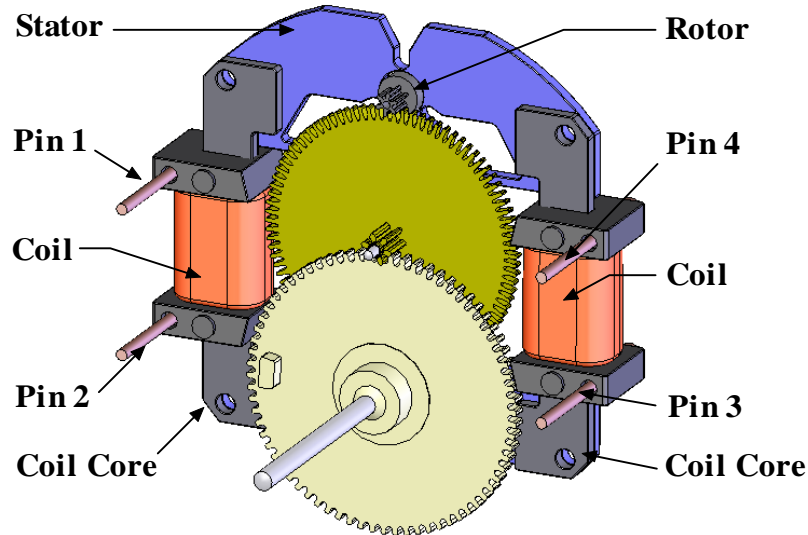




## MR11 系列步进电机的驱动方案与特性

### MR11 系列步进电机原理简介

MR11xx 系列微型步进电机是两相用磁步进电机，转子步进角度为 60 度。电机内部有 180:1 的减速齿轮机构，通过齿轮减速降低转速并且在输出的指针轴上得到 1/3 度的分辨率。



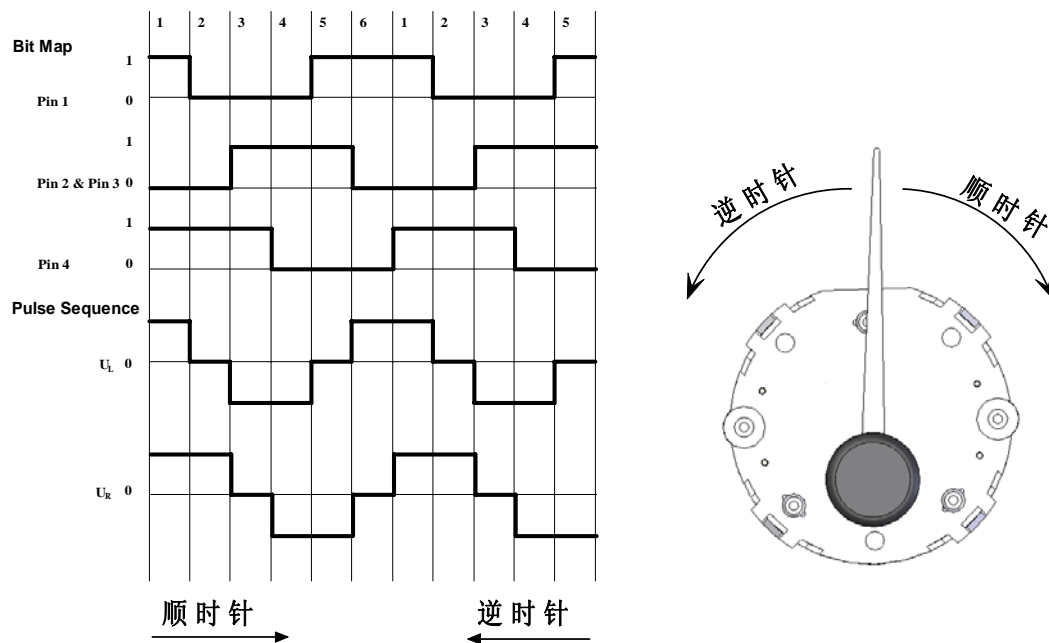
**全步** 是指转子旋转 180 度，即输出指针轴旋转 1 度。电机的运行频率是指每秒钟转子完成多少个全步，也就是输出指针轴每秒转动多少度。使用标准的驱动芯片驱动时，MR11xx 系列电机可以运行到 600Hz。

**分步** 是指转子旋转 60 度，即输出指针轴旋转 1/3 度。仅需简单地使用单片机的三个输出端口（端口要求能提供最大 20mA 电流）就能有效驱动电机，使之以分步的步进值运转。电机在分步驱动模式下，指针轴将以 1/3 度的步进方式运转。

**丢步** 常常是因为电机运转频率过高或者电机运转频率急速变化。和平常的步进电机一样，驱动器的时钟频率决定电机的转速，电机在不超过启停频率的情况下，突然启动停止或者反转，都不会丢步，也就是电机的转动是和驱动器的脉冲同步的。电机载荷的转动惯量将影响电机的动态性能（启停频率）。使用标准的驱动芯片驱动时，MR11xx 系列电机的启停频率，在外部载荷转动惯量为  $2 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$  的条件下大约是 200Hz。

## 单片机 I O 端口驱动

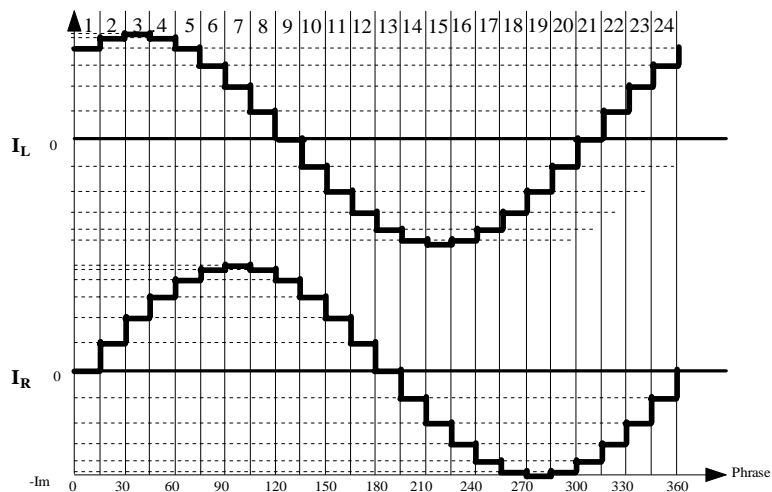
使用单片机的三个 I O 口就可以直接驱动 MR11 系列微型步进电机，通常要求 I O 端口能提供 15mA@5V 的驱动电流，按照下面的方式用单片机 I O 口驱动步进电机称为**分步驱动模式**。



分步模式下驱动马达，使用合理的加速曲线可以使电机运行到最高 600Hz。因为分步驱动方式下，每次马达输出轴步进  $1/3^\circ$ ，因此在低速条件下（低于 200Hz），通常会观察到指针有比较明显的抖动，并且运转的噪声也比较大。所以为了提高指示的精度和指针的平滑运行，通常采用专用芯片以微步方式驱动马达。

## 专用芯片驱动

为了降低噪声和抖动，使指针的运动更加平滑，通常采用微步细分驱动的方法来使电机转子更均匀地旋转。24 微步细分可以使电机运转达到很好的效果而被广泛采用，这种细分驱动下，电机转子每次跳转 15 度，而指针的分辨率就变成了 1/12 度。这样细小的角度步进刚好使人眼无法察觉。



因为马达构造的特点，最优的驱动波形并不是正弦波，专用芯片的输出波形也是根据精确计算和测量获得的一组参数而设定的。MR11 系列马达的最优驱动波形参数为：

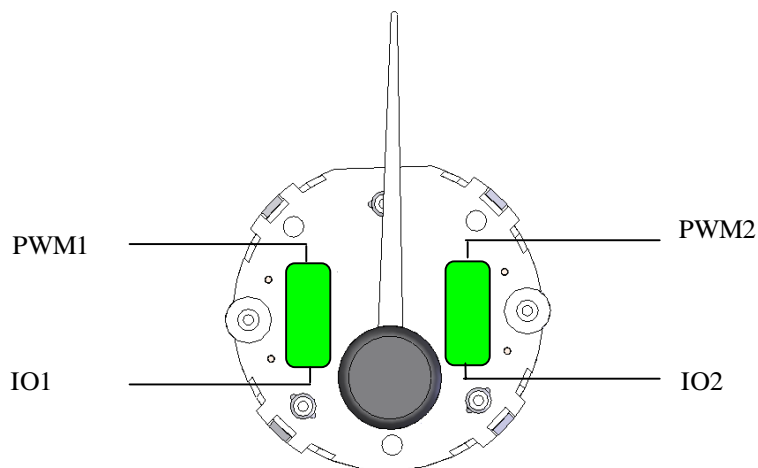
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
0	0.6	1.1075	1.7525	3.897	4.374	4.5

以上参数为 MCR 研发小组通过测量数百个电机的转子运转角度所获得的平均值，能使 MR11 电机获得最好的驱动效果。目前市面上的专用驱动芯片的输出值也较为接近该最优驱动波形，实际的驱动效果并无太多差别。

## PWM方式驱动

为了减省成本,目前使用单片机的PWM端口直接模拟实现微步驱动微型步进电机已经成为主流的方案。过低或者过高的PWM基础频率容易造成驱动时的噪声,长期的测试经验表明,PWM驱动时,使用30KHz~40KHz的基础频率能获得最好噪声效果,过高或者过低都会有比较大的运转噪声。

通常会使用两个PWM端口和两个I/O口来驱动一个步进电机,如图:



MCR推荐的PWM驱动微步表

微步	PWM1 PWM%	IO1 电平	PWM2 PWM%	IO2 电平
1	86	0	86	0
2	96	0	54	0
3	100	0	36	0
4	96	0	20	0
5	86	0	0	0
6	54	0	80	1
7	36	0	64	1
8	20	0	46	1
9	0	0	14	1
10	80	1	4	1
11	64	1	0	1
12	46	1	4	1
13	14	1	14	1
14	4	1	46	1
15	0	1	64	1
16	4	1	80	1
17	14	1	0	0
18	46	1	20	0
19	64	1	36	0

20	80	1	54	0
21	0	0	86	0
22	20	0	96	0
23	36	0	100	0
24	54	0	96	0

PWM 方式虽然模拟了微步驱动，但是驱动的效果仍然要比专用驱动芯片的效果要差一点，表现在以下几个方面：

1. 运转平滑性较专用芯片要差一点。
2. 轻指针（非常短而轻的指针）不能可靠运行到 450Hz 以上但是一般的指针或者重的指针可以可靠运行到 550Hz 以上。如果是专用芯片驱动，则无论轻或者重指针都可以可靠运行到 550Hz 以上。
3. 加速性能较专用芯片要差一点。

## 汽车仪表盘应用

### 上电归零过程

在汽车仪表的应用中，上电时需要快速归零点，并且要求指针打到零点的时候，没有太大振动和噪声。

**回零加速曲线跳频点：**回零加速曲线跳频点是为了最快速归零且防止马达丢步而专门计算的加速曲线，马达从第一跳频点开始，每运转一个全步，驱动频率跳到下一个频率点，达到最后一个频率点后（大约 500Hz 左右），马达高速回到零位。高速归零不但速度快，而且马达碰触零点的抖动和反弹非常小。

**高速归零与驱动的关系：**因为驱动方式的不同对马达的扭力有很大影响，所以高速归零的曲线也因为使用不同的驱动方式而有所调整。用标准的驱动芯片驱动马达可以获得比较大的马达扭力，因此归零加速可以比较快，大约用 20ms 达到最高 550Hz 速度。用 MCU 的 PWM 信号模拟微步驱动马达，可以获得的扭力较小，因此归零加速需要慢一点，大约用 40ms 达到最高速度 500Hz。

**高速归零与指针转动惯量的关系：**因为指针转动惯量对马达的输出加速有很大影响，所以高速归零的曲线也因为使用不同的指针转动惯量而有所调整。用标准的  $2 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$  的指针，使用标准微步驱动芯片驱动马达时，归零加速可以比较快，大约用 20ms 达到最高 500Hz 速度。

MCR 的研发小组通过精确测量和计算获得最优的加速曲线，能使电机内部以最均匀的力量加速，从而降低振动和噪声。一般推荐四种加速曲线，以适应不同重量的指针。第四种曲线可以适合最重的指针，同样兼容最轻的指针，因此通用性最好。

	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
指针惯性 $2 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$	204	320	408	478	536								
指针惯性 $5 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$	174	275	350	412	464	510	550	582					
指针惯性 $10 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$	144	230	292	344	390	429	464	496	526	552			
指针惯性 $> 10 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$	124	200	257	302	342	377	409	438	465	490	513	534	554

当客户是使用专用驱动芯片如 STI6606 这样的方式来驱动马达时，MCR 推荐客户按照最优的加速曲线回零。

当使用 PWM 方式驱动马达，因为有可能遇到轻指针无法可靠工作在 450Hz 以上，所以推荐客户按照我们的提供的最优加速曲线，但是只加速到 400Hz，以 400Hz 的速度归零，即能可靠归零也能获得很小的振动和噪声效果。如果客户的指针不是非常的短小，则 PWM 方式驱动也可以加速到 500Hz，以 500Hz 高速归零。

对于 PWM 驱动条件下短小指针的高速回零，有另外一种解决方案，就是先用分步方式按照最优加速曲线驱动指针高速回零，在最后几步切换到 PWM 细分驱动方式，这样可以保证短小指针高速回零。这种方式不适合很重的指针回零，因为重的指针在分步驱动方式下，撞击到止档位的时候会有比较大的振动。

## 仪表正常运行过程

仪表正常运行过程中，通常驱动频率都较低，低于 50Hz，因此没有特别的要求。如果运行频率超过 200Hz 或者指针过重，则要注意加速和减速过程，按照 MCR 提供的最优加速曲线（减速即反过程）来实现。

## 掉电归零的解决方案

有些仪表盘要求意外断电时需要将指针归零，需要使用一个储能电容来提供断电后驱动马达的能量。一般情况下，用一个 2200uF 的电容储存 12V 电压能量，就足够支持一个步进电机掉电归零。因为电容的储能是和电压的平方成正比，因此如果把储能电容布置在  $V_{cc}=5V$  的位置，只储存 5V 的能量的话，就需要很大的电容才能保证步进电机可靠归零，成本较高。