

电饭锅泄漏电流在线测试仪

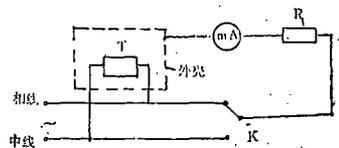
袁洽安 纪志成

(自动化系)

一、前言

电饭锅出厂前要进行电气参数、温控性能及安全性能检查,以往大多是人工检测的。为提高检测效率、减轻劳动强度和检测精度,我们采用流水线自动检测,热态泄漏电流便是其中检测项目之一。1986年自动电饭锅安全质量统检细则中指出^[1]:热态泄漏电流不应大于0.75mA。测量方法如图1,要求将电源电压调到使其输入功率等于最大额定功率的1.15倍,然后按图1所示电路测量泄漏电流,开关K转换至电源的不同极性,以测量其最大的泄漏电流值。

根据我国安全质量统检细则的要求,并参考了IEC标准,我们研制了WQY—I型泄漏电流在线测试仪。本仪器主要考虑与计算机配合使用,也可单独使用。本仪器的输出是开关量,即合格、不合格。并按I类和II类家用电器安全要求分二路送出信号,经计量部门测定,在规定的0.25mA处,及0.75mA处精度达1%。



T—电饭锅; mA—交流毫安表; R—人体感知漏电的模拟电阻; K—转换开关。

图1 泄漏电流测试

二、泄漏电流测试原理

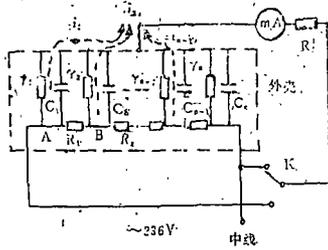
电饭锅发热盘中的电阻丝通过氧化镁与发热盘绝缘,电阻丝与发热盘间存在绝缘电阻 $r_1, r_2 \dots r_n$, 以及分布电容 $C_1, C_2 \dots C_n$, 其分布参数电路可用图2表示, 图中 $R_1, R_2 \dots$ 为发热盘电阻丝的电阻。

当转换开关K与中线接通时,如图2(a),则有泄漏电流 $i_1, i_2 \dots i_{n-1}$ 通过毫安表。当K与相线接通时,如图2(b),则有泄漏电流 $i'_2, \dots i'_{n-1}, i'_n$ 通过毫安表。由此可见:

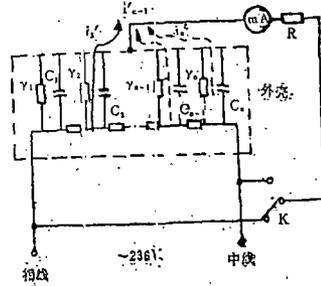
1) K与中线接通或K与相线接通泄漏电流值不一定相同。因为电阻丝包的绝缘层不会非常均匀,绝缘弱点的位置是随机的,假定图2中A点是绝缘的弱点,而其它部分绝缘情况相同,即 r_1, C_1 的阻抗 Z_1 小于 r_n, C_n 的阻抗 Z_n ,在相同电压下,图2(a)中的 i_1 便大于图2(b)中的 i'_n ,所以K与中线接通时泄漏电流大于K与相线接通时的泄漏电流,因此泄漏电流测试应通过K转换极性,取大值作为电饭锅的泄漏电流。

2) 泄漏电流随电源频率升高而增加。从图2看出泄漏电流包括两部分,一部分是通过绝缘电阻的传导电流,另一部分是通过分布电容的位移电流,后者容抗 $X_c = \frac{1}{2\pi fc}$,与电源

本文1987年4月28日收到



(a) K与中线接通



(b) K与相线接通

图 2 泄漏电流测试原理

频率成反比，所以分布电容电流随频率升高而增加，这就造成了泄漏电流随频率而变。例如：用可控硅供电，其谐波分量使泄漏电流增大。

关于测试热态泄漏电流时的外加电压，可按1.15倍的额定功率来推算：
额定功率时：

$$P_e = \frac{U_e^2}{R} \tag{1}$$

1.15P_e时：

$$1.15P_e = \frac{U^2}{R} \tag{2}$$

式中

U—与1.15P_e对应的外加电压

R—发热盘电阻，假设其值不变

$$(1) \div (2) \text{得: } \frac{1}{1.15} = \frac{U_e^2}{U^2}$$

$$U = \sqrt{1.15} U_e = 1.072 \times 220 \approx 236 \text{ V}$$

故测试电压应为236V。

三、泄漏电流的在线测试

如图3。被测电饭锅放在移动的绝缘板上，板下安装电刷A、D、G，电刷与绝缘板一起移动。在测试工位上有三根互相绝缘的铜条E₁、E₂、E₃装在机架上，铜条是静止的。当电饭锅随检测线进入泄漏电流测试工位时，电饭锅的两根电源线及外壳接线通过电刷A、D、G分别与铜条E₁、E₂、E₃接触，E₁、E₂间加有236V的工频电压，电饭锅便在运行状态进行

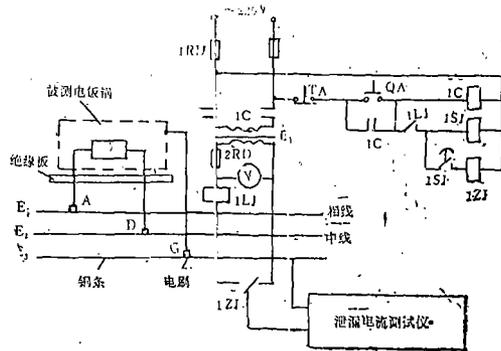


图 3 泄漏电流在线测试示意图

热态泄漏电流的测试。(在前面几个工位上,电饭锅已通电加热,进入泄漏电流测试工位时,已处于热态。)电饭锅电流通过电流继电器 ILJ 而使其吸上,于是时间继电器 ISJ 得电,为继电器 IZJ 的转换作准备,电饭锅外壳与中线间的泄漏电流送入测试仪。测试 3 秒以后,时间继电器 ISJ 的触点闭合, IZJ 得电,其转换触点转向相线,此时测得为电饭锅外壳与相线间的泄漏电流。两次送入的泄漏电流,只要有一次大于设定值,电饭锅的泄漏电流作不合格计。计算机把送来的不合格信号储存起来,当该电饭锅各参数测试完毕后,在下线工位上,计算机便发出泄漏电流不合格信号,以便剔除。

在被测电饭锅离开泄漏电流测试工位时,电刷与铜条脱汗, ILJ 释放, IZJ、ISJ 复位,为测试下一只锅作好准备。

四、泄漏电流测试仪

图 4 所示为泄漏电流测试仪的原理图。泄漏电流通过电流互感器 CT 在电阻 R_2 上转换成电压,经运放 A_1 放大后,通过绝对值电路 A_2 、 A_3 把交流信号转换成直流信号,再经二级 RC 有源低通滤波器 A_4 滤波,成为一平稳的直流电压,然后送入二个电压比较器 A_5 和 A_6 ,与设定的标准电压比较, W_1 、 W_2 的设定值分别代表 0.75mA 和 0.25mA 的漏电值,当输入泄漏电流大于 0.25mA 而小于 0.75mA 时,则 A_4 输出电压大于 W_2 设定值,比较器 A_5 输出高电平,使 BG_2 动作,继电器 J_2 吸上,向计算机接口送入一开关量,表示电饭锅泄漏电流已超出 II 级电器标准。若泄漏电流大于 0.75mA,则比较器 A_5 和 A_6 都输出高电平, BG_2 、 BG_1 都动作, J_2 、 J_1 均吸上,向计算机接口送入二路开关量,并接通现场报警电路,发出声光报警,说明泄漏电流已超出 I 级电器标准。

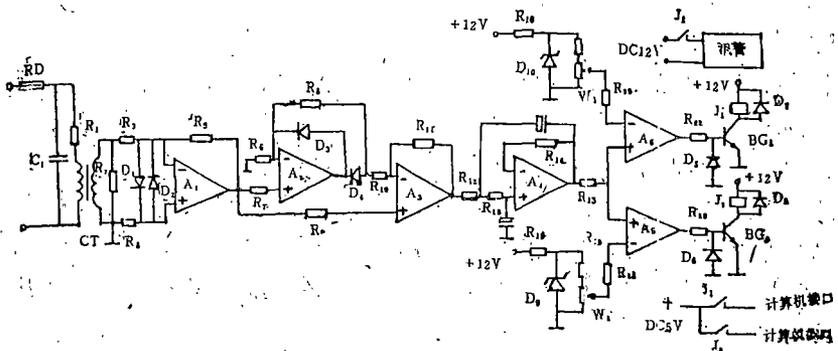


图 4 泄漏电流测试仪原理图

五、测试仪各部分说明

1. 输入阻抗

美国斯坦福大学 DalZiel 教授对人体感知电流试验的结论是: 1.5 k Ω 电阻与 0.15 μ F 电容的并联网对电压的频响曲线与人体对不同频率的泄漏电流的感知曲线几乎完全吻合。该 Rc 网络是人体对泄漏电流反应的相当好的电气模拟电路, 所以美国对泄漏电流测试的输入阻抗标准为: 1500 \pm 100 Ω 电阻与 0.15 μ F 电容的并联网, 我国及国际电工标准以输入阻抗时间常数为 225 \pm 15 μ S 为标准, 本测试仪采用输入阻抗为 1500 Ω 电阻与 0.15 μ F 电容的并联网

络, 其时间常数 $\tau = RC = 1500 \times 0.15 \times 10^{-6} = 225 \mu S$, 与国标一致。

2. 传感器

一般泄漏电流是 0.75mA 以下的弱电流, 但它又与 236V 电源电路有联系, 为使测试线路与高压隔离, 我们采用电流互感器作为输入信号传感器, 传感器副边接上电阻, 便把初级的电流信号转换成副边的电压信号, 传感器的 $I-V$ 特性如图 5 所示。

在制作弱信号电流互感器时要注意以下几点:

- 1) 选用初始磁导率大的铁芯材料。
- 2) 铁芯磁密 B_m 要取得低, 一般在 0.1T (特) 以下, 但 B_m 也不要过低, 否则在小信号时便工作到磁化曲线的起始弯曲段上。
- 3) 次级绕组与初级绕组的匝数比要大, 现采用 $10:1$, 以提高灵敏度。
- 4) 采用良好的隔离技术, 减小从传感器引入的干扰。
- 5) 初次级间绝缘要好, 不但要能耐受市电, 而且初次级间漏电要小。

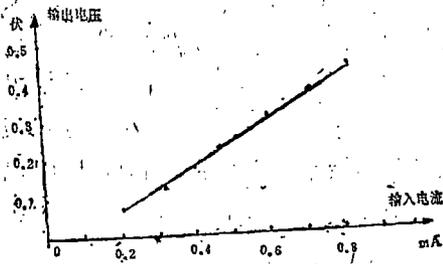


图 5 电流互感器 $I-V$ 转换特性

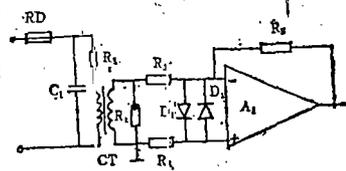


图 6 放大器

3. 放大器

电路如图 6 所示, 因电路工作原理较为简单故不作详细讨论。

4. 绝对值电路

本电路采用半波整流和加法电路相结合的方式, 为同相输入式。

绝对值电路的工作原理如图 7。当输入信号 u_{sr} 正半周 ($u_{sr} > 0$) 时, 运放 A_2 输出为正, D_3 导通, A_2 的反馈回路被 D_3 短接, 同时 D_4 截止, 运放 A_3 反相端输入电压等于 A_2 反相端电压, 而 A_2 为同相输入式, 其反相端电压与同相端 U_{sr} 近似, A_3 的同相端也为 u_{sr} , 应用叠加原理得 A_3 的输出为:

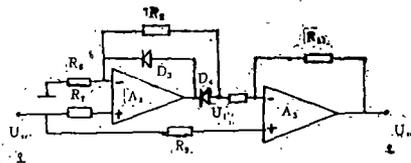


图 7 绝对值电路

$$\text{电阻 } R_6 = R_8 = R_{10} = \frac{1}{2} R_{11}$$

$$u_{sc} = \left(1 + \frac{R_{11}}{R_8 + R_{10}} \right) u_{sr} - \frac{R_{11}}{R_8 + R_{10}} \cdot n_{sr} = u_{sr}$$

当输入信号 U_{sr} 负半周时,运放 A_2 输出为负, D_3 截止, D_4 导通, A_3 反相输入端电压为 U_1 ,按 A_2 同相比例运算关系得:

$$U_1 = \left(1 + \frac{R_8}{R_6}\right) u_{sr}$$

A_3 同相输入端电压为 u_{sr} ,用叠加原理得 A_3 的输出为:

$$\begin{aligned} u_{sc} &= \left(1 + \frac{R_{11}}{R_{10}}\right) u_{sr} - \frac{R_{11}}{R_{10}} u_1 \\ &= \left(1 + \frac{R_{11}}{R_{10}}\right) u_{sr} - \frac{R_{11}}{R_{10}} \left(1 + \frac{R_8}{R_6}\right) u_{sr} \\ &= \left(1 - \frac{R_8}{R_6} \cdot \frac{R_{11}}{R_{10}}\right) u_{sr} \end{aligned}$$

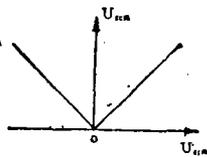
选电阻

$$R_6 = R_8 = R_{10} = \frac{1}{2} R_{11}$$

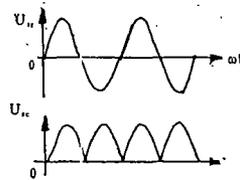
则

$$u_{sc} = (1 - 2) u_{sr} = -u_{sr}$$

绝对值电路的输入—输出特性和波形如图8所示:



(a)特性



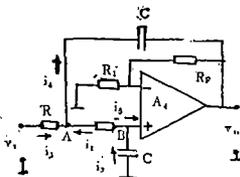
(b)波形

图8 绝对值电路输入输出特性及波形

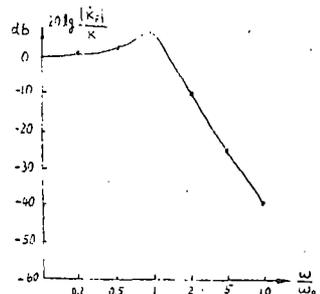
本电路特点为同相输入,输入阻抗可高达 $10M\Omega$,但元件选用时应注意:4只电阻要匹配好,运放应选用共模抑制比较大,及其输入范围较大的组件。

5.有源滤波器

二阶RC有源低通滤波器的工作原理如图9。输入电压 U'_{sr} 通过二节Rc网络加到运放的同相输入端,其输出电压 U_{sc} 又通过电容C反馈到输入端A点,以抬高 U_A ,从而改善了截止频率附近幅度下降过多的缺点。下面我们对其幅频特性进行讨论。根据电路可列方程



(a)电路图



(b)幅频特性

图9 二阶有源低通滤波器

$$\begin{cases} i_5 \approx 0 \\ i_2 \approx i_3 \\ i_1 + i_2 = i_4 \end{cases}$$

用电位及参数代入得

$$\begin{cases} -U'_B j\omega C = \frac{U'_B - U'_A}{R} \\ \frac{U'_{sr} - U'_A}{R} + \frac{U'_B - U'_A}{R} = (U'_A - U'_{sr})j\omega C \\ U'_B = \frac{U'_{sc}}{K'} = \frac{U'_{sc}}{\frac{R_1 + R_F}{R_1}} \end{cases}$$

整理得

$$K'_F = \frac{U'_{sc}}{U'_{sr}} = \frac{K}{1 + (3-k)j\omega CR - (\omega CR)^2}$$

$$\text{令 } \omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad Q = \frac{1}{3-K}$$

$$\text{则 } K'_F = \frac{K}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j \frac{1}{Q} \frac{\omega}{\omega_0}}$$

在图4的实际电路中 R_1 是开路的,相当于 $R = \infty$,

\therefore

$$K = 1 + \frac{R_F}{R_1} = 1$$

$$Q = \frac{1}{3-K} = \frac{1}{3-1} = \frac{1}{2}$$

实际选用参数为: $R = 20\text{k}\Omega$, $C = 10\text{-}\mu\text{F}$, 则截止频率

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}} = 0.796\text{HZ}$$

幅频特性如图9(b)所示, 10倍频程衰减40dB, 可见: 采用有源低通滤波器后, 不仅能使信号波形平滑, 而且能较好地抑制高频干扰。

6. 比较器和驱动电路

因电路简单, 故不作讨论。

六、在线测试的抗干扰问题

抗干扰问题, 是仪器能否长期、稳定、可靠工作的前提。分析干扰原因大致有以下几方面:

1) 电源方面。厂内大容量电机起动电流的冲击, 如测试线使用单位铝制品轧机的拖动电动机起动电流高达1500A, 起动瞬间引起电网电压的严重下跌, 另外轧机在正常运转时, 负载

性质为断续性的,这会引引起电网电压的频繁波动。还有车间内电器设备和操作过电压和大气过电压等干扰。

2)来自测试线的干扰。电饭锅自动检测线上有40多只电饭锅在测试,电刷与铜条之间存在电火花,会产生高频电磁辐射干扰。另外,测试线上有20多路可控硅在工作,其干扰也不可低估。

3)在线测量泄漏电流时,用继电器进行相线与中线的转换,会引入较大的干扰。

根据干扰产生的原因,我们从下列几方面采取措施:

1)电源方面。仪器电源经交流电子稳压器稳压,使电网电压波动的影响大大减小,然后经滤波器滤波。另外在电源变压器制作时,初次级间采用多层隔离,并可靠接地。

2)传感器方面。传感器的引入线采用屏蔽线,电流互感器的初次级绕组间采用多层屏蔽,在安装上把电流互感器装在屏蔽罩内。

3)电子线路方面。采用二阶RC有源低通滤波器。

实践证明上述几点措施是行之有效的。本仪器在福州电饭锅厂的微机控制电饭锅自动测试上工作已有一段时间,证明方案是可行的。

参 考 文 献

[1] 国家标准局质量监督局,《1986年自动电饭锅安全质量统检细则》,1986

[2] 李清泉、黄昌宁编著,《集成运算放大器原理与应用》,科学出版社,1984