

中华人民共和国国家标准

电线电缆电性能试验方法 局部放电试验

GB/T 3048.12—94

代替 GB 3048.12—83

Test methods for determining electrical properties of electric cables and wires
Partial discharge test

本标准等效采用 IEC 885-3(1988)整根挤包电缆局部放电试验。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了局部放电的试验设备、试样制备、试验步骤及注意事项。

本试验方法适用于测量不同长度挤包绝缘电力电缆的局部放电,即在规定的电压下和给定灵敏度下测量电缆的放电电量或检验放电电量是否超过规定值。

电线电缆电性能试验的一般要求、定义及试验设备的定期校验要求规定在 GB/T 3048.1 中。

2 引用标准

GB/T 3048.1 电线电缆电性能试验方法 总则

3 试验设备

3.1 试验设备

由千伏安容量满足被试电缆长度要求的高压电源,高压电压表,测量回路,放电电量校正器,双脉冲发生器等组成。如有必要,还包括终端阻抗或反射抑制器。试验设备所有部件的噪声水平应足够低,以得到所要求的灵敏度。

试验电源的频率取接近正弦波形的工频交流 49~61 Hz。峰值与有效值之比等于 $\sqrt{2}$,误差 $\pm 7\%$ 。

3.1.1 试验回路和仪器 试验回路包括试品,耦合电容器和测量回路。测量回路由测量阻抗(测量仪器的输入阻抗和选定与电缆阻抗匹配的输入单元),连接导线和测量仪器等组成。测量仪器或检测器包括合适的放大器,示波器,另外可根据需要增加仪器指示局部放电的存在并测出视在电荷。

3.1.2 双脉冲发生器 局部放电测试回路的特性需用双脉冲发生器进行校核,双脉冲应与工频同步,两个结对且相等的脉冲,其间隔时间,应从 0.2 到 100 μs 连续可调,脉冲的前沿(上升时间)应不超过 20 ns,从 10%波头值到 10%波尾值的时间应不超过 150 ns。

3.1.3 终端阻抗(特性阻抗) 为了抑制电缆远端(远离检测器的电缆终端)开路情况下的脉冲反射,可在远端连接终端阻抗,其阻抗值应与电缆试样的特性阻抗值相等。

3.1.4 反射抑制器 如试验时无终端阻抗,为了避免脉冲迭加的影响,可采用反射抑制器,即一种电子开关,在大多数情况下,能闭锁检测器的输入,隔断电缆远端开路情况下的反射脉冲,但是,当局部放电的部位处于远端或其附近时则有些正迭加就难以避免。

3.2 确定试验回路的特性

试验回路特性应在使用条件下加以确定。确定试验回路特性的常用试验线路见图 1~图 5。对电缆导体两端(以及屏蔽两端)连结一起时也可应用类似的试验线路。

3.2.1 叠加性能

如果不采用终端阻抗,就必须测定测试回路对行波叠加的性能,按图 6 连接双脉冲发生器,并标绘出双脉冲曲线图(见图 6,图 7~图 9)。这种校核至少每年进行一次或在重要回路部件已修理调换过时要进行。

3.2.2 终端阻抗

采用终端阻抗(见图 4)时,它对于被试电缆的适用性应按第 8 章规定的方法加以证实。这种校核至少每年进行一次或提出要求时或重要的回路部件已修理调换过时要进行。

3.2.3 反射抑制器

使用反射抑制器的目的是要获得符合图 7 的 1 型双脉冲曲线图,按照图 10,反射抑制器的效能至少每年校核一次和有要求时或重要的回路部件已修理调换过时要进行。

3.2.4 电量校准

应用“电荷变换”校准法进行电量校准,在此方法中,校准器直接跨接在被试电缆一端的导体和金属屏蔽层之间,然后将预定的电荷注入试品,要求注入电荷量能在示波器上产生的脉冲高度至少为 10 mm。一般情况下,在高压试验变压器供电之前,应把校准器取下,并不允许再调整放大器的放大倍数,在下述两种情况下,则例外。

a. 校准器的电容能够在试验电压下工作并构成了试验回路之一部分。

b. 采用二次校准线路,此时,校准器不受高电压的影响,但是二次校准线路所产生的脉冲高度应事先针对一次校准线路所产生的脉冲高度进行核对。

校准电量 q_{cal} (pC) 等于校准脉冲幅值 ΔU (V) 和校准器的电容 C_{cal} (pF) 的乘积。

即:

$$q_{cal} = C_{cal} \cdot \Delta U \quad \dots\dots\dots (1)$$

当校准时,测量仪器的标定系数 k 乘上仪器的读数,可得到输入仪器的放电电量数值, k 值的稳定性应符合相应标准规定的要求。

3.2.5 灵敏度

a. 试验回路的灵敏度是指存在背景干扰条件下,仪器能检出的最小放电电量 q_{min} (pC),用下式表示:

$$q_{min} = 2kh_n \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: k ——标定系数,计算得出, pC/mm;

h_n ——背景干扰偏转值, mm。在示波器或微微库表上读出。

即为了得到明确的检测结果, q_{min} 在示波器上的显示高度至少为视在背景干扰高度 h_n 的二倍,如果采用指示仪表,则 q_{min} 的读数也至少为噪声读数的二倍,但对于个别可明确识别为干扰脉冲者,则不计入背景干扰高度;

b. 灵敏度的具体数值选择按不同型式电缆产品标准确定。

4 试样制备

作为型式试验,在短电缆试样上进行;作为例行试验,在产品制造长度(长电缆试样)上进行。

5 试验步骤

试验回路的选择要根据双脉冲图看电缆试样属于短电缆情况(第 5.1 条)还是长电缆情况(第 5.2 ~ 第 5.4 条)。

试验回路必须无放电以达到所需灵敏度。

校准不必在高压施加时做。

5.1 短电缆长度(包括型式试验)

a. 要求

短电缆可认为与集中电容相似,对短电缆长度上的限制取决于所用的试验回路,其实际数值可用第7章规定的双脉冲曲线图来决定,并定义为 l_k 。一般选用图1,2和3的试验线路。

注:当电缆两端连接在一起时,长度直至 $2l_k$ 也属于短电缆。

b. 灵敏度检验

校准器应并联于试样远离测试仪器的一端,由注入校准电量 q_{cal} 和对应测出的偏转值数 a_2 ,可计算出标定系数 k_2 (pC/mm)和灵敏度 q_{min} (pC)。

$$\begin{aligned} k_2 &= q_{cal}/a_2 \\ q_{min} &= 2k_2h_n \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中 h_n 为背景干扰偏转值(mm)。

c. 试验步骤

只需在试样的一端进行测量,用测得的偏转值 A (mm)计算出放电量 q (pC)

即

$$q = k_2 A \quad \dots\dots\dots (4)$$

试验电压在产品标准中规定。

5.2 不接终端阻抗的长电缆试验

a. 要求

电缆长度超过 l_k 时,仍有可能不用终端阻抗来进行试验,条件是计入迭加和衰减现象,这时双脉冲曲线图或为1型曲线见图7,或为2型和3型曲线见图8和9,但此处样品长度 l 应小于 $2l_1$ 或大于 $2l_2$ 。

如果样品长度范围为 $2l_1 \leq l \leq 2l_2$,则要用其他试验回路或按第5.3和5.4条规定试验。

一般采用的试验回路如图1,2,3和5所示。

b. 灵敏度检验

按图1,2,3或5,校正器应先后并联连接到电缆的每一端,第一步接到远端,第二步接到近端,以上二种情况,校准器的校准电量和放大器的放大倍数,均不应变动,分别记录下面数值。

a_1 :校准器接在近端所测得的偏转值,mm;

a_2 :校准器接在远端所测得的偏转值,mm。

由 a_1 和校准电量 q_{cal} 计算出标定系数 k_1 (pC/mm):

$$k_1 = q_{cal}/a_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

由 a_1 和 a_2 计算出衰减修正系数 F :

当 $a_2 \geq a_1$ 时 $F=1$

当 $a_2 < a_1$ 时 $F = \sqrt{a_1/a_2}$

灵敏度 $q_{min} = 2k_1h_nF$ (pC)

c. 试验步骤

将耦合电容器的高压端轮流接到电缆的每一端测出二个偏转值 A_1 和 A_2 ,用测得较高的数值 A_{max}

来计算放电量 q (pC):

$$q = k_1 A_{\max} F \quad \dots\dots\dots (6)$$

测量 A_{\max} 的试验电压在产品标准中规定。

只有当双脉冲图是 1 型(图 7), 且 $a_2 \geq a_1$ 时, 测一个电缆两端连在一起时的 A (mm) 就足够了, 放电量:

$$q = k_1 A \quad \dots\dots\dots (7)$$

5.3 接终端阻抗的长电缆试验

a. 要求

为消除长度大于 l_k 的电缆中脉冲的叠加误差, 如图 4 所示, 可采用终端阻抗进行试验。这种方法可用于所有检测装置和所有电缆长度上进行测量, 条件是阻抗 Z_w 应符合第 8 章规定的要求, 此时校准只需要确定衰减的影响, 阻抗对被试电缆的适用性按第 8 章规定的方法验证。

b. 灵敏度检验

按照图 4, 校准器应先后并联连接到电缆的每一端, 第一步接到远端, 第二步接到近端, 以上二种情况, 校准器的校准电量和放大器的放大倍数, 均不应变动, 分别记录下面数值:

a_1 : 校准器接在近端所测得的偏转值, mm, 若下面 c ii 条满足则此点就可不测量。

a_2 : 校准器接在远端所测得的偏转值, mm。

由 a_2 和校准电量计算出标定系数 k_2 (pC/mm) 和灵敏度 q_{\min} (pC):

$$\begin{aligned} k_2 &= q_{\text{cal}}/a_2 \\ q_{\min} &= 2k_2 h_n \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (8)$$

c. 试验步骤

i 为尽量精确得出局部放电量, 耦合电容器的高压端应轮流连接到电缆两端进行测量, 用测得的两个偏转值 A_1 和 A_2 来计算放电量 q (pC):

$$q = q_{\text{cal}} \sqrt{\frac{A_1 \cdot A_2}{a_1 \cdot a_2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ii 在放电量不超过规定值得到充分满足的情况下, 可把耦合电容器高压端仅与电缆一端连接做试验。此时校准脉冲仅在接终端阻抗的电缆远端注入 (a_2), 若已知标定系数 k_2 (pC/mm), 偏转值 A_1 (mm), 可计算放电量 q (pC):

$$q = k_2 A_1 \quad \dots\dots\dots (10)$$

测量 A_1, A_2 的试验电压在产品标准中规定。

5.4 采用反射抑制器的长电缆试验

反射抑制器的连接见图 5。

a. 要求

使用了反射抑制器时, 双脉冲曲线图应符合第一种曲线, 见图 7。

b. 灵敏度的检验

与第 5.2.b 条相同。

c. 试验步骤

与第 5.2.c 条相同。

5.5 施加电压的步骤

无论是形式试验或例行试验,试验电压应加在导电线芯和金属屏蔽之间,电缆的试验电压由产品标准规定,进行局部放电测量时,电压应平稳地升高到 1.2 倍试验电压,但时间不得超过 1 min,此后,缓慢地下降到规定的试验电压,此时即可测量局部放电量,其合格指标应在产品标准中规定。

6 注意事项

电缆终端的局部放电影响电缆本体局部放电测量精确度时,可采取任何适合方法加以消除。

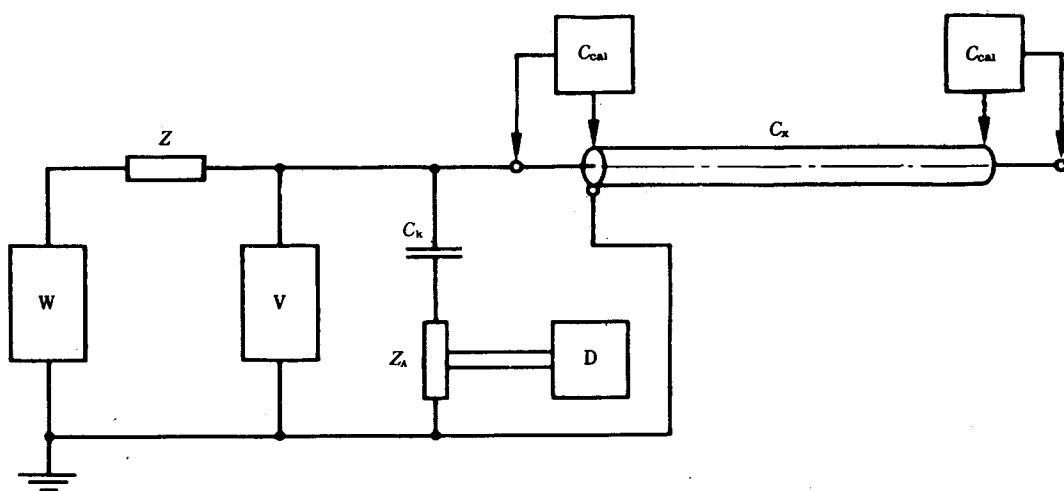


图 1 输入元件 Z_A 与耦合电容器 C_k 串联

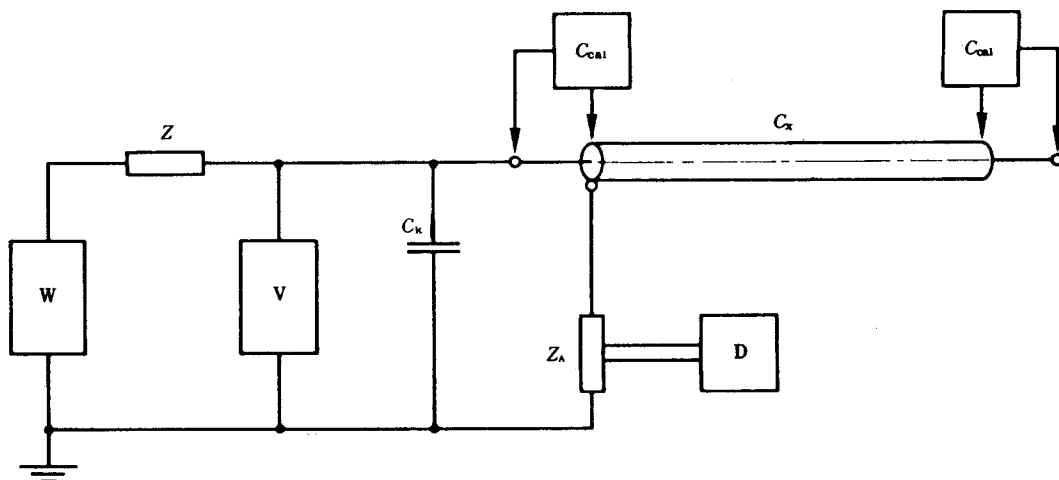


图 2 输入元件 Z_A 与电缆 C_x 串联

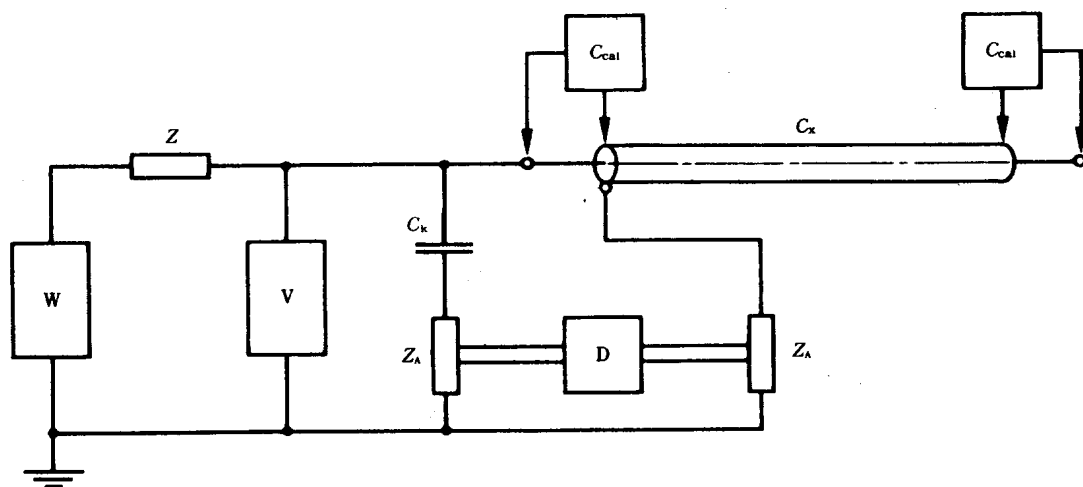


图 3 电桥线路

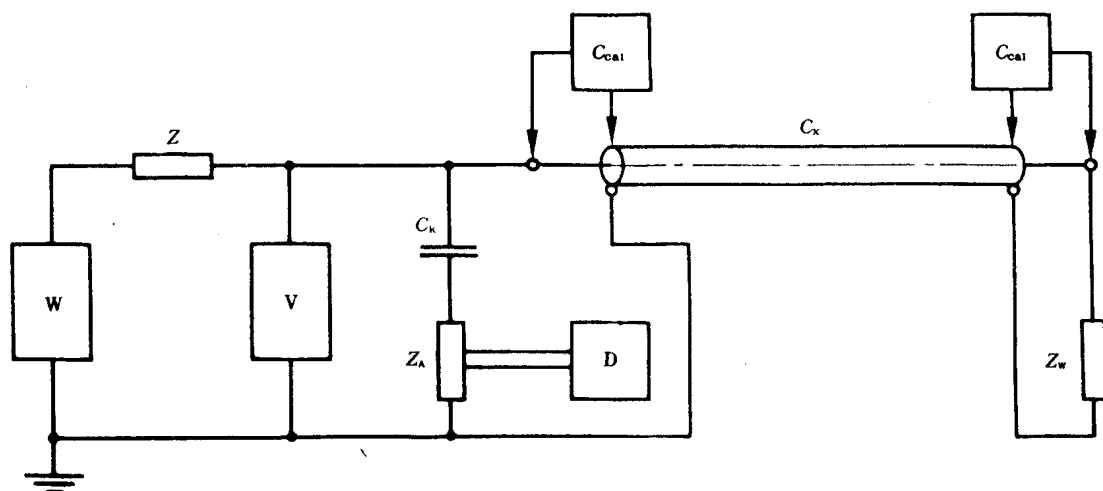


图 4 终端阻抗 Z_w 的连接

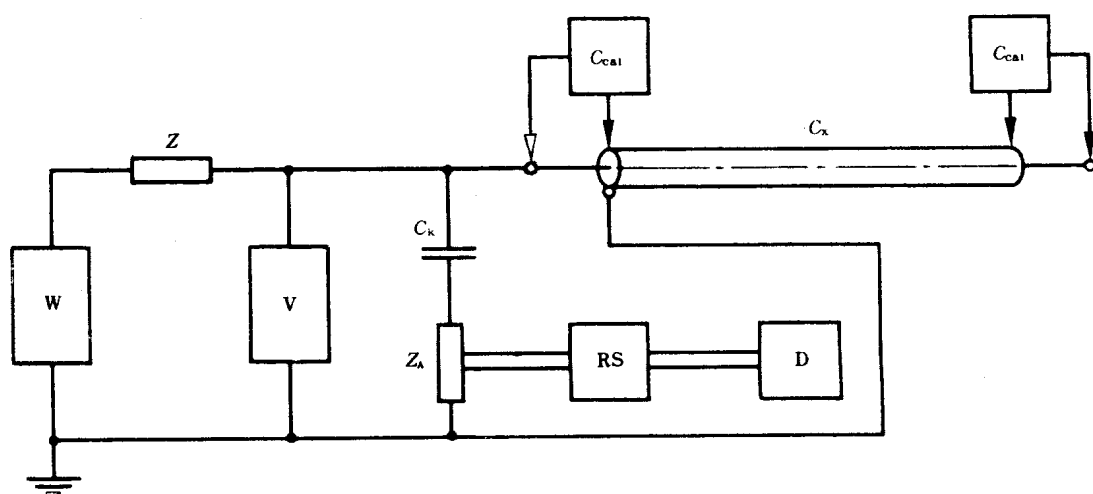


图 5 反射抑制器 RS 的连接

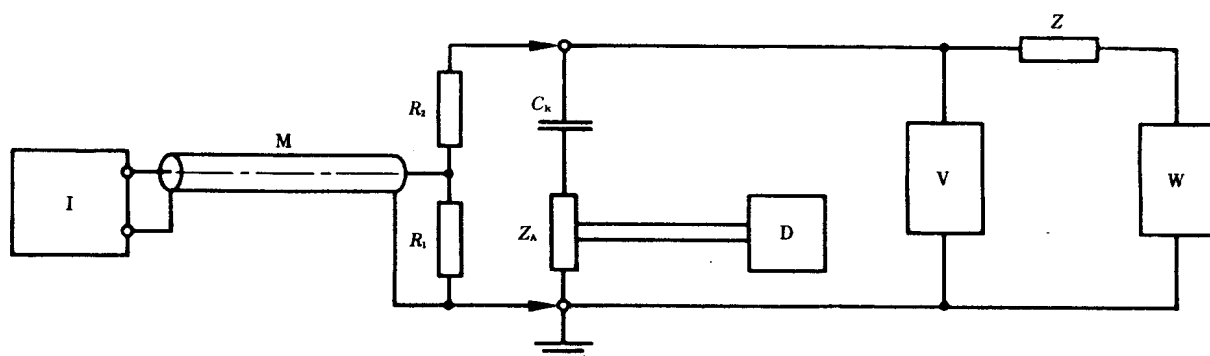


图 6 双脉冲发生器在图 1 线路中的连接

R_1 —数值等于同轴信号电缆特性阻抗的匹配电阻；

R_2 —数值等于 $R_2 = R - \left(\frac{R_1}{2}\right)$ (R 为 $50 \sim 60 \Omega$, 负载电阻) 的匹配电阻

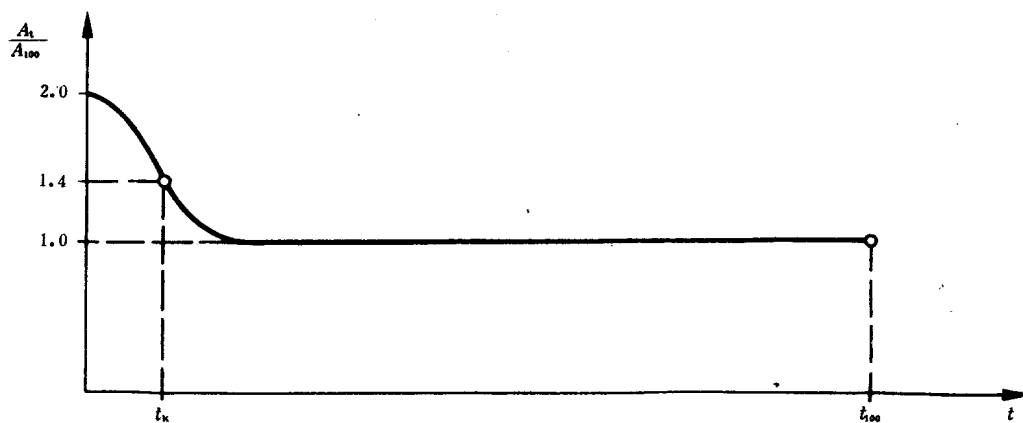


图 7 无负叠加的双脉冲曲线图(1型)

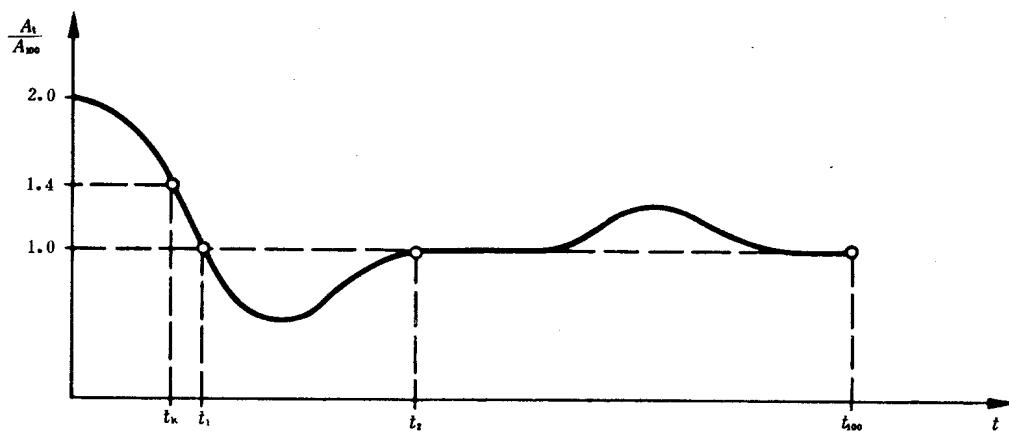


图 8 t_1 与 t_2 间有负叠加的双脉冲曲线图，
 t_2 和 t_{100} 器之间正叠加的影响在测量结果方面可忽略(2型)

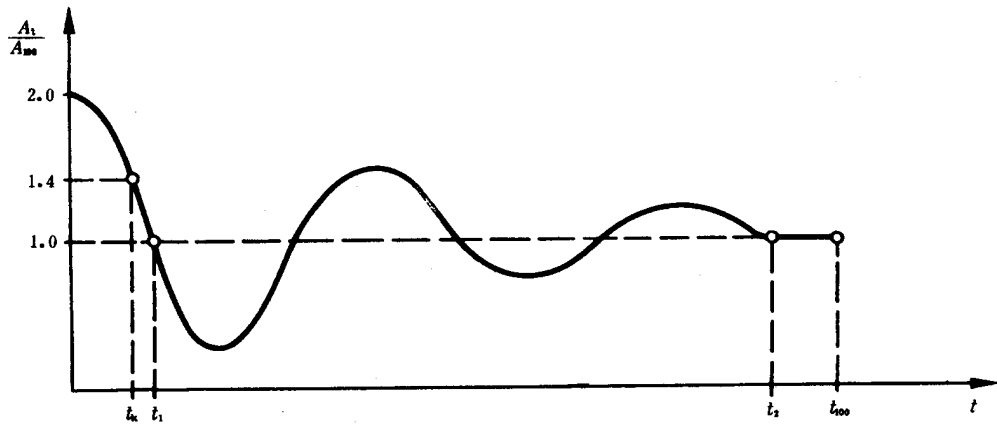
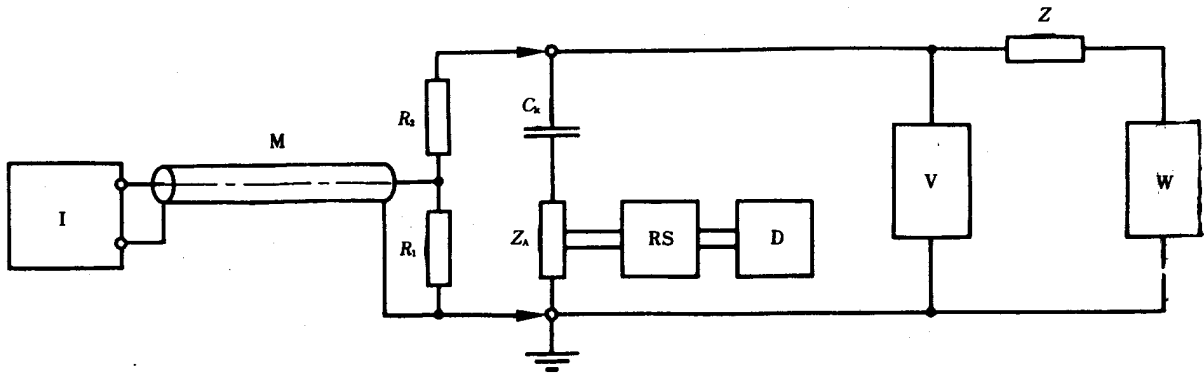
图 9 t_1 与 t_2 间有负的和正的叠加(3型)的双脉冲曲线图

图 10 在有反射抑制器的试验回路中连接双脉冲发生器

图 1~6 和图 10 中的符号说明:

- W——工频交流电源;
- V——高压电压表;
- Z——电感或滤波器;
- Z_A ——测量阻抗;
- Z_W ——终端阻抗;
- C_x ——电缆试样;
- C_k ——耦合电容器;
- D——检测仪器;
- C_{cal} ——校准电容器;
- RS——反射抑制器;
- I——双脉冲发生器;
- M——同轴信号电缆;
- R_1 、 R_2 ——匹配电阻。

7 双脉冲曲线图绘制方法

双脉冲发生器应如图 6 所示连接到测量回路的元件上。双脉冲图随每个回路部件而变,应精确获得

双脉冲图以用于高压试验,电力电缆以数值等于挤塑电缆最大特性阻抗值($R=50\sim 60\ \Omega$)的电阻代替。双脉冲象校准脉冲一样注入到图 1、2 和 3 不同试验回路中的相同位置。下列条件应适用:

a. 双脉冲发生器 I 应满足 3.1.2 条要求,脉冲间隔应用带校准时基的外接示波器来确定,要求精度 $\pm 3\%$ 或 50 ns 取较大者。总输出阻抗应在 50~60 Ω 范围,为此可能需外接串并联电阻。

用下述方法可得到双脉冲图。

——最简单的方法是把双脉冲发生器用不超过 3 m 的导线并接在高压电容器 C_k 和测量阻抗 Z_A 上。

——对较长的连接线应采用同轴电缆(图 6),此时需二个附加电阻 R_1 和 R_2 以保证匹配系统阻抗在 50~60 Ω 范围。

b. 电容器 C_k 和其他高压部件以及它们的连接均应与实际加高压试验时相同。

c. 高压试验中的匹配单元或测量阻抗 Z_A 可用作测取双脉冲图的元件。

d. 检测器 D 应有增益调节以及频率选择。为了精确测量叠加畸变产生的脉冲幅值变化,检测器 D 的输出端应外接示波器作显示。

将双脉冲发生器的时间间隔设定到 100 μs ,测出双脉冲的偏转值 A_{100} ,这代表无叠加的情况,随后,时间间隔从 100 μs 到 0.2 μs ,测出不同时间间隔 t 时的最大偏转值 A_t 。特别注意发生正、负叠加的区域,画出 $A_t/A_{100}-t$ 函数曲线,即得到双脉冲图。图 7~9 为图例。从图中,在开始的正叠加部分定出 $A_t/A_{100}=1.4$ 时的 t_k 。定出 t_1 和 t_2 ,在该区域 $A_t/A_{100}\leq 1.0$,为负叠加区域。考虑到测量误差,幅值最大至 -10% 的负叠加区域可以忽略。

应用公式 $l=0.5\cdot t\cdot v$ 计算,电缆长度 l_k, l_1 和 l_2 就对应于 t_k, t_1 和 t_2 。式中 v 为平均传播速度,对大多数挤塑电缆的典型值在 150~170 m/ μs 范围内。测量传播速度的方法可用一校准脉冲注入一根无终端阻抗的电缆,测出入射和反射脉冲的时延再按已知电缆长度求得。 $l<l_k$ 的电缆长度可视为短电缆,它由双脉冲曲线定出,实际上 l_k 可小于 100 m,也可大于 1 000 m。在 $2l_1$ 和 $2l_2$ 之间的长度是禁区,对这种长度的电缆必须用终端阻抗法来试验或改变试验回路的参数条件(例如 D, Z_A, C_k)以变更 l_1 和 l_2 至较适宜的数值。另一办法是将电缆两端连在一起,使该长度相当于 $2l_k$ 。

8 终端阻抗的要求

终端阻抗 Z_w 由 RC 或 RLC 元件构成(见图 4),其数值由经验公式计算确定。

a. RC 元件

对检测器的放大器截止频率小于 2 MHz 时电容器 C_w 的数值(Z_w 的高压隔离电容)可按下式计算:

$$C_w \geq 0.5 \cdot \frac{1}{R_w \cdot f_m} \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

对检测器的放大器截止频率大于 2 MHz 时:

$$C_w \geq \frac{3T_i}{R_w} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: R_w ——终端阻抗的电阻元件(大致符合电缆的特性阻抗);

f_m ——检测仪器的平均测量频率(频率上限和下限的算术平均值);

T_i ——初始局部放电脉冲的时延(一般小于 0.2 μs)。

可用下述的测量来证明 C_w 的适用性;先将 RC 元件并联跨接在试样远端,同时将 C_w 短接, R 调整到符合电缆特性阻抗,此后将校准器也接到试样远端测得偏转值 a_2 ,再将 C_w 的短接线取下,在同样的

放大倍率下和接入 C_w 的情况下所测得偏转值 a_3 与 a_2 的差值不应超过 a_2 的 $\pm 15\%$ 范围。

b. RLC 元件(串联谐振线路)

电容器 C_w 的数值可按下式计算:

$$C_w \geq \frac{\Delta f}{2\pi \cdot f_m^2 \cdot R_w} \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中: R_w ——终端阻抗的电阻元件(大致符合电缆的特性阻抗);

f_m ——检测仪器的平均测量频率(频率上限和下限的算术平均值);

Δf ——检测仪器的频带宽度(频率上限减去下限)。

$$L_w = \frac{1}{(2\pi \cdot f_m)^2 \cdot C_w} \quad (\text{H}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

可用下述的测量来证明,在各测量频率下谐振线路的适用性先不用终端阻抗,而用一符合电缆特性阻抗的电阻,并联连接在试样远端,将校准器也接在试样远端,测得偏转值 a_2 ,此后将电阻取下,换上 RLC 组成的终端阻抗,在同样的放大倍率下测得的偏转值 a_3 与 a_2 的差值不应超过 a_2 的 $\pm 15\%$,在测量频率下,终端阻抗中的欧姆成分应符合电阻 R_w 。

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由机械电子工业部上海电缆研究所归口。

本标准由机械电子工业部上海电缆研究所等起草。

本标准主要起草人张兆焕、范作义。

本标准于 1983 年首次发布,于 1994 年 5 月第一次修订。