

# 激光频率稳定性的单板机测量

陈 方

**摘要:** 本文讨论了用TP-801单板机对激光频率稳定性进行快速、简便、高精度测量, 并对所研制的装置以及用它测量稳频染料激光器的短期稳定度所得到的结果, 作了简要介绍。

## 一、引 言

由于染料激光器在各个领域的广泛应用, 对于它的波长稳定性的要求愈来愈高, 因而窄线宽染料激光器和染料激光稳频器相继出现。由此也就产生了如何简便、迅速、高精度地测量染料激光器的频率稳定度问题。本文介绍一种测量装置, 并用此装置对我们研制的稳频染料激光器的短期稳定度进行了测试。

## 二、激光频率的阿仑方差测量

为了测量激光频率的稳定性, 通常采用两种方法: 光学鉴频器法和拍频法。我们采用的是拍频法, 它是用一台已知频率稳定度很高的激光器与被测激光器进行激光混频, 经光电接收器后获得这两束光的差频信号  $\Delta v = \nu_1 - \nu_2$ 。因为已知激光器的频率稳定度很高, 这样可将测得的差频信号的频率稳定度看作被测激光器的频率稳定度。

激光频率的短期稳定度通常以阿仑方差的形式来描述。它要求对被测信号进行无间隔取样, 这在实际当中是很难做到的。一般认为只要满足以下两个条件即可看作无间隔取样。

$$\begin{cases} T - \tau \ll \tau \\ T - \tau \ll 1/\omega_n \end{cases}$$

式中  $T$ —取样周期

$\tau$ —取样时间

$\omega_n$ —频率源噪声输出带宽

巴纳斯函数表是在假定  $\omega_n = \infty$  的情况下算出的, 而实际的信号源都有一定的噪声带宽, 所以  $T - \tau \ll 1/\omega_n$  的条件是可以得到满足的; 至于  $T - \tau \ll \tau$  这一条件, 目前用计算机进行秒量级采样也是很容易达到的。

对于测量数据的处理固然可以使用微型计算机, 因其高级语言及磁盘驱动器的使用, 使得在程序编写及数据存贮上有许多便利之处, 但把它作为一种进行小容量数据处理的专用设备, 就其性能价格比来说是十分不宜的。为此, 我们选择了TP-801单板计算机用于我们的数据采集及数据处理。结果表明, TP-801单板机的数据采集及数据处理可以达到高速度、高精度的要求。只是在程序编写及数据处理上稍嫌烦琐, 但程序一经编好便可固化在EPROM里或转储于磁带中, 再次使用时可直接取出, 十分方便。

### 三、数据采集与接口

标准频率源的精度不同，测量结果所达到的精度也不一样。我们以测量经偏振法稳频器稳频后的801 A型环形染料激光器的短期稳定度为目标，确定我们测量系统的设计方案。经偏振法稳频后的801 A型环形染料激光器是一短期频率稳定度为  $10^{-9}$  量级的高稳定性激光器，我们用一台精度为  $10^{-11}$  量级的高稳定碘稳He-Ne激光器与其拍频，从中获得了几MHz至几十MHz的差频信号，这一差频信号即为我们的测量对象。

首先将被测光信号经光电接收器转换为电信号，然后经计数、锁存，最后将得到的数据输入到单板机中进行数据处理并打印出测量结果，系统方框图如图1。

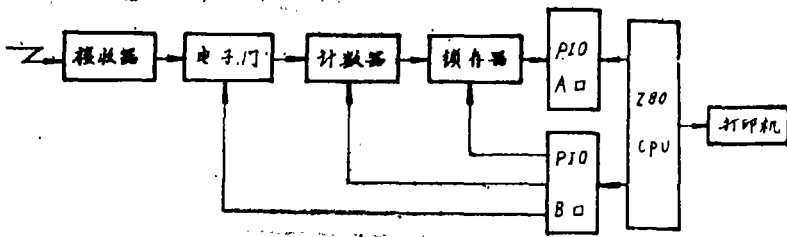


图1 系统方框图

对于采集  $10^{-9}$  量级高精度的 8 位十进制 (32 位二进制) 数据，考虑到 TP-801 单板机的 8 位数据线及 PIO 的 8 位数据口，故需将一个完整数据分 4 段分时地进行输入，顺序地存贮到单板机内存中。我们将计数器计得的一个完整数据锁存到 4 片具有三态输出的 8 位数据锁存器中，锁存器的输出端挂于作为数据输入口的 PIO A 口，通过实时控制，便可将一个完整的数据分时分次，按顺序通过 PIO A 口存贮到单板机内存中。PIO A 口作为数据输入口可以工作于方式 1 (输入方式)，亦可工作于方式 3 (位控方式)。A 口工作于方式 1 时，当外部设备准备好数据后，发出选通信号  $\overline{ASTB}$ ，请求 CPU 中断，进行数据输入处理。工作于这种方式，CPU 可以在外部设备准备数据时，进行其他工作，不受外部设备准备数据的影响，可以提高单板机的使用率。同时，对数据采集程序做适当安排，还可以在某种程度上缩小采样间隔，以精确我们的数据计算。然而在我们这种专门的小容量测量计算中，单板机使

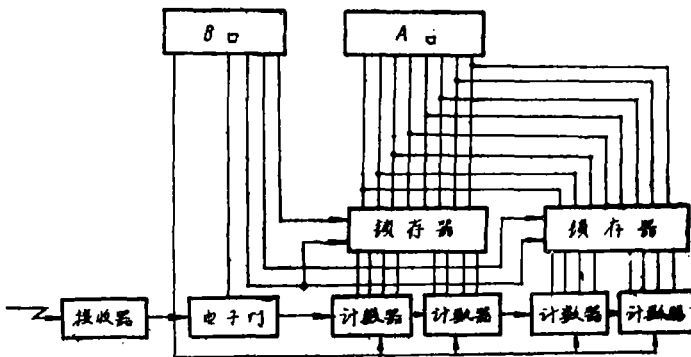


图2

用率的少许提高并不显得十分重要。至于采样间隔的大小，在我们秒量级采样的测量系统中，是很容易满足  $T - \tau \ll \tau$  这一条件的。再考虑到  $A$  口工作于此方式时，不但需要给出选通信号  $\overline{ASTB}$ ，而且采样时间还需有外部时钟控制，这样势必要增加一些软硬件配置，造成许多不便。我们将  $PIO A$  口设置在方式 3，这种工作方式，选通信号  $\overline{ASTB}$  在内部被封锁，只要将  $A$  口的所有位都设成输入形式， $CPU$  就可以随时将外部设备准备好的数据读入。采样时间则可由  $CPU$  软件延时控制。这样就避免了上述麻烦，简化了我们的数据采集。

数据采集的实时控制由  $PIO B$  口来完成。数据采集接口逻辑图如图 2。

$PIO B$  口工作于位控输出方式。在初始化程序结束之后，由  $B$  口输出一位控信号进行计数器清零，然后发出开门信号令计数器计数，当由软件延时控制的采样时间一到， $B$  口又输出关门信号停止计数，随之再发出控制信号将计数器计得的一个完整数据分 4 段锁入锁存器，最后依次选通锁存器，将数据输入到单板机内存中。以上各步重复进行，直至全部数据输入完了。控制程序流程如图 3。

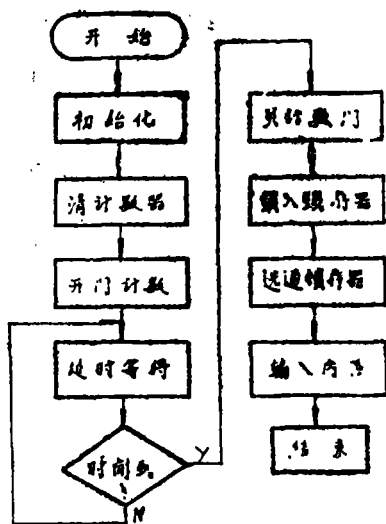


图 3

#### 四、测量数据的处理

在所有数据输入到单板机后， $CPU$  便转入内部数据处理。如前所述，我们的数据处理是采用阿仑方差数据处理模式。它是将连续无间隔取样的  $N + 1$  组数据每相邻两个数据依次相减，然后将新得到的  $N$  组数据求平方和，再求其统计平均值，最后与标称频率的平方相除，即为阿仑方差值：

$$\delta^2(\tau) = \frac{1}{f_0^2} \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - f_{i+1})^2}{2N} \right]$$

这个值越小，说明稳定度越高。有时还需求出  $\delta(\tau)$ ，即再进行一次开方运算。

下面以采样时间为 1 秒，采样次数为 20 次为例，对我们的计算程序流程加以说明。

1. 将  $PIO A$  口输入的 21 组 8 位  $BCD$  码数据按高位在前低位在后的顺序存于从 2500H 开始的单元中。

2. 将21组8位BCD码转换成32位二进制存于以2560H开始的单元中。

3. 按公式 $\Delta f = f_i - f_{i+1}$ 依次作减法运算, 将得到的20组新数据存于以2600H起始的单元中。

4. 做平方及累加运算 $\sum_{i=1}^{N=20} (\Delta f_i)^2$ 。这里应该注意

的是, 当取样次数过多时, 因为平方运算结果的字节数将会成倍增加, 如果按顺序计算, 等到所有数据都做平方运算后, 再进行累加运算, 将会导致超出内存容量, 出现错误。这时应在求出一个数的平方后即与前一个数的平方累加, 这样将大大节省内存容量。

5. 做除 $2N$ 运算。为保证精度和程序设计上的方便, 可将除法运算转化为乘法运算。如除40运算可变成乘25, 再乘 $10^{-3}$ 。而乘 $10^{-3}$ 运算可以不做, 只需将结果的小数点向前移动3位即可。

6. 做除 $f_0^2$ 和开方运算, 可先求开方运算然后除 $f_0$ 即可。开方运算可以转化为乘方运算, 如求 $y = \sqrt{x}$ , 可先求出 $y^2$ , 然后进行判断, 假如 $y^2 - x \geq 0$ , 则 $y$ 即为所求开方结果, 否则令 $y_1 = y + \Delta y$ 继续判断, 若 $y_1^2 - x \geq 0$ , 则 $y_1$ 为所求开方结果, 否则, 继续上面各步, 直至求出最后结果。其中 $\Delta y$ 的取值决定计算精度,  $\Delta y$ 值取的越小, 计算精度越高, 但计算时间越长。根据我们的具体情况设 $\Delta y = 1$ 。程序流程如图4。

7. 做除 $f_0$ 运算。 $f_0$ 是直接由键盘输入到单板机内存中的, 最终结果存放在2700H—2703H单元中。

8. 将结果的二进制数转化为BCD码并打印输出, 同时打印出原始数据, 以用来观察分析频率的随机变化。

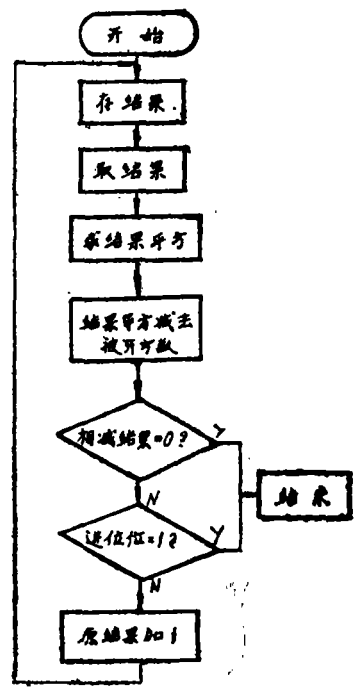


图4

## 五、实验结果

在对我们设计的单板机测量激光频率稳定性系统进行调试后, 经反复测试验证, 该系统能够满足我们的测量要求。实测数据如下表。

频率稳定度测量结果

采样时间	0.1 s	0.1 s	0.1 s	1 s	1 s	1 s
采样次数	20	50	100	20	50	100
阿仑方差 $\delta(\tau)$	$1.72 \times 10^{-9}$	$1.63 \times 10^{-9}$	$1.47 \times 10^{-9}$	$1.44 \times 10^{-9}$	$1.35 \times 10^{-9}$	$1.12 \times 10^{-9}$

## 六、结 束 语

我们设计的这一测量系统虽然是为测量激光频率稳定性而用的,但其设计原理及设计方法也适用于测量其他各种高稳定性频率源系统。也就是说,只要对本系统稍加改动(主要是软件),即可用于对其他高稳定性频率源的测量。

本文是在许凤明老师的直接指导下完成的,在此深表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 许凤明等;激光,1987年,8卷, No3 152—157
- [2] 张荫柏;电子计测技术,1978, No3, 57—91
- [3] 周明德;《微型计算机硬件软件及其应用》,清华大学出版社,1983年

## Measuring Laser Frequency Stability by TP-801 Single Board Computer

Chen Fang

### Abstract

In this paper a method for measuring laser frequency stability by Tp-801 single board computer fast promptly and precisely is discussed. The setup used in this experiment and the measurement results of laser short-term frequency stability by using the setup are also described concisely.