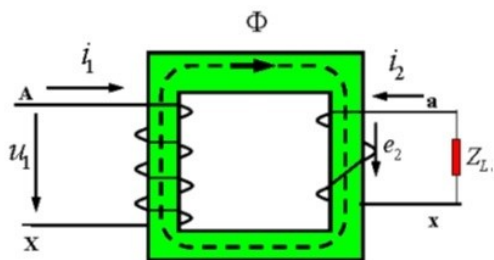
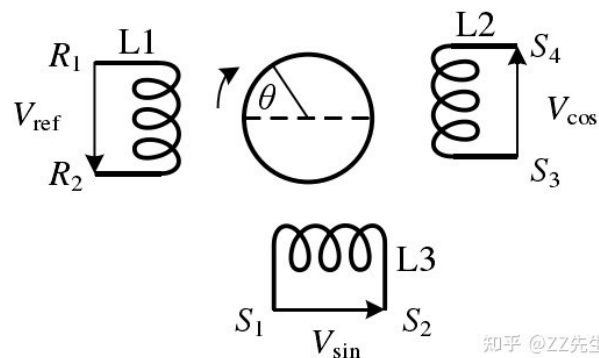
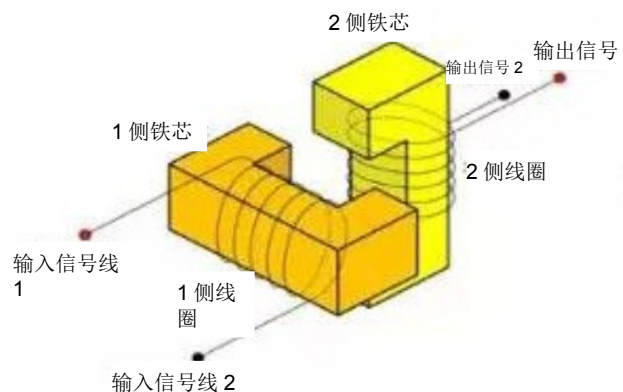
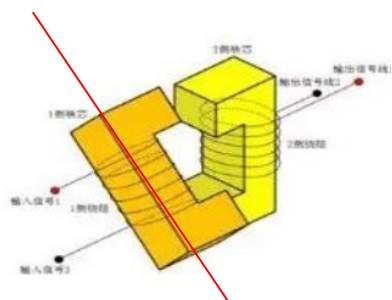
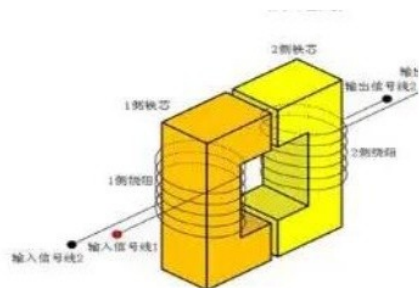


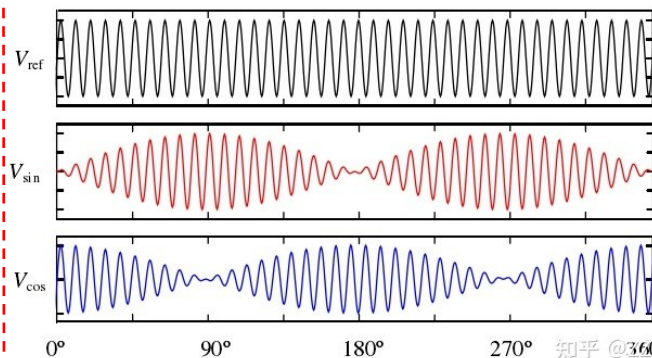
## 6.2 旋转变压器



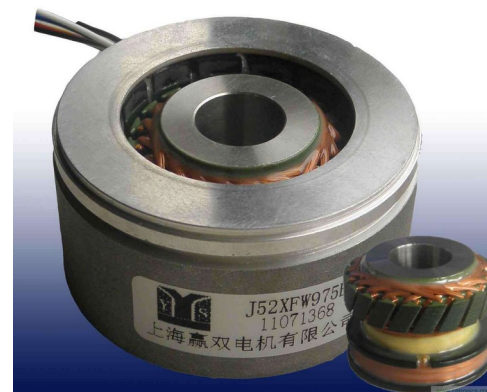
旋转变压器与常规变压器对比



知乎 @ZZ先生



知乎 @360先生



知乎 @九方格

## 6.2 旋转变压器

---

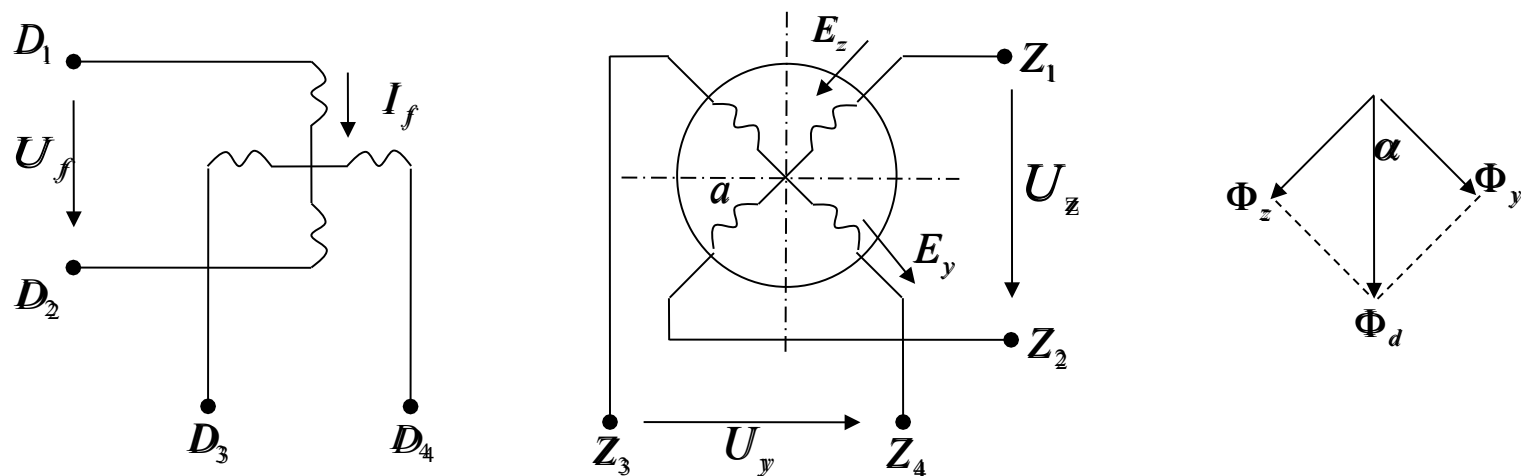
- 旋转变压器是测量机械转角及转速的控制电机
- 输出电压与转子转角有一定的函数关系
- 可以获得正弦关系、余弦关系或线性关系
- 在控制系统中可用作检测元件、坐标变换或三角运算

通常使用伺服电机和伺服驱动器与旋转变压器配合来实现角速度与位置测量：数控、注塑、机械臂、电动交通工具、铁路运输、农业和重型卡车等。

# 1. 旋转变压器的结构和原理

(1) 定子：两相绕组（定子励磁绕组或称定子直轴绕组  $D_1$ 、 $D_2$ ，定子交轴绕组  $D_3$ 、 $D_4$ ），空间上正交

(2) 转子：两相绕组（正弦输出绕组  $Z_1$ 、 $Z_2$ ，余弦输出绕组  $Z_3$ 、 $Z_4$ ），空间上正交，具有电刷和滑环。

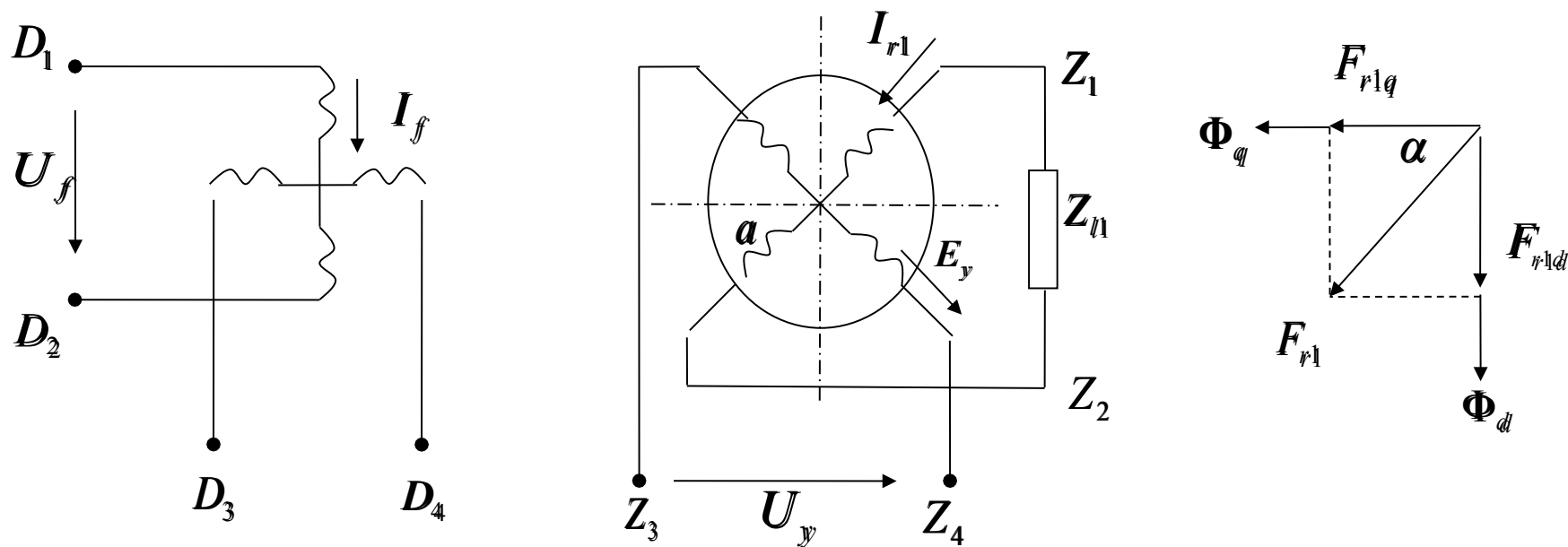


$$E_f = 4.44 f N_d \Phi_{dm} \left\{ \begin{array}{l} E_z = 4.44 f N_z \Phi_{dm} \sin \alpha \\ E_y = 4.44 f N_z \Phi_{dm} \cos \alpha \end{array} \right.$$

$$k \equiv \frac{N_z}{N_D} \equiv \frac{E_z}{E_D}$$

## 2. 旋转变压器的负载运行

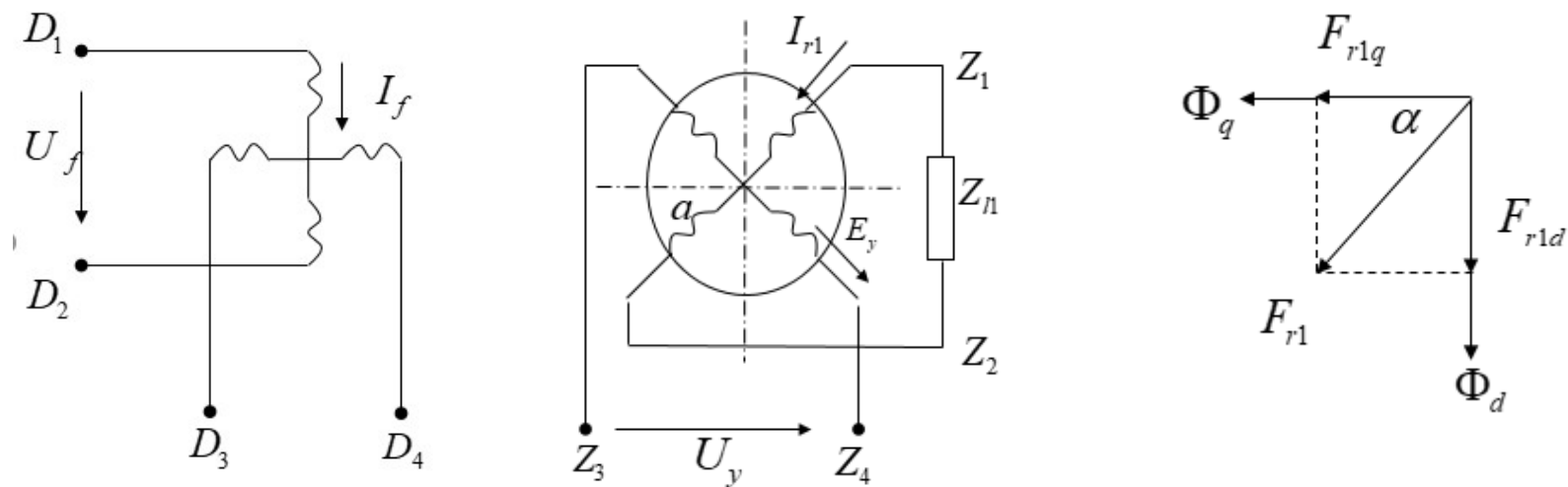
当旋转变压器转子的正弦输出绕组中接入负载阻抗  $Z_{l1}$  后，便有电流流过正弦输出绕组，这种状态称为旋转变压器的负载运行



## (1) 电枢反应磁场

$$\Phi_{r1} = F_{r1} A_{r1}$$

可分解为两部分：直轴磁场和交轴磁场

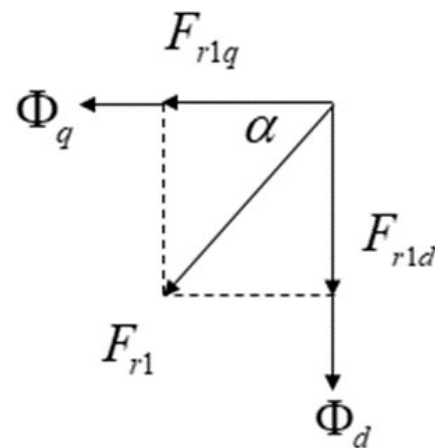
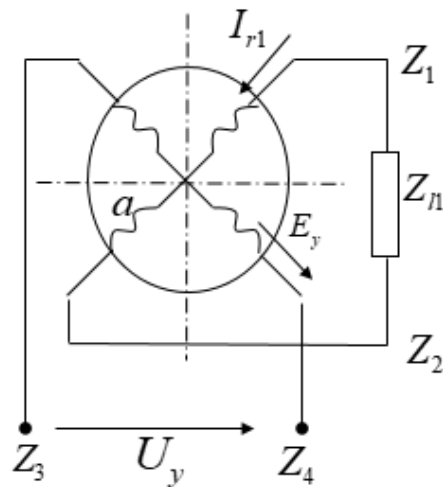
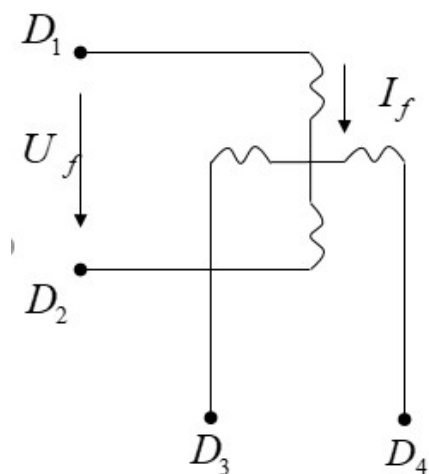


## (2) 励磁直轴磁场

$$E_1 = \frac{\omega N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

忽略绕组电阻和漏抗  $U_f = E_f = 4.44 f N_d (\Phi_d + \Phi_{r1d})$

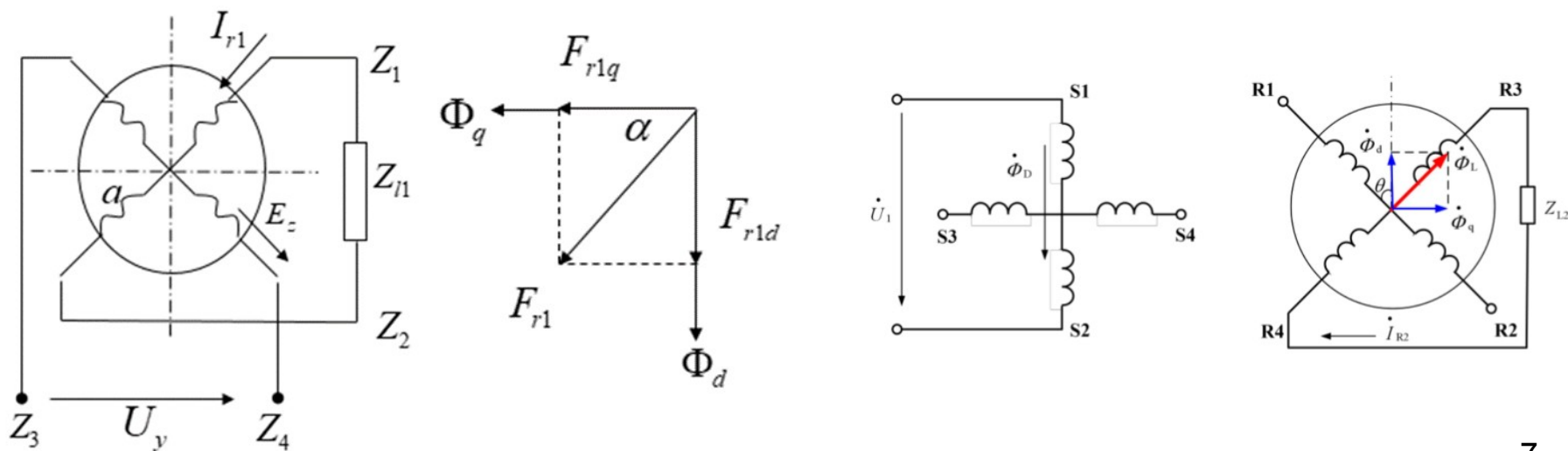
由于励磁电压不变，所以总的直轴磁场不变



(3) 交轴磁场：由转子负载电流产生的交轴磁场

(4) 输出电压畸变

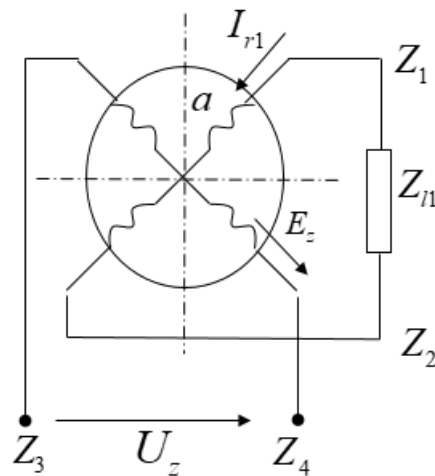
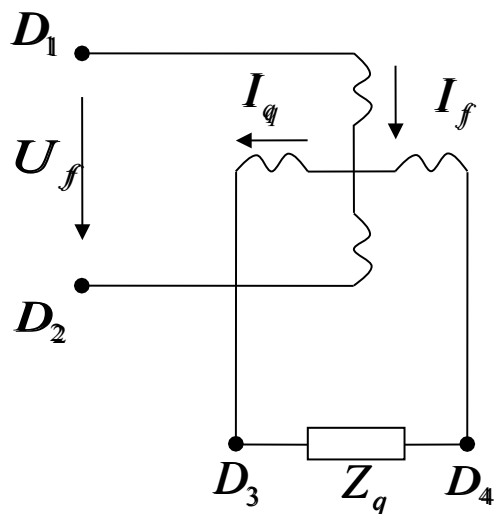
交轴磁场使得在正弦输出绕组和余弦输出绕组上产生额外的感应电动势，从而破坏了正弦输出绕组和余弦输出绕组的输出电压与转角所成的正弦和余弦关系，称为输出电压发生畸变。应加以补偿。



### 3. 一次侧补偿的旋转变压器

(1) 在定子交轴绕组中接入合适的负载，通常较小，从而产生较大的交轴电流

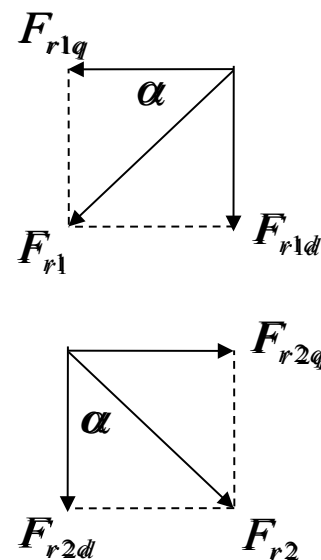
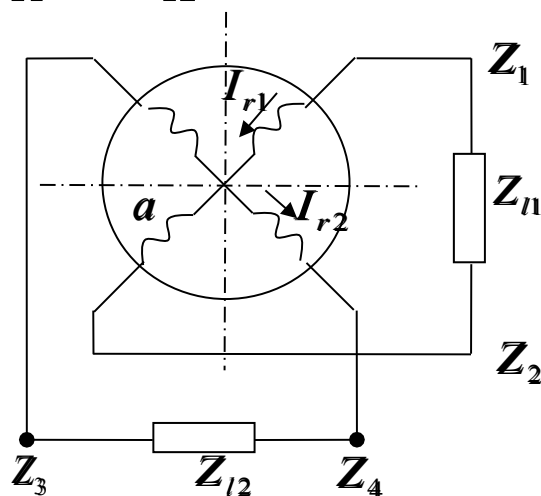
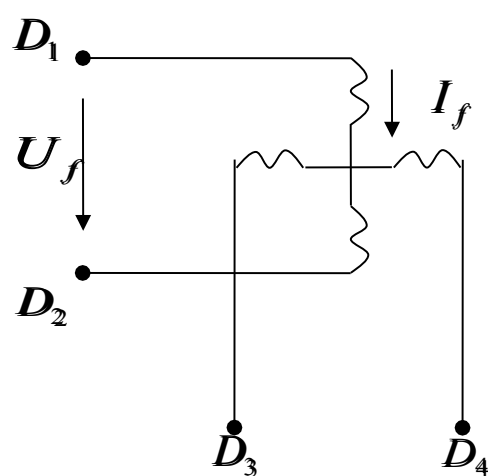
(2) 定子电流产生的磁场将抵消转子负载电流所产生的交轴磁场





#### 4. 二次侧补偿的旋转变压器

- (1) 在余弦输出绕组中接入负载阻抗  $Z_{12}$
- (2) 余弦绕组产生感应电流，此感应电流产生的磁场同样可以分为直轴分量和交轴分量
- (3) 同以前分析，磁场直轴分量不会对输出电压产生影响，而磁场交轴分量将抵消正弦绕组的交轴分量
- (4) 补偿条件为：  $Z_{11} = Z_{12}$

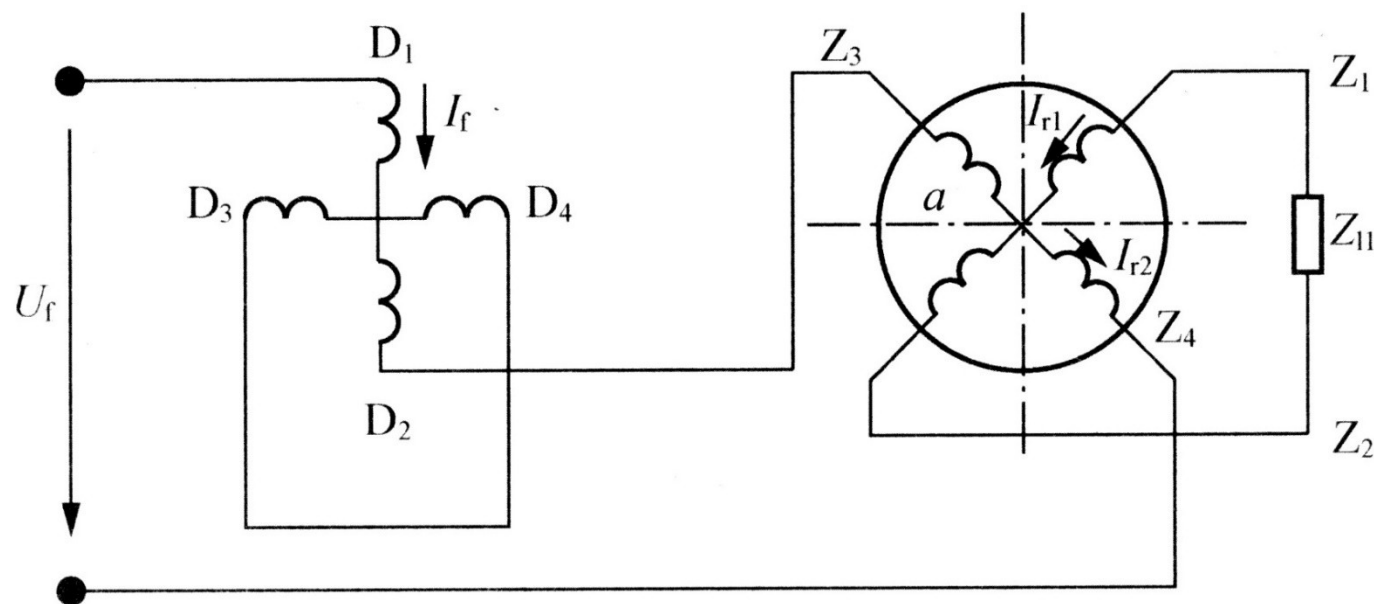


## 5. 线性旋转变压器

输出与转角成线性

(1) 接线方式: **直轴绕组与余弦绕组串联**

(2) 交轴绕组短接作为一次侧补偿, 仅需考虑直轴磁场



### (3) 输出关系

定子励磁绕组感应电势:  $E_f = 4.44 f N_d K_d \Phi_d$

正弦输出绕组感应电势:  $E_z = 4.44 f N_z K_z \Phi_d \sin \alpha$

余弦输出绕组感应电势:  $E_y = 4.44 f N_y K_y \Phi_d \cos \alpha$

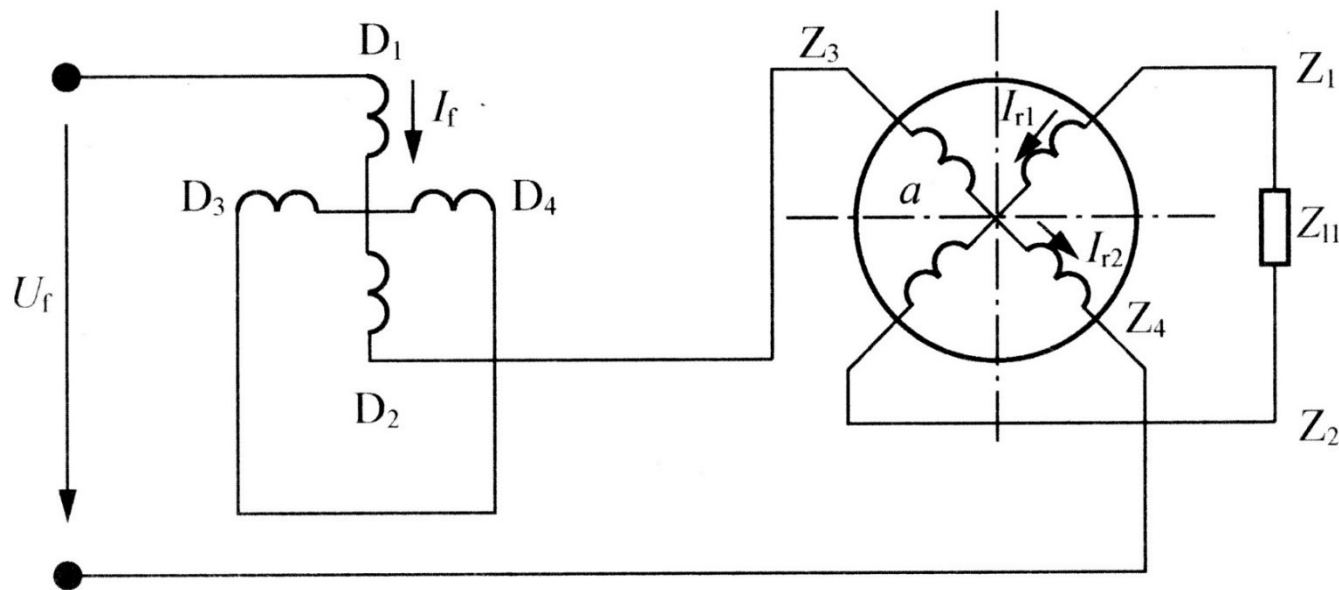


图 6. 18 一次侧补偿的线性旋转变压器

回路电势平衡关系：
$$U_f = E_f + E_y$$

代入可得：
$$U_f = 4.44 f N_d K_d \Phi_d (1 + K_u \cos \alpha)$$

其中：

$$K_u = \frac{N_y K_y}{N_d K_d} = \frac{N_z K_z}{N_d K_d}$$

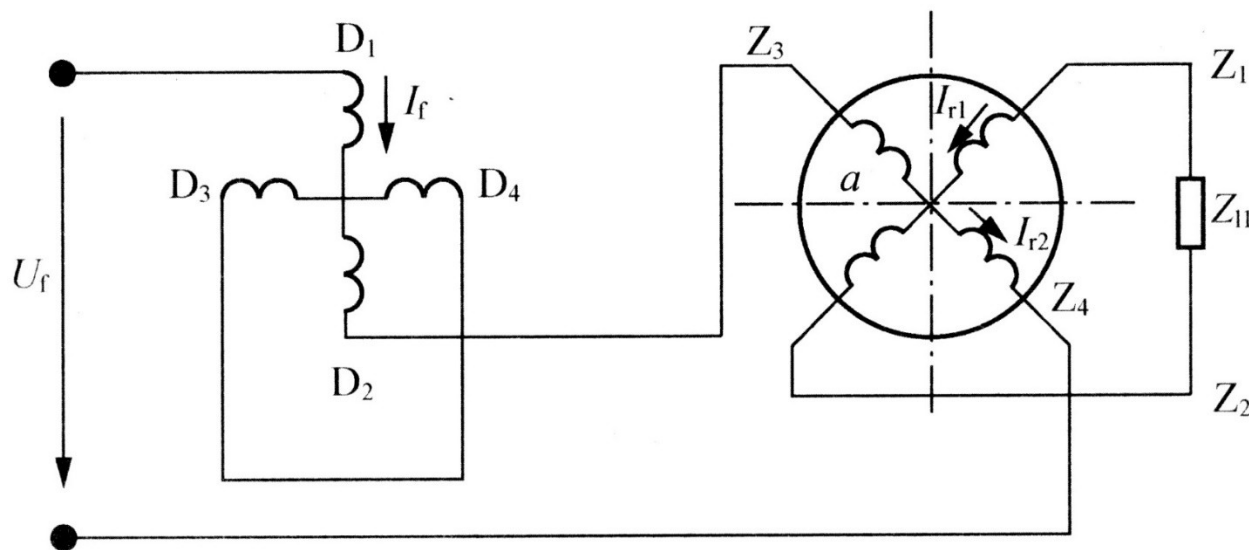


图 6. 18 一次侧补偿的线性旋转变压器

则：

$$\Phi_d = \frac{U_f}{4.44 f N_d K_d (1 + K_u \cos \alpha)}$$

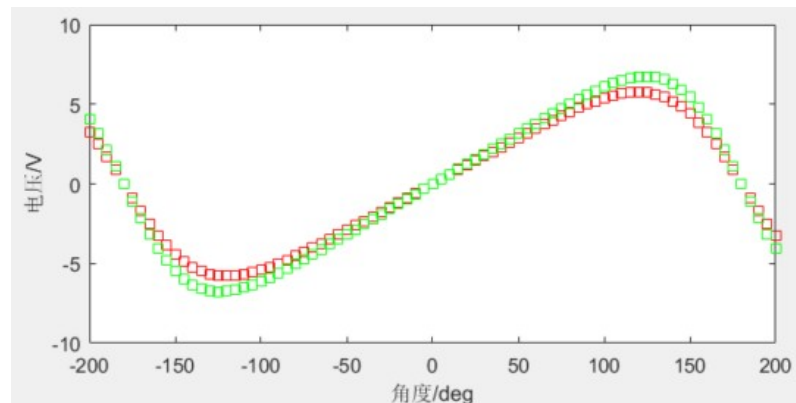
代入：

$$E_z = 4.44 f N_z K_z \Phi_d \sin \alpha$$

可得：

$$U_z = E_z = \frac{K_u U_f \sin \alpha}{1 + K_u \cos \alpha}$$

若要求误差不超过  $\pm 0.1\%$ ，



➤取  $K_u = 0.5$ ，在  $\alpha = \pm 37.4^\circ$  范围内， $U_z$  与  $\alpha$  成线性关系。

➤取  $K_u = 0.56$ ，在  $\alpha = \pm 60^\circ$  范围内， $U_z$  与  $\alpha$  成线性关系

---

## 6. 数字式旋转变压器

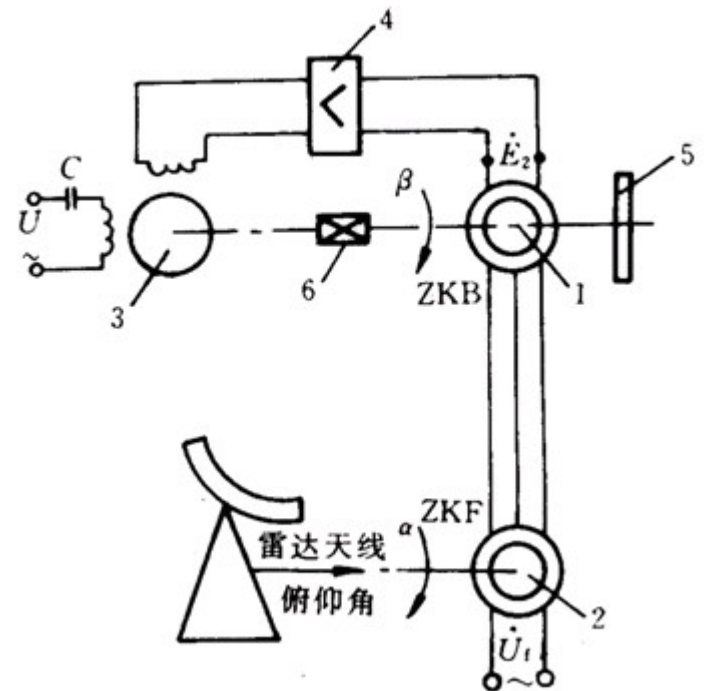
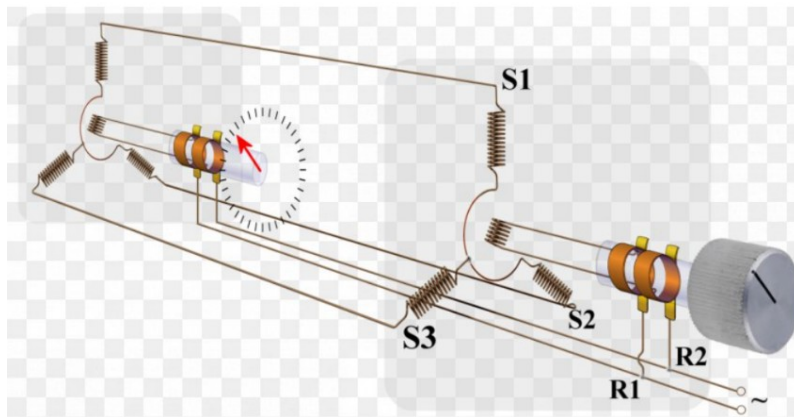
旋转变压器用于计算机控制的数字伺服系统中，需要一定的接口电路，通常把应用数字芯片接口的旋转变压器称为数字式旋转变压器。简称为 RDC 。有集成芯片可用。

## 6.3 自整角机

自整角机用于同步连接系统中，是自动装置中广泛应用的元件。

最简单的同步连接系统由一台发送机和一台接收机组成，两机之间用导线连接起来。

当发送机的转子转动任一角度，则接收机的转子也将跟着转过同一角度，故称自整角机。



雷达俯仰角自动显示系统

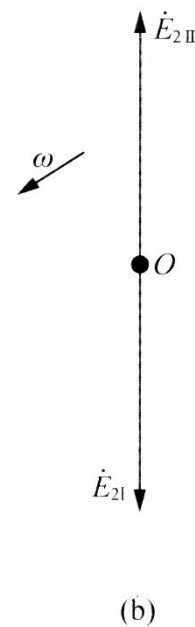
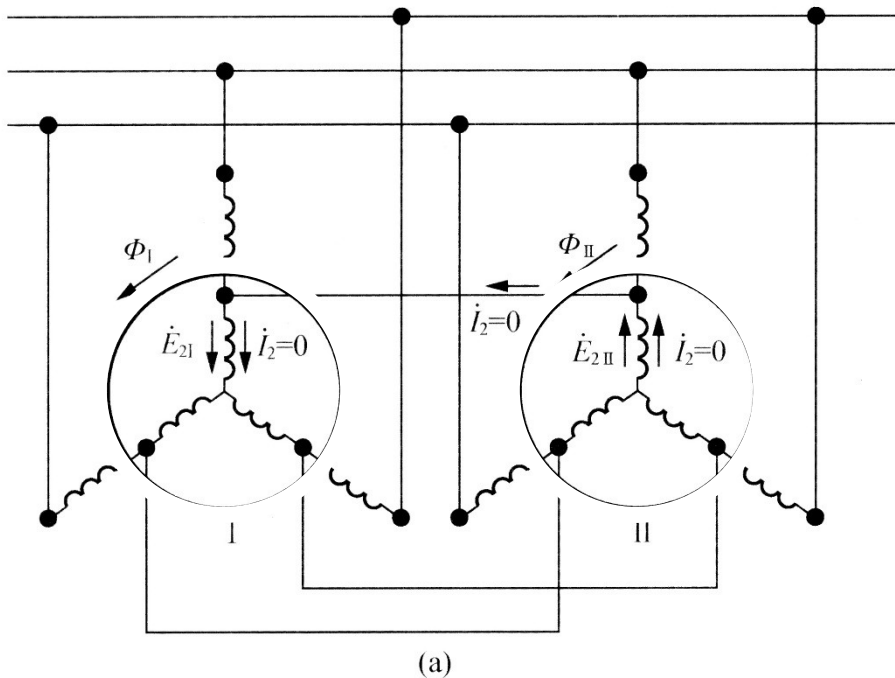
# 1. 三相自整角机

(1) 接线方式

(2) 转子具有相同的空间位置

时  $\dot{E}_{2I} + \dot{E}_{2II} = 0 \quad \dot{I}_2 = 0$

两电动机静止

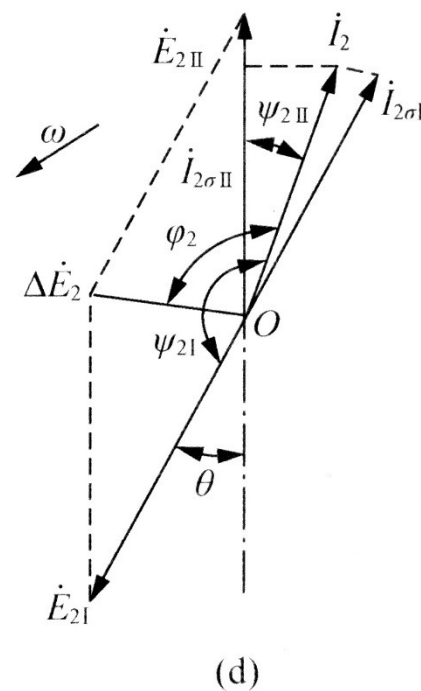
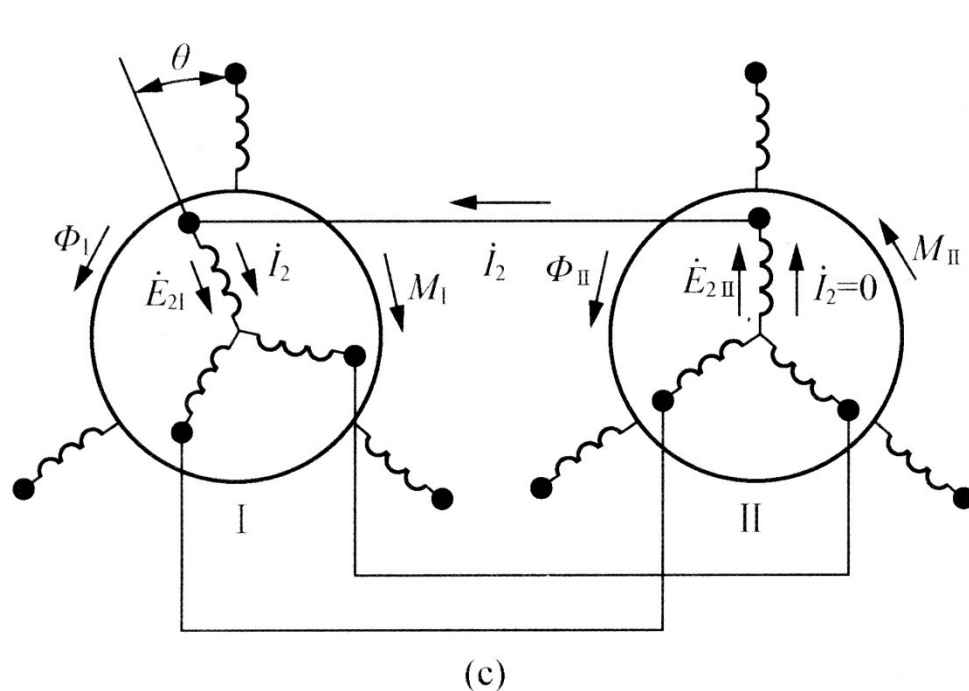




### (3) 电动机 I 顺着旋转磁场转过角度 $\theta$

感应电动势:  $\Delta \dot{E}_2 = \dot{E}_{2I} + \dot{E}_{2II}$

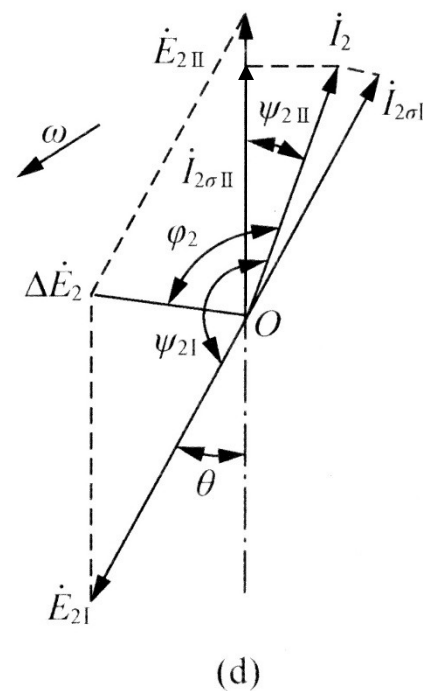
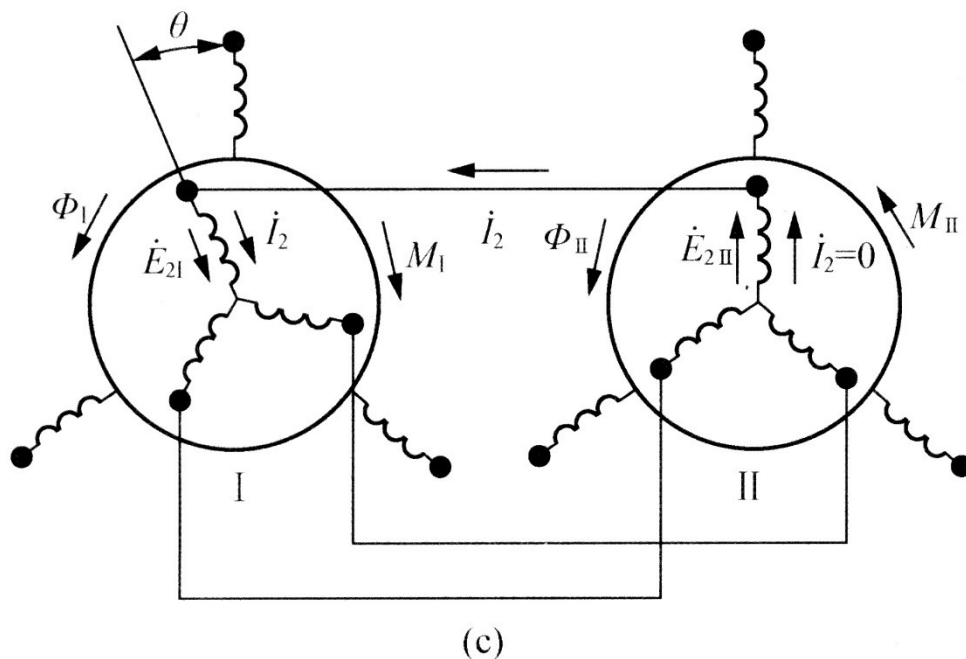
转子电流:  $\dot{I}_2 = \frac{\Delta \dot{E}_2}{Z_{2I} + Z_{2II}} = \frac{\Delta \dot{E}_2}{(r_{2I} + jx_{2\sigma I}) + (r_{2II} + jx_{2\sigma II})}$



则有：  $\tan \varphi_2 = \frac{x_{2\sigma I} + x_{2\sigma II}}{r_{2I} + r_{2II}}$

由于：  $x_{2\sigma I} + x_{2\sigma II} \gg r_{2I} + r_{2II}$  则：  $\varphi_2 \approx 90^\circ$

所以：  $\psi_{2I} > 90^\circ$        $\psi_{2II} < 90^\circ$

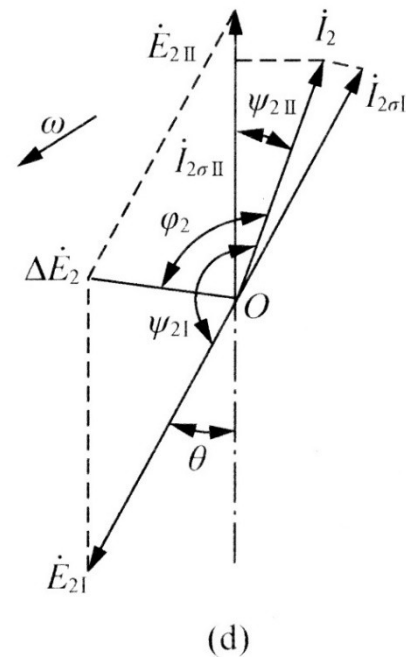
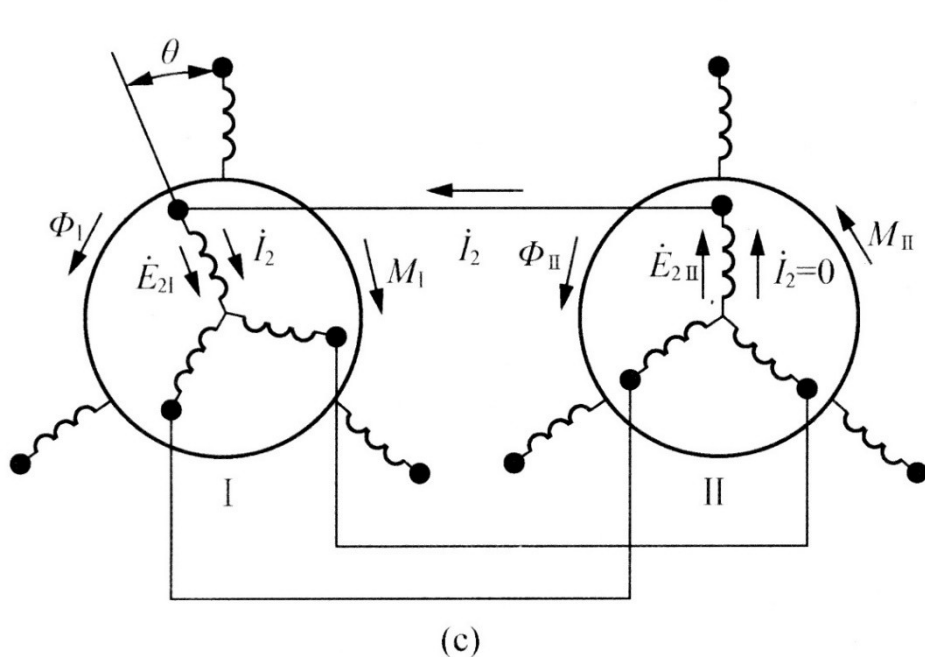


则电磁转矩为:

$$M_I = C_M \Phi_M I_2 \cos \psi_{2I} = -C_M \Phi_M I_{2\sigma I}$$

$$M_{II} = C_M \Phi_M I_2 \cos \psi_{2II} = C_M \Phi_M I_{2\sigma II}$$

所以在这两个电磁转矩的作用下，最终两电动机将保持相同的空间位置。此即自整角机的工作原理。



## 2. 单相自整角机

(1) 仅单相电源

(2) 将单相脉振磁场，拆为两个转向相反的三相旋转磁场进行分析，工作原理与三相相近

(3) 常将单相绕组装于转子上，而三相绕组装于定子，以减少滑环数量。

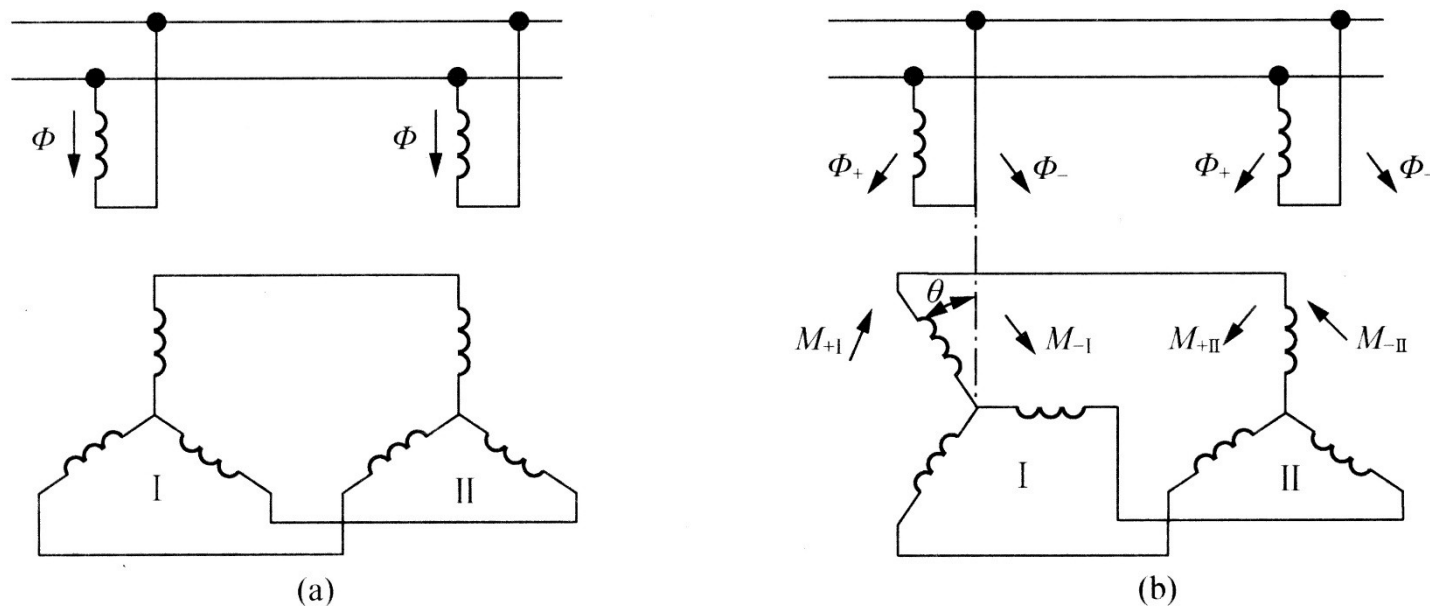


图 6.20 单相自整角机的接线图和工作原理

(a) 两电动机的转子位置相同时；(b) 两电动机的转子位置相差  $\theta$  电角度时