

旋转变压器的结构和原理探析

杨琦 冯磊

(上汽通用五菱汽车股份有限公司 广西柳州 45007)

摘要: 旋转变压器属于电磁式传感器,也被称为同步分解器,它本质上是小型交流电动机的一种,可以用来测量角度,常用来测量旋转物体的角速度和转轴角位移。旋转变压器结构简单,工作可靠,且测量精度能够满足一般的监测需求,所以被广泛应用在数控机床领域。如今旋转变压器的应用更广泛,特别是在高精度的双通道、双速系统中,现在多使用多极旋转变压器。

关键词: 旋转变压器; 电磁感应; 正余弦旋转变压器

中图分类号: U461

文献标识码: A

文章编号: 1671-3567(2023)05-0251-03

Analysis on the Structure and Principle of Rotating Transformer

YANG Qi FENG Lei

(SAIC-GM-Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi Zhuang Autonomous Region, 545007 China)

Abstract: Rotary transformer is a kind of electromagnetic sensor, also known as synchronous decomposer, it is essentially a kind of small AC motor, can be used to measure the Angle, commonly used to measure the angular speed of the rotating object and the angular displacement of the axis. Rotary transformers are widely used in the field of CNC machine tools because of their simple structure, reliable operation and measuring accuracy. The early rotary transformer belongs to the computing solution device and is one of the important components of the analog computer.

Key Words: Rotating transformer; Electromagnetic induction; Sine cosine rotating transformer

1 旋转变压器的结构

根据转子发出电信号引出和引进的方式,旋转变压器由有刷旋转变压器和无刷旋转变压器组成。有刷旋转变压器是定子和转子安装有绕组,转子绕组释放电信号,再由滑动接触,通过定子上的电刷连同转子上的滑环引进或者引出。^[1]

无刷旋转变压器有效避免了电刷和滑环之间的不良接触,旋转变压器的稳定性和使用年限增加了,但是也造成了旋转变压器的大小重量增加,价格抬升。

当前无刷旋转变压器又分为两种结构形式,一种是环形的,另一种是磁阻式结构。环形变压器式旋转变压器的这种结构完美地实现了无刷,无接触。一部分是典型的旋转变压器的定子和转子,其定子和转子绕组等同于有刷式旋转变压器,可以做信号的变换。另一部分是环形变压器,它的定子和转子上分别有两

个绕组,按照同心的方式放置。转子上的环形变压器绕组连接信号变换的转子绕组,负责电信号的输入和输出。^[2]

磁阻式旋转变压器的输出绕组和励磁绕组安装在同一个位置,是固定不动的。只是励磁绕组和输出的绕组采取了不同的形式,两相绕组的输出信号,依然应该是随转角作正弦函数变化,电信号的角度相差 90° 。

2 旋转变压器结构特点

旋转变压器定子和转子上都分别嵌放有两个线圈数,直径和大小都相同且正交成 90° 的绕组,定子和转子绕组都可以做励磁或者输出功用,如果定子绕组做励磁,那么转子绕组就做输出,反过来也一样,即转子绕组做励磁,那么定子绕组就做输出。一次如果侧一个绕组通电励磁,那么另一个正交绕组就会短路

作者简介: 杨琦(1988—),男,本科,工程师,研究方向为新能源驱动系统供应产业链发展。

做补偿,这样就可以用来校正磁路不平衡所引起的励磁磁轴偏差。因为多极旋转变压器的工艺误差已经被最小化处理,它对励磁磁轴偏差的影响基本消失,所以一般情况下多极旋转变压器不再单独设短路补偿绕组。二次侧一个绕组正弦输出,另一个余弦输出,线性旋转变压器串联其一次侧和二次侧的绕组用来励磁,二次侧的绕组做输出。绕组都安装在集电环上面,通过电刷头和外侧出线端口相连。^[3]

旋转变压器存在单极对和多极对的差别,多极旋变的极对数 p 大于 1,并且它是一种正余弦旋变,其极对数越增加,精度越高。我们常看到一台多极旋转变压器和一台 1 对极旋变组装在一块,它们可以是同一个铁心同一个磁路,也可能是分铁心分磁路,这样的就被称为双通道多极旋变。其中起定位作用的 1 对极的粗机,粗机一星期有一个基准电气零位,而多极部分电气零位与对极数量呈正相关。我们以这些电气零位为基准,输出信号符合一定的函数关系,故精机常在系统中起到精确测量的作用。^[4]

3 旋转变压器工作原理

旋转变压器的特点在于其输出电压和转子转角有一定的函数关系,按照旋转变压器输出电压与转子转角的关系分类,旋转变压器可以分为以下三类,分别是正余弦旋转变压器,线性旋转变压器和特种函数旋转变压器。正余弦旋转变压器的输出电压与转子转角呈正弦或者余弦函数关系,线性旋转变压器的输出电压与转子转角的关系是在一定范围内线性旋转变压器的输出电压与转子转角成一定的线性关系。旋转变压器是将角度信号转换成某种函数关系的电压信号,可以用来进行三角函数计算,坐标变换或者角度数据传输等工作。以下重点探析正余弦旋转变压器和线性旋转变压器的基本工作原理。^[5]

3.1 正余弦旋转变压器工作原理

正余弦旋转变压器基本结构

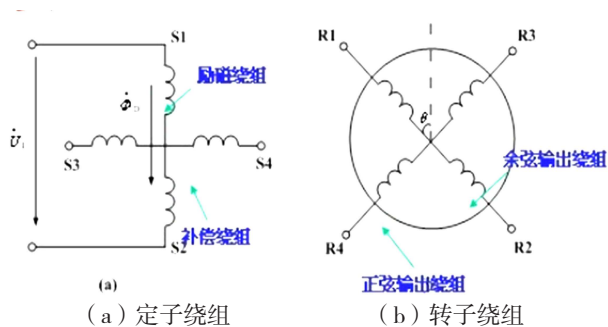


图 1 旋转变压器的绕组结构

正余弦旋转变压器工作原理,首先是空载运

行分析

励磁电压 $U_1 \rightarrow$ 脉振磁场 Φ_D

$$\rightarrow \text{感应电动势} \begin{cases} E_{R1} = E_2 \cos \theta \\ E_{R2} = E_2 \sin \theta \end{cases}$$

$$\text{变比} = k_u = \frac{E_2}{E_1} \rightarrow \begin{cases} E_{R1} = k_u E_1 \cos \theta \\ E_{R2} = k_u E_1 \sin \theta \end{cases}$$

与普通旋转变压器近似的地方是,正余弦旋转变压器可以忽略定子励磁绕组的漏阻抗压降,因为空载的时候转子输出绕组的感应电动势在数值上就已经和输出电压相等了,即

$$\begin{cases} U_{R1} = k_u U_1 \cos \theta \\ U_{R2} = k_u U_2 \sin \theta \end{cases}$$

由上式可以看到,旋转变压器在空载运行的时候其输出电压分别是转角的余弦函数和正弦函数,因为这样,所以转子绕组 R1-R2 就被称为余弦输出绕组,相应的绕组 R3-R4 就被称为正弦输出绕组。

如果输出绕组接了负载以后,可以想到其输出电压就不再是转角的正弦或余弦函数,如正弦输出绕组 R3-R4 接有负载,其输出电压就会偏离期望的正弦值,我们称这种现象为输出特性的畸变。

$$\Phi_d = \Phi_L \sin \theta$$

$$\Phi_q = \Phi_L \cos \theta \rightarrow \text{主要原因}$$

这里必须要说的是,畸变是必须要消除的,以下是其产生的原因以及消除的措施

$$\Phi_{q2} = \Phi_q \cos \theta = \Phi_L \cos^2 \theta \rightarrow E_{q2} \propto \Phi_{q2} \propto \cos^2 \theta$$

$$E_2 \sin \theta + E_{q2}$$

破坏了输出电压随转角作正弦函数变化的关系

为了达到消除畸变的效果,就必须要消除交轴的磁通的影响,目前我们主要有一次侧补偿和二次侧补偿两种消除畸变的方法,其工作原理如下:

一次侧补偿是将定子上的绕组短接,它就能消除输出电压的畸变。因为交轴磁通在补偿绕组中会产生感应电流,由楞次定律可知,该电流产生的磁通是阻碍交轴磁通变化的,可以对交轴磁通产生抑制作用,就能起到畸变补偿的作用。

二次侧补偿中,正弦输出绕组接负载,流过电流,产生磁动势,余弦输出绕组接负载,流过电流,也会产生磁动势,但显然,这两种磁动势在交轴上的磁动势分量是相反的,所以任意转角位置都能使其互相抵消,从而消除畸变。^[6]

3.2 线性旋转变压器工作原理

本质上,线性变压器其实是正余弦旋转变压器的一种特殊情况,如果将正余弦旋转变压器的线路进行改接就可以完全实现。一次励磁绕组与二次绕组先串联,然后再施加额定的励磁电压,将一次侧的交轴绕组先短接起来,起到原边补偿的作用,二次侧的正弦绕组作为输出使用,如下。

线性旋转变压器的输出绕组方程式:

$$U_{R_2R_4} = \frac{KU_{S_1R_3} \sin \theta}{1+K \cos \theta}$$

公式中, θ 为转子所转的角度, K 为变压之比。

线性旋转变压器的特性在于,线性旋转变压器要保持输出电压与转角呈线性关系,那么 θ 和 K 这两个数据具有非常重要的特殊性。在输出绕组方程式中,如果给 K 分别取 0.14,0.46, 0.52,0.67, 0.95 这些数值,如果输入的励磁电压的幅值为 5V, θ 从 -180 度到 180 度变化时,下面是作输出电压的幅值的变化曲线。

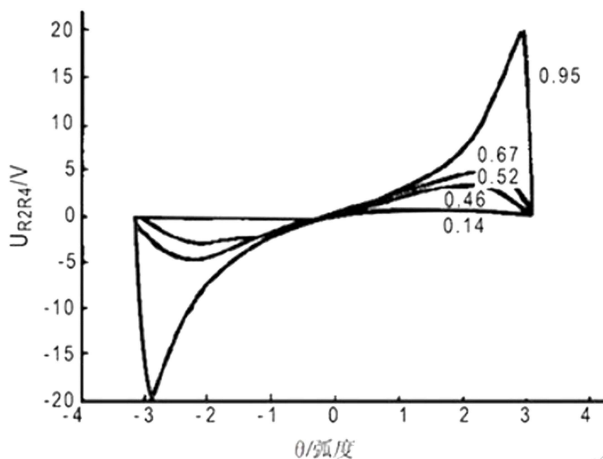


图2 线性旋变输出电压幅值变化

可以看出的是,当变压比 K 在 0.52 至 0.67 之间时,转子角度在 -60° 到 60° 之间时,线性旋转变压器的输出电压及转子角度之间成一定的线性函数关系。当前市场应用的线性旋转变压器的变压比与转子角度都在这两个范围内。

将两台同样的正余弦旋转变压器可以构成一个单用的测角工具,一台旋转变压器提供信号发送,另一台其实是控制变压器。发送机用交流电源来激磁,旋转变压器的精度为 $6'$,单通道测角系统的精度要大于等于 $6'$ 。如果想要提高系统的控制精度,可以采用双通道测角系统。用四台相同的旋转变压器,两台组装成粗通道测角系统,另外两台可以用来构成精通道

测角系统,分别通过升速器相连接,这样既能提高精度同时又可以简化结构。

4 旋转变压器常见故障分析和处理

首先旋转变压器的故障诊断方法主要包括运行监测和试验诊断这两个方面,运行监测是指对于已经投运的旋转变压器通过定期监测和检查来发现问题,安装在现场的可从旋转变压器引出来可供测量和监测的变量。试验诊断是指对测出的异常变量进行电气试验,对油质进行测量,对可以拆除的部件进行检查,对不可拆除的部件利用如磁粉检测仪等技术进行诊断检测,检出具体的故障。

旋转变压器故障主要含电路故障,主要有旋转变压器出口短路故障、旋转变压器内部引线或者绕组间的对地短路等。电路故障很常见,及时更换绕组是有效的解决方法。绕组故障有接头焊接断裂,相与相间出现短路、匝向短路、绕组地线问题等。旋转变压器最常见故障之一是变压器渗油故障,其又可以被解释为变压器渗油后导致的一系列如环境污染、资源浪费等问题。旋转变压器接头处温度过高故障,此处所指接头是指旋转变压器中的载流接头,其承担着重要的角色,如果载流接头出现不稳定连接,使得接头处温度快速升高超燃点,导致接头处烧断,直接影响旋转变压器的正常健康运转,所以在平时的检测维修工作中,操作员要及时注意观察旋转变压器的载流接头的温度情况,确保其稳定在正常运行区间内,才能保障旋转变压器的安全稳定工作。

5 结语

旋转变压器整体对作业环境要求不高,所以可胜任各种普通或极端的工作场合。当前,旋转变压器广泛被应用在各领域的角度和位置检测系统中。

参考文献

- [1] 刘永江.基于旋转变压器的位置检测方法及其应用[D].武汉:华中科技大学,2003.
- [2] 赵章吉.正余弦旋转变压器输出电压发生畸变的原因探析[J].中国科技博览,2009(6):22.
- [3] 杨辉媛,代文武,张榜英.基于单片机控制的CCD随动系统设计[J].信息化研究,2009,35(12):30-34.
- [4] 杨勇.旋转变压器研究[J].湖南农机,2014(11):46-47.
- [5] 张文海,梁功勋.“微特电机”讲座第2讲:旋转变压器原理及其应用[J].电世界,2014(5):43-47.
- [6] 张世超.旋转变压器快速参数测试仪的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2012.