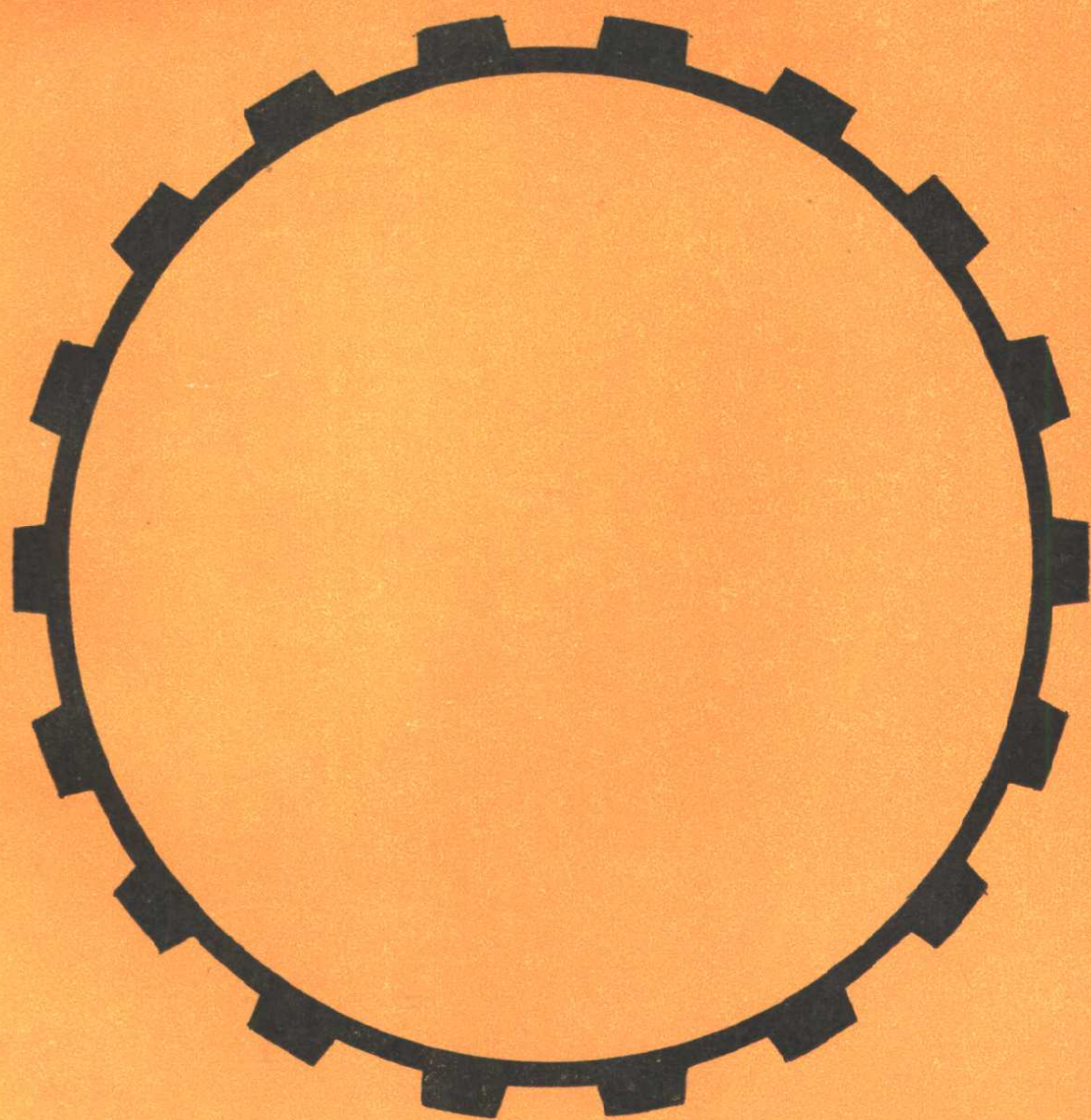


齿轮传动整体误差 测量新技术的应用



国防工业出版社

柏永新 编著

齿轮动态整体误差测量 新技术的应用

柏 永 新 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

齿轮动态整体误差测量新技术是齿轮测量技术领域的新概念。应用这项技术可以高效而准确地测绘出包含齿轮各种单项误差和综合误差的四种“动态整体误差曲线图”。

本书讲述应用“直齿圆柱齿轮整体误差曲线图”来分析 and 认识齿轮误差的方法，并详细介绍了所用两种齿轮单啮仪的结构原理、调整和操作技术。为了使读者对这项新型测量技术有更深入的了解，书中对测量齿轮误差的新老方法作了比较。书后附录扼要介绍了国际渐开线圆柱齿轮精度制。

本书可供从事齿轮设计和制造、检验的人员阅读。

齿轮动态整体误差测量新技术的应用

柏 永 新 编著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 3³/₄ 74 千字

1982年3月第一版 1982年3月第一次印刷 印数：0,001—6,600册

统一书号：15034·2322 定价：0.40元

编 者 的 话

齿轮动态整体误差测量新技术是成都工具研究所黄潼年同志的一项科技成果。这项新技术首创了“齿轮单面啮合间齿测量法”。应用这个方法可以高效而准确地测绘出包含齿轮各种单项误差和综合误差的四种“动态整体误差曲线图”，该图能清晰地显示出齿轮各种误差之间的内在联系，不但可全面反映齿轮的精度，而且可以评定齿轮的传动质量，比较方便地找出齿轮误差的来源，从而丰富了齿轮误差理论，对齿轮啮合原理的研究，齿轮精度标准的制订，齿轮加工技术的改进和传动质量的提高，都将起到促进作用。

需要说明的是，齿轮动态整体误差测量新技术的内容丰富多采，而且还在不断发展之中。由于作者水平所限，本书仅介绍了新技术应用的一个部分。

本书第一章 § 3 为国营庆安机器厂杨景秋同志执笔。黄潼年同志为本书做了技审，谨表谢意。

最后，恳请读者对书中的问题给予批评指正。

目 录

第一章	CD320G 型光栅式齿轮单面啮合全误差检查仪	1
§ 1	仪器的结构原理	2
§ 2	仪器的电气系统	4
§ 3	仪器的调整和操作	18
第二章	光栅式小模数齿轮单面啮合检查仪	24
§ 1	仪器的工作原理	24
§ 2	仪器的调整、操作和注意事项	29
第三章	整体误差曲线的测量、分析和应用	37
§ 1	单啮综合检验的缺点	37
§ 2	周期误差与基节偏差的关系	40
§ 3	整体误差曲线的间齿测量法	54
§ 4	整体误差曲线的分析	59
第四章	整体误差测量新技术与传统方法测量结果的比较	70
§ 1	新技术与单啮综合测量的比较	70
§ 2	用单头与多头蜗杆测量周期误差的比较	78
§ 3	新技术与相对法测量周节累积误差的比较	82
§ 4	新技术与渐开线检查仪测量齿形误差的比较	86
§ 5	新技术与传统方法测量基节偏差的比较	88
附录	国际渐开线圆柱齿轮精度制 ISO1328-1974	92
参考文献		110

第一章 CD320G 型光栅式齿轮

单面啮合全误差检查仪

齿轮的测量目的，一是评定齿轮的使用质量，二是对齿轮进行工艺分析，找出误差的产生原因。传统的齿轮测量方法是单项测量和综合测量。单项测量需用仪器品种多，测量效率低，而且测量结果反映不出各种误差间的补偿关系，不能真实地、严格地反映齿轮的使用质量。综合测量虽可比较真实地反映齿轮的使用质量，但所得结果分不出单项误差，无法进行工艺分析。因此，发展二者兼顾的测量方法，是现代齿轮生产迫切需要解决的问题。

动态整体误差测量新技术是以标准蜗杆作为测量元件，采用间齿啮合，连续测出齿轮各个齿面从齿顶到齿根的齿形误差曲线，并采用同步记录，使各齿的齿形误差曲线在圆记录纸的径向坐标上按周节误差排列，在圆记录纸的角坐标上按实际齿序排列，从而形成一种新的误差曲线——动态整体误差曲线。这种误差曲线既给出了评定齿轮使用质量的运动误差、周期误差、侧隙等，而且也给出了供工艺分析用的齿形误差、基节偏差、周节偏差、范成误差、齿向误差等。除此之外，还可给出齿轮啮合传动过程中的顶刃啮合误差和其他一些动态特征。因此，动态整体误差测量新技术是一种很有发展前途的测量方法。

我国北京量具刃具厂和上海量具刃具厂生产的光栅式单

啮仪，可供齿轮动态整体误差测量之用。

北京量具刃具厂生产的 CD320G 光栅式单啮仪可用于测量直径至 320 毫米，模数从 0.5~7 毫米的直齿和斜齿圆柱齿轮。仪器带有模数为 6 毫米以下的单头蜗杆和多头蜗杆各一套。当采用单头蜗杆时，可进行普通的单啮综合测量，即可测量齿轮的运动误差、周期误差和周节累积误差。采用双头和三头蜗杆时，可进行截面整体误差测量，即可测量运动误差、周期误差、周节累积误差、齿形误差、周节偏差和基节偏差。

§ 1 仪器的结构原理

CD320G 光栅式单啮仪由主机、相位计和记录器三部分组成。图 1 是仪器的工作原理图。电机 3 通过蜗杆 2、蜗轮 1、皮带轮 4、皮带 5 带动皮带轮 6，使蜗杆光栅头 7 的主光栅与标准蜗杆 8 一起旋转。标准蜗杆又带动被测齿轮 9 以及齿轮光栅头 10 的主光栅。

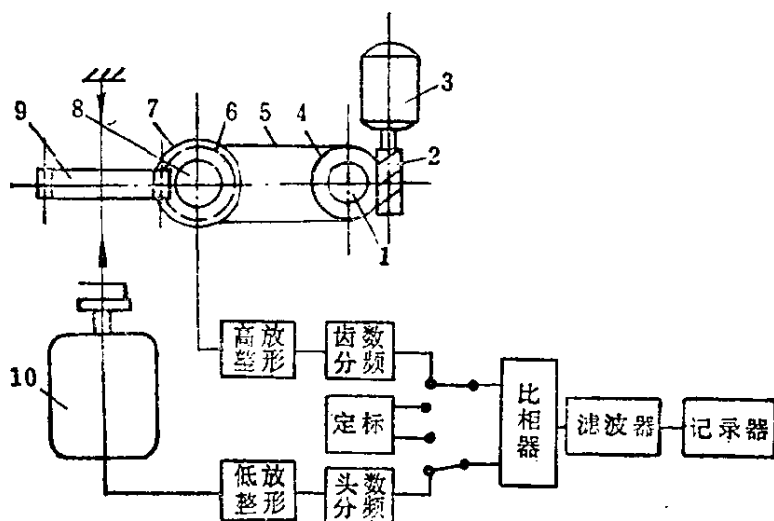


图 1 光栅式单啮仪的工作原理

在单啮测量过程中，如标准蜗杆的头数为 k ，被测齿轮的齿数为 z ，则其理论传动比为 k/z 。因此，蜗杆光栅头的转角应为齿轮光栅头的转角的 z/k 倍，而蜗杆光栅和齿轮光栅均刻有 10800 条刻线，故由蜗杆光栅头发出的正弦电信号波数为齿轮光栅头发出的波数的 z/k 倍。因为两路信号频率不同是无法进行比相的，所以在这两路信号放大整形后，需对蜗杆光栅头这一路高频信号用齿数分频器作 z 分频；对齿轮光栅头一路低频信号用头数分频器作 k 分频，使两路信号频率相同。如果被测齿轮没有误差，则标准蜗杆与齿轮啮合时传动比没有变化，两路信号的相位差恒定，比相器输出宽度恒定的方波，记录器记录下来的是一条与记录纸运动方向平行的直线（当用长记录纸时），或一个与记录纸中心同心的光滑圆（当用圆记录纸时）。如果被测齿轮有误差，则蜗杆与齿轮在啮合过程中会产生速比变化，此速比变化被光栅头和光电管转换为电相位的变化，从而使比相器输出的方波宽度发生变化，并由记录器记录下相应的误差曲线。利用滤波器的不同滤波网路，可以记录下齿轮的运动误差或周节累积误差。用定标器给出定标值，可确定误差曲线的放大倍率，以便算出被测齿轮的误差值。

仪器机械部分的结构见图 2。它由主箱 1、右立柱 7 及滑架 8、左立柱 18 及横架 11 等组成。齿轮光栅头装在主轴的拖板 5 上，被测齿轮的心轴装在光栅头主轴顶尖与上顶尖 9 之间，并由带动器 10 带动齿轮光栅头。蜗杆光栅头装在横架 11 上，标准蜗杆装在光栅头的主轴顶尖与尾顶尖之间。电机转速由可控硅电路控制，是无级变速。扳动变相开关，可实现电机正转和反转。

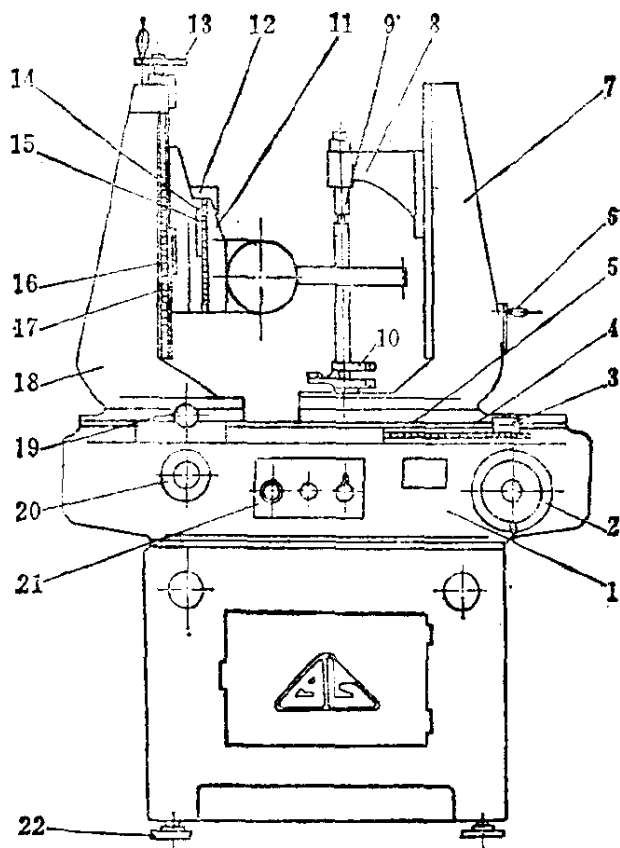


图 2 光栅式单啁仪的机械部分

仪器的记录是电动的。记录形式有两种：长图记录和圆图记录，可根据测量的具体要求选用。

§ 2 仪器的电气系统

CD320G 单啁仪的电气系统属于分频式电路。图 3 是电气系统的原理方框图。该电气系统主要由下列七部分组成：信号放大及整形器、无级分频器、比相器、低通滤波器、记录器、脉冲定标器和稳压电源。电气系统的电路图见图 4。下面对各部分加以扼要说明。

一、高低频 (f_1 、 f_2) 信号放大及整形器

在高频通道的蜗杆光栅头中，用两个光电二极管 ($2DU_1$)

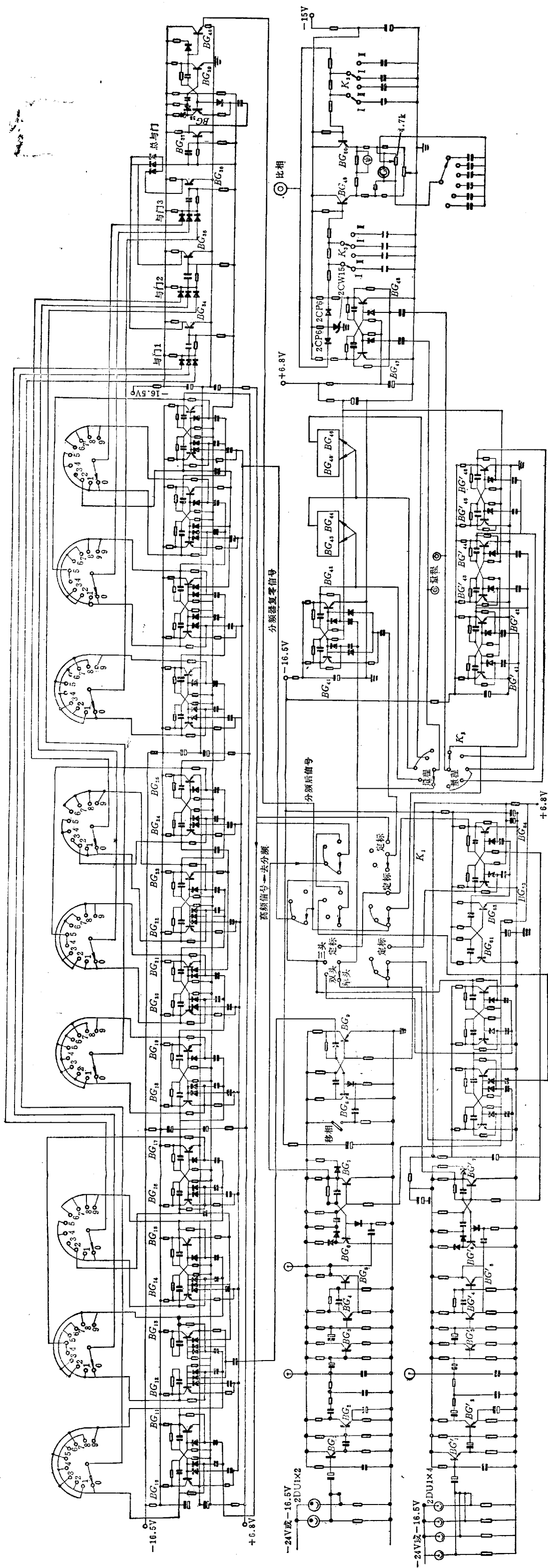


图 4 光栅式单嘴仪电气系统的电路图

并联（图 5），这样可消除由于光栅度盘刻线累积误差和安装偏心所造成的误差。当光栅度盘有刻线累积误差和安装偏心时， D_1 和 D_2 所受光强不等，如果流过 D_1 的电流为 $I + \Delta I$ ，流过 D_2 的电流为 $I - \Delta I$ ，则由于 D_1 和 D_2 并联的结果，流过 $R_1 = R_2 = R$ 的电流为

$$\frac{I + \Delta I + I - \Delta I}{2} = I$$

输出电压为 $u_{\text{出}} = IR$ ，可见输出信号没有误差。蜗杆光栅头输出信号电压为 100 毫伏～300 毫伏，变化量为 $\pm 10\%$ ；输入信号频率为 500 赫～20 千赫。

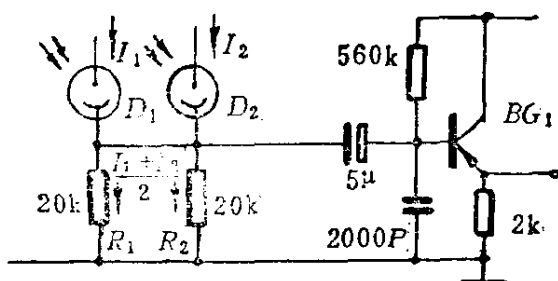


图 5 光电二极管的并联电路

光电管的输出用射极输出器 BG_1 进行阻抗匹配，然后用 BG_2 、 BG_3 进行双向限幅放大。限幅放大的作用是将输入的正弦波削成幅度恒定的梯形波（图 6），这样可以在很大程度上消除由于输入信号幅度变化而造成

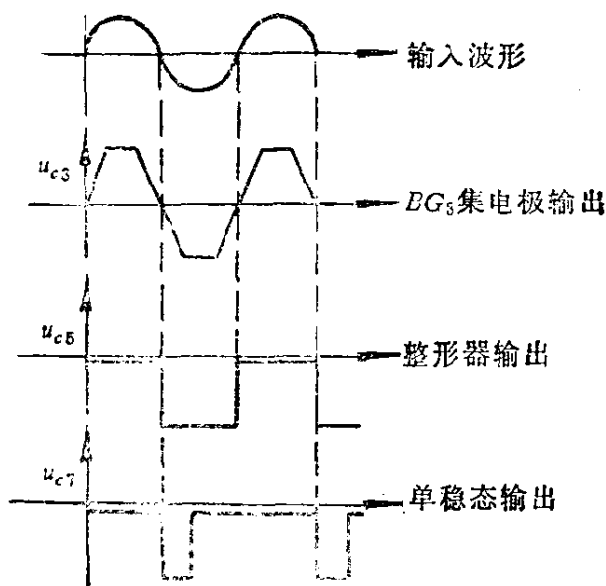


图 6 放大、整形级波形图

附加相移。对放大器的主要要求是频相特性和幅相特性要好。

限幅放大后的梯形波输出送到由 BG_4 和 BG_5 组成的射

极耦合双稳态触发器进行整形, 输出宽度相等的方波(图 6), 然后触发由 BG_6 和 BG_7 组成的单稳态触发器, 利用单稳输出的上跳沿触发分频器, 单稳态触发器起隔离和整形的作用。

在低频通道的齿轮光栅头中, 用四个光电二极管 并联, 这样除可消除变化周期为 2π 的误差之外, 还可消除变化周期为 π 的误差。齿轮光栅头输出信号电压为 200~500 毫伏, 变化量为 $\pm 10\%$; 输入信号频率为 30 赫~1 千赫。

低频通道的信号放大和整形电路与高频通道基本相同, 见图 4。

二、分频器

分频器的作用是使高频光栅头的信号与低频光栅头的信号频率相同。本仪器有两个分频器: 齿数分频器和蜗杆头数分频器。

蜗杆头数分频器是用连续二级的双稳态触发器加一反馈线路组成的, 能进行 1~3 分频 (即分频系数为 1~3)。

齿数分频器用来对高频信号进行分频, 分频系数为 1~1000。它由 1·2·4·2 编码的三级“二-十”进制计数器、齿数给定器 and 与门电路组成。其工作原理是: 由信号放大及整形级送来的计数脉冲使计数器计数, 计数器的输出为“二-十”进制编码, 图 7

是其逻辑图。计数器本身就是分频器, 一级“二-十”进制计数器能实现 10 分频, 三级“二-十”进制

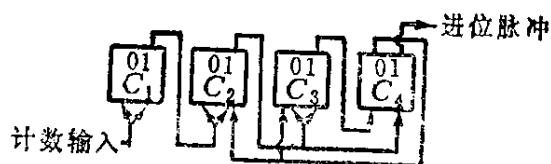


图 7 计数器的逻辑图

计数器能实现 10^3 分频 (即输入 1000 个脉冲信号时, 输出一个脉冲)。为了实现无级分频, 采用齿数给定器, 后者是三

个三刀十掷开关，它实际上是一个编码开关，当计数器的编码输出与齿数给定器的编码相吻合时，该编码开关便将计数器的编码输出接到与门，使与门打开，送出一个分频后的脉冲，该信号经过由 BG_{38} 和 BG_{39} 组成的单稳态触发器，经过单稳延时后，由射极输出器 BG_{40} 输出送到量程选择开关，然后到比相器比相，同时 BG_{40} 的射极输出还送到齿数分频器的计数复零端，使全部计数器复零（为了连续不断地接收来自高频通道的脉冲信号，齿数分频器必须在每输入 z 个脉冲后作周期性的复零）。 BG_{38} 和 BG_{39} 组成的单稳态触发器的作用，是使分频器工作稳定后再发出复零脉冲，然而，它的主要作用是整形，使相位计触发信号波形良好。

三、量程开关

高频信号经过齿数分频后，频率变为 f_1/z ；低频信号经过头数分频后，频率变为 f_2/k ，这时两路信号频率就相同了。为使仪器适用于测量不同精度的齿轮，在比相之前，使高低频两路信号各自经过量程开关，进行量程分频。量程开关由波段开关 K_2 和两组二进制分频器组成，其逻辑图见图 8，它是一个测量范围选择开关。本仪器相位计的测量范围为 $\pm 180^\circ$ ，如果不进行量程分频，则当齿轮误差超过 $2' \times k$ 时，测量时交变信号的相位差就会超过 360° ，使测量不能正常进行。量程分频以后，使两路信号的相位差值各除以 1、2、4 或 8，这样便可达到扩大量程的目的，增大测量范围。

图 9 是一个相位差为 270° 的两路信号经过 2 和 4 分频后的波形图。当量程分频为 2 时，相位差为 135° ；当量程分频为 4 时，相位差为 67.5° 。

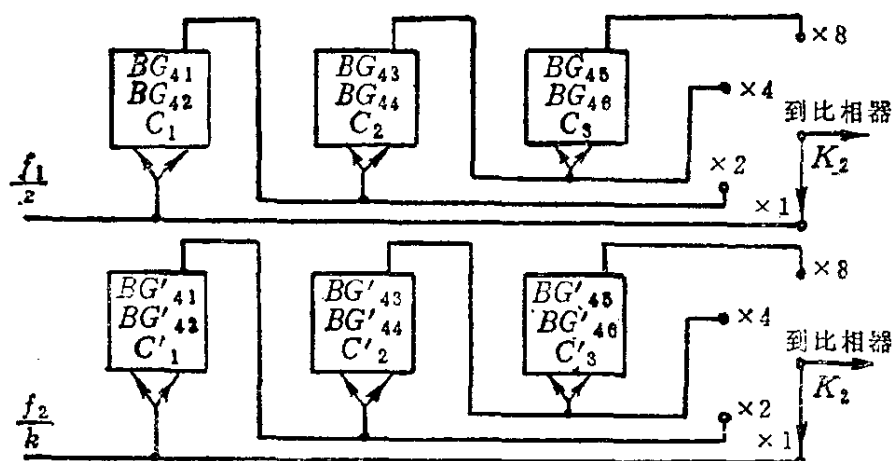


图8 量程开关的逻辑图

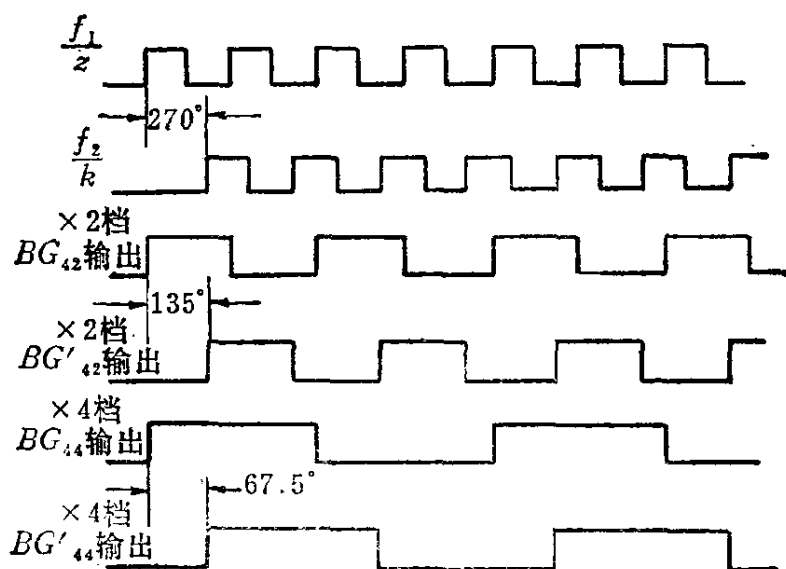


图9 两路信号分频后的波形图

四、比相器

比相器是一个单端触发的双稳态触发器，它的两个独立的触发端分别接在 BG_{47} 和 BG_{48} 的基极上，触发信号为经过量程开关后的两路比相信号。比相器将两路信号的相位差变化转换成方波宽度（平均电压）的变化，然后去推动指示

表或记录器。

图 10 是输入信号相位差恒为 φ 时比相器的输出波形图。

在 t_1 时刻, BG_{47} 基极出现正跳变脉冲, 使 BG_{47} 截止, BG_{48} 导通, 这是电路的第一个稳态; 在 t_2 时刻, BG_{48} 基极

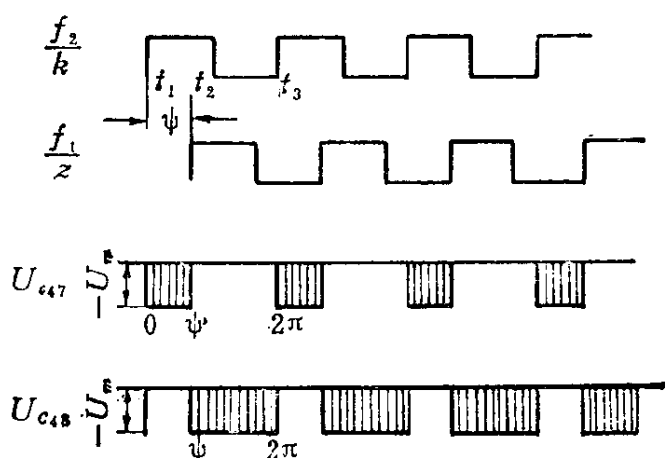


图 10 比相器的输出波形

出现正跳变脉冲, 使 BG_{48} 截止, BG_{47} 导通, 电路维持第二个稳态; 到 t_3 时刻又使 BG_{47} 截止, BG_{48} 导通。从图 10 可看出 BG_{47} 、 BG_{48} 集电极输出平均电压 $\bar{U}_{e47}$ 和 $\bar{U}_{e48}$ 分别为

$$\bar{U}_{e47} = -\frac{U_m \varphi}{2\pi}$$

$$\bar{U}_{e48} = -U_m + \frac{U_m \varphi}{2\pi}$$

推动指示表或记录器的信号电压为 $\bar{U}_{e47}$ 与 $\bar{U}_{e48}$ 之差值, 即为 $\bar{U}_{e48} - \bar{U}_{e47} = U_m(\varphi - \pi)/\pi$ 。从此式可知: 当 $\varphi = \pi$ 时, 指示表或记录器示值为 0, 此时测量范围最大。

对比相器的要求是晶体管开通时间要短, 输出波形的前、后沿要陡峭, 在此电路中采用的办法是: 输入信号在齿数分