

基于小波变换的开关磁阻电机系统功率 变换器故障诊断

唐琛, 杨剑, 任兴, 金凯丰, 陈祖鸿, 端木子昂
(中国矿业大学 电气与动力工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 适用于开关磁阻电机(SRM)驱动系统的功率变换器是决定系统可靠性的关键环节,功率变换器的长时间故障运行会导致整个系统的崩溃,因此,功率变换器的故障诊断具有重要的作用。采用离散小波变换方法,提取故障相电流的平均值与标准差的比值作为诊断特征量,对功率变换器斩波管和位置管的4种故障类型进行分析和讨论,实现了故障类型的确定与故障器件的定位。最后通过仿真和试验验证了所提的故障诊断方法具有良好的可行性和有效性。

关键词: 故障诊断; 小波变换; 开关磁阻电机; 功率变换器

中图分类号: TM 352 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2018)09-0125-07

Fault Diagnosis of Power Converter for Switched Reluctance Motor System Based on Wavelet Transform

TANG Chen, YANG Jian, REN Xing, JIN Kaifeng, CHEN Zuhong, DUANMU Ziang
(School of Electrical and Power Engineering, China University of Mining and Technology,
Xuzhou 221116, China)

Abstract: The power converter applied to switched reluctance motor (SRM) drive system was a key link to the system reliability. Abnormal operation with faults for a long time could cause the collapse of the whole system, which indicated that the fault diagnosis for power converter in SRM had a large significance. The discrete wavelet transform method was used to extract the ratio of phase current mean to standard deviation which could be taken as the diagnostic feature. Four types of faults of power converter were analyzed and discussed. Determination of fault types and fault devices was implemented. Finally, the feasibility and effectiveness of the proposed method were proved by simulation and experiment.

Key words: fault diagnosis; wavelet transform; switched reluctance motor (SRM); power converter

0 引言

开关磁阻电机(Switched Reluctance Motor, SRM)结构简单,转子上无绕组或永磁体,各相独立,具有良好的容错能力和较高的可靠性,适合应用于煤矿井下、高速列车和航空航天等工作环境恶劣的场合。功率变换器作为开关磁阻电机驱动系统(Switched Reluctance Drive, SRD)中不可缺

少的关键部分,其正常工作是系统保持高可靠性运行的基础。但是由于功率变换器承受高额的关键频率和电热应力,使其成为系统中故障率最高的环节,严重影响系统的可靠性。常用的不对称半桥功率变换器(Asymmetric Half-Bridge Power Converter, AHBPC)具有良好的容错能力,但是长时间的带故障运行会导致故障的传播,进而发生更恶劣的故障,甚至危及人身安全、造成重大的经

作者简介: 杨剑(1996—),男,研究方向为开关磁阻电机故障诊断。

唐琛(1990—),男,硕士研究生,研究方向为功率变换器热模型和可靠性分析。

任兴(1996—),男,研究方向为开关磁阻电机故障诊断。

济损失。因此对 SRD 功率变换器故障诊断进行研究非常必要。

常用的功率变换器故障诊断方法主要分为 2 类:(1) 基于先验知识的诊断方法。该诊断方法采用观测器、模糊系统、神经网络等方法通过离线训练的方式建立相应模型,对比正常和故障下的数据时的故障诊断。文献[1]通过检测直流母线电流与预估母线的电流之差为特征量,详细分析开路短路运行时的表现情况,得到诊断表从而能够诊断出故障。(2) 基于数据处理的诊断方法。该方法通过对采集到的数据进行分析和处理,得到能够表征故障的特征量实现故障诊断。相关的数据处理方法中最常用的方法有谱分析、小波变换、小波包变换等方法。文献[2]通过对故障相电流 FFT 变换得到基波分量和 1 次谐波分量的比值为故障特征量,可以诊断出短路故障和开路故障。文献[3]分析了绕组短路故障,极间短路故障,一极内线圈短路故障,得出了故障后瞬时电流的变化情况,最后以电流变化率和瞬时电流变化的情况为特征量实现故障诊断。文献[4]通过小波变换求取节点能量,将其输入构建的 BP 神经网络,训练后可以有效诊断出电机的故障类型。上述文献所提方法均无法在线实现,而小波变换的故障诊断方法在电机故障诊断方面也取得了很广的应用。文献[5]采用 Morlet 小波通过对特征频率的检测实现对转子断条故障的诊断,但是需要考虑频率带细分原则,适用于有特征频率的故障诊断。文献[6-8]采用小波变换与神经网络相结合的方法,通过小波变换得到能够在一定程度反应故障特征的诊断量,训练神经网络对特征量进行分类。虽然能够诊断故障,但由于神经网络庞大的计算量及不可移植性,限制了该方法的应用。文献[9-11]采用小波包变换,通过求取节点能量离散度进行故障诊断。该方法为了提高诊断的准确度,需要采用 5 层以上的小波包分析,同时需要选择诊断的节点,无法在线实现。

本文采用小波变换对 SRD 功率变换器不同故障情况下的相电流进行相应计算和分析,将得到的相电流平均值和标准差比值作为故障特征量来进一步实现有效的故障诊断。

1 功率变换器故障分析

功率变换器是 SRD 系统的执行机构,为系统的正常工作提供双极型脉冲电压。不对称半桥功率变换器以其各相隔离、容错能力强和无桥臂直通故障等优点而成为最常用的功率变换器拓扑结构之一,如图 1 所示。

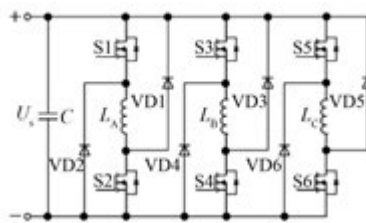


图 1 不对称半桥功率变换器拓扑结构

不对称半桥功率变换器常采用斩单管模式,这种斩波方式能够在一定程度上抑制转矩脉动、增强系统容错能力和提高系统可靠性。功率变换器在斩单管模式下具有 3 种工作状态,以 A 相为例进行说明。

(1) 励磁状态,如图 2(a) 所示。当主开关管 S1 和 S2 保持导通时,电源经 S1 和 S2 向 A 相绕组供电励磁,保证能量由电源侧流向电机绕组侧。

(2) 零电压续流状态,如图 2(b)、图 2(c) 所示。当功率开关器件 S1 关断时,S2 保持导通(或反之),相电流缓慢续流,能量存储在电机绕组中。

(3) 负电压续流状态,如图 2(d) 所示。当功率开关器件 S1 和 S2 均关断时,相电流处于负电

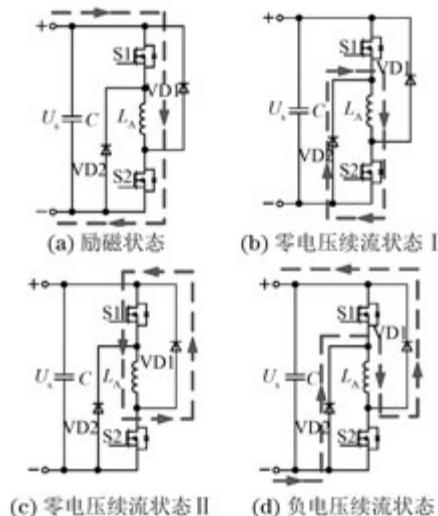


图 2 不对称半桥功率变换器工作模式

压续流状态,能量从电机绕组侧回馈至电源侧。

在上述 3 种工作状态中,通常上管(S1、S3、S5)接收斩波控制信号,称为斩波管;下管(S2、S4、S6)接收位置控制信号,称为位置管。由此可以总结出不对称半桥功率变换器主开关器件故障类型主要包括 4 种:位置管开路故障、位置管短路故障、斩波管开路故障和斩波管短路故障。

在不对称半桥功率变换器中,当发生位置管开路故障时,如图 3(a)所示,S2 始终处于关断状态,故障相电流在零电压续流状态 II 和负电压续流状态的交替切换下逐渐减小为零,此时系统处于缺相运行状态。在系统闭环控制作用下,控制器将通过增大其余正常相的输出能力来保证系统整体输出转矩和转速的实时跟踪效果;但由于缺相运行会增大转矩死区,系统会出现转矩和转速脉动增加的现象。

当发生位置管短路故障时,如图 3(b)所示,在正常导通区间内位置管 S2 原本就处于导通状态,因此位置管短路故障时相电流在导通区间 θ_{on} 和 θ_{off} 之间与正常运行情况无区别,在励磁状态和零电压续流状态 I 之间切换;而在关断区间内,由于位置管保持短路状态,使相绕组两端电压为零,相电流处于零电压续流状态,相比较于无故障时负电压续流状态下的续流时间延长。但是续流时间的延长会使相电流在绕组电感下降区续流,从而形成负转矩,降低系统效率,增大转矩脉动和噪声。

当发生斩波管开路故障时,如图 3(c)所示,在导通区间内,S1 保持关断,S2 保持开通,相电流处于零电压续流状态 I 使电流逐渐减小;而在关断区间内则变为负电压续流状态,电流迅速减小到零,之后电机运行转化到缺相状态。

当发生斩波管短路故障时,如图 3(d)所示,在导通区间内,S1 始终保持开通,导致电机绕组始终为励磁状态,容易造成过电流及较大的转矩和转速脉动;而在关断区间内,由正常的负电压续流状态转变为零电压续流状态 II,延长了续流时间。由于导通区间电流过大而造成在关断区间生成较大的负转矩,转矩波形类似于“正弦波形”,从而使该相转矩整体输出近似为零,且加重系统输出不平衡,使系统无法运行。

综上所述可知,位置管开路和斩波管开路故障

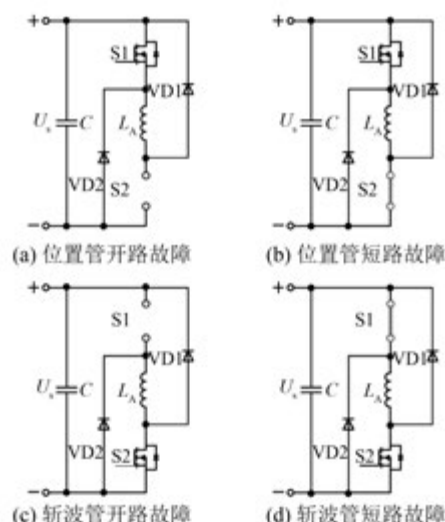


图 3 功率管故障类型

下,故障相失去励磁模式,电流变为零,转化为缺相运行状态;在斩波管短路故障下,由于严重的系统不平衡度造成过大的转矩和转速脉动,导致系统无法运行而处于停机状态;在位置管短路故障下,在导通区间与正常运行情况保持相同,在关断区间转化为零电压续流,需要进行必要的故障诊断。

2 功率变换器故障特征提取

2.1 小波变换原理

小波分析主要讨论的是平方可积构成的函数空间 $L^2(R)$ 。若 $f(t)$ 属于该空间,则称 $f(t)$ 为能量有限信号。在此空间中,可对 $f(t)$ 实行连续的小波变换:

$$WT_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \psi_{a,b}(t) dt \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

其中, $a \neq 0$ 。 $\psi(t)$ 称为小波基,小波基对信号的分析性能影响较大。小波基函数一般满足 3 个条件:(1)真实的信号;(2)能量有限;(3)衰减速度快。即

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3)$$

小波变换的逆变换将频域的信号变换到时域中,但需要满足可容性条件。连续小波变换对离散数字信号的处理程序复杂,其逆变换将频域的信号变换到时域时也需要满足可容性条件。为了克服这种缺点,离散小波变换 (Discrete Wavelet

Transform, DWT) 方法被提出。DWT 能满足小波变换的多分辨率分析, 同时能够对离散信号进行快速分析, 性能良好。DWT 是将连续小波变换的 a 和 b 予以替代:

$$a = a_0^m, b = nb_0a_0^m, m, n \in Z \quad (4)$$

小波基的选取一般遵循 5 个基本原则: (1) 小波基是否可微; (2) 小波基是否具有良好的局部分析特性, 主要表现在小波基波形变化速度; (3) 是否失真, 考虑对称性; (4) 分析频率的范围; (5) 消失矩阶数。对于电机的故障诊断来说, 电机绕组相电流变化速度较快, 一般考虑 2 个方面的特性: 小波基的衰减速度和消失矩阶数。衰减速度越快, 小波对信号的局部分析能力越好; 消失矩阶数越大, 对高频信号的分析能力越强。对于 SRM 相电流波形不规则的特点, 应该选取收敛速度快、消失矩阶数小、规则性差的小波基用于故障诊断。

dbN 系列小波随着消失阶数 N 的增大而增大, $db0 \sim 4$ 小波规则性较 $db5 \sim 10$ 小波差, 分析相电流能力应该越好。同时考虑消失阶数 N 和规则性不能太差应选取 $db2 \sim 4$ 的小波。考虑局部衰减速度, 紧支撑度为 $2N-1$ 反映了衰减的快慢, 其值越大衰减越慢, 局部分析性能越差。综上考虑应该选取 $db2$ 或 $db3$ 小波。最后考虑小波基形状与相电流正常、故障波形的吻合情况, 本文选取 $db3$ 小波。

2.2 故障特征值的提取

确定选择使用 $db3$ 小波进行分析后, 对相电流进行三层小波变换, 然后得出其第三层低频系数, 并利用统计学的知识计算平均值及标准差。其中, 平均值和标准差的计算公式分别如式(5)和式(6)所示:

$$S_{\text{mean}} = \sum_{i=1}^n a_i / n \quad (5)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - S_{\text{mean}})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

平均值的计算反映了故障前后相电流幅值的变化情况, 并且标准差能够直观反映出故障前后相电流波动程度。考虑到计算所得的平均值和标准差均受到负载和转速变化的影响, 本文为保证诊断特征量的鲁棒性、消除负载和转速变化的干扰, 定义平均值和标准差的比值 μ , 作为特征量实

现故障诊断, 如式(7)所示。

$$\mu = \frac{S_{\text{mean}}}{\sigma} \quad (7)$$

3 仿真实验

为了验证本文提出的故障诊断方法, 利用 MATLAB/Simulink 软件建立三相 12/8 SRD 的仿真模型。在仿真模型建立过程中, 首先采用文献[2]所提的方法测量电机 4 个特殊位置的磁链特性, 选用五阶傅里叶级数方法对整个转子周期的数据进行拟合, 得到不同位置 ($0^\circ \sim 45^\circ$) 和电流 ($0 \sim 20 \text{ A}$) 的磁链和转矩特性; 然后结合 MATLAB/Simulink 中相应的基本模块搭建基于电压斩波控制的仿真模型。功率变换器的相应故障情况是通过改变功率开关器件的驱动信号来实现的, 例如将驱动信号始终置为高电平, 则发生短路故障; 将驱动信号始终置为低电平, 则发生开路故障。

图 4 所示为在负载转矩 $0.05 \text{ N} \cdot \text{m}$ 、给定转速 400 r/min 情况下功率变换器故障仿真波形图。如图 4(a) 所示为缺相故障相电流和系统转速仿真波形, 在 $t = 23.9 \text{ s}$ 时, 系统发生缺相故障。故障相电流减小为零, 造成转速有明显的降低趋势, 但是在闭环控制作用下系统会增强其余正常相的输出来提高输出转矩和转速, 保证系统的平稳运行。

图 4(b) 所示为位置管短路故障相电流和系统转速仿真波形。当 $t = 27.99 \text{ s}$ 位置管短路故障发生后, 在导通区间电流波形与正常情况相同, 而关断区间续流时间明显拉长到下一周期开通时刻。由于负转矩的生成使转速有明显的下降, 但波动幅值在 5 r/min 以内。

图 4(c) 所示为斩波管短路故障相电流和系统转速仿真波形。当 $t = 27.995 \text{ s}$ 斩波管短路故障发生后, 导通区间完全处于励磁模式, 电流峰值增大 3 倍以上, 导致转速波动约达 20 r/min , 使系统的稳定运行受到极大影响, 一般需要停机进行故障的排查。

为了验证所提故障诊断特征量的鲁棒性, 设计仿真进行验证。在负载 $T_1 = 0.05 \text{ N} \cdot \text{m}$ 情况下, 转速每间隔 100 r/min 变化, 范围为 $300 \sim 1200 \text{ r/min}$, 进行正常情况和位置管短路故障的仿真, 特征量变化情况如表 1 所示。在正常情况下, 随着转速的提高, S_{mean} 由 0.66 增加到 0.87 , 变

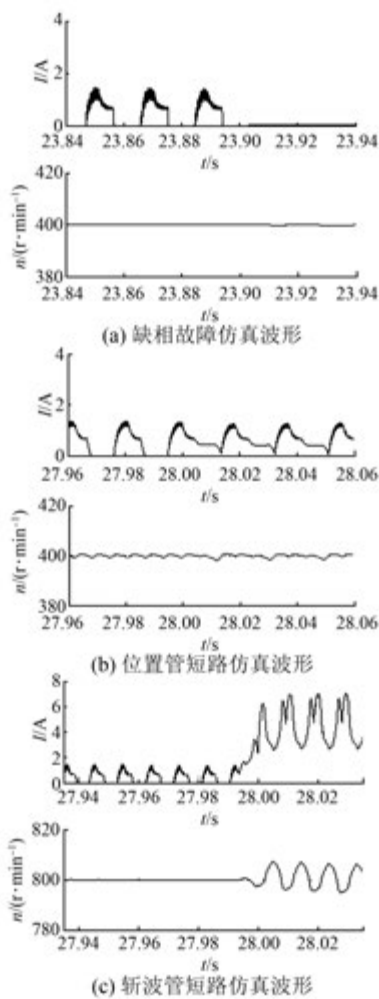


图4 故障仿真波形

化率为 31.8% ;而在短路故障之后 S_{mean} 由 0.95 增加到 6.08 ,变化率达到 540% 。但是在正常情况

表 1 转速鲁棒性分析时特征量分布表

转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	正常			故障		
	S_{mean}/A	σ/A	μ	S_{mean}/A	σ/A	μ
300	0.67	0.86	0.77	0.95	0.52	1.82
400	0.68	0.84	0.81	1.19	0.66	1.80
500	0.70	0.82	0.86	1.51	0.82	1.84
600	0.70	0.83	0.85	1.91	1.04	1.84
700	0.72	0.83	0.86	2.33	1.24	1.88
800	0.73	0.87	0.85	2.84	1.55	1.83
900	0.74	0.89	0.83	3.61	2.03	1.78
1 000	0.79	0.91	0.86	4.41	2.41	1.83
1 100	0.82	0.97	0.85	5.36	2.98	1.80
1 200	0.85	1.04	0.82	6.08	3.28	1.85

下,转速达到 1 000 r/min 时,平均值 S_{mean} 和故障情况下转速为 300 r/min 时的 S_{mean} 非常接近。这种现象很容易造成误诊断。对于标准差 σ 来说,在正常情况下从 0.86 增加到 1.04 ,在位置管短路故障发生后从 0.52 增加到 3.28 ,由此可以看出特征量幅值区域已经有部分重合。因此 S_{mean} 和 σ 均不能直接用来作为故障诊断量。

本文提出的故障诊断特征量 μ 在正常情况下最小值为 0.77 ,最大值为 0.86 ,变化率只有 11.7% ;在故障情况下 μ 最小值为 1.78 ,最大值为 1.87 ,变化率为 5.1% ,同时 μ 最小值是正常情况 μ 最大值的 2.07 倍,即特征量在正常情况和故障情况下具有较大的缓冲区域,不易发生误诊断现象,从而可以降低误诊断的发生率。综上可知,所提取特征量在相同负载下随转速的变化具有较好的鲁棒性。

为了进一步说明利用特征量 μ 进行故障诊断的有效性,分别验证负载、转速和特征量的关系。在重载 $T_1=0.35\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,通过仿真计算得到正常和故障情况下特征量 μ ,结合轻载情况下 $T_1=0.05\text{ N}\cdot\text{m}$ 的特征量 μ 绘制如图 5 所示的仿真结果。由图 5 可以看出,正常情况下 μ 在 0.8 附近波动,而短路故障发生后 μ 在 1.82 附近波动,可以明显区分正常和故障的不同情况。

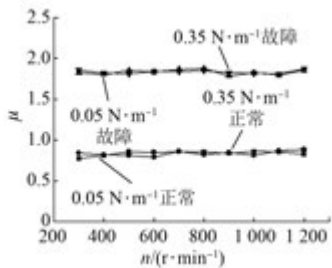


图 5 转速鲁棒性验证

在低速 $n=300\text{ r}/\text{min}$ 和高速 $n=1\text{ 000 r}/\text{min}$, 占空比从 0.2 变化到 0.9 时, μ 的变化情况如图 6 所示。在正常情况下,不同转速下 μ 在 0.8 附近波动,随着占空比的增加, μ 趋近于恒定值。位置管短路故障发生后, μ 迅速增加到 1.8 附近,且低速和高速情况下,变化趋势几乎一致。

综上所述,经过 2 组仿真结果可知,特征量 μ 在不同负载、不同转速下具有良好的鲁棒性。

对比分析上述仿真结果,正常情况下 μ 的值

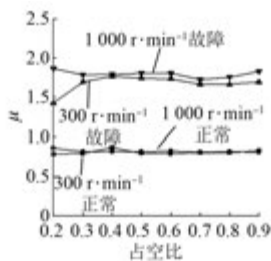


图6 负载鲁棒性验证

一般约为0.8,而在故障发生后则大约固定在1.8,因此诊断区间可以如下安排:当 μ 处于0.3~1.3之间时,系统为正常工作状态;当 $\mu>1.3$ 时,认为系统发生位置管短路故障;当 $\mu<0.3$ 时,系统发生位置管开路故障和斩波管开路故障。其中,开路故障发生后故障相电流 S_{mean} 和 σ 都为零,特征量 μ 无意义,无法诊断出故障。为解决上述问题,可将 σ 计算时加1个微小数值0.01,从而在开路故障下, μ 始终为零,能够有效实现故障诊断。

4 故障验证

试验系统采用前述的SRD样机,控制方式选用脉宽调制斩波控制,示波器采样频率设定为5 kHz,对故障前后的相电流波形进行采样,可得故障前后数据。试验硬件平台配置如图7所示。试验平台搭建时,下管设置为位置管。为保证数据的有效性,需让电机在正常情况下运行一段时间,保持电机的温升为常数再进行试验。



(a) 控制系统图

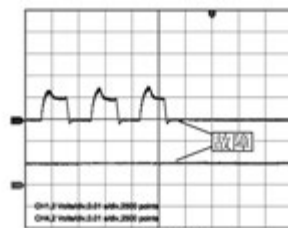


(b) 样机SRM

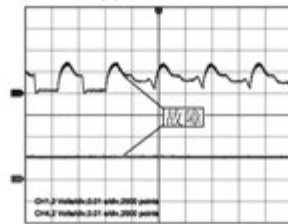
图7 硬件平台

本文试验时故障的设置通过继电器实现。位置管短路故障的设置是将继电器并联在MOSFET的漏极和源极之间,正常时继电器断开,故障时将继电器闭合,使功率管两端短路,实现功率管短路故障试验。开路故障的设置是将继电器串入到功率变换器的桥臂中。将继电器串入上管与相绕组之间,实现上开关管开路故障的设置。同理,串入下开关管与相绕组之间实现下开关管的开路故障设置。

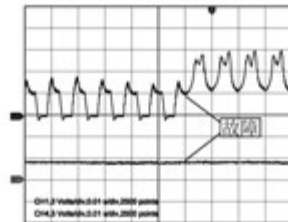
在恒定负载的条件下,转速从300 r/min变化为900 r/min时进行正常运行和短路故障运行时的试验。各不同故障类型情况下的故障相电流如图8所示。从试验结果图中可以看出,故障前后相电流均发生明显变化。根据本文所述方法提取诊断特征量 μ 后可以进行对比分析。图9所示为不同转速情况的验证结果。图10所示为不同转矩情况的验证结果。由试验结果可得,故障特征量 μ 能够在正常情况下保持稳定变化,不随转速和转矩的变化而大幅度波动,表现出良好的鲁棒性;同时在故障后能够清晰地反映出较大的幅值变化,表现出准确的诊断效果。



(a) 开路故障



(b) 位置管短路故障



(c) 斩波管短路故障

图8 故障试验

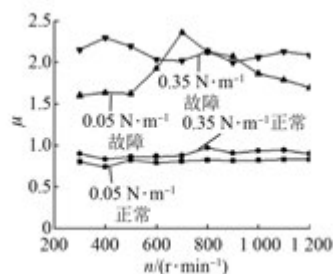


图9 特征量转速鲁棒性试验验证

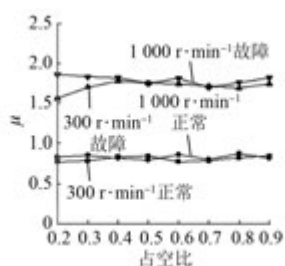


图10 特征量负载鲁棒性试验验证

5 结 语

本文以 100 W 三相 12/8 型 SRD 为研究对象,将适用于该种电机的不对称半桥功率变换器的故障类型进行分类讨论,归纳整理出 4 种功率开关器件的故障类型,并采用 DWT 方法提取相关相电流的平均值与标准差的比值作为故障诊断特征量,然后通过建立 Simulink 仿真模型和设计试验来验证所提取的特征量具有良好的诊断特性,从而证实了本文提出的基于小波变换的故障诊断方法的有效性。

【参考文献】

- [1] GOPALAKRISHNAN S, OMEKANDA A M, LEQUESNE B. Classification and remediation of electrical faults in the switched reluctance drive[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2006, 42(2): 479-486.
- [2] 卢胜利. 开关磁阻电机故障诊断研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.
- [3] WANG W. Fault tolerant operation of switched reluctance machine [D]. Dallas: The University of Texas, 2013.
- [4] 张晓文, 杨煜普, 许晓鸣. 基于小波变换的特征构造与选择[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(19): 25-28.
- [5] GAMEIRO N S, CARDOSO A J M. A new method for power converter fault diagnosis in SRM drives [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48(2): 653-662.
- [6] 严利. 基于 MATLAB/Simulink 开关磁阻电机非线性建模方法研究与实践[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.
- [7] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [8] 刘涛, 曾祥利, 曾军. 实用小波分析入门[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [9] 于志伟, 苏宝库, 曾鸣. 小波包分析技术在大型电机转子故障诊断系统中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(22): 158-162.
- [10] 赵刚, 周波. 基于小波包分析的双凸极无刷直流发电机电系统故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(8): 121-126.
- [11] 魏云冰. 小波变换在电机故障诊断与测试中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.

收稿日期: 2018-02-25

(上接第 111 页)

- [2] 石华. 我国 2015 年进口原油 3.34 亿 t[J]. 石油库与加油站, 2016, 25(1): 22.
- [3] 多国公布禁售燃油车时间表[J]. 汽车维修, 2017(9): 48.
- [4] 代颖, 崔淑梅, 宋立伟. 车用电机的有限元模态分析[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(9): 100-104.
- [5] 郑江, 代颖, 石坚. 车用永磁同步电机的电磁噪声特性[J]. 电工技术学报, 2016, 31(增刊 1): 53-59.

- [6] 王天煜, 王凤翔. 大型异步电动机定子振动与模态分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(12): 41-45.
- [7] 代颖. 电动汽车驱动用感应电机的电磁噪声研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [8] 闫兵, 李伟, 雷应锋, 等. 起动电机模态特性试验分析[J]. 机械设计与制造, 2012(6): 199-201.
- [9] 田东. 高速永磁电机转子动力学特性分析[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2016.

收稿日期: 2018-04-25

中文核心期刊 / 中国科技核心期刊
专业缔造权威 服务创造价值
高效节能 绿色电机

我们专注于 电机技术的研究
电机系统节能的解决方案
电机与控制技术

电机智能制造
电机绿色制造
.....

《电机与控制应用》

创刊于1959年，是上海电器科学研究所（集团）有限公司主办的具有专业权威的电工技术类科技期刊。每月10日出版，国内外公开发行，邮发代号4-199。
杂志集合了上电科在技术研发、产品检测、标准制定及专业人才等各方面
的优势资源，专业服务于行业与用户，为我国中小型电机行业的技术
进步与发展做出了巨大贡献，在电机及控制应用领域享有很高的
荣誉，具有很大的影响力。

编辑部地址：上海市武宁路505号9号楼6楼
电话：021-62574990-745
E-mail: 392483864@qq.com

邮编：200063
传真：021-62432316



扫码关注电机与控制应用