

哈尔滨工业大学 强锡富 主编

电动量仪

上册

机械工业出版社

8.81

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、车仁生、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(车仁生、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

第一章 绪言	1	一、泰利塞夫 4 型轮廓仪电路简介	86
§ 1-1 电动量仪的内容	1	二、泰利塞夫 3 型轮廓仪电路简介	100
§ 1-2 电动量仪的特点	1	三、泰利塞夫 105 型轮廓仪电路说明	109
§ 1-3 电动量仪的分类	2	四、SE-4 型轮廓仪电路说明	112
§ 1-4 传感器输出信号形式	2	五、ME-10 型轮廓仪简介	114
一、传感器的概念与分类	2	六、2221 型轮廓仪简介	126
二、模拟信号形式	3	§ 3-4 轮廓仪的检定	130
三、数字信号形式	7	一、检定条件	130
§ 1-5 电动量仪的组成	9	二、检定项目、检定工具、检定类别	130
一、模拟式量仪的组成	9	三、检定要求与检定方法	130
二、数字式量仪的组成	10	附录 小振幅的测量	136
第二章 测微仪	14	§ 3-5 轮廓仪的故障检查和修理	141
§ 2-1 电感式测微仪	14	一、检修前的准备	141
一、概述	14	二、故障的检查方法	142
二、电感测微仪举例	16	三、轮廓仪故障的分类	142
三、电感测微仪的调整和维修	22	四、泰利塞夫 4 型轮廓仪检修实例	143
§ 2-2 差动变压器式测微仪	27	第四章 圆度仪	145
一、概述	27	§ 4-1 圆度的评定方法	145
二、差动变压器式测微仪举例	28	一、最小外接圆中心法	145
§ 2-3 电桥式电容测微仪	34	二、最大内切圆中心法	145
一、概述	34	三、最小半径差中心法	145
二、电桥式电容测微仪举例	36	四、最小二乘中心法	146
§ 2-4 运算式电容测微仪	41	§ 4-2 圆度仪工作原理	146
一、概述	41	§ 4-3 圆度仪的机械结构	149
二、运算式电容测微仪工作原理	41	一、主轴结构	149
三、测量电路介绍	46	二、传感器和测端	151
第三章 电动触针式表面粗糙度检查仪		三、工作台	153
(轮廓仪)	53	§ 4-4 圆度仪的电路系统	154
§ 3-1 表面粗糙度的概念及表征参数	53	一、系统方框图	154
一、概述	53	二、泰利朗 51 型圆度仪的电路系统	155
二、表面粗糙度的评定基准	54	三、泰利朗 73 型圆度仪的电路系统	176
三、表征参数	55	四、Y 901 和 Y 9025 SM 型圆度仪及电路	
§ 3-2 轮廓仪	66	系统	201
一、BCJ-2 型轮廓仪	67	五、HYQ 014 A 圆度仪及电路系统	208
二、B & K 轮廓仪	80	六、DQR-1 型圆度仪及电路系统	208
§ 3-3 几种轮廓仪简介	86	七、YD 200 型圆度仪及电路系统	209

IV

第五章 光电瞄准装置.....	216	一、白光动态光电显微镜	227
§ 5-1 静态光电显微镜.....	216	二、激光动态光电显微镜	231
一、工作原理	216	§ 5-3 光电准直光管.....	235
二、光电传感器	219	一、TA 57 型光电准直光管	235
三、相位脉冲法电路	221	二、TA 58 型光电准直光管	242
四、光亮法电路	225	三、702 型光电准直光管	246
§ 5-2 动态光电显微镜.....	227	参考文献.....	247

第一章 绪 言

§ 1-1 电动量仪的内容

电动量仪是指应用电学原理的长度计量仪器。测量对象是长度。这里的“长度”是广义的，其实一切几何量都包括在内，如长度、角度、形位、波度、粗糙度等。同时，常常可以把其它被测物理量（例如硬度、弹性、重量、振动等等）转化为长度参数并利用本书叙述的测量原理和仪器来进行测量。

仪器工作是基于电学原理。把被测参数（例如微小位移）的变化，转换成电信号，再经电子线路进行放大或运算等处理后，推动显示器或执行器。

总的说来，电动量仪除包含电子部分外，还包含机械部分。近代长度计量仪器正发展成为光、机、电相结合的新型仪器。不过，在仪器的某些重要部位如瞄准定位系统、信息处理系统、显示读数系统，大多采用了电子技术。可以说，近代高精度、高效率、自动化、数字化量仪以及动态检测和自适应控制测量系统，电子技术是必不可少的基本组成部分，占有十分重要的地位。

一般地说，长度计量仪器两个重要组成部分是瞄准定位和显示读数。只要其中之一应用了电学原理，就可称这台仪器为电动量仪。在长度计量领域中应用的光栅技术、激光技术、感应同步器技术、磁栅技术等也可看成电动量仪技术。因此，电动量仪的内容是很丰富的。

§ 1-2 电动量仪的特点

电动量仪由于应用了电学原理特别是引入了近代电子技术，使它具有高精度、高效率、使用方便、适应性强等一系列突出的特点。目前生产的电动测微仪的精度已经达到 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{m}$ ，因而能应用于实验室作为高精度仪器以检定量块、标准量具和量仪。在有些仪器上，采用误差分离技术把误差信号分离出去，或对测量结果进行自动校正，或对非线性进行自动补偿，显著地提高了仪器的精度。电动量仪易于实现检测自动化，这包括测量操作自动化，数据处理自动化两个方面，减轻了测量人员的劳动强度，提高了检测效率。在某些方面，检测效率成倍甚至成数十倍数百倍地增长。这是电动量仪一个显著的优点。使用方便适应性强是它另一个显著优点。如：能进行和差测量或其它演算测量；能较方便地测量如平行度、柱度、圆度等；能进行多点切换测量；换档方便，可按被测工件的测量需要，改变分度值和示值范围；可按一定程序对复杂工件进行测量；传感器（测头）和显示器可分开放置，传感器安在被测对象处，显示器放在较合适的地方，以实现远距离测量。当被测对象所处的环境对人体有害、被测对象处于某一容器中或工作人员呆在测量现场对测量会带来不良影响时，实现远距离测量就十分必要。由于具有这一特点，可对一般机械量仪、光学量仪不能测量的对象或不能测量的部位进行测量，大大增加了解决实际测量任务的可能性。由于上述这些特点，近年

来电动量仪的发展异常迅速。可以预料, 电动量仪的进一步发展, 原来由仪器机械结构实现的某些功能将由电子线路来完成, 从而使仪器机械结构大为简化。

§ 1-3 电动量仪的分类

电动量仪可根据用途分类, 如分为测微仪、轮廓仪、圆度仪、光电显微镜、动态丝杠检查仪、电动齿轮量仪、三坐标测量机等。可根据传感器原理分类, 如分为电感式、电容式、压电式、光栅式、激光式、感应同步器式、磁栅式等等。可根据自动化程度分类, 如分为手动的、半自动的、自动的等。在本书中, 从第二章起根据用途分类, 把各类电动量仪分章叙述。

由于电路原理不同, 电动量仪又可分为模拟式和数字式两大类。一般说来, 模拟式量仪的电路的全部或大部分环节是模拟电路, 最后的显示器是指示表或记录器, 数字式量仪的电路的主要部分是数字电路, 最后的显示器是数字显示器或打印机。但是, 这两类量仪的划分不是绝对的, 数字式量仪中也有模拟电路环节, 模拟式量仪中也可能有数字电路环节。而且, 目前已有不少仪器把模拟原理与数字原理结合在一起了。例如数显电动测微仪、数显轮廓仪、带计算机的圆度仪等等, 前面一段完全是模拟式量仪, 后面一段把模拟量转换成数字量处理, 最后以数字形式进行显示和打印。还有一些, 前一段是数字式量仪, 后一段把数字量又转换成模拟量用记录器记录。尽管有些仪器把两类原理结合在一起, 但作如上的划分对于了解仪器的原理和结构还是有好处的。

不管是哪一类电动量仪, 从其总的工作原理来看, 主要由三部分组成: 传感器、电箱、显示器 (或执行器)。在这三部分中, 传感器的工作原理和结构 (尤其是其输出信号的形式), 在一定程度上影响着电箱电路的总体方案。因此, 下面将先讨论传感器输出信号形式, 然后再讨论电动量仪的组成原理。

对于具体的电动量仪, 因测量对象不同、测量要求不同、自动化程度不同, 还将有某些特定环节及某些控制电路。这些特定环节或控制电路将因仪器而异, 只能具体问题具体分析。

§ 1-4 传感器输出信号形式

一、传感器的概念与分类

传感器是一种测量装置, 是测量 (或控制) 系统的一个重要组成部分, 它的作用是在确定的外界条件下以一定的精密程度把被测物理量 (输入信号) 转换为与之有确定对应关系的便于应用的另一物理量 (输出信号)。

传感器一般由感受元件和转换元件组成。感受元件直接感受被测物理量, 转换元件实现物理量形式的转换。有些传感器具有复合的转换元件, 完成物理量形式的若干次转换, 最后获得便于应用的物理量信号输出。

输出信号的能量全部由其输入信号源提供, 称之为“无源”传感器, 如压电式传感器即属此类。使用辅助能源以提供输出信号大部分能量的, 称之为“有源”传感器, 电感式传感器即属此类。辅助能源可以为电源、光源、气源等。

长度传感器，被测物理量是几何量，输出信号可以是电量（电压、电流），也可以是气体量（气压、气流）或其它物理量。有些机械式的测量放大机构，输入输出都为几何量，可称之为机械式传感器。机械式比较仪，是由机械式传感器和显示器组合而成的。

电动量仪中的传感器，被测物理量是几何量，输出信号是电量。因此，它一般由感受元件、转换元件、转换电路（转换电路可看成是另一转换元件）等部分组成，如图 1-1 所示。感受元件的作用是感受被测几何量的变化，转换元件把它转换成某一物理量的变化，经过转换电路后，形成电信号输出。

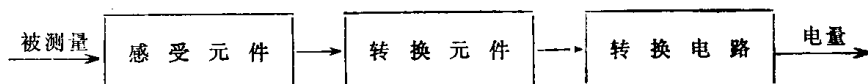


图 1-1

电动量仪中的传感器按其工作原理可分为下列几类：1) 电参量式传感器，如电触式、电感式、互感式、电容式、电阻式等；2) 压电式；3) 光电式，其中也包括光栅式、激光式、光学编码式等；4) 气电式；5) 磁式，如磁栅式传感器。按量程大小可分为大量程传感器与小量程传感器。按输出信号形式可分为数字信号传感器和模拟信号（包括各种调制信号）传感器。

二、模拟信号形式

模拟传感器输出的是模拟信号。模拟信号可分为非调制模拟信号与调制

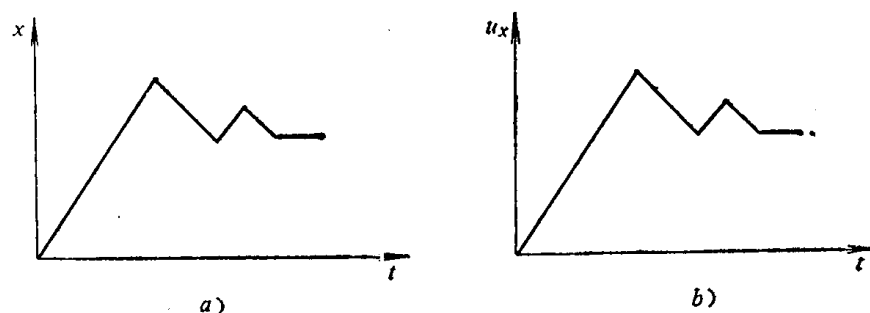


图 1-2

模拟信号两大类。调制信号又可分为调幅、调频、调相、调宽等形式。信号形式有些是决定于测头结构原理，有些还决定于转换电路。

（一）非调制信号

非调制信号是指完全与输入量相对应的输出信号。如图 1-2 所示，图 a 中纵坐标 x 是测杆位移，图 b 中纵坐标 u_x 是传感器的输出电信号，它们一一对应。

压电式传感器就是具有这种输出特性的例子。如图 1-3 所示，压电晶片一端固定，另一端使之位移时，将输出完全对应的电荷或电压信号。

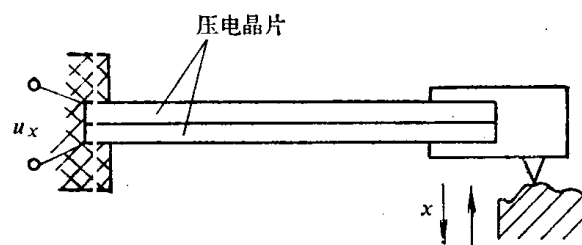


图 1-3

压电晶片是一种电容性器件，接上负载后，产生的电荷或电压不易保持，除非负载电阻值极大才行。因此，实际上用它来测量频率很低的变化量是不行的。当满足 $\omega > 1/R_{fz}C$ 时，放电的影响即可忽略不计，就可进行测量。式中 ω —— 被测量变化的角频率， C —— 压电晶片的固有电容， R_{fz} —— 负载电阻。

非调制信号不需解调，可直接送放大器放大与作其它处理。

（二）调制信号

1. 调幅信号

调幅信号是一个载波信号，频率与调制频率相同，幅值随被测量变化，与被测量成比例。图 1-4 a 中的 x 为被测量，图 1-4 b 中的 u_x 为调幅信号。调制频率一般是不变的。幅值随输入量 x 变化。当 x 过零时，输出信号的相位改变 180° 。

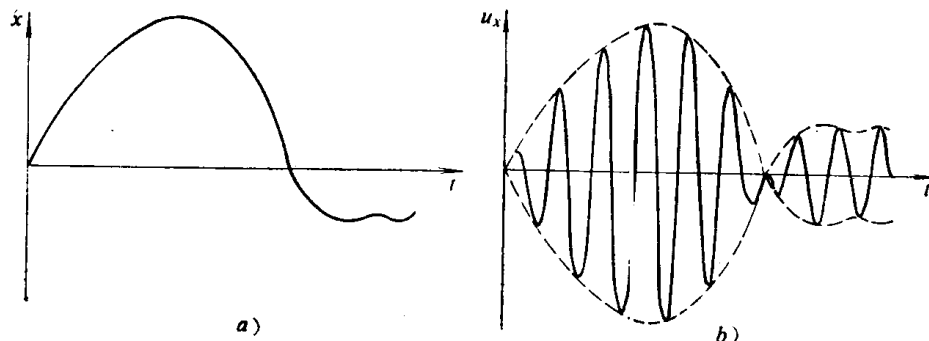


图 1-4

图 1-5 所示的电感传感器，其输出是调幅信号。由图可以看出，该传感器由测杆 1（感受元件）、两个线圈 2 和磁芯 3 组成的差动式可变电感（转换元件）及由变压器两个次级线圈与上述两个可变电感组成的转换电路（又一转换元件）组成。 u 是振荡电源。当测杆位移 x 如图 1-4 a 所示时，输出信号 u_x 的频率与振荡电源 u 的频率相同，幅值随 x 而变化，且当 x 变号时， u_x 的相位也改变 180° ，如图 1-4 b 所示。由图 1-5 所示可见，前面两部分组成一个完整的结构，称为测头。有时把测头称之为传感器，而转换电路不包含在传感器之内，这种说法也是可以的。但是，从传感器应该输出“便于应用的物理量信号”或“输出信号是电量”的概念来看，还是把转换电路包含在传感器之内为好。

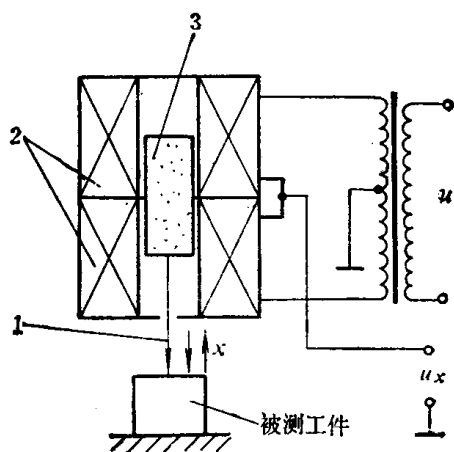


图 1-5

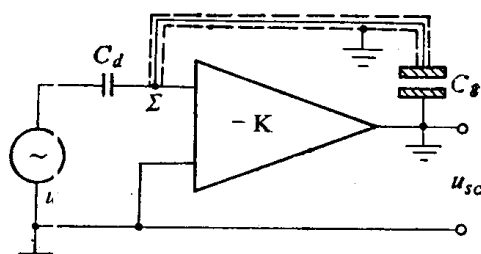


图 1-6

在电容式传感器中，当采用桥式转换电路时，输出的是调幅信号，当采用运算式转换电路时，输出的也是调幅信号。如图 1-6 所示， C_d 是固定电容， C_g 是传感器电容， u 是稳定的交流电源。根据运算放大器的工作原理，在开环放大倍数 K 和输入阻抗 r_{sr} 较大的情况下可得

$$u_{sc} = -\frac{1/j\omega C_g}{1/j\omega C_d} u = -\frac{C_d}{C_g} u$$

式中 “-” 号表示 u_{sc} 的相位与 u 相反。

把传感器电容 $C_g = \epsilon S / \delta$ 代入上式，可得

$$u_{sc} = -\frac{u C_d}{\epsilon S} \delta$$

式中 S ——电容传感器极板的工作面积;
 δ ——极板间距;
 ϵ ——极板间介质的介电系数。

可见, $u_{sc} - \delta$ 是线性关系。 u_{sc} 的频率与电源频率相同, 幅值随 δ 而变化。

在光亮法光电显微镜中, 其光电传感器输出的信号也是调幅信号。设振子的振动频率为 f , 当刻线对中时, 刻线影像的振动中线与狭缝的几何中线相重合, 这时光电传感器的输出为 $2f$ 信号。当刻线偏离时, 刻线影像的振动中线与狭缝的几何中线不重合, 这时在光电传感器输出的信号中, 除有 $2f$ 的分量外, 还具有 f 分量的信号 (同时还有 $3f$ 分量的信号等)。这样, 就可根据光电信号有无 f 分量 (或 $3f$ 分量) 来确定刻线是否瞄准, 根据 f 分量 (或 $3f$ 分量) 信号的振幅大小来确定偏离大小。同时还可看出, 刻线位于狭缝几何中心的左边或右边时, 两者所产生的 f 分量的光电信号在相位上恰好相差 180° , 这样, 根据 f 分量信号的相位可确定刻线偏离方向。关于这方面的内容请参阅第五章。

以上是传感器输出调幅信号的数例。在实际中应用的传感器, 输出为调幅信号者居多。

2. 调频信号

调频信号指的是输出信号的频率随被测物理量变化而变化。调频式转换电路主要用于电容和电感传感器。传感器的电容或电感接入转换电路后, 将转换成频率的变化而输出。

图 1-7 所示是某电容测微仪中采用的调频式转换电路, 它实际上是一个电容三点式振荡器, 传感器电容接于振荡回路内。一般 $C_1 \gg C_g$, $C_2 \gg C_g$, 则振荡频率由下式决定

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_g}}$$

式中 C_g ——传感器电容。

当传感器处于初始状态, 极板间隙为 δ_0 , 相应的传感器电容为 C_{g0} , 这时振荡器的振荡频率为 $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC_{g0}}$ 。测量时, 若电容极板间隙变为 $\delta_0 \pm \Delta\delta$, 电容相应地变成 $C_{g0} \mp \Delta C$, 则振荡频率变为 $f_0 \pm \Delta f$ 。由此可见在 Δf 与 $\Delta\delta$ 之间存在一定关系, 即把被测量的变化转换成频率的变化。

图 1-8 所示也是一种调频传感器。转换电路由一个多谐振荡器加上一个射极跟随器构成。为了减少使用元件的种类, 多谐振荡器是对称的。输出方波的频率为

$$f = \frac{1}{1.4R_{b2}C_1}$$

测头部分两个电容组装在一起。极板 C_{1A} 和 C_{2A} 附在刚体 A 上, 极板 C_{1B} 和 C_{2B} 附在刚体 B 上。 C_{1A} 和 C_{1B} 组成 C_1 , C_{2A} 和 C_{2B} 组成 C_2 。为了防止短路, 极板之间加上一层相对介电常数为 ϵ_0 、厚度为 δ_0 的绝缘层。其余的间隙为 x , 相对介电常数为 ϵ 。

电容 C_1 的电容量为

$$C_1 = 8.85 \times 10^{-12} S / \left(\frac{x}{\epsilon} + \frac{\delta_0}{\epsilon_0} \right)$$

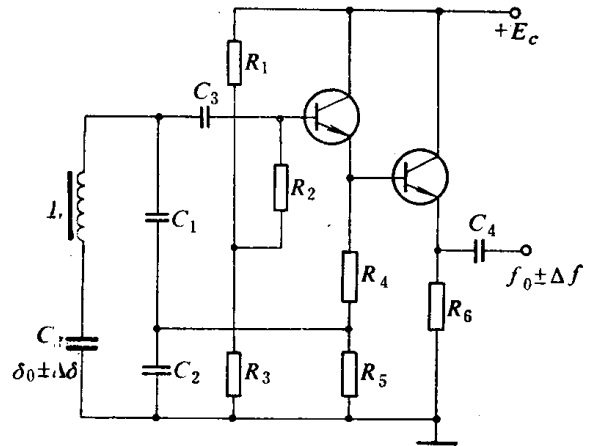


图 1-7

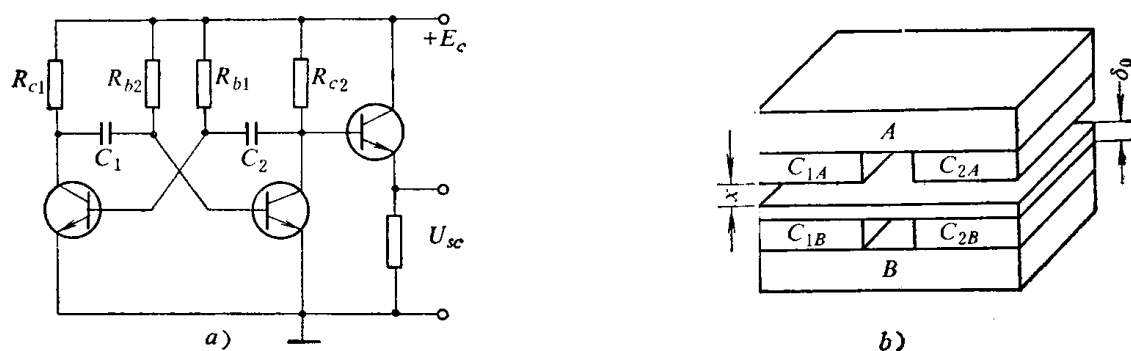


图 1-8

代入上式, 可得

$$f = 8.07 \times 10^{10} \left(\frac{x}{\varepsilon} + \frac{\delta_0}{\varepsilon_0} \right) / R_{b2} S$$

$$\Delta f = 8.07 \times 10^{10} \Delta x / \varepsilon R_{b2} S$$

式中 S ——极板工作面积 (m^2)。

显然, 输出方波的频率 f 与间隙 x 之间存在着线性关系。

3. 调相信号

调相信号指的是输出信号的相位随被测物理量变化而变化。

图 1-9 所示为调相式传感器的一个例子。阻值固定的电阻 R 与电感式测头的电感 L_g 接于桥路中。设变压器次级供电电压为 u , 则电路中各元件的电压降向量如图 1-9 b 所示。若电感线圈中的有效电阻可以忽略, 则 u_R 与 u_L 相垂直。当电感式测头的电感 L_g 随被测量变化时, P 点将沿圆周移动, 输出电压 u_{sc} 的幅值 (OP) 基本不变, 而其相角 φ 将发生变化。

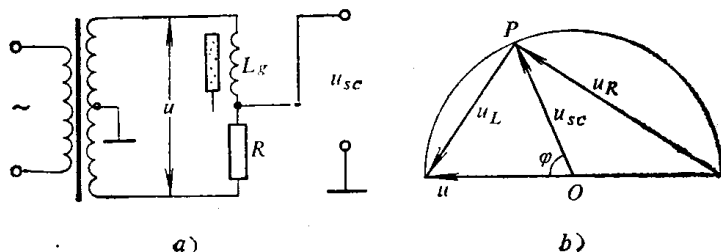


图 1-9

φ 角的表达式为

$$\varphi = 2\text{tg}^{-1} \frac{u_L}{u_R} = 2\text{tg}^{-1} \frac{x}{R}$$

式中 x ——线圈感抗。

同样, 把电容传感器接入, 也可获得调相信号。

脉冲法光电显微镜的光电传感器输出的也是调相信号, 其工作原理请参阅第五章图 5-3。当刻线影像的振动中线与狭缝的几何中线相重合时, 每扫描一次产生两个尖脉冲, 其间隔 (相位) 相等。当刻线影像的振动中线与狭缝的几何中线有一偏移量 Δ 时, 每扫描一次, 也产生两个尖脉冲, 但其间隔不等, 也就是产生了相位偏移。

理论与实践证明, 当 $\Delta \ll A$ 时, 相位差 $\Delta\varphi$ 的大小与刻线影像偏离量 Δ 成正比。其中 A 为刻线影像在狭缝前扫描的振幅。当刻线影像的偏离方向改变时, 相位差 $\Delta\varphi$ 将改变符号以指示出刻线的偏离方向。

4. 调宽信号

调宽信号指的是输出信号的脉宽随被测量变化而变化。电容传感器应用的差动脉宽转换电路即为一例。如图 1-10 所示, C_1 和 C_2 是差动电容传感器的两个电容, 测杆移动时, 一个电容值增大, 一个电容值减小。 U 为直流激励电压。 BJ_1 和 BJ_2 是比较器。 U_{ck} 是参考电压。当联动的电子开关 $K_1 \sim K_4$ 处于图示位置时, 电源电压 U 经 R_2 给 C_2 充电。当 C_2 上的电压达到参考电压 U_{ck} 时, BJ_2 使开关 $K_1 \sim K_4$ 换接。于是电源电压 U 经 R_1 给 C_1 充电, C_2 放电。当 C_1 上充至 U_{ck} 时, BJ_1 又使 $K_1 \sim K_4$ 换接。如此反复进行。若取 $R_1 = R_2$, 则两路充电时间正比于 C_1 和 C_2 , 即 u_1 和 u_2 为脉宽正比于 C_1 和 C_2 的矩形波, 如图 1-10 b 所示。这样, 测杆的位移使 C_1 、 C_2 变化, 后者又使输出信号的电压变化。

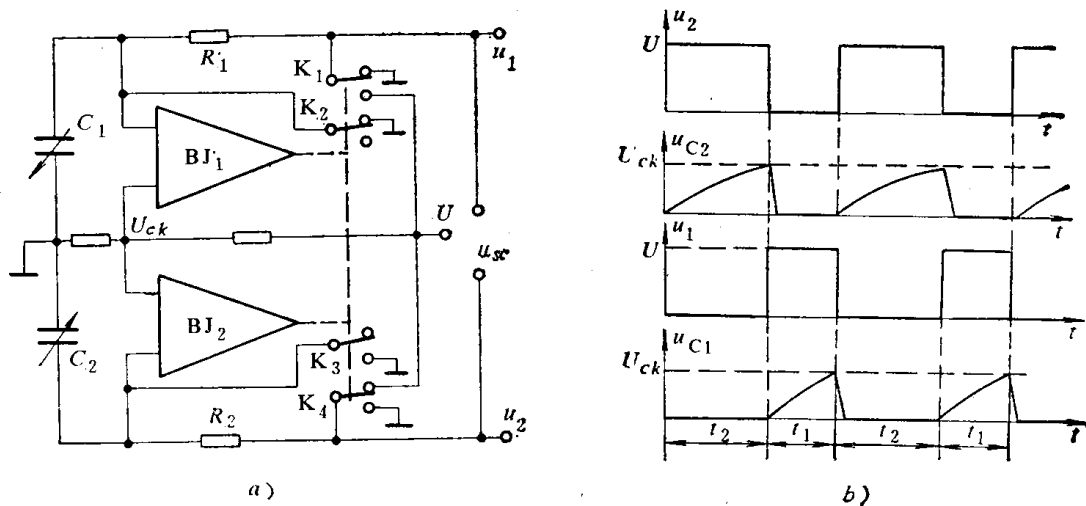


图 1-10

三、数字信号形式

在长度计量仪器中, 直接由传感器输出的数字信号大致有以下几种: 1) 界限信号; 2) 数字绝对码信号; 3) 数字增量码信号。在数字增量码信号中, 又可分为非调制信号与调制信号。调制信号又有调幅信号与调相信号之分。

(一) 界限信号

在电触传感器和气(动)-电(触)传感器中, 当被测量如图 1-11 a 所示那样连续变化时, 输出呈图 1-11 b 所示那样的断续变化形式。这种形式的信号有时称为断续信号或阶跃信号。

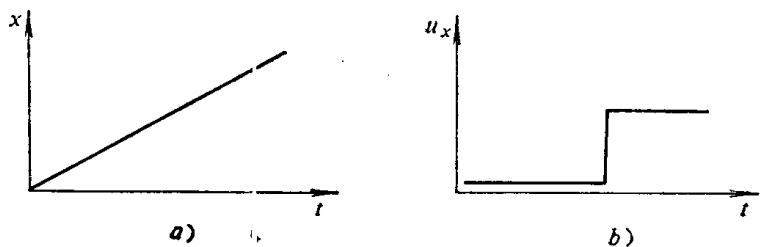


图 1-11

传感器具有一个触点副时, 发出如图 1-11 所示的单界限信号, 当传感器具有二个或多个触点副时, 可发出双界限或多界限信号。

电触传感器和气(动)-电(触)传感器可用来检测工件尺寸是否处于公差范围内(是否达到某一定值)或用来检测工件尺寸变化的幅值是否处于公差范围内。它们还常应用于自动分选机中, 把被检测工件按其尺寸大小分成若干组以便进行分组装配。这类传感器结构简单、电路简单、使用维护也比较简单。界限数大多在 1.0 以下。

(二) 数字绝对码信号

数字绝对码信号的主要特点是测量结果与中间过程无关。因此,它具有测量速度高、抗振、抗干扰能力强、不需要辨别移动方向等优点。临时停电对测量结果没有影响。缺点是传感器的制造比较复杂,不能按需要设置零位。

码盘是绝对码数字传感器中使用最多的转换元件,它将被测角度转换成编码信号输出,码盘的每一位置对应于一个确定的编码。

码盘按信号读出方式可分为接触式与非接触式两种。接触式码盘采用电刷读出,导电区代表“1”码,绝缘区代表“0”码。非接触式码盘一般使用光学码盘,采用光电元件读出,透光区代表“1”码,不透光区代表“0”码。

码盘所用的码制,可以为二进码、循环码(无权码)、十进码、六十进码等。

为了获得测量直线位移的绝对码信号,可以使用码尺等。

有关绝对码数字传感器的具体内容,可参阅第六章。

(三) 数字增量码信号

当采用光栅、激光、感应同步器、磁栅等传感器时,被测量连续变化时,输出信号作周期性变化,被测量每变化一个标尺节距(对激光而言是光程变化一个波长),输出信号变化一个周期。用计数器计下输出信号变化的周期数,即可知被测量的数值。

1. 非调制信号

光栅传感器的输出信号为

$$u_x = E \sin \frac{2\pi x}{W} = E \sin \frac{2\pi v}{W} t$$

式中 x —— 被测位移;

v —— 被测位移速度;

W —— 光栅节距;

E —— 输出信号电压幅值。

在磁栅传感器中,当采用动态磁头(速度响应式磁头)时,其输出信号为

$$u_x = E \sin \frac{2\pi v}{W} t$$

式中 W 为磁栅节距,其它符号的意义与上相同。

激光干涉传感器的输出信号为

$$u_x = E \sin \frac{2\pi x}{\lambda/2} = E \sin \frac{4\pi v}{\lambda} t$$

式中 λ 为光波波长,其它符号的意义与上相同。

这种信号的特点是信号的频率随被测位移速度 v 而变化。当被测位移速度为零时,信号的频率为零。所以这种信号称为非调制信号。

2. 调制信号

感应同步器和磁栅传感器(采用静态磁头又称磁通响应式磁头),根据采用鉴相或鉴幅工作方式,其输出信号分别为

$$u_x = E \sin \left(\omega t + \frac{2\pi x}{W} \right)$$

$$u_x = E \sin\left(\frac{2\pi x}{W} - \theta_d\right) \cos \omega t$$

式中 ω ——调制信号的频率;
 W ——感应同步器或磁栅节距;
 θ_d ——励磁信号的电角度。

在前一式子中, 电压信号 u_x 的角频率为 ω , 初相角随位移 x 的变化而变化, 这种信号称调相信号。在后一式子中, 电压信号 u_x 的角频率也为 ω , 其幅值随位移 x 的变化而变化, 这种信号称为调幅信号。

增量码信号的特点是测量结果与中间过程有关。与绝对码相比, 其优缺点正好相反。优点是传感器制造比绝对码式简单, 可按需要设置零位。缺点是测量速度受限制、需要辨别位移方向、需采取抗振、抗干扰措施。一旦断电, 测量结果即告消失, 欲获得该测量结果, 必须重复该测量过程。

§ 1-5 电动量仪的组成

一、模拟式量仪的组成

模拟式电动量仪最基本的是电动测微仪。电动测微仪就如一只千分表或扭簧仪一样, 可对工件作精密比较测量。它可装在其它仪器上, 例如可装在万能渐开线检查仪上使用, 齿形误差可由表头读取或用自动记录器记录下来。渐开线检查仪的机械结构完成理论渐开线运动, 测微仪只反映实际齿形与理论齿形之间的偏差。圆度仪的一个重要组成部分也是测微仪。为了测量圆度, 仪器中配置了一根精密主轴作为测量基准。为了使用上的方便, 有些圆度仪考虑了将安装偏心信号和椭圆信号分离出去, 设置了信号分离电路, 同时为了获得圆度的算术平均值及圆度偏差值, 设置了运算电路。测量表面粗糙度用的电动轮廓仪, 在机械结构上提供了直线运动基准或者曲线运动基准, 同时可用导头与被测表面接触以表面宏观形状为测量基准。在电路上, 也是在测微仪基础上, 再加上把无用信号消除掉的信号分离电路与计算粗糙度评定参数的运算电路而成。就是电动测微仪本身, 考虑到和差测量等的需要, 也要设置相应的运算电路。

由此可见, 模拟式电动量仪按信号走向来看, 其组成方框图大致如图 1-12 所示。电箱中的转换电路前一节曾提到过, 它在很多情况下是一个调制器, 其输出是一个调制信号。转换电路(调制器), 有些是测量原理所决定的, 有些是为了便于取出信号而配置的, 也有一些是

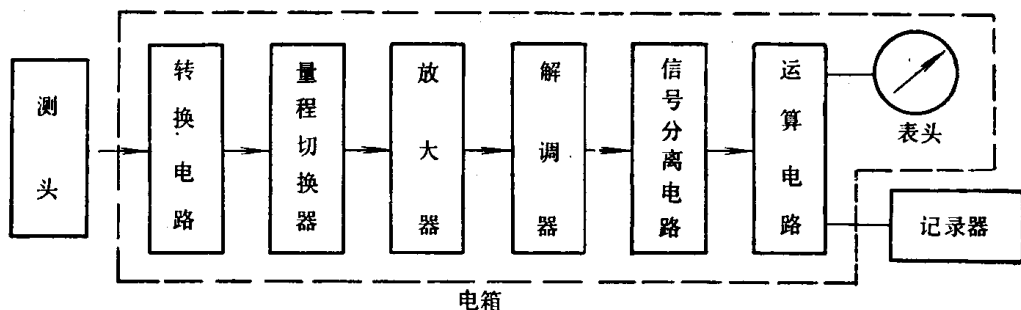


图 1-12

为了便于后续电路的设计而采用的。既然有调制器,后面一定要配置解调器。解调器的作用就是把测量信号从调制信号中解调出来,得到一个与被测量变化完全相对应的电信号。量程切换器用来选择仪器的量程及分度值,以与测量要求相适应。放大器的作用是把信号进行放大,足以推动表头、记录器或其它执行机构。上述几个部分,是一般测微仪所必需的,因此总称它们为测微放大电路。信号分离电路的作用,是把有用信号分离出来,把无用信号消除掉。运算电路的作用是对测量信号进行运算,以便获得需要的测量结果。

上述电箱内的6个环节,有些仪器不全具备。当传感器输出的为非调制信号时,这时就不再需要解调器。例如压电式轮廓仪(参阅第三章)就属这种情况。甚至也可以认为它没有转换电路,测头内的压电晶片变形时产生电压(或电荷)信号,可以把它看成一个信号源。电动测微仪(包括与有关仪器连用的电动测微仪),往往没有也不需要运算电路。但当要进行和差测量或其它演算测量时,也要配置运算电路。

电箱内各个环节的次序并不严格。多数仪器的放大器常分成两部分:前面配置电压放大器(或称前置放大器),后面配置功率放大器。量程切换器的位置可前可后,不少仪器还把它安排在放大器级与级之间。误差分离电路也是如此。运算电路一般是放在后面,因为在信号解调并把无用信号分离出去之后再进行运算比较恰当。不过,有时它也可能安排到前面,例如和差测量时,两只传感器输出的信号首先输至相加放大器进行相加和放大,然后再作其它处理。

二、数字式量仪的组成

数字式量仪的主要类型大致可分为数字增量式、数字绝对式、模数转换式、数模转换式等四类。此外,界限式亦列于此。

1. 数字绝对式量仪

数字绝对式量仪的组成如图1-13所示。传感器有几个码道,各码道经细分后有 K_1 、 $K_2 \cdots K_n$ 种不同状态,组成 $K_1 K_2 \cdots K_n$ 种不同编码。瞄准被测对象时,发采样指令。绝对码信号经编码与译码电路后送至显示执行器,也就是按发采样指令时的编码状况即可确定被测对象所处的位置。仪器的最小分辨率为量程的 $1/K_1 K_2 \cdots K_n$ 。纠错电路的作用是为防止各码道错位而造成粗误差。当采用循环码码盘时不用纠错电路。采用光学码盘时不用细分,这时 $K_1 = K_2 = \cdots = K_n = 2$,最小分辨率为 $1/2^n$ 。

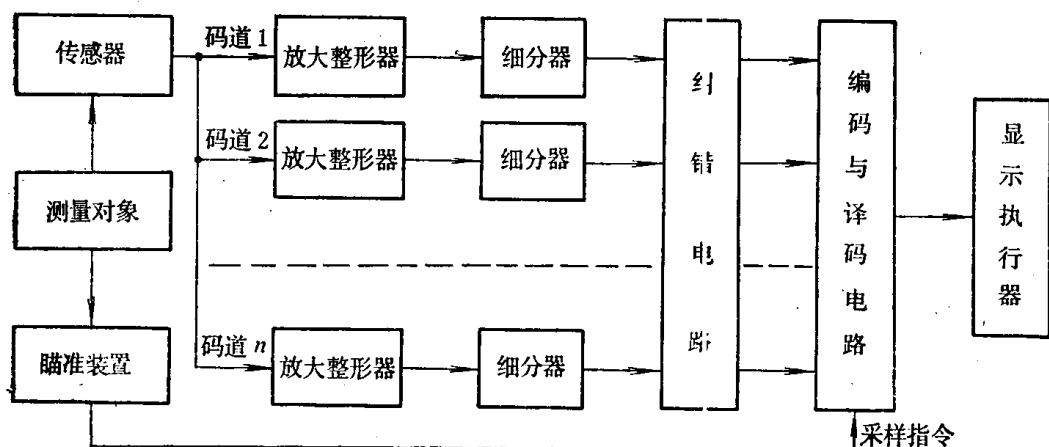


图 1-13

2. 数字增量式量仪

数字增量式量仪由于传感器输出的信号可能为非调制信号，也可能为调幅信号或调相信号，因而这一类量仪的组成方案较多。

图 1-14 所示为应用非调制信号的数字增量式量仪的组成方框图。传感器输出的信号，经放大整形与细分后，送入计数器计数。瞄准装置瞄准对象时发采样指令，将所计之数送入寄存器，然后由显示执行器译码显示。一般情况下，工作台要作正向与反向运动，其中包括振动，因此需用辨向电路以控制计数方向。在激光干涉测长等情况下，由于其本身的脉冲当量不完整，需用脉冲当量变换电路。在某些情况下，为直接读出误差值，采用求补电路，将测得值变为补码（例如 $999\ \mu\text{m}$ 变为 $-1\ \mu\text{m}$ ）显示。

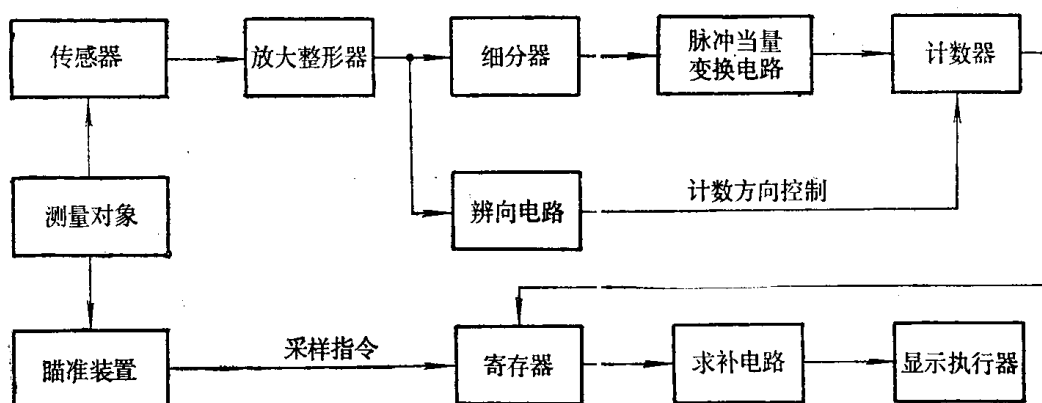


图 1-14

图 1-15 所示为应用调相信号的数字增量式量仪的组成方块图。这里的传感器以感应同步器为例，时钟脉冲源通过分频器 1 和分相电路后形成 $\sin \omega t$ 、 $\cos \omega t$ 电源供给感应同步器的滑尺。当被测对象位移时，从定尺输出的测量信号为 $u = E \sin(\omega t + \theta)$ ，其中 $\theta = 2\pi x/W$ ，即相位角 θ 随位移 x 不断变化。由时钟脉冲源经分频器 2 输出一个参考信号 $u_{ck} = E \sin(\omega t + \theta_d)$ 去跟踪它的相位变化。为此把这两个信号送入鉴相器比相。当 θ 超前于 θ_d 时，就让分频器 2 多进一些脉冲，使 θ_d 朝超前的方向变化。当 θ 滞后于 θ_d ，则让分频器 2 少进一些

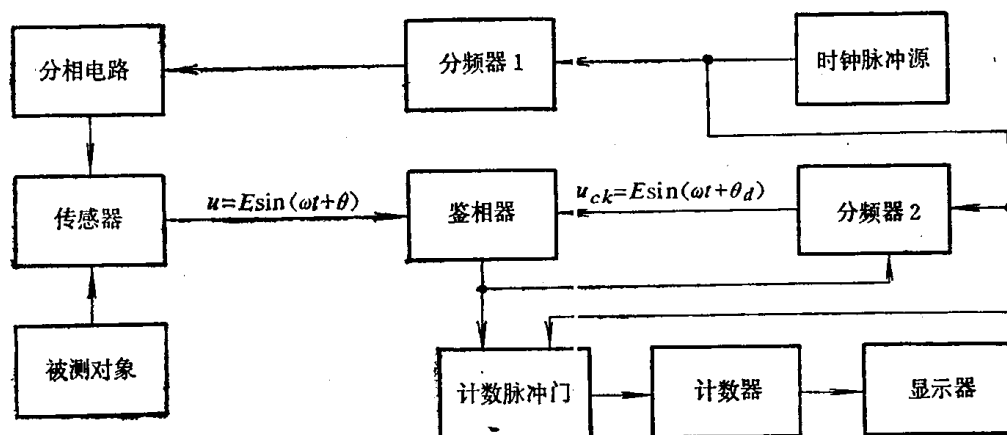


图 1-15

发生变化, θ 作相应变化, 通过闭环系统 θ_d 也不断地跟随, 与此同时, 把加或减的脉冲数脉冲, 使 θ_d 朝滞后的方向变化, 直至鉴相器输出 $\Delta\theta = \theta - \theta_d = 0$ 为止。测量时, 被测量 x 通过计数脉冲门输入计数器和显示器。总之, 整个电路是一个数字式的跟踪相位计。

图 1-16 所示为应用调幅信号的数字增量式量仪的组成方块图。这里的传感器也以感应同步器为例。若在滑尺的正弦余弦绕组上供给同频率、同相位但幅值不等的正弦电压作励磁信号, 即在正弦、余弦绕组上分别加以 $u_s = U_m \sin \theta_d \sin \omega t$ 、 $u_c = U_m \cos \theta_d \sin \omega t$, 当定尺滑尺相对位移量为 x 时, 定尺上输出的感应电势为 $e = E \sin(\theta - \theta_d) \cos \omega t$, 其中 $\theta = 2\pi x/W$ 。可见 θ 角决定于被测量 x , θ_d 角由励磁电压的幅值决定。传感器的输出是一个频率不变而幅值随 x 变化的信号。幅值的大小与 $(\theta - \theta_d)$ 有关。当 $\theta_d = \theta$ 时, $e = 0$, 这时系统处于平衡状态。若 $\theta_d \neq \theta$, 且差值信号超过阈值, 则打开计数脉冲门, 计数脉冲送入变换计数器, 再通过数模变换器, 改变励磁电压的幅值, 即改变 θ_d , 使 θ_d 重新等于 θ , 使 e 重新为零。同时, 计数脉冲送入显示计数器和显示器。

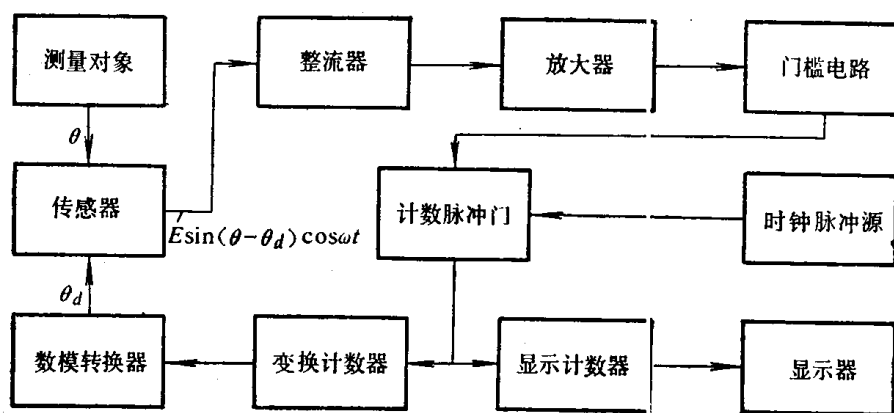


图 1-16

3. 模数式量仪

模数式量仪是在电动测微仪的基础上增加模数转换电路和显示执行器而成, 如图 1-17 所示。模数转换电路可采用多种方案, 目前采用双斜式较多,

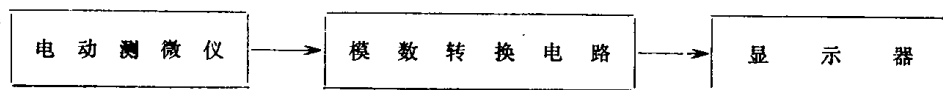


图 1-17

4. 数模式量仪

数模式量仪大都用于测量具有函数关系的连续参数, 如丝杠、齿轮等。图 1-18 所示为其一例。被测工件连续运动, 两个传感器送出的数字信号其频率设为 f_1 与 f_2 。若两个传感器分别测量构成函数关系的两个变量的比为 K , 当 K 为一有理数时, 可适当选择细分数 n_1 、 n_2 与分频数 m_1 、 m_2 , 使当被测工件无偏差时, $n_1 f_1 / m_1 = n_2 f_2 / m_2$ 。把分频后的信号送入相位计, 两路信号相位差的变化即为工件偏差。由于相位计量程的限制, 当被测偏差较大时, 需用量程切换器将信号衰减。为此, 在两路信号中加入同样分频数 p 的分频器来实现。

以上列举的数字式量仪的方框图, 不能把所有的数字式量仪包括进去, 但这些类型是有

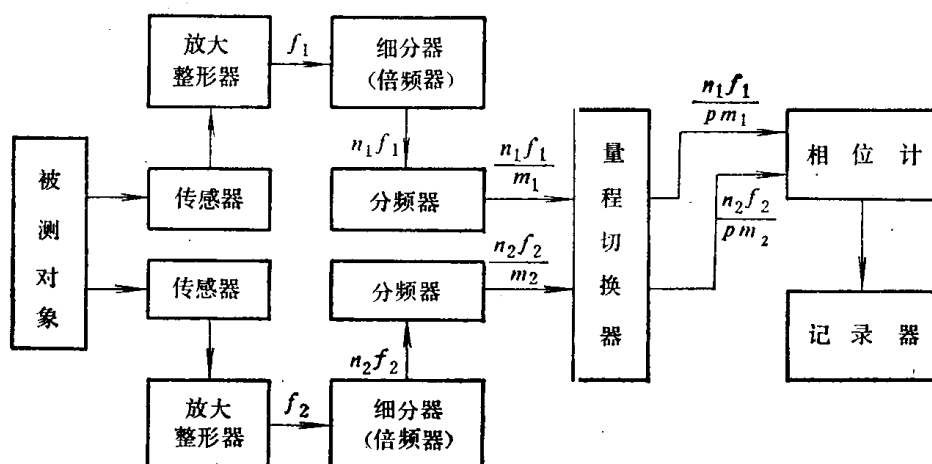


图 1-18

代表性的，可作阅读后面各个章节时参考。

界限式量仪由于传感器输出的是界限信号，后面只要配置功率放大器和相应的显示执行器即可。