



哈爾濱工業大學
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



自动控制实践I-21

-旋转变压器



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

1. 旋转变压器概述
2. 旋转变压器结构
3. 旋转变压器的工作原理
4. 旋转变压器的应用和特点
5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量



1 旋转变压器概述

- 旋转变压器 (Resolver) 。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。
- 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

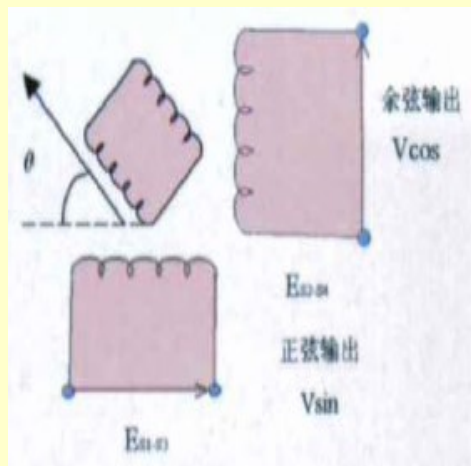


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1 旋转变压器概述

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。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1 旋转变压器概述

旋转变压器的种类

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

结构形式：接触式和非接触式（有刷、无刷）
一体式和分体式



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



1 旋转变压器概述

- 旋转变压器属于哪一类传感器？
 - 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

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

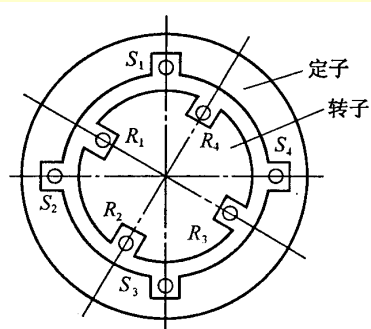
1. 旋转变压器概述
2. 旋转变压器结构
3. 旋转变压器的工作原理
4. 旋转变压器的应用和特点
5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量



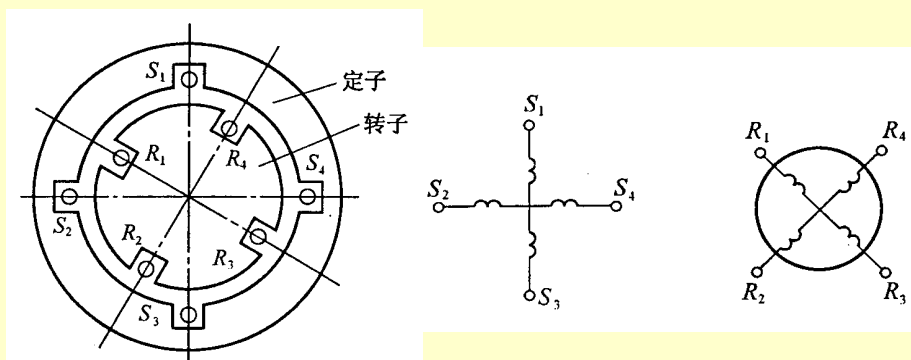
2 旋转变压器的结构

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。



2 旋转变压器的结构



转子绕组 R_1R_3 及 R_2R_4 结构相同。定子绕组 S_1S_3 及 S_2S_4 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，有刷式旋变的转子绕组通过滑环和电刷引出。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



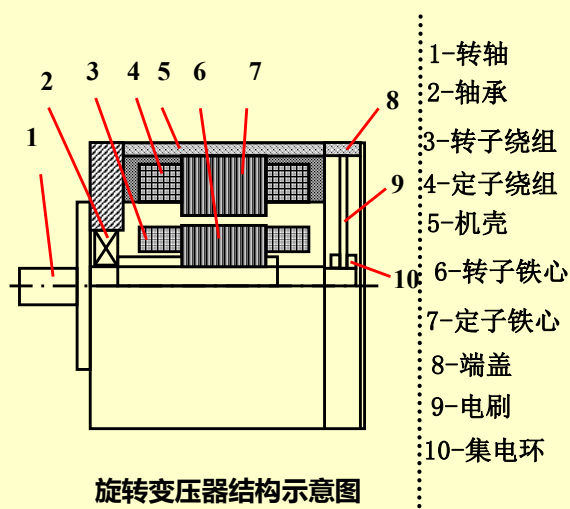
2 旋转变压器的结构

(1) 有刷式旋转变压器

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。



旋转变压器结构示意图

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



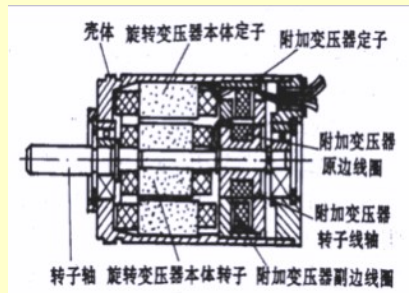
2 旋转变压器的结构

(2) 无刷式旋转变压器

由本体和附加变压器组成。

附加变压器的原、副边铁心及线圈成环形，分别固定于定子壳体上和转子上，径向留有一定的间隙。

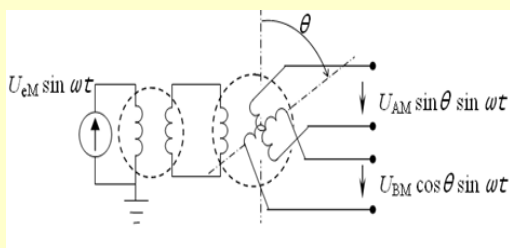
本体的转子绕组与附加变压器转子侧线圈连在一起，附加变压器转子侧线圈中的电信号，通过电磁耦合，由附加变压器定子侧线圈送出。或者反之。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



2 旋转变压器的结构



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

1. 旋转变压器概述
2. 旋转变压器结构
3. 旋转变压器的工作原理
 - 3.1 旋转变压器的空载与负载运行
 - 3.2 RDC转换处理芯片
 - 3.3 旋转变压器的一些特殊应用
4. 旋转变压器的应用和特点
5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

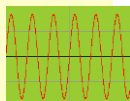


3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

一、空载运行

旋转变压器的输出可以是转子绕组 $R1R3$ 、 $R2R4$ 。相应定子绕组 $S1$ $S3$ 接交流激磁电压，频率为 f 。

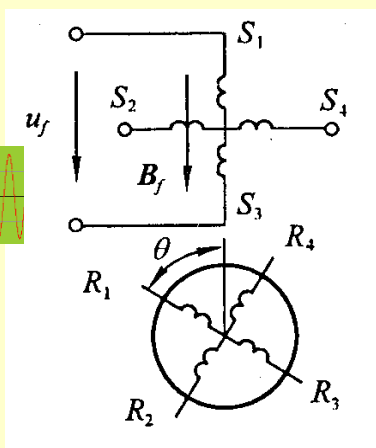
$$u_f = u \times \sin(2\pi ft)$$



此时产生脉振磁场 Φ_m/B_f

位于 S_1S_3 的轴线上。

输入输出绕组也可以对转子和定子互换，转子激磁，定子输出。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

一、空载运行

绕组 R_1R_3 轴线与脉振磁场轴线的夹角为 θ 时,

以有效值表示有:

余弦绕组 R_1-R_3 :

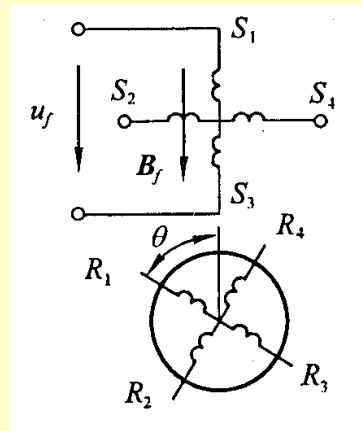
$$\Phi_{R13} = \Phi_m \cos \theta$$

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

正弦绕组 R_2-R_4

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

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



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



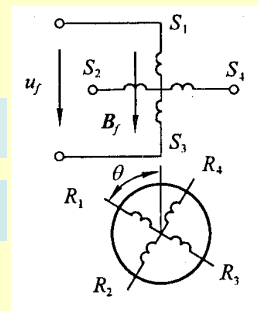
3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

设绕组 R_1R_3 轴线与脉振磁场轴线的夹角为 θ , 据变压器原理, 输出绕组的感应电势的最大有效值为

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

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

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



- $R_1 R_3$ 是余弦绕组, $R_2 R_4$ 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, 可视为空载

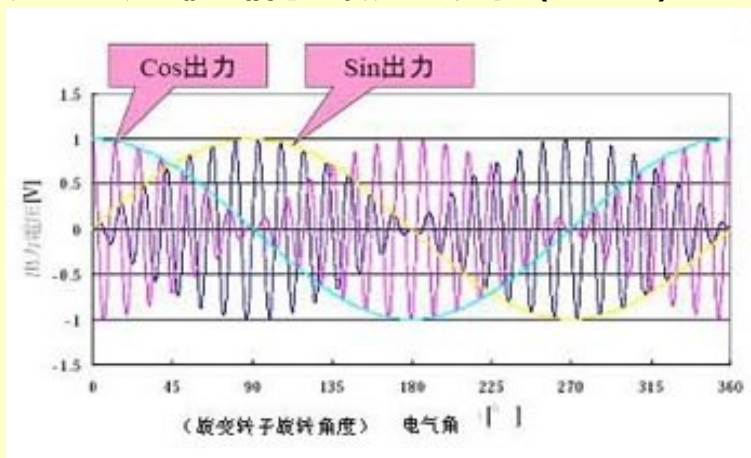
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

一、空载运行

转子两相绕组输出信号和转角 θ 的关系 (0-360°)

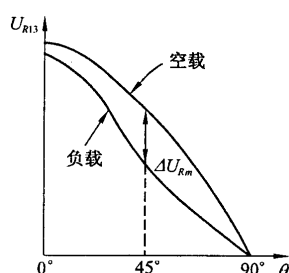
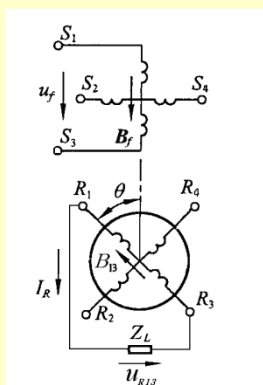


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

二、负载运行



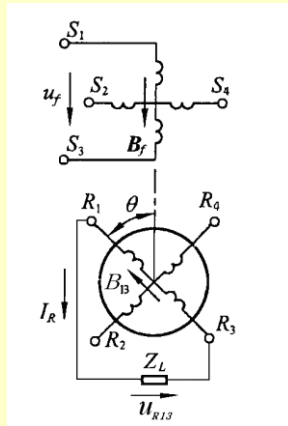
带上负载的旋转变压器输出电压与正余弦函数之间出现误差，误差的大小与转角和负载电流有关。转角为45°时误差最大。负载电流越大，误差也越大

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

二、负载运行



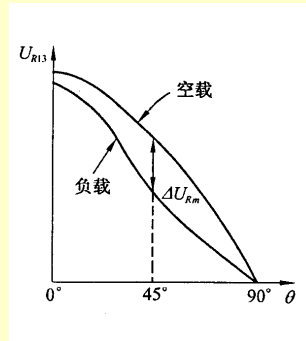
带载

负载电流

转子绕组磁场

感应电势

畸变



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

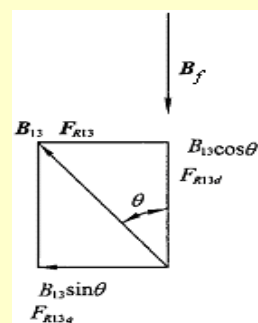
二、负载运行

- 对磁势进行分解，交轴磁势为

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

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

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

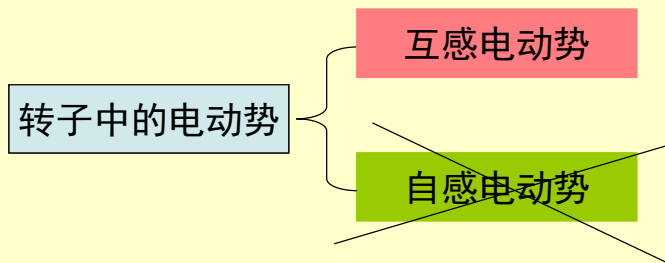


交轴分量不会在定子绕组中感应出电动势，但会在转子绕组中感应出电动势。 $\theta=45^\circ$ ，达到最大值。负载电流越大，交轴磁势引起的输出误差也越大。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理



如何来补偿掉负载时输出电压的畸变呢？

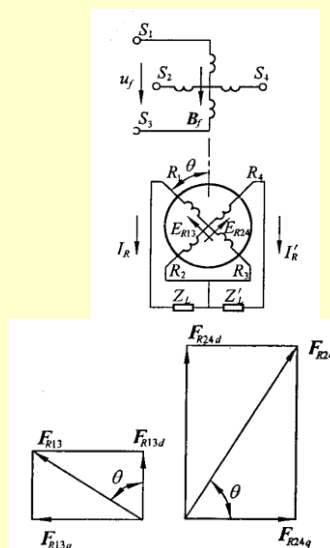
$$E_{R13}^L = E_R \cos \theta$$



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

三、副边补偿方法

- 副边补偿原理是，副边两个绕组都接等值负载，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。若能使二者幅值相等，交轴磁势就完全抵消。



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

三、副边补偿方法

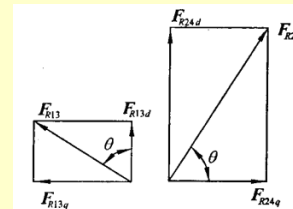
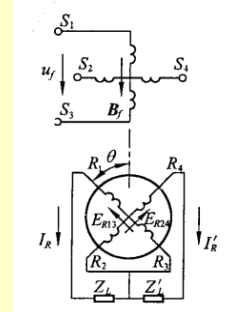
- 根据前面的推导余弦绕组交轴磁势

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

- 正弦绕组交轴磁势

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

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



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

三、副边补偿方法

- 若要完全抵消，须满足

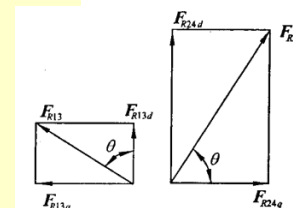
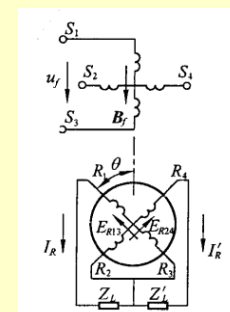
$$F_{R13q} = F_{R24q}$$

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

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

交轴磁势完全抵消的条件是

$$Z'_L = Z_L$$



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

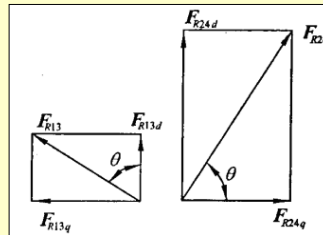


3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

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。

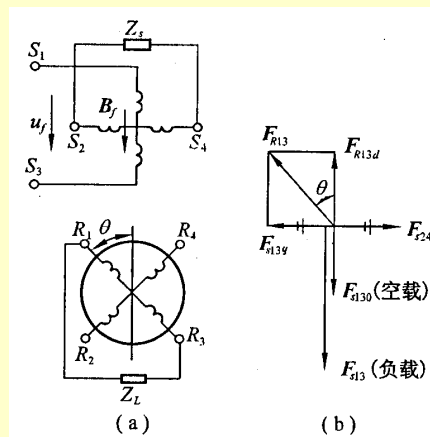


3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

三、原边补偿方法

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。

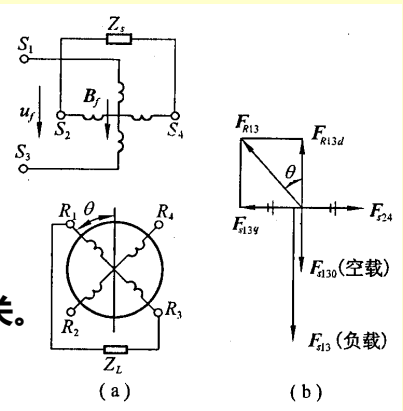
补偿绕组 S_2S_4 接入阻抗 Z_s 。激磁电源内阻抗 Z_f ，可以证明 $Z_s = Z_f$ 时，负载电流产生的交轴磁势完全被抵消，称原边对称补偿。



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

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。



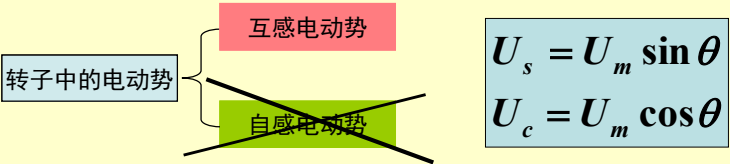
一般为了获得更好的补偿效果，可以**同时**采用副边
补偿和原边补偿



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

小结：

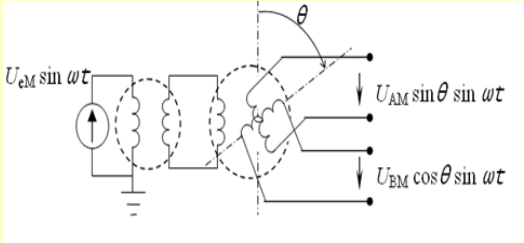
采用了补偿措施的正余弦旋转变压器的磁场保持在直
轴方向，当转子相对于基准绕组轴线转动角度 θ 时，正
弦和余弦输出绕组输出交流电压，**相位相同，频率相同**
。输出电压的有效值分别为



式中 U_m 为最大的输出电压有效值。



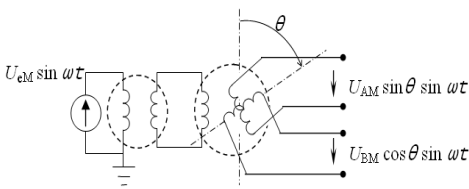
3.1 正余弦旋转变压器的工作原理



目前自动化领域大量使用无刷旋转变压器，经对称高输入阻抗的RDC芯片或其它电路处理，基本无需考虑正余弦信号的补偿。



3.1 正余弦旋转变压器的工作原理

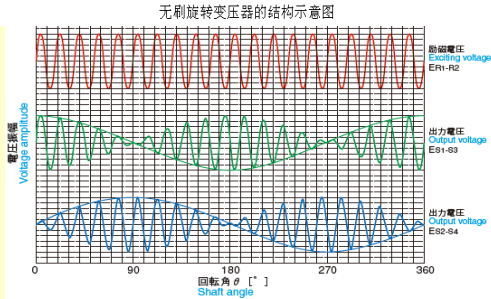


原方绕组的端电压为：

$$u_e = U_{eM} \sin \omega t$$

则副方得到：

$$\begin{cases} u_A = U_{AM} \sin \theta \sin \omega t \\ u_B = U_{BM} \cos \theta \sin \omega t \end{cases}$$



其中 ω 为励磁电源的角频率，亦即载波频率， u_A 、 u_B 为两相正交绕组的输出电压，这两相分别称作正弦绕组和余弦绕组。



目 录

1. 旋转变压器概述
2. 旋转变压器结构
3. 旋转变压器的工作原理
 - 3.1 旋转变压器的空载与负载运行
 - 3.2 RDC转换处理芯片
 - 3.3 旋转变压器的一些特殊应用
4. 旋转变压器的应用和特点
5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

1. RDC转换处理芯片

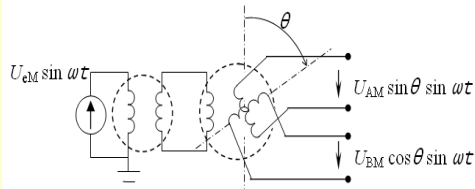
目前自动化领域多采用RDC
芯片转换得到数字化角度

原方绕组的端电压为：

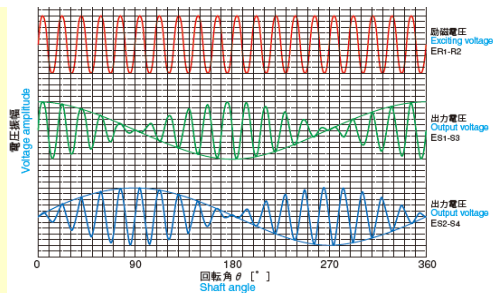
$$u_e = U_{eM} \sin \omega t$$

则副方得到：

$$\begin{cases} u_A = U_{AM} \sin \theta \sin \omega t \\ u_B = U_{EM} \cos \theta \sin \omega t \end{cases}$$



无刷旋转变压器的结构示意图



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

旋转变压器、感应同步器--单相激磁-鉴幅测角：

给定激磁电压

$$u = U_m \sin \omega t$$

正弦绕组和余弦绕组的感应电势分别为

$$e_s = kU_m \sin \theta_e \cos \omega t$$

$$e_c = kU_m \cos \theta_e \cos \omega t$$

送入函数变压器或其他装置中处理

$$e'_s = kU_m \sin \theta_e \cos \theta_1 \cos \omega t$$

$$e'_c = -kU_m \cos \theta_e \sin \theta_1 \cos \omega t$$

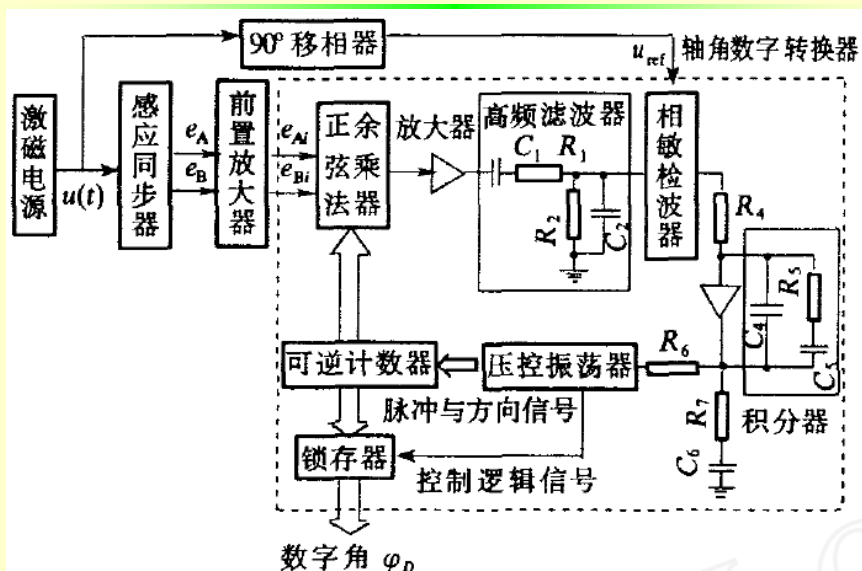
送入加法器相加后作为输出信号输出

$$e_2 = e'_s + e'_c = kU_m \sin(\theta_e - \theta_1) \cos \omega t$$

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片



Variable Resolution, Monolithic Resolver-to-Digital Converter

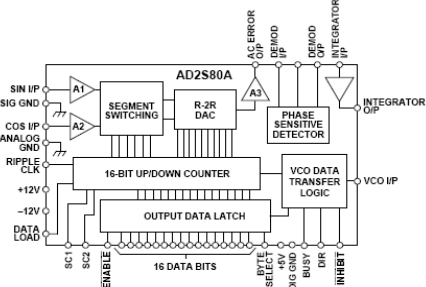
AD2S80A

FEATURES
Monolithic (BiMOS II) Tracking R/D Converter
40-Pin DIP Package
44-Pin LCC Package
10-, 12-, 14- and 16-Bit Resolution Set by User
Ratiometric Conversion
Low Power Consumption: 300 mW typ
Dynamic Performance Set by User
High Max Tracking Rate 1040 RPS (10 Bits)
Velocity Output
Industrial Temperature Range Versions
Military Temperature Range Versions
ESD Class 2 Protection (2,000 V min)
/883 B Parts Available

APPLICATIONS
DC Brushless and AC Motor Control
Process Control
Numerical Control of Machine Tools
Robotics
Axis Control
Military Servo Control

GENERAL DESCRIPTION
The AD2S80A is a monolithic 10-, 12-, 14- or 16-bit tracking

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT HIGHLIGHTS
Monolithic. A one chip solution reduces the package size required and increases the reliability.
Resolution Set by User. Two control pins are used to select

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

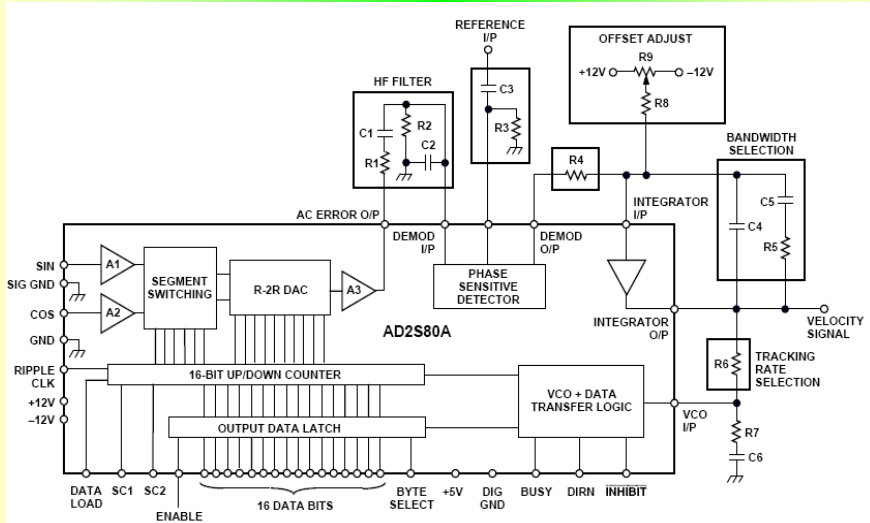


Figure 1. AD2S80A Connection Diagram

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

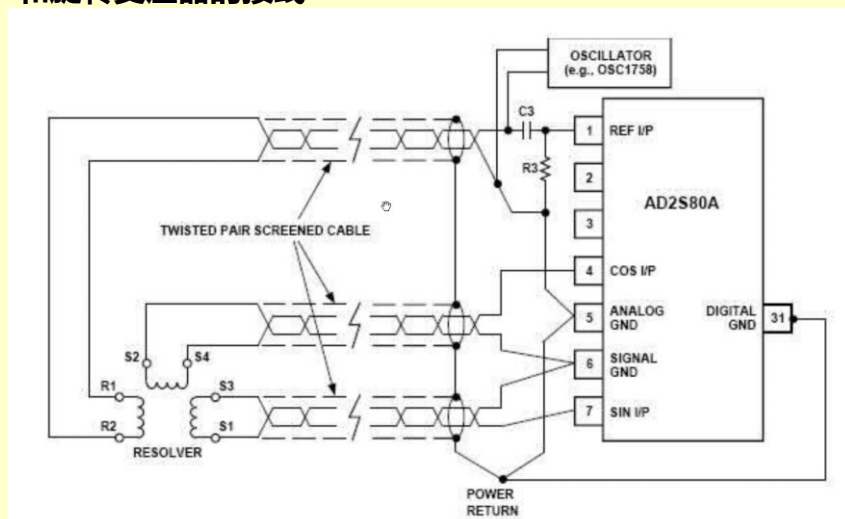
- (1)提供有10位、12位、14位和16位的分辨率;
- (2)通过三态输出引脚输出, 容易与DSP或单片机等控制芯片接口;
- (3)采用比率跟踪转换方式, 连续输出而没有延迟; 具有较强的抗干扰能力和远距离传输能力。
- (4)通过外围阻容元件来改变带宽、最大跟踪速度等动态性能。
- (5)具有很高的跟踪速度, 10位分辨率时, 最大跟踪速度达1040rps
- (6)能产生与转速成正比的模拟信号, 可代替传统的测速发电机。
- (7)具有过零标志信号 (RIPPLE COLCK) 和旋转方向信号 (DIRECTION)

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

► 和旋转变压器的接线

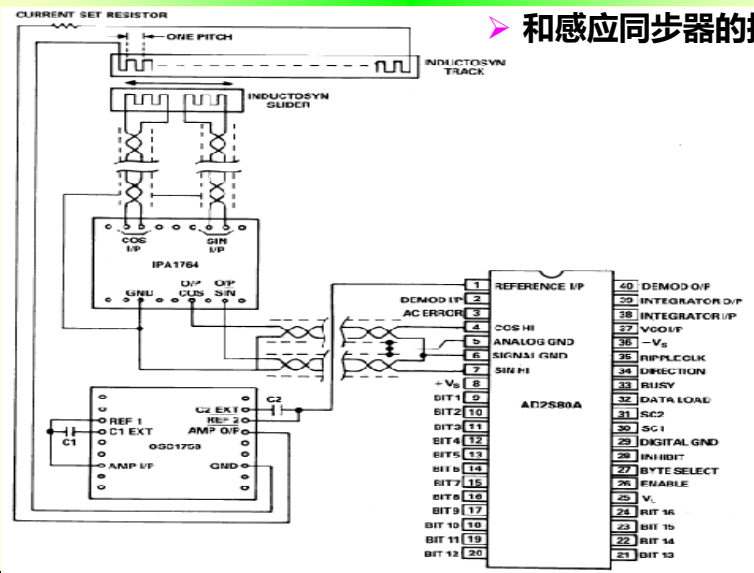


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

和感应同步器的接线

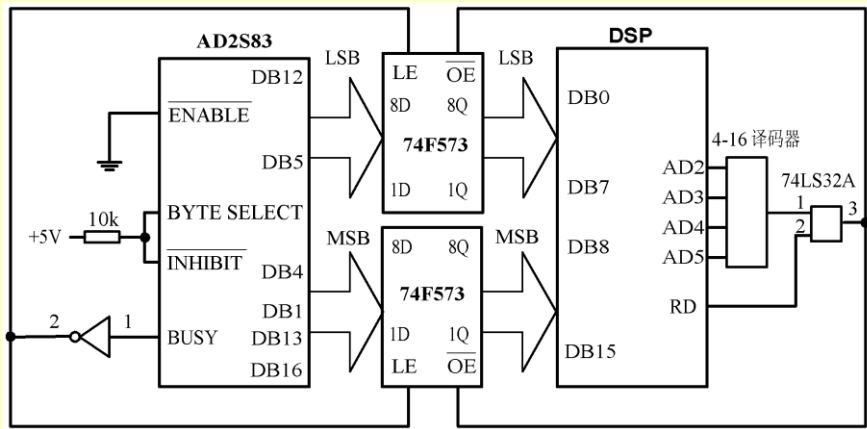


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

AD2S83与DSP的接口电路举例



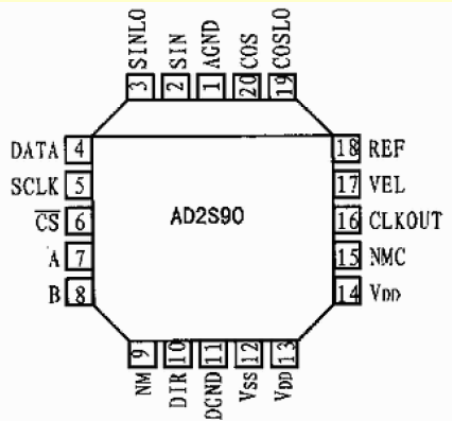
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



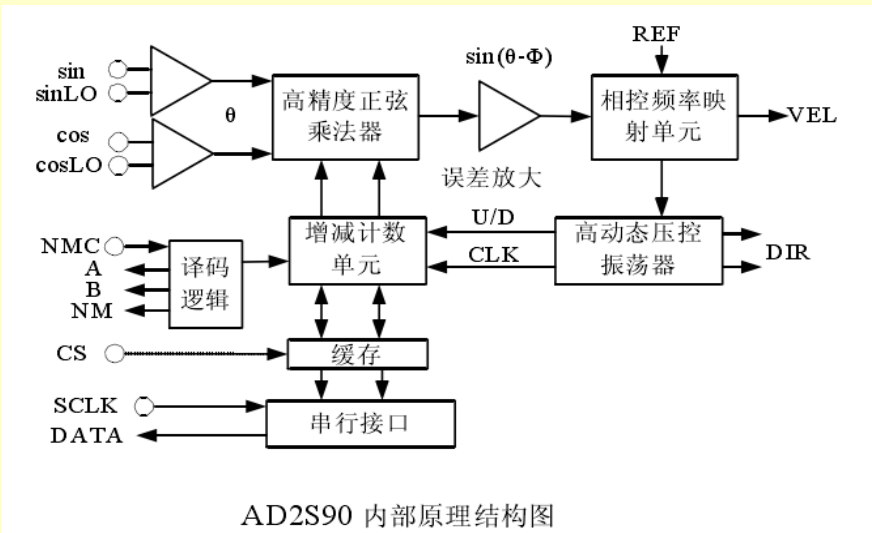
3.2 RDC转换处理芯片

AD2S90是美国AD公司
上世纪八十年代末推出的
RDC转换芯片。

AD2S90芯片串行输出
12位绝对角度，同时输出增
量角度。以其为核心的RDC
数字转换电路具有体积小、
结构简单、可靠性高、易于
调试和输出多种信号模式的
优点。



3.2 RDC转换处理芯片

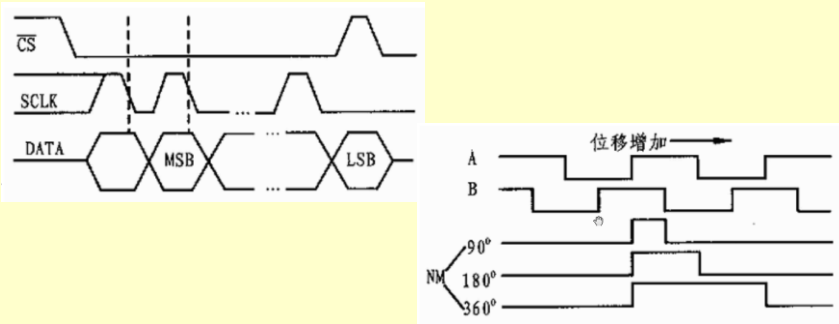


AD2S90 内部原理结构图



3.2 RDC转换处理芯片

旋变输出信号和正弦波发生器的参考信号一起被送入AD2S90芯片的SIN、COS和REF端口。然后AD2S90芯片以**鉴幅方式**将旋转角度 θ 转换成数字信号，此信号由串行数字输出口或增量编码器端口输出。



3.2 RDC转换处理芯片

TAMAGAWA 多摩川公司的RDC处理芯片

型号Model: **AU6802N1**

特点

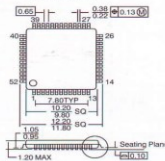
- (1)可适用所有旋变（1相励磁2相输出）
- (2)安装质量
 - 质量水平：传输安全
 - 运行温度范围：-40~+125℃
- (3)高准确性
- (4)使用简单
 - 实时输出（高跟踪速度：240,000min⁻¹/10bit分辨率）
 - 直流5V电源（旋变励磁振荡频率为10/20KHz）
 - 体积小重量轻（10X10mm，引脚间距0.65mm，52Pin TQFP，质量0.3g）
 - 自检测（内部错误检测）功能
 - 脉冲/并行/总线+串行输出（可选）
 - 能设置UVW的极数（可选择的1,2,3,4倍）
 - 时钟输入（20MHz）：外CLK输入/水晶谐振器/陶瓷谐振器(可选择)

Features

- (1)Applicable to all of our resolvers(1 phase excitation 2 phase output)
- (2)Vehicle-mount quality
 - Quality level: Transportation equipment involved in safety
 - Operating temperature range: -40 ~ +125℃
- (3)High accuracy
- (4)Simple to use
 - Real time output (High tracking rate: 240,000min⁻¹/10bit resolution)
 - Single power supply of DC5V (Integrated oscillator for exciting resolver: 10/20KHz)
 - Small size and light weight (10×10mm, pin interval:0.65mm, 52pin TQFP, Mass 0.3g)
 - Built-in test (Internal error detection) function
 - Pulse /Parallel/Bus+Serial output (Selectable)
 - Capable of setting a number of poles for UVW (Selectable from×1,2,3,4)
 - Clock input (20MHz): External CLK input /Crystal resonator/Ceramic resonator

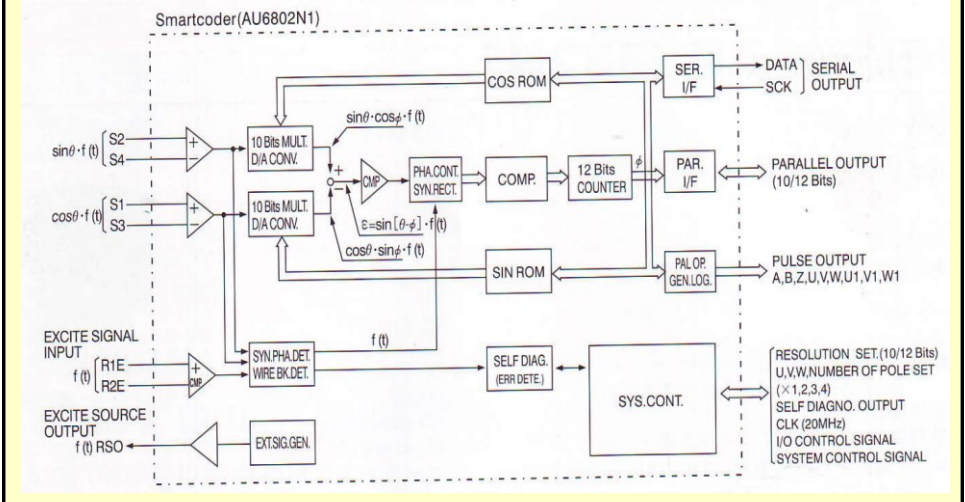


Outline



3.2 RDC转换处理芯片

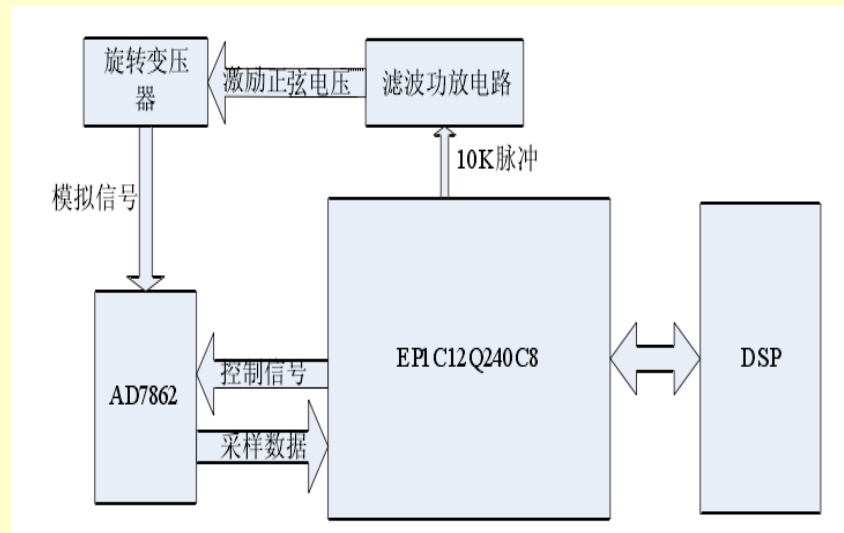
TAMAGAWA 多摩川公司的RDC处理芯片



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片



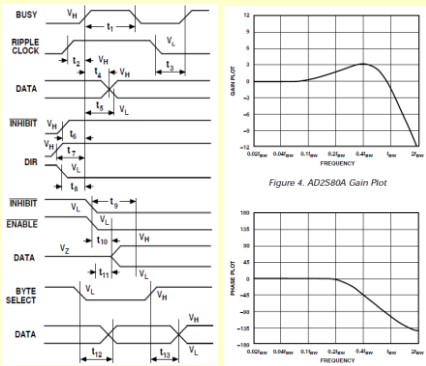
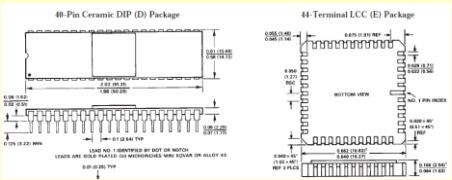
哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.2 RDC转换处理芯片

RDC芯片应用注意事项

- 各管脚的功能定义
- 输入输出电压要求
- 激磁频率范围
- 外围电路设计，参数计算方法
- 电路的时序
- 响应速度、带宽
- 封装形式
- 使用环境



$$R6 = \frac{6.32 \times 10^{10}}{T \times n} \Omega$$

where n = bits per revolution
= 1,024 for 10 bits resolution
= 4,096 for 12 bits
= 16,384 for 14 bits
= 65,536 for 16 bits

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



目 录

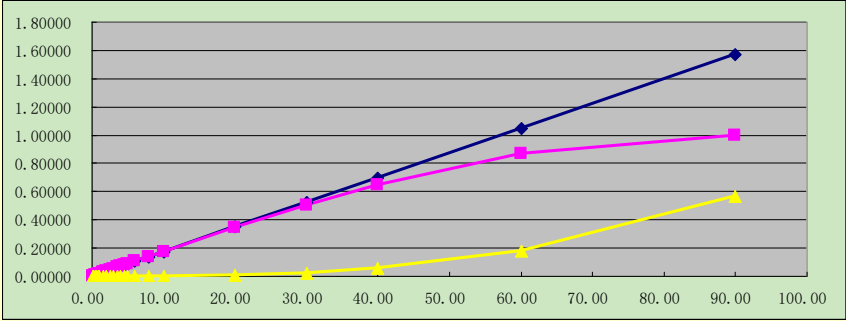
- 旋转变压器概述
- 旋转变压器结构
- 旋转变压器的工作原理
 - 旋转变压器的空载与负载运行
 - RDC转换处理芯片
 - 旋转变压器的一些特殊应用
- 旋转变压器的应用和特点
- 旋转变压器主要参数与应用注意事项
- 多级旋转变压器与粗精双通道测量

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

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？



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

$\sin \theta \approx \theta$ 正余弦
旋转变压器转角
小时是线性元件。

$\pm 4.5^\circ$ 非线性误差
小于0.1%

$\pm 14^\circ$ 非线性误差小
于1%。

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



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

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

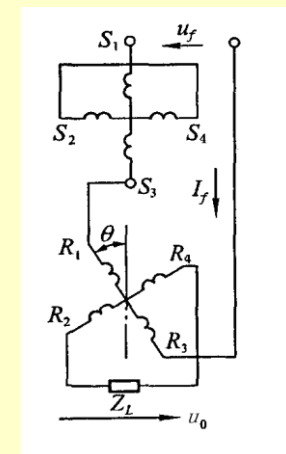
$$U_f = E_{S13} + E_{R13}$$

分别计算 E_{S13} 和 E_{R13}

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

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

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



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

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

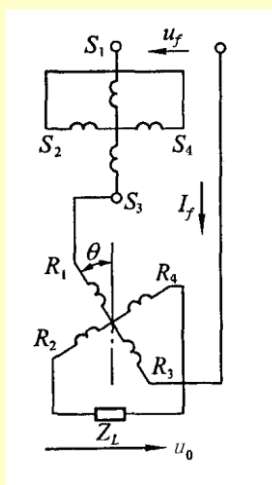
再结合 $U_f = E_{S13} + E_{R13}$ 有

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

计算 E_{R24}

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

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



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

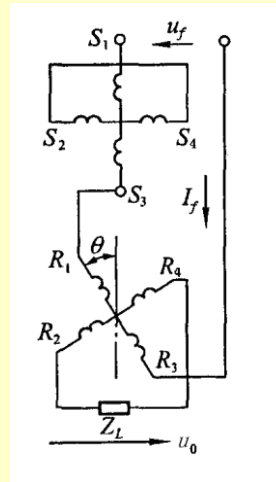
$$U_f = E_{S13} + KE_{S13} \cos \theta$$

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



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

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



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

根据前面的推导，忽略绕组的阻抗压降

时有

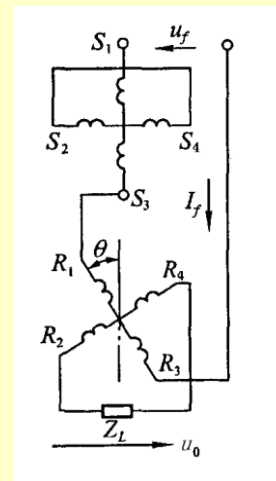
$$U_0 = \frac{K \sin \theta}{1 + K \cos \theta} U_f$$

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

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

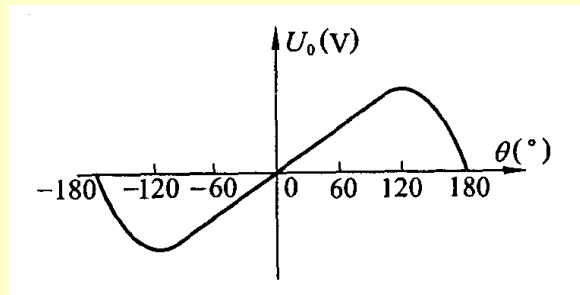


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

- K 为 0.56 ~ 0.57, 线性特性最佳。±60°范围内, 误差不超过 0.1%



- 在使用时要注意转角范围的限制



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

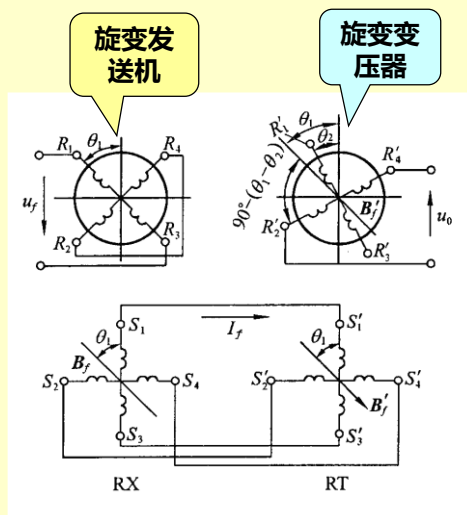
2- 两轴转角差测量

在某些特殊应用中, 还可以采用旋变信号直接测量机械上不相连两个轴的转角差。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**。



3.3 旋转变压器的一些特殊应用

- 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。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心

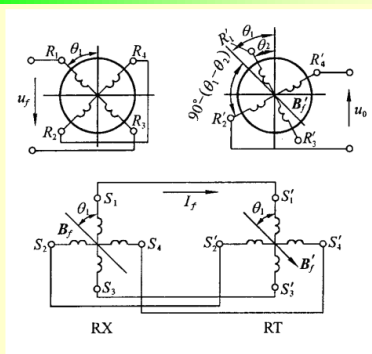


3.3 旋转变压器的一些特殊应用

旋变发送机的转角为 θ_1
旋变变压器转角为 θ_2

旋变变压器磁场与转子绕组 $R'_1 R'_3$
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



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

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

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



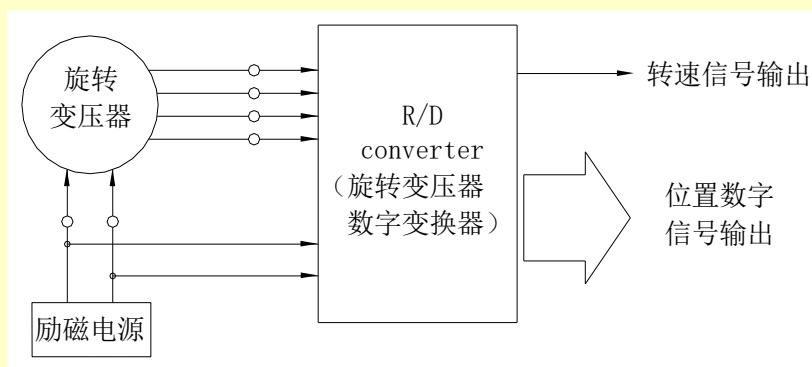
目 录

1. 旋转变压器概述
2. 旋转变压器结构
3. 旋转变压器的工作原理
4. 旋转变压器的应用和特点
5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量

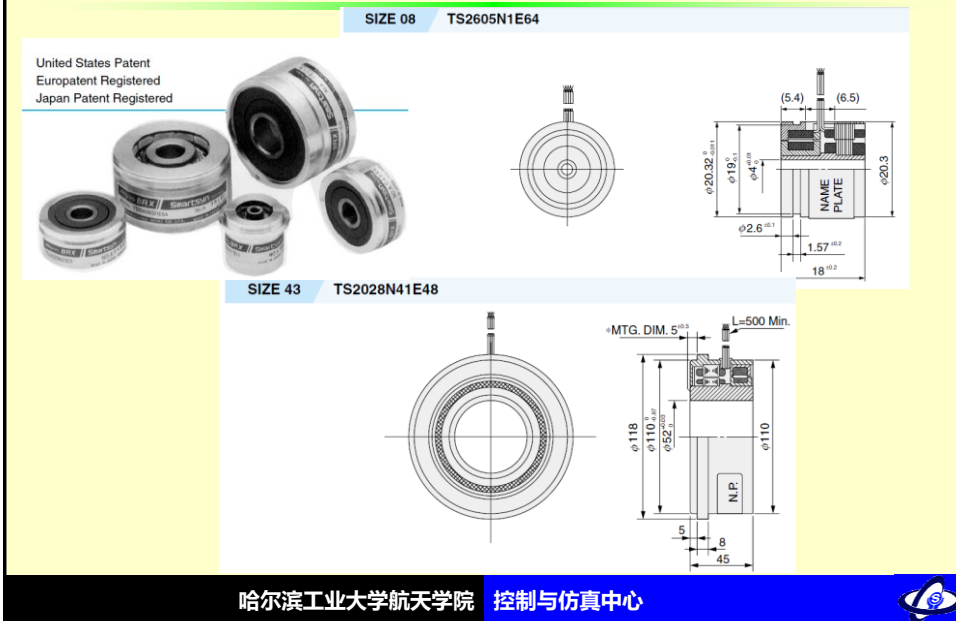


4 旋转变压器的应用与特点

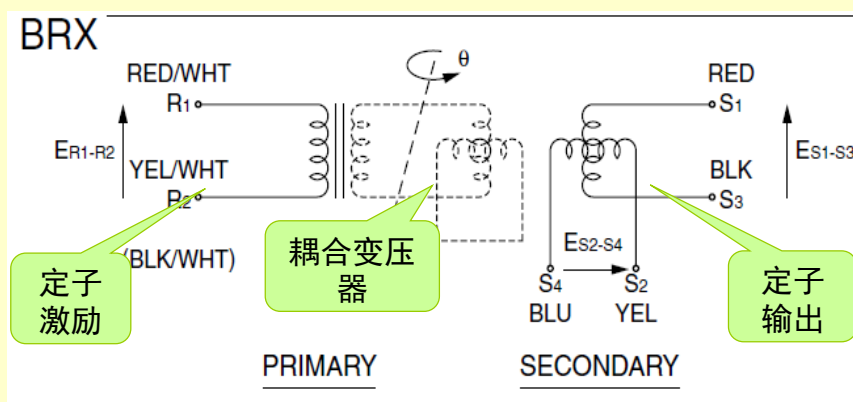
目前在自动化应用中，大多数场合直接使用RDC模块，将旋变的输出信号转换成数字量输出。



4 旋转变压器的应用与特点

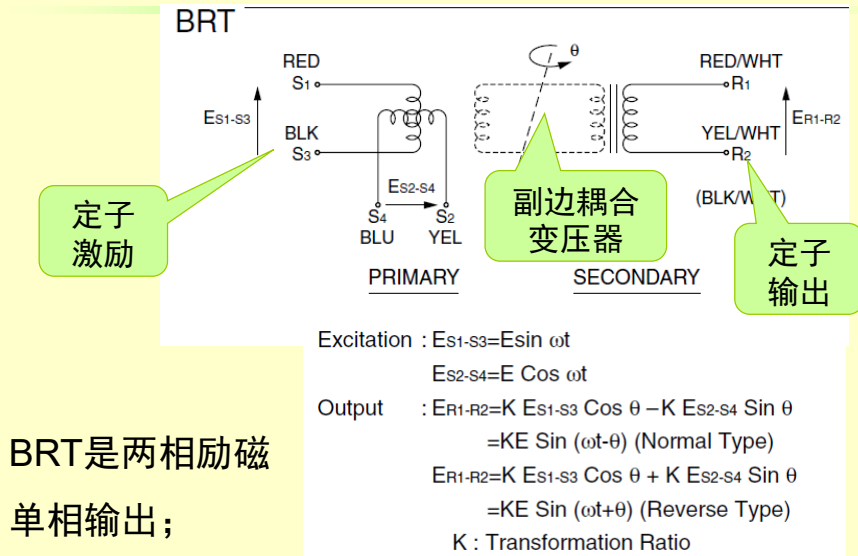


4 旋转变压器的应用与特点



BRX:单相励磁，双相输出

4 旋转变压器的应用与特点

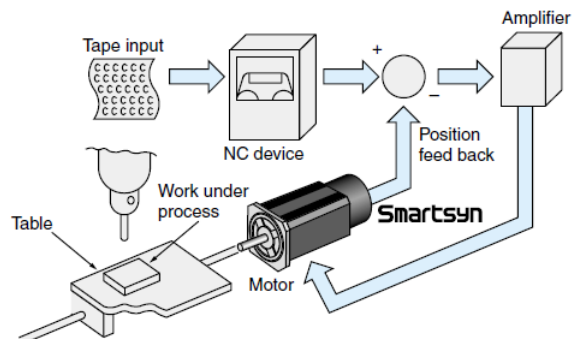


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4 旋转变压器的应用与特点

- Smartsyn resolvers which are reliable at high speed are suitable for numerical control systems.



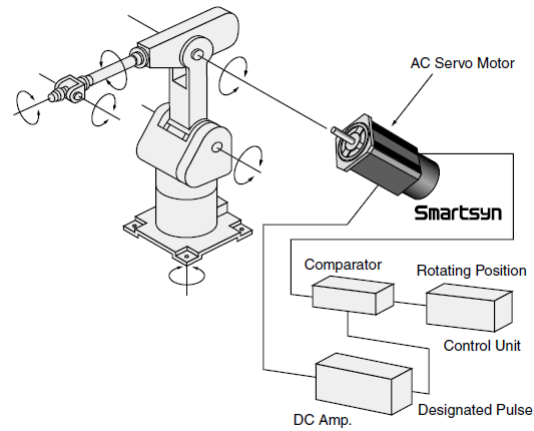
旋变测角在数控机床中的应用

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4 旋转变压器的应用与特点

- For Driving Robot Hand and Body.

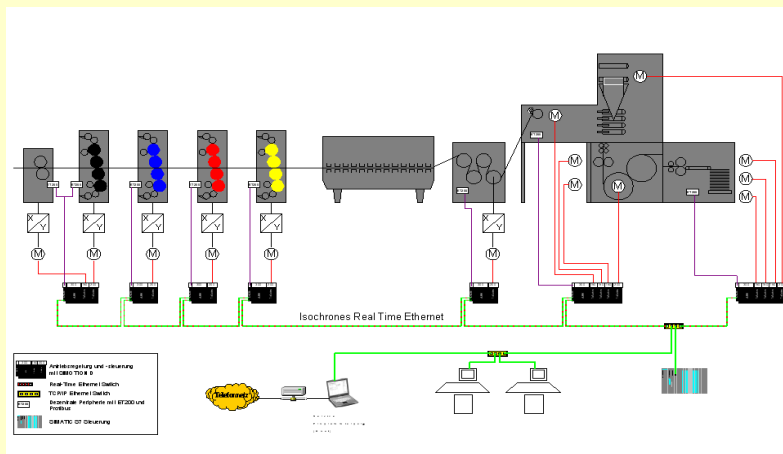


旋变测角在机械臂中的应用

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4 旋转变压器的应用与特点

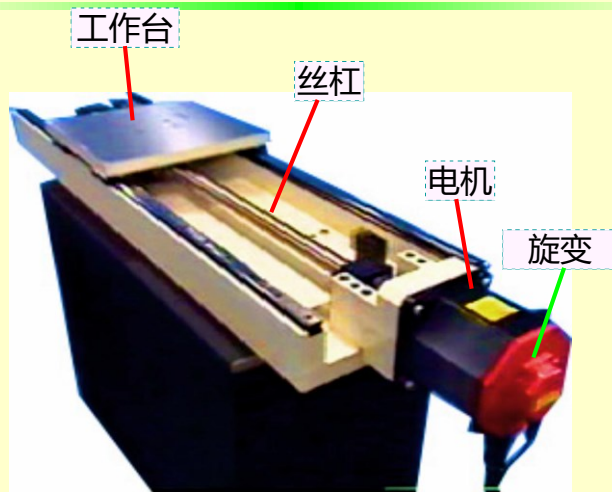


同步测角在印刷中的应用

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4 旋转变压器的应用与特点



旋变在线位移测量中的应用

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4 旋转变压器的应用与特点

应用特点

旋变是基于变压器原理的角位移测量元件

结构上由正交的定子绕组和转子绕组组成

两个输出绕组电压信号和转角成正弦和余弦关系

旋变当前主要用于中低精度的角度测量，如伺服电机的转子位置测量。

旋变在负载工作状态下会由交轴磁势使输出电压产生畸变，畸变有副边和原边两种补偿方法

旋转变压器可以实现线性旋变、三角函数解算、两轴角度差测量等特殊应用。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



4 旋转变压器的应用与特点

旋转变压器应用的优点

- 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（优于光电传感器）
- 有绝对位置信号输出
- 处理电路相对简单
- 除了测角外，还可以用于解算，用途多



4 旋转变压器的应用与特点

旋转变压器应用的缺点

- 精度相对较低



目 录

1. 旋转变压器概述
2. 旋转变压器结构
3. 旋转变压器的工作原理
4. 旋转变压器的应用和特点
5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

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5、10、12、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，较高的励磁频率性能较好，但成本较高，故应选择性价比比较适中的产品。



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

(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。一般约在 $3^\circ \sim 12^\circ$ 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、1k、2k、3k、4k、6k和10k欧姆等几种。



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

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 $0.02\% \sim 0.1\%$ 。函数误差直接影响作为解算元件的解算精度。

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



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

(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' ~ 10'。零位误差直接影响计算和数据传输系统的精度。

(3) **电气误差。** 在不同转子转角 α 时，两个输出绕组的输出电压之比所对应的正切或余切的角度与实际转角之差，通常以角分表示。



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

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。

表 1-1 旋转变压器的精度等级

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



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

误差原因：

- 绕组谐波
- 齿槽
- 磁路饱和
- 材料
- 制造工艺
- 交轴磁场

改进措施：

- 提高加工工艺
- 原副边补偿
- 正弦绕组、短距绕组
- 斜槽



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

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	Zro	140Ω	160Ω	70+j100Ω	90+j180Ω	90+j180Ω	110+j140Ω	290Ω Nom.
	Zso	—	160Ω	180+j300Ω	220+j350Ω	220+j350Ω	150+j270Ω	—
	Zss	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



5 旋转变压器主要参数及应用注意事项

应用注意事项:

- (1) 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。
- (2) 注意励磁方式，不同的励磁方式需要不同的解调电路。
- (3) 激磁电压频率要和最大速度匹配。
- (4) 分体式旋转变压器安装时，要尽量保证定、转子同心。



目 录

- 1. 旋转变压器概述
- 2. 旋转变压器结构
- 3. 旋转变压器的工作原理
- 4. 旋转变压器的应用和特点
- 5. 旋转变压器主要参数与应用注意事项
- 6. 多级旋转变压器与粗精双通道测量



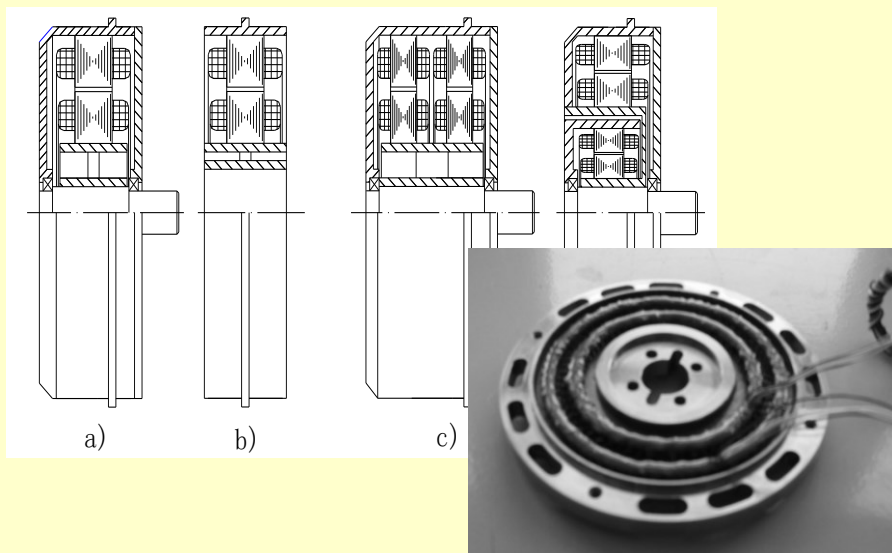
6 多极旋转变压器与粗精通道测角

- **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。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



6 多极旋转变压器与粗精通道测角

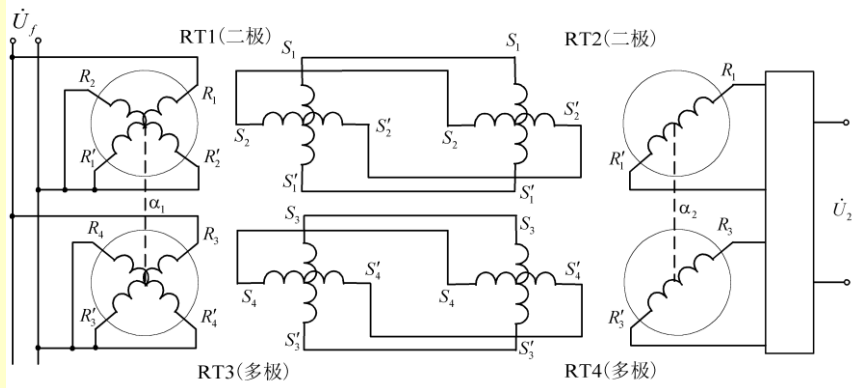


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



7 多极旋转变压器与粗精通道测角

多极旋转变压器与双通道测角系统应用

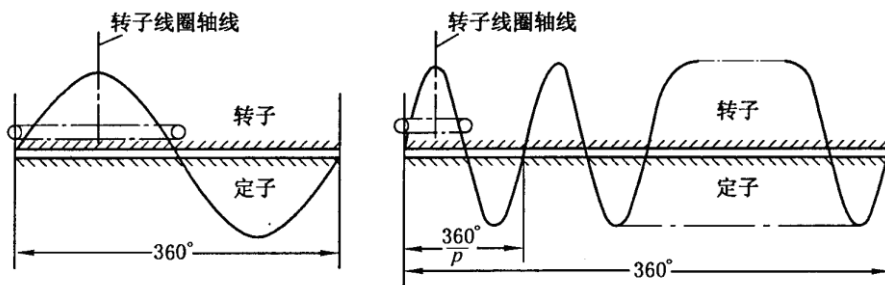


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



7 多极旋转变压器与粗精通道测角

磁通密度分布曲线展开图，周期是 $360^\circ/p$



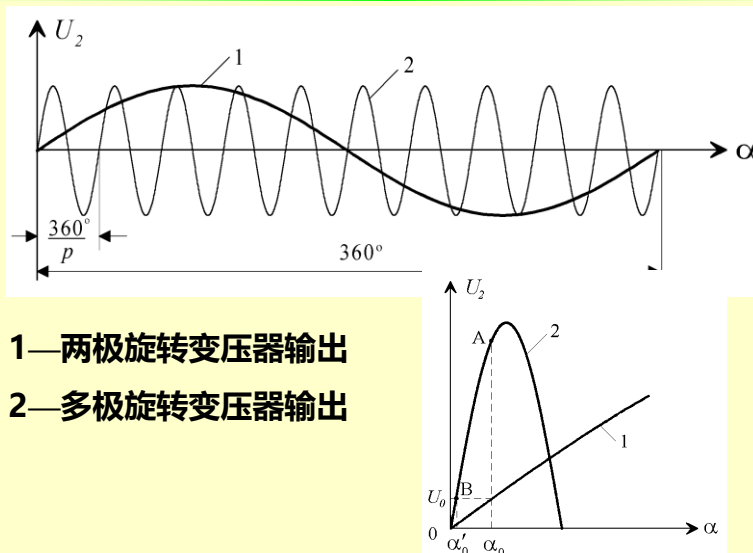
$$U_{s(p)} = U_{m(p)} \sin p\theta$$

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

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



7 多极旋转变压器与粗精通道测角

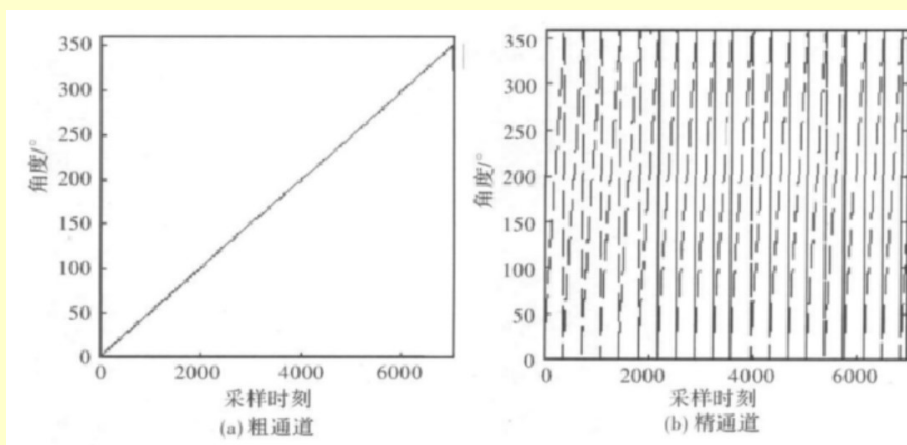


哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



7 多极旋转变压器与粗精通道测角

旋转变压器的粗、精双通道使用



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



7 多极旋转变压器与粗精通道测角

- **注意** 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，由粗精转换电路完成数据组合。
- 一般称为：双通道旋转变压器/多速旋转变压器。

哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



7 多极旋转变压器与粗精通道测角

工作原理类似于游标卡尺，大数看长尺，小数看游标小尺。



哈尔滨工业大学航天学院 控制与仿真中心



本节课小结

- **思考题**

- 正余弦旋转变压器输出特性发生畸变的原因是什么？畸变补偿的方法有哪些？
- 双通道粗精旋变测角，如何实现角度信息的融合？



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。

