

基于LabVIEW的电动触点电寿命试验失效类型的自动识别

熊显名¹, 朱文博¹, 杨志伟²

(1. 桂林电子科技大学, 广西高校光电信息处理重点实验室, 广西 桂林 541004;
2. 桂林金格电工电子材料科技有限公司, 广西 桂林 541004)

摘要: 传统的电动触点失效判断的方法主要是通过 PLC 的控制和检测, 判断特定时域的电压值是否越界。因未合理利用整个通断过程中时域信号的变化信息, 不足以可靠地判断触点失效的类型。为了解决这一不足, 使用由数据采集卡和霍尔传感器等硬件研制的电寿命试验平台, 通过采集完整的通断过程的时域信号作为信源, 利用 LabVIEW 软件编写失效类型判别算法进行数据处理及逻辑操作。在试验过程中, 实现了实时监测多个触点参数的同时自动识别失效类型并获取触点失效的全面信息。通过实际检测, 试验结果达到预期效果。

关键词: 电动触点; 失效判断; 电寿命试验; LabVIEW; 失效类型; 数据采集

Automatic identification of failure type of electric contact life test based on LabVIEW

XIONG Xianming¹, ZHU Wenbo¹, YANG Zhiwei²

(1. Guilin University of Electronic Technology, Guangxi Universities Key Laboratory of Optoelectronics Information Processing, Guilin 541004, China; 2. Guilin Coninst Electrical & Electronic Material Co., Ltd., Guilin 541004, China)

Abstract: The judgment method of the traditional electric contacts is mainly determined by control and detection of PLC to determine whether the value of specific voltage time bounds. For it is no reasonable use of the on-off time domain signal changes in the process of information, the type of contact failure can't be reliably determined. In order to overcome this drawback, this paper uses the electric life testing platform developed by Holzer sensor and data acquisition card and other hardware in this paper, and through the on-off process of signal acquisition complete as the source, writes failure type identification algorithm for data processing and logical operation using the LabVIEW software. In experiment process, real-time monitoring of the plurality of contact parameters and automatic identification of failure types are achieved, and meanwhile comprehensive information of the contact failure is obtained. The experiment results show that the test results can achieve the expected results.

Key words: electric contact; failure judgment; electrical life test; LabVIEW; type of failure; data acquisition

0 引言

电动触点类常用器件包括电磁继电器和接触器等, 他们都是电气系统的关键元件, 用于频繁接通和切断远程的电气设备^[1]。为了保证设备或系统具有较高的可靠性, 作为系统的关键控制元件, 其可靠性尤为重要^[2-3]。电动触点的电寿命是可靠性试验中最重要的试验手段, 通过电寿命试验不但可以得到电动触点的电寿命指标, 而且有助于分析触点的电性能指标和触点失效的主要原因, 为进一步改

进产品设计提供可靠的依据^[4-5]。

目前, 电动触点类器件的故障较多, 失效集中表现在触头上, 占其失效概率的 85%以上, 其主要原因是触点的闭合与分断操作十分频繁, 无论是电磁继电器还是交流接触器, 他们工作的可靠性与寿命在很大程度上取决于触点工作的好坏^[6-8]。如果触点发生失效, 不仅会使器件本身损坏, 更严重的会导致电气控制系统出现故障, 造成经济损失^[9-10]。本论文设计了一款自动识别电动触点失效类型的检测平台, 通过数据采集卡监测触头两端的电压、电流来判断触点是否断开不良或接触不良。并且实时显示采集得到的电压、电流波形, 通过失效类型判别算法自动识别试品失效的类型和记录失效的相关信息。

1 失效模式分析

按照国家标准 GB/T 1510-1995《控制用电磁继电器可靠性试验通则》^[11-12]的规定, 电动触点器件可靠性试验: 按照试验人员设定的线圈电压、触头电压和流过触头的电流值以及线圈吸合的频率值, 对试品进行一定频率的吸合、分断, 判断每个触头在线圈吸合和分断时是否发生故障^[13]。

常见的电动触点器件的失效模式主要有 4 种, 具体如下。

1) 结构失效

结构失效包括: 零件断裂、脱落; 漏气(密封继电器); 错位、变形。

2) 特征及动作失效

特征失效是指特性参数偏离正常值而对电路产生影响。动作失效是指产品不能可靠地动作, 发生卡死或是不灵活而造成致命故障。

3) 接触失效

接触失效包括: 开路电压过低; 接触压降过高。

4) 误用失效

结构失效可能引起致命故障(衔铁卡死或触头不接触等)。特征及动作失效会使电寿命、可靠性降低导致电接触失效^[14-15]。接触失效是电动触点各种失效模式的最终反映, 结构、特性、触点及误用的失效最终都会影响到电动触点器件的可靠性。试验中我们通常把这两类失效称为断开失效和熔焊失效。

2 自动判别实现方法

2.1 试品失效判断依据

电动触点器件的失效判定是在试验过程中及试验结束后的检测中进行的。试验中当试品出现下列任意一种情况时, 即认为该试品发生失效:

- 1) 闭合触点的接触压降 U_j 超过触点电路额定电压 U_c 的 10%;
- 2) 断开触点间的电压 U_c 低于触点电路额定电压 U_c 的 90%;
- 3) 触点发生熔接或其他形式的粘结;
- 4) 接触器式继电器线圈通电时不动作;
- 5) 接触器式继电器线圈断电时不返回;
- 6) 试品零部件有破坏性损坏、连接导线及零部件松动;
- 7) 机械部件运动阻滞、卡死;
- 8) 试品在试验后检测中, 任一项目的检测结果不符合产品标准的规定^[16]。

2.2 实验条件

试验设备采用自主研发的电寿命实验平台, 试

验平台的硬件结构如图 1 所示。以工控机作为中心, 外接输入输出设备和控制、测量电路。测量部分主要采用 NI 公司的高速采集卡 USB-6259 BNC, 具有 16 路差分 BNC 模拟输入(16 位); 单通道 1.25 MS/s 采样率; 48 条数字 I/O 线 (其中 32 路时钟同步, 8 个 BNC), 该试验平台采用其中的 A/D 转换通道作为采样通道, 多通道采样时最大采样速率为 1 MS/s, 设备参数达到所需采集要求, 可以对试品吸合与分断的整个过程进行检测, 并将采集到的模拟信号通过 A/D 转换功能变为数字信号, 送入工控机进行处理。

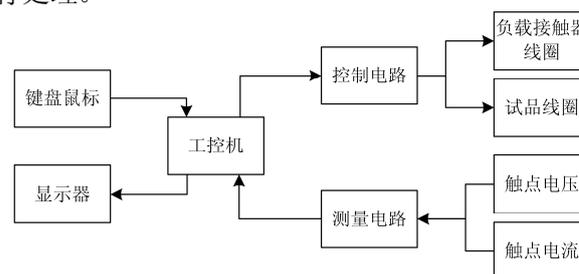


图 1 试验平台硬件结构图

Fig. 1 Test platform hardware structure

该平台的软件部分是基于 LabVIEW 虚拟仪器所开发的, 在实现试品失效类型和失效信息的自动识别功能之外, 还可以实现试品吸合、断开操作的自动控制、设定操作次数及试验次数的自动计数、失效信息和吸合、断开时间的自动判别与记录、触点电流、电压的自动检测等功能。软件流程图如图 2 所示, 若试品触头是常开触头, 试验开始后软件发出辅助接触器吸合指令, 随后发出试品线圈通电指令, 数据采集卡开始采集电流、电压数据, 通过数据计算和处理进行电流、电压有效值与设定的电压阈值作比较, 得出此动作是否发生失效。若发生失效则判断失效类型及记录失效信息, 若没有发生失效则按照约定的操作频率循环执行直到允许失效次数达到设定值或者试验总次数达到设定值, 则试验停止, 并生成本次试验的试验结果报表。

按照国家有关标准^[17], 试验条件如下: 正常工作的工作环境温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim 75^{\circ}\text{C}$, 负载均采用阻性负载, 电源电压为 220 V 的交流电, 负载电流约为 15 A, 本次试验共使用 1 个试品进行试验(最多可进行 9 组试品的试验), 其操作频率为 600 次/h, 操作总次数为 5000。并在操作次数范围内允许试品发生 5 次失效, 达到失效次数即停止试验, 试验过程中按照设定的操作次数间隔记录所测得每个试品的接触电阻和吸合、释放时间。

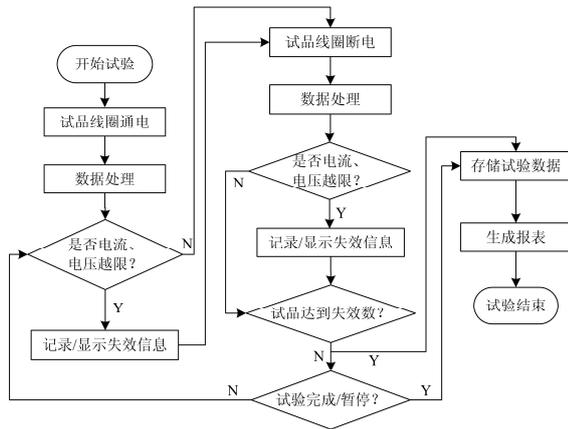


图 2 软件流程图

Fig. 2 Software flow chart

2.3 电流、电压有效值计算方法

试验使用的数据采集卡采集到的数据是经过信号调理后每一个点的瞬时值，在程序中进行计算和比较的时候用到的是它们的有效值，因此需要对电压、电流进行有效值的计算。

交流电流的有效值按电流的热效应来规定，定义为

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1)$$

因此，有效值也叫均方根值 (Root Mean Square, RMS)。它的意义是：在一个周期的时间内，交流电流 i 通过电阻 R 产生的热量与稳恒电流 I 通过同一个电阻 R 产生的热量相等。对于正弦交流电来说，有效值与最大值的可用数学方法推导出来。设通过电阻 R 的电流为 $i = I_m \sin \omega t$ ，则在 dt 时间内产生的热量 $dQ = i^2 R dt$ 。在一周期 T 内所产生的热量为

$$Q = \int_0^T dQ = \int_0^T i^2 R dt = R \int_0^T i^2 dt \quad (2)$$

直流电流 I 通过同一电阻，在同一时间 T 内产生的热量 $Q' = Q$ ，即交流电(电流或电压)在一段时间内产生的热量等于直流电(电流或电压)在一段时间内产生的热量，那么这个直流电的值就是交流电的有效值，则

$$I^2 RT = R \int_0^T i^2 dt \quad (3)$$

由此式得，交流电的有效值可表示为瞬时值的均方根值。

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (4)$$

又因为均方值(RMS)计算方法为

$$X_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N}} = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_N^2}{N}} \quad (5)$$

所以有效值是利用式(5)计算所得。使用 LabVIEW 中求均方根的函数，如图 3 所示，直接调用此函数即可算出对应的均方根值。

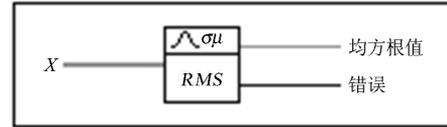


图 3 RMS 计算函数

Fig. 3 RMS computing function

图 3 中， X 是实数输入序列。

该 VI 使用式(6)计算均方根值。

$$\psi_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |x_i|^2} \quad (6)$$

式中： ψ_x 是均方根值； n 是 X 中的元素数。程序中的 X_i 每一个点的瞬时值计算所得的 RMS 值作为实际有效值。

2.4 自动判别实现过程

根据计算得出的每个通道的触点两端电压的 RMS 值与参数设置中的电源电压系数阈值作比较，根据不同的触点类型，进入不同的函数块。若为常开触点，触点闭合时的接触压降大于电源电压的 10%，则认为触点发生了断开失效；或者触点断开时触点间压降小于电源电压的 90%时，则认为触点发生了熔焊失效。若判断为失效，则记录此时的失效信息。若某一通道的失效次数累计达到设定的允许失效次数时，则断开此通道的辅助接触器，此通道试品将不再进行试验。失效类型自动识别及失效信息记录部分软件代码如图 4 所示。

3 试验结果验证及数据分析

3.1 试验结果验证

试验所用试品信息如表 1 所示，通过设定的试验条件进行电寿命监测试验。试验开始时间为 2016-6-8 10:21:33，试验只选取一个继电器作为试品进行结果测试。

表 1 试验试品信息

Table 1 Test sample information

通道	试品号	触点类型	触点材料	负载类型 (AC/DC)	电源电压/V	负载电流/A
1 号通道	1	常开触点	SIE 08	AC	233.47	15.88

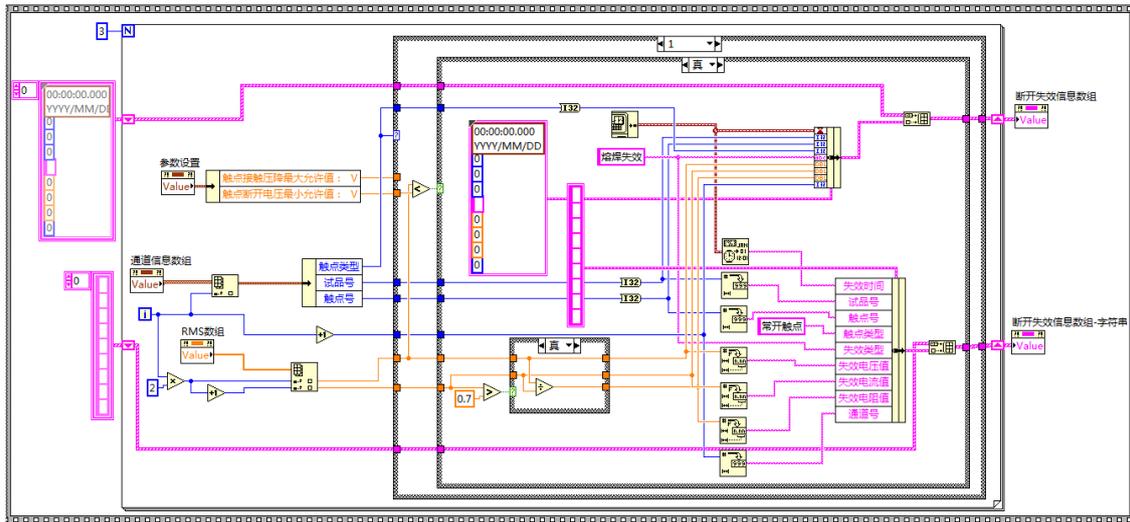


图 4 失效信息自动识别部分程序

Fig. 4 Automatic identification of failure information part of the program

为了全面地检测系统对试验过程中失效情况的处理是否正确, 试验过程中进行了人为干预失效, 即人为地使试品触点发生“失效”。人为干预失效可以分为两种: 一种是采取人为短接触点两端的方式, 使试品在通断的时候检查结果均处于“闭合”状态, 程序在运行至断开过程时, 自动识别触点没有正常断开而显示其发生了熔焊失效; 另一种是人为地断开试品触点, 采取在触点中间放入绝缘物质的方法, 使试品在通断的时候检查结果均处于“断开”状态, 程序在运行至吸合过程时, 自动识别触点没有正常

吸合而显示其发生了断开失效。

参数设置及初始化完成后, 点击开始试验。在试验进行到第 581 次和 582 次时, 人为干预造成熔焊失效, 在 945 次时人为干预造成断开失效, 在 1500 次、2150 次时人为干预造成熔焊失效。在第 2150 次时, 试品达到了设定的允许失效次数 5 次, 程序自动退出试验, 并将相应通道的负载断开。最终将试验结果保存至试验报表, 经过测试, 系统功能基本达到预期效果。试品失效信息列表如表 2 所示。

表 2 试验后自动保存的失效信息

Table 2 Automatically saved failure information after the test

次数	失效发生时间	失效发生时次数	触点类型	失效类型	失效电压值/V	失效电流值/A	失效电阻值/ Ω	第几次失效	失效时吸合时间/ms	失效时释放时间/ms
1	2016-6-11 11:19:43	581	常开触点	熔焊失效	0.306	16.4	0.0186	1	4.8	0.0
2	2016-6-11 11:20:43	582	常开触点	熔焊失效	0.350	16.3	0.0215	2	1.4	0.0
3	2016-6-11 12:55:33	945	常开触点	断开失效	231.52	0.85	272.37	3	0.0	5.2
4	2016-6-12 15:25:33	1500	常开触点	熔焊失效	0.345	16.6	0.0208	4	2.4	0.0
5	2016-6-12 19:00:31	2150	常开触点	熔焊失效	2.227	16.4	0.1355	5	0.6	0.0

3.2 特征参数分析

试验结束后提取接触电阻作为特征参数分析。利用数据处理软件 Origin8.0, 将试验过程中保存的试验次数和接触电阻进行曲线拟合, 得出图 5 所示的结果。

图 5 中横坐标表示的是试验操作次数, 纵坐标

是触点的接触电阻, 单位为 $m\Omega$ 。本文测量的接触电阻 R_j 是由触点闭合后的接触压降和通过触点的稳定电流来决定的, 表示的是触点工作过程中的热态接触电阻, 计算公式为

$$R_j = \frac{U_j}{I} \quad (7)$$

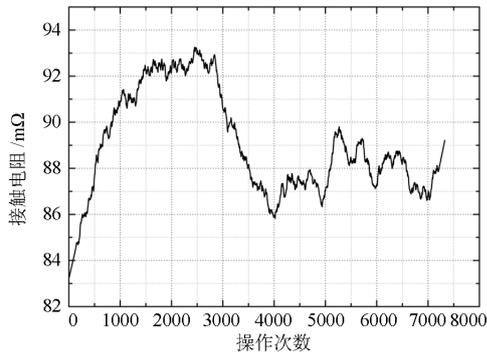


图 5 接触电阻与操作次数的关系

Fig. 5 Relationship between the contact resistance and the operation times

式(7)中： R_j 为热态接触电阻； U_j 为触点稳定闭合后的接触压降； I 为流过触点的闭合稳定电流。从图 5 可以看出，电寿命试验运行初始阶段接触电阻逐渐增大，经过极大值点后逐渐降低，在中后期电阻出现由小到大剧烈变化的趋势时，表明触点即将失效。

图 6 和图 7 是本次试验过程中试品在 1500 次发生熔焊失效时的瞬时电压、电流波形图。由第 2 节的理论分析得出，保存的失效波形正确。

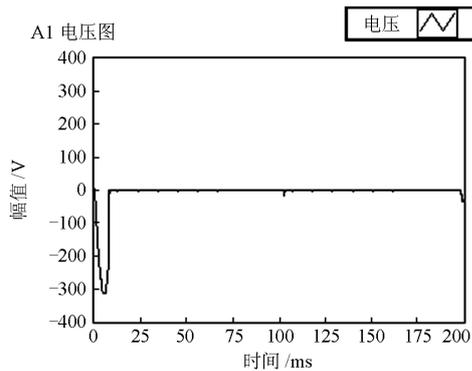


图 6 电压波形图

Fig. 6 Voltage waveform

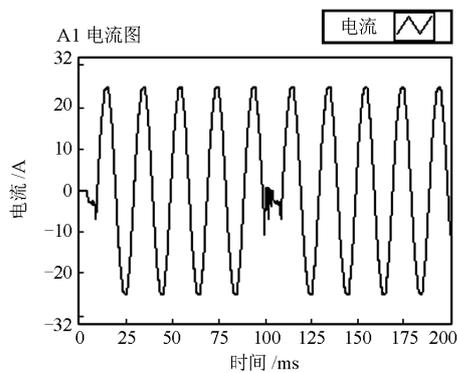


图 7 电流波形图

Fig. 7 Current waveform

4 结论

本文介绍的基于 LabVIEW 的交、直流负载电动触点电寿命试验平台可进行试品的接通与分断试验，用户可设置试验的工作方式、试验次数及操作频率等参数。该试验平台采用硬件集成实现，适用于各类电动触点电器电寿命状态的实时监测，系统测量精度约为 1%，实现了试品触点两端的闭合压降、断开电压及电流的实时动态显示，根据试品触点当前闭合/断开状态及所监测触点间的电压、电流状态信息来判断试品是否失效，并自动分析出其失效类型及失效信息的自动记录。通过提取接触电阻和电压、电流等特征参数进行分析，得出其接触电阻的变化率越大，剩余寿命越短等结论。从而为改进产品设计提供依据，对提高产品的质量与可靠性有重要的价值。

参考文献

- [1] SLADE, PAUL G. Electrical contacts: principles and applications[M]. CRC Press, 2013.
- [2] BRADFORD G J. Rate, reliability, and delay of wireless relays[D]. University of Notre Dame, 2014.
- [3] OPPERMANN M, ALBRECHT O, KLEMM A, et al. Low-cost electrical measurement systems for reliability testing[C] // Electronics System-Integration Technology Conference (ESTC), 2014: IEEE, 2014: 1-5.
- [4] 刘帼巾, 陆俭国, 王海涛, 等. 接触器式继电器的失效分析[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 81-85.
LIU Guojin, LU Jianguo, WANG Haitao, et al. Failure analysis of contactor relay[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 81-85.
- [5] 杨广羽, 马玉新, 傅亚光, 等. 光电耦合 MOS 栅固态继电器回路研究与误触发改进措施[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(15): 135-141.
YANG Guangyu, MA Yuxin, FU Yaguang, et al. Research of photoelectric MOS gate solid state relay circuit and spurious triggering improvement[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(15): 135-141.
- [6] 张菲菲, 李志刚, 李玲玲, 等. 触点寿命试验中初始接触电阻与寿命的关系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 63-68.
ZHANG Feifei, LI Zhigang, LI Lingling, et al. Research on the relationship between initial contact resistance and lifetime in contact life tests[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(5): 63-68.
- [7] 李晔, 张保会, 薄志谦. 低频低压继电器联合减载方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(24): 48-54.

- LI Ye, ZHANG Baohui, BO Zhiqian. A combined deloading method based on the underfrequency and undervoltage relay[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(24): 48-54.
- [8] PANDA R K, VEERAMALLA J. Hybrid solid state contactor for AC-3 electrical life test setup[C] // 2014 Annual IEEE India Conference (INDICON): IEEE, 2014: 1-6.
- [9] 李勇, 李仁杰, 曹丽华, 等. 汽动给水泵组性能在线监测[J]. 热力发电, 2015, 44(1): 82-86.
LI Yong, LI Renjie, CAO Lihua, et al. On-line performance monitoring method for turbine driven boiler feed pump set[J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(1): 82-86.
- [10] 李玲玲, 张士暖, 李志刚, 等. 基于粗糙集理论和生命初态信息的继电器寿命预测方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(18): 46-53.
LI Lingling, ZHANG Shinuan, LI Zhigang, et al. Life prediction method of relay based on rough set theory and relay's initial life information[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(18): 46-53.
- [11] KIM J J, CHANG S W, SON Y K. Electrical lifetime estimation of a relay by accelerated life test[J]. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, 2008, 32(5): 430-436.
- [12] 中华人民共和国标准化技术文件. 接触器式继电器可靠性试验方法: GBZ22201—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
Standard Test Method of the People's Republic of China. Contactor relay reliability test method: GBZ22201—2008[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [13] 叶雪荣, 林义刚, 黄晓毅, 等. 航天继电器贮存过程吸合时间退化机理研究[J]. 电工技术学报, 2017, 32(11): 173-179.
YE Xuerong, LIN Yigang, HUANG Xiaoyi, et al. Research on storage degradation mechanism of aerospace electromagnetic relay pick-up time[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2017, 32(11): 173-179.
- [14] 韩焯, 刘志刚, 李文帆. 基于 LabVIEW 的新型电能质量分析软件开发[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(16): 121-125.
HAN Ye, LIU Zhigang, LI Wenfan. Developing a new power quality analysis software based on LabVIEW[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(16): 121-125.
- [15] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection & Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 8pp.
DOI 10.1186/S 41601-016-0d12-2
- [16] 李志刚, 刘伯颖, 李玲玲, 等. 基于小波包变换及 RBF 神经网络的继电器寿命预测[J]. 电工技术学报, 2015, 30(14): 233-240.
LI Zhigang, LIN Boying, LI Lingling, et al. Life prediction of relay based on wavelet packet transform and RBF neural network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(14): 233-240.
- [17] 中华人民共和国低压电器标准化技术委员会. 低压开关设备和控制设备: GB 14048.1—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
The People's Republic of China Low-voltage Electrical Standardization Technical Committee. Low voltage switchgear and control equipment: GB 14048.1—2012[S]. Beijing: China Standard Press, 2012.

收稿日期: 2016-08-09; 修回日期: 2016-10-02

作者简介:

熊显名(1964—), 男, 研究员, 研究方向为智能仪器, 计算机辅助测试等; E-mail: xmxiong@guet.edu.cn

朱文博(1990—), 男, 硕士研究生, 主要研究领域为光电测量与智能仪器; E-mail: zhuwbyl@163.com

杨志伟(1964—), 男, 通信作者, 高级工程师, 研究方向为电工材料测试仪器。E-mail: 346725712@qq.com

(编辑 葛艳娜)