



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106625020 B

(45)授权公告日 2019.05.21

(21)申请号 201710111233.2

G01D 5/243(2006.01)

(22)申请日 2017.02.27

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106625020 A

JP 2014048093 A,2014.03.17,

JP H11153451 A,1999.06.08,

CN 206578635 U,2017.10.24,

(43)申请公布日 2017.05.10

CN 203203609 U,2013.09.18,

(73)专利权人 张道勇

CN 204301754 U,2015.04.29,

地址 510599 广东省广州市广园东路碧桂

CN 201858990 U,2011.06.08,

园凤凰城凤仪苑二街六座401

CN 102564462 A,2012.07.11,

(72)发明人 张道勇 许娟

CN 203811188 U,2014.09.03,

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有限公司 44245

CN 205537692 U,2016.08.31,

代理人 裘晖 林梅繁

CN 101718976 A,2010.06.02,

审查员 董伟

(51)Int.Cl.

B23Q 17/00(2006.01)

G01D 5/14(2006.01)

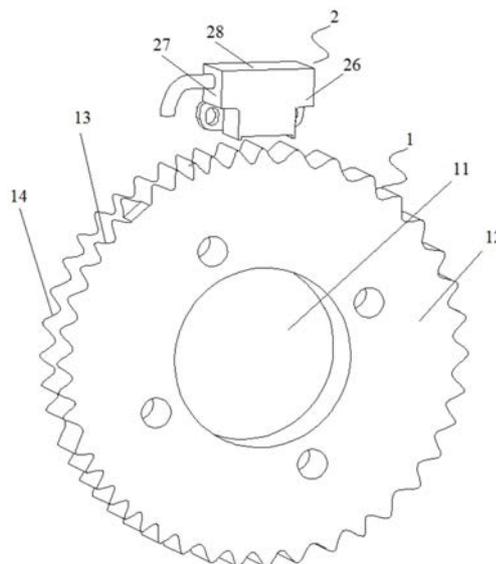
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器

(57)摘要

本发明涉及高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器,包括量测齿轮和磁感应读取头;磁感应读取头内设有磁感应元器件、信号调理电路、参考零点比较器电路及FPGA插补细分电路,磁感应元器件与量测齿轮圆周正相切安装,磁感应元器件对量测齿轮进行非接触式扫描所产生的正余弦正交差分信号和参考零点差分信号,经信号调理电路后,由FPGA插补细分电路对其直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差进行实时修正和补偿,并结合参考零点比较器电路,分别生成相对于上电时刻的转轴旋转角度的相对位置值和相对于参考零点信号的转轴旋转角度的绝对位置值,机械传动结构简单,提高了机床主轴定位、重复定位精度,提升了数控机床整体量测精度和加工效率。



1. 高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,包括套装在机床主轴、电主轴上且随机床主轴、电主轴同步旋转的量测齿轮和与量测齿轮配合使用的磁感应读取头;所述量测齿轮设有正余弦正交差分信号输出磁道和参考零点差分信号输出磁道;磁感应读取头内设有磁感应元器件、信号调理电路、参考零点比较器电路及FPGA插补细分电路,磁感应元器件与量测齿轮圆周正相切安装;所述磁感应元器件对量测齿轮进行非接触式扫描所产生的正余弦正交差分信号和参考零点差分信号,经过信号调理电路后,由FPGA插补细分电路对其直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差进行实时的修正和补偿,并结合参考零点比较器电路,从而分别生成相对于上电时刻的转轴旋转角度的相对位置值和相对于参考零点信号的转轴旋转角度的绝对位置值;

所述FPGA插补细分电路包括直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、正余弦信号最值模块、存储模块、乘法倍频模块、坐标旋转数字计算模块及转轴旋转角度生成模块,转轴旋转角度生成模块与参考零点比较器电路、坐标旋转数字计算模块连接,直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、乘法倍频模块及坐标旋转数字计算模块依次连接,正余弦信号最值模块分别与直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、存储模块连接,正余弦信号最值模块用于求取正余弦信号的采样最大值和最小值,存储模块用于存储直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、正余弦信号最值模块的运算结果;

所述量测齿轮的参考零点差分信号输出磁道为一圈仅有一个齿的结构,或者为一圈比正余弦正交差分信号输出磁道仅缺少一个齿的结构。

2. 根据权利要求1所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述乘法倍频模块包括正余弦信号乘法模块、正余弦信号移相模块、调整电路模块,其中正余弦信号乘法模块设有两个,一个正余弦信号乘法模块的输入端与幅值误差补偿模块连接,输出端与调整电路模块连接;另一个正余弦信号乘法模块的输入端通过正余弦信号移相模块与幅值误差补偿模块连接,输出端与调整电路模块连接,调整电路模块与坐标旋转数字计算模块连接。

3. 根据权利要求2所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述直流偏置误差补偿模块和幅值误差补偿模块分别推导出正余弦信号的直流偏置误差和幅值误差;然后利用乘法倍频模块通过移相、乘法倍频将正交相位误差转变成直流偏置误差和幅值误差,经调整电路模块去除直流偏置误差及调整幅值后,用二倍频的两路正余弦信号作为原始信号在坐标旋转数字计算模块内再进行插补细分;所述坐标旋转数字计算模块计算反正切,求取相位值,得出转轴旋转角度当前位置值,即相对于上电时刻的转轴旋转角度的相对位置值;

所述信号调理电路对参考零点差分信号放大整形、滤波后生成单端信号,进入参考零点比较器电路,转换成高低电平的数字信号,最后输入转轴旋转角度生成模块,生成相对于参考零点信号的转轴旋转角度的绝对位置值。

4. 根据权利要求1所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述存储模块为位于FPGA片内的FLASH ROM,FPGA插补细分电路调用FLASH ROM所存储的直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块运算结果,以实现FPGA程序自动重新校准和对误差的自适应调节。

5. 根据权利要求1所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述磁感应读取头位于量测齿轮外侧上方且和量测齿轮之间的间隙为0.1至0.3mm。

6. 根据权利要求1所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述磁感应读取头

的安装侧面与量测齿轮侧面处于同一平面;磁感应读取头的壳体底部设有便于安装的对称突起,对称突起高度一致以实现磁感应元件和量测齿轮圆周正相切安装,即实现磁感应元件中心、量测齿轮、机床主轴安装的同心度。

7.根据权利要求1所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述量测齿轮设有一个用于安装在旋转主轴上的中心孔;所述量测齿轮规格模数为0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8、1.0或2.0。

8.根据权利要求1所述的磁感应增量型总线式编码器,其特征在于,所述磁感应读取头内还设有连接在信号调理电路与FPGA插补细分电路之间的ADC模数转换电路。

高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种编码器(Encoder),尤其是涉及一种高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器,可广泛应用于数控机床、机器人、电梯和工业自动化等领域。

背景技术

[0002] 编码器是一种用来检测角度、位置、速度和加速度的感测器,是把机械旋转的角位移或直线位移进行编制、转换为可用于通讯、传输和存储的电信号形式的设备,是机械与电子紧密结合的精密测量器件,广泛应用于电机、汽车、风电、机器人等众多领域。从测量功能上,编码器可分为增量值编码器(也叫增量型编码器)和绝对值编码器。从测量原理上,编码器包括光电编码器和磁感应编码器。

[0003] 增量值编码器用于提供当前位置相对于前一位置的信息,不具有记忆当前绝对位置的功能。当机电设备断电时,假若机械位置因外力移动或转动而改变,导致位置产生偏移,而当机电设备重新启动时,增量值编码器将无法判断当前位置的信号与断电前所记录的位置信号是否相同,因而必须调整编码器进行回零的操作。绝对值编码器的每一个位置对应一个确定的数字码,因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关,而与测量的中间过程无关。当机电设备断电后再复电时,绝对值编码器能够即时读取当前转轴旋转角度或绝对位置。

[0004] 在工业生产中,广泛应用的编码器多为光电式,其工作原理是:LED光源和聚光镜提供稳定的光栅衍射条纹的光源;扫描掩膜和测量基准的栅状结构相同或者相似,当两者狭缝对齐时有光线透过,两者刻线对齐时光线无法通过,两者相对运动时光电感应到的光强就发生强弱交替变化,这种交替变化是呈三角波形式,但是由于光栅的衍射效应这种交替变化实际上呈正弦波形式。正余弦编码信号指用两路相位差为90度的正弦信号加载位置信息的编码器信号。光电编码器既可检测角度位移,又可在机械转换装置帮助下检测直线位置,具有低惯量、低噪声、高精度、高分辨率等优点,缺点是对环境适应性差,对于湿气、尘埃、油污和温度变化的抵抗能力较弱,实际应用中需做密封处理;此外,光电编码器光栅盘多为玻璃材质,在绕轴高速旋转时,容易因轴振动、冲击等外部环境的影响,使得光栅盘碎裂。

[0005] 当光电编码器在机床主轴上使用时,其第一位置反馈光电编码器与第二位置反馈光电编码器均不能直接和机床主轴连接,通常以同步轮、皮带等机械传动机构与机床主轴间接连接,其传动过程为:内装第一位置编码器的主轴伺服电机带动皮带运动,皮带带动机床主轴运动,机床主轴带动同步轮旋转,同步轮带动第二位置编码器旋转,因而整个机械传动结构比较复杂,导致伺服电机最高转速较低。配套CNC数控系统,可实现对精度要求不高的螺纹加工、刚性攻丝、主轴定向和刀库换刀等功能。若长时间运行,由于承受负荷较大,皮带、同步带的弹性变形、热胀冷缩以及磨损等,使得数控机床整体加工精度会越变越差。

[0006] 当机床主轴对定位精度要求较高时,第一位置反馈需要用到17位或更高分辨率的光电编码器,第二位置反馈将用到磁阻、磁栅等高精度编码器,同时第二位置反馈主轴编码

器和机床主轴要直连,以减小传动误差。电主轴实现了主轴电机与机床主轴的一体化,将高精度编码器与机床主轴直连,在减小传动装置带来的误差同时,大幅提高了加工、定位精度,并且具有一系列优良传动特性,是一种可满足高速高精加工要求的理想传动方式。

[0007] 对采用数字位置和速度控制技术的电机驱动,高精度正余弦编码器可提供1Vpp电平信号的正弦增量信号,信号质量高从而在后续信号处理电路中进行高倍频插补细分成为可能。例如,若对每圈512个信号周期的旋转编码器在后续信号处理电路中进行4096倍细分,就能在一圈内产生2百万个测量步距或线数,相当于21位的分辨率。即使转速达到24000转/秒,信号到达控制系统输入电路时的频率也只有约200KHz。1Vpp的正弦增量信号由于输出的频谱成分比较单一,与方波相比可以传输较远的距离而不衰减或者畸变,允许的电缆长度可达150米。

[0008] 除了光电编码器,磁感应编码器也广泛应用于工业生产中。磁感应编码器基于磁传感器,而磁传感器广泛应用于现代工业和电子产品中,以感应磁场强度及其分布来测量电流、位置、方向等物理参数。在现有技术中,有许多不同类型的传感器用于测量磁场和其他参数,例如采用霍尔(Hall)元件、各向异性磁电阻(Anisotropic MagnetoResistance, AMR)元件、巨磁电阻(Giant MagnetoResistance, GMR)元件、隧道磁电阻TMR(Tunnel MagnetoResistance)元件为测量敏感元件的磁传感器。相比于其它磁性传感元件,TMR元件具备低功耗、分辨率高、动态范围大、优异的温度稳定性和极高的灵敏度等优点。

[0009] 在高速、高精度、高动态性能要求的伺服系统中,通常采用输出正余弦信号的磁传感器检测元件,用于位置和速度反馈。其输出信号包括周期性的正余弦(SINE、COSINE)正交差分信号,每旋转一周也输出一路参考零点(INDEX)差分信号,当机电设备启动时,虽能经过后续信号处理电路进行高倍频插补细分,但不能即时读取当前转轴旋转角度的绝对位值,直到转轴旋转经过参考零点信号后,才能得到当前转轴旋转角度的绝对位值。如果采用传统脉冲串的方式传输信号,一方面随着位置测量装置分辨率和精度的提高,其输出线数越来越大,在电机高速运转情况下,对后续控制装置接口要求较高,容易出现高频部分传输误计数,从而影响数控装置反馈控制;另一方面,脉冲串输出距离有限,容易受到工业环境的电磁干扰,不适应于工业现场的高速传输。为了提高位置反馈精度和高速可靠地传输位置数据,在数控系统中,位置测量装置与控制装置之间采用数字串行总线式通信装置,由控制端单元和测量端单元通过通信电缆连接构成,与TTL电平和正余弦脉冲串方式相比,串行总线式传输方式提高了抗干扰能力,具有更高的可靠性和实时性,同时可选择传输增量位置值或者绝对位置。

[0010] 目前,磁感应编码器的安装定位方式非常粗糙,读取头的定位基准面是平面。在安装时,利用定位工装很难保证磁感应读取头中心、量测齿轮、机床主轴安装的同心度,同时,读取头的定位基准面和量测齿轮圆周切面相互平行、读取头与量测齿轮之间的距离的保证也很困难,从而导致读取头实际安装的精准性和一致性很差,进而大大降低了磁感应编码器的控制精度。

[0011] 此外,磁感应正余弦编码器在工程应用中,由于受到齿盘加工工艺、电源波动、环境温度变化、读取头磁感应芯片的非线性等因素的影响,位置检测元件磁感应芯片输出的正余弦信号常伴有直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差、谐波分量误差、噪声误差等,这些误差直接影响到伺服控制系统的精度和可靠性。如何对正余弦编码器输出的角位置信

号误差进行有效的修正和补偿,采用合适的插值方法从正余弦信号中提取出高分辨率的位置信息,以满足伺服系统的高速度、高精度控制要求具有重要的研究和应用价值。

[0012] 于2016年3月9日公开的中国发明专利申请,专利申请号为201511029653.3,公开号为CN105387879A,公布了大中心孔轴向充磁结构的绝对位值磁编码器,为一种磁环式编码器,其中所采用的磁环式编码盘是由铁磁性物质粉末和作为粘结剂用的塑性物质通过注塑、压铸或铸造等工艺加工成型的环状结构,受制于材料的均匀性,且磁化位置也难精准控制,使得编码盘上磁矩大小、强弱及均匀性较难进一步得到提高,而且在工程应用过程中,由于编码盘上磁极暴露在外,容易吸附飞尘和细小铁屑而给检测带来误差。随着电机加工温度的上升,热传导的编码盘温度特性将是不得不考量的因素,编码盘会有磁性衰减,造成波形精度恶化,进而影响加工精度。

[0013] 于2015年4月29日公告的中国实用新型专利,专利申请号为201420861460.9,公告号为CN204301754U,公开了齿轮旋转编码器,其输出信号分为A路、B路和Z路,以模拟信号或方波的形式输出,并不具备总线式数据输出能力;其感应读头和齿轮之间的间隙为0.1至0.15mm,间隙太小,机械安装要求过于苛刻,导致安装调试耗费大量工时;其内部有程序处理芯片,需要通过电脑软件调试信号参数,并将程序写入程序存储器进行保存,非智能操控,手动调整十分繁琐,费时费力,且产品一致性不高。

发明内容

[0014] 为了解决现有技术中编码器控制精度及可靠性较低的技术问题,本发明提供一种适用于高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器,该编码器应用齿轮感应磁力线工作原理,对量测齿轮进行非接触式扫描,产生高可靠性正余弦正交差分信号和参考零点差分信号,使用FPGA现场可编程逻辑器件,实现对正余弦信号的高精度插补细分,并结合参考零点比较器电路,从而在编码器内部分别生成相对于上电时刻的转轴旋转角度的高线数相对位置值和相对于参考零点信号的转轴旋转角度的高线数绝对位置值,在减少复杂机械传动机构的同时,大幅提高了机床主轴的定位、重复定位精度,从而提升了数控机床的整体量测精度和加工效率。

[0015] 本发明高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器,包括套装在机床主轴、电主轴上且随机床主轴、电主轴同步旋转的量测齿轮和与量测齿轮配合使用的磁感应读取头;所述量测齿轮设有正余弦正交差分信号输出磁道和参考零点差分信号输出磁道;磁感应读取头内设有磁感应元器件、信号调理电路、参考零点比较器电路及FPGA插补细分电路,磁感应元器件与量测齿轮圆周正相切安装;所述磁感应元器件对量测齿轮进行非接触式扫描所产生的正余弦正交差分信号和参考零点差分信号,经过信号调理电路后,由FPGA插补细分电路对其直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差进行实时的修正和补偿,并结合参考零点比较器电路,从而分别生成相对于上电时刻的转轴旋转角度的相对位置值和相对于参考零点信号的转轴旋转角度的绝对位置值。

[0016] 优选地,所述FPGA插补细分电路包括直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、正余弦信号最值模块、存储模块、乘法倍频模块、坐标旋转数字计算模块及转轴旋转角度生成模块,转轴旋转角度生成模块与参考零点比较器电路、坐标旋转数字计算模块连接,直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、乘法倍频模块及坐标旋转数字计算模块依次连接,

正余弦信号最值模块分别与直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、存储模块连接,正余弦信号最值模块用于求取正余弦信号的采样最大值和最小值,存储模块用于存储直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、正余弦信号最值模块的运算结果。

[0017] 优选地,所述乘法倍频模块包括正余弦信号乘法模块、正余弦信号移相模块、调整电路模块,其中正余弦信号乘法模块设有两个,一个正余弦信号乘法模块的输入端与幅值误差补偿模块连接,输出端与调整电路模块连接;另一个正余弦信号乘法模块的输入端通过正余弦信号移相模块与幅值误差补偿模块连接,输出端与调整电路模块连接,调整电路模块与坐标旋转数字计算模块连接。

[0018] 优选地,所述直流偏置误差补偿模块和幅值误差补偿模块分别推导出正余弦信号的直流偏置误差和幅值误差;然后利用乘法倍频模块通过移相、乘法倍频将正交相位误差转变成直流偏置误差和幅值误差,经调整电路模块去除直流偏置误差及调整幅值后,用二倍频的两路正余弦信号作为原始信号在坐标旋转数字计算模块内再进行插补细分;所述坐标旋转数字计算模块计算反正切,求取相位值,得出转轴旋转角度当前位置值,即相对于上电时刻的转轴旋转角度的相对位置值;所述信号调理电路对参考零点差分信号放大整形、滤波后生成单端信号,进入参考零点比较器电路,转换成高低电平的数字信号,最后输入转轴旋转角度生成模块,生成相对于参考零点信号的转轴旋转角度的绝对位置值。

[0019] 所述存储模块为位于FPGA片内的FLASH ROM,FPGA插补细分电路调用FLASH ROM所存储的直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块运算结果,以实现FPGA程序自动重新校准和对误差的自适应调节。

[0020] 优选地,所述磁感应读取头的安装侧面与量测齿轮侧面处于同一平面;磁感应读取头的壳体底部设有便于安装的对称突起,对称突起高度一致以实现磁感应元器件和量测齿轮圆周正相切安装,即实现磁感应元器件中心、量测齿轮、机床主轴安装的同心度。

[0021] 相对于现有技术,本发明具有以下优点和积极的技术效果:

[0022] 1、本发明编码器采用一种具有超高灵敏度、精度及反应速度,并且与量测齿轮配合具有更高优越特性的磁电阻传感器,应用齿轮感应磁力线工作原理,对量测齿轮进行非接触式扫描,产生高可靠性正余弦信号和参考零点信号,使用FPGA现场可编程逻辑器件,对ADC模数转换器件采样的正余弦信号直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差进行实时的修正和补偿,并采用将误差参数写入FPGA现场可编程逻辑器件片内FLASH ROM保存并调用的方式,进行FPGA程序上电自动重新校准和对误差的自适应调节,实现对正余弦信号的高精度插补细分,并结合参考零点比较器电路,从而在编码器系统内部分别生成相对于上电时刻的转轴旋转角度的高线数相对位置值和相对于参考零点信号的转轴旋转角度的高线数绝对位置值,实现了对正余弦信号的各种误差自动校准、自适应调节功能,提高了编码器的精度和可靠性,且无需人工调试完全自动化操作,极大的提高了生产效率。本发明编码器能够在快速钻孔、快速换刀及连续性攻牙等工况中,始终保持稳定性的加工、定位、控制精度;结构简单、体积小、重量轻、易安装且抗冲击能力及环境适应性强,可靠性高、抗振动、高频响、高精度,在减少复杂机械传动机构的同时,大幅提高了机床主轴的定位、重复定位精度,从而提升了数控机床的整体量测精度和加工效率。

[0023] 2、采用串行总线式传输方式,提高了抗干扰能力,具有更高的可靠性和实时性,检测精度高并能进行高速响应。磁感应增量型总线式编码器信号通过RS485或者RS422总线接

口输出,可兼容BISS、SSI等串行通信协议,并能在转速达20000转/分钟及以上的条件下测定绝对位置。磁感应读取头选用了高精度的传感芯片,应用齿轮感应磁力线工作原理,可以识别位于芯片正下方量测齿轮的角度位置,实现高精度,高可靠性检测。

[0024] 3、大口径空心轴安装,无需复杂的机械传动结构,不需要自带任何轴承,也不需要任何的机械联轴器,量测齿轮直接套装在机床主轴、电主轴上且随机床主轴、电主轴同步旋转。将高精度编码器与机床主轴、电主轴直连,在减小传动装置带来的误差同时,大幅提高了加工、定位精度,解决了光电编码器高速旋转对轴向窜动和径向跳动敏感等问题,提高了产品的适应性,并且具有一系列优良传动特性,特别适用于机床主轴、电主轴高速高精加工场合。

[0025] 4、用量测齿轮做编码盘相比于磁环式编码盘具有更大的优势,其可塑性好,便于加工、均匀性好,尺寸精度更好控制,满足不同的应用场合,更重的是经磁电阻传感器产生的正余弦信号波形精度高,一致性好。

[0026] 5、磁感应编码器机械结构简化坚固,量测齿轮和磁感应读取头之间采用非接触、无磨损设计,具有抗振动、抗腐蚀、抗污染和宽工作温度的特性,响应速度快,能适应高速旋转运动,可应用于光电编码器不能适应的领域,精度高,寿命长,直接传动机械误差小,且没有机构背隙问题。

[0027] 6、磁感应读取头结构新颖、设计坚固、抗冲击能力强、防护等级高,可达IP68,环境适应性好,工作性能稳定可靠、定位精准、安装容易且使用操作简便。

附图说明

[0028] 图1为本发明高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器整体结构示意图;

[0029] 图2为本发明磁感应读取头的电路原理框图;

[0030] 图3为本发明FPGA插补细分电路的原理框图;

[0031] 图4A为本发明量测齿轮的一种结构示意图;

[0032] 图4B为本发明量测齿轮的另一种结构示意图;

[0033] 图5为本发明BISSC串行通信协议时序波形图。

具体实施方式

[0034] 下面将结合实施例和说明书附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0035] 实施例

[0036] 参见图1,本发明高速高精机床主轴、电主轴磁感应增量型总线式编码器包括套装在机床主轴、电主轴上且随机床主轴、电主轴同步旋转的铁磁性量测齿轮1,以及与量测齿轮1配合使用的磁感应读取头2。所述量测齿轮1设有一个用于安装在旋转主轴上的中心孔11;所述磁感应读取头2安装在量测齿轮1的外侧上方,磁感应读取头的安装侧面26与量测齿轮的侧面12处于同一平面,并调整磁感应读取头2与量测齿轮1之间的间隙为0.1至0.3mm。

[0037] 如图2,磁感应读取头的电路部分封装在金属壳体21内,包括第一电路板22、磁钢

23、电连接件24、第二电路板25,第一电路板22上设置有配合磁钢对磁场强度变化情况进行实时检测的磁感应元器件;第二电路板25上设置有与磁感应元器件电连接的信号调理电路,以及ADC模数转换电路、参考零点比较器电路、FPGA(现场可编程逻辑器件)插补细分电路和输入输出接口电路,其中信号调理电路分别与ADC模数转换电路、参考零点比较器电路连接,FPGA(现场可编程逻辑器件)插补细分电路分别与ADC模数转换电路、参考零点比较器电路、输入输出接口电路连接,并从输入输出接口电路上引出输入输出接口端子。磁感应元器件产生正余弦(A、B)正交差分信号和参考零点(Z)差分信号,正余弦(A、B)正交差分信号经信号调理电路放大、滤波处理后,进入ADC模数转换电路转换为数字量的单端正余弦信号,最后由FPGA插补细分电路进行处理;而参考零点(Z)差分信号经信号调理电路放大并整理成单端信号后,进入参考零点比较器电路,转换成高低电平的数字信号,送入FPGA插补细分电路进行处理。磁感应读取头2的金属壳体21采用铜合金或者铝合金材质,包括缸体27和扣装在缸体27正上方的上盖28,缸体27与上盖28之间通过螺钉或固体胶进行连接,并进行电子灌密封胶密封,磁感应读取头的电路部分置于缸体与上盖构成的密封腔内,其外侧装有金属防水接头与输入输出接口电路电连接,实现增量型总线式当前位置信号的输出。

[0038] 所述磁感应元器件为SMRE(Semiconductor MagnetoResistive Element)半导体磁电阻元件或TMR(Tunnel MagnetoResistance)隧道磁电阻传感器。磁电阻传感器芯片性能优越,具有极高的磁场梯度灵敏度,可以检测微小的磁场变化,输出信号具有良好的温度稳定性,其采用推挽式惠斯通电桥设计,对外加磁场沿传感器敏感方向的梯度值提供差分电压输出,并产生两路具有精确相位差的正交电压输出信号,用以检测量测齿轮转动的位置和方向。配合磁感应编码器定位安装工艺和电路板焊接生产工艺,比如磁感应芯片管脚焊盘的设计等,保证正余弦信号正交相位误差在合理的限定范围内。

[0039] 工作中,机床主轴、电主轴带动量测齿轮旋转,磁感应读取头第一电路板上的磁感应元器件配合磁钢,应用齿轮感应磁力线工作原理,对量测齿轮进行非接触式扫描,产生高可靠性正余弦正交差分信号和参考零点差分信号,经过信号调理电路,对差分信号进行放大、整形,并滤除高频杂波,使用FPGA现场可编程逻辑器件对ADC模数转换电路采样的正余弦信号直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差进行实时的修正和补偿,并将误差参数写入FPGA现场可编程逻辑器件片内FLASH ROM保存并上电调用,实现对正余弦信号的高精度插补细分,并结合参考零点比较器电路,从而在编码器系统内部分别生成相对于上电时刻的转轴旋转角度的高线数相对位置值和相对于参考零点信号的转轴旋转角度的高线数绝对位置值。

[0040] 本发明使用FPGA现场可编程逻辑器件,对ADC模数转换电路采样的正余弦信号直流偏置误差、幅值误差和正交相位误差进行实时的修正和补偿,实现对正余弦信号的高精度插补细分,原理框图如图3所示,包括直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、正余弦信号最值模块、存储模块、乘法倍频模块、坐标旋转数字计算模块及转轴旋转角度生成模块,转轴旋转角度生成模块与参考零点比较器电路、坐标旋转数字计算模块连接,直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、乘法倍频模块及坐标旋转数字计算模块依次连接,正余弦信号最值模块分别与直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、存储模块连接,存储模块用于存储直流偏置误差补偿模块、幅值误差补偿模块、正余弦信号最值模块的运算结果。乘法倍频模块包括正余弦信号乘法模块、正余弦信号移相模块、调整电路模块,其中正余弦

信号乘法模块设有两个,一个正余弦信号乘法模块的输入端与幅值误差补偿模块连接,输出端与调整电路模块连接;另一个正余弦信号乘法模块的输入端通过正余弦信号移相模块与幅值误差补偿模块连接,输出端与调整电路模块连接,调整电路模块与坐标旋转数字计算模块连接。

[0041] 磁感应元器件输出的正余弦正交差分信号,经过信号调理电路,对正交差分信号进行放大、整形处理,并滤除高频杂波和偶次谐波。使用ADC模数转换电路对正弦波信号和余弦波信号进行高速实时同步采集,并由FPGA进行数字滤波,滤波方法为:连续采集八次数据,去除最大的两个采样值、最小的两个采样值,取余下四个采样值的平均值做为当前波形采样值。采用此种数字滤波方法,很好的去除了采样数据的抖动、跳变和干扰。

[0042] 由于受到量测齿轮加工工艺、电源波动、环境温度变化等因素影响,单周期正余弦信号的采样最大值和最小值每时每刻都会有数据抖动,量测齿轮旋转一圈采样的正余弦信号的最大值和最小值每时每刻也都会有数据抖动,为了平滑数据抖动带来的细分误差,采取如下方法进行处理:电机转轴旋转经过参考零点信号后,启动正余弦信号最值模块,电机转轴每旋转一圈经过参考零点信号时,记数正弦信号一个最大值、一个最小值,余弦信号一个最大值、一个最小值,连续计数八个周期,采样得到八个正弦信号最大值、最小值,八个余弦信号最大值、最小值。去除最大的两个采样值、最小的两个采样值,取余下四个采样值的平均值作为正余弦信号的采样最大值和最小值。

[0043] 在直流偏置误差补偿模块和幅值误差补偿模块中运行如下公式,推导出直流偏置误差和幅值误差:

$$[0044] \quad \text{SIN}(\theta+) = \text{VCC}/2 + \text{offset_A} + K \sin(\theta + \alpha); \langle 1 \rangle$$

$$[0045] \quad \text{SIN}(\theta-) = \text{VCC}/2 + \text{offset_B} - L \sin(\theta + \alpha); \langle 2 \rangle$$

$$[0046] \quad \text{SIN}(\theta) = \text{SIN}(\theta+) - \text{SIN}(\theta-) = \text{offset_A} - \text{offset_B} + (K+L) \sin(\theta + \alpha); \langle 3 \rangle$$

$$[0047] \quad \text{COS}(\theta+) = \text{VCC}/2 + \text{offset_C} + M \cos(\theta + \beta); \langle 4 \rangle$$

$$[0048] \quad \text{COS}(\theta-) = \text{VCC}/2 + \text{offset_D} - N \cos(\theta + \beta); \langle 5 \rangle$$

$$[0049] \quad \text{COS}(\theta) = \text{COS}(\theta+) - \text{COS}(\theta-) = \text{offset_C} - \text{offset_D} + (M+N) \cos(\theta + \beta); \langle 6 \rangle$$

[0050] 上述公式中,SIN(θ+)、SIN(θ-)、COS(θ+)、COS(θ-)为磁感应元器件输出正余弦信号的差分信号,SIN(θ)、COS(θ)为经过信号调理电路后得到的正余弦信号。offset_A、offset_C为正余弦正差分信号的直流偏差量,offset_B、offset_D为正余弦负差分信号的直流偏差量,K、M为正余弦正差分信号的幅值偏差系数,L、N为正余弦负差分信号的幅值偏差系数,α、β为正余弦信号相位偏差。由正余弦信号的最大值、最小值可知:

$$[0051] \quad \text{SIN}(90^\circ) = \text{offset_A} - \text{offset_B} + (K+L) \sin(90^\circ); \langle 7 \rangle$$

$$[0052] \quad \text{SIN}(270^\circ) = \text{offset_A} - \text{offset_B} + (K+L) \sin(270^\circ); \langle 8 \rangle$$

$$[0053] \quad \text{SIN}(90^\circ) + \text{SIN}(270^\circ) = 2(\text{offset_A} - \text{offset_B}); \langle 9 \rangle$$

$$[0054] \quad \text{SIN}(90^\circ) - \text{SIN}(270^\circ) = 2(K+L); \langle 10 \rangle$$

$$[0055] \quad \text{offset_A} - \text{offset_B} = (\text{SIN}(90^\circ) + \text{SIN}(270^\circ)) / 2; \langle 11 \rangle$$

$$[0056] \quad K+L = (\text{SIN}(90^\circ) - \text{SIN}(270^\circ)) / 2; \langle 12 \rangle$$

[0057] 得到正弦信号的采样最大值和最小值,即可得出正弦信号的直流偏置误差和幅值误差,同理,也可得出余弦信号的直流偏置误差和幅值误差。

[0058] 由经过数字滤波处理的当前任意位置时刻波形采样值减去直流偏置误差,即可得

到包含幅值误差和正交相位误差的正余弦信号：

$$[0059] \quad \text{SIN}(\theta) - (\text{offset_A} - \text{offset_B}) = (K+L) \sin(\theta + \alpha)$$

$$[0060] \quad \text{COS}(\theta) - (\text{offset_C} - \text{offset_D}) = (M+N) \cos(\theta + \beta)$$

[0061] 两边同时乘以幅值偏差系数,得到公式:

$$[0062] \quad (M+N) (\text{SIN}(\theta) - (\text{offset_A} - \text{offset_B})) = (M+N) (K+L) \sin(\theta + \alpha)$$

$$[0063] \quad (K+L) (\text{COS}(\theta) - (\text{offset_C} - \text{offset_D})) = (K+L) (M+N) \cos(\theta + \beta)$$

[0064] 得到消除直流偏置误差与幅值误差的两路正余弦信号,如果两式相除求反正切函数,即可得到只包含正交相位误差的正余弦信号角度位置值。

[0065] 对正余弦信号的采样最大值、最小值进行上述运算得到的直流偏置误差值和幅值误差值写入FPGA片内FLASH ROM(即存储模块)保存,并在下次上电后自动调入,进而对磁感应元器件产生的正余弦信号的误差进行实时修正与补偿。如果误差偏差阈值大于某一设定值,比如磁感应读取头重新安装等情况影响,则FPGA程序自动重新校准,从而实现对误差的自适应调节。

[0066] 然后利用乘法倍频技术对已消除了直流偏置误差和幅值误差的正余弦信号进行修正,即通过移相、乘法倍频将正交相位误差转变成直流偏置误差和幅值误差,经后级调整电路模块去除直流偏置误差及调整幅值后,用二倍频的两路高质量的正余弦信号作为原始信号,在坐标旋转数字计算模块内再进行插补细分,既能提高细分精度,又可降低对正余弦信号的正交性要求。坐标旋转数字计算模块基于坐标旋转数字计算(CORDIC)算法,计算反正切,求取相位值,得出转轴旋转角度当前位置值,即相对于上电时刻的转轴旋转角度的相对位置值;所述信号调理电路对参考零点差分信号放大整形、滤波后生成单端信号,进入参考零点比较器电路,转换成高低电平的数字信号,最后输入转轴旋转角度生成模块,生成相对于参考零点信号的转轴旋转角度的绝对位置值。

[0067] 信号调理电路内的高速差分运算放大器优选Analog Devices公司的ADA4950-2集成电路芯片;ADC模数转换器件优选的实施例,采用Analog Devices公司的多级差分流水线架构的高速并行AD9248集成电路芯片;插补细分电路优选FPGA现场可编程逻辑器件10M16SCU169I7G集成电路芯片。

[0068] 全部算法采用FPGA进行处理,充分运用FPGA流水线并行运算的特点,并利用FPGA内部自带的内存块、硬件乘法器等模块提高了算法硬件实现性能,速度快,实时性高,满足运动控制算法对当前位置实时性的要求。采用数字电路处理方式对磁感应元器件输出的正余弦信号各种误差进行有效的修正和补偿,提高了差补细分的准确性和可靠性,进而提高了正余弦信号的细分精度和分辨率,并采用将误差参数写入FPGA片内FLASH ROM保存并调用的方式,进行FPGA程序自动重新校准和对误差的自适应调节。通过高速ADC模数转换电路和FPGA现场可编程逻辑器件的互相配合,实现了高速高精度的数据采集与处理,通过串行通讯协议总线实现高速高效的数据输出,从而为伺服控制系统提供更加精确的位置信息来满足高速度、高精度控制的要求。

[0069] 所述量测齿轮具有两种磁道,其一为正余弦(A、B)正交差分信号输出磁道14,齿数优选512齿;其二为参考零点(Z)差分信号输出磁道13。参考零点(Z)差分信号输出磁道具有两种结构形式,一种为一圈比正余弦磁道仅缺少一个齿,如图4A所示,一种为一圈仅有一个齿,如图4B所示。

[0070] 在正常应用条件范围内,可以依据实际主轴或电机空间的情况对量测齿轮的外径、厚度、内孔尺寸和模数提出要求,量测齿轮的规格模数可为0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8、1.0或2.0。量测齿轮与磁感应读取头安装时须注意方向,必须进行上下对应安装,否则信号不良。安装磁感应读取头与量测齿轮时,推荐使用标准厚度(如0.15毫米)的塞尺,既可精确保证磁感应元器件和量测齿轮的安装间距在0.1至0.3mm之间,又可获得极佳的信号质量。此外,在磁感应读取头的金属壳体21的底部设有便于安装的对称突起,对称突起位于金属壳体21底部的两侧,两侧的对称突起高度一致,以实现磁感应元器件和量测齿轮圆周正相切,即实现磁感应元器件中心、量测齿轮、机床主轴安装的同轴度,然后通过螺钉将磁感应读取头与读取头固定基体紧固连接,最后抽出塞尺或旋转量测齿轮拿出塞尺。

[0071] 量测齿轮加工的精度对编码器信号的精度和一致性产生很大的影响。工业应用中,应选用国标6级或更高精度的精密量测齿轮。编码器信号线数可通过量测齿轮齿数进行调整,并进而影响机床加工、定位精度。所述量测齿轮具有三种安装方式:1、热装。采用这种工艺时,所生产量测齿轮的内径应略小于主轴轴径。常温下,量测齿轮不能与主轴相接,通过加热量测齿轮使材料膨胀,这时可将量测齿轮装在主轴上,然后冷却量测齿轮使材料收缩,最终量测齿轮被稳固地压紧在主轴上。2、拧紧在轴肩上。将量测齿轮装在主轴上,用螺钉将量测齿轮固定在主轴轴肩上。3、通过轴螺母夹紧。量测齿轮被装在主轴轴上,通过轴螺母压紧在一个组件上;也可以应客户要求,在量测齿轮上装配一个集成式轴螺母,因此内径上会有相应的螺纹。

[0072] 本发明编码器数据格式如表1所示,其BISSC串行通信协议时序波形如图5所示:

[0073]

ACK	Start	“0”	Relative Position (24 bits)	Absolute Position (24 bits)	Zero	Error	Warn	CRC (6 bits)
-----	-------	-----	--------------------------------	--------------------------------	------	-------	------	-----------------

[0074] 表1磁感应增量型总线式编码器数据格式

[0075] 注1:“Ack”,确认信号,磁感应编码器接收到上位机传输的时钟信号的确认反馈,并开始准备传输位置数据。

[0076] 注2:“Start”和“0”,串行通讯数据传输起始位,磁感应编码器发信号给主接口开始传输数据。

[0077] 注3:“Relative Position”,相对于上电时刻的转轴旋转角度的高线数相对位置值,二进制格式,24位,线数溢出绕回到零。

[0078] 注4:“Absolute Position”,相对于参考零点信号的转轴旋转角度的高线数绝对位置值,二进制格式,24位,线数溢出绕回到零。

[0079] 注5:“Zero”,零点信号标志位,初始状态为“0”,低电平;转轴旋转经过参考零点信号后,“ZERO”位置位,恒为“1”,高电平。

[0080] 注6:“Error”,错误位,低电平有效。“1”表示传输的位置信息已被磁感应读取头的内置安全校验算法校验,结果正确;“0”表示内部检测失败,位置信息不可信。

[0081] 注7:“Warn”,警告位,低电平有效。“1”表示传输的位置信息已被磁感应读取头的内置安全校验算法校验,结果正确;“0”表示内部检测超出阈值,位置信息不可信。

[0082] 注8:“CRC”,校验位,相对位置、绝对位置、错误及警告数据校验位,共计6位。

[0083] 图5中,“MA”指将磁感应编码器位置采集请求和时序信息(时钟)从上位机传输到磁感应编码器;“SLO”指将位置数据从磁感应编码器传输到与MA同步的主接口;“Timeout”为超时期间,一个请求循环开始和另一个请求循环开始之间的时间。

[0084] 遵行磁感应增量型总线式编码器数据格式,对于高速高精机床主轴、电主轴所用的同步电机、异步电机的转轴旋转角度当前位置的获取都能得到很好的处理。

[0085] 异步电机转子绕组因与磁场间存在着相对运动而感生电动势和电流,并与磁场相互作用产生电磁转矩,实现能量变换,因转矩电流与励磁电流电角度垂直,位置数据增量确定,异步电机一上电就能正常工作;同步电机启动的时候需要知道转子的磁极位置,才能够大力矩启动伺服电机,这样就需要绝对值编码器来确切检测转子的当前位置。然而磁感应增量型总线式编码器一上电只知道相对位置,这样对于同步电机,就需要一些特殊的处理方式,比如,用相对位置数据,转轴低速先转一圈,找到参考零点信号后,再用当前转轴旋转角度的绝对位置做算法处理,但这种处理方式,第一圈不能用于零件加工,因为转矩电流与励磁电流电角度相位关系未确定,当电机转轴旋转经过参考零点信号后,即可大力矩启动伺服电机,当然,工程应用中,可以运用其它的软件处理方法,比如,高频注入法,来获取电角度相位关系。

[0086] 选择磁感应增量型总线式编码器数据格式传输方法,对于同步电机,克服了同步电机上电就需要绝对值编码器确切检测转子当前位置的弊端,扩大了应用领域,并且还有一大优点,即量测齿轮相对易于加工,选用绝对位置的磁感应编码器则量测齿轮结构复杂、加工难度大,对加工机床整体性能要求高。

[0087] 所述磁感应增量型总线式编码器信号经由10芯屏蔽双绞电缆线,通过RS485或者RS422总线接口输出,可兼容BISS、SSI等串行通信协议,并能在转速达20000转/分钟及以上的条件下测定绝对位置,可广泛应用于数控机床、机器人、电梯和工业自动化等领域。

[0088] 以上所述仅为本发明的较佳实施例之一而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

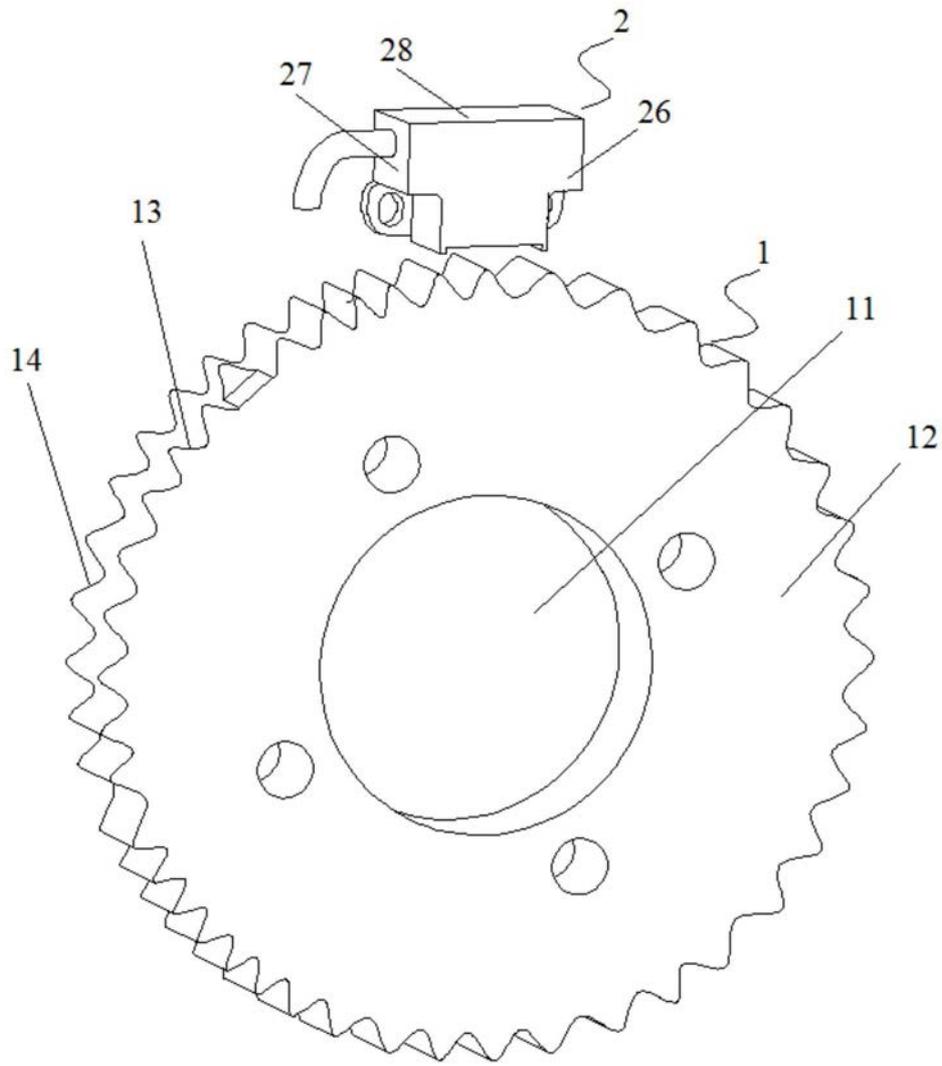


图1

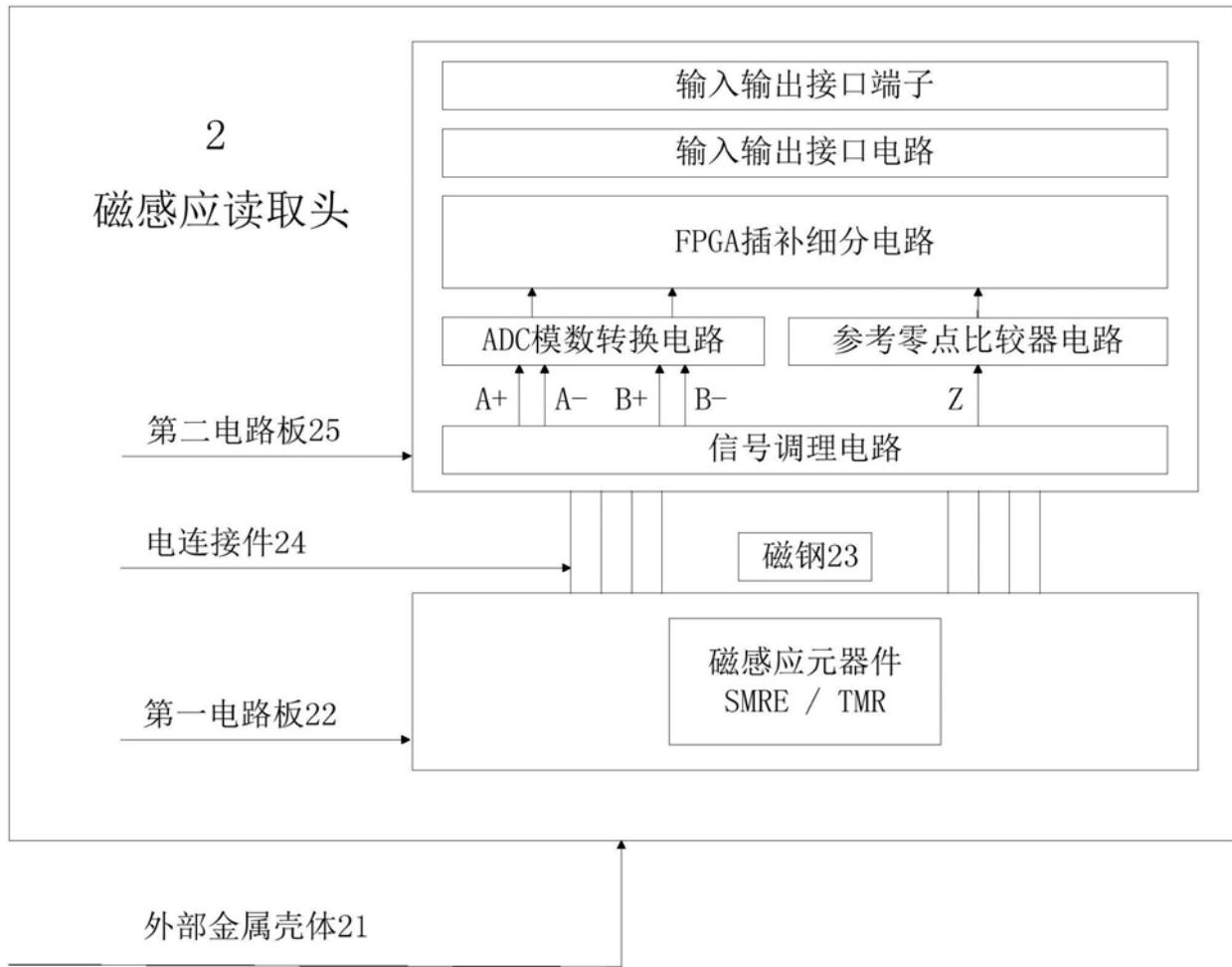


图2

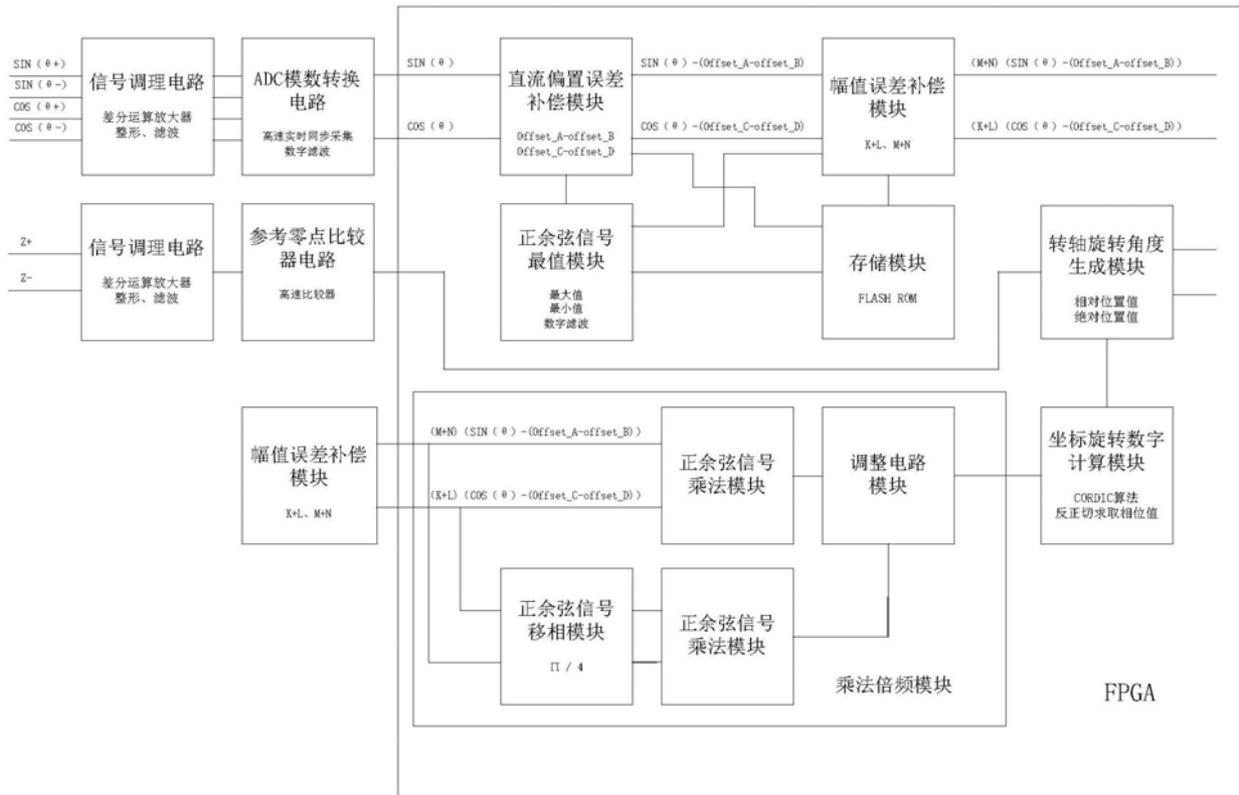


图3

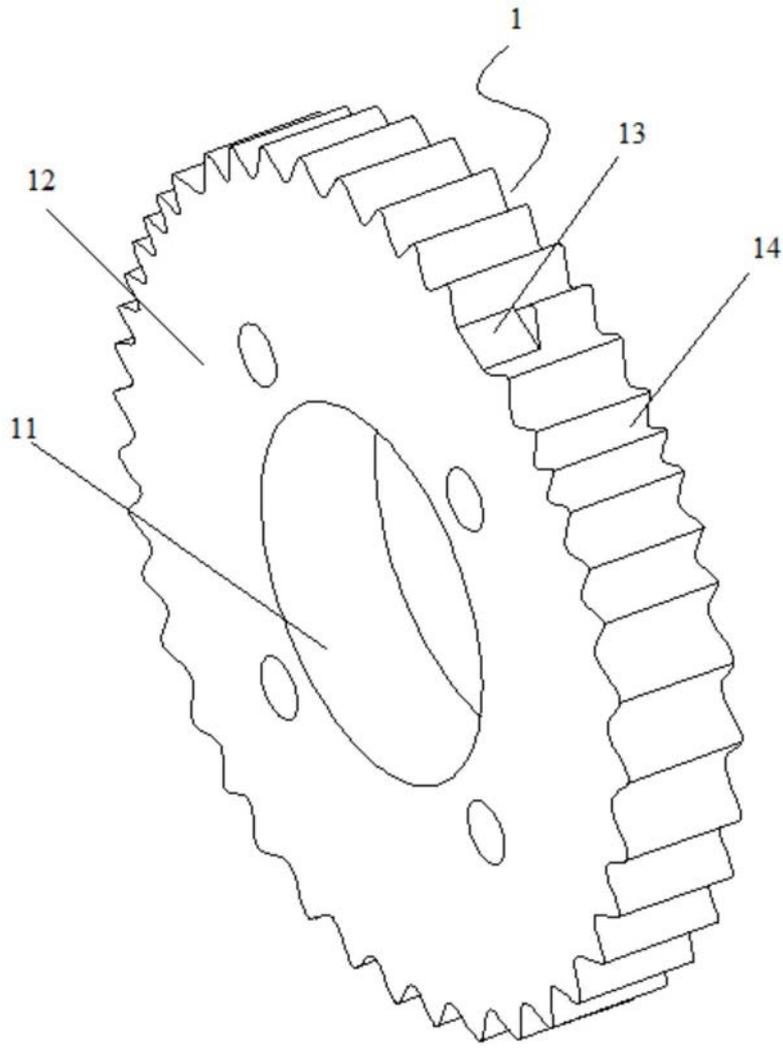


图4A

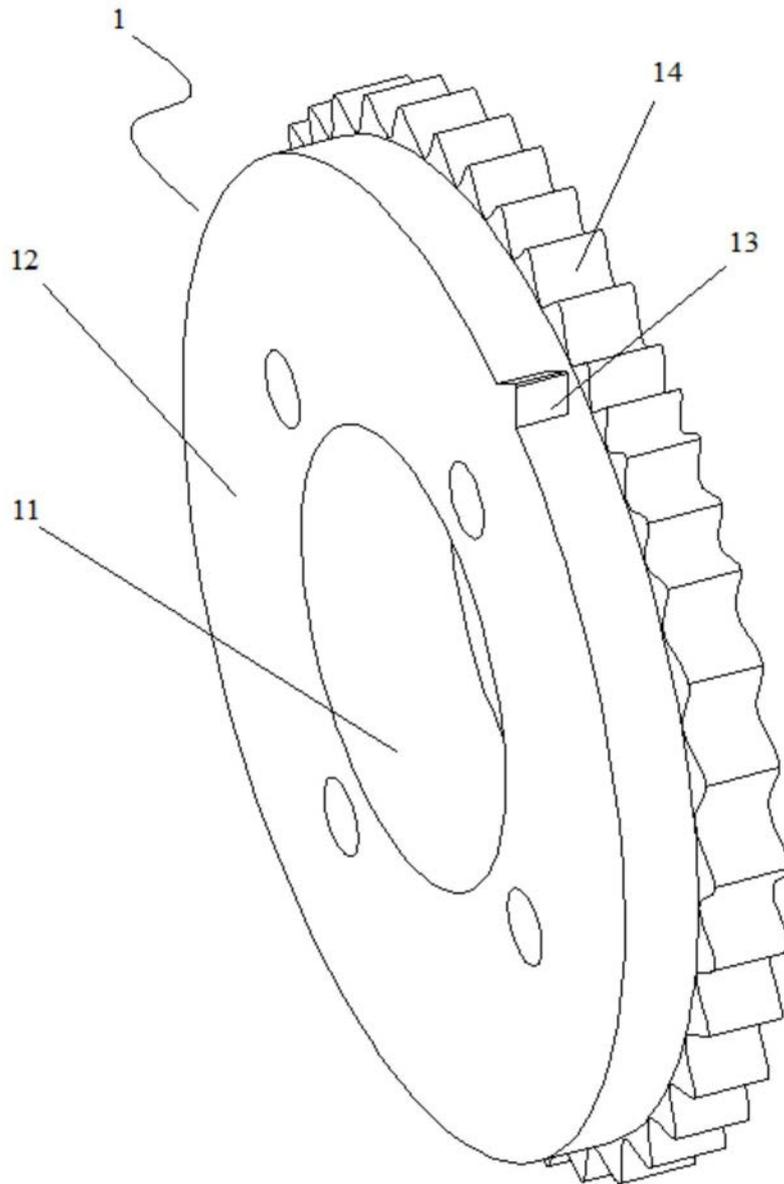


图4B

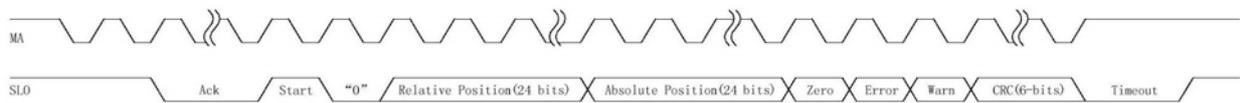


图5