

# APF 运行实时监控系统的設計 \*

马立新 项庆 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:** 针对现有的有源滤波器 APF(active power filter)存在数据存储量少、数据处理能力弱,远程监视能力差等问题,对 APF 运行中信号采集、处理、传送,显示等方面进行了研究,对实时运行监控系统的设计方法进行总结,设计了 APF 运行在线监测系统。该系统采用低功耗的 STM32F103RBT6 芯片作为信号采集处理控制器,利用 STM32 开发板外设的功能模块进行数据的传输、存储,并利用开发板标准通信接口实现了 RS485 远程通信,从根本上克服了 APF 数据存储量少及远程监视能力弱的问题。实验运行结果表明,此系统对 APF 数据的采集,处理的能力较于 APF 本身大为加强,数据存储量大幅度提升,远程监视效果好,并且该系统操作简单,成本低,具有较好的应用和推广价值。

**关键词:** 有源电力滤波器;实时监控;STM32;LabVIEW

**中图分类号:** TM711;TN274.2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

## Design of APF running real-time monitoring system

Ma Lixin Xiang Qing Zhang Haibing Zhou Lei

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

**Abstract:** In view of the problem that the existing APF(active power filter) has less data storage, weak data processing ability and poor ability of remote monitoring, the signal acquisition, processing, transmission, display and so on of the APF in the operation are studied. The design method of on-line monitoring system is summarized. The real-time monitoring system for APF operation is designed. This system adopts the low-power STM32F103RBT6 chip as the signal collection and processing controller, using STM32 development board peripheral function module for data transmission, storage, and using the advanced standard communication interface on development board to realize RS485 remote communication. Thus the problems that APF data storage capacity is small and remote monitoring ability is weak are fundamentally overcome. The experimental simulation results show that this system has greatly strengthened the ability of APF data acquisition and processing, significantly enhances the data storage and remote monitoring effect is good. The system operation is simple and has low cost, thus it has good application and popularization value.

**Keywords:** active power filter (APF); real-time monitoring ;STM32 ;LabVIEW

## 1 引言

随着社会经济的发展,越来越多的大功率电力电子设备、电弧炉等非线性负载投入使用,电网中的谐波含量越来越高,从而对电网及用电设备产生严重的影响。

APF 作为一种能够实时对谐波、无功进行补偿的新型电力电子设备,经过实际工程应用,逐渐成为保证电网正常工作、提高电力系统电能质量的重要电力设备<sup>[1-4]</sup>。APF 作为一种电力电子负载挂网运行,它本身承受着高电压大电流,其运行状态的稳定性直接决定谐波治理的效果,也直接影响整个电网的安全运行。目前,国内外对 APF 的研究

主要集中在对谐波的检测,许多智能的谐波检测方法已被应用到实际的生产当中。然而,对 APF 运行状态的监测这方面的研究文献却很少。APF 在实际的运行之中,线路出现故障是在所难免的,因此,对 APF 的运行实时的监测的研究是非常有必要的。

针对上述问题,本文设计了一个以 STM32 作为中心处理器的 APF 实时监控系统。利用电压、电流采样电路对 APF 运行电压、电流进行数据采样;利用 DS18B20 芯片对系统温度采集。经过中心处理器处理分析将数据传送至显示终端。本文中采用 Labview 作为远端监视系统,可通过软件编程实现 APF 运行的远程控制及数据的处理。同时,

收稿日期:2015-09

\* 基金项目:上海市张江国家自主创新重点项目(201310-PI-B2-008)、沪江基金(C14002)

系统中外设 SD 卡, 可以储存大量系统数据, 为后续的研究分析及故障诊断提供了更多的有用信息。

## 2 有源滤波器的工作原理

图 1 为 APF 的工作原理结构图, 它由 3 部分组成: 1) 产生补偿谐波电流的逆变电路; 2) 谐波电流的检测电路; 3) 根据谐波检测结果产生的逆变器开关控制信号的控制电路<sup>[5]</sup>。图中的  $i_s(t)$  为电网电流,  $i_L(t)$  为非线性负载电流,  $i_H(t)$  为检测出的谐波电流,  $i_C(t)$  为补偿谐波的电流。主要工作过程: 当电网中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  $i_s(t)$ , 通过传感器检测出三相负载的电流, 经过谐波检测电路的计算滤除基波电流得到谐波电流  $i_H(t)$ , 再经过控制电路转换调制成 PWM 信号发送给逆变电路, 产生与谐波电流相位相同, 幅值相反的补偿电流  $i_C(t)$  注入电网, 与谐波电流相互抵消后, 得到的电网电流即为基波电流。

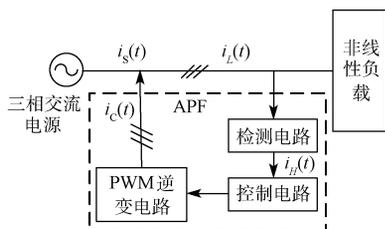


图 1 APF 的工作原理结构图

## 3 系统的整体设计方案

本监控系统的主要设计包括: 数据采样单元部分, 中心处理器部分, 数据传输显示部分, 数据存储部分。

此监控系统设计了实现了补偿后电网电压/电流, 负载侧电流, 谐波次数及含量的实时性监测; APF 故障紧急停止控制; 远程终端及手持移动终端的监控。数据采样单元采集系统的电压电流, 温度信号, STM32 处理器收集处理、分配传输数据, 开发板接口连接 SD 卡存储数据, 通过串口数据传输至终端显示设备。监控系统整体框如图 2 所示。

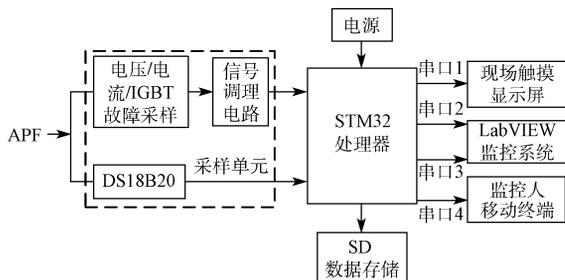


图 2 系统整体结构图

## 4 硬件电路设计

### 4.1 数据采样单元设计

#### 1) 电流、电压采样单元

交流电流采样包括电网侧电流采样, 负载侧电流采样及 IGBT 输出电流采样。

霍尔传感器广泛地应用在工业控制的各个领域的电压电流测量中, 它具有体积小, 重量轻, 寿命长, 精度高, 响应快, 频率高, 功耗小, 耐污染, 耐腐蚀, 安装方便等优点。

图 3 为电流采样电路原理图, 对于三相电流的每相都要进行单独采样。霍尔传感器输入端通入电网电流, 在输出端会形成霍尔电势  $V_H$ , 经过后续放大电路进行放大处理后, 转化为后续调理电路所需要的电压信号, 实现了对电网电流的采样<sup>[6]</sup>。负载电流, IGBT 输出电流的采样电路也是如此, 本文不再作解释。

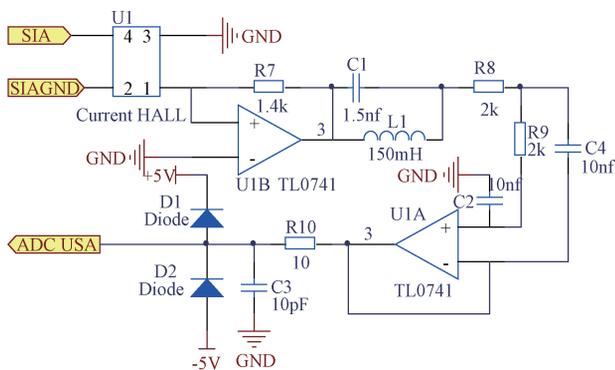


图 3 电流采样电路原理图

图 4 为电网电压采样单元, 先采用分压电阻对电网电压进行分压处理, 再经过运算放大电路对信号电压进行计算, 最后调制为调理电路所需要的电压信号进行后续计算。

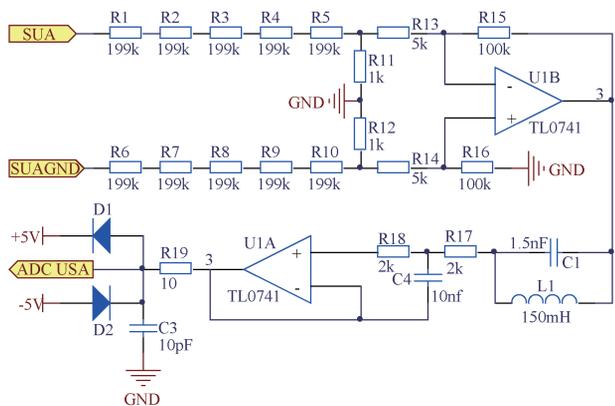


图 4 电压采样电路原理图

#### 2) 系统温度采样单元

由于 APF 在工作时会产生大量的热量, 而系统温度过高很有可能导致电子器件损坏、连接线路烧毁, 最终会使整个滤波系统崩溃, 因此要对系统进行实时温度监测。该监测系统的设计中, APF 运行时的系统温度监测采用 DS18B20 温度传感器芯片。系统运行时, 通过 DS18B20 采集到的系统温度的数字信号, 发送给 STM32 进行处理, 最

终通过终端监控界面显示出来。

## 4.2 数据运算处理单元设计

本系统设计采用 ARM Cortex-M3 内核的 32 位增强型 STM32F103RBT6 芯片作为数据处理器。其工作频率最高达到 72MHz, 内置高速存储器, 内置丰富的 I/O 端口和连接外设的总线端口。M3 内核芯片具有高性能、低功耗、实时性强、价格低等优点, 广泛应用在各种嵌入式应用领域<sup>[7-8]</sup>。

### 1) 数据处理、传输

在前面的数据采样单元, 采集到数据有电流、电压、温度信号。电流、电压信号经过信号调理电路转换到满足 STM32 的 A/D 输入通道的合理电压范围值, 再利用 STM32 内置的 A/D 转换器对采集到的信号进行采样。本系统采用给各信号配置不同的 ADC 进行信号拆分, 同步规则模式采样电压和电流, 各通道转换可以单次、连续、扫描或间断模式执行。设置采样率为 47.5 周期(即  $(47.5 + 12.5)/12M = 5 \mu s$ ), 这样可以达到  $5 \mu s$  采集一次, 采集的数据非常实时。温度采集的信号为数字量信号, 通过配置 STM32 的 I/O 口直接输入。

本系统设计了 4 个串口与外界进行数据的传输。信号通过串口 1 发送给 APF 现场的触摸屏, 处理后的数据直接通过显示屏直观的显示出来。通过串口 2、3 将信号分别发送给无线传输模块和 RS485 通信传输模块。设置无线模块是为了方便在附近 500 m 以内的上位机 Lab VIEW 接收信号, 这样短距离不受区域限制, 观测信号方便快捷。设置 RS485 通信是为了更远距离、精确信号的传输。RS485 通信可以将信号精准、快捷的传输到 1500 m 以内的任何 PC 终端, 方便计算机联网共享数据。通过串口 4 将信号发送给 GSM 模块。本系统加入了 GSM 通信, 方便监控人随时随地通过移动终端监控 APF 的运行状况。

### 3) 数据存储、显示

为了方便实现对 APF 过往运行的历史数据进行查询, 本系统设计还扩展了 SD 存储卡来存储数据。SD 卡是一种新一代快闪记忆设备, 其具有数据存储快, 存储容量大安全性高等优点。本系统设计利用 STM32 开发板自带的 SPI 接口, 可以很方便拆装 SD 卡, 并且最大通信速率可以达到 18 kbps/s, 每秒接近传输 2Mbit 的数据, 对于本系统的数据存储设计要求已经足够了。

APF 现场触摸屏是为了便于现场调试安检, 方便直接对控制器 STM32 进行参数设置; LabVIEW 上位机作为中长距离监控的终端远程监控设备, 能够接收 APF 现场传回的多个数据, 可以进行组网全体监控<sup>[9-10]</sup>; 监控人远程移动终端显示屏(如手机)。GSM 模块接收 STM32 开发板处理的数据, 对数据信号设置上下监控限值, 当实际数据低于或高于这一限制范围时, GSM 模块接收到控制器的触发信号, 将预先设定好的提示信息以短信的形式发给监控人。监控人也可以随时随地通过短信对 APF 运行的数据进行

实时的查询<sup>[9-10]</sup>。

## 5 软件设计

系统软件整体设计流程图如图 5 所示: 系统设计采用 Microsoft Visual Studio 2015 作为开发平台, 用于 STM32 的程序编写及调试。系统软件设计包括系统运行主程序, 数据处理、传输、存储及显示子程序。

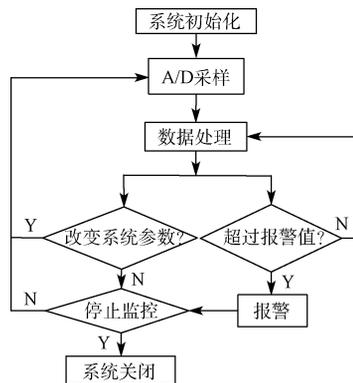


图 5 程序流程图

## 6 实验运行结果

APF 正常工作运行后, 打开远端计算机, 连接上位机系统, 可以看到如图 6 所示的在线监控平台。监控系统以单位时间采样 1024 次, 将 APF 运行的实时数据通过 Labview 示波器显示出来。从监控数据中可以看出, 以 A 相电流电压为例: 负载侧电流成非正弦波形, 幅值在 30 A; 经过 APF 补偿后, 电网侧电压、电流波形均接近正弦波形, 电压、电流的有效值分别为 220 V、25 A。谐波次数监视窗口可以看出, 本次实验的负载所产生的谐波电流主要是 5 次、7 次、11 次、13 次、17 次、19 次居多, 其中 7 次谐波含量最高, 达到 1.4%。在整个监视过程中, APF 系统运行正

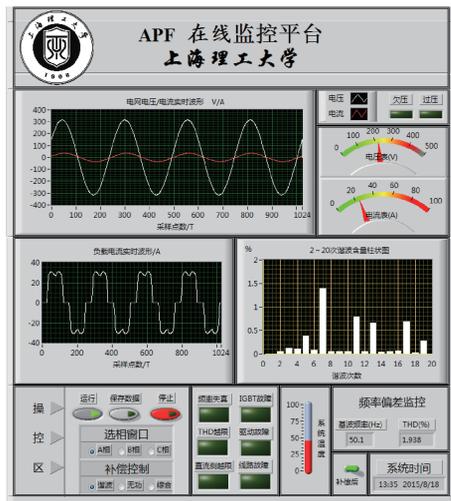


图 6 实时监控画面

常,未发生故障报警指示;电网基波频率稳定在 50.1 Hz; THD 在 1.938% 周边微变。

## 7 结 论

本文首先阐述了 APF 的工作原理,监测系统硬件电路设计过程,并分析了各个检测电路的工作原理,还解释说明了中心控制芯片 STM32 对数据运算的处理。本监控系统设计实现 APF 运行状况的实时监测和简单的 APF 故障紧急中断。系统直观地显示出滤波后电网电压电流实时波形及电压电流的有效值、负载侧电流实时波形、检测所含谐波次数及含量、基波频率谐波总畸变率等。系统中设置了常见的 APF 故障报警显示灯、部分 APF 常见参数越界报警。通过实际的软件运行调试表明,该监测系统能满足 APF 运行实时监测的要求,为 APF 的正常运行提供了有效保障,并且系统远程监测精准实时,对数据处理能力强,存储方便快捷。在 APF 研究及利用逐渐兴起的今天,APF 运行实时监控系统尤为重要,因此,该 APF 监测控制系统具有良好的市场前景。

## 参考文献

- [1] GILKRE C, FLINN D G. A measurement technique for power system harmonics [J]. IEEE Computer Applications in power, 2009, 3(4):17-20.
- [2] 马立新, 吴兴锋, 费少帅. 基于 FFT 和神经网络的 APF 故障诊断方法[J]. 机电工程, 2014, 31(11): 99-102.
- [3] 张旭, 亓学广, 李世光, 等. 基于 STM32 电力数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33(11): 90-93.
- [4] 曾胜文, 文建等. 基于 Lab VIEW 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.

- [5] 葛明. 基于猫眼效应的激光主动反监视系统性能分析[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(6): 63-67.
- [6] 郑一维, 李长俊, 吴讯驰. 基于 STM32 的电能质量检测技术研究[J]. 测量与仪器学报, 2014, 30(6): 19-47.
- [7] 董宇, 丁金华, 沈剑锋. 基于 LabVIEW 的振动测试实时分析系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(11): 48-49.
- [8] 季力. 基于 STM32 芯片的电参数测量与数据传输[J]. 自动化与仪器仪表, 2010(3): 137-139.
- [9] 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.
- [10] 刘严. 基于 LabVIEW 匹配滤波器最佳接收机的仿真[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(5): 72-75.

## 作者简介

马立新, 1960 年出生, 教授, 博士, 主要研究领域为电能质量监控与能效测评技术、智能电网与智能科学、电气设备状态监测与诊断、电力系统分析与优化运行。

项庆, 1991 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为电气设备在线监测与故障诊断。

Email: 33037887@qq.com

张海兵, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为电能质量监控与能效测评技术。

周磊, 1990 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为电能质量监控与能效测评技术。

# 是德科技使用 UXM、高通骁龙™ X16 LTE 芯片组展示千兆级 LTE-A 下载速度

## 千兆级 4 G LTE 开启 5 G 增强移动宽带时代

2016 年 4 月 15 日, 是德科技公司(NYSE:KEYS)近日宣布, 通过使用 E7515A UXM 无线测试仪和高通的骁龙 X16 LTE 芯片组, 成功验证了 1 Gbps IP 数据吞吐量。骁龙 X16 LTE 芯片组是高通最新的 LTE 调制解调芯片组。这一成就有力地展示了网络仿真仪表中实现 LTE-A category 16(Cat16)千兆级 IP 数据吞吐量的测试能力, 并在巴塞罗那举办的全球移动通信大会上进行了演示。

是德科技和高通技术公司联手, 利用 3 个子载波聚合(3CC)、4×4 下行链路 MIMO 和 256QAM 调制, 实现了稳定的 1 Gbps IP 数据下载速率。

高通技术公司产品管理部门高级总监 Francesco Grilli 表示:“在移动设备上实现千兆级 LTE 数据速率是 LTE 演进的下一个阶段。高通技术公司与是德科技紧密合作, 如今已经让这一愿景变为现实。我们希望能够与是德科技

继续合作, 共同推动移动技术的进步和创新。”

是德科技无线设备和运营商事业部总经理 Satish Dhanasekaran 表示:“我们很高兴能与高通技术公司合作, 共同创造了这一重要的里程碑。是德科技致力于与当今无线领域的优秀厂商合作, 更快地为市场提供先进的测试方案, 例如千兆级 LTE 数据速率测试。”

UXM 作为品质卓越的台式综测仪是业界首个支持五个子载波(5CC)聚合的解决方案, 此外通过 4 个子载波(4CC)聚合外加 4×4 行链路 MIMO, 此仪表支持的数据吞吐量可以高达 1.6 Gbps。除了更高的数据吞吐速率之外, UXM 还支持 8×x2 和 8×4 下行链路 MIMO, 单表(两个频段)中可容纳最多 4 个子载波, 并且提供内置 iPerf 网络吞吐量工具, 因而能够进一步增强移动终端的性能验证能力。