

「开关保护设备」

高压断路器近区故障试验方法的评述

文/辽宁高压电器产品质量检测有限公司 赵靖波

介绍了高压交流断路器近区故障试验的多种试验线路及其试验条件，并比较了各自的优缺点。根据本试验站的设备条件，选取了便于实施的合成回路，并计算了126 kV级试验回路参数，对相应的TRV波形进行了仿真，其结果符合预期要求，故可以实施。

近区故障是指发生在架空线上距断路器几百米到几千米处的短路故障，故障点与断路器之间线路的工频阻抗不大，不足以使短路电流明显降低，但是由于架空线短线阻抗的接入，线路侧电压经过波的折射与反射形成一系列的锯齿波，该锯齿波与电源侧瞬态恢复电压波形叠加，促使断路器开断后断口间瞬态恢复电压起始上升速度陡增，增加了断路器的开断难度，因此，近区故障开断试验成为高压交流断路器型式试验必检项目。

近区故障试验参数的确定

近区故障开断试验，在试验室采用单相合成试验回路，试品一端接地，试验条件偏严，但已征得制造厂家同意。

1. 试验条件

依据GB 1984—2003对近区故障开断试验的相关规定，试品必须满足以下试验条件下的成功开断，才算试验成功，否则视为试验失败。

1) 近区故障开断电流与额定短路电流 I 关系。

试验方式	试验电流/kA
L90	$0.9I$
L75	$0.75I$
L60	$0.6I$

2) 试验电压为 $U/\sqrt{3}$ ， U 为试品额定电压。

3) 试验操作顺序与燃弧时间。

第一次有效开断操作为单分“0”，验证在尽可能短的燃弧时间时的开断，所产生的燃弧时间

被称为最短燃弧时间 t_{arcmin} ，第二次有效开断操作重合闸“0-C0”，验证在最长燃弧时间时的开断性能。要求的最长燃弧时间 $t_{arcmax} = t_{arcmin} + 9\text{ ms}$ ，第三次有效开断操作合分“C0”，验证在燃弧时间近似等于第一次和第二次有效开断操作燃弧时间的平均值时的开断。该燃弧时间称为中燃弧时间 $t_{arcmed} = (t_{arcmin} + t_{arcmax})/2$ 。

近区故障试验回路

近区故障试验采用的是单相合成试验方法，试验线路如图1所示，短路电流由电流回路提供，恢复电压由电压回路提供，人工链路与电压回路是串接在一起，在引入电流阶段，人工链路和电压回路的电流感过引入电流；在恢复电压阶段，人工链路和电压回路又成为两个彼此独立的部分，引入电流第一次趋近零时，电压回路调频支路上的电压不是零值，而是具有与人工链路相等的电压值，为了使合成试验等价，它们都要满足

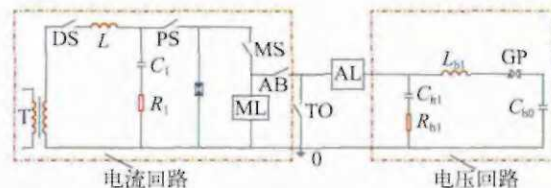


图1 近区故障试验回路

T—变压器 DS—隔离开关 PS—保护开关
L—电抗器 C—电容器 ML—延弧电流投入装置
MS—避雷器 AB—辅助开关 AL—人工链路
TO—被试品 GP—点火球隙 R—电阻

IEC标准相关规定的要求。

1. 电压回路参数的计算方法

依据IEC标准,利用合成试验代替直接试验必须满足合成试验引入电流趋零时的斜率应与直接试验短路电流趋零时的斜率相等,即

$$\left. \frac{di_{sc}}{dt} \right|_{i_{sc}=0} = \left. \frac{di_D}{dt} \right|_{i_D=0} \quad (1)$$

式中, di_{sc}/dt 为合成试验引入的电流斜率; di_D/dt 为直接试验电流斜率。

近区故障直接试验短路电流趋零时的斜率为

$$\left. \frac{di_D}{dt} \right|_{i_D=0} = \sqrt{2} \times 2 \times \pi \times f \times I_L = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{U}{L_D} \quad (2)$$

式中, $L_D = \frac{U}{\sqrt{3} \times 2 \times \pi \times f \times I_L}$; U 为断路器最高工作电压, kV; I_L 为近区故障开断电流, kA; L_D 为直接试验时线路总电感, mH; f 为断路器额定频率, Hz。

当引入电流第一次过零时,设主电容 C_{h0} 电压为 U_c , 则

$$U_c = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} \times U \times [1 - (1-A) \times (1 - \frac{I_L}{I})]}{A}$$

式中, A 为电压分配系数; I 为额定短路开断电流, kA。

所以合成试验引入电流趋零时的斜率为

$$\left. \frac{di_{sc}}{dt} \right|_{i_{sc}=0} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} \times U \times [1 - (1-A) \times (1 - \frac{I_L}{I})]}{L_s \times A}$$

式中, L_s 为电压回路电感与人工链路总电感之和, 那么

$$L_s = \frac{L_D \times [1 - (1-A) \times (1 - \frac{I_L}{I})]}{A}$$

主电容

$$C_{h0} = \frac{1}{(2 \times \pi \times f_h)^2 \times L_{h1}}$$

调频电容

$$C_{h1} = \frac{C_{h0} \times (1-A)}{A}$$

调频电阻

$$R_{h1} = -4 \times f_h \times L_{h1} \times I_0(k-1)$$

式中, f_h 为高频频率; L_{h1} 为电压回路限流电感; k 为电压回路振幅系数, 一般取 1.4。

几种常用人工链路的原理结构及链路参数的计算方法

1. 均匀阻尼 π 形链路简介及计算方法

(1) 均匀阻尼 π 形链路简介

该链路如图2所示,每一支路都串有电阻,电阻消耗电流切断时储存链路的能量,使峰值系数满足国标规定 $K=1.6$,其链路侧恢复电压起始部分时延非常小,三角波线性度比较好,三角波数量少,对于额定电压 363 kV 及以下,短路电流 50 kA 及以下的试验线路,一般 4 个链就能调出满足标准的 TRV 波形,但此链路装置最好做成移动小车式,试验时,尽量缩短人工链路与被试样品之间引线的长度,否则试验时会给 TRV 波形带来不利的影响,另外,从链路装置性价比(成本)上讲,额定电压等级 363 kV 及以下近区故障试验,采用均匀阻尼 π 型链路较为合适。

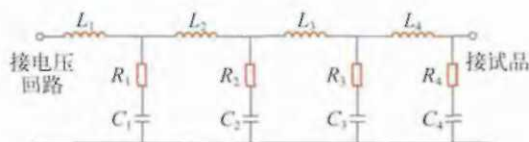


图2 均匀阻尼 π 形链原理图

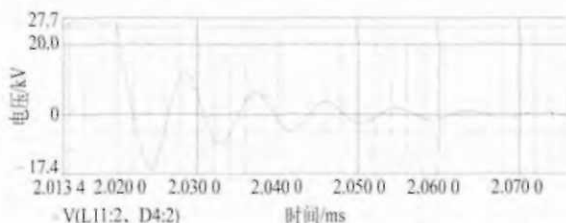


图3 均匀阻尼 π 形链 126 kV/40 kA 链路恢复电压仿真波形 (峰值系数 1.6)

(2) 均匀阻尼 π 形链路计算方法

链路总电感

$$L = \frac{L_D}{K / (K_1 \times (1-a)) - 1}$$

式中, K 为峰值系数标准值; K_1 为模拟线路固有的峰值系数; $a = I_L/I$ 为近区故障开断电流系数; L_D 为直接试验时线路总电感。以图2为参考,链路各个链的电感值为 $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L/4$ 。

链路的总电容为

$$C = \frac{L}{Z^2}$$

式中, Z 为波阻抗, 450 Ω ; 各链路的电容为 $C_4 = C/8$, $C_1 = C_2 = C_3 = C/4$; 各链路的电阻为 $R_4 =$

450 Ω , $R_1=R_2=R_3=225 \Omega$ 。

2. 串联振荡链路简介及计算方法

(1) 串联振荡链路简介

如图4所示, 串联振荡链路结构简单, 但是链数较多, 需要很大的空间摆放, 不易移动, 而且电压等级越高, 链数越多, 对于额定电压252 kV及以下的试验回路, 串联5个链才能得到满意的三角波, 减少链的数目会使人工链路上产生的三角波波峰变圆, 链路侧TRV的起始时延增大, 如果再加上接入链路入口侧测量用分压器的固有电容, 引线套管的电容的影响, 链路侧TRV波形很难满足近区故障线路特性IEC标准值的要求, 尽管三角波线性度比较好, 但三角波数量多, 峰值系数 k 高达1.84, 但是由于这种线路开发较早, 调试思路比较成熟, 故仍被采用。图5是在串联振荡链路各链串入等值电阻来消耗电流切断时储存链路的能量, 这样既减少了三角波数量, 峰值系数也会降低, 但三角波角波波峰变圆, 为满足IEC标准链路侧TRV波形, 很难调试, 另外, 增加电阻相当增加了试验设备, 需要一定的占地空间, 而且也增加了引线的数量和缩小了绝缘空间, 实际试验时可能对恢复电压波形产生不利的影响, 所以没有采用。

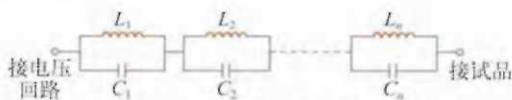


图4 串联振荡链路

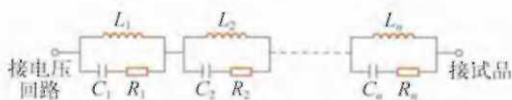


图5 均匀阻尼串联振荡链路

(2) 串联振荡链路参数计算方法

链路总电感

$$L = \frac{K}{K_1} \times (1-a) \times L_0$$

式中, K 为峰值系数标准值; K_1 为模拟线路固有的峰值系数; $a=I_L/I$ 为近区故障开断电流系数; L_0 为直接试验时线路总电感。以图4为参考, 链路各个链 ($n=5$) 的电感值为

$$L_1 = \frac{8L}{0.994\pi^2}, L_2 = \frac{L_1}{9}, L_3 = \frac{L_1}{25}, L_4 = \frac{L_1}{9}, L_5 = \frac{L_1}{81}$$

链路各个链 ($n=5$) 的电容值为

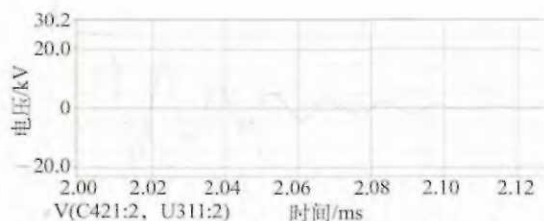


图6 均匀阻尼串联振荡链路126 kV/40 kA链路恢复电压仿真波形 (峰值系数1.7)

$$C_1=C_2=C_3=C_4=C_5 = \frac{1}{(2 \times \pi \times f_L)^2 \times L_1}$$

式中, f_L 为基波频率, GB 1983—2004已经给出计算方法, 这里从略。

3. 人工数学链链路简介及计算方法

(1) 人工数学链链路简介

数学链是一种新型链路, 是由荷兰KEMA试验室研究成功的, 其原理和结构区别于 π 形链路与串联振荡链路, 从图7可以看出, 它是由电容、电感和电阻的串并联组成, 通过元件参数数值的匹配来满足近区故障线路特性IEC标准值的要求, 这种链路和另两种链路相比, 体积小, 只有六七十个元件组成, 可以把它安装在一个小车上, 方便移动, 大大提高了在进行近区故障试验中被试断路器接线的灵活性, 同时也缩短了人工链路与被试断路器的引线距离, 但是值得注意的是由于 L_1 、 L_2 、 C 、 C_2 和 R 等设备的数值较小, 设计上应尽可能减少它们之间的杂散电容对TRV波形的影响, L 作为此链路的主电抗器, 它是由多个小电抗器组成, 它们线圈之间杂散电容客观存在, 加上接入链路入口侧测量用分压器的固有电容, 引线套管的电容的影响, 链路侧的锯齿波形不一定符合标准要求, 所以试验前必须在低电压下进行线路调试, 调整元件参数使其满足标准要求预期波形。

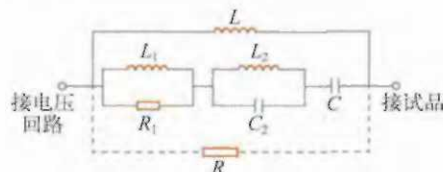


图7 人工数学链

但人工链路装置造价较高, 对于额定电压等级550 kV及以上的近区故障试验较为实用。

(2) 人工数学链链路参数计算方法

以图7为例, 链路电感

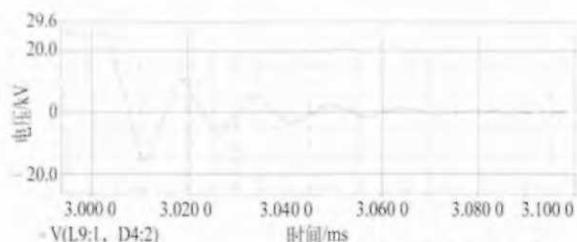


图8 人工数学链126 kV/40 kA链路恢复电压仿真波形
(峰值系数1.6)

$$L = \frac{U_0}{\sqrt{2} \times 2 \times \pi \times f \times I_L}$$

式中, U_0 是合成试验引入电流第一次过零瞬间, 模拟线路上的初始电压, 计算方法GB 1984—2003已给出, 这里从略; $f=50$ Hz为工频频率; I_L 为近区故障电流; $L_1=0.145L$, $L_2=0.0725L$ 。

电容

$$C = \frac{L}{3Z^2}$$

式中, Z 为波阻抗450 Ω ; 电容 $C_2=2C$; 电阻 $R_1=Z$; 电阻 R 为调节链路峰值系数的电阻, 一般取3 200 Ω 。

结束语

近区故障试验是电压等级72.5 kV及以上用于架空线上的断路器型式试验必检项目, 人工链路和电压回路设备参数是决定近区故障试验对断路器考核难易程度关键, 为了更好地模拟实际工况, 提出了三种人工链路线接方法, 并且进行了比较, 虽然本人对均匀阻尼 π 形链路和数学链路只是进行了理论计算, 建模仿真, 并没有进行实际调试, 但是根据对串型振荡链路及其他合成试验建模经验, 可以调出满足标准要求的近区故障试验线路。EA

(收稿日期: 2014.12.25)

[责任编辑: 刘群彦]

(上接第74页)

紧固导体连接的螺栓。第三, 定期进行高压预防性试验。

4. 电动机的预防性维护

目前, 我国生产企业的动力源主要是电动机, 随着我国工业自动化的进一步发展, 电动机的使用数量越来越大, 同时, 由于电动机具有受负载能力大等优势而得到了广泛的应用。因而对电动机进行必要的维护显得至关重要。为了减少电气设备出现安全事故, 应该对电动机进行预防性维护, 一般包括以下几个方面, 第一, 检查电动机是否存在振动, 及时更换电动机的轴承等主要元件, 做好电动机的润滑工作。第二, 检查电动机的运转情况, 采用转速测量仪测量其转速。第三, 对电动机外壳的也需要进行监测, 以保证电动机的使用温度不超过正常的范围。第四, 对电动机的运行电流进行测量, 一旦出现电流高于额定电流的情况时, 就需要及时进行停产检查。

5. 电气控制柜的预防性维护

电气设备的控制柜一般安装在车间里面, 车间的环境对电气设备的影响很大, 因此, 应该做

好电气控制柜的预防性维护工作。加强对车间控制柜的预防性维护能够减少停产率, 从而提高生产效率。一般电气设备控制柜的预防性维护工作包括以下几个方面, 第一, 做好清洁工作, 做好清洁工作的作用很大, 主要是由于电气设备的很多故障都是由于积尘引起的。第二, 定期对电气设备控制柜的螺钉进行紧固处理, 由于温度的变化和机械的振动等, 很容易造成电气设备控制柜的螺钉出现松动等问题。第三, 检查电气设备控制柜在运行过程中是否出现异常响声等问题。第四, 检查电气设备控制柜的温度是否正常。主要是采用红外测温仪检测元件的温度, 一旦发现异常应该及时进行处理。

结束语

电气设备的维护和管理工作是电气设备预防性维护工作中的重点, 用以确保电气设备的预防性维护工作得到全面的进步, 并推动我国电气设备的不断发展。因此, 现阶段研究电气设备预防性日常维护的重要性具有非常重大的现实意义。EA

(收稿日期: 2014.12.25)

[责任编辑: 刘群彦]