

栅极驱动器输出峰值拉/灌电流测量方法

1 背景

根据 MOS 开通或关断过程分析（如图 1 所示），栅极电流是并非是一个连续的恒流源在持续工作，而是在开通和关断的瞬态对负载电容充放电的过程，因此输出峰值电流能力直接决定了上升下降时间以及米勒平台时间。在系统设计中尤为重要，以下通过不同的峰值电流测量方法得到栅极驱动器输出峰值拉/灌电流参数。

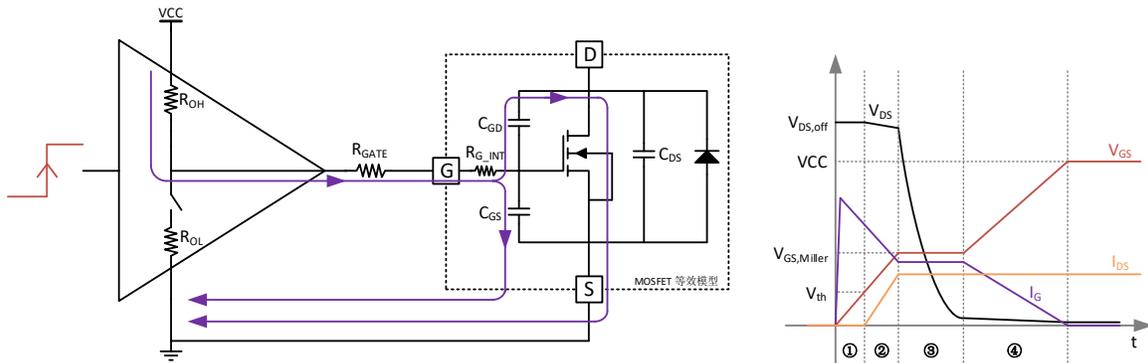


图 1 MOSFET 的开通过程

CA-IS3211、CA-IS3221 和 CA-IS3222 系列的输出级均采用特殊的推挽结构（如图 2），使得在驱动功率管的米勒平台阶段能够提供更大的峰值电流能力。输出极上拉网络采用一个 P 沟道 MOSFET 和一个 N 沟道 MOSFET 并联的结构。当输出由低至高变化时，低阻抗的 NMOS 优先快速短暂导通，同时可以加快功率管的导通。因此导通阶段输出电阻是两个导通电阻并联： $R_{OH} || R_{NMOS}$ 。 R_{OH} 约为 5.5Ω ， R_{NMOS} 约为 0.8Ω （仿真结果）。下拉结构仅包含了一个 N 沟道 MOSFET。 R_{OL} 约为 0.5Ω 。由于 MOS 输出级可以提供很小的压降，因此输出电压可以实现 V_{CC} 和 V_{EE} 之间的轨到轨工作。

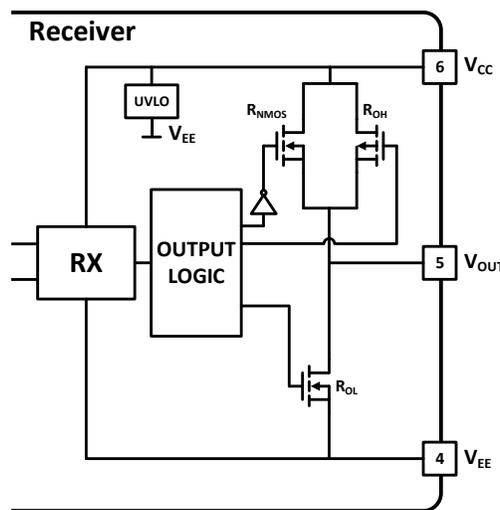


图 2 输出级结构

2 输出峰值电流理论计算

通过以下公式可以简单的计算出输出峰值电流。

I_{OH} 峰值电流估算公式:

$$I_{OH} = \min \left[5A, \frac{V_{CC} - V_{EE}}{(R_{NMOS} || R_{OH} + R_{GON} + R_{GFET_{int}})} \right] \quad 2-1$$

其中,

- R_{NMOS} 是上管并联 NMOS 导通电阻
- R_{OH} 是上管 PMOS 导通电阻
- R_{GON} 是外部栅极导通电阻
- $R_{GFET_{int}}$ 是功率管内部栅极电阻 (需查找功率管数据表)

I_{OL} 峰值电流估算公式:

$$I_{OL} = \min \left[6A, \frac{V_{CC} - V_{EE}}{(R_{OL} + R_{GOFF} + R_{GFET_{int}})} \right] \quad 2-2$$

其中,

- R_{OL} 是下管 NMOS 导通电阻
- R_{GOFF} 是外部栅极关断电阻
- $R_{GFET_{int}}$ 是功率管内部栅极电阻 (需查找功率管数据表)

3 输出峰值电流测量

方案 1: 理论估算法

用户可以根据公式 2-1 和公式 2-2 计算输出峰值电流。

方案 2: 直接法

栅极驱动电路可以等效成 RLC 串联阶跃响应模型, 我们可以直接通过电流探棒来测量流过电容的电流。如图 3 所示, 将电流探棒与电容串联, 通过示波器可以直观看到电容的充放电电流波形。

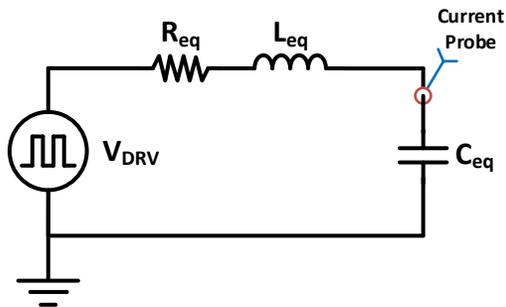


图 3 栅极驱动电路等效模型

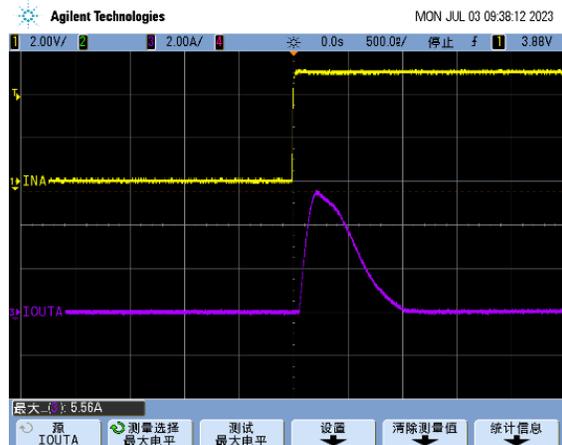


图 4 电容充电电流波形

方案 3: dV/dt 法

通过测量 C_{iss} 电容开关波形的 dV/dt 来确定拉电流或灌电流能力。如图 5 所示，使用游标测量 dV/dt ，代入公式 $I = C \frac{dV}{dt}$ 来计算出峰值电流。测量方法是把光标设置为固定的 100 ns 间隔并扫过上升/下降沿获得 dV/dt 值。原则上，将示波器的光标应该从上升沿 10%VDD 或下降沿 90%VDD 开始测量，因为此刻的峰值电流能力最大， dV/dt 最大。

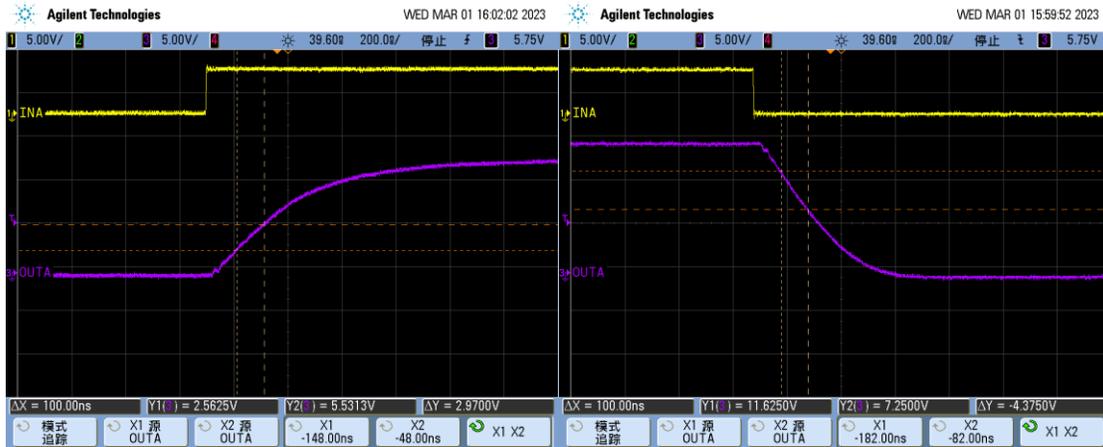


图 5 输出电容上升沿

图 6 输出电容下降沿

方案 4: 采样电阻法

图 7 方案是在负载电容上串联一个 100mΩ 的采样电阻，通过测量采样电阻电压，由欧姆定律计算出电容电流。

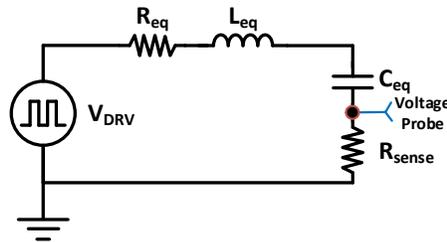


图 7 采样电阻测量方案

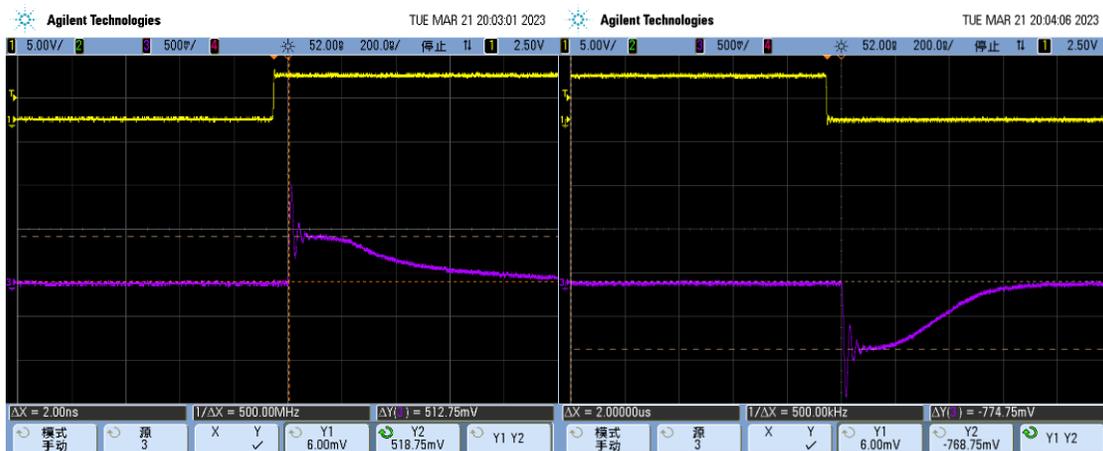


图 8 上升沿 V_{SENSE} 电压

图 9 下降沿 V_{SENSE} 电压

以 CA-IS3221CW (SOIC16-WB) 产品为例, 采样相同的 EVM 测试板, 负载电容为 180nF, VDD-VSS=15V, 外部栅极电阻为 0Ω, 对比四种方案测量的输出峰值电流结果。如下表所示:

方案	测量方法	计算结果
方案 1: 理论估算法	$I_{OH} = \min[5A, 15V / (5.5 0.8)]$ $I_{OL} = \min[6A, 15V / 0.5]$	$I_{OH} = 5A$ $I_{OL} = 6A$
方案 2: 直接法	$I_{OH} = 5.56A$ $I_{OL} = 8.19A$	$I_{OH} \approx 5.56A$ $I_{OL} \approx 8.19A$
方案 3: dV/dt 法	$I_{OH} = 180nF * 2.97V / 100n \approx 5.34A$ $I_{OL} = 180nF * 4.37V / 100n \approx 7.85A$	$I_{OH} \approx 5.34A$ $I_{OL} \approx 7.85A$
方案 4: 采样电阻法	$I_{OH} = 512.75mV / 100m\Omega \approx 5.12A$ $I_{OL} = 774.75mV / 100m\Omega \approx 7.74A$	$I_{OH} \approx 5.12A$ $I_{OL} \approx 7.74A$

[注]以上测试方法和结果供参考, 在实际设计中, 需要综合考虑功率器件的功耗、栅极过冲电压、EMC 和可靠性等。

4 总结

本文主要介绍了栅极驱动器输出峰值电流不同的测量方法, 并得知栅极电流是瞬态工作的过程。通过本次的实验希望可以帮忙用户更好了解驱动芯片的输出峰值电流参数以及如何设计和测量栅极驱动电流, 最终达到优化米勒平台带来的功耗以及系统可靠性的目的。

5 Revision History

Revision	Notes	Page	Editor	Date
Rev 1.0	Initial publish	All	Robin	2023/7/1

重要声明

上述资料仅供参考使用，用于协助 Chipanalog 客户进行设计与研发。Chipanalog 有权在不事先通知的情况下，保留因技术革新而改变上述资料的权利。

Chipanalog 产品全部经过出厂测试。针对具体的实际应用，客户需负责自行评估，并确定是否适用。Chipanalog 对客户使用所述资源的授权仅限于开发所涉及 Chipanalog 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，Chipanalog 对此概不负责。

商标信息

Chipanalog Inc.®、Chipanalog®为 Chipanalog 的注册商标。



<http://www.chipanalog.com>