

IEC60335-1 第四版泄漏电流测试方法探讨

广州日用电器检测所 刘跃占

摘要 本文主要介绍了家用电器标准中泄漏电流的测试方法，并对反应/感知电流测试网络以及测试仪器的要求进行了探讨。

关键词 泄漏电流 接触电流 测试模拟网络 频率因数 阈值

一. 标准基本要求

IEC60335-1《家用和类似用途电器的安全 通用要求》第四版已经开始被许多国家采用，标准中第13章工作状态下泄漏电流的测试相比第三版有较大的改动。主要原因是考虑到越来越多的家用电器产品中可能存在高频泄漏电流，比如微波炉，电磁炉等产品在正常工作状态下，使用者可能由于人体的接触而导致高频泄漏电流通过人体到达大地。人体对高频电流有较强的耐受能力，必须对产品的高频泄漏电流进行恰当评估并限制在一定的范围内，才能够既保证使用者的安全，也能保证对产品进行正确的判定。

标准中要求测试泄漏电流采用图1所示方法，以II类电器产品为例。在图1中引入了测试网络C，该网络的依据是IEC60990所推荐的反应/感知接触电流测试网络，见图2。根据图2测试电压 U_2 ，取有效值再除以人体电阻（ $R_B=500\Omega$ ）作为泄漏电流测试结果。

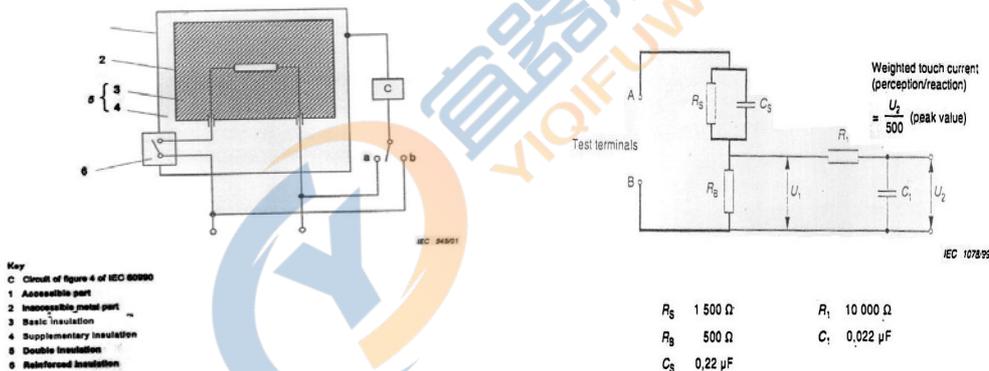


图1 IEC60335-1 第四版泄漏电流测试线路 图2 反应/感知电流测试网络

家用电器标准中规定了不同防触电保护种类电器的泄漏电流要求限值，见表1，所测试结果不应超过限值要求。

表1 家用电器产品泄漏电流限值

II类器具	0.25mA
0类, 0I类和III类器具	0.5mA
手持式I类器具	0.75mA
驻立式I类电动器具	3.5mA
驻立式I类电热器具	0.75mA 或 0.75mA 每 kW 最大 5mA, 二者较大者

二. IEC60990 标准介绍

IEC60990《接触电流和保护导体电流测试方法》，主要介绍了相应各类接触电流和保护导体电流的测试方法。保护导体电流，主要是指流过产品中一般保护导体的电流，比如接地保护导体。接触电流

又包含反应/感知电流，摆脱电流，电灼伤电流等，这些种类电流都属于人体对接触电流的不同种类的反应效果电流。

保护导体的电流测试比较简单，只需和设备保护接地导体串联一个内阻可以忽略不计的安培表就可以进行测试。不同种类的接触电流标准中规定了不同的人体模拟测试网络，主要包括：

- 1) 未加权的接触电流测试网络，见图 3；
- 2) 反应/感知电流测试网络，见图 2；
- 3) 摆脱电流测试网络，见图 4。

根据图 3、图 4 和图 5，可以发现所有接触电流测试网络都包含人体的基本等效模型，接触电阻 R_S (1500 Ω)，接触电容 C_S (0.022 μ F) 和人体电阻 R_B (500 Ω)。反应/感知电流测试网络和摆脱电流测试网络都增加了部分阻容电路，用来模拟人体对高频电流的反应效果，标准要求测试经阻容电路衰减后的电压值除以人体电阻作为泄漏电流测试结果。

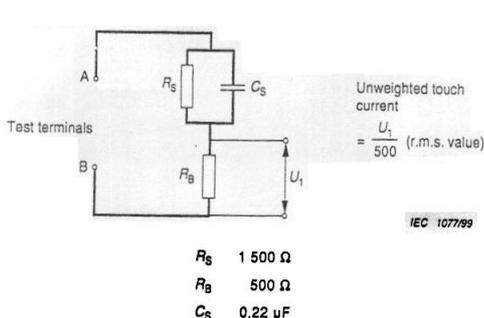


图 3 未加权的接触电流测试网

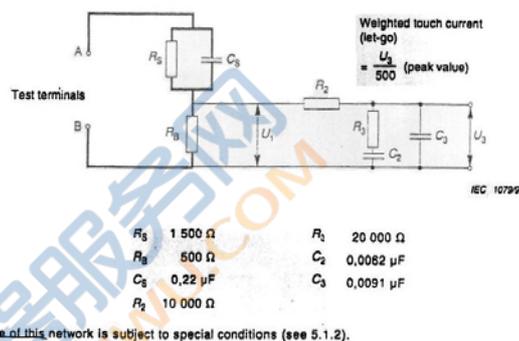


图 4 摆脱电流测试网络

三. IEC479 技术报告介绍

表 1 中规定了家用电器产品泄漏电流限值，这些限值是以 IEC479 系列技术报告为基础的。该系列报告主要包括以下内容：

- 1) 人体及动物对电流的反应效果，包括对人体的阻抗研究，交流和直流电流可以对人体产生的多种效果，相应电流包含反应/感知电流，摆脱电流，电灼伤电流，心脏纤维性颤动电流等；
- 2) 人体的电流特性，主要介绍人体通过不同种类的电流时，比如不同频率，不同波形，不同脉冲时间电流通过人体时，人体对电流的承受阈值；
- 3) 动物的电流特性，主要介绍动物通过电流时身体的阻抗以及动物对电流的承受阈值。

IEC60990 标准中接触电流测试模拟网络特性是以 IEC479 统计技术报告中人体对电流的反应效果为依据的。以感知/反应电流网络为例，当人体通过交流正弦波时，其频率因数曲线从 50/60Hz 到 10kHz 频率下分别如图 5 和图 6，当频率继续从 10kHz 增加到 100kHz 时，频率因数近似在图 6 中呈直线上升。对于图 2 反应/感知网络，这里频率因数是指人体在不同频率下的反应/感知电流阈值与在工频 50/60Hz 下的阈值比。如果将实际被测的接触电流除以最后通过仪器读取的电流所得系数，即相当于网络对电流的衰减系数作为该网络的频率因数，在同一坐标下将人体的频率因数与反应/感知网络的频率因数进行比较，见图 7，可以发现二者基本重合，只是在中间 300Hz——10kHz 的曲线拐点位置有一点偏差。

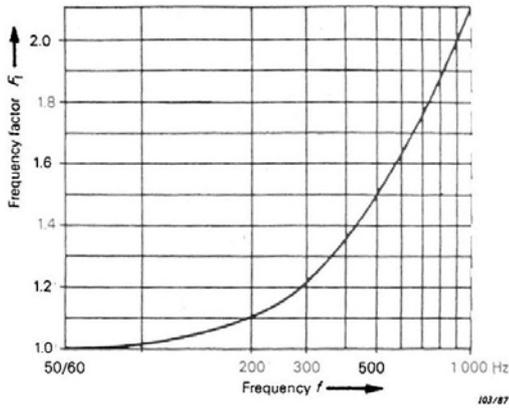


图 5 50-1000Hz 频率范围反应电流阈值曲线

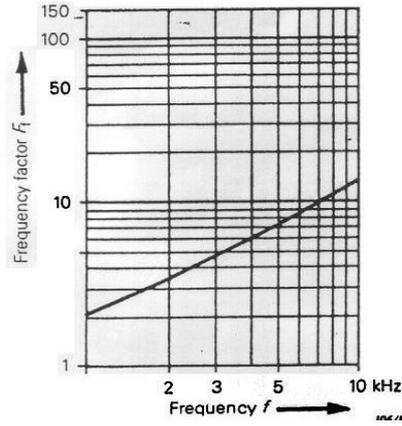


图 6 1k-10kHz 频率范围反应电流阈值曲线

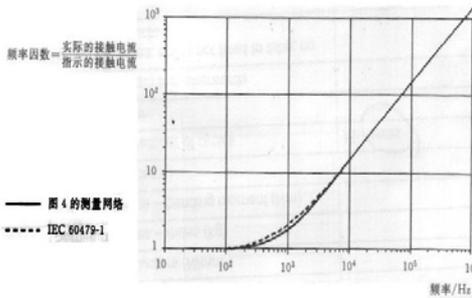


图 7 人体与反应/感知网络频率因数比较

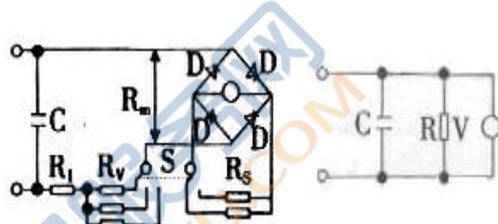


图 8 IEC60335-1 第三版泄漏电流测试线路

对于工频标准正弦交流电，不同种类的电流效果，人体所能承受的阈值也不同。反应电流的阈值通常为 0.5mA，而摆脱电流的阈值为 10mA。电流频率增大时，人体的耐受电流阈值会升高，应为工频阈值乘以频率因数。表 1 的泄漏电流限值实际是考虑到人体对不同电流效果的阈值。II 类产品采用 0.25mA 限值，相当于人体反应电流阈值的 50%。O 类产品采用 5mA 作为限值是考虑到对人体造成生理反应伤害阈值的 50%，而对于 I 类手持式器具可能发生的摆脱电流，标准取 0.75mA 作为要求限值。

四. IEC60335-1 第三版与第四版泄漏电流测试方法的比较

IEC60335-1 第三版的泄漏电流测试要求线路见图 8 左边线路，所推荐的网络为简单的阻容网络，为了便于比较，将该网络变换后等效的测试网络如图 8 右边 RC 线路， $R=1750\ \Omega$ ， $C=0.129\ \mu\text{F}$ 。我们可以发现，该网络仅仅采用一个电容来模拟通过人体接触电流时人体的容性阻抗和接触电容，对于高频电流的反应与图 2 人体反应/感知电流模拟网络有一定差异。

通过计算两种网络的频率因数曲线，见图 9，该图采用的是指数坐标，可以发现两种测试网络的频率因数曲线还是有一定相似的。

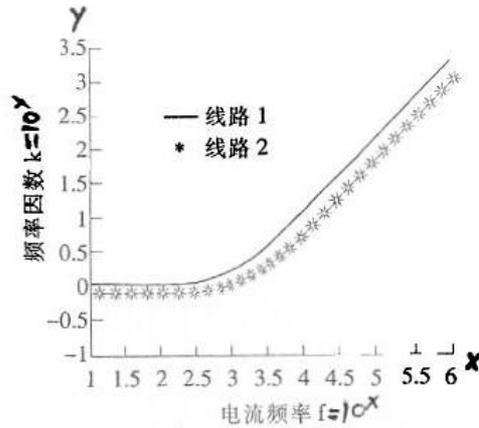


图 9 IEC60335-1 第三版及第四版测试网络频率因数比较

五. 测试仪器要求

IEC60335-1 标准要求的泄漏电流测试，首先通过电压表测量模拟网络输出电压真有效值，再除以人体等效电阻 $500\ \Omega$ 作为测试结果，其中对于该电压表，应必须满足以下条件：

- 1) 真有效值的电压表；
- 2) 测试直流泄漏电流时应能够响应直流，测试交流泄漏电流时应能够测试真有效值；
- 3) 输入阻抗不小于 $1\text{M}\ \Omega$ ；
- 4) 测试交流时输入电容不大于 200pF ；
- 5) 测试交流时可以频率范围响应应当至少 15Hz 到 1MHz ，如果涉及更高频率，则应达到更高的频率响应；
- 6) 浮动或差动输入在高达 1MHz 时的共模抑制至少为 40dB ；

电流测试模拟网络的阻抗应保证其等效人体对电流的反应效果，IEC60990 标准规定了网络中每个电阻电容元件的基本数值，但没有规定网络中每个元件的容许偏差。实际只要能够保证各元件之间的电容、引线电感和电压测量装置的特性不会对网络的输入阻抗造成明显的影响，并且满足输入电压和输出电压的比值，即频率因数就可以了。但在进行初次校准验收时，应至少要验证网络的输入阻抗和输出阻抗。图 2 的反应/感知接触电流测试网络的输入阻抗和输出阻抗计算值见表 2。

表 2 感知/反应接触电流测试网络的输入阻抗和传输阻抗的计算值

频率 Hz	输入阻抗 U/I	输出阻抗 U/I
直流	2000	500
20	1998	500
50	1990	499
60	1986	498
100	1961	495
200	1857	480
500	1433	405
1 000	973	284
2 000	661	162.9
5 000	512	68.3
10 000	485	34.4
20 000	479	17.21

50 000	476	6.89
100 000	476	3.45
200 000	476	1.722
500 000	476	0.689
1 000 000	476	0.345

如果在初次对网络或仪器验收之后，定期进行每年的校准，应在初次记录的基础上对网络进行复核。包括测试网络的直流电阻是否偏离初始的理想值 2000 Ω，另外还需依据以下表 3 在不同频率下对网络的输入电压和输出电压的比值即频率因数进行验证，表 3 中的黑体部分，这样可以减少测试高频输入电流的工作。

表 3 感知/反应接触电流测试网络的输出电压和输入电压的比值

频率 Hz	输出电压和输入电压的比值	输入电压和输出电压的比值	每毫安示值的输入电压
20	0.250	4.00	2.00
50	0.251	3.99	2.00
60	0.251	3.99	1.99
100	0.252	3.96	1.98
200	0.259	3.87	1.93
500	0.282	3.54	1.77
1 000	0.292	3.43	1.71
2 000	0.246	4.06	2.03
5 000	0.133	7.50	3.75
10 000	0.0708	14.1	7.06
20 000	0.0360	27.8	13.9
50 000	0.0145	69.2	34.6
100 000	0.00723	138	69.1
200 000	0.00362	277	138
500 000	0.00145	691	346
1 000 000	0.000723	1382	691

以上网络的校准，应采用实际可能发生的大小电流来进行，并保证在内部每个元件的功率额定值允许的条件下测试。如果实际测试的电流范围可能比较宽，并且条件允许时最好选择两个或多个电流值分别对网络进行不同频率的验证，以确保在所测试的量程内对网络都能进行充分验证。另外，如果实际可以预期发生泄漏电流的频率范围，则也可以简化，只对相近几个频率点对网络验证就可以了。

六. 总结与探讨

IEC479 技术报告和 IEC60990 标准主要是提供给 IEC 各技术委员会在制定标准时使用，各类电器产品的委员会不同，采用的泄漏电流测试方法也可能不同。

在 IEC60335-1 第四版标准中，暂没有考虑接触电流中摆脱电流的测试网络。实际当使用者需用手握住产品才能使用时，都有可能存在电流通过人手。如果漏电流较大可能会引起手上的肌肉收缩而握紧该零部件不能摆脱，这样将进一步导致触电危险。在使用家用电器过程中也可能存在这种情况。IEC60598:2003 版灯具产品标准中，考虑到使用者手持 I 类可移式灯具时可能发生的泄漏电流为摆脱电

流，泄漏电流测试要求采用图 4 的摆脱电流网络进行测试。对于家用电器标准中是否采用相应测试网络，还有待进一步探讨。

实际上，在有些产品标准中，比如电子镇流器，测试接触电流不要求采用加权的模拟网络，而是直接采用无感等效电阻 $2000\ \Omega$ 进行测试。标准中同时也规定了泄漏电流限值曲线，越高频率的测试电流，要求限值也越大，这也是一种合适的对高频泄漏电流评定方法。

对于泄漏电流的测试应根据不同产品的特点，选择适当的评定方法。将来，随着对人体电流效果研究的进一步深入，也将会引入新的测试模拟网络及限值要求。

参考文献:

- 【1】 IEC60335-1:2001 Household and similar electrical appliances-Safety part 1: General requirements
- 【2】 IEC60335-1:1991 Household and similar electrical appliances-Safety part 1: General requirements
- 【3】 IEC60990 Second Edition:1999 Methods of measurement of touch-current and protective conductor current
- 【4】 IEC60479-1:1994 Effects of current on human beings and livestock
- 【5】 IEC60479-2:1987 Effects of current passing through the human body