

# 永磁同步电机的位置和速度检测方法

郭庆鼎 罗睿夫 王丽梅  
(电气工程系)

**摘 要** 介绍了用旋转变压器实现交流永磁伺服电机的磁极位置、速度检测的原理和一种新的实现方法. 文中给出了实际的磁极位置和速度信号的解调电路, 并对解调原理进行了详尽的分析. 该方案工作可靠、检测精度较高, 完全能够满足数控机床用高性能交流伺服系统的需要.

**关键词** 旋转变压器; 伺服系统; 检测

**中图法分类**: TM383.2

## 0 引 言

正弦波驱动的高性能伺服系统需要高精度的磁极位置信号和速度反馈信号, 以满足伺服系统高精度定位的需要. 这也就要求系统配有高性能的磁极位置检测元件. 目前, 常用的检测元件主要有绝对式光电编码器、无刷旋转变压器及变磁阻式反馈传感元件. 绝对式光电编码器精度虽高, 但价格昂贵, 可靠性较低, 对机械安装要求较高, 低速运行不平稳, 适用性差, 故应用较少. 而无刷旋转变压器则不然, 它结构坚固简单, 成本低, 低速运行平稳, 检测精度较高, 并且由于其与驱动器之间传递的信号为低频正弦信号, 所以不受噪声的影响, 抗干扰能力强. 兼之能同时输出线性度达 1% 的高精度模拟量信号, 因而在欧美的高性能交流伺服系统中广泛采用无刷旋转变压器作为磁极位置传感器. 本文所论述的方法通过将旋转变压器输出的信号经高频数字化处理, 从中提取出交流永磁伺服电机转子的磁极位置信号和转子速度信号.

## 1 旋转变压器的工作原理

图 1 为旋转变压器的结构示意图. 当旋转变压器用作角度检测反馈装置用时, 只需用一个转子绕组就足够了. 旋转变压器的定子绕组由两个幅值相等, 相位相差 90° 的高频正弦电压  $U_1$ 、 $U_2$  来激磁.

$$U_1(t) = U_a \sin(\omega_0 t)$$

5) PROM 的输出 Q1-Q2 为一组, Q3、Q4 为一组, 分别接于旋转变压器的两个励磁绕组上. 其利用场效应管的开关特性形成阶梯波. 由于其频率很高和电感滤波, 因此近似为正(余弦波作为旋

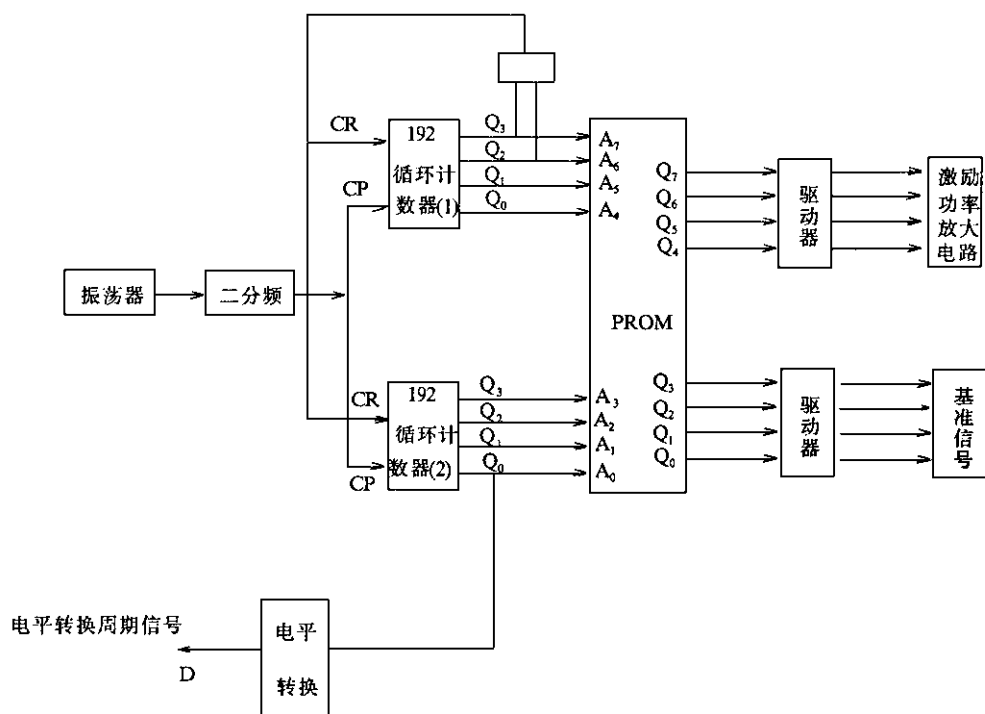


图 2 旋转励磁信号与基准信号发生电路

转的励磁信号. 由于其采用数字化合成法, 所经该波形在形状和相位上得到了严格的保证.

## 2.2 磁极位置解调

旋转变压器输出的双极性信号通过高输入阻抗差动放大器后, 获得单极性信号. 该信号是含有转子位置信息与高频载波信号的混频信号:

$$u = U \sin(\omega_0 + \omega_r) t$$

式中  $u$  ——为旋变的输出信号:

$U$  ——为正弦信号的最大值:

$\omega_0$  ——为旋变励磁信号角频率:

$\omega_r$  ——为电机转子角速度.

该信号经过滤波器与交流放大器后, 获得没有直流分量且失真度较小的正弦波信号作为磁极位置解调电路的输入信号.

磁极位置解调电路如图 3 所示

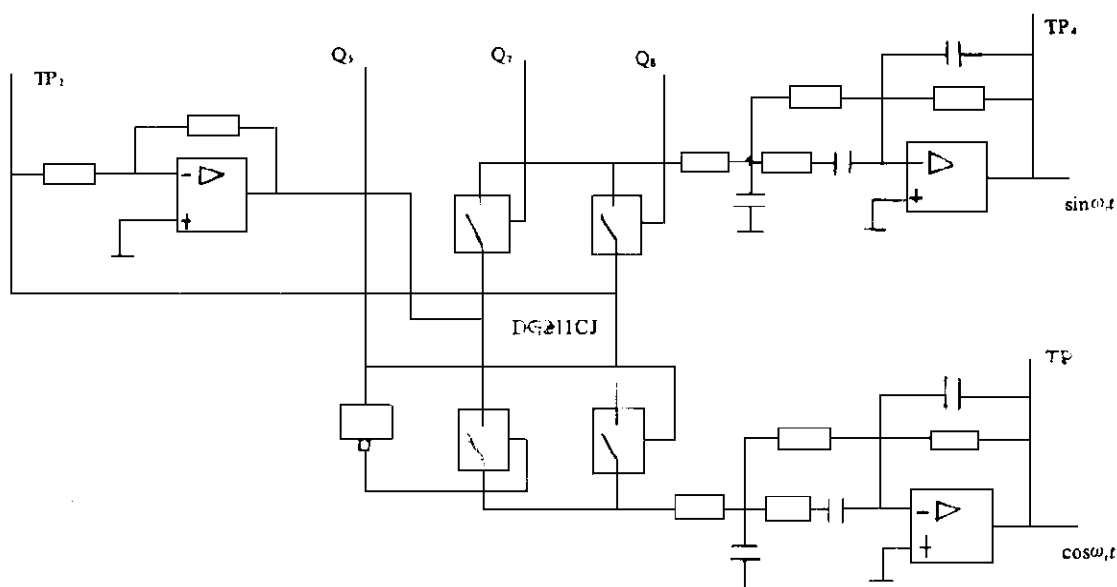


图 3 磁极位置解调原理图

$TP_2$  点的波形为正弦波,在转子转动条件下其表达式为

$$u = U \sin(\theta_0 + \theta_r) t$$

$TP_2$  信号经反相反,输出为

$$u = -U \sin(\theta_0 + \theta_r) t$$

这两路信号一起作为解调信号送入由 DG211CJ 构成的开关电路,而由 PROM 的输出信号  $Q_5$  和  $Q_8$  经反相后,作为四模拟开关的两个时间基准控制信号。令  $\theta_n = \theta$ ,则  $Q_5$  和  $Q_8$  与  $TP_2$  为同频信号,只是相位相差  $\theta$  角随转子旋转  $\theta$  角不断变化,反映出转子不断变化的角位移。同理  $Q_5$  和  $Q_7$  经反相器输出后,作为另两个模拟开关的基准信号。由于  $Q_5$ 、 $Q_7$  和  $Q_8$  的初相不相同,且模拟开关为高电平时闭合导通,因此可知,四模拟开关的输出信号相差  $90^\circ$  电角度。又由于产生磁极位置信号的两路结构完全相同,所以若规定其中一路信号为正弦信号,另一路即为余弦信号。获得了伺服系统控制回路所需的磁极位置信号。

### 2.3 转子速度解调

图 4 为转子速度解调基本电路图。旋转变压器输出的双极性信号通过高输入阻抗的差动放大器变成单极性信号——含有转子相位和高频励磁载波信号的正弦信号  $u = U \sin(\theta_0 + \theta_r) t$ ,该信号经滤波电路和比较器后变为与该信号同相位的方波信号。该方波信号通过与基准励磁信号鉴相及积分处理,获得两路相差  $180^\circ$  且与电机转子转动同周期的转子相位的周期信号(锯齿波信号)。此转子相位信号经微分电路获得电机旋转角速度  $\theta_r$ 。

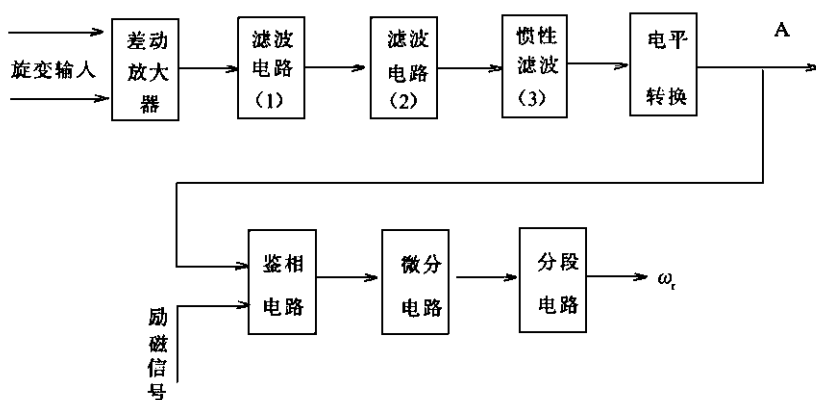


图 4 转子速度解调基本电路图

图 5 为鉴相电路构成图. 此鉴相电路由两路组成, 且两路电路结构完全一样只不过两路 D 触发器 D 端信号有差别.  $U_1$  的 D 端信号来自 PROM 的输出端  $Q_5$ ,  $U_1$  的 D 端信号来自 PROM 的输出端  $Q_7$ , 二者相位相差  $1/4$  周期. 但都与励磁信号同周期.

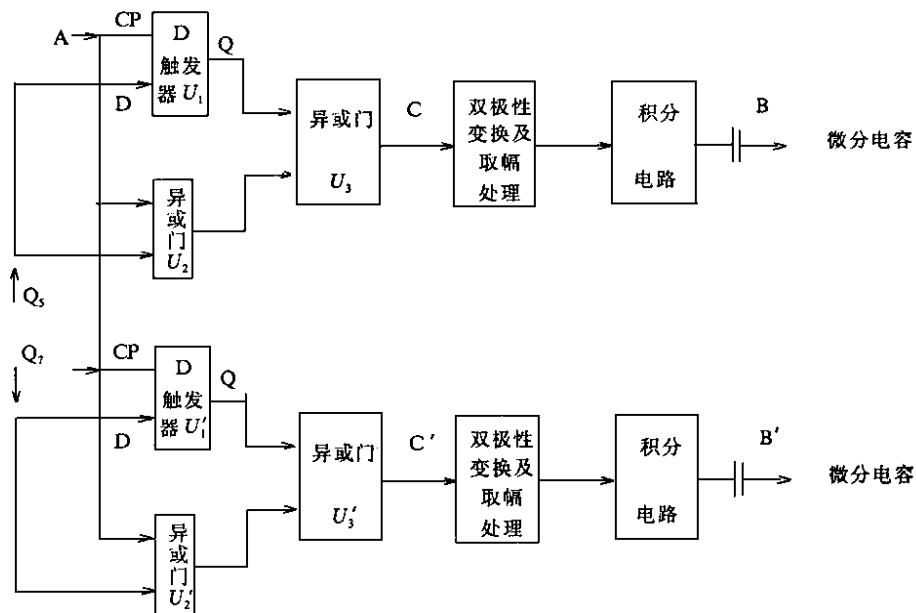


图 5 鉴相电路图

由 D 触发器的工作原理可知,  $U_1$  输出端的信号取决于 CP 脉冲上升沿到来时 D 端的信号. 当 CP 脉冲上升沿到来时刻, 若 D 端为高电平, 则其输出 Q 端为高电平, 否则为低电平. 由于 CP 脉冲信号是与旋变输出信号同周期的方波信号, 故 CP 脉冲与 D 脉冲之间的相差即为电机转过的角度  $\omega_r$ . 所以电机旋转  $360^\circ$  电角度,  $U_1$  电平变化一个周期, 即  $U_1$  输出端 Q 端信号的周期应是电机旋转的周期. 同理  $U_1$  的方波周期也是转子旋转的周期, 只不过是相位相差  $1/4$  周期而已.

位相反的方波信号,作为 JK 触发器 2 的 JK 端的控制信号. 由于 JK 触发器 2 的 J 端的频率为励磁信号频率的两倍,所以电机旋转一个周期 J 和 CP 相差两个周期,也就是说速度解调信号的频率为电机旋转频率的两倍. JK 触发器 2 的输出信号加于模拟开关的控制,取样两路微分电流. 运算放大器 A 为一惯性环节,将电流信号转换为电压信号,并具有一定的滤波作用. 至此,转子速度信号被解调出来.

### 3 结 论

以上分析表明,该方案能够迅速、准确地检测出交流永磁伺服电机转子的磁极,位置信号和速度信号磁极位置信号输出波形不但正、负半周完全对称,且峰值相等、相位相差 90 度. 检测出的速度信号平滑,具有很高的线性度,实际在数控机床进给系统中应用证明,其精确度完全能够满足高精度交流伺服系统的需要. 而且由于该方案在信号处理上采用了数字化处理手段,因而使得在此基础上实现数字化检测变得简单易行.

### 参考文献

- 1 Guo Qingding, Luo Ruifu, wang Limei. Fully Digital permanent Magnet Synchronous Motor Servo System Based on DSP. Proceedings of ICPE 95, 1995, 30 ~ 34
- 2 郭庆鼎,王成元编著. 交流伺服系统. 机械工业出版社, 1994

## A Detecting of Method Position and Speed of Permanent Magnet Synchronous Motor

Guo Qingding, Luo Rrifu Wang Limei

(Dept. of Mechanical Engineering, SPU)

### Abstract

This paper introduces a new method of detecting absolute position and analog velocity with resolver. The actual circuit of demodulation is given. The operation theory is analyzed in detail. It has been concluded that the method is reasonable, reliable and can be satisfied with the requirements of high-performance AC servo system.

**Key words :** speed; transformers; servo system; measuring