



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102923189 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201210385460.1

(22)申请日 2012.10.11

(73)专利权人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72)发明人 何磊 宗长富 郑宏宇 张泽星 陈国迎 马煜乾 李春善 张为荣 李绍松

CN 102582681 A, 2012.07.18,

CN 1749081 A, 2006.03.22,

CN 102594231 A, 2012.07.18,

CN 101339096 A, 2009.01.07,

US 2003102181 A1, 2003.06.05,

JP 2004256008 A, 2004.09.16,

审查员 陈引

(51) Int. Cl.

B62D 6/00(2006.01)

B62D 5/04(2006.01)

B62D 113/00(2006.01)

B62D 119/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 102582681 A, 2012.07.18,

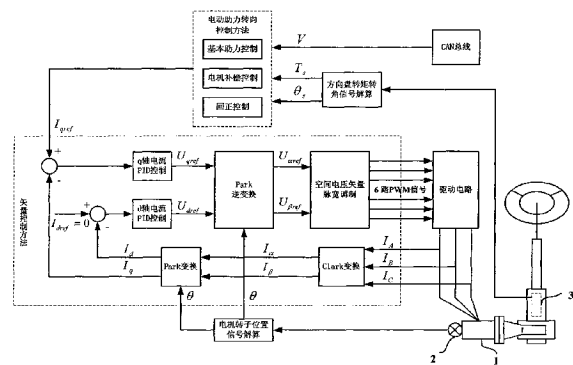
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54)发明名称

一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法

(57)摘要

本发明公开一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法。控制器部分构建了方向盘转矩和转角信号采集系统、电机转子位置信号采集系统、永磁同步电机驱动系统和CAN通讯系统。控制方法部分包括了电动助力转向控制方法、永磁同步电机控制方法、电机转子位置信号解算方法和方向盘转矩转角信号解算方法。本发明采用了新型的电机位置传感器和方向盘转矩转角传感器,通过对控制器和控制方法的合理架构实现了对基于永磁同步电机的电动助力转向系统的优良控制,使得电动助力转向系统更为可靠完善。



1. 一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器,其特征在于,该控制器具有主控芯片,所述控制器包括电机转子位置信号采集电路、方向盘转矩转角信号采集电路、永磁同步电机驱动电路和CAN通讯电路,电机转子位置信号和方向盘转矩转角信号都依次经过了RC滤波电路和由施密特触发器组成的两次反向电路接入主控芯片,驱动信号从主控发出后依次经过总线收发器74HC245、驱动芯片IR2130和驱动电路,其中高侧开关信号在经过驱动芯片后通过自举电路进行升压,电机相线上安装的两个电流传感器产生的电流信号经过RC滤波和运算放大电路,进入主控芯片,对永磁同步电机进行电流反馈控制,在CAN总线与主控芯片间加入一个CAN通讯收发器;在对基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器进行回正控制时,在不同的车速V下对回正电流的最大值和最小值进行限制;在SENT信号采集流程中将NibbleA赋值给NibbleB,在解算流程中将NibbleB赋值给NibbleC,由SENTA和SENTB解算出来的扭杆上下端的角度差相差不能超过 0.375° ,否则认为传感器工作异常。

2. 按照权利要求1所述的电动助力转向系统控制器,其特征在于,所述主控芯片为德州仪器公司生产的数字信号处理器TMS320F2812。

3. 一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制方法,其特征在于,对电机转子位置信号和方向盘转矩转角信号进行采集和解算,通过电动助力转向控制方法和永磁同步电机控制方法得到驱动信号,该控制方法包括了电动助力转向控制、永磁同步电机控制、电机转子位置信号解算和方向盘转矩转角信号解算四个部分;在SENT信号采集流程中将NibbleA赋值给NibbleB,在解算流程中将NibbleB赋值给NibbleC,由SENTA和SENTB解算出来的扭杆上下端的角度差相差不能超过 0.375° ,否则认为传感器工作异常。

4. 按照权利要求3所述的基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制方法,其特征在于,所述的电动助力转向控制包括了基本助力控制、电机补偿控制和回正控制,所述的基本助力控制采用了多点折线型基本助力曲线,通过车速信号将车速划分为多个不同区间,每个车速区间选取多个方向盘转矩对应电机基本助力电流的特征点,通过特征点相连而形成该车速区间的多点折线;所述电机补偿控制包括了摩擦补偿控制、阻尼补偿控制和惯量补偿控制三个部分;所述回正控制包括了回正判断和回正电流控制两个部分。

5. 按照权利要求3所述的基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制方法,其特征在于,所述的永磁同步电机控制方法采用了电机励磁方向电流等于零的矢量控制,并通过空间脉宽矢量调制方法和七段式方法产生开关器件的开关信号。

6. 按照权利要求3所述的基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制方法,其特征在于,所述永磁同步电机控制方法对三路换向霍尔信号和两路位置霍尔信号进行采集和解算,得出永磁同步电机转子的位置,其包括了四个部分:电机转子位置初始化转角的确定、电机转子绝对基础位置的确定、电机转子绝对位置的计算和电机转子绝对位置的校验。

7. 按照权利要求3所述的基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制方法,其特征在于,所述永磁同步电机控制方法对两路SENT信号和一路类PWM信号进行采集解算,得到方向盘转矩转角信息,其包括了SENT信号采集、SENT信号解算、类PWM信号采集和类PWM信号解算四个部分。

一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于车辆转向控制技术领域,特别涉及一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法。

背景技术

[0002] 电动助力转向系统这几年得到了快速的发展,整个系统性能越来越可靠完善。电动助力转向系统的发展包括了以下几个特点:第一,电动助力转向系统所采用的电机由有刷直流电机向永磁同步电机过渡,以解决由于有刷直流电机存在电刷和换向器而造成系统寿命短、维护困难等问题。第二,电动助力转向控制方法,由简单的直线型助力控制方法,向着可以更为优异的提高驾驶员手感和车辆操纵稳定性的控制方法发展。第三,产生了低成本、高精度、高可靠性的电机转子位置传感器。第四,方向盘转矩转角传感器向着非接触式、高精度、高抗干扰性的方向发展。这些新的设备和方法的应用可以极大的提高电动助力转向系统的性能和可靠性,不过同时造成了整个系统比较复杂,增加了设计难度。

发明内容

[0003] 针对上述电动助力转向系统的发展特点,本发明集成这些新的设备和方法,充分发挥各个设备和方法的优势,通过合理的设计,提供一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法。

[0004] 本发明的技术方案是这样实现的:

[0005] 本发明采用了基于永磁同步电机的电动助力转向系统作为控制对象。该系统中采用的永磁同步电机相对于有刷直流电机有结构简单、体积小、运行可靠、寿命长、功率密度大等优势,同时控制系统从软件到硬件上都比较复杂;该系统中电机转子位置传感器包含了三路换向霍尔信号和两路位置霍尔信号,在保证转子位置精度的前提下,明显降低了成本,非常适用于电动助力转向系统,并且推动了永磁同步电机在电动助力转向系统上的应用;该系统中方向盘转矩转角传感器,为非接触式感应位置传感器,输出两路以SENT协议为基础的转矩信号,输出一路类PWM信号的转角信号,该传感器有高精度、高分辨率、高温稳定性、抗干扰能力强、安装方便的特点。

[0006] 本发明针对所述电动助力转向系统,构建了基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法。本发明的控制方法包括了电动助力转向控制方法、永磁同步电机控制方法、电机转子位置信号解算方法和方向盘转矩转角信号解算方法四个部分。

[0007] 在控制器上,本专利以主控制芯片TMS320F2812为核心,构建了方向盘转矩转角信号采集电路、电机转子位置信号采集电路、永磁同步电机驱动电路和CAN通讯电路。

[0008] 在控制方法上,电动助力转向控制方法采用了多点折线基本助力控制方法、电机补偿控制方法和回正控制方法。多点折线基本助力控制方法助力曲线比较平滑,实现简单,便于修改和调试。电机补偿控制方法包括了摩擦补偿控制方法、阻尼补偿控制方法和惯量

补偿控制方法,减小或者抵消了由于转向系统加入电机和减速机构而产生的摩擦力、阻尼力和惯性力。回正控制方法可以改善车辆低速回正不足,高速回正超调现象,使车辆获得良好的转向回正性能。

[0009] 永磁同步电机控制方法采用了技术比较纯熟的矢量控制方法,通过坐标变换将以静止定子为基础的三相电流转换为以旋转转子为基础的两相电流,实现永磁体励磁方向的电流和与励磁方向垂直方向的电流的解耦。最后通过空间脉宽矢量调制方法和七段式方法产生各个开关器件的开关时间。

[0010] 电机转子位置信号解算方法,包括了电机转子位置初始化转角的确定、电机转子绝对基础位置的确定、电机转子绝对位置的计算和电机转子绝对位置的校验四个部分。

[0011] 方向盘转矩转角信号解算方法,包括了SENT信号采集、SENT信号解算、类PWM信号采集和类PWM信号解算四个部分。

附图说明

[0012] 下面结合附图对本发明作进一步的说明:

[0013] 图1是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的控制器结构示意图。

[0014] 图2是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的控制方法整体架构示意图。

[0015] 图3是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的电动助力转向控制方法示意图。

[0016] 图4是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的电动助力转向控制方法中多点折线基本助力曲线示意图。

[0017] 图5是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的永磁同步电机转子位置传感器信号示意图。

[0018] 图6是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的永磁同步电机转子位置初始值判定逻辑示意图。

[0019] 图7是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的绝对基础位置确定流程示意图。

[0020] 图8是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的转矩转角传感器SENT信号示意图。

[0021] 图9是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的转矩转角传感器类PWM信号示意图。

[0022] 图10是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的SENT信号采集流程示意图。

[0023] 图11是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的SENT信号解算流程示意图。

[0024] 图12是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制方法的类PWM信号采集流程示意图。

[0025] 图13是本发明所述的一种基于永磁同步电机的电动助力转向系统控制器及控制

方法的类PWM信号解算流程示意图。

[0026] 图1中:1.主控芯片TMS320F2812;2.总线收发器74HC245;3.驱动芯片IR2130;4.自举电路;5.三相全桥功率电路;6.永磁同步电机;7.电流传感器;8.电流信号RC滤波电路;9.电流信号运算放大电路;10.电机转子位置传感器;11.电机转子位置信号RC滤波电路;12.电机转子位置信号两次反向电路;13.方向盘转矩转角传感器;14.方向盘转矩转角信号RC滤波电路;15.方向盘转矩转角信号两次反向电路;16.CAN总线;17.CAN通讯收发器。

[0027] 图2中:1.永磁同步电机;2.电机转子位置传感器;3.方向盘转矩转角传感器。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明作详细的描述:

[0029] 图1是本发明的控制器结构示意图。本发明所采用的主控芯片为德州仪器公司生产的数字信号处理器TMS320F2812。本发明以TMS320F2812为核心设计了电机转子位置信号采集电路、方向盘转矩转角信号采集电路、永磁同步电机驱动电路和CAN通讯电路。

[0030] 电机转子位置信号和方向盘转矩转角信号都依次经过了RC滤波电路和由施密特触发器组成的两次反向电路,起到消除高频干扰、信号整形、将信号由5V转换为3.3V的作用。电机转子位置信号HALLa接入主控GPIOB0脚,HALLb接入主控GPIOB1脚,HALLc接入主控GPIOB2脚,QEP1接入主控QEP4脚,QEP2接入主控QEP5脚。转矩转角信号SENTA接入主控CAP1脚,SENTB接入主控CAP2脚,类PWM接入主控CAP3脚。

[0031] 永磁同步电机驱动电路中驱动信号首先经过总线收发器74HC245,起到将驱动信号由3.3V转换为5V、提高驱动信号负载能力、隔离驱动电路与主控电路的作用。然后三路高侧开关信号PWM1、PWM3、PWM5分别接入驱动芯片IR2130的HIN1、HIN2、HIN3,三路低侧开关信号PWM2、PWM4、PWM6分别接入驱动芯片IR2130的HIN4、HIN5、HIN6。驱动信号经过IR2130后,高侧开关信号需要进一步经过自举电路升压后,控制三相全桥功率电路驱动永磁同步电机运行。由于电机绕组为星形连接,三相电流和为零,所以只需采集两路相电流。从电机相线A、B上安装两个电流传感器。电流传感器发出的电流信号经过RC滤波和运算放大电路,起到滤除高频干扰和将5V信号转换为3V的作用。电流模拟信号进入主控芯片的ADINA1和ADINA2引脚。

[0032] CAN通讯电路将CAN总线的CAN_H和CAN_L连接到一个收发器上,然后接入主控芯片CANTXA和CANRXA引脚上。

[0033] 图2是本发明控制方法整体架构示意图。控制方法主要包括了四个部分:电动助力转向控制方法、永磁同步电机控制方法、电机转子位置信号解算方法和方向盘转矩转角信号解算方法,在结构上也对应四个模块:电动助力转向控制模块、永磁同步电机控制模块、电机转子位置信号解算模块和方向盘转矩转角信号解算模块。将采集解算得到的方向盘转矩转角信息和通过CAN总线得到的车速信息通过电动助力转向系统控制方法得到永磁同步电机q轴方向的目标电流。将这个永磁同步电机q轴方向目标电流、永磁同步电机三个相线的实际电流和采集解算得到的永磁同步电机转子位置信息一起输入到永磁同步电机控制方法中,输出驱动信号,然后通过驱动电路,最终实现控制电机输出所需要的助力矩。

[0034] 图3是本发明电动助力转向控制方法示意图。电动助力转向控制方法包括了三个部分:基本助力控制方法、电机补偿控制方法和回正控制方法,在结构上也对应基本助力

控制模块、电机补偿控制模块和回正控制模块。其中,基本助力控制方法产生电流的大小与方向盘转矩和车速相关,助力曲线确定要兼顾转向轻便性和操纵稳定性。电机补偿控制方法减小或者抵消由于转向系统加入电机和减速机构而产生的摩擦力、阻尼力和惯性力,改善电动助力转向系统动态响应效果。回正控制方法可以改善车辆低速回正不足,高速回正超调现象,使车辆获得良好的转向回正性能。基本助力控制电流 I_b ,电机补偿控制电流 I_c ,回正控制电流 I_r ,这三部分电流之和构成了电机q轴目标电流 I_{qref} 。

[0035] 参阅图4,本发明中基本助力控制方法采用了多点折线基本助力曲线。采用多点折线的优势在于可以逼近曲线型助力曲线的效果,同时实现简单,便于调试和修改。多点折线助力曲线实现的方法为,把车速信号 V 划分为第1段:0Km/h至10Km/h、第2段:10Km/h至20Km/h一直到第9段:80Km/h至90Km/h、第10段:大于90Km/h。每一段对应一条方向盘转矩对基本助力电流的多点折线。每一条多点折线上应首先确定9个特征点: $[T_{sn1}, I_{bn1}]$ 、 $[T_{sn2}, I_{bn2}]$ 、 \dots 、 $[T_{sn8}, I_{bn8}]$ 、 $[T_{sn9}, I_{bn9}]$ 。则多点折线可以表示为:

$$[0036] \quad I_b = \begin{cases} \frac{I_{bn2} - I_{bn1}}{T_{sn2} - T_{sn1}} (T_s - T_{sn1}) + I_{bn1} & T_{sn1} \leq T_s < T_{sn2} \\ \frac{I_{bn3} - I_{bn2}}{T_{sn3} - T_{sn2}} (T_s - T_{sn2}) + I_{bn2} & T_{sn2} \leq T_s < T_{sn3} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{I_{bn9} - I_{bn8}}{T_{sn9} - T_{sn8}} (T_s - T_{sn8}) + I_{bn8} & T_{sn8} \leq T_s < T_{sn9} \\ I_{bn9} & T_{sn9} \leq T_s \end{cases}$$

[0037] 参阅图3,电机补偿控制方法包括了摩擦补偿控制、阻尼补偿控制和惯量补偿控制。摩擦补偿控制电流 I_f ,阻尼补偿控制电流 I_d ,惯量补偿控制电流 I_i ,这三部分电流之和构成了电机补偿控制电流 I_c 。

[0038] 摩擦补偿控制是为了克服电机及其减速机构中的库伦摩擦力,其形式为: $I_f = K_f \text{sign}(\dot{\theta})$, K_f 是摩擦补偿系数, θ 是电机转。

[0039] 阻尼补偿控制是为了克服电机及其减速机构中的粘性阻力,其形式为: $I_d = K_d \dot{\theta}$, K_d 是摩擦补偿系数。

[0040] 惯量补偿控制是为了克服电机及其减速机构中的惯性力,其形式为: $I_i = K_i \ddot{\theta}$, K_i 是惯量补偿系数。

[0041] 参阅图3,回正控制方法中包括回正判断和回正电流控制两个部分。回正判断的逻辑是当方向盘转矩 T_s 的绝对值小于一个定值 T_{sr} ,并且方向盘转角 θ_s 的绝对值大于一个定值 θ_{sr} ,表明方向盘处于撒手回正的状态,此时进入回正电流控制。目标方向盘转角设定为 0° ,通过对方向盘转角 θ_s 进行PID控制,得到回正电流,并且在不同的车速 V 下对回正电流的最大值和最小值进行限制,从而改善方向盘低速回正不足,高速回正超调的现象。

[0042] 参阅图2,本发明中永磁同步电机控制采用了矢量控制的方法。电机三相电流 I_A 、 I_B 和 I_C 经过Clark变换和Park变换,转换为电机d轴方向实际电流 I_d 和q轴方向的实际电流 I_q 。电机d轴方向的目标电流 I_{dref} 设定为0,与电机d轴方向实际电流 I_d 相减后进入d轴电流PID控制模块。由电动助力转向控制方法得到的电机q轴方向的目标电流 I_{qref} ,与电机q轴方向的

实际电流 I_q 相减后进入q轴电流PID控制模块。这两个PID控制模块分别输出电机d轴方向目标电压 U_{dref} 和电机q轴方向目标电压 U_{qref} ,然后经过Park逆变换得到电机 α 轴方向目标电压 U_{aref} 和电机 β 轴方向目标电压 U_{bref} 。最后通过空间电压矢量脉宽调制方式和七段式的方法输出各个开关器件的占空比信号。在Park变换和Park逆变换中都用了电机转子位置信号 θ 。

[0043] Clark变换是指将电机三相绕组A、B、C组成的静止的ABC三相坐标系转换为静止的 $\alpha\beta$ 两相坐标系。 α 轴方向正对于电机A相绕组方向, β 轴方向沿绕组A相的方向逆时针旋转 90° 。专利中三相电流 I_A 、 I_B 和 I_C 转换为两相电流 I_α 和 I_β 的公式为:

$$[0044] \quad \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$

[0045] Park变换是指将电机静止的 $\alpha\beta$ 两相坐标系转换为随转子旋转的dq两相坐标系。d轴方向为永磁体励磁方向,q轴方向为永磁体励磁方向逆时针旋转 90° ,d轴方向与电机A相的方向的夹角为 θ 。专利中静止两相电流 I_α 和 I_β 转换为旋转两相电流 I_d 和 I_q 的公式为:

$$[0046] \quad \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}$$

[0047] Park逆变换是指将随转子旋转的dq两相坐标系转换为电机静止的 $\alpha\beta$ 两相坐标系。专利中旋转的两相目标电压 U_{dref} 和 U_{qref} 转换为静止的两相目标电压 U_{aref} 和 U_{bref} 的公式为:

$$[0048] \quad \begin{bmatrix} U_{aref} \\ U_{bref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{dref} \\ U_{qref} \end{bmatrix}$$

[0049] 图5是本发明中所采用永磁同步电机转子位置传感器的信号示意图。转子位置信号包括了三路换向霍尔信号HALLa、HALLb和HALLc和两路位置霍尔信号QEP1和QEP2。每路换向霍尔信号在 360° 范围内,有 180° 为高电平,另 180° 为低电平,根据三路换向霍尔信号的高低电平、上升下降沿和相互之间的关系可以判断电机转子所在位置区间和电机转子的绝对基础位置。只有在电机运行后才会发出两路正交的位置霍尔信号,每路位置霍尔信号在 360° 范围内共包含24个上升下降沿,两路共包含48个上升下降沿,即每次发生上升沿或下降沿表明电机转子变化了 7.5° 。

[0050] 本发明对电机转子位置信号解算包括了四个部分:电机转子位置初始化转角的确定、电机转子绝对基础位置的确定、电机转子绝对位置的计算和电机转子绝对位置的校验。

[0051] 图6是本发明电机转子位置信号解算中电机转子位置初始值判定逻辑示意图。通过三路换向霍尔信号的高低电平的关系可以确定电机转子所处的 60° 范围内的位置区间,以这个区间的中间位置定为电机转子的初始化转角,并驱动永磁同步电机启动。

[0052] 图7是本发明电机转子位置信号解算中电机转子绝对基础位置确定流程示意图。当永磁同步电机启动以后,根据图5,当检测到HALLa的上升下降沿,并且HALLb是高电平,确定电机转子绝对基础位置为 180° ,若HALLb是低电平,确定电机转子绝对基础位置为 0° ;当检测到HALLb的上升下降沿,并且HALLc是高电平,确定电机转子绝对基础位置为 300° ,若HALLc是低电平,确定电机转子绝对基础位置为 120° ;检测到HALLc的上升下降沿,并且HALLa是高电平,确定电机转子绝对基础位置为 60° ,若HALLa是低电平,确定电机转子绝对基础位置为 240° 。即通过检测三路换向霍尔信号的上升下降沿,可以确定电机转子绝对基

础位置,并初始化NUMBER值为ANGLE_BASE/7.5。

[0053] 当确定了电机转子绝对基础位置以后通过电机位置霍尔传感器发出的正交信号可以计算电机转子任意时刻的绝对位置。通过主控芯片可以采集到两路位置霍尔信号的上升沿和下降沿。设定计数变量NUMBER,当电机转子逆时针旋转使得两路位置霍尔信号发生上升或者下降沿的变化,则NUMBER加1;当电机转子顺时针旋转使得两路位置霍尔信号发生上升或者下降沿的变化,则NUMBER减1。所以通过检测两路换向霍尔信号的上升下降沿,可以确定永磁同步电机转子的绝对位置为NUMBER*7.5,精度为7.5°。

[0054] 在计算永磁同步电机转子绝对位置的同时,对永磁同步电机转子绝对位置进行校验。参阅图7,不断检测三路换向霍尔信号的上升下降沿来确定换向霍尔信号的上升下降沿发生时刻的电机转子的位置,如果与计算所得电机转子绝对位置相同,则证明计算所得电机转子绝对位置正确;否则用通过三路换向霍尔信号上升下降沿得到的电机转子位置代替计算所得永磁同步电机转子绝对位置。

[0055] 图8是本发明所采用转矩转角传感器SENT信号示意图。信号每一个Message周期时间长度为513微秒,包含1个同步段(Synchronization),8个Nibble段(Nibble)和1个暂停段(Pause)。其中8个Nibble段中,包含1个状态段(Nibble1),6个数据段(Nibble2-Nibble7),1个CRC校验段(Nibble8)。每个Nibble代表一个十六进制数,即四位的二进制数,它的时间长度是12到27个发送单元时钟周期,用来表示十六进制数的0到15。同步段的时间长度是56个发送单元的时钟周期。状态段为Nibble1,应表示为四位的二进制数,其低二位表示传感器工作是否正常,高二位保留。数据段里含6个Nibble,其中Nibble2、Nibble3和Nibble4表示Signal1,Nibble5、Nibble6和Nibble7表示Signal2。每个Signal为一个12位的二进制数,由3个Nibble组成,将其分为最重要、中等重要和最不重要三部分。对于Signal1,Nibble2为最高4位,Nibble3为中间4位,Nibble4为低4位。对于Signal2,Nibble7为最高4位,Nibble6为中间4位,Nibble5为低4位。CRC校验段为Nibble8,通过循环冗余的方式对数据段进行校验。暂停段用来补足时间使得每一帧Message达到其周期。这样的SENT信号共有两路,分别为SENTA和SENTB,每路都可以计算出扭杆上下端扭转的角度,这两路信号为冗余信号,可以进行相互校验。

[0056] 图9是本发明所采用转矩转角传感器类PWM信号示意图。类PWM信号的周期为6毫秒,高电平占整个周期的百分比为12.5%到87.5%,其代表的角度值为0°到296°。

[0057] 本发明对于方向盘转矩转角传感器信号的解算,包括了SENT信号采集、SENT信号解算、类PWM信号采集和类PWM信号解算四个部分。

[0058] 图10是本发明SENT信号采集流程示意图。SENT信号采集采用了触发主控芯片中断的方式。主控芯片检测SENT信号的下降沿,并记录下降沿的发生时刻,便触发中断,首先要计算出两次下降沿之间的时间间隔,若包含发送单元时钟周期是56个附近,就判定这一段为同步段并计算出实际的发送单元时钟周期。在判定出同步段之后,再次触发中断所代表SENT信号的区段便依次为Nibble1到Nibble8。通过Nibble1到Nibble8各个区段的时间长度除以发送单元时钟周期,并且取整后,得到了每个Nibble所含有发送单元时钟周期的数量,应该在12到27之间,代表了十六进制数0到15。

[0059] 图11是本发明SENT信号解算流程示意图。SENT信号解算时首先判断传感器是否工作正常,然后对SENT信号进行CRC校验,最后以Nibble2为高4位、Nibble3为中间四位、

Nibble4为低四位,组成一个12位二进制数Signal1,以Nibble7为高4位、Nibble6为中间四位、Nibble5为低四位,组成一个12位二进制数Signal2。通过Signal1和Signal2便可以计算出扭杆上下端的角度差。在SENT信号采集和解算流程示意图中,NibbleB是一个缓冲的数组,在SENT信号采集流程中将NibbleA赋值给NibbleB,在解算流程中将NibbleB赋值给NibbleC这样可以保证SENT信号采集流程和SENT信号解算流程相互不影响。由SENTA和SENTB解算出来的扭杆上下端的角度差,其相差不能超过 0.375° ,否则认为传感器工作异常。

[0060] 图12是本发明类PWM信号采集流程示意图。主控芯片在采集到类PWM信号的上升下降沿后,会记录其发生时刻,便触发中断,首先要计算出两次上升下降沿之间的时间间隔,然后读取此时类PWM信号电平的高低,若此时采集到的信号是低电平则所计算的时间间隔为高电平所持续的时间,否则为低电平所持续的时间。

[0061] 图13是本发明类PWM信号解算流程示意图。通过高电平占一个周期的百分比,将该值线性转换为 0° 到 296° 。在SENT信号中Signal1为扭杆方向盘端的位置信号,为 0° 到 40° ,由类PWM信号得到的值为 0° 到 296° ,可以通过游标算法解算出方向盘转角为 -740° 到 740° ,可以满足方向盘正负旋转两圈的角度范围。

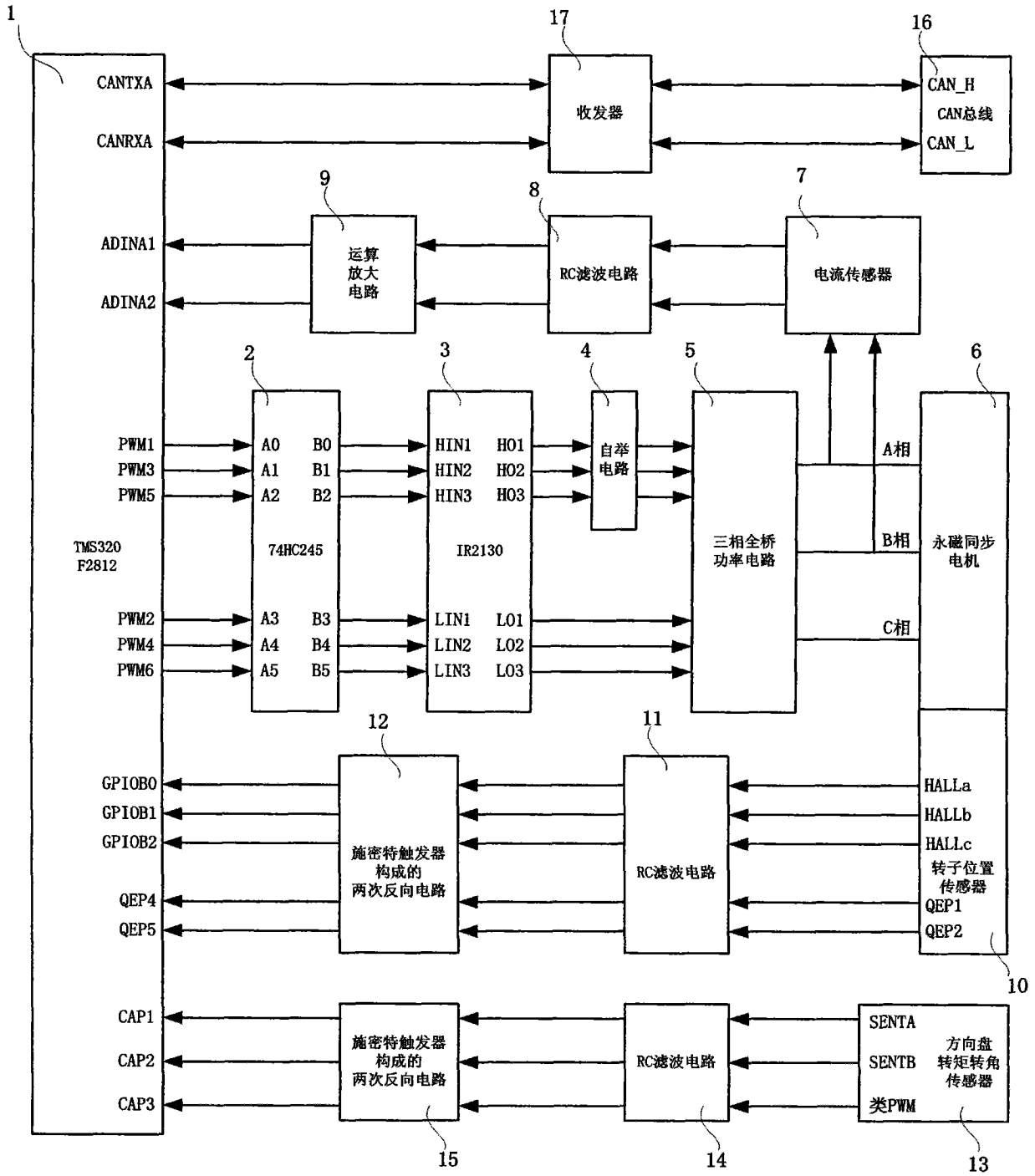


图1

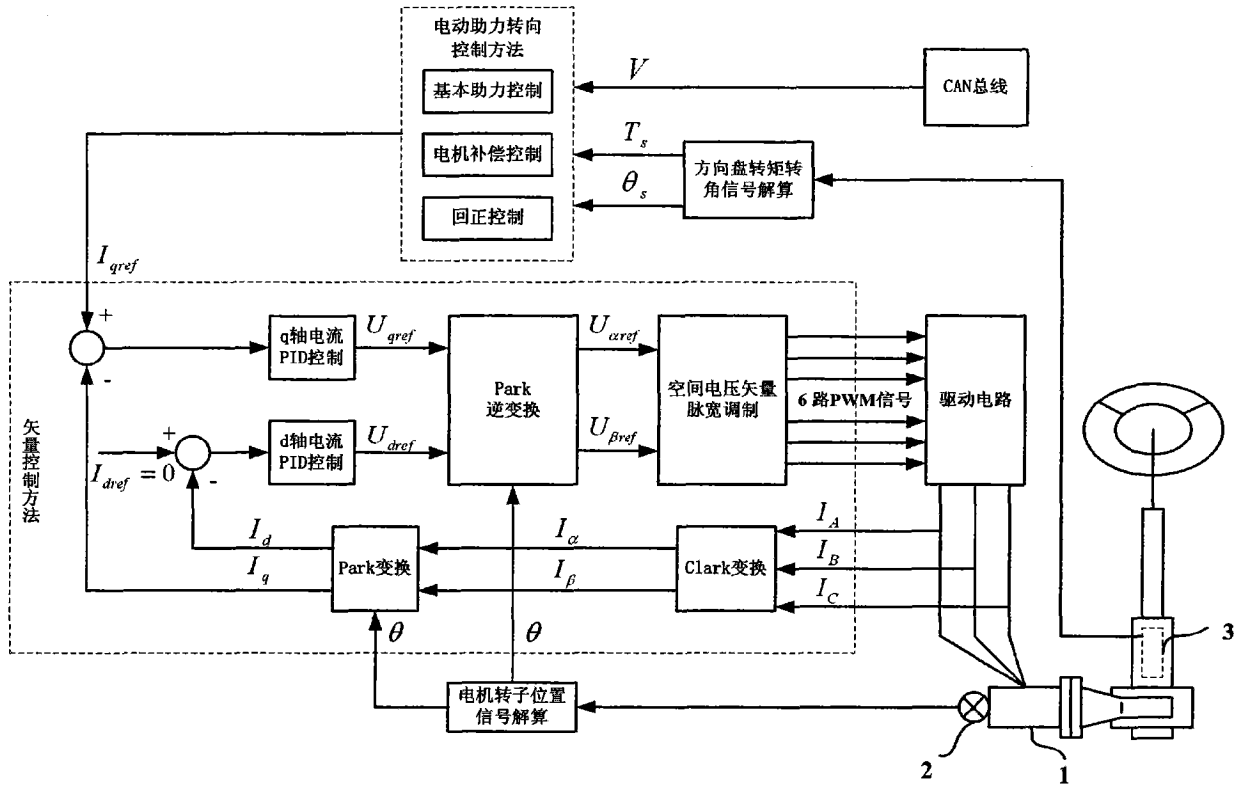


图2

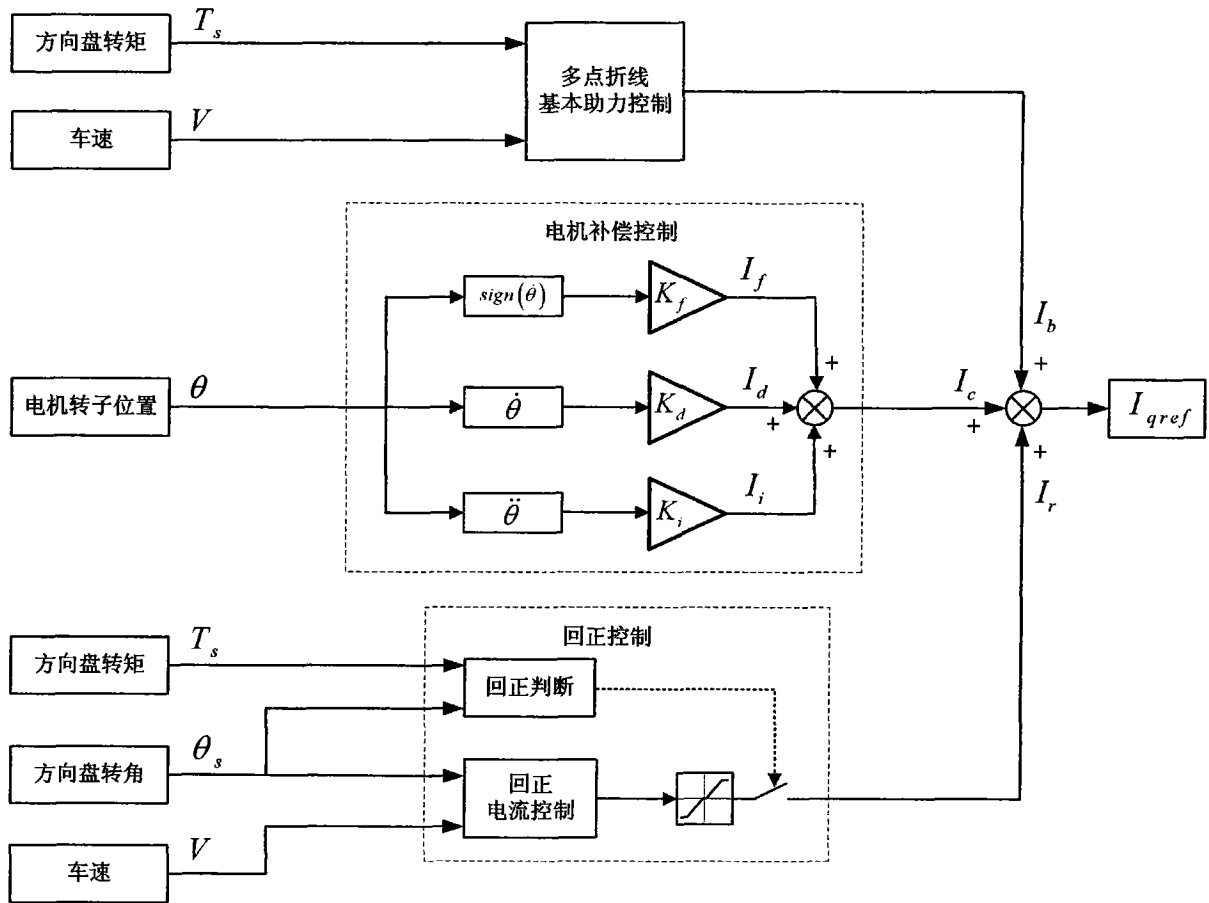


图3

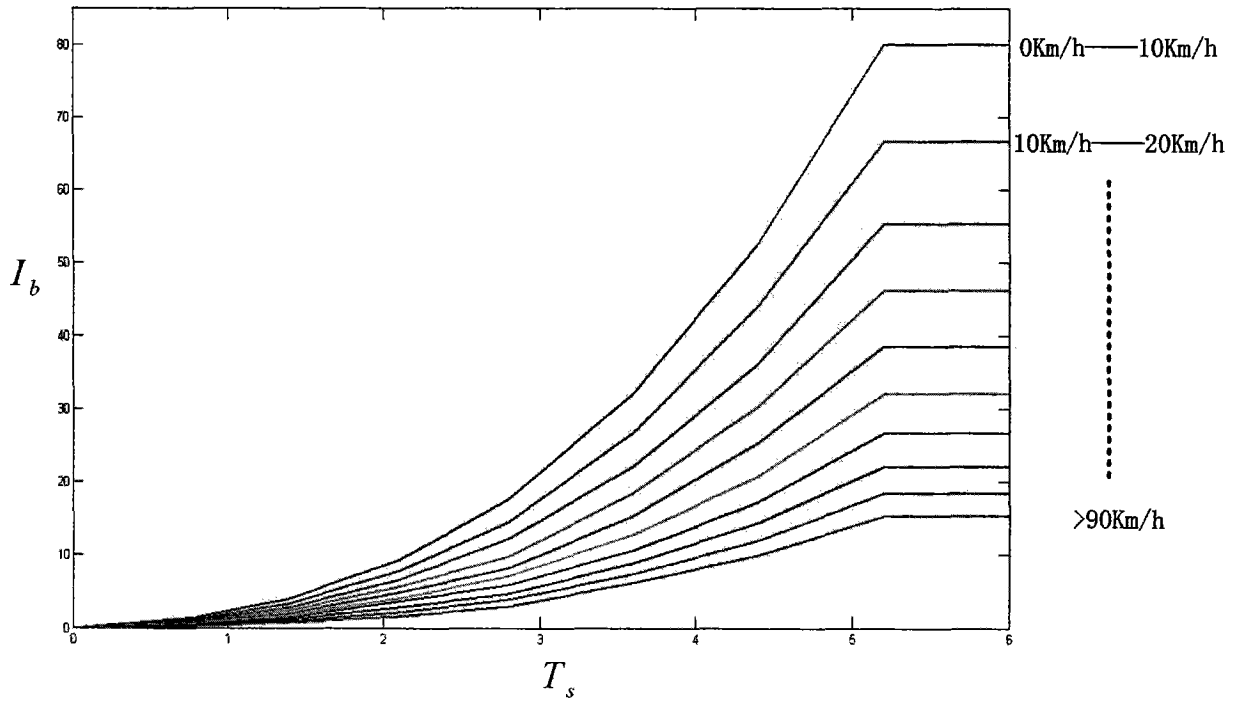


图4

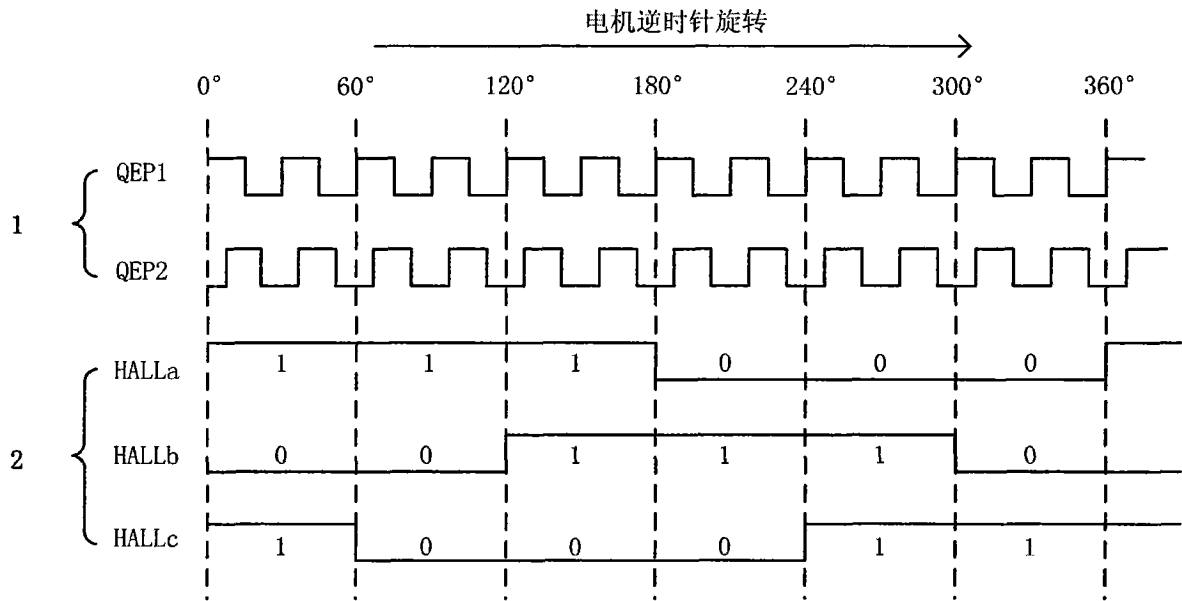


图5

电机转子位置初始值判定逻辑

HALLa	HALLb	HALLc	电机转子实际转角	初始化转角
1	0	1	0° ~60°	30°
1	0	0	60° ~120°	90°
1	1	0	120° ~180°	150°
0	1	0	180° ~240°	210°
0	1	1	240° ~300°	270°
0	0	1	300° ~360°	330°

图6

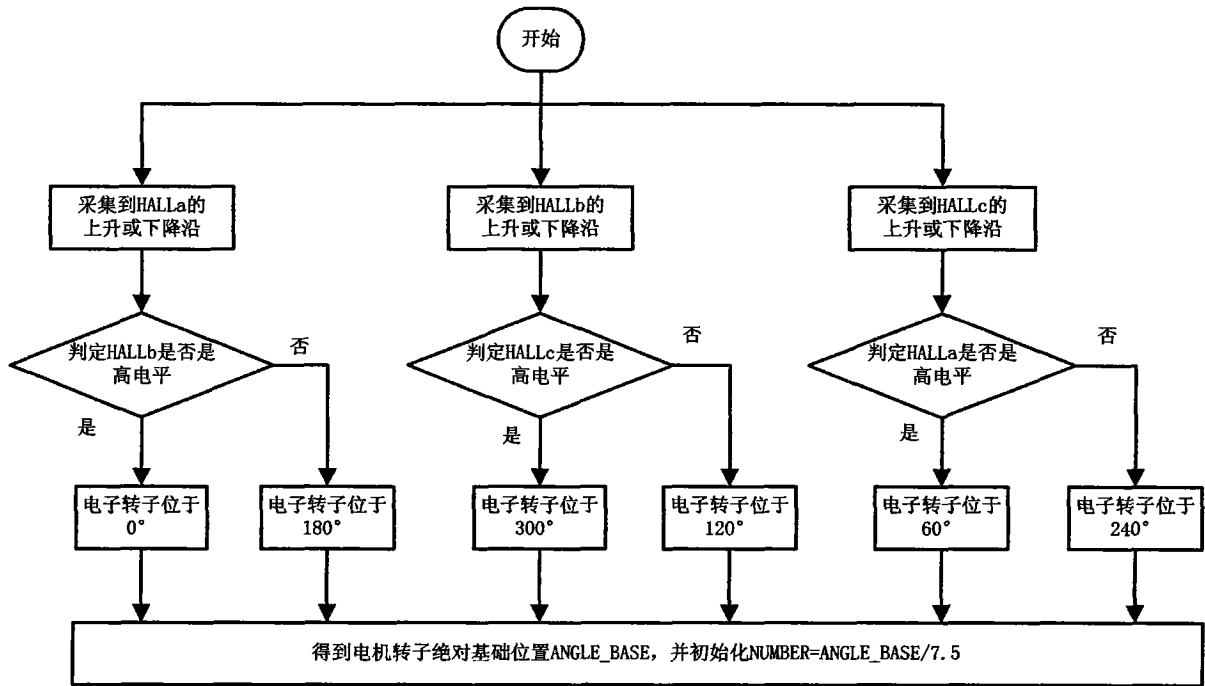


图7

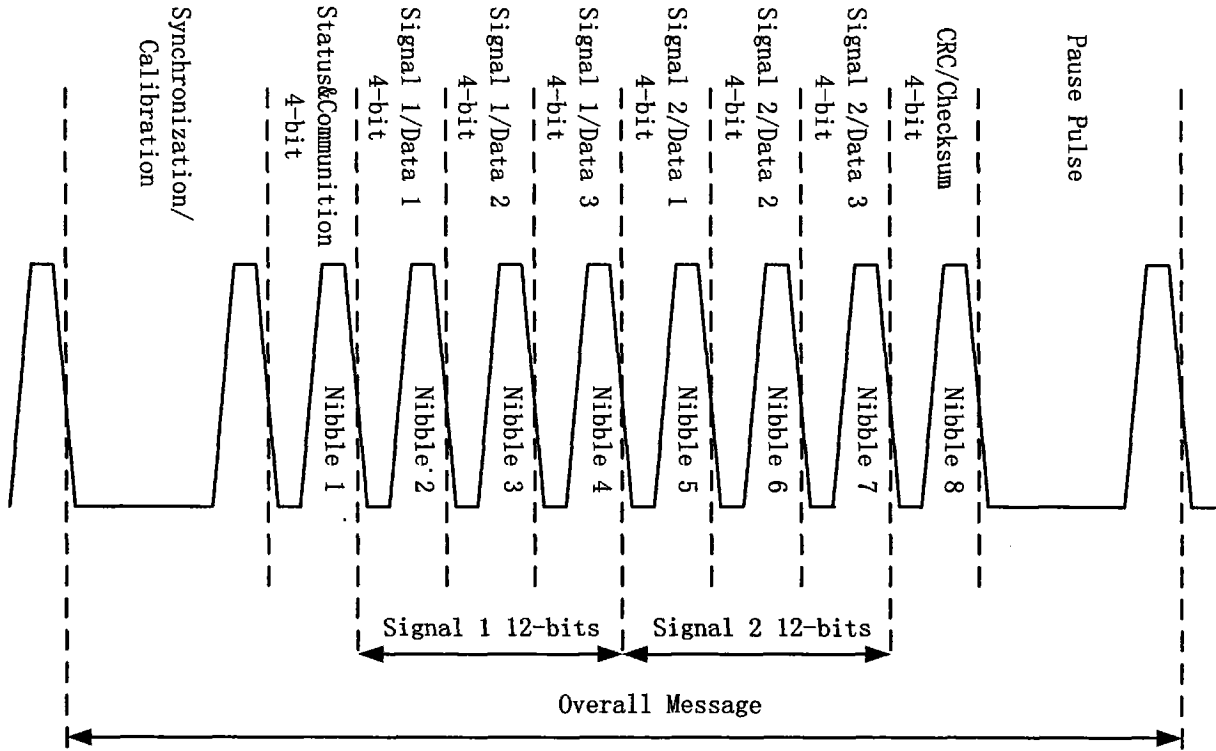


图8

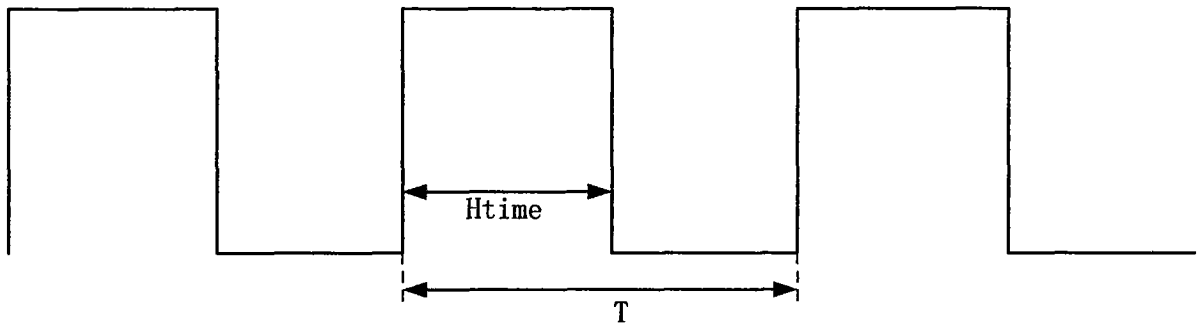


图9

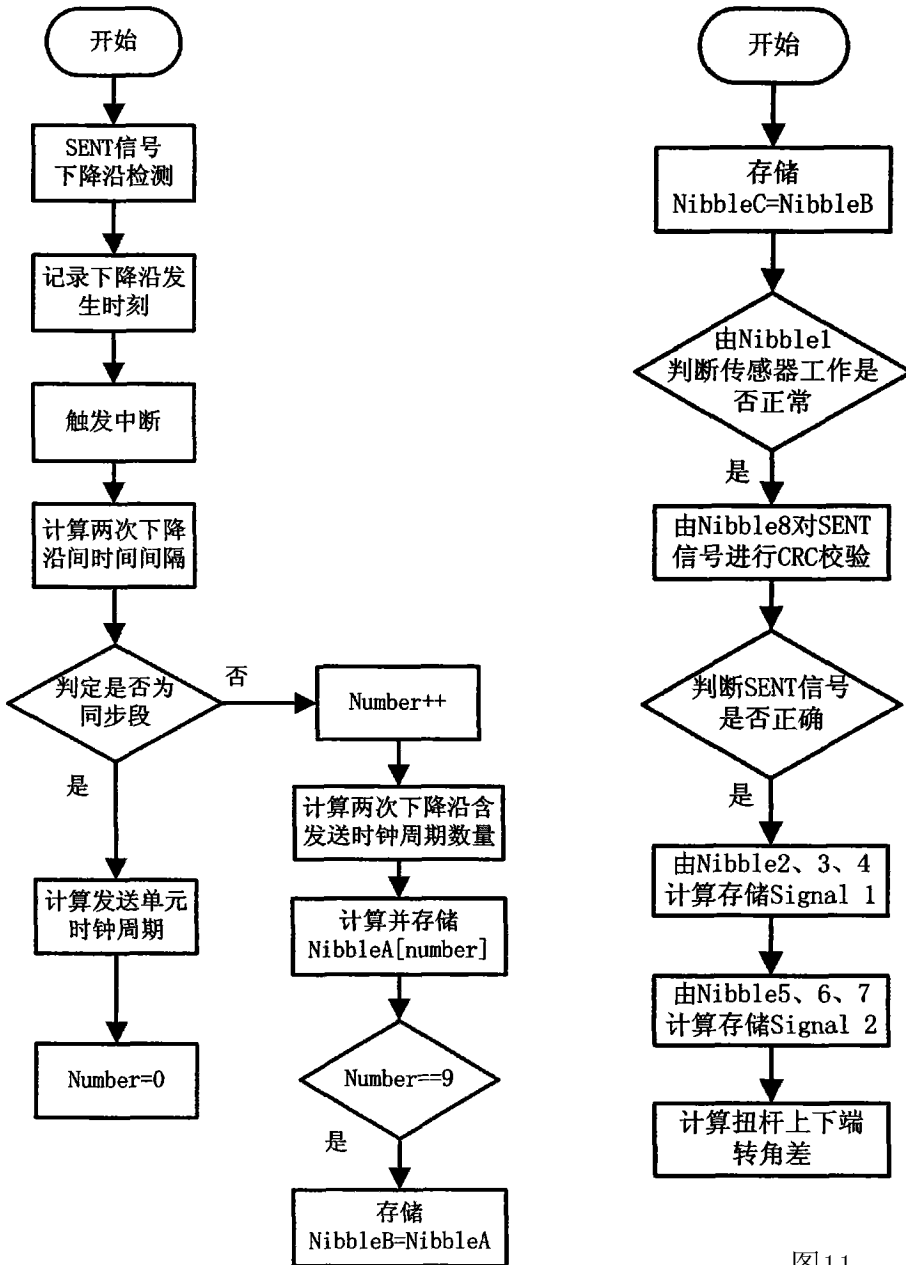


图11

图10

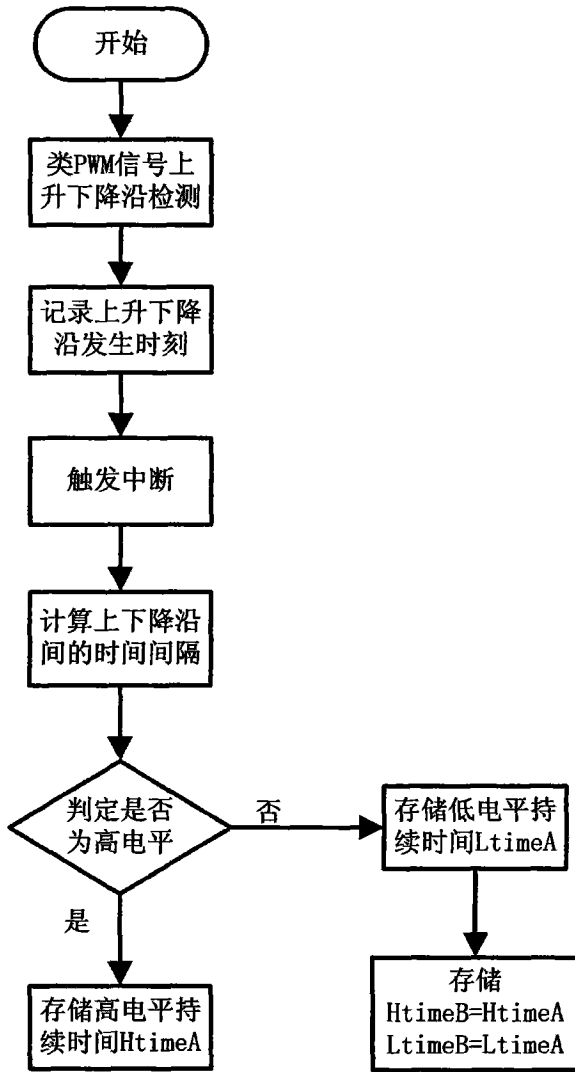


图12

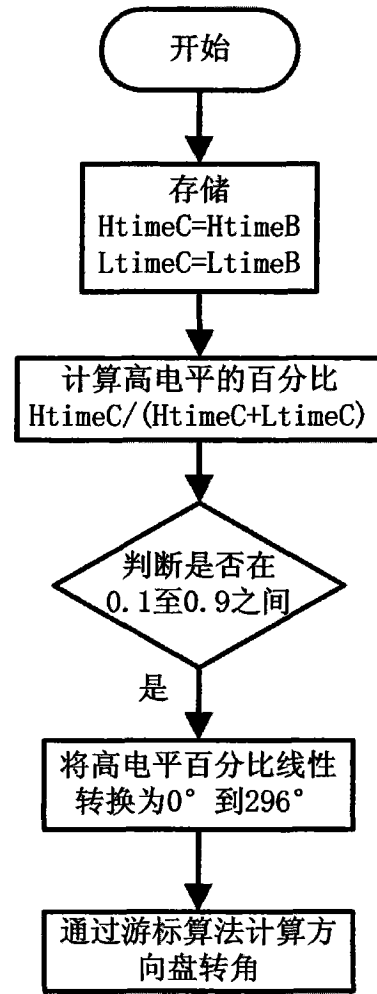


图13