



自动控制实践(A)-13

- 异步电机运行原理2



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



复习

1. 异步/感应电机运行原理

2. 异步电机的基本结构

基本概念:

多相对称绕组注入多相对称电流

相数 m 与 极对数 p

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

2. 交流绕组的感应电势



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

1.1 单个整距绕组产生的磁场

1.2 一相绕组（分布的线圈组）产生的磁场

1.3 三相绕组合成磁场（电机气隙合成磁场）

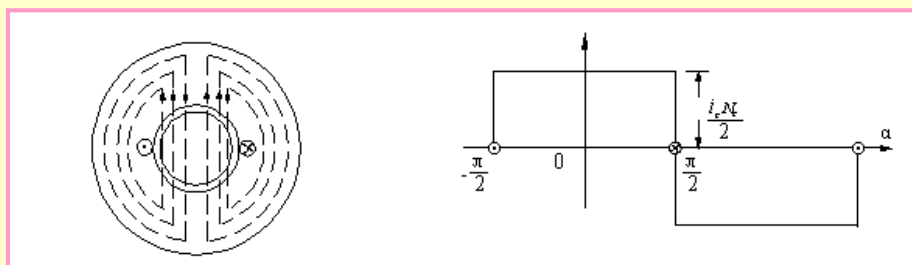
1.4 多相电机的对称多相绕组



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

1.1 单个整距线圈的磁动势：

线圈是构成绕组的最基本单位，所以磁动势的分析首先从线圈开始。我们先来分析整距线圈磁动势：



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

- 图中，电机中每条磁力线路径所包围的电流都等于 $N_c i_c$ ，其中 N_c 为线圈匝数， i_c 为导体中流过的电流。忽略铁心上的磁压降，所以总的磁动势 $N_c i_c$ 可认为是全部降落在两段气隙中，每段气隙磁动势的大小为 $N_c i_c / 2$ 。
- 将电机沿气隙予以展开，可得到图 (b) 所示的磁动势波形图。可见，整距线圈的磁动势在空间中的分布为一矩形波，其最大幅值为 $N_c i_c / 2$ 。当线圈中的电流随时间按正弦规律变化时，矩形波的幅值也随时间按照正弦规律变化。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

- 这个磁动势既和空间位置有关，又和时间有关。我们把这种空间位置不变，而幅值随时间变化的磁动势叫做脉振磁动势。

- 若线圈流过的电流为

$$i_c = I_{cm} \sin \omega t = \sqrt{2} I_c \sin \omega t$$

- 则气隙中的磁动势为：

$$F_\delta = \frac{1}{2} N_c i_c = \frac{\sqrt{2}}{2} N_c I_c \sin \omega t = F_{cm} \sin \omega t$$



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

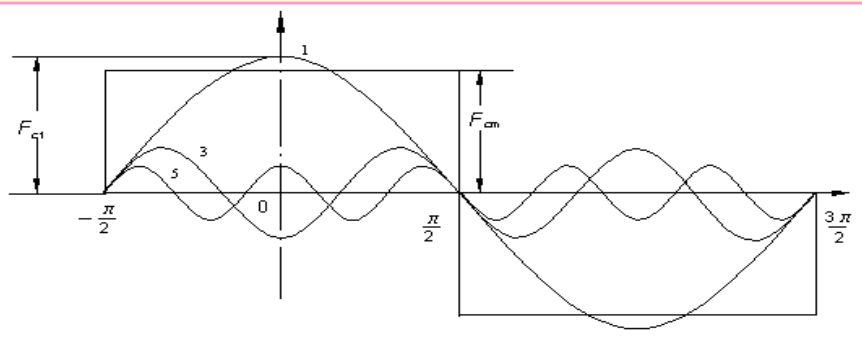
一般每一相线圈组总是由放置在相邻槽内的 q 个线圈组成。如果把 q 个空间位置不同的矩形波相加，合成波形就为阶梯波，这将给分析带来困难。

为便于分析，我们将矩形磁动势波形通过傅立叶级数将其进行分解，化为一系列正弦形的基波和高次谐波，然后将不同槽内的基波磁动势和谐波磁动势分别相加，由于正弦波磁动势相加后仍为正弦波，所以可简化对磁动势的分析。



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

矩形波的傅立叶级数分解，若坐标原点取在线圈中心线上，横坐标取空间电角度 α ，可得基波和一系列奇次谐波（因为磁动势为奇函数），如图所示。其中基波和各奇次谐波磁动势幅值按照傅立叶级数求系数的方法得出，其计算如下



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

$$F_{cv} = \frac{1}{v} \frac{4}{\pi} F_{cm} \sin v \frac{\pi}{2} = \frac{1}{v} \frac{4}{\pi} \frac{\sqrt{2}}{2} N_c I_c \sin v \frac{\pi}{2}$$

得到基波和各次谐波的幅值后，磁动势幅值的表达式为：

$$\begin{aligned} F_{cm}(\alpha) &= F_{c1} \cos \alpha + F_{c3} \cos 3\alpha + F_{c5} \cos 5\alpha + \cdots + F_{cv} \cos v\alpha \\ &= 0.9 I_c N_c \left(\cos \alpha - \frac{1}{3} \cos 3\alpha + \frac{1}{5} \cos 5\alpha + \cdots \right) \end{aligned}$$

$$f_c(\alpha, t) = 0.9 I_c N_c \left(\cos \alpha - \frac{1}{3} \cos 3\alpha + \frac{1}{5} \cos 5\alpha + \cdots \right) \sin \omega t$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

$$f_c(\alpha, t) = 0.9 I_c N_c \left(\cos \alpha - \frac{1}{3} \cos 3\alpha + \frac{1}{5} \cos 5\alpha + \dots \right) \sin \omega t$$

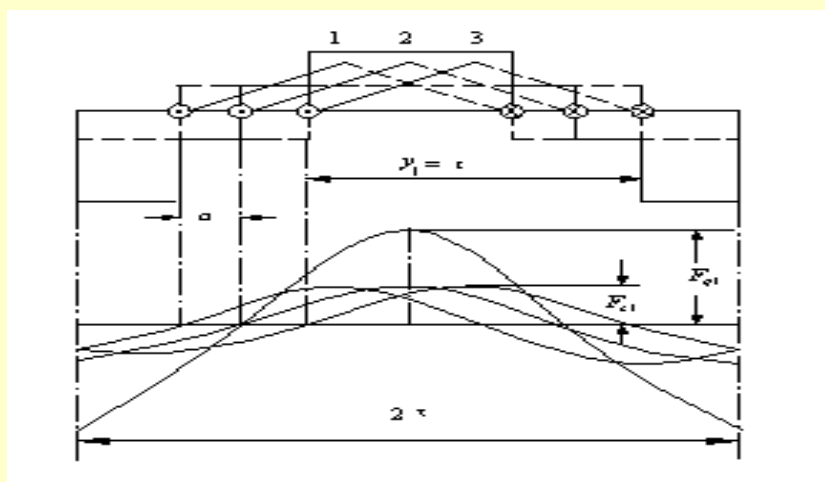
- 整距线圈产生的磁动势是一个在空间上按矩形分布，幅值随时间以电流频率按正弦规律变化的脉振波。
- 矩形磁动势波形可以分解成在空间按正弦分布的基波和一系列奇次谐波，各次谐波均为同频率的脉振波，其对应的极对数 $p_v = \nu p$ ，极距为 $\tau_v = \tau / \nu$ 。
- 电机 ν 次谐波的幅值 $F_{c\nu} = 0.9 I_c N_c / \nu$ 。
- 各次谐波都有一个波幅在线圈轴线上。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

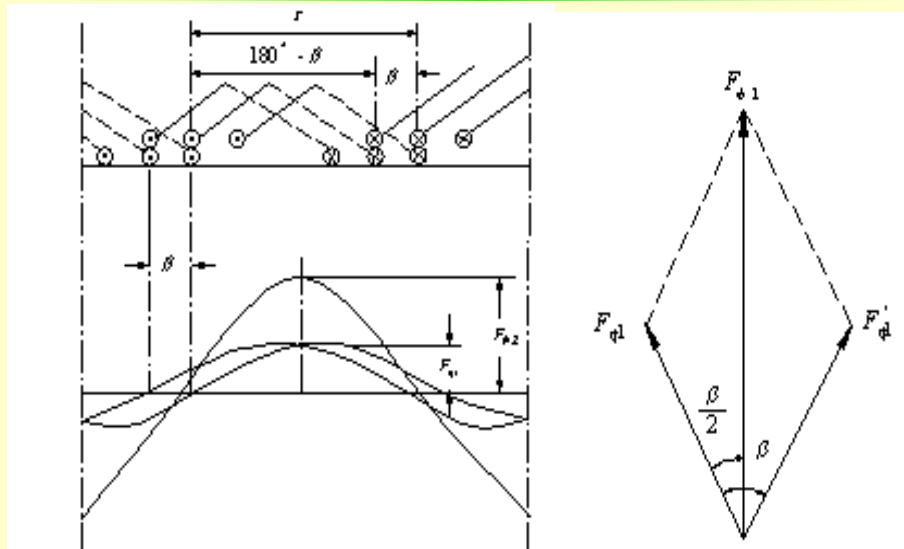
1.2 一相绕组的磁动势



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

$$F_{\phi 1} = 0.9 I_c (2qN_c) K_{q1} k_{y1}$$

$$= 0.9 I_c (2qN_c) k_{N1} = 0.9 \frac{IN}{p} k_{N1}$$

式中 k_{q1} 和 k_{y1} 分别为基波磁动势的短距系数和绕组分布系数
， 式中 N —— 电机每相串联匝数

同理可推出一相磁动势的高次谐波幅值为：

$$F_{\phi v} = 0.9 \frac{IN}{vp} k_{qv} k_{yv} = 0.9 \frac{IN}{vp} k_{Nv}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

- 磁动势的短距系数和磁动势的分布系数一样，对基波的影响较小，但可使高次谐波磁动势有很大的削弱。因此采用短距绕组也可以改善磁动势的波形。
- 若将空间坐标的原点放在一相绕组的轴线上，可得一相绕组磁动势瞬时值的一般表达式为

$$f_{\varphi}(\alpha, t) = 0.9 \frac{IN}{p} \left(k_{N1} \cos \alpha - \frac{1}{3} k_{N3} \cos 3\alpha + \frac{1}{5} k_{N5} \cos 5\alpha - \dots - \frac{1}{v} k_{Nv} \cos v\alpha \right) \sin \omega t$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

分析可得出以下结论：

- (1) 单相绕组的脉振磁动势可分解为空间基波和一系列奇次谐波。基波和各次谐波为沿气隙圆周方向按正弦波分布的脉振磁动势。
- (2) 单相绕组采用短距和分布绕组,对基波磁动势的影响较小，而对各高次谐波磁动势有较大的削弱，从而改善了磁动势的波形。
- (3) 单相绕组合成磁动势是空间位置固定(在相绕组轴线上)、幅值随时间以电流的频率按正弦规律变化的脉振磁动势。

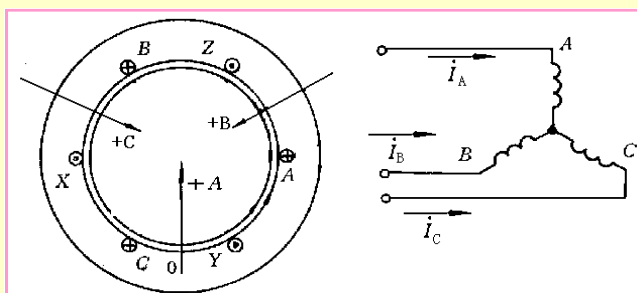
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

1.3 三相电枢绕组产生的基波合成磁动势

现代电力系统采用三相制，无论是同步电机还是异步电机大多采用三相绕组，分析三相绕组的合成磁动势是研究交流电机的基础。由于基波磁动势对电机的性能有决定性的影响，因此本节将首先分析基波磁动势。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

三相电机绕组一般采用对称三相绕组，即三相绕组在空间上互差 120° 电角度，绕组中三相电流在时间上也互差 120° 电角度。这样,我们设通入三相电流所产生的磁动势为:

$$\left. \begin{aligned} f_{A1}(t, \alpha) &= F_{\phi 1} \cos \alpha \sin \omega t \\ f_{B1}(t, \alpha) &= F_{\phi 1} \cos(\alpha - 120^\circ) \sin(\omega t - 120^\circ) \\ f_{C1}(t, \alpha) &= F_{\phi 1} \cos(\alpha - 240^\circ) \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

$$\left. \begin{aligned} f_{A1}(t, \alpha) &= \frac{F_{\varphi 1}}{2} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{F_{\varphi 1}}{2} \sin(\omega t + \alpha) \\ f_{B1}(t, \alpha) &= \frac{F_{\varphi 1}}{2} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{F_{\varphi 1}}{2} \sin(\omega t + \alpha - 240^\circ) \\ f_{C1}(t, \alpha) &= \frac{F_{\varphi 1}}{2} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{F_{\varphi 1}}{2} \sin(\omega t + \alpha - 120^\circ) \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} f(t, \alpha) &= f_{A1}(t, \alpha) + f_{B1}(t, \alpha) + f_{C1}(t, \alpha) \\ &= \frac{3}{2} F_{\varphi 1} \sin(\omega t - \alpha) = F_1 \sin(\omega t - \alpha) \end{aligned}$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

通过以上分析，我们可以得出以下结论：

- (1) 对称的三相绕组内通有对称的三相电流时，三相绕组基波合成磁动势是一个在空间按正弦分布、幅值恒定的圆形旋转磁动势，其幅值为每相基波脉振磁动势最大幅值的3/2倍，即

$$F_1 = \frac{3}{2} F_{\varphi 1} = 1.35 \frac{IN}{p} K_{N1}$$

- (2) 合成磁动势的转速，即同步转速

$$n_1 = \frac{60f}{p} (\text{rpm})$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

(3) 合成磁动势的转向取决于三相电流的相序及三相绕组在空间的排列。即合成磁动势是从流过超前电流相的绕组轴线转向电流滞后相的绕组轴线。

改变电流相序即可改变旋转磁动势的转向。

(4) 旋转磁动势的瞬时位置视相绕组电流大小而定，当某相电流达到正的最大值时，合成磁动势的正幅值就与该相绕组轴线重合。



目 录

1. 多相对称绕组产生的旋转磁场

2. 交流绕组的感应电势



1. 交流绕组中的感应电势

正弦磁场下交流绕组的
感应电动势

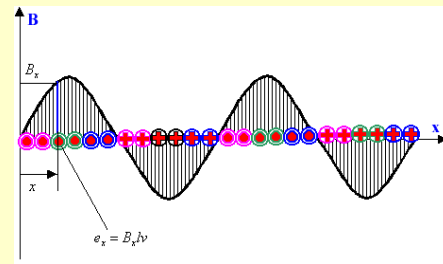
一、导体的感应电动势

1. 电动势的波形

$$e = Blv = B_1 l v \sin \omega t = \sqrt{2} E_1 \sin \omega t$$

2. 正弦电动势的频率

感应电动势的频率: $f = \frac{pn_s}{60}$ 同步转速: $n_s = \frac{60f}{p}$



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



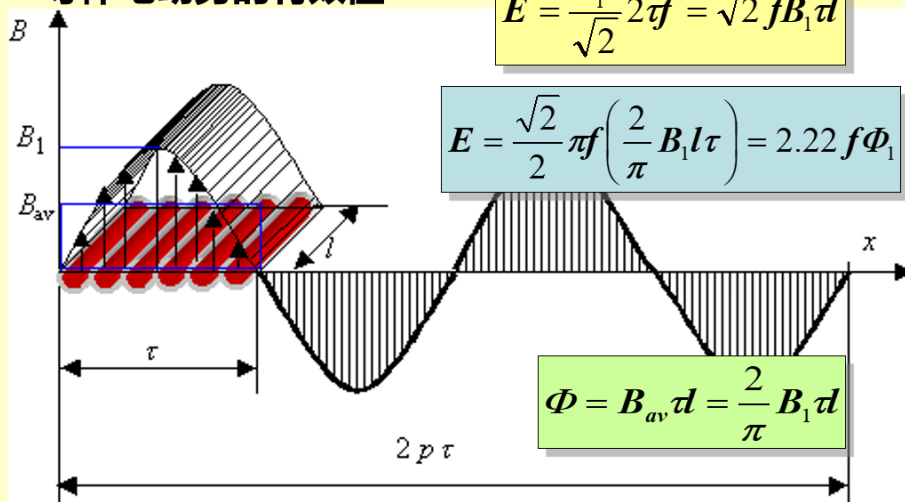
1. 交流绕组中的感应电势

导体电动势的有效值

$$E = \frac{B_1 l}{\sqrt{2}} 2\tau f = \sqrt{2} f B_1 \tau l$$

$$E = \frac{\sqrt{2}}{2} \pi f \left(\frac{2}{\pi} B_1 l \tau \right) = 2.22 f \Phi_1$$

$$\Phi = B_{av} \tau l = \frac{2}{\pi} B_1 \tau l$$



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1. 交流绕组中的感应电势

二、整距线圈的电动势

单匝线圈电动势的有效值

$$E_{c1(N_c=1)} = 2E'_1 = 4.44 f \Phi_1$$

线圈有 N_c 匝，则线圈电动势为：

$$E_{c1} = 4.44 f N_c \Phi_1$$

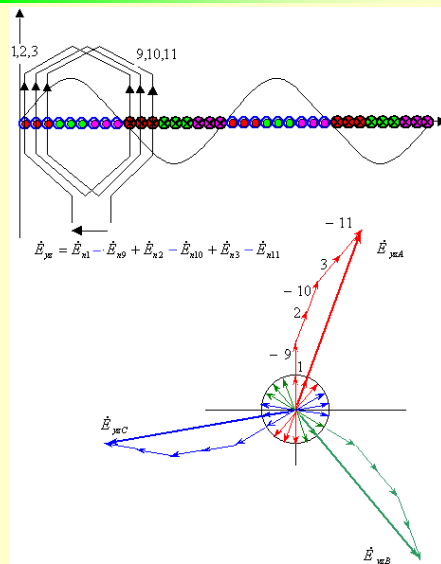


1. 交流绕组中的感应电势

三、分布绕组与短距绕组 对感应电势的影响

以分布系数 k_{p1} 表征分布绕组矢量合成的感应电势与其代数和的比值；

以短距系数 k_{d1} 表征短距绕组相对整距绕组感应电势的比值。



1. 交流绕组中的感应电势

四、相电动势

$$E_{\phi 1} = 4.44 f N k_{w1} \Phi_1$$

N ：一相绕组的总串联匝数

$k_{w1} = k_{p1} k_{d1}$ - 绕组的基波绕组因数。

k_{w1} 的意义：既考虑绕组短距、又考虑绕组分布时，整个绕组的合成电动势所需的总折扣。



小 结

掌握：

- 1) 多相对称绕组注入多相对称电流产生旋转磁场
- 2) 旋转磁场的特点
- 3) 异步电机绕组感应电势



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。

