

注：厦门市科技计划项目（项目编号：3502Z20123013）

摘要：针对生产企业对继电器触点动态电阻在线检测的需求，在分析对比了当前接触电阻常用检测方法的基础上，提出了一种动态接触电阻在线定性检测的方法，利用微分回路与比例回路将继电器触点动态电阻的峰值与稳定值分开检测，使动态电阻的在线检测成为可能。生产线实际使用中的检测表明，该方法能够准确检测出接触电阻不合格的产品。

关键词：继电器；动态电阻；在线检测

中图分类号：TN86 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2013)07-0015-04

收稿日期：2013-04-19

继电器动态电阻在线检测技术

王华 林文辉 黄金池 陈文彦

厦门大学机电工程系，福建厦门 361005

一、引言

接触电阻是电磁继电器一项重要指标，随着汽车工业继电器用量越来越大，低阻、高可靠成为继电器接触必须保证的基本要求，为此，要求继电器生产过程中接触电阻必须进行100%检测。触点作为执行部件，其吸合释放过程中熔焊与接触不良是主要的失效原因。由于触点从刚开始接触到完全接触存在一个过程，这个过程可由动态电阻来描述，它在很大程度上决定了继电器触点的性能，美国军用规范 MIL-R-39106D《有可靠性指标的电磁继电器总规范》中就对继电器动态电阻提有要求。

文献[1-5]对继电器动态电阻检测有较详细的介绍，主流检测方法是采用恒流源驱动的四端法检测触点压降实现动态电阻检测，其中文献[2]将恒流源改为5A脉冲电流以减少干扰对检测结果的影响。这些方法都只能在实验室对继电器进行抽样检测，不适用于继电器生产线的在线检测，在继电器生产线实现继电器动态电阻检测目前还未见相关报道。本文针对继电器生产企业的需求，给出了一种在线动态电阻检测的方法，并将其实际用于汽车继电器生产线上，以每小时2500个产品的速度实时在线检测动态电阻，根据检测

结果判定产品是否为良品。

二、继电器触点动态接触电阻特性

继电器工作时，当线圈通电后，线圈产生电磁吸引力吸引衔铁带动触点运动，运动过程中触点存在一个由初始接触到完全接触的过程。接触电阻值有一个如图1所示的变化过程^{[1][9]}。

t_1 为从线圈开始通电到动静触点刚接触的时间，此时接触电阻最大，称为最大接触电阻 R_{MAX} 。 t_2 为触

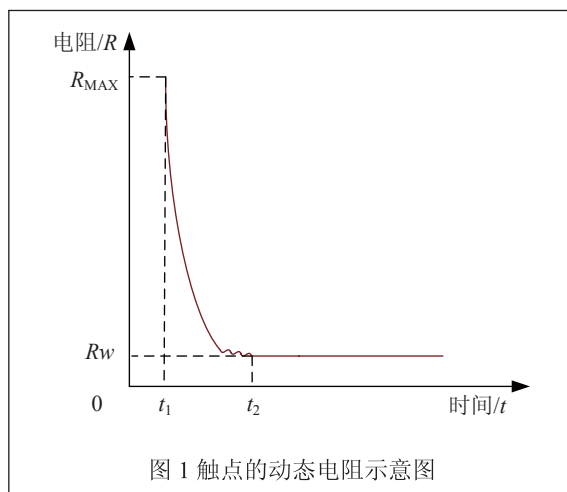
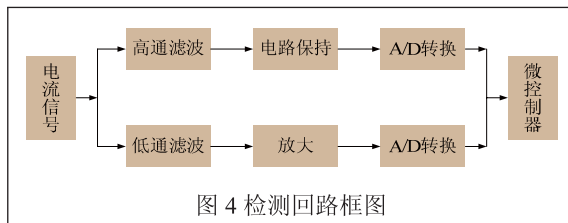
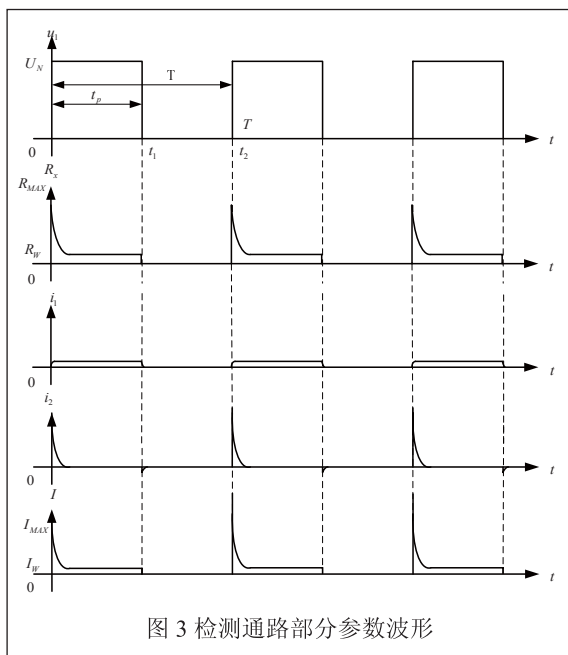
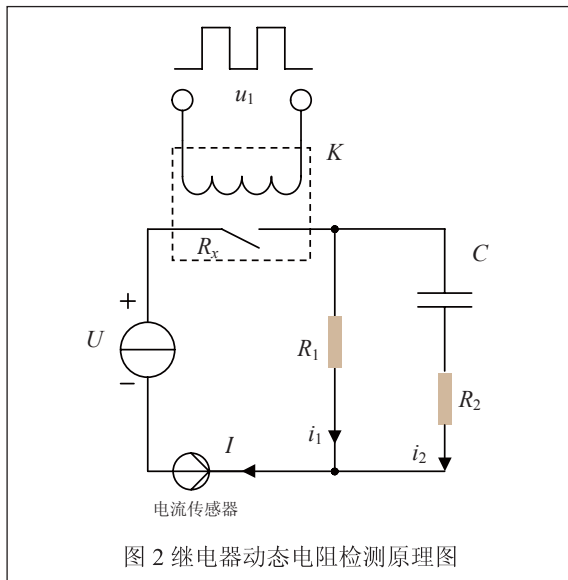


图1 触点的动态电阻示意图



点可靠接触时刻，此时刻及之后的接触电阻稳定，称为接触电阻稳定值 R_W 。对于通用继电器 t_2 通常在 1~2 毫秒以内。通常 R_{MAX} 值为几十毫欧， R_W 值为几毫欧^{[1][4]}。

三、触点动态电阻检测方案

图2为继电器动态电阻检测原理图^[4]。图中 K 为待测继电器， R_x 为继电器触点接触电阻， R_1 、 R_2 、 C 组成检测回路，其中 C 、 R_2 构成微分回路， R_1 构成比例回路，且为微分通路提供放电路径，微分回路检测接触电阻最大值 R_{MAX} ，比例回路检测接触电阻稳定值 R_W 。电流传感器用于检测流经微分回路及比例回路的电流值。

测量时序如图3所示，吸合电压 U_1 周期性地加在继电器吸合线圈上，继电器触点周期性吸合与断开。通断过程电流 I 变化规律为：

(1) $t=0$ 瞬间，当继电器动静触点刚接触到时，回路闭合，产生电流，此时继电器接触电阻为最大值 R_{MAX} ，由于电容上电压不能突变， $U_c = 0$ ，电流 I 出现最大值 I_{MAX} ：

$$I = I_{MAX} = i_1 + i_2 = \frac{U}{R_{MAX} + (R_1 // R_2)} \quad (1)$$

(2) $0-t_1$ 时段，随着电容充电， R_2 渐渐退出回路。同时触点接触电阻也逐渐变小。当触点稳定闭合后，电容已充电完成， R_2 完全退出回路，这时继电器接触电阻为 R_W ，则此时回路电流为 I_W ：

$$I = I_W = i_1 = \frac{U}{R_W + R_1} \quad (2)$$

(3) t_1-t_2 时段，线圈断电后，触点分开， $I=0$ ，此时 R_1 、 R_2 、 C 构成放电回路。

显然，电流波形的峰值 I_{MAX} 与稳定值 I_W 能够反映出动态接触电阻 R_x 中的峰值 R_{MAX} 与稳定值 R_W 。根据式(1)、(2)可得：

$$R_{MAX} = \frac{U}{I_{MAX}} - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$$R_W = \frac{U}{I_W} - R_1 \quad (4)$$

检测电流 I ，就可得到 R_{MAX} 、 R_W ，实现继电器动态电阻检测。

在图2电路中，当传感器将电流 I 采集到后，由于电流峰值 I_{MAX} 对应动态接触电阻峰值，稳定值 I_W 对应动态接触电阻稳定值，检测过程中必须将它们分开。为此，设计两路检测回路分别对电流的峰值与稳定值

进行检测，如图4所示。峰值电流 I_{MAX} 由高通滤波分离出来并经峰值保持电路保持，而稳定值 I_W 经过低通滤波、放大，峰值电流与稳定值电流波形如图3所示，两个电流信号经模数转换后，送入微处理器处理，计算出 R_{MAX} 、 R_W 。

四、电路参数选取

本检测系统需要嵌入生产线中作为生产过程不良品现场检测的设备，根据要求，每个产品都要根据标准进行60次检测合格才能通过品保。生产线的平均生产率为每小时2500个，机械部分设计中，每次检测需要同时检测6个继电器，每个产品做60次测试，由此可得到一次测试过程需要的时间为：

$$t = \frac{3600}{2500 \times 60} = 0.024s \quad (5)$$

一次测量过程可分为装夹继电器、60次循环实验、夹具开放及剔除不良品等三个时间段，如图5所示，其中用于检测的时间就是60次循环实验时间 t_2 。

每做一次完整检测继电器的装夹时间与不良品的剔除时间 $t_1+t_3 \approx 4s$ ；再考虑生产高峰期产品生产时间更短，设定产品每60次测试时间 $t_2=2.4s$ ，则图3中的

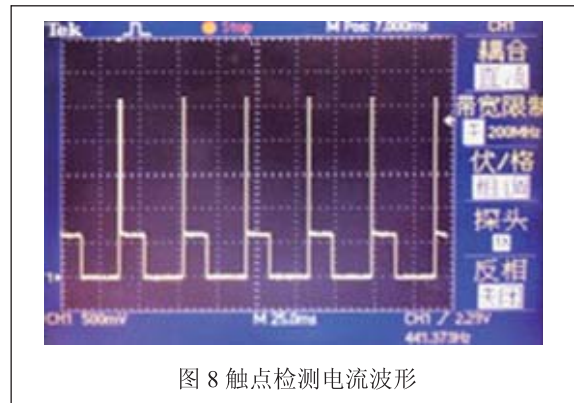
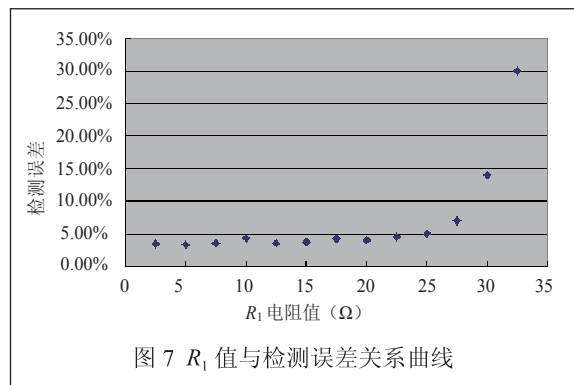
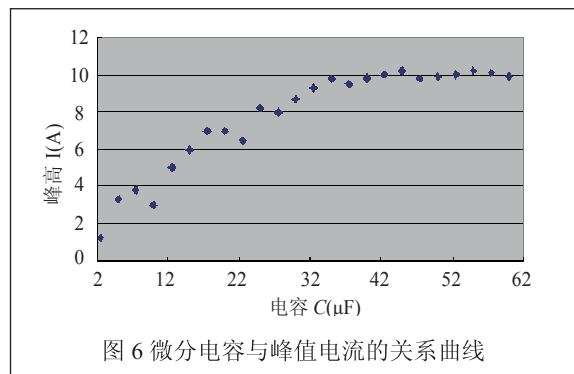
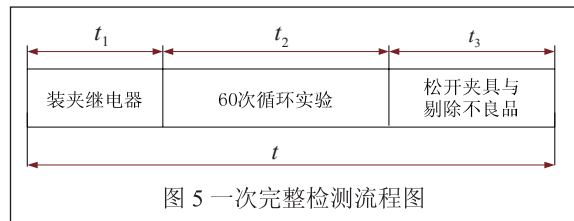
$$T = \frac{2.4}{60} \times 10^3 \text{ ms} = 40 \text{ ms} , t_p = 20\text{ms}.$$

由于设计电路 R_2 数值确定了微分环节峰值电流的大小，考虑到测量电源电压 U 为12V，输出功率120W，为了限制电流的大小，最终设计中取 $R_2=1\Omega$ ，微分电容 C 取值影响到峰值电流峰宽，需考虑其对检测结果的影响，以保证电流 i_2 具有一定的峰宽，峰宽太窄会影响微分峰值电流峰高，峰宽太宽会影响检测周期。图6给出了微分电阻 $R_2=1\Omega$ 条件下，微分电容与 i_2 峰值电流的关系实测曲线。

由图6中可看到，当电容 C 大于 $40\mu F$ 后，峰值电流的峰高就不再变化，因此最终设计取 $C=47\mu F$ ，则电容充电时间 $\tau=R_2C=47\mu s \ll t_p$ 。

要让电流峰值 I_{MAX} 与稳定值 I_W 能明显体现动态电阻信息且方便信号分离，需 $R_1 > R_2$ ，而 R_2 取值太大则会影响到 R_W 检测精度。我们采用一个 $10m\Omega$ 标准电阻替代继电器接触电阻，选择不同 R_1 阻值进行检测实验。

从图中7为检测误差与 R_1 的关系曲线，根据该曲线 $R_1=25\Omega$ 左右时， R_1 电阻值与相对误差的变化率突然大幅度上升，导致相对误差变得很大，因此最终取 $R_1=25\Omega$ 。



五、实验结果

系统研制完成后嵌入生产线与机械部分联机统调,各种动作协调顺畅,功能正常,检测电流 I 波形如图 8 所示。

检测实验根据表 1 厂方产品标准要求进行,实验方法是在一周内通过生产线联机运行进行四次检测,每次检测准备 10000 个良品和 100 个不良品(50 个 $R_{MAX} > 50m\Omega$ 、50 个 $R_W > 10m\Omega$) 混搭在一起,检测结果如表 2 所示。

表 1 继电器产品标准要求

检测项目	检测次数	检测周期	检测指标
R_{MAX}	60	<0.1s	<50m Ω
R_W	60	<0.1s	<10m Ω

表 2 检测结果表

检测时间	检测样品数	$R_{MAX} > 50m\Omega$	$R_W > 10m\Omega$	不良品数	检出率
1	10000+100	50	50	100	100%
2	10000+100	50	50	100	100%
3	10000+100	50	50	100	100%
4	10000+100	50	50	100	100%

实验表明,该检测能够在所要求的检测时间内 100% 将不良品剔除出来,达到了预期效果。某继电器厂几条新的生产线嵌入该设备,工作正常。

六、结论

实际检测表明,采用微分、比例双回路结构进行继电器在线动态接触电阻的检测,表现出精确、快速与易操作等特点,很适合继电器生产过程在线检测。值得指出的是:微分回路参数的选择对于最大接触电阻在线检测速度影响很大,比例回路参数选择对稳态接触电阻影响很大,实施时,对于不同的应用场合应该先进行必要地实验,确定合适的参数。

参考文献

[1]GuofuZhai, WeiweiFan, WeiyanLiang. Study on Contact Resistance Dynamic Characteristics of Space Electromagnetic Relay[J]. Computational Engineering in Systems Applications, 2006(10):1074-1081.
 [2]陈鹏,陆俭国,姚芳,李新.动态接触电阻测量及触点失效预测研究[J].电工电能新技术,2005(3): 27-30.

[3]彭江波,陈少克.一种电磁电压继电器自动检测系统的研制[J].机械工程与自动化,2008,(5):139-140.
 [4]车新生,高金龙.继电器触点电阻的动态测试[J].电子质量,2007(12):40-42.
 [5]Ren Wanbin,Zhai Guofu,Cui Li.Contact vibration characteristic of electromagnetic relay[J]. IEICE Transactions on Electronics, 2006, E89-C(8): 1177- 1181.
 [6]Ren Wanbin, Chen Yinghua.Zhai Guofu.Modeling and simulation of hermetically sealed electromagnetic relay under mechanical environment[J].IEICE Transactions on Electronics, 2007,E90-C(7): 1448-1454.
 [7]任万滨,陈英华等.电磁继电器振动极限加速度分析方法[J].电工技术学报,2011(1): 65-67.
 [8]吴金才,刘政波,吴勇军,李晓建.电磁继电器电性能参数连续检测技术研究[J].机电元件,2012(3):45-52.
 [9]李玲玲,韩俊杰,王成山.基于灰色理论的继电器电接触可靠性预测[J].机械工程学报,2012(2):68-72.

Online testing technology of relay dynamic resistance

WANG Hua , LIN Wen-hui , HUANG Jin-chi , CHEN Wen-xiang

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005,China)

Abstract: Aiming at the demands for online testing technologies of relay dynamic resistance of manufacturers, an online testing method of dynamic contact resistance is put forward based on analyzing and comparing the current testing methods of contact resistance, which adopts differentiation circuit and proportion circuit to test the peak value and stable value of relay contact dynamic resistance respectively, thus makes online testing of dynamic resistance possible. It is demonstrated by testing application in production lines that the method can detect products with unqualified contact resistance accurately.

Keywords: relay;dynamic resistance;online testing

作者简介

王华,厦门大学,硕士,研究方向:电子电力技术。
 通信地址:福建省厦门市厦门大学科学楼 337
 邮编: 361005 邮箱: 675283434@qq.com
 林文辉,厦门大学硕士,研究方向:电子电力技术。
 黄金池,厦门大学硕士,研究方向:电子电力技术。
 陈文芾,厦门大学博导,研究方向:电子电力技术。