

AN002

通用文档

低压 InnoGaN 驱动设计指导

目 录

1. 氮化镓驱动特性介绍.....	2
1.1. InnoGaN结构	2
1.2. InnoGaN驱动特性.....	2
1.3. InnoGaN与Si MOSFET对比.....	4
2. InnoGaN驱动电路	5
2.1 低压InnoGaN驱动电路分类	5
2.2 驱动IC选择的考虑因素	5
3. 单管驱动	7
3.1. 直驱式驱动	7
3.1.1. 直驱式驱动电路	7
3.1.2. 直驱式电路关键元件功能介绍	7
3.1.3. 直驱式驱动开关过程	7
3.1.4. 直驱式驱动电路设计示例	8
3.1.5. 直驱式驱动注意事项	9
3.1.6. 直驱式驱动IC推荐	9
4. 半桥驱动	10
4.1. 半桥非隔离式驱动	10
4.1.1. 半桥非隔离式驱动电路	10
4.1.2. 半桥非隔离式驱动电路关键元件功能介绍	10
4.1.3. 半桥非隔离式驱动开关过程.....	10
4.1.4. 半桥非隔离式驱动电路设计示例	11
4.1.5. 半桥非隔离式驱动电路注意事项	12
4.1.6. 半桥非隔离式驱动控制IC推荐.....	13
4.2. 半桥隔离式驱动.....	14
4.2.1. 半桥隔离式驱动电路	14
4.2.2. 半桥隔离式驱动电路开关过程	14
4.2.3. 半桥隔离式驱动电路设计示例	15
4.2.4. 半桥隔离式驱动设计注意事项	16
4.2.5. 半桥隔离式驱动IC推荐.....	17
历史版本.....	18

1. 氮化镓驱动特性介绍

1.1. InnoGaN结构

图 1 是 InnoGaN 的结构示意图，InnoGaN 是 p-GaN 增强型器件，当 p-GaN 结构正电荷产生的内建电压，大于正下方 AlGaN/GaN 异质结产生的电压时，将会耗尽栅极下方的二维电子气（2DEG），从而形成增强型器件，p-GaN 结构可以看作肖特基和 PN 结背靠背串联，目前 Innoscience 低压产品 Gate 长期正偏电压上限是 6V，具体 Gate 极电压能力请参考对应的产品规格书。Innoscience 低压 GaN 器件规格书请访问 [Innoscience 官网产品页面](#)。

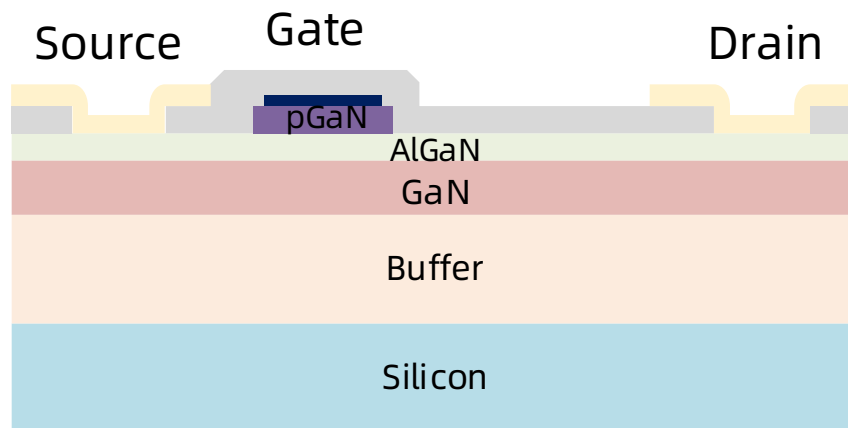


图 1 InnoGaN 结构示意图

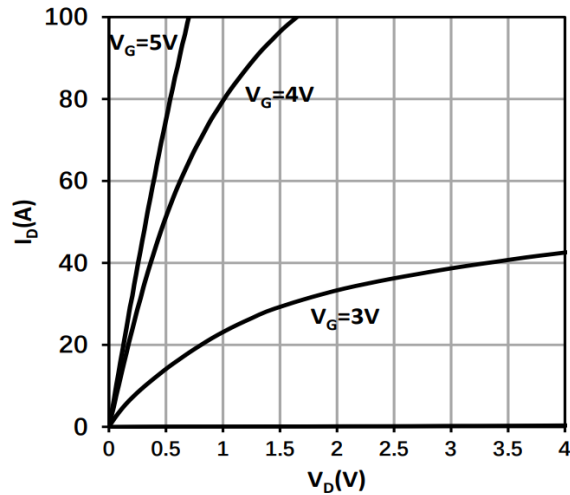
1.2. InnoGaN 驱动特性

由于 p-GaN 固有的结构特性，目前 Innoscience 低压产品正向 GS 耐压最大 6V，负向 GS 耐压 -4V，参见表 1。在使用过程中应注意驱动电压选择及 Layout 设计，避免驱动过压。

表 1 Innoscience 低压产品关键参数

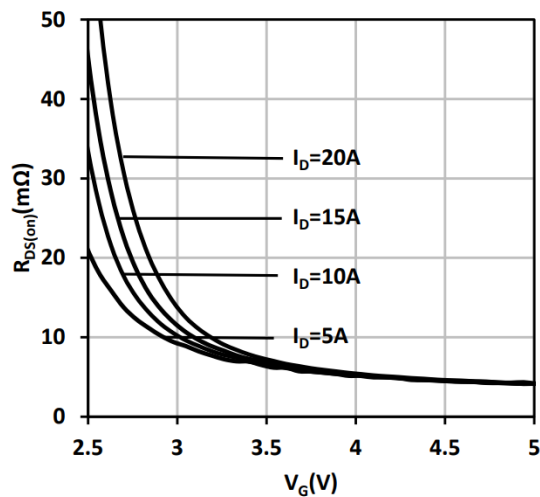
Symbol	Parameter	Max	Unit
V_{DS}	Drain-to-Source Voltage (Continuous)	100	V
I_D	Continuous current	60	A
	Pulsed (25°C, TPULSE = 300us)	230	A
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	6	V
	Gate-to-Source Voltage	-4	V
T_J	Operating Temperature	-40 to 150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	-40 to 150	°C

图 2、图 3是INN100W032A产品的 $V_{GS}-I_D$ 曲线和 $V_{GS}-R_{DS(on)}$ ，实际应用时一般建议在规格范围内取较高的驱动电压，使得InnoGaN工作在性能最优状态，为系统提供更强带载能力和效率收益，目前Innoscence低压产品一般推荐使用5V驱动电压。



$$I_D = f(V_D, V_G); T_J = 25^\circ\text{C}$$

图 2 $V_{GS}-I_D$ 曲线



$$R_{D(on)} = f(V_G, I_D); T_J = 25^\circ\text{C}$$

图 3 $V_{GS}-R_{DS(on)}$ 曲线

1.3. InnoGaN与Si MOSFET对比

- **相同点：**

- 1、 InnoGaN与增强型Si MOSFET一样都是常关型功率器件。
- 2、 两者均为电压型驱动，驱动电压给器件寄生电容 C_{ISS} & C_{RSS} 充放电，正偏时提供Gate的漏电流 I_{GSS} 。
- 3、 均能通过外置驱动电阻 R_{g_ext} 调节开关速度。

- **不同点：**

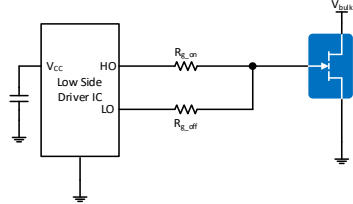
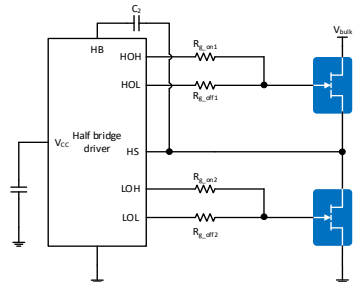
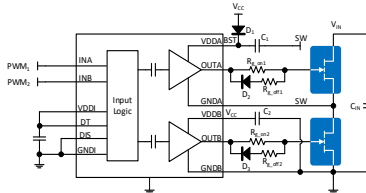
- 1、 InnoGaN的Gate极耐压能力和 V_{th} 更低，需要更小的驱动回路以降低干扰。
- 2、 InnoGaN的推荐驱动电压为5V，比Si MOSFET的8~12V驱动电压更低，若要兼容Si MOSFET的控制器，需要对控制IC驱动电压进行降压处理或增加驱动芯片以满足InnoGaN驱动电压要求。
- 3、 InnoGaN的 C_{ISS} 、 C_{RSS} 更小，驱动损耗更低，开关速度更快。

2. InnoGaN驱动电路

2.1 低压InnoGaN驱动电路分类

InnoGaN驱动电路分类，特点以及适用场景请见表2。

表 2 InnoGaN驱动电路分类

分类			示意图	特点	适用场景
单管	非隔离式	直驱式		驱动电路简单，可靠性高，驱动回路处理更简单	领域：Lidar、小功率模块电源 拓扑：Flyback、single switch
半桥	非隔离式	直驱式		驱动电路简单，专门为GaN优化，驱动回路处理更简单，可靠性更高	领域：模块电源、车充、笔电、数据中心、轻混动力、Class D、化成分容 拓扑：Buck、Boost、Buck-Boost、HSFB、HSHB、LLC
	隔离式	集成数字隔离和驱动器		隔离与GaN驱动集成，可专门对驱动优化，可靠性高	领域：模块电源 拓扑：HSFB、HSHB、LLC

2.2 驱动IC选择的考虑因素

中低压GaN产品在驱动IC选择时，应遵循以下步骤：

- 1、确定驱动电压是否满足中低压产品驱动电压要求，需要IC支持5V驱动电压。

2、由于中低压GaN产品驱动最大耐压只有6V，而推荐电压为5V，对驱动电压比较敏感，一般推荐上管驱动需要带有补偿以及钳位功能，避免上管驱动电压过低导致性能变差或者驱动过压导致器件损坏。

3、SW引脚耐压需要大于最大续流电流时的最大负向 V_{SD} 电压值，否则建议在下管并联肖特基避免SW负压导致IC损坏。

3. 单管驱动

3.1. 直驱式驱动

3.1.1. 直驱式驱动电路

直驱式驱动电路如图 4所示。

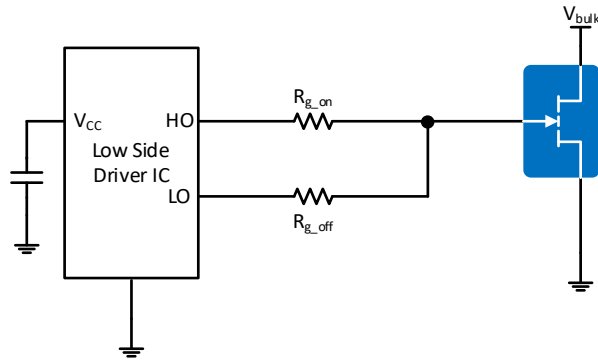


图 4 直驱式驱动电路

3.1.2. 直驱式电路关键元件功能介绍

直驱式电路中关键元件的功能介绍参见表 3。

表 3 直驱式电路关键元件功能介绍

元件	功能
R_{g_on}	调节GaN FET开通速度
R_{g_off}	调节GaN FET关断速度

3.1.3. 直驱式驱动开通过程

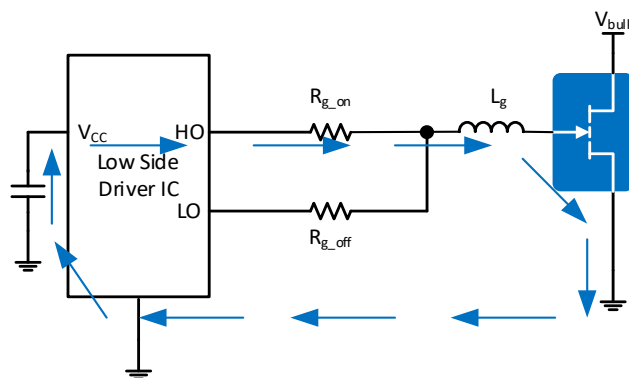


图 5 直驱式驱动开通过程

开通过程，驱动电流回路如图 5所示，电流从 V_{cc} 电容正端流出，经芯片内部，再流

经驱动回路驱动电阻 R_{g_on} 、驱动回路寄生电感 L_g ，然后到InnoGaN的Gate，经InnoGaN的Source回到 V_{CC} 电容的负端。

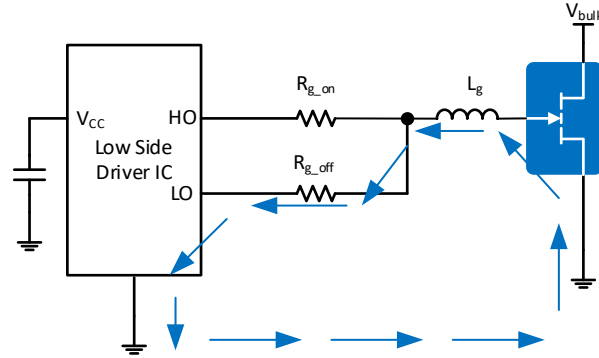


图 6 直驱式驱动关断过程

关断过程，驱动电流回路如图 6 所示，Gate 电荷经过 L_g 、 R_{g_off} ，最后通过芯片内部快速泄放到GND。

3.1.4. 直驱式驱动电路设计示例

图 7、图 8 显示的是直驱式驱动电路原理图设计实例以及直驱式驱动电路Layout设计示例。

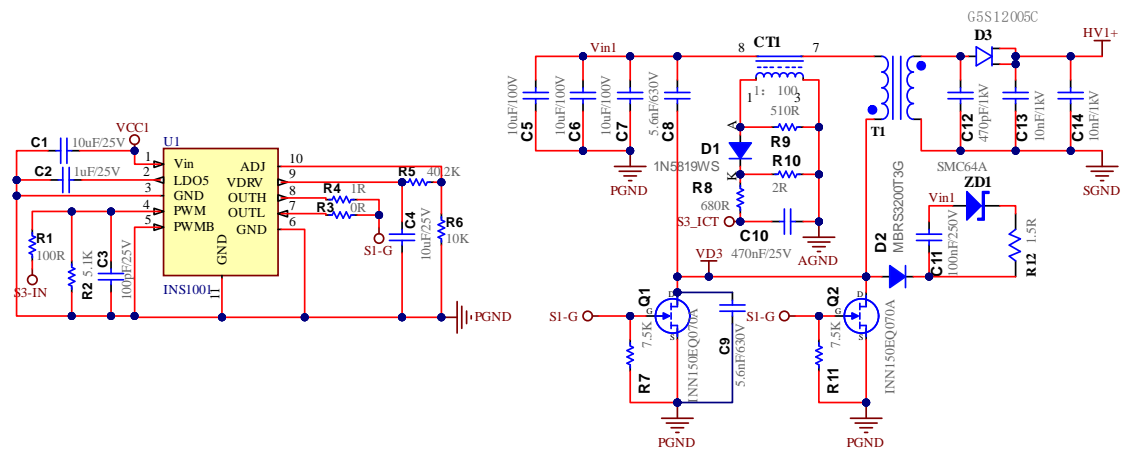


图 7 直驱式驱动电路原理图设计示例

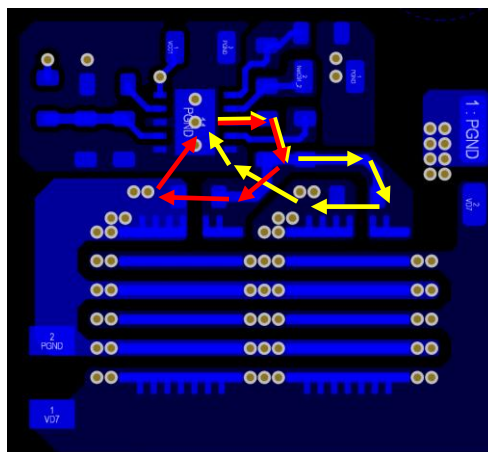


图 8 直驱式驱动电路Layout设计示例（黄色箭头和红色箭头为两个并联开关管的驱动回路）

3.1.5. 直驱式驱动注意事项

- 1、 V_{CC} 供电电容靠近驱动IC引脚，减小驱动开通回路，降低驱动供电震荡；
- 2、为了降低环路电感，驱动器应尽可能靠近GaN，降低驱动中的寄生电感；
- 3、降低驱动回路与功率回路的耦合，减小共源电感；

更多layout建议详见《AN006-InnoGaN layout设计指导》。

3.1.6. 直驱式驱动IC推荐

在本节中，推荐以下几款关于直驱式电路中的驱动IC，及介绍了所推荐驱动IC的如器件型号、厂商、下拉及上拉电阻、延迟时间、以及应用场景的信息，参见表4。

表 4 直驱式驱动IC推荐

产品型号	厂商	下拉/上拉电阻 (Ω)	延迟时间(ns)	应用
INS1001DE	Innoscience	1.3/0.5	35	开关模式电源 升压，反激和正向转换器 半桥和全桥转换器
LM5114	Texas Instruments	2/0.23	12	通用GaN低边单管栅极驱动器
LMG1020	Texas Instruments	-	2.5	GaN低边单管驱动器，用于高达60 MHz的高速高频应用，最小脉冲宽度为1 ns
uP1964	uPI Semiconductor	2/0.5	30	通用GaN低边单管栅极驱动器

4. 半桥驱动

4.1. 半桥非隔离式驱动

4.1.1. 半桥非隔离式驱动电路

半桥非隔离驱动适用于LLC、Buck、Boost等拓扑应用场景，应用框图如图9所示。

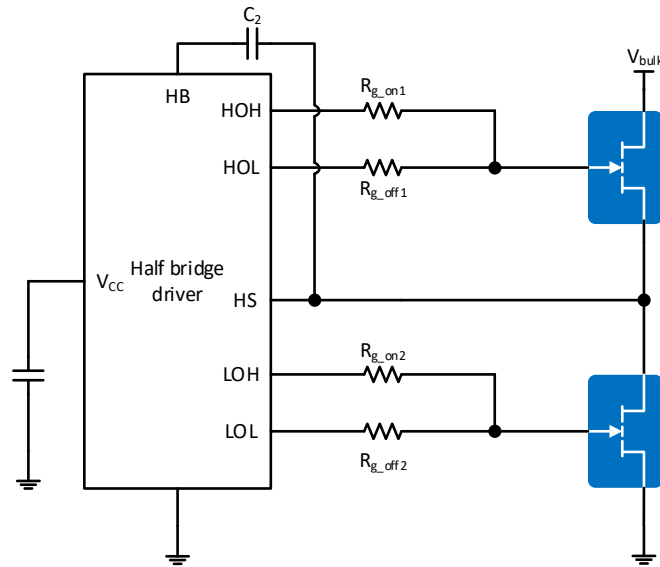


图9 半桥非隔离式驱动电路

4.1.2. 半桥非隔离式驱动电路关键元件功能介绍

表5介绍了半桥非隔离式驱动电路中几个关键元件的功能。

表5 半桥非隔离式驱动电路关键元件功能介绍

元件	功能
R_{g_on1} 、 R_{g_on2}	调节GaN FET开通速度
R_{g_off1} 、 R_{g_off2}	调节GaN FET关断速度

4.1.3. 半桥非隔离式驱动开关过程

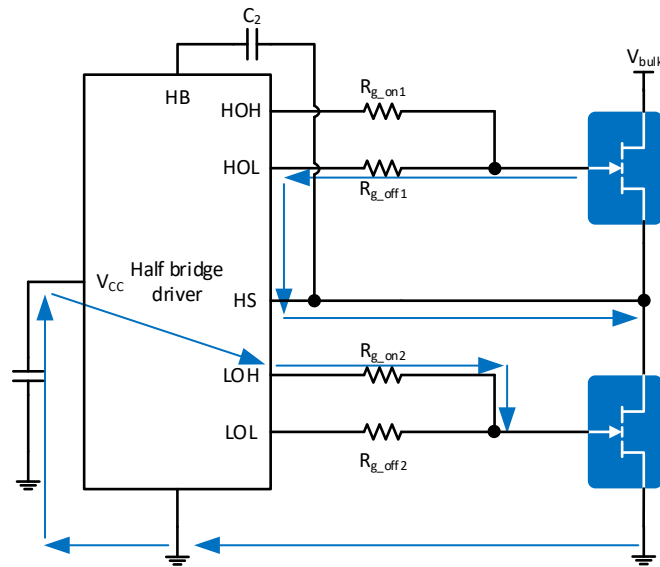


图 10 半桥非隔离式上管关断，下管开通过程

下管开通，上管关断过程，驱动的电回路如图 10 所示。下管开通时，电流从 V_{CC} 电容正端流出，经芯片内 LOH 引脚，流经 R_{g_on2} ，然后到 InnoGaN 的 Gate，经 InnoGaN 的 Source 回到 V_{CC} 电容的负端。上管关断时，半桥中点为低，上管自举电容 C_2 充电，电流由 Gate 经芯片 HOL 引脚、 R_{g_off1} 下拉到上管驱动参考电平 HS 点。

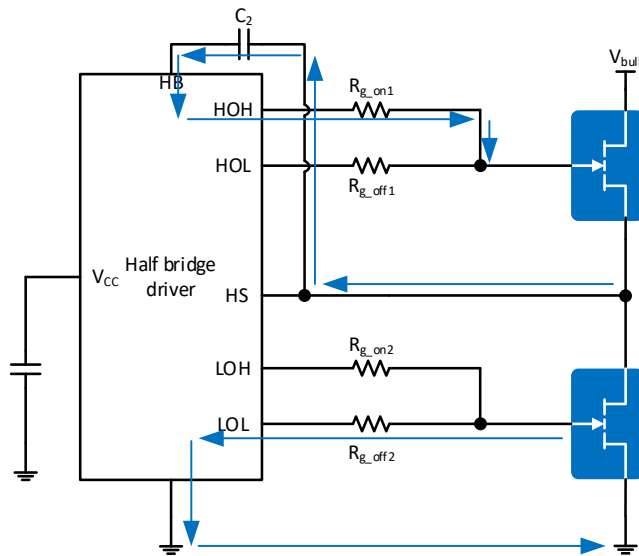


图 11 半桥非隔离式上管开通，下管关断过程

上管开通，下管关断过程，驱动的电回路如图 11 所示。上管开通时，电流从上管供电电容正端流出，经芯片 HOH 引脚，流经 R_{g_on1} ，然后到 InnoGaN 的 Gate，经 InnoGaN 的 Source 回到上管驱动参考电平 HS 点。下管关断时，电流由 Gate 经 R_{g_off2} 、芯片 LOL 引脚下拉到 GND。

4.1.4. 半桥非隔离式驱动电路设计示例

图 12、图 13分别是半桥非隔离式驱动电路设计示例、半桥非隔离式驱动电路Layout设计以及下管开通，上管关断驱动的电流回路示例。

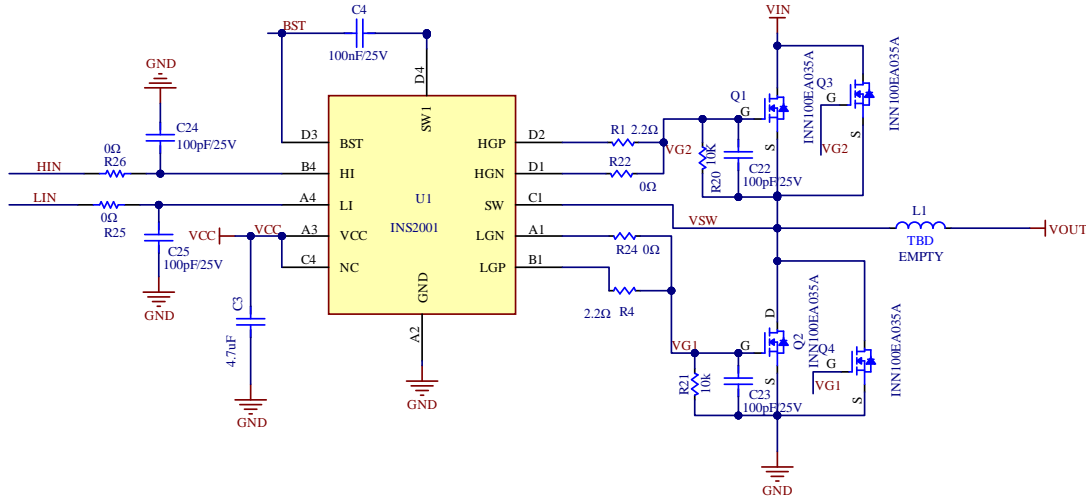


图 12 半桥非隔离式驱动电路设计示例

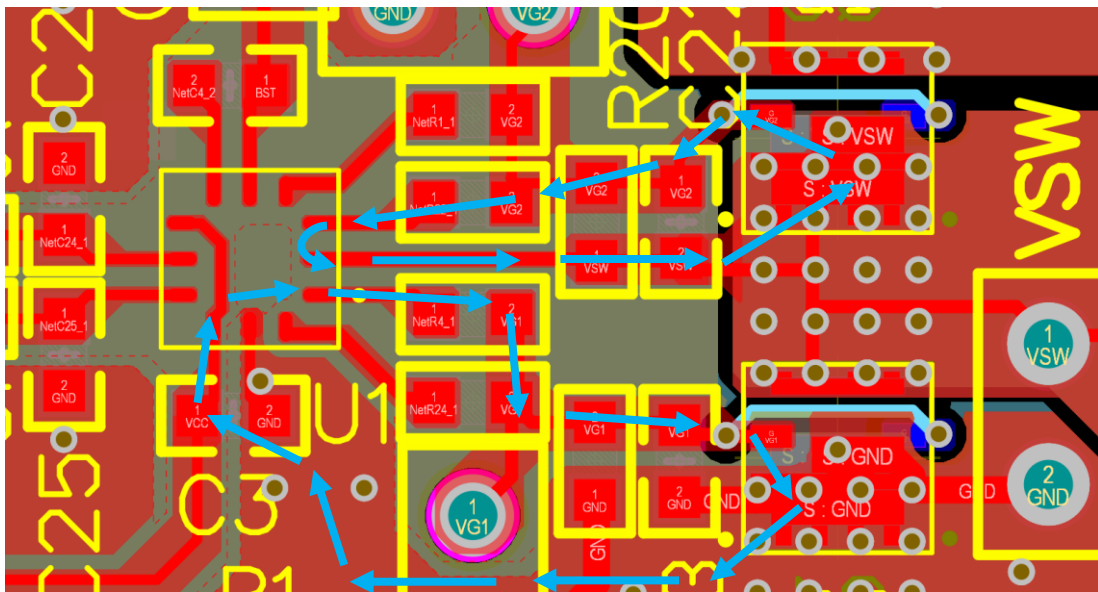


图 13 半桥非隔离式驱动电路Layout设计以及下管开通，上管关断驱动的电流回路示例

4.1.5. 半桥非隔离式驱动电路注意事项

- 1、Vcc供电电容靠近驱动IC引脚，减小驱动开通回路，降低驱动供电震荡；
- 2、为了降低环路电感，驱动器应尽可能靠近GaN，降低驱动中的寄生电感；
- 3、降低驱动回路与功率回路的耦合，减小共源电感；
- 4、自举电容需要靠近驱动IC引脚侧，同时需要将驱动回路与功率回路分开，降低功率回路 dv/dt 对驱动能力的影响；

4.1.6. 半桥非隔离式驱动控制IC推荐

在本节中，推荐以下几款关于半桥非隔离式电路中的驱动IC，及介绍了所推荐驱动IC的如器件型号、厂商、最大电压、延迟时间、以及应用场景的信息，参见表6。

表 6 半桥非隔离式驱动控制IC推荐

产品型号	厂商	最大耐压(V)	延迟时间(ns)	应用
INS2001W INS2001FQ	Innoscience	100	14	48v直流电机驱动 大功率d类音频功率放大器 车载48v / 12v双向直流电源
INS2002W INS2002FQ	Innoscience	100	22	48v直流电机驱动 大功率d类音频功率放大器 车载48v / 12v双向直流电源
LMG1205	Texas Instruments	100	35	支持100v输入的通用GaN半桥驱动器
uP1966A	uPI Semiconductor	80	20	支持100v输入的通用GaN半桥驱动器
MPQ1918	MPS	100	20	高边浮地电压轨高达100 VDC

4.2. 半桥隔离式驱动

4.2.1. 半桥隔离式驱动电路

在有隔离需求的电源应用中，如硬开关全桥，移向全桥等方案中，需要原副边进行隔离，保证系统的耐压要求，此时需要将信号进行隔离，应用框图如图 14 所示。

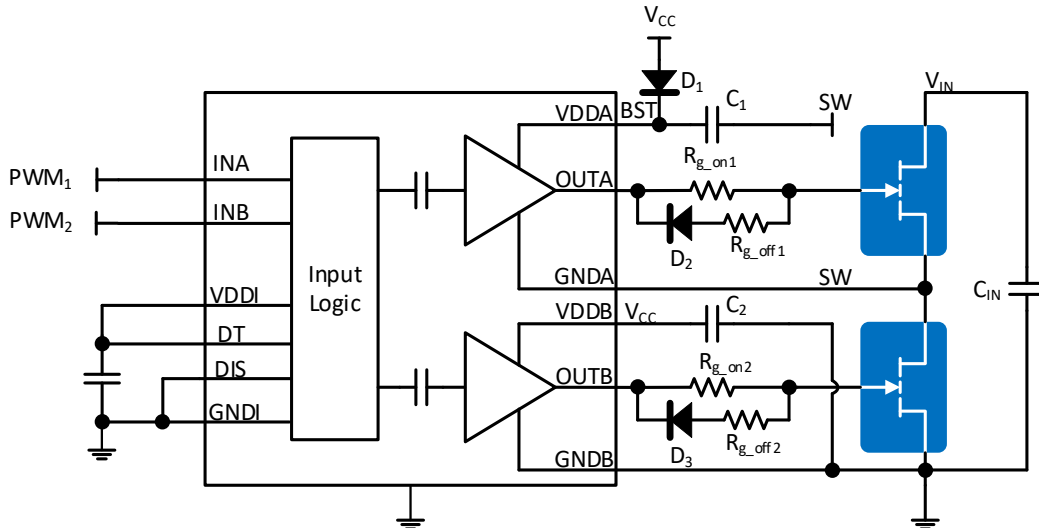


图 14 集成数字隔离和驱动器半桥驱动电路

4.2.2. 半桥隔离式驱动电路开关过程

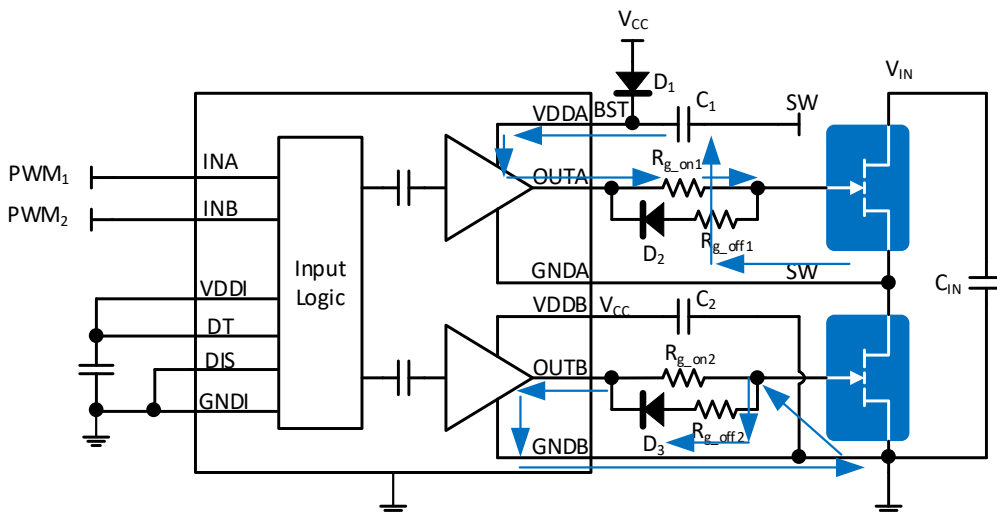


图 15 半桥隔离式驱动电路上管开通，下管关断过程

上管开通，下管关断过程，驱动的电回路如图 15 所示。上管开通时，电流从上管供电电容正端VDDA流出，经芯片OUTA引脚，流经 R_{g_on1} ，然后到InnoGaN的Gate，经InnoGaN的Source回到上管驱动参考电平SW点。下管关断时，电流由Gate经 R_{g_off2} 、 D_3 到芯片OUTB引脚下拉到GND。

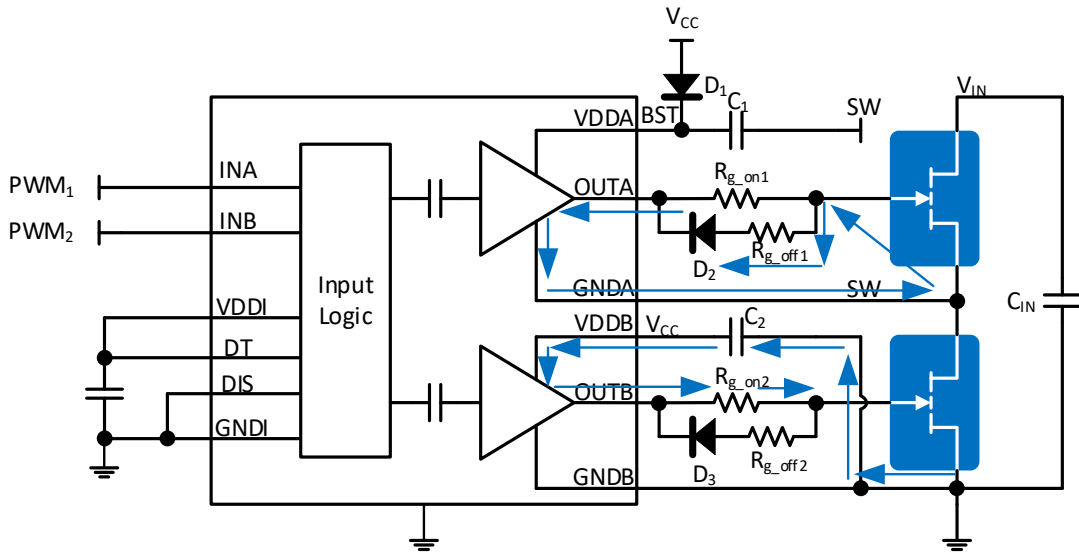


图 16 半桥隔离式驱动电路上管关断，下管开通过程

下管开通，上管关断过程，驱动的电回路如图 16 所示，下管开通时，电流从 V_{CC} 电容正端 V_{DDB} 流出，经芯片内 $OUTB$ 引脚，流经 R_{g_on2} ，然后到 InnoGaN 的 Gate，经 InnoGaN 的 Source 回到 V_{CC} 电容的负端。上管关断时， SW 为低，上管自举电容充电，电流由 Gate 经 R_{g_off1} 、 D_2 到芯片 $OUTA$ 引脚下拉到上管驱动参考电平 SW 点。

4.2.3. 半桥隔离式驱动电路设计示例

图 17、图 18 分别显示了半桥隔离式驱动电路设计示例、半桥隔离式驱动电路 Layout 设计以及下管开通，上管关断驱动的电回路示例。

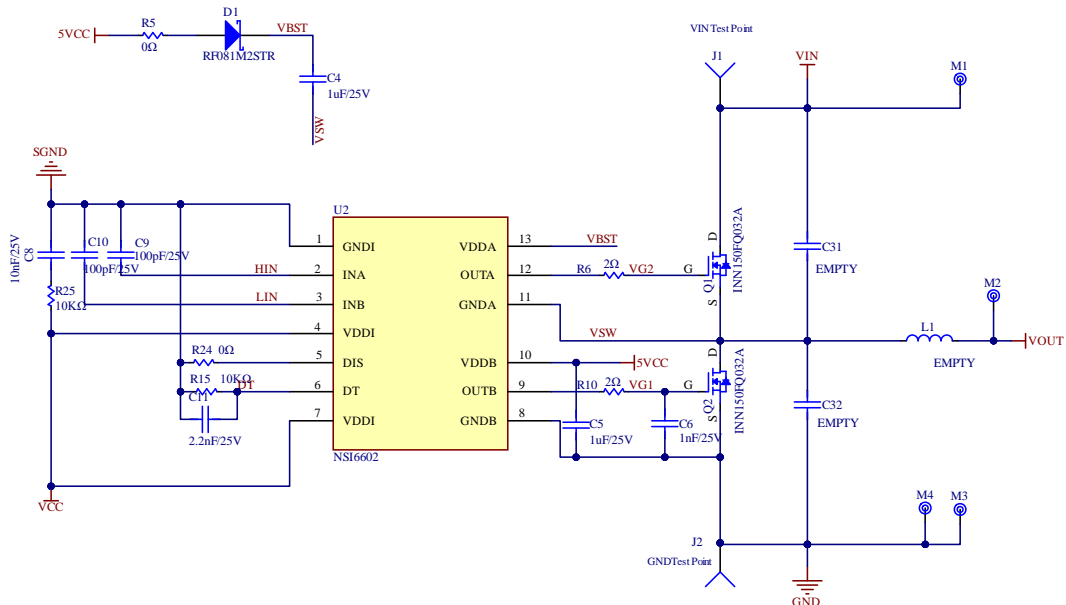


图 17 半桥隔离式驱动电路设计示例

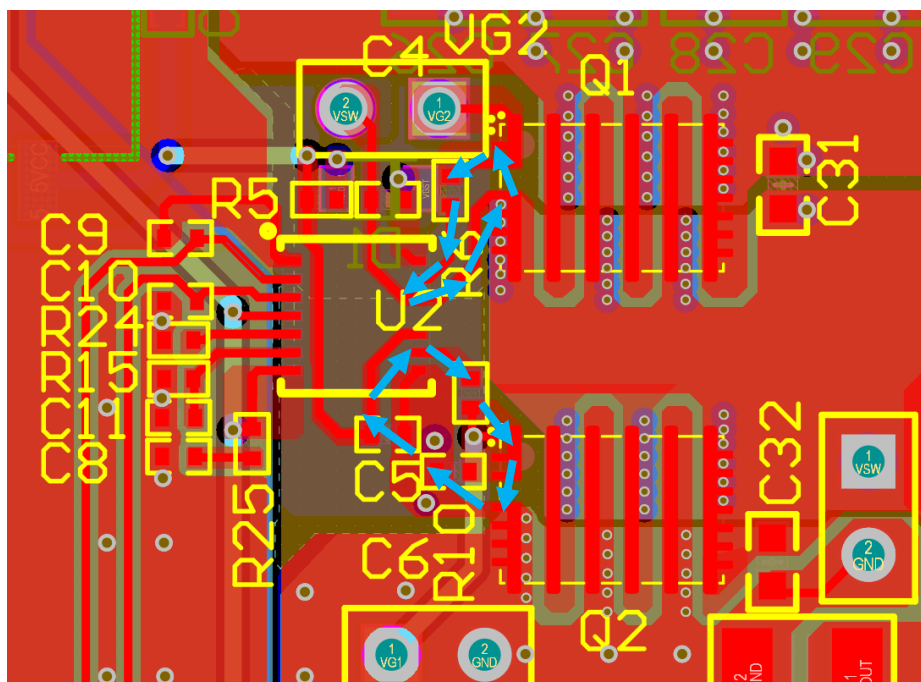


图 18 半桥隔离式驱动电路Layout设计以及下管开通，上管关断驱动电流回路示例

4.2.4. 半桥隔离式驱动设计注意事项

- 1、 低等效电阻（ESR）和低等效感抗（ESL）旁路电容器应放置在靠近驱动器的供电引脚VDDI-GND、VDDA-GNDA和VDDDB-GNDB之间；
- 2、 电路中高频开关电流对外部功率晶体管的栅极进行充放电，应将隔离驱动器放置在靠近接近功率晶体管位置以减小驱动环路面积，优化EMI和振铃问题；
- 3、 降低共源电感，避免高 di/dt 对开关管正常开关造成负面的影响；

4.2.5. 半桥隔离式驱动IC推荐

在本节中，推荐以下几款关于半桥非隔离式电路中的驱动IC，及介绍了所推荐驱动IC的如器件型号、厂商、延迟时间、以及应用场景的信息，参见表7。

表7 半桥非隔离式驱动控制IC推荐

产品型号	厂商	延迟时间(ns)	应用
NSI6602EA	纳芯微电子	25	高可靠双通道隔离栅极驱动器，可用于多种开关电源和电机驱动拓扑结构
Si8273	SILICON LABS	60	使用VIA和VIB双输入信号独立控制
Si8274	SILICON LABS	60	使用单输入信号控制
UCC21550	Texas Instruments	33	可编程死区时间和宽温度范围隔离型双通道栅极驱动器

历史版本

日期	版本	备注	审核
2023/08/25	1.0	初版	AE 团队
2024/10/16	1.1	更新部分内容	AE 团队
2025/02/07	1.2	格式修正, 内容更新, 插图更新	AE 团队

Note:

There is a dangerous voltage on the demo board, and exposure to high voltage may lead to safety problems such as injury or death.

Proper operating and safety procedures must be adhered to and used only for laboratory evaluation demonstrations and not directly to end-user equipment.



Reminder:

This product contains parts that are susceptible to electrostatic discharge (ESD). When using this product, be sure to follow antistatic procedures.

Disclaimer:



Innoscience reserves the right to make changes to the products or specifications described in this document at any time. All information in this document, including descriptions of product features and performance, is subject to change without notice. INNOIC ACCEPTSURBIT ACCEPTS NO LIABILITY ARISING OUT OF THE USE OF ANY EQUIPMENT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN. The performance specifications and operating parameters of the products described in this article are determined in a stand-alone state and are not guaranteed to be performed in the same manner when installed in the customer's product. Samples are not suitable for extreme environmental conditions. We make no representations or warranties, express or implied, as to the accuracy or completeness of the statements, technical information and advice contained herein and expressly disclaim any liability for any direct or indirect loss or damage suffered by any person as a result thereof. This document serves as a guide only and does not convey any license under the intellectual property rights of Innoscience or any third party.

