



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110247617 A  
(43)申请公布日 2019.09.17

(21)申请号 201910532964.3

(22)申请日 2019.06.19

(71)申请人 宁波诺丁汉大学

地址 315000 浙江省宁波市鄞州区泰康东路199号

(72)发明人 闫浩 姜保罗 赵伟锋 张何  
克里斯·杰拉德 杨佳俊

(74)专利代理机构 哈尔滨龙科专利代理有限公司 23206

代理人 高媛

(51)Int.Cl.

H02P 29/68(2016.01)

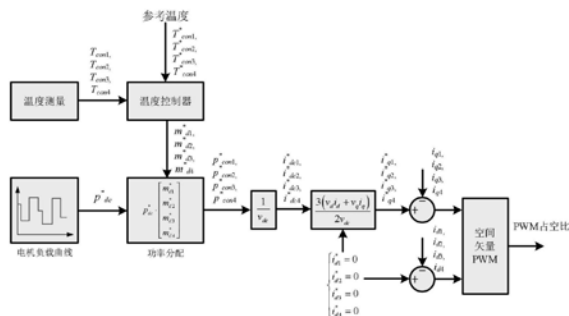
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法,所述方法包括如下步骤:一、检测每个三相电压源逆变器,得到每个三相电压源逆变器的温度采样值,将其与参考温度进行对比;二、经过主动热管理算法,依据温度高的驱动器给定功率较低的原则,得到驱动每个逆变器的给定功率分配系数;三、依据电机功率和给定功率分配系数得到每个驱动器的参考电压矢量和驱动器功率给定信号;四、经过空间矢量脉宽调制技术生成驱动三相电压源逆变器的PWM信号的占空比,从而实现多单元永磁同步电机的模块化驱动器的主动热管理。本发明延长了多单元永磁同步电机的模块化驱动器使用寿命,提高了电机控制系统的可靠性。



1. 一种基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法,其特征在于所述方法包括如下步骤:

步骤一、永磁同步电机模块化驱动器的每个单元电机驱动器由一个三相电压源逆变器构成,检测每个三相电压源逆变器,得到每个三相电压源逆变器的温度采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ ..... $T_{conn}$ , $n$ 为正整数,将其与参考温度 $T^*_{con1}$ 、 $T^*_{con2}$ ..... $T^*_{conn}$ 进行对比;

步骤二、根据步骤二得到的温度采样值对比结果,经过主动热管理算法,依据温度高的驱动器给定功率较低的原则,得到驱动每个逆变器的给定功率分配系数 $m_{d1}^*$ 、 $m_{d2}^*$ ..... $m_{dn}^*$ ;

步骤三、依据电机功率和给定功率分配系数得到每个驱动器的参考电压矢量和驱动器功率给定信号 $p^*_{con1}$ 、 $p^*_{con2}$ ..... $p^*_{conn}$ ;

步骤四、经过空间矢量脉宽调制技术生成驱动三相电压源逆变器的PWM信号的占空比,从而实现多单元永磁同步电机的模块化驱动器的主动热管理。

2. 根据权利要求1所述的基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法,其特征在于所述给定功率分配系数定义为:

$$\begin{cases} m_{d1}^* = \frac{P_{con1}^*}{P_{dc}^*} \\ m_{d2}^* = \frac{P_{con2}^*}{P_{dc}^*} \\ m_{d3}^* = \frac{P_{con3}^*}{P_{dc}^*} \\ m_{d4}^* = \frac{P_{con4}^*}{P_{dc}^*} \end{cases},$$

式中, $p^*_{dc}$ 为给定的总功率。

3. 根据权利要求1所述的基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法,其特征在于所述每个单元电机驱动器采用 $i_d=0$ 控制策略。

4. 根据权利要求1所述的基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法,其特征在于所述主动热管理算法的原则为:

计算温度平均值 $T_{conav}$ ,假设逆变器温度值大小顺序为 $T_{con1} > T_{con2} > \dots > T_{conn}$ ,则逆变器的给定功率分配系数应为 $m_{d1}^* < m_{d2}^* < \dots < m_{dn}^*$ ,且计算公式为:

$$m_{dn}^* = \frac{T_{conn}}{nT_{conav}};$$

参考温度 $T^*_{con1}$ 、 $T^*_{con2}$ ..... $T^*_{conn}$ 需要提前设定好,与实际电压源逆变器温度采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ ..... $T_{conn}$ 进行对比,如实际温度超过参考温度,则表示需要使能主动热管理算法。

## 基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电机驱动及电力电子领域,涉及一种采用永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法。

### 背景技术

[0002] 永磁同步电机(PMSM)相比其他电机具有高可靠性、高功率密度、高控制精度等优点,故其在数控机床、机器人伺服控制、电动汽车、军用武器、深水伺服系统以及航空航天等领域得到了飞速的发展。为提高电机控制系统的可靠性,降低转矩脉动,永磁同步电机可采用多个单元电机的绕组结构,其中每个单元电机由一套三相绕组构成。

[0003] 在驱动具有多个单元绕组结构的永磁同步电机时,需要多个三相电压源逆变器,由于每个三相电压源逆变器构成一个功率模块,所以形成了模块化结构的电机驱动器。

[0004] 在驱动这种电机时,理论上每个模块化电机驱动器的输出功率应该相同,从而保证电机供电均衡。但在实际工况中,由于绕组参数必然存在差异,且驱动器中的功率开关器件存在差异,会导致每个单元电机中的功率不均衡。若功率存在不均衡,则会导致流经每个驱动器的电流不同。电力电子器件的寿命很大程度上取决于其开关损耗的大小,而电流的不同直接影响其开关损耗,从而影响电力电子器件的结温(junction temperature),进而影响器件的使用寿命。

### 发明内容

[0005] 本发明为了延长多单元永磁同步电机的模块化驱动器使用寿命,提高电机控制系统的可靠性,提供了一种基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种基于功率分配法的永磁同步电机模块化驱动器的主动热管理方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤一、永磁同步电机模块化驱动器的每个单元电机驱动器由一个三相电压源逆变器构成,检测每个三相电压源逆变器,得到每个三相电压源逆变器的温度采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ ..... $T_{conn}$ , $n$ 为正整数,将其与参考温度 $T^*_{con1}$ 、 $T^*_{con2}$ ..... $T^*_{conn}$ 进行对比;

[0009] 步骤二、根据步骤二得到的温度采样值对比结果,经过主动热管理算法,依据温度高的驱动器给定功率较低的原则,得到驱动每个逆变器的给定功率分配系数 $m_{d1}^*$ 、 $m_{d2}^*$ ..... $m_{dn}^*$ ,其中,主动热管理算法的原则为:

[0010] 计算温度平均值 $T_{conav}$ ,假设逆变器温度值大小顺序为 $T_{con1} > T_{con2} > \dots > T_{conn}$ ,则逆变器的给定功率分配系数应为 $m_{d1}^* < m_{d2}^* < \dots < m_{dn}^*$ ,且计算公式为:

$$[0011] \quad m_{dn}^* = \frac{T_{conn}}{nT_{conav}};$$

[0012] 参考温度 $T^*_{con1}$ 、 $T^*_{con2}$ ..... $T^*_{conn}$ 需要提前设定好,与实际电压源逆变器温度采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ ..... $T_{conn}$ 进行对比,如实际温度超过参考温度,则表示需要使能主动热管理算法;

[0013] 步骤三、电机负载曲线时刻在变化,所以给定的总功率 $p^*_{dc}$ 也随着负载的变化而变化,依据电机功率和给定功率分配系数得到每个驱动器的参考电压矢量和驱动器功率给定信号 $p^*_{con1}$ 、 $p^*_{con2}$ ..... $p^*_{conn}$ ;

[0014] 步骤四、经过空间矢量脉宽调制技术生成驱动三相电压源逆变器的PWM信号的占空比,从而实现多单元永磁同步电机的模块化驱动器的主动热管理。

[0015] 本发明中,每个单元电机驱动器由一个三相电压源逆变器构成,当某个逆变器温度过高时,从而可能减少该单元使用寿命,降低驱动该逆变器的输出功率,从而减少功率器件的开关损耗,降低该逆变器的温度,实现基于温度检测的永磁同步电机模块化驱动器主动热管理。

[0016] 本发明中,每个单元电机驱动器采用 $i_d=0$ 控制策略,所以改变输出功率可以通过调节每个模块化驱动器的q轴电流给定 $i_q$ 来调节, $i_q$ 通过采集每个模块化驱动器的温度计算得到,温度较高的驱动器,给定 $i_q$ 较小,反之,温度较低的驱动器,给定 $i_q$ 较大。

[0017] 相比于现有技术,本发明具有如下优点:

[0018] 本发明在多个模块化驱动器中,通过主动热管理技术,降低使用寿命最低的驱动器中的能量与开关损耗,从而提高整个电机驱动器的使用寿命和整个电机系统的可靠性。

## 附图说明

[0019] 图1为十二相永磁同步电机的电气连接图;

[0020] 图2为基于功率分配法的主动热管理技术原理框图;

[0021] 图3为未采用本发明方法时四个电压源逆变器温度曲线;

[0022] 图4为采用本发明方法时四个电压源逆变器温度曲线。

## 具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明的技术方案作进一步的说明,但并不局限于此,凡是对本发明技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,均应涵盖在本发明的保护范围内。

[0024] 以具有四个单元电机的十二相永磁同步电机为例,驱动该电机需要四个三相电压源逆变器,构成如图1所示的电气连接图。 $V_{dc}$ 是直流母线电源,负载电机有十二个引出端,分别为A1、B1、C1、A2、B2、C2、A3、B3、C3、A4、B4、C4,构成具有四个单元电机结构的永磁同步电机,该电机有四个三相电压源逆变器独立驱动,分别对应图中PWM-VSI#1、PWM-VSI#2、PWM-VSI#3、PWM-VSI#4,每个逆变器为一个模块化电机驱动器,驱动永磁同步电机的一个单元,逆变器的三相输出端 $A_i$ 、 $B_i$ 、 $C_i$  ( $i=1,2,3,4$ )接在电机的三相绕组上。

[0025] 本发明基于功率分配法的主动热管理方法的原理框图如图2所示。首先检测四个三相电压源逆变器,得到采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ 、 $T_{con3}$ 、 $T_{con4}$ ,与参考温度 $T^*_{con1}$ 、 $T^*_{con2}$ 、 $T^*_{con3}$ 、 $T^*_{con4}$ 进行对比,再经过主动热管理算法,依据温度高的驱动器给定功率较低的原则,得到驱动四个逆变器的给定功率分配系数 $m_{d1}^*$ 、 $m_{d2}^*$ 、 $m_{d3}^*$ 、 $m_{d4}^*$ 。电机负载曲线时刻在变化,所以给定的

总功率 $p_{dc}^*$ 也随着负载的变化而变化,驱动四个逆变器的给定功率分配系数 $m_{d1}^*$ 、 $m_{d2}^*$ 、 $m_{d3}^*$ 、 $m_{d4}^*$ 由主动热管理方法计算得出,计算原则为:三相电压源逆变器温度采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ 、 $T_{con3}$ 、 $T_{con4}$ ,计算四个温度平均值 $T_{conav}$ ,假设四个逆变器温度值大小顺序为 $T_{con1} > T_{con2} > T_{con3} > T_{con4}$ ,则四个逆变器的给定功率分配系数 $m_{d1}^*$ 、 $m_{d2}^*$ 、 $m_{d3}^*$ 、 $m_{d4}^*$ 应为 $m_{d1}^* < m_{d2}^* < m_{d3}^* < m_{d4}^*$ ,且计算公式为:

$$[0026] \quad \begin{cases} m_{d1}^* = \frac{T_{con4}}{4T_{conav}} \\ m_{d2}^* = \frac{T_{con3}}{4T_{conav}} \\ m_{d3}^* = \frac{T_{con2}}{4T_{conav}} \\ m_{d4}^* = \frac{T_{con1}}{4T_{conav}} \end{cases};$$

[0027] 参考温度 $T_{con1}^*$ 、 $T_{con2}^*$ 、 $T_{con3}^*$ 、 $T_{con4}^*$ 需要提前设定好,与实际电压源逆变器温度采样值 $T_{con1}$ 、 $T_{con2}$ 、 $T_{con3}$ 、 $T_{con4}$ 进行对比,如实际温度超过参考温度,则表示需要使能主动热管理算法。

[0028] 根据功率分配系数和给定总功率算出每个电压源逆变器的给定功率 $p_{con1}^*$ 、 $p_{con2}^*$ 、 $p_{con3}^*$ 、 $p_{con4}^*$ 。根据上述四个给定功率和直流母线电压 $v_{dc}$ 计算出每个电压源逆变器的直流母线电流 $i_{dc1}^*$ 、 $i_{dc2}^*$ 、 $i_{dc3}^*$ 、 $i_{dc4}^*$ ,因为电机按照 $i_d=0$ 的控制方式进行控制,所以根据给定直流母线电流计算出四个驱动器的给定q轴电流 $i_{q1}^*$ 、 $i_{q2}^*$ 、 $i_{q3}^*$ 、 $i_{q4}^*$ ,最终四个给定d轴电流和四个给定q轴电源与电机实际的四个d轴电流值和q轴电流值进行比较,利用空间矢量PWM算法计算得到PWM信号的占空比,最终实现电机控制。

[0029] 本发明中,功率分配系数定义为:

$$[0030] \quad \begin{cases} m_{d1}^* = \frac{p_{con1}^*}{p_{dc}^*} \\ m_{d2}^* = \frac{p_{con2}^*}{p_{dc}^*} \\ m_{d3}^* = \frac{p_{con3}^*}{p_{dc}^*} \\ m_{d4}^* = \frac{p_{con4}^*}{p_{dc}^*} \end{cases}。$$

[0031] 当平均分配功率时,四个功率分配系数为0.25,总和为1,当每个驱动器温度不平衡时,总和依然为1,但是温度较高的驱动器的功率分配系数较低,从而降低其温度。

[0032] 由图3和图4可知,采用本发明提出的方法后逆变器1的温度降低。

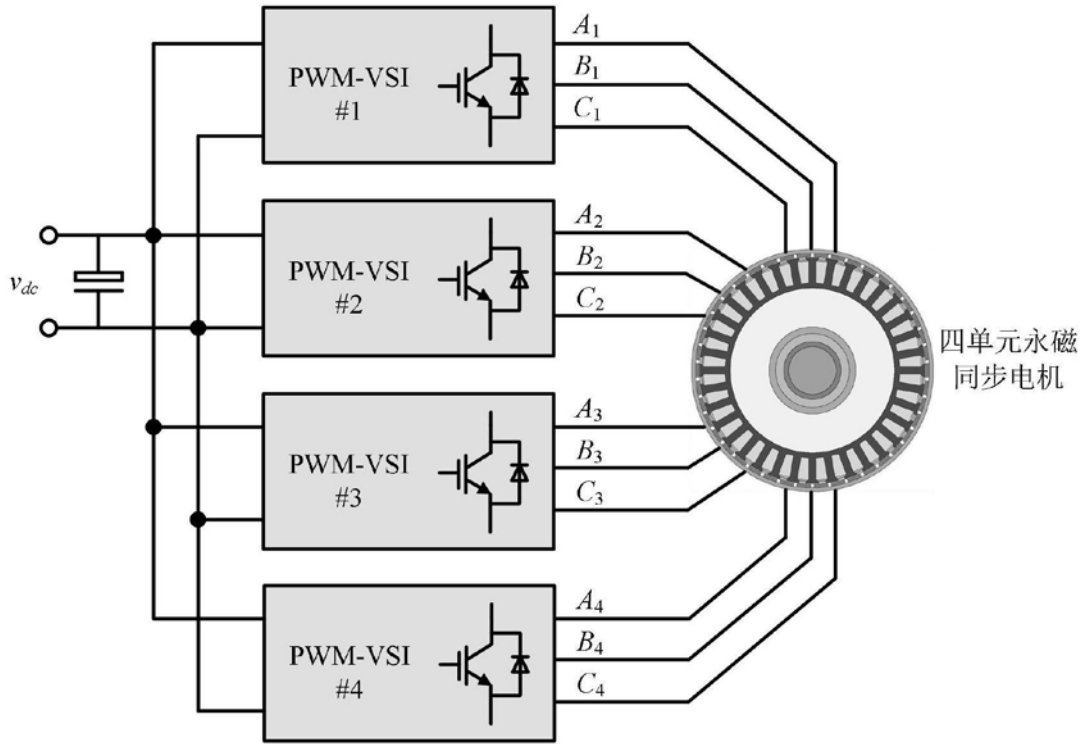


图1

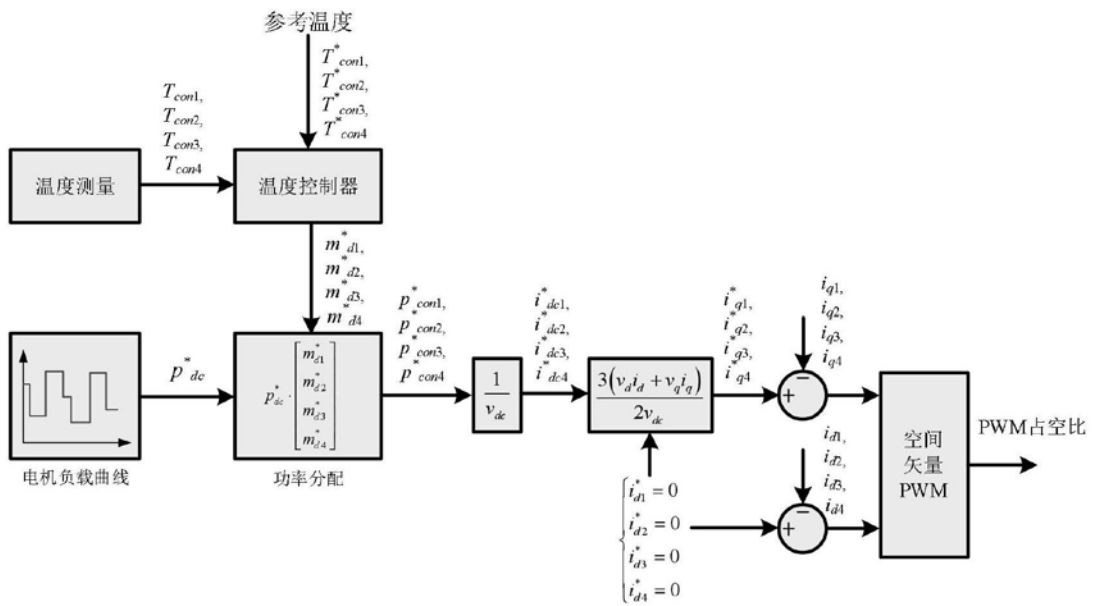


图2

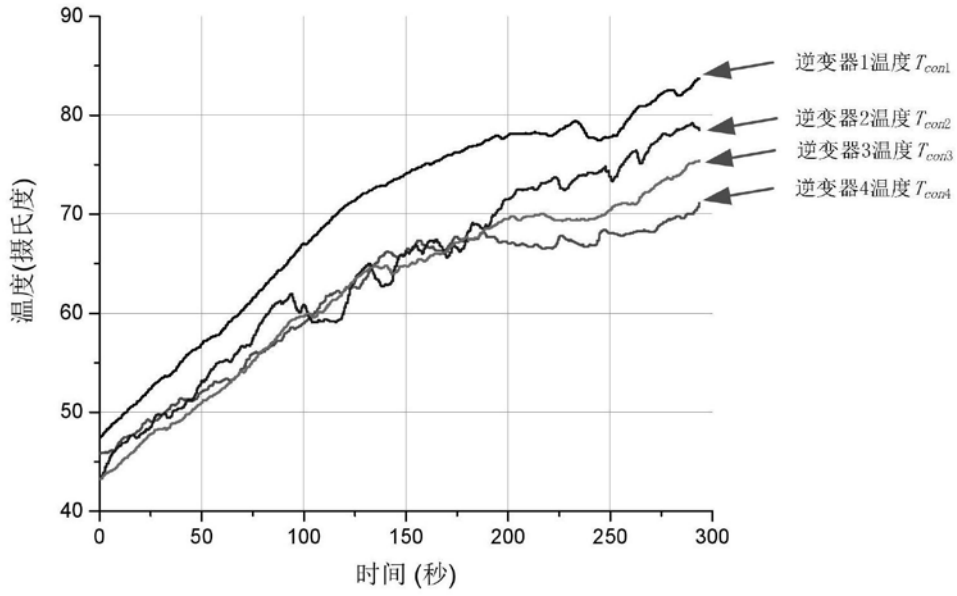


图3

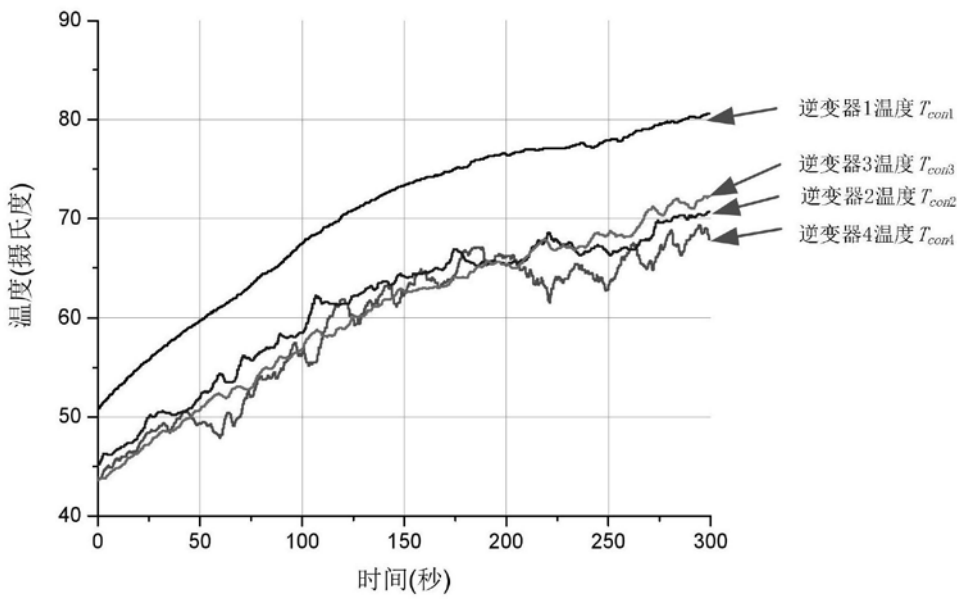


图4