



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106921332 B

(45)授权公告日 2020.09.15

(21)申请号 201511008442.1

(22)申请日 2015.12.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106921332 A

(43)申请公布日 2017.07.04

(73)专利权人 上海中科深江电动车辆有限公司

地址 201821 上海市嘉定区叶城路1631号

(72)发明人 张陈斌 孙江明 林利 肖欣

徐冲 杨士宝 刘正辉 付毅博

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理

有限公司 11205

代理人 杨贝贝 黄健

(51)Int.Cl.

H02P 21/28(2016.01)

(56)对比文件

CN 103633910 A, 2014.03.12

CN 103208963 A, 2013.07.17

CN 104333284 A, 2015.02.04

CN 101499771 A, 2009.08.05

US 6288515 B1, 2001.09.11

孙丹, 贺益康, 何宗元.《基于容错逆变器的永磁同步电机直接转矩控制》.《浙江大学学报》.2007,

解晨.“异步电机软启动器电压空间矢量控制技术的研究”.《万方学位论文库》.2015,

韩英桃 马瑞卿.《混合型电压空间矢量PWM变频调速器》.《微电机》.1996,

孙丹, 贺益康, 何宗元.《基于容错逆变器的永磁同步电机直接转矩控制》.《浙江大学学报》.2007,

审查员 王彦华

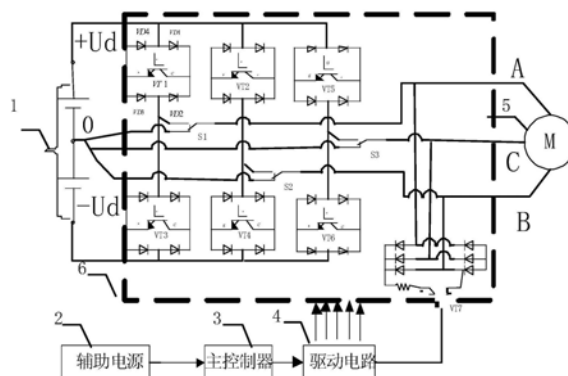
权利要求书2页 说明书13页 附图3页

(54)发明名称

正十二边形磁链轨迹控制装置及方法

(57)摘要

本发明提供一种正十二边形磁链轨迹控制装置及方法,该装置包括车载动力电池、辅助电源、主控制器、驱动电路、三相永磁同步电机、功率管单元、第一继电器、第二继电器与第三继电器,通过主控制器控制功率管单元包括的各个开关管,实现对三相永磁同步电机磁链轨迹的控制。该控制过程中,直接通过控制功率管单元包括的各个开关管实现对三相永磁同步电机磁链轨迹的控制,无需复杂的矢量变换等环节,控制过程简单,提升了三相永磁同步电机的响应速度。



1. 一种正十二边形磁链轨迹控制装置,其特征在于,包括:

车载动力电池、辅助电源、主控制器、驱动电路、三相永磁同步电机、功率管单元、第一继电器、第二继电器与第三继电器,其中,

所述车载动力电池包括第一段与第二段,所述第一段的负极与所述第二段的正极连接,所述第一段与所述第二段串联,所述第一段与所述第二段的电压为 U_d ;

所述功率管单元包括第一开关管VT1、第二开关管VT2、第三开关管VT3、第四开关管VT4、第五开关管VT5、第六开关管VT6与第七开关管VT7;

所述第一段的正极与所述VT1、所述VT2与所述VT5的输入端连接,所述第二段的负极与所述VT3、所述VT4与所述VT6的输入端连接;

所述第一继电器与所述三相永磁同步电机的A相绕组连接,所述第一继电器的常开触点与所述VT1、所述VT3的输出端连接;

所述第二继电器与所述三相永磁同步电机的B相绕组连接,所述第二继电器的常开触点与所述VT2、所述VT4的输出端连接;

所述第三继电器与所述三相永磁同步电机的C相绕组连接,所述第三继电器的常开触点与所述VT5、所述VT6的输出端连接;

所述第一继电器的常闭触点、所述第二继电器的常闭触点以及所述第三继电器的常闭触点与所述第一段与所述第二段的连接点连接;

所述三相永磁同步电机的A相绕组还分别与第一个二极管的正极和第二个二极管的负极连接,所述三相永磁同步电机的B相绕组还分别与第三个二极管的正极和第四个二极管的负极连接,所述三相永磁同步电机的C相绕组还分别与第五个二极管的正极和第六个二极管的负极连接;其中,所述第一个二极管的负极分别与第三个二极管的负极、第五个二极管的负极、电阻的一端连接,并通过电阻的另一端与所述VT7的输入端连接,所述第二个二极管的正极分别与第四个二极管的正极、第六个二极管的正极连接,第三个二极管的正极与第四个二极管的负极连接,第五个二极管的正极与所述第六个二极管的负极连接,且第六个二极管的负极还与所述VT7的输出端连接;

所述主控制器,用于控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7,以控制所述三相永磁同步电机的磁链轨迹;

所述辅助电源与所述主控制器电连接;

所述主控制器与所述驱动电路电连接;

所述驱动电路用于产生7路触发脉冲,所述7路触发脉冲分别与所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7的控制端连接;

所述主控制器,具体用于控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形,所述方向为所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的开通或关断,所述时长为所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的开通或关断时,对应的所述A相绕组、所述B相绕组与所述C相绕组中,至少两个绕组导通的时长,其中,所述正十二边形的磁链轨迹的十二个边形成十二个磁场矢量区间;

所述主控制器,还用于当所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4与所述VT7均未损坏,所述VT5与所述VT6中至少一个发生损坏,所述主控制器控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述

VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形;

所述功率管单元还包括7个保护电路,分别用于保护所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7为全控型器件。

3. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,所述全控型器件包括:绝缘栅双极型晶体管、门极可关断晶闸管。

正十二边形磁链轨迹控制装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电气传动技术,尤其涉及一种正十二边形磁链轨迹控制装置及方法。

背景技术

[0002] 随着环保意识的深入人心,具有零排放、无污染、能量利用率高等特点的电动汽车越来越受到消费者的青睐。三相永磁同步电机作为电动汽车的动力源,是电动汽车的重要配件之一。

[0003] 目前,三相永磁同步电机的三相绕组分别通过两只开关管与电源相连接。磁链轨迹控制过程中,采用电压空间矢量控制方法,通过矢量坐标变换、电流环控制、输出坐标变化等环节以对磁链轨迹进行控制。

[0004] 上述磁链轨迹控制过程中,矢量控制环节多,矢量算法复杂,导致三相永磁电机的响应速度慢。

发明内容

[0005] 本发明提供一种正十二边形磁链轨迹控制装置及方法,以提高三相永磁电机的响应速度。

[0006] 第一个方面,本发明实施例提供一种正十二边形磁链轨迹控制装置,包括:

[0007] 车载动力电池、辅助电源、主控制器、驱动电路、三相永磁同步电机、功率管单元、第一继电器、第二继电器与第三继电器,其中,

[0008] 所述车载动力电池包括第一段与第二段,所述第一段的负极与所述第二段的正极连接,所述第一段与所述第二段串联,所述第一段与所述第二段的电压为 U_d ;

[0009] 所述功率管单元包括第一开关管VT1、第二开关管VT2、第三开关管VT3、第四开关管VT4、第五开关管VT5、第六开关管VT6与第七开关管VT7;

[0010] 所述第一段的正极与所述VT1、所述VT2与所述VT5的输入端连接,所述第二段的负极与所述VT3、所述VT4与所述VT6的输入端连接;

[0011] 所述第一继电器与所述三相永磁同步电机的A相绕组连接,所述第一继电器的常开触点与所述VT1、所述VT3的输出端连接;

[0012] 所述第二继电器与所述三相永磁同步电机的B相绕组连接,所述第二继电器的常开触点与所述VT2、所述VT4的输出端连接;

[0013] 所述第三继电器与所述三相永磁同步电机的C相绕组连接,所述第三继电器的常开触点与所述VT5、所述VT6的输出端连接;

[0014] 所述第一继电器的常闭触点、所述第二继电器的常闭触点以及所述第三继电器的常闭触点与所述第一段与所述第二段的连接点连接;

[0015] 所述三相永磁同步电机的A相绕组还分别与第一个二极管的正极和第二个二极管的负极连接,所述三相永磁同步电机的B相绕组还分别与第三个二极管的正极和第四个二极管的负极连接,所述三相永磁同步电机的C相绕组还分别与第五个二极管的正极和第六个二极管的负极连接;

个二极管的负极连接;其中,所述第一个二极管的负极分别与第三个二极管的负极、第五个二极管的负极、电阻的一端连接,并通过电阻的另一端与所述VT7的输入端连接,所述第二个二极管的正极分别与第四个二极管的正极、第六个二极管的正极连接,第三个二极管的正极与第四个二极管的负极连接,第五个二极管的正极与所述第六个二极管的负极连接,且第六个二极管的负极还与所述VT7的输出端连接;

[0016] 所述主控制器,用于控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7,以控制所述三相永磁同步电机的磁链轨迹;

[0017] 所述辅助电源与所述主控制器电连接;

[0018] 所述主控制器与所述驱动电路电连接;

[0019] 所述驱动电路用于产生7路触发脉冲,所述7路触发脉冲分别与所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7的控制端连接。

[0020] 在第一个方面的第一种可能的实现方式中,所述功率管单元还包括7个保护电路,分别用于保护所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7。

[0021] 结合第一个方面或第一个方面的第一种可能的实现方式,在第一个方面的第二种可能的实现方式中,所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7为全控型器件。

[0022] 结合第一个方面的第二种可能的实现方式,在第一个方面的第三种可能的实现方式中,所述全控型器件包括:绝缘栅双极型晶体管、门极可关断晶闸管。

[0023] 第二个方面,本发明实施例提供一种采用如上第一个方面、第一个方面的第一种、第二种或第三种方式实现的磁链轨迹装置进行磁链轨迹控制的方法,该方法包括:

[0024] 所述主控制器控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形,所述方向为所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的开通或关断,所述时长为所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的开通或关断时,对应的所述A相绕组、所述B相绕组与所述C相绕组中,至少两个绕组导通的时长,其中,所述正十二边形的磁链轨迹的十二个边形成十二个磁场矢量区间。

[0025] 在第二个方面的第一种可能的实现方式中,所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6与所述VT7均未损坏,所述主控制器控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形,包括:

[0026] 磁场矢量I区间:所述主控制器在 t_1 时刻向所述VT1与所述VT6发送触发开通信号,以使所述A相绕组与所述C相绕组导通,导通时长为 t_1' ,时间到达 t_2 时刻,所述主控制器在所述 t_2 时刻向所述VT2发送触发开通信号;其中,所述 t_1 时刻为所述正十二边形磁链轨迹控制装置的上电时刻;从所述 t_1 时刻到所述 t_2 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AC}$,所述磁场矢量I区间的磁链大小为 $2U_d \times t_1'$;

[0027] 磁场矢量II区间:所述主控制器在 t_3 时刻向所述VT1发送触发关断信号,所述 t_3 时刻与所述 t_2 时刻之间的时长为 t_2' ;从所述 t_2 时刻到所述 t_3 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+AC}$,所述磁场矢量II区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_2'$;

[0028] 磁场矢量III区间:所述主控制器在 t_4 时刻向所述VT3发送触发开通信号,所述 t_4 时

刻与所述 t_3 时刻之间的时长为 t_3' ;从所述 t_3 时刻到所述 t_4 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC}$,所述磁场矢量III区间的磁链大小为 $2U_d \times t_3'$;

[0029] 磁场矢量IV区间:所述主控制器在 t_5 时刻向所述VT6发送触发关断信号,所述 t_5 时刻与所述 t_4 时刻之间的时长为 t_4' ;从所述 t_4 时刻到所述 t_5 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+BA}$,所述磁场矢量IV区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_4'$;

[0030] 磁场矢量V区间:所述主控制器在t₆时刻向所述VT5发送触发开通信号,所述t₆时刻与所述t₅时刻之间的时长为t₅';从所述t₅时刻到所述t₆时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BA}$,所述磁场矢量V区间的磁链大小为 $2U_d \times t_5'$;

[0031] 磁场矢量VI区间:所述主控制器在 t_7 时刻向所述VT2发送触发关断信号,所述 t_7 时刻与所述 t_6 时刻之间的时长为 t_6' ;从所述 t_6 时刻到所述 t_7 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{U}_{CA+BA}$,所述磁场矢量VI区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_6'$;

[0032] 磁场矢量Ⅶ区间:所述主控制器在 t_8 时刻向所述VT4发送触发开通信号,所述 t_8 时刻与所述 t_7 时刻之间的时长为 t_7' ;从所述 t_7 时刻到所述 t_8 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA}$,所述磁场矢量Ⅶ区间的磁链大小为 $2U_d \times t_7'$;

[0033] 磁场矢量Ⅷ区间:所述主控制器在 t_9 时刻向所述VT3发送触发关断信号,所述 t_9 时刻与所述 t_8 时刻之间的时长为 t_8' ;从所述 t_8 时刻到所述 t_9 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+CB}$,所述磁场矢量Ⅷ区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_8'$;

[0034] 磁场矢量IX区间:所述主控制器在 t_{10} 时刻向所述VT1发送触发开通信号,所述 t_{10} 时刻与所述 t_9 时刻之间的时长为 t_9' ;从所述 t_9 时刻到所述 t_{10} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CB}$,所述磁场矢量IX区间的磁链大小为 $2U_d \times t_9'$;

[0035] 磁场矢量X区间:所述主控制器在 t_{11} 时刻向所述VT5发送触发关断信号,所述 t_{11} 时刻与所述 t_{10} 时刻之间的时长为 t_{10}' ;从所述 t_{10} 时刻到所述 t_{11} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+CB}$,所述磁场矢量X区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_{10}'$;

[0036] 磁场矢量XI区间:所述主控制器在 t_{12} 时刻向所述VT6发送触发开通信号,所述 t_{12} 时刻与所述 t_{11} 时刻之间的时长为 t_{11}' ;从所述 t_{11} 时刻到所述 t_{12} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB}$,所述磁场矢量XI区间的磁链大小为 $2U_d \times t_{11}'$;

[0037] 磁场矢量XII区间:所述主控制器在 t_{13} 时刻向所述VT4发送触发关断信号,所述 t_{13} 时刻与所述 t_{12} 时刻之间的时长为 t_{12}' ;从所述 t_{12} 时刻到所述 t_{13} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+AC}$,所述磁场矢量XII区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_{11}'$,从所述 t_{13} 时刻开始,返回所述磁场矢量I区间,如此循环;

[0038] 其中,所述

$$t_1' : t_2' : t_3' : t_4' : t_5' : t_6' : t_7' : t_8' : t_9' : t_{10}' : t_{11}' : t_{12}' = \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3} : 1。$$

[0039] 在第二个方面的第二种可能的实现方式中,所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4与所述VT7均未损坏,所述VT5与所述VT6中至少一个发生损坏,所述主控制器控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永

磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形,包括:

[0040] 磁场矢量Ⅰ区间:所述主控制器在 T_1 时刻向所述VT1发送触发开通信号,以使所述A相绕组与所述C相绕组导通,导通时长为 T_1' ,时间到达 T_2 时刻,所述主控制器在所述 T_2 时刻向所述VT2发送触发开通信号;其中,所述 T_1 时刻为所述VT5与所述VT6中至少一个发生损坏的时刻;从所述 T_1 时刻到所述 T_2 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AC}$,所述磁场矢量Ⅰ区间的磁链大小为 $U_d \times T_1'$;

[0041] 磁场矢量Ⅱ区间:所述主控制器在 T_3 时刻向所述VT1发送触发关断信号,所述 T_3 时刻与所述 T_2 时刻之间的时长为 T_2' ;从所述 T_2 时刻到所述 T_3 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+AC}$,所述磁场矢量Ⅱ区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_2'$;

[0042] 磁场矢量Ⅲ区间:所述主控制器在 T_4 时刻向所述VT3与所述VT1发送触发开通信号,所述 T_4 时刻与所述 T_3 时刻之间的时长为 T_3' ;从所述 T_3 时刻到所述 T_4 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC}$,所述磁场矢量Ⅲ区间的磁链大小为 $U_d \times T_3'$;

[0043] 磁场矢量Ⅳ区间:所述主控制器在 T_5 时刻向所述VT1发送触发关断信号,所述 T_5 时刻与所述 T_4 时刻之间的时长为 T_4' ;从所述 T_4 时刻到所述 T_5 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+BA}$,所述磁场矢量Ⅳ区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_4'$;

[0044] 磁场矢量Ⅴ区间:所述主控制器在 T_6 时刻向所述VT4发送触发开通信号,所述 T_6 时刻与所述 T_5 时刻之间的时长为 T_5' ;从所述 T_5 时刻到所述 T_6 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BA}$,所述磁场矢量Ⅴ区间的磁链大小为 $3U_d \times T_5'$;

[0045] 磁场矢量Ⅵ区间:所述主控制器在 T_7 时刻向所述VT2与所述VT4发送触发关断信号,所述 T_7 时刻与所述 T_6 时刻之间的时长为 T_6' ;从所述 T_6 时刻到所述 T_7 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+BA}$,所述磁场矢量Ⅵ区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_6'$;

[0046] 磁场矢量Ⅶ区间:所述主控制器在 T_8 时刻向所述VT4发送触发开通信号,所述 T_8 时刻与所述 T_7 时刻之间的时长为 T_7' ;从所述 T_7 时刻到所述 T_8 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA}$,所述磁场矢量Ⅶ区间的磁链大小为 $U_d \times T_7'$;

[0047] 磁场矢量Ⅷ区间:所述主控制器在 T_9 时刻向所述VT3发送触发关断信号,所述 T_9 时刻与所述 T_8 时刻之间的时长为 T_8' ;从所述 T_8 时刻到所述 T_9 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+CB}$,所述磁场矢量Ⅷ区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_8'$;

[0048] 磁场矢量Ⅸ区间:所述主控制器在 T_{10} 时刻向所述VT1与所述VT3发送触发开通信号,所述 T_{10} 时刻与所述 T_9 时刻之间的时长为 T_9' ;从所述 T_9 时刻到所述 T_{10} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CB}$,所述磁场矢量Ⅸ区间的磁链大小为 $U_d \times T_9'$;

[0049] 磁场矢量Ⅹ区间:所述主控制器在 T_{11} 时刻向所述VT3发送触发关断信号,所述 T_{11} 时刻与所述 T_{10} 时刻之间的时长为 T_{10}' ;从所述 T_{10} 时刻到所述 T_{11} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+CB}$,所述磁场矢量Ⅹ区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_{10}'$;

[0050] 磁场矢量Ⅺ区间:所述主控制器在 T_{12} 时刻向所述VT2发送触发开通信号,所述 T_{12} 时刻与所述 T_{11} 时刻之间的时长为 T_{11}' ;从所述 T_{11} 时刻到所述 T_{12} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB}$,所述磁场矢量Ⅺ区间的磁链大小为 $3U_d \times T_{11}'$;

[0051] 磁场矢量Ⅻ区间:所述主控制器在 T_{13} 时刻向所述VT4与所述VT2发送触发关断信

号,所述 T_{13} 时刻与所述 T_{12} 时刻之间的时长为 T_{12}' ;从所述 T_{12} 时刻到所述 T_{13} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+AC}$,所述磁场矢量Ⅲ区间的磁链大小为 $\sqrt{3}U_d \times T_{12}'$,从所述 T_{13} 时刻开始,返回所述磁场矢量I区间,如此循环;

[0052] 其中,所述 $T_1' : T_2' : T_3' : T_4' : T_5' : T_6' : T_7' : T_8' : T_9' : T_{10}' : T_{11}' : T_{12}' = 3 : \sqrt{3} : 3 : \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3} : 3 : \sqrt{3} : 3 : \sqrt{3} : 1 : \sqrt{3}$ 。

[0053] 本发明实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置及方法,该装置包括车载动力电池、辅助电源、主控制器、驱动电路、三相永磁同步电机、功率管单元、第一继电器、第二继电器与第三继电器,通过主控制器控制功率管单元包括的各个开关管,实现对三相永磁同步电机磁链轨迹的控制。该控制过程中,直接通过控制功率管单元包括的各个开关管实现对三相永磁同步电机磁链轨迹的控制,无需复杂的矢量变换等环节,控制过程简单,提升了三相永磁同步电机的响应速度。

附图说明

[0054] 图1为本发明一实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置的结构示意图;

[0055] 图2为本发明正十二边形磁链轨迹控制装置所适用的三相永磁同步电机的绕组分布示意图;

[0056] 图3为本发明一实施例提供的永磁同步电机正十二边形磁链轨迹示意图;

[0057] 图4为本发明一实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置正常工作时的电路拓扑结构;

[0058] 图5为本发明一实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置C相绕组所接开关管故障时的工作电路拓扑结构。

具体实施方式

[0059] 如图1所示,本发明实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置包括:车载动力电池1、辅助电源2、主控制器3、驱动电路4、三相永磁同步电机5、功率管单元6、第一继电器S1、第二继电器S2与第三继电器S3,其中,所述车载动力电池1均分为两部分串联,即车载动力电池1包括第一段与第二段,所述第一段的负极与所述第二段的正极连接,所述第一段与所述第二段串联,所述第一段与所述第二段的电压为 U_d ;所述功率管单元6包括第一开关管VT1、第二开关管VT2、第三开关管VT3、第四开关管VT4、第五开关管VT5、第六开关管VT6与第七开关管VT7;所述第一段的正极与所述VT1、所述VT2与所述VT5的输入端连接,所述第二段的负极与所述VT3、所述VT4与所述VT6的输入端连接;所述第一继电器S1与所述三相永磁同步电机5的A相绕组连接,所述第一继电器S1的常开触点与所述VT1、所述VT3的输出端连接;所述第二继电器S2与所述三相永磁同步电机5的B相绕组连接,所述第二继电器S2的常开触点与所述VT2、所述VT4的输出端连接;所述第三继电器S3与所述三相永磁同步电机5的C相绕组连接,所述第三继电器S3的常开触点与所述VT5、所述VT6的输出端连接;所述第一继电器S1的常闭触点、所述第二继电器S2的常闭触点以及所述第三继电器S3的常闭触点与所述第一段与所述第二段的连接点连接;所述三相永磁同步电机的A相绕组还分别与第一个二

极管的正极和第二个二极管的负极连接,所述三相永磁同步电机的B相绕组还分别与第三个二极管的正极和第四个二极管的负极连接,所述三相永磁同步电机的C相绕组还分别与第五个二极管的正极和第六个二极管的负极连接;其中,所述第一个二极管的负极分别与第三个二极管的负极、第五个二极管的负极、电阻的一端连接,并通过电阻的另一端与所述VT7的输入端连接,所述第二个二极管的正极分别与第四个二极管的正极、第六个二极管的正极连接,第三个二极管的正极与第四个二极管的负极连接,第五个二极管的正极与所述第六个二极管的负极连接,且第六个二极管的负极还与所述VT7的输出端连接;所述主控制器3,用于控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7,以控制所述三相永磁同步电机5的磁链轨迹;所述辅助电源2与所述主控制器3电连接;所述主控制器3与所述驱动电路4电连接;所述驱动电路4用于产生7路触发脉冲,所述7路触发脉冲分别与所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7的控制端连接。

[0060] 本发明实施例中,三相永磁同步电机5的三个绕组,即A相绕组、B相绕组与C相绕组相互对称分布,具体的,可参见图2,图2为本发明正十二边形磁链轨迹控制装置所适用的三相永磁同步电机的绕组分布示意图。

[0061] 本发明实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置,包括车载动力电池、辅助电源、主控制器、驱动电路、三相永磁同步电机、功率管单元、第一继电器、第二继电器与第三继电器,通过主控制器控制功率管单元包括的各个开关管,实现对三相永磁同步电机磁链轨迹的控制。该控制过程中,直接通过控制功率管单元包括的各个开关管实现对三相永磁同步电机磁链轨迹的控制,无需复杂的矢量变换等环节,控制过程简单,提升了三相永磁同步电机的响应速度。

[0062] 可选的,上述实施例中,所述功率管单元还包括7个保护电路,分别用于保护所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6以及所述VT7。

[0063] 具体的,再请参照图1,功率管单元6包括的各个开关管,即VT1~VT7,可以为全控型器件,如绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)、门极可关断晶闸管(Gate-Turn-Off Thyristor, GTO)等。对于每一个开关管,都设置了保护电路,该保护电路包括四个二极管。例如,对于VT1,其保护电路由二极管(VD1、VD2、VD3与VD4组成)。另外,功率管单元6中,VT7与整流桥可形成续流回路,其中,整流桥由二极管形成。

[0064] 本发明实施例中,主控制器例如为数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP) TMS320F2809,其通过控制VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形,所述方向为所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的开通或关断,所述时长为所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的开通或关断时,对应的所述A相绕组、所述B相绕组与所述C相绕组中,至少两个绕组导通的时长,其中,所述正十二边形的磁链轨迹的十二个边形成十二个磁场矢量区间。具体的,十二个磁场矢量区间可参见图3,图3为本发明一实施例提供的永磁同步电机正十二边形磁链轨迹示意图。

[0065] 首先,正十二边形磁链轨迹控制装置正常工作时,即功率管单元中的所有开关管:VT1、VT2、VT3、VT4、VT5、VT6与VT7均未损坏第一继电器S1、第二继电器S2与第三继电器S3均吸合时,三相永磁同步电机的三相绕组分别通过两个开关管与车载动力电池相连。此时,主控制器控制VT1、VT2、VT3、VT4、VT5、VT6或者VT7的方向与时长,以将三相永磁同步电机的磁

链轨迹控制为正十二边形,包括:

[0066] 磁场矢量I区间:主控制器在 t_1 时刻向VT1与VT6发送触发开通信号,以使A相绕组与C相绕组导通,导通时长为 t_1' ,时间到达 t_2 时刻,主控制器在 t_2 时刻向VT2发送触发开通信号;其中,为 t_1 时刻为正十二边形磁链轨迹控制装置的上电时刻;从 t_1 时刻到 t_2 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AC}$,磁场矢量I区间的磁链大小为 $2U_d \times t_1'$;

[0067] 具体的,正十二边形磁链轨迹控制装置在 t_1 时刻上电后,由主控制器给VT 1与VT6发送触发开通信号,使得A相绕组与车载动力电池第一段的正极接通,C相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通,A相绕组上的电位为 U_d ,C相绕组上的电位为 $-U_d$,则AC相电压为 $2U_d$,AC绕组导通 t_1' 时长后,时间到达 t_2 时刻,主控制器在该 t_2 时刻向VT2发送触发开通信号。该过程中,即从 t_1 时刻到 t_2 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AC}$,磁场矢量I区间的磁链大小为 $2U_d \times t_1'$ 。

[0068] 磁场矢量II区间:主控制器在 t_3 时刻向VT1发送触发关断信号, t_3 时刻与 t_2 时刻之间的时长为 t_2' ;从 t_2 时刻到 t_3 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+AC}$,磁场矢量II区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_2'$;

[0069] 具体的,从 t_2 时刻开始,A相绕组与B相绕组都与车载动力电池的第一段的正极连接,A相绕组与B相绕组上的电位都为 U_d ,C相绕组上的电位为 $-U_d$,则BC相电压为 $2U_d$,AC相电压为 $2U_d$,此时,AC绕组与BC绕组均导通。经过 t_2' 时长后,时间到达 t_3 时刻,主控制器在该 t_3 时刻向VT1发送触发关断信号。该过程中,即从 t_2 时刻到 t_3 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+AC}$,磁场矢量II区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_2'$ 。

[0070] 磁场矢量III区间:所述主控制器在 t_4 时刻向所述VT3发送触发开通信号,所述 t_4 时刻与所述 t_3 时刻之间的时长为 t_3' ;从所述 t_3 时刻到所述 t_4 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC}$,所述磁场矢量III区间的磁链大小为 $2U_d \times t_3'$ 。

[0071] 具体的,从 t_3 时刻开始,B相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接,B相绕组上的电位为 U_d ,C相绕组上的电位为 $-U_d$,则BC相电压为 $2U_d$,此时,BC绕组导通。经过 t_3' 时长后,时间到达 t_4 时刻,主控制器在该 t_4 时刻向VT3发送触发开通信号。该过程中,即从 t_3 时刻到 t_4 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC}$,磁场矢量III区间的磁链大小为 $2U_d \times t_3'$ 。

[0072] 磁场矢量IV区间:所述主控制器在 t_5 时刻向所述VT6发送触发关断信号,所述 t_5 时刻与所述 t_4 时刻之间的时长为 t_4' ;从所述 t_4 时刻到所述 t_5 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+BA}$,所述磁场矢量IV区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_4'$ 。

[0073] 具体的,从 t_4 时刻开始,B相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接,B相绕组上的电位为 U_d ,A相绕组与C相绕组均与车载动力电池的第二段的负极接通,A相绕组与C相绕组上的电位均为 $-U_d$,则BA相电压为 $2U_d$,BC相电压为 $2U_d$ 。此时,BC绕组与BA绕组均导通。经过 t_4' 时长后,时间到达 t_5 时刻,主控制器在该 t_5 时刻向VT6发送触发关断信号。该过程中,即从 t_4 时刻到 t_5 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+BA}$,磁场矢量IV区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_4'$ 。

[0074] 磁场矢量V区间:所述主控制器在 t_6 时刻向所述VT5发送触发开通信号,所述 t_6 时刻与所述 t_5 时刻之间的时长为 t_5' ;从所述 t_5 时刻到所述 t_6 时刻,所述三相永磁同步电机的

电压为 $\dot{u}_{BA}$ ，所述磁场矢量V区间的磁链大小为 $2U_d \times t_5'$ 。

[0075] 具体的，从 t_5 时刻开始，B相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接，B相绕组上的电位为 U_d ，A相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通，A相绕组上的电位为 $-U_d$ ，则BA相电压为 $2U_d$ 。此时，BA绕组导通。经过 t_5' 时长后，时间到达 t_6 时刻，主控制器在该 t_6 时刻向VT5发送触发开通信号。该过程中，即从 t_5 时刻到 t_6 时刻，三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BA}$ ，磁场矢量V区间的磁链大小为 $2U_d \times t_5'$ 。

[0076] 磁场矢量VI区间：所述主控制器在 t_7 时刻向所述VT2发送触发关断信号，所述 t_7 时刻与所述 t_6 时刻之间的时长为 t_6' ；从所述 t_6 时刻到所述 t_7 时刻，所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+BA}$ ，所述磁场矢量VI区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_6'$ 。

[0077] 具体的，从 t_6 时刻开始，B相绕组与C相绕组都与车载动力电池的第一段的正极连接，B相绕组与C相绕组上的电位均为 U_d ，A相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通，A相绕组上的电位为 $-U_d$ ，则BA相电压为 $2U_d$ ，CA相电压为 $2U_d$ 。此时，BA绕组与CA绕组均导通。经过 t_6' 时长后，时间到达 t_7 时刻，主控制器在该 t_7 时刻向VT2发送触发关断信号。该过程中，即从 t_6 时刻到 t_7 时刻，三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+BA}$ ，磁场矢量VI区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_6'$ 。

[0078] 磁场矢量VII区间：所述主控制器在 t_8 时刻向所述VT4发送触发开通信号，所述 t_8 时刻与所述 t_7 时刻之间的时长为 t_7' ；从所述 t_7 时刻到所述 t_8 时刻，所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA}$ ，所述磁场矢量VII区间的磁链大小为 $2U_d \times t_7'$ 。

[0079] 具体的，从 t_7 时刻开始，C相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接，C相绕组上的电位为 U_d ，A相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通，A相绕组上的电位为 $-U_d$ ，则CA相电压为 $2U_d$ 。此时CA绕组导通。经过 t_7' 时长后，时间到达 t_8 时刻，主控制器在该 t_8 时刻向VT4发送触发开通信号。该过程中，即从 t_7 时刻到 t_8 时刻，三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA}$ ，磁场矢量VI区间的磁链大小为 $2U_d \times t_7'$ 。

[0080] 磁场矢量VIII区间：所述主控制器在 t_9 时刻向所述VT3发送触发关断信号，所述 t_9 时刻与所述 t_8 时刻之间的时长为 t_8' ；从所述 t_8 时刻到所述 t_9 时刻，所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+CB}$ ，所述磁场矢量VIII区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_8'$ 。

[0081] 具体的，从 t_8 时刻开始，C相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接，C相绕组上的电位为 U_d ，A相绕组与B相绕组均与车载动力电池的第二段的负极接通，A相绕组与B相绕组上的电位均为 $-U_d$ ，则CB相电压与CA相电压均为 $2U_d$ 。此时CA绕组与CB绕组均导通。经过 t_8' 时长后，时间到达 t_9 时刻，主控制器在该 t_9 时刻向VT3发送触发关断信号。该过程中，即从 t_8 时刻到 t_9 时刻，三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+CB}$ ，磁场矢量VIII区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_8'$ 。

[0082] 磁场矢量IX区间：所述主控制器在 t_{10} 时刻向所述VT1发送触发开通信号，所述 t_{10} 时刻与所述 t_9 时刻之间的时长为 t_9' ；从所述 t_9 时刻到所述 t_{10} 时刻，所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CB}$ ，所述磁场矢量IX区间的磁链大小为 $2U_d \times t_9'$ 。

[0083] 具体的，从 t_9 时刻开始，C相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接，C相绕组上的电位为 U_d ，B相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通，B相绕组上的电位为 $-U_d$ ，则CB

相电压为 $2U_d$ 。此时CB绕组导通。经过 t_9' 时长后,时间到达 t_{10} 时刻,主控制器在该 t_{10} 时刻向VT1发送触发开通信号。该过程中,即从 t_9 时刻到 t_{10} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CB}$,磁场矢量IX区间的磁链大小为 $2U_d \times t_9'$ 。

[0084] 磁场矢量X区间:所述主控制器在 t_{11} 时刻向所述VT5发送触发关断信号,所述 t_{11} 时刻与所述 t_{10} 时刻之间的时长为 t_{10}' ;从所述 t_{10} 时刻到所述 t_{11} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+CB}$,所述磁场矢量X区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_{10}'$ 。

[0085] 具体的,从 t_{10} 时刻开始,A相绕组与C相绕组均与车载动力电池的第一段的正极连接,A相绕组与C相绕组上的电位为 U_d ,B相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通,B相绕组上的电位为 $-U_d$,则CB相电压与CA相电压为 $2U_d$ 。此时CB绕组与AB绕组均导通。经过 t_{10}' 时长后,时间到达 t_{11} 时刻,主控制器在该 t_{11} 时刻向VT5发送触发关断信号。该过程中,即从 t_{10} 时刻到 t_{11} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+CB}$,磁场矢量X区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_{10}'$ 。

[0086] 磁场矢量XI区间:所述主控制器在 t_{12} 时刻向所述VT6发送触发开通信号,所述 t_{12} 时刻与所述 t_{11} 时刻之间的时长为 t_{11}' ;从所述 t_{11} 时刻到所述 t_{12} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB}$,所述磁场矢量XI区间的磁链大小为 $2U_d \times t_{11}'$ 。

[0087] 具体的,从 t_{11} 时刻开始,A相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接,A相绕组上的电位为 U_d ,B相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通,B相绕组上的电位为 $-U_d$,则CB相电压为 U_d ,AB相电压为 $2U_d$ 。此时AB绕组导通。经过 t_{11}' 时长后,时间到达 t_{12} 时刻,主控制器在该 t_{12} 时刻向VT6发送触发开通信号。该过程中,即从 t_{11} 时刻到 t_{12} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB}$,磁场矢量XI区间的磁链大小为 $2U_d \times t_{11}'$ 。

[0088] 磁场矢量XII区间:所述主控制器在 t_{13} 时刻向所述VT4发送触发关断信号,所述 t_{13} 时刻与所述 t_{12} 时刻之间的时长为 t_{12}' ;从所述 t_{12} 时刻到所述 t_{13} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+AC}$,所述磁场矢量XII区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_{11}'$,从所述 t_{13} 时刻开始,返回所述磁场矢量I区间,如此循环;

[0089] 具体的,从 t_{12} 时刻开始,A相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接,A相绕组上的电位为 U_d ,B相绕组与C相绕组均与车载动力电池的第二段的负极接通,B相绕组与C相绕组上的电位为 $-U_d$,则AC相电压与AB相电压均为 $2U_d$ 。此时AB绕组与AC绕组均导通。经过 t_{12}' 时长后,时间到达 t_{13} 时刻,主控制器在该 t_{13} 时刻向VT4发送触发关断信号。该过程中,即从 t_{12} 时刻到 t_{13} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+AC}$,磁场矢量XI区间的磁链大小为 $2\sqrt{3}U_d \times t_{12}'$ 。

[0090] 上述磁链轨迹控制过程中,为了保证磁链轨迹为正十二边形,使得磁链轨迹接近圆形,磁场矢量方向与电压矢量方向一致,则需要十二个磁场矢量区间,即上述的磁场矢量I区间~磁场矢量XII区间的磁链大小相同。根据上述分析可知,主控制器可通过控制十二个磁场矢量的工作时间,只要保证 t_1' :

$$t_2' : t_3' : t_4' : t_5' : t_6' : t_7' : t_8' : t_9' : t_{10}' : t_{11}' : t_{12}' = \sqrt{3}:1:\sqrt{3}:1:\sqrt{3}:1:\sqrt{3}:1:$$

$\sqrt{3}:1:\sqrt{3}:1$,即可确保磁场矢量I区间~磁场矢量XII区间的磁链大小相同,进而确保磁链轨

迹为正十二边形。

[0091] 上述过程中,正十二边形磁链轨迹控制装置正常工作时的电路拓扑可参见图4,图4为本发明一实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置正常工作时的电路拓扑结构。

[0092] 其次,正十二边形磁链轨迹控制装置中部分开关管故障时,以与C相绕组相连的开关管故障为例,即所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4与所述VT7均未损坏,所述VT5与所述VT6中至少一个发生损坏,所述主控制器控制所述VT1、所述VT2、所述VT3、所述VT4、所述VT5、所述VT6或者所述VT7的方向与时长,以将所述三相永磁同步电机的磁链轨迹控制为正十二边形,包括:

[0093] 磁场矢量I区间:所述主控制器在 T_1 时刻向所述VT1发送触发开通信号,以使所述A相绕组与所述C相绕组导通,导通时长为 T_1' ,时间到达 T_2 时刻,所述主控制器在所述 T_2 时刻向所述VT2发送触发开通信号;其中,所述 T_1 时刻为所述VT5与所述VT6中至少一个发生损坏的时刻;从所述 T_1 时刻到所述 T_2 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AC}$,所述磁场矢量I区间的磁链大小为 $U_d \times T_1'$ 。

[0094] 具体的,在VT5与所述VT6中至少一个发生损坏的 T_1 时刻,由主控制器给VT1发送触发开通信号,使得A相绕组与车载动力电池第一段的正极接通,C相绕组上的电位为0,A相绕组上的电位为 U_d ,则AC相电压为 U_d 。此时,AC绕组导通。经过 T_1' 时长后,时间到达 T_2 时刻,主控制器在该 T_2 时刻向VT2发送触发开通信号。该过程中,即从 T_1 时刻到 T_2 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AC}$,磁场矢量I区间的磁链大小为 $U_d \times T_1'$ 。

[0095] 磁场矢量II区间:所述主控制器在 T_3 时刻向所述VT1发送触发关断信号,所述 T_3 时刻与所述 T_2 时刻之间的时长为 T_2' ;从所述 T_2 时刻到所述 T_3 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+AC}$,所述磁场矢量II区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_2'$ 。

[0096] 具体的,从 T_2 时刻开始,A相绕组与B相绕组均与车载动力电池的第一段的正极连接,A相绕组与B相绕组上的电位均为 U_d ,C相绕组上的电位为0,则BC相电压为 U_d ,AC相电压为 U_d 。此时BC绕组与AC绕组导通。经过 T_2' 时长后,时间到达 T_3 时刻,主控制器在该 T_3 时刻向VT1发送触发关断信号。该过程中,即从 T_2 时刻到 T_3 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+AC}$,磁场矢量II区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_2'$ 。

[0097] 磁场矢量III区间:所述主控制器在 T_4 时刻向所述VT3与所述VT1发送触发开通信号,所述 T_4 时刻与所述 T_3 时刻之间的时长为 T_3' ;从所述 T_3 时刻到所述 T_4 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC}$,所述磁场矢量III区间的磁链大小为 $U_d \times T_3'$ 。

[0098] 具体的,从 T_3 时刻开始,B相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接,B相绕组上的电位为 U_d ,C相绕组上的电位为0,则BC相电压为 U_d 。此时BC绕组导通。经过 T_3' 时长后,时间到达 T_4 时刻,主控制器在该 T_3 时刻向VT1与VT3发送触发开通信号。该过程中,即从 T_3 时刻到 T_4 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC}$,磁场矢量III区间的磁链大小为 $U_d \times T_3'$ 。

[0099] 磁场矢量IV区间:所述主控制器在 T_5 时刻向所述VT1发送触发关断信号,所述 T_5 时刻与所述 T_4 时刻之间的时长为 T_4' ;从所述 T_4 时刻到所述 T_5 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+BA}$,所述磁场矢量IV区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_4'$ 。

[0100] 具体的,从 T_4 时刻开始,B相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接,B相绕组上

的电位为 U_d , A相绕组与C相绕组上的电位均为0, 则BA相电压与BC相电压均为 U_d 。此时BA绕组与BC绕组均导通。经过 T_4' 时长后, 时间到达 T_5 时刻, 主控制器在该 T_4 时刻向VT1发送触发关断信号。该过程中, 即从 T_4 时刻到 T_5 时刻, 三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BC+BA}$, 磁场矢量IV区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_4'$ 。

[0101] 磁场矢量V区间: 所述主控制器在 T_6 时刻向所述VT4发送触发开通信号, 所述 T_6 时刻与所述 T_5 时刻之间的时长为 T_5' ; 从所述 T_5 时刻到所述 T_6 时刻, 所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{BA}$, 所述磁场矢量V区间的磁链大小为 $3U_d \times T_5'$ 。

[0102] 具体的, 从 T_5 时刻开始, B相绕组与车载动力电池的第一段的正极连接, B相绕组上的电位为 U_d , C相绕组上的电位为0, A相绕组与车载动力电池的第二段的负极接通, A相绕组上的电位为 $-U_d$, 则BC相电压为 U_d , BA相电压为 $2U_d$, CA相电压为 U_d 。此时, BA绕组、CA绕组与BC绕组均导通。经过 T_5' 时长后, 时间到达 T_6 时刻, 主控制器在该 T_6 时刻向VT4发送触发开通信号。该过程中, 即从 T_5 时刻到 T_6 时刻, 三相永磁同步电机的电压为BA绕组、CA绕组与BC绕组相电压的合成, 而BC绕组与CA绕组的相电压大小相等, 合成方向为BA绕组。因此, BA绕组、CA绕组与BC绕组相电压的合成的方向为 $\dot{u}_{BA}$, 磁场矢量V区间的磁链大小为 $2 \times U_d \times T_5' + U_d \times T_5' = 3 \times U_d \times T_5'$ 。

[0103] 磁场矢量VI区间: 所述主控制器在 T_7 时刻向所述VT2与所述VT4发送触发关断信号, 所述 T_7 时刻与所述 T_6 时刻之间的时长为 T_6' ; 从所述 T_6 时刻到所述 T_7 时刻, 所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+BA}$, 所述磁场矢量VI区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_6'$ 。

[0104] 具体的, 从 T_6 时刻开始, B相绕组与C相绕组上的电位都为0, A向绕组与车载动力电池的第二段的负极连接, A相绕组上的电位为 $-U_d$, 则BA相电压与CA相电压均为 U_d 。此时BA绕组与CA绕组均导通。经过 T_6' 时长后, 时间到达 T_7 时刻, 主控制器在该 T_7 时刻向VT2与VT4发送触发关断信号。该过程中, 即从 T_6 时刻到 T_7 时刻, 三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+BA}$, 磁场矢量VI区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_6'$ 。

[0105] 磁场矢量VII区间: 所述主控制器在 T_8 时刻向所述VT4发送触发开通信号, 所述 T_8 时刻与所述 T_7 时刻之间的时长为 T_7' ; 从所述 T_7 时刻到所述 T_8 时刻, 所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA}$, 所述磁场矢量VII区间的磁链大小为 $U_d \times T_7'$ 。

[0106] 具体的, 从 T_7 时刻开始, C相绕组上的电位为0, A向绕组与车载动力电池的第二段的负极连接, A相绕组上的电位为 $-U_d$, 则CA相电压为 U_d 。此时CA绕组导通。经过 T_7' 时长后, 时间到达 T_8 时刻, 主控制器在该 T_8 时刻向VT4发送触发开通信号。该过程中, 即从 T_7 时刻到 T_8 时刻, 三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA}$, 磁场矢量VII区间的磁链大小为 $U_d \times T_7'$ 。

[0107] 磁场矢量VIII区间: 所述主控制器在 T_9 时刻向所述VT3发送触发关断信号, 所述 T_9 时刻与所述 T_8 时刻之间的时长为 T_8' ; 从所述 T_8 时刻到所述 T_9 时刻, 所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+CB}$, 所述磁场矢量VIII区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_8'$ 。

[0108] 具体的, 从 T_8 时刻开始, C相绕组上的电位为0, A向绕组与B相绕组均与车载动力电池的第二段的负极连接, A相绕组与B相绕组上的电位均为 $-U_d$, 则CB相电压与CA相电压均为 U_d 。此时CA绕组与CB绕组均导通。经过 T_8' 时长后, 时间到达 T_9 时刻, 主控制器在该 T_9 时刻向VT3发送触发关断信号。该过程中, 即从 T_8 时刻到 T_9 时刻, 三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CA+CB}$,

磁场矢量VIII区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_8'$ 。

[0109] 磁场矢量IX区间:所述主控制器在 T_{10} 时刻向所述VT1与所述VT3发送触发开通信号,所述 T_{10} 时刻与所述 T_9 时刻之间的时长为 T_9' ;从所述 T_9 时刻到所述 T_{10} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CB}$,所述磁场矢量IX区间的磁链大小为 $U_d \times T_9'$ 。

[0110] 具体的,从 T_9 时刻开始,C相绕组上的电位为0,B相绕组与车载动力电池的第二段的负极连接,B相绕组上的电位为 $-U_d$,则CB相电压为 U_d 。此时CB绕组导通。经过 T_9' 时长后,时间到达 T_{10} 时刻,主控制器在该 T_{10} 时刻向VT1与VT3发送触发开通信号。该过程中,即从 T_9 时刻到 T_{10} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{CB}$,磁场矢量IX区间的磁链大小为 $U_d \times T_9'$ 。

[0111] 磁场矢量X区间:所述主控制器在 T_{11} 时刻向所述VT3发送触发关断信号,所述 T_{11} 时刻与所述 T_{10} 时刻之间的时长为 T_{10}' ;从所述 T_{10} 时刻到所述 T_{11} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+CB}$,所述磁场矢量X区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_{10}'$ 。

[0112] 具体的,从 T_{10} 时刻开始,A相绕组与C相绕组上的电位为0,B相绕组与车载动力电池的第二段的负极连接,B相绕组上的电位为 $-U_d$,则CB相电压与AB相电压均为 U_d 。此时CB绕组与AB绕组均导通。经过 T_{10}' 时长后,时间到达 T_{11} 时刻,主控制器在该 T_{11} 时刻向VT3发送触发关断信号。该过程中,即从 T_{10} 时刻到 T_{11} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+CB}$,磁场矢量X区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_{10}'$ 。

[0113] 磁场矢量XI区间:所述主控制器在 T_{12} 时刻向所述VT2发送触发开通信号,所述 T_{12} 时刻与所述 T_{11} 时刻之间的时长为 T_{11}' ;从所述 T_{11} 时刻到所述 T_{12} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB}$,所述磁场矢量XI区间的磁链大小为 $3U_d \times T_{11}'$ 。

[0114] 具体的,从 T_{11} 时刻开始,A相绕组与车载动力电池的第一段的正极接通,A相绕组上的电位为 U_d ,C相绕组上的电位为0,B相绕组与车载动力电池的第二段的负极连接,B相绕组上的电位为 $-U_d$,则CB相电压为 U_d ,AB相电压为 $2U_d$,AC相电压为 U_d 。此时CB绕组、AC绕组与AB绕组均导通。经过 T_{11}' 时长后,时间到达 T_{12} 时刻,主控制器在该 T_{12} 时刻向VT2发送触发开通信号。该过程中,即从 T_{11} 时刻到 T_{12} 时刻,三相永磁同步电机的电压为CB绕组、AC绕组与AB绕组相电压的合成,而CB绕组与AC绕组的相电压大小相等,合成方向为AB绕组。因此,CB绕组、AC绕组与AB绕组相电压的合成的方向为 $\dot{u}_{AB}$,磁场矢量V区间的磁链大小为 $2 \times U_d \times T_{11}' + U_d \times T_{11}' = 3 \times U_d \times T_{11}'$ 。

[0115] 磁场矢量XII区间:所述主控制器在 T_{13} 时刻向所述VT4与所述VT2发送触发关断信号,所述 T_{13} 时刻与所述 T_{12} 时刻之间的时长为 T_{12}' ;从所述 T_{12} 时刻到所述 T_{13} 时刻,所述三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+AC}$,所述磁场矢量XII区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_{12}'$,从所述 T_{13} 时刻开始,返回所述磁场矢量I区间,如此循环。

[0116] 具体的,从 T_{12} 时刻开始,A相绕组与车载动力电池的第一段的正极接通,C相绕组上的电位为 U_d ,B相绕组与C相绕组上的电位均为0,则AC相电压与AB相电压均为 U_d 。此时AC绕组与AB绕组均导通。经过 T_{12}' 时长后,时间到达 T_{13} 时刻,主控制器在该 T_{13} 时刻向VT2与VT4发送触发关断信号。该过程中,即从 T_{12} 时刻到 T_{13} 时刻,三相永磁同步电机的电压为 $\dot{u}_{AB+AC}$,磁场矢量XII区间的磁链大小为 $\sqrt{3} U_d \times T_{12}'$ 。

[0117] 上述磁链轨迹控制过程中,为了保证磁链轨迹为正十二边形,使得磁链轨迹接近

圆形,磁场矢量方向与电压矢量方向一致,则需要十二个磁场矢量区间,即上述的磁场矢量I区间~磁场矢量XII区间的磁链大小相同。根据上述分析可知,主控制器可通过控制十二个磁场矢量的工作时间,只要保证 T_1' :

$$T_2' : T_3' : T_4' : T_5' : T_6' : T_7' : T_8' : T_9' : T_{10}' : T_{11}' : T_{12}' = 3:\sqrt{3}:3:\sqrt{3}:1:$$

$\sqrt{3}:3:\sqrt{3}:3:\sqrt{3}:1:\sqrt{3}$,即可确保磁场矢量I区间~磁场矢量XII区间的磁链大小相同,进而确保磁链轨迹为正十二边形。

[0118] 上述过程中,正十二边形磁链轨迹控制装置正常工作时的电路拓扑可参见图5,图5为本发明一实施例提供的正十二边形磁链轨迹控制装置C相绕组所接开关管故障时的工作电路拓扑结构。

[0119] 需要说明的是,虽然上述图5所示实施例是以与C相绕组连接的开关管故障为例对本发明进行详细说明,然而,由于三相永磁同步电机的各个绕组对称分布,因此,当与A相绕组相连的开关管故障,或者,与B相绕组相连的开关管故障时,图5所示方案也同样适用,只需要将故障的开关管与C相故障时为例时的开关管对应的进行等效替换,即可以认为此时发生故障的就是等效为所举例的C相,真正的C相等效为发生故障的对应相,但对应的开关管名字发生对应变化即可。

[0120] 由上述可知,相较于现有的通过矢量坐标变换、电流环控制、输出坐标变化等环节以对磁链轨迹进行控制的方法中,与某个相位连接的开关管故障时,根据原先的电压空间矢量控制不能实现对三相永磁同步电机预先的控制,本发明实施例提供的磁链轨迹控制方法,与某个相位连接的开关管故障时,可通过调整各个绕组导通的时长来对磁链轨迹进行控制,使得磁链轨迹为正十二边形,增大对三相永磁同步电机定子磁链轨迹的控制能力,从而减少电动汽车行车中的故障,杜绝安全事故的发生。

[0121] 本领域普通技术人员可以理解:实现上述各方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成。前述的程序可以存储于一计算机可读取存储介质中。该程序在执行时,执行包括上述各方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0122] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

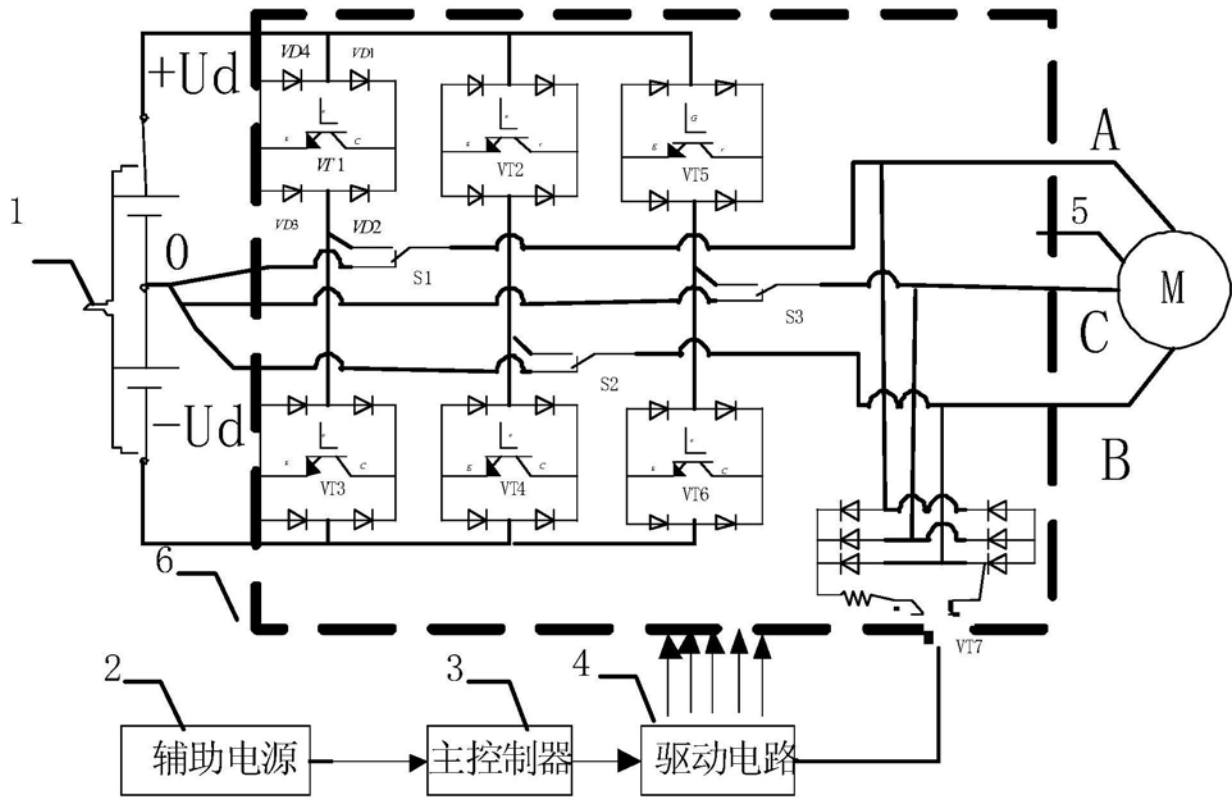


图1

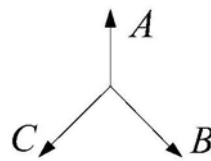


图2

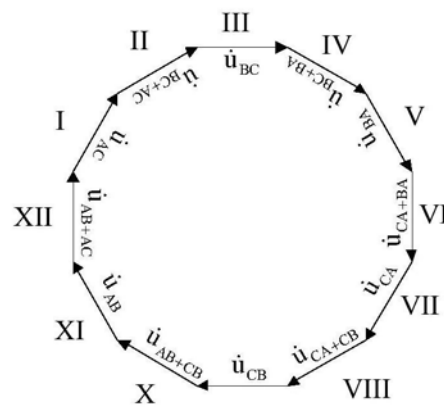


图3

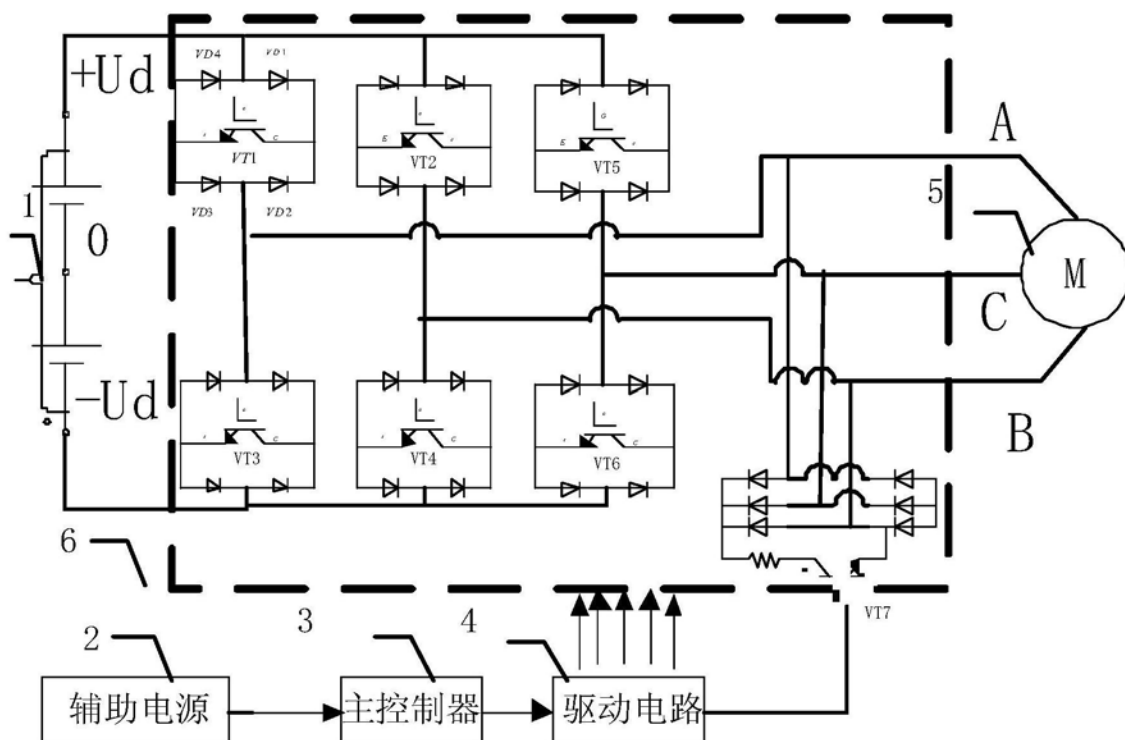


图4

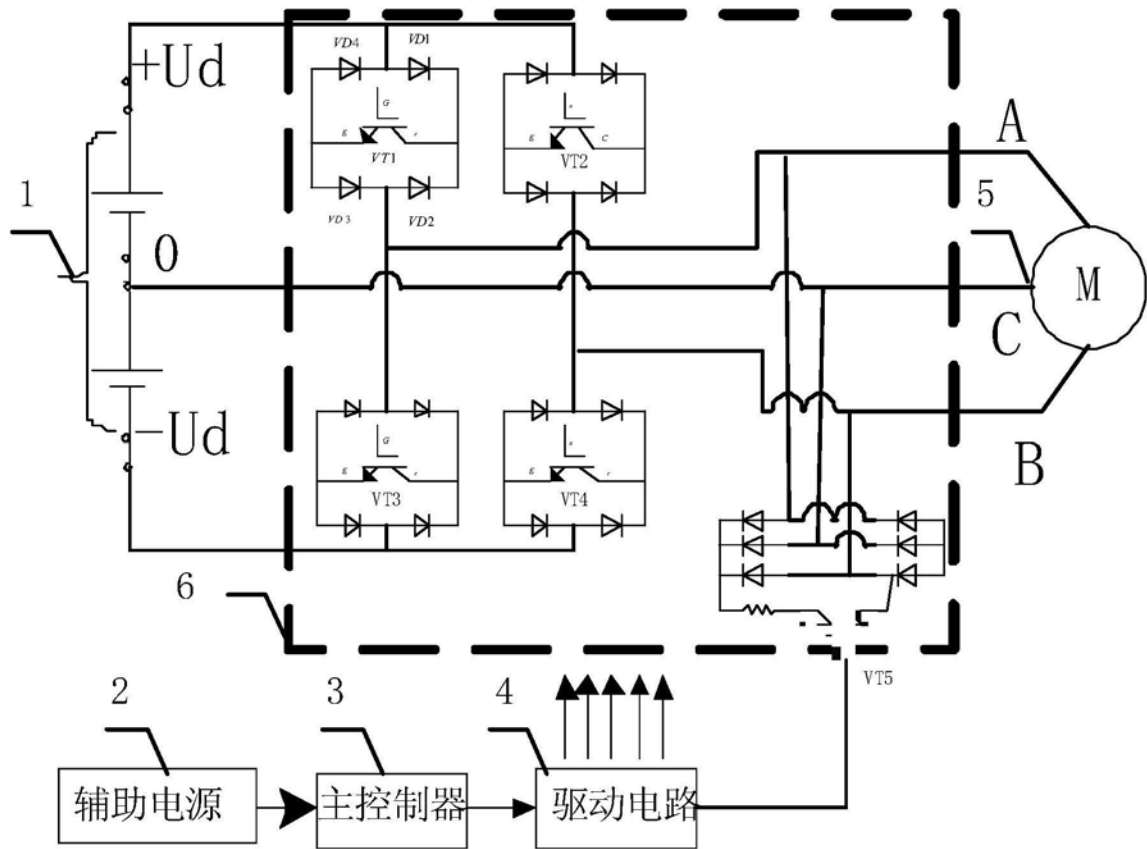


图5