

# 自动控制实践(A)-18

## 步进电机的运行与驱动



### 复 习

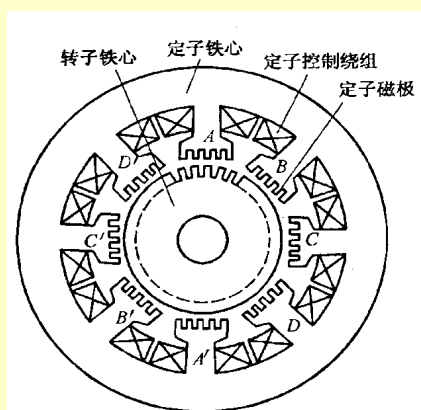
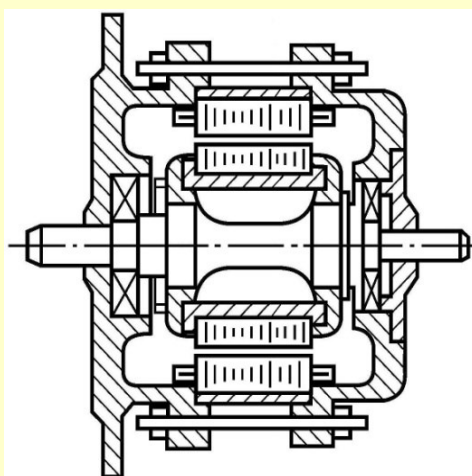
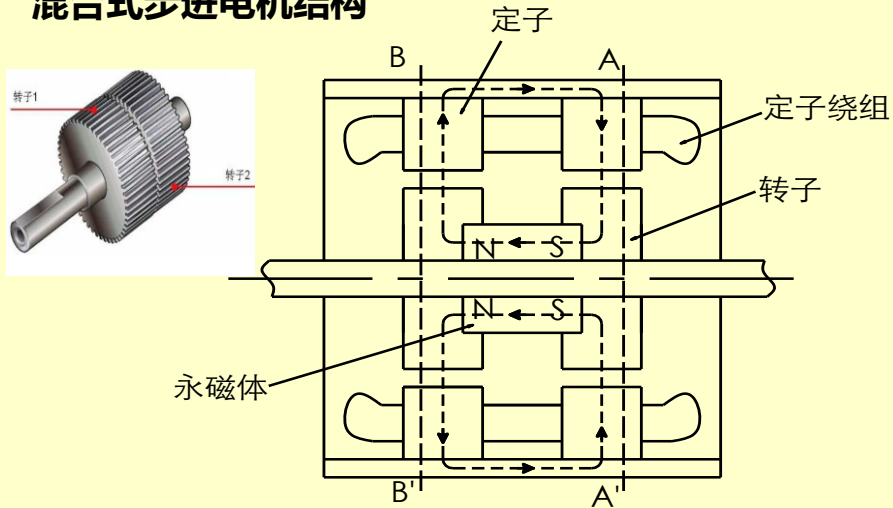


图 5-1 四相磁阻式步进电动机



## 复 习

### 混合式步进电机结构



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 复 习

### 步进电机基本原理

$$\theta_t = \frac{360^\circ}{Z_r} \quad \text{电角度} \quad \theta_{te} = 360^\circ$$

$$\theta_b = \frac{360^\circ}{Z_r N} \quad \text{电角度} \quad \theta_{be} = \frac{360^\circ}{N}$$

拍数:  $N = kmm$ : 相数

$$k = \begin{cases} 1 & \text{单拍制} \\ 2 & \text{双拍制} \end{cases}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 复 习

验证常见步进电机的极齿配合:

两相/四相步进电机: 8极-50齿

16极-100齿

三相步进电机: 6极-40齿

12极-80齿

9极-60齿

12极-100齿

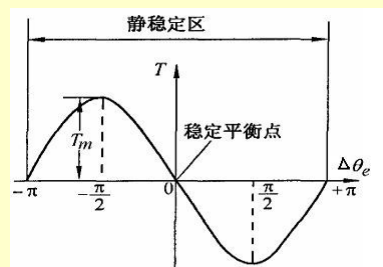
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



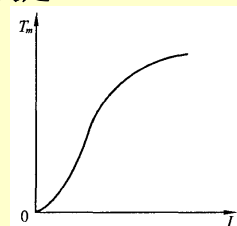
## 复 习

单相通电的静转矩特性-矩角特性

$$T = -T_m \sin \theta_e$$
$$-\pi < \theta_e < \pi$$



- $T_m$ : 最大静转矩, 由气隙磁导和电流决定。
- 静稳定区: 无外力矩条件下, 转子可回到平衡位置所对应的失调角范围。  $-\pi < \theta_e < \pi$



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 复 习

- 多相通电时的矩角特性

$T_{m(n)}$ : 多相通电的最大静转矩  $T = -T_{m(n)}\sin\Delta\theta_e$

利用三角函数可推得

$$\frac{T_{m(n)}}{T_m} = \frac{\sin \frac{n\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}}$$

三相电机  $T_{m(2)} = T_m$

四相电机  $T_{m(2)} = 1.41T_m$

五相电机  $T_{m(2)} = 1.62T_m$   $T_{m(3)} = 1.62T_m$

**三相以上的步进电机，多相通电能提高最大静转矩。**

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 目 录

1. 步进电机的运行
2. 实际步进电机产品简介
3. 步进电机的驱动电路
4. 步进电机的细分驱动
5. 步进电机系统的应用
6. 开关磁阻电机

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1. 步进电动机的运行

### 步进电机的运行要求

控制频率：步进电机输入脉冲信号的频率。

失步：步进电动机运动的步数与输入脉冲数不相等。

- 丢步：步数少于脉冲数。发生在加速时。
- 越步：步数多于脉冲数。发生在减速时。

**对步进电机的基本要求：**

**不失步。**

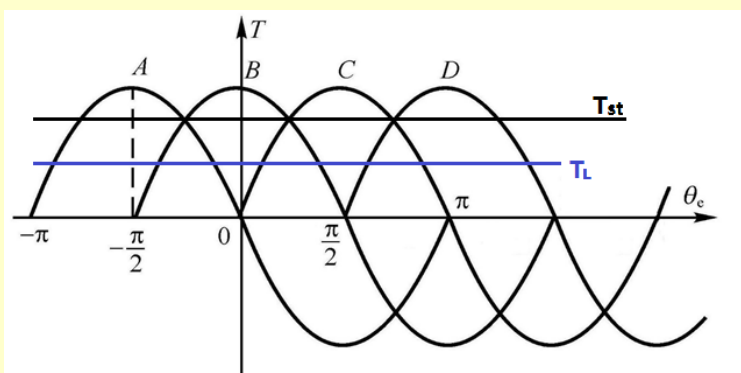


## 1. 步进电动机的运行

### • 单步运行

\* 不失步的基本条件

$$T_L < T_{st}$$



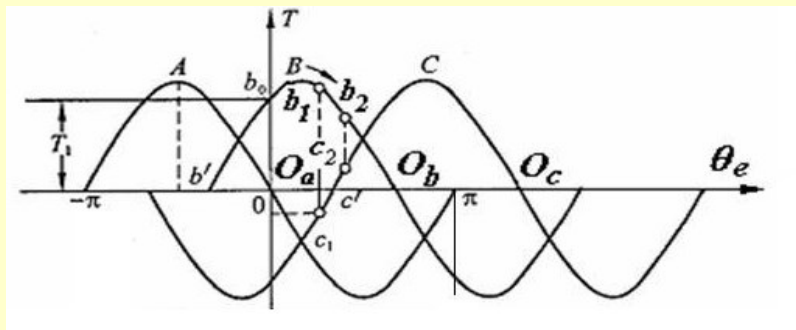
\* 步进电机不同运行方式的  $T_{st}/T_m$



## 1. 步进电动机的运行

- 连续运行

步进电动机能否成功启动与连续运行，不仅与负载转矩有关，还与控制频率和负载的转动惯量有关。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1. 步进电动机的运行

- 连续运行

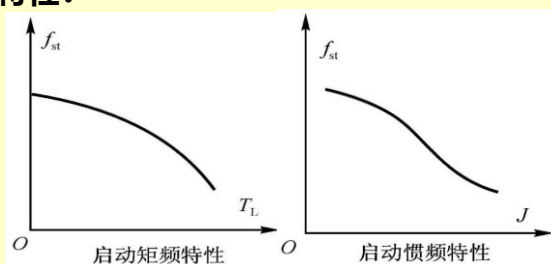
- \* 启动频率：

步进电动机能无失步启动和停转的最高频率。

- \* 决定启动性能的两个特性：

启动矩频特性：

启动惯频特性：



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1. 步进电动机的运行

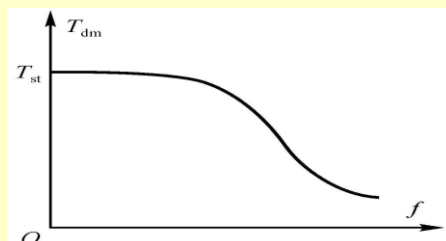
### • 连续运行

\* 运行频率：在负载条件下能无失步运行的最高控制频率。

\* 动态转矩：步进电动机连续运行时的输出转矩。

\* 运行矩频特性：动态最大输出转矩与运行频率的关系。

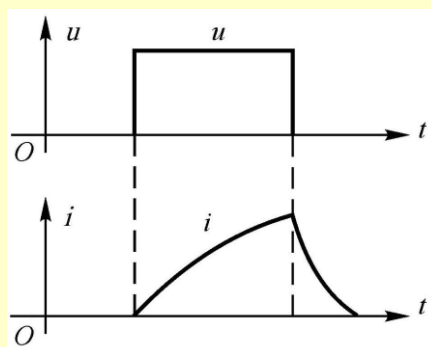
\* 动态转矩从启动转矩开始，  
随控制频率的升高而减小。



## 1. 步进电动机的运行

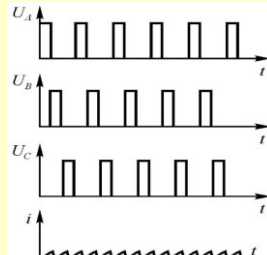
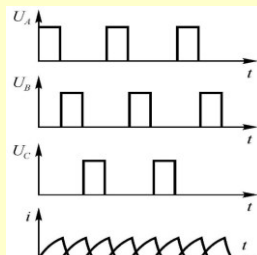
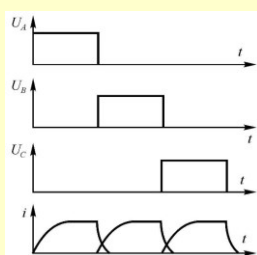
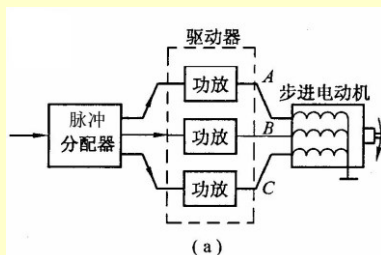
### • 连续运行

动态转矩下降的原因：电感影响,电流达不到规定值。



## 1. 步进电动机的运行

- 连续运行



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



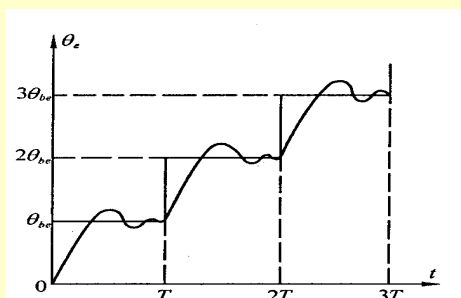
## 1. 步进电动机的运行

- 不同控制频率下的连续运行

- 极低频下运行

控制脉冲的周期足够长，新脉冲到来时，转子处于平衡位置不动，电机总是从不动的状态开始运行，即单步运行。

\* 不会出现丢步、越步现象。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

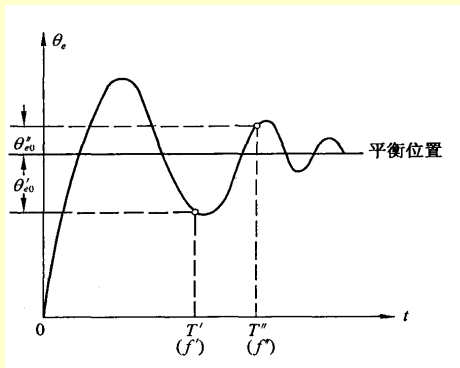




## 1. 步进电动机的运行

### 2) 低频运行，低频丢步和低频共振

- 控制频率比极低频高，接近或低于转子振荡频率，在转子振荡已衰减，但还未充分衰减时，下一个脉冲就来到。

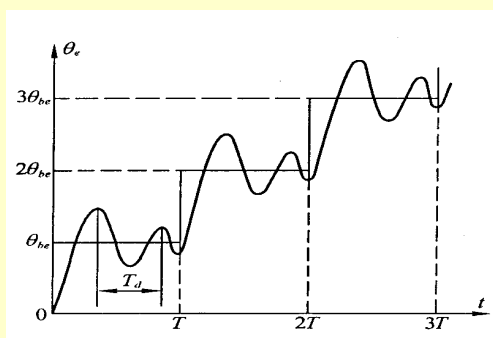


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1. 步进电动机的运行

- 当控制脉冲的频率等于或接近步进电动机振荡频率的 $1/k$ 倍， $k = 1, 2, 3 \dots$ ，电机可能出现强烈振动甚至失步，低频共振，低频丢步。不能正常工作。

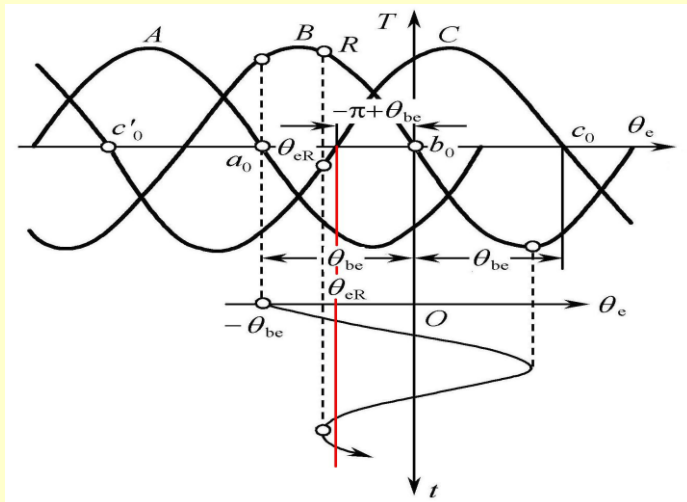


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 1. 步进电动机的运行

## \* 低频丢步

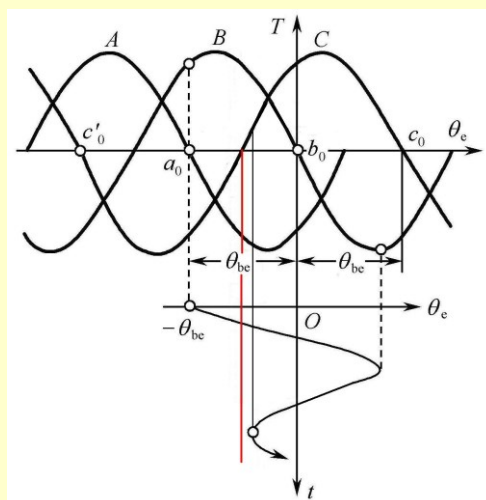
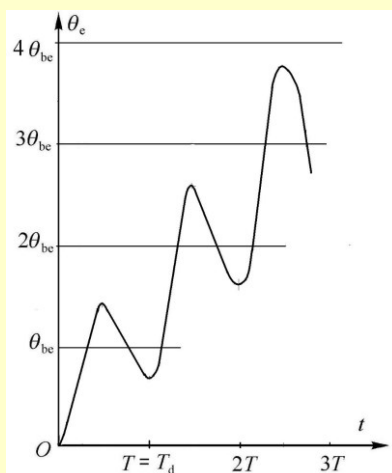


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 1. 步进电动机的运行

## \* 低频共振



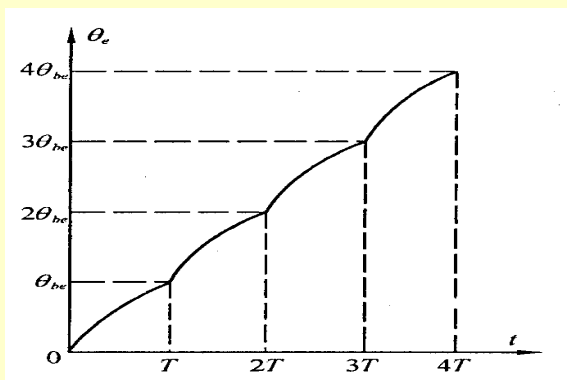
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1. 步进电动机的运行

### 3) 连续脉冲作用下的平稳运行

- 避开电机振荡频率。
- 增加阻尼。

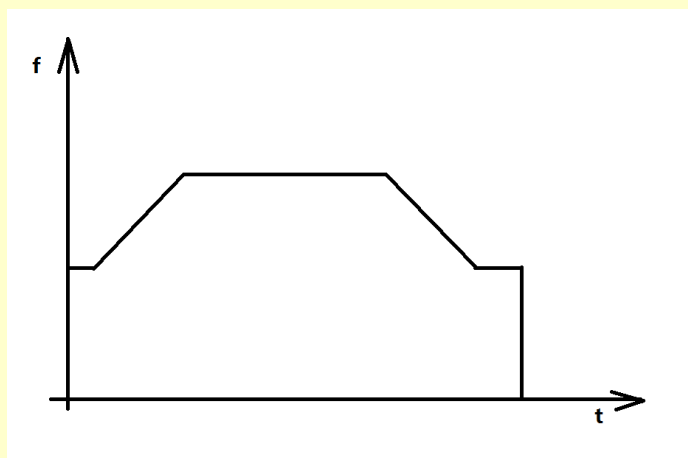


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 1. 步进电动机的运行

### 4) 步进电机运行频率的优化



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 目 录

- 1. 步进电机的运行
- 2. 实际步进电机产品简介
- 3. 步进电机的驱动电路
- 4. 步进电机的细分驱动
- 5. 步进电机系统的应用
- 6. 开关磁阻电机



## 2. 实际步进电机产品简介



### General Specifications (通用技术参数) 混合式步进电机

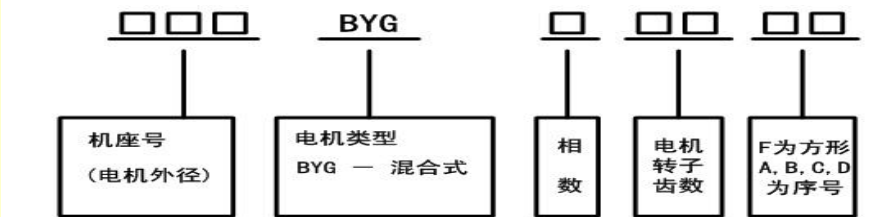
步 距 角 Step Angle-----1.8°±5%  
绝缘电阻 Insulation Resistant-----500V DC 100M Ω Min  
绝缘强度 Insulation Strength-----50Hz 1Minute 500V Min  
环境温度 Ambient Temperature ----- -20℃~+50℃  
温 升 Temperature Rise-----80℃ Max.  
径向跳动 Radial Play-----0.02mm Max  
轴向跳动 End Play-----0.1-0.3mm

步距角	相数	电压	电流/相	电阻	电感	定位转矩	转动惯量	最大静转矩	重量	外形尺寸	接线图	外形图
Step Angle (°)	No. of phase	Voltage (VDC)	Phase Current (A)	Phase Resistance (Ω)	Phase Inductance (mH)	Detent Torque g.cm	Rotor Inertia g.cm <sup>2</sup>	Holding Torque (kg.cm)	Weight (kg)	Size L0(mm) L1(mm)	Wire Diagram	Fig



## 2. 实际步进电机产品简介

### 步进电机型号说明



规格型号	相数	步距角 (°)	静态相电流 (A)	相电阻 (Ω)	相电感 (mH)	保持转矩 (N.m)	定位转矩 (N.m)	空载启动频率 (半步方式) (KHz)	重量 (Kg)	转动惯量 (g.cm <sup>2</sup> )	外形图	接线图
86BYG250A-SAFRBC-0202	2	0.9/1.8	2	1.7	9.0	2.5	0.2	1.7	2.0	1540	1	a
86BYG250A-SAFRBL-0402	2	0.9/1.8	4	0.43	2.3	2.5	0.2	1.7	2.0	1540	1	b
86BYG250B-SAFRBC-0202	2	0.9/1.8	2	2.6	16.0	5.0	0.2	1.7	3.2	3000	1	a
86BYG250B-SAFRBL-0402	2	0.9/1.8	4	0.65	4.0	5.0	0.2	1.7	3.2	3000	1	b

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2. 实际步进电机产品简介

接线方式：两相电机—**两相四线**；

三相电机—三相六线、三相四线、**三相三线**；

四相电机—四相八线、**四相六线**、四相五线；

五相电机—五相五线、**五相十线**

**工作温度：**步进电机外表允许的最高温度取决于不同电机磁性材料的退磁点。步进电机一般外表温度在摄氏80-90度完全正常。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 2. 实际步进电机产品简介

步距角 $\theta_b$ ：对应一个脉冲信号，电机转子转过的角位移用 $\theta_b$ 表示。一般步进电机的精度为步距角的3-5%，且不累积。

目前常用的有两相、三相、四相、五相步进电机。电机相数不同，其步距角也不同。一般两相电机的步距角为 $0.9^\circ/1.8^\circ$ ；三相、五相的步距角的为 $0.75^\circ/1.5^\circ$ 。



## 2. 实际步进电机产品简介

**保持转矩** (HOLDING TORQUE)：或静转矩,是指电机通以额定电流，且处于静态锁定状态时，电机所能输出的最大转矩。是电机选型时最重要的参数之一。通常步进电机低速时可输出的最大力矩接近保持转矩。

**定位转矩** (DETENT TORQUE)：电机各相绕组开路时，由于混合式电机转子上有永磁材料产生磁场，从而产生的转矩。一般定位转矩远小于保持转矩。是否存在定位转矩是混合式步进电机区别于反应式步进电机的重要标志。



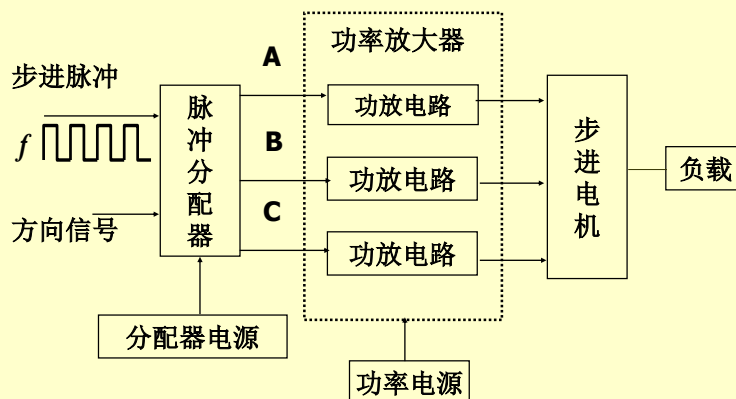
## 目 录

1. 步进电机的运行特性
2. 实际步进电机产品简介
- 3. 步进电机的驱动电路**
4. 步进电机的细分驱动
5. 步进电机系统的应用
6. 开关磁阻电机



## 3. 步进电机的驱动电路

### 一、驱动电源的组成



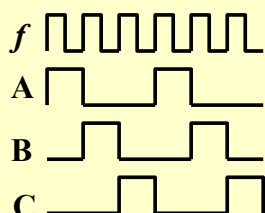
**脉冲分配器 + 功率放大电路**



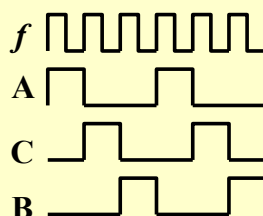
### 3.步进电机的驱动电路

#### 1. 脉冲分配器

当方向电平为低时，脉冲分配器的输出按A-B-C的顺序循环产生脉冲。



当方向电平为高时，脉冲分配器的输出按A-C-B的顺序循环产生脉冲。



#### 2. 功率放大器

将脉冲分配器的输出信号进行电流放大后给电动机的定子绕组供电，使电动机的转子产生输出转矩。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

#### 2. 步进电机驱动电源功能

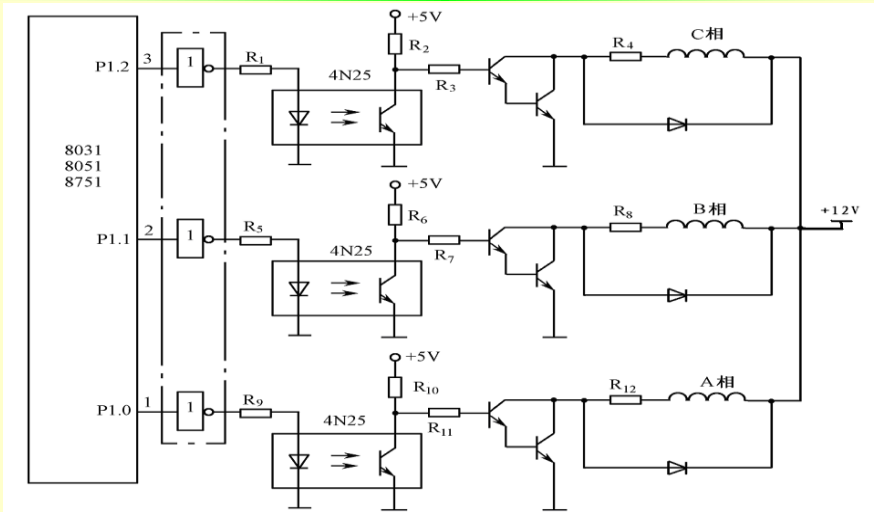
1. 控制脉冲按规定的通电方式分配到每相绕组。
2. 实现脉冲分配的硬件逻辑电路，称为环形分配。
3. 可采用软件实现脉冲分配，这种方式称为软件环分（如：计算机数字控制系统）。
4. 分配器输出的脉冲需进行功率放大，才能驱动步进电动机。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心





### 3.步进电机的驱动电路



单片机控制三相步进电机原理图



### 3.步进电机的驱动电路

节 拍		通电 顺序	控制模型	
正转	反转		二进制	十六进制
1	1	A	000000 01	01
2	6	AB	000000 11	03
3	5	B	000000 10	02
4	4	BC	000001 10	06
5	3	C	000001 00	04
6	2	CA	000001 01	05

三相六拍步进电机控制模型



### 3.步进电机的驱动电路

#### 功率放大电路

将控制脉冲进行电压和电流放大，使脉冲具有一定的功率驱动能力。

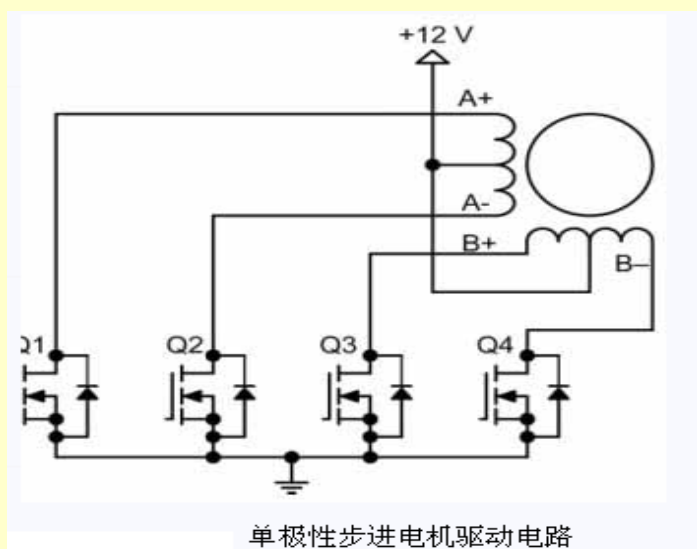
要求：

- ① 提高步进电动机的**快速性**；
- ② 提高步进电动机的**平稳性**。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

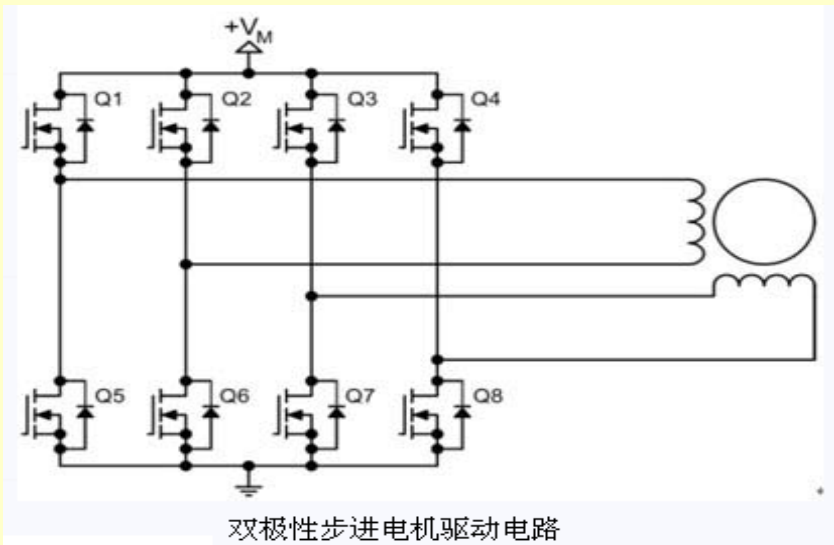


单极性步进电机驱动电路

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

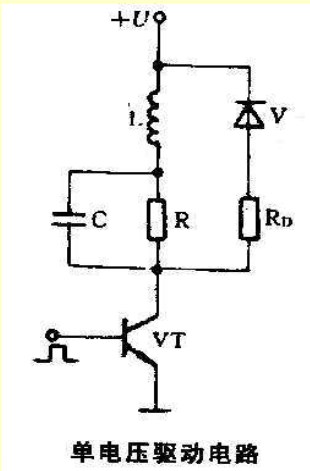


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

#### 1 单电压限流型驱动电路



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

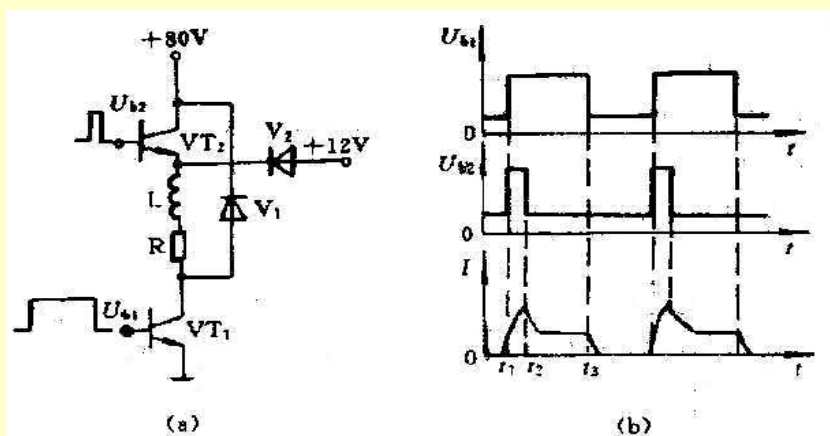
- a) VT——功率开关。
- b) L (电动机绕组) —— L 中电流不能突变, 经  $3\tau$  (时间常数  $\tau = \frac{L}{r}$ ) 时间后达到稳态电流 (L—绕组电感, r—绕组电阻)。  $\tau$  较大时, 严重影响启动频率。
- c) R (串联电阻) ——  $\tau = \frac{L}{r+R}$  缩短 上升的过渡时间, 提高工作速度。
- d) C (并联电容或加速电容) —— C 上的电压不能突变, 在截止到导通的瞬间, 电源电压全落在绕组上,  $i \uparrow \uparrow$ 。
- e) V (二极管) —— VT 截止时起续流和保护作用, 以防绕组产生的反电势击穿。
- f)  $R_D$  (串联电阻) —— 使  $i$  波形后沿变陡,  $i \downarrow \downarrow$ 。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

#### 2 高低压切换型驱动电路



高低压切换型驱动线路

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

- a) 采用高压和低压两种电压供电。
- b)  $t_1 - t_2$ 时间,  $VT_1$ 和 $VT_2$ 饱和导通,  $+80V$ 经过 $VT_1$ 和 $VT_2$ 加到L上,  $i \uparrow \uparrow$ 。
- c) 到 $t_2$ 时 (定时方式) 或 $i$ 上升到某一数值 (定流方式),  $U_{b2}$ 为低电平,  $VT_2$ 截止, L的电流由 $+12V$ 电源经 $VT_1$ 维持,  $i \downarrow$ 到 $I_{额}$ 。
- d) 到 $t_3$ 时,  $U_{b1}$ 为低电平,  $VT_1$ 截止,  $i \downarrow = 0$ 。
- e)  $U_{b1}$ 由脉冲分配器经基极电流放大获得,  $U_{b2}$ 由单稳定时或定流装置再经脉冲变压器获得。

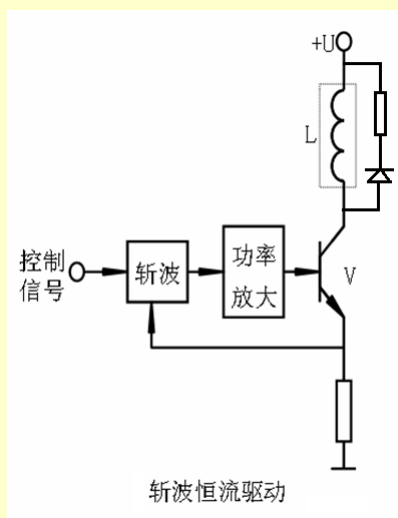
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



### 3.步进电机的驱动电路

#### 3.恒流斩波型驱动电路

控制信号为高电平时,  $V$ 导通, 绕组中电流迅速上升; 上升到上限预定值时, 通过R反馈使 $V$ 截止, 绕组中电流迅速下降; 下降到下限预定值, 通过R反馈使 $V$ 导通, 绕组电流又上升。反复进行, 形成一个在上下预定值间波动的电流波形, 近似恒流。功耗小, 效率高, 运行特性好。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

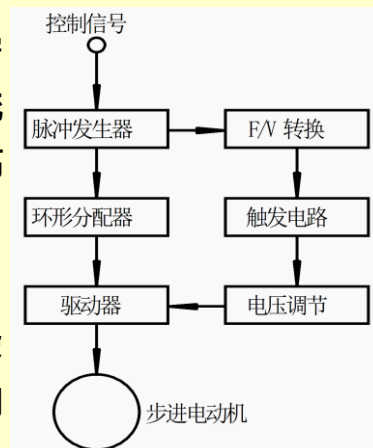


### 3.步进电机的驱动电路

#### 4.分频段（调频）调压驱动电路

低频时，节拍脉冲较宽，只需较低电源电压，即可达到额定电流；高频时，节拍脉冲变窄，需较高电源电压，使绕组电流迅速上升，以提高步进电机的负载能力。

把输入脉冲频率分为几个频段，每段工作电压不同，高频段采用较高电压，低频段采用较低电压。

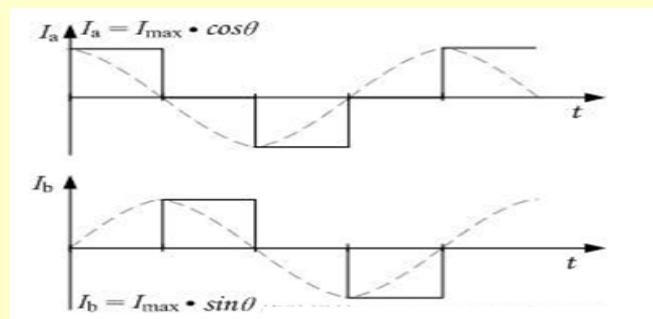
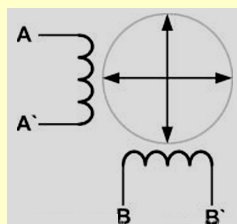
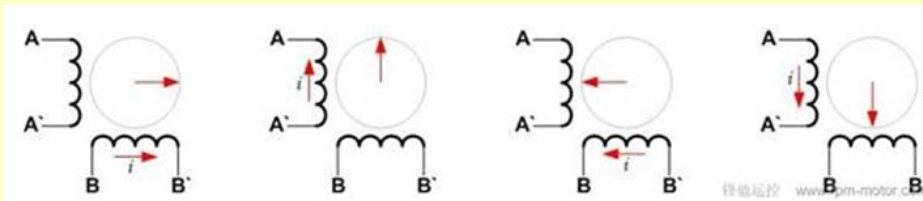


## 目 录

1. 步进电机的运行特性
2. 实际步进电机产品简介
3. 步进电机的驱动电路
- 4. 步进电机的细分驱动**
5. 步进电机系统的应用
6. 开关磁阻电机



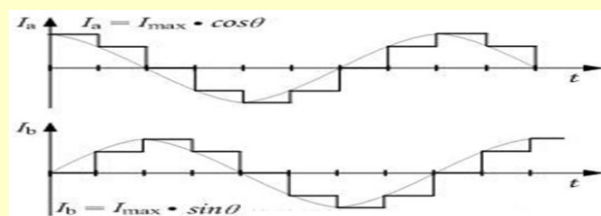
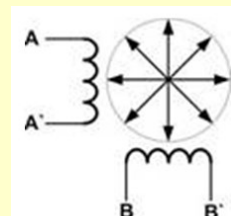
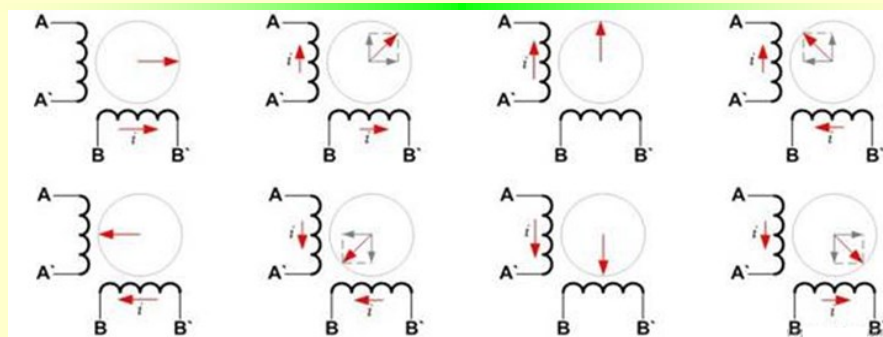
## 4. 步进电动机的细分驱动



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



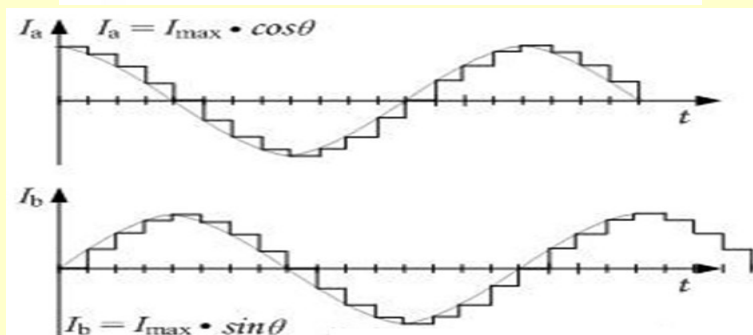
## 4. 步进电动机的细分驱动



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4. 步进电动机的细分驱动



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



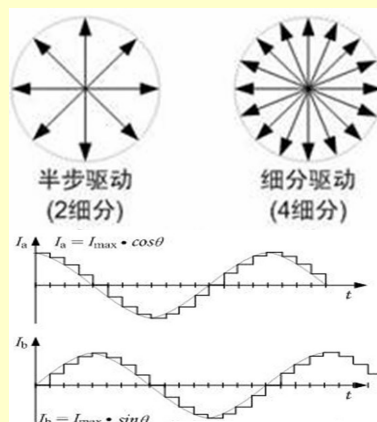
## 4. 步进电动机的细分驱动

### 细分驱动器的原理

通过改变相电流的大小，以改变合成磁场的夹角来控制步进电机运转。

### 驱动器细分后的主要优点：

- (1) 消除了电机的低频振荡。
- (2) 同时也提高了电机的输出转矩。
- (3) 提高了电机步进运行的分辨率。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心





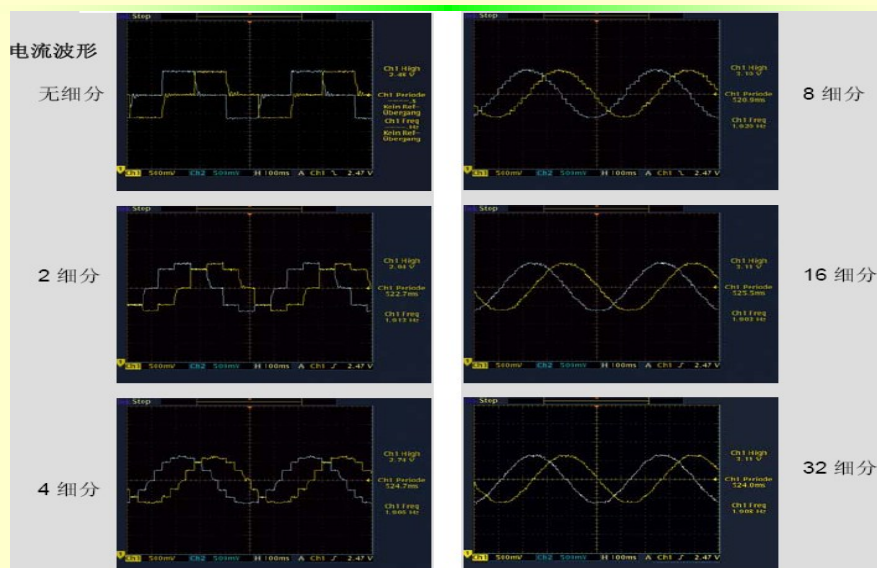
#### 4. 步进电动机的细分驱动

在没有细分驱动器时，用户主要靠选择不同相数的步进电机，以及不同的驱动拍数来满足应用所需对步距角的要求。如果使用细分驱动器，则“相数”将变得没有意义，用户只需在驱动器上改变细分数，就可以改变步距角。

**实际步进电机应用中，由于电机制造的精度限制和电流控制的精度限制，超过16倍以上的细分驱动，已不能更进一步改善驱动性能。**

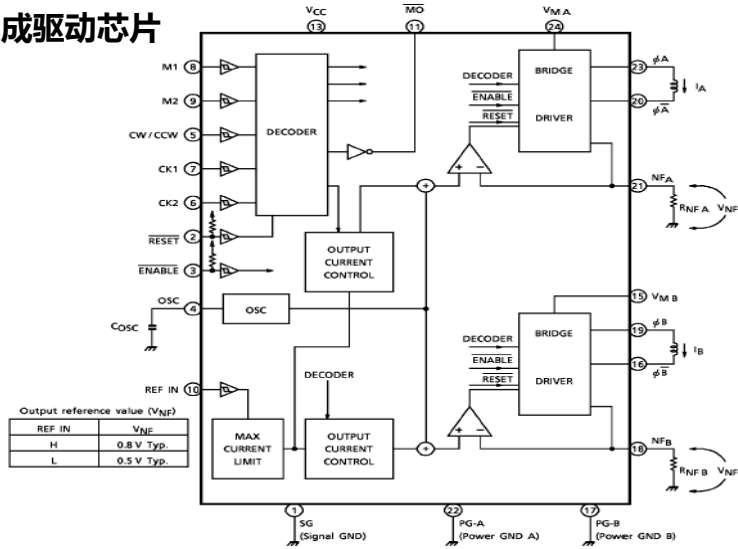


#### 4. 步进电动机的细分驱动



# 4. 步进电动机的细分驱动

## 步进电机集成驱动芯片

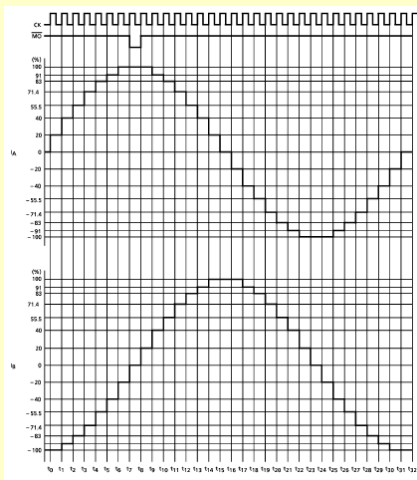
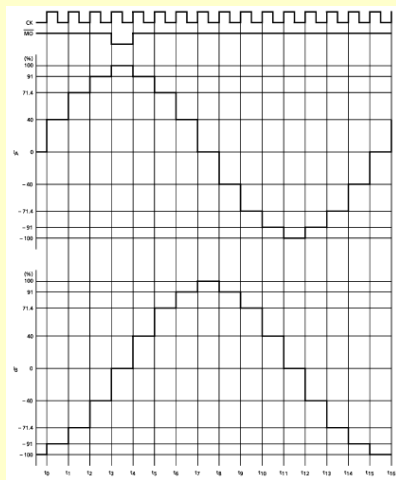


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



# 4. 步进电动机的细分驱动

## 细分与PWM斩波

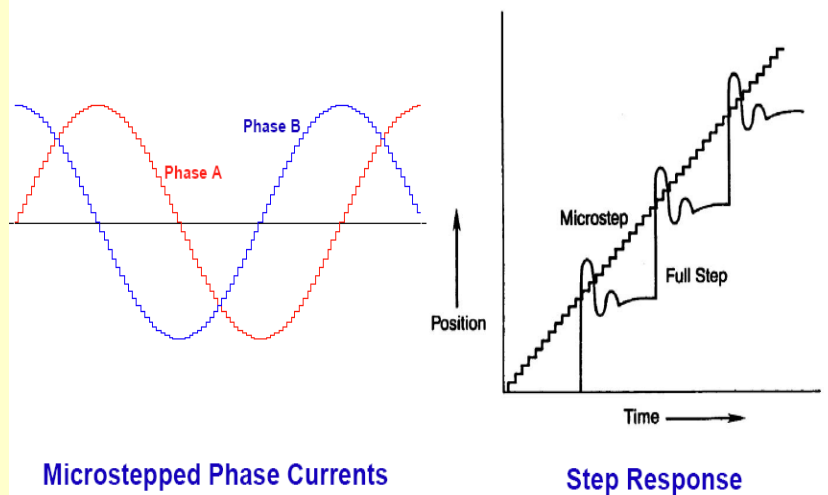


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4. 步进电动机的细分驱动

### 细分与PWM斩波

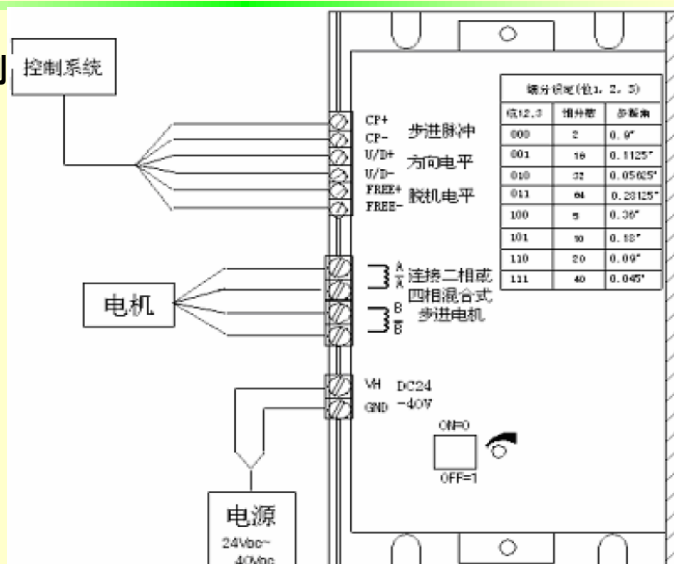


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4. 步进电动机的细分驱动

### 步进电机 细分驱动器示例

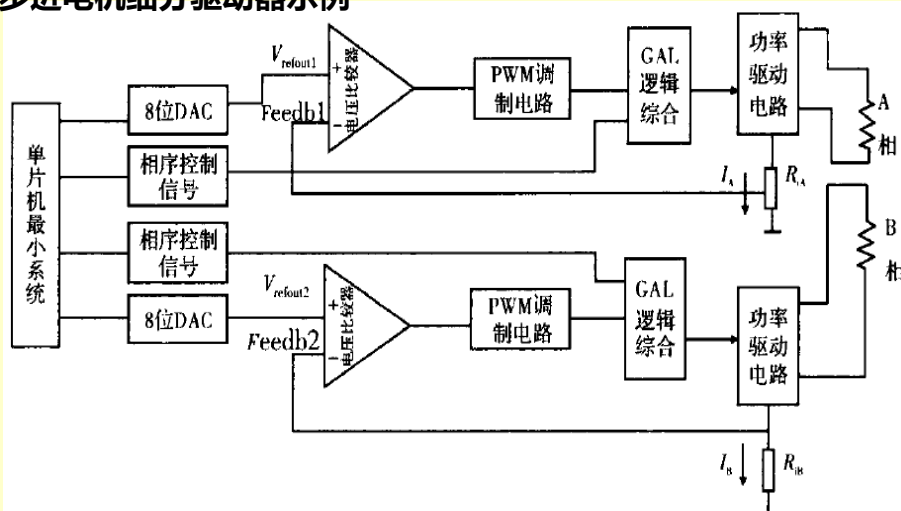


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4. 步进电动机的细分驱动

### 步进电机细分驱动器示例



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4. 步进电动机的细分驱动

### 步进电机细分驱动器示例

高性能、低价格、低噪音、平稳性极好

设有16档等角度恒力矩细分最高分辨率60000步/转，使运转平滑分辨率提高

采用独特的控制电路，有效的降低了噪音，增加了转动平稳性

最高响应频率可达200Kpps

步进脉冲停止超过100ms时，线圈电流自动减半减小了许多场合的电机过热

双极恒流斩波方式，使得相同的电机可以输出更大的速度和功率

光电隔离信号输入/输出

驱动电流从0.2A/相到5.8A/相连续可调

可以驱动任何5.8A相电流以下三相混合式步进电机

单电源输入，电压范围：DC16-60V

出错保护：——过热保护——过流、电压过低保护

体积小巧：SC3660MA是一款经济、小巧的步进驱动器，体积为25x136x92mm



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 4. 步进电动机的细分驱动

### 步进电机细分驱动器示例

- ✧ 纯正弦电流控制技术,超低噪音
- ✧ 电机和驱动器发热很低
- ✧ 输入电压 80VAC—220VAC, 峰值电流达 7.8A
- ✧ 静止时电流自动减半
- ✧ 可驱动 4,6,8 线两相步进电机
- ✧ 光隔离信号输入,最高响应频率 400KHz
- ✧ 16 档细分可选,400-10000 步/转
- ✧ 具有过压,欠压,过流,过热,短路等保护功能



## 4. 步进电动机的细分驱动

### 步进电机细分驱动器示例

- 多种控制模式
  - 脉冲/方向
  - 双脉冲
  - 正交相位脉冲（编码器跟随）
  - 速度模式，速度软件设定或模拟量调节
  - 命令控制模式。通过 RS-232 串口通信接收运动控制命令，实现实时控制。
- 供电电压 24-48VDC (MSST5) /24-80VDC(MSST10)
- 输出相电流（峰值）0.1-5A(MSST5)/0.1-10A(MSST10)，软件设定
- 微步方式 200-51200 步/转，2 的倍数，软件设定
- 配合 MisNet™ Hub 实现多轴控制
- RS232 串口通信
- 自动减流至 0~90%之间的任意百分比，软件设定



# 目 录

- 1. 步进电机的运行特性
- 2. 实际步进电机产品简介
- 3. 步进电机的驱动电路
- 4. 步进电机的细分驱动
- 5. 步进电机系统的应用
- 6. 开关磁阻电机



## 5. 步进电机系统的应用

	步进电机系统	伺服电机系统
力矩范围	中小力矩（一般在 20Nm 以下）	小中大，全范围
速度范围	低（一般在 2000RPM 以下，大力矩电机小于 1000RPM）	高（可达 5000RPM），直流伺服电机更可达 1~2 万转/分
控制方式	主要是位置控制	多样化智能化的控制方式，位置/转速/转矩方式
平滑性	低速时有振动（但用细分型驱动器则可明显改善）	好，运行平滑
精度	一般较低，细分型驱动时较高	高（具体要看反馈装置的分辨率）
矩频特性	高速时，力矩下降快	力矩特性好，特性较硬
过载特性	过载时会失步	可 3 倍过载（短时）
反馈方式	大多数为开环控制，也可接编码器，防止失步	闭环方式，编码器反馈
编码器类型	-	光电型旋转编码器（增量型/绝对值型），旋转变压器型
响应速度	一般	快
耐振动	好	一般（旋转变压器型可耐振动）
温升	运行温度高	一般
维护性	基本可以免维护	较好
价格	低	高



## 5. 步进电机系统的应用

### 1. 基本特点

A) 工作时的**步数或转速**（**角度控制或速度控制**）只与**控制脉冲**同步，而与电压、负载、**温度、冲击**（环境条件）等因素**相对无关**。

步距角  $\beta$ ——步进电动机的主要性能指标，也直接影响启动和运行频率。

$$\beta \leq i \theta_{\min}$$

式中:  $i$  —传动比;

$\theta_{\min}$ —负载轴要求的最小位移增量（或称脉冲当量）。

B) 按控制要求进行**启动、停止、反转**或**改变速度**。



## 5. 步进电机系统的应用

### 2 最大负载转矩限制

要求:  $T_{st} > T_{L\max}$

一般使用中, 取:

$$T_{st} = T_{L\max} / (0.3 \sim 0.5)$$

式中:  $T_{st}$ ——步进电动机启动转矩;

$T_{L\max}$ ——最大静负载转矩。

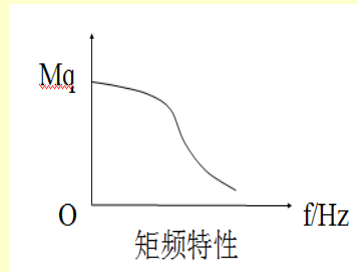


## 5. 步进电机系统的应用

### 3. 脉冲信号频率对运行的影响

- 空载启动频率  $f_{0st}$  —— 步进电动机在空载情况下，不失步启动所允许的最高频率。

在负载情况下，不失步启动所允许的最高频率随负载的增加而显著下降。



- 连续运行频率  $f_c$  —— 当步进电动机运行频率连续上升时，电动机不失步运行的最高频率。



## 5. 步进电机系统的应用

其它步进电机的指标参数：

- 1) 精度——用一周内最大的步距角误差值表示。

步距精度

$$\Delta\beta = i(\Delta\beta_L)$$

式中： $\Delta\beta_L$ —负载轴上所允许的角度误差。

- 2) 输入电压U、输入电流I和相数m —— 三项指标与驱动电源有关。





## 5. 步进电机系统的应用

### 步进电机系统应用的注意事项

- 1) 驱动电源的优劣对控制系统的运行影响很大。
- 2) 若负载转动惯量较大，则在低频下启动，再上升到工作频率；停车时从工作频率下降到适当频率再停车。
- 3) 在工作过程中，避免由负载突变而引起的误差。
- 4) 在工作中若发生失步现象，一般先检查负载（是否过大）、电源电压（是否正常），再检查驱动电流波形（是否正常）。



## 5. 步进电机系统的应用

### 步进电机系统应用的注意事项

- 5) 步进电机是增量运动，上电初始不确定转子在什么位置，在许多应用场合需要配置寻零传感器，进行寻零运动后，获得绝对位置，进行绝对位置伺服运动。
- 6) 细分驱动的步进电动机系统也有配装位置传感器，构成位置闭环控制系统应用的方案。

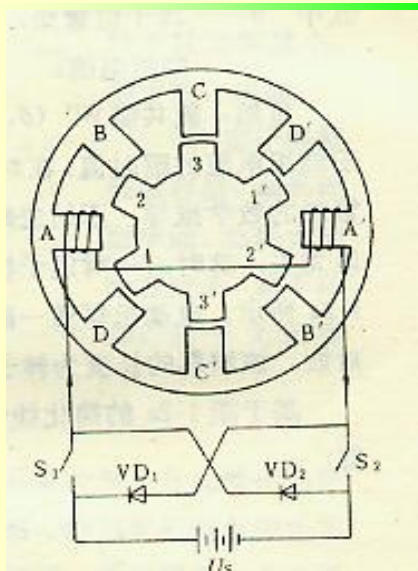


## 目 录

1. 步进电机的运行特性
2. 实际步进电机产品简介
3. 步进电机的驱动电路
4. 步进电机的细分驱动
5. 步进电机系统的应用
- 6. 开关磁阻电机**



## 6. 开关磁阻电机 (SRM)



SRM是一种新型可调速电机，由磁阻电机、功率变换器、转子位置Sensor和控制器四部分组成。

SRM定子和转子都是凸极式，由普通硅钢片叠压而成。SRM的定子和转子的极数不相等，一般情况下定子极数比转子多2极。



## 6. 开关磁阻电机 (SRM)

### SRM的原理和特点

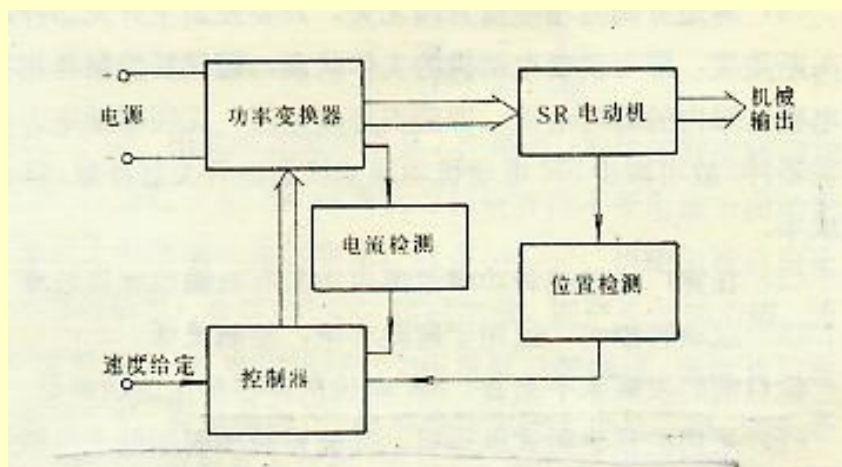
- 定子上有集中绕组，径向相对的两个绕组串联构成一个两极磁极，称为一相。转子既无绕组也无永磁体。
- SRM与步进电机原理相似，磁通沿着磁阻最小的路径闭合形成磁阻转矩。各相按照一定相序通电时，转子依序旋转。
- SRM是一种相对大步距角，带有转子位置反馈的步进电机。相数增多，步距角可减小，转矩脉动可减小，但复杂度和成本都会增加。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 6. 开关磁阻电机 (SRM)

### SRM驱动系统的基本构成为



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



## 致 谢

本文档所引用的许多素材，来源于互联网上国内外的课件、科技论文、文章、网页等。本文引用只是为了给学生提供更好的教学素材，非商业目的。对这些所引用素材的原创者，在此表示深深的谢意。

