



自动控制实践I

# 无刷直流电动机

哈尔滨工业大学空间控制与惯性技术研究中心 解伟男

# 目 录

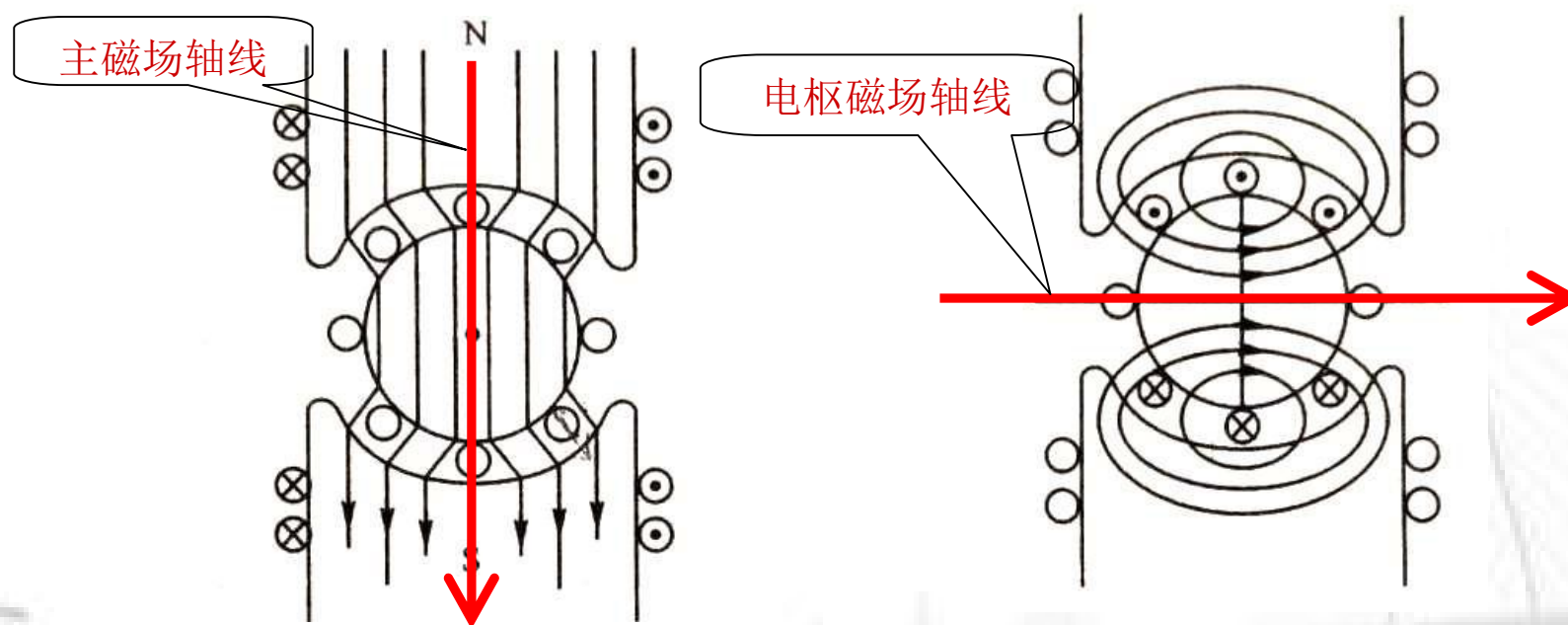
---

- 1 无刷直流电动机概述
- 2 无刷直流电动机的结构
- 3 无刷直流电动机的原理
- 4 无刷直流电动机的特性
- 5 交流伺服电动机
- 6 无刷直流电动机的应用

# 1 无刷直流电动机概述

○ 直流有刷电机

n 两极直流有刷电机

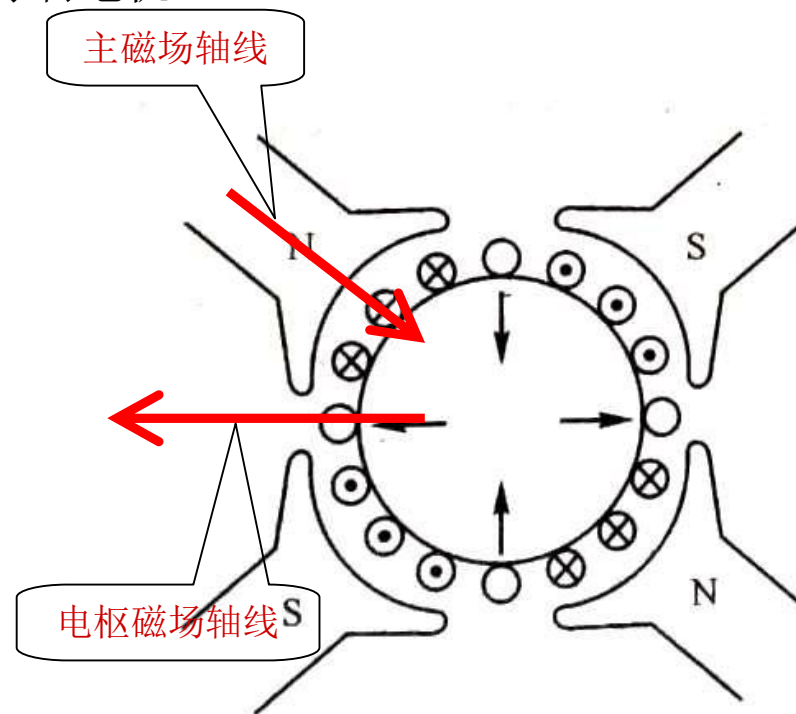


$$T = K \sin(pq) = K \sin 90^\circ = K$$

# 1 无刷直流电动机概述

## ○ 直流有刷电机

### n 四极直流有刷电机

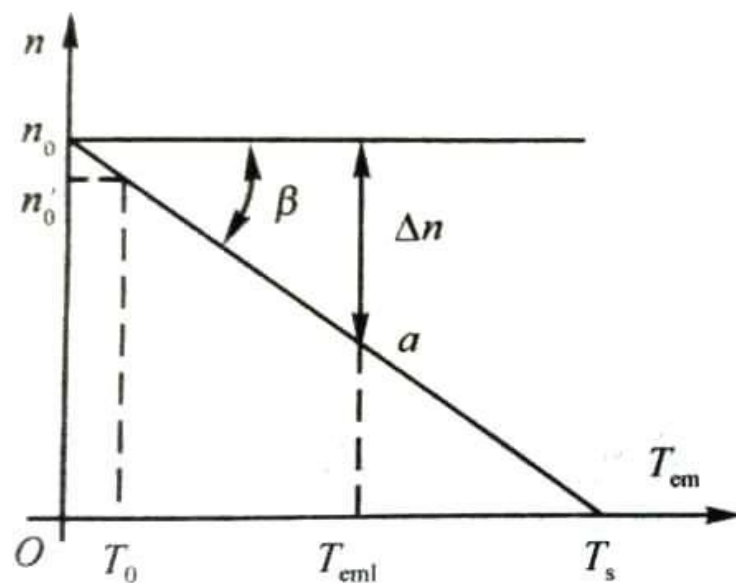


$$T = K \sin(pq) = K \sin 90^\circ = K$$

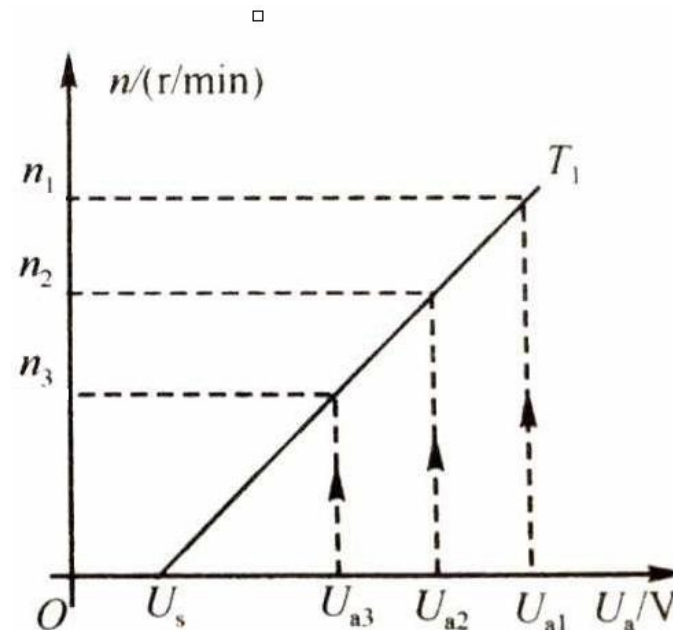
# 1 无刷直流电动机概述

## ○ 直流有刷电机

n 机械特性



n 调节特性



# 1 无刷直流电动机概述

## ○ 直流有刷电机优点

- n 直流有刷电机定子和转子的磁场轴线之间的夹角在 $90^\circ$  电角左右，与运行中的负载无关。
- n 直流电机的磁极磁场与电枢电流相互独立，可分别控制。



- n 机械特性和调节特性线性度好，转矩大，控制方法简单。

## ○ 直流有刷电机缺点

- n 存在换向器和电刷，机械结构复杂，运行中有火花与摩擦。

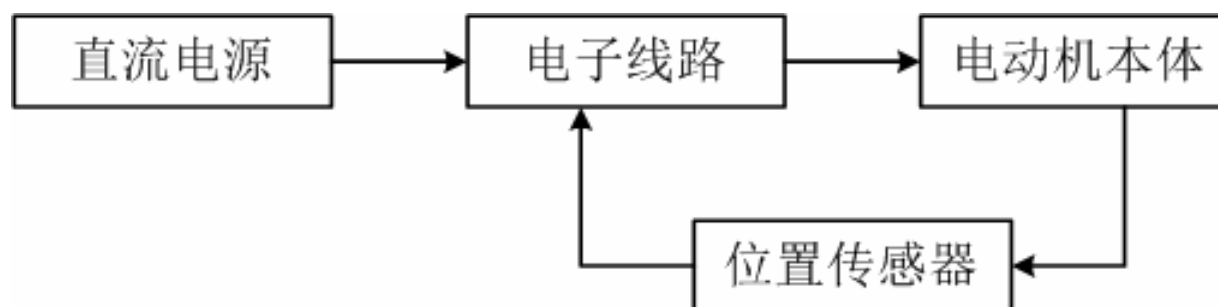


- n 电枢电流和功率受到限制
- n 转子转速受到限制
- n 产生火花，应用环境受到限制，且需要维护

# 1 无刷直流电动机概述

## ○ 无刷直流电动机

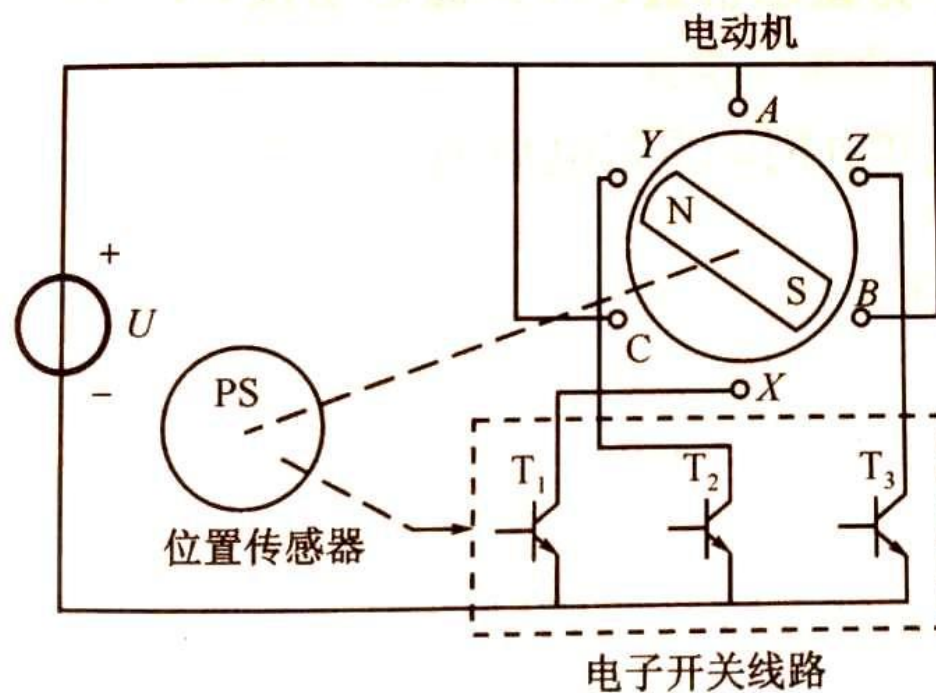
- n 用电子开关电路和位置传感器代替电刷和换向器
- n 永磁式无刷直流电动机又称为电子换向式无刷直流电动机，简称无刷直流电动机或直流无刷电动机。



- n 优点：既有直流电动机优点，又没有电刷
- n 缺点：控制装置比较复杂

## 2 无刷直流电动机的结构

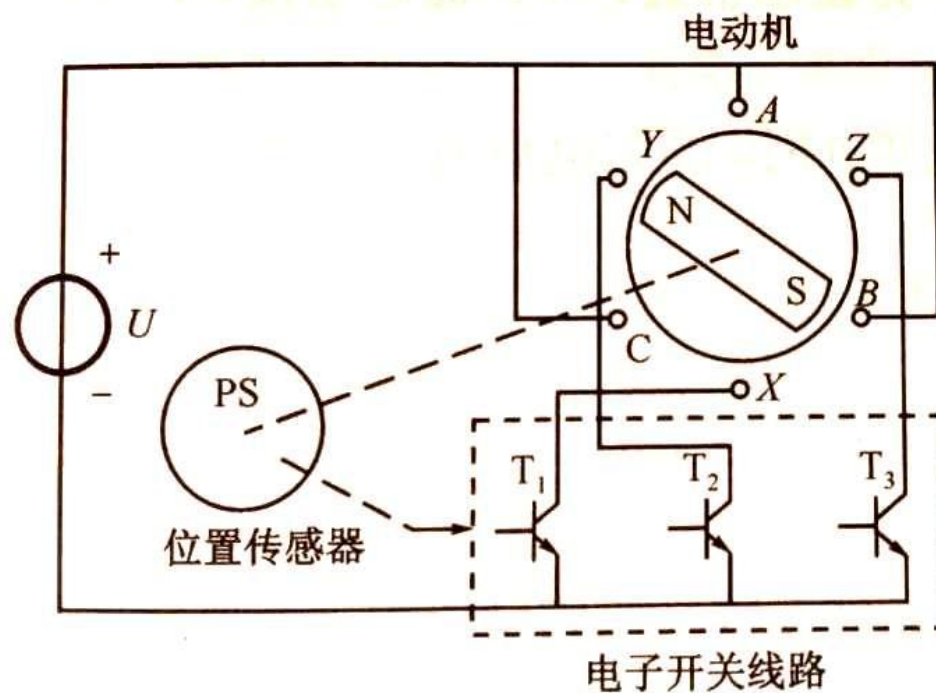
- 结构：电子开关线路+电动机+位置传感器
  - n 电枢绕组放在定子上，绕组是多相绕组，常用三相对称绕组
  - n 永磁体放在转子上，由永磁磁极和软磁磁轭组成
  - n 电机本体与永磁同步电动机相似，但转子上没有启动绕组





## 2 无刷直流电动机的结构

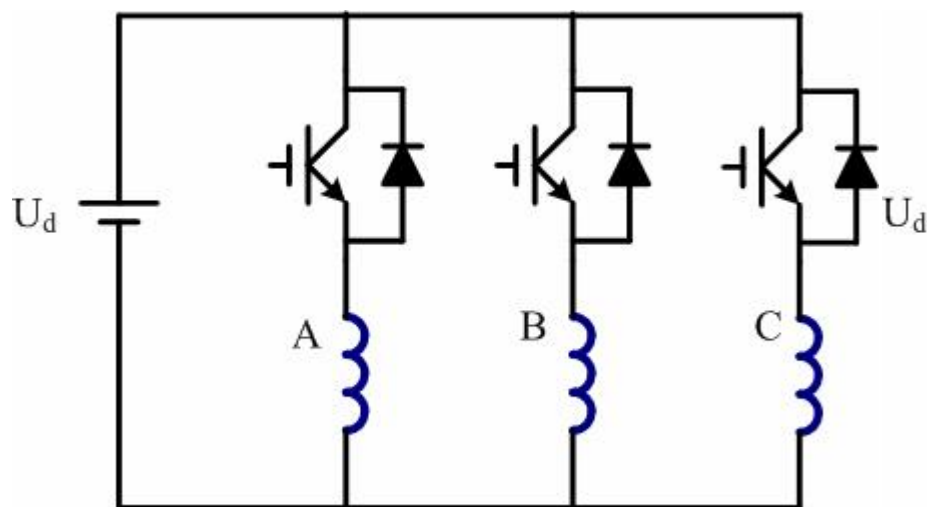
- 结构：电子开关线路+电动机+位置传感器
  - n 电枢的各相绕组与开关电路中的功率开关元件连接
  - n 位置传感器测量转子的位置，使各晶体管在转子适当位置导通或截止，从而使各相绕组电流随转子位置的改变按一定顺序换流，实现了无电刷无接触式换相



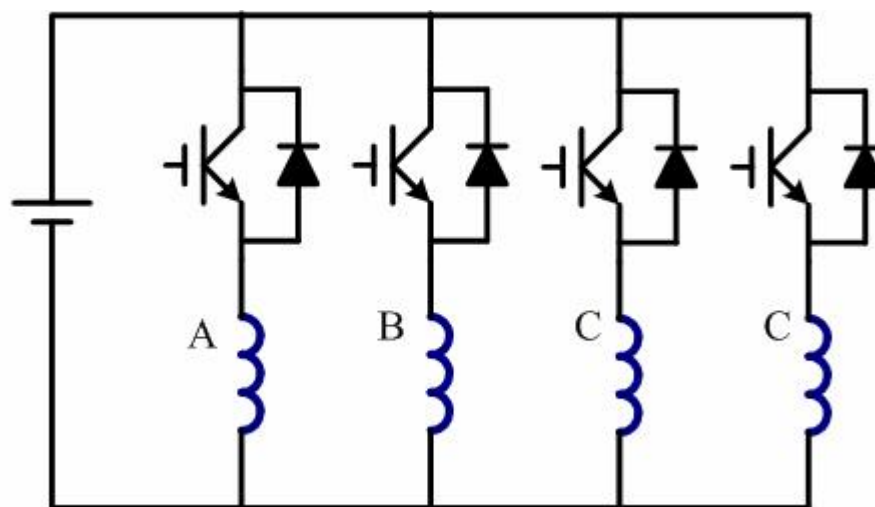
## 2 无刷直流电动机的结构

○ 开关电路

n 半桥式



三相半桥式开关电路

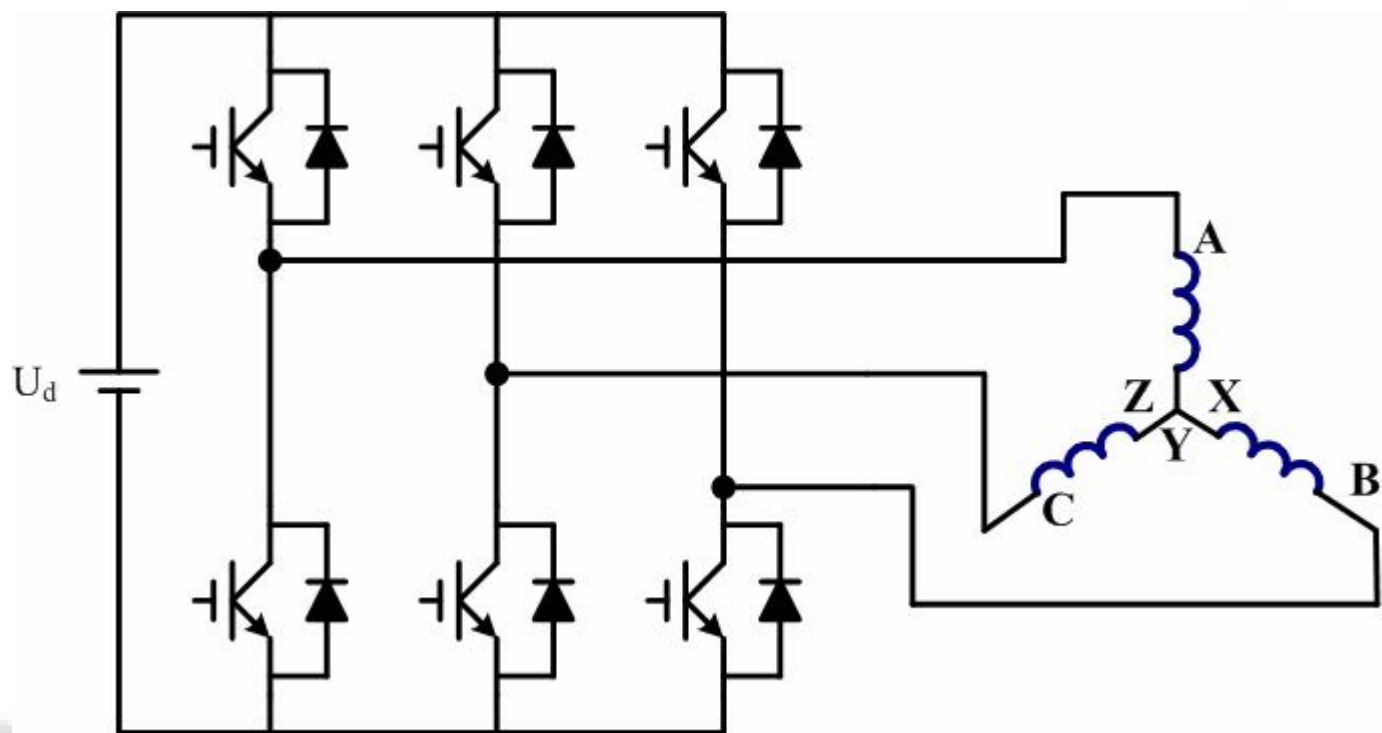


四相半桥式开关电路

## 2 无刷直流电动机的结构

○ 开关电路

n 桥式

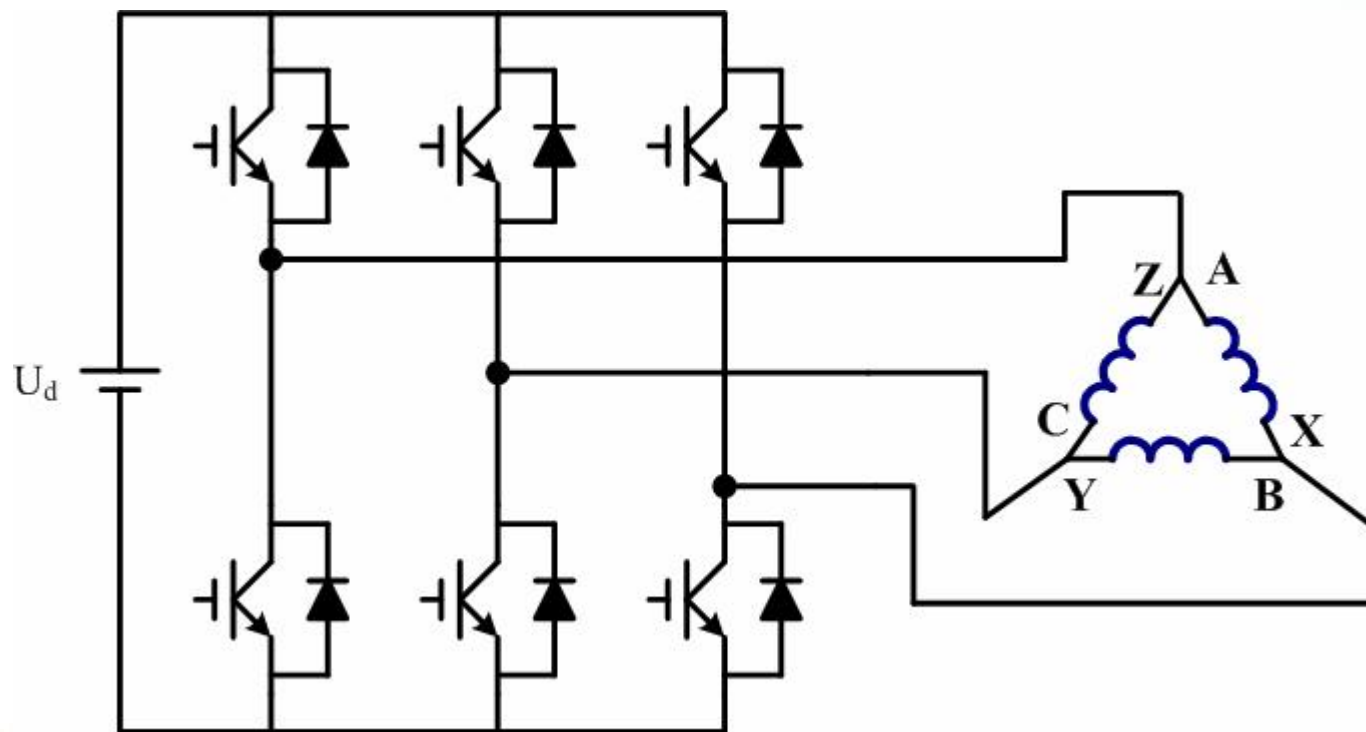


星形联接三相桥式开关电路

## 2 无刷直流电动机的结构

○ 开关电路

n 桥式

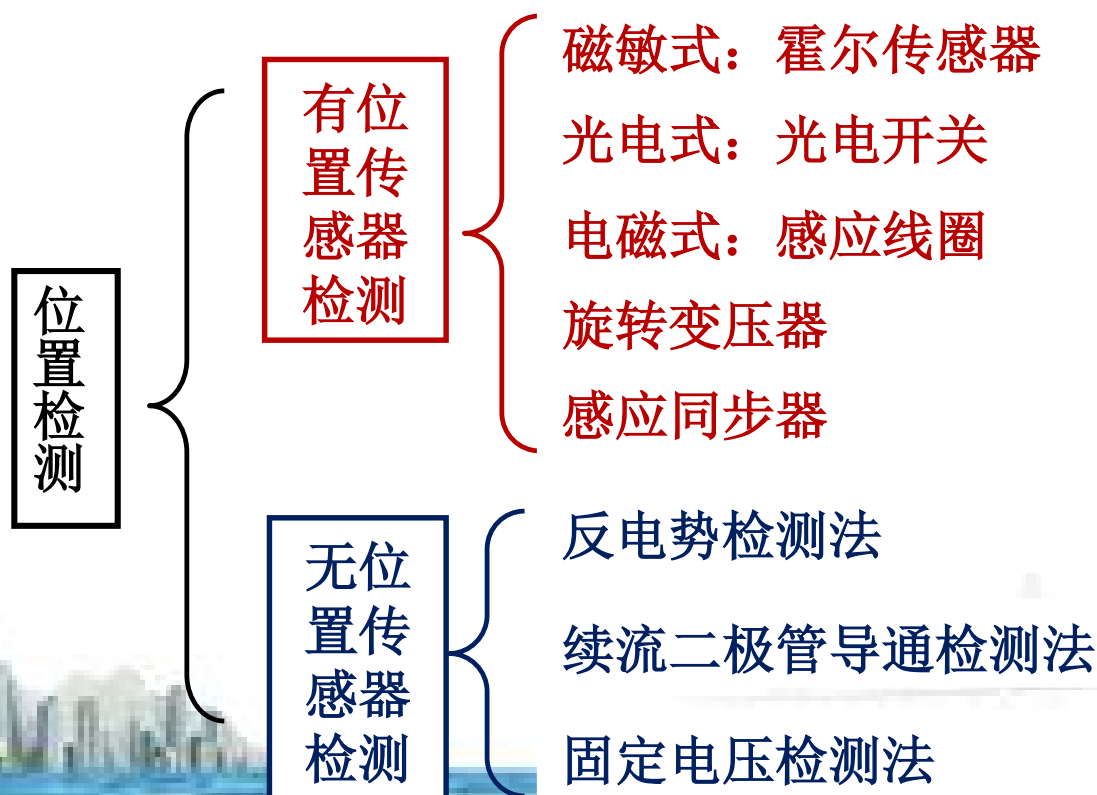


三角形联接三相桥式开关电路

## 2 无刷直流电动机的结构

### ○ 位置传感器

- n 检测转子磁场相对于定子绕组的位置，并在确定的相对位置上发出信号控制开关电路，改变定子绕组的电流



## 2 无刷直流电动机的结构

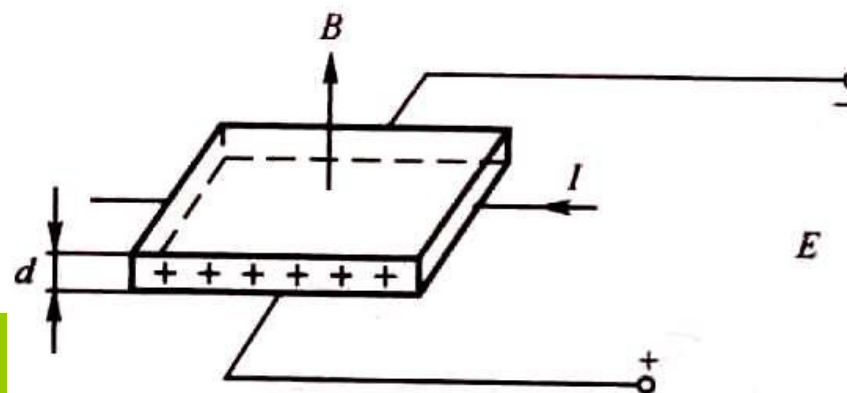
### ○ 位置传感器

n 霍尔传感器：霍尔传感器是根据霍尔效应制作的一种磁场传感器。霍尔效应是磁电效应的一种。

### n 霍尔效应原理

将半导体薄片放置于磁场中，在薄片的两侧通以电流  $I$ ，在薄片薄片的另外两侧就会产生电势  $E$

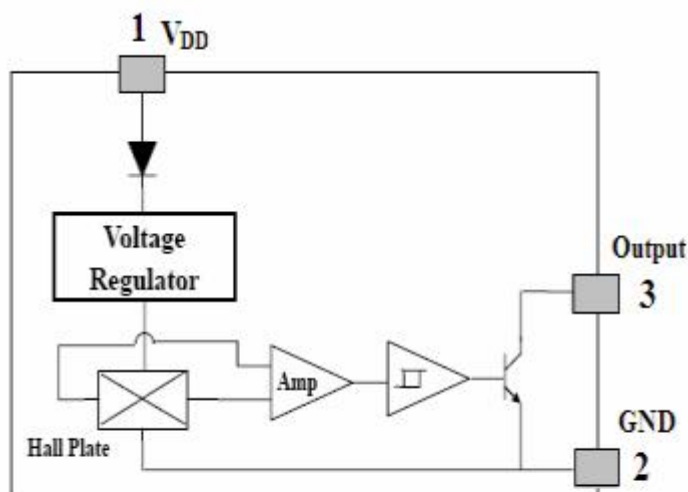
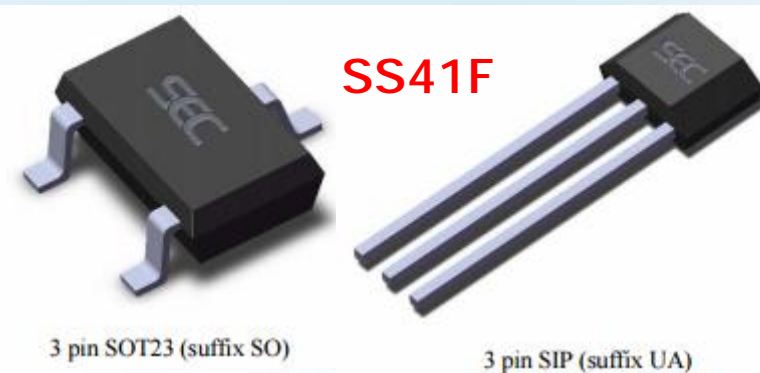
$$E = \frac{R_H}{d} BI \quad \text{或} \quad E = \frac{R_H}{d} BI \cos \theta$$



$R_H$ 为霍尔常数； $B$ 为磁通密度； $I$ 为电流； $d$ 为磁场方向的薄片厚度； $\theta$ 为磁感应强度 $B$ 和霍尔元件平面法线夹角

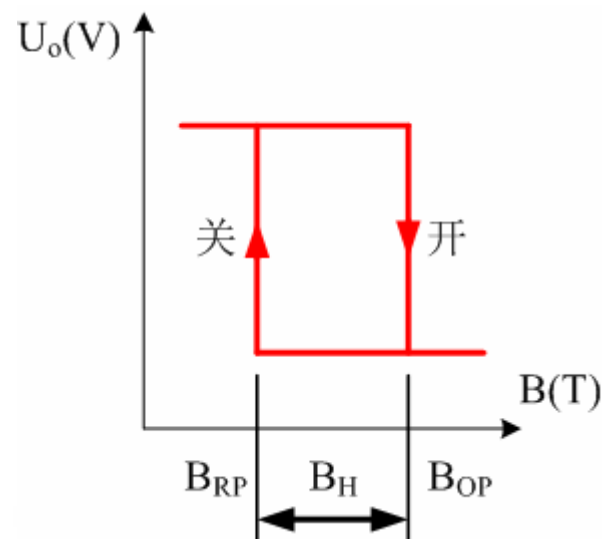
## 2 无刷直流电动机的结构

- 位置传感器
- n 霍尔传感器



SIP Package  
Pin 1 -  $V_{DD}$   
Pin 2 - GND  
Pin 3 - OUT

SOT Package  
Pin 1 -  $V_{DD}$   
Pin 2 - OUT  
Pin 3 - GND

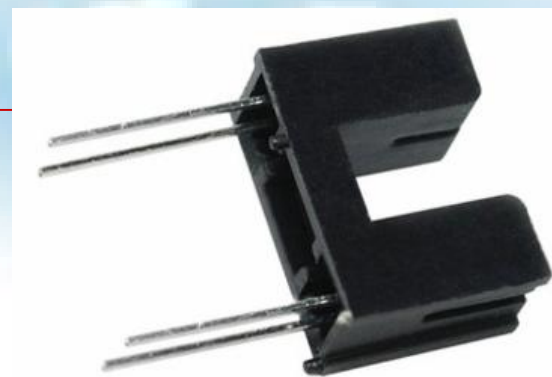




## 2 无刷直流电动机的结构

○ 位置传感器

n 光电开关



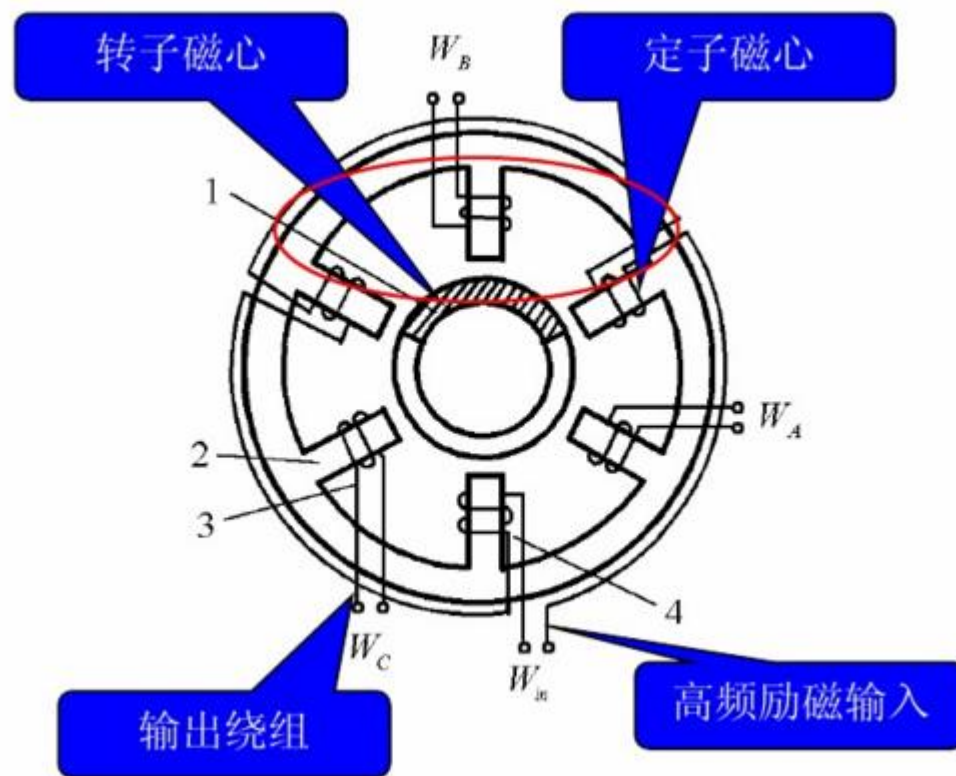
ITR9606





## 2 无刷直流电动机的结构

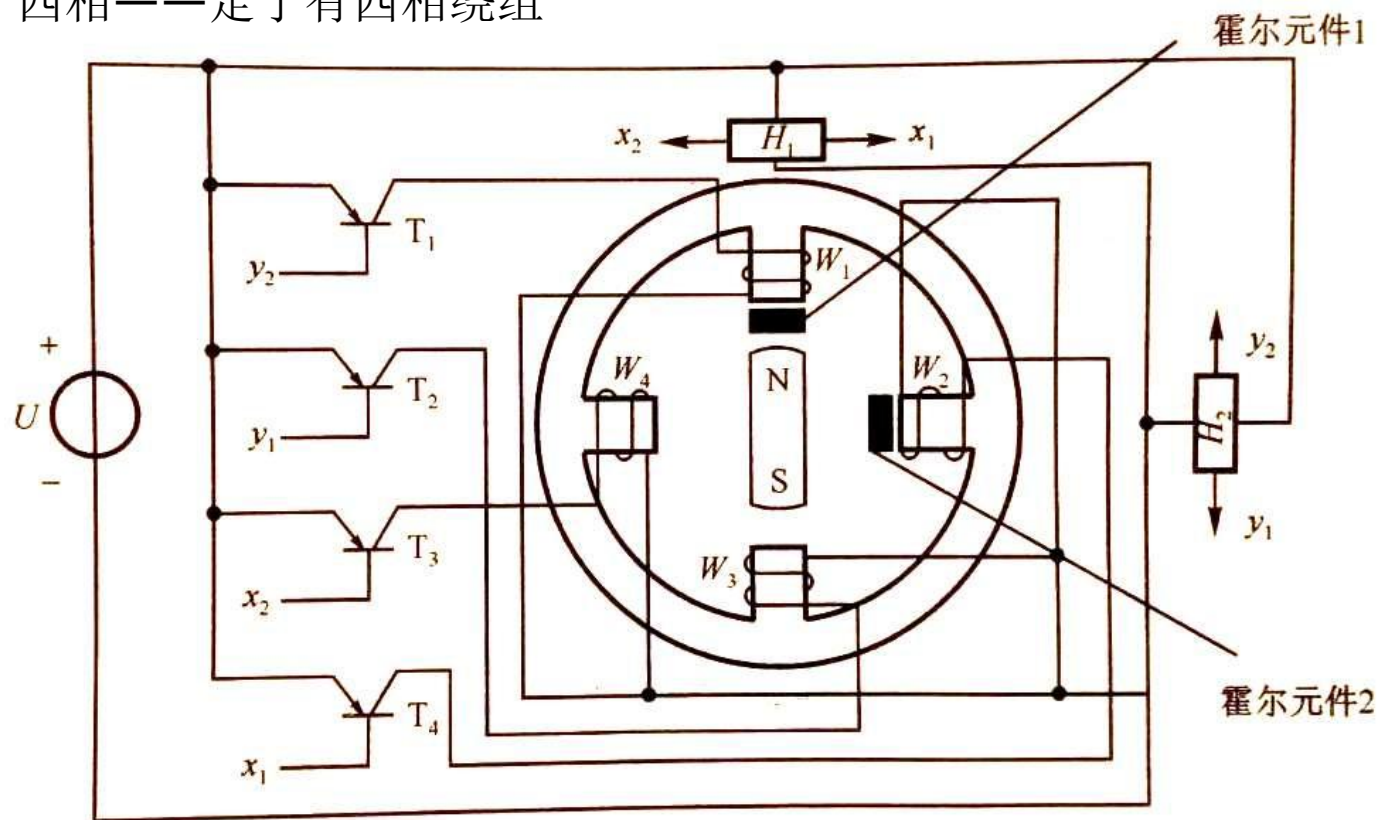
- 位置传感器
  - n 电磁式位置传感器



### 3 无刷直流电动机的原理

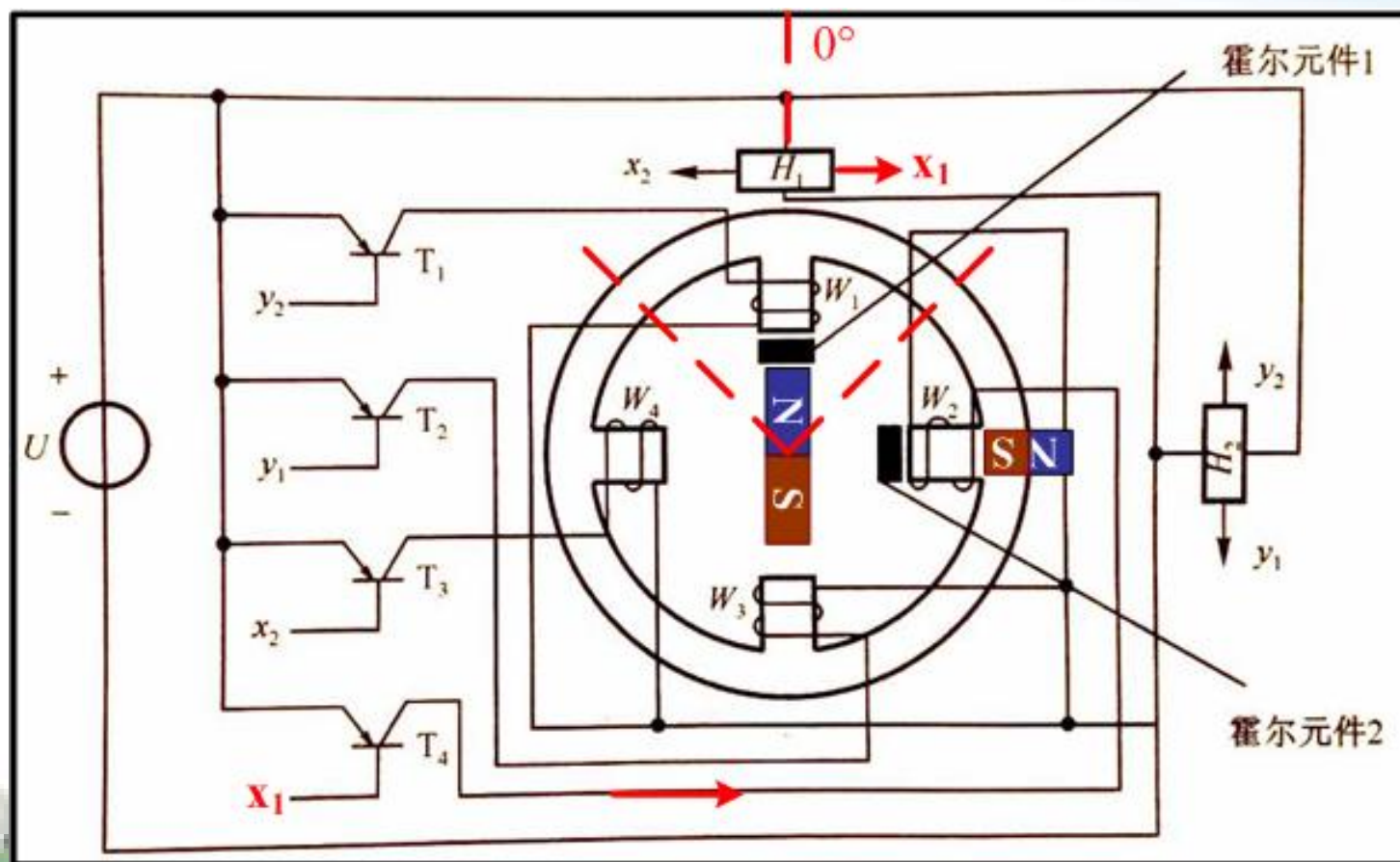
#### ○ 两极四相电机(星形)

- n 两极——转子为2极永磁体
- n 四相——定子有四相绕组



### 3 无刷直流电动机的原理

#### ○ 两极四相电机



转子 $\pm 45^\circ$   
之间



霍尔1中 $X_1$   
输出



$T_4$ 导通



$W_2$ 绕组导通



$T = k \sin \theta$



顺时针转动



10:58:52

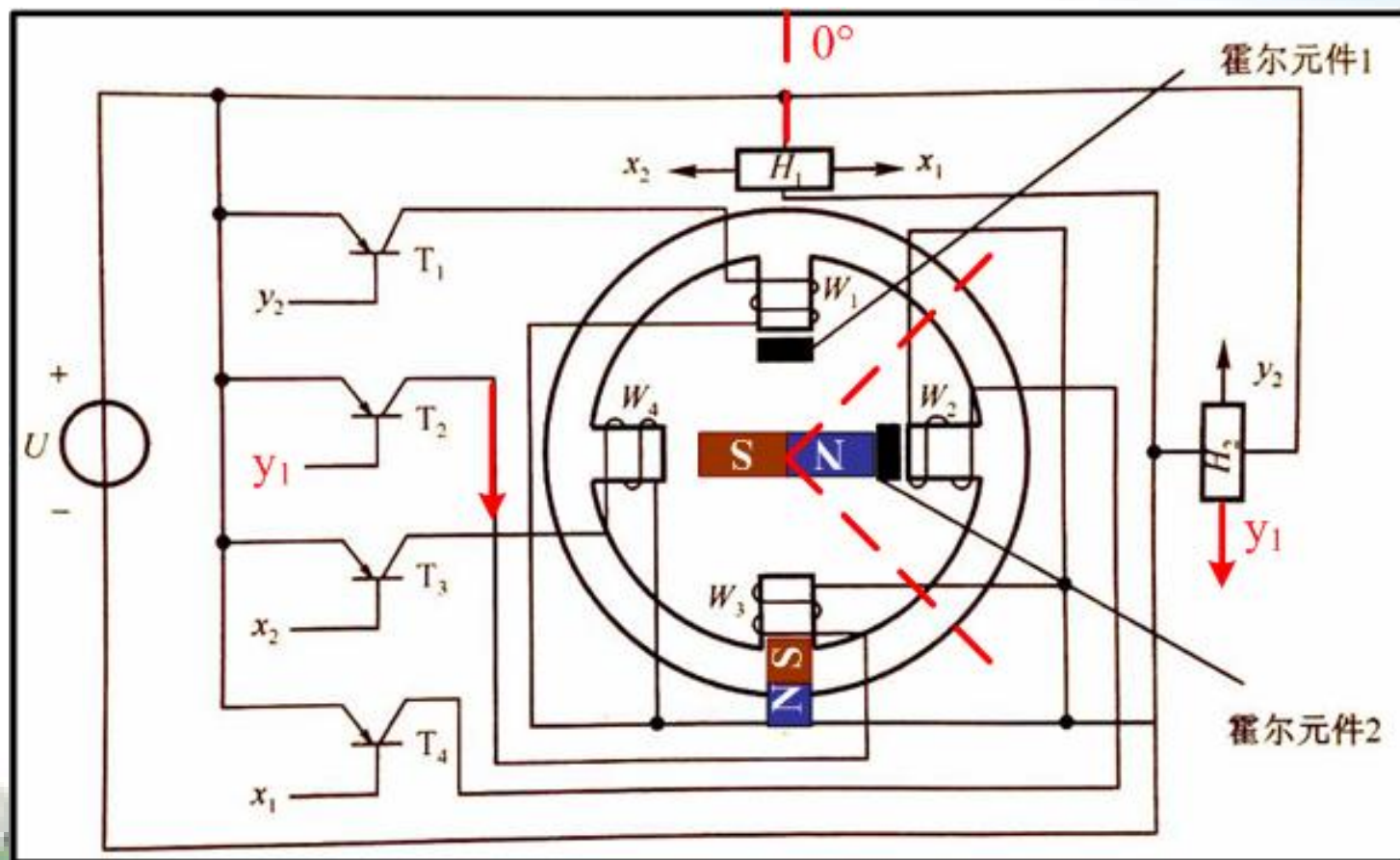
19



哈尔滨工业大学  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极四相电机



转子 $90^\circ$   
 $\pm 45^\circ$  之间



霍尔2中 $y_1$ 输出



$T_2$ 导通



$W_3$ 绕组导通



$T = k \sin \theta$

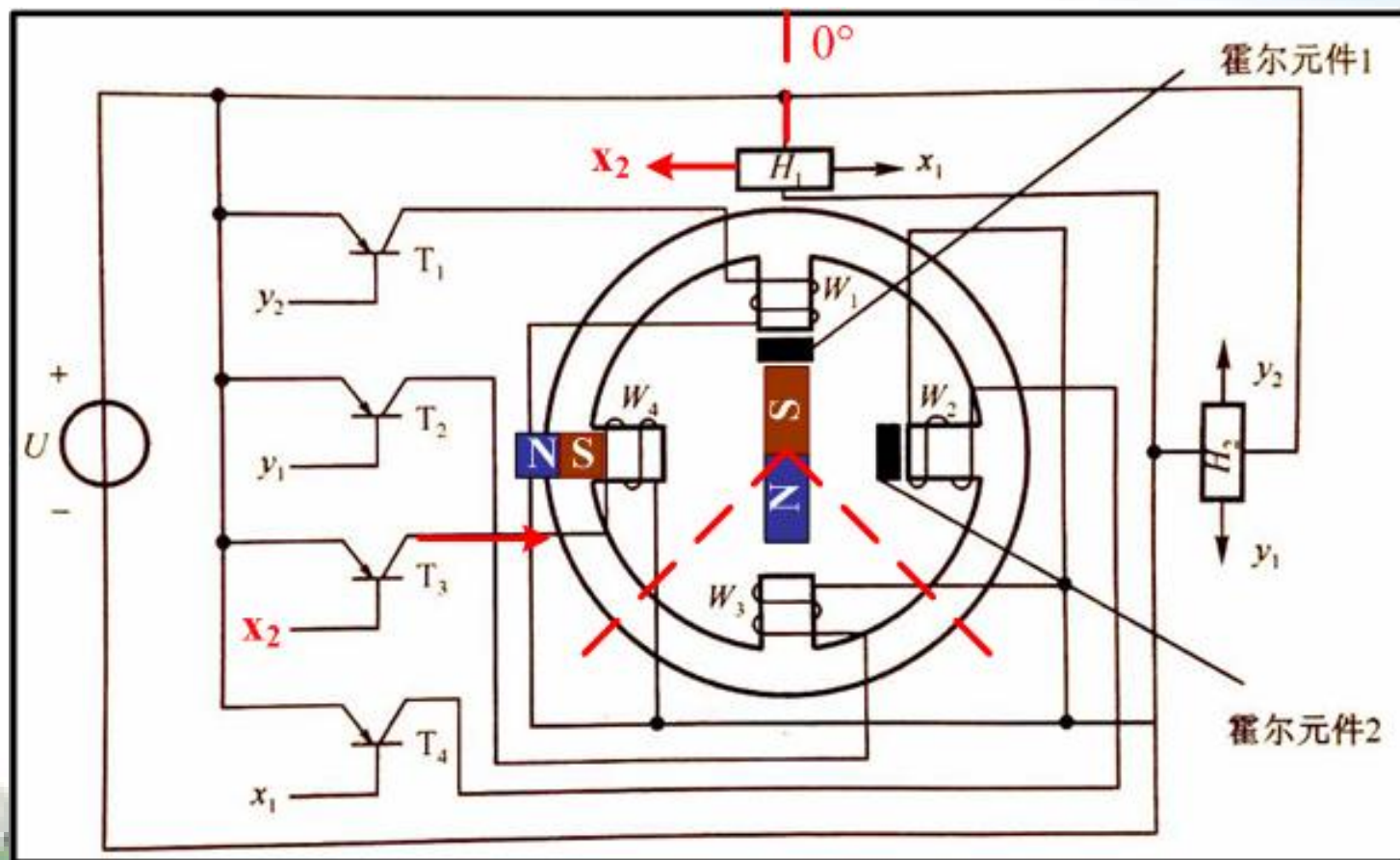


顺时针转动



### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极四相电机



转子 $180^\circ$   
 $\pm 45^\circ$  之间

霍尔1中 $x_2$ 输出

$T_3$ 导通

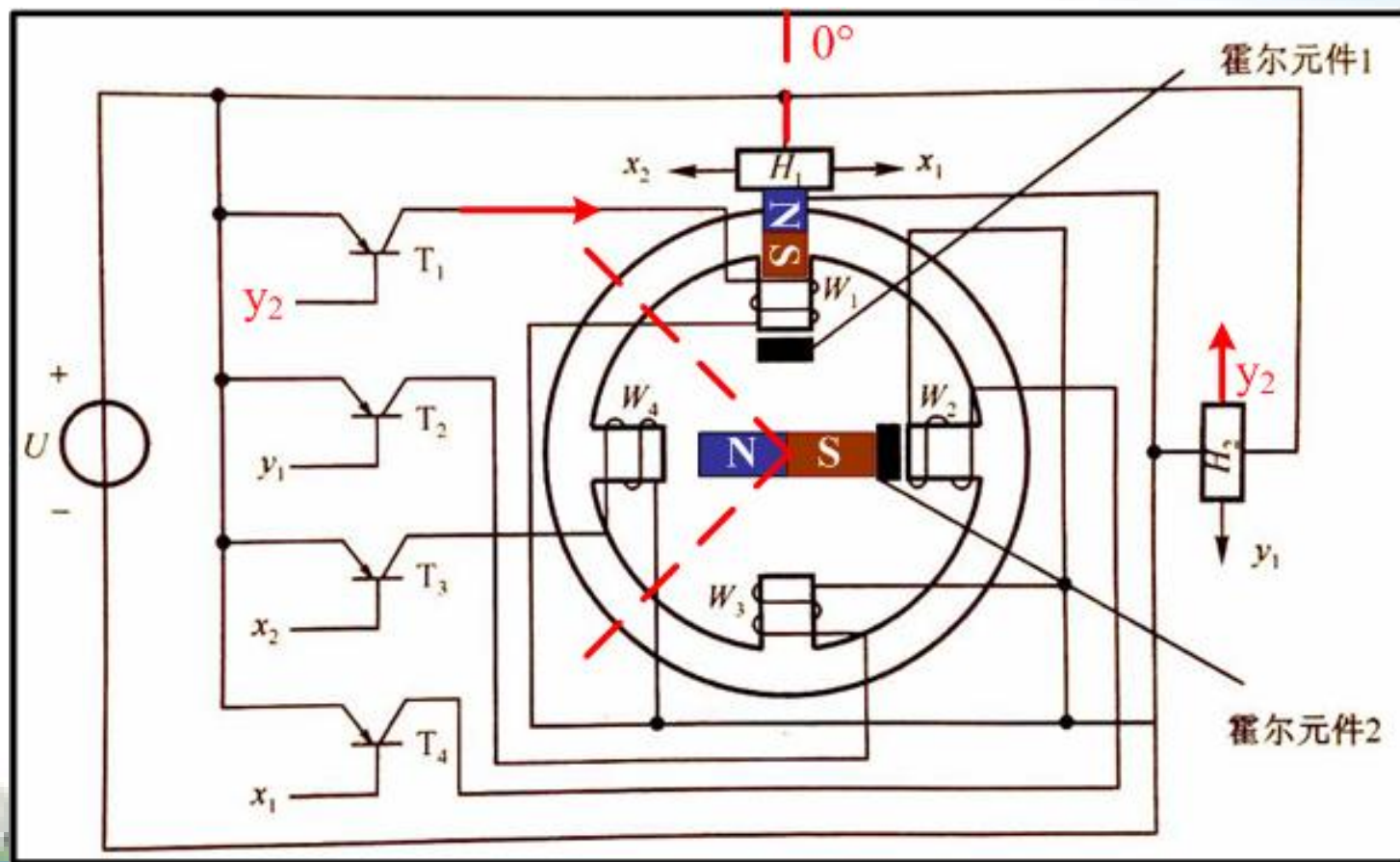
$W_4$ 绕组导通

$$T = k \sin \theta$$

顺时针转动

### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极四相电机



转子 $270^\circ \pm 45^\circ$  之间

霍尔2中 $y_2$ 输出

$T_1$ 导通

$W_1$ 绕组导通

$T = k \sin \theta$

顺时针转动

### 3 无刷直流电动机的原理

#### ○ 两极四相电机

- n 电机通电后，霍尔元件根据转子的实际位置发出信号，使定子绕组依次导通，定子磁场步进式旋转，带动转子转动。
- n 电磁转矩

$$T = k \sin q$$

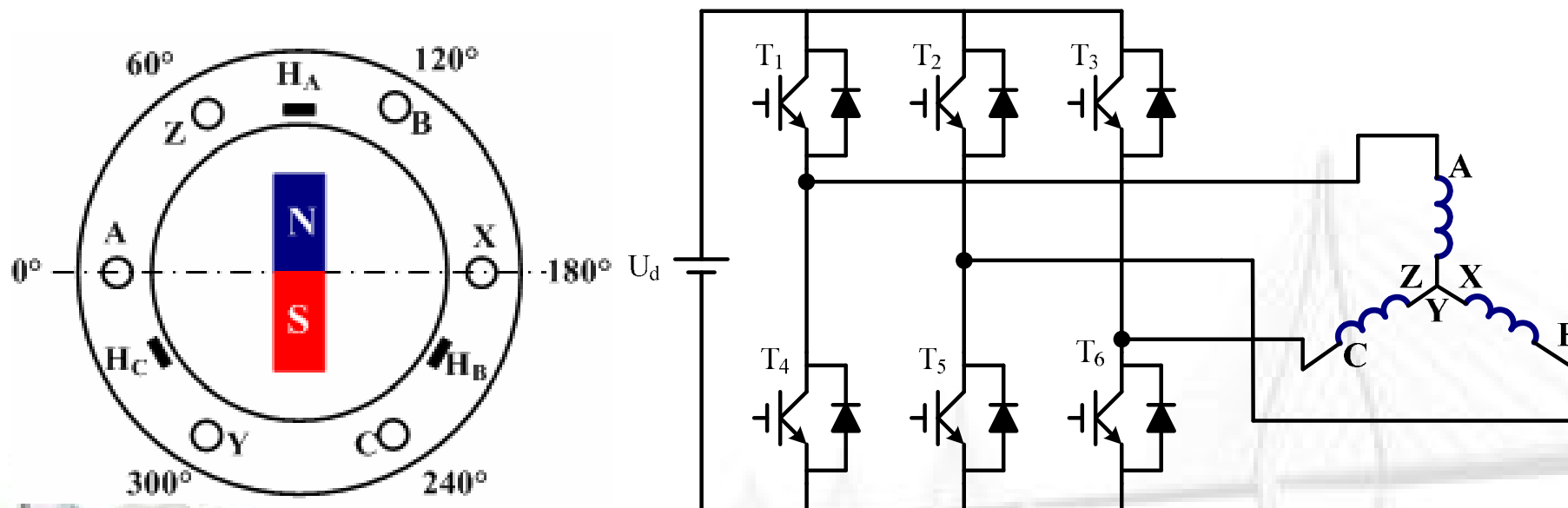
转子位置(电角)	-45°	45°	135°	225°	315°
霍尔元件	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>1</sub>
导通管	T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>4</sub>
导通绕组	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>
定子磁场轴线	90°	180°	270°	0°	90°
$\theta$	90°±45°	90°±45°	90°±45°	90°±45°	90°±45°

### 3 无刷直流电动机的原理

#### ○ 两极三相电机(星形)

n 两极——转子为2极永磁体

n 三相——定子有三相绕组



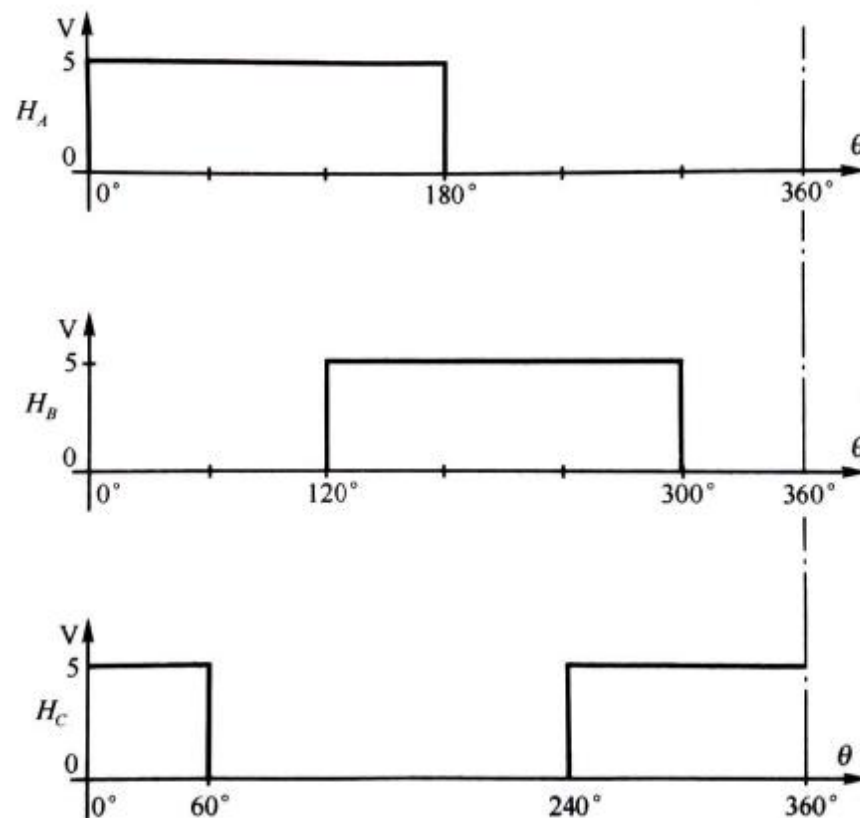
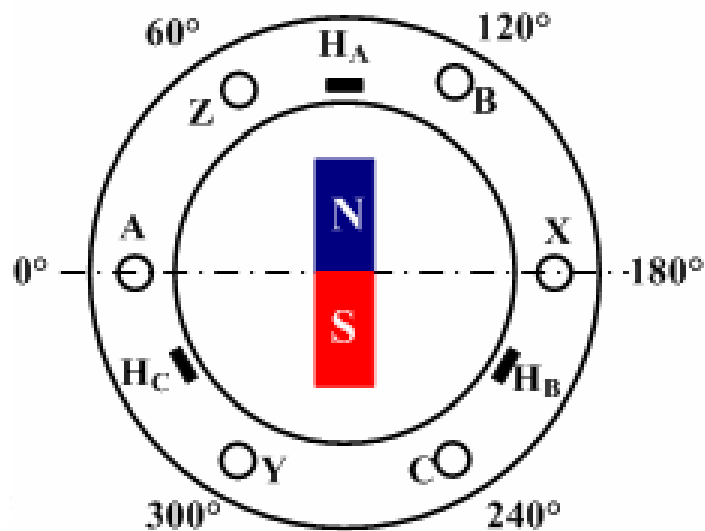


### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机(星形)

n 霍尔元件作用范围 $\pm 90^\circ$

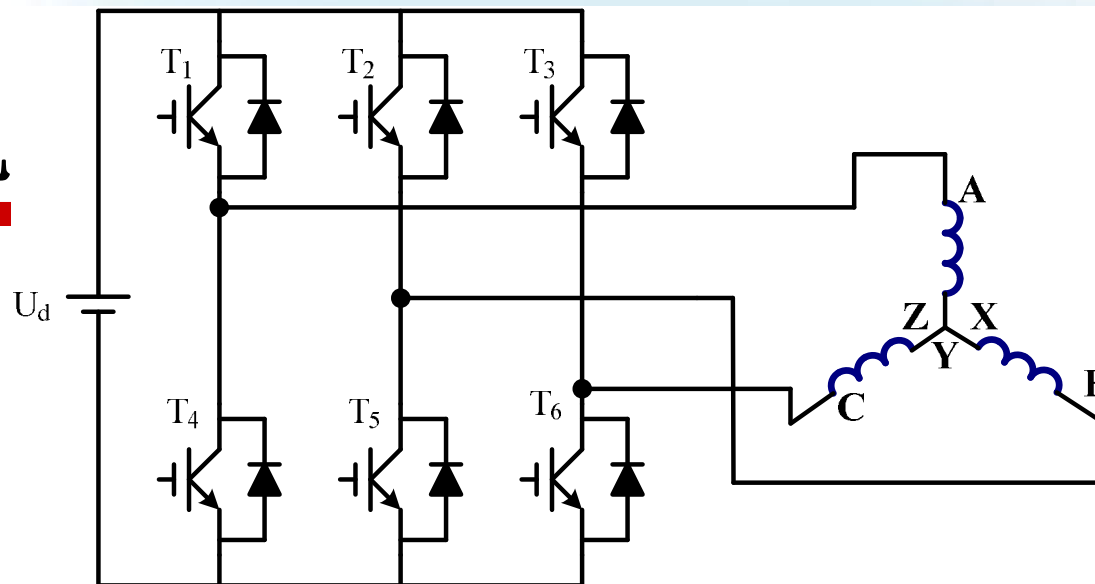
6个不同的转子位置范围



### 3 无刷直流电动机

○ 两极三相电机(星形)

n 六个不同开关管导通状态



转子位置(电角)	0°	60°	120°	180°	240°	300°	360°
导电绕组	A	B	C	A	-C	-B	-A
T <sub>1</sub>	导通						导通
T <sub>2</sub>		导通					
T <sub>3</sub>			导通				
T <sub>4</sub>				导通			
T <sub>5</sub>					导通		
T <sub>6</sub>						导通	

### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机

n 转子 $0^\circ \sim 60^\circ$

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

导电绕组

A

B

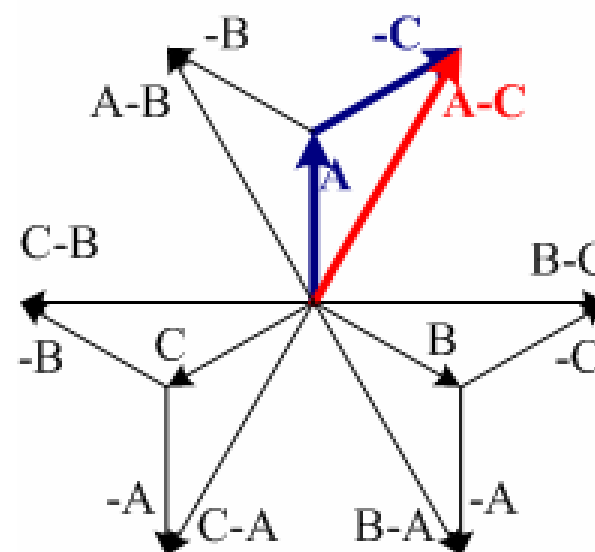
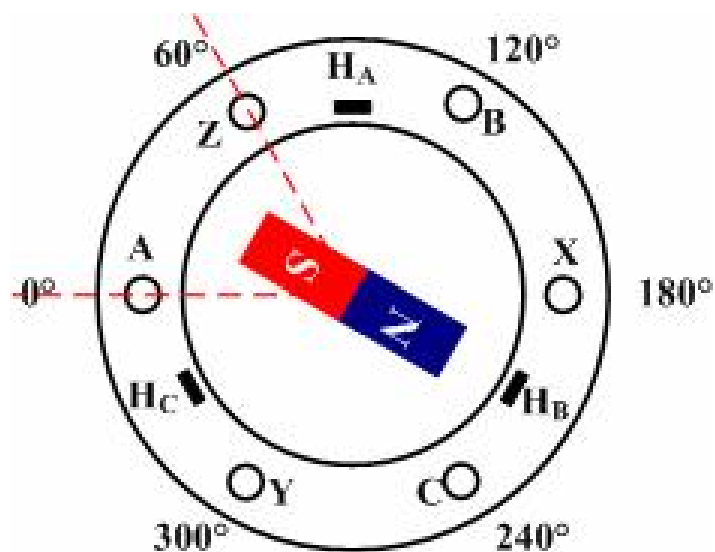
C

A

-C

-A

-B



顺时针旋转

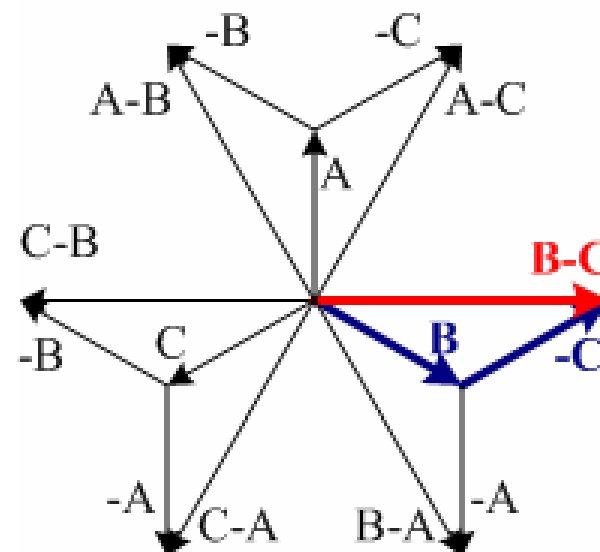
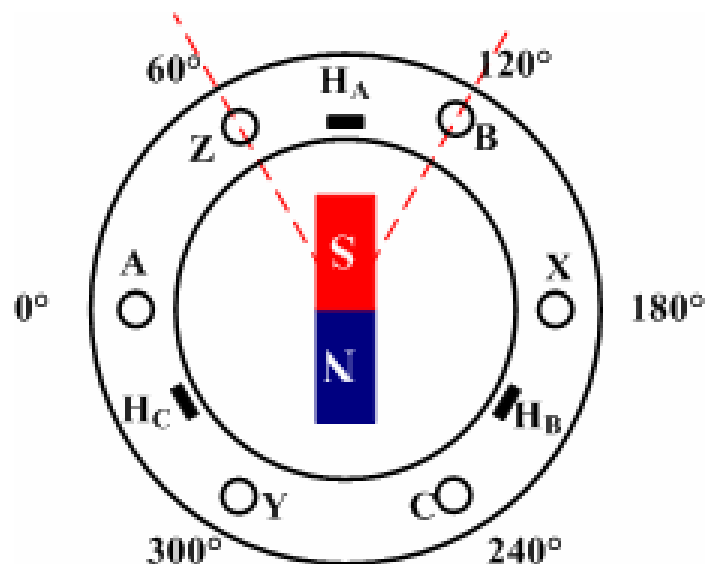
### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机

n 转子 $60^\circ \sim 120^\circ$  导电绕组

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

A	B	C	A
-C	-A	-B	



顺时针旋转

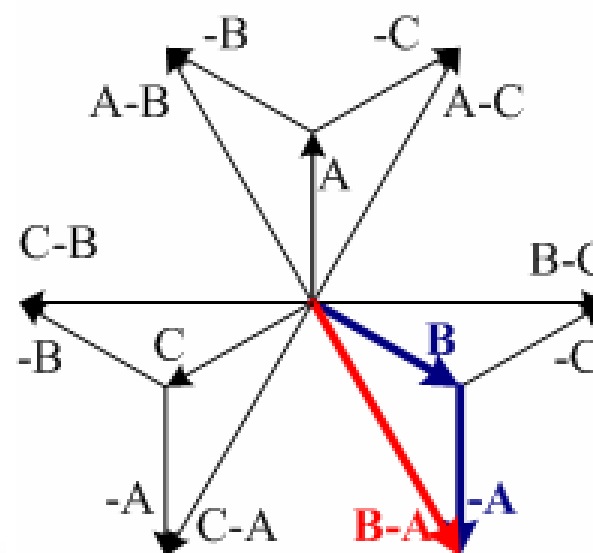
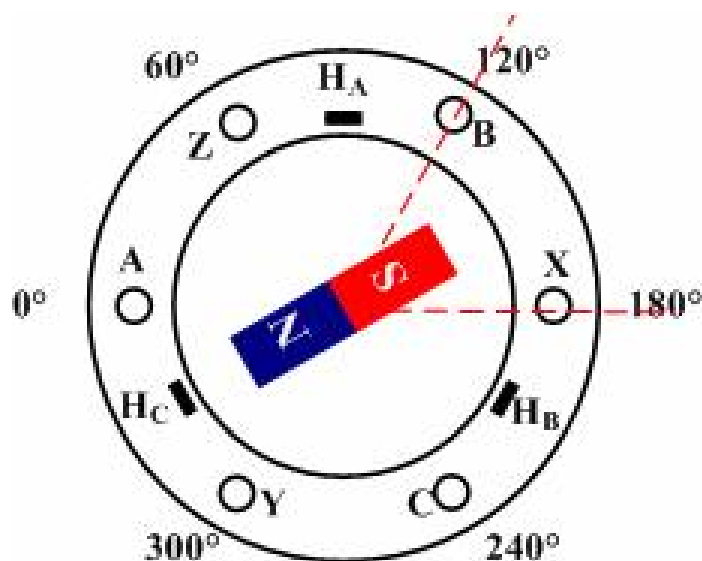
### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机

n 转子 $120^\circ \sim 180^\circ$ 导电绕组

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

A	B	C	A
-C	-A	-B	



顺时针旋转

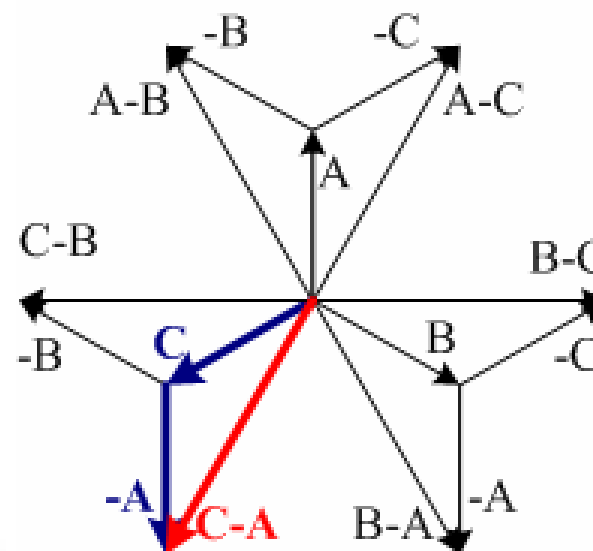
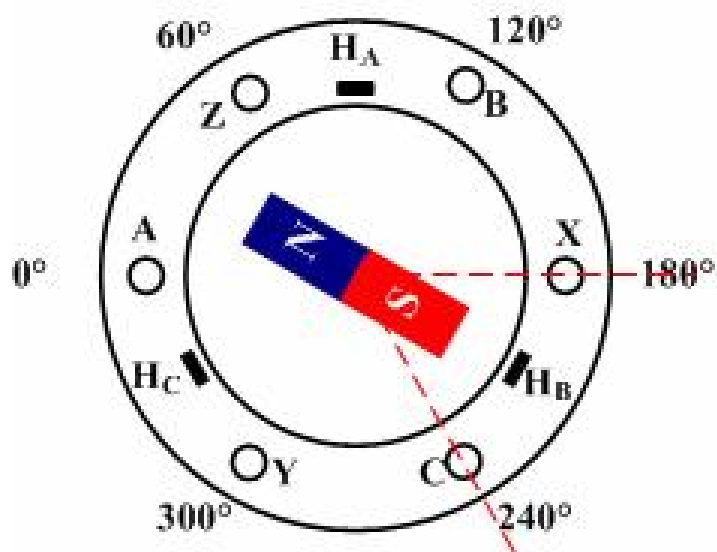
### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机

n 转子 $180^\circ \sim 240^\circ$ 导电绕组

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

A	B	C	A
-C	-A	-B	



顺时针旋转

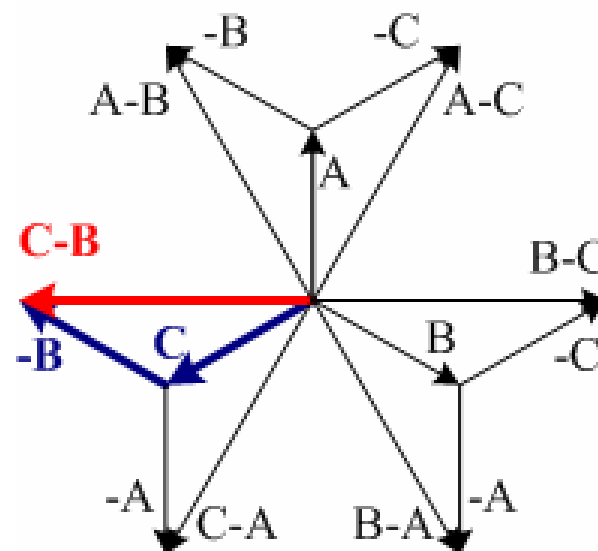
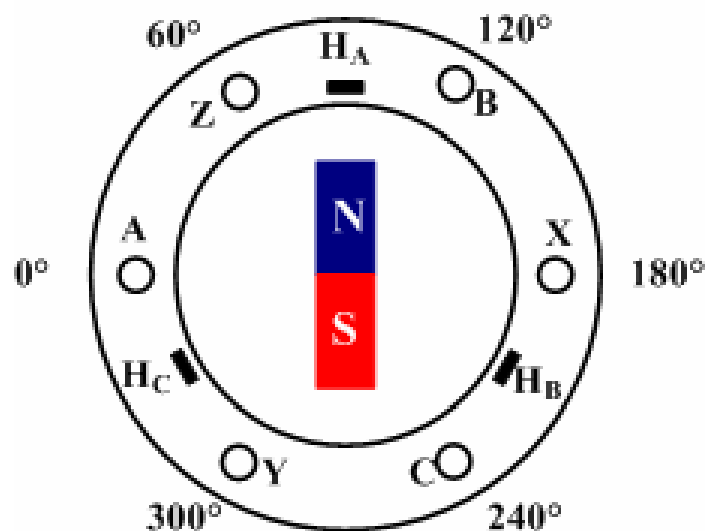
### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机

n 转子 $240^\circ \sim 300^\circ$ 导电绕组

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

A	B	C	A
-C	-A	-B	



顺时针旋转

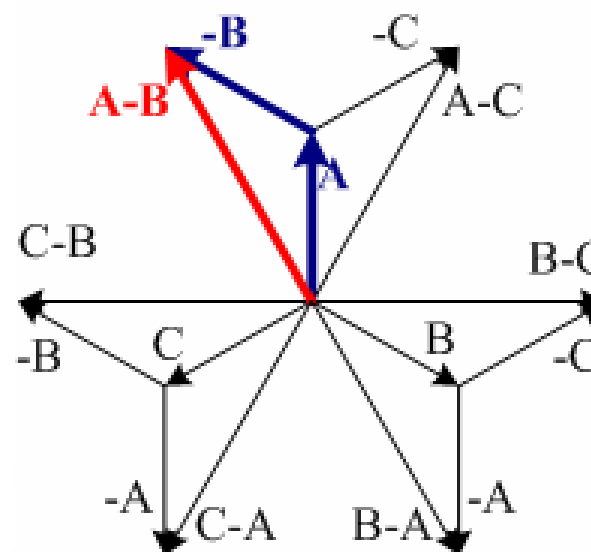
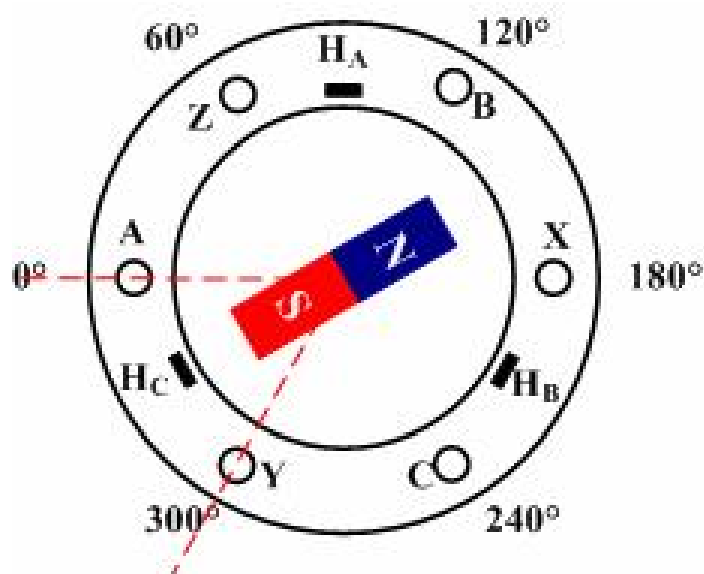
### 3 无刷直流电动机的原理

○ 两极三相电机

n 转子 $300^\circ \sim 360^\circ$ 导电绕组

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

A	B	C	A
-C	-A	-B	



顺时针旋转



### 3 无刷直流电动机的原理

#### ○ 两极三相电机

n 电机通电后，霍尔元件根据转子的实际位置发出信号，使定子绕组依次导通，定子磁场步进式旋转，带动转子转动。

n 电磁转矩

$$T = k \sin q$$

转子位置(电角)	0°	60°	120°	180°	240°	300°	360°
导电绕组	A	B		C		A	
	-C		-A		-B		
定子磁场	120°	180°	240°	300°	0°	60°	
$\theta$	90°±30°	90°±30°	90°±30°	90°±30°	90°±30°	90°±30°	

### 3 无刷直流电动机的原理

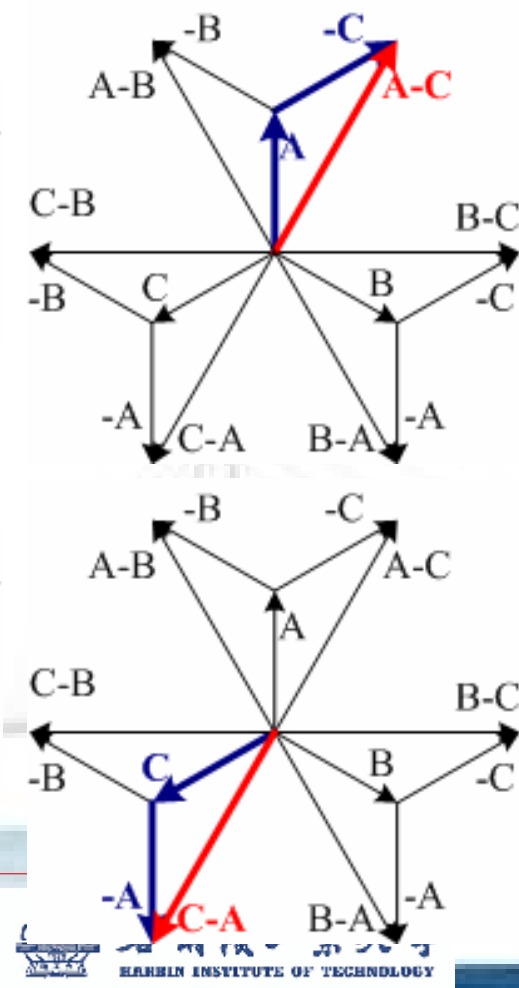
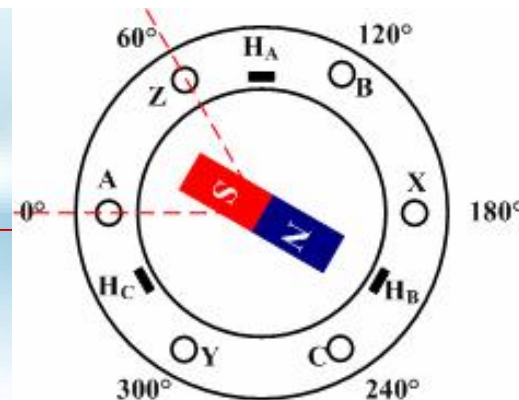
○ 无刷直流电动机的正反转

**n** 顺时针转动

转子位置(电角)	0°	60°	120°	180°	240°	300°	360°
导电绕组	A	B	C	A	-C	-A	-B

**n** 逆时针转动

转子位置(电角)	0°	60°	120°	180°	240°	300°	360°
导电绕组	C	B	A	C	-A	-C	-B



### 3 无刷直流电动机的原理

#### ○ 通电状态与磁状态角

n 电机有六个状态，每个状态都是两相同时导通，所以三相桥式的这种通电方式称为**两相导通**星形三相六状态。

n 绕组通电的不同状态数目记为 $N$ ，绕组相数为 $m$ ，则

$$N = km$$

$$k = 1, 2$$

如前述**2极4相**，单向通电时， $N=4$

如前述**2极3相**，双向通电时， $N=6$

n 每相绕组导电时，转子所能转过的空间电角为**导通角**，记为 $\alpha_c$ ，对于3相和4相电机有：

$$\alpha_c = \frac{360^\circ}{m} = \frac{2p}{m}$$

### 3 无刷直流电动机的原理

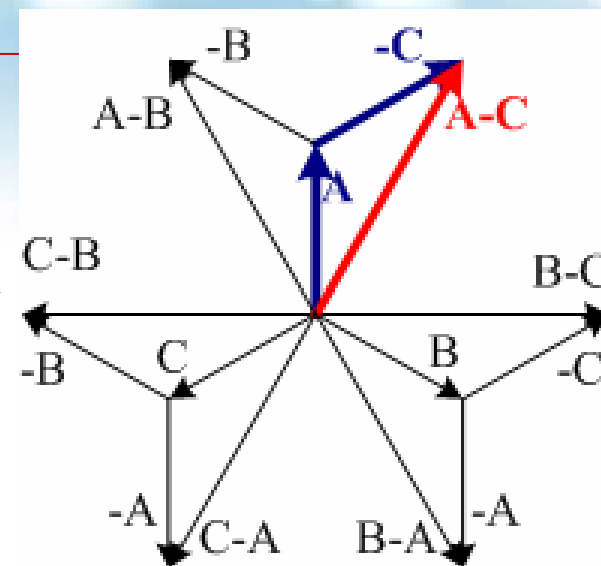
#### ○ 通电状态与磁状态角

- n 电枢磁势向量(磁场轴线)不变，转子所能转过的角度(电角)称为**磁状态角**，记为  $\alpha_m$ ，磁状态角也就是此时向量图中相邻磁势向量的夹角。磁势向量数目等于状态数N，因此

$$a_m = \frac{360^\circ}{N} = \frac{2p}{N}$$

- n 定子转子磁势夹角为

$$q = 90^\circ \pm \frac{1}{2} a_m = 90^\circ \pm \frac{180^\circ}{N}$$



### 3 无刷直流电动机的原理

#### ○ 无刷直流电动机的力矩波动

n 定子转子磁势夹角为

$$q = 90^\circ \pm \frac{1}{2}a_m = 90^\circ \pm \frac{180^\circ}{N}$$

n 定转子磁场间的力矩

$$T_{em} = K \sin q$$

当  $N=4$  时,  $\theta = 90^\circ \pm 45^\circ$

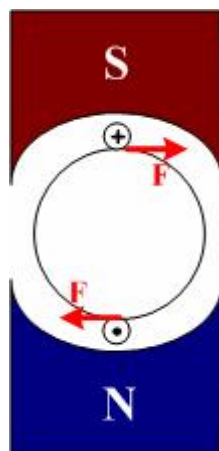
当  $N=6$  时,  $\theta = 90^\circ \pm 30^\circ$

n  $\theta$  变化范围较大, 所以上述直流无刷力矩电动机力矩波动较大

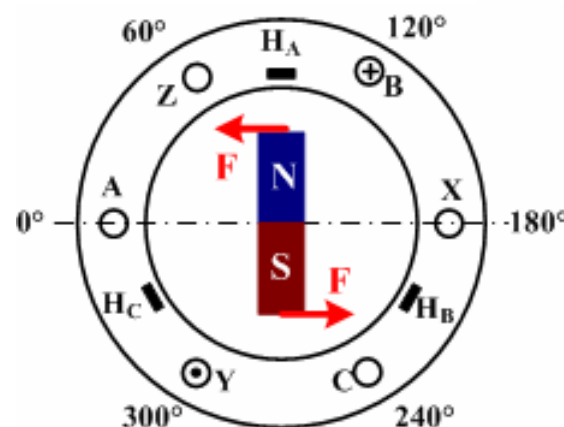
## 4 无刷直流电机的特性

### ○ 无刷直流电机的电磁转矩

n 直流电动机



n 无刷直流电动机



n 无刷直流电动机的转矩

$$F = BIl$$



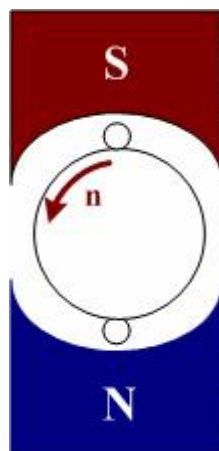
$$T = K_t i$$

其中： $K_t$  正比与极对数 $p$ ，正比于线圈匝数 $W$ ，正比于磁通 $\Phi$

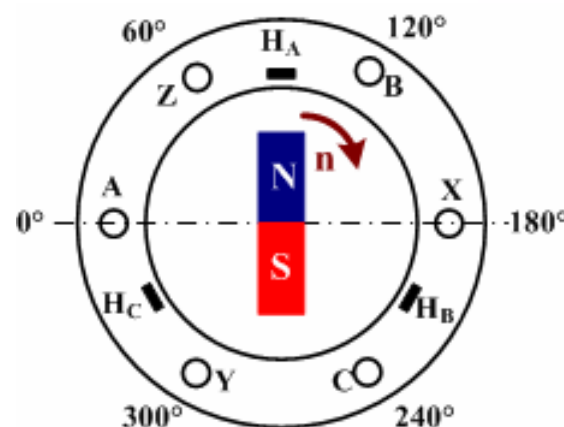
## 4 无刷直流电机的特性

### ○ 无刷直流电机的感应电动势

n 直流电动机



n 无刷直流电动机



n 无刷直流电机的感应电动势

$$E = Blv$$

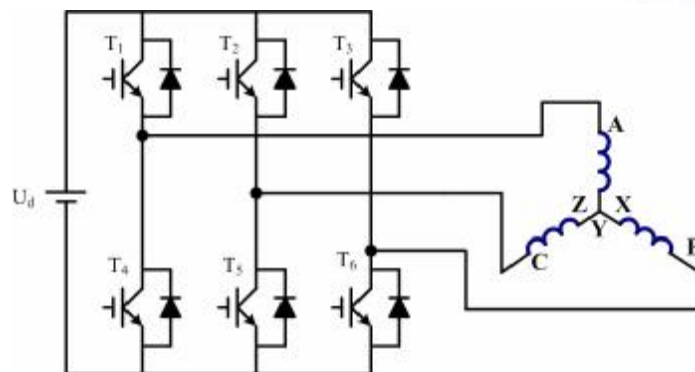


$$e = K_e w$$

其中： $K_e$  正比与极对数 $p$ ，正比于线圈匝数 $W$ ，正比于磁通 $\Phi$

## 4 无刷直流电动机的特性

### ○ 无刷直流电动机的电压平衡方程



$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L & M & M \\ M & L & M \\ M & M & L \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

定子相绕组  
电压

定子相绕组  
电阻

定子相绕组  
电流

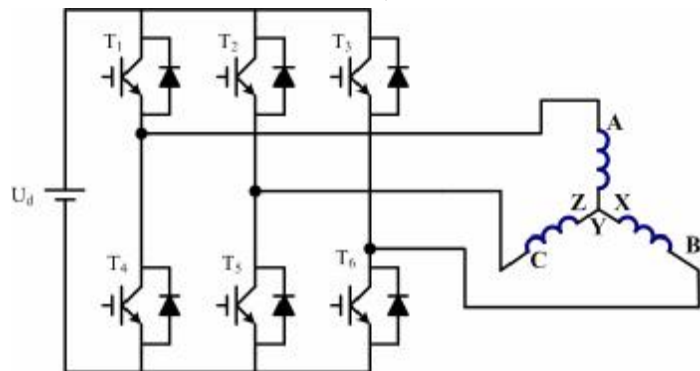
定子相绕组  
自感、互感

定子相绕组  
感应电动势



## 4 无刷直流电动机的特性

### ○ 无刷直流电动机的电压平衡方程



$$i_a + i_b + i_c = 0$$



$$Mi_a + Mi_b = -Mi_c$$

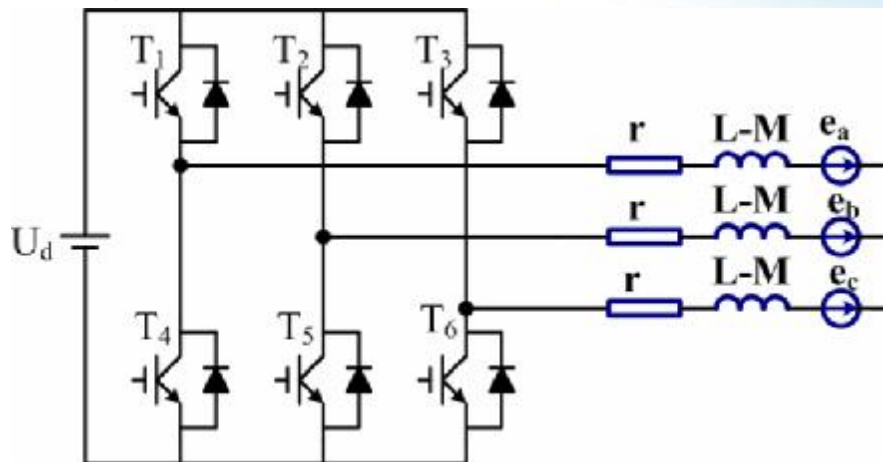
$$Mi_b + Mi_c = -Mi_a$$

$$Mi_a + Mi_c = -Mi_b$$

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

## 4 无刷直流电动机的特性

### ○ 无刷直流电动机的电压平衡方程



$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix}$$

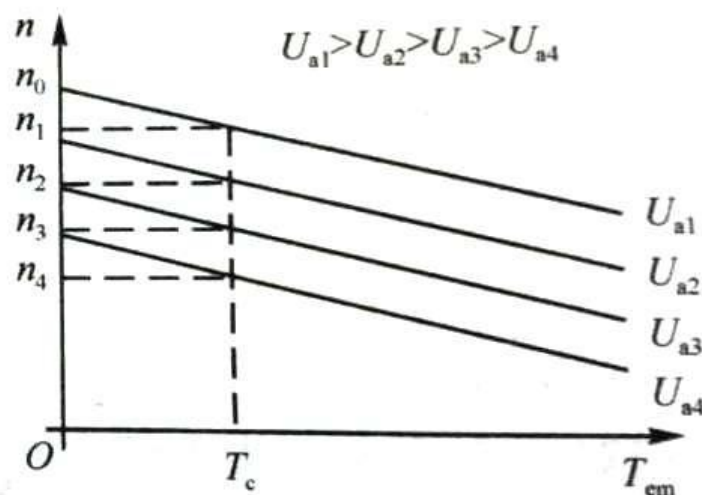
### ○ 无刷直流电动机的力矩方程

$$T_{em} = \frac{e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c}{\omega}$$

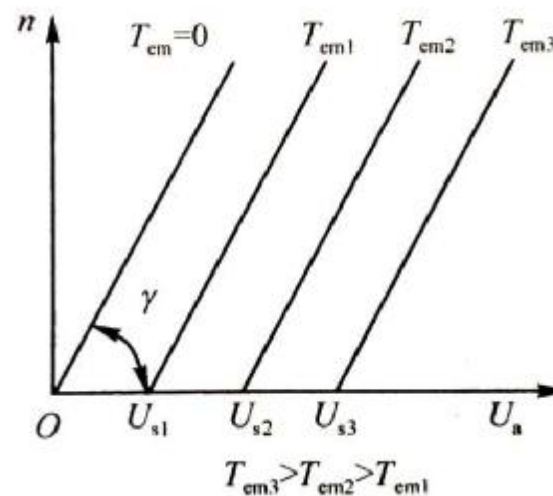
## 4 无刷直流电动机的特性

### ○ 无刷直流电动机静特性

- n 无刷直流电机系统和直流电机系统在原理上具有相同的描述方程，运行和控制相同



机械特性



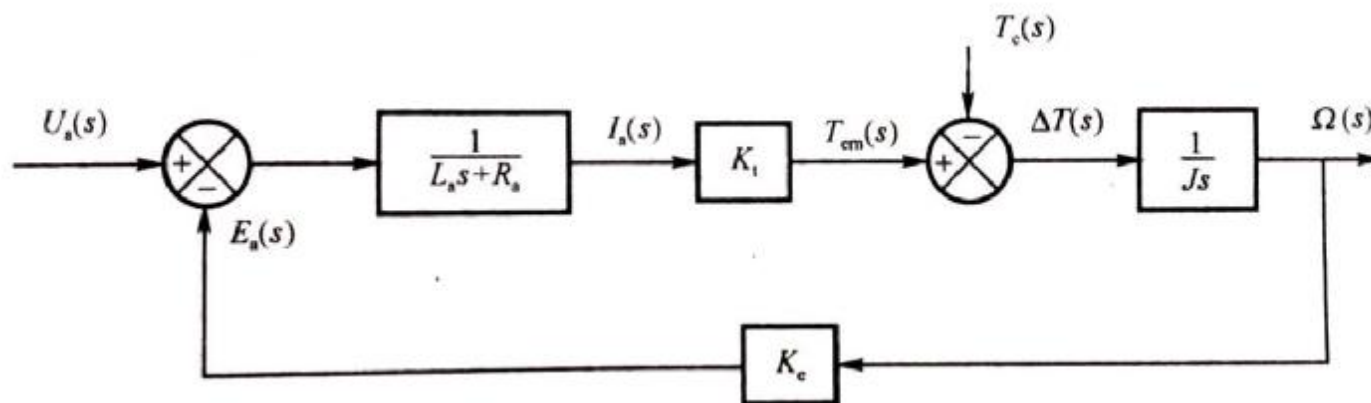
调节特性

- n 根据特性可知，永磁无刷直流电动机具有和一般有刷直流电动机一样好的控制性能，可以通过改变电源电压实现无级调速。

## 4 无刷直流电动机的特性

### ○ 无刷直流电动机动态特性

- n 无刷直流电机系统和直流电机系统在原理上具有相同的描述方程，运行和控制相同



$$\frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{1/K_e}{t_m t_e s^2 + t_m s + 1}$$

## 5 交流伺服电动机

### ○ 无刷直流电动机的力矩波动

n 定转子磁场间的力矩

$$T_{em} = K \sin q$$

$$q = 90^\circ \pm \frac{1}{2} a_m = 90^\circ \pm \frac{180^\circ}{N}$$

n  $\theta$  变化范围较大，所以上述直流无刷力矩电动机力矩波动较大

### ○ 交流伺服电动机

n 交流伺服电动机又可称为**无刷直流伺服电动机**，**永磁同步伺服电动机**，**自控式同步电动机**，**永磁交流伺服电动机**。

n 交流伺服电动机就是在早期的无刷直流电动机基础上对电机、传感器、控制器、功放等进行改进的电动机。

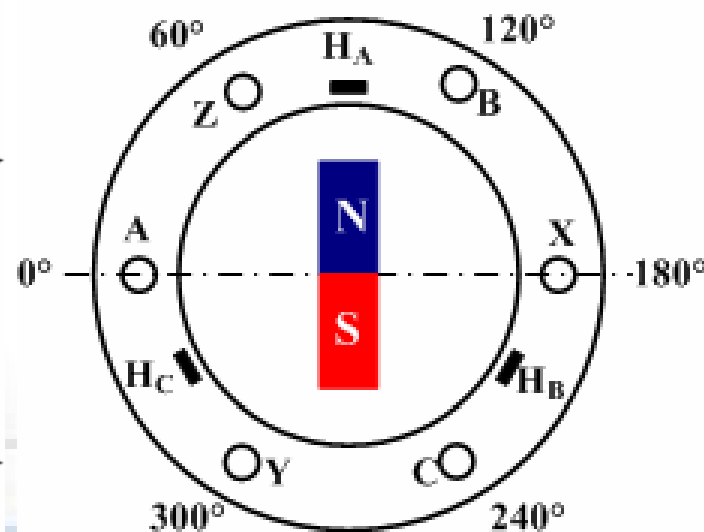
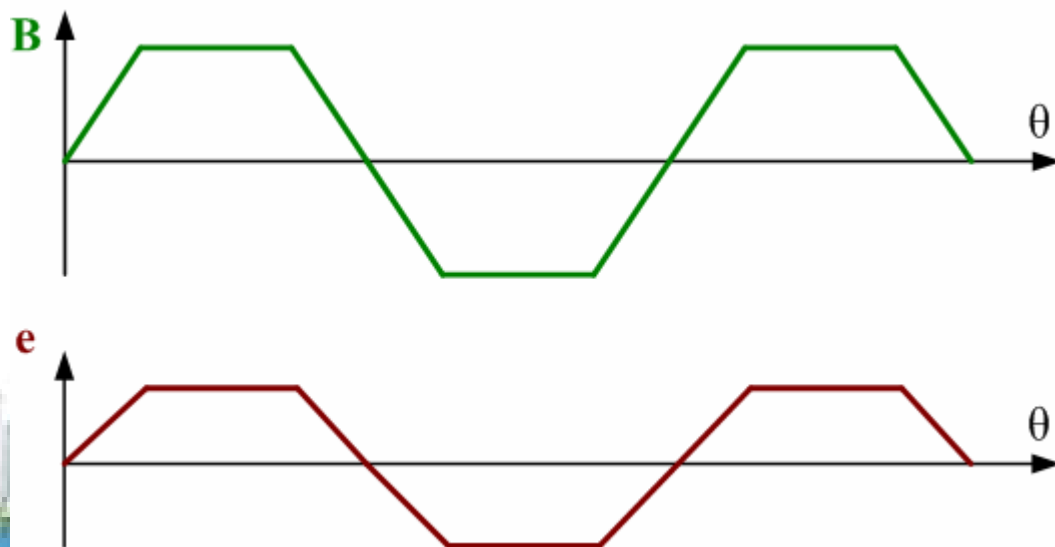
n 交流伺服电动机对气隙磁密分布、相电流波形控制等方面进行优化。

n 交流伺服电动机可分为**矩形波电流驱动**和**正弦波电流驱动**两种类型

## 5 交流伺服电动机

### ○ 矩形波电流驱动的交流伺服电动机

- n 矩形波电流驱动方式又称为6状态方式，其工作状态与前述两相导通星形三相六状态无刷直流电机相同
- n 电机永磁转子气隙磁密分布为梯形，零磁密的位置与转子磁场轴线垂直
- n 电机匀速转动时，一相绕组的感应电动势与导线处的磁密成正比



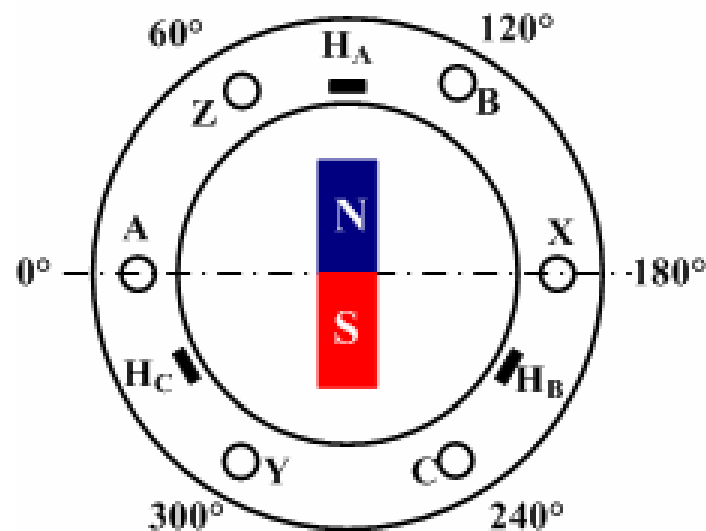
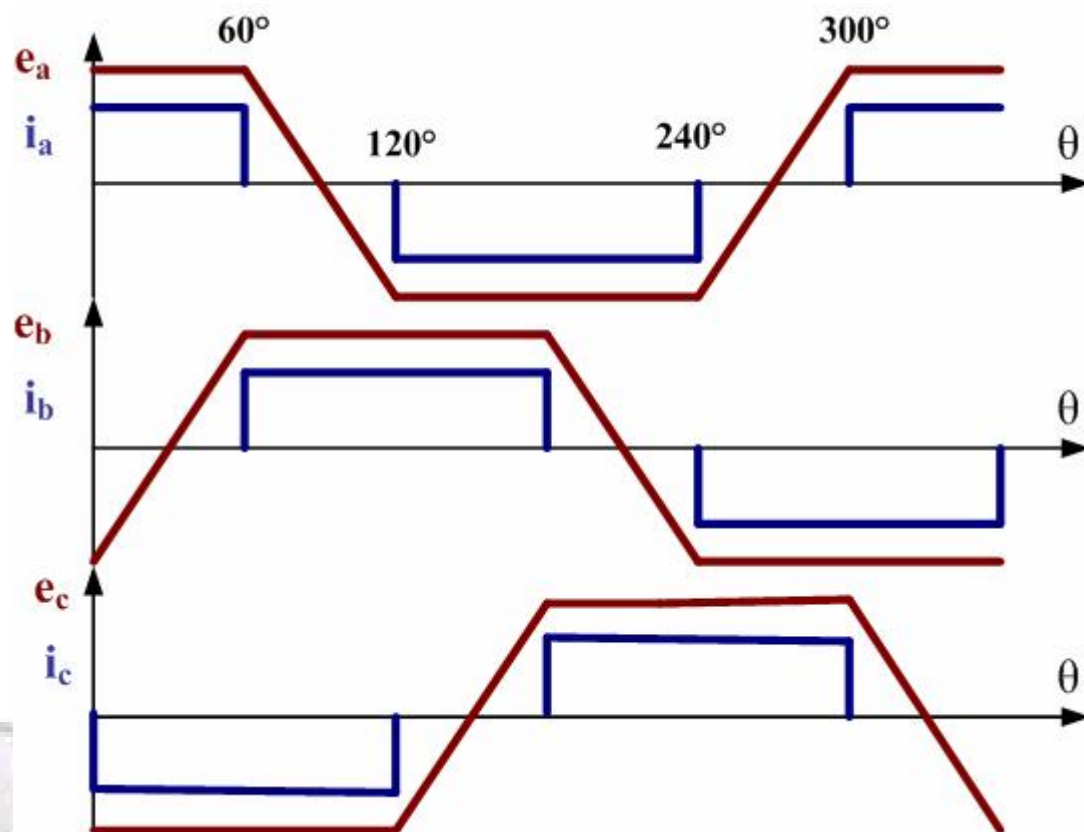
# 5 交流伺服电

转子位置(电角)  $0^\circ$      $60^\circ$      $120^\circ$      $180^\circ$      $240^\circ$      $300^\circ$      $360^\circ$

导电绕组

A	B	C	A
-C	-A	-B	

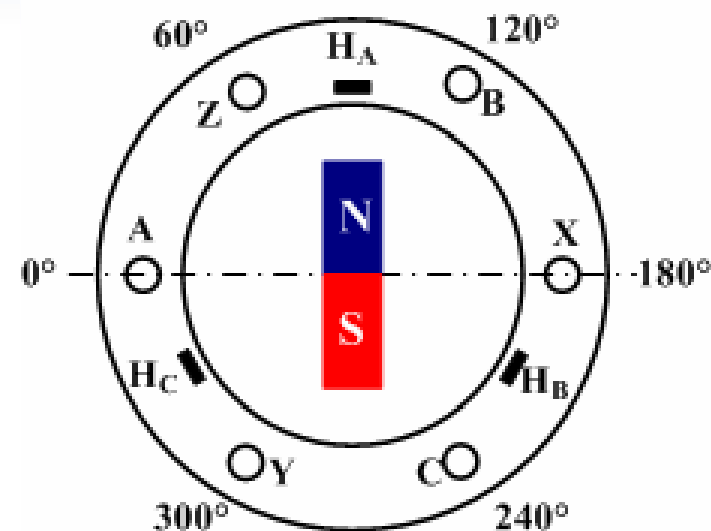
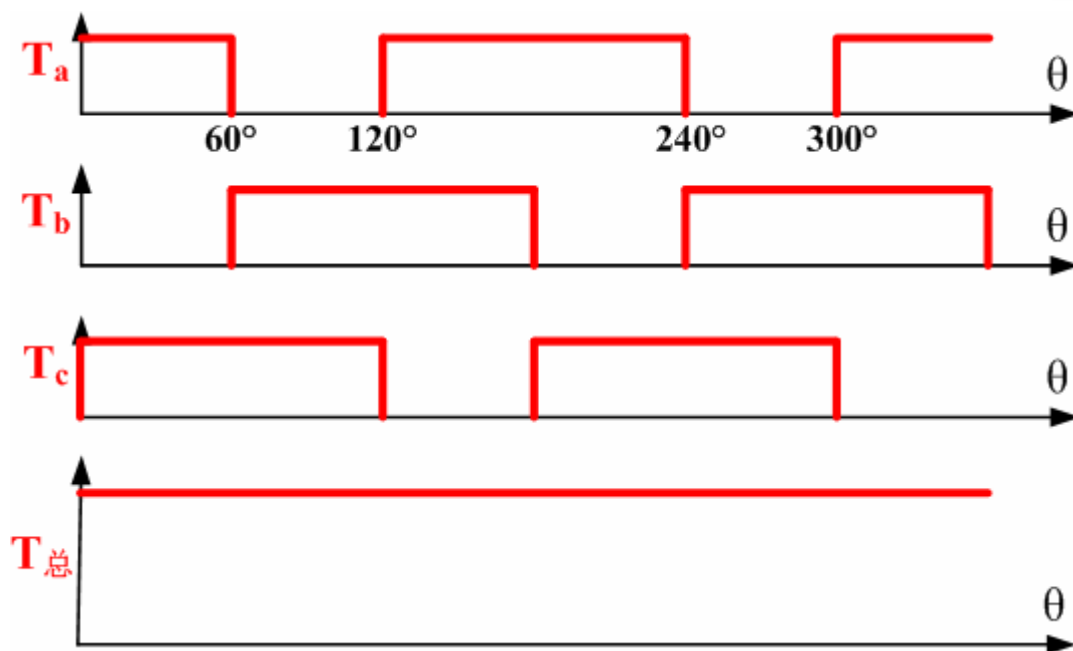
○ 矩形波电流驱动的交流伺服电动机





## 5 交流伺服电动机

### ○ 矩形波电流驱动的交流伺服电动机



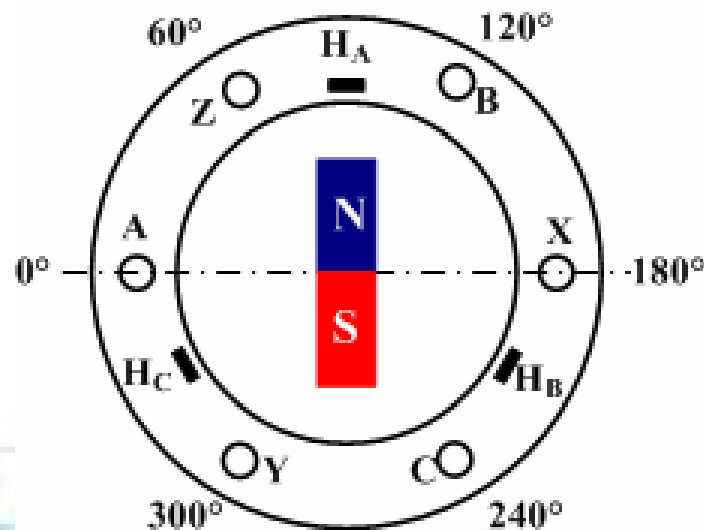
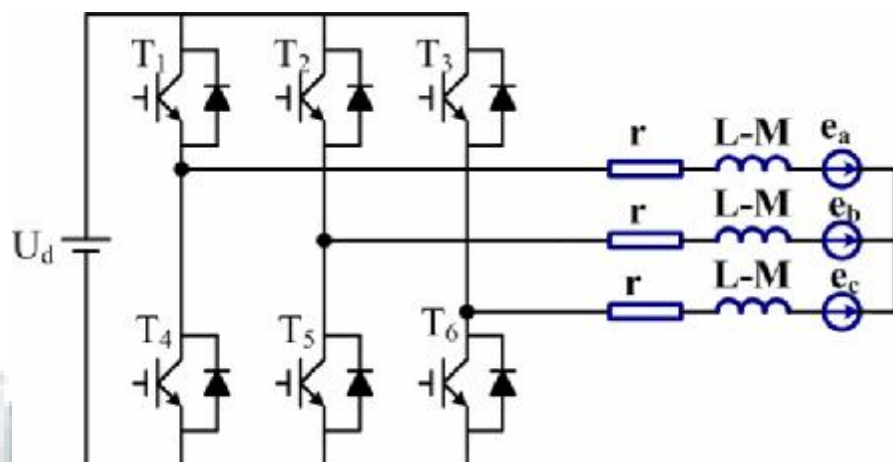
理论上转矩无波动！

## 5 交流伺服电动机

### ○ 矩形波电流驱动的交流伺服电动机

- n 电势平顶部分很难达到 $120^\circ$
- n 平顶部分存在纹波
- n 齿槽效应
- n 换向过渡过程

实际上转矩存在波动！



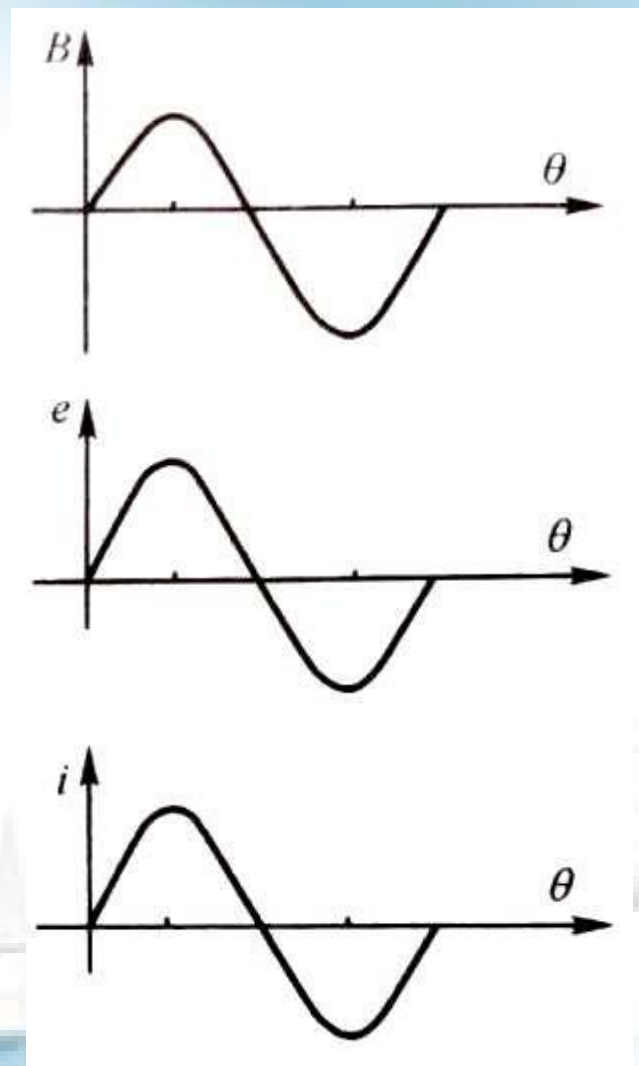
## 5 交流伺服电动机

○ 正弦波电流驱动的交流伺服电动机

n 气隙磁密分布为正弦波

n 每相绕组感应电势为正弦

n 每相绕组输入电流为正弦



## 5 交流伺服电动机

### ○ 正弦波电流驱动的交流伺服电动机

n 三相绕组感应电势

$$\begin{cases} e_A = E \sin q \\ e_B = E \sin(q - \frac{2p}{3}) \\ e_C = E \sin(q - \frac{4p}{3}) \end{cases}$$

n 三相绕组的相电流

$$\begin{cases} i_A = I \sin q \\ i_B = I \sin(q - \frac{2p}{3}) \\ i_C = I \sin(q - \frac{4p}{3}) \end{cases}$$

其中： $E$ 为每相感应电势的峰值； $I$ 为每相电流的峰值； $\theta$ 为转子转角(电角)

## 5 交流伺服电动机

○ 正弦波电流驱动的交流伺服电动机

n 输出的电磁功率 $P$ 和电磁力矩 $T_e$ 为

$$T_e = \frac{P}{\omega} = \frac{e_A i_A + e_B i_B + e_C i_C}{\omega}$$
$$= \frac{EI}{\omega} \left\{ \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \left[ \cos 2q + \cos \left( 2q - \frac{4p}{3} \right) + \cos \left( 2q - \frac{2p}{3} \right) \right] \right\}$$



$$T_e = \frac{3EI}{2\omega} = K_t I$$

可见，正弦波驱动的交流伺服电动机的电磁转矩和电流幅值呈线性关系，瞬态转矩 $T_e$ 与转子位置 $\theta$ 无关，**理论上**力矩波动为零。

## 5 交流伺服电动机

- 正弦波电流驱动的交流伺服电动机与同步电机区别
- 频率区别
  - n 同步电动机的工作频率是由外部电源给定的
  - n 交流伺服电动机的工作频率是转子转速决定的
- 相电流
  - n 同步电机的相电流是由相电压、感应电势和电动机阻抗来确定，一般相电流与该相感应电势的相位不相同
  - n 交流伺服电动机的相电流是由控制电路强制产生的，并且强制相电流与该相感应电势的相位相同。
  - n 交流伺服电动机的相电流是通过转子位置传感器和功放电路的电流环实现的。

## 6 无刷直流电动机的应用

### ○ 无刷直流电机与有刷直流电机的特性比较

特性	无刷直流电机	有刷直流电机
换向	根据位置传感器进行电子换向	采用电刷换向
维护	由于无电刷而较少需要维护	需要定期维护
寿命	较长	较短
转速/转矩特性	平坦——在负载额定的条件下，可在所有转速正常工作	中等平坦——转速较高时，电刷摩擦增加，因此减少了有用转矩
效率	高——没有电刷两端的压降	中等
输出功率/体积	高——由于出众的散热特性而缩小了体积(绕组在外侧散热好)	中等/低——电枢产生的热烈散发到气隙中，限制了输出功率/体积
转子惯量	永磁转子，惯量小，改善动态响应	较大
转速范围	较高——无电刷限制转速	较低——有电枢限制转速
电子干扰	低	电刷中电弧产生电子干扰
制造成本	较高——永磁体成本高	低
控制	复杂且昂贵	简单且便宜



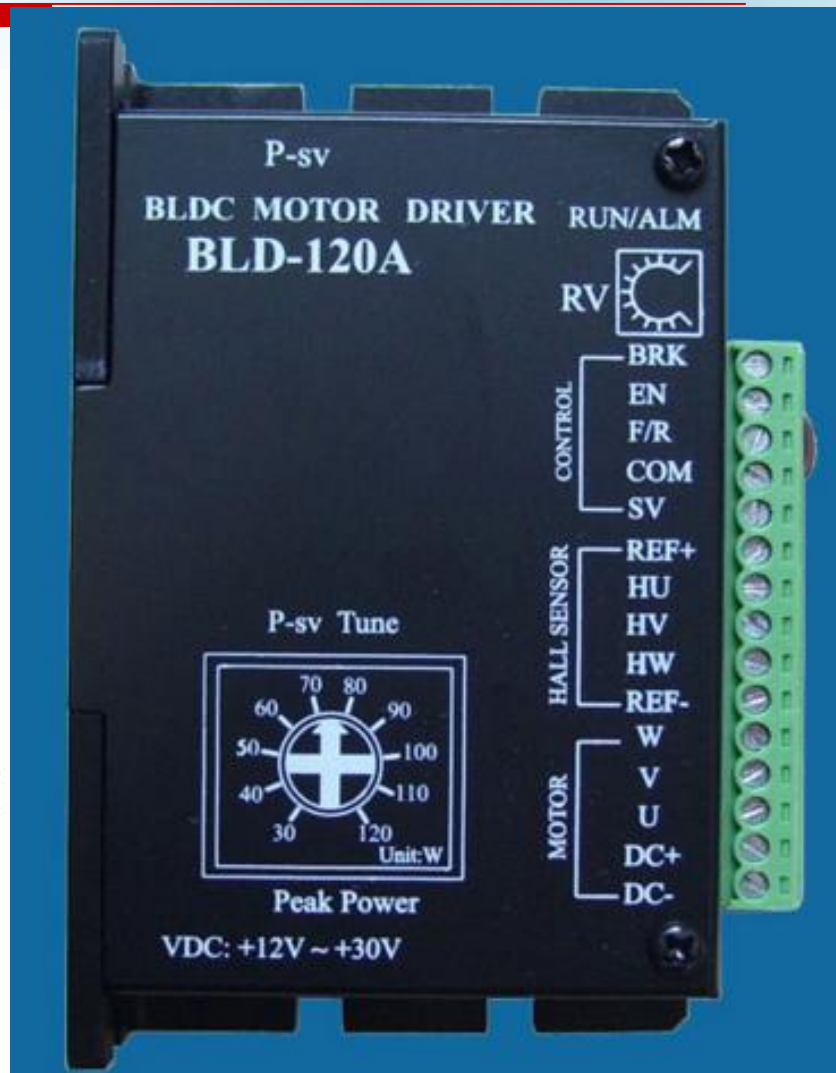
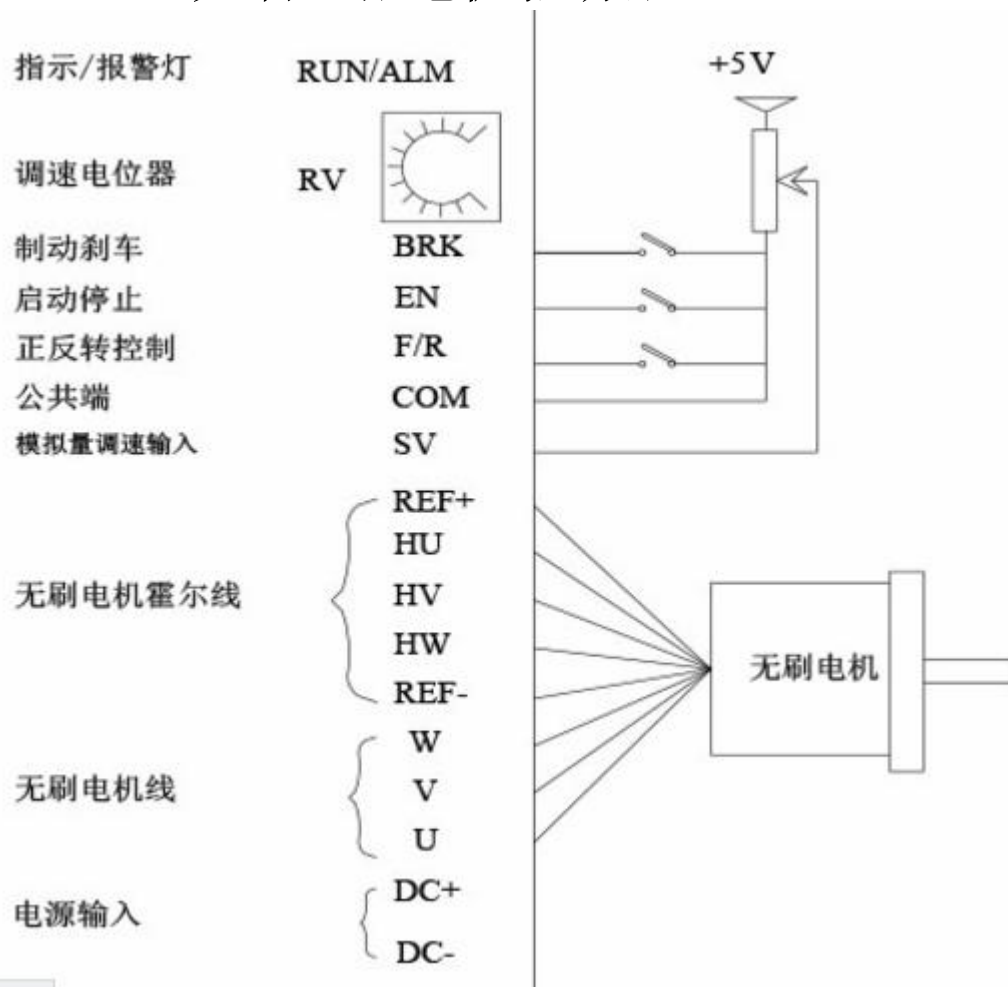
## 6 无刷直流电动机的应用

### ○ 无刷直流电机与异步电机的特性比较

特性	无刷直流电机	异步电机
转速/转矩	平坦——在负载额定的条件，可在所有转速下正常工作	非线性——低速下转矩也低
输出功率/体积	高——由于转子采用永磁体，对于给定的输出功率可以实现较小体积	中等——由于定子转子都有绕组，输出功率与体积比低于BLDC
转子惯量	小——动态性能较佳	大——动态性能较差
控制要求	要保持电机运转，始终需要控制器，还可使用这一控制器控制转速	固定转速不需要控制器，改变转速时需要控制器
差频	定子和转子磁场的频率相等	转子运行频率低于定子，差值即为差频，随着负载增加差频也增加

## 6 无刷直流电动机的应用

### ○ 无刷直流电机驱动器



## 6 无刷直流电动机的应用

### ○ 无刷直流电机驱动器

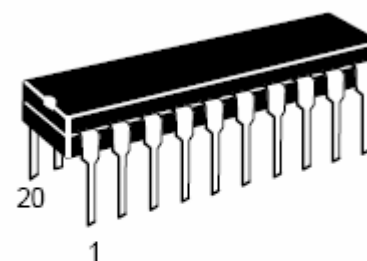
#### 电气参数:

参数	最小	典型值	最大	单位
输入电压	12	24	30	VDC
输出电流	-	-	8	A
适用电机转速	0	-	20000	RPM
霍尔信号电压	-	-	5	V
霍尔驱动电流	-	20	-	mA
外接调速电位器	-	10	-	K $\Omega$

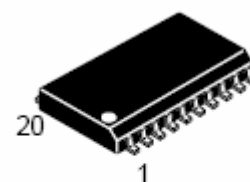
## 6 无刷直流电动机的应用

### ○ 专用集成芯片MC33033

- n MC33033是MOTOROLA公司生产的一种高性能直流电机控制器
- n 内含转子位置译码器，并可为传感器工作提供带有温度补偿的参考基准电压
- n 内含三个集电极开路的顶部驱动器和为MOSFET驱动电源而设计的三个高电流推拉式底部驱动器
- n 具有欠压锁定功能和过热关断功能
- n 带有为闭环控制提供的误差放大器



**P SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 738

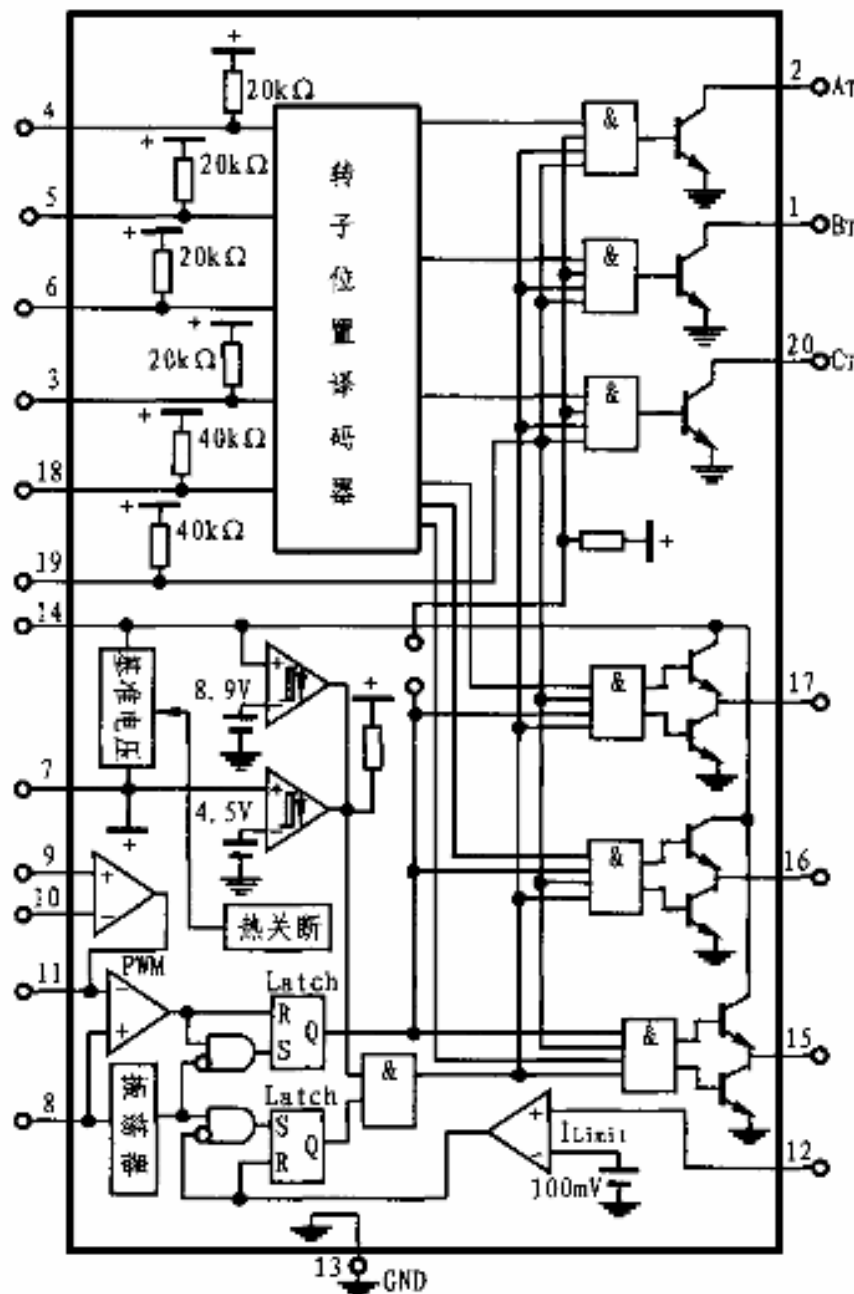


**DW SUFFIX**  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751D  
(SO-20L)

## 6 无刷直流电动机的应用

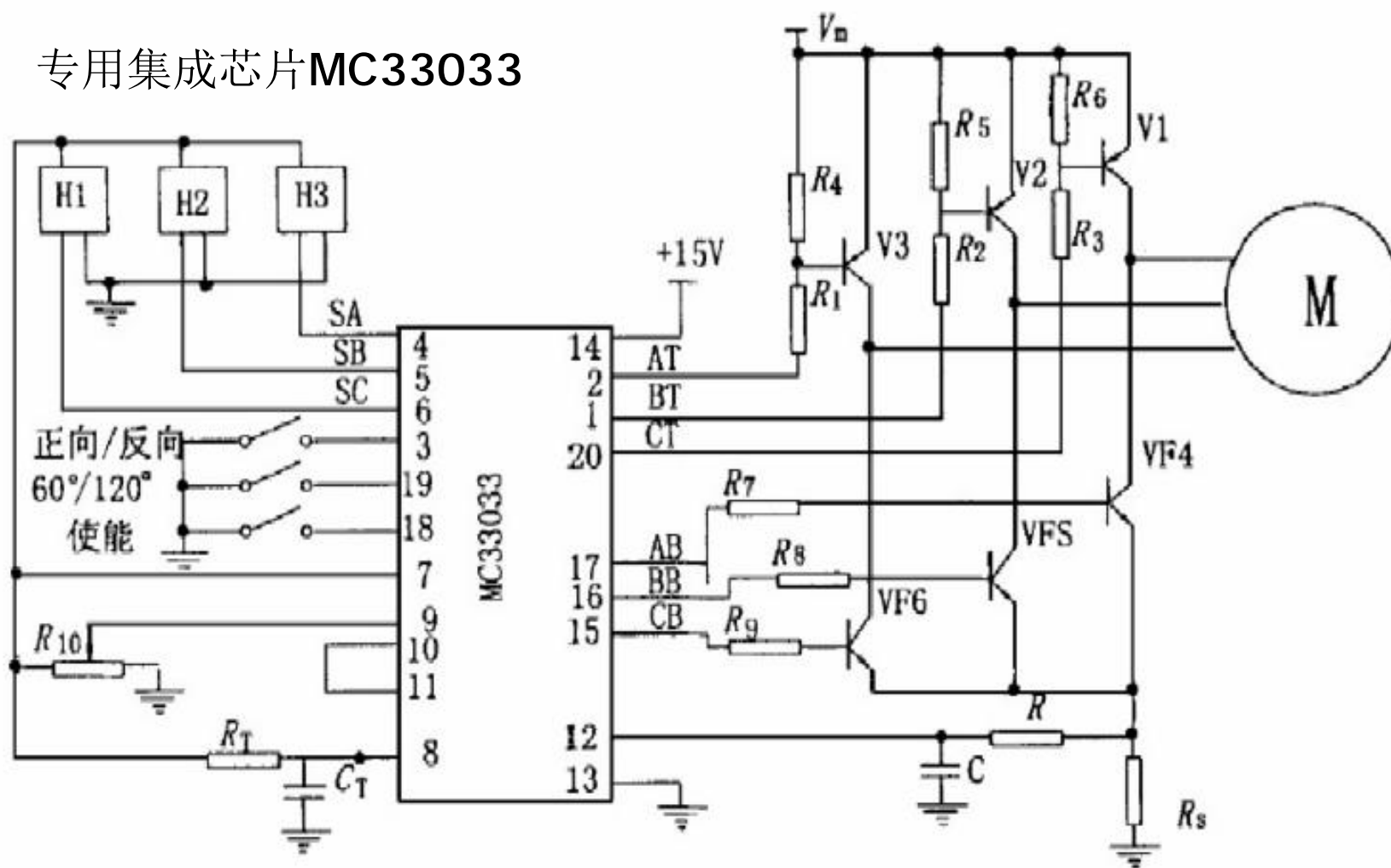
### ○ 专用集成芯片MC33033

- n 1,2,20顶部驱动输出
- n 15,16,17低部驱动输出
- n 4,5,6霍尔输入
- n 3转向控制
- n 18传感器相位控制
- n 19使能控制
- n 14电源引脚
- n 7基准电压
- n 9,10,11转速控制引脚
- n 8震荡频率设定
- n 13接地



## 6 无刷直流电动机的应用

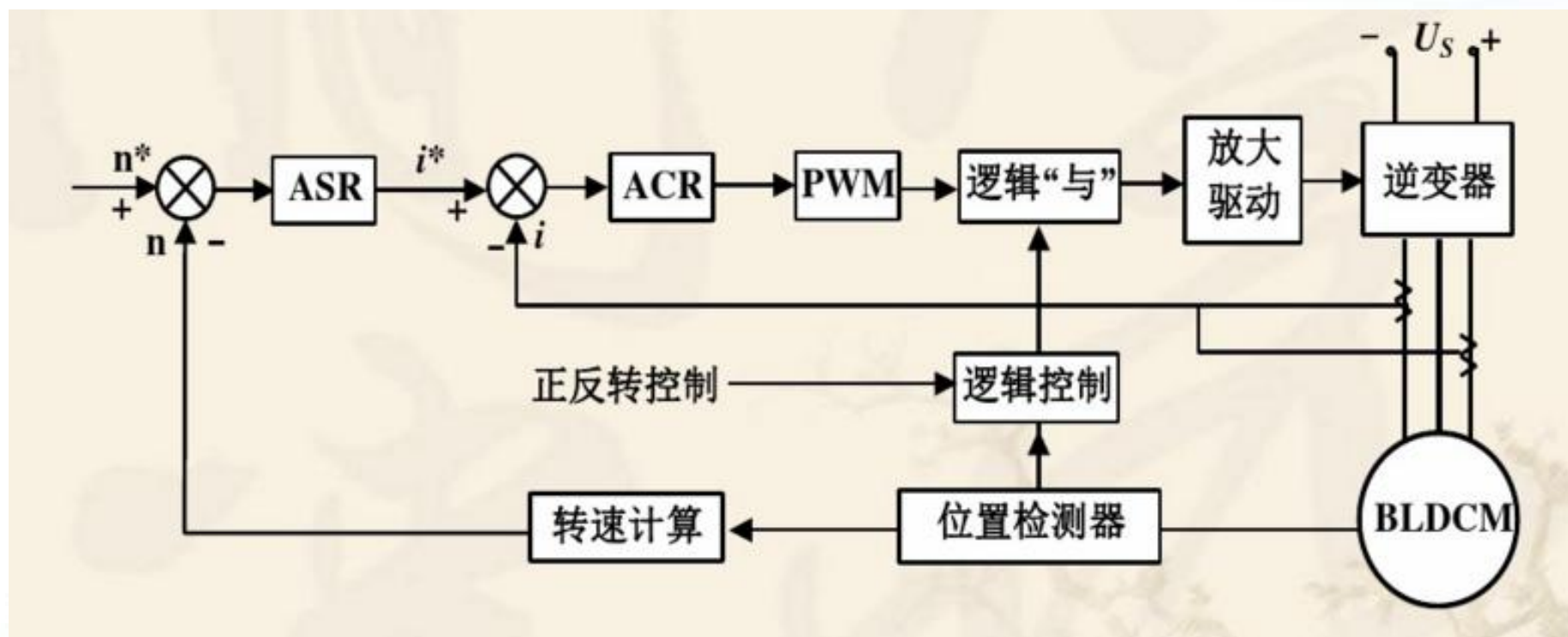
### ○ 专用集成芯片MC33033





## 6 无刷直流电动机的应用

### ○ 无刷直流电动机控制系统原理



## 6 无刷直流电动机的应用

- 无刷直流电动机力矩大、调速范围宽，不产生电刷粉尘和电火花，摩擦转矩小，单价格贵。
- **自动化办公设备**。这些设备对驱动马达的电磁干扰和噪声的要求高，且需要稳速、调速、定位等特性。无刷直流电动机被大量采用，如计算机硬盘、软盘的驱动，光驱驱动。
- **工业自动化设备**。在高精度数控加工设备中，如机器人和机械手臂的驱动中，无刷电机的应用极多。
- **汽车和电动车辆**。在汽车中使用的电动机，对其工作可靠性要求特别高，且现代汽车设计自动化程度越来越高，为无刷电动机的应用提供了美好前景。
- **家用电器**。近年来无刷电动机在洗衣机、空调、冰箱等家电中均有应用。