

圆光栅均匀性和调制度的数字检测

沈 颂 曹向军 陈远绳

(浙江大学光仪系)

摘要: 本文提出一种新的圆光栅均匀性和调制度检测方法。通过对莫尔信号的离散采集和数字化处理,可以抽样获取某些位置的信号平均幅值和调制度,在进一步的数据处理下可获得平均幅值漂移率。利用这种数字化检测方法不需要附加外部设备,实现了以软件工作代替原来人工、机构和硬件完成的工作,整个过程自动化,由计算机自动输出结果,速度快。另外,采用这种数字化方法有利于实现圆光栅多个指标的同时检测,计算机的数据处理功能已使某种意义上的信号质量改善得以实现。

一、前 言

计量光栅各部位透光量的不均匀性主要反映在光电信号直流电平的漂移上,故对信号直流分量漂移的测量实质上是对光栅均匀性误差的测量。由于均匀性误差对光栅莫尔信号的细分鉴相有着较大的影响^[1],因此这一指标对于光栅应用来说是非常重要的。光栅莫尔信号的调制度是计量光栅的重要指标,它与莫尔信号的质量乃至最终相位鉴相有着一定的关系。目前常用的上述两指标的检测手段尚存在较大的不足。本文中提出了一种新的检测方法,通过对莫尔信号的离散采集和数字化处理,可以抽样地获取等分直径位置上的圆光栅平均幅值和调制度,进一步的数字处理下可获得平均幅值漂移率。这种处理检测方法对长光栅来说也是适用的。

二、圆光栅直流分量漂移率和信号调制度指标

在圆光栅实际使用过程中,由于种种因素的影响,莫尔信号的直流分量 I_d 总是随着光栅的转动而不断改变的,可将之记作 $I_d(\theta)$, $I_d(\theta)$ 随着角位置改变形成的曲线位移作信号直流分量漂移曲线,信号直流分量的漂移率通常由信号直流分量漂移率 Δ_{dmax} 来表示^{[1][6]}。

$$\Delta_{dmax} = 2(I_{dmax} - I_{dmin}) / (I_{dmax} + I_{dmin}) \quad (1)$$

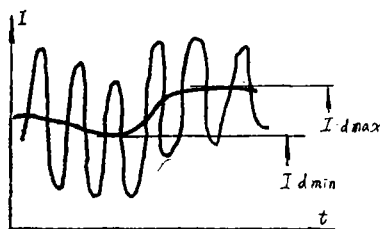


图1 平均幅值漂移示意图

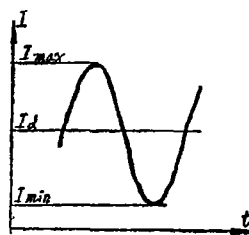


图2 调制度检测示意图

其中 I_{max} 、 I_{min} 分别是信号直流分量的最大值和最小值，见图 1 所示。

设光栅处在某位置时信号幅值为 I_s ，则信号调制度 M_0 的定义为^{[1][6]}

$$M_0 = I_s / I_d \quad (2)$$

见图 2 所示。在信号良好情况下又可写作

$$M_0 = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min}) \quad (3)$$

三、直流漂移率和调制度检测的常规方法分析

常用的直流分量漂移率检测方法有^{[2][6]}

1. 分流法

采用滤波器将莫尔信号中的高频交流分量滤去，而将直流分量由记录仪记录下来，再由人工进行挑选比较、计算处理。

2. 光量法

直接将通过计量光栅付的光通量转换成光电流记录下来，由电子电位差计或记录仪画出曲线，人工记录下暗电平位置线，再由此曲线分析计算出均匀性误差。

调制度检测通常采用以人工读取，记录并计算的方法获得。

可见，直流分量漂移率的常规检测方法存在普遍不足：

(1) 测量须和直径误差的检测分开进行，或须增加读数头装置。

(2) 为了得到数字化结果，必须由人工在记录曲线上进行寻找、计算。整个过程较麻烦，易出错，精度也不够高。

(3) 需要用到较多的外接设备。如滤波器、电子电位差计等等，结构复杂。

对信号调制度的检测也存在费时间，易受人为影响等缺点。

四、数字化检测方法的基本原理和装置

测量直流分量漂移率和信号调制度时，装置只是由光电池接收的莫尔信号传感头加上如图 3 所示的数字化采样、控制、处理系统^{[9][10]}，这一系统的核心是双板机 CMC80。利用 CTC 对光栅进行信号计数或定时下的抽样检测定位，在定位状态下由 CPU、PIO 控制进行等时间间隔延时采样，假定实际莫尔条纹信号函数是 $f(t)$ ，采样间隔为 T ，则莫尔信号离散采集的理想模型是（假定采得离散信号以 $x(t)$ 表示）

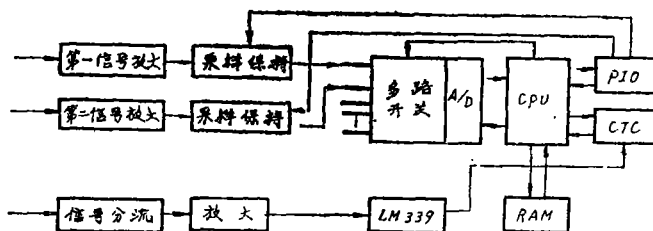


图 3 信号采集硬件

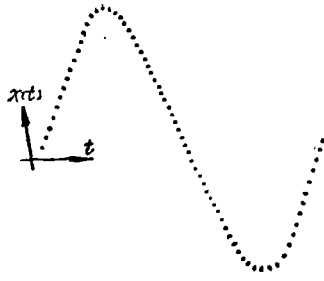


图4 实际采集到的莫尔信号轮廓

$$x(t) = f(t) \cdot \text{comb} \left(\frac{t}{T} \right) \quad (4)$$

图4即是实际采样得到的莫尔信号离散轮廓。在此位置上的信号平均幅值的求解公式为:

$$I_a = \sum_{i=1}^M x(t_i) / M$$

其中 I_a 代表单个信号周期内的平均幅值, M 为此单个信号内的采样点数, $\sum_{i=1}^M x(t_i)$ 则为此信号周期的样点幅值和。

此位置上信号调制度的求解公式是

$$M_0 = \frac{\max(x(t_i), i=1, M) - \min(x(t_i), i=1, M)}{\max(x(t_i), i=1, M) + \min(x(t_i), i=1, M)} \quad (5)$$

其中 $\max(x(t_i), i=1, M)$, $\min(x(t_i), i=1, M)$ 分别表示从 $i=1$ 到 M 的单个信号周期内获得的信号最大幅值和最小幅值, 整盘转过后得系列 $M_{0j}, j=1, N$ 。

当整块光栅盘上平均幅值抽样结束后, 获得平均幅值系列 $I_{aj}, j=1$ 到 N , 其中 N 是整块光栅盘上抽样的数目, 则 $\Delta_{d_{max}}$ 可写成

$$\Delta_{d_{max}} = \frac{2[\max(I_{aj}, j=1, N) - \min(I_{aj}, j=1, N)]}{[\max(I_{aj}, j=1, N) + \min(I_{aj}, j=1, N)]} \quad (6)$$

可以认为, 圆光栅转动过程中莫尔信号平均幅值的漂移相对于信号来说是缓慢的, 即至少应是中周期的。因此, 在保证信号采样泄漏足够小的情况下使单个信号周期内采样稳定并采样足够多的样点的话, 在平差数据处理下可获取高的求解精度。

五、求解流程及说明

求解可分为 A/D 采样和平均幅值漂移率, 调制度的求解两个过程进行说明。其中采样间隔由计算机指令延时构成。为了使平均幅值的求解具有尽量高的精度, 其求解初始点应取在平均幅值附近, 这是非常容易做到的。另外, 由于光栅莫尔信号受到衍射和电路低通特性的影响, 其顶部和底部被平滑化。因此只要采样点数足够多, 采样的离散性对信号调制度的求解精度就没有大的影响。

采样和检测流程分别由图5、图6示出。

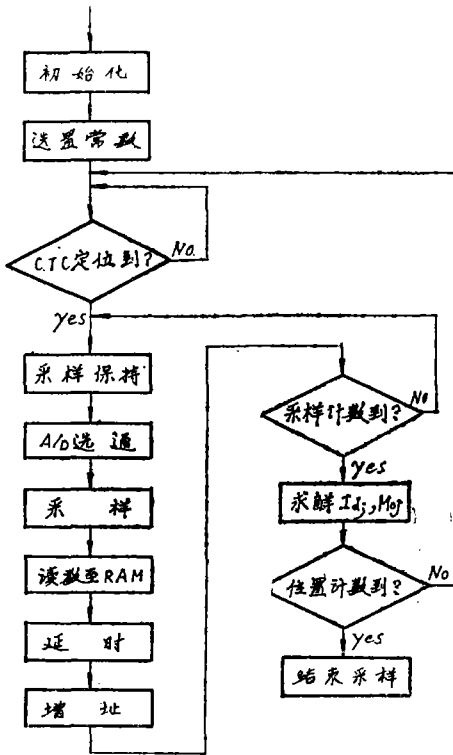


图5 A/D采样流程图

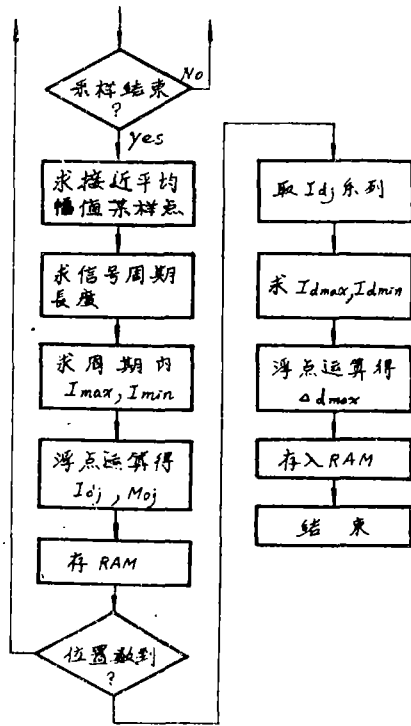


图6 平均幅值漂移及调制度检测流程

六、实验结果及分析

表1所示为在良好调整下获取的整个光栅盘等分64个抽样位置，单个信号周期内采样64点左右时的信号平均幅值序列；表2是计算机给出的这组数据的频谱分析结果。计算机内存中算得的漂移率结果为0.073，调制度的结果为0.66，相对检测精度均能达到3%以内。限于篇幅，文中省去了精度分析部分。根据表2

(1) 各谐波幅值与直流分量相比是很小的，均小于1/100。

(2) 谐波分量相对较大的级次主要集中于8次谐波之前，这已可部分证实平均幅值漂移的缓变特性。

图7是所求得平均幅值序列的漂移曲线，其中各抽样值之间采用了直线勾连。漂移量由表1中数据给出。



图7 均匀性误差曲线

表1 平均幅值实测序列

```

$THE INPUTED DATA:
143.0000, 141.0000, 141.0000, 140.0000
139.0000, 138.0000, 139.0000, 137.0000
137.0000, 138.0000, 139.0000, 139.0000
141.0000, 140.0000, 142.0000, 141.0000
139.0000, 139.0000, 137.0000, 136.0000
135.0000, 136.0000, 135.0000, 135.0000
134.0000, 133.0000, 135.0000, 137.0000
136.0000, 138.0000, 138.0000, 138.0000
137.0000, 137.0000, 135.0000, 136.0000
134.0000, 137.0000, 138.0000, 139.0000
141.0000, 143.0000, 142.0000, 141.0000
140.0000, 143.0000, 142.0000, 142.0000
141.0000, 140.0000, 140.0000, 139.0000
138.0000, 136.0000, 134.0000, 135.0000
133.0000, 135.0000, 133.0000, 135.0000
137.0000, 138.0000, 139.0000, 141.0000
    
```

表2 表1数据之谱

0: 143.0000:	8837.0000(实部)	频谱(虚部)	0.0000
1: 141.0000:	19.7328	:	-19.6266
2: 141.0000:	-28.9974	:	71.1654
3: 140.0000:	31.9461	:	18.5634
4: 139.0000:	54.6176	:	-30.6502
5: 138.0000:	25.0400	:	21.1149
6: 139.0000:	13.0209	:	-11.9752
7: 137.0000:	-10.0307	:	10.2538
8: 137.0000:	8.5355	:	-8.5355
9: 138.0000:	3.3448	:	-2.1134
10: 139.0000:	.4101	:	6.6724
11: 139.0000:	6.2744	:	-7.5098
12: 141.0000:	.5866	:	-2.1943
13: 140.0000:	-4.7440	:	6.7895
14: 142.0000:	8.7138	:	3.7359
15: 141.0000:	2.0938	:	1.6056
16: 139.0000:	-4.0000	:	1.0000

七、讨 论

利用计算机离散采样光栅莫尔信号并对之进行数据处理以求取均匀性和调制度指标是本文中提出的一种新方法。归结起来，这种方法主要有如下特点：

(1) 在离散采样和数据处理下容易实现圆光栅多个指标的实时同步检测，只要配有与双

板机CMC80的接口便可用软件功能来实现,不需要附加设备。

(2) 电路硬件和传感机构及其调整十分简单,许多原由人工,机构和硬件担负的工作现由软件完成,过程达到自动化,由计算机输出最终计算结果,便于进行傅里叶频谱分析。

(3) 可由软件实现某种意义上的信号质量改善,数据采用平差作用下的浮点运算,因而能达到较高求解精度,检测速度快。

(4) 圆光栅的采样定位由微机中CTC芯片功能完成,测试理论较完善。

(5) 精度主要限制。采用本方法可能会漏掉某些突变值,但这种抽样检查法的根基在于采样的频繁度和软件处理能力上。目前本方法对均匀性和调制度的测量精度均可达3%以内,在软件功能上的改进将使这种测试方法得以进一步的完善。

参 考 文 献

- [1] 黄尚廉等,《重庆大学光学精密机械研究所论文集》,重庆大学出版社 P24
- [2] 李明媛等,《光学机械》,1983.No.2 P32
- [3] 王正光等,《数据采集与处理》,国防工业出版社,第五章, P160
- [4] 王秀玲等,《微型计算机A/D、D/A转换接口技术及数据采集系统设计》,清华大学出版社
- [5] 周明德,《微机软件、硬件及应用》,清华大学出版社,第八章, P278
- [6] 张善钟,《计量光栅技术》,机械工业出版社,第三章, P92
- [7] 邹自强,《光学机械》,1983,No.2, P39

Digital Measurement of the Modulation and the D.C Level Shifting Rate of the Grating Discs

Shen Song Cao Xiangjun Chen Yuansheng

Abstract

A new method for measuring the modulation and the D. C level shifting rate of a grating disc is proposed in this paper. The values of the D.C level and the modulation are given by collecting sample data of Moire signals and digital processing, without requirement of additional equipment. Some of the work is carried out by software, rather than hardware and manual work. The whole work can be digitally finished quickly and automatically. Besides, the quality of the signals can be improved by the digital processing of the microcomputer and thus the high accuracy can be obtained.