电机与拖动课件之五

# 异步 电机

胡梦月、韩谷静

纺大电子电气

# 章节目录

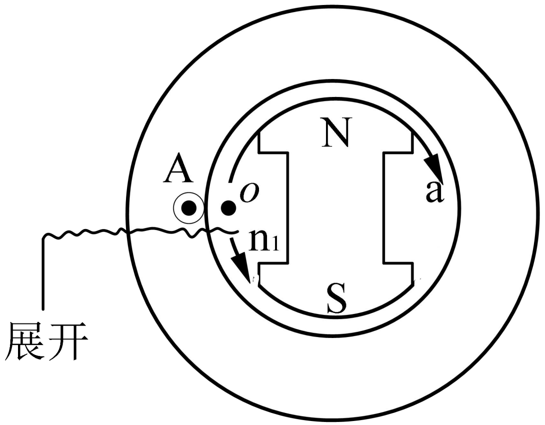
## 一、导体的感应电动势

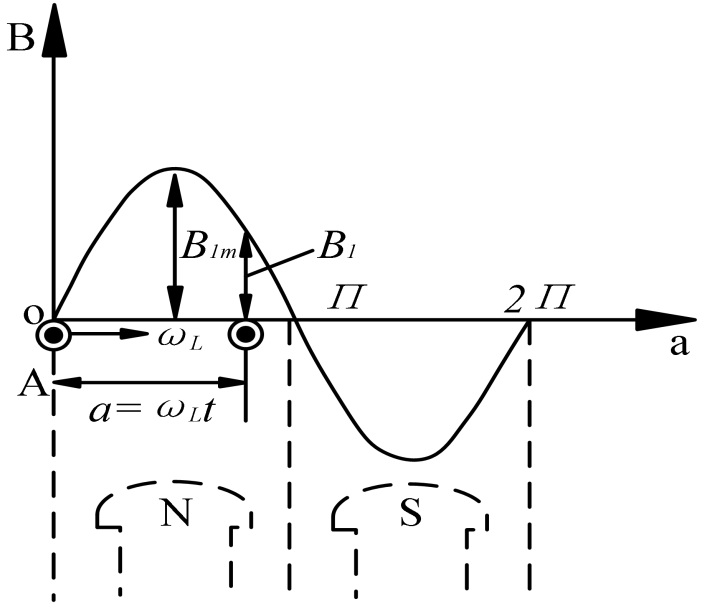
导体 → 线匝 → 线圈 → 线圈组 → 绕组

### 1、产生的原因

若交流电动机气隙中有磁场旋转，则定子绕组中必然会产生切割电动势。

$$B_1 = B_m \sin \alpha$$




- 规定气隙磁通从转子到定子的方向为正，对应的气隙磁通密度也为正，反之为负。

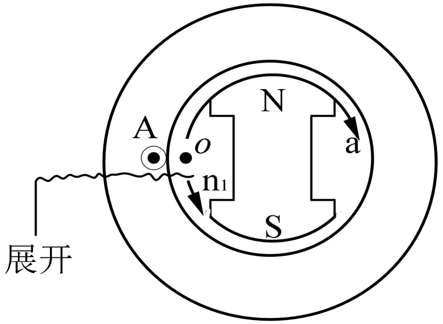
## 一、导体的感应电动势

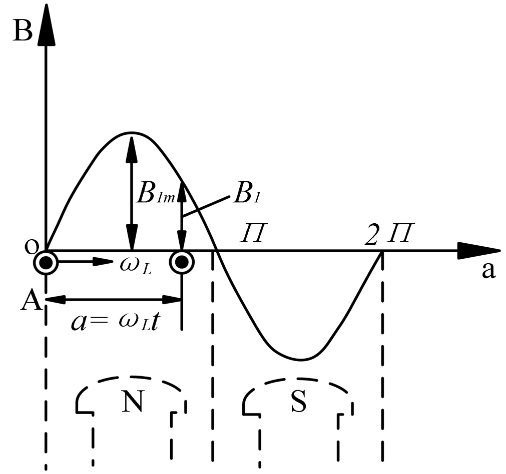
### 2、导体感应电动势的波形

（1）设α处基波磁通密度为：$B_1 = B_m \sin\alpha$

（2）导体A感应电动势的大小为：$e_1 = B_1 l v$

（3）磁极电角速度为：$\omega_1 = p\Omega_1 = p2\pi\dfrac{n_1}{60}$



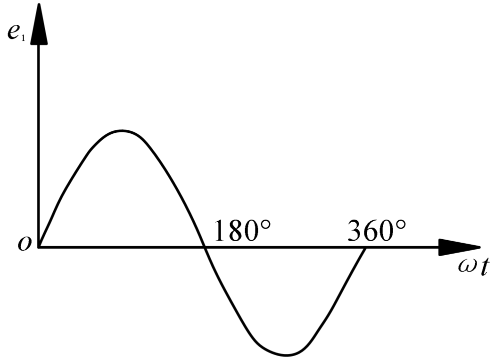




（4）若把导体A位于坐标原点的瞬间规定为时间起点（$t=0$），当时间过了$t$秒后，导体A移动到α处，此时$\alpha=\omega_1 t$，该处的气隙磁通密度为：

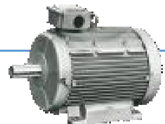
$$B_1 = B_m \sin\alpha = B_m \sin\omega_1 t$$

（5）则导体A中感应的电动势瞬时值为：

$$e_1 = B_1 l v = B_m l v \sin\omega_1 t = E_m \sin\omega_1 t = \sqrt{2} E \sin\omega_1 t$$

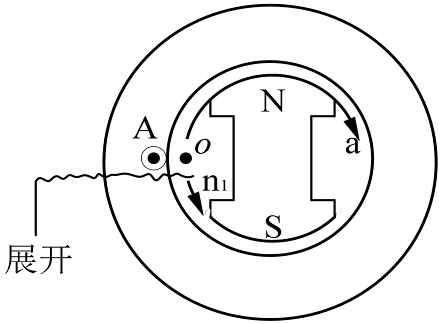


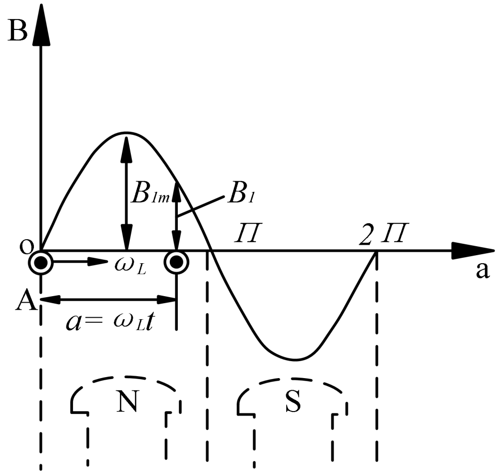

结论：导体中感应电动势随 时间变化的波形与气隙中磁通密度在空间分布的波形相似。



## 一、导体的感应电动势

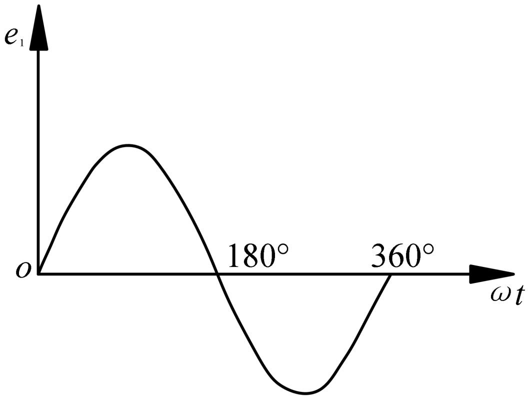
### 3、导体感应电动势的频率



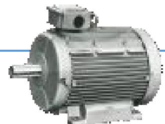




旋转一周，导体A中所产生的感应电动势将会变化$p$个周波，当电机旋转$n_1$转/分时，导体A中感应电动势变化频率$f_1$为：

$$f_1 = \frac{pn_1}{60} \qquad \Rightarrow n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$





**【例】 某三相异步电动机的额定转速$n$N=970r/min, 试求该电动机的额定转差率及极对数。**

解：由同步转速表达式： $n_1=\dfrac{60f_1}{p}$

其中，$f_1=50\text{Hz}$工频，$p$为极对数（整数）

当$p=1\rightarrow n_1=3000\text{r}/\min$； 当$p=2\rightarrow n_1=1500\text{r}/\min$；

当$p=3\rightarrow n_1=1000\text{r}/\min$； 当$p=4\rightarrow n_1=750\text{r}/\min$；

由于同步转速$n_1$应比额定转速$n_\text{N}=970\text{r/min}$略高，

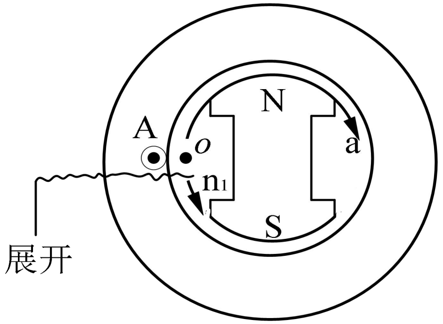
故取： $n_1=1000\text{r/min}$，

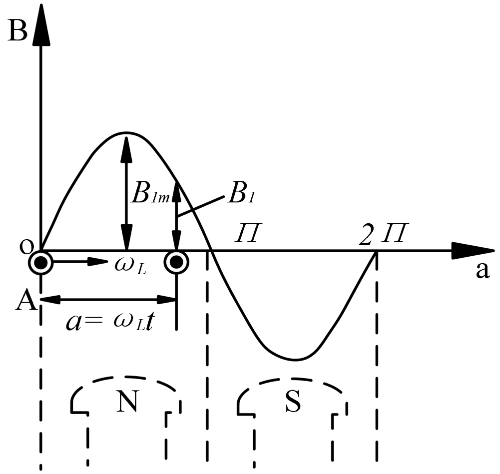
则： $p=3$

额定转差率$s_\text{N}=\dfrac{n_1-n_\text{N}}{n_1}=\dfrac{1000-970}{1000}=0.03$

## 一、导体的感应电动势

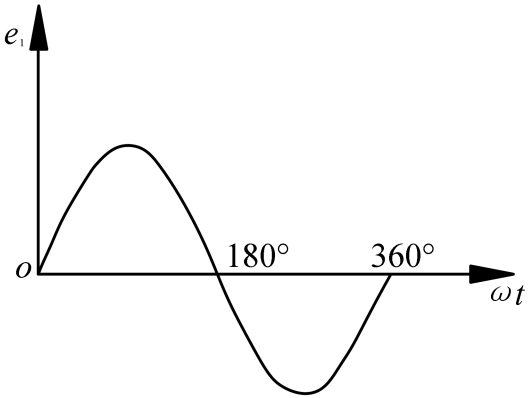
### 4、导体感应电动势的幅值




$$B_{av}=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}B_{1m}\sin\alpha d\alpha$$
$$=\frac{1}{\pi}B_{1m}(-\cos\alpha)\Big|_0^{\pi}=\frac{2}{\pi}B_{1m}$$

$$E_{1m}=B_{1m}lv=\frac{\pi}{2}(\frac{2}{\pi}B_{1m})l(2\tau p\frac{n_1}{60})$$
$$=\frac{\pi}{2}(B_{av}l\tau)2(\frac{pn_1}{60})=\pi\Phi_1 f_1$$



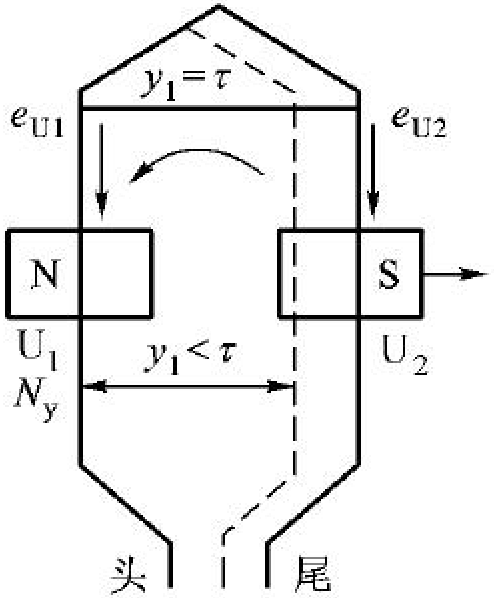

### 5、导体基波感应电动势的有效值

$$E_1=\frac{E_{1m}}{\sqrt{2}}=\frac{\pi f_1\Phi_1}{\sqrt{2}}=2.22f_1\Phi_1$$

## 二、线圈的感应电动势

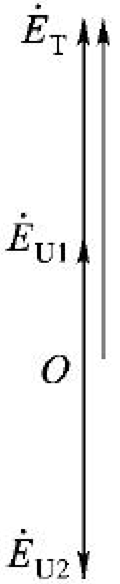
### 1、整距线匝电动势

若一个线匝的基本电动势用$e_T$表示，则它与导体$U_1$和$U_2$的基波电动势$e_{U1}$和$e_{U2}$的关系为：$e_T = e_{U1} - e_{U2}$




如果用相量表示，则为：

$$\dot{E}_T = \dot{E}_{U1} - \dot{E}_{U2} = \dot{E}_{U1} + (-\dot{E}_{U2})$$




线匝基波电动势有效值大小为：

$$E_T = 2E_{U1} = 2\times 22.2 f_1\Phi_1 = 4.44 f_1\Phi_1$$

## 二、线圈的感应电动势

### 2、整距线圈电动势

$N_y$匝整距线匝串联，构成整距线圈，其基波电动势为： $E_y = 4.44 f_1 N_y \Phi_1$

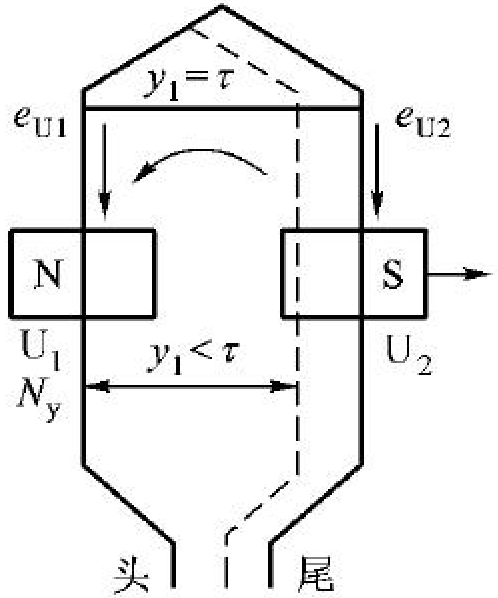
### 3、短距线圈电动势

节距$y_1$<τ,设$y = y_1/\tau$,则$0<y<1$。短距线圈基波电动势相量：

$$\dot{E}_{y(y<\tau)} = \dot{E}_{U1} - \dot{E}_{U2} = \dot{E}_{U1} + (-\dot{E}_{U2})$$

线圈第一节距用$y_1$（槽数）表示，也可以用空间电角度$\gamma$表示：

$$\frac{y_1}{\gamma} = \frac{\tau}{180^0} \Rightarrow \gamma = \frac{y_1}{\tau} \times 180^\circ = \frac{y_1}{\tau}\pi = y\pi$$



## 二、线圈的感应电动势

### 3、短距线圈电动势

短距线圈基波电动势大小为：

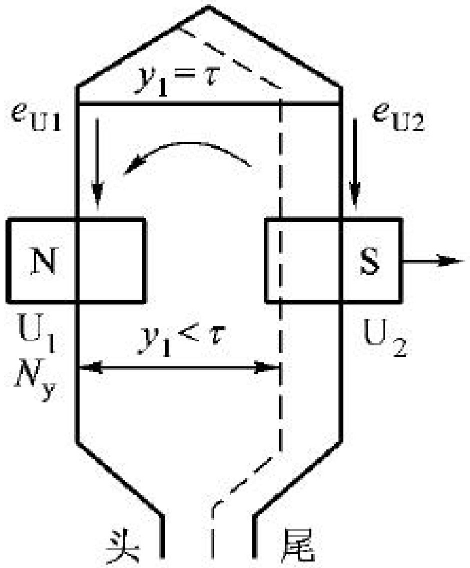
$$E_{y(y<\tau)}=\dot{E}_{U1}+(-\dot{E}_{U2})=E_{U1}\cos\frac{180^{\circ}-\gamma}{2}$$

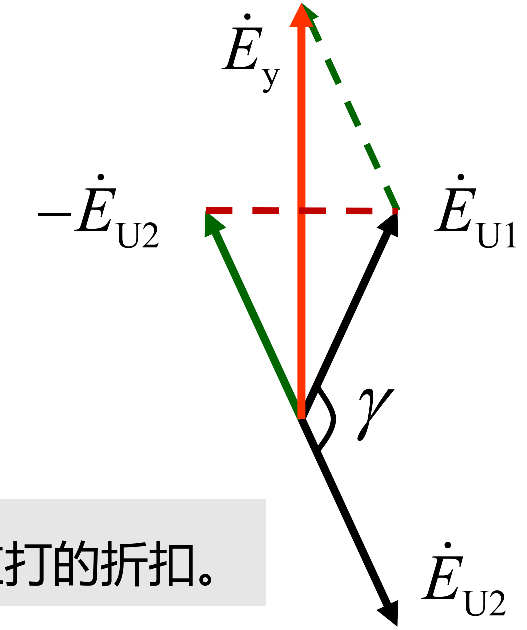
$$+E_{U2}\cos\frac{180^{\circ}-\gamma}{2}=2E_{U1}\cos\frac{180^{\circ}-\gamma}{2}$$

$$=2E_{U1}\sin\frac{\gamma}{2}=2E_{U1}\sin y\frac{\pi}{2}=4.44f_1N_y\Phi_1\sin y\frac{\pi}{2}$$

短距基波系数$k_{y1}$

$$E_{y(y<\tau)}=4.44f_1N_yk_{y1}\Phi_1$$




短距基波系数$k_{y1}$的含义：线圈短距时的感应电动势相对于整距线圈时应打的折扣。

**【例】 有一匝数为100匝的短距线圈，两线圈边放在相距150°空间电角度的定子槽中。已知每匝导体的感应电动势为1.5V，试求该线圈的基波电动势。**

解：若此线圈为整距线圈，其基波电动势为：

$$E_{\mathrm{T}} = 2\times100\times1.5\mathrm{V}=300\mathrm{V}$$

计算短距系数$k_{\mathrm{y1}}$：

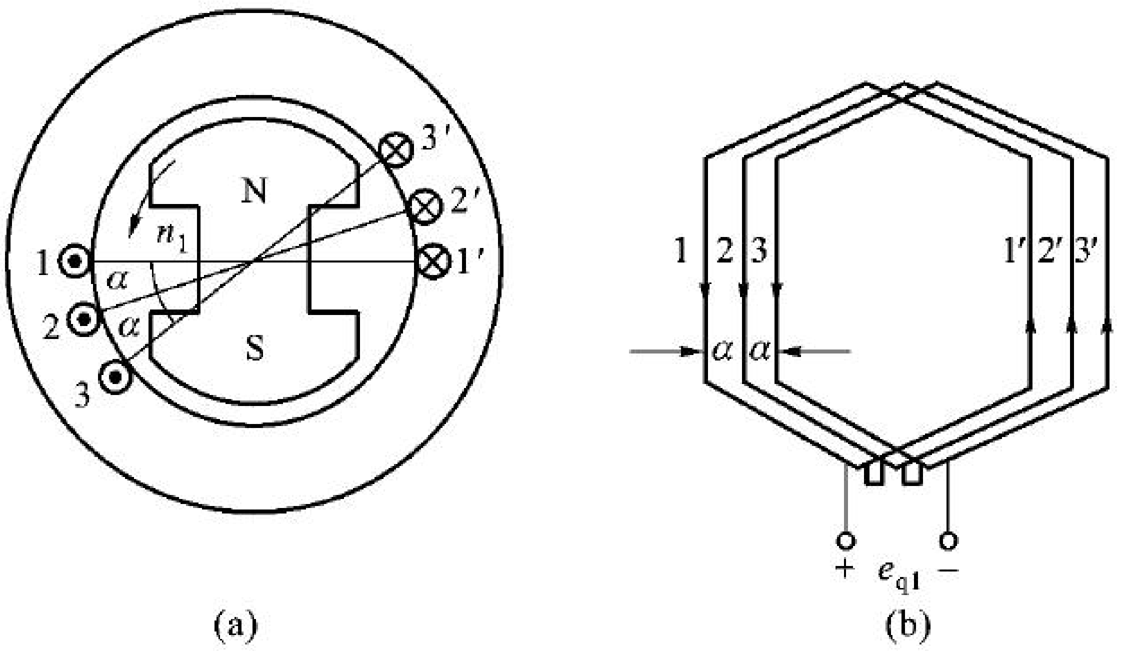
$$k_{\mathrm{y1}} = \sin y\frac{\pi}{2} = \sin\frac{y_1}{\tau}\times\frac{\pi}{2} = \sin\frac{150^\circ}{180^\circ}\times\frac{\pi}{2} = 0.965$$

短距线圈的基波电动势为：

$$E_{\mathrm{y}} = E_{\mathrm{T}}\times k_{\mathrm{y}} = 300\times0.965\mathrm{V}=289.5\mathrm{V}$$

## 一、整距分布线圈组的连接图

1 - 1′、 2 - 2′ 、 3 - 3′三个线圈为整距线圈，它们的匝数相等。在定子圆周上，彼此互差一个槽距角α而均匀分布，将它们按头尾顺序串联起来，组成一个线圈组，称为整距分布线圈组。

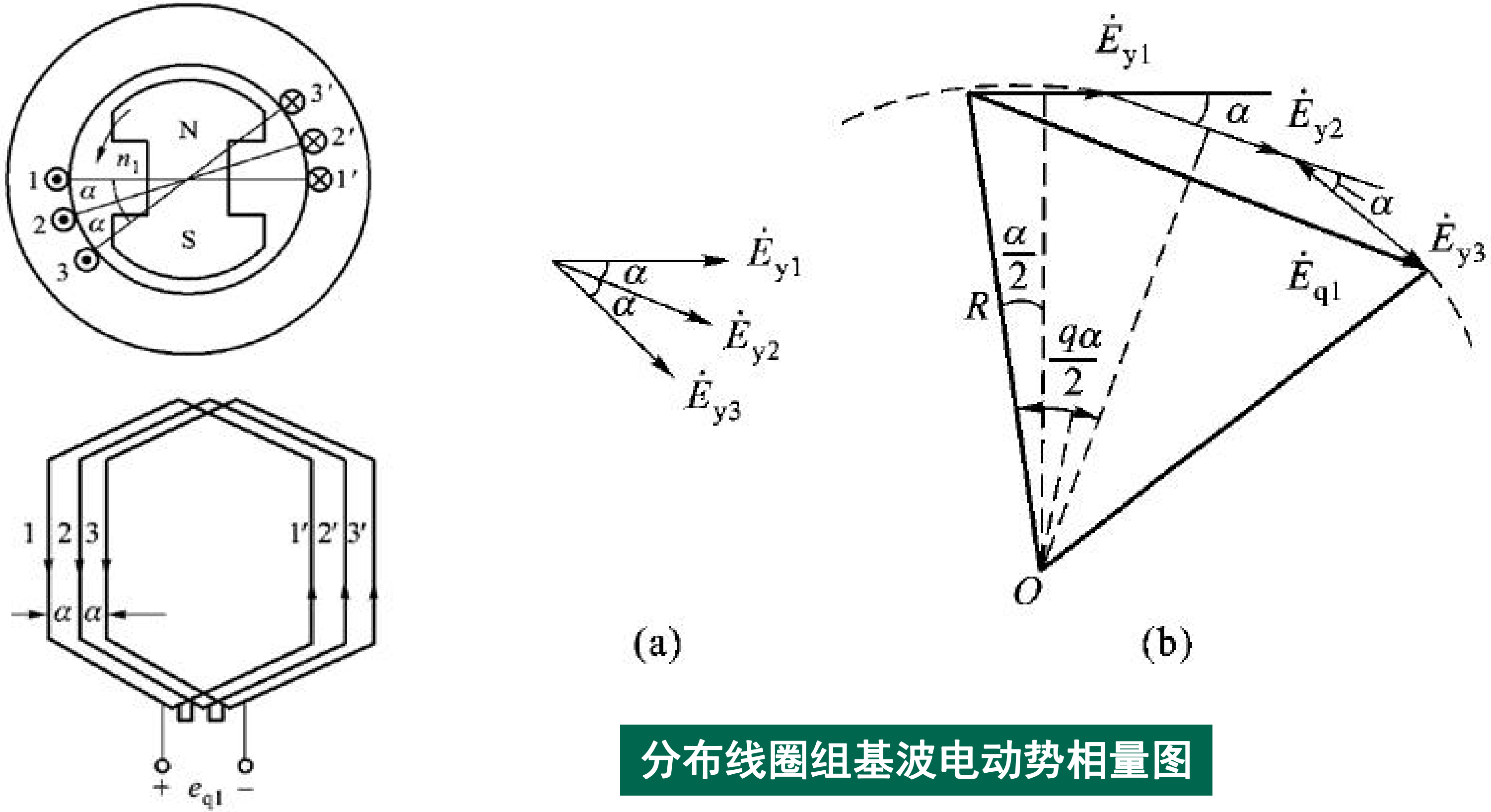



分布线圈组空间位置及其连接图

## 二、整距分布线圈组的电动势

三个线圈中的感应电动势在时间上相差α电角度，线圈组的总电动势应为这三个线圈电动势的相量和。

推广到$q$个线圈组成的线圈组：$\dot{E}_{q1}=\dot{E}_{y1}+\dot{E}_{y2}+\cdots+\dot{E}_{yq}$




分布线圈组基波电动势相量图

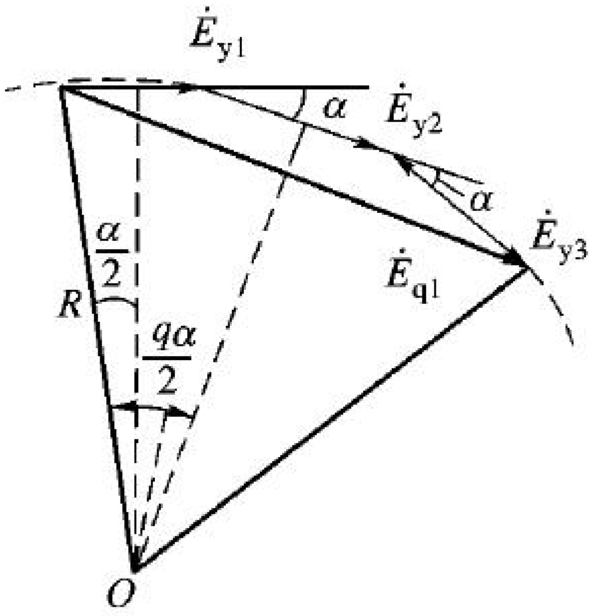
## 二、整距分布线圈组的电动势

$$\dot{E}_{q1}=\dot{E}_{y1}+\dot{E}_{y2}+\cdots+\dot{E}_{yq}$$

根据右图： $\sin(\alpha/2)=(E_{y1}/2R)$

每个线圈： $E_{y1}=2R\sin\dfrac{\alpha}{2}$

$q$个线圈： $E_{q1}=2R\sin(q\alpha/2)$




若把$q$个整距线圈集中在一起，则线圈组的基波电动势为$qE_{y1}$,令

分布系数$k$q1 $k_{q1}=\dfrac{E_{q1}}{qE_{y1}}=\left(2\sin\dfrac{q\alpha}{2}\Big/2q\sin\dfrac{\alpha}{2}\right)=\left(\sin\dfrac{q\alpha}{2}\Big/q\sin\dfrac{\alpha}{2}\right)$

$$E_{q1}=qE_{y1(y1<\tau)}k_{q1}=4.44f_1N_yk_{y1}\Phi_1qk_{q1}=4.44f_1qN_yk_{N1}\Phi_1$$

绕组系数$k_{N1}$ $(=k_{y1}\,k_{q1})$：分布、短距线圈组的基波合成电动势相对于集中、整距绕组时应打的总折扣.

**【例】一台工频三相交流电机，在定子槽中嵌放由4个线圈构成的线圈组。已知电机槽距角α=15°,线圈的节距$y_1$=10,τ=12,每个线圈的匝数20，每极磁通$\Phi_1$=4.85e-3Wb,求该短距分布线圈组的基波感应电动势有效值为多少?**

解：基波短距系数:

$$k_{y1} = \sin\frac{y\pi}{2} = \sin\frac{10}{12}\frac{\pi}{2} = 0.96593$$

基波分布系数:

$$k_{q1} = \frac{\sin q\dfrac{\alpha}{2}}{q\sin\dfrac{\alpha}{2}} = \frac{\sin\dfrac{4\times 15^\circ}{2}}{4\times\sin\dfrac{15^\circ}{2}} = 0.95668$$

短距分布线圈组的基波感应电动势有效值为:

$$E_{q1} = 4.44 f_1 q N_y k_{y1} k_{q1} \Phi_1 = 79.68\text{V}$$

## 一、一相绕组的感应电动势

设电机有 2p 个磁极，每相绕组有b条支路，每条支路由若干个线圈组串联组成。

| 绕组类型 | 线圈组数 | 支路线圈组数 | 支路总匝数 |
|---|---|---|---|
| 单层绕组 | p | $p/b$ | $N_1=qN_y(p/b)$ |
| 双层绕组 | 2p | $2p/b$ | $N_1=qN_y(2p/b)$ |

单层绕组 $E_{\Phi 1}=\dfrac{p}{b}E_{q1}=\dfrac{p}{b}4.44f_1qN_yk_{N1}\Phi_1=4.44f_1(qN_y\dfrac{p}{b})k_{N1}\Phi_1=4.44f_1N_1k_{N1}\Phi_1$

双层绕组 $E_{\Phi 1}=\dfrac{2p}{b}E_{q1}=\dfrac{2p}{b}4.44f_1qN_yk_{N1}\Phi_1=4.44f_1(qN_y\dfrac{2p}{b})k_{N1}\Phi_1=4.44f_1N_1k_{N1}\Phi_1$

综上，一相绕组感应电动势为： $E_{\Phi 1}=4.44fN_1k_{N1}\Phi_1$

**【例】 一台工频三相交流电机，定子为双层短距分布绕组。已知定子槽数$Z_1$=48,极对数$p$=2,线圈节距$y_1$=11，每个线圈的匝数25，并联支路对数a = 2，每极磁通$\Phi_1$=5.65e-3Wb,求几种基波感应电动势有效值。**

解：（1）导体的基波电动势：

$$E_1 = 2.22 f_1 \Phi_1 = 2.22 f_1 \Phi_1$$

$$= 2.22 \times 50 \times 5.65 \times 10^{-3}\,\text{V} = 0.627\,\text{V}$$

（2）每个线圈的基波电动势：

极距：$\tau = Z_1/2p = 48/2\times 2 = 12$

基波短距系数：$k_{y1} = \sin\frac{y\pi}{2} = \sin\frac{11}{12}\frac{\pi}{2} = 0.9914$

基波电动势　$E_{y1} = 4.44 f_1 N_y k_{y1} \Phi_1 = 31.09\text{V}$

（3）线圈组的基波电动势

槽距角：$\alpha = \frac{p\times 360^\circ}{Z_1} = \frac{2\times 360^\circ}{48} = 15^\circ$

每极每相槽数：$q = \frac{Z_1}{2pm_1} = \frac{48}{2\times 2\times 3} = 4$

基波分布系数：$k_{q1} = \frac{\sin\frac{q\alpha}{2}}{q\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin\frac{4\times 15^\circ}{2}}{4\times\sin\frac{15^\circ}{2}} = 0.9577$

基波绕组系数：

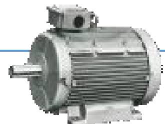
$$k_{N1} = k_{y1}k_{q1} = 0.9914\times 0.9577 = 0.9494$$

基波电动势：

$$E_{q1} = 4.44 f_1 q N_y k_{y1} k_{q1} \Phi_1 = 119.09\text{V}$$

（4）每相绕组的基波电动势有效值：

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 k_{N1} \Phi_1 = 4.44 f_1 k_{N1} \Phi_1 \frac{2pqN_y}{\alpha} = 238\text{V}$$



## 二、定子绕组的谐波电动势

### 1. 谐波感应电动势的频率：

$\nu$次谐波磁密的极对数是基波磁密的倍$\nu$，即$\nu p$，谐波感应电动势的频率为$f_\nu$：$f_\nu = \frac{\nu p n_1}{60} = \nu f_1$

### 2. ν次谐波感应电动势的有效值：

（1）$\nu$次谐波短距系数：$k_{y\nu} = \sin\frac{\nu y \pi}{2}$

（2）$\nu$次谐波分布系数 $k_{q\nu} = \frac{\sin\frac{q\nu\alpha}{2}}{q\sin\frac{\nu\alpha}{2}}$

（3）$\nu$次谐波感应电动势有效值 $E_\nu = 4.44 f_\nu N_1 k_{N\nu} \Phi_\nu$

三相电机在各相绕组中感应有各次谐波电动势，但只要每相绕组采用短距、分布形式，就可以有效抑制各次谐波电动势，甚至是某次谐波电动势为零。

# 小结

感应电动势

导体感应电动势

$$B_1=B_m\sin\alpha \quad e_1 = B_1 l v \quad \omega_1=p\Omega_1=p2\pi\frac{n_1}{60} \quad B_1=B_m\sin\alpha=B_m\sin\omega_1 t$$

$$e_1=B_1lv=B_mlv\sin\omega_1 t=E_m\sin\omega_1 t=\sqrt{2}E\sin\omega_1 t \quad f_1=\frac{pn_1}{60} \quad \Rightarrow n_1=\frac{60f_1}{p}$$

导体感应电动势的幅值 $B_{av}=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}B_{1m}\sin\alpha d\alpha=\frac{1}{\pi}B_{1m}(-\cos\alpha)\Big|_0^{\pi}=\frac{2}{\pi}B_{1m}$ $\quad E_{1m}=B_{1m}lv=\frac{\pi}{2}(\frac{2}{\pi}B_{1m})l(2\tau p\frac{n_1}{60})=\frac{\pi}{2}(B_{av}l\tau)2(\frac{pn_1}{60})=\pi\Phi_1 f_1$

导体基波感应电动势的有效值 $E_1=\frac{E_{1m}}{\sqrt{2}}=\frac{\pi f_1\Phi_1}{\sqrt{2}}=2.22f_1\Phi_1$

整距线匝电动势

$$\dot{E}_T=\dot{E}_{U1}-\dot{E}_{U2}=\dot{E}_{U1}+(-\dot{E}_{U2})$$

$$E_T=2E_{U1}=2\times 22.2f_1\Phi_1=4.44f_1\Phi_1$$

整距线圈电动势 $E_y=4.44f_1N_y\Phi_1$

短距线圈电动势

$$\dot{E}_{y(y<\tau)}=\dot{E}_{U1}-\dot{E}_{U2}=\dot{E}_{U1}+(-\dot{E}_{U2})$$

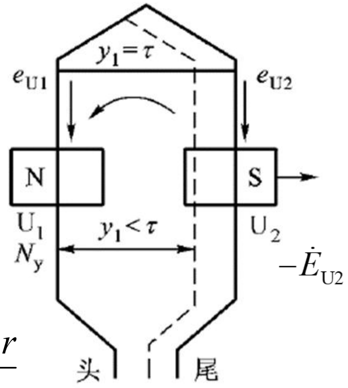
$$\frac{y_1}{\gamma}=\frac{\tau}{180^0}\Rightarrow\gamma=\frac{y_1}{\tau}\times180^\circ=\frac{y_1}{\tau}\pi=y\pi$$

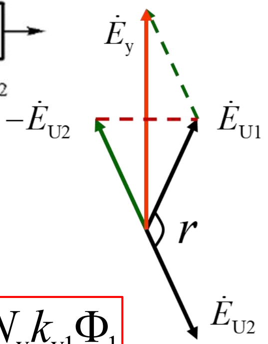
$$E_{y(y<\tau)}=\dot{E}_{U1}+(-\dot{E}_{U2})=E_{U1}\cos\frac{180^\circ-r}{2}+E_{U2}\cos\frac{180^\circ-r}{2}=2E_{U1}\cos\frac{180^\circ-r}{2}$$

$$=2E_{U1}\sin\frac{r}{2}=2E_{U1}\sin y\frac{\pi}{2}=4.44f_1N_y\Phi_1\sin y\frac{\pi}{2}$$

短距基波系数$k_{y1}$

$$\boxed{E_{y(y<\tau)}=4.44f_1N_yk_{y1}\Phi_1}$$



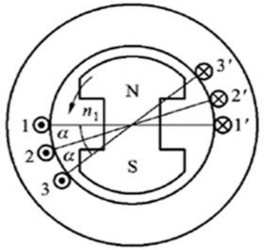

短距分布线圈组的电动势 $\dot{E}_{q1}=\dot{E}_{y1}+\dot{E}_{y2}+\cdots+\dot{E}_{yq}$

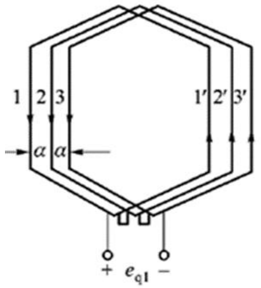
$$\sin(\alpha/2)=(E_{y1}/2R) \quad E_{y1}=2R\sin\frac{\alpha}{2} \quad E_{q1}=2R\sin(q\alpha/2)$$

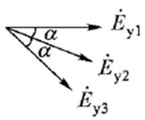
$$k_{q1}=\frac{E_{q1}}{qE_{y1}}=\left(2\sin\frac{q\alpha}{2}\Big/2q\sin\frac{\alpha}{2}\right)=\left(\sin\frac{q\alpha}{2}\Big/q\sin\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$E_{q1}=qE_{y1(y1<\tau)}k_{q1}=4.44f_1N_yk_{y1}\Phi_1qk_{q1}=4.44f_1qN_yk_{N1}\Phi_1$$

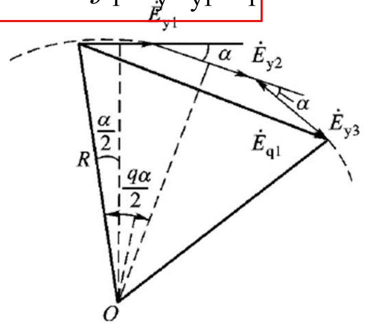
绕组系数$k_{N1}\ (=k_{y1}k_{q1})$




(a)




(b)

一相绕组的感应电动势 $E_{\Phi1}=4.44fN_1k_{N1}\Phi_1$ $\quad$ $\nu$次谐波感应电动势有效值$E_\nu=4.44f_\nu N_1k_{N\nu}\Phi_\nu$