

RX32SD25 应用笔记

文档编号：AN00009

栅极驱动器自举电路配置

版本：V1.0

目录

1 简介	5
2 自举电路基本原理	6
2.1 自举电路充/放电过程	6
3 自举元件选择	8
3.1 自举电容	8
3.2 自举二极管	8
4 版本历史	12

表目录

表 4.1 版本历史.....	12
-----------------	----

图目录

图 2.1 半桥电路示意图	6
图 2.2 自举充电路径	6
图 2.3 自举电容放电路径	7
图 3.1 RX32SD25 自举二极管 IV 曲线	9
图 3.2 RX32SD25 自举二极管 RV 曲线	10

1 简介

在半桥配置中，MOSFET 驱动为开发人员带来了不少的挑战。其中，上桥的稳定开关就为工程师带来不少困扰。本文以 RX32SD25（S11 合封一片全桥栅极驱动器）为例，介绍自举电路中的不同元件，以及如何选择合适的元件，以帮助工程师进行栅极驱动电路的设计和开发。

2 自举电路基本原理

半桥电路示意图如下图所示，其中 R_{load} 代表半桥负载。

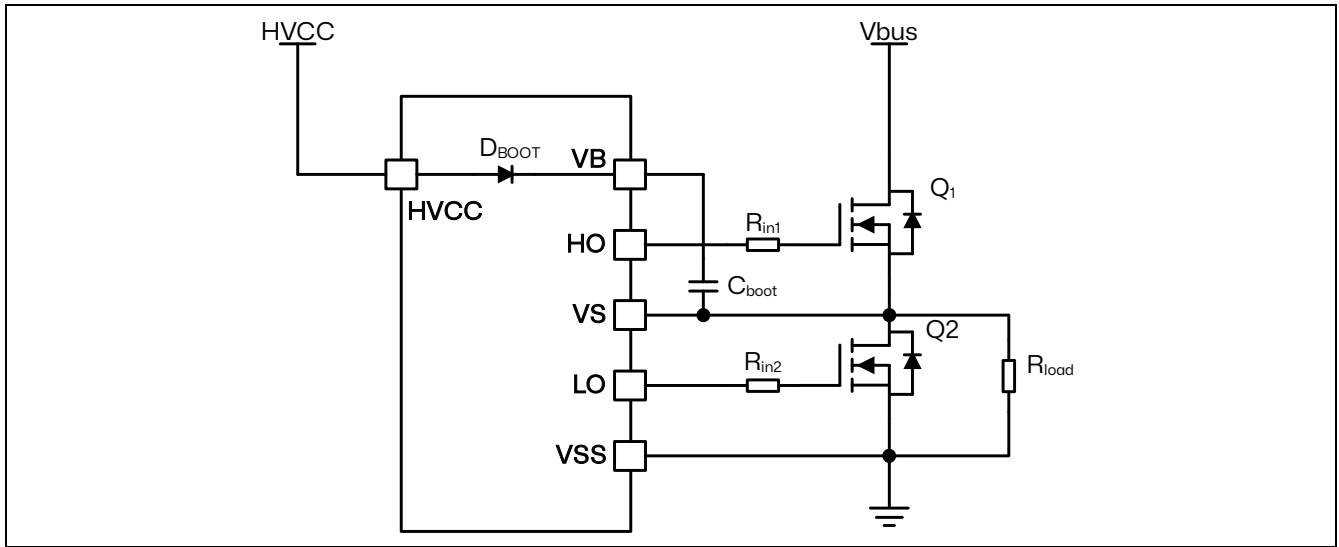


图 2.1 半桥电路示意图

2.1 自举电路充/放电过程

自举电路采用半桥配置来为上桥 MOSFET 提供偏置。自举电路的充电路径如下图所示。当下桥 MOSFET 导通时，VS 引脚和开关节点被拉至 VSS，HVCC 经由自举二极管为自举电容充电。

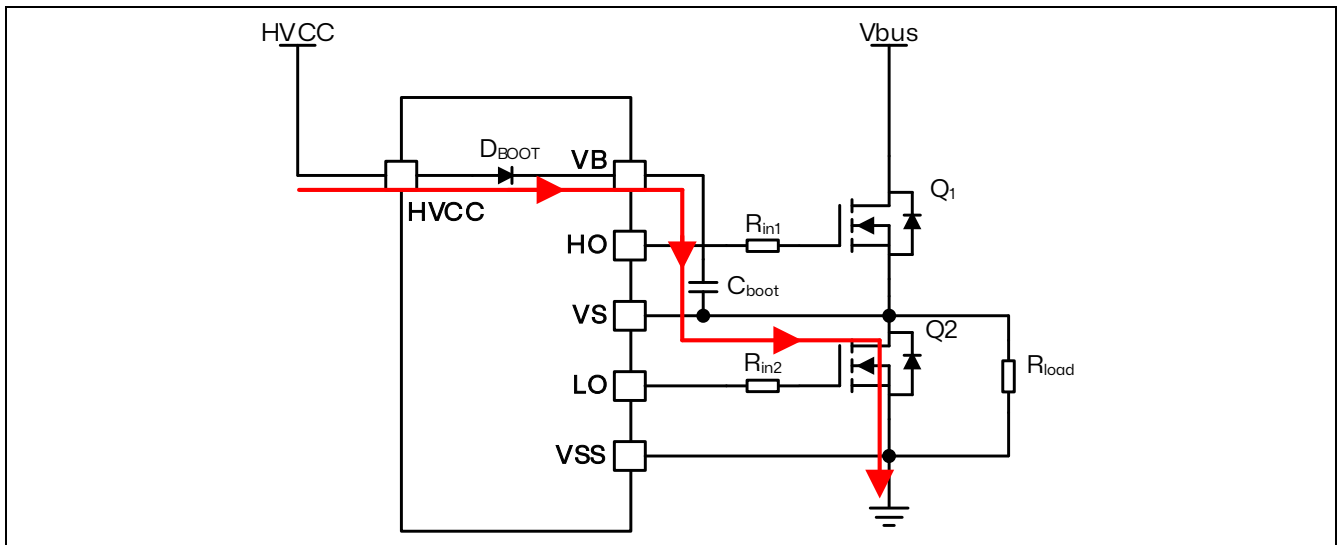


图 2.2 自举充电路径

当下桥的 MOSFET 关断，然后上桥的 MOSFET 导通时，VS 的引脚和开关节点被拉至 Vbus，自举电容通过栅极驱动器的 HO 和 VS 引脚将充电过程中存储的电压放电至上桥 MOSFET，如下图所示。

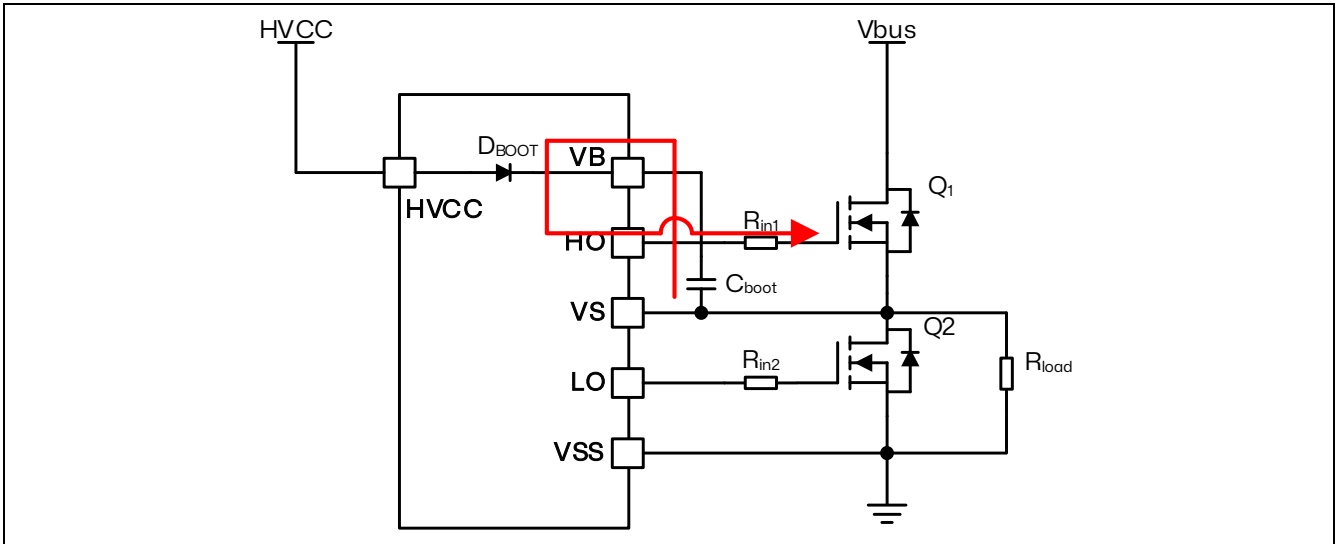


图 2.3 自举电容放电路径

3 自举元件选择

3.1 自举电容

自举电容的选择是自举电路设计的第一步，因为它是直接为上桥 MOSFET 提供栅极驱动能量的重要元件。根据一般经验法则，该自举电容在确保能给上桥 MOSFET 的栅极提供足够驱动能量的同时，不能导致损耗超过 10%。该自举电容至少比上桥的栅极电容大 10 倍。其原因是需要考虑直流偏置和温度导致的电容变化，另外还有负载瞬态期间跳过的周期。栅极电容计算公式如下所示：

$$C_g = \frac{Q_g}{V_{BS}} = \frac{38.4nC}{11.3V} = 3nF$$

其中， Q_g 为栅极电荷；

$$V_{BS} = HVCC - V_{D_{BOOT}} = 12V - 0.7V = 11.3V$$

其中， $V_{D_{BOOT}}$ 为自举二极管上的正向压降。

确定栅极电荷后，可以通过一般经验法则估算自举电容的最小值：

$$C_{boot} \geq 10 \times C_g = 10 \times 3nF = 30nF$$

为了更精准的计算最小自举电容值，可以参考以下内容：

为确保系统正常运行，自举电容必须确保 V_{BS} 电压高于 V_{BSUV-} (V_{BS} 欠电压负向阈值)，即自举电容允许的最大压降为：

$$\Delta V_{BS} = HVCC - V_{D_{BOOT}} - V_{BSUV-} = 12V - 0.7V - 5.4V = 5.9V$$

每个开关周期所需的总电荷为：

$$Q_{total} = Q_g + I_{LK} \times \frac{D_{max}}{f_{sw}} + \frac{I_{QBS}}{f_{sw}} = 38.4nC + 10\mu A \times \frac{0.9}{20KHz} + \frac{65\mu A}{20KHz} = 42.1nC$$

其中， Q_g 为总 MOSFET 栅极电荷， I_{LK} 为 VB 到 VSS 的漏电流， D_{max} 为最大占空比， f_{sw} 为载频频率， I_{QBS} 为高侧 VBS 静态电流。

最后可以估算最小自举电容值：

$$C_{boot} \geq \frac{Q_{total}}{\Delta V_{BS}} = \frac{42.1nC}{5.9V} = 7.14nF$$

实际应用中， C_{boot} 的电容值必须大于计算值才能确保在功率级可能因负载瞬态而发生脉冲跳跃的情况下正常使用。有些应用需要限制最大自举电容纹波（远小于 5.9V），因此需要较大的自举电容，常见无刷电机自举电容为 1uF 或者 2.2uF，具体以实际系统设计为准。

3.2 自举二极管

RX32SD25 合封的栅极驱动内嵌一颗自举二极管，该自举二极管的正向电流最大为 50mA 左右。该二极管的 IV 曲线如下图所示。

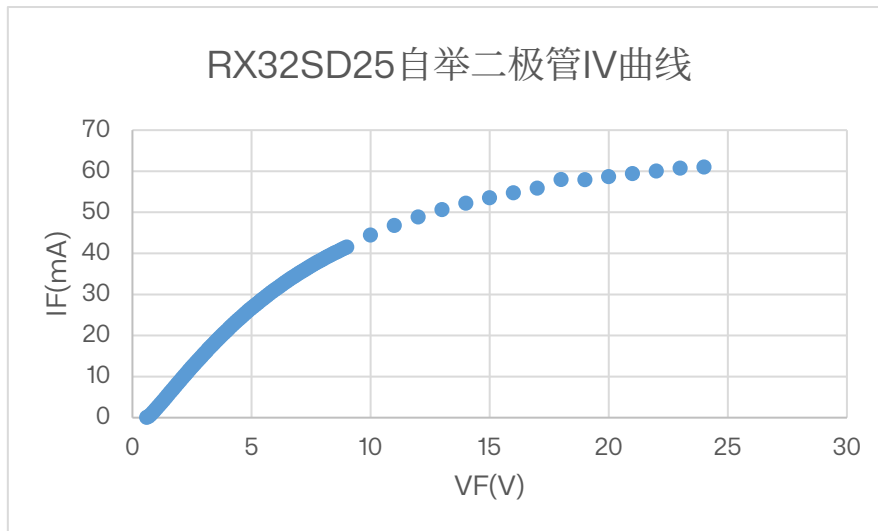


图 3.1 RX32SD25 自举二极管 IV 曲线

因此可以推算，自举二极管的等效电阻与 VF 的关系如下图所示。

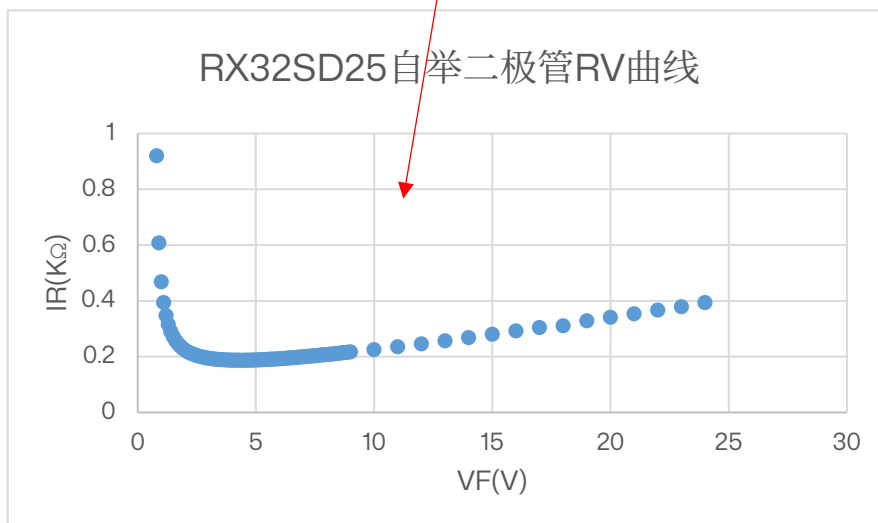
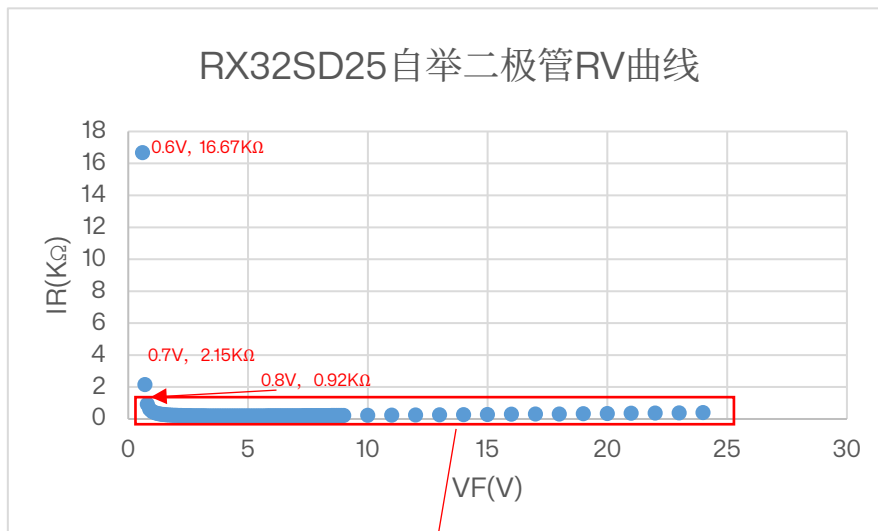


图 3.2 RX32SD25 自举二极管 RV 曲线

自举电容充电公式如下所示：

$$Q = I \times T = I \times \frac{1 - \text{Duty}}{f_{\text{sw}}}$$

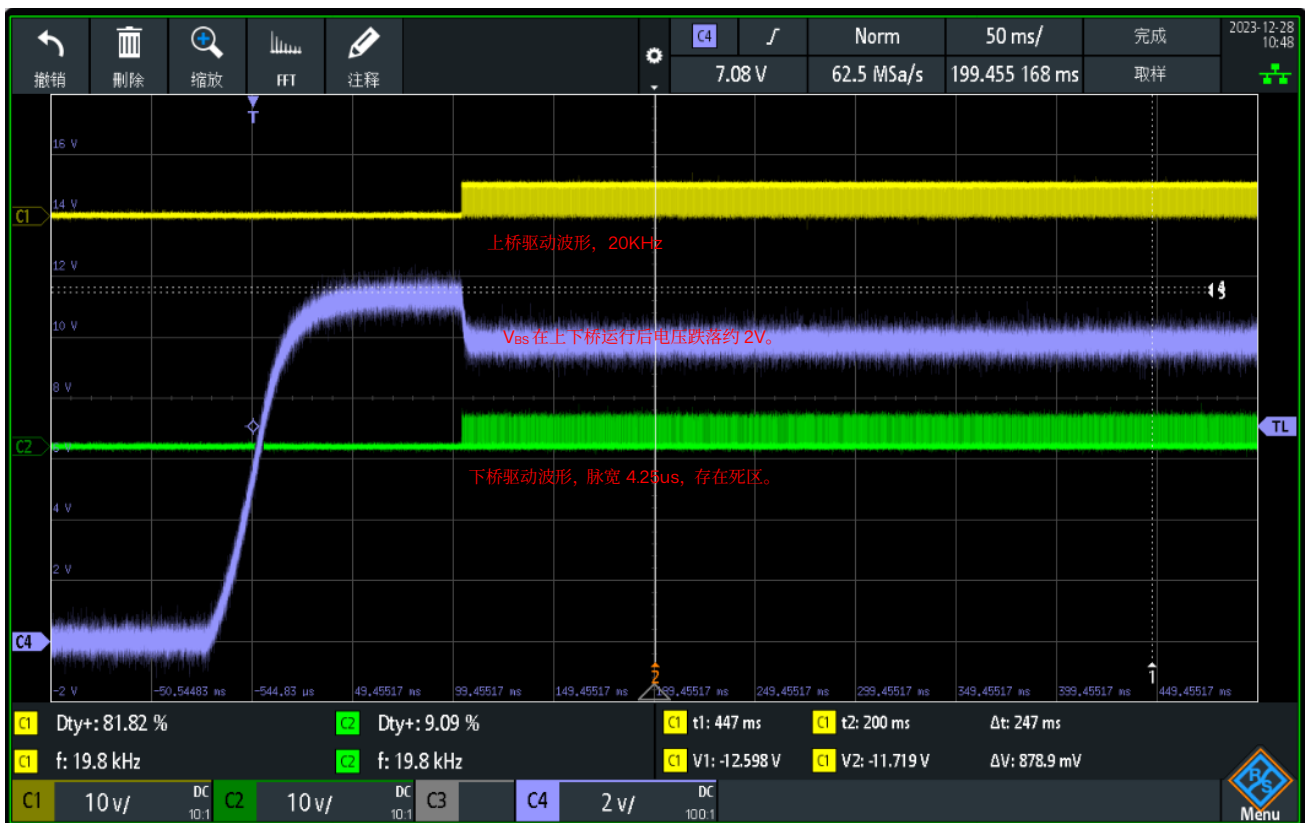
其中， I 为电容充电平均电， Duty 为上桥占空比， f_{sw} 为载频频率。因此可以用该公式估算系统运行过程中，可使用的最大 Duty 或者可能的 V_B 电压波动。

$$\text{Duty} = 1 - \frac{Q \times f_{\text{sw}}}{I}$$

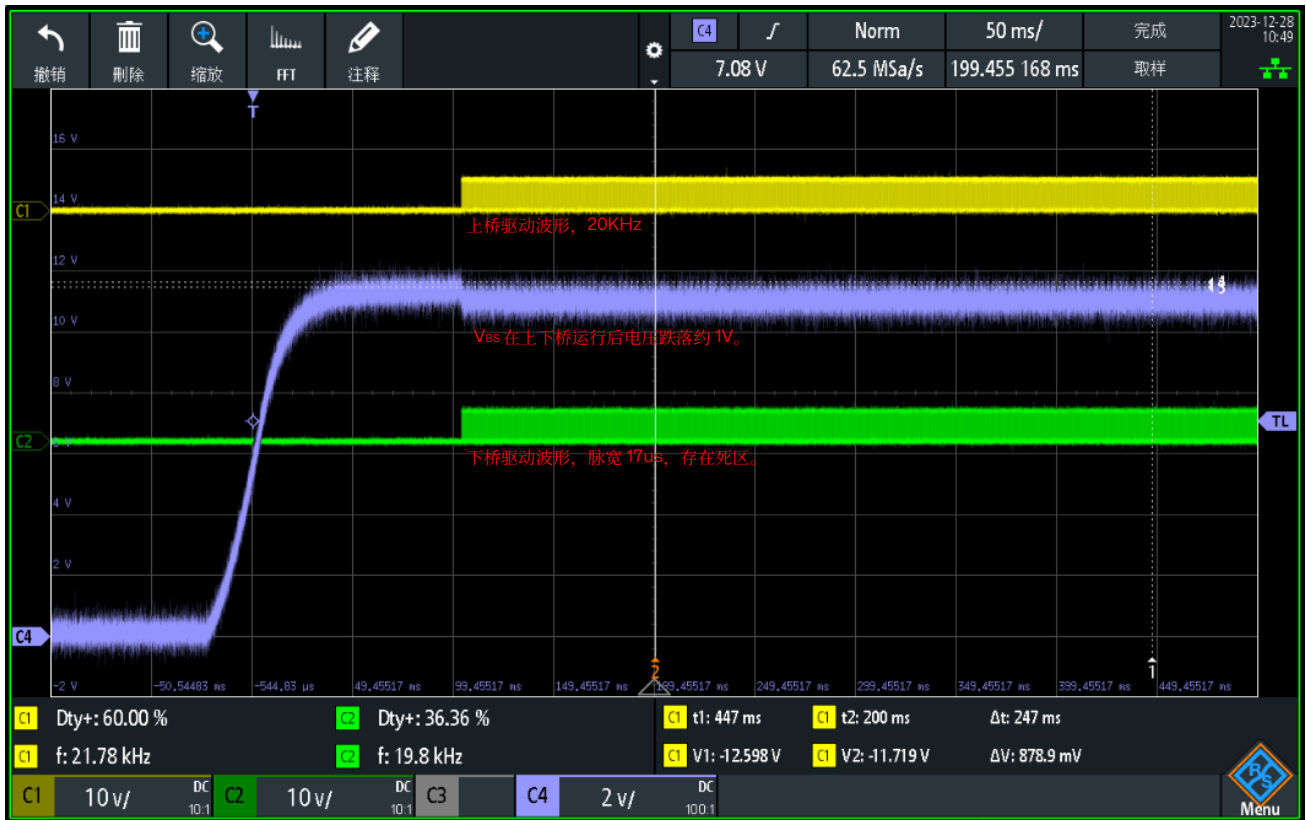
$$I = \frac{Q \times f_{\text{sw}}}{1 - \text{Duty}}$$

以 RX32SD25 为例，测试环境的 MOSFET 的 $R_{\text{DS(ON)}}$ 约为 $8.5\text{m}\Omega$ ，而内置自举二极管的等效内阻约为 200Ω ，因此主要充电限制来自于内置自举二极管的 IV 曲线，而且随着自举电容充电，自举电压上升，自举二极管正向电压不断降低，充电能力也逐渐降低。

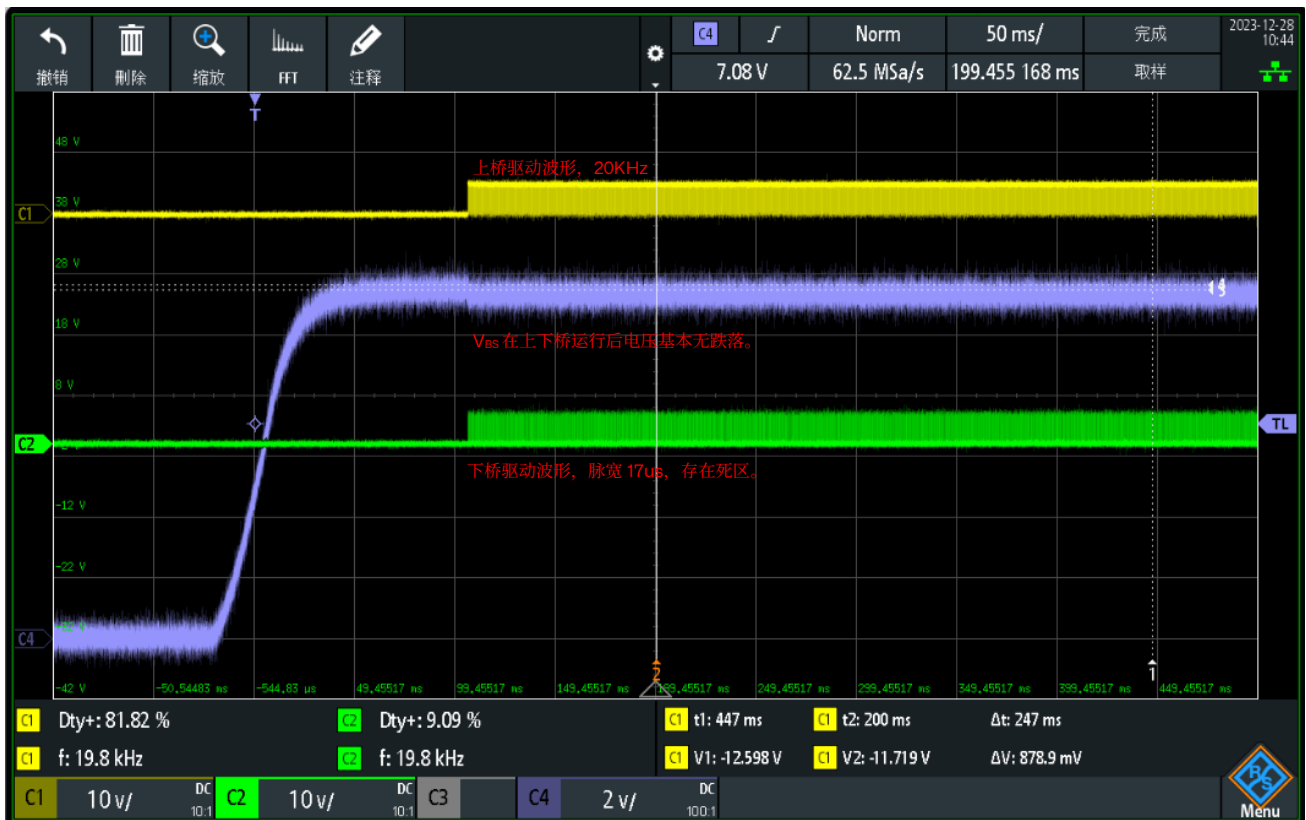
根据上文可知， $\text{Duty} = 90\%$ 时， $Q = 42.1\text{nC}$ ， $f_{\text{sw}} = 20\text{KHz}$ 可以计算得到需要平均充电电流达到 8.42mA ，因此导致 V_B 电压跌落大于 2V 。实测实验结果如下。此时建议降低 Duty 以增加下桥占空比或者外加自举二极管提升自举二极管充电能力。



根据上文可知， $\text{Duty} = 62.5\%$ 时， $Q = 41.96\text{nC}$ ， $f_{\text{sw}} = 20\text{KHz}$ 可以计算得到需要平均充电电流达到 2.25mA ，因此导致 V_B 电压跌落大于 1V 。实测实验结果如下。



根据上文可知, Duty = 90%时, $Q=42.1Nc$, $f_{sw}=20KHz$, 通过外加自举二极管保证充电能力后, 测试结果如下。



4 版本历史

表 4.1 版本历史

日期	版本	更改内容
2023 年 12 月 29 日	V1.0	初版