

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.05.011

# 高压绝缘子泄漏电流检测装置的设计

段树华, 李建忠, 张莹

(湖南铁道职业技术学院 铁道牵引与动力学院, 湖南 株洲 412001)

**摘要:** 高压绝缘子的污秽程度直接影响铁道供电系统的安全和稳定。设计了一种基于 ARM 微处理器的高压绝缘子泄漏电流检测装置, 该装置能同时检测绝缘子的泄漏电流、环境温度和湿度等参数。通过小波变换滤除噪声, 由模糊神经网络判断绝缘子的绝缘情况。它能较精确地检测出高压绝缘子的泄漏电流, 准确地判断高压绝缘子的污秽绝缘情况。

**关键词:** 高压绝缘子; 泄漏电流; 检测装置; 模糊神经网络

**中图分类号:** TP277

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2014)05-0055-04

## Design of Detection Device of HV Insulator's Leakage Current

Duan Shuhua, Li Jianzhong, Zhang Ying

(School of Traction and Power, Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou Hunan 412001, China)

**Abstract:** The contamination of HV insulator directly affects the safety and stability of the railway power supply system. A detection device of HV insulator's leakage current was designed based on ARM microprocessor. The device could detect the leakage current of the insulator and the temperature and humidity parameter of the environment at the same time. The noises were filtered through wavelet transform and the insulation conditions were determined by fuzzy neural network. The designed device more accurately detect the HV insulator's leakage current and judges the contaminant insulation conditions of HV insulators.

**Keywords:** HV insulator; leakage current; detection device; fuzzy neural network

## 0 引言

铁道供电技术尤其是高速铁路供电技术, 是轨道交通产业的新兴技术, 铁道供电系统的安全可靠性决定了铁路运输系统的效率和质量。高压绝缘子是电气化铁道牵引变电所和接触网中连接支柱和接触线的重要设备, 它的污秽程度直接影响供电系统的安全和稳定运行。然而, 高压绝缘子在运行过程中因长期处于强电磁场、日晒雨淋、冷热变化等恶劣环境中, 容易发生表面污损、绝缘电阻降低、开

裂甚至击穿等故障, 对铁道供电可靠性带来严重威胁。为了提高绝缘子运行的可靠性, 避免高压电网运行中污闪故障的发生, 提高铁道供电的安全可靠性, 必须实时检测高压绝缘子表面的泄漏电流, 以及时掌握其绝缘情况<sup>[1-3]</sup>。

本文设计了一种基于 ARM 微处理器的高压绝缘子泄漏电流检测装置。它能同时检测绝缘子的泄漏电流、环境温度和湿度等参数, 并由此判断绝缘子的绝缘情况, 为铁道供电系统的安全可靠运行提供保障。

**收稿日期:** 2014-08-07

**基金项目:** 湖南省教育厅自然科学基金资助项目(12C1136), 湖南省科技厅自然科学基金资助项目(2012FJ3088)

**作者简介:** 段树华(1977-), 男, 湖南郴州人, 湖南铁道职业技术学院副教授, 主要研究方向为电气控制, 轨道交通控制,

E-mail: 172757251@qq.com

# 1 检测系统原理与检测装置硬件设计

## 1.1 检测系统原理

检测系统主要由检测装置、供电段监控中心主机和铁路局监控中心组成。安装在铁路沿线杆塔上的检测装置负责监控绝缘子泄漏电流等参数，并判断绝缘子污秽绝缘情况。通过 GPRS/GSM (general packet radio service/global system for mobile) 通信将信息传送到供电段监控中心，以便作相应的处理。铁路局监控中心通过互联网掌握各供电段绝缘子的运行情况<sup>[4-5]</sup>。检测系统原理图如图 1 所示。

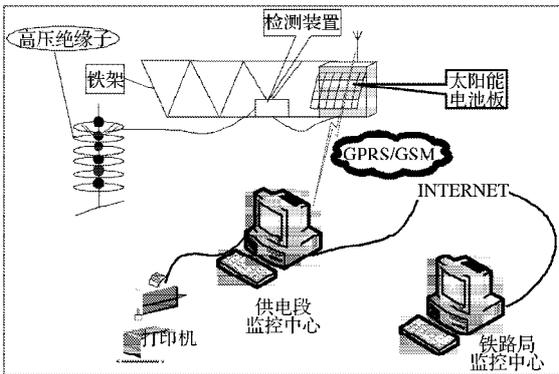


图1 检测系统原理图

Fig. 1 The schematic diagram of detecting system

## 1.2 检测装置硬件设计

检测装置硬件由微处理器、电源模块、通信模块、泄漏电流传感器、温度湿度传感器、信号调理单元组成，其原理图如图 2 所示。以 STM32F103 微处理器为核心，该芯片具有成本低、功耗小以及数据处理能力强等优点。通过传感器实时采集运行中高压绝缘子的泄漏电流、环境温度和相对湿度等参数，经过信号调理单元处理后，将信号送入微处理器进行处理，由通信模块将绝缘子运行参数发送出去。

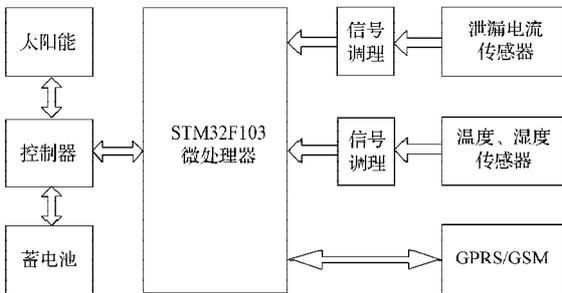


图2 检测装置硬件原理图

Fig. 2 The schematic diagram of detecting device hardware

绝缘子表面的泄漏电流信号微弱、频率范围宽，应选择具有灵敏度高、线性范围宽以及频带宽等特点的电流传感器，同时应考虑检测装置安装运行的恶劣环境对传感器抗干扰性和耐久性方面的要求。

目前，泄漏电流传感器主要有双线圈 CT、无感电阻分流器和罗氏线圈<sup>[6]</sup>。其中罗氏线圈电流传感器具有测量精度高、线性范围宽等优点，可以满足测量的要求。本装置采用新型罗氏线圈电流传感器电路，以进一步提高测量精度<sup>[7]</sup>。

检测装置要求由电压稳定可靠、谐波含量少的电源供电，可以利用互感器从母线上获得电源，但该方法受线路运行情况等诸多因素的影响，供电质量较差。本装置采用太阳能和蓄电池联合供电的方式，获得优质可靠的电源。

## 2 小波模糊神经网络

绝缘子的泄漏电流及其环境温度、湿度等参数均为不确定性的量。所以利用小波变换去除噪声<sup>[8]</sup>，采用模糊神经网络算法对绝缘子污秽程度进行分析。模糊系统采用四输入一输出的结构形式。泄漏电流有效值、泄漏电流峰值、环境温度、环境湿度 4 个量作为模糊输入。文献<sup>[9]</sup>对铁路接触网绝缘子污秽程度进行了分区，将模糊输出采用包含 3 个取值的单点模糊集合，分别为安全运行区、污秽清理区以及危险区。

依据文献<sup>[10]</sup>对构建泄漏电流有效值、泄漏电流峰值的隶属度函数的详细研究，并结合实际的运行情况建立的泄漏电流有效值隶属度函数，如图 3 所示；采用分段的思想构建泄漏电流峰值隶属度函数，如图 4 所示。

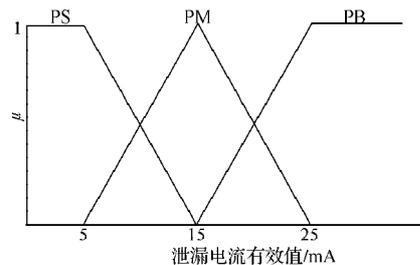


图3 泄漏电流有效值隶属度函数

Fig. 3 Membership function of the RMS value of leakage current

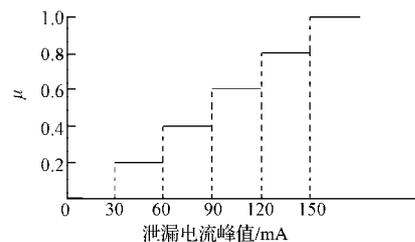


图4 泄漏电流峰值隶属度函数

Fig. 4 Membership function of the peak value of leakage current

对环境温度、湿度输入量分别进行模糊分割, 其隶属度函数如图5和图6所示, 图中PS, PM, PB, NB, NS, ZE均为隶属度函数。

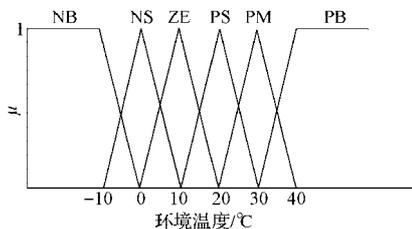


图5 环境温度隶属度函数

Fig. 5 Membership function of the environmental temperature

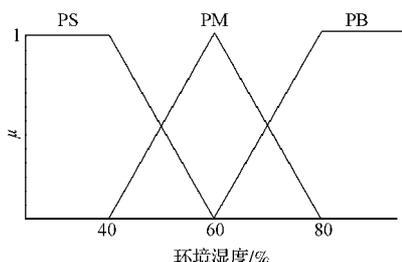


图6 环境湿度隶属度函数

Fig. 6 Membership function of the environmental humidity

根据以上分析, 建立模糊神经网络系统模型, 如图7所示。

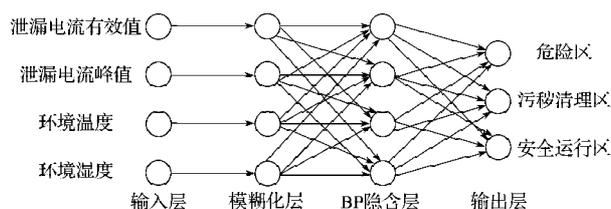


图7 模糊神经网络模型

Fig. 7 The model of fuzzy neural network

图7中, 第一层为输入层, 4个输入量直接与输入层节点相连, 并传送到下一层; 第二层为模糊化层, 该层将输入层传送过来的信号进行模糊量化处理, 即将输入信号转换成预先定义的模糊子集所对应的隶属度; 第三层为BP隐含层, 其作用是建立输入信号模糊值到输出模糊值的一一对应关系; 第四层为输出层。

### 3 实验验证

按照上述对高压绝缘子在线检测参数的选择, 以及对模糊神经网络的设计处理, 本文设计的检测装置可以对实际运行的绝缘子污秽绝缘情况进行判断。对铁路25 kV接触网6种不同污秽状况的绝缘子串进行检测实验, 所得结果如表1所示。

表1 高压绝缘子污秽状况检测结果

Table 1 The HV insulator's contamination detecting results

绝缘子串编号	泄漏电流有效值 / mA	泄漏电流峰值 / mA	环境温度 / °C	环境湿度 / %	污秽状况 / (mg · cm <sup>-2</sup> )	检测结果	结论与实际情况对比
1	0.3	4	37	70	0.031	安全运行区	相符
2	4.3	12	22	70	0.038	安全运行区	相符
3	10.9	30	10	78	0.150	污秽清理区	相符
4	14.1	49	12	90	0.123	污秽清理区	相符
5	40.8	256	0	99	0.456	危险区	相符
6	23.5	325	15	85	0.480	危险区	相符

由表1的结论可知, 采用本文设计的检测装置对绝缘子污秽情况的检测结果与绝缘子的实际污秽状况相吻合。这表明, 采用该装置能准确地对运行中的高压绝缘子的污秽情况进行判定。

### 4 结语

针对铁路接触网系统中高压绝缘子表面污秽状况, 设计了一种基于ARM微处理器的高压绝缘子泄漏电流检测装置。该装置能同时检测绝缘子的泄漏电流、环境温度和湿度等参数, 并通过小波变换滤除噪声, 由模糊神经网络判断出绝缘子的绝缘情况。实验结果表明, 该装置能精确地检测高压绝缘子的泄漏电流, 准确地判断高压绝缘子的污秽情况, 为铁道供电系统的安全运行提供可靠的保障。

### 参考文献:

[1] 黄辉虎, 罗日成. 基于GPRS/GSM无线通信的高压输电线路绝缘子泄漏电流在线检测[J]. 电气技术, 2013 (3): 26-30.  
Huang Huihu, Luo Richeng. Based on GPRS/GSM Wireless Communication of High Voltage Transmission Line Insulator on-Line Monitoring[J]. Electrical Engineering, 2013 (3): 26-30.

[2] 刘章, 蒋杰, 罗日成, 等. 基于小波神经网络的绝缘子泄漏电流监测装置的设计[J]. 电气工程应用, 2012 (2): 29-33.  
Liu Zhang, Jiang Jie, Luo Richeng, et al. Design of Insulator Leakage Current Detection Device Based on Wavelet Fuzzy Neural Network[J]. Application of Electrical Engineering, 2012(2): 29-33.

- [3] 马世伟, 张鑫, 范兴明, 等. 电力绝缘子检测方法及其应用现状[J]. 桂林电子科技大学学报, 2013, 33(6): 456-460.  
Ma Shiwei, Zhang Xin, Fan Xingming, et al. Detection Methods of Electrical Insulator and Its Application Status [J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2013, 33(6): 456-460.
- [4] 李琦, 邓毅, 焦尚彬, 等. 基于模糊神经网络的绝缘子表面污秽在线监测[J]. 高压电器, 2006, 42(5): 368-371.  
Li Qi, Deng Yi, Jiao Shangbin, et al. On-Line Detecting of Insulator Surface Contamination Based on Fuzzy Neural Network[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 42(5): 368-371.
- [5] 岳良顺, 刘念, 梁杉, 等. 小波模糊神经网络在绝缘子污秽在线监测中的应用[J]. 高电压技术, 2010, 36(10): 2483-2487.  
Yue Liangshun, Liu Nian, Liang Shan, et al. Application of Wavelet Fuzzy Neural Network to Contamination on-Line Monitoring of Insulators[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(10): 2483-2487.
- [6] 陈攀, 孙才新, 米彦, 等. 一种用于绝缘子泄漏电流在线监测的宽频带微电流传感器的特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(24): 144-148.  
Chen Pan, Sun Caixin, Mi Yan, et al. Research of Broad Bandwidth Micro-Current Sensor Character for Insulator Leakage Current Monitoring System[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(24): 144-148.
- [7] 陈攀. 基于无线分组的输电线路绝缘子泄漏电流在线监测系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.  
Chen Pan. Study of Insulator Leakage Current on-Line Monitoring System of Overhead Line Based on GPRS[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [8] 赵汉表, 林辉, 廖胜蓝, 等. 小波变换在绝缘子泄漏电流检测中的应用[J]. 高电压技术, 2005, 31(4): 34-36.  
Zhao Hanbiao, Lin Hui, Liao Shenglan, et al. New Method for Leakage Current Detection of Insulators Based on Wavelet Transform[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(4): 34-36.
- [9] 景小兵, 陈唐龙, 白杰, 等. 接触网绝缘子泄漏电流在线监测装置设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(5): 87-90.  
Jing Xiaobing, Chen Tanglong, Bai Jie, et al. Design of on-Line Monitoring Device of Catenary Insulator Leakage Current[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2014, 33(5): 87-90.
- [10] 尉敏. 基于模糊神经网络的绝缘子状态检测新方法的研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.  
Yu Min. Research on a New Method to Detect the Contamination Condition of Insulator Based on Fuzzy Neural Network[D]. Nanjing: Southeast University, 2006.

(责任编辑: 邓光辉)