

1.什么是“符合”测试，为什么要进行符合测试，为什么时间分辨率的测量要用符合信号来测量？

**(1)什么是“符合”测试：**

符合是指两个物理事件在时间上相互重合。”符合”测试是指检测两个或多个信号是否出现符合，来评估系统响应时间、时间分辨率或信号关联性的测试方法。其核心是判断输入信号在时间上的同步性或重合性，常用于物理测量系统、探测器、接收机等设备的时间分辨能力评估。

**(2)为什么要进行符合测试：**

- ①评估系统的时间分辨能力；
- ②通过符合选择，噪声比可以提升几个数量级；
- ③用于验证系统能否准确识别并记录同时发生的信号事件；
- ④单个探测器会产生大量随机噪声和无关信号，但两个探测器同时产生信号的概率极低。

符合条件可以大幅过滤掉这些随机本底。

**(3)为什么时间分辨率的测量要用符合信号来测量？**

因为单个探测器无法直接测量自身的时间分辨率，所以必须引入第二个独立的参考探测器构成符合测量系统。通过记录两个探测器之间同时发生或在极短时间间隔内发生的相关事件，我们可以有效排除设备的固有分辨限制、环境背景噪声以及偶然符合的干扰，从而实现目标探测器真实时间分辨率的高精度标定。

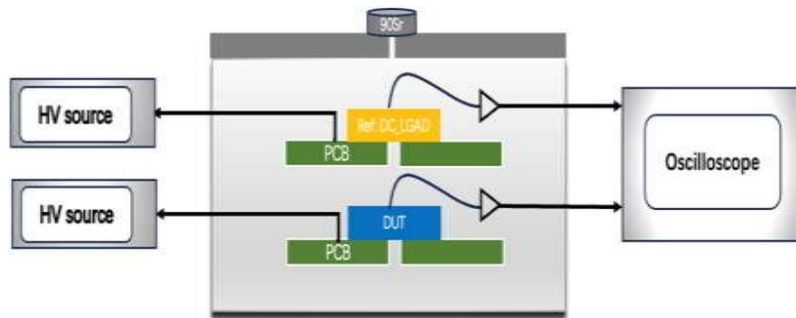


图 1.  $\beta$ 望远镜测试原理图（PPT 第十页图）

图 1 即构成一个符合测量系统，Ref DC-LGAD 为已知时间分辨的 LGAD，作为参考对象。当一个  $\beta$  粒子从上至下穿过系统时，它会首先在上层 Ref DC-LGAD 中产生一个电信号，然后在极短的时间内在下层 DUT 中产生另一个信号。然后用示波器收集这两个信号，通过分析两个波形的上升沿或过零点，可以精确计算出两个信号之间的时间差 ( $\Delta t$ )。这个时间差反映了粒子从上层到下层所需的时间，以及两个探测器自身的响应延迟。收集大量符合事件的时间差数据。将这些数据绘制成直方图，其分布的半高全宽(FWHM)即为该系统的符合时间分辨率。

然后由公式  $\sigma_{\text{system}}^2 = \sigma_{\text{Ref}}^2 + \sigma_{\text{DUT}}^2$  ( $\sigma_{\text{Ref}}^2$  是已知的)，可以解得待测 DUT 的时间分辨。

2.由于朗道效应，真实的粒子在器件中的能量沉积不均匀，对于同一个粒子在两层上下排列的两层探测器产生的信号，在进行符合信号来统计时间分辨率时，应该怎么样消除能量沉积不均匀的因素。

**(1)了解什么是朗道效应：**

朗道效应是指带电粒子穿过物质时，由于与介质中的电子发生碰撞而产生的电离能量损失具有统计涨落的现象。当粒子穿过薄的吸收体层时，由于相互作用次数少，能量损失的统计涨落很大，能损的分布很不对称，接近朗道分布而非高斯分布或泊松分布。

**(2)怎么消除信号幅度不一致带来的误差：**

$$\sigma_{DVT}^2 = \sigma^2_{timewalk} + \sigma^2_{TDC} + \sigma^2_{jitter} + \sigma^2_{Landau} + \sigma^2_{Disortion}$$

这里面信号幅度不一致主要影响 $\sigma^2_{timewalk}$ 和 $\sigma^2_{jitter}$ ，只要尽量减小它们就可以尽可能的消除信号幅度不一致带来的误差。

**①减小 $\sigma^2_{timewalk}$ (本质是不同幅度的信号越过固定阈值所需的时间不同)**

方法一：恒比定时

在信号峰值的固定比例处触发，而非固定绝对阈值。这样大信号和小信号都在同样的相对位置触发，时间游走几乎为零。

方法二：减小上升时间

选择快响应探测器，使上升时间减小，信号上升变陡，前沿上不同幅度点之间的时间差越小。

方法三：降低阈值

阈值设得越低，信号前沿上被截取的位置越接近起始点，不同幅度之间的时间差越小。可增大探测器增益实现。但阈值太低容易被噪声触发，出现假峰影响数据处理。

**②减小 $\sigma^2_{jitter}$ (来自噪声引起的触发时刻随机涨落)**

$$\sigma_{jitter} = \frac{N}{dV/dt} \propto \frac{t_{rise}}{S/N}$$

方法一：提高信号斜率  $dV/dt$

同①的方法二，可选择快响应探测器，使上升时间减小。

方法二：提高信噪比

由上述公式可以看出信噪比每提高一倍， $\sigma_{jitter}$  减半。提高信噪比可以使小幅度信号的时间测量也更精准，从而缩小不同幅度信号之间的时间分布宽度。可以降低前端电子学的噪声，或使用增益更高、噪声更低的放大器。

### 3. 安装 claude code, 建议使用 deepseek api, 可以充值五块钱, 写一个小游戏程序玩一下

```
井字棋小游戏
Thought for 3s (ctrl+o to expand)
• 我来帮你做一个漂亮的井字棋小游戏。
• Write(tictactoe.html)
  Wrote 411 lines to tictactoe.html
  1 <!DOCTYPE html>
  2 <html lang="zh-CN">
  3 <head>
  4   <meta charset="UTF-8">
  5   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  6   <title>井字棋</title>
  7   <style>
  8     * {
  9       margin: 0;
 10      padding: 0;
  ... +401 lines (ctrl+o to expand)
Thought for 1s (ctrl+o to expand)
• 井字棋游戏已创建完成! 文件在 C:\Users\张杰\tictactoe.html, 直接用浏览器打开就能玩。
功能特性:
- ♟️ 双人对战 - 两位玩家轮流落子, X 先行
- ✨ 视觉反馈 - X 为青绿色, O 为粉红色, 带发光效果
- 🏆 胜利动画 - 获胜的三个格子会有金色脉冲高亮
- 📊 比分追踪 - 顶部计分板记录 X/O/平局 分数
- 🎉 胜利弹窗 - 每局结束后弹出结果提示, 带淡入动效
- 🔄 重新开始 - 保留比分开始新局
- 🧹 清零比分 - 重置所有比分
双击 tictactoe.html 即可在浏览器中开始游戏!
* Baked for 38s
>
? for shortcuts · ← for agents
```

