

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.11.023

# 有源电力滤波器故障诊断系统的设计\*

马立新, 严 亮, 吴兴锋

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

**摘要:**针对有源电力滤波器 APF(active power filter)中 IGBT 故障监测的问题,对 IGBT 及其驱动模块的故障进行了分析,对故障特征与故障检测电路进行了研究,设计了一种基于 LabVIEW 的故障诊断系统。通过对 APF 故障特征的归纳,设计了 IGBT 及其驱动模块的故障检测电路,并将 IGBT 故障运行与正常运行的时序图进行了对比分析,最后利用 LabVIEW 上位机对 APF 故障诊断系统进行了测试。实验结果表明,该诊断系统能对 APF 故障进行检测,并可有效识别 IGBT 故障的位置。

**关键词:**有源电力滤波器;故障诊断;IGBT;LabVIEW

中图分类号:TN713;TM5

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)11-1429-04

## Design of fault diagnosis system for active power filter

MA Li-xin, YAN Liang, WU Xing-feng

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Aiming at realizing fault diagnosis of IGBT in the active power filter(APF), the fault of IGBT and driver module were analysed, the fault feature and fault detection circuit were researched, a fault diagnosis system was designed based on LabVIEW. Through the fault feature of APF, the fault detection circuit of IGBT and driver module were proposed, and the time sequence of normal mode was compared with one of fault mode. The fault diagnosis system was tested by using LabVIEW upper computer. The experimental results indicate that the diagnosis system can detect fault of APF and identify the fault location of IGBT effectively.

**Key words:** active power filter(APF); fault diagnosis; IGBT; LabVIEW

## 0 引 言

随着电力电子装置及分布式电源的广泛应用,电力系统的电能质量问题日趋严重,严重威胁电网的安全运行和电力设备的正常使用<sup>[1]</sup>。有源电力滤波器(active power filter, APF)是一种新型的谐波治理和无功补偿装置,因其动态响应速度快、补偿特性好等优点,得到了国内外学者的广泛关注<sup>[2]</sup>。

APF 运行状况不仅决定谐波治理的效果,还关系到电力系统的安全运行,APF 逆变器中的 IGBT 因长时间工作在高频、高温状态,是易损坏的器件<sup>[3]</sup>。APF 中使用的 IGBT 较多,为了确定 IGBT 准确故障位置,

需要对 APF 进行故障诊断。

为了提高系统的可靠性,增长 APF 的安全稳定运行时间,本研究设计 APF 的故障诊断系统。该系统对 IGBT 及其驱动模块进行实时故障分析,并在发生故障时进行故障报警,为 APF 故障后的维修赢得时间。笔者利用该系统对 APF 进行有效诊断,从而进一步保障 APF 的稳定工作。

## 1 有源电力滤波器的工作原理

本研究主要以并联型有源电力滤波器为研究对象,它的系统结构与工作原理如图 1 所示。

收稿日期:2014-06-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61205076);国家科技部政府间科技合作资助项目(2009014)

作者简介:马立新(1960-),男,陕西安康人,博士,教授,主要从事电力系统稳定性与优化运行、电气系统故障诊断与模式识别、群体智能与智能电网、电力能效测评系统方面的研究。E-mail:malx\_ail@sina.com

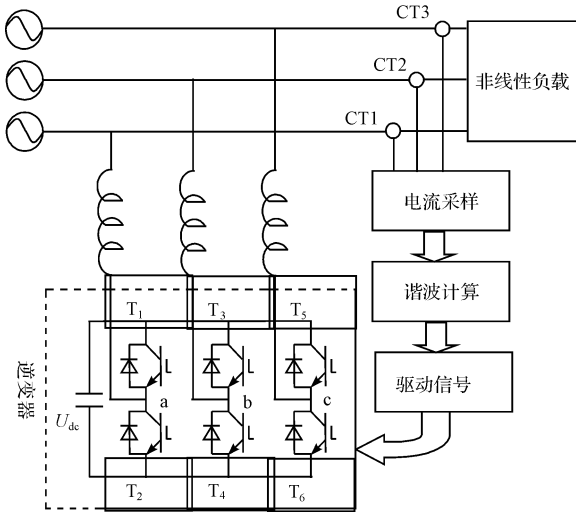


图 1 APF 结构原理图

非线性负载的接入会向电网注入谐波电流，系统通过电流互感器 CT 检测出三相负载电流，经过谐波电流分析与计算环节，再根据谐波分量生成 PWM 控制脉冲，从而将谐波电流抵消使网侧电流逼近于正弦波，达到电能质量的规定水平。

## 2 系统硬件设计

故障诊断系统需要对 IGBT 的驱动模块以及各个 IGBT 的故障进行诊断，快速确定驱动模块和 IGBT 的故障位置，为 APF 的维护提供参考依据。

APF 中采用 CONCEPT 公司的 2SD315AI 作为 IGBT 的驱动模块，该模块具有智能驱动、自检和状态反馈等功能，并将功率部分与控制部分完全隔离。该驱动模块可产生两路 IGBT 驱动信号，同时可以对 IGBT 的短路、过流、欠压进行监测，当相应通道发生故障时，对应故障输出端 SO 信号为低电平，并封锁驱动信号。

驱动模块故障信号调理电路如图 2 所示。将故障信号 SO 转换为芯片所要求的电平范围，并通过 LED 指示灯指示各个驱动模块的故障情况。APF 中使用 3 个驱动模块来驱动 3 个 IGBT 桥臂，因此，本研究设计 3 个故障诊断电路，实现各个驱动模块的故障诊断。

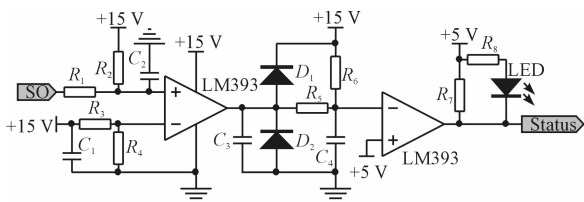


图 2 驱动模块故障信号调理电路

APF 中 IGBT 通常表现为短路和开路故障，由于 IGBT 每相桥臂中有快速熔断器保护，发生短路故障后

熔断器会快速熔断变为开路故障。本研究针对开路故障进行故障诊断设计。

本研究根据图 1 所示的 APF 结构原理图，用开关函数来表示 APF 的运行状态。设  $s_a, s_b, s_c$  分别为 a、b、c 三相桥臂的开关信号。 $s_a, s_b, s_c$  为 1 表示上桥臂开通下桥臂关断； $s_a, s_b, s_c$  为 0 表示上桥臂关断下桥臂开通。APF 正常运行时，以 A 相为例，IGBT 集电极 - 发射极电压  $u_T$  与开关信号关系为<sup>[4]</sup>：

$$\begin{cases} u_{T1} = (1 - s_a) U_{dc} \\ u_{T2} = s_a U_{dc} \end{cases} \quad (1)$$

式中： $U_{dc}$ —直流侧电压。

当 IGBT 发生开路故障时，IGBT 集电极 - 发射极电压将不能用式(1)来表示，因此，可以通过实际电压与正常运行理论电压值的误差来确定 IGBT 开路故障位置<sup>[5]</sup>。

以 A 相桥臂为例，流出 IGBT 的电流设为正，流入 IGBT 的电流设为负<sup>[6]</sup>，A 相正常运行和上下桥臂故障时 IGBT 电压如表 1 所示。

表 1 正常运行和桥臂故障时 IGBT 电压

| $i_a$ | $s_{a+}$ | $s_{a-}$ | 正常       |          | $T_1$     |           | $T_2$     |           | $T_1, T_2$ |           |
|-------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
|       |          |          | $u_{T1}$ | $u_{T2}$ | $u'_{T1}$ | $u'_{T2}$ | $u'_{T1}$ | $u'_{T2}$ | $u'_{T1}$  | $u'_{T2}$ |
| +     | 1        | 0        | 0        | $U_{dc}$ | $U_{dc}$  | 0         | 0         | $U_{dc}$  | $U_{dc}$   | 0         |
| +     | 0        | 0        | $U_{dc}$ | 0        | $U_{dc}$  | 0         | $U_{dc}$  | 0         | $U_{dc}$   | 0         |
| +     | 0        | 1        | $U_{dc}$ | 0        | $U_{dc}$  | 0         | $U_{dc}$  | 0         | $U_{dc}$   | 0         |
| -     | 1        | 0        | 0        | $U_{dc}$ | 0         | $U_{dc}$  | 0         | $U_{dc}$  | 0          | $U_{dc}$  |
| -     | 0        | 0        | 0        | $U_{dc}$ | 0         | $U_{dc}$  | 0         | $U_{dc}$  | 0          | $U_{dc}$  |
| -     | 0        | 1        | $U_{dc}$ | 0        | $U_{dc}$  | 0         | 0         | $U_{dc}$  | 0          | $U_{dc}$  |

注： $s_{a+}, s_{a-}$ —A 相上下桥臂的开关信号； $u'_T$ —故障时 IGBT 电压。

由表 1 可知，在  $T_1$  故障下，当 A 相电流  $i_a$  为正、开关信号为(10)时，A 相上下桥臂 IGBT 电压均与正常值不同<sup>[7]</sup>。与此类似， $T_2$  故障分析也能获得各自故障的定位信息，根据此故障信息搭建的 IGBT 开路故障诊断电路如图 3 所示。图中  $R_1, R_2$  为分压电阻，用于获取 IGBT 电压； $U_1$  是 TL0741 型运算放大器，用于驱动光耦  $U_2$ ； $F_{T1}$  和  $F_{T2}$  为故障诊断电路输出信号，经锁存后就可记录故障信息。由于 IGBT 存在关断和开通延时，为了避免延时造成的误诊断，需要对控制信号  $s_{a+}, s_{a-}$  加延时逻辑。

通过对图 3 的分析，可以得出正常运行与  $T_1$  开路故障、 $T_2$  开路故障和  $T_1, T_2$  同时开路故障时的诊断时序图，如图(4~6)所示。诊断原理为：正常运行时  $T_1, T_2$  电压为  $u_{T1}, u_{T2}$ ，在  $T_1$  发生开路故障时，当电流  $i_a > 0$  时，开关信号  $s_{a+}$  不能使  $T_1$  导通，从 IGBT 流出的电流只能通过  $T_2$  的反向二极管续流，此时  $u'_{T1} = U_{dc}, u'_{T2} = 0$ 。结合图 3 可知，此时运算放大器  $U_1$  不能驱动光耦  $U_2, u_0$  输出为高电平， $u_0$  与开关信号进行逻辑“与”

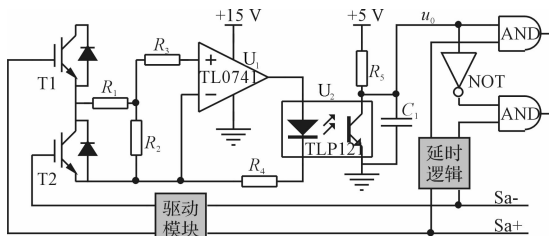


图 3 IGBT 开路故障诊断电路

运算后为‘1’，即  $T_1$  的故障诊断信号  $F_{T_1}$  输出为高电平；同理，在  $T_2$  发生开路故障且电流  $i_a < 0$  时，则  $F_{T_2}$  输出为高电平。因此无论哪个 IGBT 发生开路故障，或者桥臂上下 IGBT 同时发生开路，该诊断电路都能有效地识别故障 IGBT 位置。

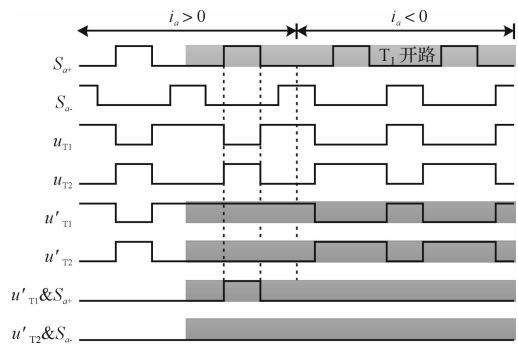


图 4 正常运行与  $T_1$  开路故障时序图

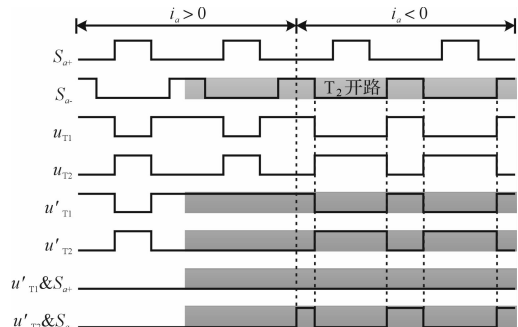


图 5 正常运行与  $T_2$  开路故障时序图

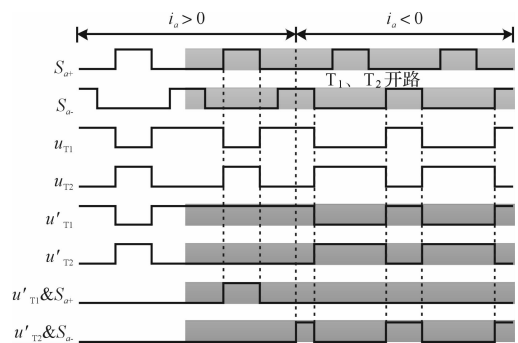


图 6 正常运行与  $T_1$ 、 $T_2$  开路故障时序图

### 3 系统软件设计

故障诊断系统软件部分采用虚拟仪器软件 LabVIEW 为开发平台来设计, LabVIEW 是一种图形化的编程语言,产生的程序是框图的形式,可以用于快速有效地开发 APF 故障诊断系统的上位机。

故障信号的采集是以 TI 公司的 TMS320F2812 为核心处理器的控制平台<sup>[8]</sup>,上位机与下位机采用串口通信,最后在 LabVIEW 平台上开发出故障诊断系统的上位机<sup>[9-10]</sup>,其软件设计流程如图 7 所示。该上位机可以实现以下功能:

- (1) 实时指示驱动模块和 IGBT 的运行状态;
- (2) 记录系统各状态数据,历史数据的调用;
- (3) 在故障时发出故障报警,并发出信号使下位机

封锁 PWM 驱动信号。

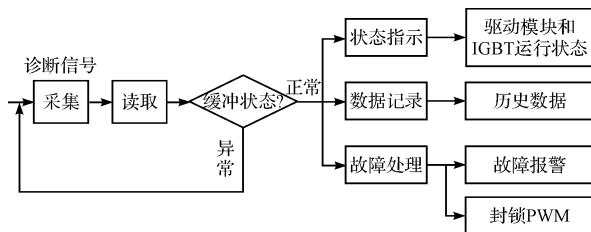


图 7 LabVIEW 软件设计流程

为了进一步验证开路故障设计方案的可行性,本研究运用故障诊断电路对有源电力滤波器样机系统的运行进行了测试。在实验中,笔者通过移去 IGBT 的驱动信号来模拟 IGBT 开路故障,最后 DSP 通过串口将故障信号发送到 LabVIEW 上位机<sup>[11-12]</sup>。当模拟  $T_2$  发生故障时,该系统能指示  $T_2$  故障并报警,同时发送命令给 DSP 封锁 PWM 的输出。从诊断结果可以看出,该系统能够对有源电力滤波器进行故障检测并快速地诊断出 IGBT 故障位置。

### 4 结束语

笔者设计研究了有源电力滤波器的故障诊断系统,阐述了故障诊断原理,并设计了 APF 驱动模块和 IGBT 的故障诊断硬件电路。通过分析 IGBT 故障诊断电路的时序图,验证了故障诊断系统的有效性。

该系统可实现 APF 的故障诊断,可以快速有效地识别 IGBT 故障位置,满足故障诊断的要求,为 APF 的故障诊断提供了参考依据,具有良好的应用前景。

(下转第 1450 页)

#### 本文引用格式:

马立新,严亮,吴兴锋.有源电力滤波器故障诊断系统的设计[J].机电工程,2014,31(11):1429-1431,1450.

MA Li-xin, YAN Liang, WU Xing-feng. Design of fault diagnosis system for active power filter[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(11):1429-1431,1450.

够较准确的估算前方车辆与主车及其行驶线的距离,对今后开展相关研究,具有一定的理论价值。未来笔者将在本研究的基础上进一步研究曲线车道环境中的前方车辆行为预测和车辆碰撞预警系统。

### 参考文献 (References):

- [1] YANG Dong-fang, SUN Fu-chun, WANG Shi-cheng, et al. Simultaneous estimation of ego-motion and vehicle distance by using a monocular camera[J]. **China Information Sciences**,2014,57(5):1-10.
- [2] KANG S, YOO I, SHIN M, et al. Accurate inter-vehicle distance measurement based on monocular camera and line laser[J]. **IEICE Electronics Express**,2014,11(9):1-7.
- [3] 余厚云,张为公.基于单目视觉的跟驰车辆车距测量方法[J].东南大学学报:自然科学版,2012,42(3):542-546.
- [4] WU Chi-feng, LIN Cheng-jian, LEE Chi-yung. Applying a functional neurofuzzy network to real-time lane detection and front-vehicle distance measurement [J]. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews**,2012,42(4):577-589.
- [5] KIM G, CHO J S. Vision-based Vehicle Detection and Inter-vehicle Distance Estimation [C]//International Conference on Control, Automation and Systems. Washington: IEEE Computer Society,2012:625-629.
- [6] ZHANG Qing-sen, MEI Xie. Study on the Method of Measuring the Preceding Vehicle Distance Based on Trilinear Method [C]// 2010 International Conference on Computer

- Modeling and Simulation. Piscataway: IEEE Computer Society,2010,2:475-479.
- [7] 杨 炜,魏 朗,巩建强,等.基于单目视觉的纵向车距检测研究[J].计算机测量与控制,2012,20(8):2039-2041.
- [8] 伍宗富,陈日新,朱明早,等.基于图像识别的汽车智能防撞系统研究与实现[J].机械与电子,2008(9):56-60.
- [9] 刘志强,温 华.基于单目视觉的车辆碰撞预警系统[J].计算机应用,2007,27(8):2056-2058.
- [10] 郭 磊,徐友春,李克强,等.基于单目视觉的实时测距方法研究[J].中国图象图形学报,2006,11(1):74-81.
- [11] 巩 浩,张凤生,纪庆龙.接触线参数双目视觉测量系统的有效视场与分辨率分析[J].机械,2012(05):55-59.
- [12] 沈志熙,黄席樾.基于数据回归建模的单目视觉测距算法[J].计算机工程与应用,2007,43(24):15-18.
- [13] 邓艳宁,金宇航.基于多样性的汽车线控转向容错研究[J].机电工程,2014,31(2):177-181.
- [14] CHEN Yong, HE Ming-yi, ZHANG Yi-fan. Robust Lane Detection based on Gradient Direction[C]//6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA. Piscataway: IEEE Computer Society,2011:1547-1552.
- [15] 中华人民共和国交通部. JTG D20-2006 公路路线设计规范[S].北京:人民交通出版社,2006.
- [16] 殷春平,陈艺峰,吴了泥,等.基于粒子群算法的摄像机标定过程优化[J].机电工程,2012,29(1):100-103.

[编辑:李 辉]

### 本文引用格式:

陈 勇,陈 瑶.基于单目视觉的前方车辆距离计算方法研究[J].机电工程,2014,31(11):1445-1450.

CHEN Yong, CHEN Yao. Calculation method of preceding vehicle distance based on monocular vision[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(11):1445-1450.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 1431 页)

### 参考文献 (References):

- [1] 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):30-35.
- [2] 马立新,王晓丹,王月晓,等. APF 特定次谐波智能检测方法的研究[J].控制工程,2013,20(2):352-356.
- [3] 姜保军,安群涛.基于运行模式分析的逆变器功率管开路故障诊断方法[J].中国电机工程学报,2012,32(24):30-36.
- [4] CRUZ S M A, FERRIRA M, CARDOSO A J M. A new method for the detection and location of faults in matrix converters[C]//IEEE International Machines and Drives Conference. Miami, USA: IEEE,2009.
- [5] 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.
- [6] 董伟杰,白晓民,朱宁辉,等.电力有源滤波器故障诊断与容

- 错控制研究[J].中国电机工程学报,2013,33(18):65-72.
- [7] 王 磊,赵雷霆,张 钢,等.电压型 PWM 整流器的开关器件断路故障特征[J].电工技术学报,2010,25(7):108-115.
- [8] 李小凡,郭兴众,任美婵.基于 DSP 的并联有源电力滤波器数控系统[J].机电工程,2007,24(6):30-32.
- [9] 史延东,杨 萍,宁 飞,等.基于 LabVIEW 的多路温度流量监测系统的设计[J].测控技术,2013,32(8):29-35.
- [10] 周 建,张艳荣. LabVIEW 和 ARM 以太网温度采集系统[J].机械,2012(10):31-34.
- [11] 王 静,陈 伟,刘志东,等. DPSP 系统中电磁兼容问题的技术研究[J].兵工自动化,2013,32(1):36-37.
- [12] 唐秋杭,符丽娜,朱善安.基于 DSP 和 ARM 的滚动轴承自动监测和故障诊断系统[J].机电工程,2006,23(2):1-5.

[编辑:李 辉]