

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
H02P 6/16 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510020607.7

[45] 授权公告日 2008年9月10日

[11] 授权公告号 CN 100418298C

[22] 申请日 2005.3.23

[21] 申请号 200510020607.7

[73] 专利权人 比亚迪股份有限公司

地址 518119 广东省深圳市龙岗区葵涌镇  
延安路比亚迪工业园

[72] 发明人 廖勇 周旭光 马先红 杨广明  
齐阿喜 王辉 张金涛

[56] 参考文献

JP9-103089A 1997.4.15

US6020737A 2000.2.1

CN1363821A 2002.8.14

审查员 李伟波

[74] 专利代理机构 深圳创友专利商标代理有限公司

代理人 江耀纯

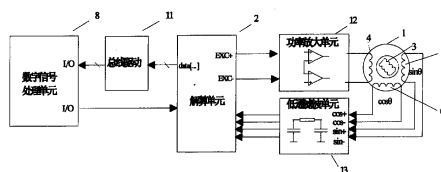
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

[54] 发明名称

一种永磁同步电机转子位置传感方法和位置传感装置

[57] 摘要

本发明公开了一种永磁同步电机转子位置传感方法，采用旋转变压器和解算单元作为传感器，设有数字信号处理单元，由解算单元在固定间隔时间实时采样检测电机转子位置角，每次采样后都对电机转子位置角度值的变化进行判断，决定是否进行补偿和校正。且解算单元检测到所述旋转变压器的输出位置传感信号的幅度超过其允许输入范围，就向数字信号处理单元发送控制永磁同步电机停止运转指令。本发明还公开了一种永磁同步电机转子位置传感装置，能与电动汽车和混合动力车的恶劣电磁环境相兼容，可维持电机在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下仍然稳定运行，可广泛应用于包括电动汽车和混合动力车的驱动部件在内的中小功率电气伺服系统。



1. 一种永磁同步电机转子位置传感方法,采用旋转变压器和数字转换解算单元作为永磁交流伺服系统中的传感器,设有对所述解算单元进行控制并接受其解算结果的数字信号处理单元,所述解算单元从旋转变压器输出信号中解算出电机转子角度信息传送至数字信号处理单元,数字信号处理单元再控制逆变器,最后驱动永磁同步电机运转,其特征在于:

由所述解算单元在固定的间隔时间实时采样检测电机转子位置角,每次采样后都对电机转子位置角度值的变化进行判断,如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之内,就判定采样值直接作为电机转子当前位置角的校正值;

如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之外,就根据电机上次采样时的角速度和相邻的两次采样时间间隔计算出电机转子当前位置角的校正值,由数字信号处理单元对电机转子位置角的偏差进行补偿和校正。

2. 按照权利要求1所述的永磁同步电机转子位置传感方法,其特征在于:

一旦解算单元检测到所述旋转变压器的输出位置传感信号的幅度超过其允许输入范围,就向数字信号处理单元发送控制永磁同步电机停止运转指令,同时,使解算单元复位,直至旋转变压器输出位置传感信号正常时,才控制永磁同步电机重新运转。

3. 一种永磁同步电机转子位置传感装置,包括作为永磁交流伺服系统控制中传感器的旋转变压器和数字转换解算单元,旋转变压器同轴或经过设定的速度比的机械传动组件安装在永磁同步电机转轴上随电机转子一同转动,设有对所述解算单元进行控制并接受其解算结果的数字信号处理单元,其特征在于:

所述解算单元是在固定的间隔时间实时采样检测电机转子位置角且每次采样后都对电机转子位置角度值的变化进行判断,如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之内,就判定采样值直接作为电机转子当前位置角的校正值;

如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之外,就根据电机上次采样时的角速度和相邻的两次采样时间间隔计算出电机转子当前位置角的校正值,由数字信号处理单元对电机转子位置角的偏差进行补偿和校正。

4. 按照权利要求3所述的永磁同步电机转子位置传感装置,其特征在于:

所述解算单元还是检测到所述旋转变压器的输出位置传感信号的幅度超过其允许输入范围就向数字信号处理单元发送控制永磁同步电机停止运转指令的解算单元。

5. 按照权利要求3或4所述的永磁同步电机转子位置传感装置,其特征在于:

所述解算单元设置在远离旋转变压器的控制箱内，所述解算单元与旋转变压器的连接导线是电磁屏蔽线。

6. 按照权利要求 5 所述的永磁同步电机转子位置传感装置，其特征在于：

所述旋转变压器由转子和定子两部分组成，转子上有一组独立的绕组，定子上有三组绕组，一组是接受来自解算单元的正弦波励磁信号的输入绕组，另一组是输送至解算单元的幅度受电机转子瞬时角位移信号调制的正弦波输出信号的输出绕组，其余一组是输送至解算单元的幅度受电机转子瞬时角位移信号调制的余弦波输出信号的输出绕组。

7. 按照权利要求 6 所述的永磁同步电机转子位置传感装置，其特征在于：

在所述解算单元与所述旋转变压器的输入绕组之间的功率放大单元，是可以减小波形失真的差分功率放大单元。

8. 按照权利要求 7 所述的永磁同步电机转子位置传感装置，其特征在于：

在所述解算单元与所述旋转变压器的两组输出绕组之间设有抗干扰且可以限定正弦波信号和余弦波信号幅度符合解算单元要求的低通滤波单元。

9. 按照权利要求 8 所述的永磁同步电机转子位置传感装置，其特征在于：

在所述解算单元与所述数字信号处理单元之间设有总线驱动器。

## 一种永磁同步电机转子位置传感方法和位置传感装置

### 技术领域

本发明涉及适用于特殊用途或功能的旋转变压器，尤其是涉及一种采用旋转变压器的永磁同步电机转子位置传感方法和位置传感装置。

### 背景技术

由正弦波驱动无刷同步电动机(PMSM)即永磁交流伺服电机，与感应电动机和普通同步电动机相比，具有较高的能量密度和效率，其体积小、惯性低、响应快、控制简单等优点，逐渐成为交流伺服系统执行电动机的主流，尤其是在高精度、高性能要求的中小功率伺服领域。它非常适应于电动汽车和混合动力车的驱动系统，也是当前电动汽车和混合动力车用电动机的研发热点。在PMSM控制系统中，不仅要求电机能在各种复杂的环境下稳定工作，而且要求电机的转速、转角、转矩等物理量能够被精确地控制，因此必须有某种形式的转子实时位置信号反馈，需要配用高分辨率的绝对型旋转变压器等转子位置传感器，旋转变压器由定子和转子两部分组成，定子上有三组绕组，一组是正弦波输入励磁绕组，另一组是正弦波输出绕组，其余一组是余弦波输出绕组，转子上有一组独立的绕组，输出两相正交波形，还能输出转子的绝对位置。但是，伺服电机自身是具有一定的非线性、强耦合性及时变性的系统，同时伺服对象也存在较强的不确定性和非线性，加之系统运行时受到不同程度的干扰，因此按常规控制策略的产品精度和分辨率相对不高，很难满足高性能伺服系统的控制要求。尽管旋转变压器及其专门的解算芯片是一种广泛应用于电机控制的成熟产品，但是，并没有一种适合在电动汽车和混合动力车上使用，而且应用于电动汽车和混合动力车的驱动部件的中小功率电气伺服系统在车体恶劣的电磁环境干扰下旋转变压器的输出引线会出现暂时短路的机械故障，雷电、静电发电也会造成旋转变压器输出的位置传感信号出现瞬时突变，导致解算单元的计算值即实时采样检测的电机转子位置角与实际的电机转子位置角存在较大的偏差，最终引起永磁同步电机运转不稳甚至失步，电动汽车和混合动力车不能正常稳定运行。因此，有必要结合控制理论新的发展，引进一些先进的复合型控制策略，以改进现有伺服系统的性能。

### 发明内容

本发明所要解决的技术问题是提出一种能与电动汽车的复杂电磁环境相兼容、适合在

电动汽车上使用的永磁同步电机转子位置传感方法，该方法能满足高性能伺服系统的控制要求，在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下保证应用该传感方法的系统继续正常工作。

本发明所要解决的另一技术问题是提出一种实施上述方法的能与电动汽车上复杂的电磁环境相兼容、适合在电动汽车上使用的永磁同步电机转子位置传感装置，该模块能满足高性能伺服系统的控制要求，在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下保证应用该传感装置的系统继续正常工作。

对于永磁同步电机转子位置传感方法来说，本发明的技术问题是这样加以解决的：

一种永磁同步电机转子位置传感方法，采用旋转变压器和数字转换解算单元作为永磁交流伺服系统中的传感器，设有对所述解算单元进行控制并接受其解算结果的数字信号处理单元，所述解算单元从旋转变压器输出信号中解算出电机转子角度信息传送至数字信号处理单元，数字信号处理单元再控制逆变器，最后驱动永磁同步电机运转。

这种永磁同步电机转子位置传感方法的特点是：

由所述解算单元在固定的间隔时间实时采样检测电机转子位置角，每次采样后都对电机转子位置角度值的变化进行判断，决定是否进行补偿和校正。

对于永磁同步电机转子位置传感方法来说，本发明的技术问题可以是这样加以解决的：

如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之内，就判定采样值直接作为电机转子当前位置角的校正值；

如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之外，就根据电机上次采样时的角速度和相邻的两次采样时间间隔计算出电机转子当前位置角的校正值，由数字信号处理单元对电机转子位置角的偏差进行补偿和校正。以维持永磁同步电机在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下仍然稳定运行。

对于永磁同步电机转子位置传感方法来说，本发明的技术问题可以是这样进一步加以解决的：

一旦解算单元检测到所述旋转变压器的输出位置传感信号的幅度超过其允许输入范围，就向数字信号处理单元发送控制永磁同步电机停止运转指令，同时，使解算单元复位，直至旋转变压器输出位置传感信号正常时，才控制永磁同步电机重新运转。以防止造成永磁同步电机失步甚至损坏，保证电动汽车的正常行驶。

对于实施上述方法的永磁同步电机转子位置传感装置来说，本发明的技术问题是这样加以解决的：

这种永磁同步电机转子位置传感装置，包括作为永磁交流伺服系统中传感器的旋转变压器和数字转换解算单元，旋转变压器同轴或经过设定的速度比的机械传动组件安装在永磁同步电机转轴上随电机转子一同转动，设有对所述解算单元进行控制并接受其解算结果的数字信号处理单元。

这种永磁同步电机转子位置传感装置的特点是：

所述解算单元是在固定的间隔时间实时采样检测电机转子位置角且每次采样后都对电机转子位置角度值的变化进行判断以决定是否进行补偿和校正的解算单元。以维持永磁同步电机在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下仍然稳定运行。

对于永磁同步电机转子位置传感装置来说，本发明的技术问题可以是这样加以解决的：

所述解算单元还是检测到所述旋转变压器的输出位置传感信号的幅度超过其允许输入范围就向数字信号处理单元发送控制永磁同步电机停止运转指令的解算单元。以防止造成永磁同步电机失步甚至损坏，保证电动汽车的正常行驶。

所述解算单元设置在远离旋转变压器的控制箱内，可以降低在电动汽车或混合动力车上的安装难度和设计成本，并适应解算单元的数字信号不宜长距离传输而旋转变压器的模拟信号在较长距离传输后信号基本不受影响的要求。

所述解算单元与旋转变压器的连接导线是电磁屏蔽线，以尽量避免在这段长达 2 到 3 米的距离内引入有害干扰。

所述旋转变压器由转子和定子两部分组成，转子上有一组独立的绕组，定子上有三组绕组，一组是接受来自解算单元的正弦波励磁信号的输入绕组，另一组是输送至解算单元的幅度受电机转子瞬时角位移信号调制的正弦波输出信号的输出绕组，其余一组是输送至解算单元的幅度受电机转子瞬时角位移信号调制的余弦波输出信号的输出绕组。

在所述解算单元与所述旋转变压器的输入绕组之间的功率放大单元，是可以减小波形失真的差分功率放大单元，所述旋转变压器的输入绕组是接受来自解算单元并经过差分功率放大单元放大后的正弦波励磁信号，以兼容电动汽车的电磁环境。

在所述解算单元与所述旋转变压器的两组输出绕组之间设有抗干扰且可以限定正弦波信号和余弦波信号幅度符合解算单元要求的低通滤波单元，以进一步兼容电动汽车的电磁环境。

所述的低通滤波单元优选是  $\pi$  形 RC 滤波器。

在所述解算单元与所述数字信号处理单元之间还设有总线驱动器，以兼容解算单元和数字信号处理单元的数字逻辑电平，增加电路的稳定性和驱动能力。

所述数字信号处理单元设有用于实时读取其内各存储单元实际数据的数字信号处理仿真器。

本发明的永磁同步电机转子位置传感方法与位置传感装置结合控制理论新的发展,采用高精度的解算芯片、计算机软件补偿和校正技术,能满足高性能伺服系统的控制要求,可以维持永磁同步电机在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下仍然稳定运行。应用本发明的伺服电机系统,控制性能优良,可靠性高。可以广泛应用于包括电动汽车和混合动力车的驱动部件在内的高精度、高性能的中小功率电气伺服系统。本发明的位置传感装置能与电动汽车和混合动力车的恶劣电磁环境相兼容,适合在电动汽车和混合动力车上使用,且结构简单,安装与拆卸都很方便。

#### 附图说明

下面对照附图并结合具体实施方式对本发明作进一步说明。

图1是本发明的永磁同步电机转子位置传感装置的组成方框图。

图2是采用本发明的传感装置的电动汽车永磁交流伺服电机驱动系统组成图。

图3是本发明的传感方法修正电机转子位置角偏差的流程图。

#### 具体实施方式

一种在比亚迪EVF3电动汽车上采用的永磁同步电机转子位置传感装置

如图1、2所示,这种永磁同步电机转子位置传感装置,包括作为永磁交流伺服系统电流环、速度环和位置环控制中传感器的旋转变压器1和数字转换解算单元2(RDC),旋转变压器1由转子和定子两部分组成,转子上有一组独立的绕组3,定子上有三组绕组,一组是接受来自解算单元2的正弦波励磁信号的输入绕组4,另一组是输送至解算单元2的幅度受电机转子瞬时角位移信号调制的正弦波输出信号的输出绕组5,其余一组是输送至解算单元2的幅度受电机转子瞬时角位移信号调制的余弦波输出信号的输出绕组6,旋转变压器1同轴安装在永磁同步电机7后端盖中,与电机转子同轴随其一同转动。

设有对所述解算单元2进行控制并接受其解算结果的数字信号处理单元8,所述解算单元2从这两组正、余弦波输出信号中解算出电机转子角度信息,包括电机轴角度即转子位置角、电机旋转方向和旋转角速度,转换为数字信号后通过并口数据总线将数据传送至数字信号处理单元8,根据程序判断电机转子角度信息是否存在错误,并根据电机转子角度信息和档位信号计算出脉宽调制波的占空比,再用具有该占空比的脉宽调制波通过光耦隔离单元9控制向永磁同步电机7提供三相输出电流的逆变器10,最后驱动永磁同步电机7运转。

所述解算单元2是在固定的间隔时间实时采样检测电机转子位置角且每次采样后都对

电机转子位置角度值的变化进行判断以决定是否进行补偿和校正的解算单元。以维持永磁同步电机在旋转变压器或解算单元误差较大甚至暂时失效的情况下仍然稳定运行。

所述解算单元 2 还是检测到所述旋转变压器的输出位置传感信号的幅度超过其允许输入范围就向数字信号处理单元发送控制永磁同步电机停止运转指令的解算单元。以防止造成永磁同步电机失步甚至损坏，保证电动汽车的正常行驶。

所述解算单元 2 设置在远离旋转变压器 1 的控制箱内，可以降低在电动汽车或混合动力车上的安装难度和设计成本，并适应解算单元 2 的数字信号不宜长距离传输而旋转变压器 1 的模拟信号在较长距离传输后信号基本不受影响的要求。

所述解算单元 2 与旋转变压器 1 的连接导线是电磁屏蔽线，以尽量避免在这段长达 2 到 3 米的距离内引入有害干扰。

在所述解算单元 2 与所述数字信号处理单元 8 之间设有总线驱动器 11，以兼容解算单元 2 和数字信号处理单元 8 的数字逻辑电平，增加电路的稳定性和驱动能力。

在所述解算单元 2 与所述旋转变压器 1 的输入绕组 4 之间设有可以使励磁信号具有稳定波形和足够驱动能力的 AD815 差分功率放大单元 12，所述旋转变压器 1 的输入绕组 4 是接受来自解算单元 2 并经过差分功率放大单元 12 放大后的正弦波励磁信号。

在解算单元 2 与所述旋转变压器 1 的两组输出绕组 5、6 之间设有抗干扰且可以限定正弦波信号和余弦波信号幅度符合解算单元 2 要求的  $\pi$  形 RC 低通滤波单元 13。

所述数字信号处理单元 8 设有 TI 公司出品的用于实时读取其内各存储单元实际数据的数字信号处理仿真器，当数字信号处理单元 8 开始工作时，存放角度值的寄存器每隔 0.1 毫秒的采样间隔，就会更新一次。

图 2 所示的电动汽车永磁交流伺服电机驱动系统中，还设有由锂离子动力电池组成的直流电源 14、电压霍尔传感器 15、三个电流霍尔传感器 16、17、18 及其传感信号模拟通道 19，以及总线驱动器 11，其中电压霍尔传感器 15 用于测量直流侧母线电压值，三个电流霍尔传感器 16、17、18 用于测量三相电流值，总线驱动器 11 用于兼容光耦隔离单元 9 和数字信号处理单元 8 的数字逻辑电平，增加电路的稳定性和驱动能力。

在车体恶劣的电磁环境干扰下，旋转变压器 1 的输出引线会出现暂时短路的机械故障，雷电、静电发电也会造成旋转变压器 1 输出的位置传感信号出现瞬时突变，导致解算单元 2 的计算值即实时采样检测的电机转子位置角与实际的电机转子位置角存在较大的偏差  $\Delta\theta > \theta_{\max}$ 。本发明由所述解算单元 2 在固定的间隔时间实时采样检测电机转子位置角，每次采样后都对电机转子位置角度值的变化进行判断，决定是否进行补偿和校正；如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之内，就判定采样值直接作为电机转子当前位置角的



校正值，如果电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之外，就根据电机上次采样时的角速度和相邻的两次采样时间间隔计算出电机转子当前位置角的校正值，由数字信号处理单元 8 对电机转子位置角的偏差进行补偿和校正，以维持永磁同步电机 7 在旋转变压器 1 或解算单元 2 误差较大甚至暂时失效的情况下仍然稳定运行

电机在空载时，转子和定子的磁场相互作用，达到一种相对静止的受力平衡状态，这个位置就是零位，零位的个数与电机极对数相关，是极对数的 3 倍，即 2 极对的电机有 6 个零位，只采用其中的一个零位作为电机转子位置的参考位，其参考位值即零位值是在空载的情况下电机转子在特定磁场内停止在一受力平衡的位置角，采用在电机线圈中通以一定量的直流电流形成特定磁场的测量方法确定。所述特定磁场是由一直流电源的正极连接至将永磁同步电机 7 由星形即 Y 树形连接的三相绕组中处于直杆位的绕组的外端头，而负极通过串联一大功率小阻值的电阻再分别连接至两个处于分权杆位的绕组的外端头所产生的恒定磁场。

图 3 示出了本具体实施方式修正电机转子位置角偏差的流程。假定永磁同步电机 7 是正向正常运转，上次采样时的角速度  $\omega$  为 500/毫秒，相邻两次采样的时间间隔  $\Delta t$  固定为 0.1 毫秒。解算单元 2 采用解码芯片 AD2S1200，输出为 12 位的数字总线输出。当电机转子转过的机械角从 0 至  $2\pi$  变化一个周期，旋转变压器 1 同步旋转一周，解算单元 2 的相应输出电机转子位置角度值从 0 至  $2^{12}=4096$  也变化一个周期。设定在永磁同步电机 7 正常运转情况下，在相邻两次采样的时间间隔  $\Delta t$  内，解算单元 2 的相应输出电机转子位置角度差值  $\Delta\theta=\theta-\theta'$  允许变化范围为  $0\sim\theta_{\max}=82$ ，即  $0<\Delta\theta<\theta_{\max}=82$ 。 $\theta_{\max}=82$  是在相邻两次采样的时间间隔内电机转子正向可能转过的最大机械角。

例如上次采样的角度值即比较值  $\theta'$  为 4060，本次采样的角度值即当前位置值  $\theta$  为 20，本次的采样角度值小于上次的采样角度值，说明两次采样在相邻的变化周期内，变化的角度为  $2^{12}+\theta-\theta'=4096+20-4060=56$ ，在允许变化范围  $0\sim82$  之内，采样值为可靠值，直接作为电机转子当前位置角的校正值；

又例如上次采样的角度值即比较值  $\theta'$  为 1028，本次采样的角度值即当前位置值  $\theta$  为 1200，变化的角度为  $\theta-\theta'=1200-1028=172$ ，在允许变化范围  $0\sim82$  之内，采样值为可靠值，也直接作为电机转子当前位置角的校正值；

再例如上次采样的角度值即比较值  $\theta'$  为 1028，本次采样的角度值即当前位置值  $\theta$  为 1300，变化的角度为  $\theta-\theta'=1300-1028=272$ ，在允许变化范围  $0\sim82$  之外，采样值为不可靠值，需要进行校正，配用的相关软件根据电机上次采样时的角速度  $\omega=500$ /毫秒和相邻的两次采样时间间隔  $\Delta t=0.1$  毫秒计算出  $\theta=\theta'+\omega\Delta t=1028+500\times 0.1=1078$  作为电

机转子当前位置角的校正值，对电机转子位置角的偏差进行补偿和校正，该当前位置角的校正值 $\theta=1078$ 也是下次采样的角度值即比较值 $\theta'$ 。

一旦解算单元2检测到所述旋转变压器1的输出位置传感信号的幅度过大或过小，超过解算单元2的允许输入范围，导致不能检测电机转子位置角度值的变化在允许变化范围之外，即出现不能进行补偿和校正的错误，就向数字信号处理单元8发送出现错误指令，数字信号处理单元8将发生中断，用脉宽调制波控制逆变器10停止工作，使永磁同步电机7停止运转，以防止造成永磁同步电机7失步甚至损坏。同时，使解算单元2复位，直至旋转变压器1输出位置传感信号正常时，才控制逆变器10恢复工作，永磁同步电机7重新运转，以保证电动汽车的正常行驶。由旋转变压器1输送至解算单元2的位置传感信号是正弦变化的模拟信号，为使解算单元2正常工作，其信号幅度必须在一个特定允许的范围。当解算单元2发送出现错误指令给数字信号处理单元8时，数字信号处理单元8接收的数据是持续的错误数据，无法进行校正，因此必须使永磁同步电机7停止运转，以防止造成其失步甚至损坏。

在比亚迪EVF3电动汽车上采用本永磁同步电机转子位置传感装置，能与电动汽车的恶劣电磁环境相兼容，控制性能优良，可靠性高，且结构简单，安装与拆卸都很方便，电机控制器的效率即其输出功率与输入功率的比值，可以达到95%以上，并且在5千公里的道路试验中表现出稳定的性能和至少10万小时的耐用性。而采用霍尔式位置传感器的电机控制器效率在90%以下。

以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演或替换，都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定的专利保证范围。

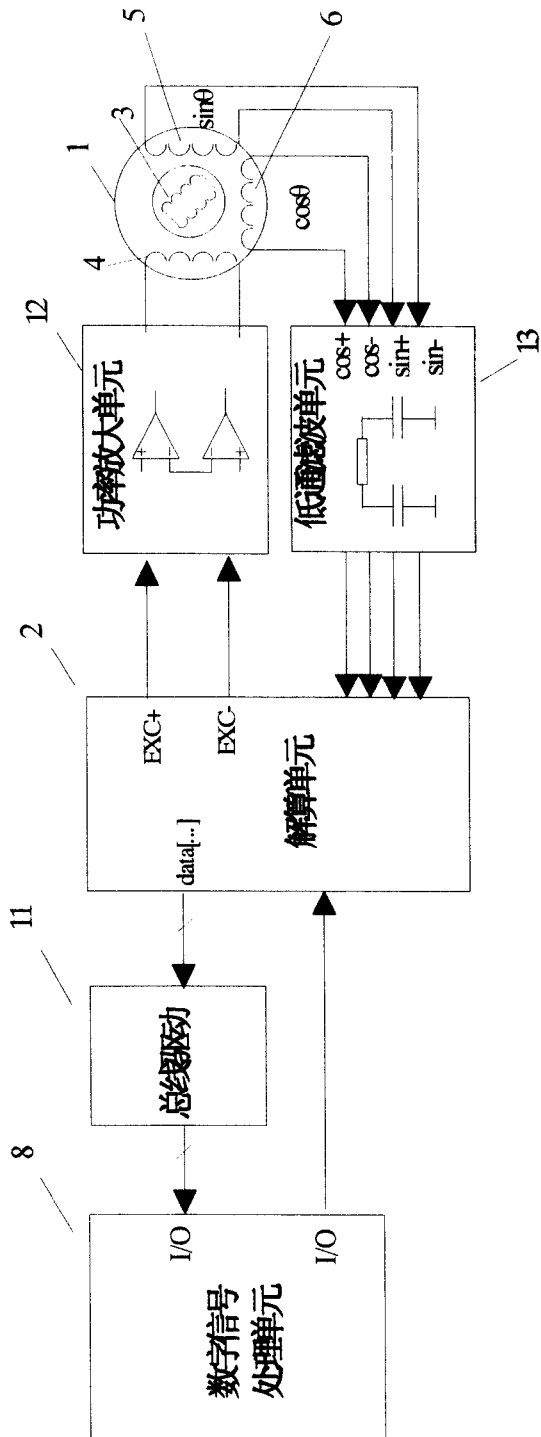


图 1

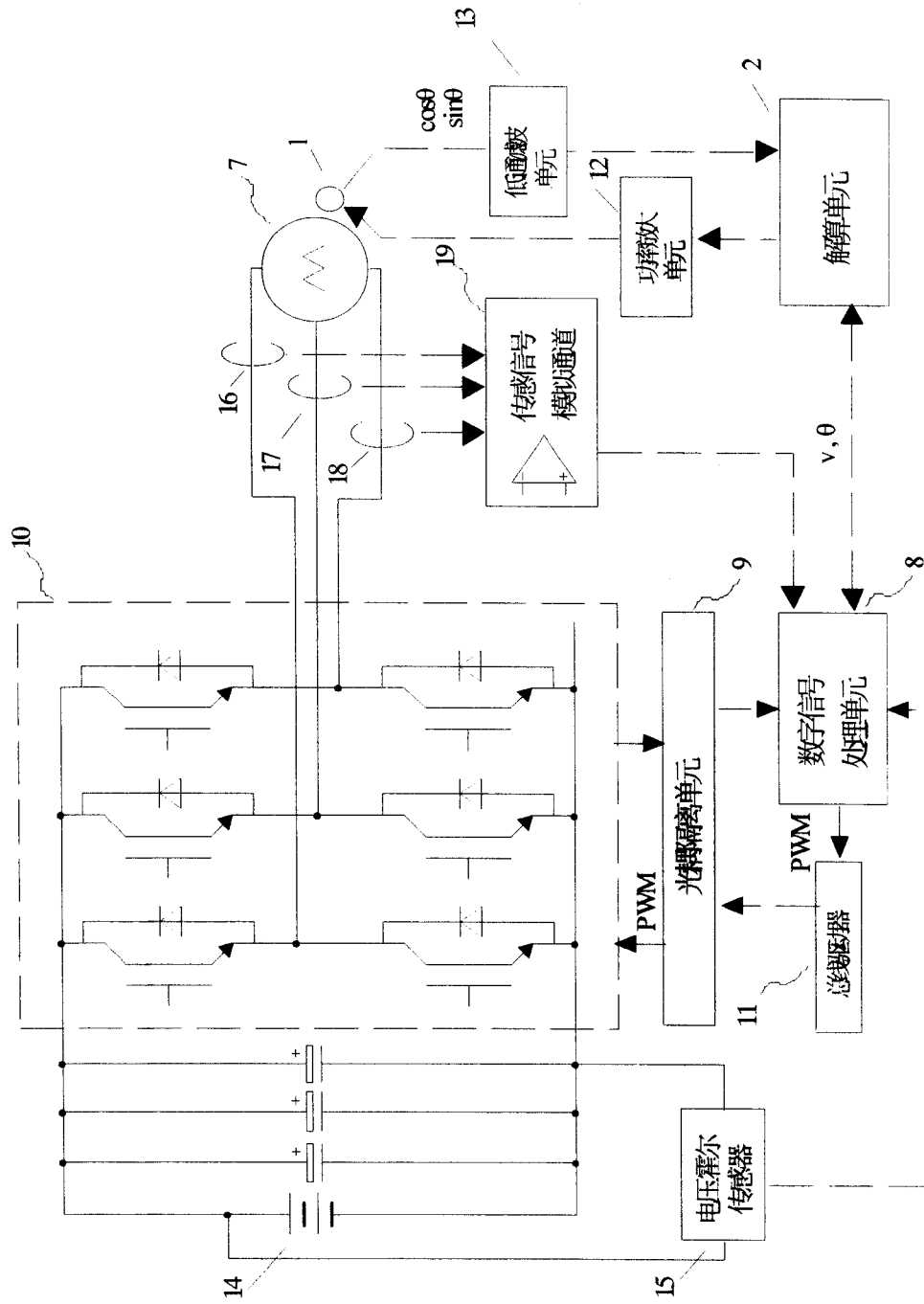


图 2

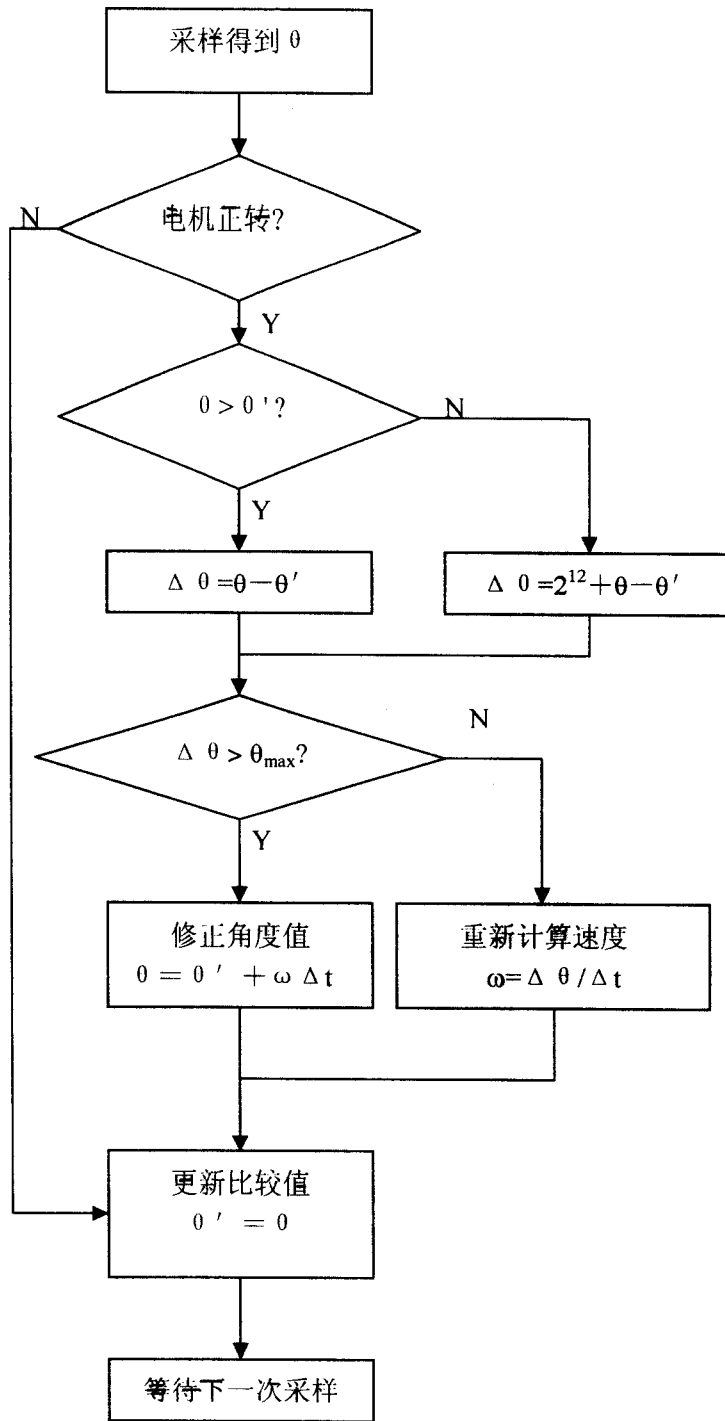


图 3