

基于相电压积分的逆变器开路故障诊断策略

刘 攀 王文江 陈 轩

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

摘要: 对三相桥式 PWM 逆变器的 IGBT 出现开路故障时的故障特征进行了研究,在正常工作和故障模式两种工作方式下,对门极信号和相电压之间的变化情况进行了分析比较,提出了以相电压为基础的积分算法,通过这种算法以得出方案来进行诊断和定位。最终,在仿真软件 MATLAB/Simulink 中搭建了一个三相桥式逆变的模型,通过模拟该电路来对该方法考证,从结果可以看出所采用的方法能够较准确的得到故障的位置。

关键词: 逆变器;IGBT 开路;相电压积分

中图分类号: TN773.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4031

Inverter fault diagnosis strategy based on phase voltage integral

Liu Jian Wang Wenjiang Chen Xuan

(School of Optoelectronic Information and Computer Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The three-phase PWM inverter, as the research object, the failure characteristics of IGBT open circuit fault was in depth studied. By comparing the normal and fault between the signal and the phase voltage, integral algorithm based on phase voltage is established. And the diagnosis and orientation method is put forward. Finally, the three-phase bridge inverter model is constructed in Matlab / Simulink, through the simulation of the circuit to the method of the research, we can see that the method used in this paper can be very accurately to get the fault location from the results.

Keywords: inverter; IGBT open circuit; phase voltage integral

0 引 言

以逆变器为主体构成的调速传动系统已有 20 多年的历史,其在民用、军用、工业等领域得到了广泛应用,而逆变器的作为关键设备,其效率、成本、可靠性和安全性直接影响其所在系统的性能,这也使得逆变器在电网技术中发挥了重要作用^[1-3]。总的来说,逆变器的作用是将直流电转换成交流电,可以说是一个逆向的整流过程^[4]。而在各个领域的应用中,逆变桥 IGBT 的开路故障又占了相当大的比重,开路故障不易检测,而只有故障被检测到才能继续安全容错运行,因此,IGBT 的研究在故障隔离领域意义重大^[5-7]。

电流故障诊断法、电压故障诊断法在 IGBT 开路故障研究领域使用的最多。然而,这两种方法都或多或少存在缺陷与不足之处,如负载变化时出现误诊现象、不能同时对多个 IGBT 进行故障检测与定位以及需要增加检测成本等等^[8-14]。

为了解决这些不足,提出了一种基于相电压积分的故障诊断方法,该方法有效解决了负载变化出现误诊等问题,

而且还可以对两个 IGBT 同时进行故障的检测。最终,在仿真软件 MATLAB/Simulink 中搭建了一个三相桥式逆变的模型,通过模拟该电路来对该方法考证,得出的结果显示本文提出的方法可以较有效的解决前文所描述的一些问题。

1 逆变器正常工作模式分析

三相桥式 PWM 逆变电路拓扑结构如图 1 所示。

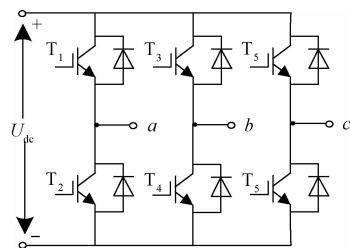


图 1 三相电压型 PWM 逆变电路拓扑结构

三相 PWM 逆变电路包含 3 个逆变桥臂(a、b、c),每个桥臂由 2 个功率器件 IGBT($T_i, i=1,2,3,4,5,6$)及与其反

并联的续流二极管组成。各个功率器件的通断通过门极信号($S_i, i=1,2,3,4,5,6$)来控制,IGBT 导通时对应的 $S_i=1$,IGBT 关断时对应的 $S_i=0$ ^[15]。

在逆变器正常工作时,研究 3 个桥臂工作的电流流向问题和相电压关系。其运行原理是 180°导通,也就是说任一桥臂的导通角都是 180°,例如,在 a 相上 T_1 和 T_2 交替导通。这样,每个瞬间共有 3 个臂同时导通。由于换流总是发生在同相两个桥臂之间,因此仅需考虑任意 2 个门极信号,这里选择门极信号 S_1 和 S_3 作为参考,因此 a、b 桥臂上总共有 4 种开关模式,再考虑到相电流 i_a 和 i_b 的流向,因此每个桥臂总共有 16 种不同的工作模式。开关组合的不同会使逆变器交流侧产生两种电压等级: $+U_{dc}/2$ 、 $-U_{dc}/2$ 。

开关组合、相电流流向以及相电压之间的关系如表 1 所示。

表 1 正常工作方式下的开关模式和相电压

相电流	S_1	S_3	相电压 u_a
$i_a \geq 0, i_b \geq 0$	1	1	$+U_{dc}/2$
	1	0	$+U_{dc}/2$
	0	1	$-U_{dc}/2$
	0	0	$-U_{dc}/2$
$i_a \geq 0, i_b < 0$	1	1	$+U_{dc}/2$
	1	0	$+U_{dc}/2$
	0	1	$-U_{dc}/2$
	0	0	$-U_{dc}/2$
$i_a < 0, i_b \geq 0$	1	1	$+U_{dc}/2$
	1	0	$+U_{dc}/2$
	0	1	$-U_{dc}/2$
	0	0	$-U_{dc}/2$
$i_a < 0, i_b < 0$	1	1	$+U_{dc}/2$
	1	0	$+U_{dc}/2$
	0	1	$-U_{dc}/2$
	0	0	$-U_{dc}/2$

根据上面的表能够得出,正常工作模式下的逆变器,相电压值与电流的流向没有关系,而只对应着不同的开关状态。

2 逆变器故障工作特征

2.1 IGBT 开路故障工作特点

如果 T_1 出现开路故障,当 $i_a \geq 0$ 时,逆变器故障体现的较为明显,图 2 为工作在故障状态下的桥臂,如图 2 所示。

实线表示的是电流的流向,而工作在正常模式下的相电压为平面直角坐标系中虚线部分。通过图 2 能够得出,不论 i_b 的方向如何, S_3 的门极信号如何,当 $i_a > 0$ 且 $S_1=1$ 时,因为发生故障的为 T_1 ,此时 T_1 无法导通,所以电流只能从 T_2 的反并联二极管流过,这时相电压发生变化,由 $u_a = +U_{dc}/2$ 变成 $u_a = -U_{dc}/2$ 。相同的方法可以用于

$T_i (i=2,3,4,5,6)$ 的故障分析。

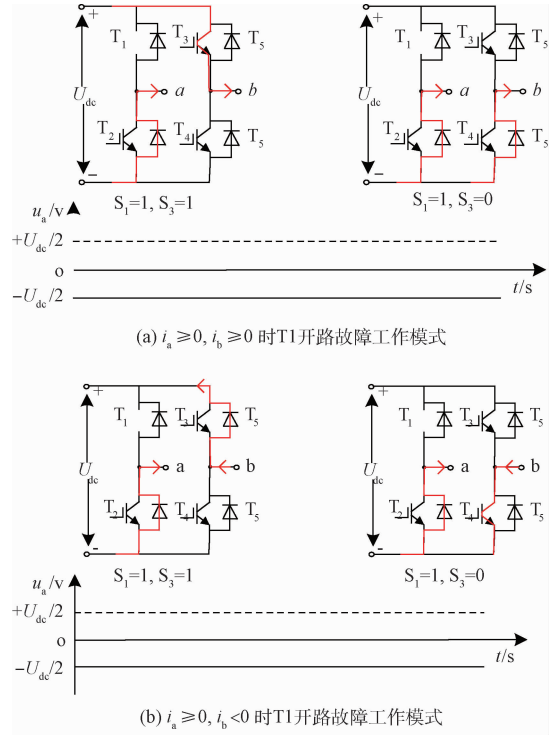


图 2 $i_a \geq 0$ 时 T_1 开路故障工作模式

2.2 故障诊断方法

这个方法即对系统的复杂性提出了要求,又增加了系统的检测成本,因为要完成对故障的检测,必须设计另外的电路。在逆变器正常工作模式下,对相电压进行积分,会发现它近似于 0,而在逆变器发生故障后,这个积分值与 0 相差越来越大,例如:当逆变电路 a 相上桥臂出现故障时,相电压相位会发生 180°的改变,因此相电压 u_a 的积分值无限趋近于负无穷;同理,当逆变电路 a 相下桥臂出现故障时,相电压相位改变 180°,因此相电压 u_a 的积分值无限趋近于正无穷。采用相同的分析方法可以很容易得到 b、c 两相桥臂的故障诊断情况。具体情况如表 2 所示。

表 2 电压积分法故障定位表

故障开关	u_a 的积分	u_b 的积分	u_c 的积分
T_1	最大,负	无	无
T_2	最大,正	无	无
T_3	无	最大,负	无
T_4	无	最大,正	无
T_5	无	无	最大,负
T_6	无	无	最大,正

3 仿真结果分析

对于此文提出的检测方法,使用了 MATLAB/

Simulink,搭建了一个三相桥式逆变电路的模型,采用模拟电路的方法进行考证。对以下两种情况分别进行了仿真模拟:逆变器正常运行以及逆变器故障运行。

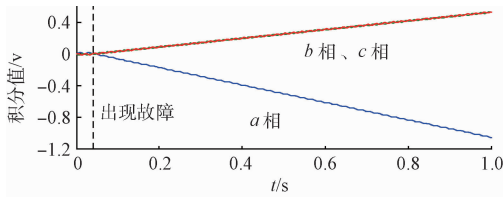


图3 T_1 开路故障时三相电压积分图

a 相上桥臂 T_1 在 0.03 s 发生开路故障时的仿真图如图 3 所示。

通过仿真可以看到在 1 s 的时候 u_a 的积分值变为了 -1.2 左右, u_b, u_c 积分值在 1 s 的时候变为了 0.6 左右,这说明逆变器上桥臂 T_1 出现了开路故障,这与理论分析中 u_a 的积分变为负的最大值相吻合,结论正确。

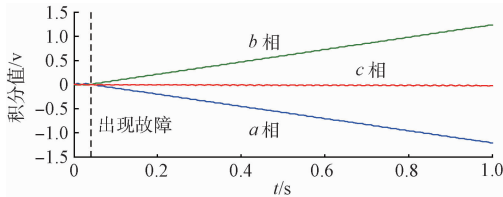


图4 T_1, T_4 开路故障时三相电压积分图

a 相上桥臂 T_1, b 相下桥臂 T_4 在 0.03 s 发生开路故障时的故障图如图 4 所示。

通过仿真可以看到在时间到达 1 s 的时候, u_a 的积分值变为了 -1.2 左右, u_b 的积分变为了 1.2 左右,而 u_c 的积分值变为了 0 左右,这说明逆变器 a 上桥臂 T_1 以及 b 相桥臂 T_4 出现了开路故障,这与理论分析 u_a 的积分出现负的最大值, u_b 的积分值出现正的最大值相吻合,结论正确。

4 结 论

对于三相桥式 PWM 逆变器中出现 IGBT 开路故障的问题,本文提出的方法能够很好的解决,而且负载变化出现误诊以及无法对两个 IGBT 同时进行故障的检测等问题也可以得到很好的改善。此方法主要对 IGBT 出现开路故障时的故障特征进行了研究,在正常工作和故障模式两种方式下,对门极信号和相电压之间的变化情况进行了分析比较,以此建立了基于相电压的积分算法以及对发生故障时的诊断与定位。通过仿真模拟的结果,可以得出此方法在检测故障准确位置方面比较准确。

参考文献

[1] 胡存刚, 邓娜, 陆寅, 等. 三电平 ANPC 并网逆变器损耗分布平衡的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(5): 722-730.

[2] 侯立健, 朱长青, 陈雅, 等. 并网发电系统中孤岛检测方法综述[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(8): 34-39.

[3] 张兰勇, 曹岸, 刘胜. 级联多电平变换器的新型混合 PWM 技术[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(10): 2234-2242.

[4] 汪志, 刘雪峰. 光伏并网逆变器 DSP 核心控制电路设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(2): 113-116.

[5] 于泳, 蒋生成, 杨荣峰, 等. 变频器 IGBT 开路故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(9): 31-35.

[6] 王磊, 杜永红, 赵雷廷, 等. 基于标么化均值的大功率 PWM 整流器故障诊断[J]. 北京交通大学学报, 2010, 34(5): 48-52.

[7] 王磊, 刘志刚, 张钢, 等. 基于 PWM 整流器的城轨牵引供电系统[J]. 电力电子技术, 2009, 43(7): 75-77.

[8] CASEIRO J A A, CARDOSO A J M. Fault diagnosis on a PWM rectifier AC drive system with fault tolerance using the average current park's vector approach[C]. IEEE International Electric Machines and Drives Conference. Miami, FL, USA: IEEE, 2009: 695-701.

[9] 张亢, 程军圣, 杨宇, 等. 基于分段波形的信号瞬时频率计算方法[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2011, 38(11): 54-59.

[10] 满红, 贾世杰. 基于小波分析和神经网络的异步电机早起故障诊断[J]. 大连交通大学学报, 2011, 32(3): 80-83.

[11] 安群涛, 孙力, 赵克, 等. 基于开关函数模型的逆变器开路故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(6): 1-6.

[12] 马啸, 应展烽, 张旭东, 等. 电网单相电压暂降特征量检测的二点算法[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(22): 33-37.

[13] ESTIMA J O, MARQUES C A J. A new approach for real-time multiple open-circuit fault diagnosis in voltage-source inverters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2011, 47(6): 2487-2494.

[14] 王德成, 林辉. 基于支持向量机的功率变换器开关管开路故障诊断[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(1): 126-128.

[15] 常昊俊, 何正友, 胡海涛, 等. 基于 IGBT 输出功率的逆变器开路故障诊断方法[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 1140-1145.

作者简介

刘肇, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为电子技术应用、电子测量。

E-mail: liuliu2702@163.com

王文江, 硕士研究生, 主要研究方向为电子技术应用。

E-mail: 847013172@qq.com