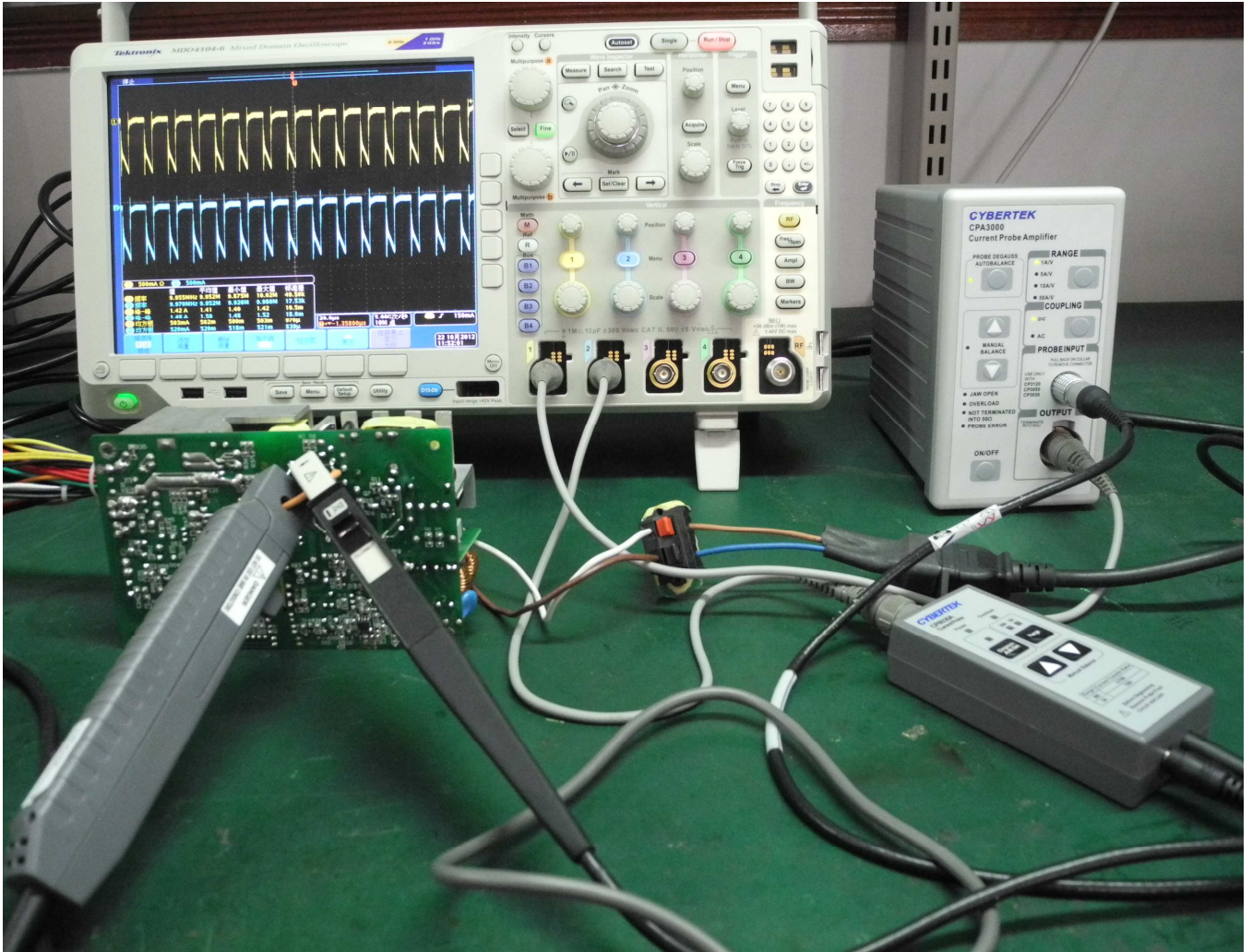


探头讲解第二篇：电流探头

---包含测量实例和探头使用技巧说明



深圳市知用电子有限公司

目录

1. 概述
2. 电流探头原理和分类
 - 2.1 AC 电流探头
 - 2.2 DC/AC 电流探头
3. 电流探头重要指标
 - 3.1 精度
 - 3.2 带宽
 - 3.3 插入损耗
 - 3.4 电流额定值 VS 频率指标
 - 3.5 最大额定输入电流
 - 3.6 额定最大峰值脉冲电流
4. 电流探头实例分析
 - 4.1 DC ~ 低频和 DC ~ 高频电流探头实测对比
 - 4.1.1 实测低频电流波形（50Hz 电源线波形）对比
 - 4.1.2 实测开关电源 MOS 管 DS 极间电流波形对比
 - 4.2 高频电流探头在开关电源中的应用（CP8030A 和 TCP0030 实测对比）

1. 概述

电流探头的应用十分广泛，其基本原理是流经导线的电流会在周围产生磁场，电流探头把磁场转化成相应的电压信号，通过和示波器配合，观察对应的电流波形。广泛应用于开关电源、马达驱动器、电子整流计、LED照明、新能源等领域。本文将讲述常见的电流探头的分类、原理、重要技术指标，并通过实例分析了解探头之间的差别，让大家能够对探头有个基本的了解。

2. 电流探头的分类和原理

目前示波器上的电流探头基本分成两类：即AC电流探头和AC/DC电流探头，AC电流探头常见的是无源探头，成本低，但不能处理直流分量；AC/DC电流探头通常是有源探头，分为低频探头和高频探头，低频探头常见的带宽在几百KHz以下，高频探头带宽一般在几MHz以上。

2.1 AC电流探头

AC电流探头有无源的，也有有源的。

常见的无源AC探头，比如说电流环，其基本原理如图1，电流探头前端有一个磁环，磁环上绕有线圈，使用时这个磁环套在被测的供电线上。由于电流流过电线所产生的磁场就被这个磁环收集到，磁通量和电线上流过的电流成正比，磁环上的线圈产生相应比例关系的电流，经后级匹配电路转换成相应比例关系的电压。无源AC探头的缺点是不能测量直流型号，且低频截止点通常在100Hz以上，优点是成本低。无源AC探头根据嵌头结构可分为分芯和实芯的两种。分芯的嵌口可手动张开和关闭，优点是探头能够方便地卡到测量电流的导线上，在测量完成时，钳口可以打开，探头可以移到其它导线上；缺点是高频响应速度比较慢。实芯AC无源探头的优点是响应速度比较快，高频带宽达到ns级别，甚至更高；缺点是被测电流一般比较小，通常在100A以下，测量时必须断开被测导线，把导线穿过转换器，然后重新把导线连接到电路上，才能进行测量。

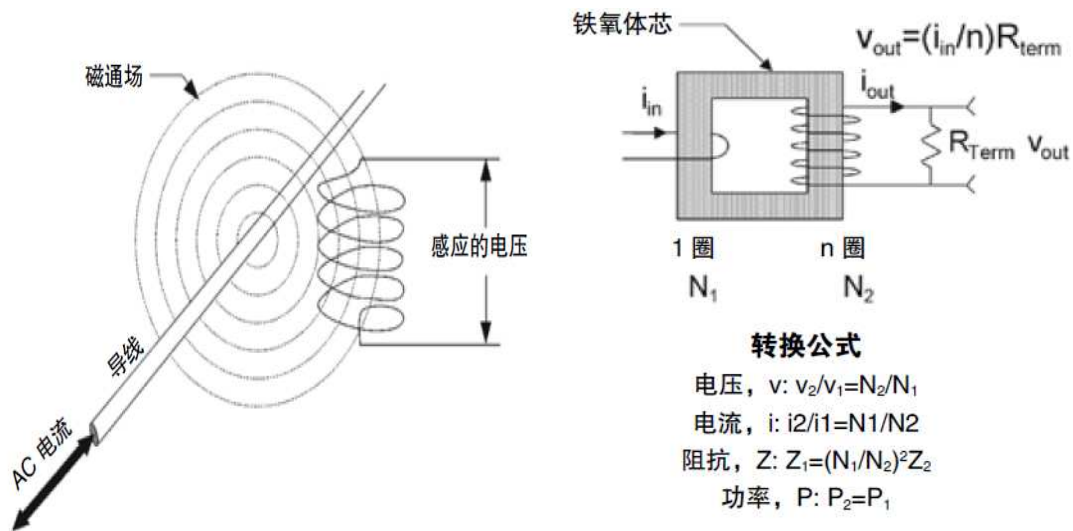


图1 常见的无源AC探头测量原理示意图

有源的AC探头根据钳口常见形式分为两种：一种是普通的嵌式结构，另一种是柔性结构。普通的嵌式结构电流探头一般都使用强磁性材料制作的铁心，这种流过很大的一次电流，铁心很容易产生磁饱和，因此使得无法进行准确的测量；而柔性探头使用的是空芯型交流电流传感器，因此在大电流的情况下也不饱和，所以柔性探头一般用来测量大电流，而且只能测交流。柔性探头的基本原理（如2）如下：

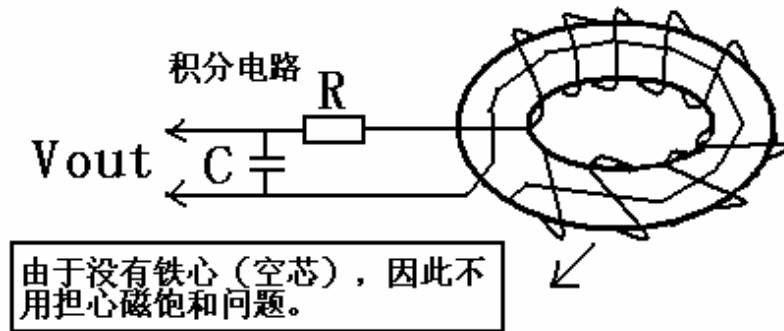


图2 空芯交流电流传感器

$$V_{out} = (u \cdot S \cdot N \cdot I) / (R \cdot C \cdot \omega) \quad \text{其中 } R \gg 2\omega L$$

式中 I: 线圈长度; S: 线圈截面积; N: 匝数; L: 电感量; u: 磁导率
实际的柔性探头一般会配合运放组成积分电路, 达到更高的测量精度。

2.2 DC/AC电流探头

DC/AC电流探头既可以测量直流也可以测量交流信号, 根据测量带宽可以分为低频嵌和高频嵌两种。低频嵌的电路原理一般采用开环系统测量, 其精度低, 带宽低, 典型值为100KHz; 高频嵌一般采用闭环系统测量, 其精度高, 带宽高, 响应时间都在ns级别以上。下面将分别介绍:

市场上常见的DC/AC低频嵌, 如CYBERTEK的CP8100L, 泰克的A622带宽都在100KHz, 其测量原理就是典型的开环系统测量, 嵌头示意图如图3, 霍尔器件感应DC和AC信号, 由于霍尔器件的带宽有限, 典型带宽值在100KHz左右, 所以这类电流嵌的特点是带宽比较窄, 响应时间在us级别, 成本相对比较低, 应用在要求不高的场合。

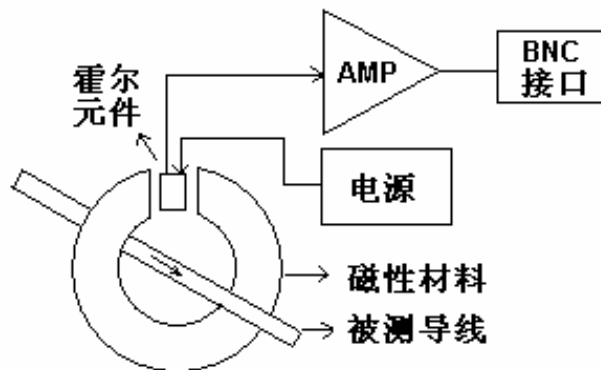


图3 低频嵌测量原理示意图

另一类是市场上常见的高频DC/AC嵌, 如CYBERTEK公司的CP3000,4000,8000A系列, 泰克的TCP202, TCP312, TCP303等都属于这一类型。其特点是精度高, 频带宽。原理如图4, 该电路是典型的闭环系统, 零磁通型电路, 即原边电流所产生的磁场通过一个副边线圈的电流所产生的磁场进行补偿, 使霍尔器件始终处于检测零磁通的工作状态。霍尔元件检测低频成分, 线圈检测高频成分, 两者合二为一, 达到高带宽, 高精度, 满足应用要求比较高的场合。

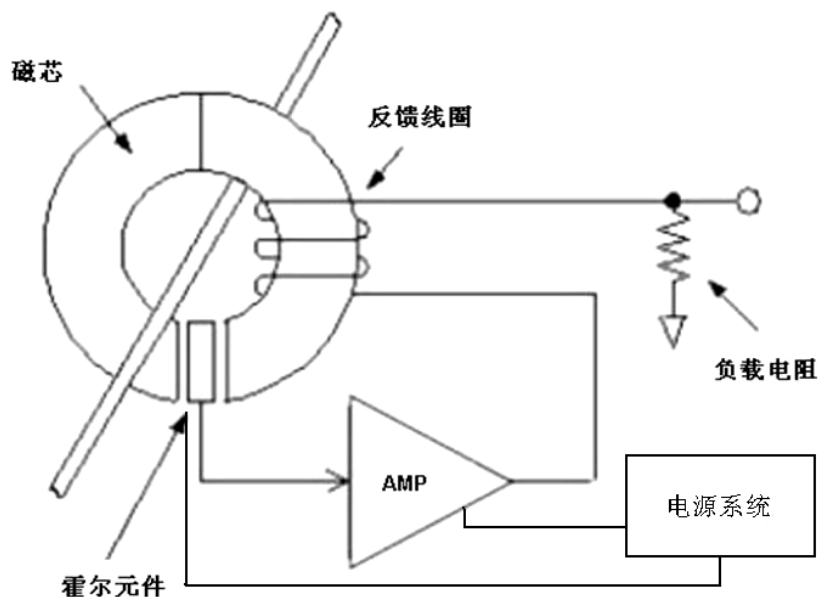


图4 高频DC/AC嵌典型原理框图

3. 电流探头重要指标

3.1 精度

精度：是指电流到电压转换的精度。拿 AC/DC 电流嵌为例，一般开环系统的精度比较差一点，典型值在 3% 左右；闭环系统的精度比较高，典型值在 1% 左右。

3.2 带宽

带宽：所有探头都有带宽。探头的带宽是指探头响应导致输出幅度下降到 70.7% (-3 dB) 的频率，如图 5 所示。在选择示波器和示波器探头时，要认识到带宽在许多方面影响着测量精度。在幅度测量中，随着正弦波频率接近带宽极限，正弦波的幅度会变得日益衰减。在带宽极限上，正弦波的幅度会作为实际幅度的 70.7% 进行测量。因此，为实现最大的幅度测量精度，必需选择带宽比计划测量的最高频率波形高几倍的示波器和探头。这同样适用于测量波形上升时间和下降时间。波形转换沿(如脉冲和方形波边沿)是由高频成分组成的。带宽极限使这些高频成分发生衰减，导致显示的转换慢于实际转换速度。为精确地测量上升时间和下降时间，使用的测量系统必需使用拥有充足的带宽，可以保持构成波形上升时间和下降时间的高频率成份。最常见的情况下，使用测量系统的上升时间时，系统的上升时间一般应该比要测量的上升时间快 4-5 倍。在开关电源领域，一般几十 MHz 的带宽就基本够用了。

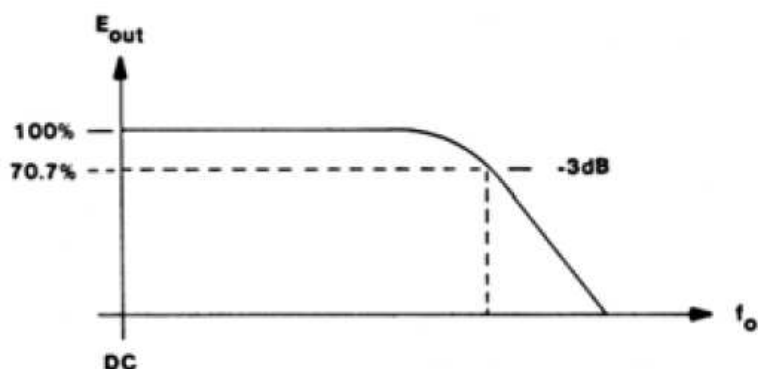


图5 带宽是正弦波的幅度下降70.7% (-3 dB) 的响应曲线中的频率

3.3 插入损耗

插入损耗: 插入阻抗是从电流探头的线圈(二级)转换到被测的携带电流的导线中的阻抗。一般来说, 电流探头反射的阻抗值可以位于毫欧范围内, 对阻抗为25欧姆及以上的电路影响不大。

3.4 电流额定值VS频率指标

电流探头指标应包括幅度与频率额定值下降关系曲线, 这一曲线把磁芯饱和与提高的频率关联起来。频率增加对磁芯饱和的影响在于, 当波形频率或幅度增加时, 平均电流为零安培的波形幅度峰值会被削掉。

3.5 最大额定输入电流

最大额定输入电流: 是指电流探头可以接受、同时仍能实现规定性能的总电流(DC 加峰值AC)。在AC 电流测量中, 必须根据频率降低峰到峰额定值, 以计算最大总输入电流。

3.6 额定最大峰值脉冲电流

额定最大峰值脉冲电流: 被测电流不应超过这一额定值, 它考虑了磁芯饱和及可能损坏设备的次级电压积累。最大额定峰值脉冲电流通常规定为安培秒乘积。

4. 电流探头实例分析

4.1 DC ~ 低频和 DC ~ 高频电流探头实测对比

上面讲了低频嵌和高频嵌的原理区别, 现在来对比一下实测效果, 低频嵌选择 CP8100L (100A/100KHz), 高频嵌选择 CP8030A (30A/40MHz)。

4.1.1 实测低频信号 (50Hz 电源线波形) 对比(示波器为力科 waveSurfer 62Xs)

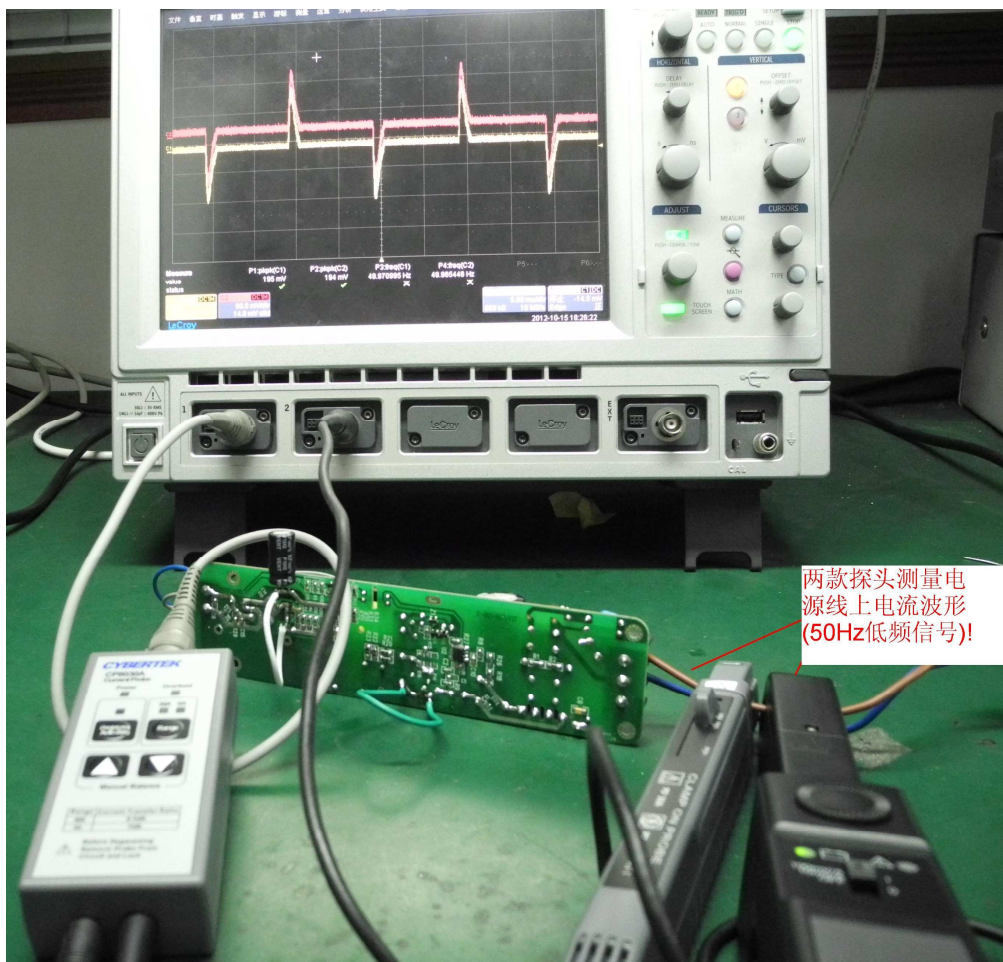


图 6 电流嵌测量电源线上电流波形系统 1 通道为 CP8030A,2 通道为 CP8100L

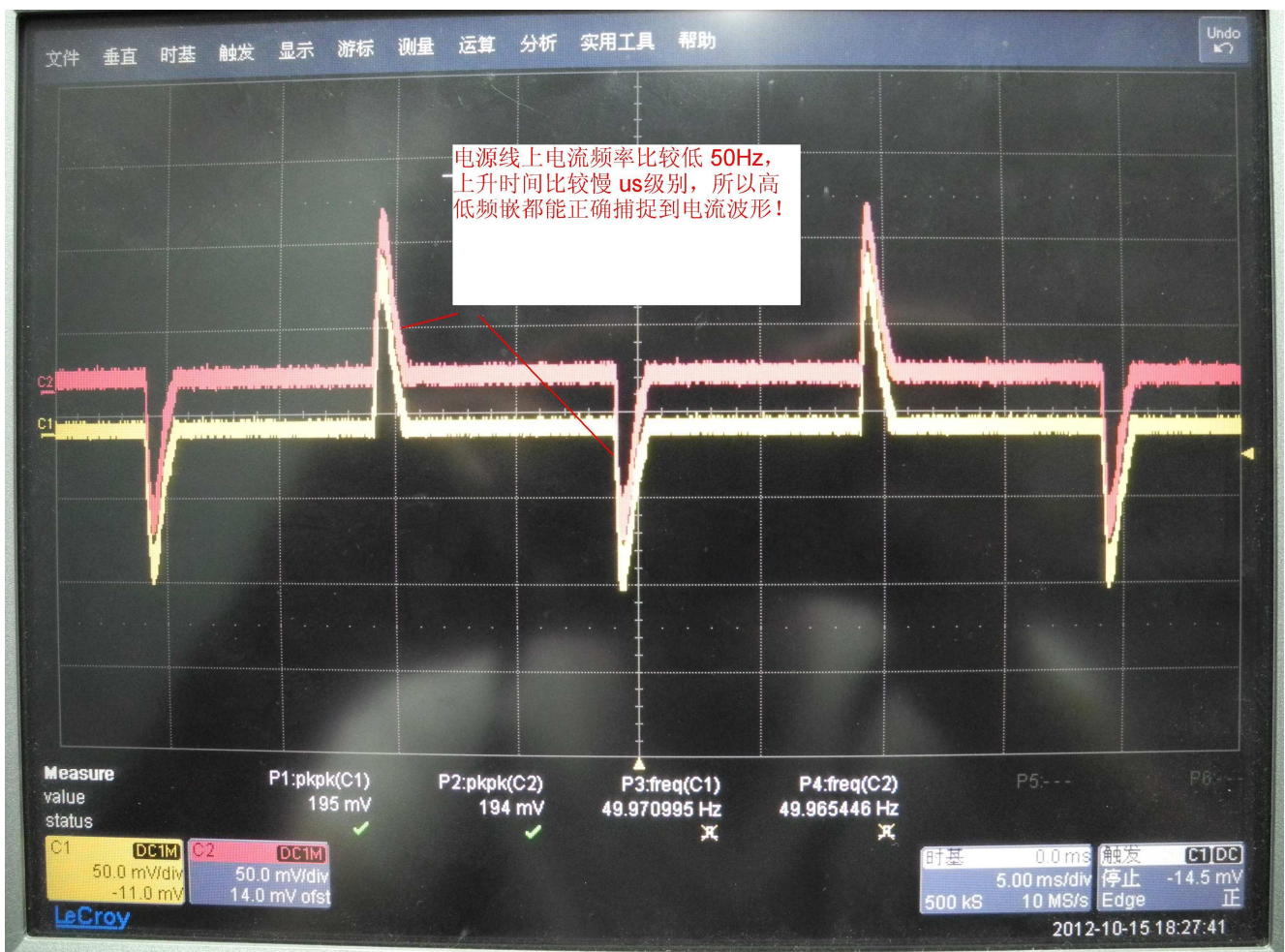


图 7 高低频捕捉电源线上的电流波形

从以上图片分析，电流大小为 1.95A 左右（因为探头所在量程的电流传输比为 0.1V/A ，由于实测值为 195mV ，经计算为 1.95A ），频率为 50Hz ，两款探头实测非常接近，也就是在测低频信号时，看不出差别，都能够准确的捕捉到电流波形。

4.1.2 实测开关电源 MOS 管 DS 极间电流对比

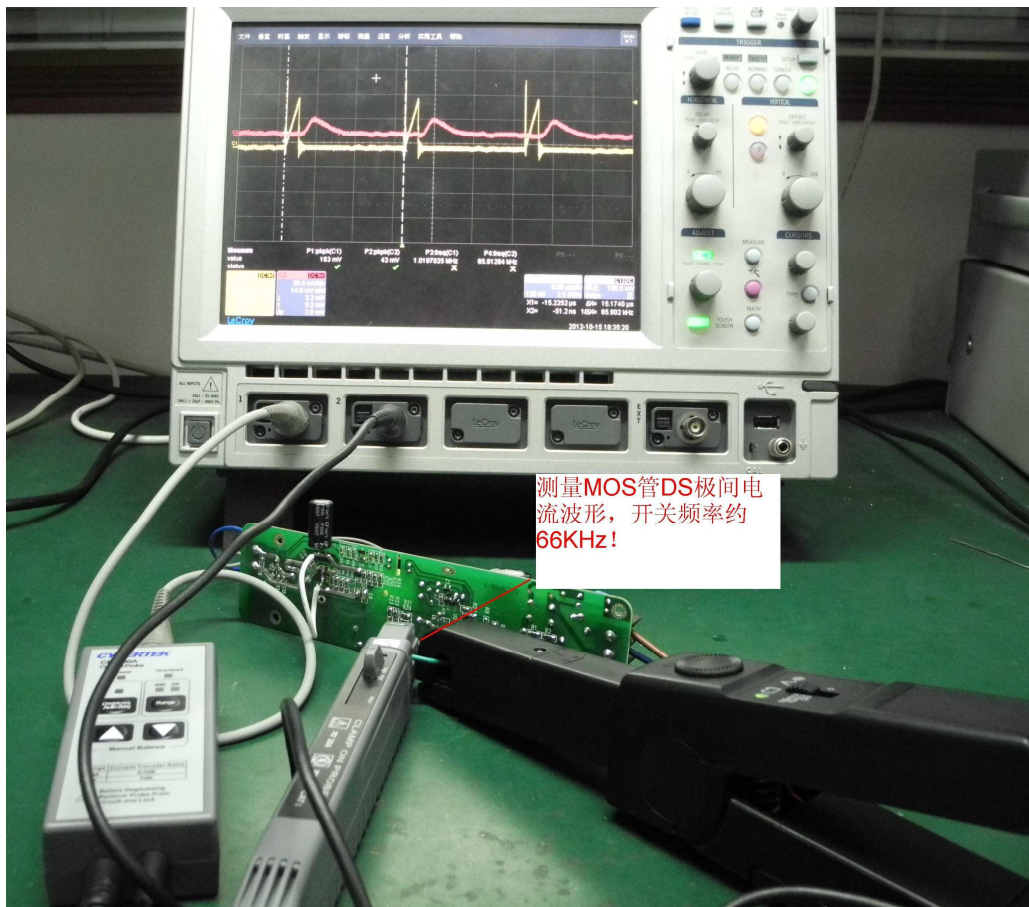


图 8 测量 MOS 管 DS 极间电流波形系统

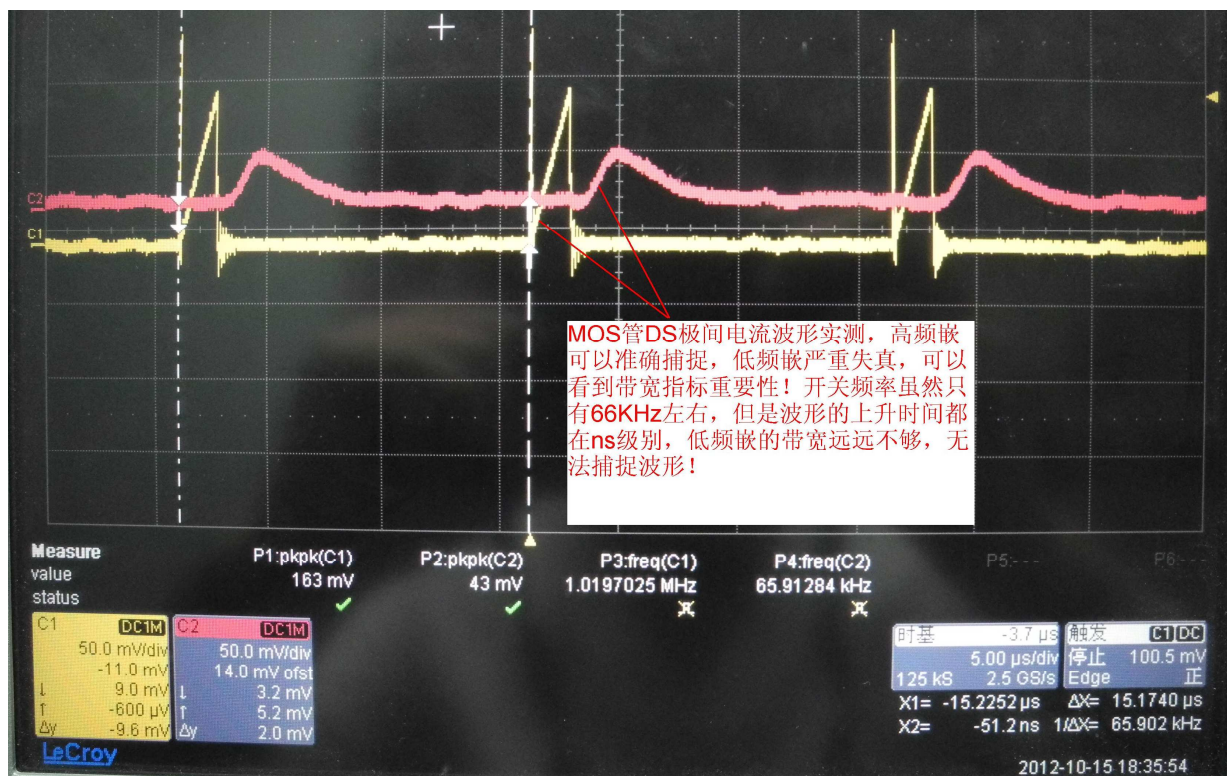


图 9 黄色为高频嵌 (CP8030A) 所测波形，红色为低频嵌(CP8100L)实测波形

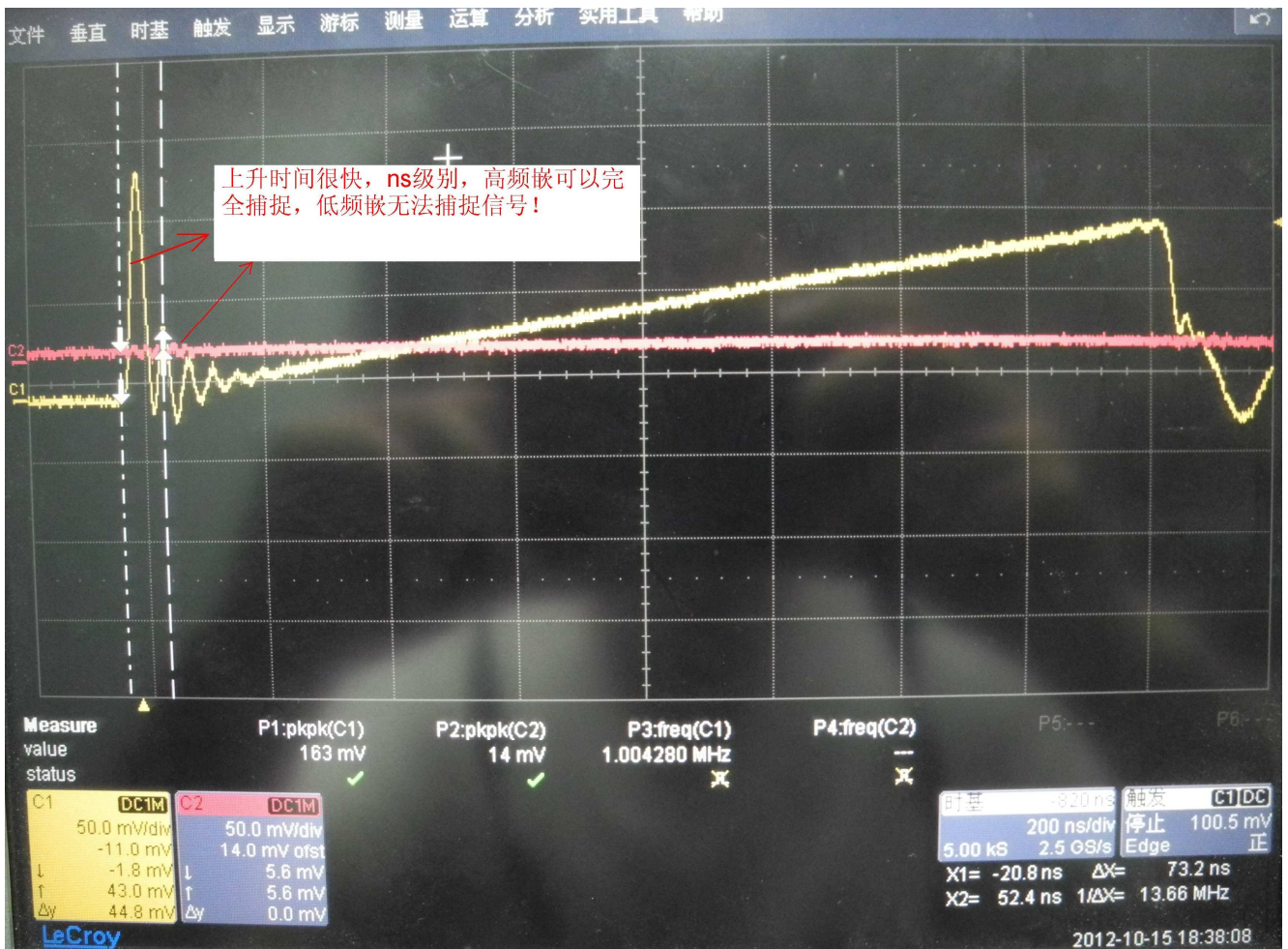


图 10 实测 DS 电流波形细节

通过以上波形分析:

在捕捉 60KHz 左右的开关电流波形时, 从图 10 看到, 电流波形的上升时间达到 35ns 左右, 普通的低频嵌 CP8100L, 带宽 100KHz, 上升时间 3.5us, 远远无法满足要求; 高频电流嵌 CP8030A, 带宽 40MHz, 上升时间 8.75ns, 满足实际测量要求。

4.2 高频电流探头在开关电源中的应用 (CP8030A 和 TCP0030 实测对比)

开关电源的开关频率可以达到 100KHz，当然还有更高的，瞬间的上升速度达到 ns 级别，如果使用低频电流嵌 (us 级别,如本公司的 CP8100L, 泰克的 A622)，根本无法准确捕捉波形，必须使用高频直交流电流探头。下面以本公司 250W 的 ATX 不间断正激电源模块为例，测试系统如图，本公司的 CP8030A(40MHz/30A) 和泰克的 TCP0030(120MHz/30A) 实测做对比，示波器为 TEK MDO4104-6 测试系统如下图 11:

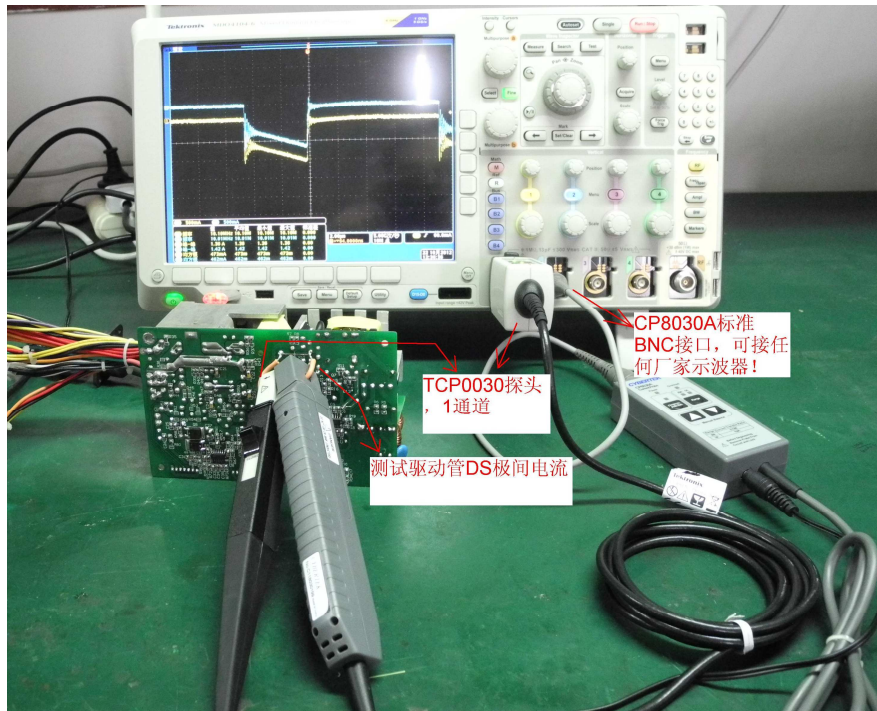


图 11 1 通道为 Tek TCP0030 电流探头 2 通道为本公司的 CP8030A

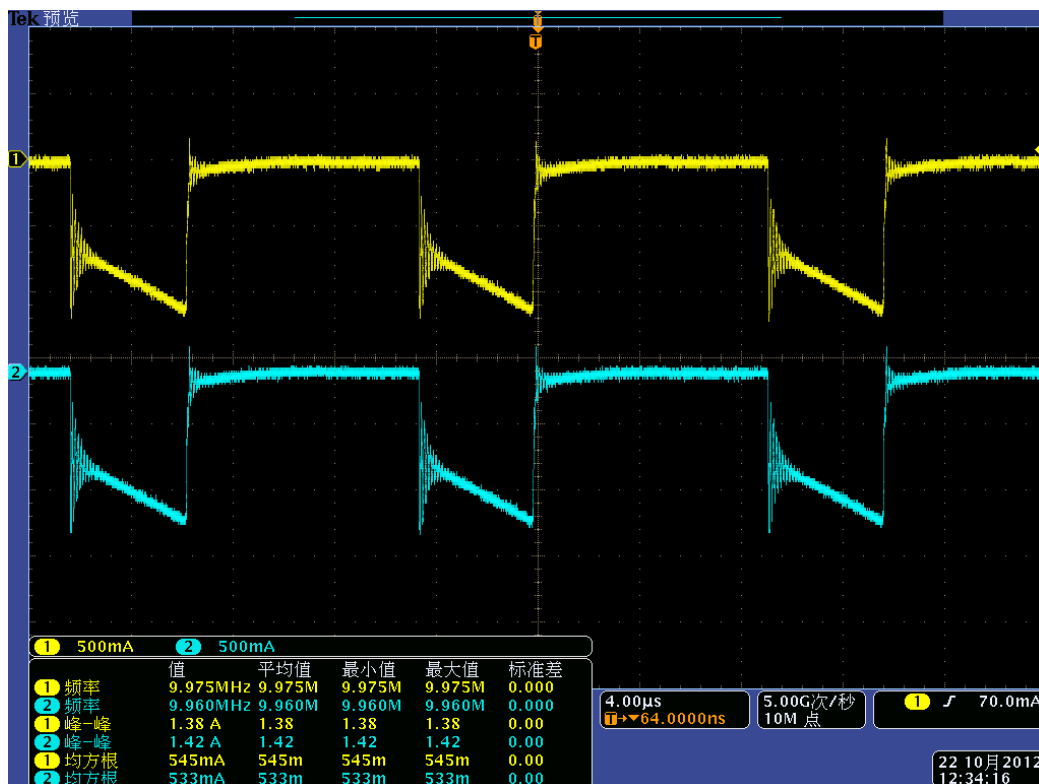


图 12 黄线为泰克 TCP312 蓝线为 CP8030 实测数据对比

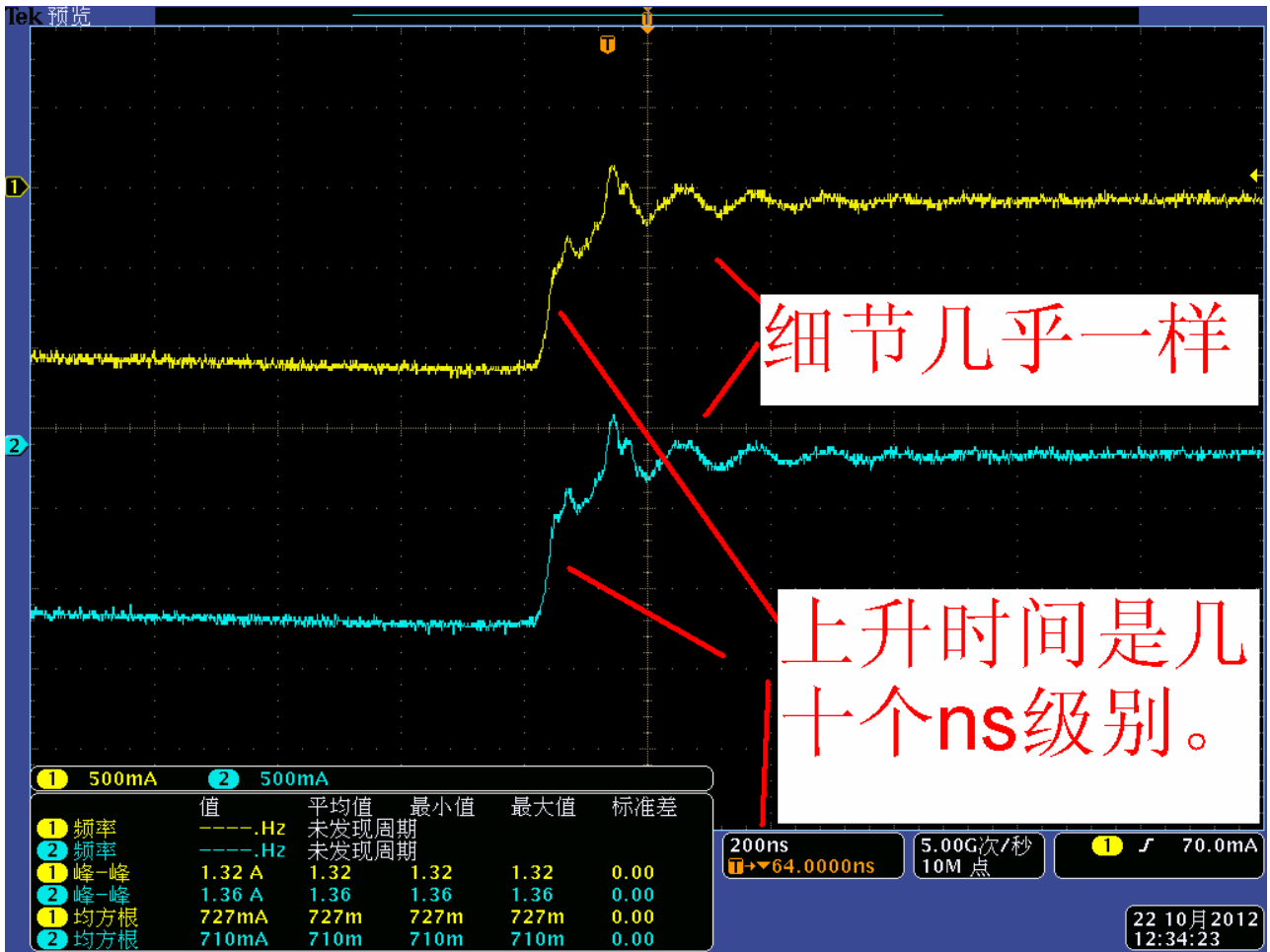


图 13 细节对比 黄色为 TCP0030 蓝色为 CP8030A 实测波形

通过以上分析可知：

高频直流电流探头广泛应用于开关电源领域里，从实测波形分析，虽然驱动频率只有100KHz左右，但是瞬间的上升时间通常可以达到几十个ns级别。普通低频探头带宽显然远远不够。本公司的CP3000,4000,8000A系列都属于DC/AC高频电流探头系列,通过与泰克的对比实测结果分析，误差非常小，完全满足客户应用要求。本公司的CPA3000,4000放大器可以完全兼容泰克对应的探头系列，方便客户的选择。

通过以上实例分析，CP8000A系列配备标准的BNC接口，可接任何厂家示波器，满足高精度，高带宽测量。CP3000,4000系列可以完全兼容泰克系列探头，更加方便客户选择

参考文献：

探头ABC 基础篇-泰克公司