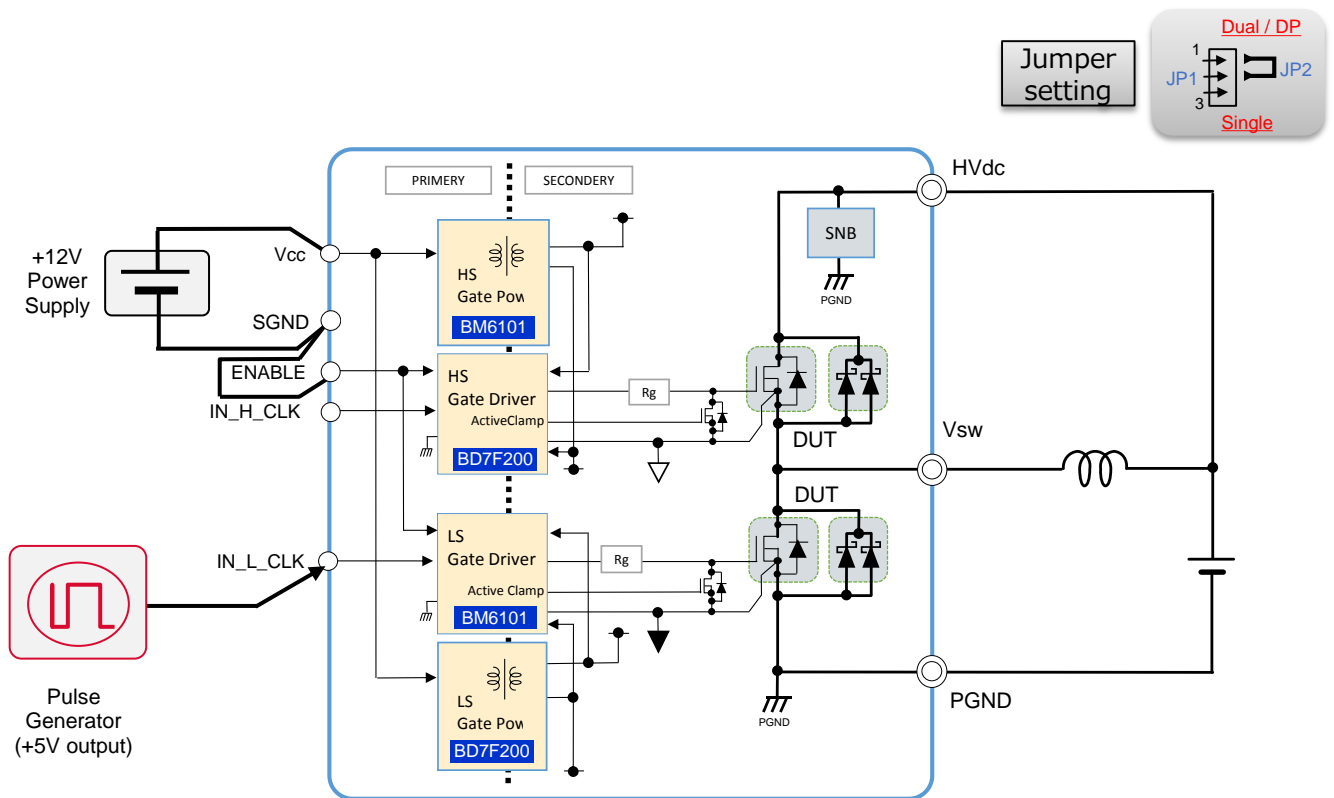


图 25. LS 端双脉冲测试

当脉冲发生器的单次触发模式为“Active Low”时，将 LS\_ALOW 信号（CN201 9pin）与+5Vcc（CN201 8pin）连接。由于 OCP 电路会工作，因此必须事先设置 OCP 点。

准备脉冲发生器，从外部将 CLK 信号与 IN\_L\_CLK 引脚（CN201 4pin）连接后，执行与 HS 端相同的步骤。

## 12.3 Boost 电源电路

使 LS 端 MOSFET 执行开关工作的 Boost 工作连接如图 26 所示。

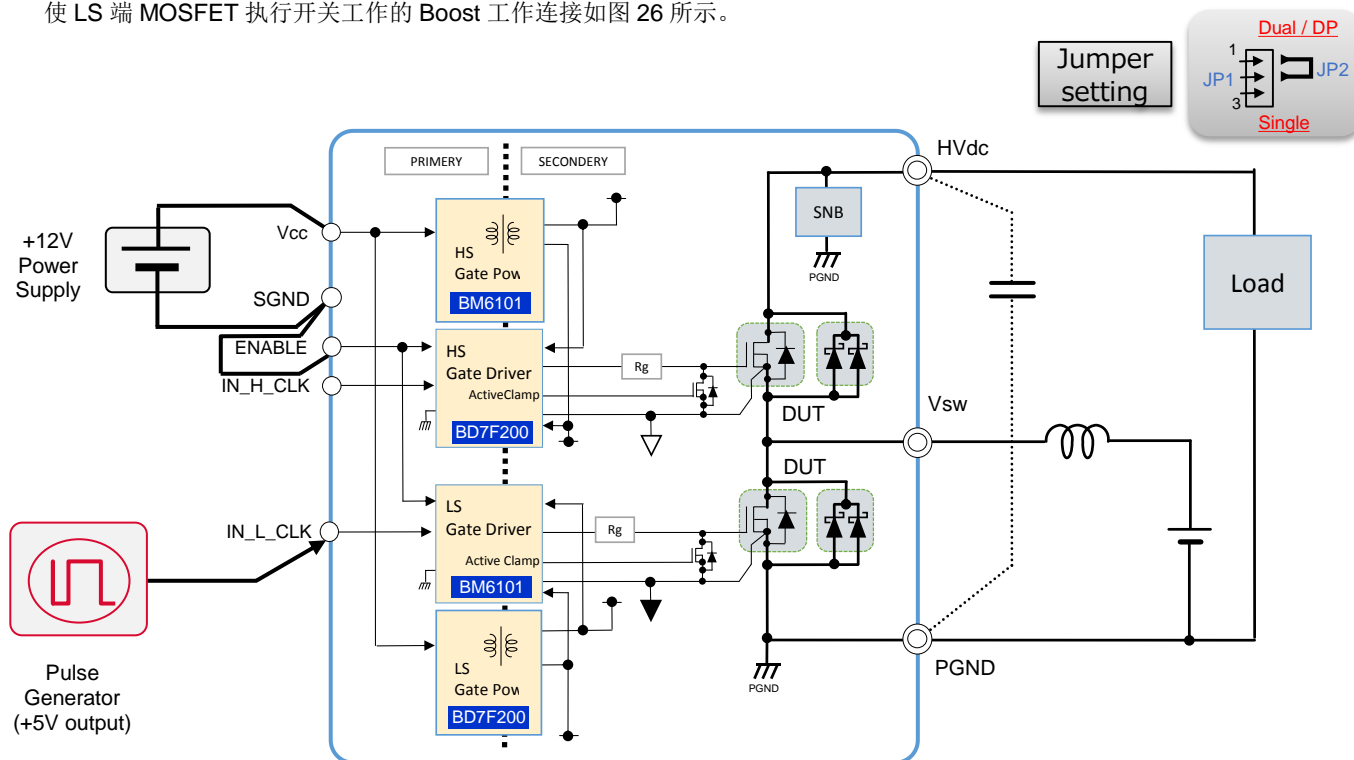


图 26. Boost 电路的工作测试

由于 OCP 电路会工作，因此需要事先设置 OCP 点。

首先，准备脉冲发生器，将 CLK 信号与 IN\_L\_CLK 引脚（CN201 4pin）连接。如图 21 所示，将控制用 12V 电源与 Vcc 引脚（CN202）连接，将负载电感与 Vsw 引脚（T2）连接，将高压 HVdc 电源与负载电感连接，将电子负载与 HVdc 引脚（T1）连接。HVdc 端为输出端，输出电容器是安装在本评估板上的，因此原则上并不需要，但当振荡频率较低时，建议外置适当的电容。这种情况下必须充分确保电容器的额定电压。

准备工作仅需设置 JP1。

- ① 将 JP1 设置为“Dual/DP”端。
- ② 将 ENABLE 信号直接连接至 SGND。

工作步骤如下：

- ③ 接通+12V 电源。
- ④ 通过脉冲发生器设置开关频率和占空比，并输入 CLK 信号。
- ⑤ 接通 HVdc 电源。
- ⑥ 通过电子负载装置调整输出电流。

当电感电流为连续的 CCM 模式时，输出电压大致如下：

$$V_{out} = V_{in} / (1 - Duty)$$

请注意，当电感电流不连续（输出电流小）时，输出电压的增加不会与占空比成正比（输出电压根据负载电流变化）。这是因为开环控制没能把脉冲间距拉得足够开未削弱脉冲，但输出电压会达到输入电压的几十倍，因此必须边把握输出电压值边逐渐增加输入电压。

当负载电流增加时，要注意所评估元件的发热情况，如果有必要，请安装可以充分冷却的散热器或降低周围温度。

## 12.4 二电平逆变器电路

二电平半桥逆变器电路的连接如图 27 所示。

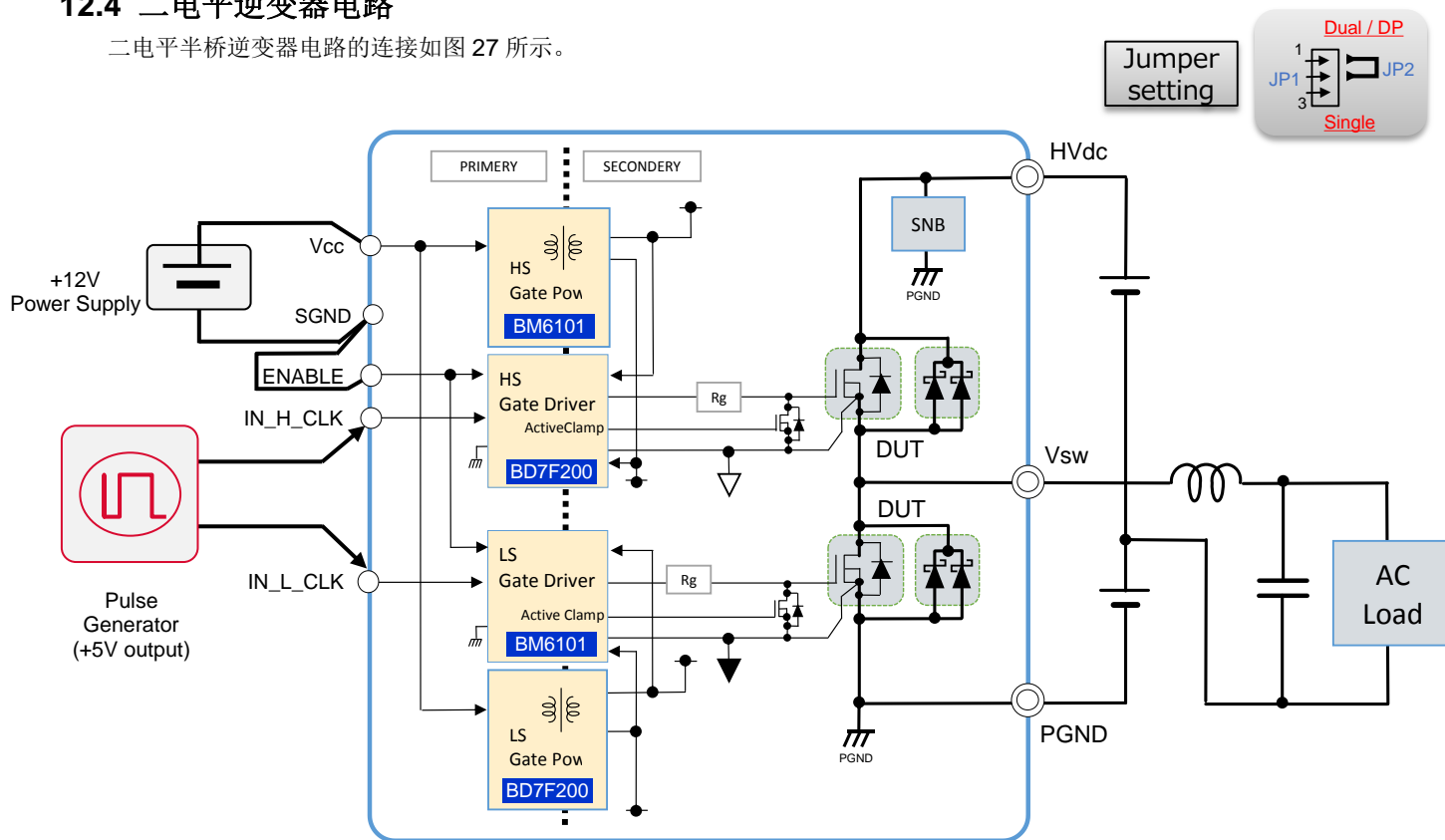


图 27. 二电平逆变器电路的工作测试

由于 OCP 电路会工作，因此需要事先设置 OCP 点。

首先，准备脉冲发生器，将 CLK 信号与 IN\_L\_CLK 引脚（CN201 4pin）连接。将控制用 12V 电源与 Vcc 引脚（CN202）连接，将负载电感与 Vsw 引脚（T2）连接。准备两台具有相同电压的高压 HVdc 电源，串联连接，上端与 HVdc 引脚（T1）连接，下端与 PGND 引脚（T3）连接。在负载电感的一端连接滤波用电容器和 AC 负载，将其返回线连接于串联连接的高压 HVdc 电源的中点。

AC 输出为+端时 HS 端开关工作，为一端时 LS 端开关工作，通过对 CLK 信号进行 Duty 控制来输出正弦波电压。

准备工作仅为 JP1 设置。

- ① JP1 设置是设置为“Dual/DP”端。
- ② 将 ENABLE 信号直接连接至 SGND。

工作步骤如下：

- ③ 接通+12V 电源。
- ④ 通过脉冲发生器等设置开关频率和占空比，并输入 CLK 信号。
- ⑤ 接通 HVdc 电源。
- ⑥ 通过 AC 负载装置调整输出电流。

当负载电流增加时，要注意所评估元器件的发热情况，如果有必要，请安装可以充分冷却的散热器或降低周围温度。

## 12.5 同步整流型 Buck 电源电路

使用 HS 端 MOSFET 的 Buck 工作连接如图 28 所示。

Jumper 设置

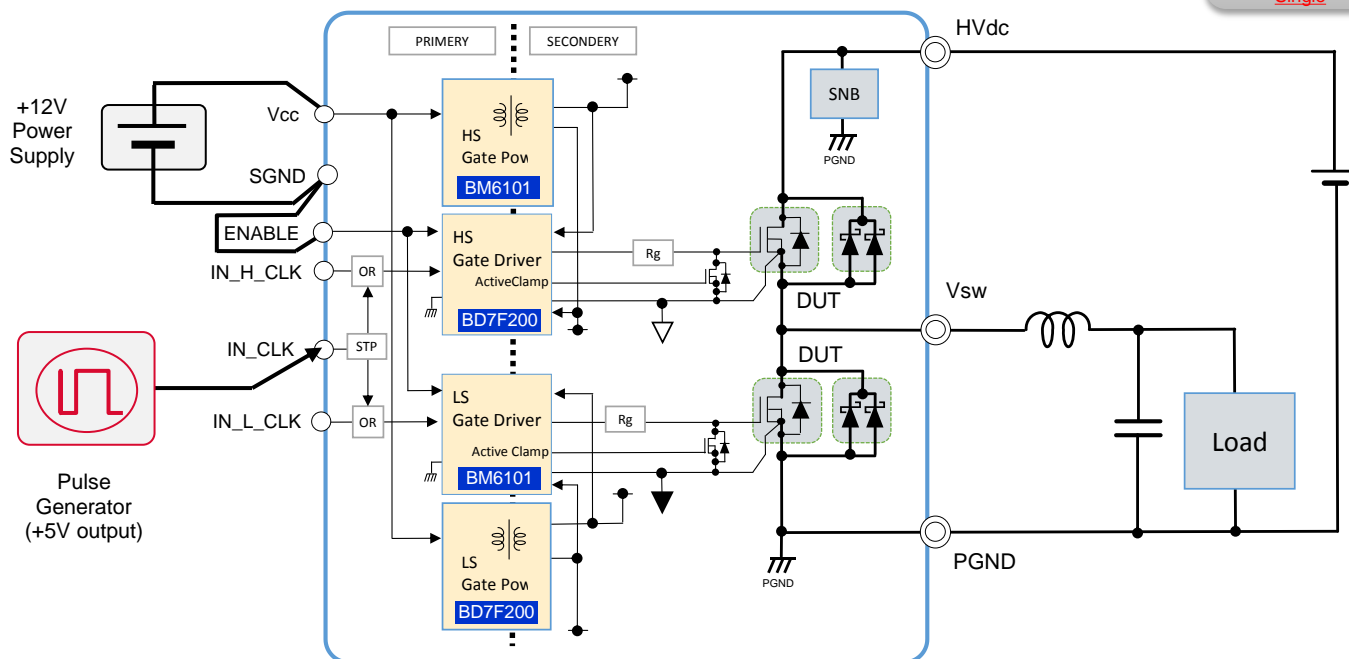
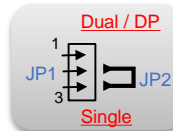


图 28. 同步整流型 Buck 电源电路的工作测试

请注意，OCP 电路不工作，但 DESAT 电路工作，因此会启动短路保护。

准备脉冲发生器，从外部将 CLK 信号与 IN\_CLK 引脚（CN201 3pin）连接。将控制用 12V 电源与 Vcc 引脚（CN202）连接，将高压 HVdc 电源与 HVdc 引脚（T1）连接，将负载电感与 Vsw 引脚（T2）连接。将滤波电容器和负载与负载电感的一端连接。HVdc 端为输入端，输入电容器是安装在本评估板上的，因此原则上并不需要，但当振荡频率较低时，建议外置适当的电容。这种情况下必须充分确保电容器的额定电压。

准备工作仅需设置 JP1。

- ① 将 JP1 设置为“single-CLK”端。
- ② 将 ENABLE 信号直接连接至 SGND。

工作步骤如下：

- ③ 接通+12V 电源。
- ④ 通过脉冲发生器设置开关频率和占空比，并输入 CLK 信号。
- ⑤ 接通 HVdc 电源。
- ⑥ 通过电子负载装置调整输出电流。

当电感电流为连续的 CCM 模式时，输出电压大致如下：

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

然而，在 DCM 模式下，输出电压与输入电压相等，这是因为开环控制不削弱脉冲。由于输出电压与输入电压相等，因此必须注意电子负载装置的耐压等情况。

由采用 STP（Shoot Through Prevention）电路，可防止 HS 端和 LS 端 MOSFET 同时导通，因此仅需决定 CLK 信号的频率和占空比即可立即开始工作。通过变更本评估板上的贴片电阻值（R221/R222）即可轻松改变 STP 电路的死区时间。详情参见 Chapter 8。

当负载电流增加时，要注意所评估元器件的发热情况，如果有必要，请安装可以充分冷却的散热器或降低周围温度。

### 13. 缓冲电路

为了抑制 MOSFET 的关断浪涌，在本评估板的漏极-源极间配有非放电型 RCD 缓冲电路的布局。其电路图如图 29 所示。

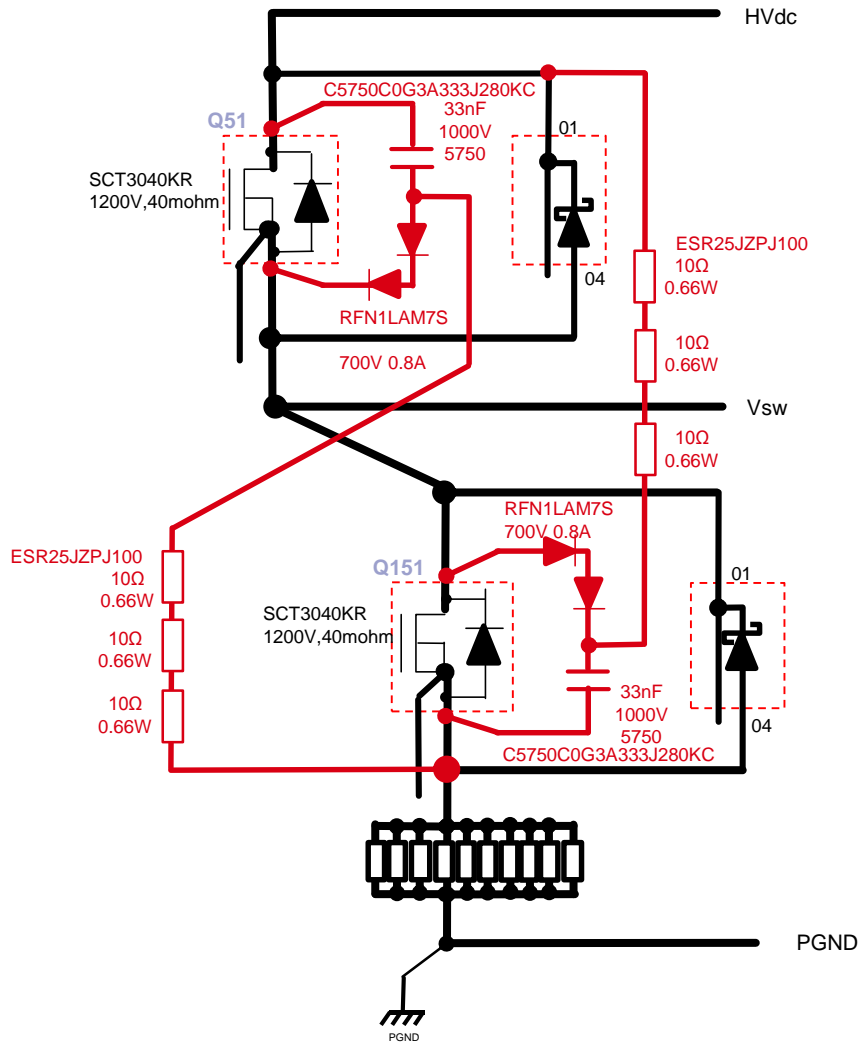


图 29. 非放电型 RCD 缓冲电路

缓冲电路内的电阻仅消耗超过高压输入电压 HVdc 的浪涌量，因此非放电型缓冲电路是最适合高频开关电路的电路方式，但版图布局会变得复杂，因此采用 4 层以上的 PCB 板比较理想。

缓冲电路内的电阻所消耗的功率  $P_{SNB}$ ，是全部由缓冲电路内的电阻  $R_{SNB}$  消耗的：

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

在该公式中， $L_{TRACE}$  为主电路的布线电感，即到大容量（DC 链路）电容器的布线电感， $I_{MAIN}$  为 MOSFET 关断时的漏极电流， $f_{SW}$  为 MOSFET 的开关频率。

缓冲电容器的电容量  $C_{SNB}$  可根据电感中积蓄的能量，通过以下公式求得：

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

在该公式中， $V_{HVdc}$  为高压电源， $V_{SURGE}$  为浪涌电压的最大值。

$R_{SNB}$  的电阻值可通过以下公式求得：

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

这是将  $C_{SNB}$  在 MOSFET 的一个周期内吸收的能量全部释放，从而使浪涌吸收效果最大化。

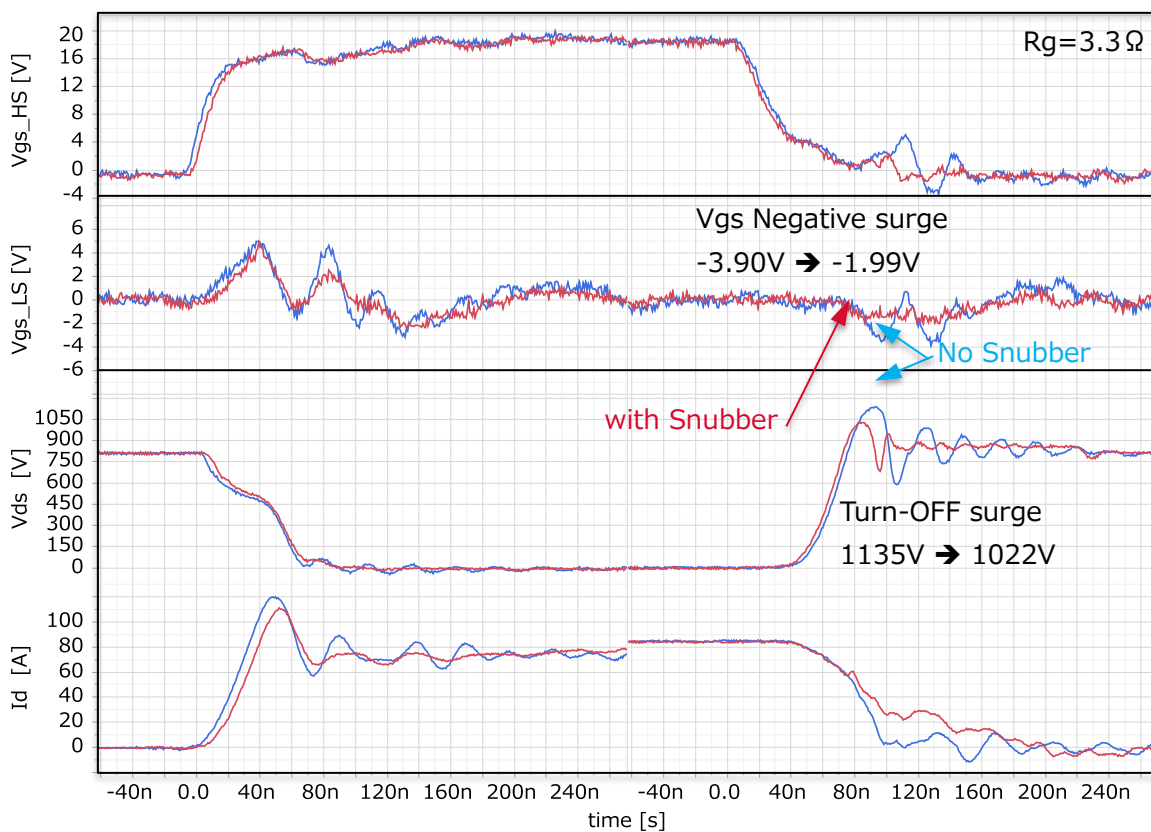


图 30. 缓冲电路的效果 (SCT3040KR)

## 14. 栅极-源极信号的保护电路

本评估板内置了用来吸收 MOSFET 栅极-源极引脚产生的浪涌电压的保护电路。钳位电路包括表 11 所示的 3 个功能和 4 个对策电路。开关工作时的  $V_{ds}$  和  $I_d$  的变化对栅极-源极电压影响很大，因此需要利用这些保护电路适当地抑制浪涌电压。关于栅极-源极电压的详细介绍，请参阅另行发布的应用指南“桥式结构中栅极-源极电压的工作”。

图 31 为电路图。

表 11. 钳位电路及其工作说明

序号	钳位电路	对应的电路符号	工作说明	初始设置
①	正浪涌钳位	D55, C58	在 MOSFET 的 $V_{ds}$ 变化结束时产生的正浪涌。由于导通时可能会超过 $V_{gs}$ 最大额定值，因此通过 D55 限制在 $V_{cc2}$ 。C58 为旁路电容，布置在 D55 附近。	未安装
②	负浪涌钳位	D56, C59	在桥式结构的反向端 MOSFET 关断时如果 $V_{ds}$ 导通，会产生负浪涌，可能会超过 $V_{gs}$ 负端最大额定值，因此限制在 $VEE2$ 。C59 为旁路电容，布置在 D56 附近。	未安装
③	误开启浪涌钳位	Q53	在桥式结构的反向端 MOSFET 导通时，因 $V_{ds}$ 上升而使 $V_{gs}$ 升高，当其超过栅极阈值 $V_{th}$ 时会导通（即所谓的误开启/Self-Turn-on），因此通过比栅极驱动电阻 R74 小的阻抗（Q53）进行钳制，可控制 $V_{gs}$ 升高。该对策电路需要控制信号，一般包含在驱动 IC 端。Q53 称为“有源钳位 MOSFET”。	安装
④		C67	当 MOSFET 的 $C_{rss}/C_{iss}$ 比增加时， $V_{gs}$ 变得容易升高。（因为充电电流与 $C_{rss}$ 成正比） 通过增加与 $C_{iss}$ 并联的电容并降低 $C_{rss}/C_{iss}$ 比，可防止上升到 $V_{th}$ 以上。增加的电容值越大，上升量越小，但会需要驱动能力且开关损耗增加，因此请考虑到发热量来确定增加的电容量。	未安装

由于会在短短几十 ns 的时间内产生  $V_{gs}$  的浪涌电压，因此需要尽可能地降低这些钳位电路的版图电感，并需要尽量靠近 MOSFET 布局。

罗姆生产的 SiC MOSFET 中，被称为“第三代”的 SCT3xxxx 系列，栅极-源极电压额定值范围窄，建议设置这些钳位电路。使用多个这类对策电路，可更有效地抑制  $V_{gs}$  的浪涌电压，但要注意，靠近 MOSFET 的优先顺序如下：

③有源钳位 MOS → ②负浪涌钳位电路 → ①正浪涌钳位电路 → ④增加 GS 间电容 (Csg)

图 32 表示保护电路的安装位置。

另外，图 33~35 给出了几个有无保护电路时的波形区别示例，但实际的运行不仅受元器件自身特性的影响，还受到所安装 PCB 板很大的影响，因此必须进行实机确认。



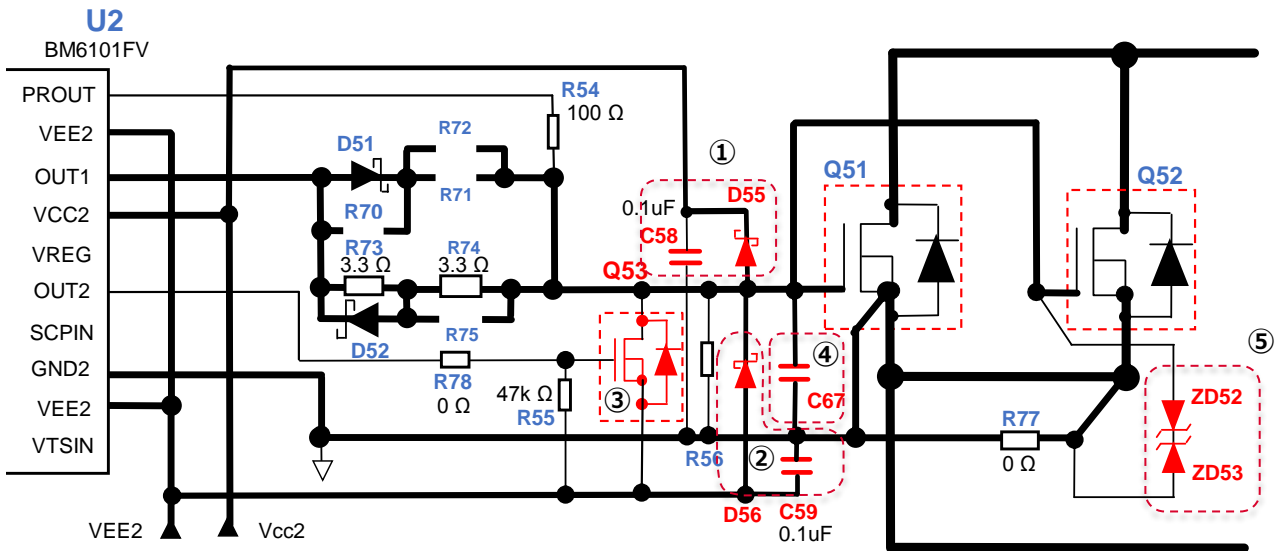


图 31. 栅极-源极信号的保护电路

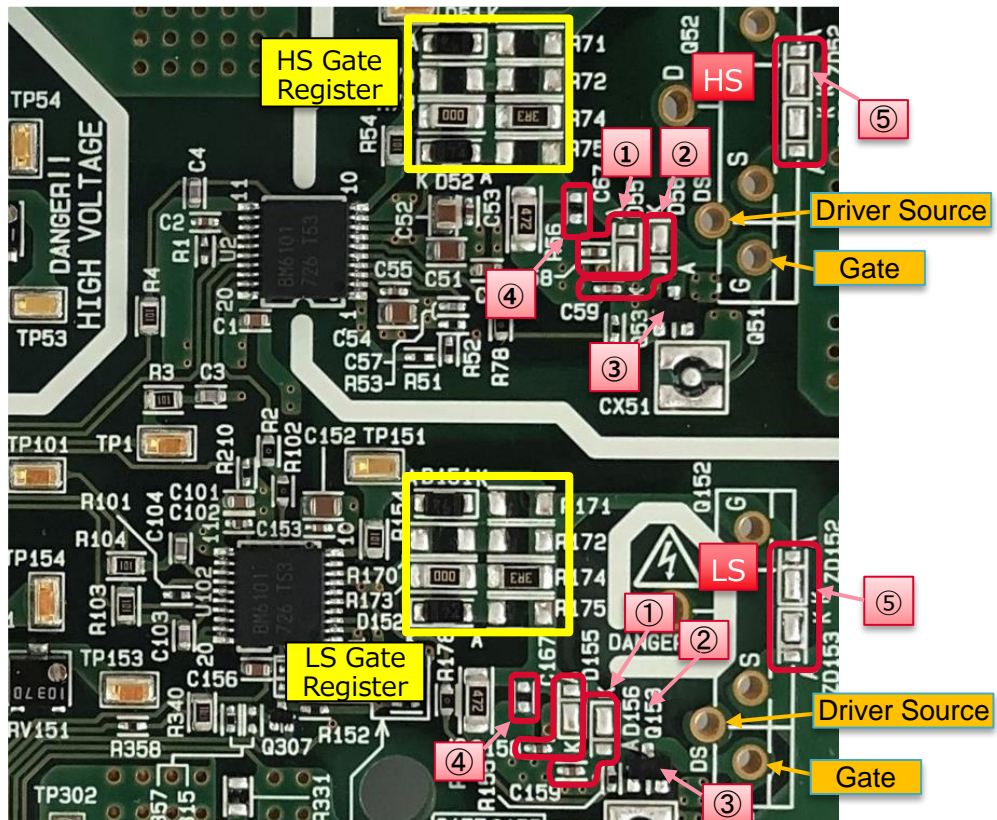


图 32. 栅极-源极电压 保护电路的安装位置

## ■ 保护电路的效果

图 33 为双脉冲测试中  $V_{gs}$  浪涌电压的降低效果示例。

将 SCT3040KR 桥接并对高边端进行开关。外置栅极电阻为  $10\Omega$ 。最上面的波形为开关端  $V_{gs}$ ，第二个波形为换流端（低边端） $V_{gs}$ ，第三个波形为开关端  $V_{ds}$ ，最下面的波形为开关端  $I_d$ 。从这些波形可以明确看出，当完全没有  $V_{gs}$  保护电路（红线）时，导通时的误开启和关断时的负浪涌是灾难性的。而仅钳位 SBD（紫线）虽然可以完全消除负浪涌，但无法消除正浪涌，无法防止误开启。有源 MOS 是唯一的解决方案。

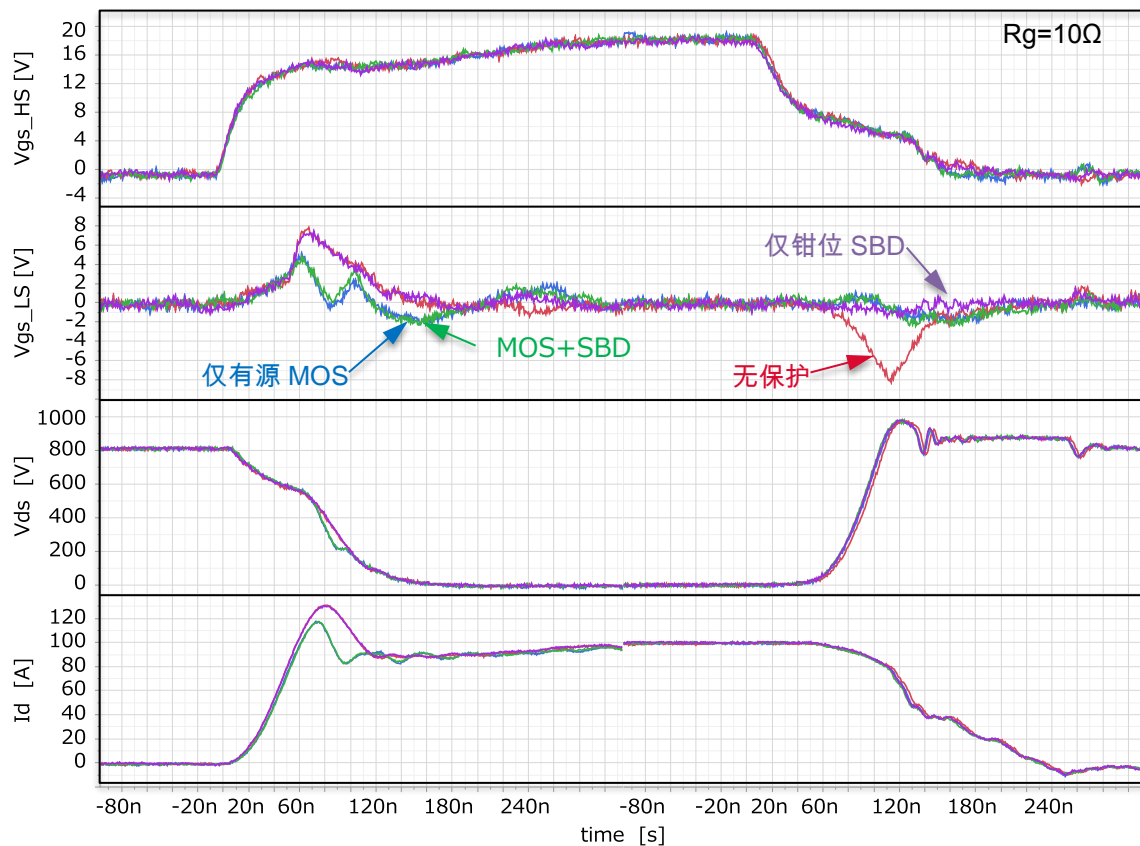


图 33. 保护电路的效果（SCT3040KR）

## ■ C<sub>gs</sub> 电容的比较（无保护电路）

图 34 是在完全去除栅极保护电路的状态下 C<sub>gs</sub> 效果的测量结果。

从图中可以看出，导通时增加 C<sub>gs</sub> 可防止误开启。还可以看出，对于关断时的负浪涌几乎没有效果。增加 C<sub>gs</sub> 会导致开关损耗升高，在选择电容值时，必须实机确认元器件的发热情况。

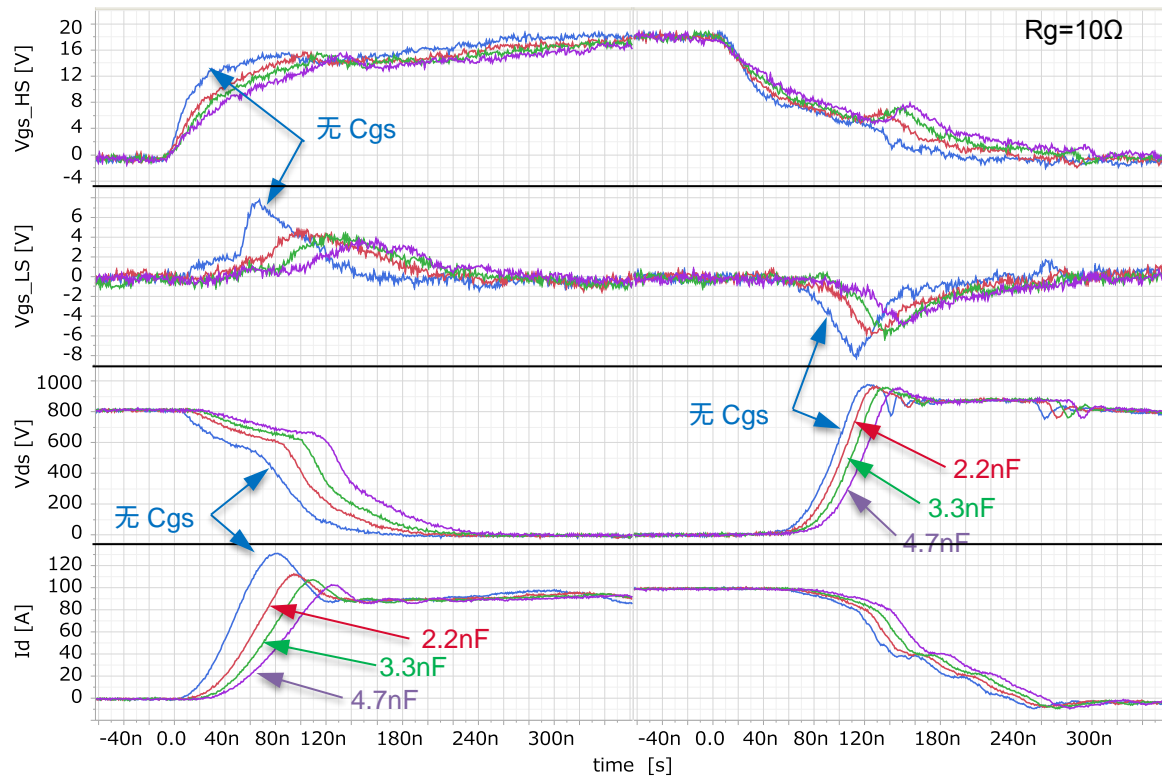


图 34. C<sub>gs</sub> 比较（SCT3040KR, 无保护电路）

### ■ C<sub>gs</sub> 电容的比较（有保护电路）

最后，在安装了所有 V<sub>gs</sub> 保护电路的状态下测量了 C<sub>gs</sub> 效果，其波形如图 35 所示。保护电路消除了导通时和关断时的问题，因此无需增加 C<sub>gs</sub>。

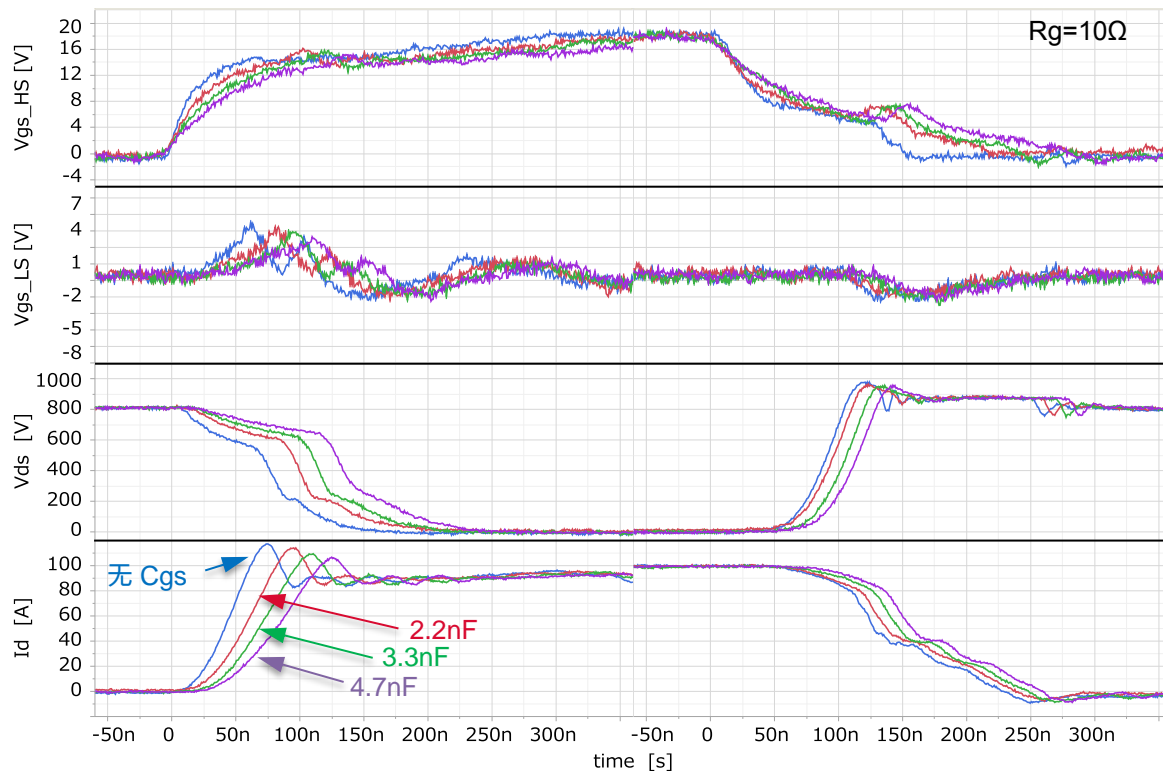


图 35. C<sub>gs</sub> 比较（SCT3040KR, 有保护电路）

## 15. 检测栅极-源极信号时的注意事项

带有驱动源极引脚的 MOSFET，漏极电流的  $di/dt$  为几 A/ns 左右，会产生非常大的辐射噪声。因此，在测量  $V_{gs}$  等比较低的电压时，需要特别注意电压探头的连接方法。

图 36 表示不同的电压探头连接方法对测量波形的影响。

这组数据是连接隔离探头时，将连接了  $100\Omega$  阻尼电阻的感应线直接焊接在“Big Circle Sensing”（用来隔开鳄鱼夹正/负极）和封装根部，使栅极-源极间的连接空间最小化的“100ohm Dumping”的比较数据。 $100\Omega$  的阻尼电阻是为了消除感应线电感带来的电压振动而连接的，对于实际的测量波形没有影响。

从图中可以看出，换流端  $V_{gs}$  ( $V_{gs\_LS}$ ) 的波形测量方法不同，极性也会改变。换流端在导通时漏极电流上升时，换流电流减少，因此体二极管的  $V_f$  减少，并对  $C_{oss}$  和  $C_{rss}$  进行充电。因此， $V_{gs}$  应该会产生正浪涌，但在“Big Circle Sensing”产生负浪涌。这是因为流过 PCB 的漏极电流的  $di/dt$  引发辐射噪声，因探头的连接空间而导致错误的检测结果。所以，将感应线焊接在封装的根部，使连接空间最小化，可最大限度地控制辐射噪声的影响，并可准确测量换流端  $V_{gs}$  的浪涌电压。

另外，请注意，PCB 和元器件间的引线间也存在连接空间（无法从安装方面消除），该空间也会错误检测出辐射噪声。所以，即使在 PCB 上安装 BNC 连接器并通过  $50\Omega$  同轴电缆直接测量，也可能发生误检测。

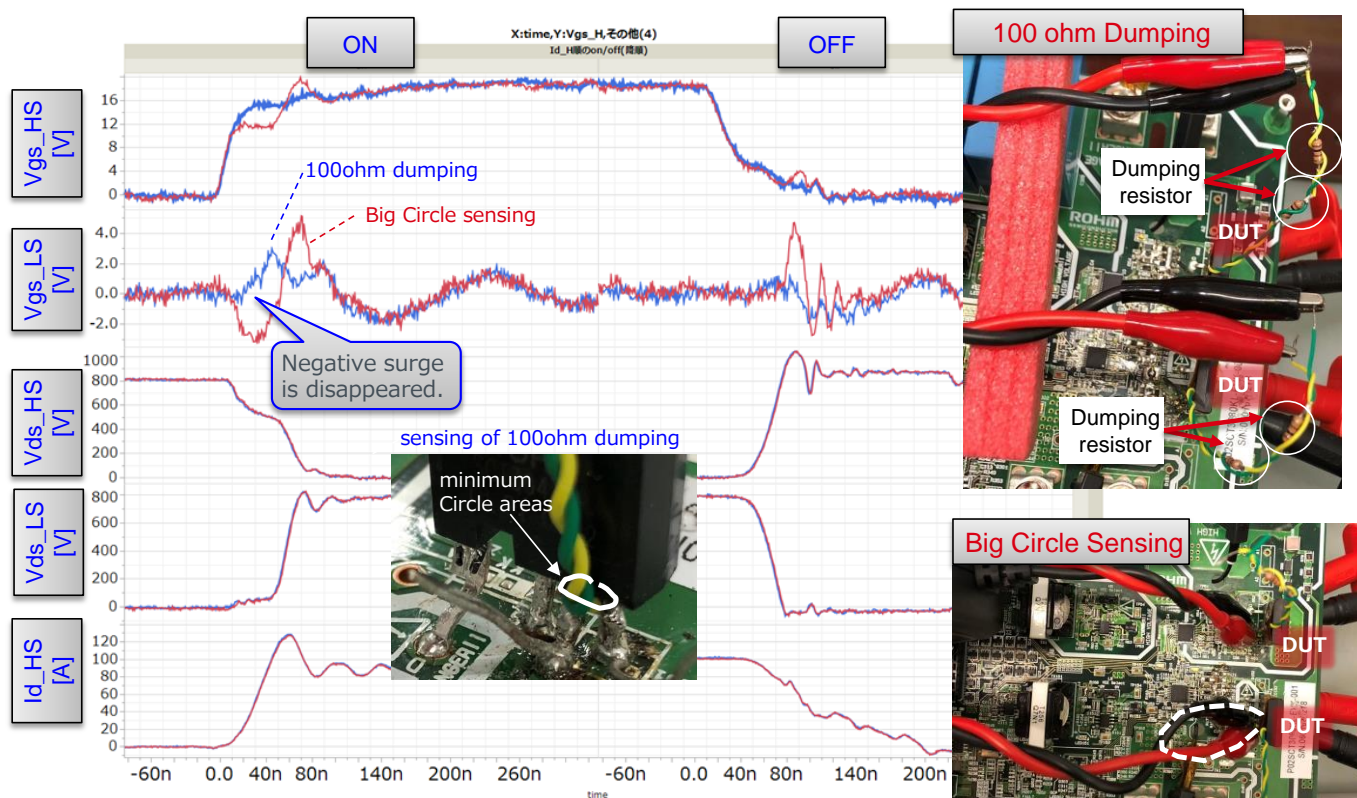


图 36. 探头接和测量波形 (SCT3040KR,有保护电路)

## 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

<http://www.rohm.com/contact/>