



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102967826 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 13

(21) 申请号 201210435428. X

(22) 申请日 2012. 11. 05

(73) 专利权人 中国电力科学研究院  
地址 100192 北京市海淀区清河小营东路  
15 号  
专利权人 国家电网公司

(72) 发明人 杨堃 宋杲 崔博源 李炜  
和彦淼 王承玉

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有  
限公司 11271  
代理人 徐国文

(51) Int. Cl.  
G01R 31/327(2006. 01)

(56) 对比文件  
CN 102253333 A, 2011. 11. 23,  
CN 201528205 U, 2010. 07. 14,  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫  
总局、中国国家标准化管理委员会. 高压交流  
断路器的合成试验. 《中华人民共和国国家标  
准》. 2008, 第 7-15, 48-58, 79 页.

黄实 等. 特高压断路器容性电流开合试验  
方法研究. 《高压电器》. 2007, 第 43 卷 (第 1 期),  
第 32-34, 39 页.

裴振江 等. 一种新的特高压断路器合成试  
验回路. 《中国电机工程学报》. 2007, 第 27 卷 (第  
33 期), 第 65-69 页.

审查员 贾奇峰

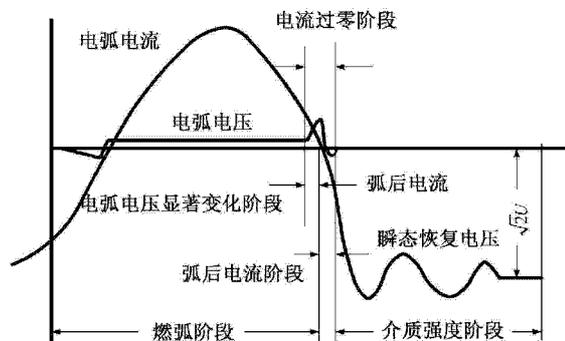
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿  
命试验方法

(57) 摘要

本发明提供一种特高压工程用投切电容器组  
断路器电寿命试验方法,通过 ATP 仿真验证,试验  
结果符合标准及特高压工程对投切电容器组试验  
的各项要求,并且,利用合成回路和 LC 振荡回路  
进行试验,不但降低了试验站对试验装备的过载  
投入,也降低了长时间、大数量的电寿命试验带  
来的设备安全风险。



1. 一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法,其特征在于:所述方法包括以下步骤:

步骤 1:进行 T60 预备试验;

步骤 2:进行关合涌流试验;

步骤 3:进行容性电流开断试验;

步骤 4:采用合成试验方式循环进行关合涌流试验和容性电流开断试验;

所述步骤 1 中,在额定气压下,进行 3 次 T60 开断试验,所述 T60 开断试验的电流为 60% 额定短路电流,燃弧时间符合国家标准中 T60 试验要求,并且对于恢复电压不做要求;

所述步骤 2 中,采用 LC 振荡回路进行至少 120 次关合涌流试验;

关合涌流试验中,试验电压与额定容性电流开断试验单相直接试验电压相同;涌流峰值和频率由被试断路器要求决定,涌流预期阻尼系数大于或等于 0.85;

所述步骤 3 中,通过电流引入回路进行容性电流开断试验;

所述电流引入回路中,电流源提供电流过零前的大电流,电压源在电流过零前已经作用在断路器  $S0'$  上,电压源同时提供部分电流;

电流过零时,电压源提供的恢复电压立即自动作用在断路器  $S0'$  上;具体过程为:试验前,辅助断路器  $S1$  处于分闸位置,断路器  $S0'$  处于合闸位置,关合辅助断路器  $S1$ ,断路器  $S0'$  有电流  $I_c$  流过,令辅助断路器  $S1$  与断路器  $S0'$  开断,进而产生电弧,电弧在电流过零时熄灭,恢复电压自动加到断路器  $S0'$  上;

所述容性电流开断试验包括以下步骤:

步骤 A:进行 120 次额定容性电流开断试验;

步骤 B:进行 8 次 10 ~ 40% 额定容性电流开断试验;

步骤 C:重复步骤 A 和步骤 B 的试验;

所述 LC 振荡回路包括依次串联的充电电容  $C1$ 、放电电感  $L1$  和断路器  $S0$ ;LC 振荡回路将充电电容  $C1$  进行充电后,关合断路器  $S0$ ,充电电容  $C1$  经过放电电感  $L1$  进行放电,产生高频振荡电流,选择电容和电感,即得到所需的断路器电流;

在额定容性电流开断试验中,共计 120 个开断关合操作,其中,12 个开断关合操作分布在一个步长  $15^\circ$  的极性上,42 个开断关合操作在一个极性上的最短燃弧时间内,12 个开断关合操作分布在另一个步长  $15^\circ$  的极性上,42 个开断关合操作在另一个极性上的最短燃弧时间内,其余开断关合操作均匀分布,合闸操作都为空操作,脱扣器为最高电压,灭弧室为额定压力,  $6^\circ$  步长为最短燃弧时间;

所述 10 ~ 40% 容性电流开断试验中,共计 48 个关合操作,其中,12 个关合操作分布在一个步长  $15^\circ$  的极性上,6 个关合操作在一个极性上的最短燃弧时间内,12 个关合操作分布在另一个步长  $15^\circ$  的极性上,6 个关合操作在另一个极性上的最短燃弧时间内,其余关合操作均匀分布,脱扣器为最高电压,灭弧室为最低功能压力,  $6^\circ$  步长为最短燃弧时间;对于所有的电容器组关合操作,关合应发生在外施电压峰值  $\pm 15^\circ$  内,关合电流至少应等于背对背电容器组关合涌流,背对背电容器组开合试验时涌流的预期阻尼系数,即同一极性的第二个峰值与第一个峰值的比值应等于或大于 0.85;

所述投切电容器组断路器电寿命试验的试验电流应根据被试断路器要求开断的背对背电容器组电流,分别施加额定容性电流,以及根据试验方法施加 10 ~ 40% 额定容性电

流；试验电压为被试断路器额定相电压与阻尼系数的乘积，电源回路应能够根据断路器动作分别提供电压和电流，其中，电源回路提供工频电压的变化在进行额定容性电流开断试验时应小于 2%，在进行 10 ~ 40% 额定容性电流开断试验时应小于 5%；电源回路阻抗不低至使其短路电流超过断路器额定短路开断电流，回路的电容以及电源侧的电容和负载侧的电容之间的阻抗，应使得在 100% 额定背对背电容器组开断电流试验时达到额定电容器组关合涌流。

## 一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于特高压工程用开关设备试验领域,具体涉及一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法。

### 背景技术

[0002] 特高压电网送电功率变化大、无功电压控制问题十分突出,投切主变三次侧的电容器组是控制系统电压的重要手段。特高压交流试验示范工程无功补偿电容器组电压高、容量大,系统计算提出,荆门和晋东南特高压变电站要求投切电容器组断路器额定电压 145kV,额定电容器组开断电流 1600A。另外,特高压系统电容器组断路器作为电容器组投切的主要手段,投切电容器组频率高,日频次可高达 3~4 次,对电寿命提出了很高的要求,而现有产品普遍存在电寿命严重不足的问题。我国特高压交流试验示范工程中使用中的电容器组断路器电寿命摸底试验验证电寿命不到 1000 次,不能满足特高压工程需要。电容器组断路器电寿命不足时可能发生重击穿,产生重击穿过电压,威胁电容器组设备安全,而对此过电压尚缺乏有效的保护手段,所以可能对特高压系统安全运行产生严重威胁。随着特高压电网的发展,电容器组断路器电寿命不足的影响将愈加显著,所以急需开展高寿命电容器组断路器的研制、试验验证及工程应用。而针对特高压工程的特殊需求,世界上尚未进行过如此高寿命电容器组断路器的试验验证。

[0003] 特高压交流变电站内主变高、中压侧电压处于不同运行水平时,第三绕组投入容性无功补偿时,第三绕组电压也在不同的水平。若第三绕组电压超过最高运行电压,无功补偿设备将不能投入运行。因而,以第三绕组最高运行电压为标准,计算得出的无功补偿容量是衡量主变无功补偿能力的最直接指标。

[0004] 表 1 为主变第三绕组投入 1500Mvar 容性无功补偿时第三绕组的电压特性,备注栏为若第三绕组电压超过最高运行电压,允许投入的最大容性无功补偿量。主变中压侧分接头在最大位置时,高压侧电压在 1000~1100kV,中压侧电压在 500~550kV 时,投入 1500Mvar 容性无功补偿时第三绕组电压均不会超过最高运行电压 126kV。随着主变分接头位置的降低,第三绕组电压将升高,某些情况下电压会超过最高运行电压,如中压侧分接头在中间位置时,若中压侧电压为 550kV,则第三绕组电压在 128.9~130kV 之间,这种情况下只能允许投入 1000Mvar 的容性无功补偿。若主变分接头在最小位置,允许投入的容性无功补偿容量进一步降低,最低为 270Mvar。可见,该方案下某些运行方式下,低压侧无功补偿能力将受限,最严重时只能投入 270Mvar 容性无功补偿。主变最大容性无功补偿容量范围为 270~1500Mvar,实际运行中可根据系统运行条件合理配置分接头位置,从而保证第三绕组能够实现满容量无功补偿。

[0005] 表 1

[0006]

变比 (kV)	1000kV 侧 电压 (kV)	500kV 侧 电压 (kV)	110kV 侧 电压 (kV)	备注(允许最大补偿) Mvar
1050/551.25/110	1100	550	123.31	
	1000	550	124.50	
	1100	500	113.50	
	1000	500	114.66	
1050/525/110	1100	550	128.86	1150
	1000	550	130.05	1000
	1100	500	118.45	
	1000	500	119.62	
1050/498.75/110	1100	550	135.04	410
	1000	550	136.24	270
	1100	500	123.98	
	1000	500	125.16	

[0007] 特高压交流试验示范工程中,110kV 侧无功补偿装置采用不接地方式,采用该方式运行可靠性更高。对于无功补偿电容器组,避雷器安装位置通常有两种方式,一种是避雷器安装在并联电容器组的端对地之间,简称 MOA 方式 A,如图 1, ;另一种是避雷器安装在并联电容器串抗的端对地之间,简称 MOA 方式 B。如图 2 所示。特高压交流试验示范工程中采用 MOA 方式 A,该方式能够降低电容器组过电压保护水平。

[0008] 通过对无功补偿装置的各种运行方式进行系统计算,结合实际情况,投切电容器组断路器技术参数如表 2 所示。

[0009] 表 2

序号	名称	单位	参数要求	
3	额定电压	kV	145	
6	额定短路开断电流	交流分量有效值	kA	40
		时间常数	ms	45
		开断次数	次	20
7	额定短路关合电流	kA	100	
17	机械稳定性	次	≥3000	
22	开合背对背电容器能力	试验电压	kV	$1.4 \times 145 / \sqrt{3}$
		试验电流	A	1600

[0010]

序号	名称	单位	参数要求
[0011]	关合涌流	kA	20
	涌流频率	Hz	4250
	操作顺序	C1 级	BC1:24×0 BC2: 24×C0
	开合并联电容器时是否重击穿		无重击穿

[0012] 投切电容器组断路器开断电容器组电流过程中恢复电压高,持续时间长,容易出现重击穿产生过电压,对无功补偿装置和系统绝缘构成严重威胁,由于投切电容器组断路器动作比较频繁,所以要求很低的重击穿概率(C1级)。投切电容器组断路器要关合高幅值、高频涌流,幅值比电容器正常工作电流大几倍至几十倍,频率可达几千赫兹,容易造成触头熔焊、烧损、零件损坏及绝缘损伤等。涌流以背对背电容器组关合时最为严重,由于电容器组间安装位置较近,其间电感很小,所以投入电容器组时,已投入电容器组会向拟投入电容器组充电,产生幅值和频率都很高的涌流。所以断路器的电容器组电流开合性能验证非常重要,事关开关性能,对系统安全运行具有重要影响。

### 发明内容

[0013] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法,通过 ATP 仿真验证,试验结果符合标准及特高压工程对投切电容器组试验的各项要求,并且,利用合成回路和 LC 振荡回路进行试验,不但降低了试验站对试验装备的过载投入,也降低了长时间、大数量的电寿命试验带来的设备安全风险。

[0014] 为了实现上述发明目的,本发明采取如下技术方案:

[0015] 提供一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法,所述方法包括以下步骤:

[0016] 步骤 1:进行 T60 预备试验;

[0017] 步骤 2:进行关合涌流试验;

[0018] 步骤 3:进行容性电流开断试验;

[0019] 步骤 4:采用合成试验方式循环进行关合涌流试验和容性电流开断试验。

[0020] 所述步骤 1 中,在额定气压下,进行 3 次 T60 开断试验,所述 T60 开断试验的电流为 60% 额定短路电流,燃弧时间符合国家标准中 T60 试验要求,并且对于恢复电压不做要求。

[0021] 所述步骤 2 中,采用 LC 振荡回路进行至少 120 次关合涌流试验。

[0022] 关合涌流试验中,试验电压与额定容性电流开断试验单相直接试验电压相同;涌流峰值和频率由被试断路器要求决定,涌流预期阻尼系数大于或等于 0.85。

[0023] 所述 LC 振荡回路包括依次串联的充电电容 C1、放电电感 L1 和断路器 S0;LC 振荡回路将充电电容 C1 进行充电后,关合断路器 S0,充电电容 C1 经过放电电感 L1 进行放电,产生高频振荡电流,选择电容和电容,即得到所需的断路器电流。

[0024] 所述步骤 3 中,通过电流引入回路进行容性电流开断试验。

[0025] 所述电流引入回路中,电流源提供电流过零前的大电流,电压源在电流过零前已

经作用在断路器 S0' 上,电压源同时提供部分电流。

[0026] 电流过零时,电压源提供的恢复电压立即自动作用在断路器 S0 上;具体过程为:试验前,辅助断路器 S1 处于分闸位置,断路器 S0' 处于合闸位置,关合辅助断路器 S1,断路器 S0' 有电流  $I_c$  流过,令辅助断路器 S1 与断路器 S0' 开断,进而产生电弧,电弧在电流过零时熄灭,恢复电压自动加到断路器 S0' 上。

[0027] 所述容性电流开断试验包括以下步骤:

[0028] 步骤 A:进行 120 次额定容性电流开断试验;

[0029] 步骤 B:进行 8 次 10 ~ 40% 额定容性电流开断试验;

[0030] 步骤 C:重复步骤 A 和步骤 B 的试验。

[0031] 在额定容性电流开断试验中,共计 120 个开断关合操作,其中,12 个开断关合操作分布在一个步长  $15^\circ$  的极性上,42 个开断关合操作在一个极性上的最短燃弧时间内,12 个开断关合操作分布在另一个步长  $15^\circ$  的极性上,42 个开断关合操作在另一个极性上的最短燃弧时间内,其余开断关合操作均匀分布,合闸操作都为空操作,脱扣器为最高电压,灭弧室为额定压力, $6^\circ$  步长为最短燃弧时间。

[0032] 所述 10 ~ 40% 容性电流开断试验中,共计 48 个关合操作,其中,12 个关合操作分布在一个步长  $15^\circ$  的极性上,6 个关合操作在一个极性上的最短燃弧时间内,12 个关合操作分布在另一个步长  $15^\circ$  的极性上,6 个关合操作在另一个极性上的最短燃弧时间内,其余关合操作均匀分布,脱扣器为最高电压,灭弧室为最低功能压力, $6^\circ$  步长为最短燃弧时间;对于所有的电容器组关合操作,关合应发生在外施电压峰值  $\pm 15^\circ$  内,关合电流至少应等于背对背电容器组关合涌流,背对背电容器组开合试验时涌流的预期阻尼系数,即同一极性的第二个峰值与第一个峰值的比值应等于或大于 0.85。

[0033] 所述投切电容器组断路器电寿命试验的试验电流应根据被试断路器要求开断的背对背电容器组电流,分别施加额定容性电流,以及根据试验方法施加 10 ~ 40% 额定容性电流;试验电压为被试断路器额定相电压与阻尼系数的乘积,电源回路应能够根据断路器动作分别提供电压和电流,其中,电源回路提供工频电压的变化在进行额定容性电流开断试验时应小于 2%,在进行 10 ~ 40% 额定容性电流开断试验时应小于 5%;电源回路阻抗不低至使其短路电流超过断路器额定短路开断电流,回路的电容以及电源侧的电容和负载侧的电容之间的阻抗,应使得在 100% 额定背对背电容器组开断电流试验时达到额定电容器组关合涌流。

[0034] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:本发明提供一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法,通过 ATP 仿真验证,试验结果符合标准及特高压工程对投切电容器组试验的各项要求,并且,利用合成回路和 LC 振荡回路进行试验,不但降低了试验站对试验装备的过载投入,也降低了长时间、大数量的电寿命试验带来的设备安全风险。

## 附图说明

[0035] 图 1 是现有技术中避雷器安装 MOA 方式 A 示意图;

[0036] 图 2 是现有技术中避雷器安装 MOA 方式 B 示意图;

[0037] 图 3 是断路器开断过程中的电流和电压波形图;

[0038] 图 4 是 LC 震荡回路接线原理图;

[0039] 图 5 是合成试验回路接线原理图。

### 具体实施方式

[0040] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0041] 提供一种特高压工程用投切电容器组断路器电寿命试验方法,所述方法包括以下步骤:

[0042] 步骤 1:进行 T60 预备试验;

[0043] 步骤 2:进行关合涌流试验;

[0044] 步骤 3:进行容性电流开断试验;

[0045] 步骤 4:采用合成试验方式循环进行关合涌流试验和容性电流开断试验。

[0046] 由图 3 可以看出,电弧熄灭以前,弧隙上的电压很低,主要为线路阻抗上的压降;电流过零前后,电流很小,但过零后加在弧隙上的恢复电压很高。可见断路器在开断过程中,大电流和高电压并不同时出现在弧隙上。

[0047] 所述步骤 1 中,在额定气压下,进行 3 次 T60 开断试验,所述 T60 开断试验的电流为 60% 额定短路电流,燃弧时间符合国家标准中 T60 试验要求,并且对于恢复电压不做要求。

[0048] 所述步骤 2 中,采用 LC 振荡回路进行至少 120 次关合涌流试验。

[0049] 关合涌流试验中,试验电压与额定容性电流开断试验单相直接试验电压相同;涌流峰值和频率由被试断路器要求决定,涌流预期阻尼系数大于或等于 0.85。

[0050] 如图 4,所述 LC 振荡回路包括依次串联的充电电容 C1、放电电感 L1 和断路器 S0;LC 振荡回路将充电电容 C1 进行充电后,关合断路器 S0,充电电容 C1 经过放电电感 L1 进行放电,产生高频率振荡电流,选择电容和电感,即得到所需的断路器电流。

[0051] 被试断路器额定电压:  $U_r = 145 \text{ kV}$

[0052] 试验电压:  $U_s = k_{pp} \frac{145 \text{ kV}}{\sqrt{3}}$

[0053] 额定背对背电容器组开断电流:  $I = 1600 \text{ A}$

[0054] 恢复电压:  $U_c = U_s \times \sqrt{2} \times 1.95$

[0055] 预期涌流阻尼系数:  $k \geq 0.85$

[0056] 高压合成回路是一种用于高压断路器开断能力试验的经济有效的试验方法,全部电流或者大部分电流从一个电源(电流回路)获得,而外施电压和/或恢复电压(瞬态的和工频的)全部或部分从另一个或多个独立的电源(电压回路)获得。合成试验法在进行断路器短路电流开断试验时,采用两套相对独立的电源,由低压大电流源构成短路电流回路,简称电流源;由小电流高电压电源构成电压回路,简称电压源。用以上两个电源代替单独的高电压、大电流电源,并由同步控制装置在电流过零区进行合成。

[0057] 合成回路的电流源可以直接取自电网,也可以是冲击发电机或振荡回路,电压源一般采用振荡回路。合成回路虽然需要两套电源,但是每套电源的容量都相对较小,设备投资比直接试验小很多,而且合成试验的等价性已经得到公认,并在相关的 IEC 标准和国家标准中明确体现。

[0058] 合成试验方法主要分为两大类型:

[0059] (1)电压引入回路。电流源提供电流过零前的大电流以及电流刚过零时的高电压,

电压源提供紧随其后的高电压。

[0060] (2)电流引入回路。电流源提供电流过零前的大电流,电压源在电流过零前已经作用在被试断路器上,电压源也提供部分电流。电流过零时,电压源提供的恢复电压立即自动作用在被试断路器上。

[0061] 由于电流过零前几百微秒时电弧电阻大,由于电流源的电压较低,电流难以保持正弦形状而出现一定的畸变。只有在电流过零前几百微秒时就让电压源投入工作才能保证被试断路器的电弧过程与实际电网中的开断过程基本一致,因此,电流引入回路的等价性更好。

[0062] 所述步骤 3 中,通过电流引入回路进行容性电流开断试验。

[0063] 如图 5,其中,  $I_c$  为电流源,  $U_v$  为电压源,  $L_c$  为电流回路电抗器,  $L_v$  为电压回路电抗器,  $C_c$  为电流回路电容器,  $C_v$  为电压回路电容器  $S_1$  为电流回路辅助断路器,  $S_0'$  为断路器。电流引入回路中,电流源提供电流过零前的大电流,电压源在电流过零前已经作用在断路器  $S_0'$  上,电压源同时提供部分电流。

[0064] 电流过零时,电压源提供的恢复电压立即自动作用在断路器  $S_0$  上;具体过程为:试验前,辅助断路器  $S_1$  处于分闸位置,断路器  $S_0'$  处于合闸位置,关合辅助断路器  $S_1$ ,断路器  $S_0'$  有电流  $I_c$  流过,令辅助断路器  $S_1$  与断路器  $S_0'$  开断,进而产生电弧,电弧在电流过零时熄灭,恢复电压自动加到断路器  $S_0'$  上。此回路为并联电流引入,被试断路器流过的电流会发生很小的畸变,对试验的等价性影响很小。为防止过多影响工频电流的波形,引入电流的频率最好在 500Hz 左右,下限为 250Hz,上限为 1000Hz。

[0065] 断路器  $S_0'$  额定电压:  $U_r=145kV$

[0066] 试验电压:  $U_s = k_{pp} \frac{145kV}{\sqrt{3}}$

[0067] 额定背对背电容器组开断电流:  $I = 1600A$

[0068] 电压回路电源电压:  $U_v = U_s$

[0069] 电流回路引入电流:  $I_c = (1-1/m)I$ , 其中  $m$  为规定的试验电流与电压回路提供的电流比值

[0070] 电流回路电容:  $C_c = (1-1/m)mn \times C_v$ , 其中  $n$  为规定的试验电压与电流回路提供的电压比值

[0071] 电压回路电感:  $L_v = U_v / 1600\omega \times \sqrt{2}$

[0072] 电流回路电感:  $L_c = 1/mn \omega^2 C_v$

[0073] 所述容性电流开断试验包括以下步骤:

[0074] 步骤 A:进行 120 次额定容性电流开断试验;

[0075] 步骤 B:进行 8 次 10 ~ 40% 额定容性电流开断试验;

[0076] 步骤 C:重复步骤 A 和步骤 B 的试验。

[0077] 在额定容性电流开断试验中,共计 120 个开断关合操作,其中,12 个开断关合操作分布在一个步长  $15^\circ$  的极性上,42 个开断关合操作在一个极性上的最短燃弧时间内,12 个开断关合操作分布在另一个步长  $15^\circ$  的极性上,42 个开断关合操作在另一个极性上的最短燃弧时间内,其余开断关合操作均匀分布,合闸操作都为空操作,脱扣器为最高电压,灭弧室为额定压力,  $6^\circ$  步长为最短燃弧时间。

[0078] 所述 10 ~ 40% 容性电流开断试验中,共计 48 个关合操作,其中,12 个关合操作分布在一个步长 15° 的极性上,6 个关合操作在一个极性上的最短燃弧时间内,12 个关合操作分布在另一个步长 15° 的极性上,6 个关合操作在另一个极性上的最短燃弧时间内,其余关合操作均匀分布,脱扣器为最高电压,灭弧室为最低功能压力,6° 步长为最短燃弧时间;对于所有的电容器组关合操作,关合应发生在外施电压峰值 ±15° 内,关合电流至少应等于背对背电容器组关合涌流,背对背电容器组开合试验时涌流的预期阻尼系数,即同一极性的第二个峰值与第一个峰值的比值应等于或大于 0.85。

[0079] 恢复电压

[0080] 根据 IEC 62271-100:2001 中 6.111.3 和 6.111.10 规定,开合时试验回路工频电压的变化,对试验方式 1 (BC1) 应小于 2%,对试验方式 2 (BC2) 应小于 5%。如果电压变化超过规定值,开合试验可以在预期恢复电压 (TRV) 满足下述要求的回路中进行:

[0081]  $u_c' \geq u_c$

[0082]  $t_2' \leq t_2$

[0083] 其中, $u_c$ 为恢复电压峰值, $u_c'$ 为恢复电压峰值暂态值, $t_2$ 为恢复电压时间, $t_2'$ 为恢复电压峰值暂态时间。

[0084]  $u_1$ 、 $t_1$ 、 $u_c$ 和  $t_2$ 规定值如表 3 所示。

[0085] 表 3

试验方式	与试验电压峰值有关的恢复电压值		时间值	
	$u_c$ p. u.	$u_1$ p. u.	$t_1$	$t_2$ 50 Hz
1	$\geq 1.98$	$\leq 0.02 \times k_{af}^*$	$\geq t_1$	8.7ms
2	$\geq 1.95$	$\leq 0.05 \times k_{af}^*$	(表 3-4 中出线端故障的规定值)	
* $k_{af}$ = 振幅系数 = 1.4				

[0086] 其中, $t_1$ 应参考额定电压 145kV 接地系统和不接地系统用四参数表示的瞬态恢复电压 (TRV) 标准值的规定,如表 4 所示。

[0088] 表 4

[0089]

额定电压 $U_r$ kV	试验方式	首开极系数 $k_{pp}$	振幅系数 $k_{af}$	第一参考电压 $u_1$ kV	时间 $t_1$ $\mu s$	TRV 峰值 $u_c$ kV	时间 $t_2$ $\mu s$	时延 $t_d$ $\mu s$	电压 $u'$ kV	时间 $t'$ $\mu s$	RRRV $u_1/t_1$ kV/ $\mu s$
145	出线端故障	1.3(接地)	1.4	154	77	215	231	2	77	41	2.0
		1.5(不接地)	1.4	178	89	249	267	2	89	47	2.0
	近区故障	1	1.4	118	59	166	177	2	59	32	2.0
	失步	2(接地)	1.25	237	154	296	462	29	119	106	1.54
		2.5(不接地)	1.25	296	177	370	531	33	148	122	1.67
RRRV = 恢复电压的上升率											

[0090] 由表 3 和表 4 可以得出：

[0091] ● 试验方式 1： $u_c \geq 1.98k_{af} \times \sqrt{2}U_r / \sqrt{3}$

[0092]  $u_1 \leq 0.02 \times k_{af} \times \sqrt{2} \times U_r / \sqrt{3}$

[0093]  $t_1 \geq 89 \mu s$

[0094]  $t_2 = 8.7ms$

[0095] ● 试验方式 2： $u_c \geq 1.95k_{af} \times \sqrt{2}U_r / \sqrt{3}$

[0096]  $u_1 \leq 0.05 \times k_{af} \times \sqrt{2}U_r / \sqrt{3}$

[0097]  $t_1 \geq 89 \mu s$

[0098]  $t_2 = 8.7ms$

[0099] 针对特高压工程要求投切电容器组断路器的额定电压 145kV，应遵循 IEC 62271-100:2001 有 145kV 断路器电容器组电流开合的相关规定。综合 IEC 标准和特高压工程特殊要求，电容器组投切试验应满足断路器 145kV 额定电压，1600A 额定电容器组开断电流，20kA/4250Hz 额定电容器组关合涌流，3000 次电寿命，以及开断过程的恢复电压等要求。

[0100] 目前，大容量试验室在进行断路器开合电流试验时大多使用直接试验法，即外施电压、电流以及瞬态和工频回复电压均有一个单电源回路获得的试验，该电源可以是电力系统或者是用在断路器试验站的专用发电机，或者是两者的结合；在一定的使用范围内，也可以是充电的电容器对电抗器放电的 LC 单频振荡回路。试验回路的外施电压及工频恢复电压与该电源的电压相当。然而，对于投切电容器组试验，容性电流大、频率高、恢复电压高，对试验室试验回路和试验设备都带来一定威胁，并且国内大容量试验站能力层次不齐，通过直接试验的方式进行特高压变电站电容器组断路器电寿命试验，投资巨大，运行、维护工作量大，操作复杂，并且容量有所限制，系统恢复电压不易满足要求。

[0101] 所述投切电容器组断路器电寿命试验的试验电流应根据被试断路器要求开断的背对背电容器组电流，分别施加额定容性电流，以及根据试验方法施加 10 ~ 40% 额定容性

电流；试验电压为被试断路器额定相电压与阻尼系数的乘积，电源回路应能够根据断路器动作分别提供电压和电流，其中，电源回路提供工频电压的变化在进行额定容性电流开断试验时应小于 2%，在进行 10 ~ 40% 额定容性电流开断试验时应小于 5%；电源回路阻抗不低至使其短路电流超过断路器额定短路开断电流，回路的电容以及电源侧的电容和负载侧的电容之间的阻抗，应使得在 100% 额定背对背电容器组开断电流试验时达到额定电容器组关合涌流。

[0102] 试验电流

[0103] 特高压变电站投切电容器组断路器电容器组开断电流要求值 1600A，超过了 IEC 标准汇中的优选值 400A；关合涌流和涌流频率则按照表 5 中的规定，选择 20kA 和 4250Hz。

[0104] 表 5

[0105]

额定电压 $U_r$ kV (有效值)	线路	电缆	单个电容器组	背对背电容器组		
	额定线路充电开断电流 $I_l$ A (有效值)	额定电缆充电开断电流 $I_c$ A (有效值)	额定单个电容器组开断电流 $I_{sb}$ A (有效值)	额定背对背电容器组开断电流 $I_{bb}$ A (有效值)	额定背对背电容器组关合涌流 $I_{bt}$ kA (峰值)	涌流的频率 $f_{bt}$ (Hz)
145	50	160	400	400	20	4250

[0106] 试验电压

[0107] 采用试验室单相试验，在断路器分闸前于断路器所在处测得的试验电压应不小于  $U_r/\sqrt{3}$  与下列容性电压系数  $k_c$  的乘积：

[0108] 1) 1.0 适用于中性点接地系统的正常运行条件；

[0109] 2) 1.4 适用于以下情况：

[0110] ——中性点接地系统以外的系统正常运行条件下的开断；

[0111] ——中性点绝缘的电容器组的开断；

[0112] 特高压交流试验示范工程 110kV 侧无功补偿装置采用不接地方式，因此，试验电压(有效值)应选为  $1.4 \times 145 / \sqrt{3} = 117kV$ ，并且回路上的工频试验电压和由残余电荷产生的直流电压在开断后应保持至少 0.3s。

[0113] 如表 6，特高压变电站投切电容器组断路器为 C1 级断路器，即低重击穿概率断路器。试验方式如下：

[0114] 每一个试验系列的试验方式应在不经任何维修的一个样品上进行，采用下述缩写：

[0115] 背对背电容器组开合试验如表 6 规定，不需要进行预备性试验。

[0116] 对于关合一开断试验断路器的触头在瞬态电流消失之前不应分离，为此应调整合闸和分闸操作之间的时间间隔。

[0117] 关合操作之前，容性回路上不应有明显的电荷存在。

[0118] 对于所有的电容器组关合操作，关合应发生在外施电压峰值  $\pm 15^\circ$  内，关合电流至少应等于背对背电容器组关合涌流。

[0119] 表 6

[0120]

试验方式	脱扣器的操作电压	操作和开断用的压力	试验电流为额定容性开断电流的百分比(%)	操作型式或操作顺序
10~40%额定容性电流开断试验	最高电压	额定压力	10~40	0
额定容性电流开断试验	最高电压	额定压力*	≥100	C0
注：1、在脱扣器的最高操作电压下进行试验是为了便于稳定地控制分闸操作； 2、为了试验方便, 试验方式 1(BC1) 也可进行 C0 操作。				
* 如果适用, 开断和操作用的压力, 应在最低功能压力条件下至少进行 3 次 C0 操作。一次在最短燃弧时间时进行, 两次在最长燃弧时间时进行				

[0121] 背对背电容器组开合试验时涌流的预期阻尼系数, 即同一极性的第二个峰值与第一个峰值的比值应等于或大于 0.85。

[0122] 在分闸操作过程中, 通过改变触头分离的时刻, 依次为大约  $6^\circ$ , 来确定最短燃弧时间。采用该方法, 必须进行几次试验从而验证最短燃弧时间和最长燃弧时间。

[0123] 如果没有得到预期的最短燃弧时间, 而是一个最长燃弧时间, 试验仍然有效, 而且应计在总的次数中。在这种情况下, 有必要:

[0124] ——提前脱扣脉冲  $6^\circ$ , 重复该试验, 新的整定值可作为最短燃弧时间的其它试验;

[0125] ——少做一次分闸操作以保证总的试验次数。

[0126] 即使超过规定的总的操作次数, 仍应达到最短燃弧时间下的操作次数要求。

[0127] 后一个电流零点开断后出现的重燃应被视为长燃弧时间时的开断操作。

[0128] 最后应当说明的是: 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制, 尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明, 所属领域的普通技术人员应当理解: 依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换, 而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换, 其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

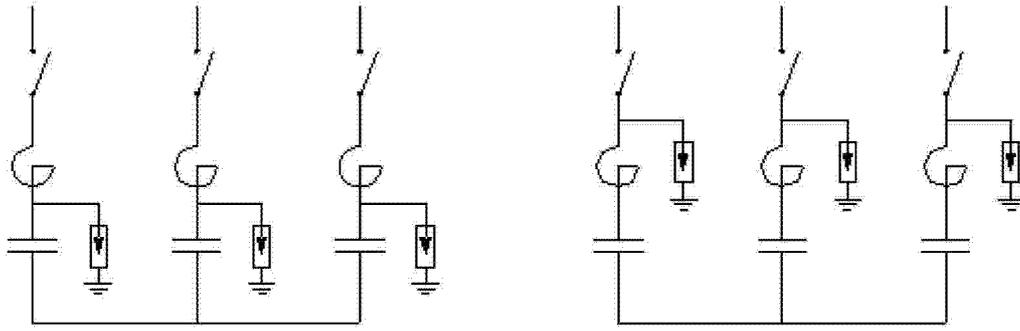


图 1

图 2

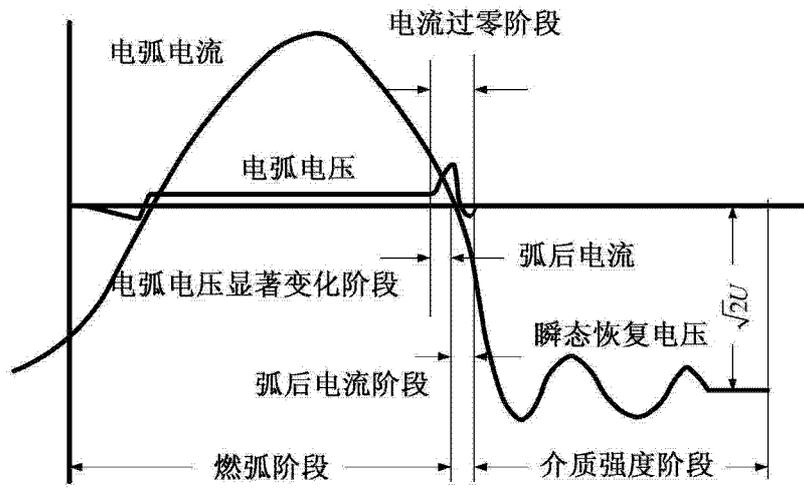


图 3

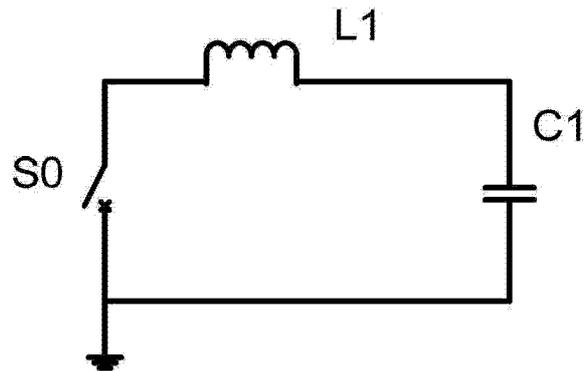


图 4

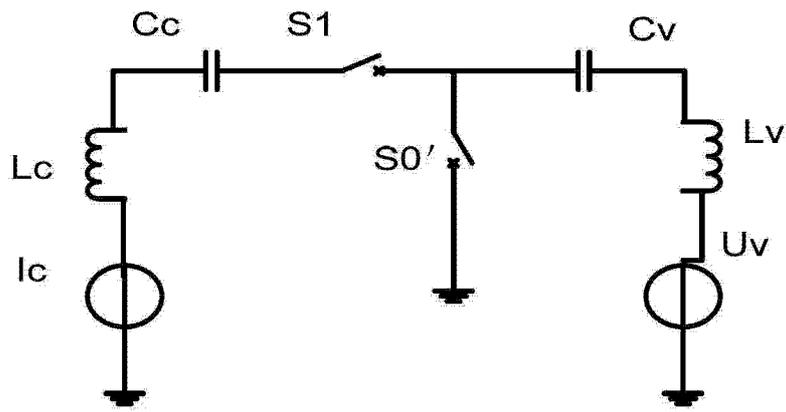


图 5