

# 高稳定度宽调速扫描驱动装置

龚惠兴 郭惠林

(中国科学院上海技术物理研究所)

**摘要**——本文介绍一种用于多光谱扫描仪的扫描驱动装置。为提高稳定度, 选用永磁式低速同步电机。研制了按数字分相原理工作的电机电源, 严格保证在任何频率下二相电源有  $90^\circ$  相位差, 解决了同步电机的启动及变频调速。实测结果为: 扫描镜的相对位置抖动小于  $1.8 \times 10^{-4}$ , 调速比大于 25。

## 一、引言

目前在遥感技术中, 光学机械扫描式多光谱扫描仪占有重要地位。通常将仪器安装在飞行平台(卫星或飞机)上, 依靠仪器自身扫描镜的转动和平台的前进运动, 完成对地面景物的二维扫描。

多光谱扫描仪是测量辐射空间分布的成像遥感仪器。为得到质量良好的图象, 除应保证仪器的空间分辨率、图象信号的信噪比外, 还需要控制仪器的扫描稳定度, 使任意角位置下相邻扫描线对应点之间的位置错动不超过三分之一象素, 这样可以保证图象的轮廓清晰和不产生额外的几何失真。因此, 从成像的角度讲, 研制高稳定度的扫描驱动装置, 其作用与提高系统信噪比同样重要。

## 二、扫描驱动装置及电机的选取

多光谱扫描仪要求扫描物镜以 120 rpm~400 rpm 转速作旋转扫描, 转速的长期稳定性为  $1 \times 10^{-6}$ , 相邻两扫描线在任意角位置下的对应点之间错动不大于  $1.2 \text{ mrad}$ 。为此, 我们选用 TDB-500 型永磁式低速同步电机作为扫描镜驱动电机, 并将两面与转轴成  $45^\circ$  的扫描镜直接联接在转子轴上。扫描器结构如图 1 所示。

TDB-500 型电机是一种按电磁减速原理设计的永久磁钢轴向激磁的电磁式低速同步电机。其定子齿数  $Z_1$ , 转子齿数  $Z_2$  与定子绕组极对数  $P$  之间满足:

$$Z_2 = Z_1 + P, \quad (1)$$

转子转速  $n$  为:

$$n = \frac{60f/P}{Z_2/Z_2 - Z_1}, \quad (2)$$

其中,  $f$  为电源频率。当  $Z_2=50, Z_1=48, P=2, f=100\text{ Hz}$  时, 电机转速  $n=120\text{ rpm}$ 。因此, 利用电机的电磁减速特性, 可直接获得  $120\text{ rpm}$  的低转速, 避免了复杂的齿轮减速结构和齿隙引起的扫描抖动, 提高了驱动装置的运行精度。由于是同步电机, 当同步运行时, 电机转速只与电源频率有关。采用石英钟控电机电源, 长期运行转速稳定度很容易达到  $1\times 10^{-6}$ 。电机按电磁减速原理工作, 转子在一个电周期内的角位移比一般电机小 50 倍, 所以它有高的比整步力矩。在用  $90\text{ V}$  (峰-峰值)  $100\text{ Hz}$  方波供电时, 每相绕组电流为  $90\text{ mA}$ 。TDB-500 型电机最大整步力矩  $M_p=900\text{ g}\cdot\text{cm}$ , 其比整步力矩  $m_p=\frac{2\pi}{360} \frac{d}{d\alpha} [M_p\cdot\sin 50\alpha] = 785 \cos 50\alpha$  克·厘米/度, 在平衡点附近, 如果干扰力矩为  $50\text{ g}\cdot\text{cm}$ , 则干扰力矩引起的扫描抖动为  $1.1\text{ mrad}$ , 满足了多光谱扫描仪对电机转角瞬时抖动的要求。

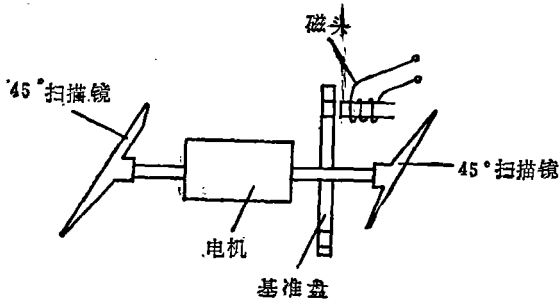


图1 扫描驱动装置的结构

图2 电容移相的电机绕组供电方式。该图展示了电容移相的电机绕组供电方式。左侧是一个振荡器，其输出连接到功放。功放有两个输出端，分别连接到电机的两个绕组。电机的另一个绕组连接到地。图中还显示了一个电容，用于移相。

图2 电容移相的电机绕组供电方式

为了使定子产生旋转磁场, 需要在两组独立的定子绕组上加上相位差为  $90^\circ$  的交流电流, 通常采用图2的方法对功放输出分相。其中  $C$  是分相电容。对于 TDB-500 型电机, 当  $f=100\text{ Hz}$  时,  $C=2\mu\text{F}$ ,  $I_2=2.5I_1$ ,  $I_1$  的相位滞后于  $I_2 90^\circ$ 。由于 TDB-500 型电机的两相绕组参数相同, 因此用上述移相电容法产生的电机定子磁场, 除了有旋转分量外, 还有相当大的脉振分量, 它使驱动装置的效率降低, 并在运行时带来电磁振动噪声。此外, 送入二相绕组电流的相位差还会随频率而变化。

为此, 设计了一种新的电机电源, 用数字分相法以同一钟频获得两路相位差严格保持  $90^\circ$  的方波, 经两路独立的 OTL 功放后, 对两相绕组分别供电, 这时电机在对称状态下运行, 消除了脉振分量, 电机运行时的电磁振动噪声降低  $6\text{ dB}$  以上。

数字分相就是将图3所示的一系列方波  $B(t)$ , 通过逻辑转换获得  $C(t)$  和  $D(t)$  两列相位差为  $90^\circ$  的方波。逻辑关系为:

$$D = \overline{BC} + B\overline{C} = \overline{B+C} + \overline{B+C} \quad (3)$$

此关系可从  $B(t)$ ,  $C(t)$  和  $D(t)$  之间的逻辑真值表和卡诺图获得。图4表示用或非门和与非门组成的数字分相器的结构。

与一般的同步电机一样, 使用 TDB-500 型电机的主要缺点是启动麻烦。在忽略涡流力矩时, 电机从静止启动到转速达  $N\text{ rpm}$ , 为克服惯性所需的启动力矩  $M$  是:

$$M = 2\pi^2 J R \left( \frac{N}{60} \right)^2 \quad (4)$$

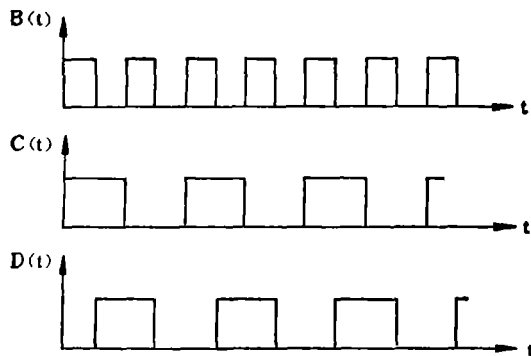


图3 数字分相器输入输出波形图

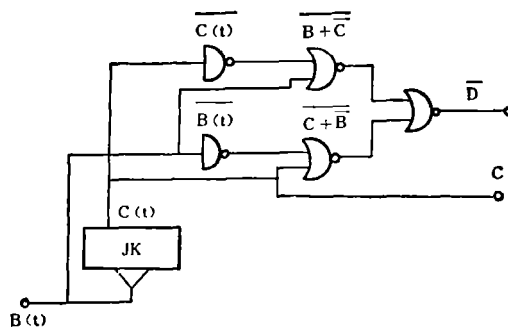


图4 数字分相器

其中,  $J$  是转动体惯量,  $R$  是电磁减速比。若  $J=1.8 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ ,  $R=50$ , 由式(4)可知, 要达到  $N=120 \text{ rpm}$ , 所需的启动力矩  $M=7.2 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{cm}$ 。这个数值大大超过了电机正常运行时的最大整步力矩  $M_p(900 \text{ g} \cdot \text{cm})$ 。由于电机在输入电压不变时, 其定子绕组电流和输出力矩随频率下降而增加, 为克服惯性所需的启动力矩随频率下降而按平方律减小。因此, 可用低频变频启动方法使电机达到预定转速。

图4所示的数字分相电路能保证在任何频率下,  $C(t)$ 和 $D(t)$ 之间有严格的 $90^\circ$ 相位差, 因而, 上述电路既解决了同步电机的变频启动, 也解决了同步电机的变频调速。

图5为变频启动电路原理。积分器输出电压随时间上升, 控制压控振荡器, 当它的输出

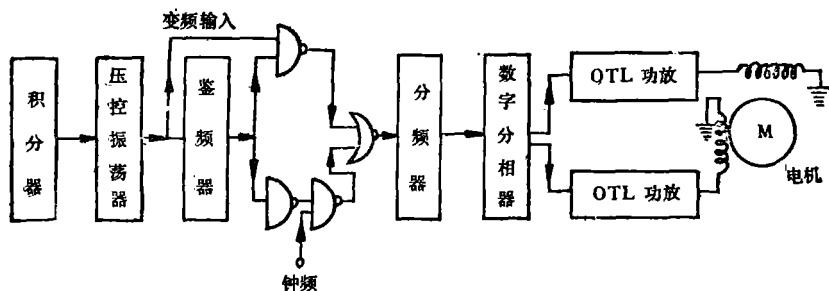


图5 变频电路原理

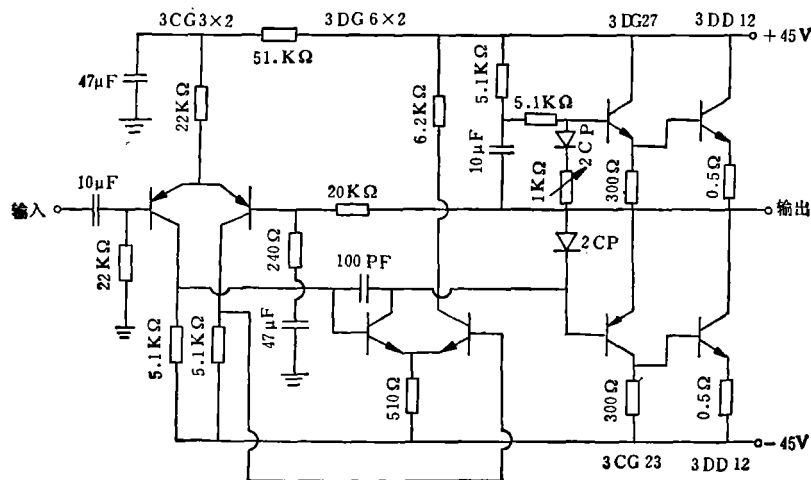


图6 OTL 功放电路

频率达到预定值时,鉴频器动作,使钟频切入,电机进入同步速运行。

图6为OTL功放电路,它能在 $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ 温度范围内稳定工作,此电路亦能使用 $\pm 90\text{V}$ 电压,以提高功放的电压输出幅度。

#### 四、试验结果

1. 当电源电压为 $\pm 45\text{V}$ 方波,每相绕组电流为 $90\text{mA}$ 时,电机最大整步力矩为 $900\text{g}\cdot\text{cm}$ 。

2. 用变频启动电机,空载达到的调速范围为 $6\sim 600\text{rpm}$ 。

3. 在 $60\sim 400\text{rpm}$ 范围内,电机运转时的相对抖动小于 $1.8\times 10^{-4}$ 。

4. 电路效率为 $85\%$ ,电机效率为 $15\%$ ,扫描驱动装置总效率为 $12.7\%$ 。

5. 此扫描驱动装置(包括:电路、电机及扫描镜组合件),经过严格的环境模拟试验,能经受 $25\text{g}$ ( $\text{g}$ 为重力加速度)的冲击和 $7\sim 10\text{g}$ 、频率范围为 $20\sim 2000\text{Hz}$ 的扫描振动,能在 $10^{-5}\text{Torr}$ 真空度和 $-10\sim +45^{\circ}\text{C}$ 温度范围内正常工作。

此数字分相电路亦适用于其他的二相电动机。

致谢——张宝龙等同志协助过本工作,上海有线电厂为本工作提供TDB-500型电机,特此致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 费德身,微特电机,(1978),3,1~9
- [2] 秦子斐,微特电机,(1979),1,46~60

## HIGHLY STABLE SCAN-DRIVER WITH WIDE RANGE OF SPEED REGULATION

GONG HUIXING, GUO HUILIN

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

#### ABSTRACT

A scan-driver used in a multispectral scanner is described. In order to improve the stability, the low-speed permanent-magnet synchronous motor is selected and a new power supply for it is made which is based on the principle of digital split-phase, ensuring strictly the phase difference of  $90^{\circ}$  at any frequency between two phases. The problem of starting and speed regulation of the synchronous motor has been solved. Measurements show that the relative jitter of the scan mirror is less than  $1.8\times 10^{-4}$  and the ratio of speed regulation greater than 25.