

旋变数字转换器

作者: Walt Kester

简介

加工工具和机器人制造商利用旋变器和自整角机来提供精确的角度和旋转信息。在要求小尺寸、长期可靠性、绝对位置测量、高精度、低噪声工作的工厂和航空应用中，这些器件具有突出的作用。

自整角机和旋变器

典型的自整角机和旋变器如图1所示。自整角机和旋变器均采用单绕组转子，转子在固定定子内部旋转。在简单的自整角机中，定子有三个相距120°的绕组，这些绕组形成Y型电气连接。旋变器与自整角机的区别在于前者的定子只有两个成90°角的绕组。

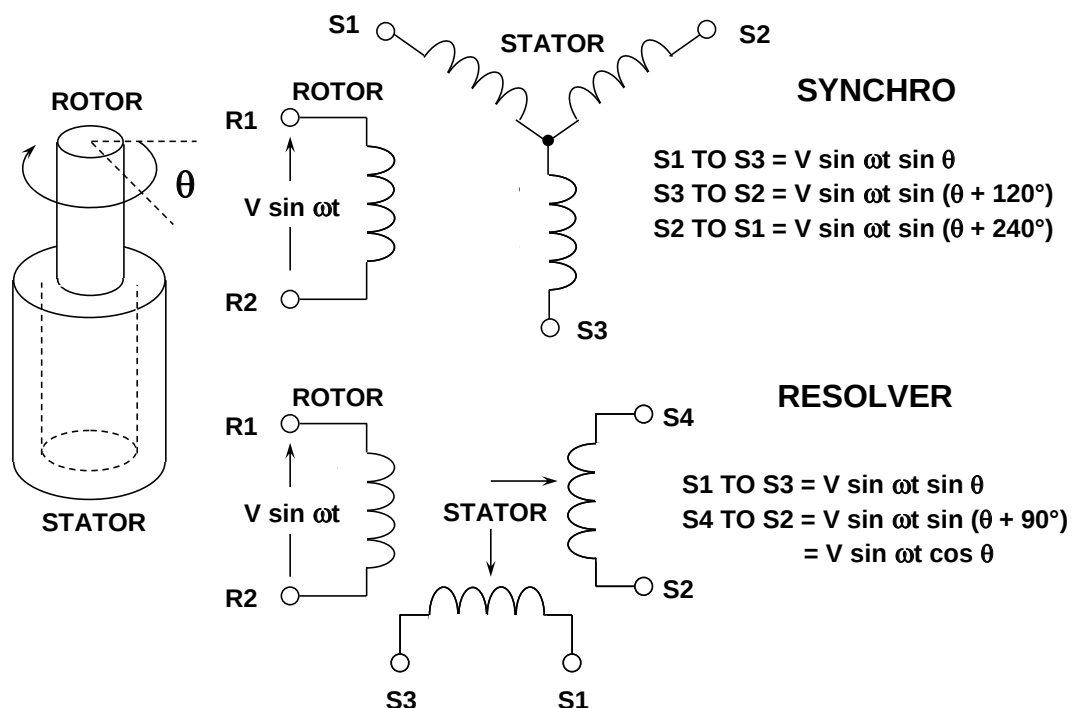


图1: 自整角机和旋变器

由于自整角机有三个成120°角的定子线圈，因此它比旋变器更难制造，成本也更高。如今，自整角机的应用越来越少，仅限于某些军事和航空翻新应用。

相比之下，现代旋变器则以无刷形式提供，采用变压器将转子信号从定子耦合到转子。该变压器的初级绕组位于定子上，次级绕组位于转子上。另有一些旋变器利用更传统的电刷或滑环将信号耦合到转子绕组。无刷旋变器比自整角机更稳定，因为不存在可能会损坏或松动的电刷，无刷旋变器的寿命仅受轴承的限制。多数旋变器的额定工作电压为2 V至40 V rms，频率为400 Hz至10 kHz，角度精度为5弧分至0.5弧分(一度有60弧分，一弧分有60弧秒，因此一弧分相当于0.0167度)。

自整角机和旋变器像旋转变压器一样工作。转子绕组由一个交流基准电压激励，其频率可高达数kHz。定子绕组中感应的电压幅度与转子线圈轴和定子线圈轴之间的角度 θ 的正弦值成正比。对于自整角机，任何一对转子端子间感应的电压都等于这两个相连线圈上的电压的矢量和。

例如，如果一个自整角机的转子由端子R1和R2上的基准电压 $V\sin\omega t$ 激励，则定子的端子电压如下：

$$S1\text{至}S3 = V \sin\omega t \sin\theta \quad \text{公式1}$$

$$S3\text{至}S2 = V \sin\omega t \sin(\theta + 120^\circ) \quad \text{公式2}$$

$$S2\text{至}S1 = V \sin\omega t \sin(\theta + 240^\circ), \quad \text{公式3}$$

其中， θ 为轴角。

对于旋变器，当转子交流基准电压为 $V\sin\omega t$ 时，定子的端子电压为：

$$S1\text{至}S3 = V \sin\omega t \sin\theta \quad \text{公式4}$$

$$S4\text{至}S2 = V \sin\omega t \sin(\theta + 90^\circ) = V \sin\omega t \cos\theta. \quad \text{公式5}$$

应当注意，利用Scott-T变压器可以将自整角机的3线输出轻松转换为等效的旋变器格式。因此，下面的信号处理示例仅说明旋变器配置。

旋变数字转换器(RDC)

图2所示为典型旋变数字转换器(RDC)的功能框图。旋变器的两个输出应用于余弦和正弦乘法器，这些乘法器包括正弦和余弦查找表，起到乘法数模转换器的作用。首先，假设升降计数器的当前状态为一个代表试验角 φ 的数字值。转换器将不断调整数字角度 φ ，使之等于要测量的模拟角度 θ 并进行跟踪。

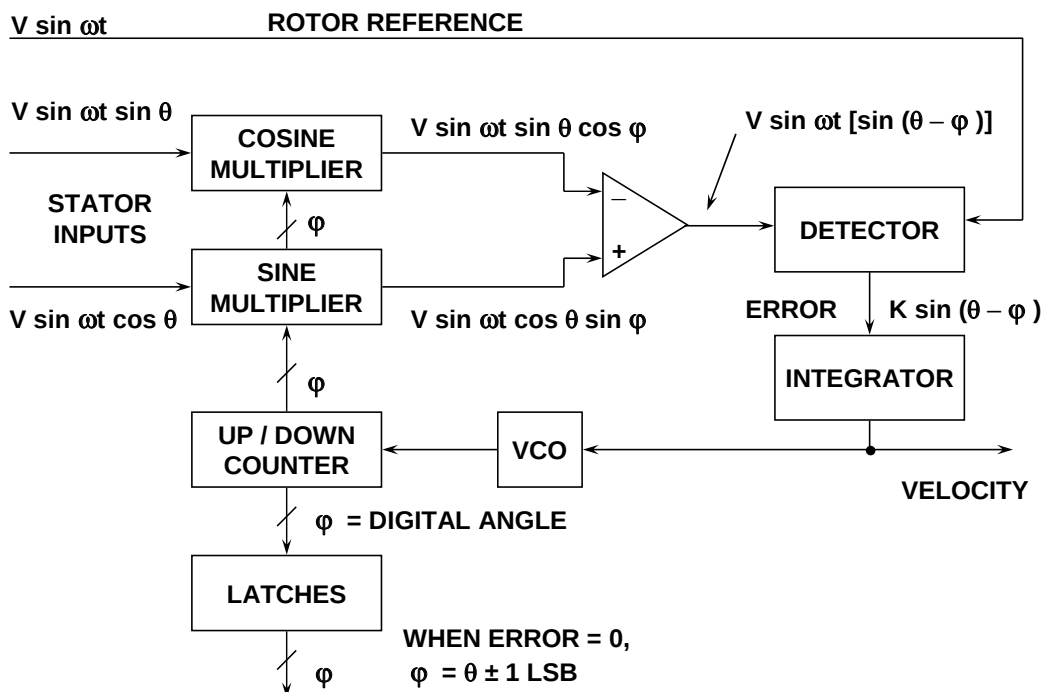


图2：旋变数字转换器(RDC)

旋变器的定子输出电压表示为：

$$V_1 = V \sin \omega t \sin \theta \quad \text{公式6}$$

$$V_2 = V \sin \omega t \cos \theta \quad \text{公式7}$$

其中， θ 为旋变器转子的角度。数字角度 φ 应用于余弦乘法器，其余弦值乘以 V_1 得到以下项：

$$V \sin \omega t \sin \theta \cos \varphi. \quad \text{公式8}$$

数字角度 φ 同时应用于正弦乘法器，其正弦值乘以 V_2 得到以下项：

$$V \sin\omega t \cos\theta \sin\varphi. \quad \text{公式9}$$

这两个信号由误差放大器相减，产生如下形式的交流误差信号：

$$V \sin\omega t [\sin\theta \cos\varphi - \cos\theta \sin\varphi]. \quad \text{公式10}$$

运用简单的三角恒等式，可以将上式简化为：

$$V \sin\omega t [\sin(\theta - \varphi)]. \quad \text{公式11}$$

检波器利用旋变器的转子电压作为基准，对该交流误差信号进行同步解调，产生一个与 $\sin(\theta - \varphi)$ 成正比的直流误差信号。

直流误差信号馈入一个积分器，其输出驱动一个压控振荡器(VCO)。该VCO进而驱使升降计数器沿适当的方向计数，使得：

$$\sin(\theta - \varphi) \rightarrow 0. \quad \text{公式12}$$

实现这一结果后，

$$\theta - \varphi \rightarrow 0, \quad \text{公式13}$$

所以，

$$\varphi = \theta \quad \text{公式14}$$

精度在一个计数以内。因此，计数器的数字输出 φ 代表角度 θ 。利用锁存器可以将该数据传输到外部，而无需中断环路的跟踪过程。

此电路等效于所谓的2型伺服环路，因为它实际上有两个积分器。一个是计数器，用于累计脉冲；另一个是检波器输出端的积分器。在一个具有恒定转速输入的2型伺服环路中，输出数字字持续跟随或跟踪输入，无需外部产生转换命令，而且数字输出字与实际轴角之间不存在稳态相位迟滞。误差信号仅在加速或减速期间出现。

跟踪RDC还有一个额外的优势，即它能提供与轴的转速成正比的模拟直流输出电压。如果伺服系统中需要测量速度或将其用作一个稳定项，利用这一实用特性就能实现，而无需另外增加转速计。

RDC的操作仅依赖于输入信号幅度之间的比值，因此将这些信号连接到旋变器的线路中的衰减不会严重影响性能。出于类似的原因，这种转换器也不大容易受到波形失真的影响。事实上，即使输入信号的谐波失真高达10%，它们也能照常工作。有些应用甚至使用方波参考，额外误差非常低。

因此，跟踪型ADC最适合RDC应用。虽然也可以使用其它ADC架构，如逐次逼近型，但对于此类应用，跟踪型转换器最精确、最有效。

由于跟踪型转换器对其误差信号进行二重积分，因此器件的抗扰度非常高(12 dB/倍频程滚降)。任何给定的噪声尖峰下的净区域都会产生一个误差。然而，典型的感应耦合噪声尖峰具有相等的趋正和趋负波形，经过积分后，净误差信号为0。由此获得的抗扰度，加上转换器对压降不敏感，使得用户能够将转换器放在离旋变器相当远的地方。此外，检波器也会抑制任何不处于参考频率的信号，如宽带噪声等，因而抗扰度进一步增强。

[AD2S90](#)是ADI公司提供的多款集成式RDC中的一款(参见[自整角机/旋变数字转换器选型表](#))。一般架构与图2所示相似。有关自整角机/旋变数字转换器的更多信息，请参阅参考文献1、2和3。

参考文献

1. Dan Sheingold, *Analog-Digital Conversion Handbook*, Prentice-Hall, 1986, ISBN-0-13-032848-0, pp. 441-471. (*this chapter contains an excellent tutorial on optical, synchro, and resolver-to-digital conversion*).
2. Dennis Fu, "Circuit Applications of the AD2S90 Resolver-to-Digital Converter," [Application Note AN-230](#), Analog Devices. (*applications of the AD2S90 RTD*).
3. John Gasking, "Resolver-to-Digital Conversion: A Simple and Cost Effective Alternative to Optical Shaft Encoders," [Application Note AN-263](#), Analog Devices.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.