



应用笔记 Application Note

氮化镓产品应用系列

GaN 晶体管驱动设计



目 录

1 GaN 晶体管驱动特点.....	3
2 GaN 晶体管的结构和特点简介.....	3
3 GaN 晶体管驱动电路基本组成.....	3
4 单端驱动电路设计	4
4.1 单端驱动电路栅极驱动器的选择.....	5
4.2 根据栅极驱动器参数选取单端驱动电路驱动参数.....	5
5 半桥驱动电路设计	6
5.1 半桥驱动电路栅极驱动器的选择.....	7
5.2 根据栅极驱动器参数选取半桥驱动参数.....	7
5.3 半桥上边驱动自举电源参数设计	7
5.3.1 自举电源设计注意事项	7
5.3.2 自举电源回路设计.....	8
6 漏源极间吸收电路	8

润新微电子（大连）有限公司的氮化镓产品专注于高性能和可靠性，为许多应用（如服务器电源、通信电源、无线充电、适配器和充电器）中的各种系统增加了重要价值。氮化镓功率晶体管简单易用，易于使用栅极驱动器 IC 进行设计。我们总结以下驱动设计指南，供应用工程师参考。

1 GaN 晶体管驱动特点

润新微电子的氮化镓功率晶体管产品驱动采用与硅 MOS 晶体管通用的驱动芯。氮化镓功率晶体管的栅极阈值电压为2-4V，5-8V 时完全导通；驱动电路开启栅压10~12V，关断栅压0V，最大栅源电压20V，驱动电流只需100mA。

2 GaN 晶体管的结构和特点简介

润新微电子的氮化镓功率晶体管是 Cascode 结构。在 Cascode 结构中，续流电流流过硅晶体管的体二极管，但由于硅管是一个低压硅管，反向恢复电荷很小。晶体管的工作模式下的电流流向和 I—V 曲线参考 AN001中图4和图5。

3 GaN 晶体管驱动电路基本组成

如图1所示，驱动电路由栅极驱动器、电阻和磁珠组成。通过调节驱动电阻 R_{Gon} 减少 I_g ，从而减小 di/dt 、 dv/dt ，减少寄生参数对引发的振荡，改善电路的 EMI 特性；驱动电路中加入磁珠 FB，减少功率回路对栅极的干扰；但增大 R_{Gon} 和 FB 也带来开关损耗的增加， R_{Gon} 和 FB 的取值需要兼顾开关速度、开关损耗、开关过程中的电压电流的振荡，以及电磁兼容等多方面因素。图2和图3展示 R_{Gon} 和 FB 与开关损耗的关系。

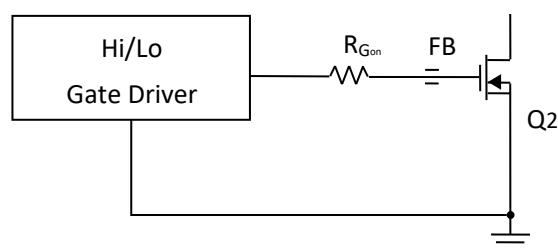


图1 驱动回路示意图

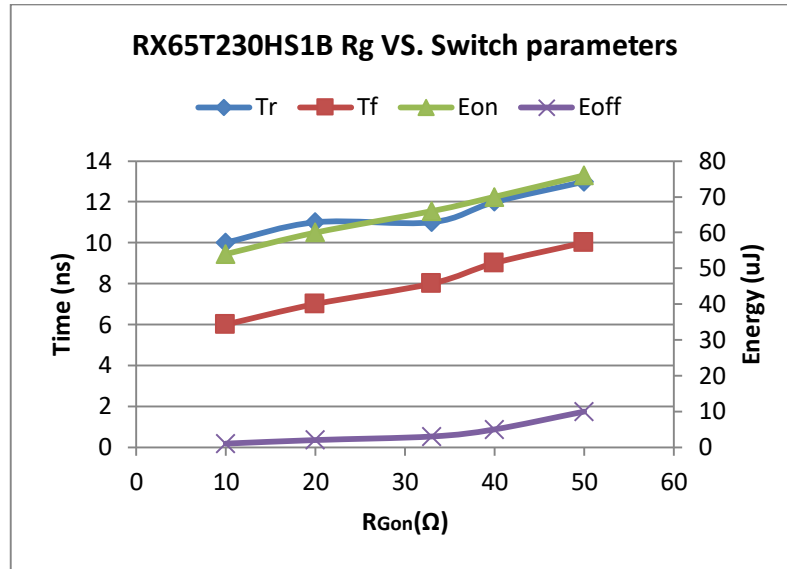


图2 R_{Gon} 取值不同时，开关损耗的变化

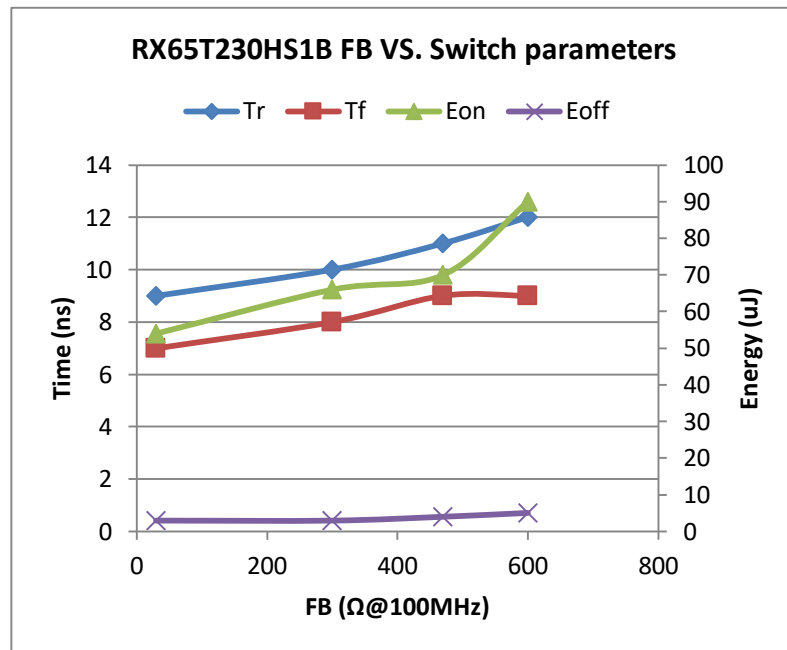


图3 FB 取不同参数时，开关损耗的变化

4 单端驱动电路设计

在图1基础上增加关断驱动回路，形成图4所示的一种常见实际应用单端驱动电路。单端驱动路多用于反激、正激变换器和推挽变换器中，其特点是通过 R_{Gon} 、 R_{Goff} 分开选取开通和关断速度，推荐参数见产品数据手册。

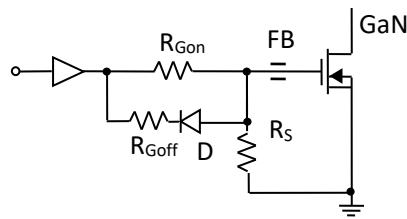


图4 单端驱动电路

4.1 单端驱动电路栅极驱动器的选择

单端驱动回路中只有一个晶体管，不存在上下管直通的问题，输出电压和开关频率满足要求的栅驱动器均可使用。总体来说，减小 I_G 有助于降低 di/dt 引起的过冲、振荡。推荐 I_G 的范围： $V_{CC}/R_{G(tot)} \approx (0.7 \sim 1.6) \times 0.5A$ ，其中 V_{CC} 为驱动电源电压， $R_{G(tot)}$ 为驱动回路总电阻。

有些情况下驱动器手册不会标出 R_{source} 或 R_{sink} ，于是 $R_{G(tot)}$ 无法计算。此时，还可以根据 C_{GS} 、 C_{GD} 参数计算 I_G 。RX65T300HS2A 的 $C_{GS}=498pF$ ， $C_{GD}=2pF$ ，开通时间20ns，则所需的电流为：

$$i_G = C_{GS} \frac{V_{GS}}{dt} + C_{GD} A_v \frac{dV_{GS}}{dt}$$

式中， A_v 是电压放大系数，假定管子开通时的栅极电压 $V_{GS}=12V$ ， A_v 取2 (V_{DS_si}/V_{GS_si})，则

$$i_G = 0.498 \times \frac{12}{20} + 0.002 \times 2 \times \frac{12}{20} = 0.3A$$

这说明，为了使栅极电压在20ns 时间内上升到12V，驱动电路必须能提供大于0.3A 的峰值电流。根据上面的计算，Silicon Labs 的栅极驱动器 Si8230峰值电流为0.5A，可以作为RX65T300HS2A 的栅极驱动器。

4.2 根据栅极驱动器参数选取单端驱动电路驱动参数

GaN 功率晶体管开通过程中，驱动回路等效电路如图5所示。FB 推荐参数见产品数据手册。栅极驱动器选型后，根据栅极驱动器相关参数，确定 R_{Gon} 的步骤：

- (1) 确定栅极驱动器电源 V_{CC} 和 R_{source} ；
- (2) 先设驱动回路电流为 $I_G=0.5A$ ，则根据 $R_{Gon}=V_{CC}/I_G-R_{source}$ 计算出 R_{Gon} ；
- (3) 根据计算值 R_{Gon} ，选取相近电阻值，作为 R_{Gon} 的取值；
- (4) 在应用电路中，量测的栅极驱动波形，确认 R_{Gon} 的取值是否满足要求；如不满足，在 I_G 范围内重新取值，计算 R_{Gon} ，直到达到要求。

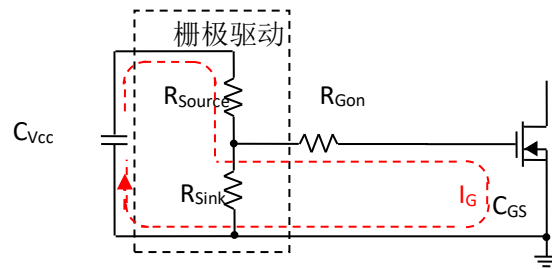


图5 开通过程中，驱动回路等效电路图

GaN 功率晶体管关断过程中，驱动回路等效电路如图6所示。已知栅极驱动器相关参数，确定 R_{Goff} 的步骤：

- (1) 确定晶体管关断前栅源电压 V_{GS} 和 R_{Sink} ；
- (2) 先设驱动回路电流为 $I_G=0.5A$ ，则根据 $R_{Gon}=V_{GS}/I_G-R_{Sink}$ 计算出 R_{Goff} ；
- (3) 根据计算值 R_{Goff} ，选取相近电阻值，作为 R_{Goff} 的取值；
- (4) 在应用电路中，量测的栅极驱动波形，确认 R_{Goff} 的取值是否满足要求；如不满足，在 I_G 范围内，重新取值，计算 R_{Goff} ，直到达到要求。

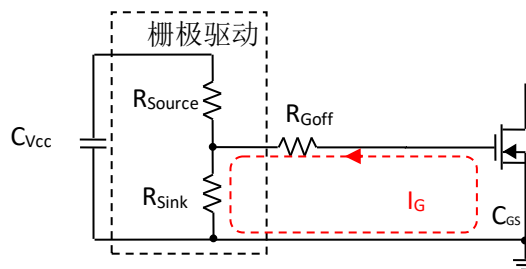


图6 关断过程中，驱动回路等效电路

根据上述方法就算出的参数可根据实际情况调整。

5 半桥驱动电路设计

图7所示半桥驱动电路，多用于半桥、全桥拓扑中。

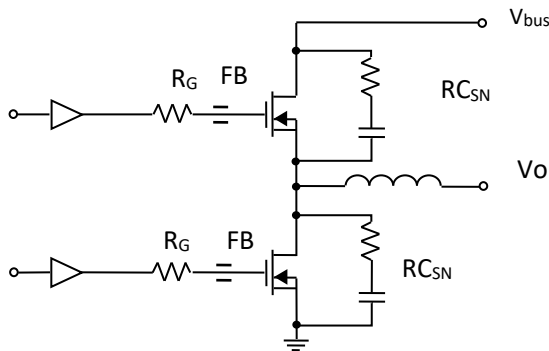


图7 半桥驱动电路

5.1 半桥驱动电路栅极驱动器的选择

选择具有低输出电流的栅极驱动芯片有助于减小 I_G ，降低 di/dt 引起的过冲、振荡。在半桥驱动电路中，低输出电流的驱动芯片可以减小 S 点（图8）的 dV/dt ，避免上管开通时下管误导通。 I_G 的范围： $V_{cc}/R_{G(tot)} \approx (0.7 \sim 1.6) * 0.5A$ ，其中 V_{cc} 为驱动电源电压， $R_{G(tot)}$ 为驱动回路总电阻。

5.2 根据栅极驱动器参数选取半桥驱动参数

与4.2 步骤方法相同。

5.3 半桥上边驱动自举电源参数设计

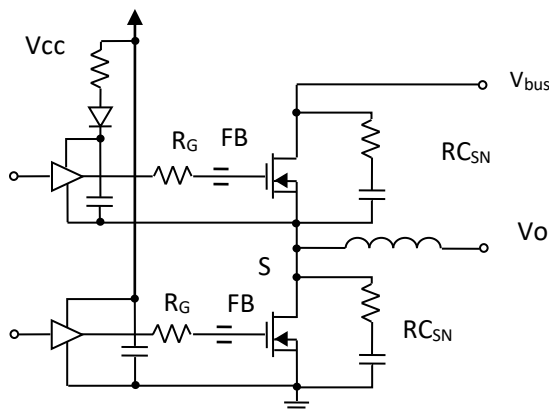


图8 半桥驱动电路高边驱动的自举电源

5.3.1 自举电源设计注意事项

在图8中，自举电容被充至低边电源电压 (V_{cc}) 减去自举二极管 (D_{Boost}) 两端的电压降（通常约为0.5V），产生较低的高边电源电压。当自举电容充满时，自举二极管将阻断电流

并结束充电。低边晶体管的体二极管导通将导致自举电源充至低边电源电压加上体二极管导通压降，再减去自举二极管电压降。这些压降总体要小于最大允许的栅极电压。

5.3.2 自举电源回路设计

GaN 功率晶体管栅源电压约8V 时，完全导通。由于大多数栅极驱动芯片具有低于8V 或9V 的低压阈值保护功能， V_{CC} 常使用12V 辅助电源，可以避免误动作。 D_{Boost} 使用低容值、快速恢复二极管可以降低驱动损耗。 R_B 主要起限流的作用，在实际应用中取10~15 Ω 。如果上管自举电源使用隔离电源，隔离电容可能会与驱动回路的电感产生谐振，解决办法有两种：

- (1) 在自举电源回路中增加一个共模电感；
- (2) 优化回路布线，减少回路电感。

6 漏源极间吸收电路

在实际的应用电路中，功率回路中的寄生电感在晶体管关断时，引起晶体管漏源极间电压过冲和振荡。建议在功率回路中加入吸收电路 RC_{sn} ，可以限制功率回路的过冲和减小功率回路通过共源电感（CSI）对驱动回路的影响；推荐参数见产品数据手册。

按照以上方法，电源工程师可以快速设计出适合的氮化镓功率晶体管驱动电路。同时，有经验的电源工程师还可以在推荐参数范围内，根据实际情况对驱动电路参数优化，更好地发挥出氮化镓功率晶体管的性能。