

# 如何使用 HP 54111D 数字示波器

William Xu 04-12-2020

数字示波器和模拟式示波器相比有什么优点？一言以蔽之，那就是自动测量和高度精确。本文以 HP 54111D 数字示波器为例，简要地描述如何使用数字示波器。

HP 54111D 的使用非常复杂，单说明书“面板用户指南”(Front Panel Users Guide) 就长达 190 页，初学者很难上手。但是读者如果使用本文“一分钟内学会如何自动测试输入波形”那一段描写的方法，可以保证新手在数分钟内就开始使用该仪器。

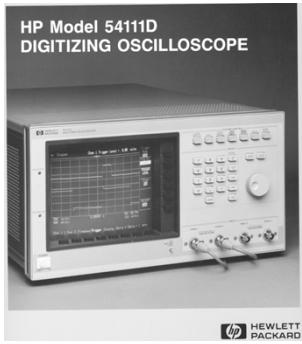


图 1. 54111D 1988 年的广告



图 2. 笔者做实验用的 HP 54111D

## I. HEWLETT PACKARD HP 54111D 简介

HP 54111D 是一款完全可编程的实时数字示波器。HEWLETT PACKARD 1988 年的产品。它使用 1Gs/S (1 gigasample/second, 1000 兆次取样/每秒) 的采样率，可提供 500MHz 的重复带宽测试和 250MHz 的实时带宽测试。

输入包括两个垂直信号通道和两个触发通道。输入可以通过去耦设置为 50 欧姆阻抗，或者在 6.5 pf 下通过直流耦合设置为 1 M 欧姆阻抗。来自垂直和触发通道的信号可用于为仪器提供合格的触发信号，该触发信号是水平和/或边缘的模式。

## II. 一分钟内学会如何自动测试输入波形

HP 54111D 一个强大的功能就是自动测量. 当输入端有信号的时候, 自动测量功能根据输入信号的强度和频率自动调节垂直放大器的放大倍数和水平扫描器的扫描速度, 把这个输入信号以最佳的形式显示在屏幕上.

下面一段描述如何用面板的 AUTO-SCALE 按钮在 10 秒内自动显示 HP 54111D 面板自带的测试信号(2KHz, 0.8Vpp 方波信号).

## 2. 1 连接示波器垂直信号通道 2 的探头到 HP 54111D 面板测试信号.

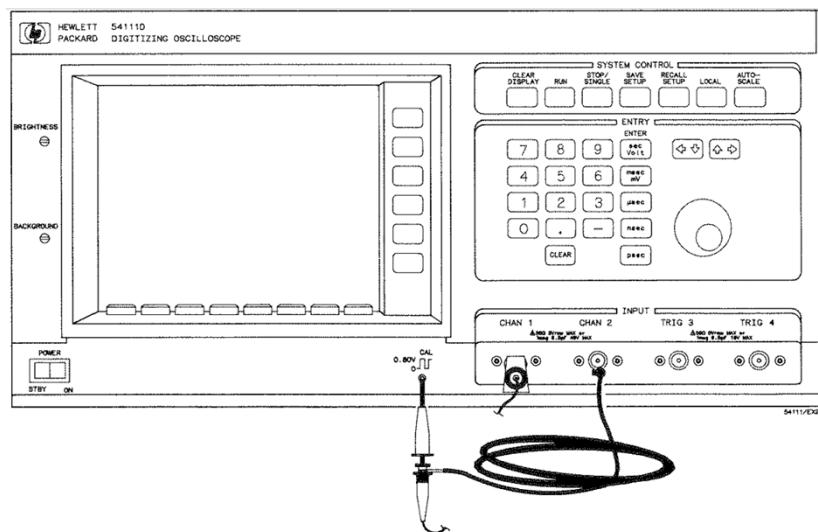


图 3. 连接示波器垂直信号通道 2 的探头

## 2. 2 按面板 AUTO-SCALE 按钮

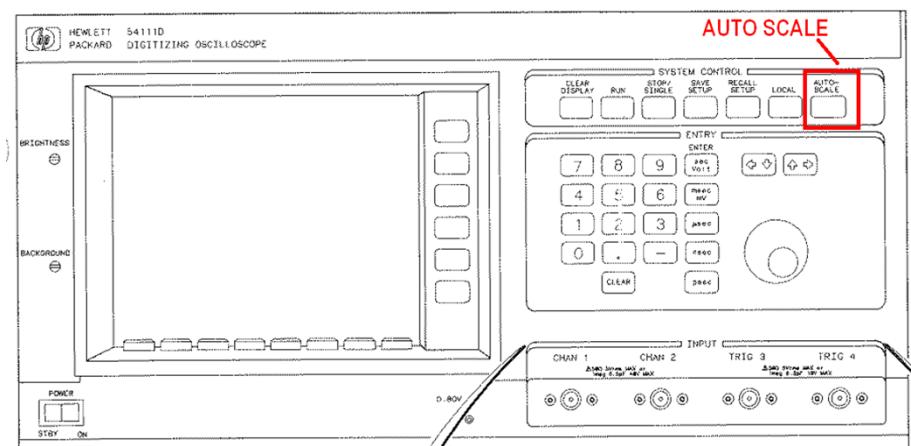


图 4. 按面板 AUTO-SCALE 按钮

## 2.3 几秒钟以后 HP 54111D 自动显示测试信号的波形

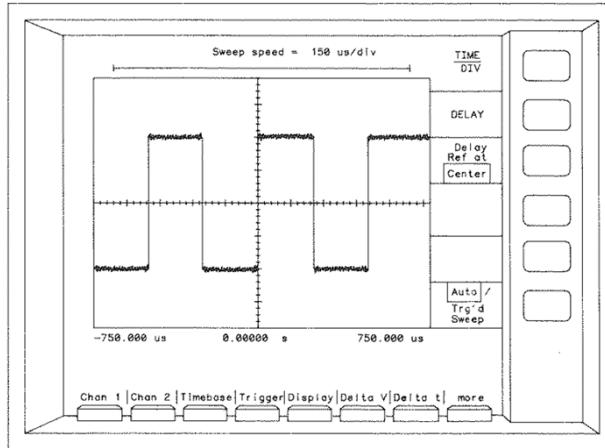


图 5. 54111D 自动显示测试信号的波形

## 2.4 用 HP 54111D 做实验

笔者按照节 2.1 – 节 2.3 描述各个步骤所做的 HP 54111D 实验结果见图 6.

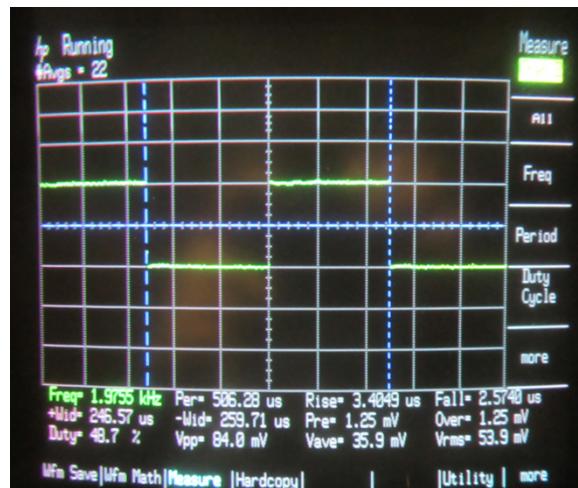


图 6. 54111D 自动显示测试信号的波形

## III. 一键功能精确测量输入波形的各项参数

本文开始已提到数字示波器优点就是自动测量和高度精确. 在上面一段做的实验中我们已经看到了自动测量如何自动显示被测量的波

形. 下面一段描述如何用 CRT 屏幕的〈Measure〉按钮在 1 秒钟内自动显示输入波形的各项精确参数. 例如被测波形的频率, 被测波形电压的峰值, 被测脉冲波的上沿和下沿时间等等.

### 3.1 CRT 屏幕的〈Measure〉按钮

下面 3 步描述如何找到测量按钮〈Measure〉

- 1) 在显示被测波形的图 6 中按最右边的〈More〉按钮. (图 7)
- 2) 按左边第 3 个按钮〈Measure〉按钮. (图 8)

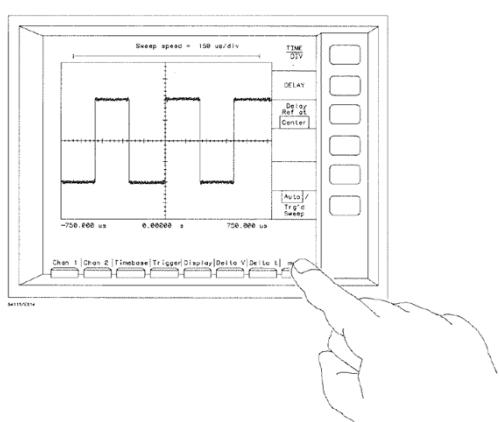


图 7. 按最右边的〈More〉按钮

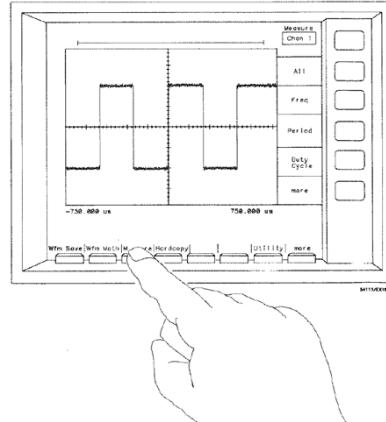


图 8. 按左边第 3 个〈Measure〉按钮

- 3) 现在 Measure 的菜单出现在屏幕的右边. (图 9)

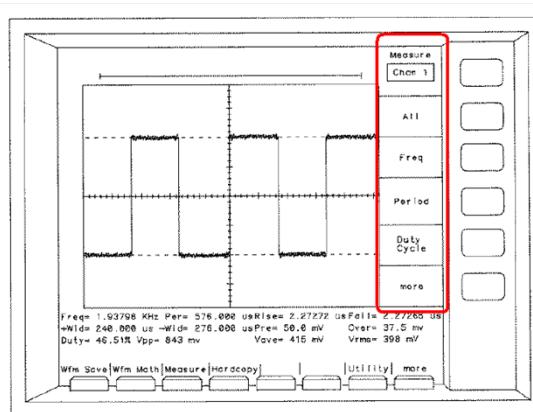


图 9. Measure 的菜单出现在屏幕的右边

### 3.2 图 9 Measure 菜单显示各选项按钮

按图 9 Measure 的菜单下的各项选项按钮可得到您要测试的参数. 例如按 <A11> 按钮就得到图 10 的结果 — 输入波形所有的参数都显示在波形下面的屏幕上.

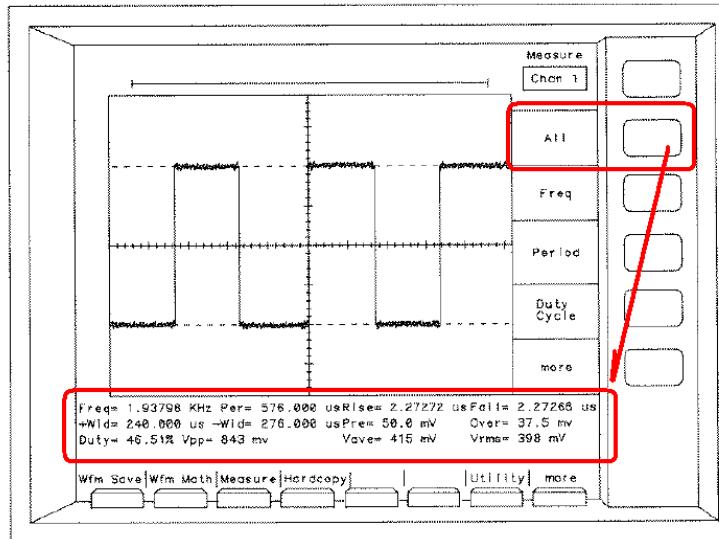


图 10. 按<A11>按钮可显示输入波形所有的参数

### 3.3 用 HP 54111D 做实验

按照节 3.1 — 节 3.2 描述的各个步骤, 笔者所做的 HP 54111D 实验结果见图 11. 按手册描写 HP 54111D 自带的测试信号频率是 2KC. 图 11 中 HP 54111D 实测信号的频率(绿色)是 1.9995KC, 非常接近.

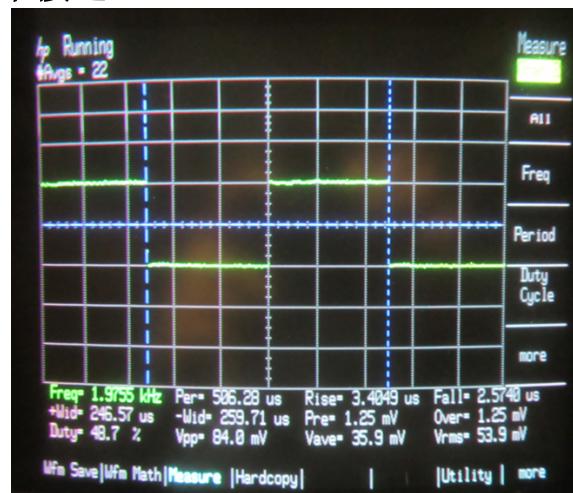


图 11. 54111D 显示被测信号的频率(绿色)是 1.9995KC.

## IV. 学会做简单的手动测量

以上我们谈的是数字示波器的自动测量功能. 自动测量功能并非尽善尽美. 对于复杂的波形我们还是要像模拟示波器一样用手动测试. 手动测试一般需要调三个参数: 垂直放大器的灵敏度, 水平扫描的速度, 以及调水平扫描的触发电平使显示的波形稳定下来.

### 4.1 调节垂直放大器的灵敏度

1) 把信号接到通道 2, 按 Chan 2 按钮.

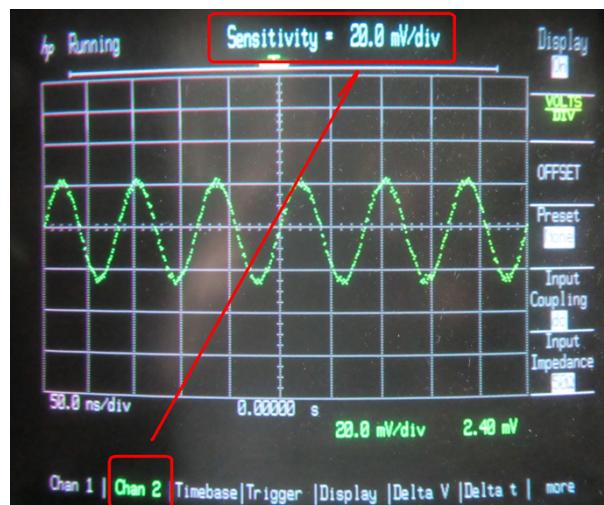


图 12. Sensitivity = XXX 显示在屏幕的上方

2) 这时看到 Sensitivity = XXX 显示在屏幕的上方(图 12)

3) 转动圆的旋钮可调节垂直放大器的灵敏度(图 13)



图 13. 转动圆的旋钮调节垂直放大器的灵敏度

4) 图 14 显示了同一个输入信号在不同的垂直放大器灵敏度下看到的图形. 左图的灵敏度=20.0mv/div; 右图的灵敏度=10.0mv/div.

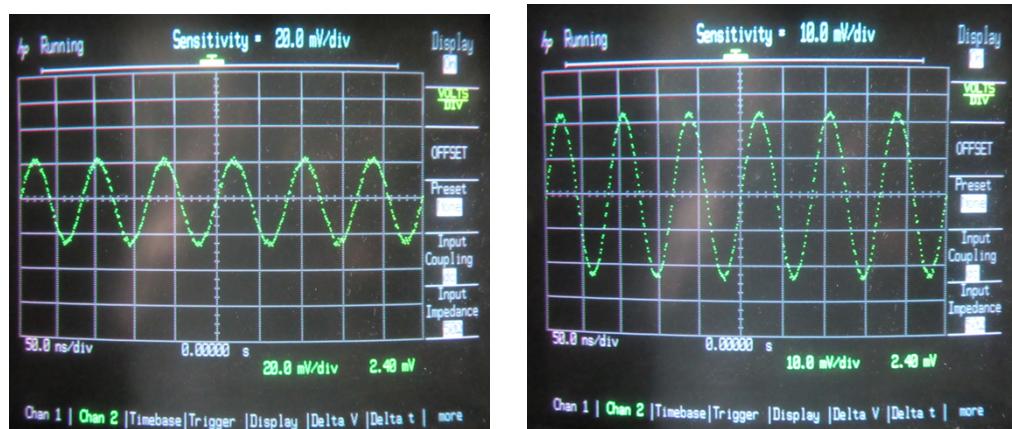


图 14. 调节垂直放大器灵敏度

## 4. 2 调节水平扫描的速度

1) 按 Timebase 按钮

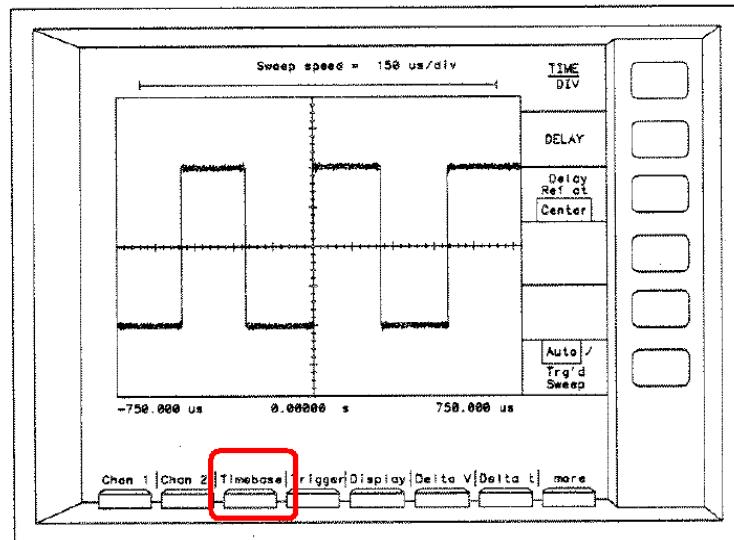


图 15. 按 Timebase 按钮

2) 这时看到 Sweep Speed = xxx 显示在屏幕的上方 (图 16)



图 16. 转动圆的旋钮调节扫描速度

- 3) 转动图 16 那个圆的旋钮就可以调节扫描的速度
- 4) 图 17 显示了同一个输入信号在不同的扫描速度下看到的图形. 左图的扫描速度=20.0 ms/div; 右图的扫描速=100.0ms/div.

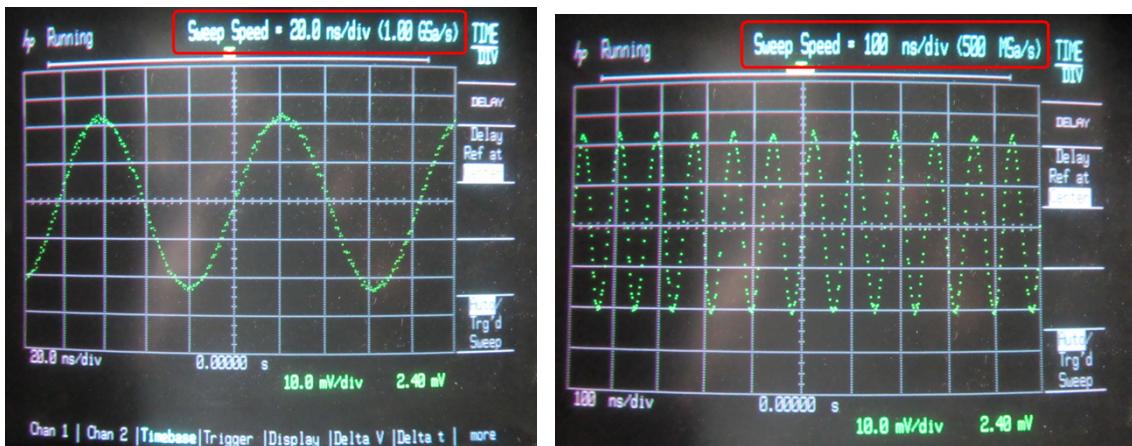


图 17. 调节水平扫描器的扫描速度.

### 4. 3 调节水平扫描的触发电平

调节水平扫描的触发电平可以控制波形的初始显示点

- 1) 按 Trigger 按钮(图 18)

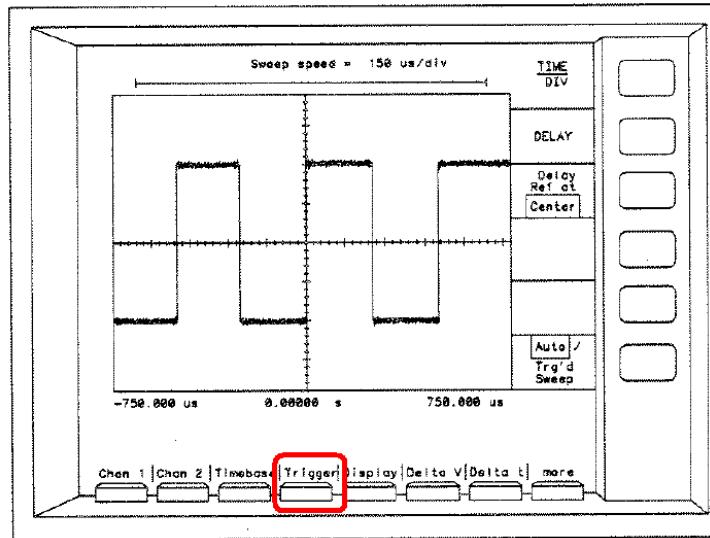


图 18. 按 Trigger 按钮

- 2) Chan 2 Trigger Level = xx 显示在屏幕的上方. (图 19)
- 3) 仔细看图 19, 可以发现水平方向中间有一条蓝线. 这条蓝线表示了现在的触发电平. 转动图 19 右边那个圆的旋钮就可以调节蓝线的高低, 也就是调节水平扫描的触发电平. 调节水平扫描的触发电平可以稳定显示的波形也可以控制波形的初始显示点(图 19 左下).

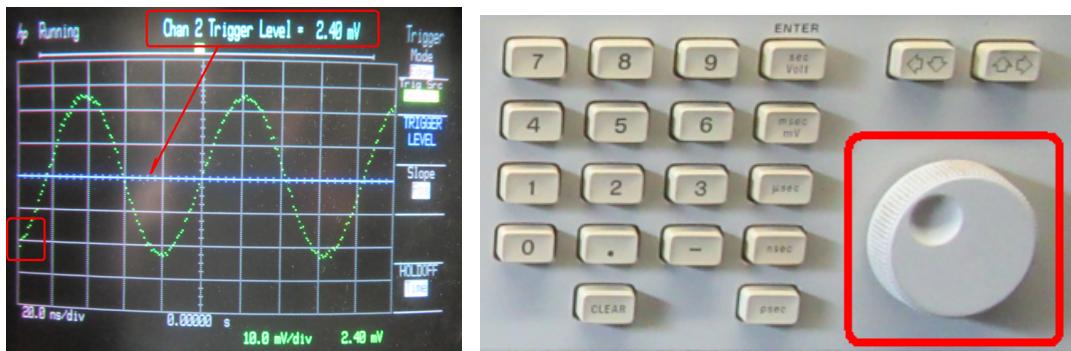


图 19. 调节水平扫描的触发电平

- 4) 观察调节扫描的触发电平如何影响波形的初始显示点. 见图 20. 图中左边的那个表示 Trigger Level=2.40mV; 右边的那个表示 Trigger Level=12.4mV. 可以看到波形的初始显示点是不同的.

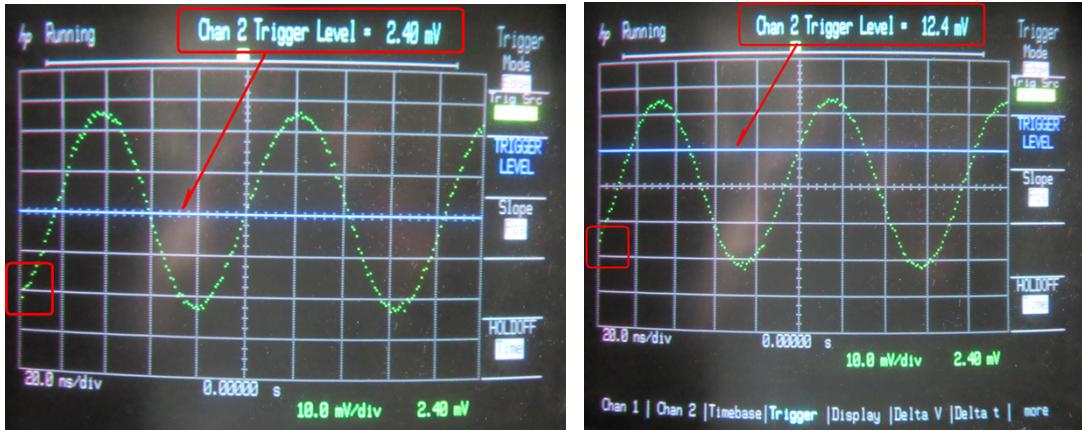


图 20. 调节触发电平, 可以控制波形的初始显示点

## V. 用外部信号源做进一步的实验

学会上面简单的测试以后我们可以学习一些比较复杂的操作. 做这些实验必须要有一个信号发生器. 数字示波器 HP 54111D 可提供 500MHz 的重复带宽测试和 250MHz 的实时带宽测试, 所以我们就需要相应频宽的信号发生器. 在以下的实验中我们使用的信号发生器是 HP 的 8640B Signal Generator. 它能产生 0 到 1024MHz 的调频/调幅信号, 正好匹配我们的示波器.



图 21. HP 8640B 信号产生器

### 5.1 检验 HP 54111D 250MHz 实时带宽 (Real Time) 测试能力

- 1) 把数字示波器调到实时测量模式. (见附录: 实时测量模式)
- 2) 示波器垂直信号通道 2 的探头连接到 HP 8640B 信号产生器高频输出端.

- 3) HP 8640B 信号产生器输出频率调到 250MHz, 输出电压调到 2.0Vpp.



图 22. 把 HP 8640B 调到频率=250MHz, 输出电压=2.0Vpp

- 4) 按数字示波器 HP 54111D 的 AUTO SCALE 按钮.  
 5) 看到结果如图 23. HP 54111D 自动显示波形并报告频率测量的结果是 250.82MHz, 与信号发生器产生的频率 250MHz 相当接近.

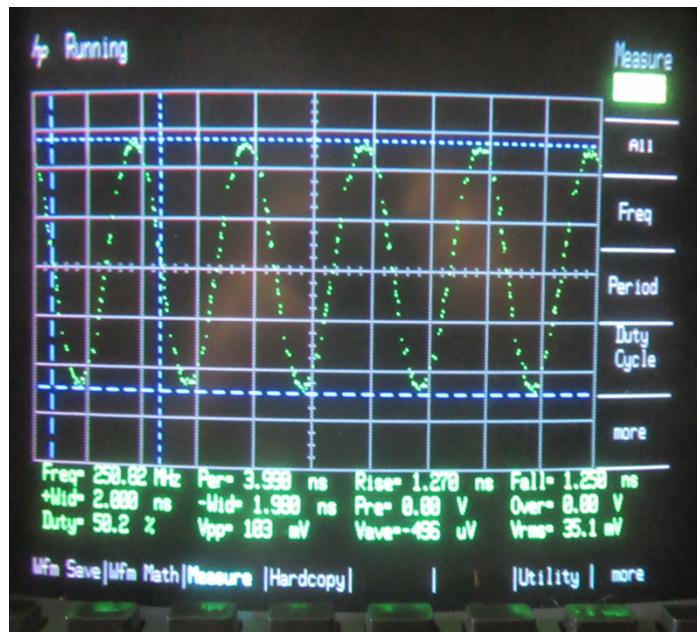


图 23. 频率测量的结果是 250.82MHz

## 5. 2 检验 HP 54111D 500MHz 重复带宽(Repetitive) 测试能力

经过测试, 实验用的 HP 54111D 没有通过广告所说的 500MHz 重复带宽测试能力. 但是通过 400MHz 测试能力. 见下列各步的实验.

- 1) 把数字示波器调到**重复测量模式**. (见附录: **重复测量模式**)
- 2) 示波器垂直信号通道 2 的探头连接到 HP 8640B 信号产生器高频输出端.
- 3) HP 8640B 信号产生器输出频率调到 500MHz, 输出电压是 2. 0Vpp.
- 4) 按 HP 54111D 的 AUTO SCALE 按钮.
- 5) HP 54111D 自动测量报告没有输入信号. 看来机器没有真的达到 500MHz 重复带宽测试能力. 调低频率以后再试.
- 6) HP 8640B 信号产生器输出频率降低到 400MHz, 输出电压是 2. 0Vpp.
- 7) 看到结果如图 24. HP 54111D 自动显示波形并报告频率测量的结果是 400. 53MHz. 相当接近.



图 24. HP 8640B 信号产生器频率调到 400MHz.

**结论:** 实验用的 HP 54111D 没有通过 500MHz 重复带宽测试. 我也曾经测试过 450MHz, 但是结果非常不稳定. 本节的测试表明,

至少在 400MHz 以下的频段中 HP 54111D 的重复带宽测试是可以使用的.

## VI. 介绍几个数字示波器特有的功能

数字示波器引入了微处理器 (CPU) 和内存因而它能做一些模拟示波器做不到的功能. 例如, 它能存储屏幕上的曲线和进行两条曲线之间的运算. 本章就来介绍这些功能.

### 6. 1 进行两条曲线之间的运算(Wfm Math)

本机可定义 2 个计算功能. 每个计算功能在运算元素 1, 运算符号和运算元素 2 这三者之间进行. 例如我们可以做下列的元素相加运算:

运算元素 1 + 运算元素 2

当然有时候也可以单元素操作, 例如对某条曲线进行积分 (Integrate) 运算.

进入曲线运算菜单 (Wfm Math) 后可以定义某个计算功能 (指 Function 1 或 Function 2) 的运算元素 1, 运算元素 2 和运算符号. 运算元素可以是 Ch-1 / Ch-2 的输入信号曲线或者是内存中存放的曲线. 最后的运算结果也是一条曲线, 将在屏幕上显示出来. 其中功能 1 的运算结果用绿色曲线显示; 功能 2 的运算结果用粉红色曲线显示. 下面各步显示如何做运算.

#### 1) 进入曲线运算菜单(Wfm Math)

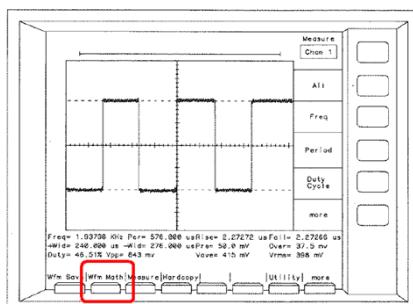


图 25. Wfm Math 曲线运算

2) 本机可定义 2 个计算功能. 因此第一步要选择功能 1 或者功能 2. (Function 1 或 Function 2) (图 26)

3) 定义本功能 的运算元素 1, 运算元素 2 和运算符号 (图 26)

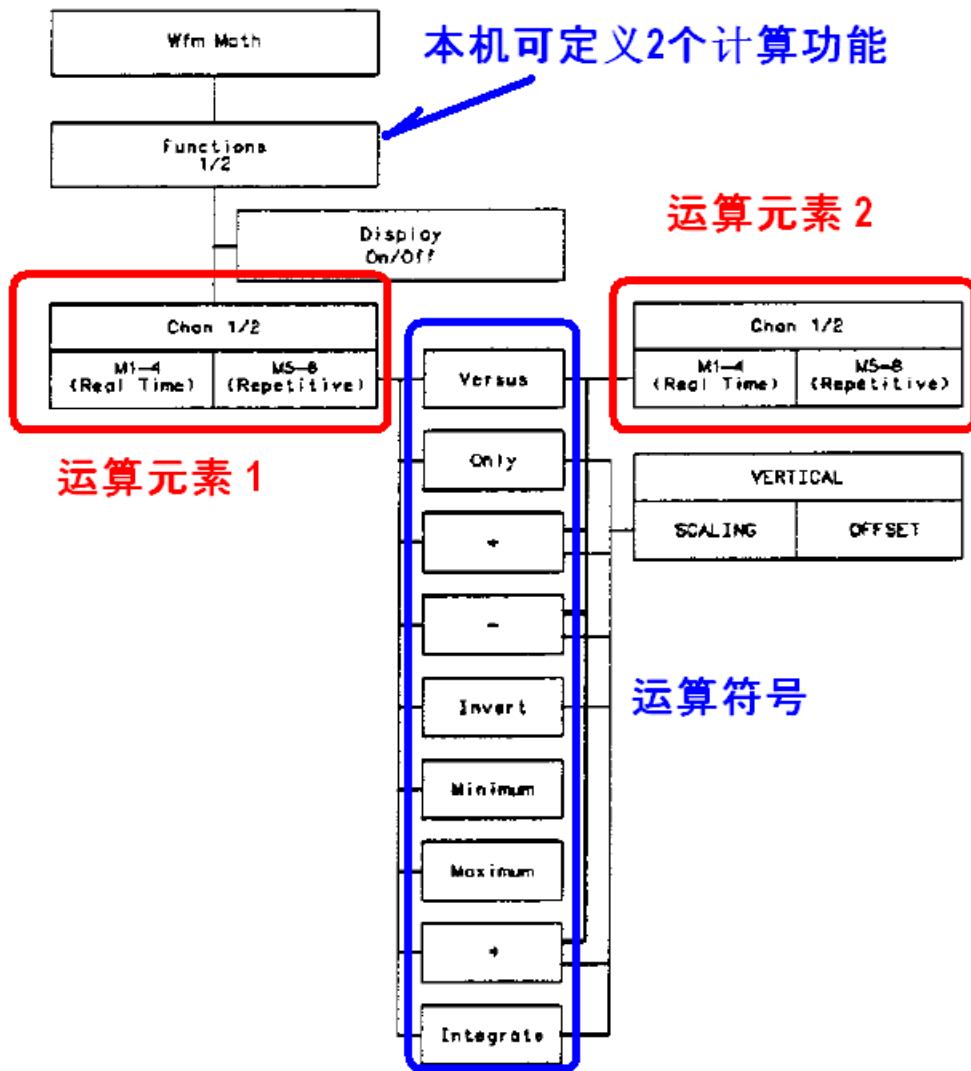


图 26. Wfm Math 曲线运算菜单

4) 别忘了选择 **Display On** (图 26), 让运算的结果曲线显示出来.

## 6. 2 两条曲线之间运算的实验

## 1) 实验 1: 曲线 1(正弦波)与曲线 2(方波)相乘运算

定义计算功能 2 为曲线 1(正弦波)与曲线 2(方波)相乘运算. 见图 27, 粉红色曲线显示运算结果: 曲线 1 \* 曲线 2

细看图 27 可见 Function = 2 (粉红色), 运算元素 1 (蓝色的框) = Ch1, 运算元素 2 (绿色的框) = Ch2, 运算符号 = \*.



图 27. 粉红色曲线显示功能 2 的运算结果.

## 2) 实验 2: 曲线 2(方波)的积分(Integrate)运算

定义计算功能 1 为 Ch 2 输入曲线的积分(Integrate)运算. 图 28 显示了运算结果: Ch 2 输入的积分曲线.

图中, 下部的绿色方波是 Ch 2 输入曲线, 上部的绿色步进方波是 Ch 2 输入的积分结果.

细看图 28 还可以看到 Function = 1 (绿色), 运算元素 1 (绿色的框) = Ch2, 运算符号 = Integrate.

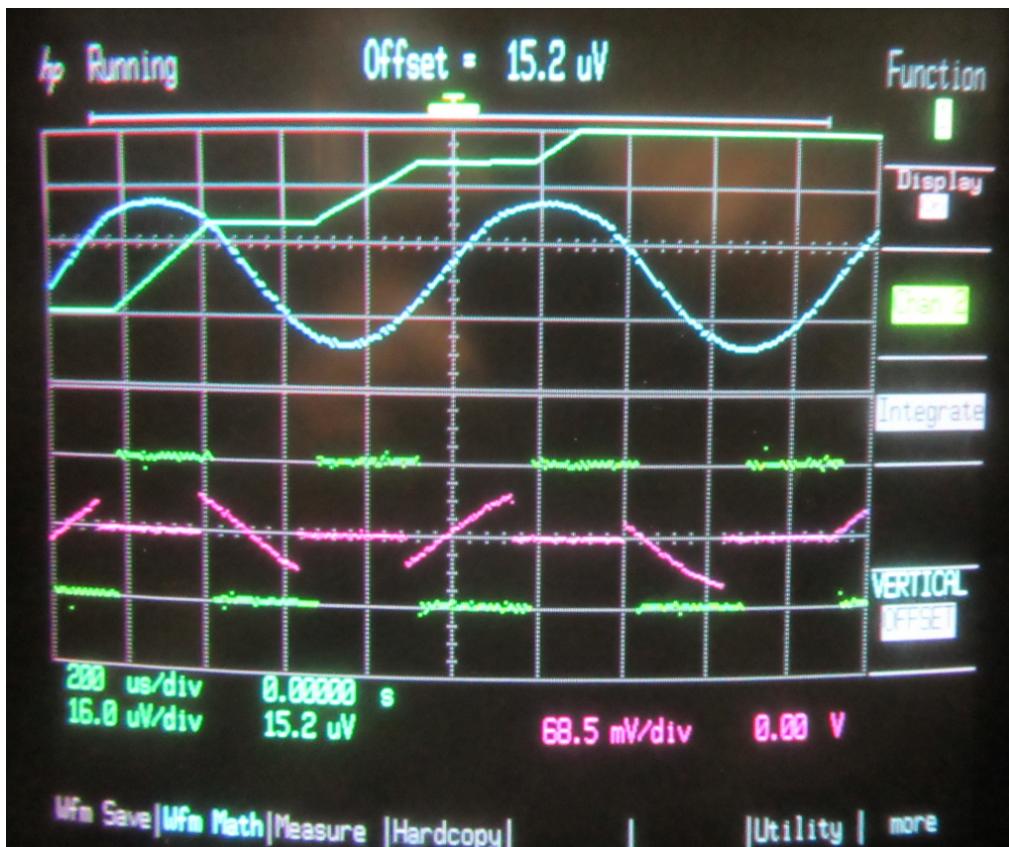


图 28. 上部绿色步进曲线显示了对方波信号的积分运算

## References (参考文献)

- 1) HP 54111D Front Panel Operation Reference. HP document, 1988.
- 2) HP 54111D Service Manual, HP document, 1988.

## Appendix (附录)

### 如何设置实时测量模式/重复测量模式

- 1) 按 Display 按钮(图 25)

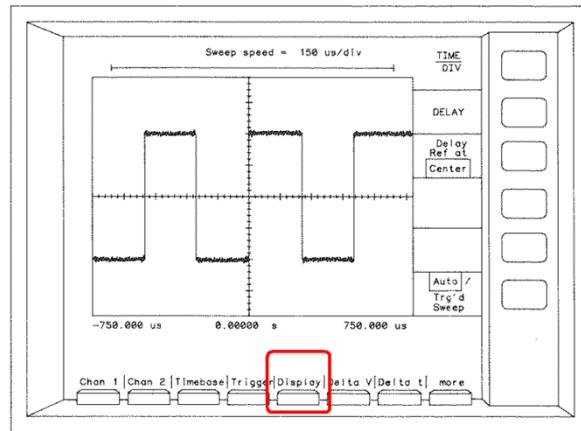


图 25. 按 Display 按钮

- 2) 在 Display 菜单下面可以有两种选择, 实时测量(Real-Time)模式/重复(Repetitive)测量模式.

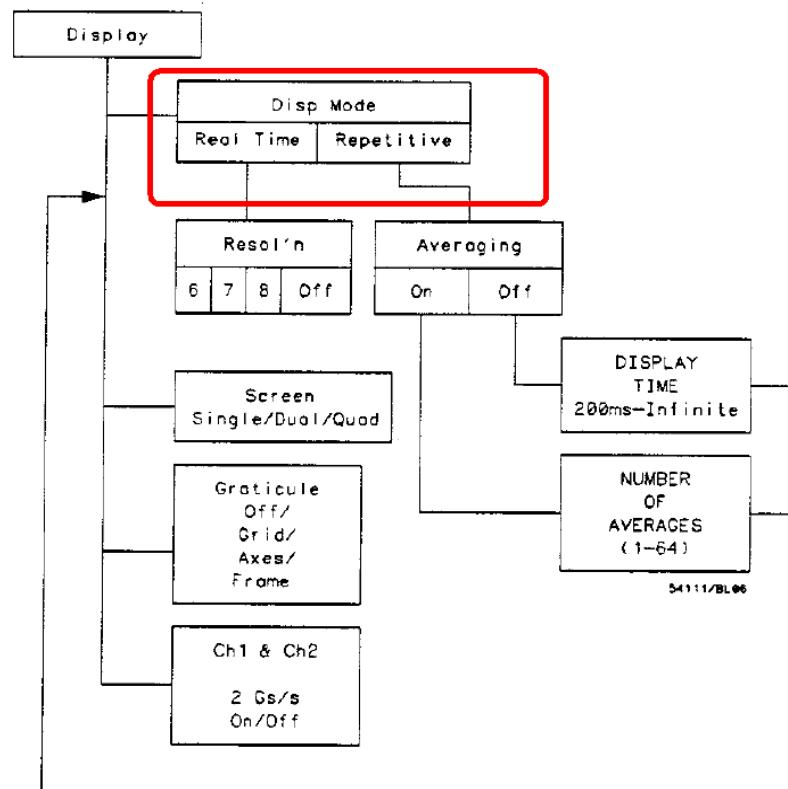


图 26. Display 菜单下选择实时测量模式/重复测量模式.

3) 图 27 表示了同一个输入信号用 Real-Time 显示的波形(左)和用 Repetitive 显示的波形(右)是不同的.

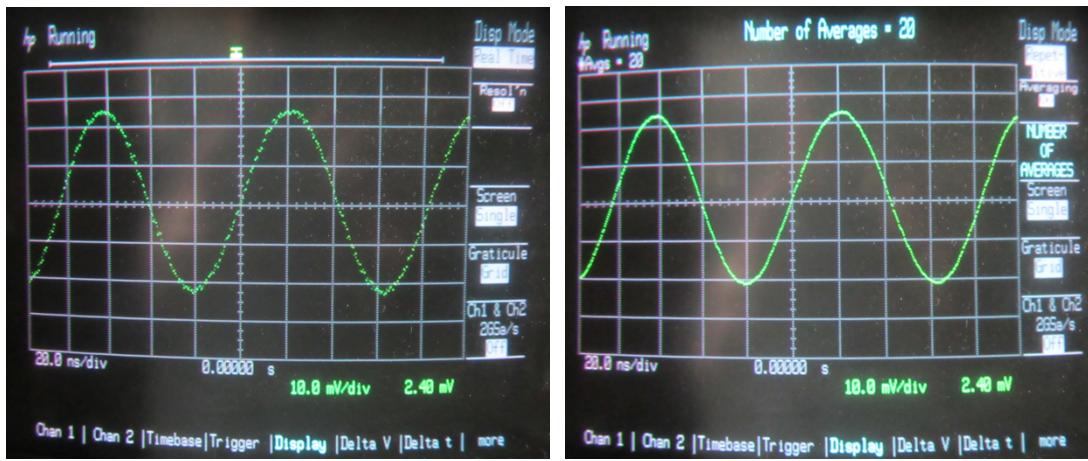
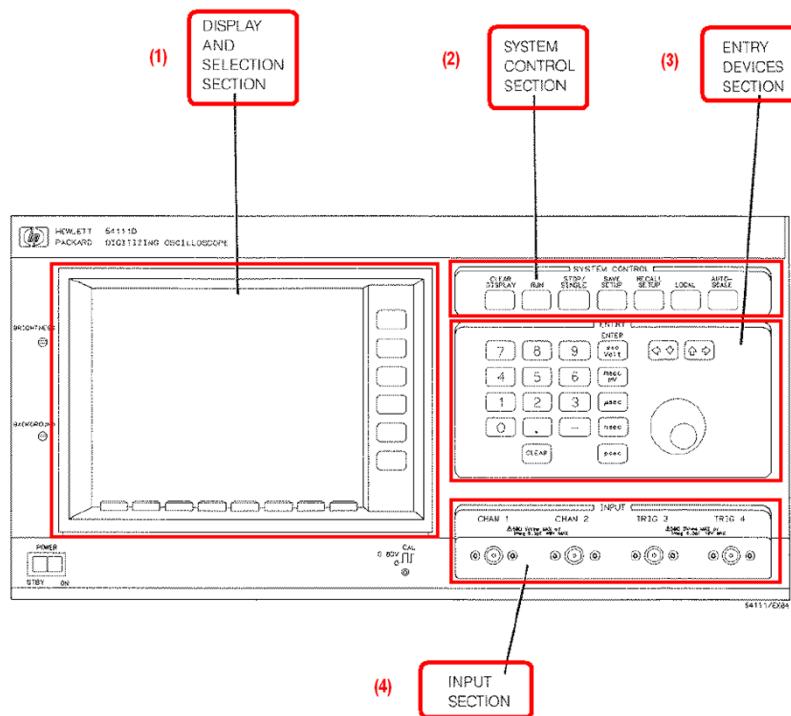


图 27. Real-Time 显示波形(左) 和 Repetitive 显示波形(右)



## VII. 面板上各按钮的详细介绍



## VIII. 精确测量被测电波的各项性能

## IX. 设定触发电平

## X. 存储和比较波形



图 5. HP 8640B 信号产生器



图 5. BK-1400 Oscilloscope Calibrator