

继电器失效率的简化试验

洪都无线电厂 杨以鹏

一、前言:

继电器失效率是指继电器工作到某一时刻后的单位时间内发生失效的概率,是继电器生产厂和使用厂家普遍关注的一项重要指标。

日本工业标准JISC4530—81《拍合式电磁继电器》和JISC5442--78《控制用小型电磁继电器试验方法》(以下简称为日本标准)中提供了一种继电器失效率的简便试验方法和失效率的计算、测定方法。

由于该试验方法很简便,用得很广泛(见日本标准JISC5442—78编制说明)。我厂参照上述标准制作了试验装置,并进行了几次试验。试验结果表明,此方法确实简便易行。因此希望国内同行共同探讨这一方法,以利继电器失效率论证工作能在更多的厂家和更多的产品中开展起来。

二、简化试验的线路

二个日本标准都介绍了适合触点形式为2Z、3Z、4Z继电器三种典型简化试验线路。根据线路原理,我厂制作了适合JRX—30F 4Z的继电器失效率简化试验装置,具体线路见图一。

该装置主要由20只4Z插座、2只按键(PBS₁、PBS₂、3只辅助继电器

~~~~~  
沉铜所用的酒石酸钾钠,每公斤40—45元,每升70克,五升溶液可沉110×180板10—15块。就此种材料所耗费用在一块板的价值约1.00—1.50元,以我厂每月500块的产量计算,仅此项所耗费用近万元。另外前后经过28道工序,溶液不下12种(仅指耗费材料的工序),材料消耗是可观的。技术部门在制订某一技术标准时,都要对它的技术经济效益进行综合分析。

## 3、劳动强度增加

我们国家的印制板生产工艺,一直没有较大的进展。大的自动化生产线也不过五、六条,绝大部分的厂家仍然从事繁重的手工劳动。加上这些不必要工序增加,相应地也就加大了工人的劳动强度,造成劳动力和工时的浪费。如果我的探讨性意见能够如愿,那将会给国家节约相当一笔开支,同时减轻了工人的劳动强度。这样一举两得的事情,我们何乐而不为呢!

(AX1~3)和1只电磁计数器(MC)组成,该装置外接直流稳压电源。试验时,将被试继电器插在插座上,按PBS<sub>2</sub>启动,装置一经启动,20只被试继电器一只接一只地吸合、释放,连续不断地循环下去。整个循环动作周期取决于被试继电器动作时间的总和,对JRX—30F继电器,装置的动作周期大约为5~6次/秒。每次循环的末尾带动电磁计数器计数一次,因此,总动作次数的正确读数应为计数器显示×20。

该线路的工作原理见图二。由图可见,当2°继电器吸合后,2H<sub>1</sub>接通自保为10°继电器触发电路接通了激励电源。18D<sub>1</sub>因18°继电器尚未吸合而处于常闭,一直等到9°继电器吸合、9H<sub>2</sub>接通才使10°继电器吸合。由于19°继电器尚未吸合而使19D<sub>2</sub>处于常闭,10H<sub>1</sub>自保,10°继电器的吸合状态持续到19°继电器吸合,这时19D<sub>2</sub>转为断开,使得10°继电器自保电路断电而转为释放。可见10°继电器吸合状态从10到19、释放状态从20到9,因此也可以说简化试验中继电器的通断比为1:1。

线路中每只被试验继电器的4组转换触点均用了一半:即其中2组用常开,另2组用常闭,如图一所示。接入线路的任一触点或线圈出现故障,都将导致装置动作停止。几种典型故障出现后的20只被试继电器的保留状态见表1所示。若外电网或直流稳压电源断电或瞬间波动,则被试继电器全部呈释放状态,因此继电器故障和电源故障可明显分清,不致引起混乱。试验中当装置动作停止时,应对被试继电器的保留状态进行检查、记录、并分析造成失效的原因。因电源波动或断电停止动作不计入失效次数,其余均应计入失效次数。

为提高试验效率,日本标准中还规定若同一继电器由于触点失效而使电路中断达3次时,则该继电器应用其它样品替换,继续试验到规定的次数。由此可见,简化试验属于有替换定时截尾试验,和整机失效率试验较相似。

### 三、失效率的计数与判定

根据简化试验得到的试验结果,可按下式计算失效率:

$$\lambda_s = \frac{\gamma}{T} K$$

式中:λ<sub>s</sub>失效率的上限值。

T总动作次数,即所有进行试验的继电器的动作次数的累积数。

γ试验中观察到失效数。

K系数,其值见表2

当失效数γ=0时,λ<sub>s</sub>的上限值为:

$$\text{置信度为60\%时, } \lambda_s = \frac{0.917}{T}$$

$$\text{置信度为90\%时, } \lambda_s = \frac{2.3}{T}$$

例如:JRX—30F324产品失效率摸底20只被试继电器当总动作次数为10°×20=2×10<sup>7</sup>次时,失效数为6,按90%置信度,则根据上述公式和表2,可算得该产品该次试验的真实失效率为:

表 2

| 失效数<br>( $\gamma$ ) | 置 信 度 |      | 失效数<br>( $r$ ) | 置 信 度 |      |
|---------------------|-------|------|----------------|-------|------|
|                     | 60%   | 90%  |                | 60%   | 90%  |
| 1                   | 2.02  | 3.89 | 6              | 1.22  | 1.76 |
| 2                   | 1.55  | 2.66 | 7              | 1.20  | 1.68 |
| 3                   | 1.39  | 2.23 | 8              | 1.18  | 1.62 |
| 4                   | 1.31  | 2.00 | 9              | 1.16  | 1.58 |
| 5                   | 1.26  | 1.85 | 10             | 1.15  | 1.54 |

$$\lambda_s = \frac{6}{2 \times 10^7} \times 1.76 = 0.528 \times 10^{-6}$$

$$= 0.528 \text{次}/10^6 = 0.528 \times 10^{-5} / 10 \text{次}$$

在制订产品技术标准时,失效率等级可根据多次摸底试验数据分析来判定,然后从表 3 中选取,以后的产品失效率鉴定试验就按此等级考核验证。

表 3

| 日本工业标准 JISC-5003-74 |                            | 我国国家标准 GB 1772-79 |                     |
|---------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|
| 符 号                 | 失效率(% $10^3$ h或次/ $10^6$ ) | 符 号               | 失效率(1小时或1/10次)      |
| L                   | 5                          | Y                 | $3 \times 10^{-5}$  |
| M                   | 1                          | W                 | $1 \times 10^{-5}$  |
| N                   | 0.5                        |                   |                     |
| P                   | 0.1                        | L                 | $1 \times 10^{-6}$  |
| Q                   | 0.05                       |                   |                     |
| R                   | 0.01                       | Q                 | $1 \times 10^{-7}$  |
| E                   | 0.005                      |                   |                     |
| S                   | 0.001                      | B                 | $1 \times 10^{-8}$  |
| H                   | 0.0005                     |                   |                     |
| T                   | 0.0001                     | J                 | $1 \times 10^{-9}$  |
|                     |                            | S                 | $1 \times 10^{-10}$ |

日本标准中给出了对应于失效率 M 等级的试验抽样表(见表 4)。

表 4

| 合格判定数<br>C | 总的试验时间或动作次数<br>$10^5$ h或 $10^6$ 次 |      | 合格判定数<br>C | 总的试验时间或动作次数<br>$10^6$ h或 $10^6$ 次 |      |
|------------|-----------------------------------|------|------------|-----------------------------------|------|
|            | 60%                               | 90%  |            | 60%                               | 90%  |
| 0          | 0.917                             | 2.30 | 6          | 7.34                              | 10.5 |
| 1          | 2.02                              | 3.89 | 7          | 8.39                              | 11.8 |
| 2          | 3.11                              | 5.32 | 8          | 9.43                              | 13.0 |
| 3          | 4.18                              | 6.68 | 9          | 10.5                              | 14.2 |
| 4          | 5.24                              | 7.99 | 10         | 11.5                              | 15.4 |
| 5          | 6.29                              | 9.27 |            |                                   |      |

失效率试验分定级、维持、升级三种,通常定级、升级采用90%置信度,维持采用60%置信度。置信度系指产品的真实失效率等于所定失效率的上限值时,而判为不合格的概率。置信度取得越高,则抽样方案越严格。试验前除应明确被试产品的失效率等级和置信度外,还应根据表4明确试验抽样方案:即选定合格判定数C和总的动作次数。抽样方案一经明确后,试验中途或试验后就不得根据试验结果任意变更。

例如:某产品根据摸底,拟定产品标准时失效率欲订M级、置信度为90%,则可从表4中选取总动作次数 $13 \times 10^6$ 次,合格判定数8这一抽样方案,若试验经过 $6.5 \times 10^6 \times 20 = 13 \times 10^6$ 次,总动作次数时,失效次数 $\leq 8$ ,则可认为该产品失效率已达到M级。

对M级以外的等级,当失效等级为 $\frac{1}{x}$ 倍时,可采用对应于M级的总动作次数的X倍的值。如上例中,若该产品改定L级,置信度仍为90%,合格判定数仍取8,则总动作次数应为M级的 $\frac{1}{5}$ 倍即 $1.3 \times 10^6 \times 20 = 2.6 \times 10^7$ 次。我国标准GB1772—79中已将此关系列成了失效率试验抽样表(标准中的表6、表7)。

为保证失效率试验有较高的接收概率,一般可采用如下办法:(1)所定的失效率等级应远大于产品真实失效率,如一个数量级;(2)在产品的偶然失效期内尽可能选取较多动作次数,较大合格判定数的抽样方案,具体思考方法可参见我国标准GB1772—79附录中的附表1、附表2、附图1、附图2。

#### 四、失效原因的讨论

日本标准中规定,当接触电阻异常增大,以及触点熔接而使线路停止达3次时,则判定该继电器失效。用其它样品替换后,继续试验到规定的次数。下面对造成失效的二个主要因素进行分析:

1、接触电阻。装置中被试继电器线圈的触发电路和自保电路都各串有二付触点(H、D各1),我们知道JRX—30F继电器吸合电压按标准应 $\leq 75\%$ 额定工作电压,实际吸合电压在 $50 \sim 70\%$ 额定工作电压之间,也就是说触发或自保电路中,任一付触点的压降 $> 30 \sim 50\%$ 额定工作电压,都会造成某一继电器不动作而使装置停止运转。由于零件材料,装配工艺等差异,即使同一批产品的吸合电压仍有一定的分散性,所以日本标准中用了接触电阻异常增大这一术语而没有给出准确定量要求。

造成接触电阻异常增大的主要原因有(1)触点表面污染;(2)触点压力消失。其中触点表面污染造成的失效大多数在早期失效期内发生,因此可采取运行筛选,以便提高产品的可靠性水平。

造成接触电阻异常增大还有一个因素是插座接触不可靠。有一种用分叉的接触簧片组装的插座就是针对这一问题而设计的。

2、触点熔接和触点簧片间短路。由于电磨损触点粘接而不能正常分离,将导致装置动作混乱而停止。在JRX—30F失效率摸底试验中,尚未发现此类失效。主要原因是触点负载是感性,中等电流负载,时间常数 $\frac{L}{R} = 6 \sim 11\text{ms}$ ,对324规格来说,触点电

流34mA左右),而JRX-30F电寿命试验时触点切换电流为1A,二者差距较大,因此在失效率试验中触点不容易出现电寿命的触点粘接失效。

简化试验中,常出现另一种触点间短路故障,如表1中第5种现象。在经过数十万次动作后,可发现D<sub>2</sub>触点簧片间的绝缘垫片表面会逐渐出现黑迹。经检查是由于D<sub>2</sub>切断自保电路时,线圈上产生数百伏的反电动势,加在触点间放电而造成的。对324规格,用SBE-7二踪示波器测得反电动势达300~450V甚至还更高。触点氧化物溅落在D<sub>2</sub>触点簧片组间的绝缘垫片表面,使D<sub>2</sub>间的绝缘电阻逐渐变小,当泄漏电流大到能维持线圈吸合而不释放时,装置将停止运转。试验时环境的湿度,被试继电器的安放状态将影响这一试验的结果。

在电寿命试验或其它方法的失效率试验中,是不会出现这种故障现象,因为它们的触点均接阻性负载,不会产生这种极高的反电动势。继电器在实际使用时,往往有很多场合是用触点去切换继电器线圈的电源,因此也可以说简化试验线路模拟了部份用户电路。线圈反电动势的大小,可按公式 $e_L = -L \frac{dI}{dt}$ 估算,其中L为继电器释放时的电感量, $\frac{dI}{dt}$ 为释放时线圈电流变化率,当继电器一经选定, $\frac{dI}{dt}$ 就与工作电压的高低有关,整机厂进行可靠性设计时,可从简化试验的数据中得到启发。

## 五、对该试验方法的评价

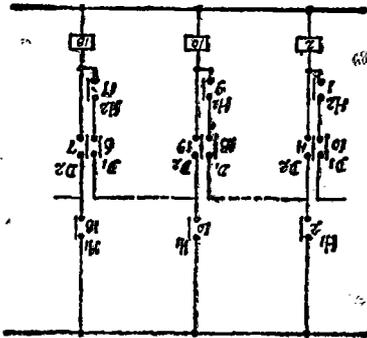


图 2

目前我厂继电器失效率的简化试验尚处于摸索阶段,有关失效率的标准条款和试验方法的认识还有不少模糊地方,因此要对该试验方法给一准确评价尚为时过早。但笔者将此方法与美国军用规范MIL-R-39016C《有可靠性指标的电磁继电器总规范》中相应失效率试验方法对比,认为简化试验确实具有简便易行,基本上不受经济和技术条件的限制,生产厂家和用户都能开展,开展这一试验投资极省、

不到“正统”失效率试验投资费用的1%,效率高、试验时间不到“正统”试验的 $\frac{1}{8}$ ,再则失效率与负载的种类、大小有关,采用该试验方法所得失效率数据对大多数用户(如目前继电器用量最大的各种电话交换机、调度机、工业顺序控制等)可参考引用,相反、“正统”失效率试验不管是低电平试验还是额定电平试验,它们的负载均为阻性,而这种负载特性实际使用时并不很多,因此所得数据对大多数用户来说也不一定直接引用。

这一方法在国际同行中评价如何、目前尚不清楚,但至少在日本同行中普遍使用和遵循,如日本工业标准JIS C 5440-1980《保证可靠性的工业控制用小形电磁继电器总则》中也多处明确引用这种试验方法。因此笔者认为在我国继电器行业中(尤其是通

用继电器)推广使用这一方法,可尽快解决国内继电器失效率数据的有和无问题,并至少可与日本同行对照和比较。

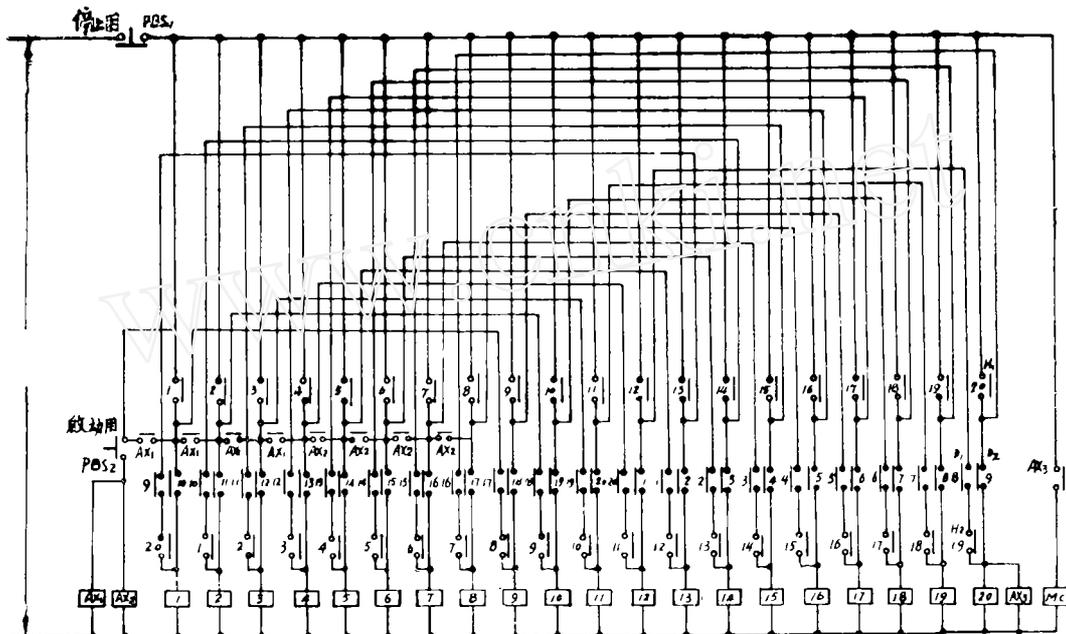


图 1

几种典型故障的继电器停留状态

| 故障序号 | 继电器编号 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 失效原因 |                     |
|------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|---------------------|
|      | 1     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |      |                     |
| 1    |       |   |   | ○ |   |   |   | ○ | ○ | ○  | ○  |    | ○  | ○  |    |    |    |    |    |    |      | 13H <sub>1</sub> 断路 |
| 2    |       |   |   |   | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  |    |    |    |    |    |    |    |    |      | 13H <sub>2</sub> 断路 |
| 3    | ○     | ○ | ○ | ○ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |      | 13D <sub>1</sub> 断路 |
| 4    | ○     | ○ | ○ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    | ○  |    | ○  | ○  | ○  | ○  |      | 13D <sub>2</sub> 断路 |
| 5    |       |   |   |   |   |   |   | ○ |   | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |      | 16D <sub>2</sub> 短路 |
| 6    |       |   |   |   |   |   |   | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |      | 14线圈断路              |
| 7    |       |   |   | ○ | ○ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      | 电源断电                |

注：“○”表示继电器处吸合状态。

参考资料:

- 4 JIS C 5440—1980 保证可靠性的工业控制用小形电磁继电器总则
- JIS C 5442—1978 控制用小型电磁继电器试验方法。
- JIS C 4530—1981 拍合式电磁继电器。
- JIS C 5003—1974 电子元件的失效率一般试验方法。
- GB 1772—1979 电子元件失效率试验方法。

四机部标准研究所 可靠性基础。