

步进电机设备文档

一、步进电机的特点及结构

步进电动机主要优点有，能直接实现数字控制；控制原理简单，位移量与脉冲数成正比，可用开环方式控制位移；机械结构简单，坚固耐用等。步进电动机的主要缺点有，运动增量是固定的；采用普通驱动器时效率低，相当大一部分输入功率转为热能耗散掉；承受惯性负载的能力较差；输出功率小等。

此处只介绍磁阻式步进电动机，磁阻式步进电动机的工作原理是利用转子上不同的两个方向磁阻不同而产生的磁阻转矩，使转子转动。

磁阻式步进电动机是目前步进电动机中使用的最多的一种结构形式。图 1 为四相磁阻式步进电动机的示意图。

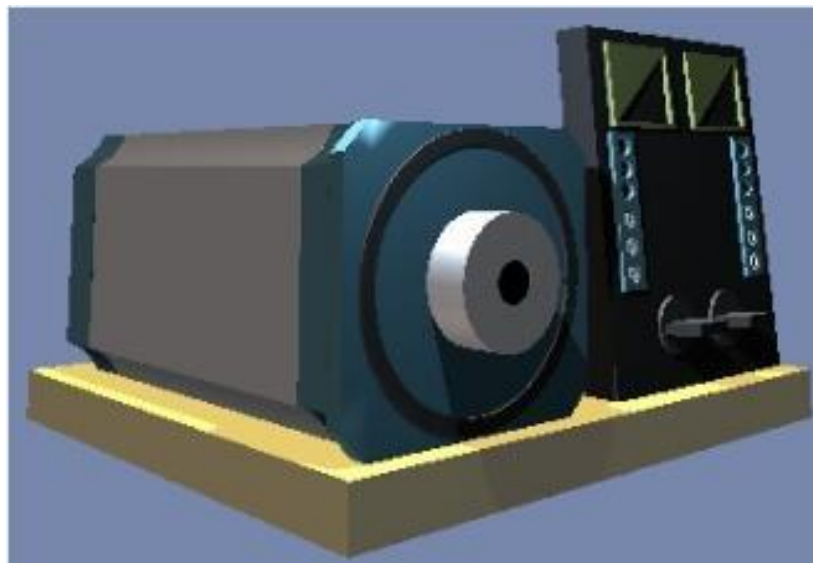


图 1 四相磁阻式步进电动机

步进电动机结构上分为定子和转子两大部分。定子由贴心、绕组、外壳、端盖等部分组成。定子铁心内圆上分布着若干个大齿，每个大齿称为一个磁极，每个磁极上都装有绕组，称为控制绕组。所有的控制绕组接成 m 相，每一相绕组包括两个磁极绕组，它们分别在一条直径的两端，即径向相对的两个磁极上的绕组为一相。所以定子的磁极数 $2p$ 为相数 m 的 2 倍，即 $2p=2m$ 。在定子磁极的极弧上开有一些均匀的小齿。转子的外圆周围上也有均布的小齿，但没有绕组，转子

的齿宽和齿距与定子极弧上的小齿完全相同。为了获得较大的净转矩，通常选取齿宽和齿距之比为 0.32~0.38。

齿距是相邻两齿中心线的夹角，又称为齿距角，按下式计算

$$\theta_t = \frac{360^\circ}{Z_r}$$

其中

θ_t —— 齿距角

Z_r —— 转子齿数

磁阻式步进电机的转子齿数 Z_r 必须满足下述条件，在某一极下若定、转子的齿对齐时，则要求在相邻极下的定、转子齿之间错开转子齿距的 $1/m$ 倍，即它们之间在空间位置上错开 $360^\circ/(mZ_r)$ 角。因此，若定子的一个磁极下的定、转子的齿对齐时，在定子同一相的另一磁极下的定、转子的小齿也是对齐的。为了满足上述要求，转子齿数 Z_r 必须满足下式

$$\frac{Z_r}{2p} = K \pm \frac{1}{m}$$

即

$$Z_r = 2p \left(K \pm \frac{1}{m} \right) = 2pK \pm 2$$

其中

K —— 正整数

p —— 极对数

m —— 相数 ($p=m$)

由式(2)可知，磁阻式步进电动机每一个极距下（即相邻的定子磁极轴线间距）的转子齿数不是整数，与整数差 $1/m$ 。

二、步进电机的工作原理和速度数学模型

在一定条件下，步进电动机的动态特性也可以用传递函数表示。

步进电动机的输入信号本来是脉冲个数，它代表步进电动机相应的转

角位置，并与这些相应的角位移成正比。在推导微分方程与传递函数时，为方便起见，不以脉冲个数为输入量，而它以所代表的角位移 θ_i 为输入量，以电机转子的实际角位移 θ 为输出量。设与 θ 及其导数有关的转矩只有磁阻转矩和粘滞阻尼转矩 $Bd\theta/dt$ 。通过动力学方法建立可以建立脉冲个数所代表的角位移和步进电机实际的角位移的传递函数。若设定如下状态：

$$x_1 = \theta, x_2 = \dot{\theta} = \omega$$

其中

x_1 —— 电机转轴转角

x_2 —— 电机转轴角速度

且输入电角 θ_i 用 u 表示。带入电机参数，通过传递函数可以建立步进电机的状态空间方程如下式所示：

$$\dot{X} = AX + Bu$$

$$Y = CX$$

其中

$$\begin{aligned} X &= [x_1 \ x_2]^T \\ A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1056.2 & -17.78 \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1056.2 \end{bmatrix} \\ C &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

三、演示算法：LQR 控制方法

由于本例中选用的是四相步进电机，且转子有 50 齿，定子每磁极上有 5 个小齿，故在数字脉冲的作用下，步进电机每走一步转过的角度为 1/4 个齿距，即 1.8°，为了模仿这个角位移 θ_i ，我们用 Simulink 库下 Source 中的 Pulse Generator 模块，并对 Pulse Generator 模块进行积分作为模型输入，为每一步电机稳定的平衡位置，并设定参数如图

2。积分后产生的角位移如图 3 所示。可以从图 3 中看出 10 秒内电机平衡位置走过 5 弧度，符合前面描述的电机要求。

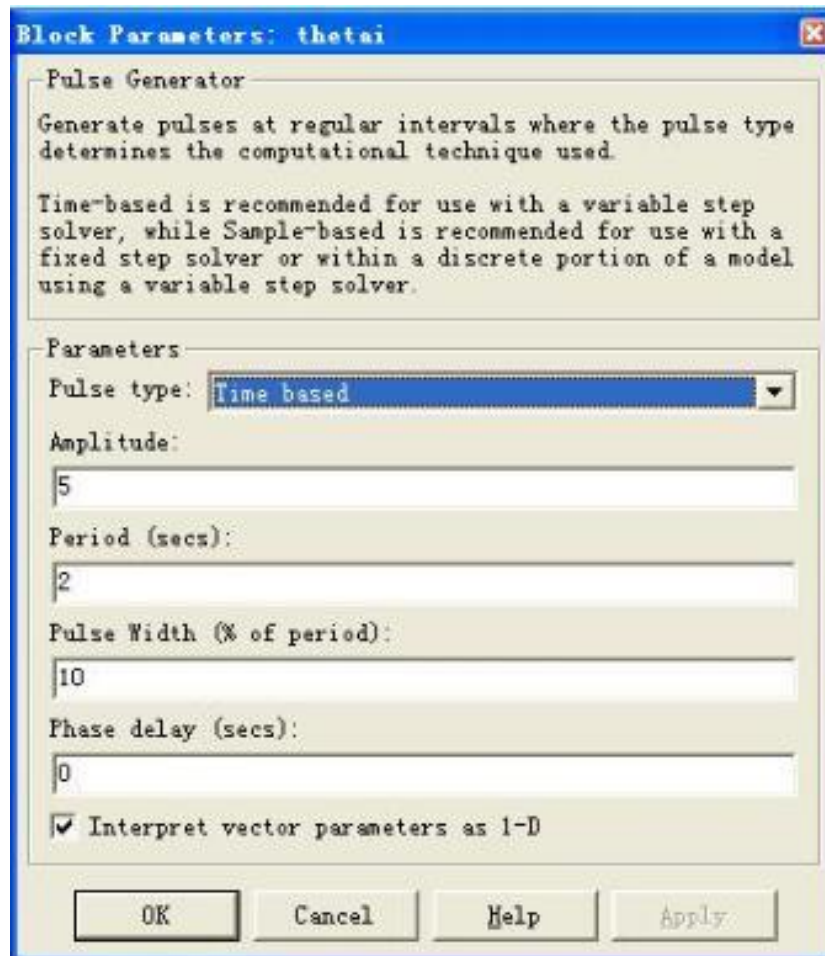


图 2 Pulse Generator 模块的参数设定

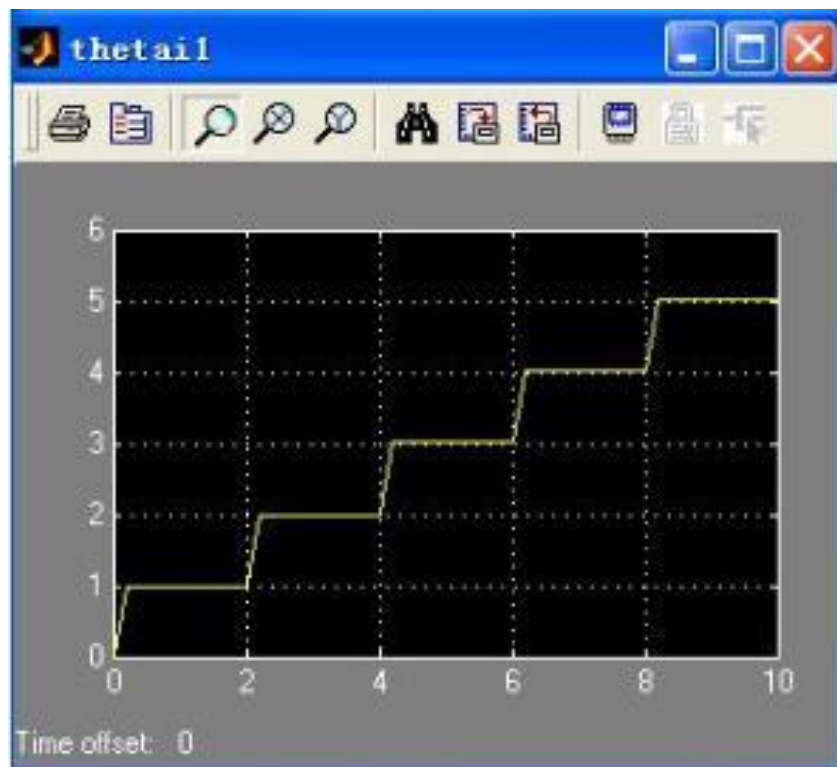


图 3 Pulse Generator 模块积分后产生的角位移作为输入
建立如图 4 所示的 Simulink 框图。

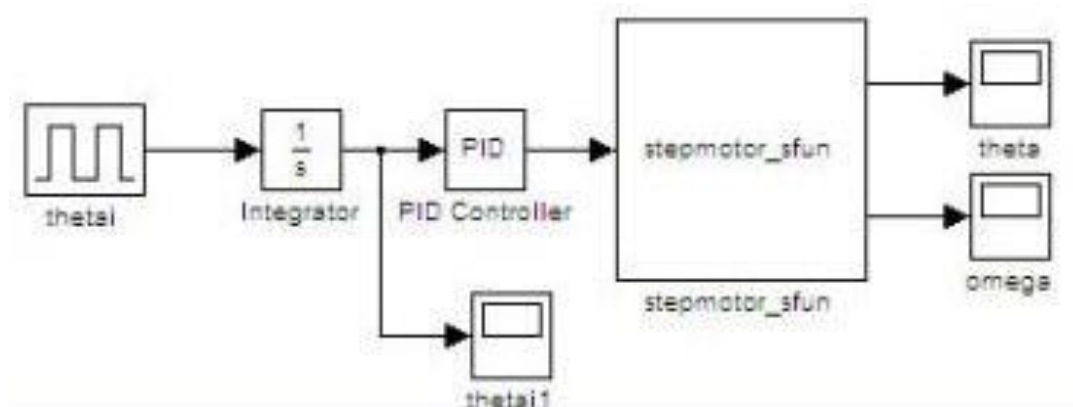


图 4 步进电动机的 Simulink 框图

图 5 和图 6 分别展示的是开环状态下电机输出的角度和转速。可以看出由于脉冲式输入导致电机的角度输出波动很大，从而角度输出的导数，数学角度上的转速波动更大。

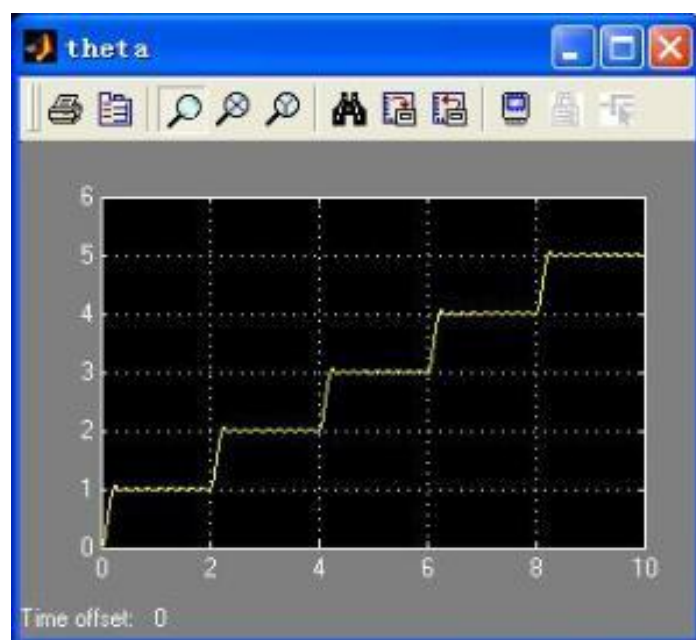


图 5 步进电动机的角度输出

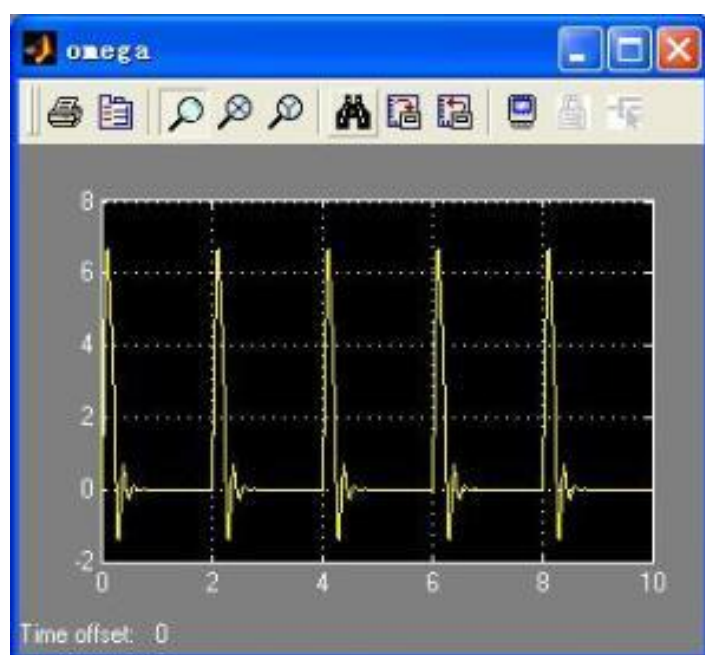


图 6 步进电动机的角度输出的导数（机转速）

但我们可以从另一个角度来看电机的转速，虽然图 6 的波动很大，但是从图 5 可以看出电机输出角度局部波动大，但是总的运动时很均匀的，可以用求均值的方法来计算电机的转速，从图 5 可以得出电机此时的转速为 90 %s。若对电机进行开环比例控制，如图 7 所示。

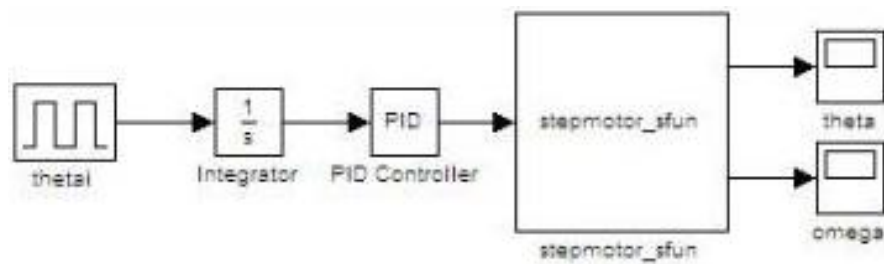


图 7 对步进电机进行开环比例控制

积分和微分常数设为零，当比例系数为 2 时输出角度如图 8 所示。当比例系数设为 10 时输出角度如图 9 所示。

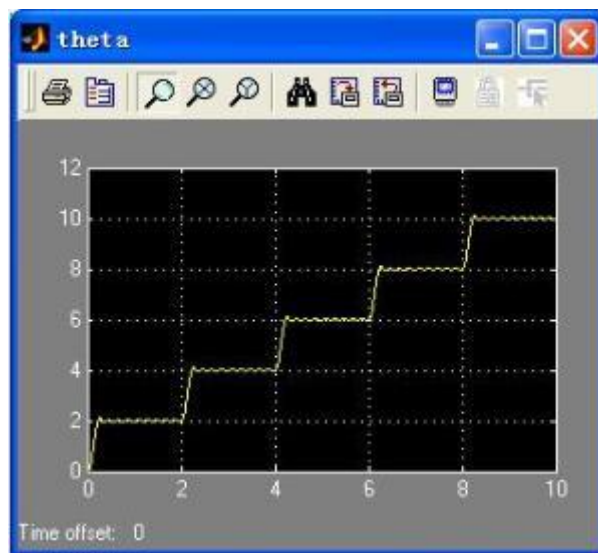


图 8 比例系数为 2 时步进电机的角度输出曲线

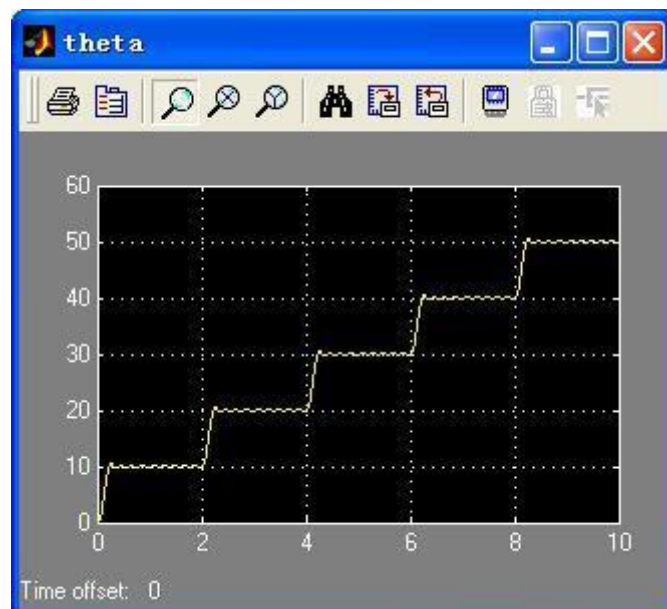


图 9 比例系数为 10 时步进电机的角度输出曲线

从图 8 和图 9 可以看出电机输出角度和比例系数成正比关系。若想设定电机转速为 ω ，则设定比例系数为 2ω 即可。