

## 位移传感器—光栅的原理和应用

摘要：本文介绍了位移传感器的种类，常用位移传感器计量光栅的测量原理，信号处理和具体应用，对四倍频专用集成电路 QA740210 做了简单介绍。

关键词：位移、计量光栅、莫尔条纹、辨向、细分、加/减计数器、89C2051 单片机、实时性

### 一、概述

位移是和物体的位置在运动过程中的移动有关的量，位移的测量方式所涉及的范围是相当广泛的。小位移通常用应变式、电感式、差动变压器式、涡流式、霍尔传感器来检测，大的位移常用感应同步器、光栅、容栅、磁栅等传感技术来测量。其中光栅传感器因具有易实现数字化、精度高（目前分辨率最高的可达纳米级）、抗干扰能力强、没有人为读数误差、安装方便、使用可靠等优点，在机床加工、检测仪表等行业中得到日益广泛的应用。

### 二、原理

计量光栅是利用光栅的莫尔条纹现象来测量位移的。“莫尔”原出于法文 *Moire*，意思是水波纹。几百年前法国丝绸工人发现，当两层薄丝绸叠在一起时，将产生水波纹状花样；如果薄绸子相对运动，则花样也跟着移动，这种奇怪的花纹就是莫尔条纹。一般来说，只要是有一定周期的曲线簇重叠起来，便会产生莫尔条纹。计量光栅在实际应用上有透射光栅和反射光栅两种；按其作用原理又可分为幅射光栅和相位光栅；按其用途可分为直线光栅和圆光栅。下面以透射光栅为例加以讨论。透射光栅尺上均匀地刻有平行的刻线即栅线， $a$  为刻线宽， $b$  为两刻线之间缝宽， $W=a+b$  称为光栅栅距。目前国内常用的光栅每毫米刻成 10、25、50、100、250 条等线条。光栅的横向莫尔条纹测位移，需要两块光栅。一块光栅称为主光栅，它的大小与测量范围相一致；另一块是很小的一块，称为指示光栅。为了测量位移，必须在主光栅侧加光源，在指示光栅侧加光电接收元件。当主光栅和指示光栅相对移动时，由于光栅的遮光作用而使莫尔条纹移动，固定在指示光栅侧的光电元件，将光强变化转换成电信号。由于光源的大小有限及光栅的衍射作用，使得信号为脉动信号。如图 1，此信号是一直流信号和近视正弦的周期信号的叠加，周期信号是位移  $x$  的函数。每当  $x$  变化一个光栅栅距  $W$ ，信号就变化一个周期，信号由  $b$  点变化到  $b'$  点。由于  $bb' = W$ ，故  $b'$  点的状态与  $b$  点状态完全一样，只是在相位上增加了  $2\pi$ 。由图 1 可得光电信号为

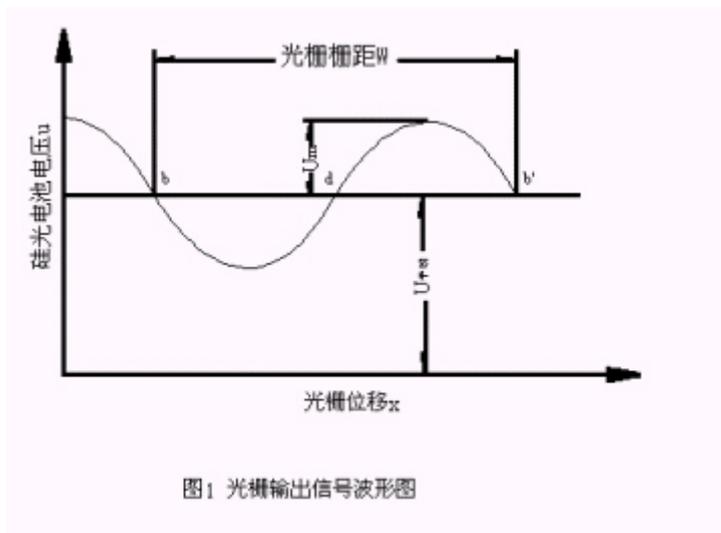
$$u_0 = U_{\text{平均}} + U_m \sin(\pi/2 + 2\pi X/W)$$

式中  $u_0$ —光电元件输出的电压信号；

$U_{\text{平均}}$ —输出信号的直流分量；

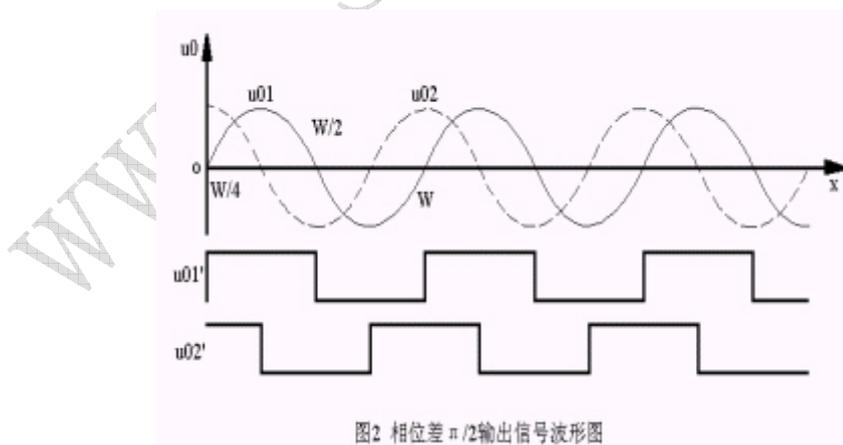
$U_m$ —输出信号中正弦交流分量的幅值。

从公式中可见，当光栅位移一个节距  $W$ ，波形变化一周。这时相应条纹移动一个条纹宽度  $B$ 。因此，只要记录波形变化周期数即条纹移动数  $N$ ，就可知道光栅的位移  $X$  即  $X=NW$



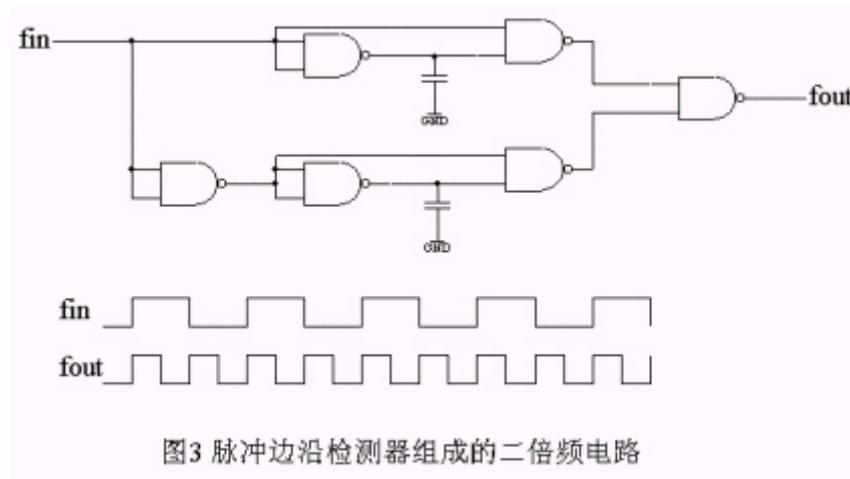
### 三、信号处理

1、辨向原理 在实际应用中，位移具有两个方向，即选定一个方向后，位移有正负之分，因此用一个光电元件测定莫尔条纹信号确定不了位移方向。为了辨向，需要有  $\pi/2$  相位差的两个莫尔条纹信号。如图 2，在相距  $1/4$  条纹间距的位置上安放两个光电元件，得到两个相位差  $\pi/2$  的电信号  $u_{01}$  和  $u_{02}$ ，经过整形后得到两个方波信号  $u_{01}'$  和  $u_{02}'$ 。光栅正向移动时  $u_{01}$  超前  $u_{02}$  90 度，反向移动时  $u_{02}$  超前  $u_{01}$  90 度，故通过电路辨相可确定光栅运动方向。



2、细分技术 随着对测量精度要求的提高，以栅距为单位已不能满足要求，需要采取适当的措施对莫尔条纹进行细分。所谓细分就是在莫尔条纹信号变化一个周期内，发出若干个脉冲，以减少脉冲当量。如一个周期内发出  $n$  个脉冲，则可使测量精度提高  $n$  倍，而每个脉冲相当于原来栅距的  $1/n$ 。由于细分后计数脉冲

频率提高了  $n$  倍，因此也称  $n$  倍频。通常用的有两种细分方法：其一、直接细分。在相差  $1/4$  莫尔条纹间距的位置上安放两个光电元件，可得到两个相位差  $90^\circ$  的信号，用反相器反相后就得到四个依次相差  $90^\circ$  的交流信号。同样，在两莫尔条纹间放置四个依次相距  $1/4$  条纹间距的光电元件，也可获得四个相位差  $90^\circ$  的交流信号，实现四倍频细分。其二、电路细分。电路细分有很多种方法，图 3 是最基本的一种二倍频细分电路。



#### 四、专用集成电路

四倍频专用集成电路 QA740210 同时具有辨相和四倍频细分的功能，可将两路正交的方波进行四倍频后产生两路加、减计数信号，可送双时钟可逆计数器进行加、减计数，也可直接送微型计算机（包括单片机）进行数据处理。

##### 1、特点：

(1)、数字化微分电路：4 路微分信号脉宽由主频周期决定，因此，是一致的，而且可在很大范围里方便地选择。

(2)、临界报警与过速报警两档速度提示：可在光栅运动速度接近极限值时给出临界报警信息，以便操作者及时控制光栅运动快慢。在速度超过极限值时本电路将给出出错信息。

(3)、绝对零位控制：绝对零位的设置将给操作者带来许多方便，如故障断电后的重新定位等。本电路有“到绝对零位开始计数”和“到绝对零位停止计数”，以及“与绝对零位无关”三种工作模式。

(4)、片选：本电路设有片选端，可以构成多标数显系统。

(5)、COMS 工艺：输入输出的电压电流与 4000 系列 CMOS 及 LSTTL 电路兼容。

##### 2、各脚功能详解：

管脚 1: 振荡器 0。(X0) 它既可以与 X1、X2 构成振荡器, 也可以作为外部时钟的输入端。

管脚 2: 正交信号 1。(0o) 接收光栅尺传送过来的信号, 也可以接收 SJ0204 (5 细分电路) 产生的信号。这个信号应为方波。本电路将对 0o 与管脚 3 接收的 90o 正交方波进行四倍频, 并根据 0o 与 90o 之间的相位关系进行相位判别。

管脚 3: 正交信号 2。(90o) 本管脚接收一个与管脚 2 在相位上相差 90o 的方波号, (参见管脚 2 的说明)。

管脚 4: 减计数脉冲输出。(-CPo) 此管脚常态为高电平, 当有输出时, 为一个与振荡器中 X 高电平等宽的负脉冲, 此管脚应接双时钟可逆计数器的减计数时钟端。

管脚 5: 加计数脉冲输出。(+CPo) (参见脚 4 说明) 此管脚应接双时钟可逆计数器的加计数时钟端。

管脚 6: 负号输出端 (MSo) 可指示光栅尺与设定零位的相对位置, 在片选时可由 Msi 予置, 此时 MSo 与 Msi 同电平。0o 如超前 90o 则当全“0”信号输入后, 此端为低, 90o 如超前 0o 则当全“0”信号输入后, 此端为高, 此端可直接驱动 LED。

管脚 7: 全“0”信号输入端。(AZi) 此管脚接收可逆计数器传送过来的一个正脉冲信号, (宽度 $\geq 1$ 个主频周期), 它的输入使本来 -CPo 有输出, 变成 +CPo 有输出。

管脚 8: 负号输入端。(MSi)

可逆计数器所显示数不为“0”的情况下, 表 1 成立。此端在片选中时起作用。

表 1

MSI	0	1
0°超前 90°	+CP <sub>o</sub> 出	-CP <sub>o</sub> 出
90°超前 0°	-CP <sub>o</sub> 出	+CP <sub>o</sub> 出

管脚 10: 清零输入。( /CE) 清除报错信号, 并使 ABS 功能处于 A 模式, 此端在片选时起作用, 低电平有效。

管脚 11: 片选输入 ( /CS) 使用电路可以用于多坐标数显表, 低电平选中, /CE、 /ABSC 及 Msi 才起作用。

管脚 12: 绝对零位模式选择。( /ABSC) 本脚需要输入一个负脉冲。片选并清零后, 本脚输入负脉冲的个数决定 ABS 的三个模式:

输入 0 个脉冲, A 模式, 绝对零 (ABSZ) 输入不起作用;

输入奇数个脉冲, B 模式, 绝对零 (ABSZ) 输入后 CPo 才有输出;

---

输入偶数个脉冲，C 模式，绝对零（ABSZ）输入后 CPo 停止输出。

管脚 13：绝对零输入。（ABSZ）本脚需要输入一个正脉冲。由光栅尺或 0204 电路给出，如果一个光栅尺有若干个绝对零位输出，则只有第一个起作用（参见管脚 12）。

管脚 14：绝对零位标志。（FABS）A 模式时，FABS=1；B 模式时，FABS=0；C 模式时，FABS 为一串脉冲，（与 XO 同频同相）

管脚 15：速度报警输出。（WARN）设本电路主频（X2）为  $F_x$ ，当  $0_0$ （ $90_0$ ）的输入频率  $F_i < 1/8F_x$  时，WARN=“0”，当  $1/8F_x \leq F_i < 1/6F_x$  时，WARN 有正脉冲出现，宽度与  $0_0$  输入的方波相同。当  $F_i$  降到  $1/8F_x$  以下后，此端自动恢复为“0”，当  $F_i \geq 1/6F_x$  时，WARN=“1”，此“1”电平只有当片选中且完成清零（即  $CS=0$  且  $CE=0$ ）后才能恢复为“0”电平。

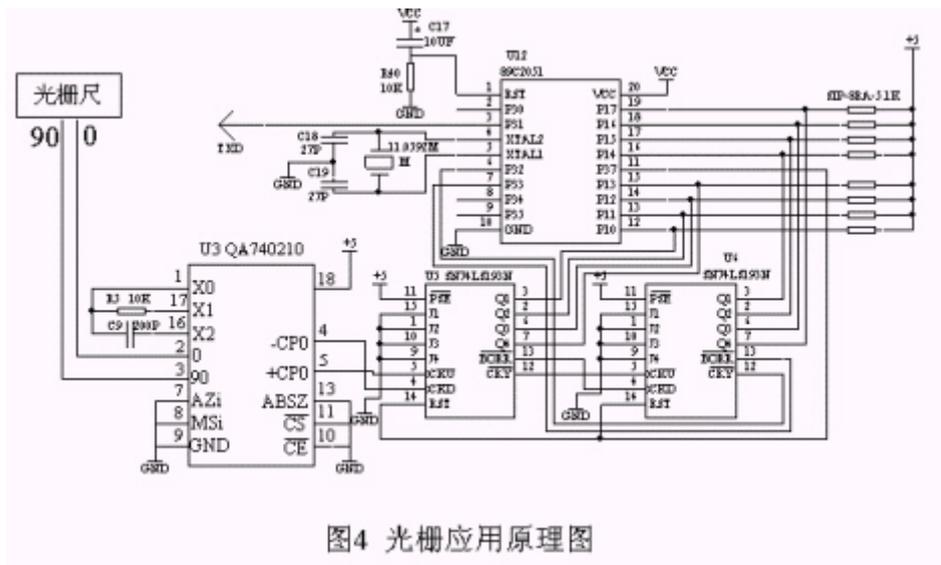
管脚 16：振荡器 I。（X1）与 X0、X2 构成振荡器。

管脚 17：振荡器 O。（X2）与 X0、X2 构成振荡器。也可用作主频输出。

3、QA740210 芯片功能较多，接线用法也较多，在此不详述，如需要可参考芯片详细资料。

## 五、设计应用

下面介绍 QA740210 芯片最简单的用法——仅对两路正交信号进行四倍频处理的线路。如图 4，为光栅尺信号处理部分电路。74LS193 为双时钟十六进制同步加/减计数器，QA740210 输出的两路正负脉冲信号（+CP0/-CP0）分别与第一个 74LS193 的加（CKU）/减（CKD）脉冲端相连，第一个 74LS193 的进位（CRY）/借位（BORR）分别与第二个 74LS193 的加（CKU）/减（CKD）脉冲端相连。用单片机 89C2051 P1 口的 8 位 I/O 口接两个计数器的 8 位数据线，第二个计数器的进位位（CRY）和借位位（BORR）分别接 89C2051 的外部中断 INT0 和 INT1，这样累加或累减在 256 个以内的计数脉冲通过计数器和单片机的 8 位并行数据口传输，超过 256 个计数脉冲则由外部中断 INT0 和 INT1 进行中断响应处理，可以大大提高光栅的测量速度，根据实验，以目前的配置条件，最大测量速度至少可达 5m/min，极大提高了光栅尺的应用范围。通过对单片机适当编程完成了计数脉冲的加减、数据的显示及串口发送功能。此系统采用硬件和软件相结合的方式，计数快，实时性强，稳定性高。既克服了纯硬件线路复杂的缺点，又克服了纯软件计数慢的缺点，具有很好的实用性。



www.shejisi.com