

基于 KEIL 及 PROTEUS 的继电控制系统功能仿真与检测

吴文通¹, 张喜玲², 刘朝晖¹

(1. 井冈山大学机电工程学院, 江西 吉安 343009; 2. 许昌开普电气研究院, 河南 许昌 461000)

摘要: 继电器接触器的工作时间不尽相同, 很有可能会引发竞争冒险现象, 导致控制线路不能正常工作, 由此介绍了一种实用的继电控制线路功能仿真与检测方法。用 KEIL 及 PROTEUS 软件建立了继电器模型, 提出了继电器动作时四个不同的延时时间。根据一个现场实例建立了继电控制线路模型, 提出了接近实际线路工作状况的算法。进行了功能仿真, 证明利用所建立的模型可以仿真控制线路功能并检测到竞争冒险现象。该方法简单, 效果明显直观, 可用于基于继电器动作的电气控制回路动作性能分析。

关键词: 继电线路; 继电器模型; 竞争冒险; 仿真; KEIL; PROTEUS

Functional simulation and detection in relay control system based on KEIL and PROTEUS

WU Wentong¹, ZHANG Xiling², LIU Zhaohui¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China;

2. Xuchang Ketop Electrical Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: The action time of relay contactors are not the same, which is likely to cause competition risk phenomenon leading to abnormal working of the control circuits. A practical relay control circuit function simulation and detection method is introduced, where KEIL and PROTEUS software are used to establish the relay model which puts forward the relay action contains four different delay time. A relay control circuit model is established based on an on-site case, an algorithm closer to the actual working condition is presented. By functional simulation, it is proved that the model can simulate the function of control circuit and detect the competition risk phenomenon. The method is simple, effective and intuitive, and it can be used for performance analysis of electrical control circuit based on relays.

Key words: relay circuit; relay model; competition risk; simulation; KEIL; PROTEUS

中图分类号: TM645; TP391.72 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)05-0150-05

0 引言

继电控制系统广泛应用于各类机电设备中, 即使是 PLC 控制系统, 其外部电路大多也需用到继电器接触器。但由于这些电器在动作过程中受到机械惯性、机械位移量及电磁惯性等因素的影响, 其工作时间不尽相同, 很有可能会引发竞争冒险现象, 从而造成控制线路不能按控制要求动作, 严重时还将造成相间短路, 甚至损坏设备。这种现象一般属于设计缺陷, 但设计时往往不容易发现。

为了解决继电器或接触器动作过程中可能出现的竞争冒险现象, 文献[1-7]提出了多种继电控制线路功能仿真或检测方法, 可在一定程度上解决上述问题。但这些方法存在以下局限性: 一是没有区分

继电器的动合触点和动断触点在通电或断电时动作的延时时间不同; 二是效果不直观, 有时可能会因为个人因素导致误判。数字电路中对竞争冒险的检测方法主要有二项式分解法^[8]、流程表分析法、三值仿真判别法^[9]等, 但都无法适用于对继电线路的检测^[1]。

本文在一个现场实例的基础上通过 KEIL 和 PROTEUS 建立了继电器功能模型, 仿真了其线路功能并检测出设计问题, 为改进线路提供了很大方便。

图 1 为某工作台设备控制线路的一部分, 原先的思路是当 KT1 触点接通时, KA1 线圈通电, 工作台前进, 当行程开关 SQ1 接通时, KA2 线圈通电, 工作台返回, KA1-2 触点是为了区分不同的状态。但在实际运行中并不是这样, 工作台前进到位时不返回, 经过分析, 此线路存在竞争冒险现象。

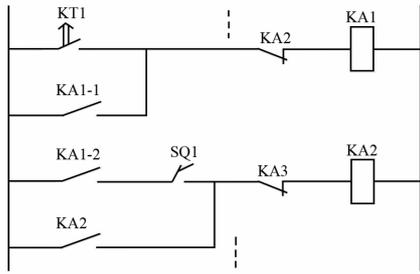


图 1 继电器控制线路图

Fig. 1 Relay control circuit diagram

1 模型建立

对于继电器控制线路和逻辑功能分析来说, 用于功能分析的模型有两大类: 继电器元件模型和继电器控制线路模型。

1.1 继电器模型建立

目前, 电磁式继电器由于具有转换深度高、多路同步切换、输入输出比大、抗干扰能力强的特点^[10-12], 因此在信号传递和执行控制系统中应用最多, 类型也最多^[5]。电磁式继电器的基本结构原理与接触器的结构原理相同, 动作原理也相同, 主要由电磁线圈和触头组成^[13]。典型通用电磁继电器结构如图 2 所示^[10]。

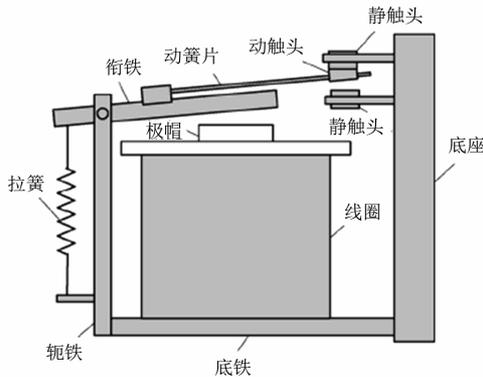


图 2 电磁继电器结构示意图

Fig. 2 Typical schematic structure of relay

图 3 为电磁继电器的功能模型图, 这里根据需要只画出了一个工作线圈及动合触点与动断触点两种形式。

模型中涉及的主要参数如表 1 所示, 其中时间参数非常重要, 也是引发竞争冒险的关键因素。根据 2003 年颁布的 GB/T2900.63 国家标准, 继电器各种时间参数定义见图 4^[14-15]。为简化模型, 动合触点和动断触点在通电或断电时的延时时间采用继电器的稳定时间, 即从施加规定输入电压的瞬间开

始至其最终输出电路闭合或断开并满足规定要求的时间, 也就是各自的动作时间或释放时间加上回跳时间, 但这些时间会随着各种不同的条件变化而改变^[16-18]。表 1 中 *onrcop*、*onrocl*、*offroop* 与 *offrccl* 分别对应四个延时时间, 可根据产品技术参数进行选择设置。

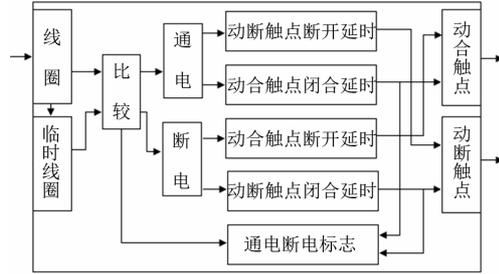


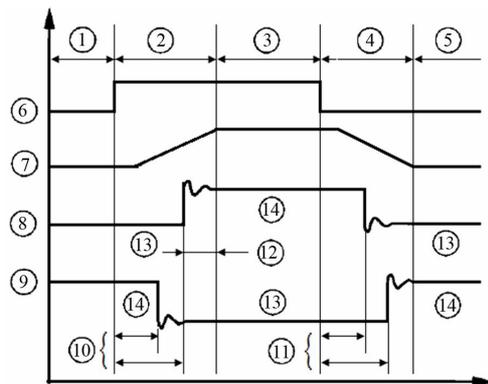
图 3 继电器功能模型图

Fig. 3 Model diagram of relay function

表 1 继电器模型主要参数

Table 1 Main parameters of the relay model

序号	名称	含义
1	<i>ry</i>	继电器线圈状态
2	<i>rt</i>	继电器线圈临时状态
3	<i>ro</i>	继电器动合触点状态
4	<i>rc</i>	继电器动断触点状态
5	<i>rf</i>	通断电标志
6	<i>onrocl</i>	动合触点通电闭合延时时间 t_1
7	<i>offroop</i>	动合触点断电断开延时时间 t_2
8	<i>onrcop</i>	动断触点通电断开延时时间 t_3
9	<i>offrccl</i>	动断触点断电闭合延时时间 t_4



注:①、⑤—释放状态, ②—继电器动作, ③—动作状态, ④—继电器释放, ⑥—输入电压, ⑦—运动零件行程, ⑧—动合触点间电压, ⑨—动断触点间电压, ⑩—动作时间、复归时间, ⑪—释放时间, ⑫—回跳时间, ⑬—断开, ⑭—闭合。

图 4 继电器时间参数

Fig. 4 Relay's time parameters

模型中一旦检测到线圈通电,即线圈状态为1,开始计时,并设置 rf 为 1,当时间等于 $onrcop$ 的值时,动断触点状态 rc 置 1,当时间等于 $onrocl$ 的值时,动合触点状态 ro 置 1,两个动作结束后,复位 rf ; 线圈断电时状况相似,如式(1)与式(2)所示。

$$ro = \overline{ry} \cdot u_{t_1} + ry \cdot \overline{d_{t_2}} \quad (1)$$

$$rc = \overline{ry} \cdot u_{t_3} + ry \cdot \overline{d_{t_4}} \quad (2)$$

式中: u_{t_1} 为线圈通电延时 t_1 瞬间状态,这一时刻为 1; d_{t_2} 为线圈断电延时 t_2 瞬间状态,这一时刻为 0,其他类似。用 KEIL 编写继电器功能程序如下:

```

relay:mov c,rt
      anl c,ry
      jc relay1          通电
      mov c,rt
      orl c,ry
      jnc relay1        断电
      setb rf

relay1:mov c,ry
      mov rt,c
      jnb rf,relay2
      jnb ry,down1

up1:cjne r0,#onrcop,up2  通电延时
      setb rc

up2:cjne r0,#onrocl,relay2
      setb ro
      mov r0,#00h
      clr rf
      jmp relay2

down1:cjne r0,#offroop,down2  断电延时
      clr ro

down2:cjne r0,#offrccl,relay2
      clr rc
      mov r0,#00h
      clr rf

relay2:ret

```

1.2 继电控制线路模型建立

继电控制线路传递的主要是开和关的信号,即“0”和“1”信号^[3],在建立了图 3 所示的继电器模型的基础上,用 KEIL 及 PROTEUS 建立线路模型非常简单。

根据图 1,用 PROTEUS 设计出功能仿真电路图如图 5 所示。这里用两个按钮开关 STB1、STB2 代替时间继电器的延时闭合的动合触点和行程开关的动合触点,用两个发光二极管 D1、D2 来显示继

电器线圈的工作状态。

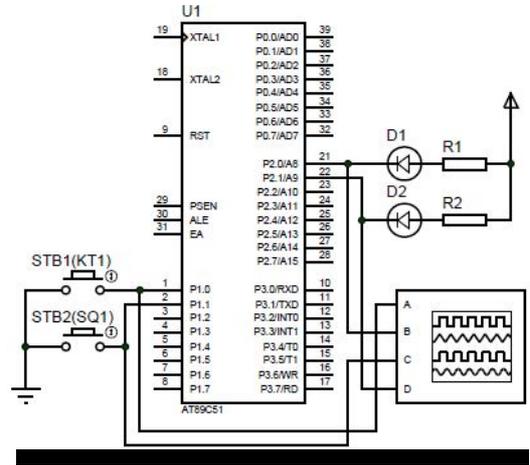


图 5 仿真电路图

Fig. 5 Circuit simulation

因为单片机复位后 I/O 为高电平,所以选择低电平有效。用 KEIL 编写线路工作程序如下:

```

circuit:orl p1,#0ffh
      mov a,p1

cir1:mov c,ro1          第一条支路
      orl c,rb1
      anl c,rc2
      mov ry1,c         KA1 线圈状态
      cpl c
      mov p2.0,c        取反输出

cir2:mov c,ro2          第二条支路
      anl c,rb2
      orl c,rc3
      mov ry2,c         KA2 线圈状态
      cpl c
      mov p2.1,c        取反输出

ret

```

2 仿真规划

仿真过程首先要根据继电器的技术参数设置上面所述的四个延迟时间。然后运行线路工作程序,之后运行各个继电器功能程序,如此循环。

2.1 延时时间设置

延时时间设置应符合以下要求。

- (1) 根据继电器的技术参数,相同型号的可选择相同的延时时间。
- (2) 同一继电器的触点断开延时时间小于闭合延时时间。
- (3) 至少选择两组以上时间。其中一组为极限

值, 即触点断开延时取极小值、闭合延时取极大值; 其他组时间可根据实际情况选择。

2.2 仿真流程

线路工作程序中先采样输入信号; 运行继电器程序时一旦检测到某个触点状态发生变化, 立即调用线路工作程序, 这样可使仿真过程中的动作同继电控制线路的实际动作状况更接近。其工作流程图如图 6 所示。

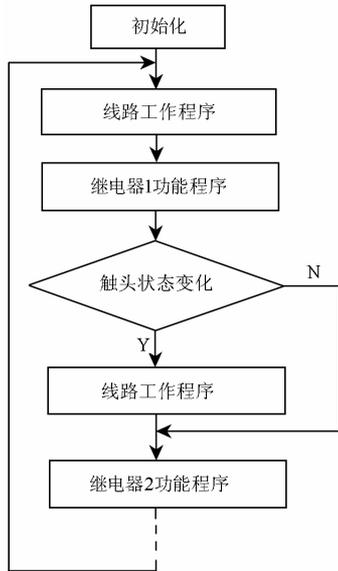


图 6 仿真流程图
Fig. 6 Simulation flow chart

3 仿真与检测

图 1 中所用 JZC4 系列交流中间继电器相关时间参数如下: 动合触点通电闭合延时时间为 15~22 ms; 动断触点通电断开延时时间为 9~20 ms; 动合触点断电断开延时时间为 5~15 ms; 动断触点断电闭合延时时间为 7~20 ms。这里分两种情况进行仿真: 一是取其平均值; 二是取极限值。两种情况下所得波形图如图 7 所示。可以发现, D(即继电器 KA2)的波形不同, 在图 7(a)中 KA2 能稳定接通, 而在图 7(b)中接通一瞬间又马上断开, 也就是线路存在竞争冒险现象。

再对图 1 所示继电控制线路进行分析, 继电器 KA2 能否稳定接通, 取决于其自锁触点能否闭合。当取中间值时:

$$onrcop2+offroop1=14.5+10=24.5 \text{ ms}$$

$$onrpcl2=18.5 \text{ ms}$$

$$onrcop2+offroop1 > onrpcl2$$

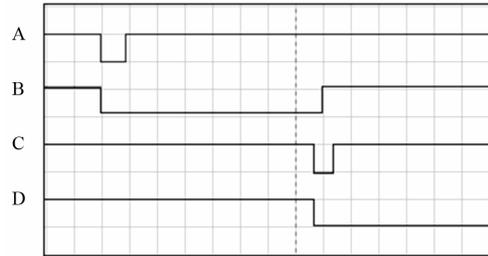
自锁触点能闭合; 当断开延时取极限值时:

$$onrcop2+offroop1=9+5=14 \text{ ms}$$

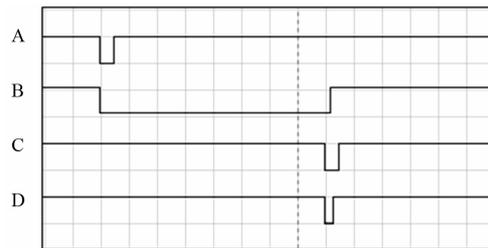
$$onrocl2=22 \text{ ms}$$

$$onrcop2+offroop1 < onrocl2$$

自锁触点不能闭合。



(a) 理想状态



(b) 出现竞争冒险

图 7 仿真波形图

Fig. 7 Simulation waveforms

根据以上分析, 可通过加装时间继电器或中间继电器以其相关触点替代 KA1-2, 或调节继电器 KA1、KA2 的电磁特性以改变延时时间, 从而保证自锁触点 KA2 能够闭合。

4 结语

本文介绍了一种实用的继电控制线路功能仿真与检测方法。通过 KEIL 和 PROTEUS 建立了继电器模型, 并根据一个现场实例建立了继电控制线路仿真模型; 仿真了其线路功能, 检测出线路存在竞争冒险现象, 方法简单且效果非常直观。对于其他继电控制线路, 进行功能仿真与检测时可利用本继电器模型, 或根据其不同功能稍作修改即可, 具有较好的实用价值。

参考文献

- [1] 张颖瑶, 耿英三, 张国钢, 等. 基于逻辑功能仿真的继电控制线路的竞争和冒险的检测方法[J]. 电工电能新技术, 2008(4): 77-80.
ZHANG Yingyao, GENG Yingsan, ZHANG Guogang, et al. Method of checking competition risk in relay circuits based on logic simulation[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2008(4): 77-80.
- [2] 张颖瑶, 耿英三, 邓永庆, 等. 继电控制线路的功能仿

- 真系统[J]. 低压电器, 2008(3): 1-4.
ZHANG Yingyao, GENG Yingsan, DENG Yongqing, et al. The function simulation system of relay control circuit[J]. Low Voltage Apparatus, 2008(3): 1-4.
- [3] 宋政湘, 王建华, 陈德桂. 继电线路的功能仿真与验证系统[J]. 电工电能新技术, 2000(2): 53-56.
SONG Zhengxiang, WANG Jianhua, CHEN Degui. Function simulation and verification system of relay circuit[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2000(2): 53-56.
- [4] 戴欣平. 电气控制电路的“竞争”与“冒险”现象剖析[J]. 电工技术, 2003(11): 51-52.
DAI Xiping. Analysis of phenomenon of ‘competition’ and ‘risk’ in electrical control circuit[J]. Electric Engineering, 2003(11): 51-52.
- [5] 唐全胜. 电气自动控制中触点竞争的分析及处理[J]. 水泥, 2003(8): 47-48.
TANG Quansheng. Analysis and treatment of contact competition in the electrical automatic control[J]. Cement, 2003(8): 47-48.
- [6] 徐茜. 基于 PLC 的控制系统触点竞争与冒险问题初探[J]. 煤炭技术, 2011(7): 238-239.
XU Qian. Research of contact competition and adventure based on PLC of control system[J]. Coal Technology, 2011(7): 238-239.
- [7] 李铁玲, 王天福. 触点竞争的简易判断方法[J]. 电工技术杂志, 2000(8): 30-31.
LI Tieling, WANG Tianfu. A simple and easy of judging contact competence[J]. Electric Engineering, 2000(8): 30-31.
- [8] WU Xunwei, CHEN Xiexiong, SHEN Jizhong. Race-hazard and skip-hazard in multivalued combinational circuits[C] // Proc 25th International Symposium on Multiple-Valued Logic, IN, USA, 1995: 222-227.
- [9] SCHILP W J, MAURER P M. Unit delay simulation with the inversion algorithm[C] // Proc 1996 IEEE/ACM ICCAD, San Jose, CA, USA, 1997: 412-417.
- [10] 任万滨, 陈英华, 康云志, 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, 26(1): 63-67.
REN Wanbin, CHEN Yinghua, KANG Yunzhi, et al. The analyzing method of limit vibration acceleration for the electromagnetic relays[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 63-67.
- [11] 薄志谦, 张保会, 董新洲, 等. 保护智能化的发展与智能继电器网络[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 1-12.
BO Zhiqian, ZHANG Baohui, DONG Xinzhou, et al. The development of protection intellectualization and smart relay network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(1): 1-12.
- [12] 董婕. 关于工频变化量阻抗继电器的校验方法探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 111-113.
DONG Jie. Discussion on check method of power frequency variation impedance relay[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 111-113.
- [13] 王仁祥. 常用低压电器原理及其控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [14] 杜太行, 王京保, 孙曙光, 等. 交流继电器动作时间检测技术的研究[J]. 继电器, 2004, 32(10): 25-27.
DU Taihang, WANG Jingbao, SUN Shuguang, et al. Research of time parameter test technique for AC relay[J]. Relay, 2004, 32(10): 25-27.
- [15] 徐志坚, 刘映杰, 王新, 等. 一种基于单片机的自供电过电流继电器的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 117-120.
XU Zhijian, LIU Yingjie, WANG Xin, et al. A design of self-powered overcurrent relay based on MCU[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 117-120.
- [15] 马存宝, 成功, 胡云兰, 等. 继电器可靠性影响因素分析[J]. 继电器, 2006, 34(2): 66-68.
MA Cunbao, CHENG Gong, HU Yunlan, et al. Influencing factor analysis of relay reliability[J]. Relay, 2006, 34(2): 66-68.
- [17] 刘帼巾, 陆俭国, 王海涛, 等. 接触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.
- [18] 王其亚, 翟国富, 程贤科, 等. 基于正交试验设计的电磁继电器关键调整参数及优化方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 53-58.
WANG Qiya, ZHAI Guofu, CHEN Xianke, et al. Key adjusted parameters and optimum method of electromagnetic relay on orthogonal experimental design[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 53-58.

收稿日期: 2014-05-13; 修回日期: 2014-07-10

作者简介:

吴文通(1972-), 男, 本科, 讲师, 主要从事可编程、单片机教学和研究工作; E-mail: jxjawwt@163.com

张喜玲(1971-), 女, 本科, 高级工程师, 从事电力系统控制保护技术研究和项目管理工作;

刘朝晖(1979-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 副教授, 主要从事机电一体化技术研究。E-mail: jgsucad@126.com

(编辑 姜新丽)