

功率开关器件

驱动源极端子的连接方法

近年来带有驱动源极端子（所谓的开尔文源极端子）的 4pin 和 7pin 封装产品正在不断增加，用来降低 MOSFET 和 IGBT 等功率开关器件的开关损耗。然而，如果连接不正确，不仅无法最大限度地发挥带有驱动源极端子的功率开关器件的性能，还有可能导致功率开关器件故障。本应用笔记旨在提供正确连接驱动源极端子的指导。有关带有驱动源极端子的功率开关器件的使用效果和注意事项，请参阅应用笔记《通过驱动源极端子改善开关损耗》。^[1]

目标封装



连接驱动源极端子

除了 MOSFET 之外，还有其他带有驱动源极端子的功率开关器件，但本次我们将以 MOSFET 为例进行说明。图 1 显示了带有驱动源极端子的 MOSFET 的电路符号，图 2 显示了 TO-247-4L 的内部结构图。

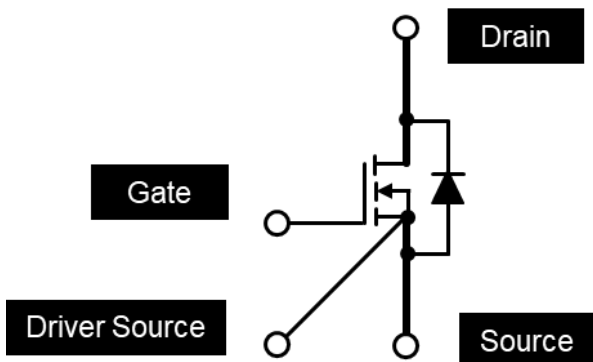


图 1. MOSFET 电路符号

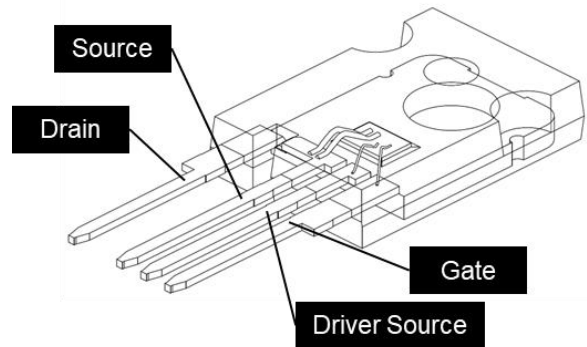


图 2. TO-247-4L 内部结构图

带有驱动源极端子的 MOSFET 的连接电路示例如图 3 所示。栅极驱动电路连接到栅极端子和驱动源极端子。漏极电流(I_D)流经的电源电路最好连接到漏极端子和源极端子（后文称作功率源极端子）。

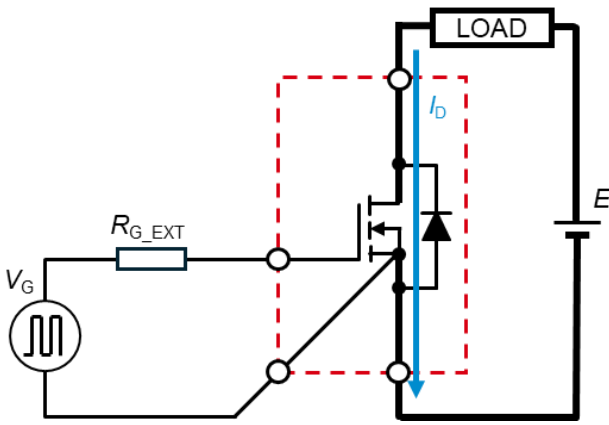


图 3. 带有驱动源极端子的 MOSFET 连接电路

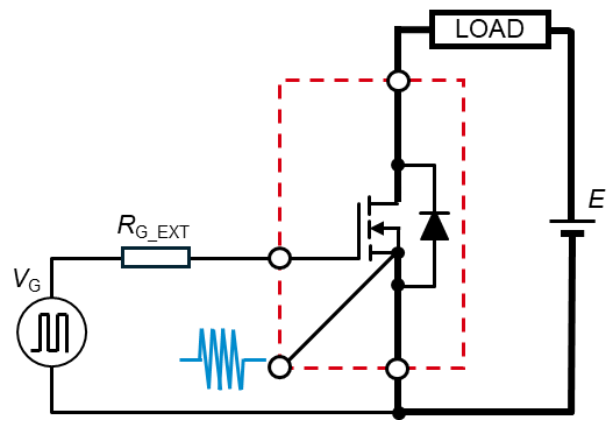


图 5. 断开驱动源极端子

存在风险的使用方法

由于驱动源极端子在芯片内部与功率源极端子在电位上是相连接的，因此以下使用方法可能存在风险。

1. 直接连接驱动源极端子和功率源极端子
2. 断开驱动源极端子

1. 直接连接驱动源极端子和功率源极端子

驱动源极端子和功率源极端子直接连接时的电路图如图 4 所示。

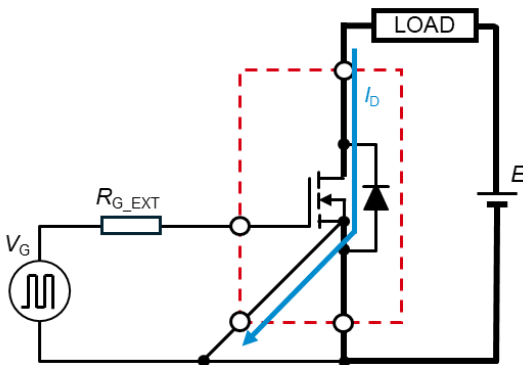


图 4. 直接连接驱动源极端子和功率源极端子

在这种情况下，漏极电流也会流向驱动源极端子。驱动源极侧的绑定线和功率源极侧的绑定线粗细和数量可能不同，因此，即使在额定电流范围内使用，驱动源极侧的绑定线也有可能发生熔断。另外，在 PAD 金属层内驱动源极和功率源极间的电流在水平方向流动，可能会导致芯片意外发热。

2. 断开驱动源极端子

如果驱动源极端子处于断开状态，则由功率源极端子执行栅极驱动，电路图如图 5 所示。

在这种情况下，由于驱动源极端子处于高阻抗状态并辐射开关噪声，因此可能会对周边产生意想不到的影响。此外，受此噪声影响可能会导致栅极-源极信号发生误动作。

栅极驱动器 IC 的连接方法

为了避免上述具有风险的连接方法，列举以下所示 4 种不同的栅极驱动 IC 连接方法。

1. 隔离型 1ch 栅极驱动器 IC

图 6 所示为桥式结构中高边和低边均使用隔离型的 1ch 栅极驱动器 IC (2 颗 ROHM [BM61x4x](#)) 时的电路图。使用带有驱动源极端子的功率开关器件时，请参考图 6，高边和低边都使用隔离型的栅极驱动器。

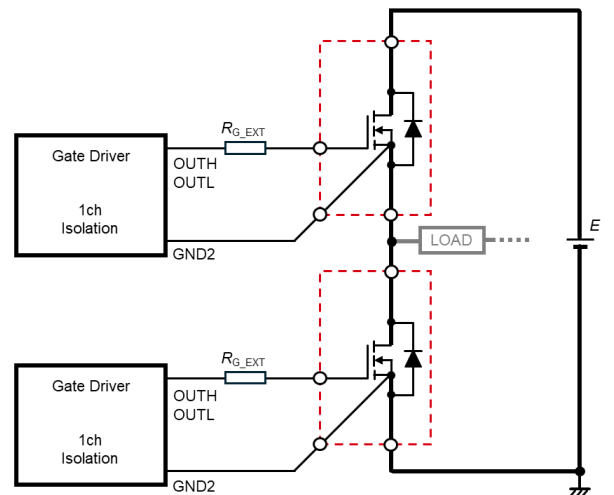


图 6. 使用 ROHM BM61x4x 时的电路图

2.低边非隔离型且栅极驱动用 GND 与功率 GND 独立的 2ch 栅极驱动器 IC

图 7 为使用了高边隔离，低边非隔离，栅极驱动用 GND 与功率 GND 独立的 2ch 栅极驱动器 IC (ROHM: [BM60213FV-C](#)) 的桥式结构自举方式的电路图，与“1.隔离型 1ch 栅极驱动器 IC”一样，这也是可以最大限度地发挥带有驱动源极端子的功率开关器件性能的驱动电路。

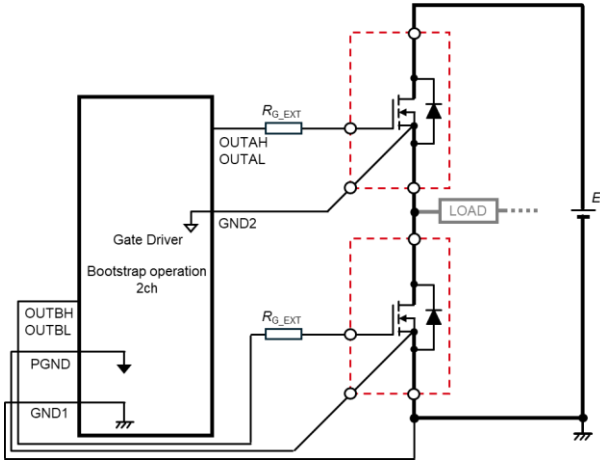


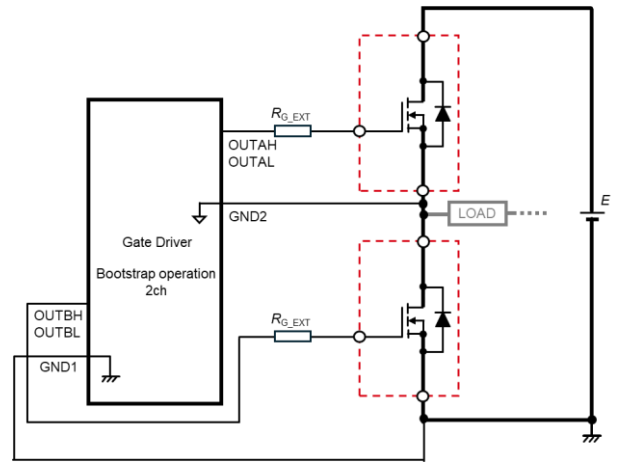
图 7. 使用 ROHM BM60213FV-C 时的电路图

ROHM BM60213FV-C 没有米勒钳位功能。针对没有米勒钳位功能的栅极驱动器，我们在应用笔记《无比较器米勒钳位电路的设计方法》中介绍了通过分立结构构成米勒钳位功能的电路。

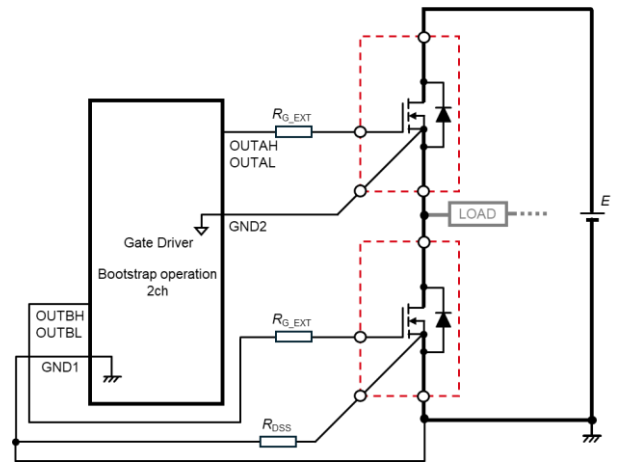
3. 低边非隔离型且栅极驱动用 GND 与功率 GND 共用的 2ch 栅极驱动器 IC

图 8 为使用了高边隔离，低边非隔离，栅极驱动用 GND 与功率 GND 共用的 2ch 栅极驱动器 IC (ROHM: [BM60212FV-C](#)) 的桥式结构自举方式的电路图。如果不能选择 1 和 2 的栅极驱动器 IC，请先考虑

- (a)使用不带驱动源极的功率开关器件。使用 TO-247N (3pin) 可以避免风险。如果无法避免使用带有驱动源极的功率开关器件，则会产生与无驱动源极端子封装同等的开关损耗，因此
- (b)请在功率源极端子和驱动源极之间插入电阻 (R_{DSS})。



(a) 使用无驱动源极端子的功率开关器件



(b) 在功率源极端子和驱动源极端子之间插入电阻 (R_{DSS})

图 8. 使用 ROHM BM60212FV-C 时的电路图

通过仿真验证了图 9 电路中流向驱动源极端子侧的电流 (I_{DRV})。图 10 为将功率源极端子基板布局等导致的寄生电感 L_{SOURCE} 设为 $L_{SOURCE} = 30\text{nH}$, $R_G = 2.2\text{ohm}$,

- (x) 功率源极端子和驱动源极端子分开连接
 - (y) $R_{DSS} = 0\text{ohm}$
 - (z) $R_{DSS} = 1\text{ohm}$
- 时 I_b 和 I_{DRV} 的仿真波形。

图 11 是 L_{SOURCE} 为

- (b-1) $L_{SOURCE} = 0\text{nH}$
- (b-2) $L_{SOURCE} = 10\text{nH}$
- (b-3) $L_{SOURCE} = 20\text{nH}$
- (b-4) $L_{SOURCE} = 30\text{nH}$

调整 R_{DSS} 和 dI/dt 时的 I_{DRV} 最大值 (I_{DRV_peak}) 图表。

仿真条件

SiC MOSFET : SCT4062KR(1200V 62mohm TO-247-4L)

HV dc 电压 : $E=800V$

漏极电流 : $I_D=40A$ (脉冲)

栅极电压 : $V_{GS}=18V/0V$

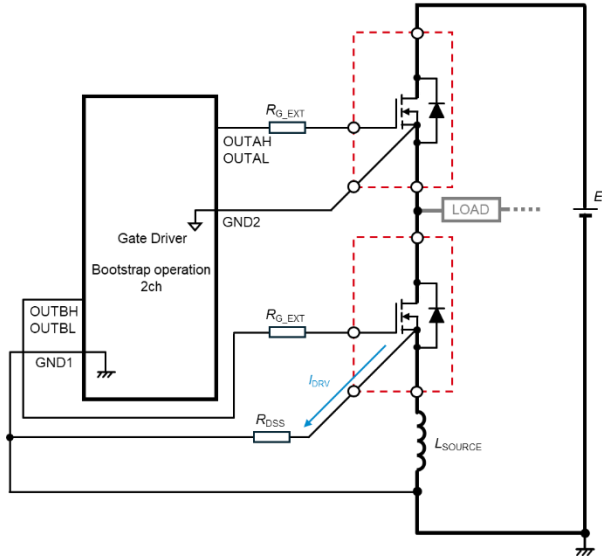
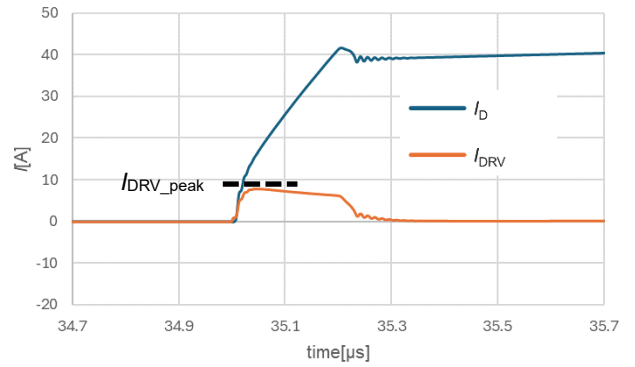
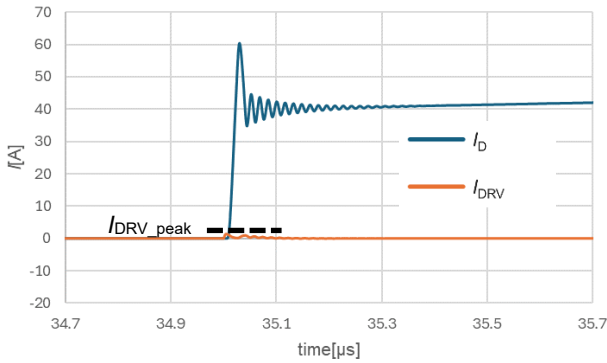
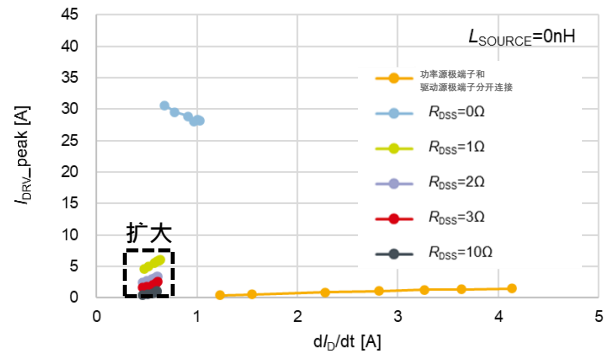


图 9. 仿真电路



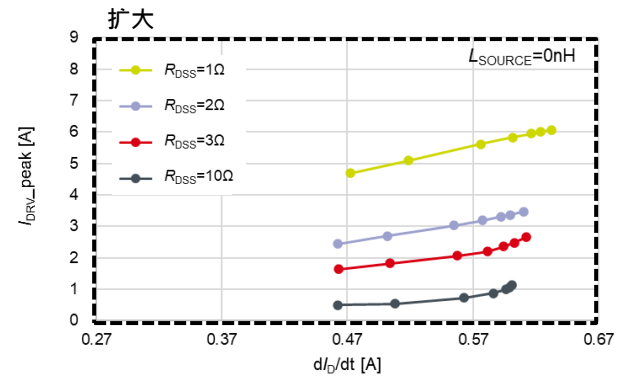
(z) $L_{SOURCE} = 30nH, R_G = 2.2ohm, R_{DS} = 1ohm$

图 10. 仿真波形

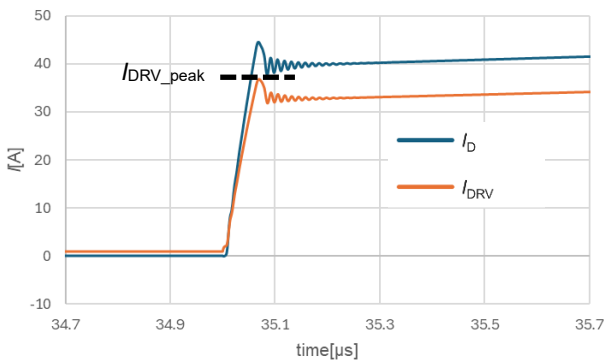


(x) $L_{SOURCE} = 30nH, R_G = 2.2ohm,$

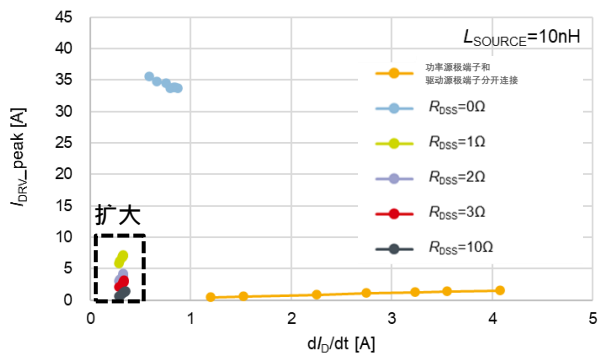
功率源极端子和驱动源极端子分开连接



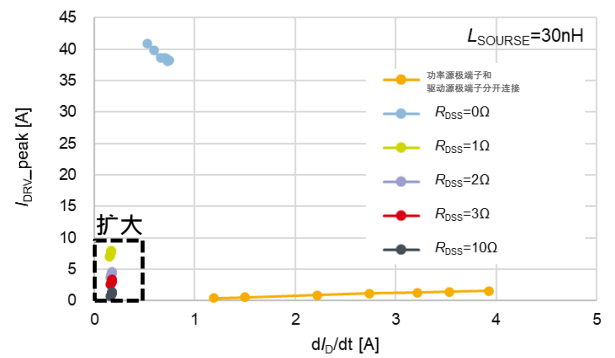
(b-1) $L_{SOURCE} = 0nH$



(y) $L_{SOURCE} = 30nH, R_G = 2.2ohm, R_{DS} = 0ohm$

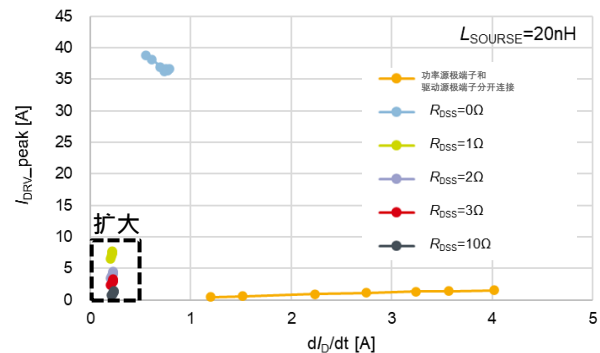


(b-2) $L_{SOURCE}=10nH$



(b-4) $L_{SOURCE}=30nH$

图 11. 仿真结果^{*1}



(b-3) $L_{SOURCE}=20nH$

*1 本仿真结果并不保证在客户设备上的特性和动作。客户使用时，请在充分讨论，评估的基础上，选择最终的电路，常数。

将功率源极端子和驱动源极端子连接起来会降低 dI/dt 。在本次仿真中， dI/dt 从 1A/ns~4A/ns（功率源极端子和驱动源极端子分开连接）减少到 0.1 A/ns 至 0.4 A/ns（功率源极端子和驱动源极端子直接连接或通过 R_{DSS} 连接），减少了 1/10，开关损耗增加。

仿真结果表明，如果没有 R_{DSS} ，大部分漏极电流将流向驱动源极端子。考虑到功耗， R_{DSS} 需设置为几 ohm 以上。此外，由于储存在功率源极端子的寄生电感 L_{SOURCE} 中的能量会流向 R_{DSS} ，因此寄生电感越大， dI/dt 越大，越需要选择较大阻值的电阻。

连接分流电阻器时应注意以下事项：

当使用图 7(a)中没有驱动源极端子的功率开关器件时，如果如图 12 所示，将分流电阻 (R_{shunt}) 连接到栅极驱动电路内侧，则低边栅极驱动电压将按照公式 (1) 降低。

$$V_{GS_DOWN} = R_{shunt} \times I_D \quad (1)$$

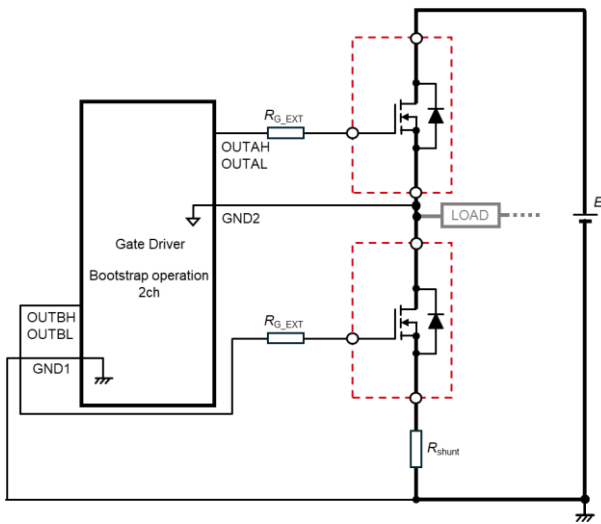


图 12. 将 R_{shunt} 连接到栅极驱动电路内侧

当栅极驱动电压降低时， R_{ON} 增加，这不仅会增加 MOSFET 的损耗并降低效率，而且如果 MOSFET 使用在导通电阻较高的区域，还可能存在热损坏的风险。将 R_{shunt} 连接到栅极驱动电路内侧时，必须充分注意这些风险，并须在实际设备上检查是否存在热问题。

当 R_{shunt} 连接到 GND 侧时，由于 GND1 是电源电路的 GND， R_{shunt} 短路，电源电流流经栅极驱动， R_{shunt} 将不能作为分流电阻器发挥作用。

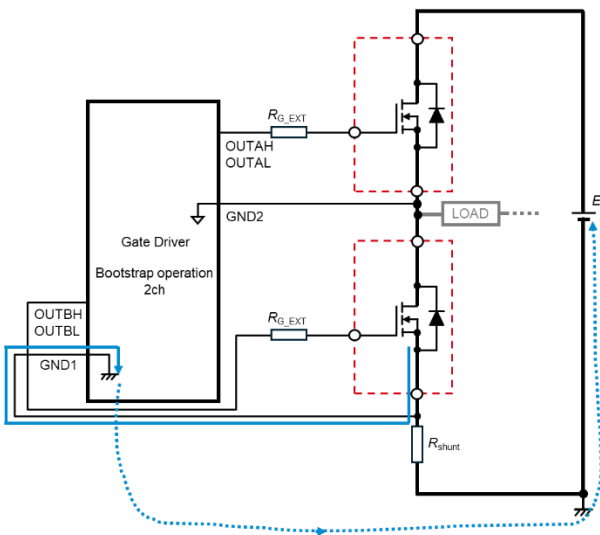


图 13. 将 R_{shunt} 连接到栅极驱动电路的 GND 侧

因此，在使用没有驱动源极端子的功率开关器件时，不能使用图 13 的连接方法，必须选择图 12 的连接方法，设计中也需要在实际设备上验证是否存在热问题。

总结

必须要使用适合驱动带有驱动源极端子的功率开关器件的驱动 IC 的方法进行连接。因此要尽可能使用隔离型栅驱动器 IC。如果使用低边非隔离型栅极驱动器 IC，强烈建议使用栅极驱动用 GND 和功率 GND 独立的栅极驱动器 IC。

如果无法避免使用 GND 共用的栅极驱动器 IC，请改用没有驱动源极端子的功率开关器件。此时请注意分流电阻和栅极电压。

如介绍，最后一种方法是在功率源极端子和驱动源极端子之间插入电阻，但本应用笔记不推荐此种方法。

参考资料:

[1] 《通过驱动源极端子改善开关损耗》
应用笔记 (No.62AN045C Rev.002)

罗姆株式会社，2020 年 4 月

[通过驱动源极端子改善开关损耗 \(rohm.com\)](https://www.rohm.com/document-download/62an045c)

[2] 《无比较器米勒钳位电路的设计方法》
应用笔记 (No.65AN012C Rev.002)

罗姆株式会社，2022 年 5 月

[无比较器米勒钳位电路的设计方法 \(rohm.com\)](https://www.rohm.com/document-download/65an012c)

注 意 事 项

- 1) 本资料中的内容旨在介绍ROHM集团(以下简称“ROHM”)的产品。在使用ROHM产品之前,请务必另行确认最新版的技术规格书或产品规格书。
- 2) ROHM的产品是面向普通电子设备(AV设备、OA设备、通信设备、家电产品、娱乐设备等)或技术规格书中指定的应用领域而设计和制造的。因此,如果要在要求极高可靠性、产品故障或误动作可能会危及人的生命、造成人身危害或损害,或可能造成其他严重损害的设备或装置(包括医疗设备、运输设备、交通设备、航空航天设备、核电控制装置、燃料控制、含汽车配件在内的车载设备、各种安全装置等)(以下简称“特殊用途”)中使用ROHM产品,请事先咨询ROHM销售部门。如果未经ROHM事先书面同意而将ROHM产品用于特殊用途,因此造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。
- 3) 含有半导体的电子产品存在一定的误动作或故障概率。客户有责任采取Fail Safe设计等安全对策,来避免万一发生误动作或故障时对人的生命、身体或财产造成危害或损害。
- 4) 本资料中出现的应用电路示例和常数等信息仅用于说明ROHM产品的标准工作和使用方法,并非明示保证或默示保证在实际应用设备中的工作。因此,在客户设备的设计过程中使用这些电路、常数以及相关信息时,请结合各种外部条件自行判断并对自己的判断负责。对于因使用这些数据和信息造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。
- 5) 向海外出口或提供ROHM产品和本资料中的技术时,请遵守《外汇及外国贸易法》、《美国出口管制条例》等适用的出口相关法律法规,并根据这些法律法规中的规定办理必要的手续。
- 6) 本资料中的应用电路示例等技术信息和各种数据仅为示例,并非保证不侵犯与这些内容相关的第三方的知识产权及其他权利。另外,对于本材料中的信息,ROHM并未明示或默示同意客户可以实施、使用或利用ROHM或第三方拥有或管理的知识产权以及其他权利。
- 7) 未经ROHM事先书面同意,严禁转载或复制本资料的全部或部分内容。
- 8) 本资料中的内容为截至本资料发行之时的信息,如有更改,恕不另行通知。在购买和使用ROHM产品之前,请通过ROHM销售部门确认最新信息。
- 9) ROHM不保证本资料中的信息无误。万一客户或第三方因本资料中的信息错误而受损,ROHM不承担任何责任。



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>