

本文主要阐述了在驱动芯片应用中，半桥中点出现的负压，分析其原因并且通过实验如何正确处理。

驱动芯片与 VS 负压的产生

电力电子电路中，桥式电路应用非常广泛。图 1 显示了一个半桥驱动芯片驱动半桥电路的典型电路示意图。基本工作原理如下：当 HIN 为高时，输出 HO 为高，上管 M1 打开，电流从 BUS 通过 M1 流到负载端。当 LIN 为高时，输出 LO 为高，下管 M2 打开，电流通过 M2 续流。由于线路上有寄生电感，在上管关断，下管开通的瞬态切换过程中，在寄生电感中将产生压降，导致 VS 端将产生负压，如图 2 所示。VS 负压端的大小，可由下述公式表示：

$$V_S - V_{SS} = -V_{FD} - (L_{VSS-} + L_{S2}) * dI_L / d_t - L_{S1} * dI_H / d_t$$

由上述公式可知，Vs 的负压大小主要取决于如下参数：电流变化的斜率，寄生电感的大小。电流变化的斜率越大，尤其是在输出短路的情况下，Vs 负压也越大。寄生电感越大，Vs 负压也越大。

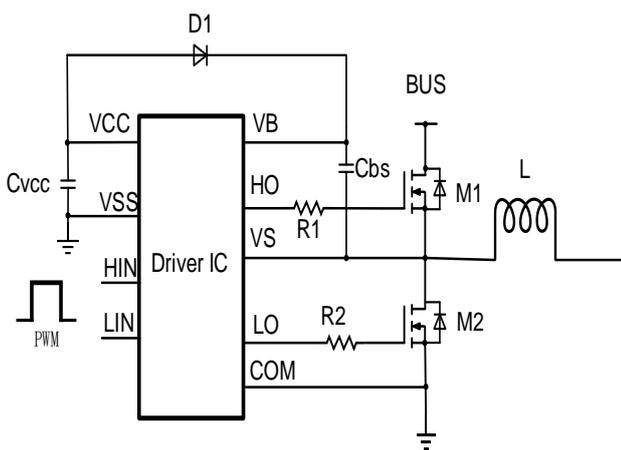


图 1. 理想典型驱动芯片与半桥电路示意图

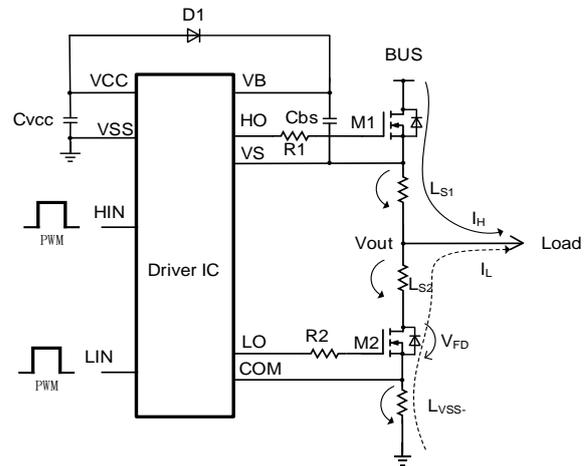


图 2. 带寄生电感导致 VS 电压低于 VSS

VS 负压的影响

一般在驱动芯片规格书中规定了最大的 VS 与 VSS (COM) 之间的负压和推荐的工作条件。

由于芯片内部含有寄生的二极管及 latch up 机制，当 VS 负压过大时，会导致芯片损坏或逻辑异常。

如图 3 所示，当采用隔离的高边电源，当 VS 电压低于隔离电源 Vbs 电压时，导致 VB 电压低于 COM 端时，芯片内部二极管 D3 存在导通风险。

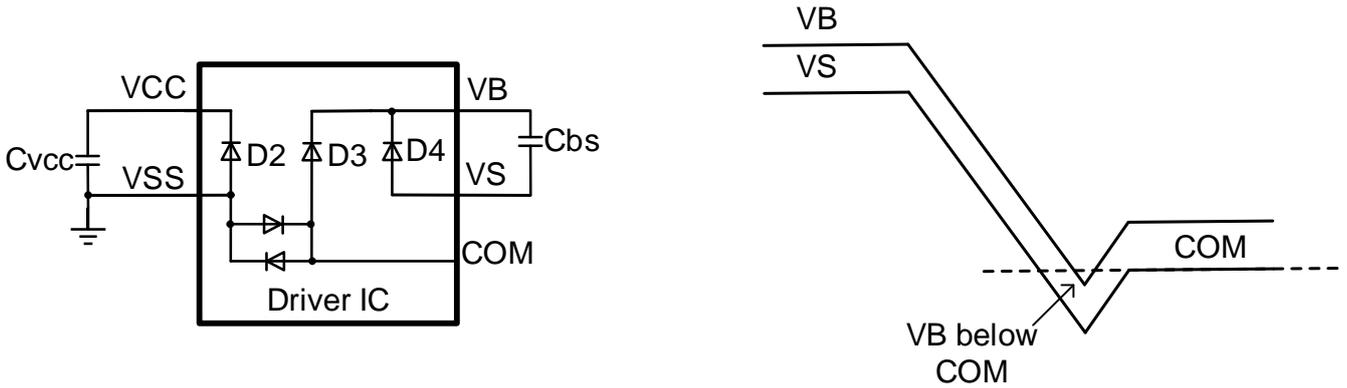


图 3. 高边的浮动电源与瞬态负电压 VB,VS 波形

如图 4 所示，当高边电源采用 bootstrap 方式时，由于 VS 瞬间出现负压，将导致 VB 到 VS 的电压升高，当 VBS 电压大于芯片使用的最高值时，芯片也将损坏。VBS 为浮动电源，考虑极端情况，上管导通时发生短路，一旦上管关断，短路大电流将通过下管体二极管。若此时的 di/dt 将使得 VS 非常小，VB 与 VS 间电压超过芯片的使用范围。

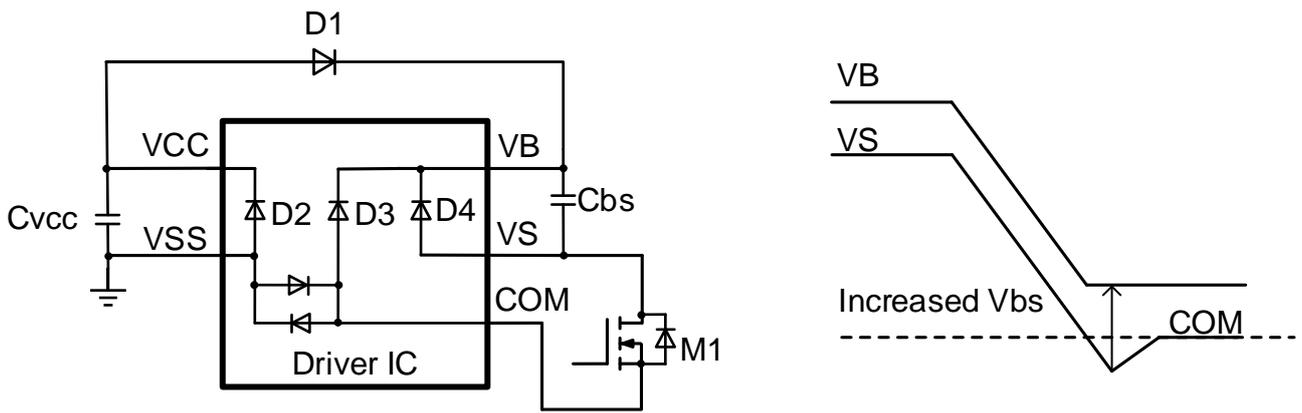


图 4. Bootstrap 电路与瞬态负电压 VB,VS 波形

VS 负压幅值过大，有大电流从 VS 脚流出，会干扰芯片内部衬底，从而干扰内部电路对输入信号电平的正确判断，导致输出信号不受输入信号控制。

VS 负压对应策略

为了降低 VS 负压，优化 PCB 布局降低寄生电感是最有效的。PCB 布局可以采用如下一些手段：如上下功率管的摆放尽量靠近；驱动芯片靠近被驱动功率管以减少驱动芯片地到功率器件地。

另外一个途径是降低 di/dt 值。比较简单的办法是增大关断电阻 R1，但以此同时，需要考虑可能会带来效率低下的问题。

还有一个方法是如图 5 所示，推荐在 VS 端与 Vout 间串入电阻 Rvs，大约几欧姆。需注意的是：此时 Rvs 将参与高边功率管的开通和关断，也将使得 MOS 管的开通与关断变得缓慢。

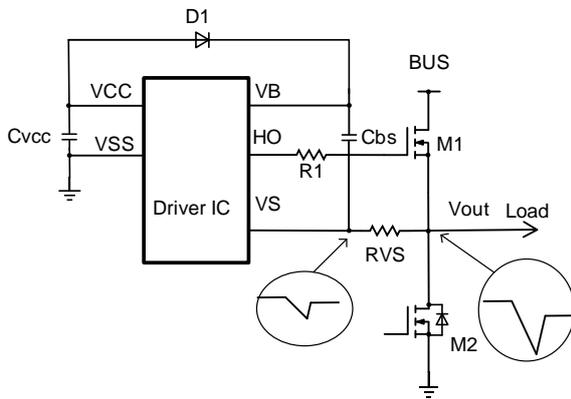


图 5. Rvs 连接电路

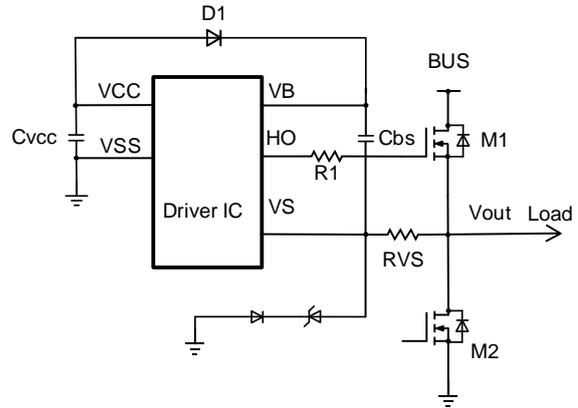


图 6. VS 端增加反向二极管和稳压管

为了使得 VB 与 VS 间的电压差小于 V_{BS_ABSMAX} ，推荐在 VS 与 VSS 间加入一个稳压管与高压二极管串联。 $V_B - V_S \leq V_{BS_ABSMAX}$ ，则稳压管耐压值选择需考虑：

$$V_Z \leq V_{BS_ABSMAX} - V_{CC}$$

SLM2304 试验验证

实测：SLM2304 负压测试对比

✓ 图 7~图 8：实测 SLM2304 的负压波形。

SLM2304 负压测试波形

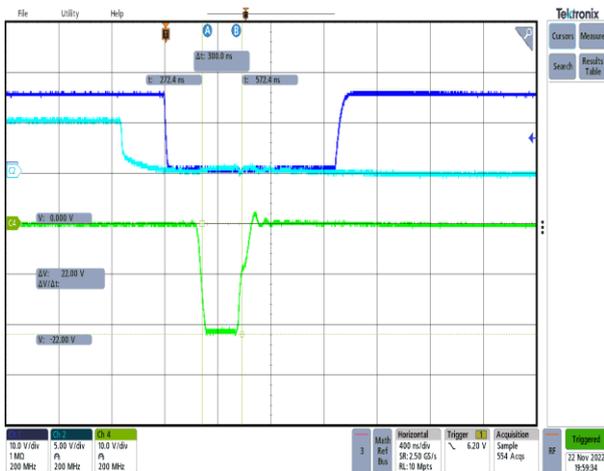


图 7. SLM2304 VS 端没有串联电阻 -22V 300ns 负压波形

CH1: HO; CH2: HIN; CH4: VS

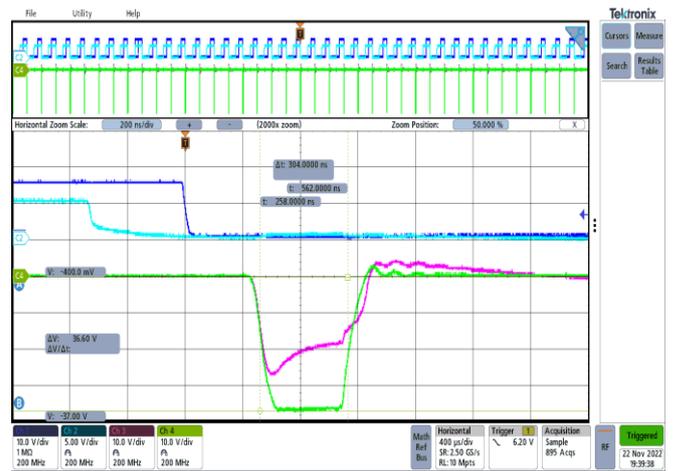


图 8. SLM2304 串联电阻 Rvs=10ohm -37V 300ns 负压波形

CH1: HO; CH2: HIN; CH3: 芯片端 VS; CH4: 半桥中点 VS

从图 7，图 8 对比可看出，VS 端未串联电阻，在 300ns，负压 22V 就出现了波形异常，而 VS 端串联了 10Ω电阻，负压达到了 37V 才出现异常。另外如图 8 所示，在半桥中点有 37V 的负压，而芯片端的 VS 电压最大值只存在了 20V 附近，大大降低了芯片端的负压值；从而有效的抑制了外部负压的数值，相当于提高了芯片的耐负压能力。

测试总结

VS 的负压大小与持续时间关系到驱动芯片的安全、正常工作。瞬态负压的大小主要取决于寄生电感，电流变化的速率。通过对外围电路的有效设计，可以增强驱动芯片在系统对负压的耐受能力，使其能在恶劣工况中安全工作。

参考资料

1. [数明 HVIC 栅极驱动器应用手册](#)
2. **SLM2304 规格书**