

# 详解MOSFET的驱动技术及应用

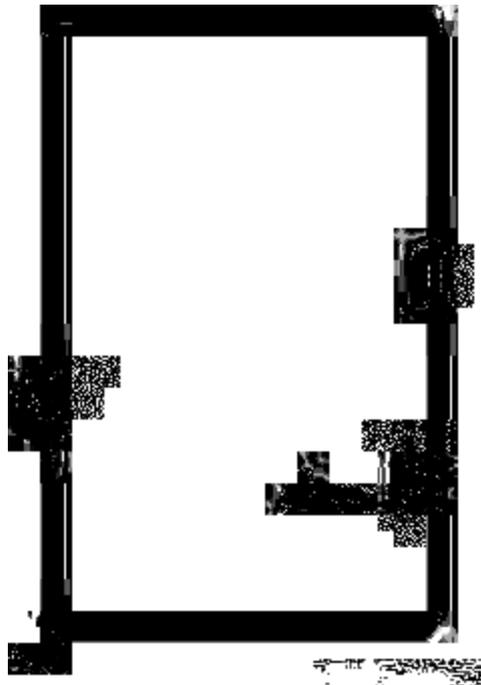
2011-01-14 15:32:34 文章来源: OFweek电子工程网

导读: MOSFET作为功率开关管, 已经是是开关电源领域的绝对主力器件。虽然MOSFET作为电压型驱动器件, 其驱动表面上看来是非常简单, 但是详细分析起来并不简单。

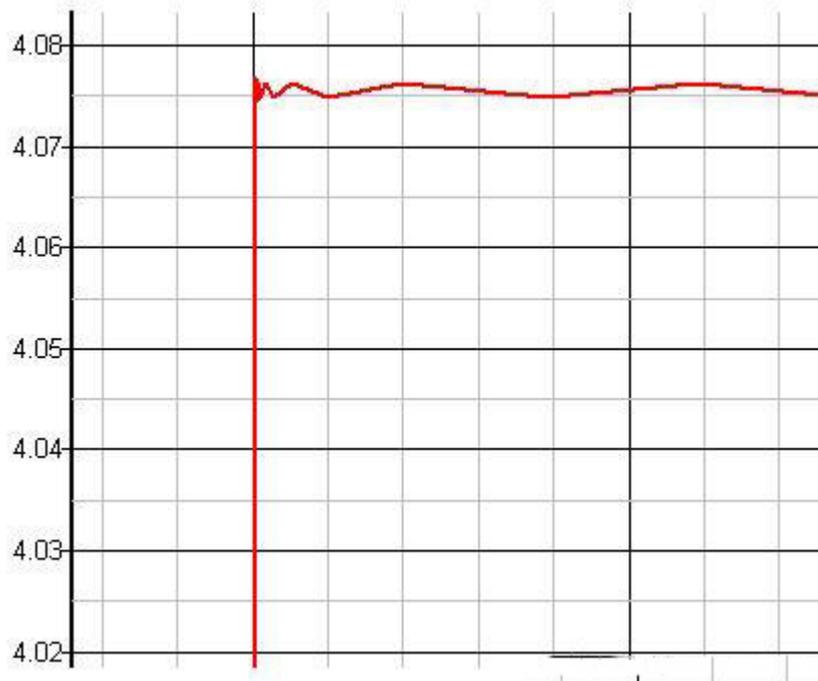
- 关键字
- MOSFET 驱动 应用

MOSFET作为功率开关管, 已经是是开关电源领域的绝对主力器件。虽然MOSFET作为电压型驱动器件, 其驱动表面上看来是非常简单, 但是详细分析起来并不简单。下面我会花一点时间, 一点点来解析MOSFET的驱动技术, 以及在不同的应用, 应该采用什么样的驱动电路。

首先, 来做一个实验, 把一个MOSFET的G悬空, 然后在DS上加电压, 那么会出现什么情况呢? 很多工程师都知道, MOS会导通甚至击穿。这是为什么呢? 因为我根本没有加驱动电压, MOS怎么会导通? 用下面的图, 来做个仿真:



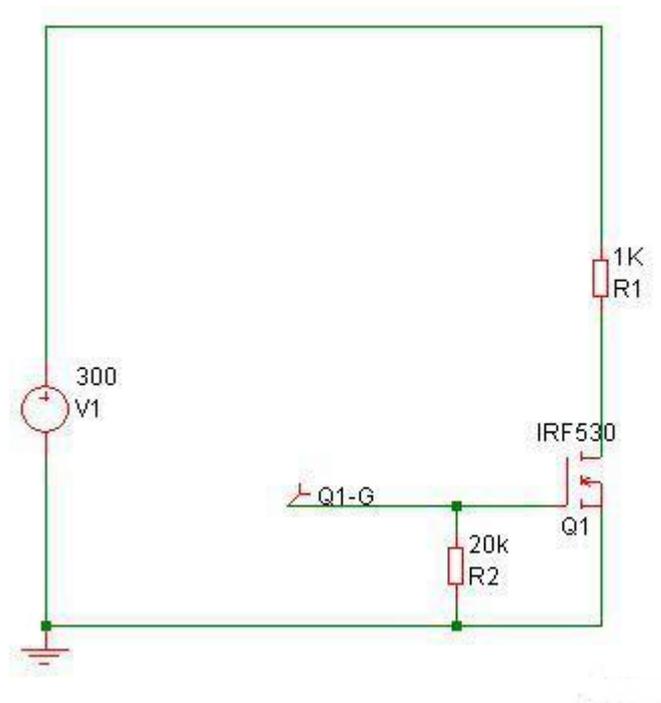
去探测G极的电压, 发现电压波形如下:



G极的电压居然有4V多，难怪MOSFET会导通，这是因为MOSFET的寄生参数在捣鬼。

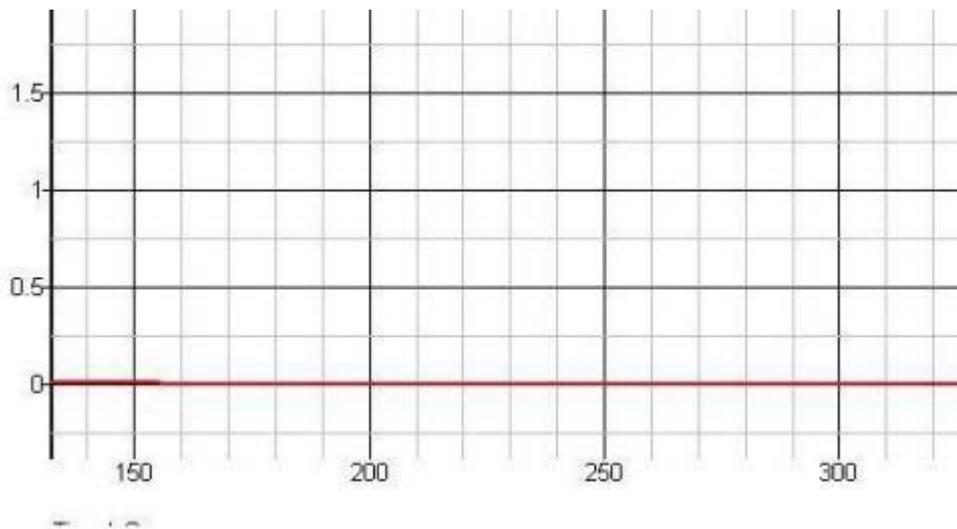
这种情况有什么危害呢？实际情况下，MOS肯定有驱动电路的么，要么导通，要么关掉。问题就出在开机，或者关机的时候，最主要是开机的时候，此时你的驱动电路还没上电。但是输入上电了，由于驱动电路没有工作，G级的电荷无法被释放，就容易导致MOS导通击穿。那么怎么解决呢？

在GS之间并一个电阻。



那么仿真的结果呢：

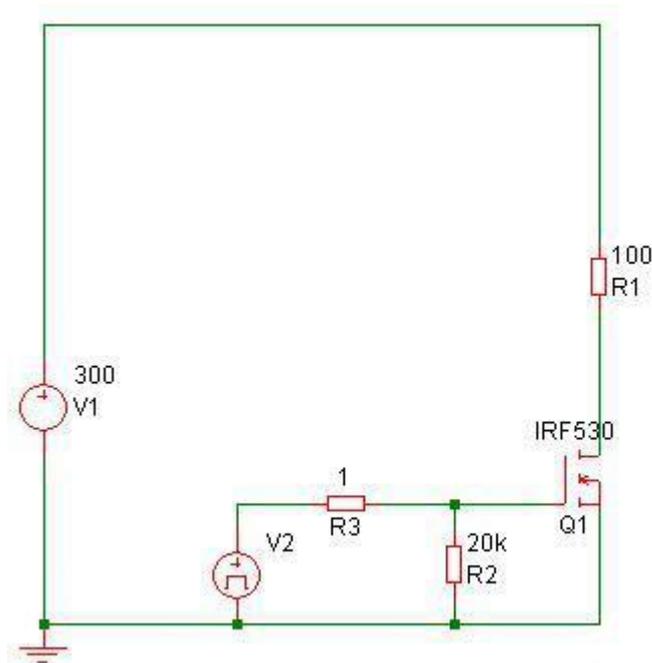
几乎为0V.



什么叫驱动能力，很多PWM芯片，或者专门的驱动芯片都会说驱动能力，比如384X的驱动能力为1A，其含义是什么呢？

假如驱动是个理想脉冲源，那么其驱动能力就是无穷大，想提供多大电流就给多大。但实际中，驱动是有内阻的，假设其内阻为10欧姆，在10V电压下，最多能提供的峰值电流就是1A，通常也认为其驱动能力为1A。

那什么叫驱动电阻呢，通常驱动器和MOS的G极之间，会串一个电阻，就如下图的R3。



驱动电阻的作用，如果你的驱动走线很长，驱动电阻可以对走线电感和MOS结电容引起的震荡起阻尼作用。但是通常，现在的PCB走线都很紧凑，走线电感非常小。

第二个，重要作用就是调解驱动器的驱动能力，调节开关速度。当然只能降低驱动能力，而不能提高。

对上图进行仿真，R3分别取1欧姆，和100欧姆。下图是MOS的G极的电压波形上升沿。



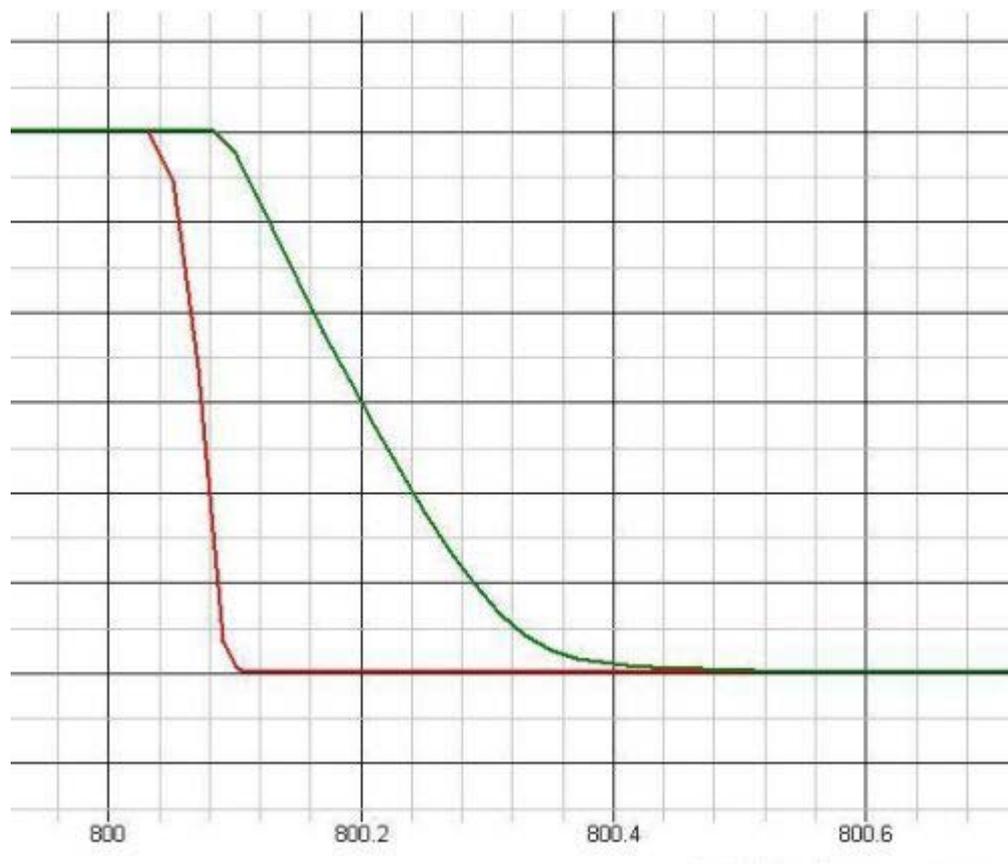
红色波形为 $R_3=1$ 欧姆，绿色为 $R_3=100$ 欧姆。可以看到，当 $R_3$ 比较大时，驱动就有点力不从心了，特别在处理米勒效应的时候，驱动电压上升很缓慢。

下图，是驱动的下沿



同样标称7A的mos，不同的厂家，不同的器件，参数是不一样的。所以没有什么公式可以去计算。

那么驱动的快慢对MOS的开关有什么影响呢？下图是MOS导通时候DS的电压：



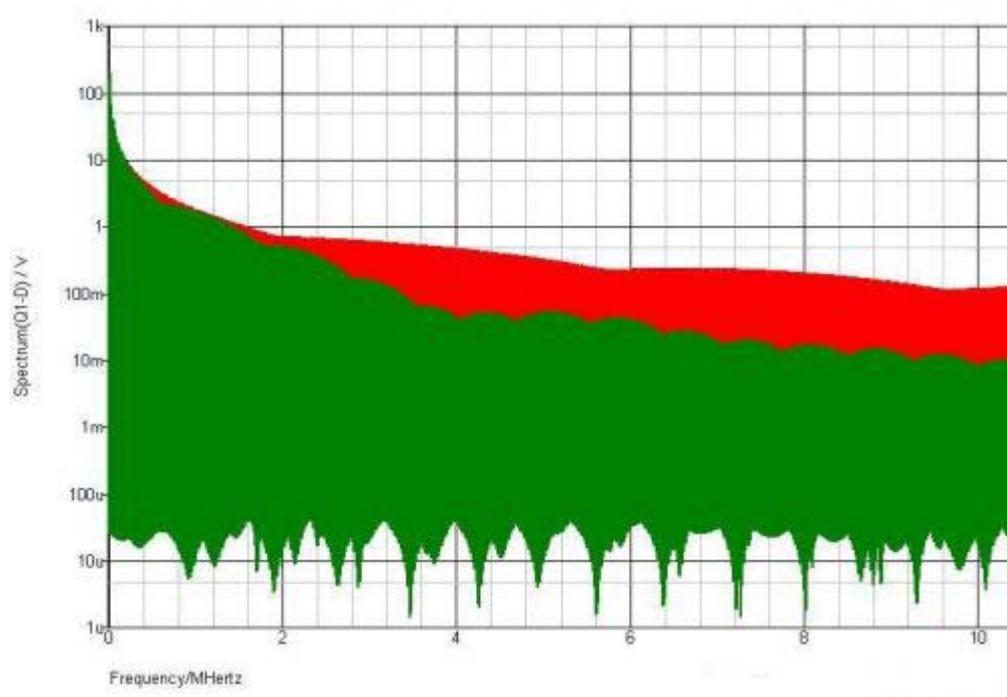
红色的是R3=1欧姆，绿色的是R3=100欧姆。可见R3越大，MOS的导通速度越慢。

下图是电流波形



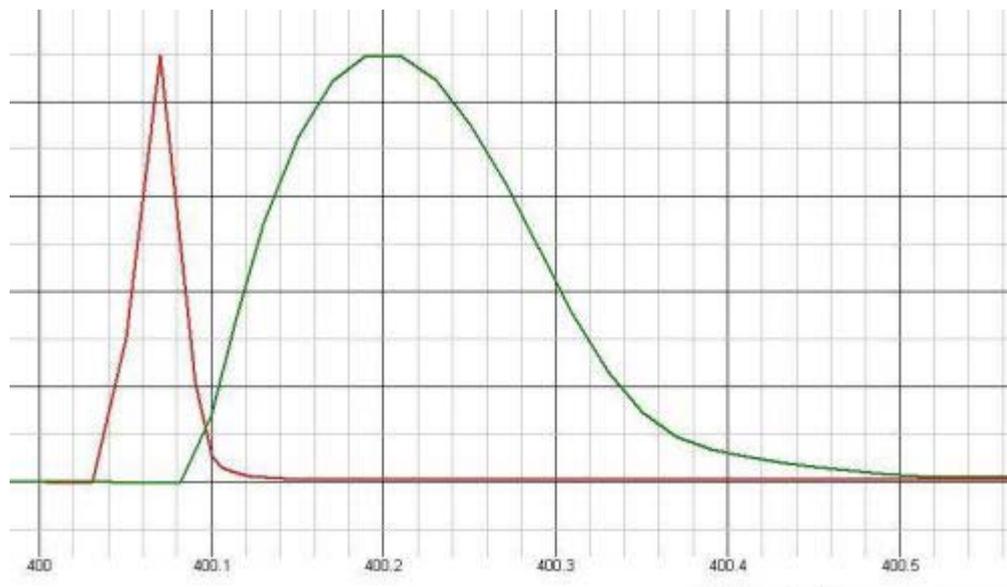
红色的是 $R_3=1$ 欧姆，绿色的是 $R_3=100$ 欧姆。可见 $R_3$ 越大，MOS的导通速度越慢。

可以看到，驱动电阻增加可以降低MOS开关的时候得电压电流的变化率。比较慢的开关速度，对EMI有好处。下图是对两个不同驱动情况下，MOS的DS电压波形做付利叶分析得到



红色的是 $R_3=1$ 欧姆，绿色的是 $R_3=100$ 欧姆。可见，驱动电阻大的时候，高频谐波明显变小。

但是驱动速度慢，又有什么坏处呢？那就是开关损耗大了，下图是不同驱动电阻下，导通损耗的功率曲线。

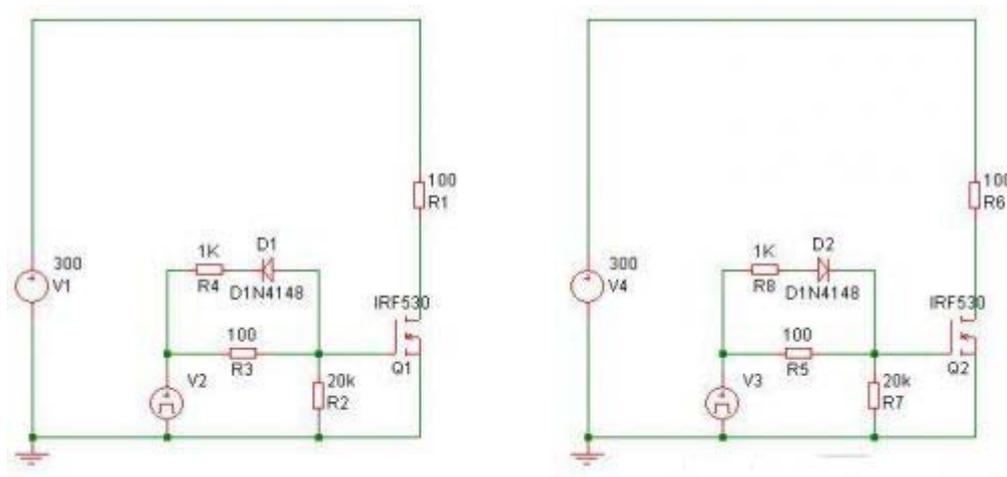


红色的是 $R_3=1$ 欧姆，绿色的是 $R_3=100$ 欧姆。可见，驱动电阻大的时候，损耗明显大了。

结论：驱动电阻到底选多大？还真难讲，小了，EMI不好，大了，效率不好。

所以只能一个折中的选择了。

那如果，开通和关断的速度要分别调节，怎么办？就用以下电路。



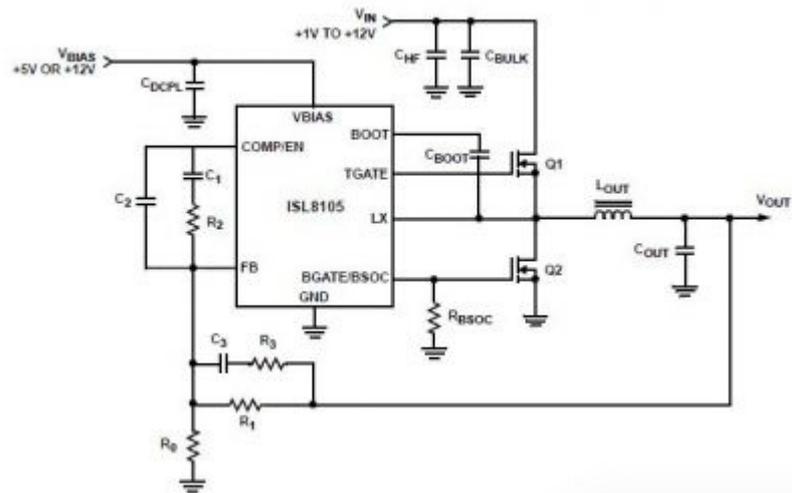
MOSFET的自举驱动。

对于NMOS来说，必须是G极的电压高于S极一定电压才能导通。那么对于对S极和控制IC的地等电位的MOS来说，驱动根本没有问题，如上图。

但是对于一些拓扑，比如BUCK（开关管放在上端），双管正激，双管反激，半桥，全桥这些拓扑的上管，就没办法直接用芯片去驱动，那么可以采用自举驱动电路。

看下图的BUCK电路：

Typical Application Diagram

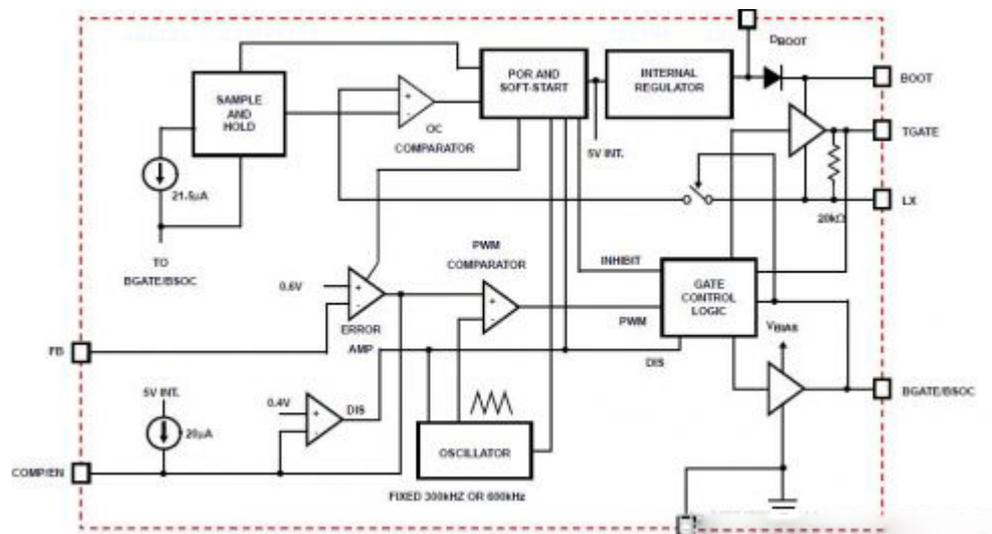


加入输入12V，MOS的导通阈值为3V，那么对于Q1来说，当Q1导通之后，如果要维持导通状态，Q1的G级必须保证15V以上的电压，因为S级已经有12V了。

那么输入才12V，怎么得到15V的电压呢？

其实上管Q1驱动的供电在于 Cboot。

看下图，芯片的内部结构：

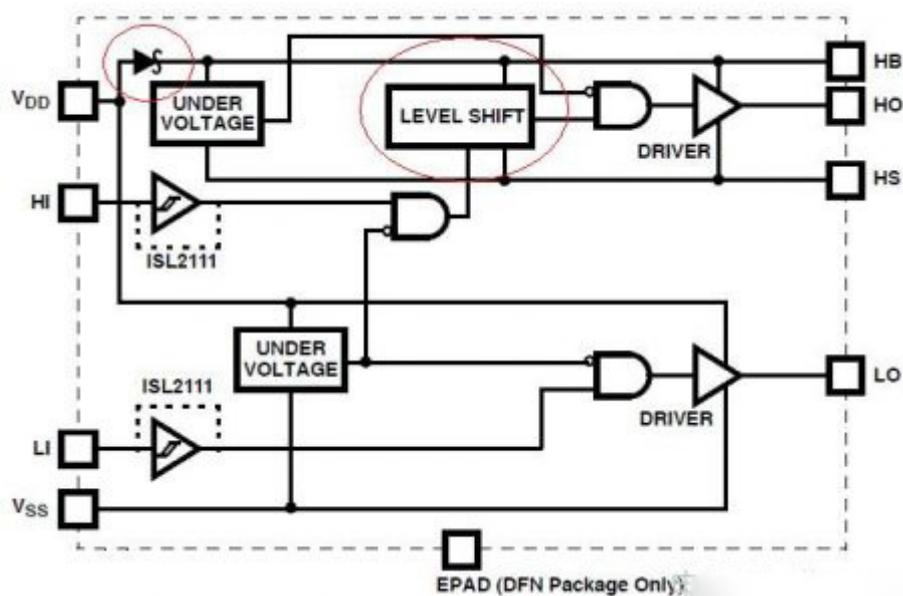


Cboot是挂在boot和LX之间的，而LX却是下管的D级，当下管导通的时候，LX接地，芯片的内部基准通过Dboot（自举二极管）对Cboot充电。当下管关，上管通的时候，LX点的电压上升，Cboot上的电压自然就被举了起来。这样驱动电压才能高过输入电压。

当然芯片内部的逻辑信号在提供给驱动的时候，还需要Level shift电路，把信号的电平电压也提上去。

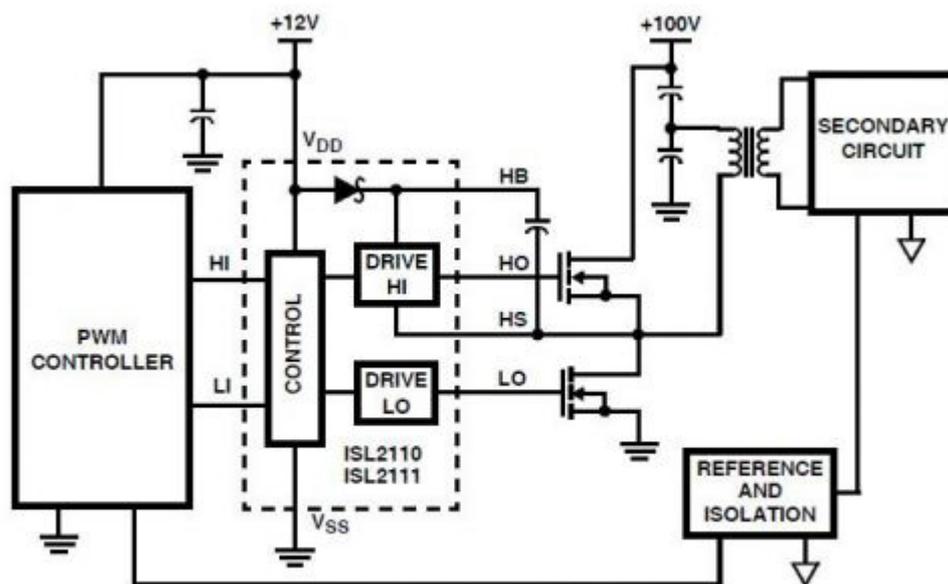
Buck电路，现在有太多的控制芯片集成了自举驱动，让整个设计变得很简单。但是对于，双管的，桥式的拓扑，多数芯片没有集成驱动。那样就可以外加自举驱动芯片，48V系统输入的，可以采用Intersil公司的ISL21XX，HIP21XX系列。如果是AC/DC中，电压比较高的，可以采用IR的IR21XX系列。

下图是ISL21XX的内部框图。



其核心的东西，就是红圈里的boot二极管，和Level shift电路。

ISL21XX驱动桥式电路示意图：



驱动双管电路：

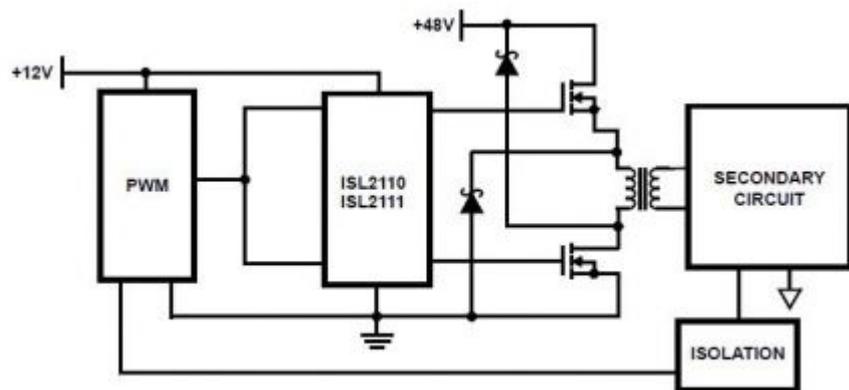


FIGURE 1. TWO-SWITCH FORWARD CONVERTER

驱动有源钳位示意图:

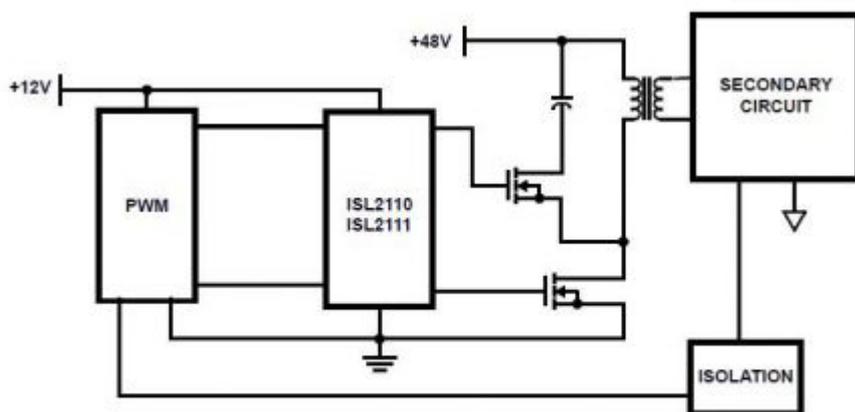
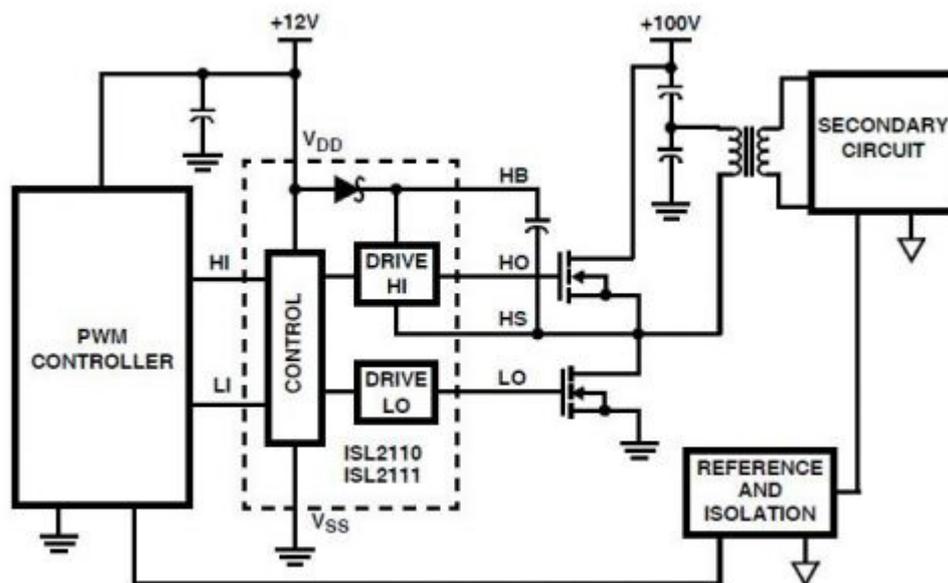


FIGURE 2. FORWARD CONVERTER WITH AN ACTIVE-CLAMP

当然以上都是示意图，没有完整的外围电路，但是外围其实很简单，参考datasheet即可。

ISL21XX驱动桥式电路示意图:



驱动双管电路:

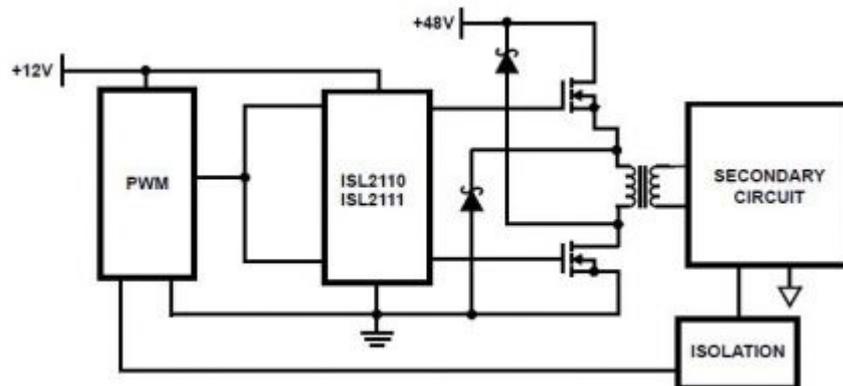


FIGURE 1. TWO-SWITCH FORWARD CONVERTER

驱动有源钳位示意图:

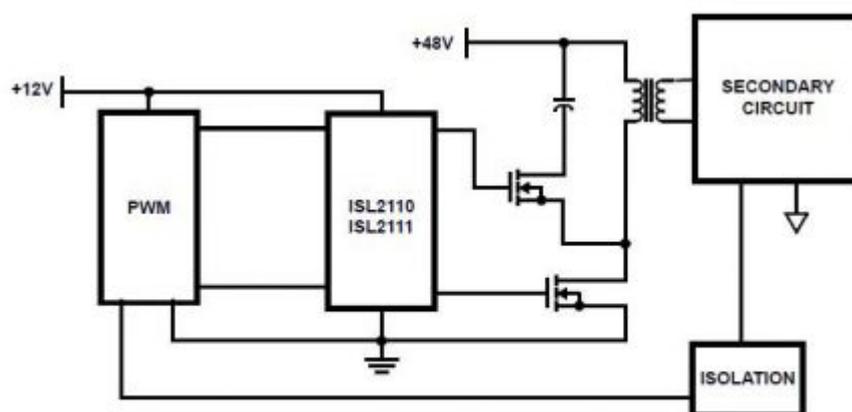


FIGURE 2. FORWARD CONVERTER WITH AN ACTIVE-CLAMP

当然以上都是示意图，没有完整的外围电路，但是外围其实很简单，参考datasheet即可。

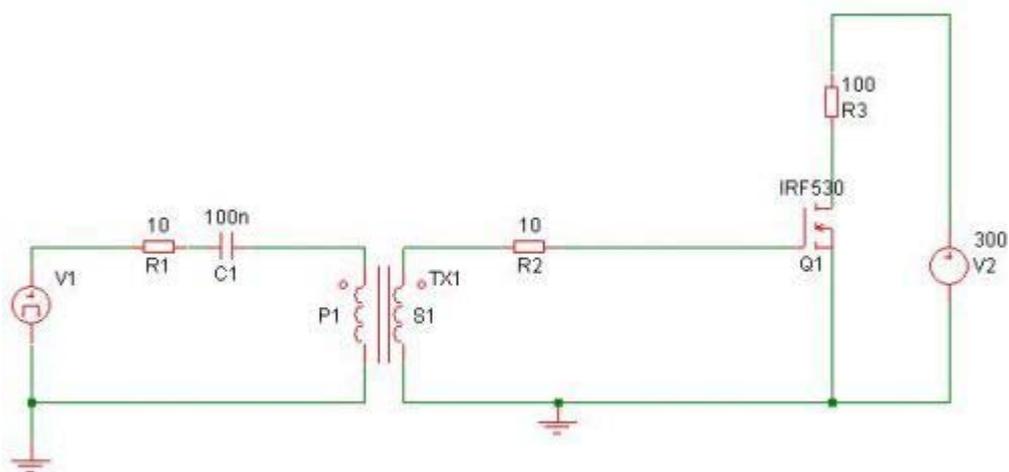
自举电容主要在于其大小，该电容在充电之后，就要对MOS的结电容充电，如果驱动电路上有其他功耗器件，也是该电容供电的。所以要求该电容足够大，在提供电荷之后，电容上的电压下跌最好不要超过原先值的10%，这样才能保证驱动电压。但是也不用太大，太大的电容会导致二极管在充电的时候，冲击电流过大。

对于二极管，由于平均电流不会太大，只要保证是快速二极管。当然，当自举电压比较低的时候，这个二极管的正向压降，尽量选小的。

电容没什么，磁片电容，几百n就可以了。但是二极管，要超快的，而且耐压要够。电流不用太大，1A足够。

隔离驱动。当控制和MOS处于电气隔离状态下，自举驱动就无法胜任了，那么就需要隔离驱动了。下面来讨论隔离驱动中最常用的，变压器隔离驱动。

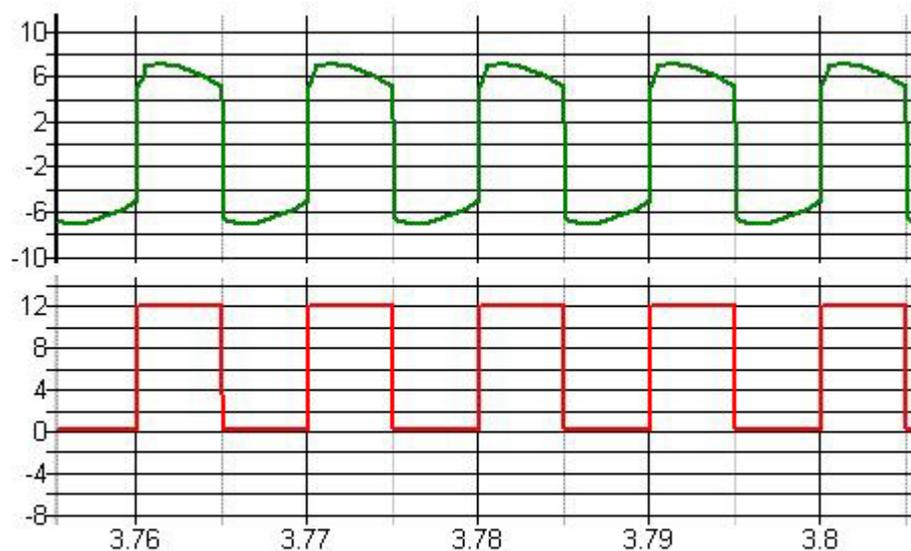
看个最简单的隔离驱动电路，被驱动的对象是Q1。



其实MOS只是作为开关管，需要注意的是电机是感性器件，还有电机启动时候的冲击电流。还有堵转时候的启动电流。

驱动源参数为12V ， 100KHz， D=0.5。

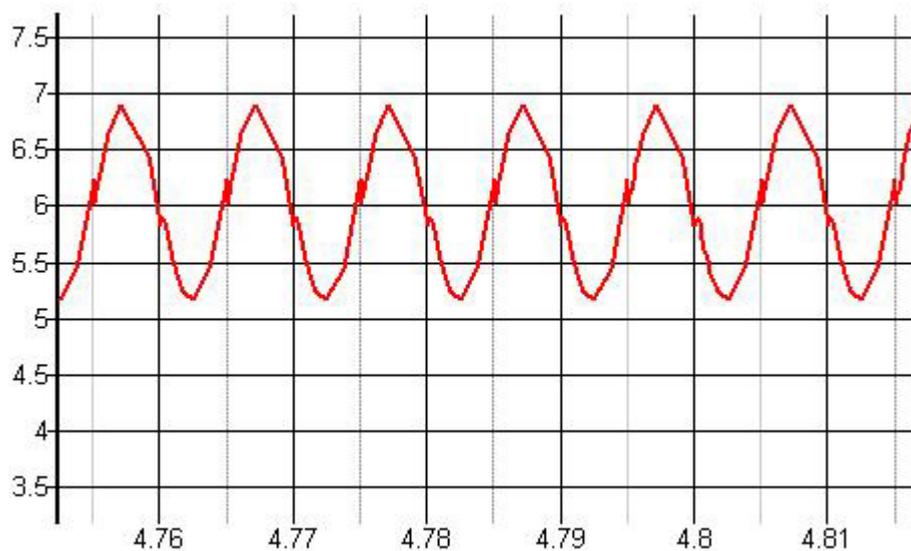
驱动变压器电感量为200uH，匝比为1: 1。



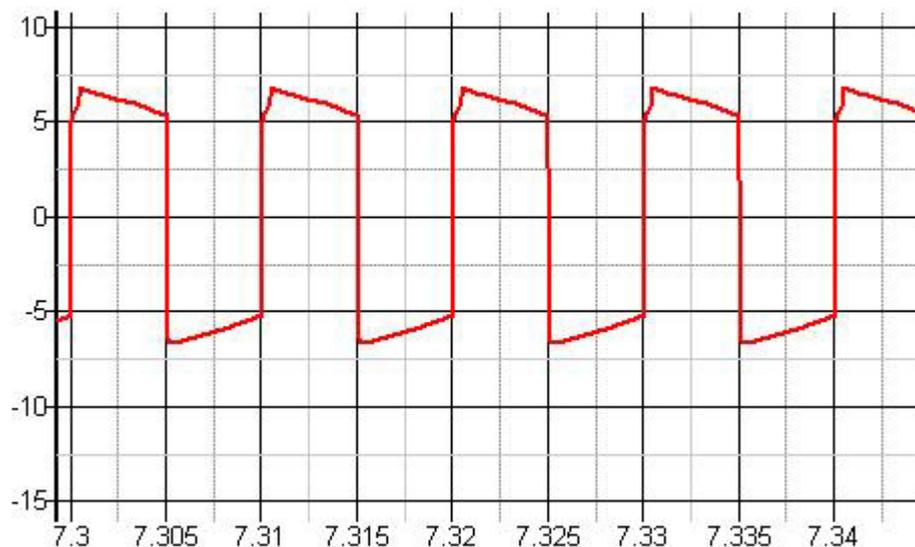
红色波形为驱动源V1的输出，绿色为Q1的G级波形。可以看到，Q1-G的波形为具有正负电压的方波，幅值6V了。

为什么驱动电压会下降呢，是因为V1的电压直流分量，完全被C1阻挡了。所以C1也称为隔直电容。

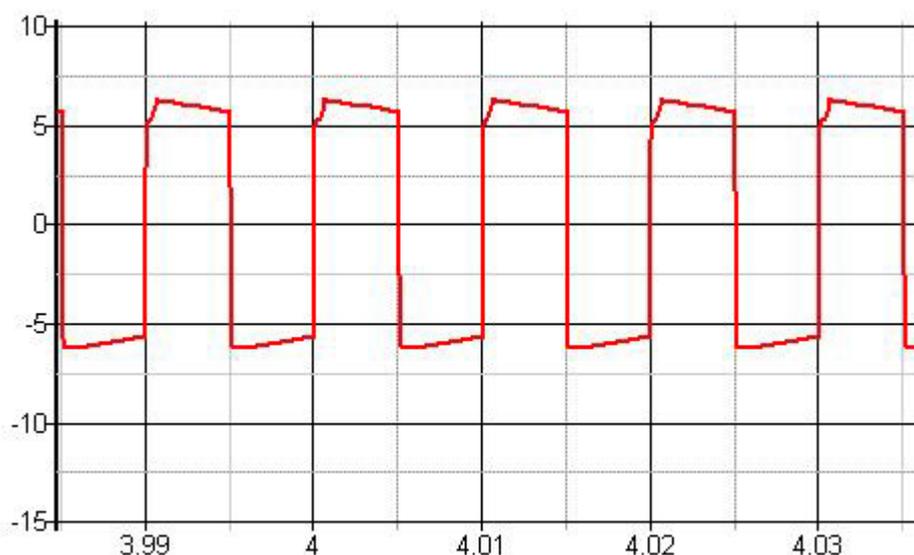
下图为C1上的电压。



其平均电压为6V，但是峰峰值，却有2V，显然C1不够大，导致驱动信号最终不够平。那么把C1变为470n。Q1-G的电压波形就变成如下：

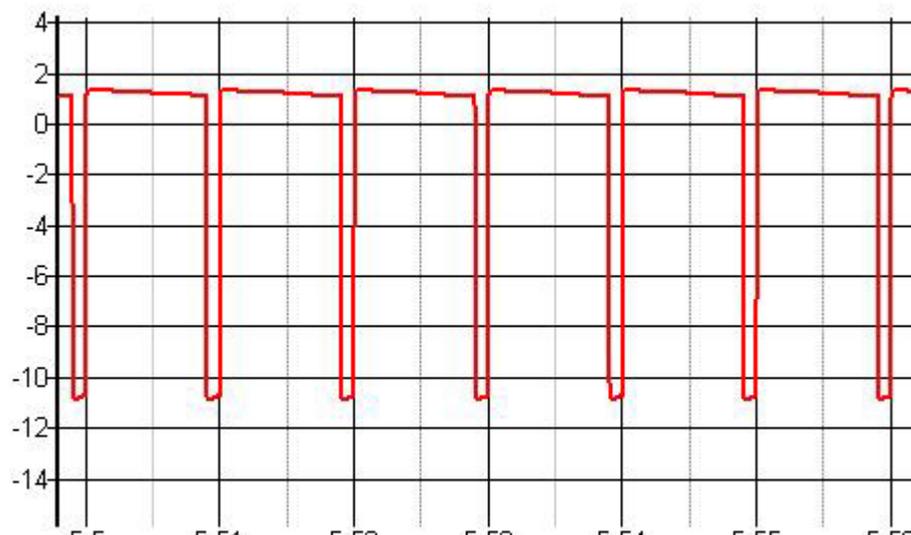


驱动电压变得平缓了些。如果把驱动变压器的电感量增加到500uH。驱动信号就如下图：



驱动信号显得更为平缓。

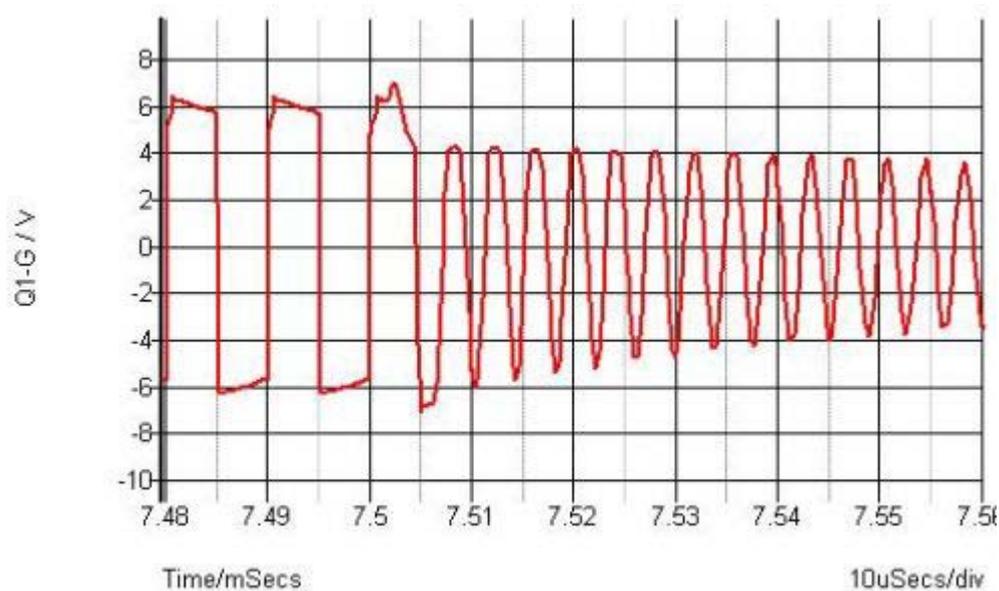
从这里可以看到，这种驱动，有个明显的特点，就是驱动电平，最终到达MOS的时候，电压幅度减小了，具体减小多少呢，应该是 $D \cdot V$ ， $D$ 为占空比，那么如果 $D$ 很大的话，驱动电压就会变得很小，如下图， $D=0.9$



发现驱动到达MOS的时候，正压不到2V了。显然这种驱动不适合占空比大的情况。

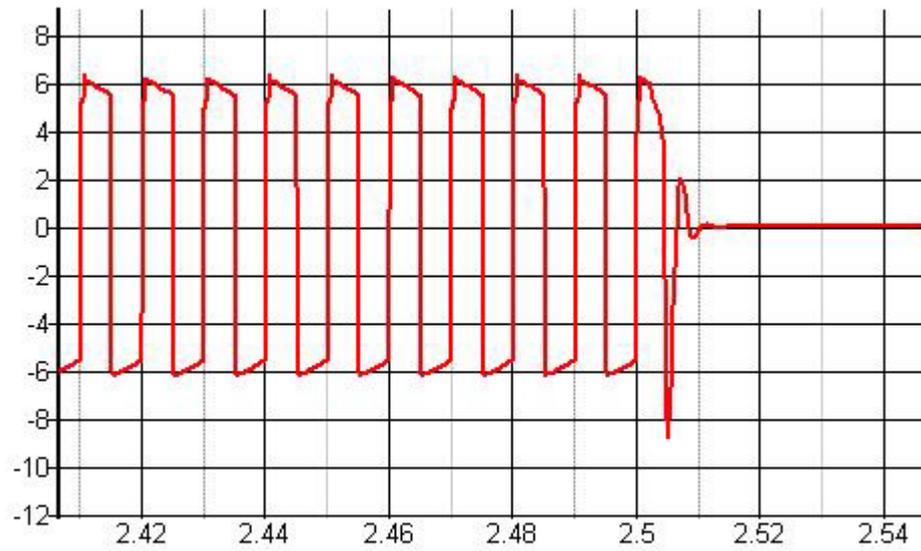
从上面可以看到，在驱动工作的时候，其实C1上面始终有一个电压存在，电压平均值为  $V \cdot D$ ，也就是说这个电容存储着一定的能量。那么这个能量的存在，会带来什么问题呢？

下面模拟驱动突然掉电的情况：



可见，在驱动突然关掉之后，C1上的能量，会引起驱动变的电感，C1以及mos的结电容之间的谐振。如果这个谐振电压足够高的话，就会触发MOS，对可靠性带来危害。

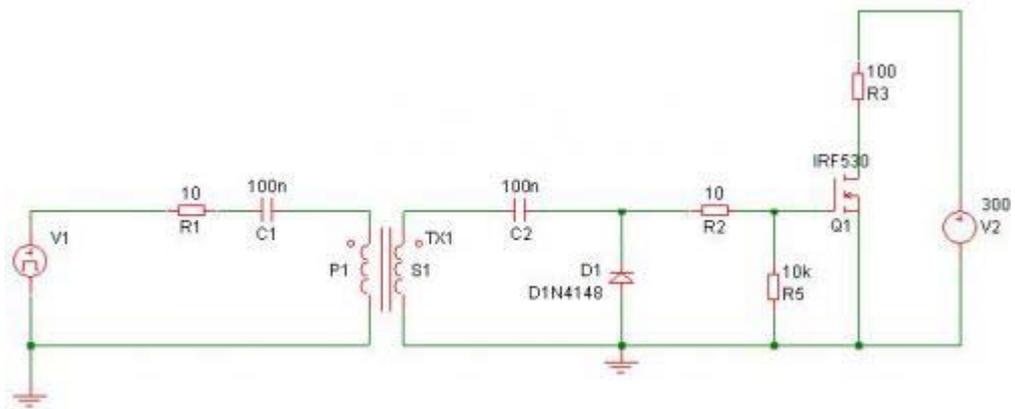
那么如何来降低这个震荡呢，在GS上并个电阻，下图是并了1K电阻之后波形：



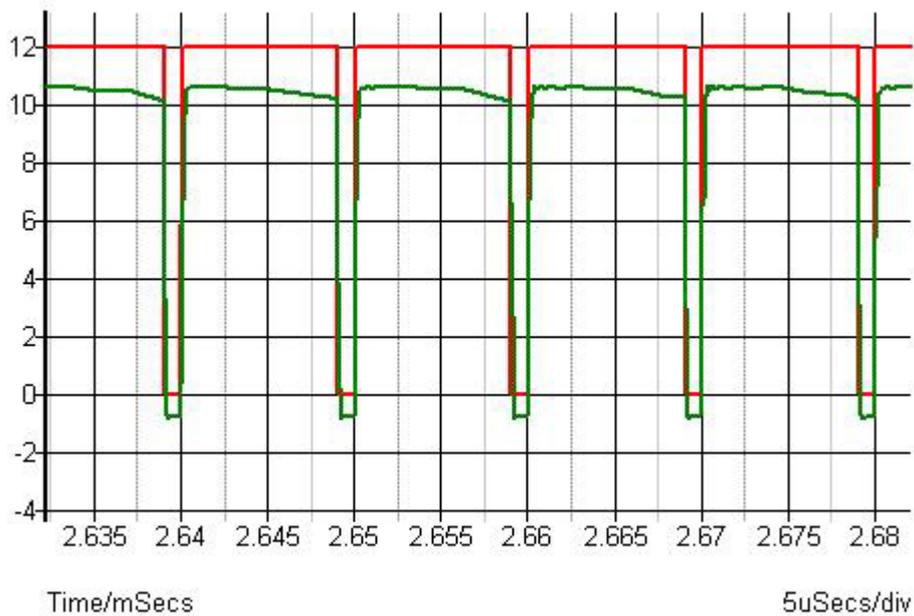
但是这个电阻会给驱动带来额外的损耗。

如何传递大占空比的驱动：

看一个简单的驱动电路。

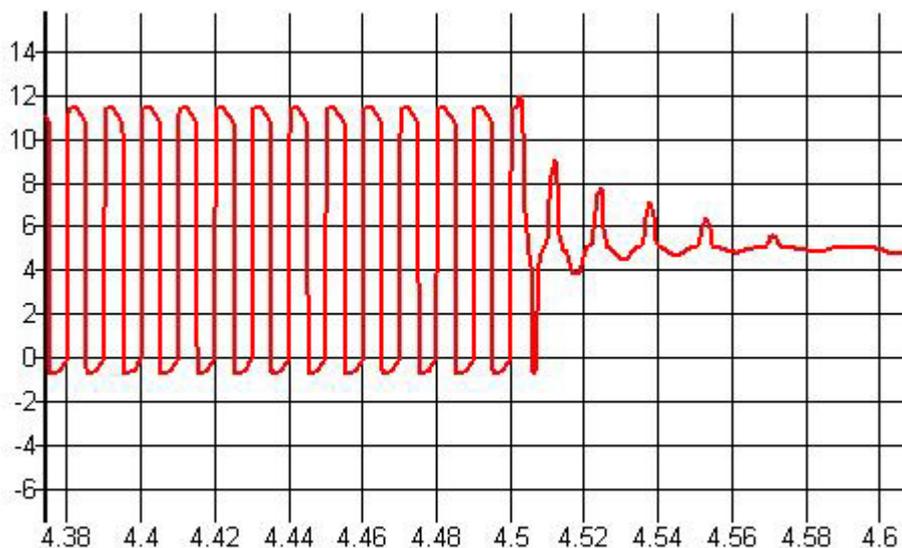


当D=0.9的时候



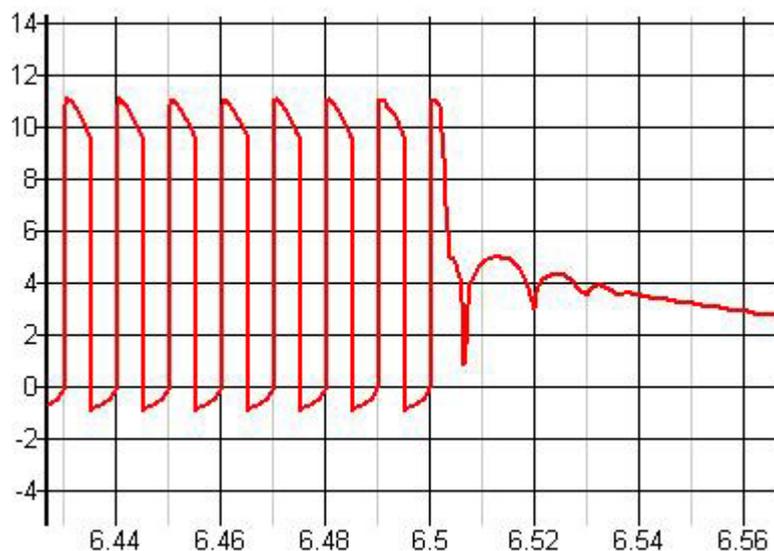
红色波形为驱动源输出，绿色为到达MOS的波形。基本保持了驱动源的波形。

同样，这个电路在驱动掉电的时候，比如关机，也会出现震荡。

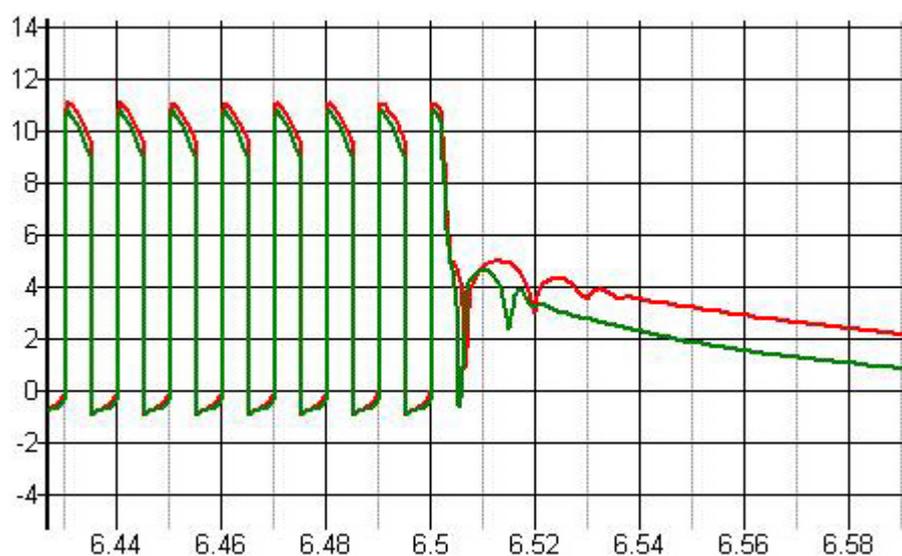


而且似乎这个问题比上面的电路还严重。

下面尝试降低这个震荡，首先把R5改为1K

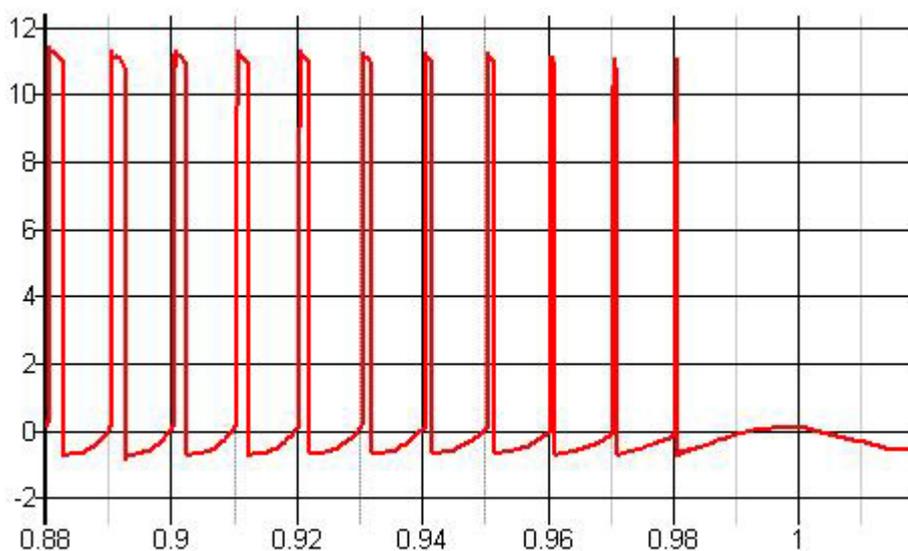


确实有改善，但问题还是严重，继续在C2上并一个1K的电阻。



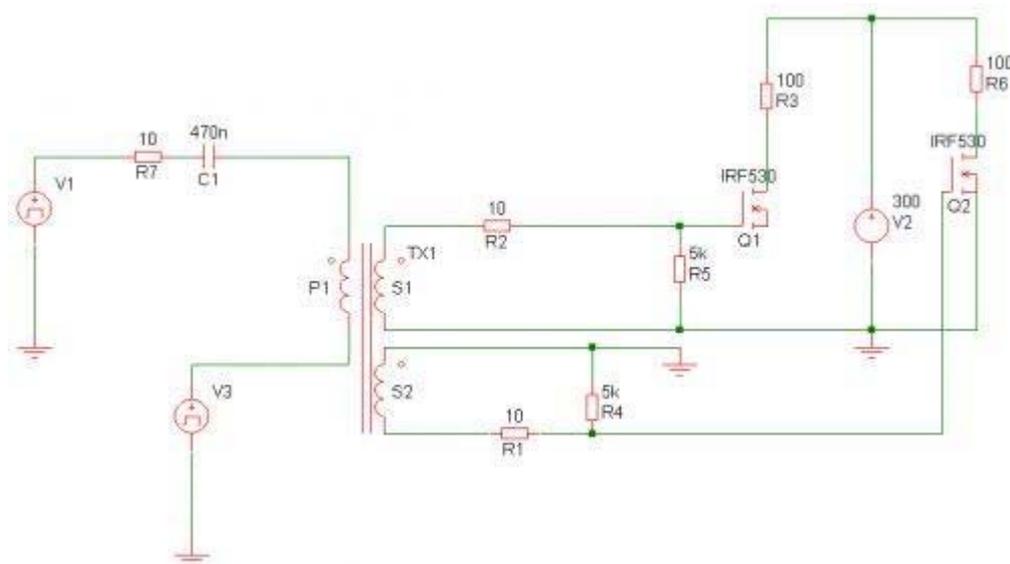
绿色的波形，确实更改善了一些，但是问题还是存在。这是个可靠性的隐患。

对于这个问题如何解决呢？可以采用soft stop的方式来关机。soft stop其实就是soft start的反过程，就是在关机的时候，让驱动占空比从大往小变化，直到关机。很多IC已经集成了该功能。



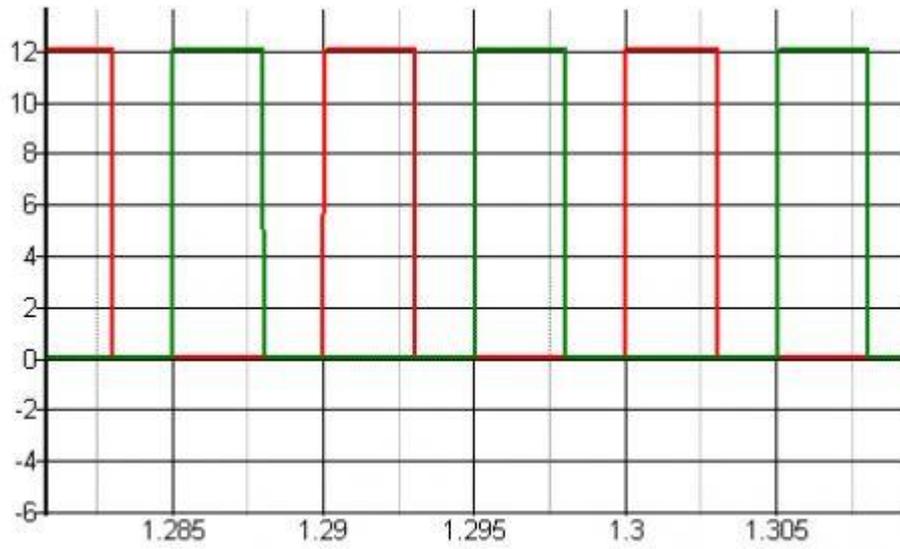
可看到，驱动信号在关机的时候，没有了上面的那些震荡。

对于半桥，全桥的驱动，由于具有两相驱动，而且相位差为180度，那么如何用隔离变压器来驱动呢？

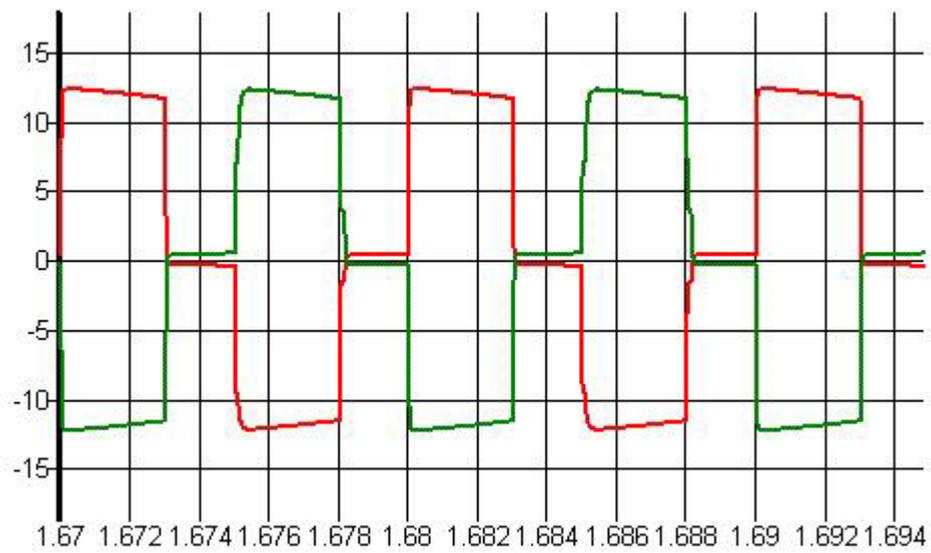


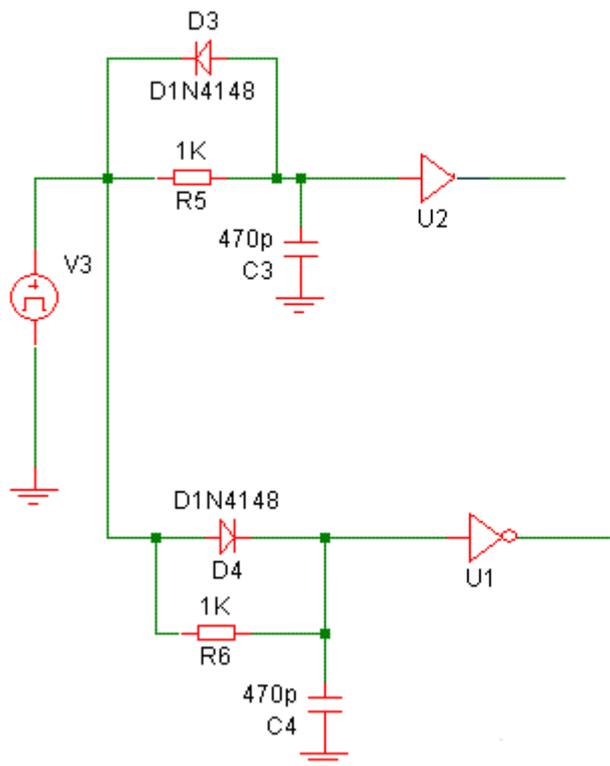
采用一拖二的方式，可以来驱动两个管子。

下图，是两个驱动源的波形：



通过变压器传递之后，到达MOS会变成如下：





在有源钳位，不对称半桥，以及同步整流等场合，需要一对互补的驱动，那么怎么用一路驱动来产生互补驱动，并且形成死区。可用下图。

波形如下图：

