

# 二相步进电机驱动电路的设计

Design of two-phase stepping motor driving circuit

余炳雄, 陈志玲, 黎浩樑

YU Bing-xiong, CHEN Zhi-ling, LI Hao-liang

(华南师范大学 物理与电信工程学院, 广东 广州 510006)

(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

**摘要:**介绍了 BYG 通用系列二相步进电机最常采用的单极性和双极性 2 种驱动电路的设计方案, 从原理上体现了二相步进电机的控制方法, 增加了步进电机驱动电路设计的灵活性。二相步进电机的单极性和双极性 2 种驱动电路设计都采用了一片可在线编程的单片机 AT89S52 作为控制器, 由达林顿功率管 TIP142 组成的电路作为驱动器, 电路结构简单, 设计思路清晰。同时, 比较分析了单极性和双极性这 2 种常用驱动电路设计方案的特点、区别及在应用中的选择方法。

**关键词:**步进电机; 驱动电路; 单极性; 双极性; 控制器; 驱动器

**中图分类号:**TM 383.6      **文献标志码:**A      **文章编号:**1674-1951(2009)01-0028-03

**Abstract:** The design scheme of common unipolar and bipolar driving circuits for BYG general series of two phase stepping motors were introduced, which illustrates control methods for two phases stepping motor theoretically and increases the flexibility of driving circuit design for stepping motor. The AT89S52 on-line programmable single-chip computer was used as controller in both unipolar and bipolar driving circuit designs for two phase stepping motor, and driving circuits were composed of TIP142 darlington power transistors. The structure of designed circuit is simple, and the design thread is clear. The feature, difference and selection method in use of unipolar and bipolar driving circuits design schemes were analyzed and compared in this paper.

**Key words:**stepping motor; driving circuit; unipolar; bipolar; controller; driver

## 0 引言

目前, 步进电机在工业生产以及一些智能仪器上的应用十分广泛, 然而步进电机的驱动信号往往由一些专用的控制芯片产生, 如采用二相步进电机驱动芯片 TA8435H 对其进行控制<sup>[1]</sup>, 虽然可以较好地展现出其电路布线简单的优势, 但是却从原理上隐藏了步进电机的控制时序问题, 缺乏灵活性, 使步进电机驱动电路的设计和使用在一定程度上受到了限制。由于二相混合式步进电机在市场上已被广泛使用, 根据其工作原理, 可以设计出单极性和双极性 2 种不同类型的驱动电路方案且 2 种设计方案各有特点, 在实际应用中可灵活选择。

## 1 二相步进电机的工作原理

步进电机(Stepping Motor)是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件<sup>[2]</sup>。在非超载的情况下, 电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数, 而不受负载变化的影响, 即给电机加一个脉冲信号, 电机则转过一个步距角。这一线性关系的存在, 加上步进电机只有周期性的误差而无累积误差等特点<sup>[3]</sup>, 使得步进电机在数控机床、打印机、绘图仪、机器人控制、石英钟表等场合都有广泛应用。

步进电机一般分为永磁式(PM)、反应式(VR)和混合式(HB)3 种类型。目前, 二相混合式步进电机的应用最为广泛。市场上常见的 BYG 通用系列二相步进电机是圆形混合式步进电机, 步距角一般

为 $1.8^\circ$ <sup>[4]</sup>。图1为二相六线式步进电机的工作原理示意图。由图1可知,它有2个绕组,且每个绕组都有一个中间抽头。因此,二相步进电机也就有了6根引线。当电机中的绕组通电后,其定子磁极产生磁场,将转子吸合到相应的磁极处。若绕组在控制脉冲的作用下,通电方向使定子在顺时针方向轮流产生磁场,则电机可顺时针转动;通电方向使定子在逆时针方向轮流产生磁场,则电机可逆时针转动。控制脉冲每作用一次,通电方向就变化一次,使电机转动一步,即一个步距角。脉冲频率越高,电机转动也就越快。

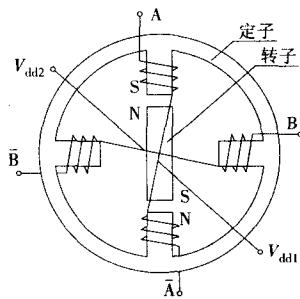


图1 二相步进电机原理图

## 2 二相步进电机驱动电路的设计

在数字电路中,大部分采用的是TTL电平<sup>[5]</sup>,但TTL电平产生的脉冲却不足以使步进电机转动,所以,需要设计一种驱动电路对控制脉冲进行环形分配、功率放大,步进电机绕组按一定顺序通电,使

电机运转。同时,还需要一个控制器,用来产生一组具有相应时序和频率的脉冲来控制电机转动的方向和速度。步进电机有了驱动器和控制器后才可以正常工作。

通用的BYG系列二相步进电机一般都有6根引线,即六线式。二相六线式步进电机虽然又称为单极性步进电机,但实际上却能同时使用单极性或双极性驱动电路。单极性或双极性驱动电路的设计都可采用一片可在线编程的单片机AT89S52作为控制器,由达林顿功率管组成的电路作为驱动器。

### 2.1 单极性驱动电路的设计

单极性是指步进电机线圈中电流的流动方向是固定的,即线圈中的电流只按一个方向流动。步进电机的单极性驱动电路是使用4个晶体管来驱动步进电机的2组相位,电路结构如图2所示。可见,电路包含2组带有中间抽头的线圈,整个电机共有6条线与外界连接。2个绕组的中间抽头V<sub>dd1</sub>和V<sub>dd2</sub>都接高电平V<sub>DD</sub>,然后根据其工作原理,再将电机其余4线的电平轮流拉低,通电顺序依次为B→A→B→A,且4个状态按顺序周而复始进行变化时,步进电机就转动;如果改变通电的顺序,即当通电顺序为A→B→A→B,且4个状态也按顺序周而复始进行变化时,步进电机就逆向转动。当步进电机运转时,绕组线圈中的电流是依次按图2中标明的方向流动的,电流方向在运转过程中不会改变。

因此,当控制器AT89S52的引脚P1.3、P1.2、

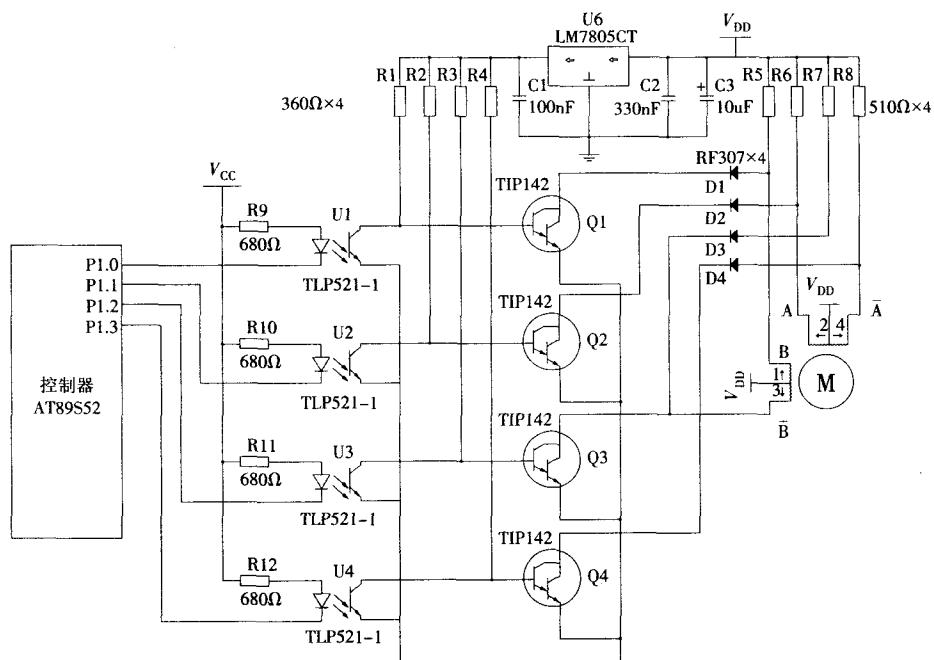


图2 单极性驱动电路

P1.1、P1.0 输出的脉冲时序依次为 0001→0010→0100→1000 时,其脉冲经过光耦隔离后,再通过达林顿功率管实现功率放大,各个达林顿功率管轮流导通,产生相应的通电时序,从而带动步进电机的正常转动。改变输出的脉冲时序即可实现电机反转。

## 2.2 双极性驱动电路的设计

双极性则是指步进电机线圈中电流的流动方向不是单向的,即绕组线圈中的电流有时沿某一方向流动,有时按相反方向流动。步进电机的双极性驱动电路如图 3 所示,它使用 8 个晶体管来驱动 2 组相位。双极性驱动电路可以同时驱动四线式或六线

式的二相步进电机。对于二相六线式步进电机而言,2 个绕组的中间抽头  $V_{dd1}$  和  $V_{dd2}$  都悬空。根据步进电机的工作原理,当控制器给驱动器发出脉冲信号时,驱动器经过环形分配器和功率放大后,电机绕组通电的顺序为  $AA \rightarrow BB \rightarrow AA \rightarrow BB$ ,其 4 个状态按顺序周而复始进行变化,电机转动;若通电时序就变为  $BB \rightarrow AA \rightarrow BB \rightarrow AA$  时,电机就逆向转动。步进电机运转时,当达林顿管 Q1 和 Q4 导通时,线圈中电流方向为  $A \rightarrow \bar{A}$ ;当达林顿管 Q2 和 Q3 导通时,线圈中电流方向为  $\bar{A} \rightarrow A$ 。可见,步进电机线圈中的电流方向在运转过程中是不断改变的。

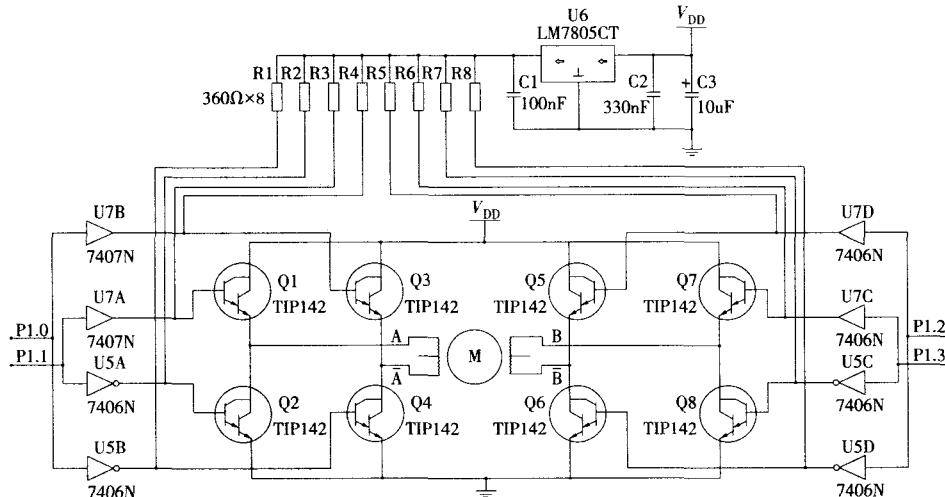


图 3 双极性驱动电路

因此,当控制器 AT89S52 的引脚 P1.3、P1.2、P1.1、P1.0 输出的脉冲时序依次为 0110→0101→1001→1010 时,其脉冲经过 OC 门电路进行隔离后,再通过达林顿功率管实现功率放大,各个达林顿管轮流导通,产生相应的通电时序,从而驱动步进电机的正常转动。同样,当输出的脉冲时序反向时,电机也就反转。

## 3 2 种驱动电路的比较及其选择

从结构上看,对比图 2 和图 3 的驱动电路图可以看出,单极性驱动电路比双极性驱动电路简单,也比较容易理解。单极性驱动电路只需要 4 个达林顿功率管 TIP142 轮流导通,使各个绕组线圈轮流产生单向电流,从而驱动电机运转;而双极性驱动电路使用了 8 个达林顿功率管 TIP142,通过 OC 门电路控制其导通,使绕组线圈轮流产生双向电流,从而才驱动电机运转。

从性能上看,实践表明,2 种驱动电路在相同电压  $V_{DD}$  的驱动下,单极性驱动电路的输出力矩比双

极性驱动电路要小。由于步进电机的输出力矩与电机的有效体积、线圈匝数、磁通量、电流成正比,所以,电机有效体积越大,则励磁安匝数越大,定转子间气隙越小,电机力矩越大,反之就越小。单极性驱动电路每次都借助中间抽头导通绕组线圈的一半,而双极性驱动电路的绕组线圈每次都有电流通过,在相同电压  $V_{DD}$  的驱动下其驱动电流  $I_{DD}$  相当,但是,此时单极性驱动电路产生的磁场集中在某个导通的线圈附近,而双极性驱动电路则在整个电机内产生了一个相对均匀的磁场,于是其稳定性要优于单极性驱动电路,输出力矩也较大。

显然,双极性步进电机驱动电路的晶体管数目是单极性驱动电路的 2 倍。因此,在实际应用中,如果对步进电机的性能要求不是很高,采用电路结构相对简单的单极性驱动电路就可以了。但是,如果条件允许,采用双极性驱动电路则可以较好地发挥步进电机的性能。

## 4 结束语

随着对步进电机研究的深入,(下转第 33 页)

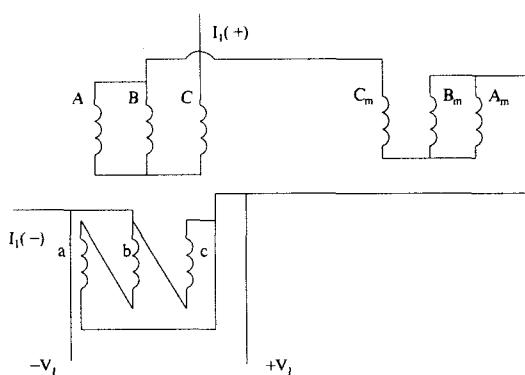


图 5 测量  $R_{bc}$  的试验接线图

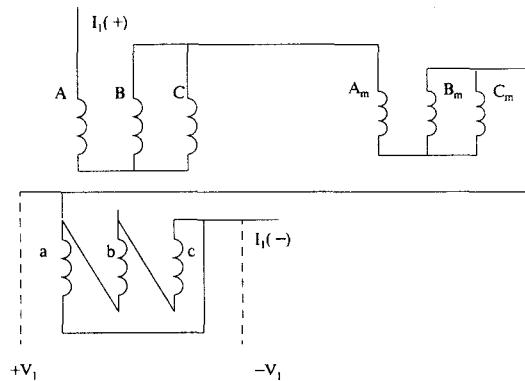


图 6 测量  $R_{ac}$  的试验接线图

图中  $I_1(+)$ 、 $I_1(-)$  是 3391A 变压器直流电阻测试仪的电流输出、输入端子； $+V_1$ 、 $-V_1$  是 3391A 变压器直流电阻测试仪的电压输入端子。

## 5 测试结果

根据图3、图5、图6所示的接线，对湖南镇电站#2主变压器低压侧直流电阻重新进行测试，结果见表2。

(上接第 30 页)步进电机的驱动有很多种可行的方法,最常见的有单极性驱动、双极性驱动、恒压驱动、恒流驱动等。本文介绍了步进电机的单极性和双极性 2 种类型驱动电路的设计方案,同时,力求从简单实用的电路中体现步进电机控制的原理,并且对 2 种方案进行了分析和比较,为实际应用中的选择提供了依据。

#### 参考文献：

- [1] 刘升. 二相步进电机驱动芯片 TA8435H 及其应用 [J]. 国外电子元器件, 2005(3): 37-39.
  - [2] 郑志聪. 步进电机的一种驱动设计 [J]. 软件导刊, 2008(7).

表 2 主变低压侧直流电阻值和测试时间

相别	直流电阻/ $\Omega$	测试时间/s
ab	0.001620	492
bc	0.001616	435
ac	0.001614	441

由表 2 可知, 将星形接线的高压、中压绕组串入测量回路中可以明显缩短该主变压器低压侧直流电阻的测试时间。

## 6 注意事项

- (1)3391A 变压器直流电阻测试仪的测试电流不能大于 5 A。
  - (2)高压、中压绕组的连接线应有足够的截面并连接牢固。
  - (3)高压、中压绕组的串入,要求高压、中压、低压绕组的电流方向一致。
  - (4)其他绝缘试验完成后,再进行直流电阻测试,以防止剩磁的影响。

#### 参考文献：

- [1]江苏省电力工业局,江苏省电力试验研究所.电气试验技能培训教材[M].北京:中国电力出版社,1998.
  - [2]陈化钢.电气设备预防性试验方法[M].北京:水利电力出版社,1999.

(编辑:王书平)

### 作者简介：

程振伟(1968—),男,浙江永康人,浙江华电乌溪江水力发电厂工程师,从事电气设备高压试验方面的工作。

柴方光(1960—),男,浙江江山人,浙江华电乌溪江水力发电厂工程师,从事电气设备高压试验方面的工作。

[3] 孟武胜, 李亮. 基于 AT89C52 单片机的步进电机控制系统设计[J]. 测控技术, 2006, 25(11): 45-47.

[4] 谭新元. 试谈步进电机的性能及其应用[J]. 现代企业文化, 2008(2), 141-142.

[5] 吴猛. 一种脉宽调制电机驱动电路的设计[J]. 集成电路通讯, 2004, 22(4): 6-9.

(编辑:王书平)

### 作者简介：

余炳雄(1984—),男,广东潮州人,华南师范大学物理与电信工程学院在读硕士研究生,从事智能仪器、电路与系统、电子科学技术等方面的研究工作。