

如何看待和解决静态继电器绝缘试验时 元器件损坏问题

许昌继电器研究所

王正立

根据产品技术条件的规定,静态继电器最多要做四种绝缘试验,即耐压、绝缘电阻、冲击电压及高频干扰试验。耐压试验也叫电介质抗电强度试验,是为了考核继电器内部的绝缘件、间隙和爬电距离等是否合格。绝缘电阻试验是从漏电流的角度考核绝缘状况,这两种试验都是出厂试验和型式试验项目。冲击电压试验,即施加一种幅值、上升下降速率以及持续时间和能量都有确定要求的冲击电压波(也叫雷电波),是70年代初各主要西方继电器制造商和电力部门对继电保护装置在现场使用的环境中可能承受到的暂态过电压作了定量地分析调查之后提出来的(文献〔五〕〔六〕〔七〕〔八〕)。先后由美国电力系统继电保护委员会、英国电器制造商协会(BEAMA)以及国际电工技术委员会(IEC)规定出了相应的暂态过电压试验标准(文献〔二〕)。高频干扰试验的波头幅度达2500V,也能造成元器件损坏,故这里也归入绝缘试验以便于说明问题。这两种试验为型式试验项目,瑞士的Haefely公司已经生产这两种专用试验设备(P6R、P3型)。我国也已开展这两个项目的试验。

然而,对静态继电器做上述绝缘试验时,常发生继电器中的电子元器件损坏问题,特别是晶体管、集成电路占绝大多数。在过去几年的生产中,几个主要继电器厂几乎都存在这种问题。这一问题的严重性不仅在于给制造厂造成了工时和元器件的损失,更重要的是给静态继电器的可靠性造成很大威胁。在型式试验阶段如发生元器件损坏则要进行分析,不会对产品造成直接影响。在出厂试验时情形就不同了,有可能存在耐压机无反应而元器件损坏、性能变坏等情况,如果复查时没有查出来就会成为隐患。

为了解决电子元器件在绝缘试验时不致受到损害,有些做法是把元器件短接或者试验时把插件拔下来,还有的在电源两端加电容器,更有甚者是降低试验电压等级,显然这些都是掩耳盗铃的办法,解决不了根本问题。

笔者认为,静态继电器应该在上述绝缘试验中不发生任何电子元器件损坏、变化事件,如果发生了此类事件,特别是非偶发性损坏事件,则应追查原因然后妥善解决,随便更换元件了事的作法是不可取的。

为防止静态继电器绝缘试验影响继电器的可靠性,应采取以下措施。

1. 提高静态继电器的绝缘标准

可能加于继电器上的暂态过电压不会因继电器是静态型的而有所减低,相反,由于

静态继电器内阻较高,干扰电压幅度可能还会上升。因而不应该降低静态继电器的试验电压等级。其次,应重新规定耐压试验时的允许泄漏电流极限,也就是说降低允许的泄漏电流值。这就意味着提高了对静态继电器绝缘的要求、也意味着对其电容性电流有所限制、因为后者也是损坏固态电子器件的原因之一。

任何一个事物都有其两面性、我们从静态继电器的应用中获得了技术和经济上的收益,自然有义务来克服固态器件抗电热冲击能力差的弱点。

由于各有关国际标准尚未对静态继电器绝缘试验做出进一步的补充规定,耐压试验时泄漏电流值究竟规定多大数值缺乏依据。尽管泄漏电流的数值随继电器或装置的不同而变化较大,近几年来测试的结果表明这一电流不超过2000V下5mA的水平。因而,有的工厂采用20mA作为厂内质量控制标准,有的采用5—10mA作为标准。

由于耐压试验时泄漏电流值规定有减小的趋势,就可能使传统的耐压和绝缘电阻试验的概念有所改变。一是耐压试验的电源只要保证空载时和规定泄漏电流时的电压波动不大于规定电压值的20%即可(文献[二]),不必要求电源容量一定大于某个数值。另一点是耐压试验和绝缘电阻试验之间的差别缩小了,甚至在某些情况下可以用这种耐压试验来代替绝缘电阻试验。这些都将对试验设备和试验程序发生影响。

2. 提高静态继电器的绝缘设计和工艺要求

这是解决这一问题的根本的和一劳永逸的办法。设计上从严考虑间隙、爬电距离、材料选用,严格控制各部分之间的寄生电容是最基本的做法。还应注意选用具有相应耐压等级的弱电元件如电位器,波段开关、按钮、继电器,信号灯等。此外,也可以从相反的方向解决这一问题,即引入人工泄漏从而保护继电器本身,不过采用这一方式时要十分慎重。工艺上除了注意表面处理、防潮防尘措施外,还应注意走线方式。此外,对于重点零部件要用“低害”耐压机进行予测试。

3. 改变静态继电器的装配调试工艺流程

现在采用的静态继电器装配调试流程多半是沿用机电式继电器的装配调试流程,即把绝缘试验安排在性能调试之后,绝缘试验之后只进行几个主要指标的复查。如果在绝缘试验时对继电器元器件造成了损伤,最后复查时有可能发现不了。如果绝缘试验之后再做一次全面性能复查则前面的性能调试就没有必要了。因此建议采用先做绝缘试验然后做全面性能调试检查。

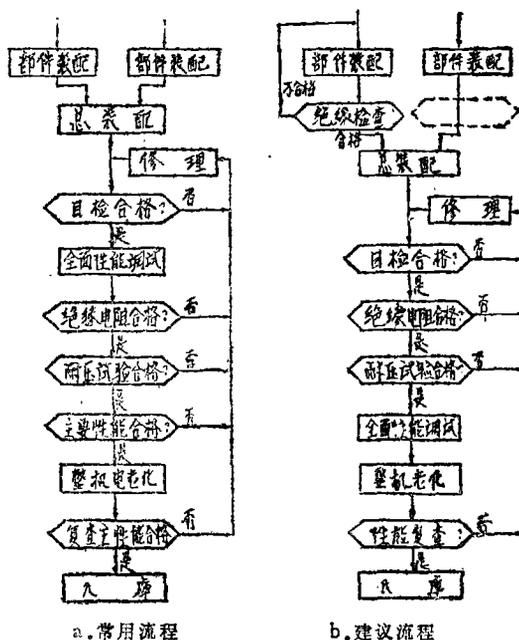


图1 静态继电器装配工艺流程图

的工艺流程（见图1）。

此外，为了保证绝缘试验时较少发生击穿和闪络以及泄漏电流太大等现象，建议对重点元器件（如电位器、开关、信号灯，变压器变流器及继电器等）先做绝缘检查，然后再组装到继电器上。

对于绝缘试验中合格与不合格的产品最好做出标记，对于绝缘试验曾不合格的产品在老化之后应做全面性能复查。

4. 采用低害耐压试验装置

有的西方继电器制造厂商明确要求要用“无害”绝缘试验装置（即不损害固态电子元件的绝缘试验装置）来试验静态继电器。事实上，无论从理论上还是实践上都证明真正做到对集成电路无害是不可能的。但是采用这种装置可以做到对晶体管分立元件无害，对集成电路损害的概率减小，因而把这种装置叫做“低害”绝缘试验装置较为合适。许继所1980年研制并投入使用这种装置，收到了很好的效果。1984年定型为84—1型低害耐压试验器，特别适用于静态继电器耐压试验及部件、零件的绝缘检查。

固态电子器件在绝缘试验中损坏的原因不外乎热击穿和电击穿。其热击穿的能量水平一般都比较低， 10^{-6} — 10^{-3} 焦耳的能量就可以损坏一只普通小功率晶体管，而只要 10^{-6} — 10^{-6} 焦耳的能量就可以损坏一片集成电路。这么低的能量水平很容易在绝缘试验时积累于某一固态器件上[1]。因此设计一台低害耐压试验装置的首要任务是减少受试电路上的能量积累。

图2是传统耐压试验装置及低害耐压试验装置的原理图。两种装置的高压回路接线基本相同，可以简化为图3a。图中 R_i 为总内阻， Z_x 为击穿路径上的等效阻抗。由于 Z_x 值是个随机变量且在击穿时从最大值变到最小值，又因为升压变压器二次侧等效电感随工作点而异，使这一电路的定量分析非常困难。为了进行粗略的估算可以认为二次侧电感是线性的， Z_x 是阻性的 R_x ，则图3a可简化为图3b。

击穿路径 Z_x 上的能量积累有两个来源，一是来自升压变压器，另一是来自被试继电器内储能元件在升压过程中积累的能量，后者虽然很难确定，但因量值很小这里可以不予考虑。 R_x 上的瞬时功率可以近似为：

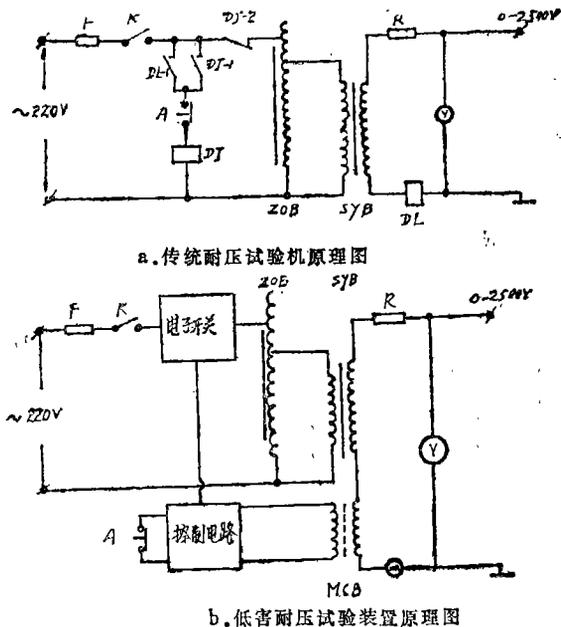


图2 耐压试验装置原理图

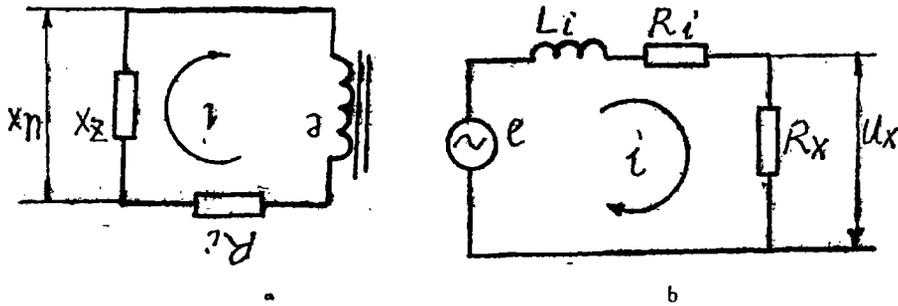
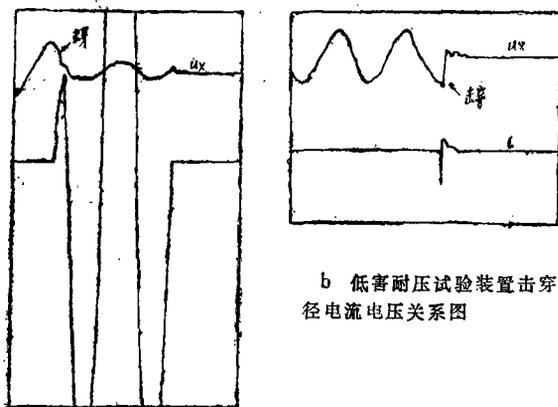


图3 高压回路简化电路图

$$P_x = u_x \cdot i_x = i^2 \cdot R_x = \frac{e^2 \cdot R_x}{(R_i + R_x)^2 + (\omega L)^2}$$

当电压 u_x 下降, i 上升的最初阶段, 当 R_x 接近 $\sqrt{R_i^2 + (\omega L)^2}$ 时 P_x 出现峰值, R_i 值越高 P_x 值越小。老式耐压机 R_i 一般为 $1k\Omega$, 如果标准规定极限泄漏电流为 $20mA$, 则低害耐压机的 R_i 就允许增加到 $10k\Omega$, 可以大大限制这一瞬时功率。

固态电子元器件绝缘试验时损坏的另一原因就是电击穿, 即二次击穿。耐压试验时的泄漏、闪络和击穿都可能造成某些固态电子器件上出现过电压, 如果这种过电压持续个毫秒就会发生二次击穿, 从而造成永久性损坏 [一]。因此, 低害耐压试验装置凡的另一种关键问题是快速断电。图 4 a 和图 4 b 是两种耐压试验装置断电时间及电流波形的对比。图申传统耐压试验装置电流峰值为 $2.8A$, 而低害耐压试验装置的电流只上升到 $20mA$ 。



a 传统耐压试验机击穿路径上电流电压波形图

b 低害耐压试验装置击穿
径电流电压关系图

图 4

一般情况下击穿和闪络都发生在电压处于峰值附近 (如图 4b 情况), 这时变压器一次绕组中电流正好处于零点附近。这是很有利的, 因为这时切断电源, 变压器中的储能 $\frac{1}{2} i^2 L$ 值很小。否则就会出现图 5a 的情况, 变压器会把其一部分储能释放给击穿路径, 不过从图中可见, 这一部分能量不是很大的。

静态继电器绝缘试验中固态电子器件发生损坏现象对继电器生产厂家来说是一个很重要的信号, 采取有效措施从速解决这一问题是不容缓的。

(下转 63 页)

正常工作状态时，负载由直流稳压工作电源供电。此时，继电器接点 XJ_2 是打开位置，而继电器接点 XJ_1 处于闭合。后备电源 E_2 （即镉镍蓄电池组）是准备投入状态。由于A、B两点电位差值很小，故稳压管 D_{wy} 不能击穿，使晶闸管SCR控制极回路没有电流，而不能导通。如果直流稳压输入电压下降到某值或者是零时，A、B两点的电位差达到大于某值时，稳压管 D_{wy} 迅速击穿，晶闸管SCR获得触发电流而导通。后备电源自动投入电路对负载供电。为了减少后备电源在晶闸管上不必要的损耗，将由直流稳压回路的欠压保护继电器 XJ_2 返回而闭合，短接了晶闸管的阴阳极，使后备电源的电能通过接点直接传送到负载。当后备电源的能量逐渐下降到某值时，直流输出回路的欠压保护继电器 XJ_1 返回而断开，使后备电源自动退出供电。二极管 D_1 起了隔离后备电源对直流稳压回路倒送电的作用，如果在 D_1 回路中再加一付控制接点，完全断开该回路更好，但应注意配合时间，二极管 D_2 隔离A点电位变高时，使晶闸管SCR控制极反向击穿。RD采用快速熔断。

这种电路能使负载不断电，用晶闸管作为开通后备电源，开通时间极短，仅有几十微秒，如果晶闸管损坏而拒通，欠压保护继电器 XJ_2 便成了可靠的后备。

（上接第76页）

我厂的模具电镀还不普遍，从产品质量和模具寿命上讲，还有相当大的潜力可挖。因此，对模具镀铬的品种还要不断扩大，不应只局限于型腔类模具，还应当考虑高精度，大批量生产的其它类模具的电镀。这样，对我厂提高产品质量，节约原材料和资金，降低产品成本，加强市场竞争能力势必会起到相当大的作用。

（上接80页）

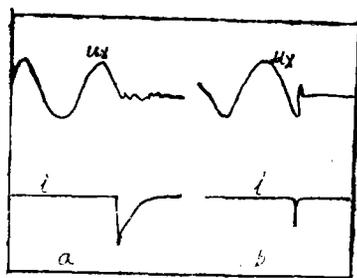


图5 击穿相角与能量的关系

参 考 文 献

- 〔一〕清华大学：晶体管电路 1974年。
- 〔二〕IEC标准：电气继电器的绝缘试验（出版物255—5） 1977年。
- 〔三〕许昌继电器研究所：继电器及其装置主要技术要求。（单行本）
- 〔四〕许昌继电器研究所：继电器及继电保护装置基本试验方法。（单行本）
- 〔五〕ASEA RK000—301E, Transient Voltage In Static Relays.1973.
- 〔六〕J.L.Blackburn, Applied Protective Relaying.1979.
- 〔七〕W.C.Kotheimer, Electro Magnetic Interference And solid State Protective Relays.
- 〔八〕GECM, Protective Relay Application,Guide.1975.