

多通道太阳组合望远镜驱动电控系统设计报告

陈新知

南京天文仪器研制中心, 210042

概述

多通道望远镜采用赤道装置, 多电机输入各差动传动机构, 通过蜗轮付驱动望远镜。根据使用要求, 除设置恒动运动外, 赤经、赤纬还分别设置了快动、慢动、拉偏运动(无级调速), 导行运动; 用电磁离合器将恒动与主传动轴联系起来。为了消除蜗轮付的啮合间隙, 使用了反力矩电机机构。

控制功能键分设置在手控盒, 操作盒以及控制柜抽屉面板上, 以满足使用方便的要求。图1示出望远镜驱动控制框图。

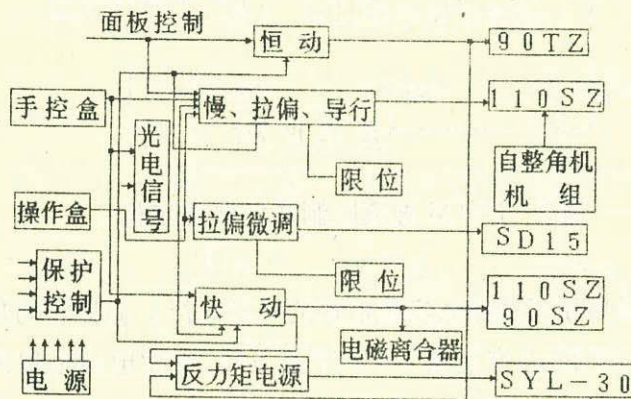


图1. 驱动控制框图

在控制系统电路设计时, 力求简单、实用、可靠。尽量采用先进技术。下面作四个问题叙述。

一、最简单的恒动电路

传统的恒动电路, 大多采用恒频电源来驱动磁滞同步电机, 取得恒定速度。恒频电源一般具有高精度晶振→分频→逆变电路, 得到频率精度较高的50HZ交流电源。这样做, 不仅使用了大量的元器件, 增加成本和工作量, 而且由于元器件的数量增加, 故障率也增加。实际上太阳的运动也并非十分规则, 即使恒频电源精度做得很高, 对望远镜的跟踪精度产生的作用也不大, 实际跟踪精度还是靠高的导行精度来保证。鉴于此, 在该望远镜的恒动驱动设计中, 直接采用市电来驱动磁滞同步电机, 即使市电频率有些变化, 影响望远镜运行, 但由于导行系统质量高, 可以克服这个缺陷, 而完全达到要求的跟踪精度。这种方案可以说是最简单的恒动电路了。

二、PWM 直流控制系统的成功应用

脉冲宽度调制晶体管功率放大器作伺服系统的驱动, 是八十年代较为先进的技术。

PWM放大器的元件工作在开关状态,因而其功耗小,通常脉宽调制信号的频率选为1~2.5KHZ,由这样的信号控制的放大器输出矩形电压脉冲给直流伺服电机,电枢电路的电感将电流滤平,形成直流电流,驱动电机运行,电压脉冲的宽度的改变相当于改变电机电枢上的平均电压,从而改变电机速度。它具有许多优越性,它降低电机运行温升,由于开关频率比电机及其拖动部件谐振频率小得多,可使脉宽调制系统的频带大大展宽,而具有优异的动静态特性。

鉴于上述这些优越性,在设计慢动,拉偏运动和导行运动所用的电机的驱动电路时,选用了PWM直流控制系统,以期提高控制和跟踪精度。

典型的脉宽调制的直流控制系统的结构如图2。

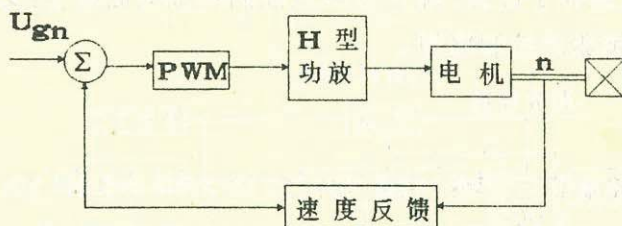


图2. PWM直流控制系统典型结构

双向PWM放大器是采用桥式线路来实现电机的可逆运行。晶体管的开关是按一定的控制逻辑进行的。当 $\tau=T/2$,占空因素 $\sigma=\tau/T=0.5$ 时,电枢电流呈现最大的交变分量,且正负半波相等,电机不可能转动。该望远镜使用的慢动、反向拉偏以及导行运动,因使用频率较低,故放大器和电机大多处在这种不利状态。(因为慢动及反向拉偏,只有在找区域时才用得到,而导行运动,只有在跟踪产生误差时才用得着。所以这个系统不管是使用频率,还是使用时间,都很少)。因此,如想利用PWM的优越性,必须克服这种不利因素,否则已达到不能采用这种控制方式的地步。

为了解决这一问题,专门设计了一个门电路,来有效地控制H型放大电路的工作:需要工作就工作,不需要工作时就封闭,不加电,这样就使PWM直流控制系统完全适应于该望远镜的使用要求。见图3。

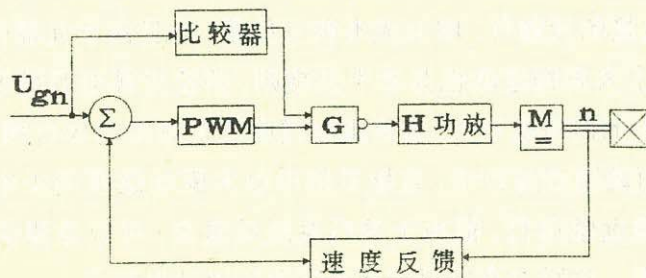


图3. 多通道望远镜用PWM直流控制框图

门电路G(图4)的引入,使得PWM在 $U_{gn}=0$ 时,对称的方波不能进入H型放大电路,

使得放大器不工作,电机两端不加电,反之,当需要作慢动,拉偏或导行功能作用时, $U_{gn} \neq 0$,比较器输出“1”电平,PWM调制信号可以通过门G,经过延迟电路后进入H型放大器,产生电枢上电压,使电机运转,波形如图5所示。

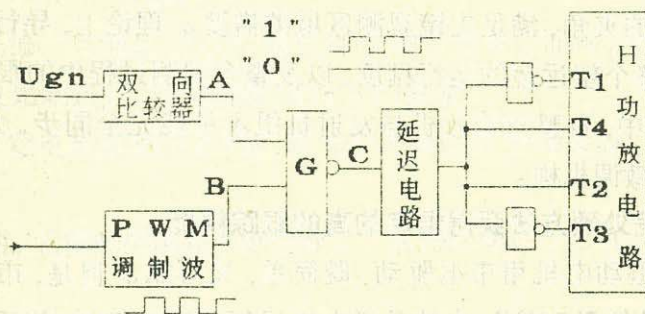


图4. G门的作用示意图

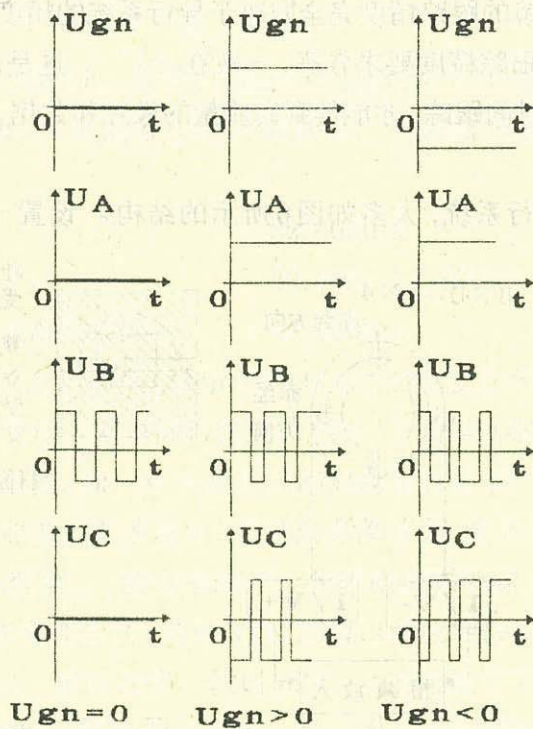


图5. U_{gn} 诸种状态下PWM输出波形

从图5可以看出,当 $U_{gn}=0$ 时,比较器输出为“0”电平门G将占空比为0.5的方波封住,不能通过G门,因此,无信号可使H型放大器工作,电机两端电压为0,等于不加电。反之,当 $U_{gn} \neq 0$,双向比较器输出为“1”电平,G门被打开,被调制的PWM矩形波可以通过G门而进入延迟电路,再去控制H型放大器,产生电压加到电枢上,让其按给定方向和转速作功能运行。这样就很好地解决了在不需要使用时,电机处在大的交变电流的不合适的状态,使PWM直流调速系统适用于该望远镜部分功能驱动,以取得好的动静态品质和性能。

三、反向拉偏功能的特点

望远镜在更换观测区域时,我们采用自整角机组来完成。自整角发射机以作为反向拉偏功能的直流调速电机为主动动力,随着直流电机的运动而运动,自整角接收机受发射机的控制而运动,进而带动导行镜作与主镜运动方向相反的运行,从而使主镜与导行镜产生一需要的夹角,满足主镜观测区域的需要。理论上,导行镜是始终保持对准太阳像,以确保整个望远镜的运行精度,以及整个观测过程中的跟踪精度。但由于反向拉偏运行过程中,自整角接收机与发射机组不可能完全同步,会产生一些误差,故为此设置了拉偏微调机构。

四、全新的导行误差处理方法获得恒定的高的跟踪精度

上文已提及,恒动电机用市电驱动,既简单,又可靠。但是,市电的频率的稳定性毕竟较低,大多是低于50HZ,也就是说电机运行速度会偏低,望远镜的跟踪往往会因速度底而落后;再者,太阳的运行也不十分规则,故望远镜的导行系统对跟踪精度影响相当大。望远镜的跟踪精度完全取决于导行系统的精度。

太阳望远镜对跟踪精度要求较高,一般在 $\pm 1''$ 。这是因为在对日面观测时要求平稳地准确地较长时间跟踪,才能得到高质量的像片和数据。所以导行的高精度是非常重要的。

以往的日光导行系统,大多如图6所示的结构。设置一导行镜,在太阳象赤经、

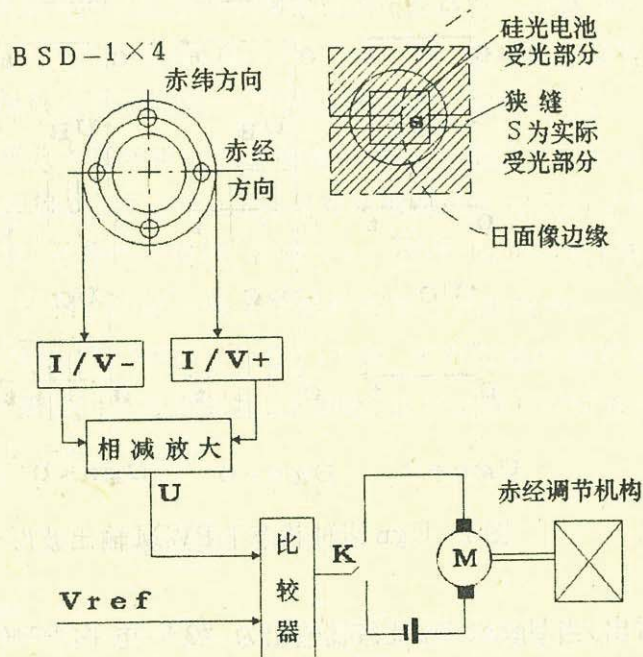


图6 传统日光导行系统误差处理示意框图

赤纬方向的四个边缘上,分别放置狭缝和光电传感器。光电传感器的光电流 $I \propto ES$,这里E为日光照度,S为光电传感器受光面积。经过I/V转换后,可得电压 $V=KI$,其中K1为转换系数。V的大小即可反映望远镜的位置。如果正、反方向上V相等或相差甚微,则说明望远镜跟踪得好。

根据导行原理, 当

$$K_2 \cdot (V^+ - V^-) > V_{ref} \quad (1)$$

时, 比较器输出高电平, 驱动电机作纠正望远镜已出现的偏差的调节运动, 直到偏差在设定的精度要求以内。即

$$K_2 \cdot (V^+ - V^-) < V_{ref} \quad (2)$$

也就是说, 当差值一旦满足(1)时, 电机即作调节运动, 而满足(2)条件时, 即停止调整, 如此周而复始地进行, 以确保跟踪精度的要求。

参考电平, 即决定电机运动与否的门槛电平的确定主要靠实验, 它的值对应跟踪所需要的精度。

但在实际观测时, 太阳的照度在不断变化。从1992年8月22日太阳照度的实测值来看。

9:00	32,600lux
12:00	34,400lux
17:00	28,100lux

由此可见中午时间与早、晚时间, 太阳的照度的变化约为 $\pm 3,000\text{lux}$ 。在同一时间, 有云与无云, 云层的厚薄, 照度的变化更有随机性。还从实测数据来看, 同是上午9时, 照度在

无云时	32,600lux
薄云时	30,000—32,600lux
有浓云但仍可以进行观测的情况下	26,000lux

有资料介绍, 由于天气及太阳高度引起的大气吸收, 照度变化约4倍。这种变化, 势必引起硅光电池光电流的变化。它对导行精度的影响, 下面作详细的理论分析。当然, 照度的变化产生的原因很多, 如一年中四季太阳的象有直径30'—32'的变化; 冬日正午与夏日正午的阳光照度的差值更大; 云层的厚薄等等, 使照度值变化也很大。照度变化引起的导行精度的变化, 一般也采取了一些措施加以消除, 象采用机械调节方法, 使日面像边缘落在硅光电池中间; 改变 V_{ref} 的值以适应导行精度的要求。但是, 机械调节是相当麻烦的, 所以一般在相当一段时间内, 上述调整是不进行的。至于云层有无与厚薄的影响, 随机性大, 简直无法克服。故一直是个问题而存在。

下面来分析照度变化对导行精度的影响。

综上所述, 在同样的受光面积 S 时, 亦即在跟踪的某一位置时, 所对应的受光面积 S 是一定的时候, 如果照度变化, 硅光电池的光电流亦要变化, 进而引起 V 的变化。

由(1)式可以推导出

$$\begin{aligned} & K_2 \cdot (V^+ - V^-) - V_{ref} \\ &= K_2 \cdot (K_1 \cdot ES^+ - K_1 ES^-) - V_{ref} \\ &= K_2 K_1 E(S^+ - S^-) - V_{ref} \\ &= KE \Delta S - V_{ref} > 0 \end{aligned}$$

即 $KE \Delta S > V_{ref}$

由此式可以看出, 决定导行系统是否作调整运动有二个因素。其一是 $\Delta S = S - S_0$, 是望远镜的跟踪误差而造成的光电传感器受光面积的变化量, 是真实反映误差大小的量。其二是 E 即照度, 它是与日光的变化及大气折射等因素有关的量。从上式中可以看出, 由于 V_{ref} 为定值 (当然随着季节变化, 也应作适当调节, 但对于某一段时间来说, 是定值), 所以 ΔS 与 E 成反比。照度大时, ΔS 较小时其乘积已达门槛电平, 一旦超过该值, 导行系统就作调节运动, 使其积小于门槛电平, 满足跟踪精度要求。这时因 ΔS 小, 即跟踪偏差小, 精度就高; 反之, 照度小时, ΔS 相比较而言要较大时, $E \cdot \Delta S$ 的积才能达到门槛电平, 故偏差就大, 其精度就低。图7较形象地说明了导行

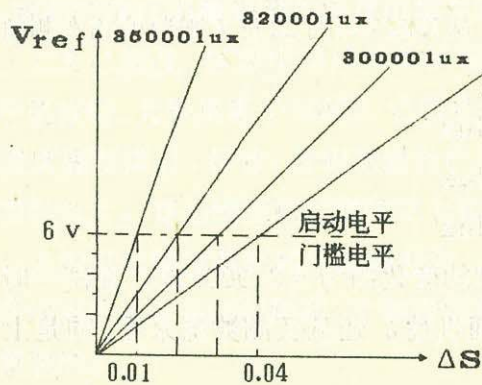


图7. 照度对导行精度影响示意图

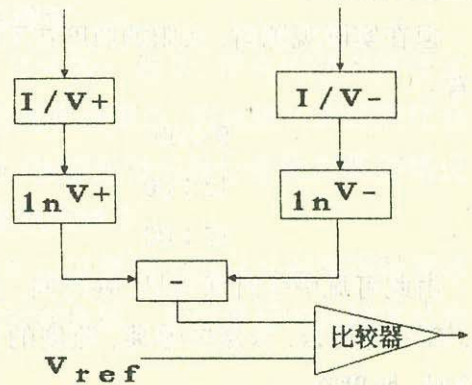


图8. 用对数处理误差的框图

精度受照度影响的情况。假定 $E=32,000\text{lux}$, $\Delta S=0.02\text{mm}^2$, 对应的跟踪精度为 $\pm 1''$, 那么当 $E=35,000\text{lux}$, ΔS 只要为 0.016mm^2 , 即可达门槛电平, 此时精度就优于 $\pm 1''$, 而当 $E=30,000\text{lux}$, ΔS 要到 0.03mm^2 时, 才能达到门槛电平, 此时精度就低于 $\pm 1''$ 。由此可见, 照度变化对跟踪精度的影响是不容忽视的。

针对上述问题, 多通道望远镜的导行系统采用了新的误差处理方法, 在常规的 I/V 转换之后, 不是直接对两个方向上的电压相减, 而是先对其电压用对数放大器进行对数变换, 然后再相减。此时比较器输出为“1”的条件为

$$K_2(\ln V^+ - \ln V^-) - V_{ref} > 0$$

即
$$K_2 \left(\ln \frac{V^+}{V^-} - V_{ref} \right)$$

$$= K_2 \left(\ln \frac{K_1 E S^+}{K_1 E S^-} - V_{ref} \right)$$

$$= K_2 \left(\ln \frac{S^+}{S^-} - V_{ref} \right) > 0$$

所以
$$\ln \frac{S^+}{S^-} > \frac{1}{K} V_{ref}$$

可改写成 $\frac{S^+}{S^-} > K_3 V_{ref}$

由上式可以看出,用对数放大器处理之后,照度的因素被消除,决定导行系统是

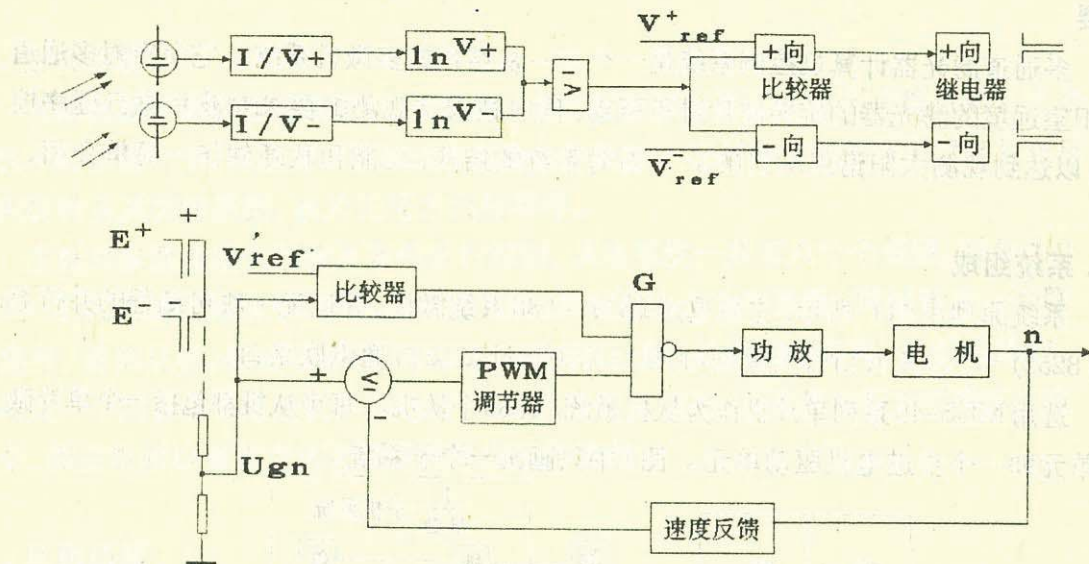


图9. 日光导行系统原理框图

否作调节运动的因素只有 S^+/S^- ,也就是就只与真实反映跟踪误差状态的硅光电池受光面积的变化有关。受光面积变化到一定程度时,比较器即输出“1”控制继电器将 U_{gn} 信号加至调节系统以作调节运动。假定 S 变化 0.1mm^2 ,即 $\Delta S=0.11-0.09\text{mm}^2$, $S^+/S^-=0.11/0.09=1.22$ 时,比较器输出为“1”,只要这个比 >1.22 时,就会使调节机构作调节运动,而不论此时的照度大小。这样,就提高了跟踪精度的恒定性,从而保证了望远镜跟踪的高精度,提高了观测所取得的数据质量。

从实际观测结果来看,理论分析是正确的。应用对数处理的方法,克服了太阳照度变化而引起的跟踪精度的变化,达到望远镜跟踪的高精度。

参考书目:

1、《电气自动化》92.2.16

脉宽调制的直流控制 朱而光

2、PWM放大器入其在控制系统中的应用 瞿世铭