



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106452225 B

(45)授权公告日 2018.10.09

(21)申请号 201610855802.X

审查员 朱恒伟

(22)申请日 2016.09.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106452225 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(73)专利权人 山东大学

地址 250061 山东省济南市历下区经十路
17923号

(72)发明人 王兴华 赵树刚 盛跃龙 李光友
雷艳华

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 张勇

(51)Int.Cl.

H02P 6/185(2016.01)

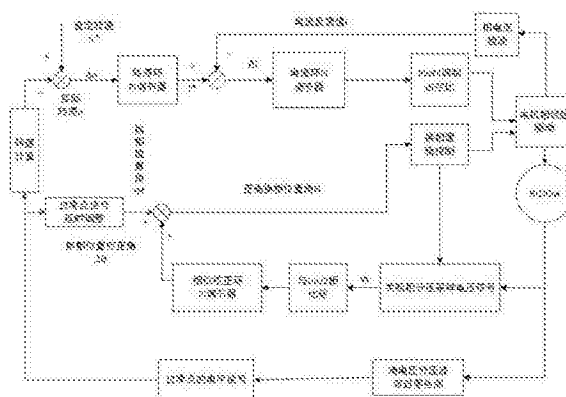
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统及方法

(57)摘要

本发明公开了无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统及方法,在传统反电势无位置传感器检测电路基础上,对采用互补型PWM控制的驱动电路增加一套绕组端电压分压检测电路,在无刷电机每一导通状态的中间时刻 t_x ,采样关断相分压检测电路的相应输出电压,依据该电压的高低可判断出此导通状态换向相位是超前还是滞后,以此作为换向相位修正的反馈信号,通过PI调节完成换向相位的闭环调节,从而保证无刷电机在任意转速和负载状态下实现最佳换向,实现无刷电机的无位置传感器的稳定运行。



1. 一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:包括无位置传感器无刷直流电机、三相全桥驱动控制电路、位置检测电路、分压采样电路和CPU控制模块;

所述无位置传感器无刷直流电机与三相全桥驱动控制电路连接;所述三相全桥驱动控制电路驱动所述无位置传感器无刷直流电机工作;

所述位置检测电路采集无位置传感器无刷直流电机的端电压;

所述分压采样电路对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理,并且将分压处理后的分压信号传输至所述CPU控制模块;

所述CPU控制模块选取所述分压信号在各相绕组关断期间的中间时刻的电压值与三相桥式逆变电路直流母线电压值的一半进行比较,根据其差值计算换向位置校正角,将换向位置校正角与换相位置角相加得到正确的换相相位角,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正;

基于所述的系统的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正方法,具体步骤包括:

(1) 采集所述无位置传感器无刷直流电机定子的各相电枢绕组端电压;

(2) 在所述定子的各相电枢绕组关断期间的中间时刻 t_x 对各相关断相电压 V_t 进行采样;

(3) 判断关断相电压 V_t 处于 t_x 时刻电压采样值与三相桥式逆变电路直流母线电压的一半 $U_d/2$ 进行比较,根据其差值计算换向位置校正角 $\Delta\theta$;

(4) 根据步骤(3)中计算出的换向校正角 $\Delta\theta$,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正;

对每一换相时刻重复步骤(1)-(4)进行相位校正,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的实时校正;

所述步骤(3)中判断关断相电压 V_t 处于正向穿过 $U_d/2$ 轴时换向的状态包括,

若 $V_t = U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为正常换向;

若 $V_t > U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为超前换向;

若 $V_t < U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向;

所述步骤(3)中计算换向角偏差值的具体步骤包括:

若所述定子的当前相电枢绕组为正常换向,则换相时刻为最佳时刻,换向位置校正角 $\Delta\theta$ 为0;

若所述定子的当前相电枢绕组为超前换向,则换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((2V_t - U_d)/2E_c)$,式中, E_c 表示相绕组反电势;

若所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向,则换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((U_d - 2V_t)/2E_c)$,式中, E_c 表示相绕组反电势。

2. 如权利要求1所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述三相全桥驱动控制电路采用两电平三相桥式逆变器,包括并联的三相桥臂,每相桥臂包括两个串联的功率开关管,每个功率开关管并联一个二极管;所述两电平三相桥式逆变器的输出端与所述无位置传感器无刷直流电机本体连接。

3. 如权利要求2所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述无位置传感器无刷直流电机包括定子和转子,所述定子包括电枢绕组,所述定子的电枢绕组采用星形连接,所述定子的电枢绕组与所述三相全桥驱动控制电路驱动连接,所述

转子包括永磁体磁极;所述定子的各相电枢绕组与所述两电平三相桥式逆变器中相应的桥臂连接。

4.如权利要求2所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述无位置传感器无刷直流电机包括定子和转子,所述定子包括电枢绕组,所述定子的电枢绕组采用三角形连接,所述定子的电枢绕组与所述三相全桥驱动控制电路驱动连接,所述转子包括永磁体磁极;所述定子的各相电枢绕组与所述两电平三相桥式逆变器中相应的桥臂连接。

5.如权利要求4所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述位置检测电路采用传统的基于端电压的无刷电机无位置传感器位置检测电路;所述分压采样电路采用电阻分压原理,包括并联的三相桥臂,每相桥臂包括两个串联的电阻;所述分压采样电路的各相桥臂分别与所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组连接,对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理。

6.如权利要求1所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述步骤(1)中,所述无位置传感器无刷直流电机采用三相全桥驱动方式,采用两两导通方式控制,所述无位置传感器永磁无刷直流电机在任意时刻均有所述定子的两相电枢绕组导通,所述定子的另外一相电枢绕组处于悬空状态,共有六种开关组合状态;每隔 60° 电角度换相一次,每次换相切换一个功率开关管,每一个功率开关管导通 120° 的电角度。

7.如权利要求1所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述步骤(1)中,在对所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组的端电压进行采样时,对其进行分压处理;

所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组包括三种状态:关断相状态,正向导通相状态和反向导通相状态。

8.如权利要求1所述的无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,其特征是:所述步骤(4)的具体步骤为,将换向位置校正角 $\Delta\theta$ 与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角 θ ,并且通过换相逻辑控制将正确的换相相位角 θ 传输至所述三相全桥驱动控制电路驱动,驱动所述无位置传感器无刷直流电机正确换相。

无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于无刷直流电机控制的技术领域,尤其涉及一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统及方法。

背景技术

[0002] 永磁无刷电机具有结构简单,功率密度大,便于控制等优点,是高速电机设计的首选,其控制系统多采用位置传感器来检测转子位置,但是位置传感器的存在降低电机可靠性,增加电机体积和成本,限制了该类电机的应用场合。近年来,随着无位置传感器技术的发展,无位置传感器高速永磁无刷电机应用逐渐增多,无位置传感器无刷直流电机的转子位置检测方法有多种,如基于反电势的检测法、磁链估计法和续流二极管电流检测法等,其中,基于绕组反电动势的方法最成熟、应用最广泛。

[0003] 但是基于绕组反电势的无位置传感器控制电路中,一般需要端电压采样滤波电路,由于滤波延迟、元器件延迟等因素,当电机转速变化时换向角延迟补偿角度会发生变化,因此需要对绕组换相位置进行实时相位校正,否则会影响电机运行性能,但是该补偿角受转速、绕组电流、电感等参数影响,无法建立准确的数学模型,导致换向角补偿偏差,甚至出现换向失败等现象。

[0004] 关于无位置传感器高速电机绕组换向相位校正技术是高速电机控制领域研究热点之一,诸多学者在这方面进行了深入研究并提出了多种相位校正方法。宋飞等人在中国电机工程学报中发表了“校正无位置传感器无刷直流电机位置信号相位的闭环控制策略”,该文献利用非导通相续流电流作为反馈量进行无位置传感器无刷直流电机位置信号相位校正,刘刚等人电工技术学报中发表了“高速磁悬浮无刷直流电机无位置换相误差闭环校正策略”,该文献利用换相前后30度内的电流积分作为反馈参数进行无刷直流电机无位置换相误差校正,但是上述两种方法均忽略了换相时绕组电感的影响导通前后的端电压差值进行换相相位反馈校正,而且忽略了负载电流变化时绕组阻抗压降对绕组端电压的影响。中国专利文献CN104767435“基于中性点电压的无传感器无刷电机换相相位实时校正方法”克服了上述两种方法存在的问题,通过采集计算换相点前后30度的虚拟中性点电压差值,以确定当前换相存在的相位误差,并以此电压差值作为换相误差反馈量,实现永磁无刷电机换相相位的实时校正,但是 该方法存在无位置传感器无刷直流电机低速时精度不够的问题。

发明内容

[0005] 本发明为了解决上述问题,克服现有直流无刷电动机的换向相位校正的问题,提出了一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统及方法。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,包括无位置传感器无刷直流电机、三相全桥驱动控制电路、位置检测电路、分压采样电路和CPU控制模块;

[0008] 所述无位置传感器无刷直流电机与三相全桥驱动控制电路连接;所述三相全桥驱动控制电路驱动所述无位置传感器无刷直流电机工作;

[0009] 所述位置检测电路采集无位置传感器无刷直流电机的端电压;

[0010] 所述分压采样电路对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理,并且将分压处理后的分压信号传输至所述CPU控制模块;

[0011] 所述CPU控制模块选取分压信号在各相绕组关断期间的中间时刻的电压值与三相桥式逆变电路直流母线电压值的一半进行比较,根据其差值计算换向位置校正角,将换向位置校正角与换相位置角相加得到正确的换相相位角,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正。

[0012] 所述三相全桥驱动控制电路采用两电平三相桥式逆变器,包括并联的三相桥臂,每相桥臂包括两个串联的功率开关管,每个功率开关管并联一个二极管。所述两电平三相桥式逆变器的输出端与所述无位置传感器无刷直流电机本体连接;所述三相全桥驱动控制电路采用互补型PWM控制。

[0013] 所述无位置传感器无刷直流电机包括定子和转子,所述定子包括电枢绕组,所述定子的电枢绕组采用星形连接,所述定子的电枢绕组与所述三相全桥驱动控制电路驱动连接,所述转子包括永磁体磁极。所述定子的各相电枢绕组与所述两电平三相桥式逆变器中相应的桥臂连接。

[0014] 进一步的,所述定子的电枢绕组采用三角形连接或星形连接。

[0015] 所述位置检测电路采用传统的基于端电压的无刷电机无位置传感器位置检测电路。

[0016] 所述分压采样电路采用电阻分压原理,包括并联的三相桥臂,每相桥臂包括两个串联的电阻。所述分压采样电路的各相桥臂分别与所述无位置传感器无刷直流电机所述定子的各相电枢绕组连接,对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理。

[0017] 所述CPU控制模块用于对采集到的关断相分压信号进行AD采样转换,将AD采样转换后的关断相电压与三相桥式逆变电路直流母线电压的一半进行比较,根据其差值计算换向位置校正角,将换向位置校正角与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正。

[0018] 基于上述系统的方法,具体步骤包括:

[0019] (1) 采集所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组的端电压;

[0020] (2) 在所述定子的各相电枢绕组关断期间的中间时刻 t_x 对各相关断相电压 V_t 进行采样;

[0021] (3) 判断关断相电压 V_t 处于 t_x 时刻电压采样值与三相桥式逆变电路直流母线电压的一半 $U_d/2$ 进行比较,根据其差值计算换向位置校正角 $\Delta\theta$;

[0022] (4) 根据步骤(3)中计算出的换向校正角 $\Delta\theta$,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正。

[0023] (5) 对每一换相时刻重复步骤(1)-(4)进行相位校正,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的实时校正。

[0024] 所述步骤(1)中,所述无位置传感器无刷直流电机采用三相全桥驱动方式,采用两

两导通方式控制,所述无位置传感器永磁无刷直流电机在任意时刻均有所述定子的两相电枢绕组导通,所述定子的另外一相电枢绕组处于悬空状态,共有六种开关组合状态;每隔 $1/6$ 时刻换相一次,每次换相切换一个功率开关管,每一个功率开关管导通 120° 的电角度。

[0025] 所述步骤(1)中,在对所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组的端电压进行采样时,对其进行分压处理。

[0026] 所述步骤(1)中,所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组包括三种状态:关断相状态,正向导通相状态和反向导通相状态。

[0027] 所述步骤(3)中判断关断相电压 V_t 处于正向穿过 $U_d/2$ 轴时换向的状态包括,

[0028] 若 $V_t = U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为正常换向;

[0029] 若 $V_t > U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为超前换向;

[0030] 若 $V_t < U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向。

[0031] 所述步骤(3)中计算换向角偏差值的具体步骤包括:

[0032] 若所述定子的当前相电枢绕组为正常换向,则换相时刻为最佳时刻,换向位置校正角 $\Delta\theta$ 为0;

[0033] 若所述定子的当前相电枢绕组为超前换向,则换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((2V_t - U_d)/2E_c)$,式中, E_c 表示相绕组反电势幅值;

[0034] 若所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向,则换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((U_d - 2V_t)/2E_c)$ 。

[0035] 所述步骤(4)的具体步骤为,将换向位置校正角 $\Delta\theta$ 与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角 θ ,并且通过换相逻辑控制将正确的换相相位角 θ 传输至所述三相全桥驱动控制电路驱动,驱动所述无位置传感器无刷直流电机正确换相。

[0036] 本发明的有益效果为:

[0037] 本发明在传统反电势无位置传感器检测电路基础上,对采用互补型PWM控制的驱动电路增加一套绕组端电压分压检测电路,在无刷电机每一导通状态的中间时刻 t_x ,采样关断相分压检测电路的相应输出电压,依据该电压的高低可判断出此导通状态换向相位是超前还是滞后,以此作为换向相位修正的反馈信号,通过PI调节参数完成换向相位的闭环调节,从而保证无刷电机在任意转速和负载状态下实现最佳换向,实现无刷电机的无位置传感器的稳定运行。

附图说明

[0038] 图1是三相全桥驱动控制电路无刷直流电机电路图;

[0039] 图2是传统基于端电压的无位置传感器位置检测电路;

[0040] 图3是关断相绕组端电压分压采样电路;

[0041] 图4是正常换相情况下A相端电压采样信号;

[0042] 图5是超前换相情况下A相端电压采样信号;

[0043] 图6是滞后换相情况下A相端电压采样信号;

[0044] 图7是本发明的整体硬件连接图;

[0045] 图8是无位置传感器无刷直流电机换相相位的实时校正方法的流程图。

具体实施方式：

[0046] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0047] 一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统,包括无位置传感器无刷直流电机、三相全桥驱动控制电路、位置检测电路、分压采样电路和CPU控制模块;

[0048] 所述无位置传感器无刷直流电机与三相全桥驱动控制电路连接;所述三相全桥驱动控制电路驱动所述无位置传感器无刷直流电机工作;

[0049] 所述位置检测电路采集无位置传感器无刷直流电机的端电压;

[0050] 所述分压采样电路对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理,并且将分压处理后的分压信号传输至所述CPU控制模块;

[0051] 所述CPU控制模块选取分压信号在各相绕组关断期间的中间时刻的电压值与三相桥式逆变电路直流母线电压值的一半进行比较,根据其差值计算换向位置校正角,将换向位置校正角与换相位置角相加得到正确的换相相位角,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正。

[0052] 所述三相全桥驱动控制电路采用两电平三相桥式逆变器,包括并联的三相桥臂,每相桥臂包括两个串联的功率开关管,每个功率开关管并联一个二极管。所述两电平三相桥式逆变器的输出端与所述无位置传感器无刷直流电机本体连接。

[0053] 所述无位置传感器无刷直流电机本体结构上与永磁同步电机相似,包括定子和转子,所述定子包括电枢绕组,所述定子的电枢绕组采用星形连接或三角形连接,所述定子的电枢绕组与所述三相全桥驱动控制电路驱动连接,所述转子包括永磁体磁极。所述定子的各相电枢绕组与所述两电平三相桥式逆变器中相应的桥臂连接。

[0054] 所述位置检测电路采用传统的基于端电压的无刷电机无位置传感器位置检测电路。

[0055] 所述分压采样电路采用电阻分压原理,包括并联的三相桥臂,每相桥臂包括两个串联的电阻。所述分压采样电路的各相桥臂分别与所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组连接,对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理。

[0056] 所述CPU控制模块用于对采集到的关断相分压信号进行AD采样转换,将AD采样转换后的关断相电压与三相桥式逆变电路直流母线电压的一半进行比较,根据其差值计算换向位置校正角,将换向位置校正角与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正。

[0057] 基于上述系统的方法,具体步骤包括:

[0058] (1) 采集所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组的端电压;

[0059] (2) 在所述定子的各相电枢绕组关断期间的中间时刻 t_x 对各相关断相电压 V_t 进行采样;

[0060] (3) 判断关断相电压 V_t 处于 t_x 时刻电压采样值与三相桥式逆变电路直流母线电压的一半 $U_d/2$ 进行比较,根据其差值计算换向位置校正角 $\Delta\theta$;

[0061] (4) 根据步骤(3)中计算出的换向校正角 $\Delta\theta$,通过换向相位的闭环PI调节,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的校正。

[0062] (5) 对每一换相时刻重复步骤(1)–(4)进行相位校正,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的实时校正。

[0063] 所述步骤(1)中,所述无位置传感器无刷直流电机采用三相全桥驱动方式,采用两两导通方式控制,述无位置传感器永磁无刷直流电机在任意时刻均有所述定子的两相电枢绕组导通,所述定子的另外一相电枢绕组处于悬空状态,共有六种开关组合状态;每隔 60° 电角度换相一次,每次换相切换一个功率开关管,每一个功率开关管导通 120° 的电角度。

[0064] 所述步骤(1)中,在对所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组的端电压进行采样时,对其进行分压处理。

[0065] 所述步骤(1)中,所述无位置传感器无刷直流电机的所述定子的各相电枢绕组包括三种状态:关断相状态,正向导通相状态和反向导通相状态。

[0066] 所述步骤(3)中判断关断相电压 V_t 处于正向穿过 $U_d/2$ 轴时换向的状态包括,

[0067] 若 $V_t = U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为正常换向;

[0068] 若 $V_t > U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为超前换向;

[0069] 若 $V_t < U_d/2$,所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向。

[0070] 所述步骤(3)中计算换向角偏差值的具体步骤包括:

[0071] 若所述定子的当前相电枢绕组为正常换向,则换相时刻为最佳时刻,换向位置校正角 $\Delta\theta$ 为0;

[0072] 若所述定子的当前相电枢绕组为超前换向,则换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((2V_t - U_d)/2E_c)$,式中, E_c 表示相反电势幅值;

[0073] 若所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向,则换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((U_d - 2V_t)/2E_c)$ 。

[0074] 所述步骤(4)的具体步骤为,将换向位置校正角 $\Delta\theta$ 与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角 θ ,并且通过换相逻辑控制将正确的换相相位角 θ 传输至所述三相全桥驱动控制电路驱动,驱动所述无位置传感器无刷直流电机正确换相。

[0075] 实施例1:

[0076] 在本实施例中,使用内嵌式永磁无刷直流电动机进行说明。无刷直流电机,Brushless DC Motor,简称BLDCM。

[0077] 以A相端电压的检测为例来说明无位置传感器直流无刷电机的换向相位校正方法。

[0078] 如图1所示,为三相全桥驱动控制电路无刷直流电机电路图,三相全桥驱动无刷直流电机的定子的电枢绕组采用星形连接结构。所述三相全桥驱动控制电路采用两两导通方式控制,两两导通方式是指无刷直流电机在任意时刻均有两相绕组导通,另外一相绕组处于悬空状态,则功率开关管 $VT_1 \sim VT_6$ 共有六种开关组合状态。每隔 60° 电角度换相一次,每次换相切换一个功率开关管,每一个开关管导通 120° 的电角度。以图1为例,在一个周期 360° 电角度空间内,各功率开关管当按 $VT_1VT_2 \sim VT_2VT_3 \sim VT_3VT_4 \sim VT_4VT_5 \sim VT_5VT_6 \sim VT_6VT_1$ 组合依次轮流导通。

[0079] 如图2所示,为传统的基于端电压的无刷直流电机的无位置传感器位置检测电路。如附图2所示,分别取三相绕组端电压,然后采用电阻分压RC滤波电路,然后将三相电路进

行星形连接以此获得电机绕组模拟中性点 U_n ,电机关断相端电压分压滤波后输出电压 V_x 与模拟中性点电压 U_n 比较得转子位置信号,此位置信号跳变沿再延时 $(30^\circ-\alpha)$ 电角度即为该相绕组换向时刻,其中 α 为滤波延迟角。

[0080] 由于无刷电机绕组端电压过大,因此采样时需对其进行分压处理,采样电路如图3所示。

[0081] 表1三相换相校正电路采样时刻

[0082]

	采样时刻T1 (相电势正向过0)	采样时刻T2
A相	AC-BC跳边沿 (即BC导通中间时刻)	BC-BA跳边沿 (即BA导通中间时刻)
B相	BA-CA跳边沿 (即CA导通中间时刻)	CA-CB跳边沿 (即CB导通中间时刻)
C相	CB-AB跳边沿 (即AB导通中间时刻)	AB-AC跳边沿 (即AC导通中间时刻)

[0083] 如表1所示,为三相绕组关断时,端电压采样时刻的确定方法,关断相电压采样值记为 V_t ,以A相端电压分压输出波形为例,在A相绕组关断期间的中间时刻 t ,对关断相电压 V_a 采样,若A相感生电势处于正向穿过 $u_d/2$ 轴,则有:

[0084] 若 $V_a = U_d/2$,则换相时刻为最佳时刻,其仿真波形如图4所示,两个采样时间中间时刻电压为6V,其对称的电压下降斜坡边的采样中间时刻电压也为6V;

[0085] 若 $V_a > U_d/2$,则为超前换相,其仿真波形如图5所示,两个采样时间中间时刻电压为10.72V,且该采样时刻A相绕组端电压与换向位置校正角 $\Delta\theta$ 满足关系式:

[0086] $\Delta\theta \approx \arcsin((2V_a - U_d)/2E_c)$;式中, E_c 表示相反电势幅值, V_a 表示AD采样转换后A相的关断相电压, U_d 表示三相桥式逆变电路直流母线电压;

[0087] 若 $V_a < U_d/2$,则为滞后换相,其仿真波形如图6所示,两个采样时间中间时刻电压为3.6V,换向位置校正角 $\Delta\theta \approx \arcsin((U_d - 2V_a)/2E_c)$ 式中, E_c 表示相反电势幅值 V_a 表示AD采样转换后A相的关断相电压, U_d 表示三相桥式逆变电路直流母线电压。

[0088] 将此换向位置校正角 $\Delta\theta$ 与换相位置角相加后作为正确换相位置角输入控制器,以此完成对换相相位的校正。B相与C相的换向相位校正方法与A相同理。图7为本发明的整体硬件连接图。所述位置检测电路采集无位置传感器无刷直流电机的端电压,所述分压采样电路对无位置传感器无刷直流电机的端电压进行分压处理,并且将分压处理后的关断相分压信号传输至所述CPU控制模块,所述CPU控制模块用于对采集到的关断相分压信号进行AD采样转换,将AD采样转换后的关断相电压与三相桥式逆变电路直流母线电压的一半进行比较,根据其差值计算换向位置校正角,将换向位置校正角与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角,得到换相延迟校正信号,通过换向相位的闭环PI调节,即CPU控制模块的换相逻辑与控制,实现无位置传感器无刷直流电机换向相位的实时校正。

[0089] 其控制流程如图8所示,通过对关断相电压进行分压采样并与 $U_d/2$ 比较,并以此比较差值计算出换向相位校正角 $\Delta\theta$,将换向相位校正角 $\Delta\theta$ 与在传统反电势无位置传感器检测电路得到的换相位置角相加得到正确的换相相位角 θ ,并且通过换相逻辑控制将正确的换相相位角 θ 传输至所述三相全桥驱动控制电路驱动,驱动所述无位置传感器无刷直流电机正确换相。

[0090] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范

围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

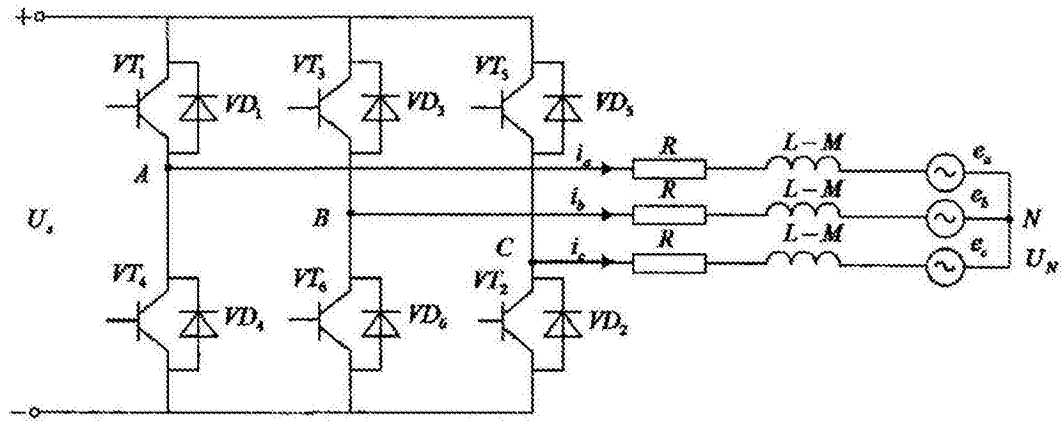


图1

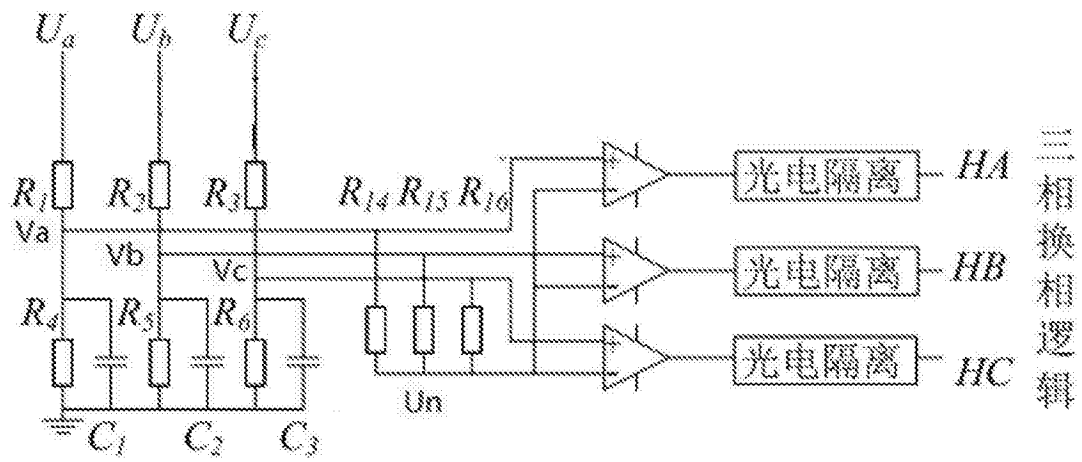


图2

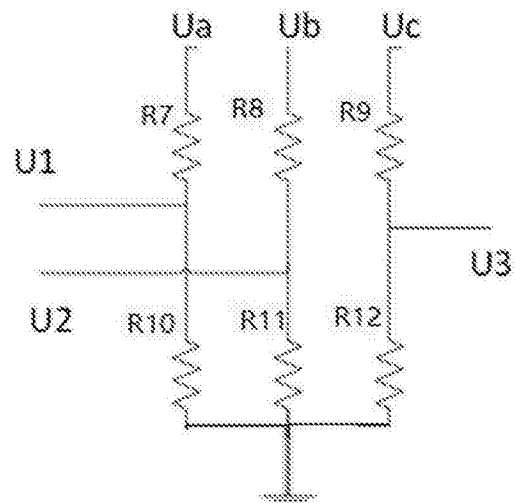


图3

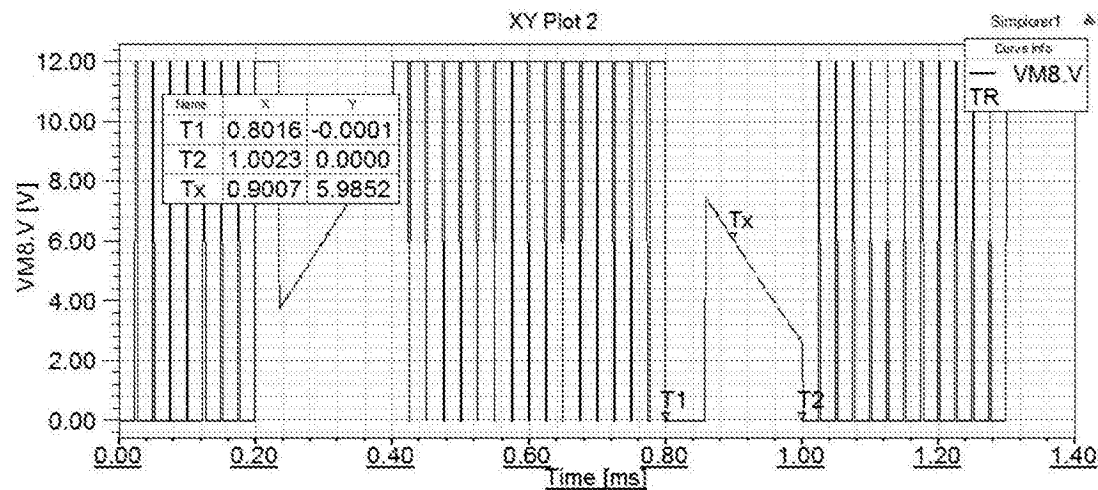


图4

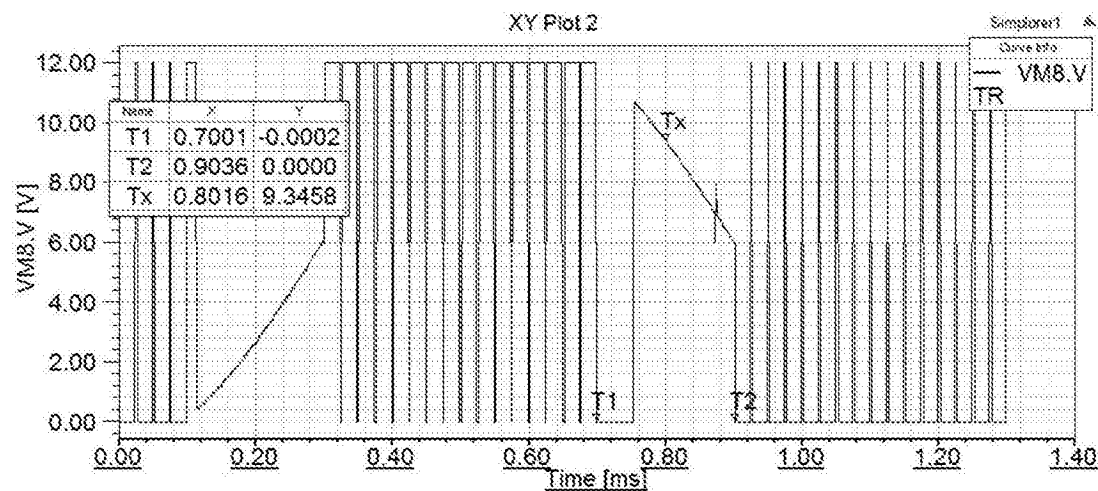


图5

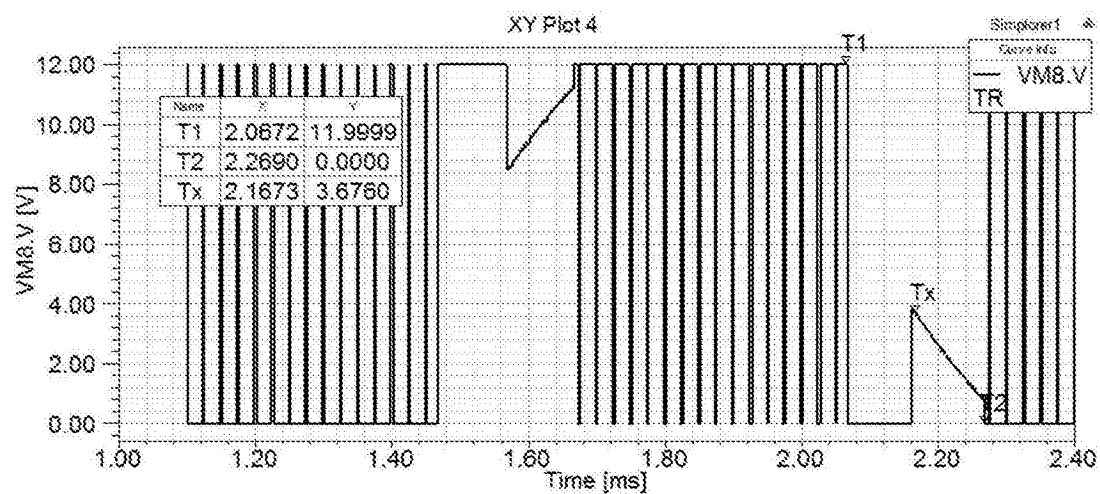


图6

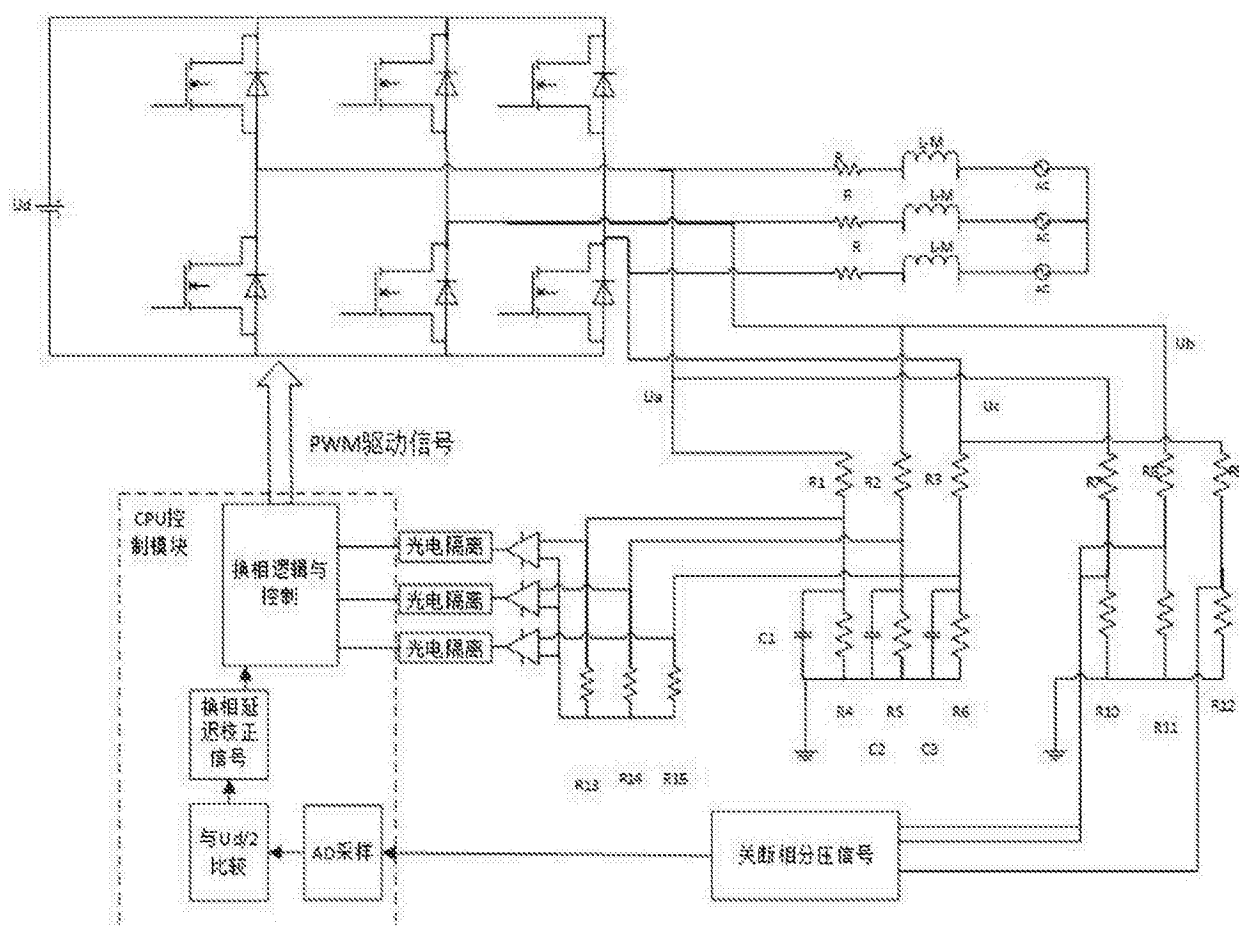


图7

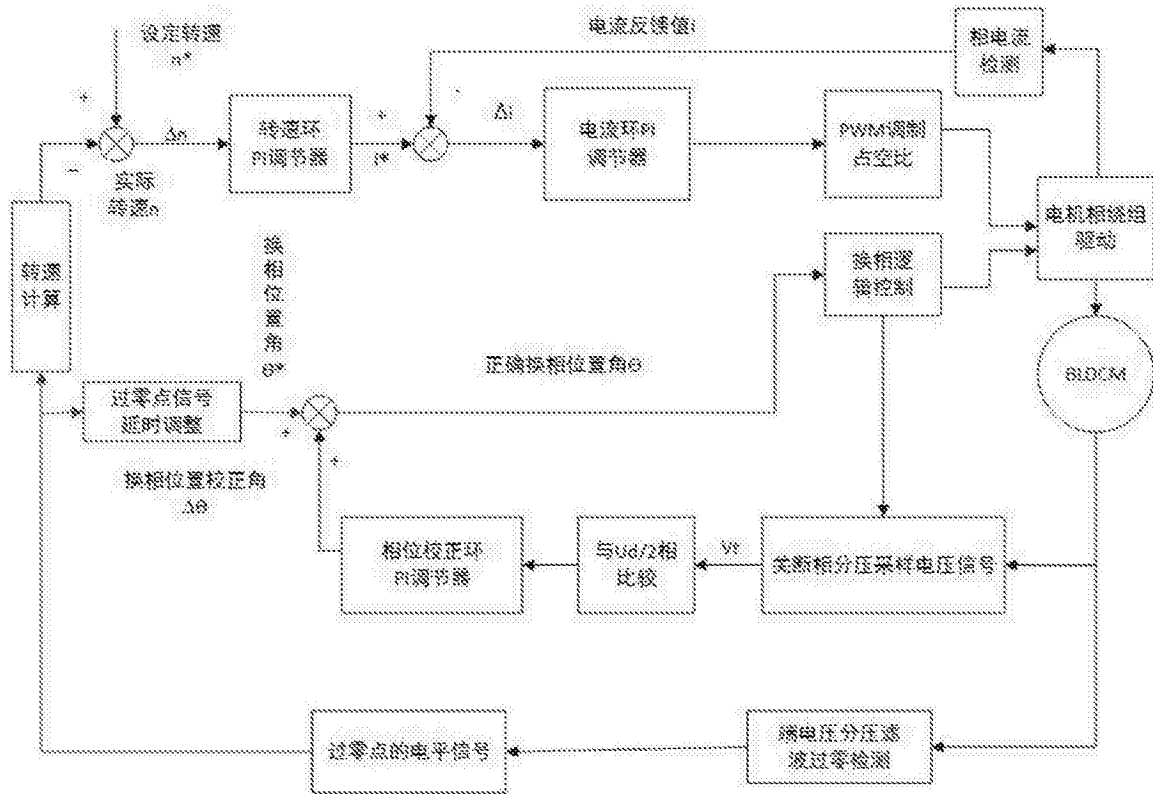


图8