

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.023

有源电力滤波器的故障诊断与监测系统设计*

马立新, 张海兵, 周 磊

(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)主电路中的IGBT及其驱动器容易引发开路故障,以及如何利用虚拟仪器技术取代传统的电能质量分析装置对APF进行实时监测等问题,通过对APF中IGBT的开路故障进行分析,设计了其相应的故障诊断硬件电路,同时设计了监控系统中的电网电流信号、APF运行温度采样信号的硬件电路,并分析说明了电路工作原理。设计了一种基于LabVIEW软件的实时监测系统,通过将采样数据发送到该监测系统,实现了利用上位机对APF运行的实时监测功能。最后进行了对电网电压、谐波电流等信号的实时采样,以及对IGBT开路故障的模拟测试。实验及研究结果表明,该系统能够实现对APF的运行状态进行实时监测,同时能够实现IGBT及其驱动器的故障诊断功能,系统故障诊断精确性高、响应迅速。

关键词: 有源电力滤波器;实时监测;故障诊断;LabVIEW

中图分类号: TM711; TN274.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)04-0553-04

Fault diagnosis and monitoring system of active power filter

MA Li-xin, ZHANG Hai-bing, ZHOU Lei

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

Abstract: Aiming at the problems that IGBT and its driver in the main circuit of the active power filter (APF) is easy to cause open-circuit fault, and how to use the virtual instrument technology to replace the traditional power quality analysis device for real-time monitoring on APF, through the analysis of the open-circuit fault of IGBT in APF, the hardware circuit on fault diagnosis was designed accordingly. At the same time, the hardware circuit monitoring the sampling signal of grid current and APF operating temperature was designed. The operating principle of circuit was analysed and defined. The real-time monitoring system based on LabVIEW was designed, the sampling data was sent to the monitoring system, and the real-time monitoring function of APF operation using host-computer was achieved. Finally, the real-time sampling of the grid voltage and harmonic current signal, and the simulated test of open-circuit fault in IGBT were proceeded. The results indicate that the system can realize the real-time monitoring of the running state of APF, and can achieve the fault diagnosis function of IGBT and its driver, which has high accuracy and quick response.

Key words: active power filter (APF); real-time monitoring; fault diagnosis; LabVIEW

0 引言

由于APF对谐波和无功电流有着很好的动态补偿性能,在实际工作中已经成为保证电网正常工作的重要电力设备^[1]。然而,APF主电路中使用的IGBT长

时间工作在高温高压下,是APF中较易损坏的器件。而在主电路中使用的IGBT数量较多,为了能够确定有故障的IGBT位置,需要对APF进行故障诊断。

为了提高APF正常运行时的可靠安全时间,本研究基于LabVIEW平台,设计了APF的状态监测与故障诊断分析两大模块^[2]。状态监测模块对流经APF的各

收稿日期: 2014-12-04

基金项目: 上海张江国家自主创新示范区专项发展资金重点项目(201310-PI-B2-008)

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、电力电子与电力传动、电气系统故障诊断与模式识别方面的研究。E-mail: malx_ali@sina.com

种电压、电流等信号状态信息进行实时监测与分析,并记录保存实时数据以备;当APF系统运行发生故障时,故障诊断模块对IGBT以及IGBT驱动器进行实时故障分析,锁定故障点,同时发出警报,为APF故障后的维修赢得时间。通过对APF进行有效监测与诊断,进一步保障了APF的稳定工作。

为了实现以上功能,本研究首先阐述针对APF运行状态监测、IGBT以及驱动器故障诊断的硬件电路,详细说明硬件电路工作原理及将硬件电路诊断信号传送给终端计算机进行数据分析的过程。笔者设计研究有源电力滤波器的故障诊断系统,阐述故障诊断原理,并设计IGBT驱动模块和IGBT的故障诊断硬件电路^[3-4]。

1 APF工作原理

APF的工作原理结构图如图1所示。

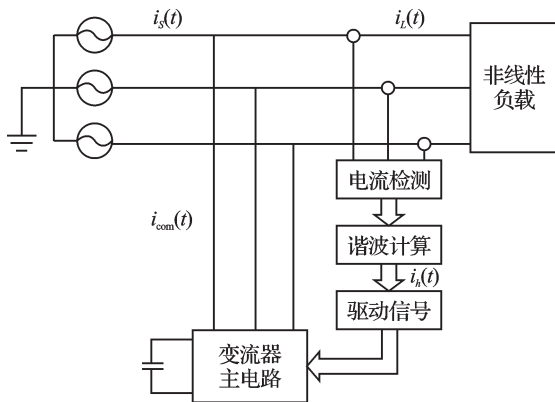


图1 APF的工作原理结构

由于变流器的直流侧是通过并联大电容来储能,称之为并联型有源滤波器^[5]。当电网接入非线性负载工作时,负载侧会产生带有谐波的电网电流 $i_s(t)$,通过电流传感器检测出三相负载电流,经过谐波计算滤除基波得到谐波电流 $i_h(t)$,再调制成驱动信号以驱动变流器主电路,产生与谐波相位相反、幅值相等的补偿电流 $i_{com}(t)$ 注入电网,与谐波电流 $i_h(t)$ 相互抵消后,得到补偿后的电网电流即为基波^[6]。

2 系统硬件设计

2.1 故障诊断设计

诊断系统主要对IGBT的驱动模块及各个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。

其中,IGBT开关管一般发生短路或断路故障。由于IGBT每相桥臂中都有快速熔断器保护,发生短路

故障后熔断器会立即速熔断形成开路,该设计主要是针对IGBT的开路故障。

IGBT开路故障诊断电路原理图如图2所示。 $Sa+$ 、 $Sa-$ 分别为A相上、下桥臂的开关管导通信号,其值为1时表示开通,值为0时表示关断。设流出IGBT的电流 i_a 为正,流入IGBT的电流为负;以A相为例,当 T_1 发生开路故障且电流 $i_a > 0$ 时,开关信号 $Sa+$ 不能使 T_1 导通,从IGBT流出的电流只能通过 T_2 的反向二极管来续流。此时 T_1 与 T_2 两端电压分别为 $u_{T1} = U_{dc}$ 、 $u_{T2} = 0$,则TL0741型运算放大器的正、负两极输入端的电压相同,放大后的信号不能驱动光耦 U_2 。则 u_o 输出为高电平, u_o 与开关信号再进行逻辑“与”运算后为‘1’,即 T_1 的故障诊断信号 F_{T1} 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_{T2} 输出为高电平。由于IGBT关断和开通存在延时效应,为防止延时而可能造成的误诊断,对控制信号 $Sa+$ 、 $Sa-$ 加延时逻辑。由于IGBT的智能驱动模块自身带有自检电路,当相应通道发生故障时,对应故障输出信号为低电平,并封锁驱动信号。因此,驱动模块故障的检测通过将故障信号转换输出并通过LED灯指示出各个驱动模块的故障情况即可。

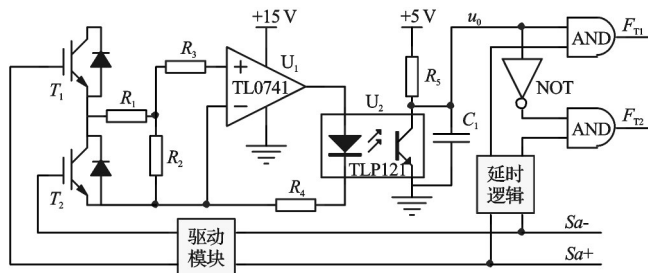


图2 IGBT开路故障诊断电路原理图

2.2 状态监测设计

监测系统需要对网侧三相电压与电流信号、负载侧三相电流信号、直流侧电压以及IGBT散热器温度等进行实时测量。

交流电流信号采样电路原理图如图3所示。采样电流经过电流互感器、采样电阻后,转换为后级交流信号调理电路所要求的交流电压信号,实现对电流信号的采样^[7-9]。由于电网电压采样电路原理与电流采样电路基本一致,本研究不再赘述。

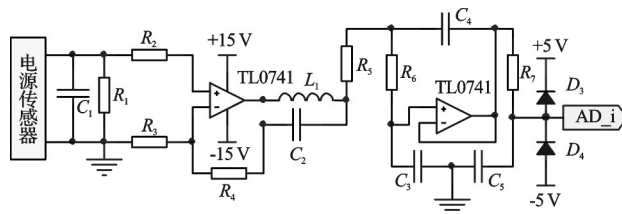


图3 交流电流信号采样电路原理图

APF 正常运行时会产生大量的热量,而温度过高很可能会导致整个系统不能正常工作,最终会导致系统崩溃,因此,需要通过散热器进行散热,同时需要对温度进行实时监测,一旦温度过高则需要启动散热电吹风。利用热敏电阻 NTC 设计的温度信号采样电路原理图如图 4 所示,通过与电阻 R_2 分压,信号最终再通过 A/D 转换至监控界面。

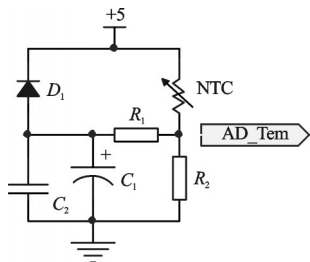


图4 温度信号采样电路

3 软件设计

硬件电路采集的数据最终还是需要经过终端计算机进行数据处理,然后才能为工程人员所用。该设计是利用LabVIEW软件平台,通过虚拟仪器显示最终的采集数据,帮助工程人员分析处理问题。

基于LabVIEW软件监控平台流程框图如图5所示。

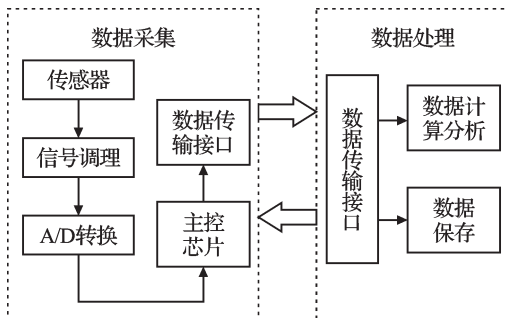


图5 基于LabVIEW软件监控平台流程框图

系统运行后,首先通过传感器采集信号,利用调理电路将数据进行预处理,以保证发送数据的可靠性。最后系统利用A/D转换将数据发送给控制芯片,这一部分为数据采集部分。经过数据传输接口发送到终端计算机,利用事先编程好的LabVIEW程序对数据进行计算、比较等处理,以达到波形显示、报警显示的效果,最后还有数据保存模块,以便保存当前数据以备,数据计算、分析与保存统称为数据处理部分^[10]。

4 软件测试与分析

故障诊断与分析模块如图6所示。

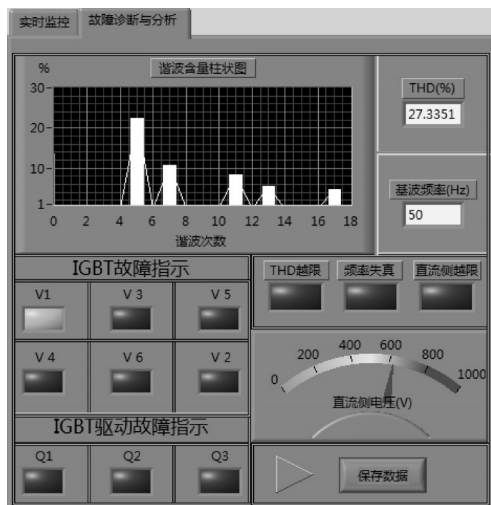


图6 故障诊断与分析模块

通过谐波含量柱状图可以清楚地看到,滤除谐波电流前电网中主要存在5次、7次、11次与13次谐波,且能够看到总谐波失真(total harmonic distortion, THD)含量,一旦THD值超过国家电能质量标准时,“THD超限”指示灯即会亮起。

该模块主要是能够对故障实施定位,由图2所设计的故障诊断电路得到的故障信号最终在图6中的“IGBT故障指示”中显示。为了进一步验证开路故障设计方案的可行性,现将A相上桥臂开关管 T_1 的驱动信号移除,模拟开关管开路故障。图6中可看出 V_1 灯亮,即表明A相上桥臂开关管 T_1 故障的位置。同理,其它各个IGBT以及“IGBT驱动故障指示”可以相应的显示出其工作状态^[11]。

该模块同时可以对系统当前采样的数据进行有效保存,按下“保存数据”按钮,软件开始将采样数据以Excel表格的形式进行存储。另外,该模块还附带主电路的直流侧电压仪表显示、工频信号的基波频率显示,以及各自相应的报警指示灯。

软件实时监控模块如图7所示。

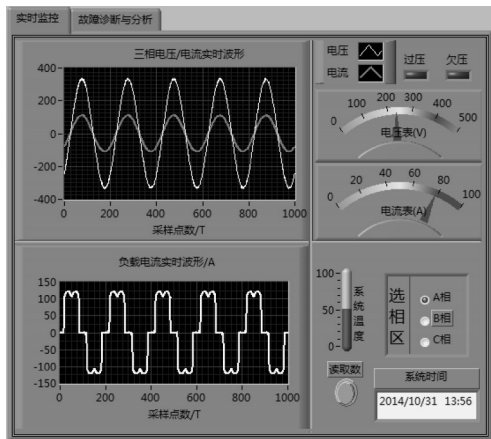


图7 实时监控模块

当按下“读取数”按钮后,可以直观地监测三相电网电压与电流波形、负载电流波形,以及系统运行时的温度,其中电网电压与电流的有效值分别通过仪表模块显示。本研究通过“选相区”可以选择监测三相中的任意其中一相电压与电流。此外,当电网电压过低或者过高而导致的电网运行故障,检测平台通过“过压”、“欠压”报警灯分别进行警示^[12]。

根据以上的诸多信号的实时采样、故障模拟测试得到的结果,可以很清楚地看到,基于LabVIEW软件的动态监测信号曲线显示满足实际监测的要求,故障诊断的响应结果理想。

5 结束语

本研究首先阐述了针对APF的运行状态监测、IGBT以及驱动器故障诊断硬件电路,并说明了硬件电路的工作原理。该系统可实现APF的实时监测和故障诊断,对电网电压、电流和滤波前的谐波电流进行了实时采样,并利用LabVIEW强大的数据处理能力和友好的人机界面,检测出各次谐波的幅值和总畸变率,并实时显示在界面上,为谐波治理提供可靠的实际依据。

同时,该系统可以快速有效地对IGBT故障位置进行定位,通过实际的软件运行测试表明,该系统能满足运行监测与故障诊断的要求,为APF的正常运行提供了有效保障,并对故障诊断提供了一定的参考价值,具有良好的应用前景。

参考文献(References):

- [1] AKAGI H, SRIANTHUMRONG S, TAMAI Y. Comparison in Circuit Configuration and Filtering Performance Between Hybrid and Pure Shunt Active Filters[C]//IEEE-IAS Industry Applications Conference of Annual Meeting. Salt Lake City: [s.n.], 2003: 1195-1202.
- [2] 曾胜文, 卢文建. 基于LabVIEW的有源电力滤波器分析和监控系统[J]. 现代建筑电气, 2013, 1(4): 24-26.
- [3] 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): 1483-1485, 1504.
- [4] 陈新岗, 田晓霄, 赵阳阳, 等. 基于LabVIEW的变压器故障诊断系统研究[J]. 机电工程, 2011, 33(12): 167-173.
- [5] 刘 鸢. H桥级联型并联有源电力滤波器的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学电气与自动化工程学院, 2013.
- [6] 王 昭. 基于DSP的有源电力滤波器控制系统的设计与研究[D]. 北京: 北京交通大学电气工程学院, 2007.
- [7] 郭华旺, 孙志强, 孙 岩. 单相有源滤波器监控系统的设计[J]. 测控技术, 2013, 32(4): 74-77.
- [8] 沈 辉, 谢志云, 余子文, 等. 基于LabVIEW的微网电能质量监测评估系统[J]. 机电工程, 2014, 31(9): 1201-1205.
- [9] 廖国栋, 王晓茹. 利用局部区域量测的电压稳定在线监测[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4): 56-62.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 谢 启, 顾启民, 涂水林, 等. 基于LabVIEW的动态电参量测量分析系统[J]. 仪表技术与传感器, 2009(7): 54-56, 98.

[编辑: 张 豪]

本文引用格式:

马立新, 张海兵, 周 磊. 有源电力滤波器的故障诊断与监测系统[J]. 机电工程, 2015, 32(4): 553-556.

MA Li-xin, ZHANG Hai-bing, ZHOU Lei. Fault diagnosis and monitoring system of active power filter[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(4): 553-556.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>