



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113965119 A

(43) 申请公布日 2022. 01. 21

(21) 申请号 202111178315.1

(22) 申请日 2021.10.09

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 杨晨 席嘉蔚 王佳兴 杨尧尧

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 崔方方

(51) Int. Cl.

H02P 7/00 (2016.01)

H04W 4/38 (2018.01)

H04W 4/80 (2018.01)

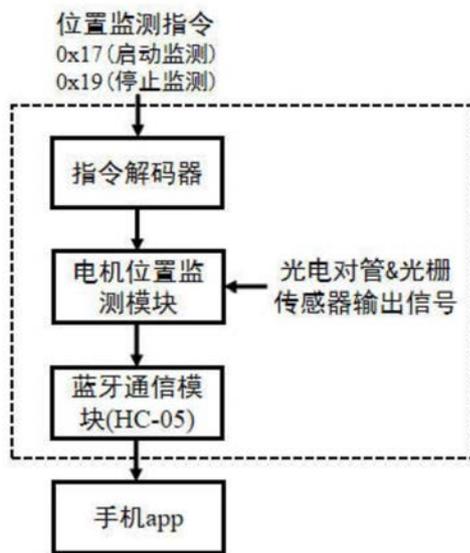
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统

(57) 摘要

本发明提出了一种基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,采用软硬件结合的方式进行开发,硬件部分采用Xilinx Zynq系列的FPGA开发板作为主控芯片,采用光电对管、光栅模块作为硬件外设来监测直流电机的实施运转状态信息,并开发了一套针对于电机控制的自定义指令集及相应的指令解码器,另外基于安卓系统开发了一款app模块来实现通过指令的方式对电机运转进行控制及监测电机实时的角度位置信息。相较于其他的直流电机角度定位系统,本发明所提出的设计具有精度高,成本低,更加高效和便捷等特点。



1. 基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,其特征在于,包括:主控芯片、光电对管模块、光栅模块、电机控制功能指令集及解码器;

主控芯片采用了Xilinx Zynq系列的FPGA开发板,负责控制光电对管模块以及光栅模块的工作并采集两模块的信息加以处理,光电对管模块和光栅模块都通过主控芯片进行供电,并将采集到的电机运转信息传输回主控芯片当中进行进一步的处理,电机控制功能指令集则定义在主控芯片当中,接收来自app模块的控制指令并结合指令集解码器模块对接收到的指令进行解码。

2. 根据权利要求1所述的基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,其特征在于,主控芯片采用Xilinx Zynq系列的FPGA开发板作为主控芯片。

3. 根据权利要求1所述的基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,其特征在于,主控芯片一方面接收硬件外设传回的信息进行处理,另一方面接收配套的基于蓝牙通信开发的安卓app模块发送的用户指令,将计算得到的电机角度定位结果再通过蓝牙发送给app模块进行监测。

4. 根据权利要求1所述的基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,其特征在于,光电对管模块的具体工作过程如下:在电机刻度盘的0度,90度,180度和270度位置处分别安装了用于位置精确标定的光电对管模块,当电机指针经过四个位置的光电对管中央时,相应的光电对管模块会输出有效的高电平,此时输出位置数据为相应的标定度数。

5. 根据权利要求1所述的基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,其特征在于,光栅模块的具体工作过程如下:当电机不在四个标定位置上时,光栅模块根据电机指针扫过的光栅个数进行计数,由于采用的光栅模块的光栅个数是确定的,记为 T_n ,那么电机指针的实时位置 P_n 也就能够根据扫过的光栅个数,即光栅模块的上升沿个数 N 计算出来了:

$$P_n = \frac{360}{T_n} * N。$$

6. 根据权利要求1所述的基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,其特征在于,电机控制功能指令集及解码器整合了直流电机控制常见的控制功能,为每一项功能定义了一条指令数据,通过指令的发送即可实现对于直流电机相应功能的控制,指令集解码器采用状态机的设计来实现对于给定指令数据的解码工作,根据解码后的结果进入相应的功能处理模块再进行进一步的处理。

基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统

技术领域

[0001] 本发明属于电机智能化控制技术领域,具体涉及一种基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统。

背景技术

[0002] FPGA自推出至今,已经取得了惊人的发展,其解决了电子系统小型化、低功耗、高可靠性等问题,而且因为其开发周期短、开发软件投入少、芯片价格不断降低,FPGA越来越多地取代了ASIC的市场,特别是对小批量、多品种的产品需求,使FPGA成为首选。

[0003] 目前,FPGA的主要发展动向是:随着大规模现场可编程逻辑器件的发展,系统设计进入“片上可编程系统”(SOPC)阶段;芯片朝着高密度、低电压、低功耗方向挺进;国际各大公司都在积极扩充其IP库,以优化的资源更好的满足用户的需求,扩大市场;特别是引人注目的所谓FPGA动态可重构技术的开拓,将推动数字系统设计观念的转变。

[0004] 现代工业生产中,电动机是主要的控制执行部件,伴随着电子技术的高度发展,促使直流电机调速逐步由模拟化向数字化转变,特别是运动控制芯片的应用,使直流电机调速技术又进入到一个新的阶段,智能化、高可靠性已成为它发展的趋势。直流电机调速基本原理是比较简单的(相对于交流电机),只要改变电机的电压就可以改变转速了。改变电压的方法很多,最常见的一种PWM脉宽调制,调节电机的输入占空比就可以控制电机的平均电压,控制转速。

[0005] 传统的控制系统采用模拟元件,虽在一定程度上满足了生产要求,但是因为元件容易老化和在使用中易受外界干扰影响,并且线路复杂、通用性差,控制效果受到器件性能、温度等因素的影响,故系统的运行可靠性及准确性得不到保证,甚至出现事故。

[0006] 目前,直流电动机调速系统数字化已经走向实用化,伴随着电子技术的高度发展,促使直流电机调速逐步从模拟化向数字化转变,特别是单片机技术的应用,使直流电机调速技术又进入到一个新的阶段,智能化、高可靠性已成为它发展的趋势。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供了一种基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统。

[0008] 本发明采用如下技术方案来实现的:

[0009] 基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,包括:主控芯片、光电对管模块、光栅模块、电机控制功能指令集及解码器;

[0010] 主控芯片采用了Xilinx Zynq系列的FPGA开发板,负责控制光电对管模块以及光栅模块的工作并采集两模块的信息加以处理,光电对管模块和光栅模块都通过主控芯片进行供电,并将采集到的电机运转信息传输回主控芯片当中进行进一步的处理,电机控制功能指令集则定义在主控芯片当中,接收来自app模块的控制指令并结合指令集解码器模块对接收到的指令进行解码。

[0011] 本发明进一步的改进在于,主控芯片采用Xilinx Zynq系列的FPGA开发板作为主控芯片。

[0012] 本发明进一步的改进在于,主控芯片一方面接收硬件外设传回的信息进行处理,另一方面接收配套的基于蓝牙通信开发的安卓app模块发送的用户指令,将计算得到的电机角度定位结果再通过蓝牙发送给app模块进行监测。

[0013] 本发明进一步的改进在于,光电对管模块的具体工作过程如下:在电机刻度盘的0度,90度,180度和270度位置处分别安装了用于位置精确标定的光电对管模块,当电机指针经过四个位置的光电对管中央时,相应的光电对管模块会输出有效的高电平,此时输出位置数据为相应的标定度数。

[0014] 本发明进一步的改进在于,光栅模块的具体工作过程如下:当电机不在四个标定位置上时,光栅模块根据电机指针扫过的光栅个数进行计数,由于采用的光栅模块的光栅个数是确定的,记为 T_n ,那么电机指针的实时位置 P_n 也就能够根据扫过的光栅个数,即光栅模块的上升沿个数 N 计算出来了:

$$[0015] \quad P_n = \frac{360}{T_n} * N。$$

[0016] 本发明进一步的改进在于,电机控制功能指令集及解码器整合了直流电机控制常见的控制功能,为每一项功能定义了一条指令数据,通过指令的发送即可实现对于直流电机相应功能的控制,指令集解码器采用状态机的设计来实现对于给定指令数据的解码工作,根据解码后的结果进入相应的功能处理模块再进行进一步的处理。

[0017] 本发明至少具有如下有益的技术效果:

[0018] 本发明提供的基于FPGA和自定义指令集实现直流电机实时角度定位的系统,通过软硬件协同开发的方式设计了一种用于监测直流电机实时角度位置的完整系统,通过自定义的指令集设计了完备的电机控制指令并有与指令集相配套的解码器来完成对接收到指令信息的解码过程。整个系统由硬件部分和app软件部分构成,如图1,硬件部分以Xilinx Zynq系列的FPGA开发板为主控芯片,外围搭载了光电对管及光栅模块作为外设,根据app部分发送的指令解码之后采集直流电机的实时运转状态信息并加以处理,计算出电机实时运转角度位置信息并通过蓝牙发送回app端进行显示。App软件部分可向硬件部分发送相应的电机实时角度位置信息监测指令,并接收硬件部分计算的位置信息加以显示,达到对于电机角度位置实时监测的目的和功能。

附图说明

[0019] 图1展示了直流电机角度位置实时监测流程;

[0020] 图2展示了直流电机完整控制功能指令集;

[0021] 图3展示了指令解码器模块硬件结构图;

[0022] 图4展示了指令解码器模块内部硬件结构图;

[0023] 图5展示了电机位置监测模块图;

[0024] 图6展示了电机位置监测模块内部结构图。

具体实施方式

[0025] 下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图中显示了本公开的示例性实施例,然而应当理解,可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反,提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开,并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0026] 本发明是基于FPGA设计了一种通过专用指令集来完成直流电机实时定位的电路结构。

[0027] 主要特点:

[0028] 1、指令集的设计大体上包含了直流电机控制相关的各项功能,每一项功能对应一条具体的指令,并且指令数据可根据实际需求进行修改和调整,可重构能力较强,在本发明中重点讨论关于直流电机实时定位的功能模块。

[0029] 2、在接收到指令数据之后,会进入解码器进行指令解码过程,最终根据解码的结果进入不同的功能模块进行进一步的处理,根据处理结果来控制直流电机完成相应功能的运转。

[0030] 3、设计了一款基于安卓系统的app模块来完成通过蓝牙通信接收和监测硬件电路反馈的电机实时运转位置信息。

[0031] 主要优点:

[0032] 1、使用FPGA作为电机主控芯片进行设计,能够是的系统更加集成,降低了系统总成本,同时,在设计能够便捷的进行重用和功能更新。

[0033] 目前大多数工业电机控制采用的是基于MCU或DSP平台的PWM算法,而这一类平台的设计存在着能效不高和时延较长等问题。虽说基于MCU和DSP平台的电机控制解决方案有着低成本的优势,但基于FPGA平台的电机控制方案可将电机控制的时延做得更小和更精准,从而将电机的能效做得更高,使电机设备的附加值或差异化优势就更大。

[0034] 2、功能指令集和解码器的设计能够让功能的处理和执行过程更加有序,更加高效,同时,指令集的设计也能够为不同功能的并行执行提供一种较好的解决方式。

[0035] 3、常规的电机位置监测技术主要通过安装在电机内部的霍尔编码器模块来完成计数,这样的设计会导致监测的精度随着电机寿命而逐渐降低,同时由于编码器模块在电机内部安装,给更换的工作带来一定的困难,而本发明提出的设计方案可以根据实际需求选择不同光栅数量的光栅模块,精度可调,同时整体模块安装在电机外部,方便进行修正和调节。

[0036] 本发明提出的一种通过用指令集来完成直流电机实时定位的电路结构如图1。

[0037] 图1中通过设计的专用指令集向硬件电路部分发送启动电机位置监测功能指令数据,之后硬件部分在接收到指令数据后通过与指令集配套的解码器进行解码,根据解码的结果进入相应的直流电机位置功能处理模块中进行进一步的处理,最终计算出直流电机的实时位置信息,再通过蓝牙通信的方式将信息数据发送出来进行观测,在本发明中,基于安卓系统设计了一款app模块来接收和监测电机的实时位置信息,当发送停止电机位置监测功能指令数据后,硬件电路停止计算和发送信息的过程。

[0038] 提出的面向直流电机控制的功能指令集如图2,每一项功能对应一条指令数据。

[0039] 指令集的设计使得对硬件功能模块的控制可以通过无线通信方式,如蓝牙通信、串口通信、WiFi通信等方式,向硬件部分发送相应功能的控制指令来完成对直流电机的控制,特别的,对于本发明提到的直流电机实时定位功能,对应的启动监测和停止监测的功能指令数据分别为0x17和0x19,并且在功能测试时采用蓝牙通信作为通信方式,硬件结构中采用了HC-05型号的蓝牙模块来接收测试的app模块发送的指令数据。

[0040] 提出的与指令集配套的解码器模块的硬件结构如图3,负责解码指令数据。

[0041] 解码器采用状态机的设计来实现对于给定指令数据的解码工作,根据解码后的结果进入相应的功能处理模块再进行进一步的处理。在本申请中,主要关注对于直流电机位置监测功能模块。

[0042] 解码器的硬件设计结构主要在always块中通过case语句对接收到的指令数据进行判断,之后再生成进一步的功能处理模块数据信息并进入相应的功能模块进行进一步的处理。图3中所使用的特定功能输入输出信号说明如下:

[0043] 1、instr[7:0]信号:接收到的指令集功能数据;

[0044] 2、Rx_done信号:串口通信数据接收完成信号;

[0045] 3、function[3:0]信号:用于具体功能处理模块的使能与否;

[0046] 4、Rx_done2和Rx_done3:用于和具体功能模块进行信号同步;

[0047] 图4给出了解码器模块内部的硬件结构图,当硬件部分接收到发送的电机控制指令instr[7:0]后,会进入解码器模块根据定义好的指令集来对指令进行解码,在这里除了指令集中定义的角度控制指令无需解码,直接在角度控制功能模块中进行处理之外,其余的电机控制指令都有对应的解码过程。

[0048] 在实际设计时,采用case语句来对接收到的指令数据进行判断,根据其具体的数值来完成对function信号、Rx_done2和Rx_done3信号进行赋值,其中,对function信号的判断和处理方式具体如下:

[0049] 1) function[3:0]='d2时:启动对于电机挡位功能模块的使能;

[0050] 2) function[3:0]='d1时:启动对于电机复位功能模块的使能;

[0051] 3) function[3:0]=function[3:0]+8时:启动对于电机位置监测功能模块的使能;

[0052] 4) function[3:0]='d4时:启动对于电机角度控制功能模块的使能;

[0053] 5) function[3:0]=function[3:0]时:默认保持对于之前功能模块的使能状态;

[0054] 对于Rx_done2和Rx_done3信号而言,只有当指令信号为8'd21和8'd19时,才会利用Rx_done信号寄存一拍后赋值给这两个同步信号,用于其他功能模块进行信号同步。

[0055] 提出的电机位置监测功能模块的电路结构如图5和图6,负责控制红外对管模块和光栅模块的工作并根据传感器采集到的信息计算出直流电机的实时位置信息,最后将电机位置数据通过无线通信方式发送出去进行监测。

[0056] 图6给出了电机位置监测功能模块内部硬件结构图,图5中所使用的输入输出信号说明如下:

[0057] 1、hwdg[3:0]信号:每一位分别表示安装在电机0度,90度,180度和270度四个位置上的光电对管的输出信号;

[0058] 2、Raster信号:表示光栅模块的输出信号;

[0059] 3、hwdg_out信号:表示光栅信号的上升沿;

[0060] 4、Posit_data信号:电机实时角度位置输出信号;

[0061] 本发明提到,在0度,90度,180度和270度位置处分别安装了用于位置精确标定的光电对管模块,当电机指针经过四个位置的光电对管中央时,相应的光电对管模块会输出有效的高电平,对应为hwdg信号的具体位上,此时输出位置数据为相应的标定度数。当电机不在四个标定位置上时,光栅模块会根据电机指针扫过的光栅个数进行计数,由于采用的光栅模块的光栅个数是确定的,记为 T_n ,那么电机指针的实时位置 P_n 也就可以根据扫过的光栅个数,即光栅模块的上升沿个数 N 计算出来了:

$$[0062] \quad P_n = \frac{360}{T_n} * N$$

[0063] 特别的,由于某些电机工艺或制作因素导致电机在旋转一圈的过程中各个部分存在着阻力不均的情况,因此会导致如果只靠光栅计数的方式来给定电机实时位置可能存在一定的误差,为了弥补由于客观因素导致的误差,本发明在0度,90度,180度和270度位置上设置了光电对管模块来对实时位置数据进行修正,这样电机在旋转一圈的过程中会有四次对于角度信息的修正,能够让位置信息更加精确。

[0064] 【与现有方法的性能对比】

	定位方法	定位精度/度
[0065]	本发明方法	1.8
	基于电机转子定位方法	2

[0066] 表格中提到的基于电机转子的直流电机定位方法的基本原理和步骤如下:

[0067] 一、确定电机定子绕组的空间位置;

[0068] 二、给电机定子的A、B两相绕组通直流电,所述给电机定子的A、B两相绕组通直流电的电流为电机的额定电流 $1A$;A相和B相绕组产生的合成磁势在定子中形成一个方向固定的磁场;

[0069] 三、根据电机学原理,按60度相带法对绕组进行分相,将定子按圆周方向展开;A、B相绕组通电后,定子中形成的磁场沿圆周方向每间隔180度电角度方向交变一次;

[0070] 四、一线通直流电,电机中产生静转矩;

[0071] 五、转子在电磁转矩作用下会停止在多个稳定平衡位置中的一个,从而实现了电机转子的定位。

[0072] 相比较而言,本发明方法与上述基于电机转子定位方法采用了不同的方式来实现对于直流电机的角度精确定位。虽然本发明方法需要外接传感器,但考虑到直流电机存在使用寿命,随着使用时间的推移,存在电机旋转一圈范围内阻力不均、非匀速旋转的情况,这会导致上述方法由于是开环控制的方式在定位精度上存在一定的误差,且该误差无法修正,甚至于不断地进行累积,而本发明方法电机每旋转90度就会对当前位置信息进行一次修正,电机旋转一圈可修正四次,因此可达到较高的控制精度。

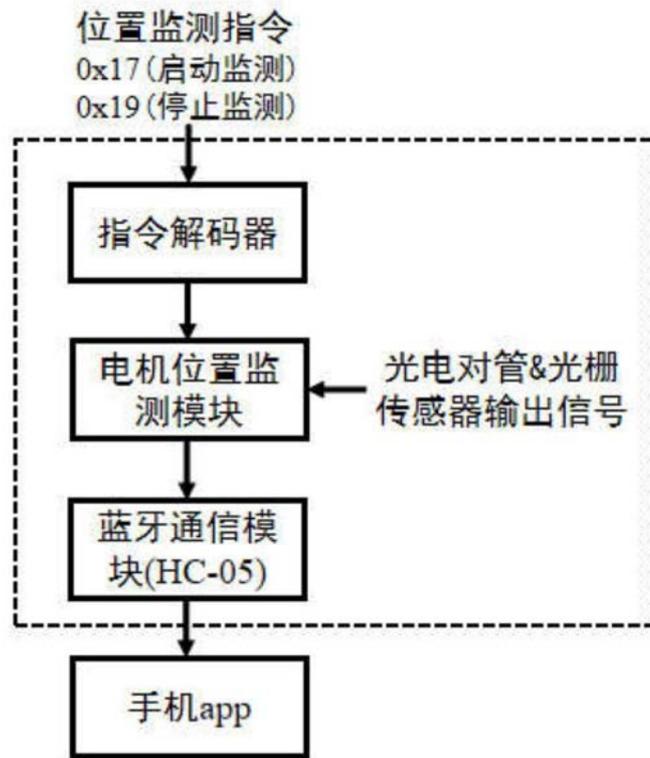


图1

指令数据	指令功能
0x03	启动
0x01	停止
0x15	复位
0x09	一档
0x0b	二档
0x0d	三档
0x0f	四档
0x11	五档
0x17	开始位置监测
0x19	停止位置监测
0x13	实时速度数据
0x05	正转
0x07	反转
其余任意数值	角度控制

图2

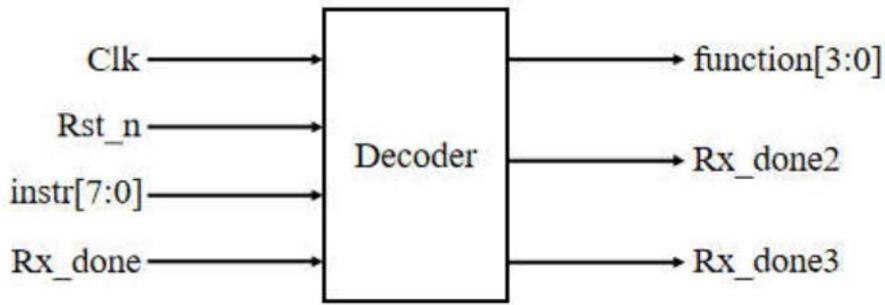


图3

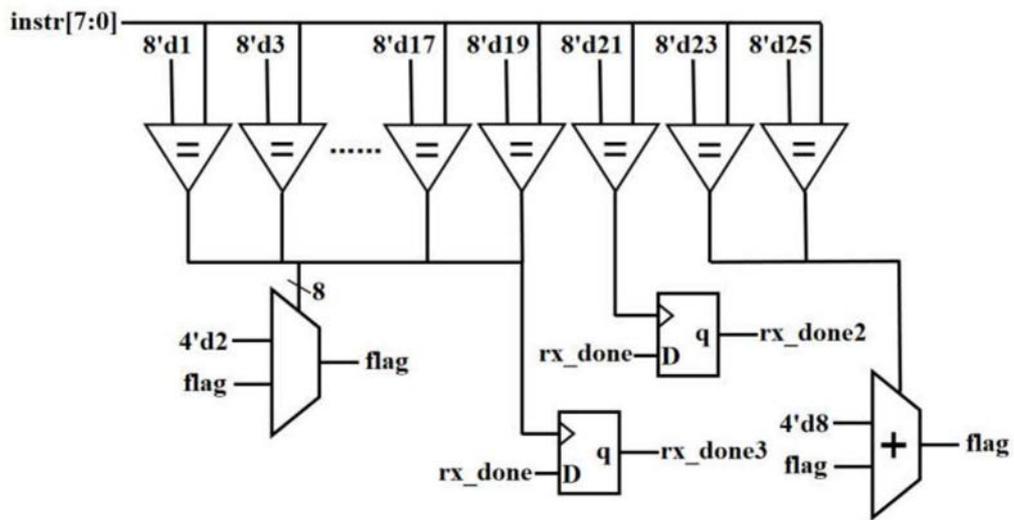


图4

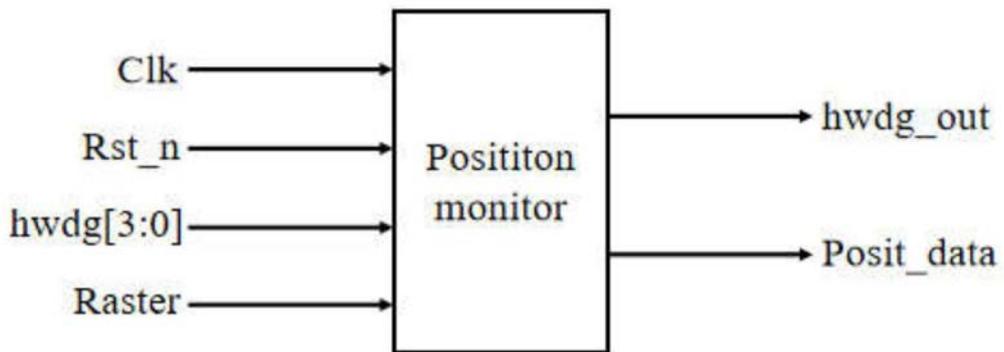


图5

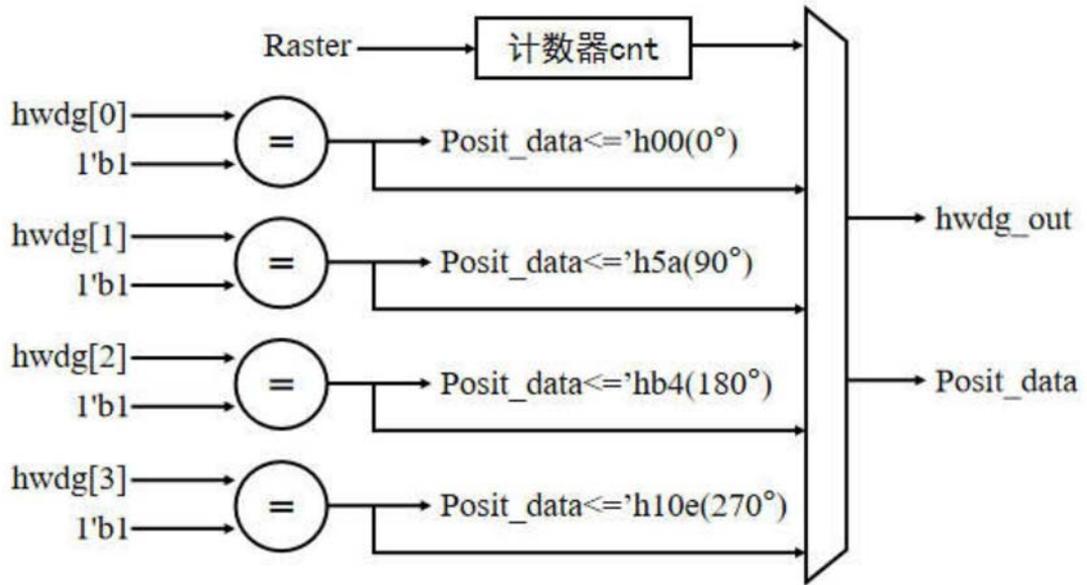


图6