

自动控制实践 旋转变压器

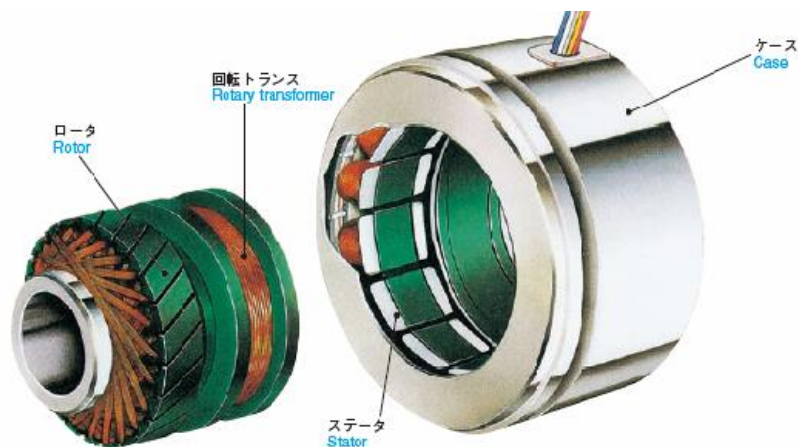
哈尔滨工业大学空间控制与惯性技术研究中心 伊国兴



目 录

1. 旋转变压器的结构
2. 正余弦旋转变压器的工作原理
3. 线性旋转变压器
4. 旋转变压器的应用
5. 旋转变压器的特点
6. 旋转变压器使用注意事项

概述



❖ 旋转变压器（Inductosyn）。是一种输出电压随转子转角以一定规律变化的交流微特电机——角度测量元件。

❖ 外形结构和电机相似，有定子和转子。从原理上看，是一种可以旋转的变压器，原边、副边在定子和转子上。原、副绕组之间的电磁耦合程度与转子转角有关，因此输出电压也与转角有关。

旋转变压器的种类



- ❖ 结构形式：接触式和非接触式（有刷、无刷）一体式和分体式
- ❖ 函数关系：正余弦旋变、线性旋变、特种函数旋变
- ❖ 极数：两极旋变和多极旋变



用途

❖ 作为测量元件：测量转角和转角差

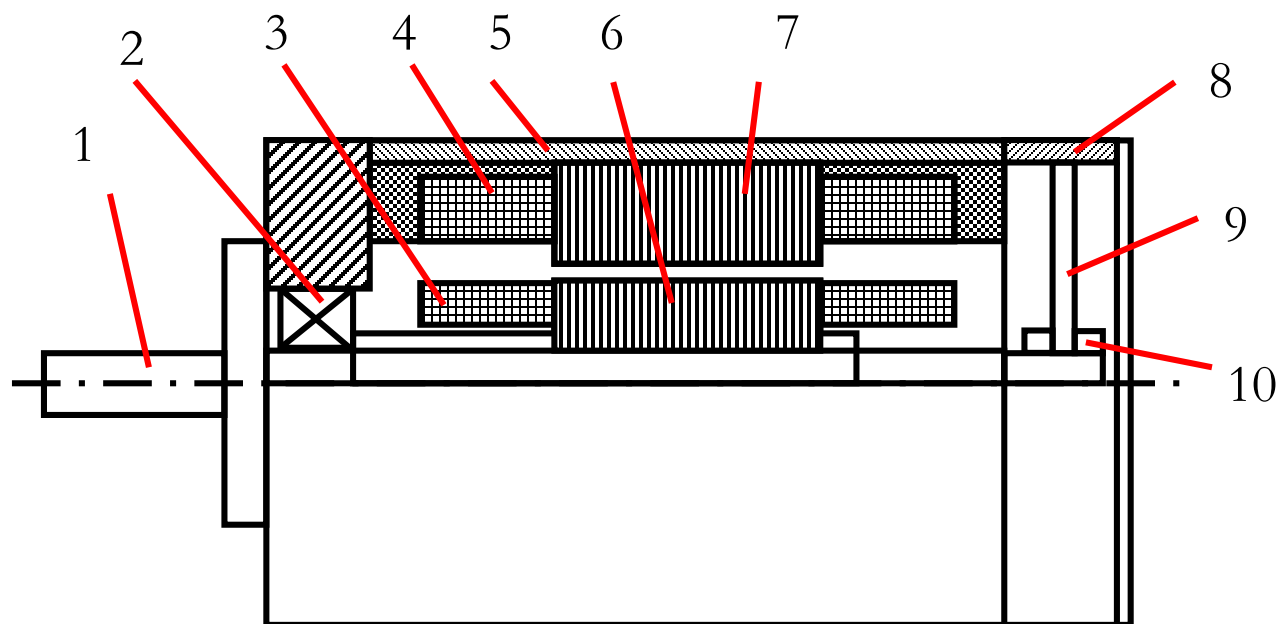
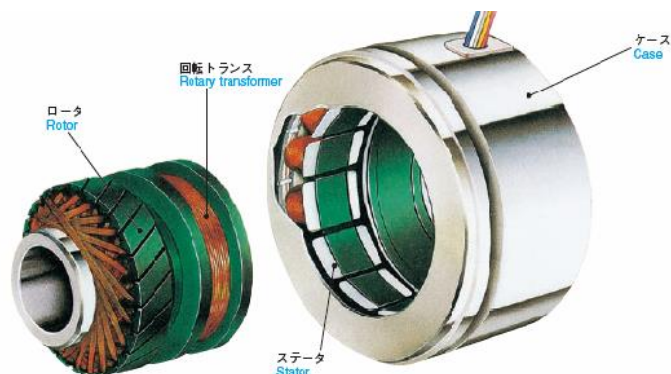
❖ 作为解算元件：用于坐标运算和三角运算



属性

- ❖ 角位置测量元件
- ❖ 基于变压器原理（电磁感应原理）
- ❖ 结构型的测量元件
- ❖ 模拟型、数字型

结构



1-转轴

2-轴承

3-转子绕组

4-定子绕组

5-机壳

6-转子铁心

7-定子铁心

8-端盖

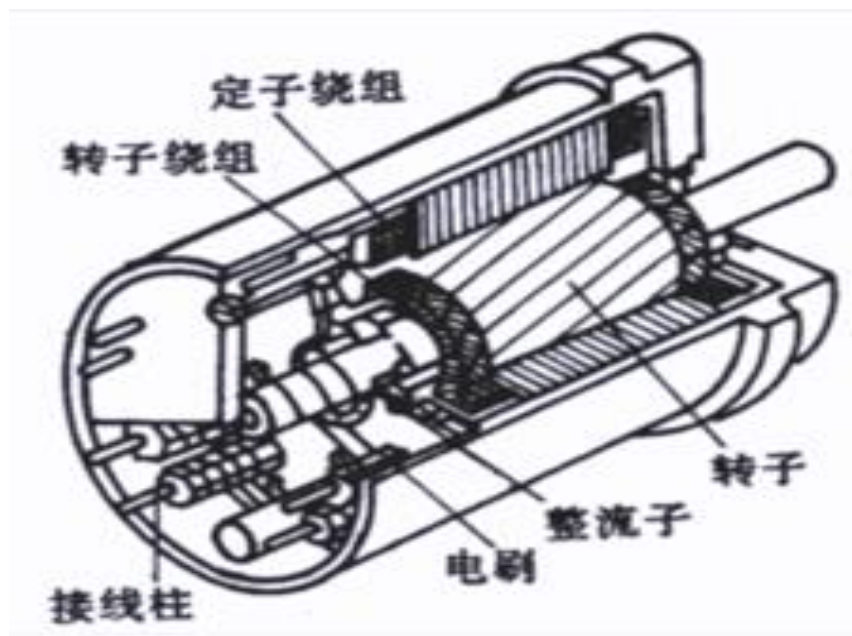
9-电刷

10-集电环

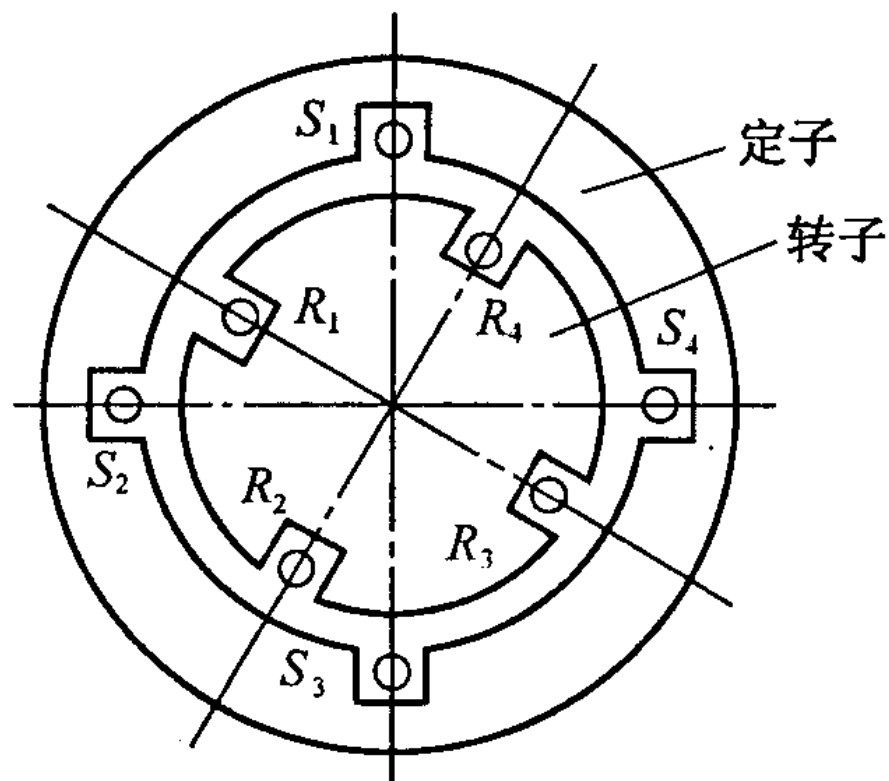
结构



- ❖ 转子绕组通过滑环和电刷直接引出。
- ❖ 特点：精度高，体积小
- ❖ 缺点：电刷与滑环是机械滑动接触的，所以旋转变压器的可靠性差，寿命也较短，成本高。

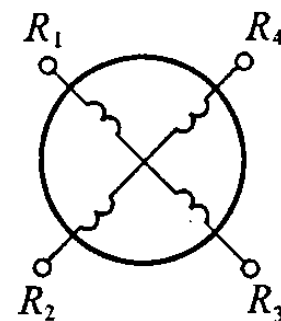
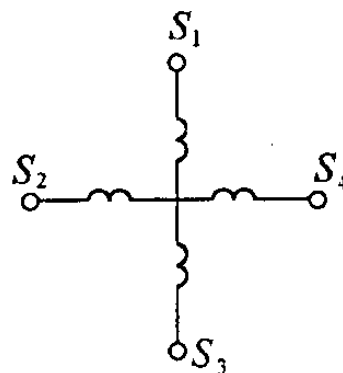
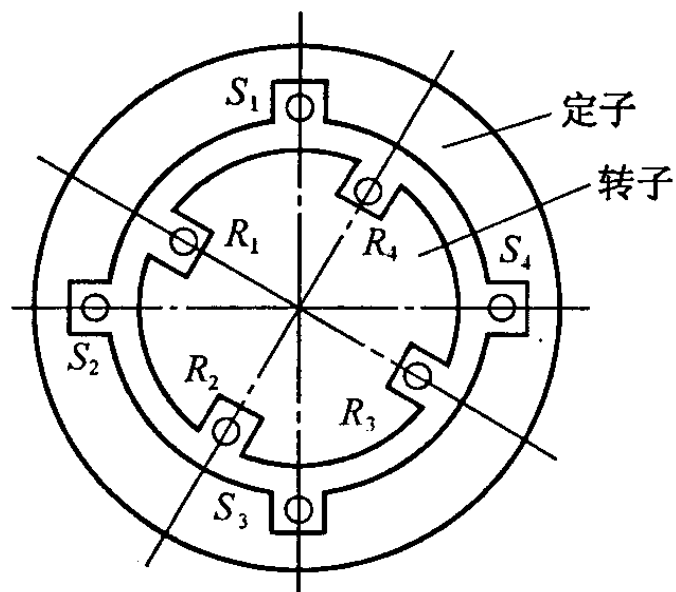


旋转变压器的结构



- ❖ 旋变的结构和绕线式异步电动机相似。由定子和转子两部分组成。定、转子铁心由硅钢片或坡莫合金片叠压装配而成。
- ❖ 定子铁心内圆和转子铁心外圆上都布有齿槽。在定、转子铁心槽中分别嵌放着两个轴线在空间互相垂直的分布绕组，即两极两相绕组。

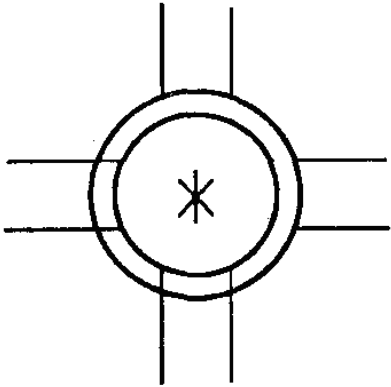
旋转变压器的结构



圆内绕组为转子绕组 R_1R_2 及 R_3R_4 ，结构相同。 S_1S_2 及 S_3S_4 为定子绕组，结构相同。定、转子间的气隙是均匀的。定子绕组引出线直接引出，转子绕组通过滑环和电刷引出。

旋转变压器的结构

❖ 旋转变压器在电气图中的图形符号

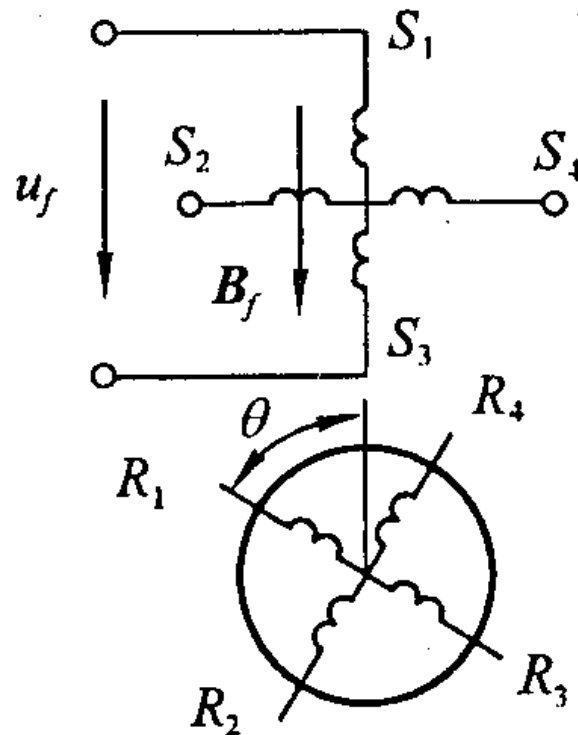
图 形 符 号	说 明
	<p>符号内的星号必须用下列字母代替：</p> <p>R 旋转变压器(正余弦旋转变压器、线性旋转变压器)</p> <p>RX 旋转变压器发送机</p> <p>RT 旋转变压器变压器</p> <p>RDX 旋转变压器差动发送机</p>

正余弦旋转变压器的工作原理

旋转变压器的输出绕组是 R_1R_3 、 R_2R_4 。空载时输出绕组开路。定子绕组 S_1S_3 接交流激磁电压，频率 f 为400Hz或50Hz。

$$u_f = u \times \sin(2\pi ft)$$

产生脉振磁场 Φ_m ，位于 S_1S_3 的轴线上



空载运行

设绕组 R_1R_3 轴线与脉振磁场轴线的夹角为 θ ，该绕组的磁通的 Φ_{R13} 为

$$\Phi_{R13} = \Phi_m \cos \theta$$

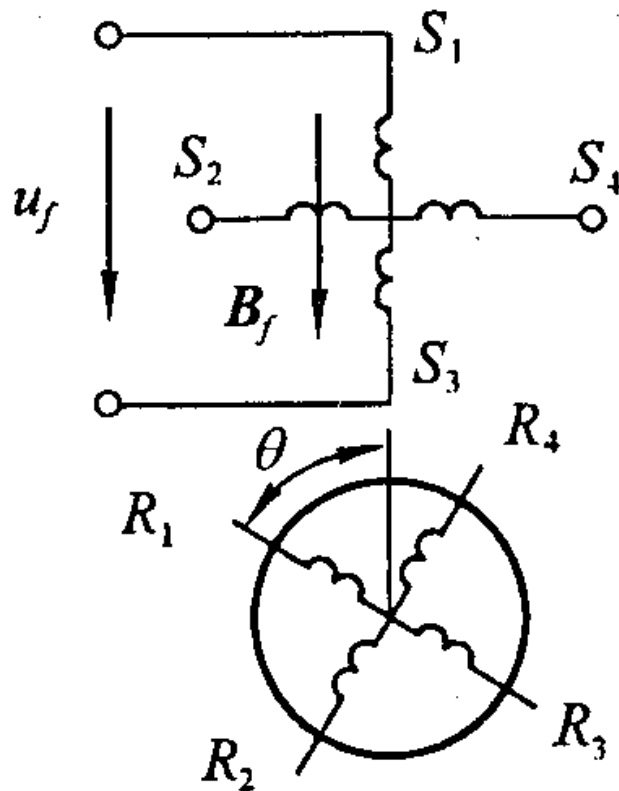
该绕组感应电势有效值为

$$E_{R13} = E_R \cos \theta$$

绕组 R_2R_4

$$\Phi_{R24} = \Phi_R \sin \theta$$

$$E_{R24} = E_R \sin \theta$$



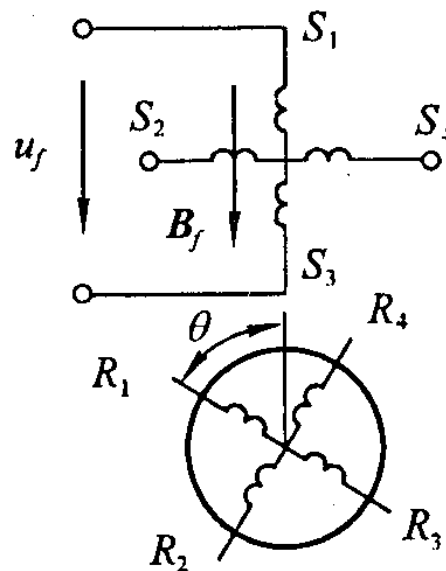
空载运行

- ❖ 根据变压器原理，输出绕组的感应电势的最大有效值为

$$E_R = 4.44 f W_R \Phi_f = k u_f$$

$$E_{R13} = E_R \cos \theta = k u_f \cos \theta; \quad e_{R13} = k u \sin(2\pi f t) \cos \theta$$

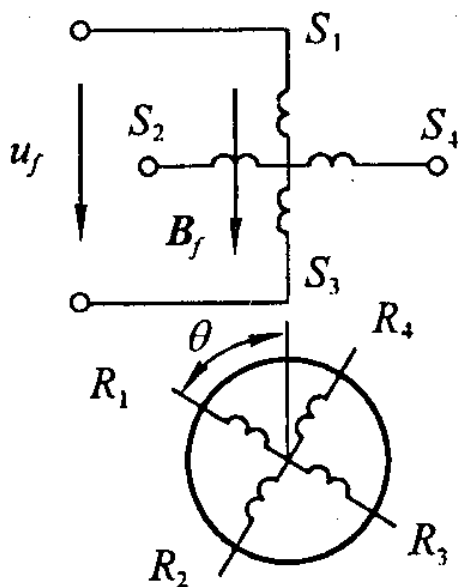
$$E_{R24} = E_R \sin \theta = k u_f \sin \theta; \quad e_{R24} = k u \sin(2\pi f t) \sin \theta$$



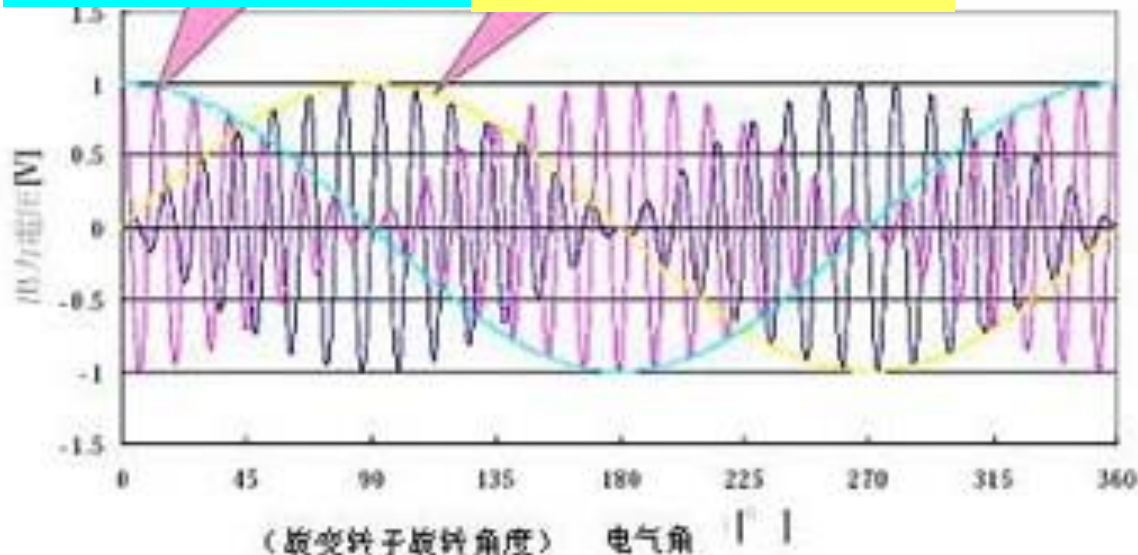
- ❖ $R1$ $R3$ 是余弦绕组， $R2$ $R4$ 是正弦绕组。
- ❖ 旋转变压器的输出绕组接到阻抗很大的负载上时，可视为空载

空载运行

转子两相绕组输出信号和转角 θ 的关系 ($0^\circ - 360^\circ$)

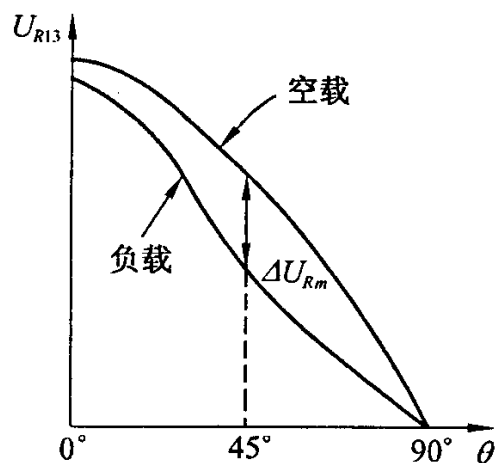
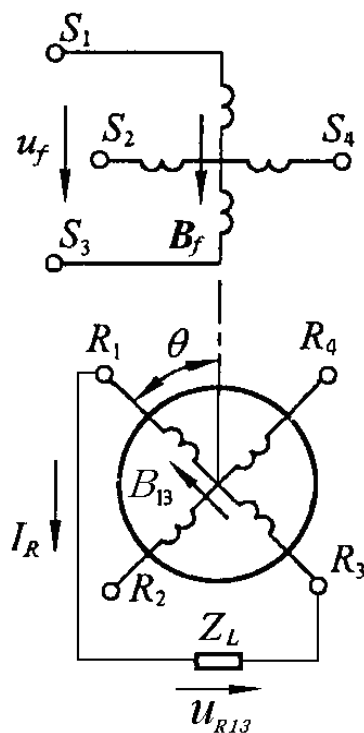


$$E_{R13} = E_R \cos \theta \quad E_{R24} = E_R \cos \theta$$



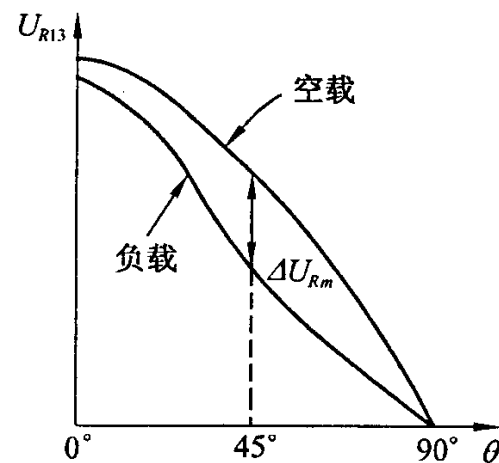
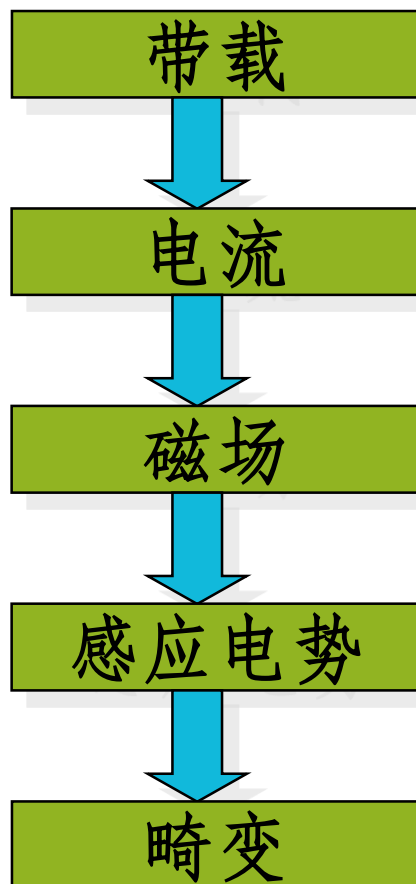
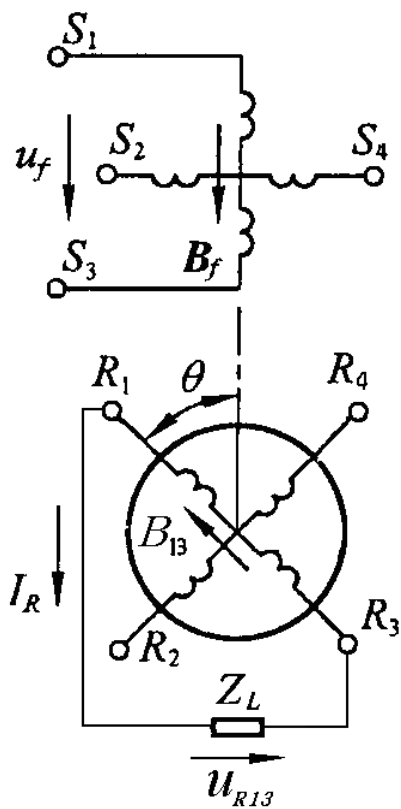
$$e_R = k u_f \sin(2\pi f t)$$

负载运行

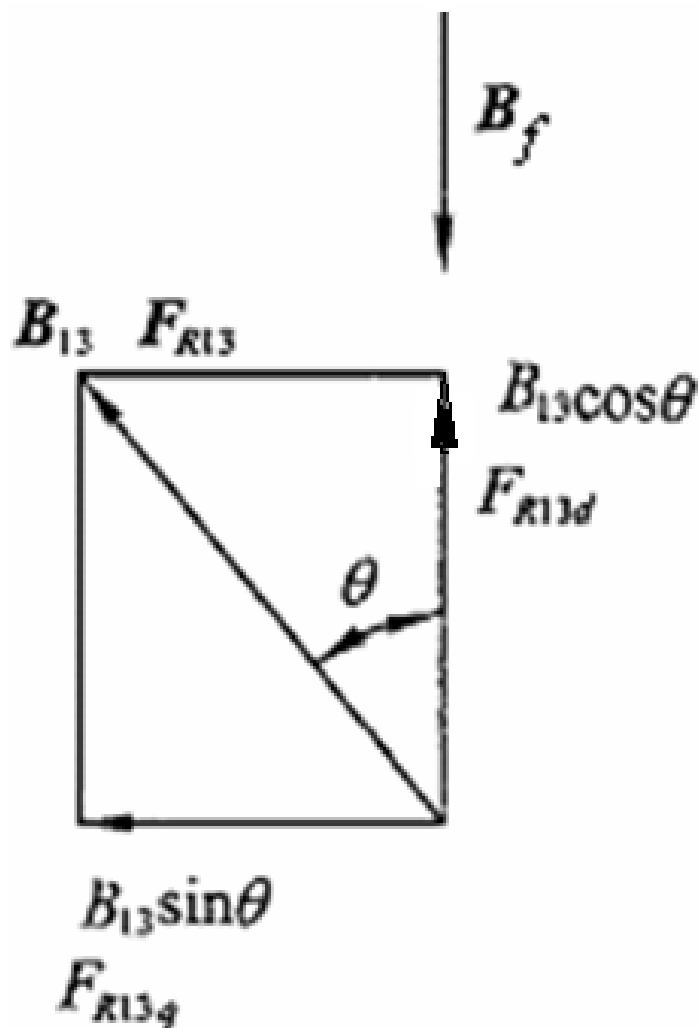


❖ 带上负载的旋转变压器输出电压与正余弦函数之间出现误差，误差的大小与转角和负载电流有关。转角为 45° 时误差最大。负载电流越大，误差也越大。

负载运行



负载运行



- ❖ 定量分析，将转子电流磁密分解为直轴分量和交轴分量。
- ❖ 副边电流产生的直轴磁密被激磁绕组电流的负载分量抵消。
- ❖ 原边电流不能产生交轴磁势，不能抵消转子负载电流磁密的交轴分量，交轴磁密使磁场发生了改变

负载运行

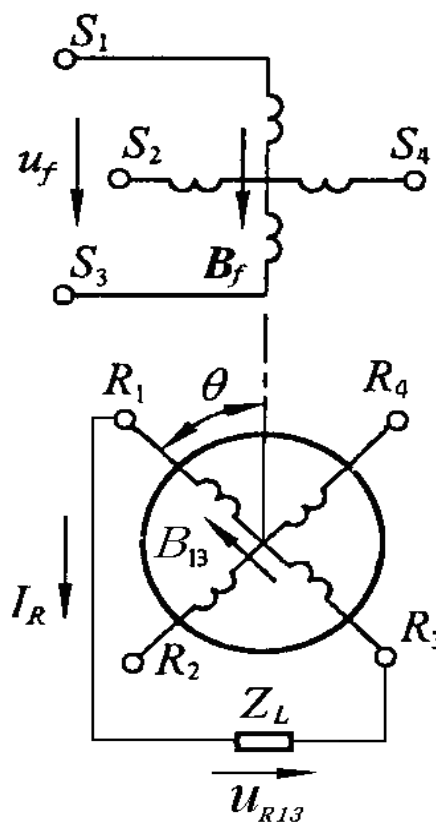
❖ 转子电流产生的磁势为

$$F_{R13} = I_R W_R$$

❖ 转子电流为

$$I_R = \frac{E_{R13}}{Z_L + Z_{13}} = \frac{E_R \cos \theta}{Z_L + Z_{13}}$$

❖ 负载电流越大，交轴磁势引起的输出误差也越大。



负载运行

❖ 对磁势进行分解，交轴磁势为

$$F_{R13q} = F_{R13} \sin\theta = I_R W_R \sin\theta$$

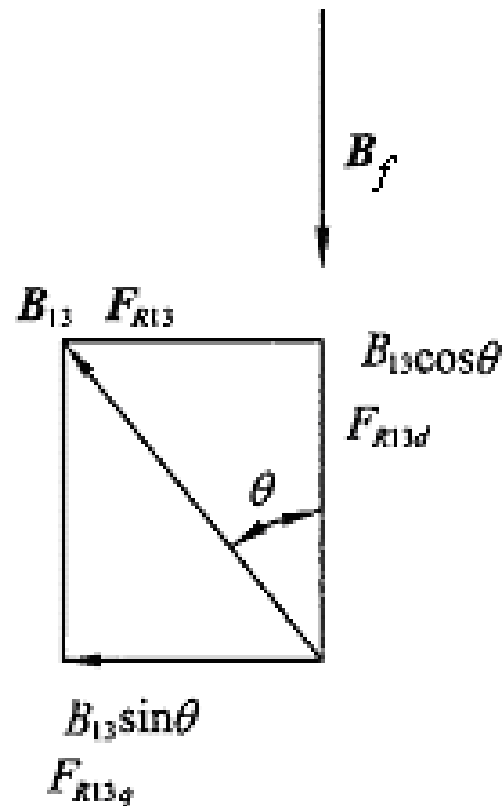
$$I_R = \frac{E_{R13}}{Z_L + Z_{13}} = \frac{E_R \cos\theta}{Z_L + Z_{13}}$$



$$F_{R13q} = \frac{E_R \cos\theta}{Z_L + Z_{13}} W_R \sin\theta = \frac{E_R W_R \sin 2\theta}{2(Z_L + Z_{13})}$$

❖ θ 不同，交轴磁势和磁密也不同。

❖ $\theta=45^\circ$ ，达到最大值，负载特性与空载特性之间出现最大偏差。



负载运行

- ❖ 交轴分量无法抵消，它不会在定子绕组中感应出电动势，但会在转子绕组中感应出电动势。感应电势为

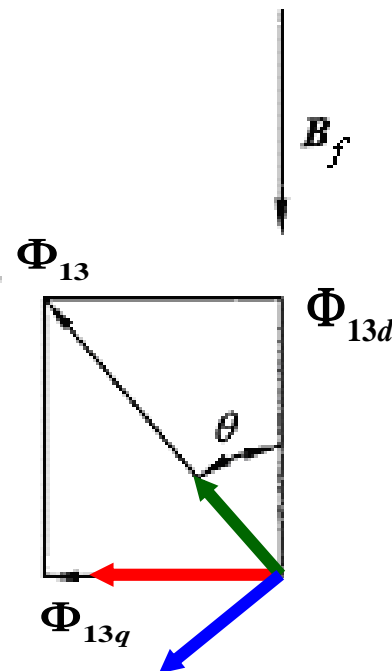
$$E_{R13q}^L = K_e \Phi_{13q} \sin \theta = K_e \Phi_{13} \sin^2 \theta$$

$$K_e = 4.44 f W_R$$

- ❖ 负载时，转子绕组中电动势可分解为两部分

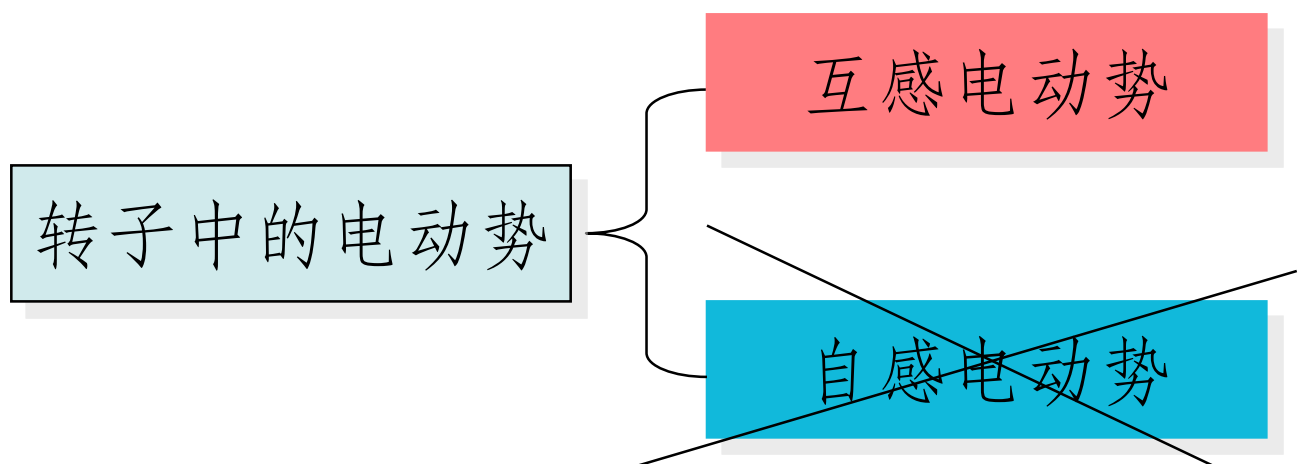
$$E_{R13}^L = E_{R13} + E_{R13q}$$

$$E_{R13}^L = E_{R13} + E_{R13q} = E_R \cos \theta + K_e \Phi_{13} \sin^2 \theta$$



负载运行

$$E_{R13}^L = E_{R13} + E_{R13q} = E_R \cos \theta + K_e \Phi_{13} \sin^2 \theta$$

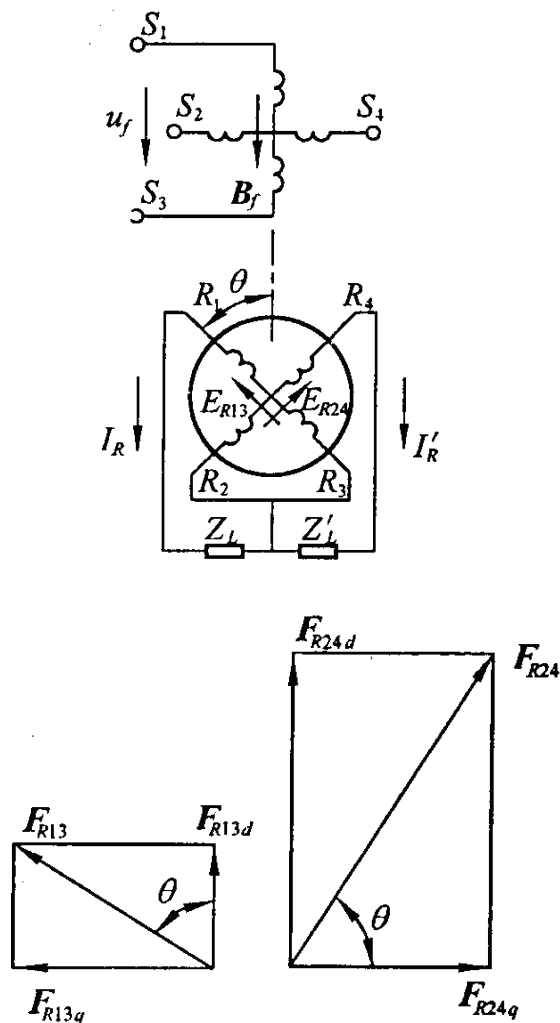


如何来补偿掉负载时输出电压的畸变呢？

$$E_{R13}^L = E_R \cos \theta$$

还有两个绕组没有充分利用！！！！

副边补偿方法



- ❖ 副边补偿原理是，副边两个绕组都接负载，使交轴磁势互相抵消。
- ❖ 两个磁势的直轴分量方向相同，交轴分量则方向相反，互相抵消。若能二者幅值相等，交轴磁势就完全抵消。

副边补偿方法

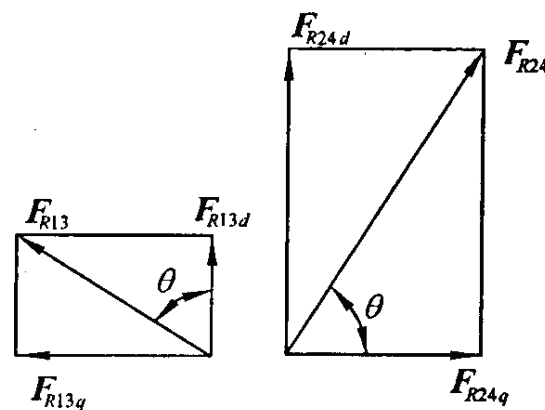
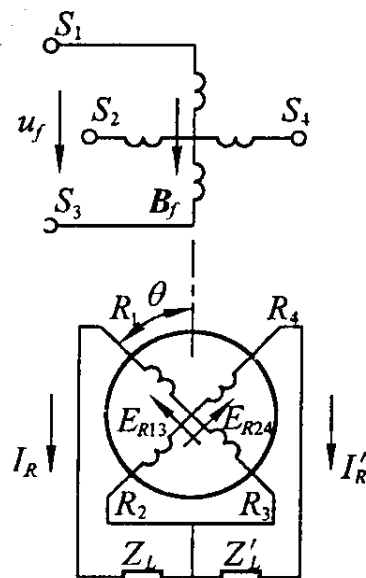
❖ 根据前面的推导余弦绕组交轴磁势

$$F_{R13q} = \frac{E_R W_R \sin \theta \cos \theta}{Z_L + Z_{13}}$$

❖ 正弦绕组交轴磁势

$$I'_R = \frac{E_{R24}}{Z'_L + Z_{24}} = \frac{E_R \sin \theta}{Z'_L + Z_{24}}$$

$$F_{R24q} = I'_R W_R \cos \theta = \frac{E_R W_R \sin \theta \cos \theta}{Z'_L + Z_{24}}$$



副边补偿方法

❖ 若要完全抵消，须满足

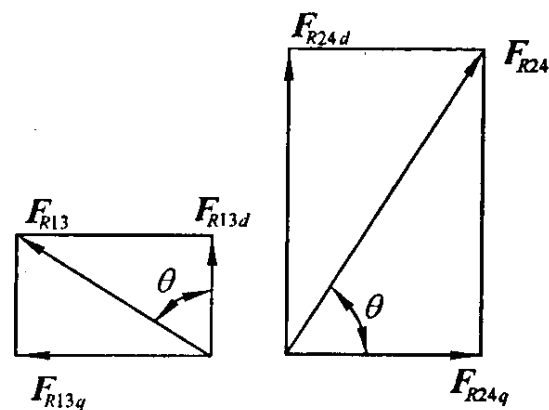
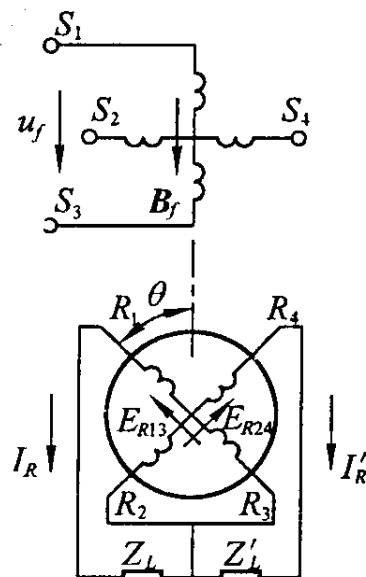
$$F_{R13q} = F_{R24q}$$

$$\frac{E_R W_R \sin \theta \cos \theta}{Z_L + Z_{13}} = \frac{E_R W_R \sin \theta \cos \theta}{Z'_L + Z_{24}}$$

$$Z'_L + Z_{24} = Z_L + Z_{13}$$

交轴磁势完全抵消的条件是

$$Z'_L = Z_L$$

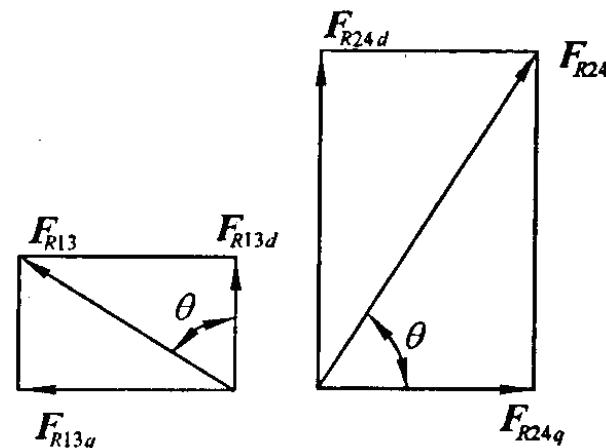


副边补偿方法

转子直轴磁势

$$F_{R13d} = F_{R13} \cos \theta = \frac{E_R W_R \cos^2 \theta}{Z_L + Z_{13}}$$

$$F_{R24d} = F_{R24} \sin \theta = \frac{E_R W_R}{Z'_L + Z_{24}} \sin^2 \theta$$

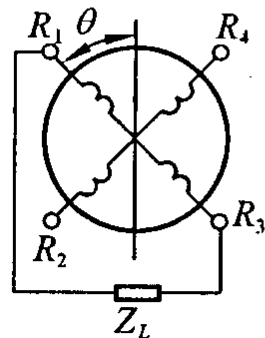
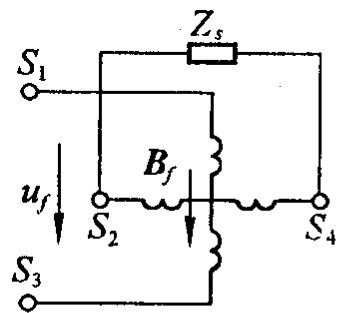


副边对称补偿时转子直轴磁势

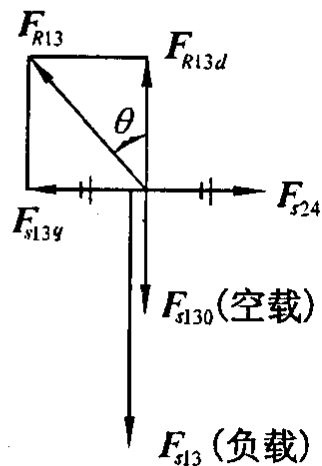
$$F_{Rd} = F_{R13d} + F_{R24d} = \frac{E_R W_R}{Z_L + Z_{13}} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \Rightarrow F_{Rd} = \frac{E_R W_R}{Z_L + Z_{13}}$$

❖ 副边对称补偿时转子直轴磁势与转角无关，旋变的输入电流及输入阻抗与转角无关。

原边补偿



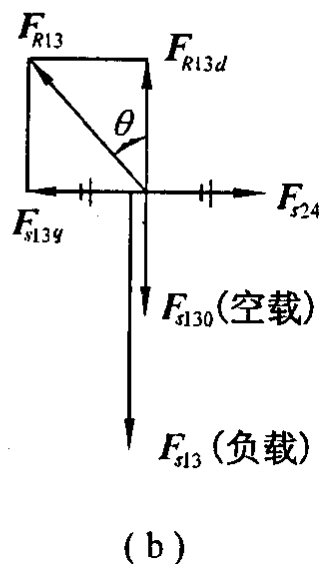
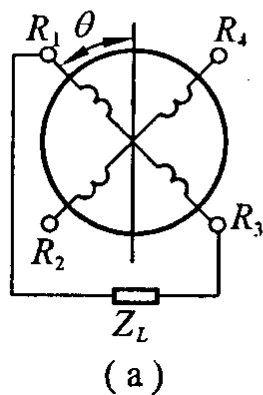
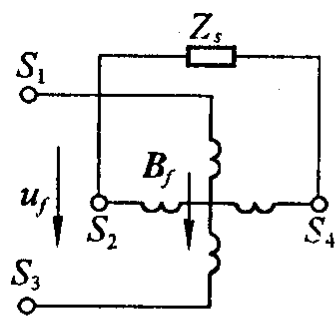
(a)



(b)

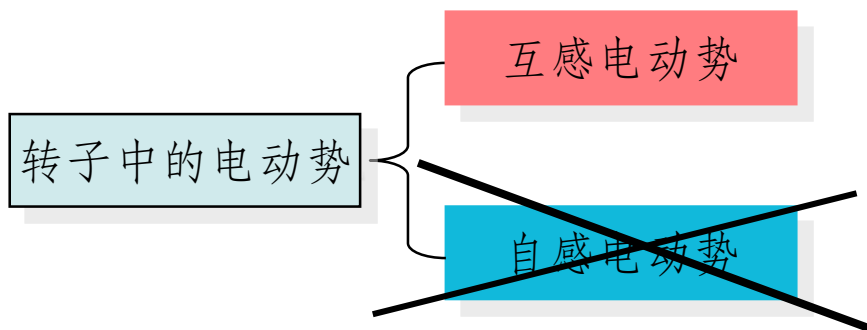
- ❖ 如果令原边绕组通过阻抗闭合，就有电流，所产生的磁势可以抵消转子交轴磁势。
- ❖ 补偿绕组 S_2S_4 接入阻抗 Z_s 。可以证明 $Z_s=Z_f$ 时，（激磁电源内阻抗 Z_f ）负载电流产生的交轴磁势完全被抵消，称原边对称补偿。

原边补偿



- ❖ 电源内阻很小，所以可以把补偿绕组直接短路
- ❖ 优点：简单
- ❖ 缺点：输入电流及阻抗与转角有关
- ❖ 一般为了获得更好的补偿效果，通常同时采用副边补偿和原边补偿

小结



$$U_s = U_m \sin \theta$$

$$U_c = U_m \cos \theta$$

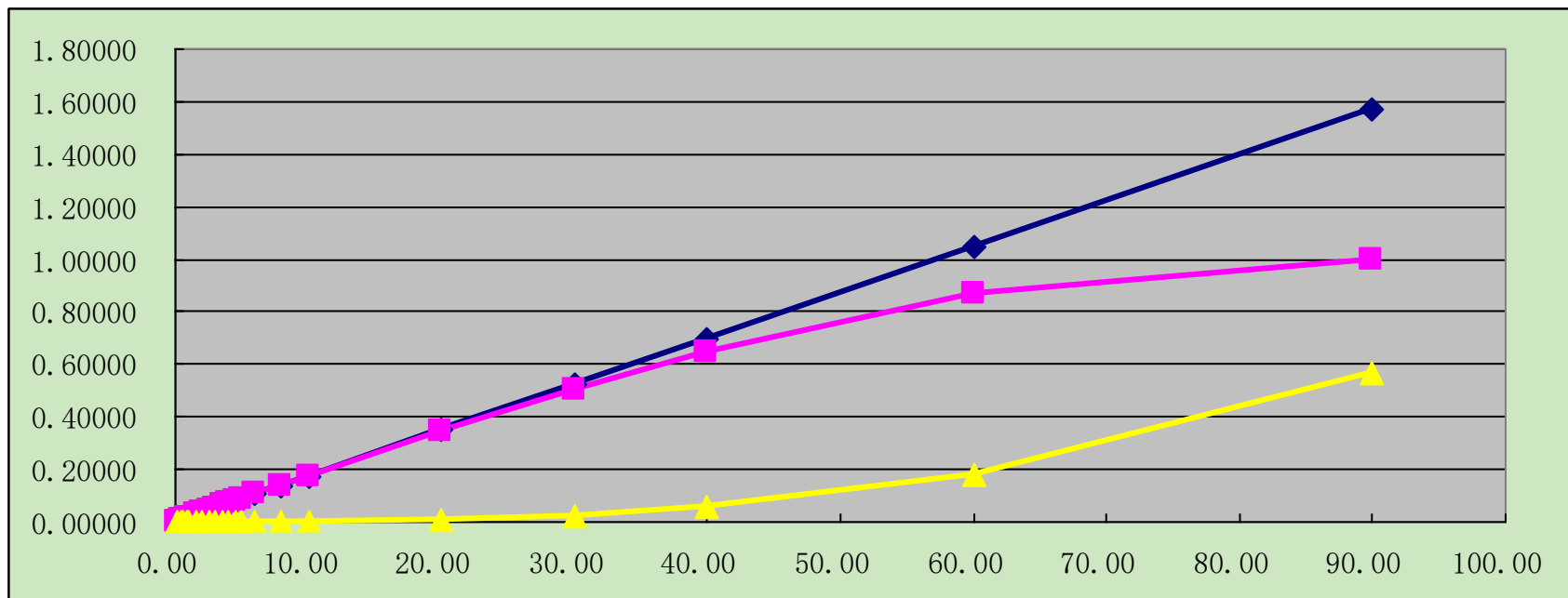
- ❖ 采用了补偿措施的正余弦旋转变压器的磁场是直轴方向，当转子相对于基准绕组轴线转动角度 θ 时，正弦和余弦输出绕组输出交流电压，相位相同，频率相同。
- ❖ 转角和输出电压之间的关系并不是线性的，也不是一一对应的，如何处理？

线性旋转变压器

θ 角度	θ 弧度	$\sin \theta$	绝对误差	相对误差
0.10000	0.00174	0.00174	0.00000	0.00005
0.20000	0.00349	0.00349	0.00000	0.00020
0.40000	0.00698	0.00698	0.00000	0.00081
0.80000	0.01396	0.01396	0.00000	0.00325
1.00000	0.01744	0.01744	0.00000	0.00507
2.00000	0.03489	0.03488	0.00001	0.02029
4.00000	0.06978	0.06972	0.00006	0.08113
6.00000	0.10467	0.10448	0.00019	0.18249
8.00000	0.13956	0.13910	0.00045	0.32428
10.00000	0.17444	0.17356	0.00088	0.50641
20.00000	0.34889	0.34185	0.00704	2.01641
40.00000	0.69778	0.64252	0.05526	7.91962
60.00000	1.04667	0.86576	0.18091	17.28409
90.00000	1.57000	1.00000	0.57000	36.30575

- ❖ 正余弦旋转变压器转角小时是线性元件， $\sin\theta \approx \theta$
- ❖ $\pm 4.5^\circ$ 范围，非线性误差小于0.1%
- ❖ $\pm 14^\circ$ 范围，非线性误差小于1%

线性旋转变压器



$\sin \theta \approx \theta$ 精度有限，转角范围受限

不改变结构的情况下，如何使线性区间扩大？

线性旋转变压器

采用如右图所示的接线方式

$$U_f = E_{S13} + IZ_{S13} + E_{R13} + IZ_{R13}$$

忽略绕组的阻抗压降时有

$$U_f = E_{S13} + E_{R13}$$

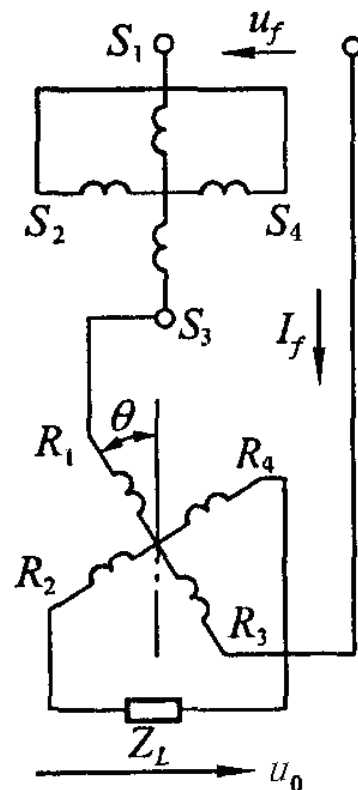
下面分别计算 E_{S13} 和 E_{R13}

$$E_{S13} = 4.44 f W_s \Phi_m u_f$$

$$E_{R13} = 4.44 f W_R \Phi_m u_f \cos \theta$$

$$= K * 4.44 f W_s \Phi_m u_f \cos \theta$$

$$= K * E_{S13} \cos \theta$$



线性旋转变压器

$$E_{R13} = K * E_{S13} \cos \theta$$

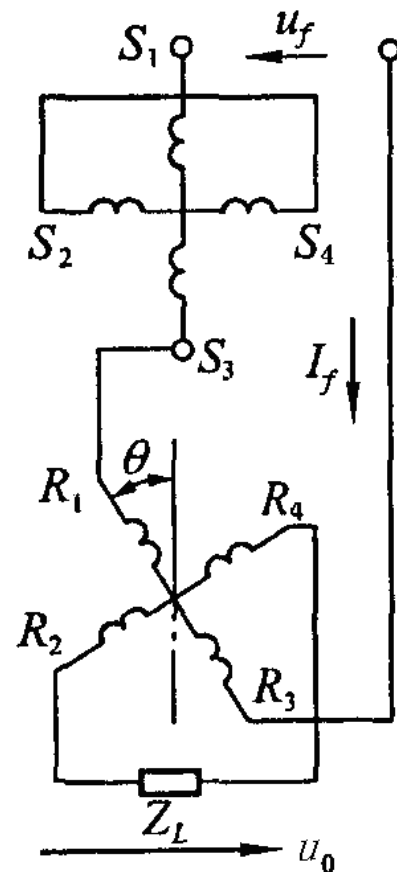
下面计算 E_{R24}

$$E_{R24} = K * E_{S13} \sin \theta$$

再结合 $U_f = E_{S13} + E_{R13}$ 有

$$U_f = E_{S13} + K E_{S13} \cos \theta$$

$$U_0 = E_{R24} = K * E_{S13} \sin \theta$$



线性旋转变压器

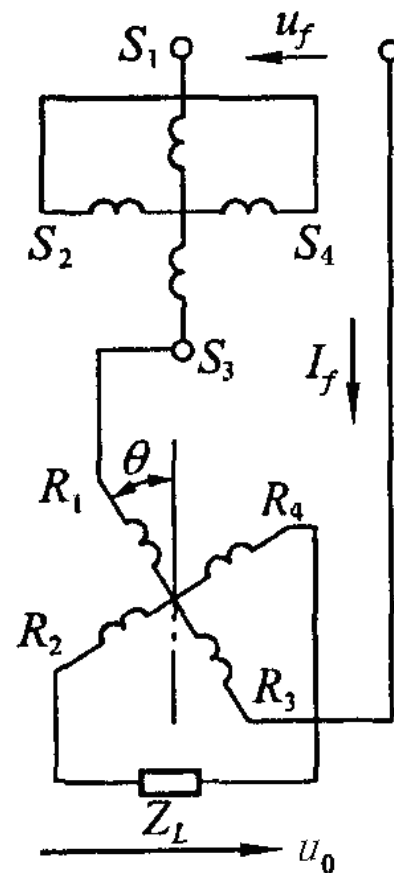
$$U_f = E_{S13} + KE_{S13} \cos \theta$$

$$U_0 = K * E_{S13} \sin \theta$$



$$\frac{U_0}{U_f} = \frac{KE_{S13} \sin \theta}{E_{S13} + KE_{S13} \cos \theta} U_f$$

$$\frac{U_0}{U_f} = \frac{K \sin \theta}{1 + K \cos \theta}$$



线性旋转变压器

根据前面的推导，忽略绕组的阻抗压降时有

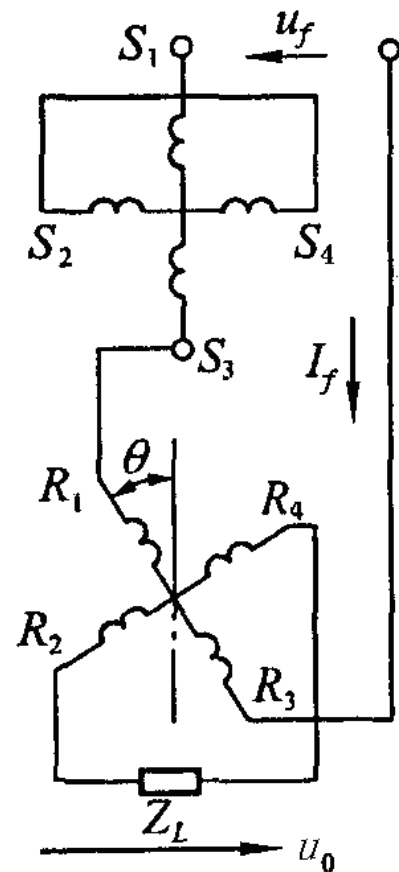
$$U_0 = \frac{K \sin \theta}{1 + K \cos \theta} U_f$$

想获得线性的输出关系，须有

$$U_0 \approx \theta U_f$$

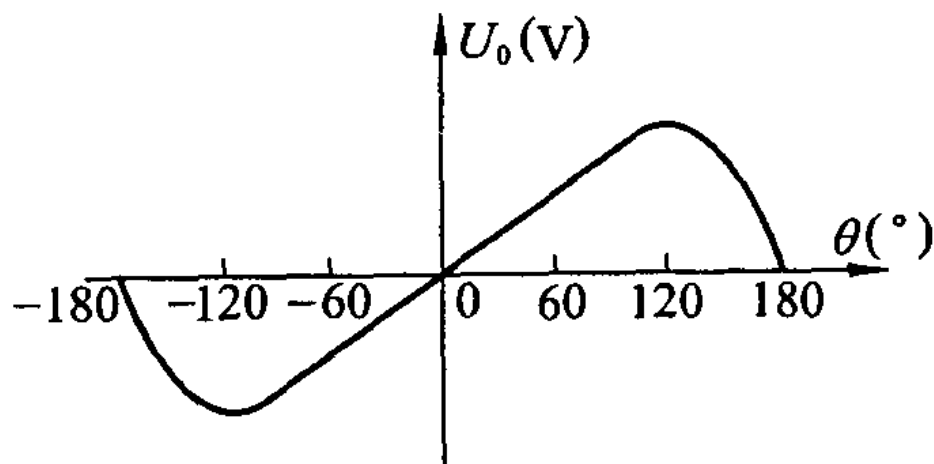
如何选取K，使得在较大的转角范围内有

$$\frac{K \sin \theta}{1 + K \cos \theta} \approx \theta$$



线性旋转变压器

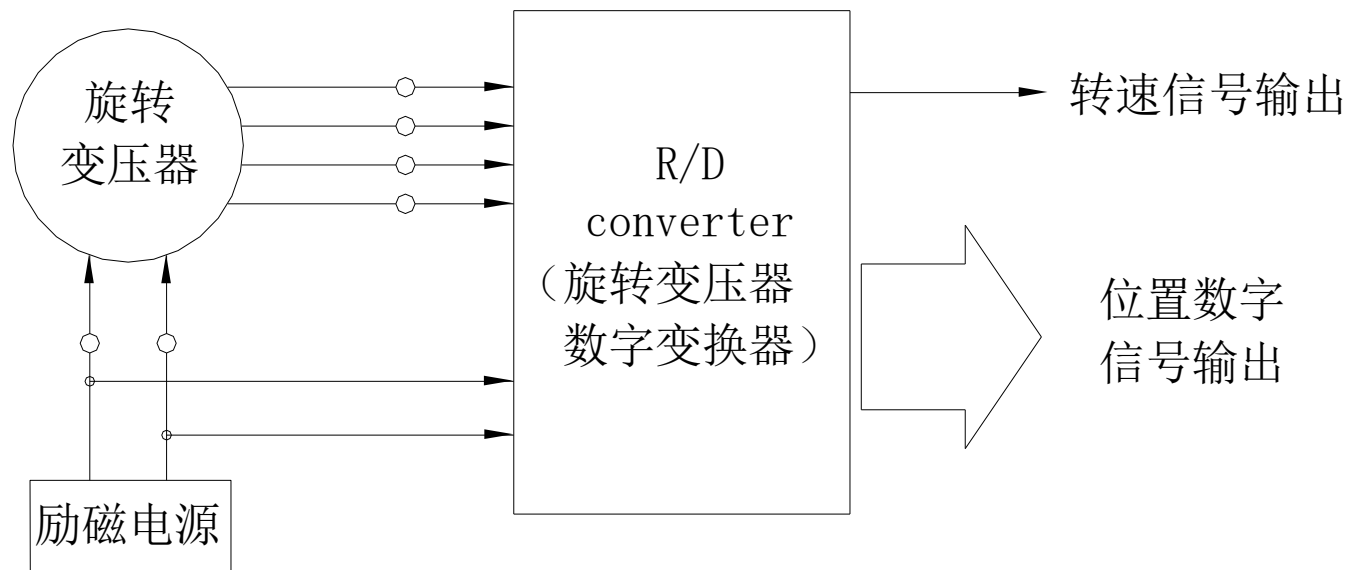
❖ K 为 0.56~0.57，线性特性最佳。 $\pm 60^\circ$ 范围内，误差不超过 0.1%



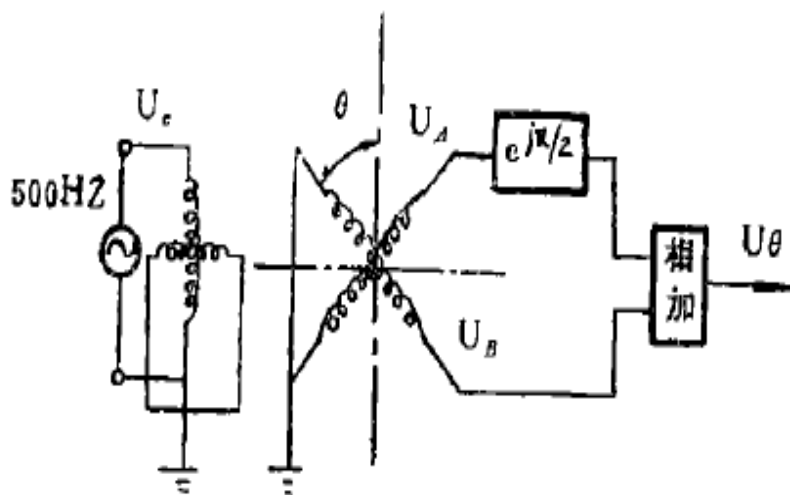
❖ 在使用时要注意转角范围的限制

旋转变压器的应用

- ❖ 角度测量元件，小角度是线性测量元件。
- ❖ 在大角度范围内,使用旋变转换器模块，将旋变的输出信号转换成数字量输出。



旋转变压器的应用



$$\left. \begin{aligned} U_A &= U_m \sin \theta \sin \omega t \\ U_B &= U_m \cos \theta \sin \omega t \end{aligned} \right\}$$

$$U_\theta = U_m \sin(\omega t + \theta)$$

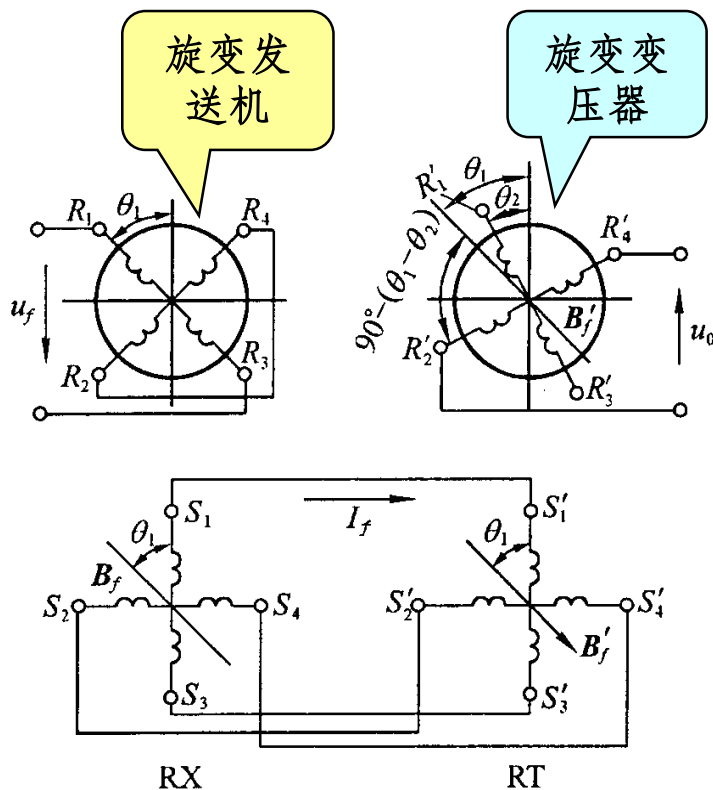
❖ 旋转变压器用于角模变换器的方式

- 双相绕组激磁单相绕组输出
- 单相绕组激磁双相绕组输出
- 正弦波电压激磁
- 方波电压激磁等

❖ 提高系统精度措施

- 选择精度高的旋转变压器
- 选择失真度小的正弦波激磁电源
- 减小旋转变压器两相绕组输出的高次谐波引起变换误差
- 选择温度系数小的电阻、电容元件

旋转变压器的应用



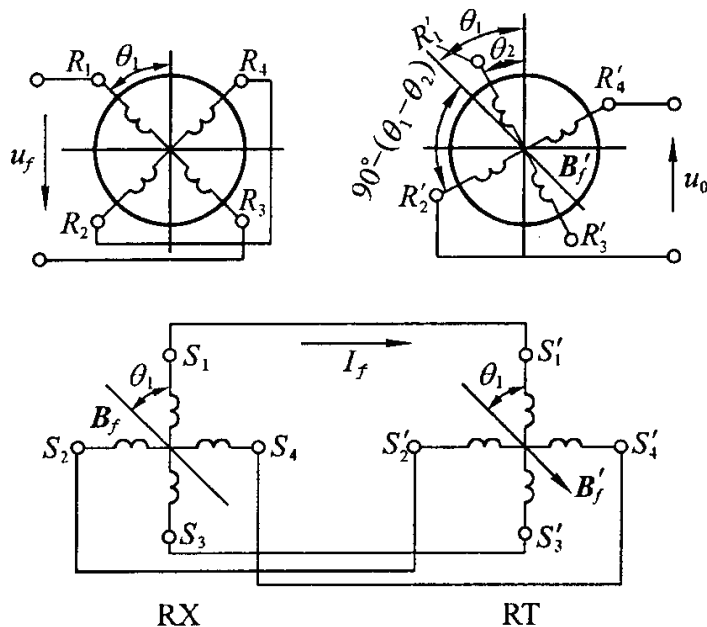
- ❖ 一对旋变测量在机械上不相连的两个轴的转角差。这时旋变的输出电压与两轴的转角差的正弦成正比，由于系统正常工作时**转角差较小**，所以输出电压与两轴的**转角差成正比**，而与轴的**转角大小无关**。
- ❖ 左边旋变转轴与发送轴相连，称**旋变发送机**，转子绕组为激磁绕组和补偿绕组。
- ❖ 右边的旋变转轴与接收轴相连，称为**旋变变压器**，转子绕组输出电压信号。两机的定子绕组按相序对接。

旋转变压器的应用

旋变发送机的转角为 θ_1 旋
变变压器转角为 θ_2

旋变变压器磁场与定子绕
组 $S_1'S_3'$ 轴线的夹角为 $\theta_1 - \theta_2$

转子绕组 $R_2'R_4'$ 的感应电
势有效值为

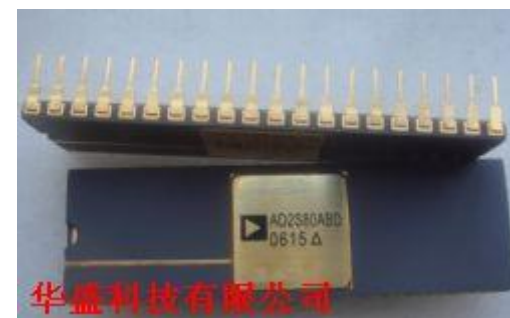
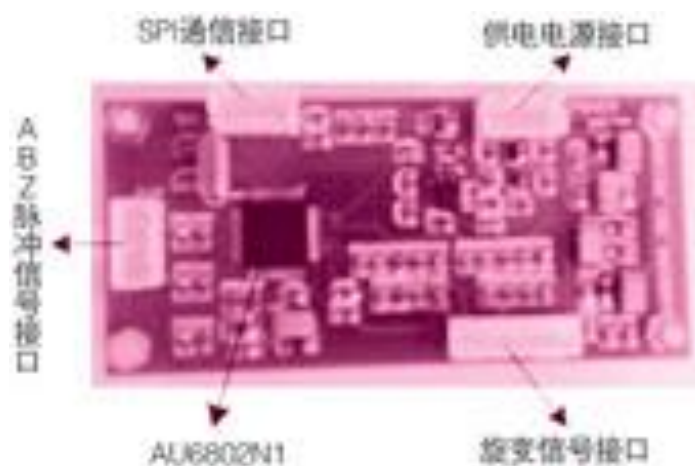
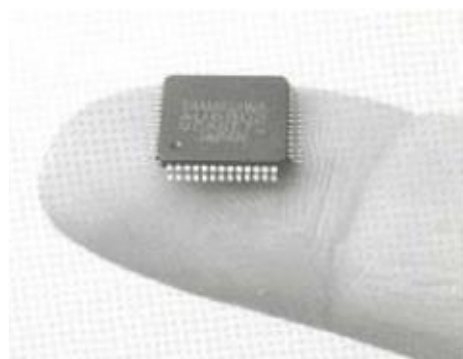


$$E_{R24}' = E_R' \cos[90^\circ - (\theta_1 - \theta_2)] = E_R' \sin(\theta_1 - \theta_2) = E_R' \sin \delta$$

$$E_{R24}' = E_R' (\theta_1 - \theta_2) = E_R' \delta$$

旋转变压器的信号变换

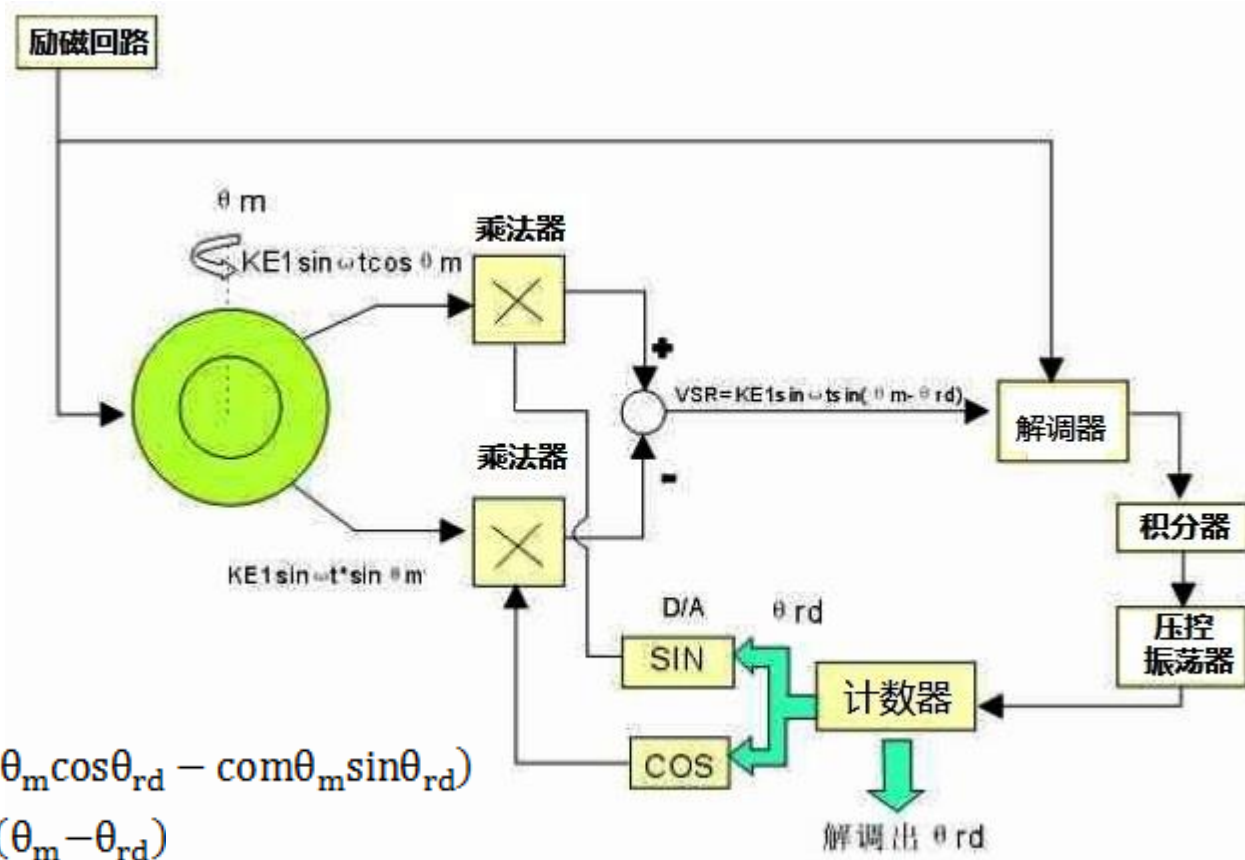
- ❖ 旋转变压器的信号输出是两相正交的模拟信号，它们的幅值随着转角做正余弦变化，频率和励磁频率一致。这样一个信号还不能直接应用，这就需要角度数据变换电路，把这样一个模拟量变换成明确的角度量，这就是RDC（Resolver Digital converter—旋转变压器数字变换器）电路。



旋转变压器数字变换器

- ❖ 为了消除由于励磁电源幅值和频率的变化，所引起的副边输出信号幅值和频率的变化，从而造成角度误差，信号的检测采用正切法，即检测两相信号的比值，这就避免了幅值和频率变化的影响。
- ❖ 采用适时跟踪反馈原理测角，是一个快速的数字随动系统，属于无静差系统。
- ❖ 有两种形式的输出，串行或并行。

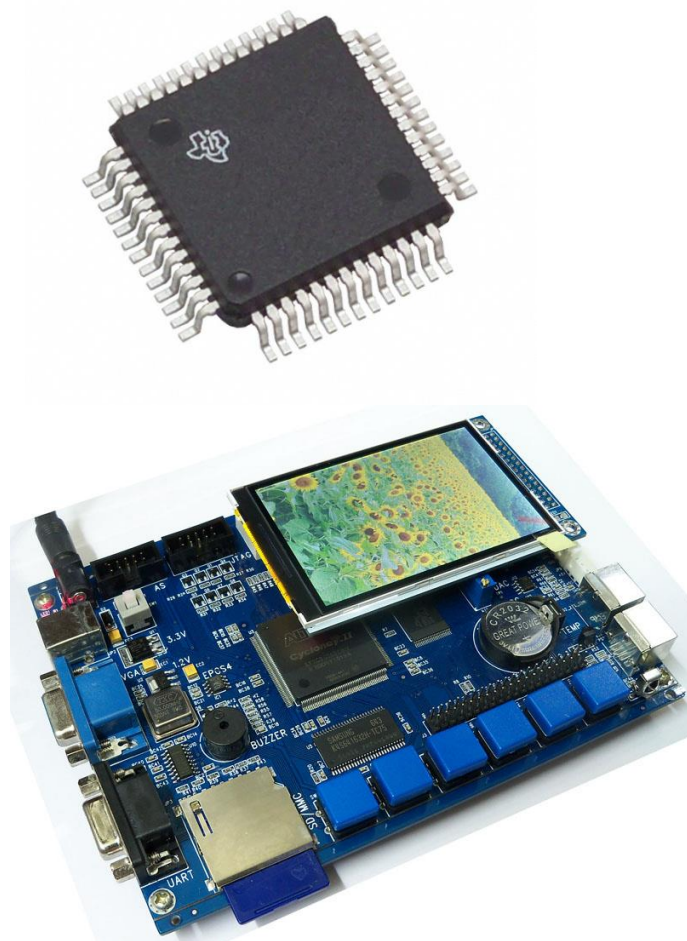
旋转变压器数字变换器



$$V_{sr} = K_e \sin \omega t (\sin \theta_m \cos \theta_{rd} - \cos \theta_m \sin \theta_{rd})$$

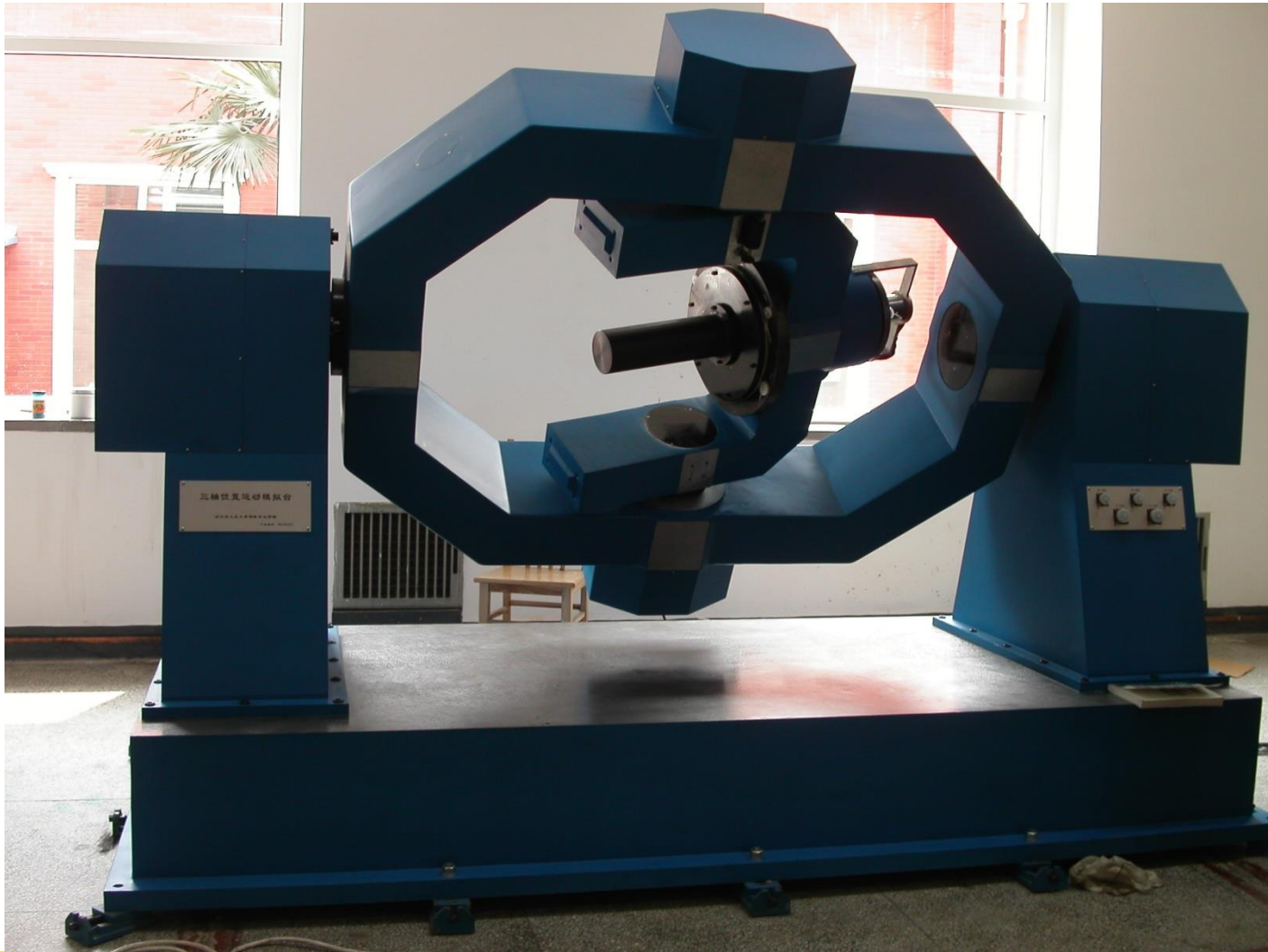
$$= K_e \sin \omega t \sin(\theta_m - \theta_{rd})$$

DSP技术和软件变换



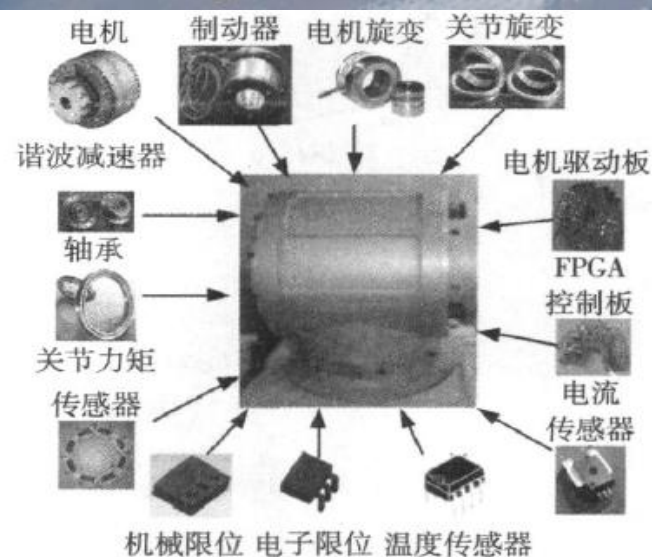
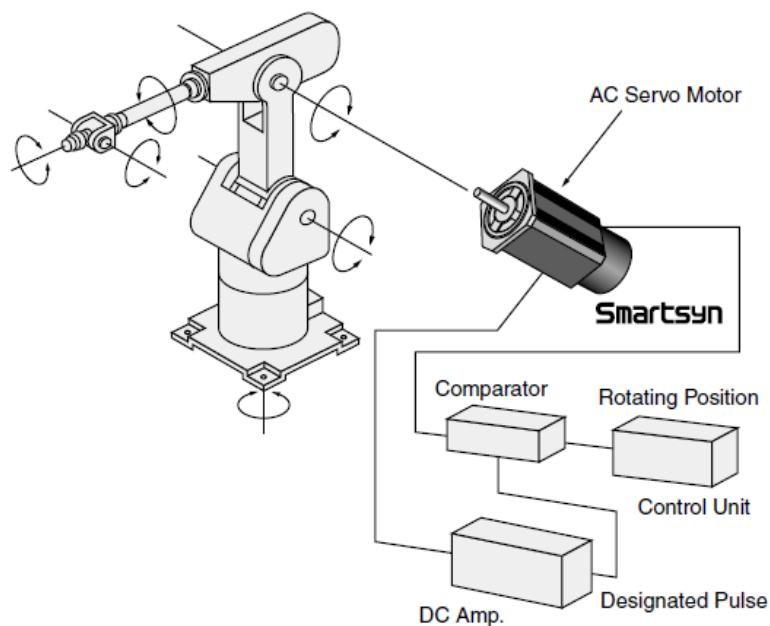
- ❖ 直接用DSP作旋转变压器位置和速度变换。
- ❖ 用DSP实现旋转变压器的解码，具有这样一些明显的优点：
 - 降低成本，取消了专用的RDC IC芯片；
 - 采用数字滤波器，可以消除速度带来的滞后效应。用软件实现带宽的变换，以折中带宽和分辨率的关系，并使带宽作为速度的函数。
 - 抗环境噪声的能力更强。

旋转变压器应用



旋变测角在机械臂中的应用

- For Driving Robot Hand and Body.



旋转变压器的主要参数

一、旋转变压器的主要技术参数

(1) 额定电压。指励磁绕组应加的电压，有12、16、26、36、60、90、110、115、220V等多种。

(2) 额定频率。指励磁电压的频率，有50-20kHz。选择时应根据自己的需要，一般工频50Hz的使用起来比较方便，但性能会差一些，而400Hz的性能较好，但成本较高，故应选择性价比比较适中的产品。

旋转变压器的主要参数

(3) 变比。指在规定的励磁绕组上加上额定频率的额定电压时，与励磁绕组轴线一致的处于零位的非励磁绕组的开路输出电压与励磁电压的比值，有0.15、0.56、0.65、0.78、1.0和2.0等多种。

(4) 输出相位移。指输出电压与输入电压的相位差。该值越小越好，一般约在 3° ~ 12° 电角度左右。

(5) 开路输入阻抗（空载输入阻抗）。输出绕组开路时，从励磁绕组看进去的等效阻抗值。标准开路输入阻抗有200、400、600、1000、2000、3000、4000、6000和10000等几种。

旋转变压器的主要参数

二、旋转变压器的误差

(1) 函数误差。它是指旋转变压器励磁绕组加上额定电压，补偿绕组短路时，在不同的转子转角下，两个输出绕组实际输出特性和理想输出特性间的最大差值与理论上输出电压的最大值的百分比，其误差范围一般为0.02%~0.1%。函数误差直接影响作为解算元件的解算精度。

$$\delta_s(\%) = \left(\frac{U_\alpha}{U_{\alpha=90^\circ}} - \sin \alpha \right) \times 100\%$$

旋转变压器的主要参数

(2) 零位误差。是指旋转变压器励磁绕组加上额定电压，补偿绕组短路时，两个输出绕组的实际电气零位与理论电气零位之差。以角分表示，误差范围一般为 $2' \sim 10'$ 。零位误差直接影响计算和数据传输系统的精度。

(3) 线性误差。它是指旋转变压器在一定的转角范围(一般为 $\pm 60^\circ$)，在采用线性旋转变压器方式接线，转子的实际转角与理想特性上所对应转角的最大差值。

$$\delta_1(\%) = \frac{U'_\alpha - U_\alpha}{U_{\alpha=60^\circ}} \times 100\%$$

旋转变压器的主要参数



(4) 电气误差。电气误差是评价数据传输用旋转变压器性能的主要指标，它是指转子的实际转角与对应的理论转角之差，以累积误差的形式表示。

旋转变压器的主要参数



3. 旋转变压器的精度等级

旋转变压器的精度等级表示其所允许的误差值。

精度等级	0 级	I 级	II 级	III 级
函数误差 (%)	0.05	0.1	0.2	0.3
零位误差 (')	3	6	12	18
线性误差 (')	2	4	8	18
电气误差 (')	5	10	20	30

旋转变压器主要误差因素

- ❖ 属于设计方面的误差因素
- ❖ 指包括设计上的由于种种原因而不可避免的误差，对于这些误差，设计者只能尽量缩小其影响，相当大的一部分是不可能完全消除。
 - 绕组问题
 - 齿谐波问题
 - 导磁材料问题
 - 其它设计问题

旋转变压器主要误差因素

❖ 属于机加工工艺方面的误差因素

- 机械加工不良而引起的定子内圆椭圆、转子外圆椭圆
- 定、转子相对偏心
- 导磁材料的片间短路

❖ 加工工艺良好与否，对旋转变压器的性能和精度有着巨大的影响，特别是在小机座号产品中，其影响更为突出，因此精确的加工质量是保证产品精度的重要一环。

旋转变压器主要误差因素

- ❖ 属于应用方面的因素
- ❖ 指当使用条件发生变化时，对于旋转变压器性能的影响，特别是输入电压、频率和环境温度的变化对旋转变压器的性能(主要是对变比及相位移)的影响。
- ❖ 这些变化因素在某些系统运行中是难免的，特别是随着宇航技术的发展，环境温度的变化幅度也越来越大，如不预先采取有效措施予以防备，将导致影响系统运行。

旋转变压器的特点

❖ 优点

- 除了测角外，还可以用于解算，用途多
- 构造简单，成本较低
- 对使用环境要求低（噪声、振动、冲击、温度）
- 无接触测量，可靠性高，寿命长
- 适合高速，最高可达60000r/min（光电3000r）
- 有绝对位置信号输出
- 处理电路相对简单

❖ 缺点

- 精度较低

旋转变压器的使用注意事项

- ❖ 旋转变压器应尽可能在接近空载的状态下工作。因此，负载阻抗应远大于旋转变压器的输出阻抗。两者的比值越大，输出电压的畸变就越小。
- ❖ 使用时首先要准确地调准零位，否则会增加误差，降低精度。
- ❖ 只用一相励磁绕组时，另一相绕组应该短路或接一个与励磁电源内阻相等的阻抗。
- ❖ 两相励磁绕组同时励磁时，即只能采用副边补偿方式时，两相输出绕组的负载阻抗应尽可能相等。

旋转变压器的使用注意事项

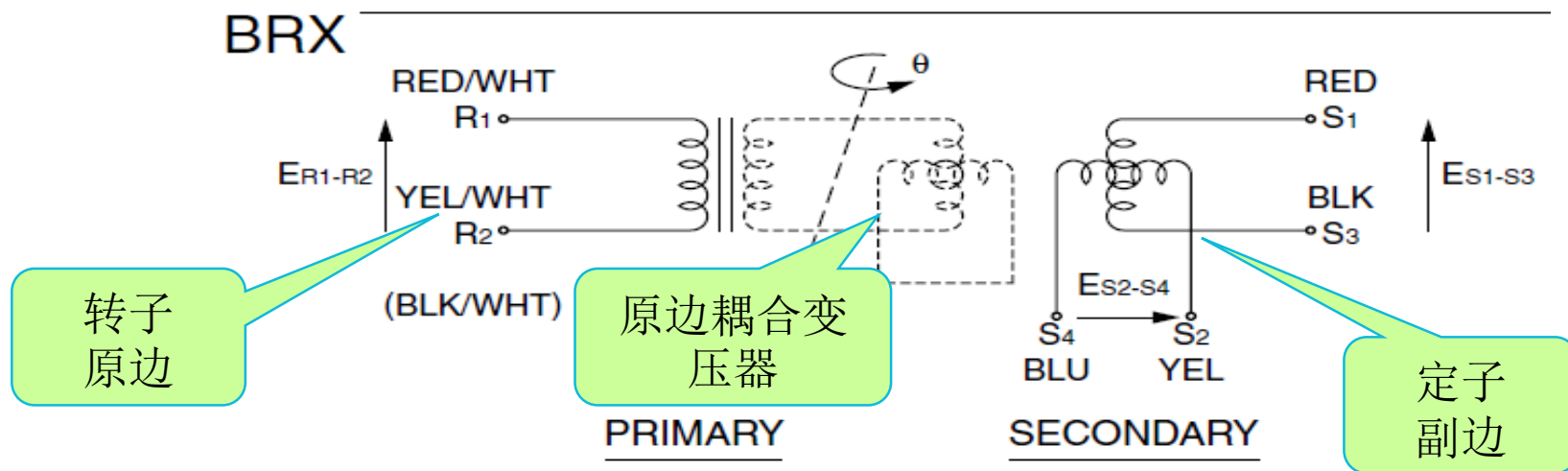


- ❖ 分体式旋转变压器安装时，要尽量保证定、转子同心。
- ❖ 激磁电压频率要和最大速度匹配。
- ❖ 结构尺寸要匹配,转子惯量要满足要求。
- ❖ 注意励磁方式，不同的励磁方式需要不同的解调电路。
- ❖ 注意使用环境，湿度、振动等。

旋转变压器使用注意事项

SIZE		08	10	15			21	
Model No.		TS2605N1E64	TS2610N171E64	TS2620N21E11	TS2620N271E14	TS2620N691E126	TS2640N321E64	TS2640N691E125
Type		BRX	←	←	←	←	←	←
Primary		R1-R2	←	←	←	←	←	←
Input Voltage/Frequency		7Vrms 10kHz	7Vrms 10kHz	7Vrms 10kHz	10Vrms 4.5kHz	10Vrms 4.5kHz	7Vrms 10kHz	5Vrms 4kHz
Transformation Ratio		0.5±5%	0.5±5%	0.5±5%	0.5±10%	0.5±10%	0.5±5%	0.5±10%
Error		±10' Max.	±10' Max.	±10' Max.	±10' Max.	±8' Max.	±10' Max.	±8' Max.
Null Voltage		20mVrms Max.	20mVrms Max.	20mVrms Max.	20mVrms Max.	20mVrms Max.	25mVrms Max.	—
Phase Shift		+10° Nom.	+5° Nom.	0° Nom.	+8° Nom.	+3 ~ +13°	-5° Nom.	+0 ~ +10°
Impedance	Z _{Ro}	140Ω	160Ω	70+j100Ω	90+j180Ω	90+j180Ω	110+j140Ω	290Ω Nom.
	Z _{so}	—	160Ω	180+j300Ω	220+j350Ω	220+j350Ω	150+j270Ω	—
	Z _{ss}	120Ω	130Ω	175+j257Ω	210+j300Ω	210+j300Ω	130+j240Ω	420Ω Nom.
Operating Temperature		-55~+155°C	-55~+155°C	←	←	←	←	←
Max. Operating Speed		30,000min. ⁻¹	10,000min. ⁻¹	←	←	←	←	←
Mass		0.028kg	0.04kg	0.06kg	0.07kg	0.065kg Max	0.22kg	025kg
Output Type		Reverse	Reverse	Normal	Normal	Reverse	Normal	Normal

BRX:单相励磁双相输出



Excitation : $E_{R1-R2} = E \sin \omega t$

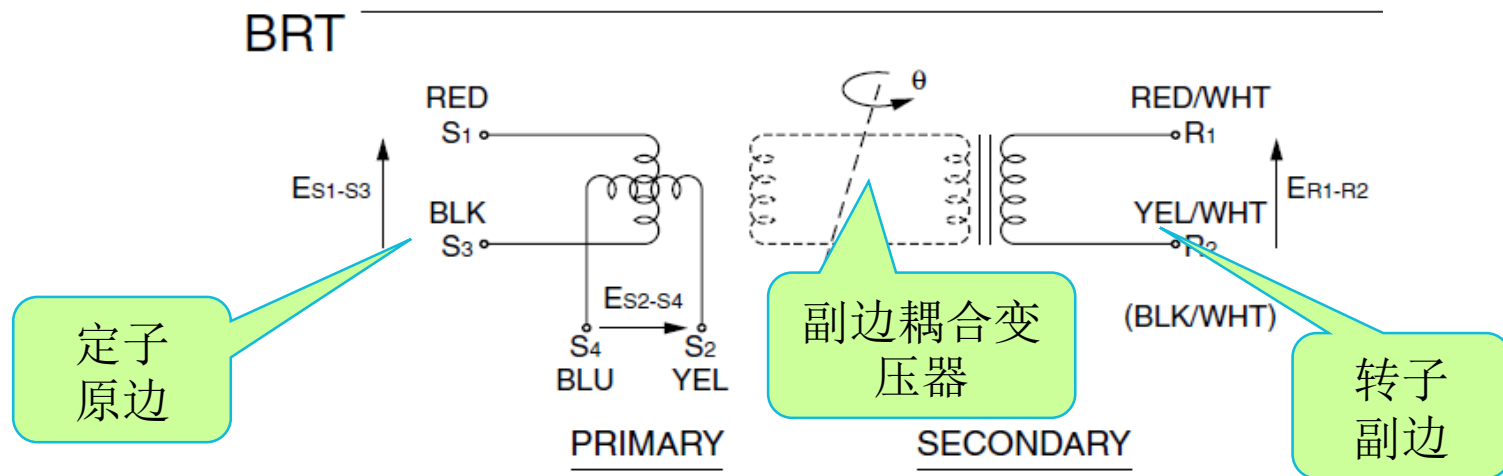
Output : $E_{S1-S3} = K E_{R1-R2} \cos \theta$

$E_{S2-S4} = K E_{R1-R2} \sin \theta$ (Normal Type)

$E_{S2-S4} = -K E_{R1-R2} \sin \theta$ (Reverse Type)

K : Transformation Ratio

BRT: 两相励磁单相输出



Excitation : $E_{S1-S3} = E \sin \omega t$

$E_{S2-S4} = E \cos \omega t$

Output : $E_{R1-R2} = K E_{S1-S3} \cos \theta - K E_{S2-S4} \sin \theta$
 $= K E \sin (\omega t - \theta)$ (Normal Type)

$E_{R1-R2} = K E_{S1-S3} \cos \theta + K E_{S2-S4} \sin \theta$
 $= K E \sin (\omega t + \theta)$ (Reverse Type)

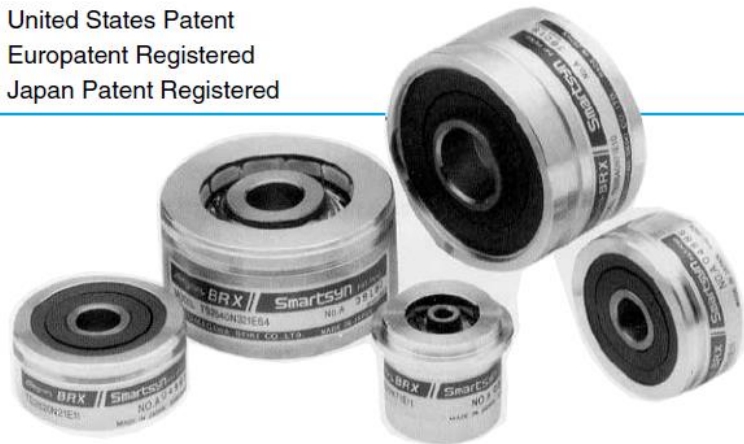
K : Transformation Ratio

旋转变压器使用注意事项

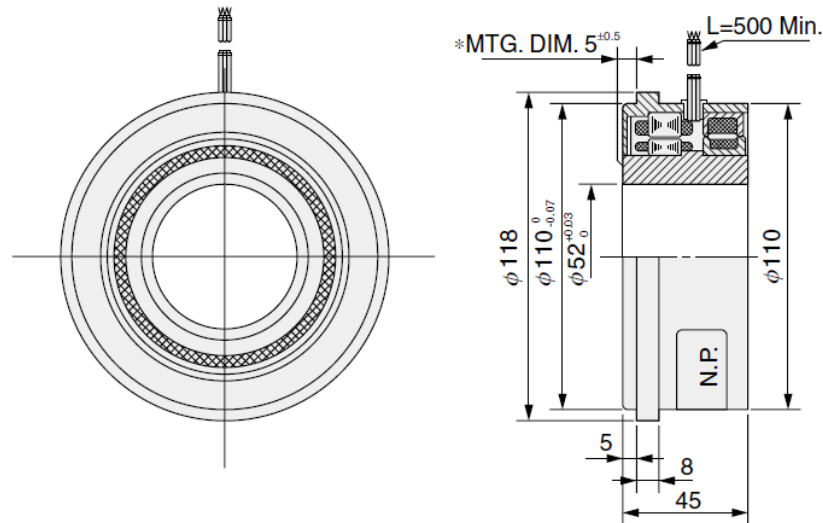
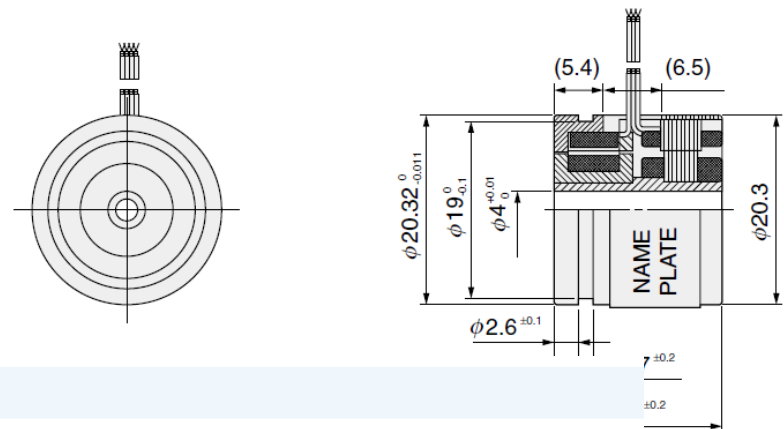
SIZE 08

TS2605N1E64

United States Patent
Europatent Registered
Japan Patent Registered



8N41E48



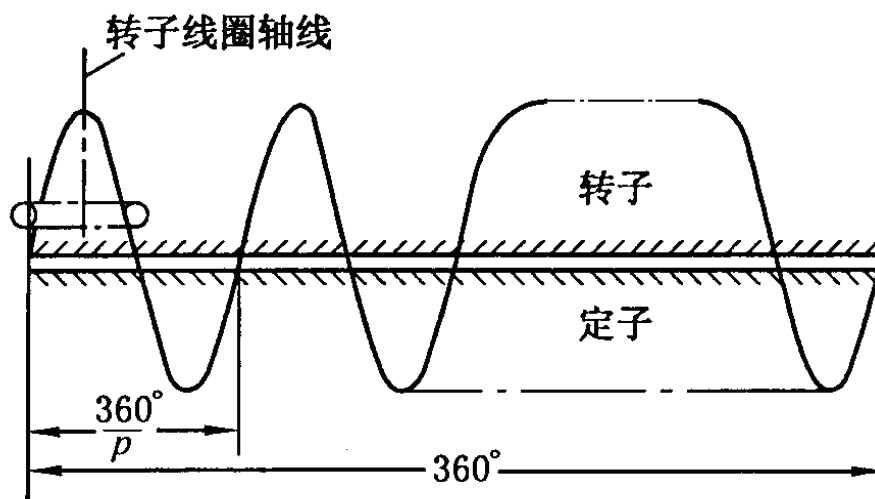
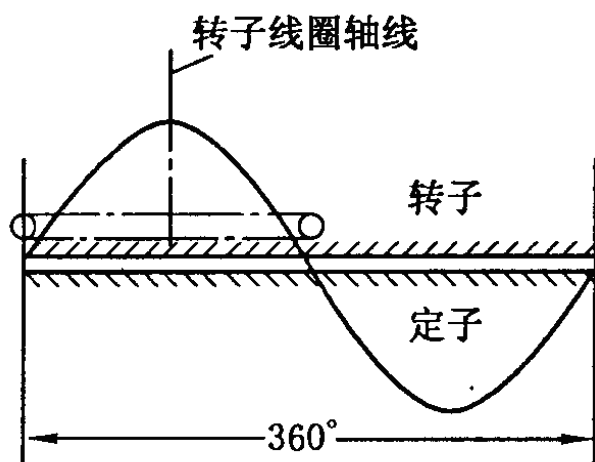
多极旋转变压器



- ❖ **目的**: 提高测量精度。
- ❖ **结构**: 定子和转子, 类似于两相多极交流电动机的绕组。
- ❖ **工作原理**: 感应电势的产生原理与两极旋变相同。但气隙磁场是多极的, 输出电压有效值随转子转角变化的周期不同。

多极旋转变压器

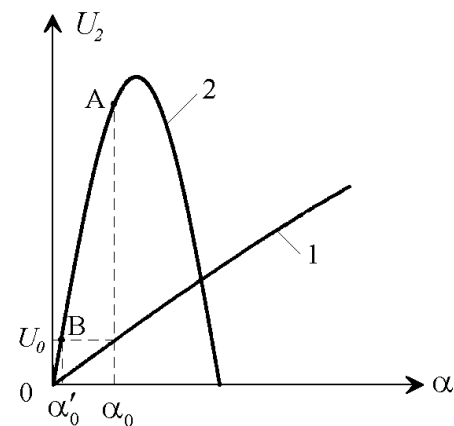
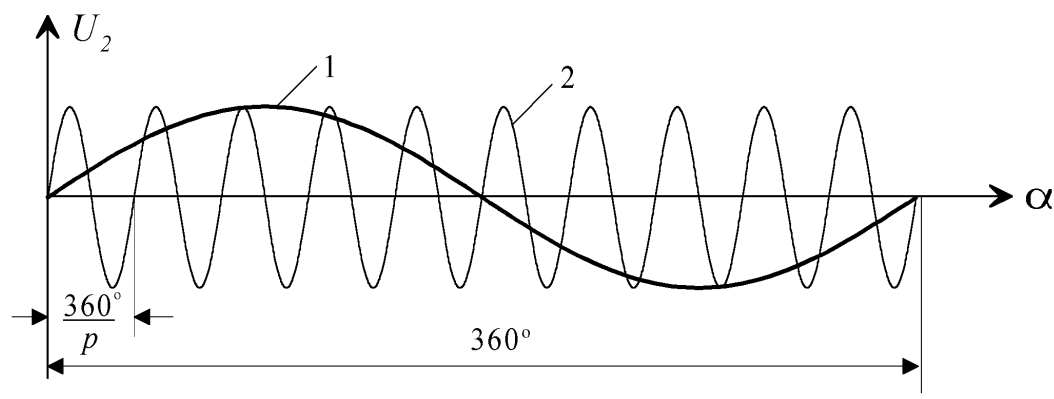
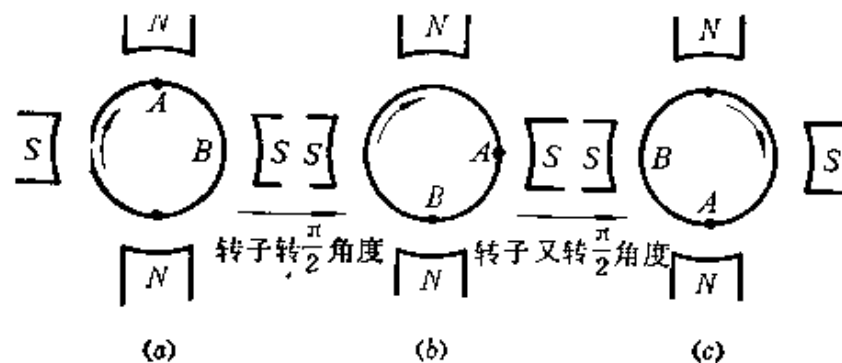
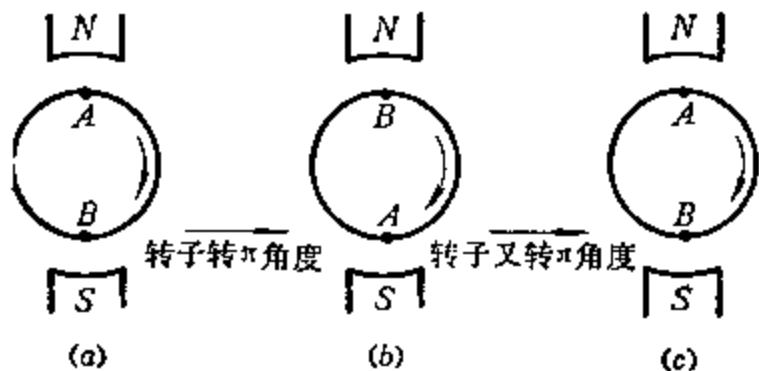
磁通密度分布曲线展开图，周期是 $360^\circ / p$



$$U_{s(p)} = U_{m(p)} \sin p\theta$$

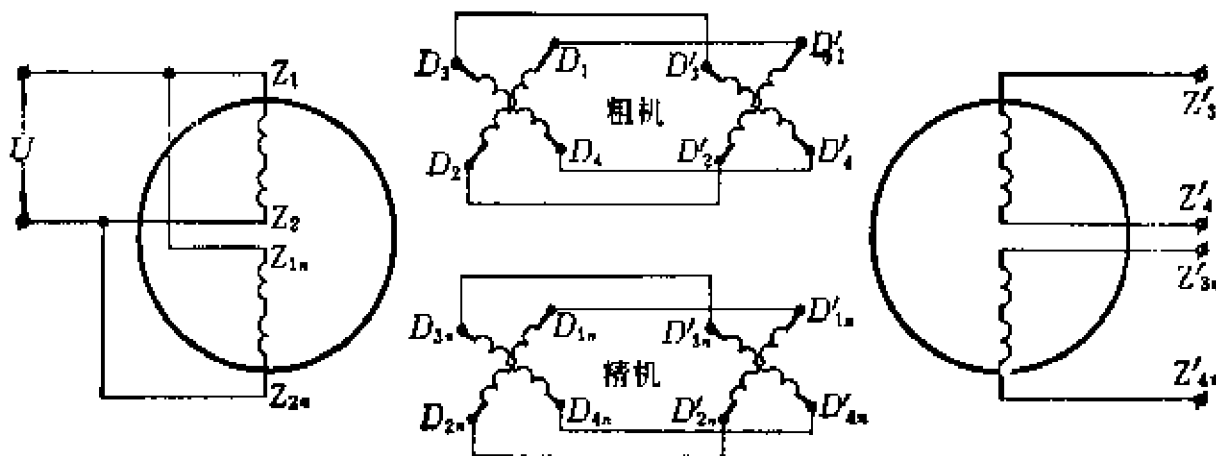
$$U_{c(p)} = U_{m(p)} \cos p\theta$$

多极旋转变压器



❖ 电器转角是机械转角的p倍

多极旋转变压器



- ❖ 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内，多极旋转变压器输出电压是周期函数，从输出电压不能唯一确定转角。
- ❖ 实际系统中总是把两极旋变与多极旋变配合使用，组成双通道测角装置，其中两极旋变担当粗测，多极旋变实现精测，由粗细转换电路完成数据组合。
- ❖ 一般称为双通道旋转变压器。

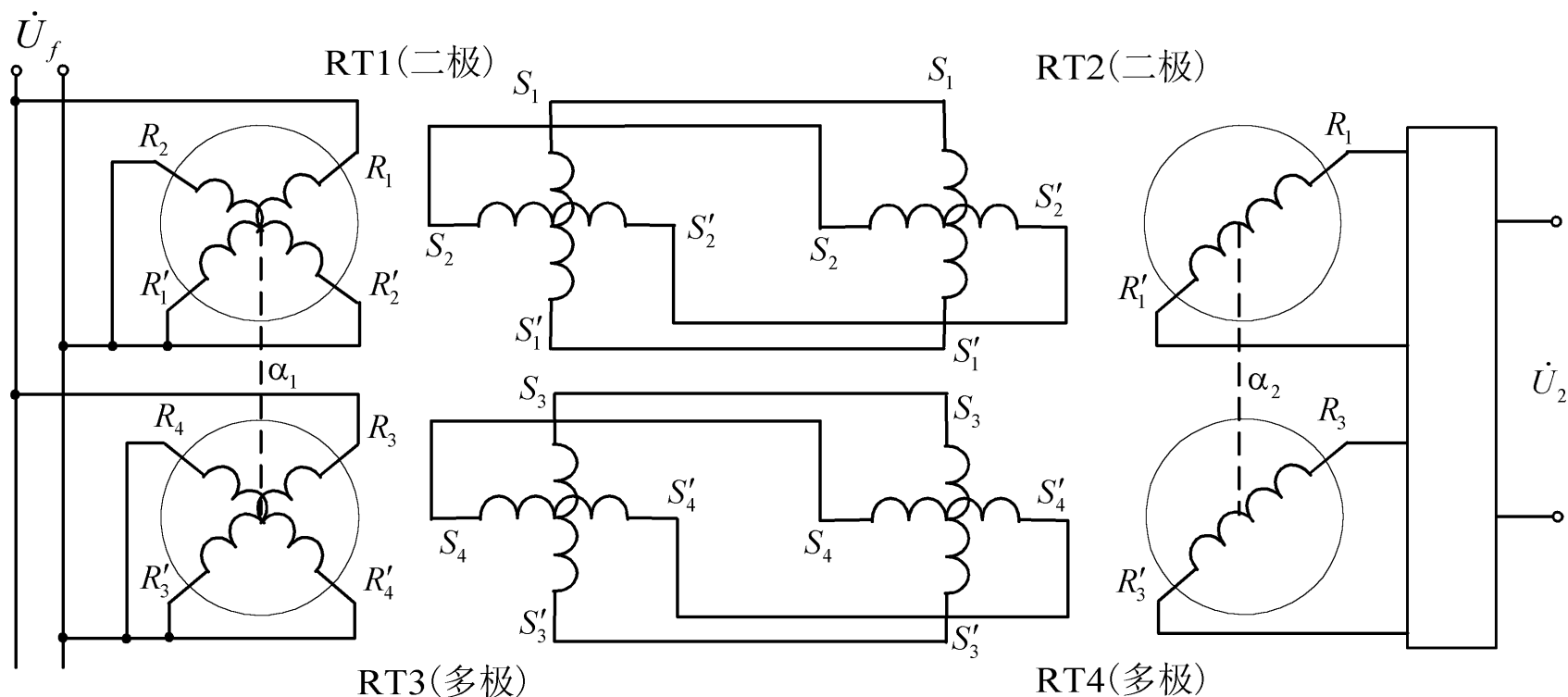
多极旋转变压器

- 工作原理类似于游标卡尺，大数看长尺，小数看游标小尺。



多极旋转变压器

双通道测角系统与多极旋转变压器应用



Thank You !

伊国兴

ygx@hit.edu.cn

