

基于变耦合系数变压器原理的时栅位移传感器设计*

杨 伟¹ 彭东林² 朱 革² 陈锡侯¹

¹(重庆大学机械传动国家重点实验室 重庆 400044)

²(重庆工学院电子信息与自动化学院 重庆 400050)

摘要 原有的时栅传感器设计中采用了电机绕组产生旋转磁场的方案,但是电机定子绕组分布不均带来了误差。原有的差线栅传感器中采用了齿栅的结构,但实验表明它对齿的加工精度太敏感。本文提出了一种新的行波形成方法,实验表明,按此方法设计的新的传感器,可以解决上述 2 个问题。

关键词 行波 传感器 时栅 差栅

中图分类号 TP212 **文献标识码** A **国家标准学科分类代码** 460.4030

Design of time grating sensor based on variable coupling coefficient transformer

Yang Wei¹ Peng Donglin² Zhu Ge² Chen Xihou¹

¹(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

²(Dept. of Electronic Engineering, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract Three-phase winding is used to generate rotating magnetic field in designing time grating sensor, however uneven distribution of the winding may arouse measurement error. Tooth-grating structure is adopted in designing differential grating sensor, and the precision of the sensor is very sensitive to the machining precision of the teeth. To solve aforementioned two problems, a new method of generating traveling wave was firstly proposed, and a novel type of time grating sensor was developed. Experiment results show the effectiveness of the proposed method.

Key words traveling wave sensor time grating differential grating

1 引 言

文献[1]提出的场式时栅位移传感器,文献[2]提出的差线栅(简称差栅)位移传感器,在原理上都具有新颖性,而在具体研制开发过程中,发现存在一些技术上的问题。本文提出的方法融合了这 2 种传感器的结构形式,旨在解决这些技术问题,有助于成果向产品转化。

2 场式时栅与差栅的现有问题

场式时栅采用“运动的场”这种特殊物质的特殊运动

形式来构成运动坐标系,如图 1 所示,因回避了机械旋转部件,于是可以做到高精度、小体积、方便安装,尤其是可以实现直线测量,从而真正具备了产品化的可能。在前期研究中,最先想到的就是利用电机内的旋转磁场,因此直接采用了交流电机电枢绕组方式,也就是在导磁材料上均匀开槽,嵌入线圈,通以三相交流电形成旋转的行波磁场。但是,时栅虽不要求精密刻线,但要求旋转磁场转速尽量均匀,轨迹尽可能地圆,其必然与定子线圈的开槽均匀性直接相关^[3-5]。从某种意义上说,现有的场式时栅是将光栅的空间均匀刻划难题,转移到了电机均匀开槽的难题上。虽然开槽的精度和密度远远不需要和光栅相

* 本文于 2005 年 10 月收到,系国家自然科学基金(50575235)资助项目。

比,但是如何摆脱电机开槽模式,使之原始信号精度更高、工艺更简单、成本更低,是目前时栅产品化的症结。

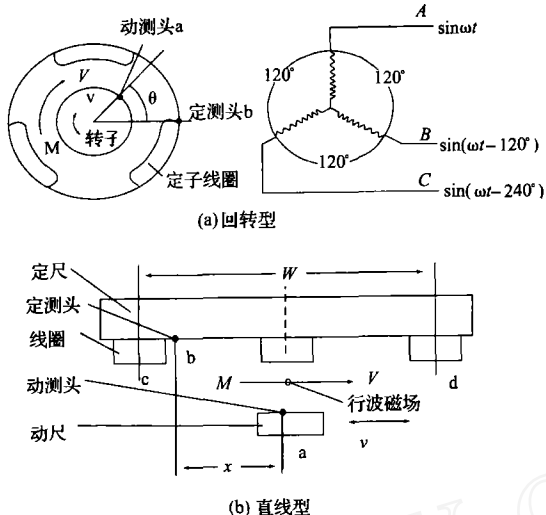


图 1 场式电激型时栅原理图

差栅采用内外齿栅的基本结构形式,如图 2 所示,特点是利用游标卡尺的原理,设计动栅和定栅的栅线数略有差异,从而制造出比刻线数(齿数)多得多的周期性变化信号,达到类似“倍频”的效果。与电子细分相比,这是传感器原始信号波数的放大,不用细分电路,结构更简单,尤其是不限制运动匀速性。在图 2 示例中,内外齿分别为 100 齿和 101 齿,而转动一周可以得到 $100 \times 101 = 10100$ 个脉冲信号,也就实现了刻制栅线数的大幅度放大。差栅的原理性实验已经成功,目前的问题是,原始信号太弱,导致对齿栅的加工精度要求太高。以图 2 为例,样机内外齿数差 1 齿,尺寸差 1/100 齿,得到的差栅信号幅值仅 2 mV,而由于加工造成的齿形误差引起的无用信号(畸变和杂波)就有 0.5 mV。因此,差栅虽然原理新颖,但对齿形精度太敏感,对加工精度要求太高,失去了应用前景,并且齿数越

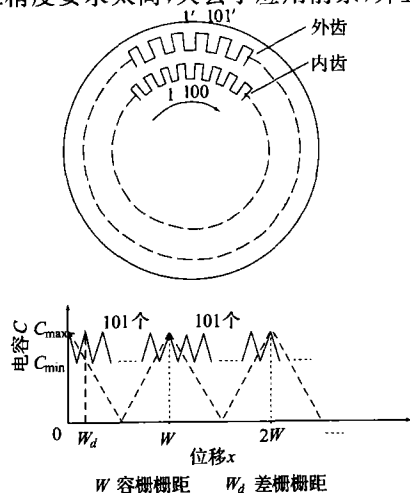


图 2 基于内外齿的差线栅位移传感器

多,齿越小,这个问题就愈加突出。

3 行波形成新方法

三相电机采用在空间正交分布的三相线圈绕组,通过在时间上正交分布的三相简谐波电场来产生运动的行波磁场,如图 1 所示,再感应出行波电场。本文则提出用二相正交的驻波(拍频波)电场直接合成一个行波电场,同时采用端面齿代替原来的内外齿,使信号大大增强。

按照最简单的“和差化积”三角变换公式:

$$A \sin \alpha \cdot B \cos \beta + A \cos \alpha \cdot B \sin \beta = AB \sin(\alpha + \beta) = K \sin(\alpha + \beta) \quad (1)$$

当 α 为时间自变量, β 为空间自变量时,式(1)就是一个典型的行波表达式。例如对单相电机而言,取 α 为电机线圈通过的电流的时间函数 $2\pi ft = 2\pi t/T$, 而取 β 为电机线圈分布的空间函数 $2\pi x/W$, 则式(1)变为:

$$M = K \sin(\alpha + \beta) = K \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{W} \right) \quad (2)$$

式中: T 为电流时间变化周期; W 为绕组空间节距。这就是旋转磁场行波表达式,表明旋转磁场每经过时间周期 T , 走过空间节距 W , 转速为 $V = W/T$ 。

变耦合系数变压器原理如图 3 所示,图 3(b)是变耦合系数变压器原理实验图^[6]。变压器原边接入交流电,副边接示波器和灯泡。当截掉一段铁芯从缺口外移入缺口,再移出缺口,由于耦合系数变化而引起磁通量的变化,灯泡由暗变明,再变暗,同时在示波器上可以看出副边感应的交流信号的幅值由弱变强,再变弱。

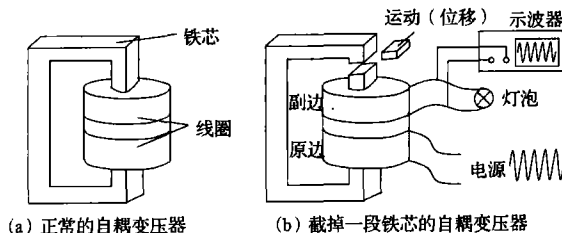


图 3 变耦合系数变压器原理

基于变耦变压器原理的栅式传感器原理如图 4 所示。利用上述变耦变压器原理构成的新型时栅或差栅结构如图 4(b)所示,即定子由多个如图 3(b)结构围成一圈组合而成,转子由共用的线包和平面齿构成。转子齿在定子齿隙间转动(齿距均为 W), 形成变化的磁路,也就形成磁通的周期性变化。当原边通以频率为 $1/T$ 的交流电时,副边会感应出同样频率的交流信号,但其幅值取决于当时转子齿和定子齿的相对位置,完全错开时幅值最小,完全重合时磁通最强,幅值最大。于是随着转子的转动,副边电信号形成一路拍频驻波。

利用 2 组图 4(b)结构,就构成图 5 所示新型时栅的

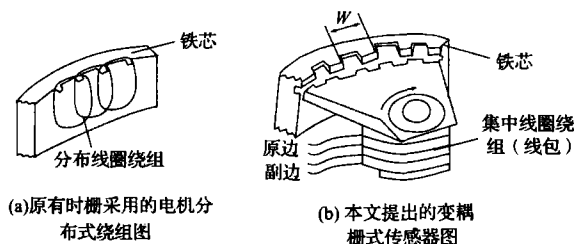


图 4 基于变耦变压器原理的栅式传感器原理图(局部)

结构模型。上下 2 组端面齿错开半个齿距形成齿的空间正交^[7],上下 2 组集中绕制的自耦线圈,原边分别通以 2 组互差 90° 的电源激励 u_1 和 u_2 形成电的时间正交,在 2 个副边分别感应出 2 路拍频驻波 u'_1 和 u'_2 ,于是 2 路驻波信号迭加即可合成所需要的行波,至此从理论上以一种与常规完全不同的方式获得了行波电场。

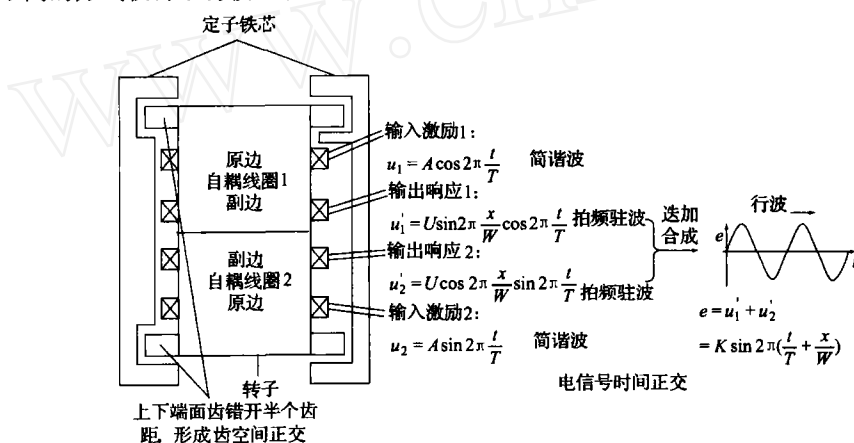


图 5 新型时栅结构模型

号在 0.5 mV 左右,所占比例不到千分之一,可以忽略不计,从而大大降低对齿栅加工的精度要求。

图 6 是基于上述原理的新型时栅样机。进一步实验和改进工作正在进行中。

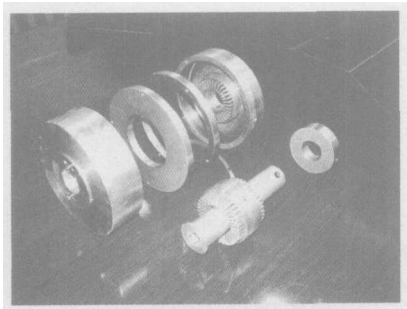


图 6 新型时栅实验样机

参考文献

[1] 彭东林,张兴红,刘小康,等. 场式时栅位移传感器研究[J]. 仪器仪表学报,2003,24(3):321-323.

4 实验与结论

实验表明,上述方案可以从根本上解决前述时栅和差栅存在的问题。

(1)时栅的原始机械精度不再依赖线圈分布的均匀性即等分精度,而依靠一般的线切割或切齿加工或浇铸加工都可以保证图 4(b)端面齿的等分精度。换言之,图 4(a)分布线圈精度很难控制,而集中线圈加分齿的精度则容易保证。

(2)图 4(b)的集中线包绕制比图 4(a)的分布线圈绕制简单得多,工艺大大简化,成本更低。

(3)如果采用一套图 4(b)结构,且定齿和动齿有齿差,即构成差线栅,而此时端面齿的极板变化量比图 2 所示内外平面齿的齿顶齿根变化量大得多,根据已做的实验,有用信号幅值可达 1 V 以上,齿形误差引起的误差信

[2] 彭东林,谭为民,刘小康,等. 差线栅位移传感器原理[J]. 仪器仪表学报,2004,25(3):376-378.
 [3] 唐海源. 三相异步电动机转子电势的相位分析[J]. 合肥工业大学学报,1999,22(3):112-115.
 [4] 黄劲刚. 基于 ANSYS 软件的电机电磁场有限元分析[J]. 微特电机,2004(5):12-14
 [5] 蒋豪贤. 电机学[M]. 广州:华南理工大学出版社,1997.
 [6] 强锡富. 传感器[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,1994.
 [7] 李谋. 位置检测与数显技术[M]. 北京:机械工业出版社,1993.

作者简介



杨伟,男,1978 年出生,博士,主要研究方向为计算机辅助测试技术和传感器技术。
E-mail: ywei@cqit.edu.cn