

# 揭秘真实的 MOSFET 驱动波形

## ——高共模抑制比隔离探头 OP6030 测试方案

### ◆ 差分探头测量半桥上管MOSFET驱动波形失真的真实原因 ——高频段CMRR不够!

在开关电源和逆变器电力电子设备的开发中，差分探头可以很好地用来测量MOSFET、IGBT的各种电压波形，如VDS/VGS。但工程师在测试半桥的上管的驱动波形时经常遇到困惑，反映问题如下：

- ◇ MOSFET的驱动波形和理想的驱动波形差距太大
- ◇ 不同厂家的差分探头测量驱动信号千差万别
- ◇ 即使同样型号的差分探头测出的波形也会有所不同

#### 🔗 图 1 是你以为的 MOSFET 驱动波形

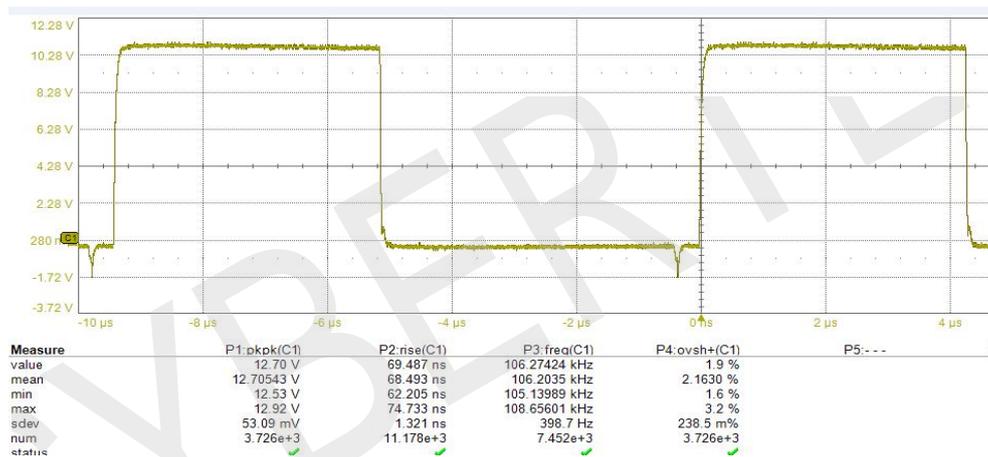


图1 理想的MOSFET驱动波形

#### 🔗 图 2 是你实际测到的驱动波形

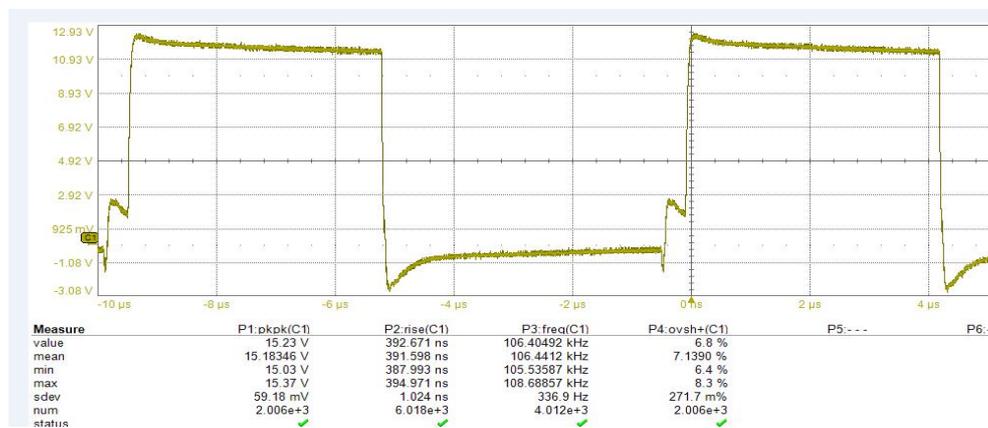


图2 实际测到的驱动波形

这是为什么呢？

这是因为普通的差分探头的共模抑制比并不很理想。这个问题是很多初学开关电源的工程师所不熟悉的。**CMRR（共模抑制比）**：共模抑制比(CMRR)是指差分探头在差分测量中抑制两个测试点共模信号的能力。这是差分探头的关键指标之一，其公式为： $CMRR=|Ad/Ac|$ 。其中：**Ad=差分信号的电压增益**。**Ac=共模信号的电压增益**。在理想情况下，Ad应该很大，而Ac则应该等于0，因此CMRR无穷大。

其次我们再解释一下差分探头是如何测量如下图3所示的半桥电路的上管驱动波形的。对于我们使用的差分探头来讲，差分探头接收到的不仅有我们想观测的驱动波形（我们称之为差模信号），而且还要承受半桥中点的浮动的共模电压，这是一个高达400Vpp的高频开关波形，含有大量的高频谐波分量。如果用频谱仪观测，这个高频分量往往高达数十兆赫兹。

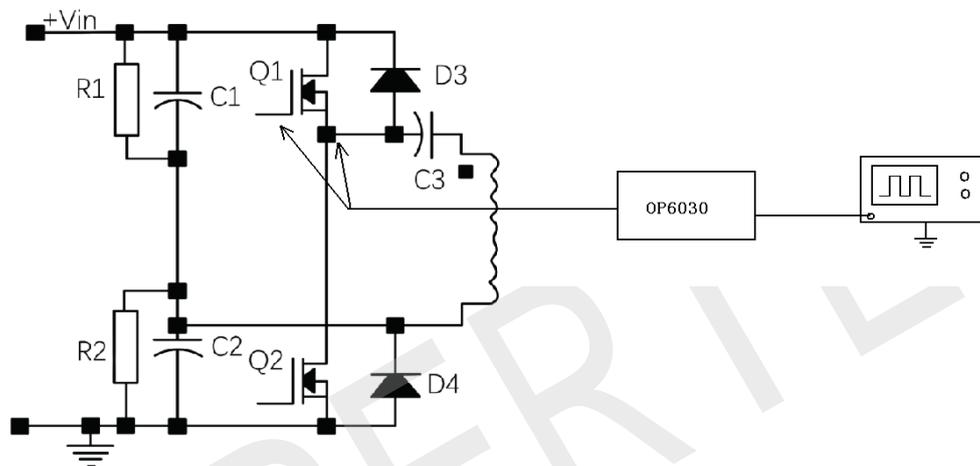


图3 半桥电路

所以如上所述，差分探头输出到示波器的信号包含了差模信号和共模信号的叠加，也就是说工程师在示波器上观测到的波形包含了你不想要的可以让驱动波形失真的共模信号！

假设中点对示波器地的某高频共模信号是200Vpp，该频率的CMRR是40dB（=100倍衰减），那么我们在示波器上看到的干扰信号是200Vpp/100=2Vpp。这个干扰信号对于我们观测只有10-20Vpp的MOSFET驱动波形来讲已经很大了，足以影响测试波形了。

下图4是普通差分探头和高CMRR隔离探头OP6030的CMRR参数对比。可以发现OP6030的CMRR参数远远高于常用的差分探头。

	常见的差分探头	隔离探头 OP6030
CMRR	DC>80dB 100kHz>60dB 3.2MHz>30dB 50MHz>26dB	100Hz>140dB 100Hz-1MHz:120dB 1MHz-10MHz:85dB 10MHz-50MHz:60dB

图4 差分探头和隔离探头的参数对比

我们可以发现普通的差分探头在低频段的CMRR还可以接受，但在高频段的CMRR就比较差了。其实很多低端的差分探头的CMRR比这个更差，完全不能用在开关电源的测试场合。

另外差分探头的电路中包含有可调电容、可调电阻等，探头在出厂一段时间后（比如一年以上），可调电容、可调电阻会发生偏移，造成探头CMRR变差，会进一步加剧测试波形的失真。

我司的隔离探头OP6030采用了独特的**射频隔离技术**，不但CMRR很大，而且不会随着时间的推移劣化，是测量MOSFET驱动的有力武器！

#### ◆ LLC谐振半桥上管驱动波形测试案例

被测电路：LLC 谐振半桥

测量设备：CH1 通道 CYBERTEK 差分探头 DP6150 (1500V/70MHz)

CH2 通道 CYBERTEK 隔离探头 OP6030 (30V/50MHz)

示波器：LECROY waverunner 8054 (500MHz)

#### 🔗 测量探头的共模指标

验证探头的共模指标，可以把探头的输入短接，同时夹到电源上下桥电路的中点，如下图 5 所示：

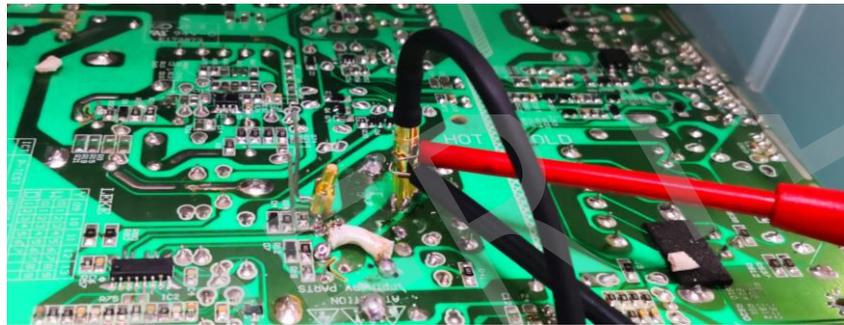


图 5 DP6150 红黑探夹短路，OP6030 的 SSMB 接头短路，同时接到上下桥的中点位置

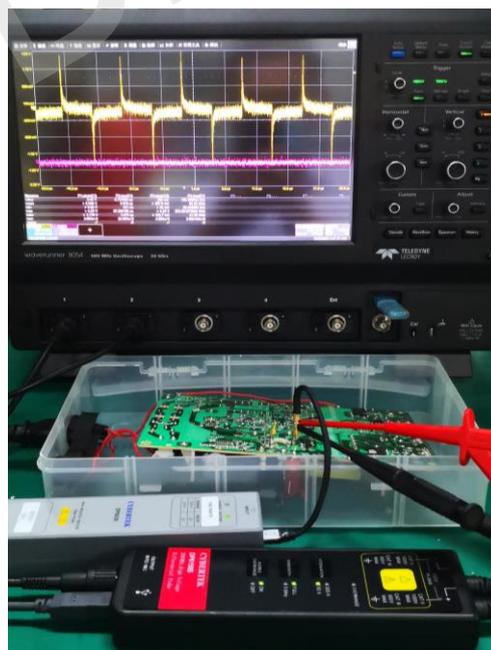


图 6 验证探头共模信号指标的平台

观察示波器的输出，由于探头的输入端短路，所以输出应该为 0，但是被测电路具有很高的共模电压，该 LLC 谐振半桥电路中点位置约有 400V 方波波形变化。如果探头的共模抑制比不高，会有一些的输出信号，输出越大，共模指标 CMRR 越差，该共模电压信号会叠加到实际的被测驱动信号上，造成测量误差，共模信号输出如下图所示：

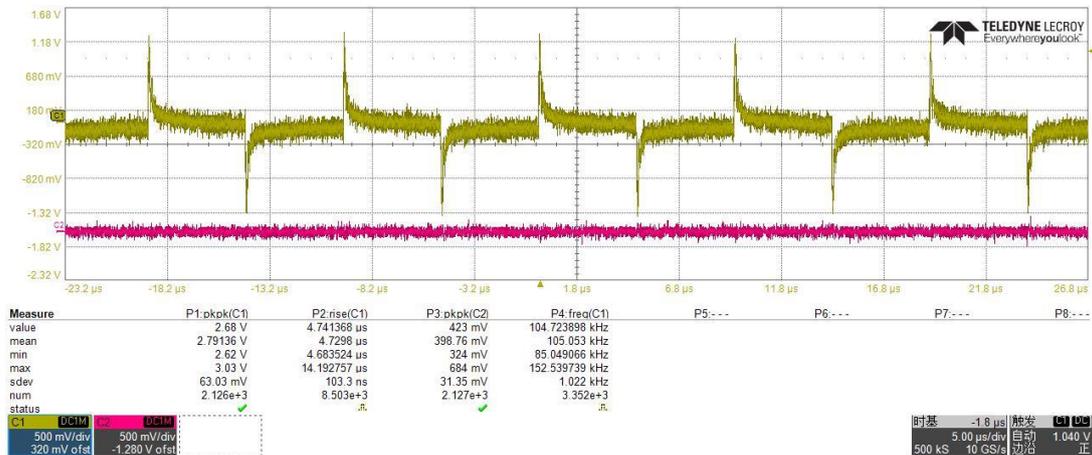


图 7 共模信号输出对比

通过对比发现，差分探头有接近 2.68Vppk 的输出，而 OP6030 没有任何共模信号输出，只有本底的噪声信号，由此可以看出隔离探头 OP6030 共模指标远远高于普通差分探头。

### ◆ 驱动波形对比测量

以下通过实测驱动波形，说明探头的 CMRR 指标对驱动波形的影响，



图 8 测量驱动波形接头连接示意图

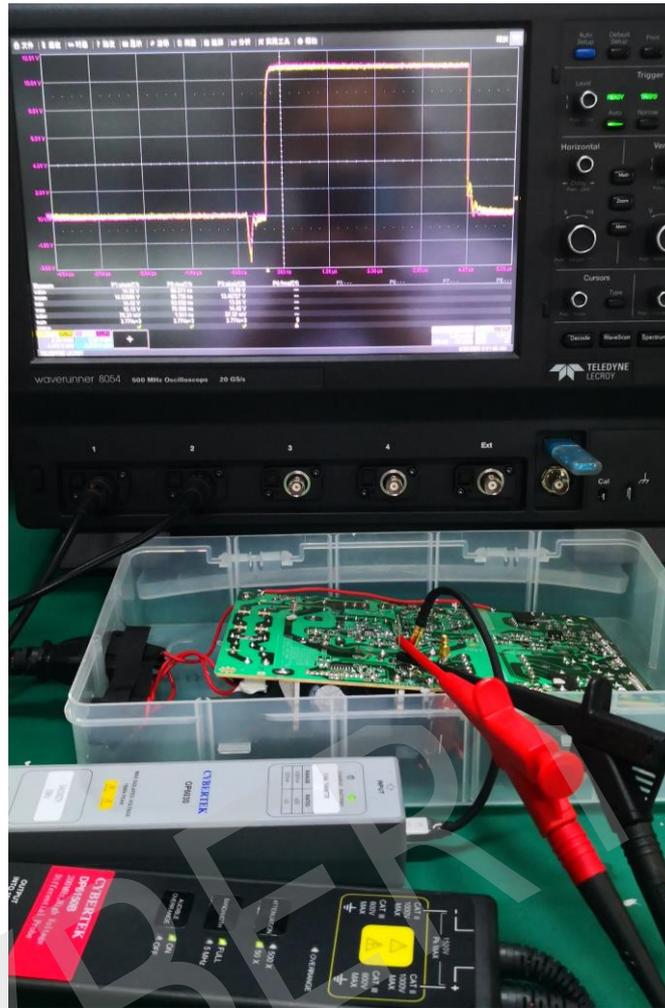


图 9 驱动波形测量平台

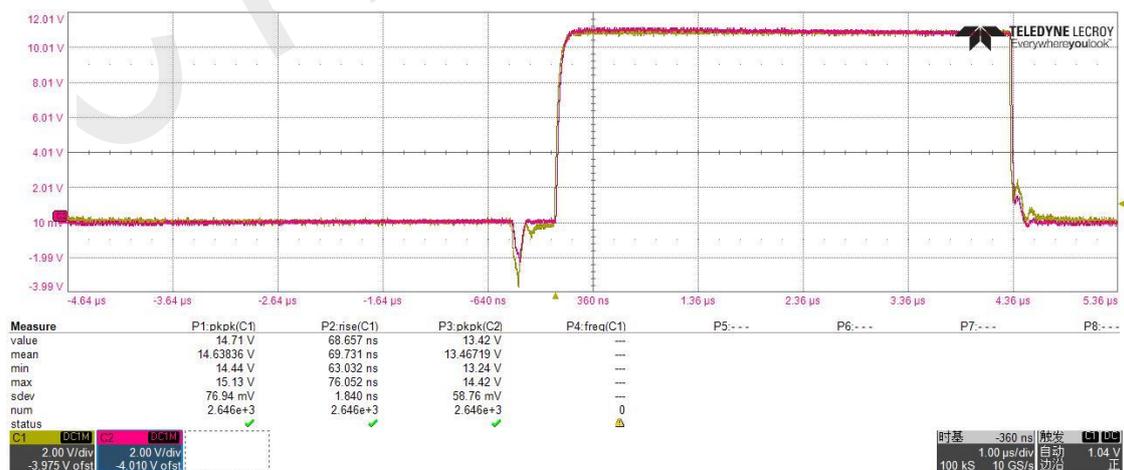


图 10 驱动波形输出

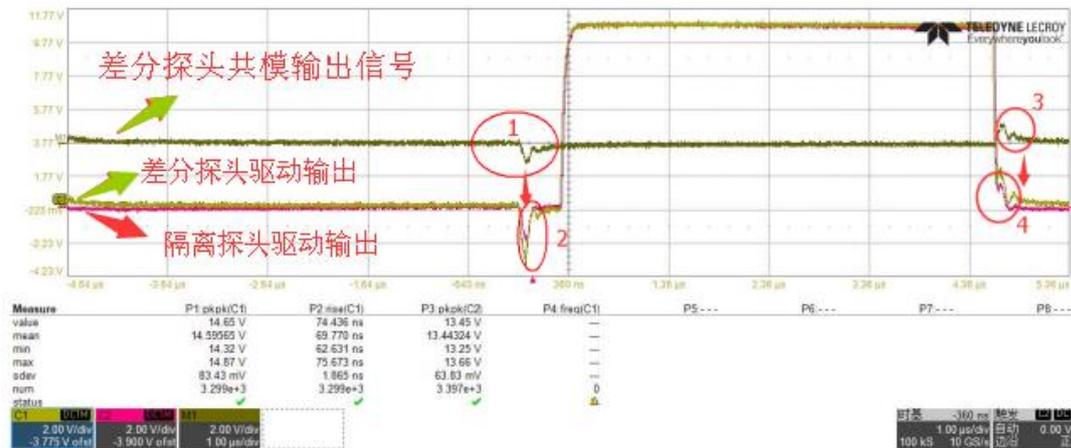


图 11 共模信号对实际驱动波形的影响

通过以上的图形分析：差分探头的共模信号的输出，相应位置会对驱动信号造成波形畸变失真。图 11 中，1 号位置对 2 号位置的波形，3 号位置对 4 号位置的波形都造成了驱动波形的失真。而 OP6030 具有非常高的共模 CMRR 指标，能够完美的还原实际的驱动波形。

普通差分探头在使用一段时间后，可调电容、可调电阻的偏移，会造成共模 CMRR 指标的进一步恶化，如果没有经过专业校准，测量的驱动波形畸变会越来越大，给工程师带来很大困扰，如下图所示：

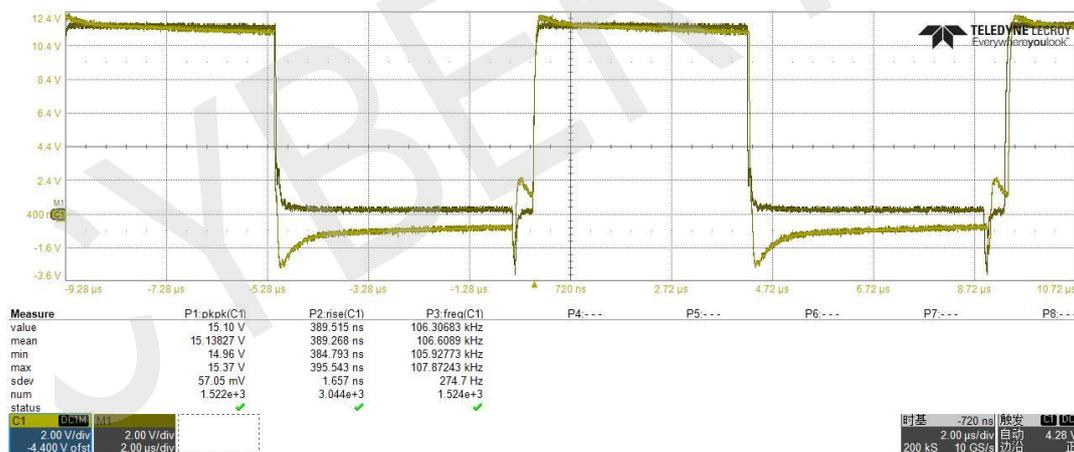


图 12 共模指标的恶化会进一步造成驱动波形的畸变

## ◆ 结论

深圳知用电子开发的 OP6030 是采用独创的射频隔离技术的专利产品，是一款真正意义的高 CMRR 隔离电压探头。其在整个工作带宽（50MHz）内具有超高的共模抑制比，而且不随时间的推移而出现变化，彻底解决高共模情况下的驱动波形测量问题，是电源工程师必备的一把利器！