(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 206004563 U
(45)授权公告日 2017.03.08

(21)申请号 201621086150.X

(22)申请日 2016.09.27

(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)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

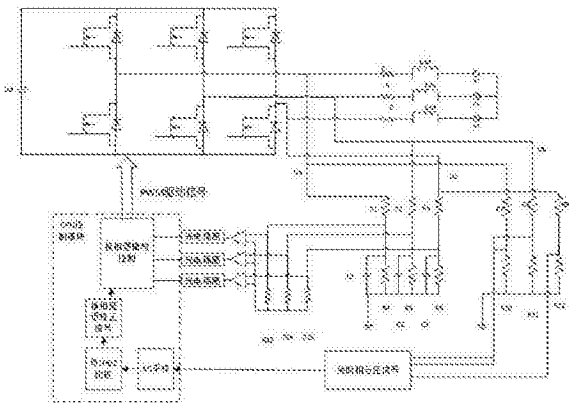
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)实用新型名称

一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统

(57)摘要

本实用新型公开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，包括无位置传感器无刷直流电机、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连接三相全桥驱动控制电路；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电压传输至所述CPU控制模块；所述CPU控制模块进行换相逻辑与控制，通过PI调节完成换向相位的闭环调节，将控制信号传输至三相全桥驱动控制电路，实现无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正。



CN 206004563 U

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、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绕组端电压；

所述分压采样电路对无位置传感器无刷直流电机的绕组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。

2.如权利要求1所述的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：所述三相全桥驱动控制电路采用两电平三相桥式逆变器，包括并联的三相桥壁，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连接。

3.如权利要求1所述的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：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；

所述转子包括永磁体磁极。

4.如权利要求1所述的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：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；

所述转子包括永磁体磁极。

5.如权利要求1所述的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：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。

6.如权利要求1所述的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：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。

7.如权利要求1所述的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：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。

8.如权利要求1所述的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: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。

一种无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正系统

技术领域

[0001] 本实用新型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。

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，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系统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系统。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，刘刚等人在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，但是上述两种系统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。

实用新型内容

[0005] 本实用新型为了解决上述问题，克服现有无位置传感器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。

[0006] 为了实现上述目的，本实用新型采用如下技术方案：

[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、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控制模块进行换相逻辑与控制，通过PI调节完成换向相位的闭环调节，将控制信号传输至三相全桥驱动控制电路，实现无位置传感器无刷直流电机换向相位实时校正。

[0012] 进一步的，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。

[0013] 进一步的，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。

[0014] 进一步的，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。

[0015] 进一步的，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。

[0016] 进一步的，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。

[0017] 进一步的，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。

[0018] 本实用新型的有益效果为：

[0019] 本实用新型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，在无位置传感器无刷直流电机每一导通状态的中间时刻，采样关断相分压检测电路的相应输出电压，计算出换向相位修正角，并通过CPU控制模块的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

[0020] 图1是三相全桥驱动电路无刷直流电机电路图；

[0021] 图2是传统基于端电压的无位置传感器位置检测电路；

[0022] 图3是关断相绕组端电压分压采样电路；

[0023] 图4是正常换相情况下A相端电压采样信号；

[0024] 图5是超前换相情况下A相端电压采样信号；

[0025] 图6是滞后换相情况下A相端电压采样信号；

[0026] 图7是本实用新型的整体硬件连接图。

具体实施方式：

[0027] 下面结合附图与实施例对本实用新型作进一步说明。

[0028] 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、位置检测电路、分压采样电路和CPU控制模块；

[0029] 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；

[0030] 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；

[0031] 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；

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] 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。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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，

[0041] 若AD采样转换后的关断相电压等于三相桥式逆变电路直流母线电压的一半，所述定子的当前相电枢绕组为正常换向；

[0042] 若AD采样转换后的关断相电压大于三相桥式逆变电路直流母线电压的一半，所述定子的当前相电枢绕组为超前换向；

[0043] 若AD采样转换后的关断相电压小于三相桥式逆变电路直流母线电压的一半，所述定子的当前相电枢绕组为滞后换向。

[0044] 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△θ为0；

[0045] 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$\triangle\theta\approx\arcsin((2Vt-Ud)/2Ec)$，式中，Ec表示相反电势幅值，Vt表示AD采样转换后的关断相电压，Ud表示三相桥式逆变电路直流母线电压；

[0046] 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$\triangle\theta\approx\arcsin((Ud-2Vt)/2Ec)$，式中，Ec表示相反电势幅值，Vt表示AD采样转换后的关断相电压，Ud表示三相桥式逆变电路直流母线电压。

[0047] 实施例1：

[0048] 在本实施例中，使用内嵌式永磁无刷直流电动机进行说明。

[0049] 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相相位校正方法。

[0050] 如图1所示，为三相全桥驱动电路无位置传感器无刷直流电机电路图，三相全桥驱动无位置传感器无刷直流电机的定子的电枢绕组星形连接结构。所述无位置传感器无刷直流电机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VT1～VT6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°电度角空间内，各功率开关管当按VT1VT2～VT2VT3～VT3VT4～VT4VT5～VT5VT6～VT6VT1组合依次轮流导通。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 表1三相换相校正电路采样时刻

[0054]

	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)

[0055] 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Vt，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Va采样，若A相感生电势处于正向穿过ud/2轴，则有：

[0056] 若Va＝Ud/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；

[0057] 若Va＞Ud/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△θ满足关系式：

[0058] △θ≈arcsin((2Va-Ud)/2Ec)；式中，Ec表示相反电势幅值，Va表示AD采样转换后A相的关断相电压，Ud表示三相桥式逆变电路直流母线电压；

[0059] 若Va＜Ud/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△θ≈arcsin((Ud-2Va)/2Ec)式中，Ec表示相反电势幅值Va表示AD采样转换后A相的关断相电压，Ud表示三相桥式逆变电路直流母线电压。

[0060] 将此换向位置校正角△θ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。

[0061] 图7为本实用新型的整体硬件连接图。

[0062] 上述虽然结合附图对本实用新型的具体实施方式进行了描述，但并非对本实用新型保护范围的限制，所属领域技术人员应该明白，在本实用新型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实用新型的保护范围以内。

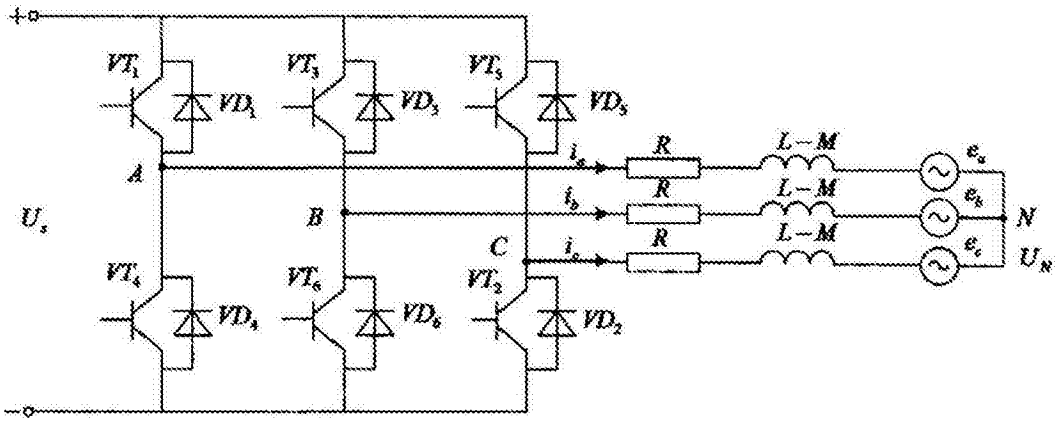

VT1
VT3
VT5
VD1
VD3
VD5
A
B
C
Us
VT4
VT6
VT2
VD4
VD6
VD2
R
L−M
N
UN

图1

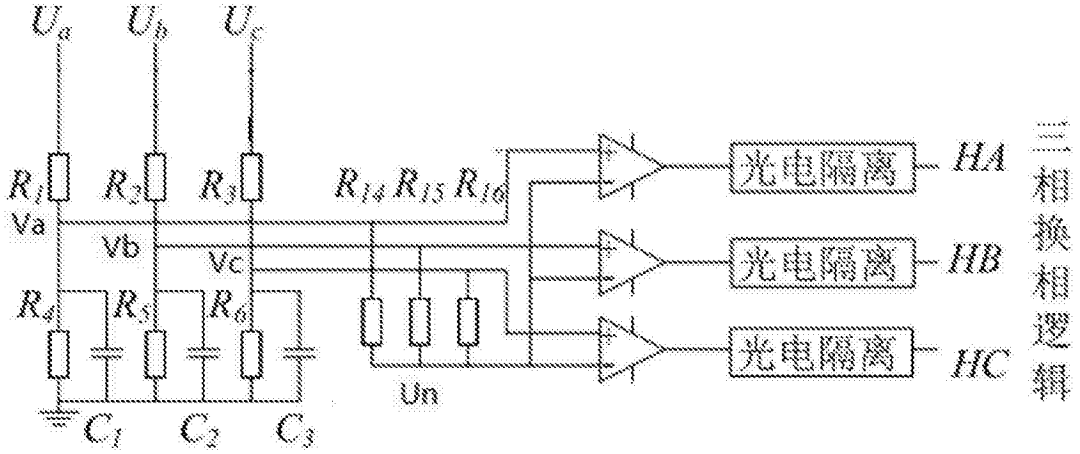

Ua
Ub
Uc
R1
R2
R3
R14 R15 R16
Va
Vb
Vc
R4
R5
R6
C1
C2
C3
Un
光电隔离
光电隔离
光电隔离
HA
HB
HC
三相换相逻辑

图2

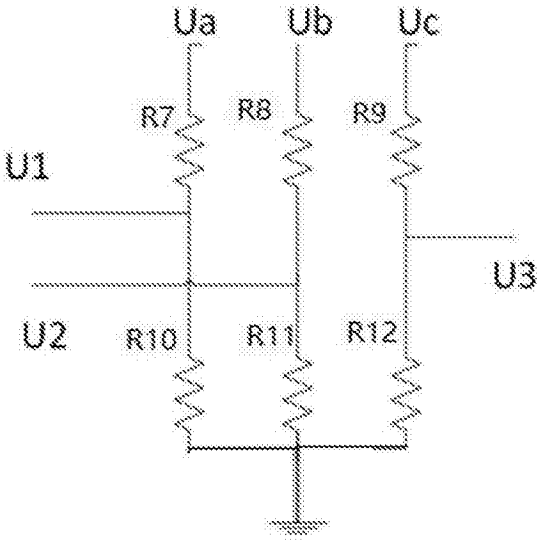

Ua
Ub
Uc
R7
R8
R9
U1
U3
U2
R10
R11
R12

图3

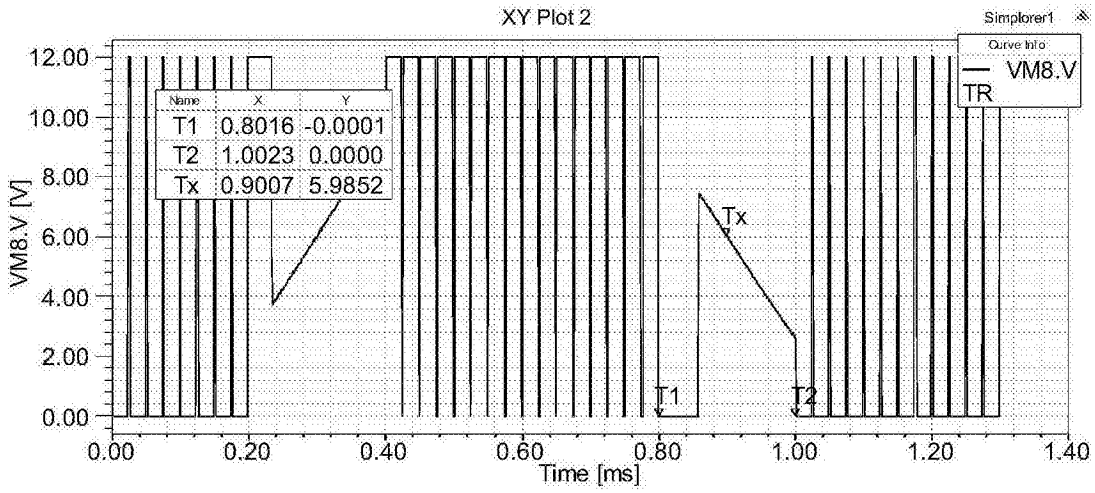

XY Plot 2
Simplorer1
Curve Info
VM8.V
TR
Name X Y
T1 0.8016 -0.0001
T2 1.0023 0.0000
Tx 0.9007 5.9852
VM8.V [V]
Time [ms]
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
0.00 0.20 0.40 0.60 0.80 1.00 1.20 1.40
T1
T2
Tx

图4

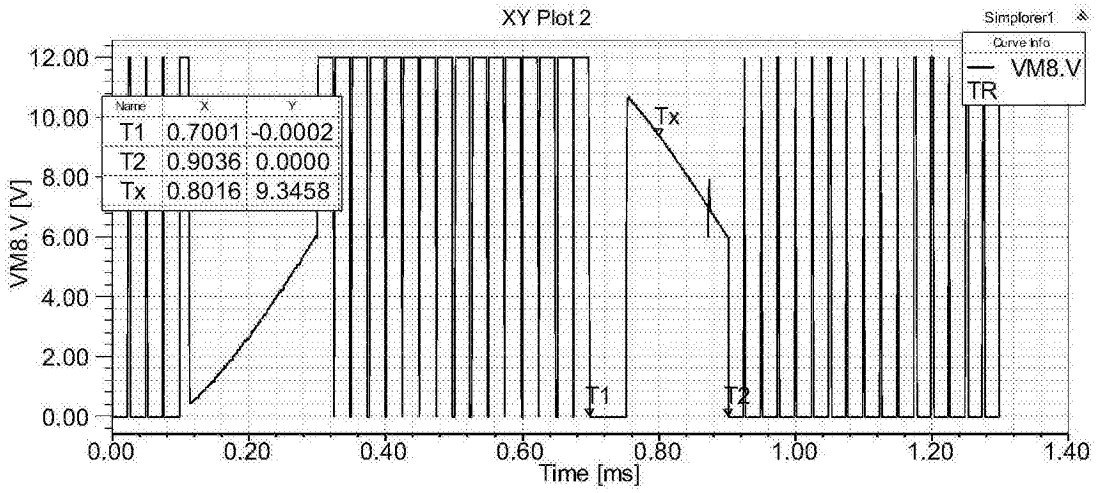

XY Plot 2
Simplorer1
Curve Info
VM8.V
TR
Name X Y
T1 0.7001 -0.0002
T2 0.9036 0.0000
Tx 0.8016 9.3458
VM8.V [V]
Time [ms]
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
0.00 0.20 0.40 0.60 0.80 1.00 1.20 1.40
T1
T2
Tx

图5

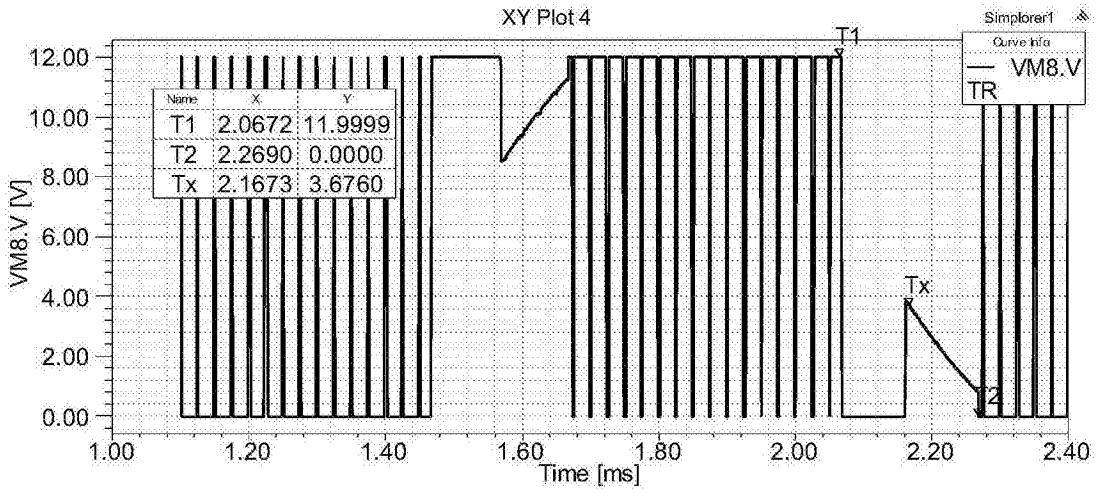

XY Plot 4
Simplorer1
Curve Info
VM8.V
TR
T1
Tx
T2
Name X Y
T1 2.0672 11.9999
T2 2.2690 0.0000
Tx 2.1673 3.6760
VM8.V [V]
Time [ms]
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
1.00
1.20
1.40
1.60
1.80
2.00
2.20
2.40

图6

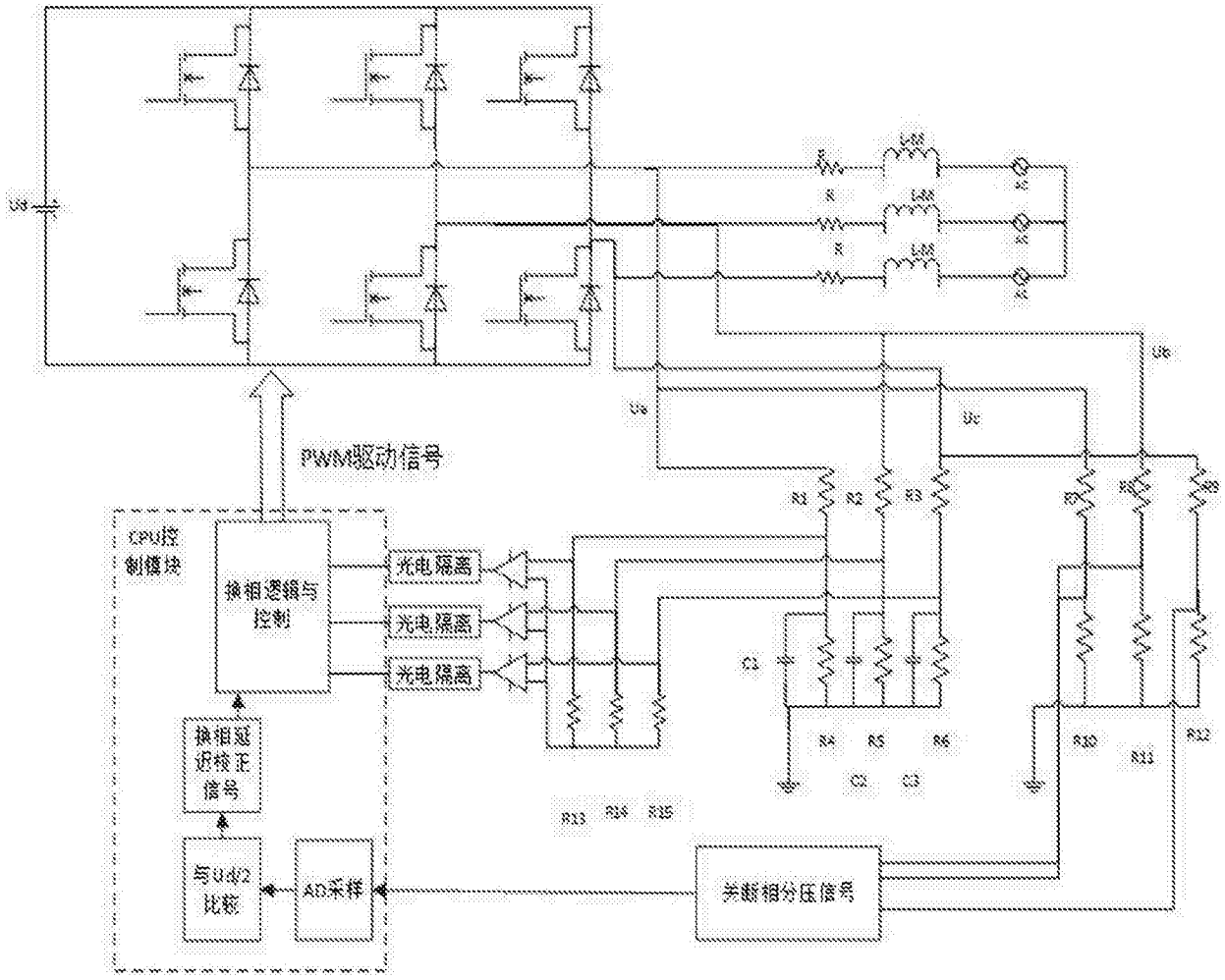

PWM驱动信号
CPU控制模块
换相逻辑与控制
光电隔离
光电隔离
光电隔离
换相延迟修正信号
与U4/2比较
AD采样
关断相分压信号

图7