

哈尔滨工业大学强锡富 主编

电 动 量 仪

下 册

1
机 械 工 业 出 版 社

电 动 量 仪

下 册

哈尔滨工业大学强锡富 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $20 \frac{1}{2}$ · 字数 505 千字

1984 年 3 月北京第一版 · 1984 年 3 月北京第一次印刷

印数 0,001—6,600 定价 2.55 元

*

统一书号: 15033 · 5445

前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会精神和同年 7 月在天津召开的精密计量仪器专业有关课程教材会议制订的《电动量仪》参考书编写大纲编写的。

在精密长度计量仪器领域中,电动量仪所占的比重越来越大,内容越来越丰富。高等学校试用教材“几何量电测量仪”(机械工业出版社 1981 年)主要是从工作原理方面反映了这种情况。因学时和篇幅所限,很多内容不能编入。这本参考书主要是从实际仪器方面反映这种情况。书中收集了国内的有关资料,同时也收集了国外进口仪器的一部分资料。

全书共分八章。分上下两册出版。上册包括一至五章,下册包括六至八章。各章内容简介如下:第一章绪言,主要叙述了传感器输出信号形式及各类电动量仪的组成。第二、三、四、五章为测微仪、轮廓仪、圆度仪、光电瞄准装置,主要叙述了这些仪器的工作原理、电路系统和使用方法等。第六章测长与测角仪器,主要叙述了利用激光干涉、感应同步器、磁栅、光栅、光学编码器等传感器组成的数字式测长与测角仪器的工作原理和电路系统等。第七章齿轮测量仪,主要叙述了几种电动式齿轮测量仪的工作原理和电路系统等。第八章三坐标测量机,主要叙述了三坐标测量机的工作原理、测头、测量系统、数据处理及程序等。全书以“电”为主,但对“光”、“机”等方面的某些特点也有所涉及。

本书可作为高等学校精密计量仪器专业及其他有关专业学生的参考书,亦可供计量工程和其他有关工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有天津大学张国雄、陆伯印、岳润玲,合肥工业大学胡生清,上海机械学院赵慧卿,哈尔滨工业大学强锡富、車仁生、浦昭邦等。具体分工如下:第一、三章(强锡富)、第二章(胡生清)、第四章(浦昭邦)、第五章(岳润玲)、第六章(张国雄)、第七章(車仁生、张国雄)、第八章(陆伯印、赵慧卿、岳润玲)。张国雄参加了部分章节的校阅工作。在编写过程中,得到不少兄弟单位的支持与帮助,对此深表感谢。

由于我们的政治思想水平与业务水平有限,不当与错误之处在所难免,希望读者提出批评和意见。

1982.5

目 录

第六章 测长与测角仪器..... 1	三、3001型万能齿轮测量机196
§ 6-1 激光干涉仪 2	§ 7-4 传动链误差测量仪.....208
一、激光光线尺比长仪..... 2	一、传动误差208
二、激光量块干涉仪..... 9	二、主要测法209
三、双频激光干涉仪.....21	三、CDY-I型传动链误差测试仪.....215
四、激光干涉测角仪器.....29	第八章 三坐标测量机240
§ 6-2 感应同步器式测量仪33	§ 8-1 概述.....240
一、鉴相型感应同步器测长仪.....34	一、基本原理240
二、鉴幅型感应同步器测长仪.....48	二、发展过程242
三、脉冲调宽型感应同步器测长仪.....62	三、类型242
四、绝对码感应同步器测量系统.....73	四、结构型式245
§ 6-3 磁栅式测量仪76	五、测量机的精度251
一、概述.....76	§ 8-2 测量系统.....263
二、磁栅式测量仪举例.....77	一、机械式测量系统263
§ 6-4 光栅式测量仪86	二、光学式测量系统264
一、GFT(SI)型分度头87	三、电气式测量系统266
二、莱茨比长仪与分度头.....96	§ 8-3 数据处理及程序.....266
三、GSJ-A型测角仪107	一、数据处理和尺寸测量267
§ 6-5 编码器式测量仪.....127	二、坐标测量机的自动检测282
一、编码器的类型127	三、坐标测量机的实物编程程序(纸 带中心).....285
二、循环码与二进制之间的变换130	§ 8-4 三坐标测量头.....287
三、码盘式测角仪举例131	一、机械测头(硬测头).....287
第七章 齿轮测量仪134	二、光学非接触式测头290
§ 7-1 齿形与螺旋线检查仪.....134	三、接触式电气测头292
一、两种检测方法134	四、自动灵敏测头304
二、No. 891-S渐开线及螺旋角测量仪 ...135	五、测量头的综合分析305
§ 7-2 自动周节检查仪.....146	§ 8-5 SZC-1型三坐标测量机.....306
一、两种检测方法146	一、工作方式308
二、GYQ-80型绝对式齿轮周节仪147	二、测量机的机械结构309
三、HS-400型相对式自动周节仪164	三、数字显示装置311
§ 7-3 齿轮整体误差测量仪.....181	四、打印机及其控制装置312
一、获取整体误差曲线的两种方法182	五、计算机及其外部设备320
二、CD320型光栅式齿轮单面啮合检 查仪184	六、测量机软件322
	参考文献:323

第六章 测长与测角仪器

前面几章介绍了利用电感、互感、电容、压电等原理测微的仪器。它们都是将被测几何参数的变化转换为输出电压的变化,然后通过测量这一电压值去确定工件几何参数值的。由于受到转换线性范围的限制,使得这类仪器的量程较小,通常不超过1mm。即使采用一些特殊设计,量程也仅100mm左右。随着激光、光栅等新技术的出现与应用,形成了另一类电动量仪。在这类仪器中,将工作台(或测杆等)位移转换为周期变化的电信号,通过计算变化的周期数来确定工作台(或测杆等)的位移,并以数字形式显示被测几何参数值。这一类数字式量仪具有下列优点:

- (1) 量程大、分辨率高,可以较好地解决量程与分辨率之间的矛盾。
- (2) 以数字形式给出测量结果,示数客观、读数方便。
- (3) 由于测量范围宽,故通用性强。不需要附加调整,就可适用于测量各种不同尺寸、类型的工件,实现中小批量工件的测量和加工自动化。
- (4) 便于实现动态采样,动态测量。这是由于数字信息易于动态采样取出,长期保存的缘故。
- (5) 便于将测量信息送入计算机进行计算处理。
- (6) 电路易于实现集成化。

鉴于数字式仪器具有上述优点,近年来一些采用电感、电容等模拟式传感器的仪器也应用模数转换技术,以数字形式储存量值、进行数据处理、显示测量结果。但是它们仍然解决不了量程小、通用性较差的问题。

数字式仪器的缺点是:结构、电路较为复杂,成本较高。

数字式测长仪主要采用:(1)激光干涉;(2)感应同步器;(3)磁栅;(4)光栅等转换原理。感应同步器、磁栅、光栅等同样广泛用于角度测量中。

角度测量与长度测量的一个显著区别就是它可以利用整圆的封闭性,只要对整圆实现精确的等分分度,并计算转过的等分间隔数,便可实现角度的精密测量。利用圆光栅、圆感应同步器、圆磁栅的平均效应,可以有效地提高分度均匀性,从而大大提高这些元件用作角度基准的测量精度。也正因为如此,才使它们在角度测量中获得广泛应用。

激光则主要用于测长中。将它用于测角时,主要采用三角法,将角位移转换为线位移再进行测量。

除了上述激光、光栅、感应同步器、磁栅四类基准元件外,在一些可靠性要求特别高的场合,还采用编码器做基准元件。

采用同类基准元件的测长与测角仪器从仪器结构上看一般有较大区别,但其电路形式、工作原理往往大同小异。下面将按采用不同基准元件的各类仪器,分别予以介绍。而对测长与测角仪器则视需要简略地提一下他们的主要区别。

§ 6-1 激光干涉仪

利用光干涉方法测长是将光波波长 λ 作为测量长度的基准。为使测量准确, 首先必须要求作为测量基准的尺子——光波长 λ 很准。激光具有单色性好、相干性好等一系列优点, 从而在长度精密计量中获得了广泛应用。激光的这些优点也为采用脉冲计数原理测长 (计干涉条纹数) 提供了方便。

从精度看, 激光波长与光栅、磁栅、感应同步器相比, 是最高的。光栅、磁栅、感应同步器等都是以一定的实物方式来复现长度基准——光波波长。在复制过程中, 精度有一定程度下降。此外, 激光干涉采用一把无形的尺子, 在大量程的测量中, 它比使用很长的光栅、磁栅等方便。激光干涉测量的第三个优点是它所提供的原始脉冲当量很小。以常用的氦氖激光器可见光谱而言, $\lambda \approx 0.6328 \mu\text{m}$, 在采用一般迈克尔逊干涉仪情况下, 可动反射镜每移动 $\lambda/2 \approx 0.3164 \mu\text{m}$, 干涉条纹亮暗变化一个周期。从而不需要很高的细分数就能满足一般测量的分辨率要求, 而光栅、磁栅、感应同步器一般节距较大, 则需要较高的细分数。

激光干涉测长仪的缺点是: (1) 对环境条件有较严的要求; (2) 脉冲当量是一个无理数, 且与环境条件有关, 需要进行脉冲当量变换。

激光干涉仪按其用途可分为定位用与测量用二类。定位用激光干涉仪常用于精密机械加工, 光栅、感应同步器的机刻或光刻; 磁栅录磁; 集成电路片的光刻、照相等。装有可动反射镜的工作台移过所需位移时, 激光干涉仪发出信号, 进行光刻、照相或录磁, 或使工作台停止运动, 进行机械加工。测量用的激光干涉仪主要用于线纹尺检定、量块检定以及工件尺寸、坐标尺寸的精密测量中。在这些仪器中, 除了测定工作台 (或测杆) 位移的激光干涉仪外, 还需要有相应的瞄准装置。常用的瞄准定位方式有: 光电显微镜瞄准 (主要用于线纹尺及某些工件尺寸与坐标位置的测量)、白光干涉瞄准 (用于量块检定) 及接触瞄准 (用于一般精度量块检定及工件尺寸、坐标位置测量)。

按照所用的激光器, 激光干涉仪可分为单频与双频两类。下面结合一些典型仪器说明其工作原理。

一、激光线纹尺比长仪

(一) 工作原理

如图 6-1 所示, 具有稳频装置的单频激光器 1 发出的激光束经聚光镜 23 汇聚于物镜 20 的焦点, 即光阑 22 处。经准直物镜 20 变成一束平行光, 经半圆光阑 19、由反射镜 17 反射, 然后由分光镜 16 将它分成二路。一路经反射镜 6、参考反射棱镜 5 反射返回; 另一路经可动反射棱镜 21 反射, 在分光镜 16 处与上一路汇合形成干涉。移开反射镜 15、14 后可由观察系统 13 观察干涉图象。

测量时, 被检线纹尺 2 通过二个相距 $0.55938 l$ (l 为尺长) 的对称支承点 (贝塞尔点) 固定在工作台 3 上。工作台由钢带传动带动, 使被检尺 2 与可动反射镜 21 一起平稳向前运动。工作台 3 每移动 $\lambda/2$, 干涉条纹亮暗变化一个周期。在第四象限加入相位板 18 是为了得到二路相位差 90° 的干涉条纹信号。由角锥棱镜 21 的第三象限反射回来的光束不经过相位板 18; 而由第四象限反射回来的光束经过相位板 18。如相位板厚度为 d , 相位板的法线与光轴夹角为 θ , 那么由第三与第四象限反射返回的光束光程差为 $(n' - n)d/\cos \theta$ 。其中 n' 与 n 分别为

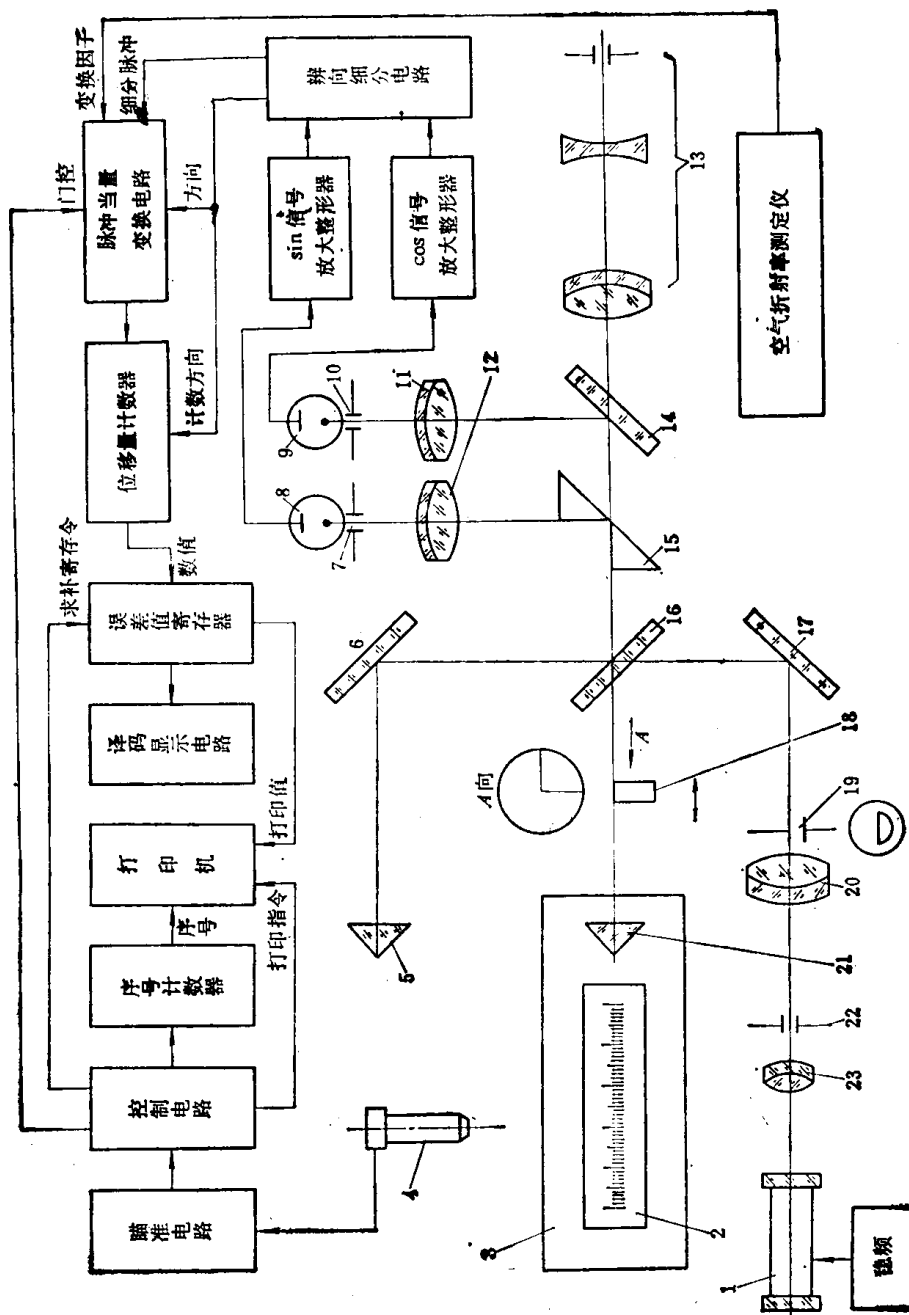


图 6-1

只注明数字的电阻，单位均为 $k\Omega$
 只注明数字的电容，单位均为 μF
 本书所有图中

玻璃与空气的折射率。调节 θ 角使 $(n' - n)d/\cos\theta = (k + 1/4)\lambda$, 其中 k 为任何正整数, 那么这二束光分别与由参考镜 5 反射返回的光束相遇发生干涉时, 产生二路相位差 90° 的干涉条纹。在第三象限产生干涉的光束经反射镜 15 反射、经物镜 12 汇聚于放在光阑 7 后方的光电元件 8 上; 在第四象限产生干涉的光束经反射镜 14、物镜 11 汇聚于放在光阑 10 后方的光电元件 9 上, 产生二路相位差 90° 的光电信号。

这二路信号经放大整形后送入辨向细分电路。利用正余弦信号实现四细分, 使在干涉条纹一个周期内发出四个计数脉冲, 从而每一脉冲代表 $\lambda/8$ 。如果工作台由于振动等原因产生微量后退, 也会引起干涉条纹亮暗变化。为了防止错误计数, 设置辨向电路。当工作作微量后退运动时, 让计数器作减法计数。经四细分后, 每一细分脉冲代表 $\lambda/8$ 。因激光波长与空气折射率有关, 利用折射率测量仪测出测量环境下的实际折射率, 根据它进行脉冲当量换算, 然后送入位移量计数器进行可逆计数。

当工作台移动到光电显微镜 4 瞄准线纹尺的零刻线时, 瞄准电路发出信号, 它通过控制电路使脉冲当量变换电路门打开, 开始计数。以后每当工作台移到光电显微镜瞄准刻线时, 将此时计数器所计之位移量值送入误差值寄存器。位移量计数器的最高位为 $100\mu\text{m}$ 位, 计满 1mm 即自动溢出。因此, 若线纹尺误差为正, 则位移量计数器保留的即为线纹尺该刻线误差; 若误差为负, 则计数器未计满整毫米, 例如 $998.8\mu\text{m}$, 则实际误差为 $-1.2\mu\text{m}$ 。为了得到误差值需进行求补运算(模为 1mm), 这与寄存同时进行。寄存完毕后, 控制电路发出打印指令, 同时打下刻线的序号数和误差值。误差值经译码后以数字形式显示。

可动反射镜 21 与参考反射镜 5 均采用角隅棱镜。它是正立方体的一个角, 光束由斜面入射, 三个反射面互成直角。角隅棱镜有这样的特点: (1) 出射光束始终与入射光束平行, 这样可不致因工作台在运动过程中发生侧射和反射镜偏转而使出射光束方向改变, 从而可以降低对导轨的要求; (2) 棱镜横向移动时光程不变, 棱镜绕其顶点摆动时光程也基本不变; (3) 入射点与出射点对称于角锥顶点在透射面上的投影。

为了防止由角隅棱镜 5 与 21 反射回来的光束经反射镜 17 返回激光管中破坏激光管工作稳定性, 设置了半圆光阑 19。只有从激光管 1 下半部发出的光束能通过光阑 19, 经二次反射后, 射入角隅棱镜 5 与 21 的上部, 从角隅棱镜下部反射回来, 再经二次反射, 射向半圆光阑 19 上部, 被它挡住, 从而不会进入激光管 1。在有的仪器中, 还利用 $1/4$ 波片改变激光束偏振方向的办法, 来避免激光束返回谐振腔而破坏激光器的工作稳定性。

为了能在线纹尺连续运动情况下进行瞄准, 采用图 5-13 所示动态光电显微镜, 显微镜电路见图 5-15。

(二) 辨向细分电路

工作台每移动 $\lambda/2$, 干涉条纹亮暗变化一个周期。如果干涉条纹变化一个周期, 计数器计一个数, 那么每一个脉冲代表 $\lambda/2 = 0.3164\mu\text{m}$ 。若位移量不足 $0.3164\mu\text{m}$, 则计数器不计数。由于忽略不足一个脉冲当量的位移量而带来的误差称为整量化误差, 其数值最大可达一个脉冲当量。为了减小整量化误差, 要求减小脉冲当量。为此在本仪器中采用四细分, 即在干涉条纹亮暗变化一个周期内, 采用均匀内插的方法计四个脉冲, 即每隔 90° 计一个数。

经光电元件 8 与 9 转换后得到的二路相位差 90° 的电信号, 送入图 6-2 所示辨向细分电路。二路相位差 90° 的电信号 u_1 与 u_2 经放大整形后得到相位差 90° 的二路方波信号, 再经反相器 $F_1 \sim F_4$ 得到相位依次差 90° 的四路方波信号 $U_1 \sim U_4$ 。利用这四路方波信号便可在干涉

条纹变化一个周期内，发出四个计数脉冲。

为了辨别工作台运动方向以便在工作台微量后退时计数器能进行减法计数，采用辨向电路。本仪器中辨向电路由八个微分与门组成。图 6-2 中 d_i 、 Y_i ($i = 1 \sim 8$) 表示一个微分与门，图 6-3 a 为其具体电路。当加到 D 端的信号 U_D 相位滞后于 U_A 时 (如图 6-3 b 所示)，则 B 点有正脉冲输出；而当加到 D 端的信号 U_D 的相位超前于 U_A 时 (如图 6-3 c 所示)，则 B 点没有正脉冲输出。

图 6-2 中，当工作台正向运动时，信号按 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 、 U_1 顺序出现，则与门 $Y_1 \sim Y_4$ 有正脉冲出现。在干涉条纹变化一个周期内，有 4 个脉冲通过或非门 HF_1 、反相器 F_5 ，由或门 H 、单稳 DW 输出。与此同时，由反相器 F_5 输出的脉冲将双稳 SW 置为“0”态，经跟随器 G_1 、 G_2 输出控制电平，控制脉冲当量变换电路与位移量计数器作加法计数。

当工作台反向运动时，信号按 U_4 、 U_3 、 U_2 、 U_1 、 U_4 顺序出现，则与门 $Y_5 \sim Y_8$ 有正脉冲出现。在干涉条纹变化一个周期内，有 4 个脉冲通过或非门 HF_2 、反相器 F_6 ，由或门 H 、单稳 DW 输出。这时由反相器 F_6 输出的脉冲将 SW 置为“1”态，它通过 G_1 、 G_2 控制脉冲当量变换电路与位移量计数器作减法计数。

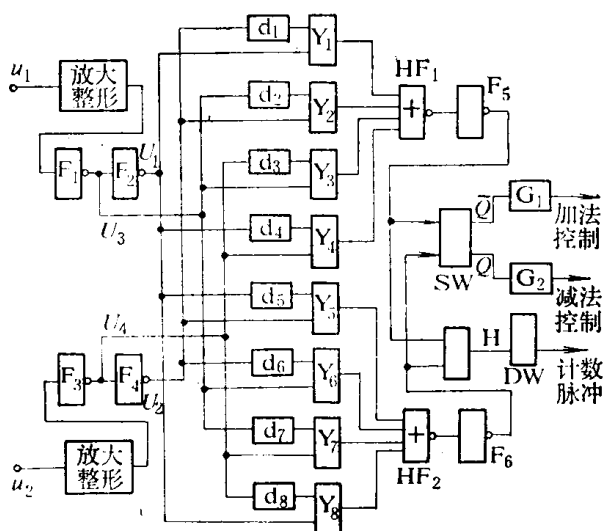


图 6-2

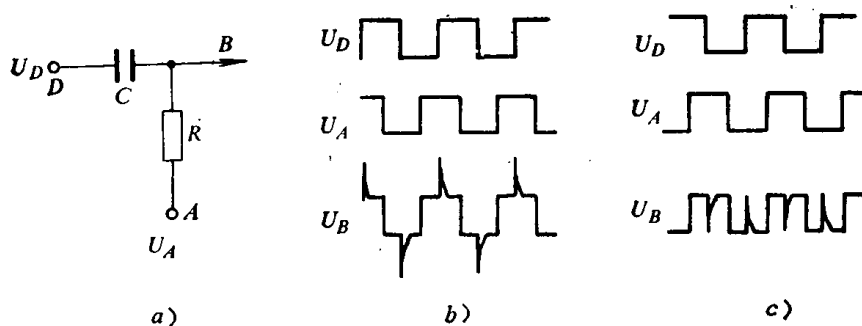


图 6-3

为使可逆计数控制可靠，应当先加入加减控制电平，再进计数脉冲。为此，由或门 H 输出的计数脉冲经单稳 DW 延时后再进入脉冲当量变换电路。

(三) 脉冲当量变换电路

采用四细分后，工作台每移动 $\lambda/8$ ，辨向细分电路输出一个计数脉冲。计数器应当按测量条件下的激光在空气中的实际波长 λ ，计 $\lambda/8$ 。为了完成这一任务，采用图 6-4 所示脉冲当量变换电路。

细分脉冲来到时，它使与门 Y_1 的一个输入端 M 在一段时间内呈“1”电平，振荡器 DZ 发出的脉冲，通过与门 Y_1 将双稳 SW 置为“1”态，与门 Y_2 打开。脉冲分配器以 16 个脉冲为一循环，当 Y_2 通过 16 个脉冲后，脉冲分配器中的十六分频器发出溢出信号 A_0 ，将双稳 SW 翻

回“0”态。脉冲分配器输出的第1至第9个脉冲为送数脉冲，根据脉冲当量置定开关给定的值，使 $10^{-2}\mu\text{m}$ 至 $10^{-10}\mu\text{m}$ 各位计数器中进入相应数目的脉冲。例如在工业标准状态下， $\lambda/8 = 0.0791024775\mu\text{m}$ ，它使 $10^{-2}\mu\text{m}$ 位进7个脉冲， $10^{-3}\mu\text{m}$ 位进9个脉冲， $10^{-4}\mu\text{m}$ 位进1个脉冲等等。这样，每来一个细分脉冲使计数器的值增大或减小 $\lambda/8$ ，从而实现了脉冲当量变换。

当计数器某一位计满10时，需向高一位进位。但若进位脉冲与送数脉冲相重，就会引起计数错误。为此，采用图6-5所示计数单元。SW₁~SW₄连同负与门Y构成8-4-2-1码十进计数单元。SW₁有二个输入端，A为送数脉冲输入端，B为进位脉冲输入端。当计数单元计满10时，不直接向高一位进位，而是将进位记忆双稳SW₁翻为“1”态。当脉冲分配器通过第13与第14个脉冲时，A_i端有脉冲输入。若该计数单元曾计满10，则SW₁为“1”态，A_i脉冲到来时，将SW₁翻回“0”态，B_i端接到高一位计数单元的B端，向高一位输出进位脉冲。由于进位脉冲在脉冲分配器通过第13、14脉冲时产生，故它不会与送数脉冲相重。考虑到可能由于低一位进位而计满10，所以A_i端引入二个脉冲，使在这种情况下仍有进位脉冲输出。

图6-6为脉冲分配器电路。SW₁~SW₄构成十六分频器。每进一个细分脉冲，进入16个CP脉冲，构成一个循环。在第一个CP脉冲输入前， $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2 = \bar{Q}_3 = \bar{Q}_4 = 1$ ，第一个CP脉冲输入时， $A_1 = CP\bar{Q}_1\bar{Q}_2\bar{Q}_3\bar{Q}_4 = 0$ ，A₁端有负脉冲输出，而在其它脉冲输入时，由于 $\bar{Q}_1 \sim \bar{Q}_4$ 至

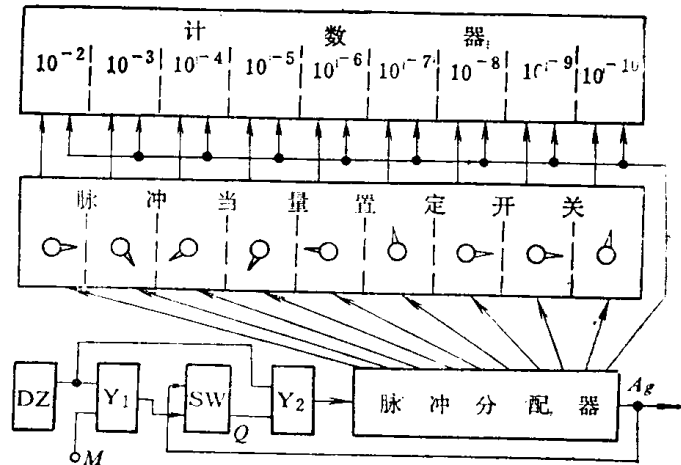


图 6-4

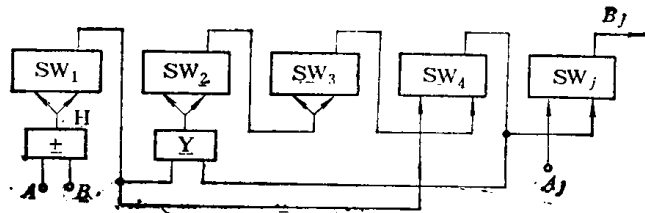


图 6-5

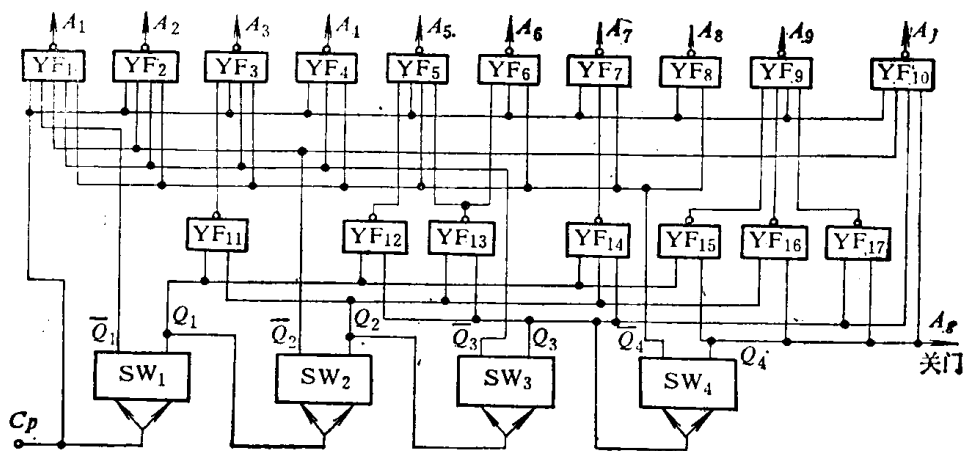


图 6-6

少有一为“0”， A_1 端无脉冲输出。这样，每进一个细分脉冲， A_1 端输出一个脉冲。 $A_2 = \overline{CPQ_2Q_3Q_4}$ ，第1、2个 CP 脉冲进入前，均有 $\overline{Q_2Q_3Q_4} = 1$ ，所以第1、2个 CP 脉冲到来时， A_2 端均有负脉冲输出。每来一个细分脉冲， A_2 端输出二个脉冲。 $A_3 = \overline{CPQ_1Q_2Q_3Q_4}$ ，第1、2、3个 CP 脉冲进入前，均有 $\overline{Q_1Q_2Q_3Q_4} = 1$ ，从而这三个 CP 脉冲进入时， A_3 端均有负脉冲输出。

$A_4 = \overline{CPQ_3Q_4}$ ， $A_5 = \overline{CPQ_1Q_3Q_2Q_3Q_4}$ ， $A_6 = \overline{CPQ_2Q_3Q_4}$ ， $A_7 = \overline{CPQ_1Q_2Q_3Q_4}$ ， $A_8 = \overline{CPQ_4}$ ， $A_9 = \overline{CPQ_1Q_4Q_2Q_4Q_3Q_4}$ 。利用同样方法分析，可以看到，每来一个细分脉冲， $A_4 \sim A_9$ 端分别有4~9个负脉冲输出。根据 $\lambda/8$ 值，各个脉冲当量置定开关与相应的 A_i ($i = 1 \sim 9$) 接通。每来一个细分脉冲，有所需数目的计数脉冲进入该位计数单元。

$A_7 = \overline{CPQ_2Q_3Q_4}$ ，在第13、14个脉冲进入前，有 $\overline{Q_2Q_3Q_4} = 1$ ，因此在这二个脉冲进入时， A_7 端有脉冲输出。各端的波形见图6-7。

(四) 控制电路与求补寄存电路

在测量过程中，仪器工作台与被检尺一起不断移动。每当光电显微镜瞄准线纹时，发出瞄准信号。考虑到有的线纹尺在零刻线之前有若干小刻线，可按实际情况预置小刻线数，当刻线数计数器所计之数达到预置数时，图6-8中双稳 SW_1 翻为“1”态，与门 Y_1 、 Y_2 同时打开，激光干涉信号的细分脉冲开始通过 Y_1 进入脉冲当量变换电路。以后每瞄准一条刻线， Y_1 通过一个脉冲，它将误差值寄存器清零。与此同时，它将双稳 SW_1 翻为“1”态， SW_1 又将

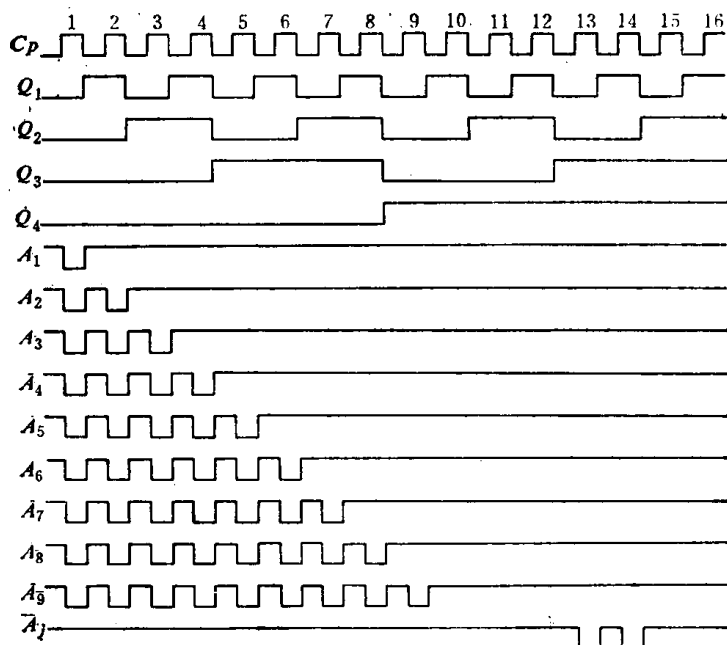


图 6-7

刻线数计数器所计之数达到预置数时，图6-8中双稳 SW_1 翻为“1”态，与门 Y_1 、 Y_2 同时打开，激光干涉信号的细分脉冲开始通过 Y_1 进入脉冲当量变换电路。以后每瞄准一条刻线， Y_1 通过一个脉冲，它将误差值寄存器清零。与此同时，它将双稳 SW_1 翻为“1”态， SW_1 又将

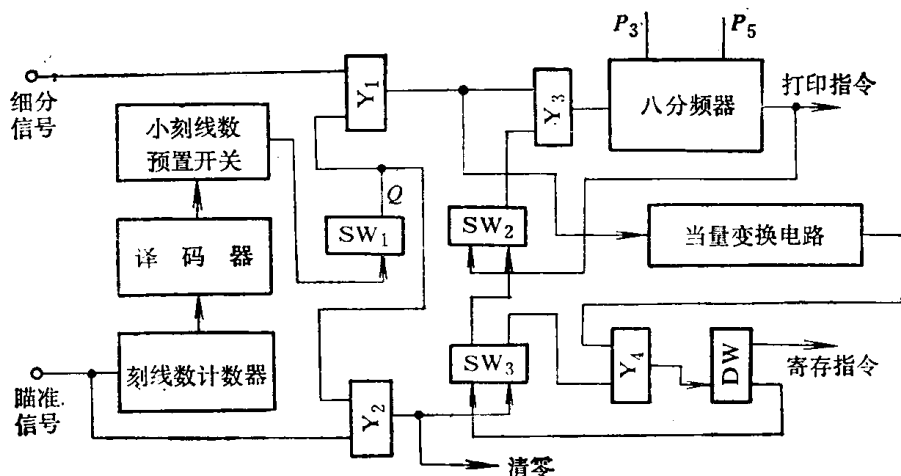


图 6-8

SW₂ 翻为“1”态, 与门 Y₃、Y₄ 打开。当脉冲当量变换电路中脉冲分配器通过第 16 个脉冲时, Y₄ 输出信号, 将单稳 DW 翻到暂稳态, 发出寄存指令, 将位移量计数器所计之工作台位移量值送入误差值寄存器。暂稳态结束时, DW 将 SW₃ 翻回“0”态。

当被检刻线误差为负时, 为了由工作台位移量得到误差值, 需要实现求补运算, 这与寄存同时实现。图 6-9 为求补寄存电路。图中只画出一位计数单元。SW₁~SW₄ 为位移量计数器某一位计数单元。SW'₁~SW'₄ 为误差值寄存器的相应位。

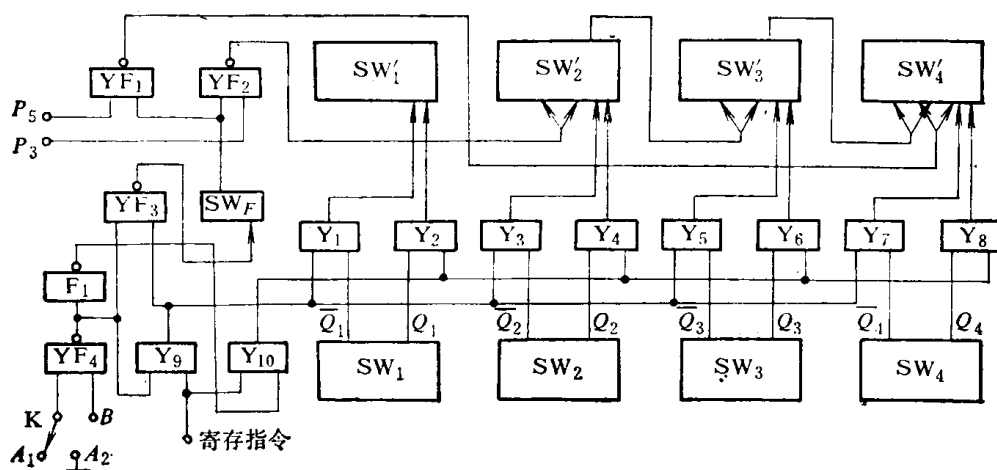


图 6-9

在需直接显示误差值情况下, 开关 K 拨到位置 A₁, 若位移量计数器的 0.1mm 位计 9, 即表示被检刻线误差为负, 这时 B 端为“1”电平, 与非门 YF₄ 输出“0”电平, 反相器 F₁ 输出“1”电平, 它使与门 Y₃ 关闭, 与门 Y₁₀ 开启。当寄存指令来到时, Y₁₀ 输出信号, 将 SW₁~SW₄ 以反码形式寄存在 SW'₁~SW'₄。当误差为负时, 与非门 YF₃ 是关闭的, 显示符号用的双稳 SW_F 保持“0”态, 符号显示装置显示“-”号。与此同时, 它将与非门 YF₁、YF₂ 打开。

为了实现求补运算, 还要对反码进行修正。图 6-8 中, Y₄ 打开时 Y₃ 同时打开, 细分信号开始通过 Y₃ 进入八分频器。当八分频器中进入第 3 与第 5 脉冲时, 先后输出 P₃ 与 P₅ 信号。它通过图 6-9 中与非门 YF₂ 与 YF₁ 使误差值寄存器 +2 与 +8。从表 6-1 可以看到, 反码 +2 与 +8 后, 就可以得到十进制数对 9 的补码, 从而直接显示误差值(注意寄存器的个、十、百等各位数之间无进位关系)。当图 6-8 中的八分频器通过第八个细分脉冲时, 求补寄存已经完毕, 八分频器送出打印指令, 将该刻线的序号数与误差值打印下来。与此同时, 将 SW₂ 翻回“0”态。

表 6-1

十 进 制 数	原 码	反 码	+ 2 后 码	再 + 8 后 码
0	0 0 0 0	1 1 1 1	0 0 0 1	1 0 0 1
1	0 0 0 1	1 1 1 0	0 0 0 0	1 0 0 0
2	0 0 1 0	1 1 0 1	1 1 1 1	0 1 1 1
3	0 0 1 1	1 1 0 0	1 1 1 0	0 1 1 0
4	0 1 0 0	1 0 1 1	1 1 0 1	0 1 0 1
5	0 1 0 1	1 0 1 0	1 1 0 0	0 1 0 0
6	0 1 1 0	1 0 0 1	1 0 1 1	0 0 1 1
7	0 1 1 1	1 0 0 0	1 0 1 0	0 0 1 0
8	1 0 0 0	0 1 1 1	1 0 0 1	0 0 0 1
9	1 0 0 1	0 1 1 0	1 0 0 0	0 0 0 0

当误差为正时, 位移量计数器的 0.1mm 位计“0”。图 6-9 中, B 点为“0”电平。当开关 K 拨到 A_2 位置时(显示位移量), 与非门 YF_4 输出“1”电平, 反相器 F_1 输出“0”电平。在这二种情况下, 与门 Y_6 打开, Y_{10} 关闭。当寄存指令来到时, Y_6 输出信号, 将 $SW_1 \sim SW_4$ 的状态按原码寄存在 $SW'_1 \sim SW'_4$ 。这时 YF_3 的二个输入端都是“1”电平, YF_3 输出“0”电平, 它将符号双稳 SW_F 置为“1”态, 显示“+”号。 SW_F 翻转后, 与非门 YF_1 与 YF_2 关闭。当 P_1 与 P_2 脉冲来到时, 不作 +2、+8 修正。当图 6-8 中八分频器通过第八个脉冲时, 打印机打下工作台位移量。当误差为正时, 它也就是误差值。

二、激光量块干涉仪

激光量块干涉仪是以氦氖激光波长作为基准, 利用白光干涉零级条纹对量块端面进行瞄准定位的高精度仪器。它能检定 0.5~1000mm 的一等量块中心长度及量块的平面平行性。测量量块中心长度的综合误差 $\leq \pm(0.05 + 0.3L)\mu\text{m}$, 其中 L 为量块长度(单位为 m); 测量平面平行性的误差 $\leq 0.1\mu\text{m}$; 仪器最小分辨率 $0.01\mu\text{m}$ 。

(一) 仪器光路

图 6-10 是仪器的光路图。它包括两个主要部分: (1) 激光测长干涉系统; (2) 白光定位干涉系统。还包括三个辅助部分: (1) 折射率测量干涉系统; (2) 投影系统; (3) 自准校正装置。

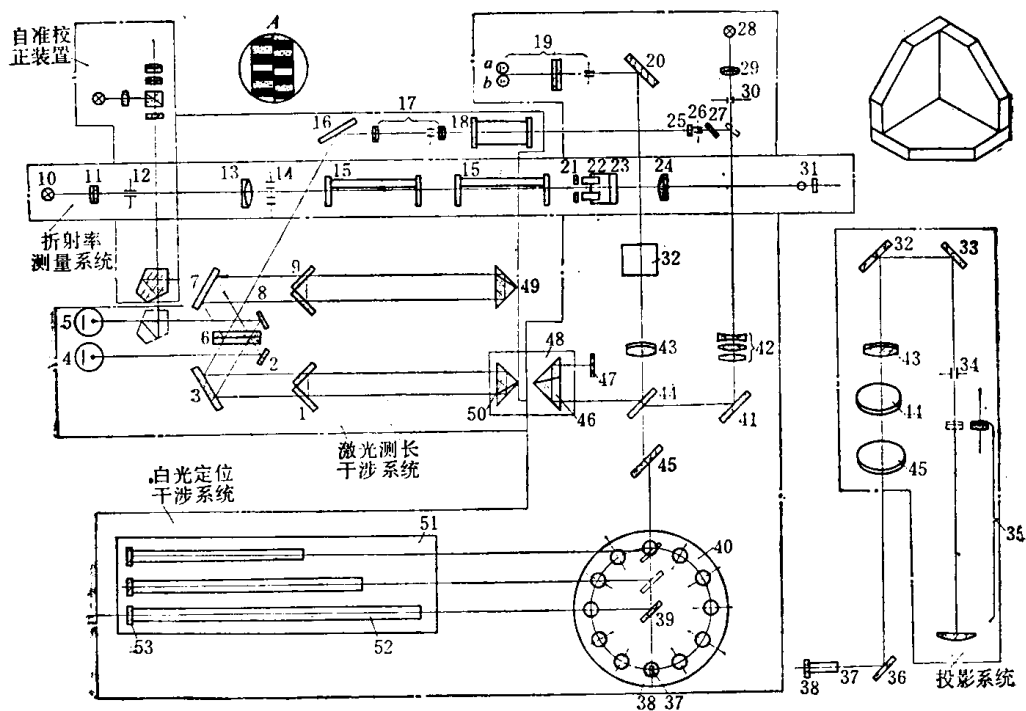


图 6-10

1. 白光定位干涉系统

由 6V 15W 灯泡 28 发出的白光束经聚光镜 29、光阑 30、复消色差物镜 42 与反射镜 41 射向分光镜 44。分光镜 44 将光束分成二路: 一路经角隅棱镜 46 与平面反射镜 47 反射返回; 另一路经补偿镜 45、反射镜 39 或 36 反射, 射向被检量块。为了做到与通常检定条件相符, 大量块(100mm 以上)采取水平放置, 小量块采取铅垂放置。测大量块时, 光束经反射镜 39 射向量块 52, 由平晶 53 或量块 52 表面反射返回; 测小量块时光束经反射镜 36 射向量块 37,

由平晶 38 或量块 37 表面反射返回, 在分光镜 44 处重新汇合形成干涉。测量台 51 上可同时安放三块大量块。反光镜 39 有三个不同位置, 分别对准三块量块。小量块放在转台 40 上, 可同时安放 12 块量块。检定小量块时应将反射镜 39 移出, 转台 40 能自动转位。

测量时, 装有角隅棱镜 46 与 50 的工作台 48 平稳移动。当工作台 48 移到由角隅棱镜 46 及参考反射镜 47 反射回来的光束与由平晶 53 (或 38) 反射回来的光束光程相等时, 形成零级干涉条纹, 这一干涉条纹经物镜 43、反射镜 20 由光电接收部分 19 接收, 形成第一个瞄准信号。当工作台 48 继续移动, 到由角隅棱镜 46 及反射镜 47 反射回来的光束与由量块 52 (或 37) 表面反射回来的光束光程相等时, 又形成零级干涉条纹, 光电接收部分 19 发出第二个瞄准信号。根据二个瞄准信号之间工作台 48 移过的距离即可确定被测量块中心长度。这里加入了一个平面反射镜 47, 使参考光束的光程变化为工作台移动距离的四倍, 而测量光束的光程变化仅为量块长度的二倍。这样可以缩短工作台移动距离, 简化仪器结构。考虑到由平晶和量块表面反射回来的光强不同, 二个零级干涉条纹信号分别由 19 中的二个光电倍增管接收, 以便在不同光强下仍能输出大致相等的信号。

图 6-10 所示光路中角隅棱镜 46 做成空心的, 它由三块平板玻璃粘接而成, 如图右上方所示。这样可以避免因为参考光束经过玻璃而产生色差, 也不会因为在工作台移动时角隅棱镜偏转而引起附加光程差。由于参考光束二次经过分光镜 44, 为了补偿它在玻璃中的光程以消除色差, 故加入补偿镜 45。

2. 激光干涉测长系统

由稳频激光器 18 发出的激光束经扩束系统 17 扩为 $\phi 8$ 的平行光束, 经反射镜 16 后, 以 30° 的入射角射到干涉系统的分光镜 6 上 (图 6-11)。分光镜 6 由二块平板玻璃镀膜后胶合在一起。激光束入射后在分光镜 6 上的 A 点被分成 I_R 与 I_T 两束。 I_R 经反射镜 7 反射后, 由二面直角棱镜 9 的下方通过, 在第四象限的位置 (由光束入射方向看) 沿 1 线射到角隅棱镜 49 上。经角隅棱镜三个直角面反射后 (图中简化表示为沿 2 线反射), 由第二象限射出, 沿 3 线反射回二面直角棱镜 9。光束沿 4 线反射后, 然后沿 5 线由第一象限再次射到角隅棱镜 49

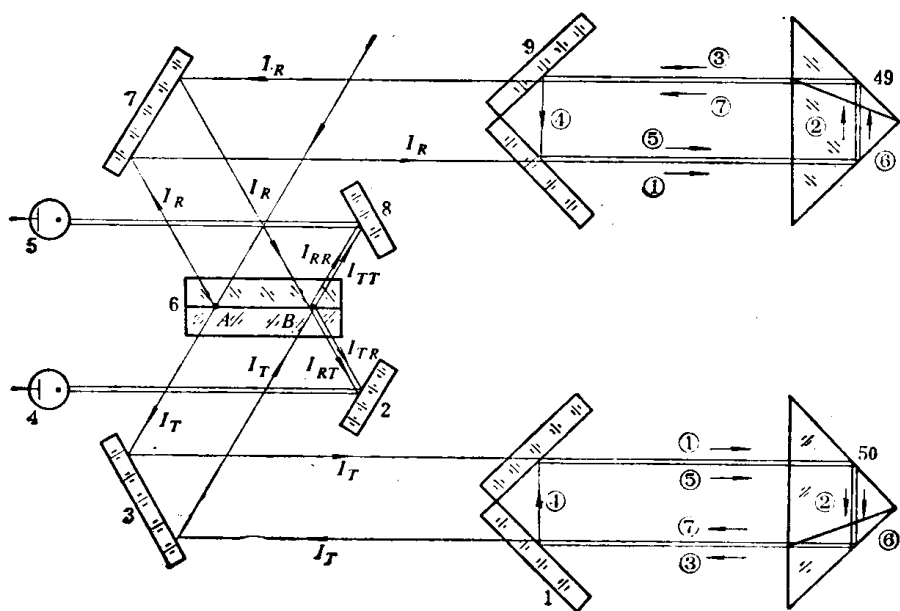


图 6-11

上。经角隅棱镜三个直角面反射后(图中简化画为沿6线反射),由第三象限射出。当它沿7线射出时,光束由二面直角棱镜9下部通过。它经镜7反射,在B点被分光镜分成二部分:一部分透过分光镜6,为 I_{rr} ;另一部分由分光镜6反射,为 I_{rr0} 。

在A点透过分光镜的光束 I_r ,经反射镜3反射后通过二面直角棱镜1的下方,由第三象限射入角隅棱镜50。同样经1~7所示路线反射,最后由角隅棱镜50的第四象限射出,它沿7线射出通过二面直角棱镜1的下方。这一光束经反射镜3反射后在B点被分光镜6分为二部分:一部分透过分光镜6,为 I_{rr} ;另一部分被分光镜反射,为 I_{rr} 。

I_{rr} 与 I_r 汇合形成干涉,经反射镜8反射后由光电元件5接收;另一路 I_{rr} 与 I_{rr} 汇合并产生干涉,经反射镜2反射后由光电元件4接收。靠合适选择膜层材料与膜层的厚度保证二路干涉信号的相位差 90° 。与图6-1所示光路中采用相位板移相的方法相比,镀膜移相的缺点是,由于镀膜、胶合过程中影响因素较多,不易精确保证相位差 90° ,工艺较为困难。但经过工艺试验制成合格的移相膜分光镜后,相移角较为稳定。

工作台48移动时(图6-10),二路干涉信号同时变化。由于加入了二面直角棱镜1与9,每一束光在二面直角棱镜1或9与角隅棱镜50或49之间走过四个单程。这样,工作台48每移过 $\lambda/4$,干涉条纹亮暗变化一个周期,它相当于量块尺寸变化 $\lambda/2$ 。为了避免角隅棱镜49与50发生倾侧而造成光程微量变化,角隅棱镜49与50也都采用空心角隅棱镜。形成二路相位差 90° 的干涉信号是由于辨向与细分的需要。

3. 折射率测量仪

本仪器与激光线纹比长仪一样,都采用改进的瑞利干涉仪测量折射率。图6-10中,聚光镜11将白光光源10的灯丝成象于刀口狭缝12上,经物镜13射出平行光。14为双狭缝光阑。15为二根抽成真空的管子;二根管子的总长为 L ,抽真空部分的位置在第一象限。由第一与第四象限通过的光束,经过消色差补偿片21、补偿镜22,在物镜24的后焦平面上产生干涉。这二束光中,一束通过真空管子15,另一束在空气中通过,它们之间存在光程差 $(n-1)L$ 。因此,这一干涉条纹的位置与空气折射率 n 有关。

位于第二、第三象限的光束都在大气中通过。这一部分光束从补偿片21、补偿镜22的后方通过,经棱镜23与物镜24,在物镜24的后焦平面上形成又一组干涉条纹。这一组干涉条纹的位置是不随空气折射率 n 而变化的,用作读数指标。31为读数目镜系统。为了提高辨读精度,引入棱镜23,它使通过第二、三象限的光束向前移一段距离,让视场中二组干涉条纹的图象正好衔接,如图上方A视图中所示。

显然, L 越大, $n-1$ 的测量精度越高,由于受仪器体积限制, L 常取一米左右。此时光程差 $(n-1)L$ 约达 $300\mu\text{m}$ 。但这时由第一、第四象限光束形成的零级干涉条纹远在视场之外。为了能在视场中看到其零级干涉条纹,在这两个象限加入补偿镜22。通过千分螺丝,可使补偿镜22偏转,从而改变这二束光之间的光程差,将零级干涉条纹引入到视场内。当二组干涉条纹的零级条纹对齐时,可从千分螺丝的鼓轮上读出光程差 $(n-1)L$ 。由于 L 为一常数,鼓轮可直接按 $n-1$ 刻度。这种方法测量空气折射率的精度约可达 5×10^{-8} 。

4. 投影系统

投影系统在仪器中有二个作用:一是在测量前调节被测量块的正确安装位置,这时通过聚光镜25、光阑26、反射镜27引入激光光源,同时插入转换反光镜32,将干涉图象通过反射镜32、33、光阑34引入到投影物镜系统35,以便观察;二是利用激光光束良好的相干性,

通过投影系统观察由平晶 53(或 38)与量块 52(或 37)表面反射回来的二束光所产生的干涉图象,以测定量块的平面平行性。

5. 自准校正装置

它在装校干涉仪时作过渡基准,这里不予叙述。

(二) 白光定位电路

当二路相干白光的光程差接近于零时,形成彩色干涉条纹,经光电转换后,其信号波形如图 6-12 a 所示。当二路光程差为零时,各种波长的光谱均互相加强,从而得到图 a 中最大峰值点 P 。白光定位就是要通过电路处理找出最高点 P 。显然 P 点满足二个条件:(1)幅值最大;(2)波形曲线斜率为零。白光定位电路就是根据这二点来设计的。

将经过放大的白光干涉信号 a 削波后得到图 b 所示波形。将这一信号微分,得到图 c 所示波形。曲线 c 下降时的过零点就对应于信号 a 的峰值点,利用过零触发器鉴零后得到图 d 所示矩形脉冲。矩形脉冲的下降沿就对应于图 a 中各个峰值点。剩下的问题是从各个峰值点中如何找出最高峰值点 P 。为此将图 b 所示钟形波信号 u_b 送入单向充电回路,这时电容 C 上的电压按图 e 所示阶梯波变化。将阶梯波再次微分,得到图 f 所示尖脉冲,经整形后得到图 g 所示矩形脉冲。图 g 中最后一个矩形脉冲所对应的信号 u_d 的下降沿即为最高峰值点 P ,它也就是零次干涉条纹信号。

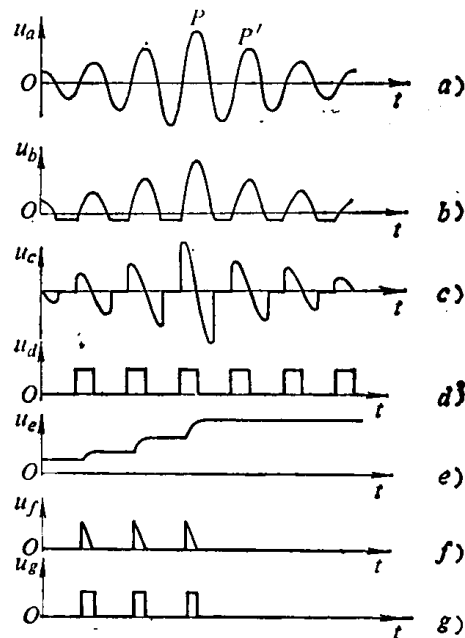


图 6-12

d 、 g 二路矩形脉冲形成的具体电路见图 6-13。由图 6-10 中二个光电倍增管 a 、 b 送来的白光干涉信号(它们分别接收由平晶及量块表面反射所形成的干涉信号) u_1 与 u_2 分别经源极跟随器 BG_7 或 BG_{13} 阻抗变换后送入放大器 BG_8 放大,这一信号经二极管 D_3 削波后,形成与图 6-12 b 相应的削波信号(极性与图 b 相反)。这一信号经射极跟随器 BG_9 阻抗变换后分成二路:一路经 $BG_{14} \sim BG_{23}$ 形成过零触发信号 u_d ; 另一路经 $BG_{10} \sim BG_{12}$ 、 $BG_{11} \sim BG_9$ 形成最高峰值识别信号 $\bar{u}_g$ 。第一路经源极跟随器 BG_{14} 阻抗变换后,送到放大器 BG_{15} 放大。然后由 C_3 、 R_2 微分得到图 6-12 c 所示信号。经过射极跟随器 BG_{16} 和由 BG_{17} 、 BG_{18} 组成的工作点稳定的二级直接耦合放大器放大后,再经射极跟随器 BG_{19} 送到由 BG_{20} 、 BG_{21} 组成的过零触发器鉴别零点,所得矩形波经 BG_{22} 、 BG_{23} 二次反相后输出。 D_5 与 D_{w2} 作钳位用。

另一路信号经 BG_{10} 放大后由射极跟随器 BG_{11} 输出,送到由 D_4 、 C_2 组成的单向充电回路,形成图 6-12 e 所示阶梯波信号。这一信号经源极跟随器阻抗变换后,由 C_1 、 R_1 微分得到图 f 所示尖脉冲,再经 BG_1 放大、 D_1 削波后送到放大器 BG_2 放大。然后经射极跟随器 BG_3 阻抗变换后送入由 BG_4 、 BG_5 组成的整形器整形,经反相器 BG_6 输出。 D_2 与 D_{w1} 作钳位用。

过零脉冲 u_d 与最高峰识别脉冲 $\bar{u}_g$ 经适当逻辑处理形成白光对准脉冲 u_z ,其电路见图 6-14。

过零脉冲 u_d 及其反相信号 $\bar{u}_d$ 分别经单稳 DW_1 和 DW_2 形成一系列窄脉冲 A 与 B ，其波形如图 6-15 所示。 $\bar{u}_g$ 是最高峰识别脉冲 u_g 的反相信号。从脉冲形成时间看：首先是脉冲 B ，它对应于 u_d 的上跳沿；其次是 $\bar{u}_g$ 的下跳沿；最后是脉冲 A ，它对应于 u_d 的下跳沿。在第一个 B 脉冲到来前，双稳 SW_1 处于“0”态，与非门 YF_2 关闭， B 脉冲不能从 YF_2 输出。第一

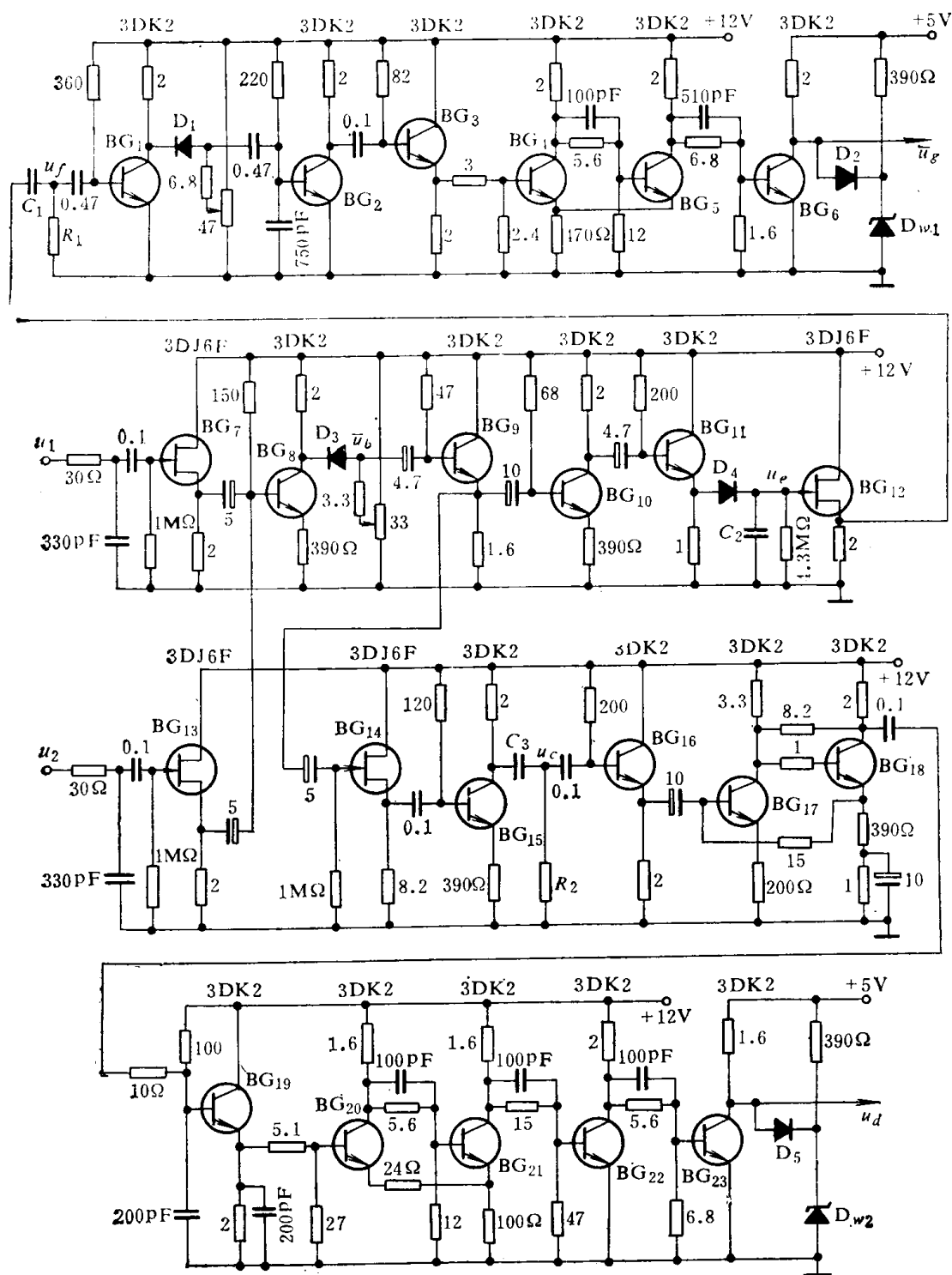


图 6-13

$C_{1,3}$ 510pF	$D_{1,2,3,4,5}$ 2AP7	R_1 10k Ω
C_2 0.02 μ F	$D_{w1,w2}$ 2CW11	R_2 6.2k Ω