

前 言

本标准的全部技术内容为强制性。

本标准是根据 IEC 62271-100:2001(IEC 60056 的第 5 版)《高压交流断路器》及其第 1 号修订:2002 对 GB 1984—1989《交流高压断路器》进行全面修订的。本标准与 IEC 62271-100:2001 的一致性程度为修改采用。

本标准与 IEC 62271-100:2001 的主要差别体现在:

- 适用范围。根据我国电网的实际情况,去掉了 IEC 62271-100 中的额定频率 60 Hz 的有关内容;根据我国行业的分工情况,适用的系统的最低电压由 IEC 62271-100 的 1 000 V 改为 3 000 V;
- 额定电压。去掉了与我国电网无关的额定电压数值,按照 GB/T 11022(或 GB 156)中所列的电压给出;
- 端子静态水平拉力,根据用户需要,将表 9 中 252 kV~363 kV 的纵向水平拉力由 1 250 N 改为 1 500 N;将 550 kV~800 kV 的纵向水平拉力 1 750 N 和垂直水平拉力 1 250 N 分别改为 2 000 N 和 1 500 N;
- 并联脱扣器动作的最低电源电压,根据 GB/T 11022—1999 第 5.8.2 的要求,将 5.8.103 中的“20%”改为“30%”;
- IEC 62271-100 的表 11 规定的内容与我国电网无关,故删去。原表 12 成为现表 11,后续表的编号依次提前 1 个号;
- 附录 A(标准的),为了便于本标准的使用,将计算实例中的额定电压由 IEC 62271-100 的 245 kV(我国无此电压等级)改为 252 kV。

本标准与 GB 1984—1989 的主要差别有:

- 标准体系的差别;GB 1984—1989 在参照采用 IEC 60056:1987 时,把 IEC 62271-100 分成了四个标准,即 GB 1984—1989、GB/T 4474—1992、GB 7675—1987 以及 JB 5871—1991,新版的 GB/T 1984 将包含上述四个标准的内容;
- 额定电压按照 GB/T 11022—1999 或 GB 156—1993 的规定进行了修改,并根据发展的需要,增加了 800 kV 一档电压值及相关的参数;
- 明确了本标准不适用的场合,如用于电力牵引设备的移动电站中的断路器等;
- 引用和给出的术语大大增加,如“热稳定性电流 I_{th}”、“C 级、C2 级、E1 级、E2 级、M1 级和 M2 级断路器”等;
- 将额定特性分成“额定特性”和“要求时应给出的额定特性”两种,并给出了这两种情况下应给出的额定特性;
- 增加特殊工况下的时间常数:60 ms、75 ms 和 120 ms,并给出了这三个时间常数的适用场合;
- 增加额定电压 72.5 kV 以上第二、三开断极 TRV 的标准乘数,即给出了第二、三开断极 TRV 的标准值;
- 给出了额定电缆充电电流的优选值;
- 额定时间参量中增加了“额定开断时间”;
- 增加“延长的机械寿命的断路器(M2 级)”的操作次数及试验方法要求;
- 增加了 E2 级断路器的电寿命要求;
- 增加了 C2 级断路器的容性电流开合试验的要求,及与 C1 级断路器的具体差别和判定方法;

- 对辅助设备的要求中增加了分、合闸脱扣器动作的连锁及时序要求；
- 增加了“多个脱扣器”、“脱扣器的动作限值”、“脱扣器的功耗”以及“自脱扣断路器的集成继电器”等内容；
- “低压力和高压力闭锁装置”的内容进行了修改；
- 增加了“位置指示”、“外壳的防护等级”、“爬电距离”、“气体和真空的密封”、“液体的密封”、“易燃性”和“电磁兼容性”等要求，去掉了 GB 1984—1989 中的“断路器承受静拉力的要求”、“安全标志”、“互换性”、“对于检修和吊装的要求”、“对断路器结构的要求”、“润滑”、“对绝缘子的要求”以及“操动机构”等要求；
- 各级的同期性要求中对合闸、分闸以及同一极中的开断单元之间的分闸同期性分别规定为额定频率的四分之一周波(5 ms)、六分之一周波(3.33 ms)和八分之一周波(2.5 ms)；
- 增加的型式试验项目有：电寿命试验、延长的机械寿命试验、单相和异相接地故障试验、EMC 试验以及防护等级验证；
- 增加“试品的分组”、“试品的确认”以及“型式试验报告包含的资料”等内容；
- 增加“作为状态检查的电压试验”，并给出了具体的参数要求；
- 增加“参考的机械行程特性(6.101.1.1)”要求；
- 开断关合以及开合试验中，明确了试验程序和燃弧时差，并提出了“开断窗口”的概念；
- 补充“无效试验(6.105.5)”的内容；
- 容性电流开合试验的程序和要求等同 IEC 62271-100(参考 ANSI/IEEE C37.012)；
- 增加“安全性(第 11 章)”；
- 将 GB 1984—1989 的附录 G 的内容编辑性调整为正文的第 8 章；
- 把 GB/T 4474 的内容作为附录 A 的内容；
- 增加附录 B(编辑性调整)；
- 增加资料性的附录 G、附录 H、附录 I、附录 J 和附录 K 以及参考文献；
- 去掉了 GB 1984—1989 中的附录 E[已体系调整到 GB/T 11022—1999(等效于 IEC 60694:1996)]和附录 F(编辑性调整到标准正文的第 10 章)。

本标准中各章、条的编排顺序与 IEC 62271-100:2001 一致，大部分条文的内容与 IEC 62271-100:2001 相同，不同之处在主要差别中已给予说明。

本标准应与 1999 年发布的 GB/T 11022 一起使用，除非本标准中另有规定，本标准参照 GB/T 11022。为了简化相同要求的表示，本标准的章条号与 GB/T 11022 所用的相同。对这些章条内容的补充在同一引用标题下给出，而附加的条款从 101 开始编号。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 和附录 F 是规范性的附录，附录 G、附录 H、附录 I、附录 J 和附录 K 是资料性的附录。

本标准自实施之日起，同时代替 GB 1984—1989、GB/T 4474—1992 和 GB/T 7675—1987。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会归口。

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会负责解释。

本标准起草单位及成员：

负责单位：西安高压电器研究所；田恩文、李鹏、严玉林、周会高、齐忠毅、张文兵。

参加单位：电力科学研究院高压开关研究所；袁大陆、崔景春。

北京北开电气股份有限公司；卢国平。

沈阳高压开关有限责任公司；杨大锷、张姝。

平顶山天鹰集团有限责任公司；闫关星。

西安高压开关厂；屈天玉、王小峰。

上海华通开关厂:施文耀。

陕西宝光真空电器股份有限公司:王典杰。

湖北开关厂:李家兴。

西北电力试验研究院:李品德。

东北电管局:于波。

华北电管局:祝洪绪。

广东省电力局:朱根良。

福州第一开关厂:陈雅瑞、庄德森。

宁波天安集团有限公司:刘清春。

本标准主要起草人:田恩文、李鹏、严玉林。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB 1984—1980,GB 1984—1989;

——GB 4474—1984,GB/T 4474—1992;

——GB/T 7675—1987。

HZHV

高压交流断路器

1 概述

1.1 范围

本标准适用于设计安装在户内或户外且运行在频率为 50 Hz、电压 3 000 V 及以上的系统中的交流断路器。

本标准仅适用于三相系统中的三极断路器和单相系统中的单极断路器。用于单相系统中的两极断路器及用于频率低于 50 Hz 时应遵从制造厂和用户之间的协议。

本标准也适用于断路器的操动机构及其辅助设备。然而,本标准不涉及仅依靠人力操动合闸机构的断路器,因为它不能规定额定短路关合电流,而且从安全的角度考虑,这种仅靠人力操作的方式是不应该提倡的。

本标准不涉及用于电力牵引设备的移动电站中的断路器。他们包含在 IEC 60077[4]中。

安装在发电机和升压变压器之间的发电机断路器也不包含在本标准的范围内。

感性负载开合包含在 IEC 61233 中。

除单极自动重合闸的断路器外,具有预定的极间不同期性的断路器不包含在本标准的范围内。

本标准不涉及具有机械脱扣装置或不能失效的装置的自脱扣断路器。

与线路串联电容器和其保护设备并联的旁路断路器不包含在本标准的范围内,它们包含在 IEC 60143-2[6]中。

注:验证在各种异常条件下性能的试验应根据制造厂和用户之间的协议。这些异常条件是:如由于长线或电缆突然失掉负荷时可能出现电压高于断路器额定电压的情况。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 311.2—2002 绝缘配合 第 2 部分:高压输变电设备的绝缘配合使用导则(eqv IEC 71-2:1996)

GB/T 762—1996 标准电流(eqv IEC 60059)

GB 1985—1989 交流高压隔离开关和接地开关(neq IEC 60129:1984)

GB 2536—1990 变压器油(neq IEC 60296:1982)

GB/T 2900.20—1994 电工术语 高压开关设备(neq IEC 60050)

GB/T 2900.50—1998 电工术语 发电、输电及配电通用术语[neq IEC 60050(601):1985]

GB/T 4109—1999 高压套管技术条件(eqv IEC 60137:1995)

GB 4208—1993 外壳的防护等级(IP 代码)(eqv IEC 60529:1989)

GB/T 4473—1996 交流高压断路器的合成试验(neq IEC 60427:1990)

GB/T 8905—1996 六氟化硫电气设备中气体管理和检验导则(neq IEC 60480:1974, neq IEC 60326:1971)

GB/T 11022—1999 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求(eqv IEC 60694:1996)

GB 12022—1989 工业六氟化硫(neq IEC 60376:1971, 376A:1973 和 376B:1974)

GB/T 14598.7—1995 他定时限和自定时限的单输入激励量度继电器(idt IEC 60255-3:1989)

GB 16927(所有部分) 高电压试验技术[eqv IEC 60060(所有部分)]

GB 1984—2003

IEC 60050(604):1987 发电、输电和配电——运行

IEC 61233:1994 高压交流断路器——感性负载开合

IEC 61633:1995 高压交流断路器——金属封闭和落地罐式断路器的短路和开合试验程序的
导则

IEC 61634:1995 高压交流断路器——高压开关设备和控制设备中六氟化硫的使用与处理

IEC 62215 高压交流断路器——非对称短路开断试验方式 T100a 导则

2 正常和特殊使用条件

GB/T 11022—1999 的第 2 章适用。

3 术语和定义

对于本标准,GB/T 2900.20 和 GB/T 11022 中的定义适用。为便于使用,把其中一些列于下面。
并对增加的定义进行了分类。

3.1

通用术语 general terms

3.1.101

开关设备和控制设备 switchgear and controlgear

开关及与其相关的控制、测量、保护和调节设备的组合,以及这些装置和设备同相关的电气联结辅
件外壳和支撑件的总装的总称。

3.1.102

户内开关设备和控制设备 indoor switchgear and controlgear

设计仅安装在建筑物或其他遮蔽物内的开关设备和控制设备,在这些场所可保护开关设备和控制
设备免受风、雨、雪、异常的尘埃沉积、异常的凝露、冰和白霜等的作用。

3.1.103

户外开关设备和控制设备 outdoor switchgear and controlgear

适合于安装在露天的开关设备和控制设备,即能够耐受风、雨、雪、沉积的尘埃、凝露、冰和白霜等的
作用。

3.1.104

短路电流 short-circuit current

[GB/T 2900.20—1994 的 2.9]

3.1.105

中性点绝缘系统 isolated neutral system

[GB/T 2900.20—1994 的 2.30]

3.1.106

(中性点)固定接地系统 solidly earthed (neutral) system

中性点直接接地的系统。

3.1.107

(中性点)阻抗接地系统 resonant earthed (neutral) system

为了限制接地故障电流,中性点通过阻抗接地的系统。

3.1.108

(中性点)谐振接地系统,(中性点)消弧线圈接地系统 arc-suppression-coil-earth (neutral) system

一个或多个中性点通过能够近似补偿单相接地故障电流容性分量的电抗接地的系统。

3.1.109

接地故障系数 earth fault factor

在三相系统的选定地点(通常为设备的安装地点)以及给定的系统结构,接地故障(系统中任一点发生的单相或多相)时,健全相的最高相对地工频电压有效值与该选定地点无故障时的相对地工频电压有效值之比。

注1:该系数为纯数值比(通常大于1),概括地表征了从选定地点观察到的系统的接地条件,而与选定地点的实际运行电压无关。“接地故障系数”是过去使用的“接地系数”与 $\sqrt{3}$ 的乘积。

注2:接地故障系数是从选定地点观察到的系统的相序阻抗分量计算来的,对于旋转电机,采用次瞬变电抗。

注3:对于所有稳定的系统结构,如果其零序电抗小于3倍的正序电抗且零序电阻不超过正序电抗,则接地故障系数不超过1.4。

3.1.110

周围空气温度 ambient air temperature

在规定的条件下确定的围绕整个开关装置或熔断器的空气温度。

注:对于装在外壳内的开关装置或熔断器,是指外壳外面的空气温度。

3.1.111

(断路器部件的)温升 temperature rise (of a part of a circuit-breaker)

部件温度和周围空气温度之差。

3.1.112

单个电容器 single capacitor bank

一组并联的电容器,其涌流被电源系统的电感和正在充电的该电容器组的电容所限制,并且没有足够近的、会显著提高涌流的其他电容器并联在系统中。

3.1.113

多个(并联)电容器组,背对背电容器组 Multiple (parallel) capacitor bank back-to-back capacitor bank

一组并联的电容器或电容器组合,它的各个单元可以独立的投入或退出电源系统,已经接入电源的电容器会显著地增加其他单元的涌流。

3.1.114

(系统中的)过电压 overvoltage (in a system)

相对地或相间电压,其峰值超过设备最高电压相应的峰值。[IEV 604-03-09,修改过]

3.1.115

失步条件 out-of-phase conditions

电力系统在断路器两侧的两部分之间失去或缺乏同步的不正常回路条件,断路器操作时刻,代表其两侧所产生的电压的旋转矢量间的相角超过了正常值,并且可能达到 180° (反相)。

3.1.116

失步(作为特性参量的前缀) out-of-phase (as prefix to a characteristic quantity)

限定性的术语,表示在失步条件下断路器的操作适用的特性参量。

3.1.117

单元试验 unit test

在一个或一组关合或开断单元上进行的试验,其关合电流和开断电流为断路器整极试验的规定值,其外施电压或恢复电压为断路器整极试验规定的适当部分。

3.1.118

半波 loop

由两个连续的电流零点所包含电流波的部分。

注：大半波和小半波之间的差别取决于两个连续电流零点间的时间间隔比电流的交流分量的半周期长或短。

3.1.119

近区故障 (SLF) short-line fault (SLF)

在架空线上,距断路器端子距离短,但还有一定距离处的短路。

注：作为原则,这一距离不超过几公里。

3.1.120

(回路的)功率因数 power factor (of a circuit)

假定由电感和电阻串联组成的等效回路,在工频时电阻与阻抗的比值。

3.1.121

外绝缘 external insulation

设备在空气中的距离和固体绝缘与空气接触表面的距离,他们承受电压并受到大气和其他外界条件诸如污秽、潮湿、兽虫等的影响。[IEV 604-03-02,修改]

3.1.122

内绝缘 internal insulation

设备内部的固体、液体或气体绝缘部分,它不受大气和其他外界条件的影响。

3.1.123

自恢复绝缘 self-restoring insulation

破坏性放电后,能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

3.1.124

非自恢复绝缘 non-self restoring insulation

破坏性放电后,丧失其绝缘性能或不能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

3.1.125

破坏性放电 disruptive discharge

在电压作用下与绝缘失效有关的现象,其中放电全部桥接了受试绝缘,电极间的电压降低到零或接近零。

注1：本术语适用于固体、液体和气体介质及他们的组合体中的放电。

注2：固体介质中的破坏性放电导致绝缘强度永久丧失(非自恢复绝缘);在液体或气体介质中,绝缘强度的丧失可能仅仅是暂时的(自恢复绝缘)。

注3：破坏性放电发生在气体或液体介质中时,使用术语“火花放电”。破坏性放电发生在处于气体或液体中的固体绝缘表面时,使用术语“闪络”。破坏性放电穿过固体介质时,使用术语“击穿”。

3.1.126

非保持破坏性放电(NSDD) non-sustained disruptive discharge (NSDD)

真空断路器在工频恢复电压阶段触头间的破坏性放电,导致流过与断口临近的杂散电容相关的高频电流。

注：经过一个或几个半波高频电流后,非保持破坏性放电就被断开。

3.1.127

重击穿性能 restrike performance

由规定的型式试验所证实的、容性电流开断过程中预期的重击穿概率。

注：在断路器的整个使用寿命中,某一具体数值的概率不适用。

3.2

装置 assemblies

没有特别的定义。

3.3

装置的零件 parts of assemblies

没有特别的定义。

3.4

开关装置 switching devices

3.4.101

开关装置 switching devices

用于关合和开断一个或多个电路中的电流的装置。

3.4.102

机械开关装置 mechanical switching device

通过可分离的触头来接通和断开一个或多个电路的开关装置。

注：任何机械开关装置可按其触头分合所处的介质来表示，例如空气、SF₆ 和油。

3.4.103

断路器 circuit-breaker

能够关合、承载和开断正常回路条件下的电流，并能关合、在规定的时间内承载和开断异常回路条件（如短路条件）下的电流的机械开关装置。

3.4.104

落地罐式断路器 dead tank circuit-breaker

[GB/T 2900.20—1994 的 3.14]

3.4.105

外壳带电的断路器 live tank circuit-breaker

灭弧室在一个与大地绝缘的箱壳中的断路器。

3.4.106

空气断路器 air circuit-breaker

触头在大气压力下的空气中分合的断路器。

3.4.107

油断路器 oil circuit-breaker

[GB/T 2900.20—1994 的 3.17]

3.4.108

真空断路器 vacuum circuit-breaker

触头在高真空的泡内分合的断路器。

3.4.109

气吹断路器 gas-blast circuit-breaker

电弧产生在压缩气体中的断路器。

注：断路器分闸操作过程中，气体是靠机械方法获得的压力差来运动的，称为单压式气吹断路器。气体是靠断路器分闸操作前建立的压力差来运动的，称为双压式气吹断路器。

3.4.110

六氟化硫断路器, SF₆ 断路器 sulphur hexafluoride circuit-breaker SF₆ circuit-breaker

[GB/T 2900.20—1994 的 3.20]

3.4.111

压缩空气断路器 air-blast circuit-breaker

使用空气的气吹断路器。

3.4.112

E1 级断路器 circuit-breaker class E1

一种不属于 3.4.113 定义的 E2 级断路器范畴内的、具有基本的电寿命的断路器。

3.4.113

E2级断路器 circuit-breaker class E2

一种断路器,在其预期的使用寿命期间,主回路中开断用的零件不要维修,其他零件只需很少的维修(具有延长的电寿命的断路器)。

注1:很少的维修是指润滑,如果适用时,补充气体以及清洁外表面。

注2:本定义仅适用于额定电压3.6 kV及以上、40.5 kV及以下的配电断路器。E2级的理论基础见附录G。

3.4.114

C1级断路器 circuit-breaker class C1

一种断路器,在规定的型式试验验证容性电流开断过程中具有低的重击穿概率。

3.4.115

C2级断路器 circuit-breaker class C2

一种断路器,在规定的型式试验验证容性电流开断过程中具有非常低的重击穿概率。

3.4.116

M1级断路器 circuit-breaker class M1

一种不属于3.4.117定义的M2级断路器范畴内的、具有基本的机械寿命(2 000次操作的机械型式试验)的断路器。

3.4.117

M2级断路器 circuit-breaker class M2

用于特殊使用要求的、频繁操作的和设计要求非常有限的维护且通过特定的型式试验(具有延长的机械寿命的断路器,机械型式试验为10 000次操作)验证的断路器。

注:关于电寿命、机械寿命和容性电流开断过程中的重击穿概率,断路器的不同等级的组合是可能的。对于这些断路器的设计,不同等级的标志应按照字母的顺序组合,例如C1—M2。

3.4.118

自脱扣断路器 self-tripping circuit-breaker

由主回路中的电流而不借助任何形式的辅助电源脱扣的断路器。

3.5

断路器的部件 Parts of circuit-breakers

3.5.101

极 pole

仅与开关装置主回路的一个电气上独立的导电路径相关的开关装置的一部分,它不包括为所有的极提供一起安装和操作方式的那些部分。

注:如果开关装置只有一极,则称为单极开关装置。如果多于一极,只要这些极可以一起操作,则称为多极(两极、三极等等)开关装置。

3.5.102

主回路 main circuit

包含在准备合闸和分闸回路中的开关装置的所有导电部分。

3.5.103

控制回路 control circuit

包含在开关装置的合闸操作和/或分闸操作所用的回路中的开关装置的所有导电部分(除主回路外)。

3.5.104

辅助回路 auxiliary circuit

[GB/T 2900.20—1994的2.26]

3.5.105

触头 contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.1]

3.5.106

触片 contact piece

构成触头的导电部件之一。

3.5.107

主触头 main contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.4]

3.5.108

弧触头 arcing contact

旨在其上形成电弧的触头。

注：弧触头可以是主触头，也可以是单独的触头，该触头比其他触头后开断先关合，以防其他触头烧伤。

3.5.109

控制触头 control contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.6]

3.5.110

辅助触头 auxiliary contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.7]

3.5.111

辅助开关 auxiliary switch

[GB/T 2900.20—1994 的 4.28]

3.5.112

“a”触头 关合触头 “a” contact make contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.8]

3.5.113

“b”触头 开断触头 “b” contact break contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.9]

3.5.114

滑动触头 sliding contact

触片的相对运动方向基本上与接触表面平行的一种触头。

3.5.115

滚动触头 rolling contact

[GB/T 2900.20—1994 的 4.12]

3.5.116

脱扣器 release

[GB/T 2900.20—1994 的 4.29]

3.5.117

灭弧装置 arc control device

围绕机械开关装置的弧触头，设计用来限制电弧并协助电弧熄灭的装置。

3.5.118

位置指示装置 position indicating device

[GB/T 2900.20—1994 的 4.40]

3.5.119

(螺栓的或等效的)连接 **connection (bolted or equivalent)**

两个或更多的导体用螺钉、螺栓或等效的方法紧固在一起以保证回路的持久连续性。

3.5.120

端子 **terminal**

用来把装置和外部导体连接的元件。

3.5.121

关合(或开断)单元 **making (or breaking) unit**

断路器的部件,它本身就可以作为断路器,它与一个或多个相同的且同时操作的关合或开断单元串联组成完整的断路器。

注1:关合单元和开断单元可以是独立的或组合的。每一单元可以有数个触头。

注2:控制各单元间电压分布的方法可以各不相同。

3.5.122

组件 **module**

通常由关合或开断单元、支柱绝缘子和机械部件组成的组件,与其他相同的组件通过机械和电气连接组成断路器的一极。

3.5.123

外壳 **enclosure**

开关设备和控制设备的部件,它提供了设备防止外部影响所规定的防护等级(见 GB/T 4208)和防止靠近或接触带电部件以及触及运动部件规定的防护等级。

3.6

操作 **Operation**

3.6.101

操作 **operation**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.1]

3.6.102

操作循环 **operating cycle**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.5]

3.6.103

操作顺序 **operating sequence**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.6]

3.6.104

合闸操作 **closing operation**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.3]

3.6.105

分闸操作 **opening operation**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.2]

3.6.106

自动重合闸 **auto-reclosing**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.7]

3.6.107

正向分闸操作 **positive opening operation**

按规定要求,当执行器所处位置相当于开关装置的分闸位置时,保证所有主触头都处于分闸位置的

一种分闸操作。

3.6.108

正向驱动操作 **positively driven operation**

按规定要求,设计用来保证机械开关装置的辅助触头所处位置与主触头分闸或合闸位置一致的操作。

3.6.109

人力操作 **dependent manual operation**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.9]

3.6.110

动力操作 **dependent power operation**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.10]

3.6.111

储能操作 **stored energy operation**

借助于开合操作前储存在机构自身中的且足以完成预定条件下规定的操作循环的能量进行的操作。

3.6.112

不依赖人力的操作 **independent manual operation**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.12]

3.6.113

合闸位置 **closed position**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.32]

3.6.114

分闸位置 **open position**

[GB/T 2900.20—1994 的 5.33]

3.6.115

瞬时脱扣器 **instantaneous release**

[GB/T 2900.20—1994 的 4.31]

3.6.116

关合电流脱扣器 **making-current release**

合闸操作过程中,如果关合电流超过脱扣器的预先整定值,允许断路器无任何人为延时的分闸,当断路器处于合闸位置时不动作的脱扣器。

3.6.117

过电流脱扣器 **over-current release**

[GB/T 2900.20—1994 的 4.30]

3.6.118

定时限过电流脱扣器 **definite time-delay over-current release**

[GB/T 2900.20—1994 的 4.32]

3.6.119

反时限过电流脱扣器 **inverse time-delay over-current release**

[GB/T 2900.20—1994 的 4.33]

3.6.120

直接过电流脱扣器 **direct over-current release**

[GB/T 2900.20—1994 的 4.34]

3.6.121

间接过电流脱扣器 indirect over-current release

[GB/T 2900.20—1994 的 4.35]

3.6.122

分励脱扣器 shunt release

[GB/T 2900.20—1994 的 4.38]

3.6.123

欠电压脱扣器 under-voltage release

[GB/T 2900.20—1994 的 4.39]

3.6.124

反向电流脱扣器 (仅用于直流) reverse current release (d. c. only)

当电流反向并超过预定值时,允许机械开关装置有延时或无延时地分闸的并联脱扣器。

3.6.125

(过电流脱扣器的)动作电流 operating current (of an over-current release)

在该电流值或大于该电流值时脱扣器能够动作。

3.6.126

(过电流脱扣器的)电流整定值 current setting (of an over-current release)

调整脱扣器所用的且与规定的动作条件一致的动作电流值。

3.6.127

(过电流脱扣器的)电流整定范围 current setting range (of an over-current release)

脱扣器能够调整的最大和最小电流整定值之间的范围。

3.6.128

防跳跃装置 anti-pumping device

在合一分闸操作后,只要其启动合闸的装置保持在供合闸的位置就能防止重合闸的装置。

3.6.129

联锁装置 interlocking device

使开关装置的操作取决于设备的一个或几个其他部件的位置或动作的装置。

3.6.130

防止合闸闭锁的断路器 circuit-breaker with lock-out preventing closing

当导致分闸的条件仍然保持时,如果发出合闸指令,没有一个动触头能够关合电流的断路器。

3.7

特性参量 Characteristic quantities

图1~图7图解了本条款中的某些定义。

时间参量,见3.7.133~3.7.147的定义,以毫秒或周波数表示。当用周波数表示时,应在括号内说明工频值。断路器装有分合闸电阻时,如果适合,应把触头开合全电流和触头开合被分合闸电阻限制的电流的时间参量加以区别。

除非另有规定,时间参数是指与触头分、合全电流相关的参量。

3.7.101

额定值 rated value

通常为制造厂对元件、装置或设备在规定的操作条件下所规定的参数值。

3.7.102

(回路的并对开关装置或熔断器而言的)预期电流 prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)

[GB/T 2900.20—1994 的 6.6]

3.7.103

预期峰值电流 prospective peak current

电流出现后的瞬态过程中预期电流的第一个大半波的峰值。

注：本定义假定用理想断路器关合电流，即断路器各极端子间的阻抗瞬时并同时从无穷大变到零。一极与另一极的电流峰值可以不同，它取决于电流出现时刻对应各极端子间的电压波形。

3.7.104

峰值电流 peak current

电流出现后瞬态过程中第一个大半波的峰值。

3.7.105

(交流回路的)预期对称电流 prospective symmetrical current (of an a. c. circuit)

电流出现时刻没有瞬态现象的预期电流。

注1：对于多相回路，一次只能有一极电流满足无瞬态期的条件。

注2：预期对称电流用其有效值表示。

3.7.106

(交流回路的)最大预期峰值电流 maximum prospective peak current (of an a. c. circuit)

电流起始时刻发生在能够导致最大可能电流值时的预期峰值电流。

注：对于多相回路中的多极装置，最大预期峰值电流仅指单极。

3.7.107

(对于开关装置一极的)预期关合电流 prospective making current (for a pole of a switching device)

在规定条件下起始的预期电流。

注：规定条件可以与起始方法有关，例如，通过理想开关装置；或者与起始时刻有关，例如，在交流回路中导致最大预期峰值电流或者最大上升率。这些条件的要求可在相关的出版物中找到。

3.7.108

(峰值)关合电流 (peak) making current

关合操作时，电流出现后的瞬态过程中，断路器一极中电流的第一个大半波的峰值。

注1：一极与另一极，一次操作与另一次操作的峰值可以不同，因为该值取决于电流出现时刻对应的外施电压的波形。

注2：除非另有说明，在多相回路中，(峰值)关合电流的单个值是指任意相中的最大值。

3.7.109

(对于开关装置一极的)预期开断电流 prospective breaking current (for a pole of a switching device)

开断过程中，对应于起弧时刻计算的预期电流值。

3.7.110

开断电流 breaking current

[GB/T 2900.20—1994 的 6.17]

3.7.111

临界(开断)电流 critical (breaking) current

小于额定短路开断电流的开断电流值，在该电流下，其燃弧时间最长，且比额定短路开断电流下的燃弧时间显著地加长。它假定是在试验方式 T 10、T 30 和 T 60 中的任一最短燃弧时间长于相邻试验方式的最短燃弧时间一个半波或更多的情况。

3.7.112

开断能力 breaking capacity

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下，开关装置或熔断器能够开断的预期开断电流值。

注 1: 规定的条件和规定的电压在相关的出版物中阐述。

注 2: 对于开关装置,其开断能力可以按包含在规定的条件中的电流的种类来描述,例如,线路充电开断能力、电缆充电开断能力、单个电容器组开断能力等等。

3.7.113

(空载线路的)线路充电开断能力 line-charging (line off-load) breaking capacity

在规定的使用和性能条件下,断开空载运行的架空线的开断能力。

3.7.114

(空载电缆的)电缆充电开断能力 cable-charging (cable off-load) breaking capacity

在规定的使用和性能条件下,断开空载运行的绝缘电缆的开断能力。

3.7.115

电容器组开断能力 capacitor bank breaking capacity

在规定的使用和性能条件下,断开电容器组的开断能力。

3.7.116

关合能力 making capacity

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下,开关装置能够关合的预期关合电流值。

注:规定的条件和规定的电压在相关的出版物中阐述。

3.7.117

电容器组涌流关合能力 capacitor bank inrush making capacity

在规定的使用和性能条件下,接通电容器组的关合能力。

3.7.118

失步(关合或开断)能力 out-of-phase (making or breaking) capacity

在规定的使用和性能条件下,在断路器两侧的电网间失去或缺乏同步时的关合或开断能力。

3.7.119

短路关合能力 short-circuit making capacity

包括在开关装置的端子处短路的规定条件下的关合能力。

3.7.120

短路开断能力 short-circuit breaking capacity

包括在开关装置的端子处短路的规定条件下的开断能力。

3.7.121

短时耐受电流 short-time withstand current

在规定的使用和性能条件下,在规定的短时间内,回路和处于合闸位置的开关装置能够承载的电流。

3.7.122

峰值耐受电流 peak withstand current

在规定的使用和性能条件下,回路和处于合闸位置的开关装置能够耐受的峰值电流值。

3.7.123

外施电压 applied voltage

[GB/T 2900.20—1994 的 6.13]

3.7.124

恢复电压 recovery voltage

[GB/T 2900.20—1994 的 6.30]

3.7.125

瞬态恢复电压(TRV) transient recovery voltage (TRV)

[GB/T 2900.20—1994 的 6.31]

3.7.126

(回路的)预期瞬态恢复电压 **prospective transient recovery voltage (of a circuit)**

[GB/T 2900.20—1994 的 6.33]

3.7.127

工频恢复电压 **power frequency recovery voltage**

[GB/T 2900.20—1994 的 6.32]

3.7.128

电弧电压峰值 **peak arc voltage**

在规定条件下,燃弧期间在开关装置一极两端子间出现的最大电压瞬时值。

3.7.129

间距 **clearance**

两个导电部件间的、沿这些导电部件间最短路径的直线距离。

3.7.130

极间距离 **clearance between poles**

相邻极的任何导电部件的间距。

3.7.131

对地距离 **clearance to earth**

任何导电部件和任何接地或打算接地的部件间的间距。

3.7.132

触头开距 **clearance between open contacts**

处于分闸位置的开关装置的一极的触头间或任何与其相连的导电部件间的总的间距。

3.7.133

分闸时间 **opening time**

断路器的分闸时间是按下述脱扣方法并把构成断路器一部分的任何时延装置调整到它的最小整定值来定义的:

- a) 对于用任何形式辅助动力脱扣的断路器,分闸时间是指处于合闸位置的断路器,从分闸脱扣器带电时刻到所有各极弧触头分离时刻的时间间隔。
- b) 对于自脱扣断路器,分闸时间是指处于合闸位置的断路器,从主回路电流达到过电流脱扣器的动作值时刻到所有各极弧触头分离时刻的时间间隔。

注1:分闸时间可能随开断电流的变化而变化。

注2:对于每极装有多个开断单元的断路器,所有各极弧触头分离时刻是指最后一极的首开单元弧触头分离的时刻。

注3:分闸时间包括断路器分闸必需的并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

3.7.134

(多极开关装置的)燃弧时间 **arcing time (of a multipole switching device)**

从第一极电弧起始时刻到所有极电弧熄灭时刻的时间间隔。

3.7.135

开断时间 **break time**

机械开关装置分闸时间起始时刻到燃弧时间终止时刻的时间间隔。

3.7.136

合闸时间 **closing time**

处于分闸位置的断路器,从合闸回路带电时刻到所有极的触头都接触时刻的时间间隔。

注：合闸时间包括断路器合闸必需的、并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

3.7.137

关合时间 make time

处于分闸位置的断路器，从合闸回路带电时刻到第一极中电流出现时刻的时间间隔。[GB/T 2900.20 的 6.44, 修改过]

注1：关合时间包括断路器合闸必需的、并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

注2：关合时间可能随预击穿时间的变化而不同。

3.7.138

预击穿时间 pre-arcing time

合闸操作期间，第一极出现电流时刻，对于三相条件，到所有极触头接触时刻的时间间隔；对于单相条件，到起弧极的触头接触时刻的时间间隔。

注1：预击穿时间取决于在规定的合闸操作过程中外施电压的瞬时值，因此，可能有显著的变化。

注2：断路器的预击穿时间的定义不应与熔断器的弧前时间的定义混淆。

3.7.139

(自动重合闸过程中的)分-合时间 open-close time (during auto-reclosing)

所有极弧触头分离时刻到重合闸操作过程中的第一极触头接触时刻的时间间隔。

3.7.140

(自动重合闸过程中的)无电流时间 dead time (during auto-reclosing)

分闸操作中所有各极的电弧熄灭时刻到随后的合闸操作中任一极首先重新出现电流时刻的时间间隔。

注：无电流时间可能随预击穿时间的变化而不同。

3.7.141

重合闸时间 reclosing time

重合闸循环过程中，分闸时间的起始时刻到所有各极触头都接触时刻的时间间隔。

3.7.142

(重合闸过程中的)重关合时间 re-make time (during reclosing)

分闸时间的起始时刻到随后的合闸操作中任一极首先重新出现电流时刻的时间间隔。

注：重关合时间可能随着预击穿时间的变化而不同。

3.7.143

合一分时间 close-open time

合闸操作中第一极触头接触时刻到随后的分闸操作中所有极弧触头都分离时刻的时间间隔。

注：除非另有说明，即认为关合过程中断路器的分闸脱扣器在第一极中的触头接触时刻就带电。这表示最短合一分时间。

3.7.144

关合一开断时间 make-break time

合闸操作时第一极触头出现电流时刻到随后的分闸操作时燃弧时间终了时刻的时间间隔。

注1：除非另有说明，即认为关合过程中断路器的分闸脱扣器在主回路开始通流半个周波后才带电。应注意使用具有较短动作时间的继电器时可能会使断路器承受超过 6.106.5 中提出的非对称电流。

注2：关合一开断时间可能随着预击穿时间的变化而不同。

3.7.145

预插入时间 pre-insertion time

任一极的合闸操作过程中，合闸电阻单元中的触头接触时刻到该极主开断单元的触头接触时刻的时间间隔。

注：对具有串联开断单元的断路器，预插入时间定义为合闸电阻单元中的最后触头接触时刻到主开断单元中触头

最后接触时刻的时间间隔。

3.7.146

脱扣指令最短持续时间 **minimum trip duration**

为保证完成断路器的分闸,辅助电源施加到分闸脱扣器上的最短时间。

3.7.147

合闸指令最短持续时间 **minimum close duration**

为保证完成断路器的合闸,辅助电源施加到合闸装置上的最短时间。

3.7.148

(交流机械开关装置的)复燃 **re-ignition (of an a. c mechanical switching device)**

机械开关装置在开断过程中电流恢复与电流零点之间的时间间隔小于工频的四分之一周期。

3.7.149

(交流机械开关装置的)重击穿 **restrike (of an a. c mechanical switching device)**

机械开关装置在开断过程中电流恢复与电流零点之间的时间间隔为工频的四分之一周期或更长。

3.7.150

额定电流 **normal current**

在规定的使用和性能条件下,断路器主回路能够连续承载的电流。

3.7.151

(线路瞬态电压的)峰值系数 **peak factor (of the line transient voltage)**

近区故障电流开断后,架空线一相的线路对地瞬态电压最大幅值与起始值之比。

注:瞬态电压的初始值对应于该极中熄弧时刻的电压。

3.7.152

(三相系统中的)首开极系数 **first-pole-to-clear factor (in a three-phase system)**

开断三相对称电流时,首开极系数是指在其他极电流开断之前,开断极两端的工频电压与三极都开断后一极或所有极两端的工频电压之比。

3.7.153

振幅系数 **amplitude factor**

瞬态恢复电压的最大幅值与工频恢复电压的峰值之比。

3.7.154

绝缘水平 **insulation level**

由一个或两个表示绝缘耐受电压的数值确定的断路器的一种特性。[IEV 604-03-47,修改过]

3.7.155

工频耐受电压 **power frequency withstand voltage**

在规定的条件和规定的时间下进行试验时,断路器所能耐受的正弦工频电压有效值。[IEV 604-03-40,修改]

3.7.156

冲击耐受电压 **impulse withstand voltage**

在规定的试验条件下,断路器的绝缘所能耐受的标准冲击电压波的峰值。

注:取决于电压波的形状,该术语可以称为“操作冲击耐受电压”和“雷电冲击耐受电压”。

3.7.157

操作作用的最低功能压力 **minimum functional pressure for operation**

在+20℃和101.3 kPa的标准大气条件下,可以用相对的或绝对的术语来表示,在该压力或高于该压力时,断路器的额定特性才能得到保证。在该压力时,控制装置必须补充压力。

注:该压力通常设计成闭锁压力。[见 GB/T 11022—1999 的 3.6.4.6]

3.7.158

开断和绝缘用的最低功能压力 minimum functional pressure for interruption and insulation

在+20℃,101.3 kPa的标准大气条件下,用于开断和绝缘的压力,可以用相对的或绝对的术语表示,在该压力和高于该压力时,断路器的额定特性才能保证。在该压力时,开断和/或绝缘用的流体必须补充。

注1:见GB/T 11022—1999的3.6.4.5。

注2:对于密封压力系统的断路器(也称为终身密封的断路器),开断用的最低功能压力是指:考虑到预期运行寿命末的压力降低,能够保证断路器额定特性的压力。

4 额定值

用来确定断路器及其操动机构和辅助设备额定值的特性如下:

对于所有断路器都应给出的额定特性:

- a) 额定电压;
- b) 额定绝缘水平;
- c) 额定频率;
- d) 额定电流;
- e) 额定短时耐受电流;
- f) 额定峰值耐受电流;
- g) 额定短路持续时间;
- h) 合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源电压;
- i) 合闸和分闸装置以及辅助回路的额定电源频率;
- j) 适用时,操作、开断和绝缘用的压缩气源和/或液源的额定压力;
- k) 额定短路开断电流;
- l) 与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压;
- m) 额定短路关合电流;
- n) 额定操作顺序;
- o) 额定时间参量。

在下列特殊情况下应给出的额定特性:

- a) 与额定短路开断电流相关的近区故障特性,适用于额定电压72.5 kV及以上,额定短路开断电流12.5 kA及以上,设计成直接与架空线连接的三极断路器;
- b) 额定线路充电开断电流,适用于开合架空输电线路的三极断路器(对于额定电压72.5 kV及以上的断路器是强制性的);
- c) 额定电缆开断电流,适用于开合电缆的三极断路器(对于额定电压40.5 kV及以下的断路器是强制性的)。

要求时应给出的额定特性:

- a) 额定失步关合和开断电流;
- b) 额定单个电容器组开断电流;
- c) 额定背对背电容器组开断电流;
- d) 额定电容器组关合涌流;
- e) 额定背对背电容器组关合涌流。

断路器的额定特性与额定操作顺序有关。

4.1 额定电压(U_r)

GB/T 11022—1999的4.1适用。

4.2 额定绝缘水平

GB/T 11022—1999 的 4.2 适用,并作如下补充:

断路器断口间额定耐受电压的标准值在 GB/T 11022 的表 1 和表 2 中给出。

但是,对于计划用在具有显著的瞬态或瞬时过电压进行同步操作的断路器,标准断路器的绝缘可能是不够的。在这种情况下,建议使用较高额定电压的标准断路器或提高断路器断口间试验严酷度的特殊断路器。在后一种情况下,应在断路器断口间施加上述表中栏(3)规定的隔离断口的额定工频耐受电压。在 6.2.7.2 中给出的试验方法中考虑瞬态过电压。对于额定电压等于或大于 363 kV 的断路器,开关装置断口间的额定工频耐受电压和额定操作冲击耐受电压在 GB/T 11022 的表 2 的栏(3)和栏(6)中分别给出。

如果对单相容性电流开合试验规定的试验电压系数为 1.4,则断路器断口间的绝缘可能不够。在这种情况下,开关装置断口间的额定短时工频耐受电压应提高到 $2.8 U_r/\sqrt{3}$ 。

4.3 额定频率(f_r)

GB/T 11022 的 4.3 适用,并作如下补充:

高压断路器额定频率的标准值为 50 Hz。

4.4 额定电流(I_r)和温升

GB/T 11022 的 4.4 适用。

如果断路器装有串联附件,例如直接过电流脱扣器,则附件的额定电流是该附件在额定频率下能连续承载而不损坏,且温升不超过 GB/T 11022 表 3 中规定值的电流有效值。

4.5 额定短时耐受电流(I_k)

GB/T 11022 的 4.5 适用,并作如下补充:

额定短时耐受电流等于额定短路开断电流(见 4.101)。

4.6 额定峰值耐受电流(I_p)

GB/T 11022 的 4.6 适用,并作如下补充:

额定峰值耐受电流等于额定短路关合电流(见 4.103)。

4.7 额定短路持续时间(t_k)

GB/T 11022 的 4.7 适用,并作如下补充:

如果断路器接在预期开断电流等于额定短路开断电流的回路中,过电流脱扣器整定到最大延时并按照其额定操作顺序进行操作时,断路器能够在相应的开断时间内承载产生的电流,则对于自脱扣断路器不需要规定额定短路持续时间。

注:直接过电流脱扣器包括集成的脱扣装置。

4.8 操动机构和辅助及控制回路的额定电源电压(U_c)

GB/T 11022 的 4.8 适用。

4.9 操动机构和辅助回路的额定电源频率

GB/T 11022 的 4.9 适用。

4.10 绝缘、操作和/或开断用的压缩空气源的额定压力

GB/T 11022 的 4.10 适用。

4.101 额定短路开断电流(I_{sc})

额定短路开断电流是在本标准规定的使用和性能条件下,断路器所能开断的最大短路电流。出现这样电流的回路工频恢复电压等于断路器的额定电压且瞬态恢复电压等于 4.102 中的规定值。对于三极断路器,交流分量与三相短路相关。适用时,应考虑到 4.105 关于近区故障的规定。

额定短路开断电流由两个值表征:

——交流分量有效值;

——直流分量百分数。

注：如果直流分量不超过 20%，额定短路开断电流仅由交流分量的有效值表征。

交流和直流分量的确定见图 8。

在上述条件下，断路器应能开断直到额定短路开断电流的任一短路电流，该电流包含直到额定值的任一交流分量及与其相关的直到规定值的任一直流分量。

下列规定适合于标准断路器：

- a) 电压低于或等于额定电压时，断路器应能开断其额定短路电流；
- b) 电压高于额定电压时，短路开断电流不予保证，但 4.106 中给定的范围除外。

4.101.1 额定短路开断电流的交流分量

额定短路开断电流的交流分量标准值应在 GB/T 762 规定的 R10 系列中选取。

注：R10 系列是 1-1、25-1、6-2-2、5-3、15-4-5-6、3-8 及这些数与 10ⁿ 的乘积。

4.101.2 额定短路开断电流的直流分量

直流分量的百分数应按下述方法确定：

——于自脱扣断路器，直流分量百分数对应于时间间隔等于断路器首先分闸极的最短分闸时间 T_{op} ，下面公式中的 T_r 应设定为 0 ms。

——于仅由辅助动力脱扣的断路器，直流分量百分数对应的时间间隔等于断路器首先分闸极的最短分闸时间 T_{op} 加上额定频率的一个半波 (T_r)。

上面提到的最短分闸时间由制造厂规定。

注：最短分闸时间是指制造厂规定的、能够覆盖所涉及的所有断路器在任何条件下开断符合本标准的非对称电流（出线端短路试验方式 T100a）时出现的最短分闸时间。它应以这样的方式选取：试验方式 T100a 中施加的直流分量（基于最短分闸时间）应足够大，以使本试验能够覆盖生产寿命期间制造的每一台断路器。

直流分量的百分数 (%dc) 可以从图 9 中查出，它是基于时间间隔 ($T_{op} + T_r$) 和时间常数 τ ，使用下面公式计算：

$$\%dc = 100 \times e^{-\frac{(T_{op} + T_r)}{\tau}}$$

图 9 中给出的直流分量和时间的关系曲线基于：

- a) 标准时间常数为 45 ms；
- b) 下述时间常数为与断路器额定电压相关的特殊工况下的时间常数：
 - 额定电压 40.5 kV 及以下时为 120 ms；
 - 额定电压 72.5 kV 到 363 kV 时为 60 ms；
 - 额定电压 550 kV 及以上时为 75 ms。

这些特殊工况下的时间常数值说明了标准时间常数在某些系统中是不足的。这些数值作为特殊系统需要的统一值，考虑到额定电压不同范围的特性，例如特定的系统结构、线路设计等。

注 1：另外，某些特殊用途中，可能要求更高的值，如靠近发电机的断路器。在这些情况下，要求的直流分量和附加的试验要求应在询问单中规定。

注 2：关于标准时间常数和特殊工况时间常数的用法，更详细的资料在附录 I.1.2 的解释性的注解中给出。

4.102 与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压

按照 4.101，与额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压是一种参考电压，它构成了断路器在故障条件下应能承受的回路预期瞬态恢复电压的极限值。

4.102.1 TRV 波形的表示

瞬态恢复电压的波形随着实际回路的布置变化而不同。

在某些情况下，特别是在电压 110 kV 及以上的系统，且短路电流相对于所考虑地点的最大短路电流而言是比较大的，瞬态恢复电压包括一个高上升率的起始阶段，和继之而来的较低上升率的阶段。这种波形一般可以用四参数法确定的三条线段组成的包络线充分地表示。绘制 TRV 包络线的方法在附录 E 中给出。

在另外一些情况下,特别是在电压低于 110 kV,或系统电压虽高于 110 kV 而短路电流相对于最大短路电流较小且经过变压器供电的条件下,瞬态恢复电压近似于一种阻尼的单频振荡。这种波形一般可以用两参数法确定的两条线段组成的包络线充分地表示。绘制 TRV 包络线的方法在附录 E 中给出。

两参数表示法是四参数表示法的特殊情况。

由于断路器电源侧局部电容的影响,在 TRV 的最初几个微秒内产生了一个较低电压上升率,这可以通过引入时延来考虑。

TRV 波形的每一部分都可能影响断路器的开断能力。对某些类型的断路器,TRV 的初始部分变化可能是重要的。TRV 的这一部分就叫做初始 TRV(ITRV),是由沿着母线从第一个主要不连续点的反射波形成的低幅值的起始振荡引起的。ITRV 主要是由变电站的母线和线路间隔的结构决定的。ITRV 是一种与近区故障非常相似的物理现象。与近区故障相比,其第一个电压波的峰值很低,但到达第一个电压波峰的时间极短,即在电流过零后最初几微秒内。因此,可能会影响到热方式开断。

如果断路器具有近区故障额定值,且近区故障试验是用无明显时延的回路进行的,除非,从电气的角度来看,断路器的两个端子不同(例如,使用了 6.109.3 的注 4 中提及的附加电容),在这种试验回路中,产生的等效的 TRV 可以作为替代,否则,就认为覆盖了对 ITRV 的要求(见 6.104.5.2)。

由于 ITRV 正比于母线波阻抗和电流,对于额定短路开断电流小于 25 kA 和额定电压小于 126 kV 的所有断路器,可以忽略 ITRV 的要求。另外,由于波阻抗较小,安装在金属封闭气体绝缘开关设备(GIS)中的断路器也可以忽略 ITRV 的要求。

4.102.2 TRV 的表示

TRV 采用下列参数表示:

a) 四参数参考线(见图 10)

u_1 = 第一参考电压, kV;

t_1 = 到达 u_1 的时间, μs ;

u_c = 第二参考电压(TRV 峰值), kV;

t_2 = 到达 u_c 的时间, μs ;

TRV 参数是由额定电压(U_r)、首开极系数(k_{pp})和振幅系数(k_{st})的函数确定如下:

$$u_1 = 0.75 \times k_{pp} \times \sqrt{2/3} \times U_r;$$

t_1 是由 u_1 和上升率 u_1/t_1 (RRRV) 的规定值导出的;

$u_c = k_{st} \times k_{pp} \times u_n \times \sqrt{2/3}$, 这里 k_{st} 等于:

——对于出线端故障和近区故障, 1.4,

——对于失步, 1.25。

$t_2 = 4t_1$ 。

b) 两参数参考线(见图 11)

u_c = 参考电压(TRV 峰值), kV;

t_3 = 到达 u_c 的时间, μs ;

TRV 参数是由额定电压(U_r)、首开极系数(k_{pp})和振幅系数(k_{st})的函数确定如下:

$u_c = k_{st} \times k_{pp} \times \sqrt{2/3} \times U_r$, 这里 k_{st} 等于:

——对于出线端故障和近区故障, 1.4,

——对于失步, 1.25。

t_3 是由上升率 u_c/t_3 (RRRV) 的规定值和 u_c 导出的。

c) TRV 的时延线(见图 10 和图 11)

t_d = 时延, μs ;

u' = 参考电压, kV;

t' = 到达 u' 的时间, μs 。

时延线为从时间轴上的额定时延点作与额定 TRV 第一段参考线平行的, 在电压为 u' (时间坐标 t') 的点终止的线段。

额定电压低于 72.5 kV:

$$t_d = 0.15 \times t_3$$

$$u' = u_c / 3 \text{ 且}$$

t' 是由图 11 中的 $u', u_c / t_3$ (RRRV) 和 t_d 导出的, $t' = t_d + u' / \text{RRRV}$ 。

额定电压为 72.5 kV:

$$t_d = 0.05 \times t_3, \text{ 适用于出线端故障和近区故障;}$$

$$u' = u_c / 3 \text{ 且}$$

t' 是由图 11 中的 $u', u_c / t_3$ (RRRV) 和 t_d 导出的, $t' = t_d + u' / \text{RRRV}$ 。

额定电压大于 72.5 kV:

$$t_d = 0.21 \times t_1 \text{ 或 } 2 \mu\text{s}, \text{ 适用于出线端故障和近区故障;}$$

$$t_d = 0.1 \times t_1, \text{ 对于失步;}$$

$$u' = u_1 / 2 \text{ 且}$$

t' 是由图 10 中的 $u', u_1 / t_1$ (RRRV) 和 t_d 导出的, $t' = t_d + u' / \text{RRRV}$ 。

d) ITRV (见图 12b):

u_1 = 参考电压 (ITRV 峰值), kV;

t_1 = 到达 u_1 的时间, μs ;

ITRV 的上升率取决于开断的短路电流, 其幅值取决于沿母线到第一个间断点的距离。ITRV 由电压 u_1 和时间 t_1 确定。固有的波形应按照 u_1 的 20% 和 80% 两点之间的直线和要求的 ITRV 上升率进行绘制。

4.102.3 与额定短路开断电流相关的 TRV 的标准值

额定电压 126 kV 以下的三极断路器, TRV 标准值用两参数法表示。其值在表 1 a 中给出。

额定电压 126 kV 及以上的断路器, TRV 标准值用四参数法表示。表 1 b 中给出额定电压 126 kV 接地系统和不接地系统断路器的标准值。表 1 c 中给出额定电压 252 kV 及以上接地系统断路器的标准值。

这些表中还给出了上升率的值, 用 u_c / t_3 和 u_1 / t_1 表示, 分别对应于两参数和四参数, 和 TRV 的峰值 u_c 一起就可确定 TRV。

表中给出的值均为预期值。它们适用于一般三相输电和配电系统中的断路器, 该系统由变压器、架空线和短电缆组成, 运行频率为 50 Hz。

表 1a 额定电压低于 126 kV 用两参数表示的瞬态恢复电压标准值*

额定电压 U_r kV	试验的 类型	首开级 系数 k_{op}	振幅系 数 k_{st}	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_c / t_3 kV/ μs
3.6	出线端故障	1.5	1.4	6.2	41	6	2.1	20	0.15
	失步	2.5	1.25	9.2	77	12	3.1	38	0.12
7.2	出线端故障	1.5	1.4	12.3	51	8	4.1	25	0.24
	失步	2.5	1.25	18.4	102	15	6.1	49	0.18

表 1a (续)

额定电压 U_r kV	试验的类型	首开极系数 k_{pp}	振幅系数 k_{af}	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_c/t_3 kV/ μs
12	出线端故障	1.5	1.4	20.6	61	9	6.9	29	0.34
	失步	2.5	1.25	30.6	118	18	10	56	0.26
24	出线端故障	1.5	1.4	41	87	13	14	43	0.47
	失步	2.5	1.25	61	174	26	20	83	0.35
40.5	出线端故障	1.5	1.4	69.5	114	17	23.2	55	0.61
	失步	2.5	1.25	103.4	225	34	34.5	111	0.46
72.5 ^a	出线端故障	1.5	1.4	124	165	8	41	63	0.75
	近区故障	1	1.4	83	166	8	28	64	0.50
	失步	2.5	1.25	185	336	50	62	163	0.55

a 近区故障时为电源侧的瞬态恢复电压和时间参数。
b RRRV=恢复电压的上升率。

对于单相系统或更严酷条件下运行的断路器, TRV 的值可能不同, 尤其是在下述工况:

- a) 靠近发电机回路的断路器;
- b) 直接与变压器连接的断路器, 变压器与断路器之间无明显的附加电容, 且变压器提供的短路电流近似等于或大于断路器额定短路开断电流的 50%;
- c) 电站中用于串联电抗器的断路器;
- d) 用于串联补偿线路中的断路器;
- e) 电站中用于电容器组的断路器。

表 1b 额定电压 126 kV 接地系统和不接地系统用四参数表示的瞬态恢复电压标准值^a

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 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_1/t_1 kV/ μs
126	出线端故障	1.3(接地)	1.4	100	50	188	200	2	50	27	2.0
		1.5(不接地)	1.4	116	58	216	231	2	58	31	2.0
	近区故障	1	1.4	77	38	144	152	2	38	21	2.0
	失步	2(接地)	1.25	154	100	257	400	10	77	60	1.54
		2.5(不接地)	1.25	193	115	321	460	12	96	70	1.67

a 近区故障时为电源侧的瞬态恢复电压和时间参数。
b RRRV=恢复电压的上升率。

表 1c 额定电压 252 kV 及以上接地系统用四参数表示的瞬态恢复电压标准值^a

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 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	RRRV ^b u_1/t_1 kV/ μs
252	出线端故障	1.3	1.4	201	100	375	400	2	100	52	2.0
	近区故障	1	1.4	154	77	288	308	2	77	40	2.0
	失步	2	1.25	309	201	515	800	20	154	120	1.54
363	出线端故障	1.3	1.4	289	144	538	576	2	144	74	2.0
	近区故障	1	1.4	222	111	414	444	2	111	57	2.0
	失步	2	1.25	445	288	742	1152	29	222	173	1.54
550	出线端故障	1.3	1.4	438	219	817	876	2	219	111	2.0
	近区故障	1	1.4	337	168	629	672	2	168	86	2.0
	失步	2	1.25	674	437	1123	1748	44	337	263	1.54
800	出线端故障	1.3	1.4	637	318	1189	1272	2	318	161	2.0
	近区故障	1	1.4	490	245	914	980	2	245	124	2.0
	失步	2	1.25	980	636	1633	2544	64	490	382	1.54

^a 近区故障时为电源侧的瞬态恢复电压和时间参数。
^b RRRV=恢复电压的上升率。

发生出线端短路故障时,与额定短路开断电流相应的瞬态恢复电压是用来试验短路开断电流等于额定值的情况。然而,对小于 100%额定短路开断电流下的试验,亦规定了相应的瞬态恢复电压值(见 6.104.5)。对于额定电压 72.5 kV 及以上且额定短路开断电流超过 12.5 kA,并在近区故障条件下运行的断路器还应有附加要求(见 4.105)。

为了获得第二和第三开断极恢复电压上升率(RRRV)和 u_c 的值,对相关的首开极系数,引入了首开极的 RRRV 和 u_c 值的乘数。这些乘数列于表 2 中。

表 2 额定电压 72.5 kV 以上第二和第三开断极瞬态恢复电压的标准乘数

系统类型	首开极系数 k_{pp}	乘 数			
		第二开断极		第三开断极	
		RRRV	u_c	RRRV	u_c
不接地系统	1.5	0.70	0.58	0.70	0.58
接地系统	1.3	0.95	0.98	0.70	0.77

RRRV 的乘数与 u_1/t_1 有关;首先开断极、第二和第三开断极的时间 t_1 和 t_2 相同。

表 2 中乘数的计算,基于下列假定条件:

——仅考虑三相接地故障。

——100%短路电流时恢复电压的上升率 RRRV 主要取决于架空线,并用电流零点的 di/dt 和等效

波阻抗的乘积来计算。

——等效波阻抗是用从断路器端子看去的零序阻抗(Z_0)和正序阻抗(Z_1)计算出来的, Z_0/Z_1 的关系选取的近似值为2。

——TRV的峰值(u_c)正比于开断时工频恢复电压的瞬时值。

亦可见图13和图14。

注1: 额定电压72.5 kV及以下的电压等级,该值还在考虑中。

注2: 本表对试验方式T10、T30、T60、T100 s和T100 a均有效。对试验方式T100 a采用与GB/T 4473中对首开极所规定的同样的降低方法。试验方式T10、T30、T60的值是近似的,并有待于进一步研究。

注3: 这些值是圆整后的值,并取决于TRV回路的 Z_0/Z_1 、系统的时间常数和额定电压。

4.102.4 ITRV的标准值

表3 额定电压126 kV及以上初始瞬态恢复电压的标准值

额定电压 U_r kV	确定 u_i 作为短路开断电流 I_{sc} 有效值的函数的乘数 ^a f_i		时间 t_i μ s
	kV/kA		
126	50 Hz		0.4
252	0.046		0.6
363	0.069		0.8
550	0.092		1.0
800	0.116		1.1

注: 这些数值覆盖了三相和单相故障并基于如下假定: 母线,包括与其相连的元件(支撑件、电流和电压互感器、隔离开关等),额定电压低于800 kV时,可以粗略地用大约260 Ω 波阻抗 Z_i 表征,额定电压为800 kV时,可以粗略地用大约325 Ω 波阻抗 Z_i 表征。 f_i 和 t_i 之间的关系为:

$$f_i = t_i \times Z_i \times \omega \times \sqrt{2}$$

式中: $\omega = 2\pi \times f_c$ 是与断路器额定频率相应的角频率。

^a 实际的初始峰值电压由这些栏中的数值乘以短路开断电流的有效值获得。

4.103 额定短路关合电流

具有极间同期性的断路器的额定短路关合电流(见图8)是与额定电压和额定频率相对应的额定参数。下述值适用:

——对于额定频率为50 Hz且时间常数标准值为45 ms(见4.102),额定短路关合电流等于额定短路开断电流交流分量有效值(见4.101)的2.5倍;

——对于所有特殊工况的时间常数(见4.101.2),额定短路关合电流等于额定短路开断电流交流分量有效值(见4.101)的2.7倍,与断路器的额定频率无关。

4.104 额定操作顺序

断路器的额定特性与断路器的额定操作顺序有关。

有以下两种可供选择的额定操作顺序:

a) O—t—CO—t'—CO

除非另有规定,否则:

t=3 min,不用于快速自动重合闸的断路器;

t=0.3 s,用于快速自动重合闸的断路器(无电流时间);

t'=3 min。

注:取代 $t'=3 \text{ min}$ 的其他值; $t'=15 \text{ s}$ 和 $t'=1 \text{ min}$ 也可用于快速自动重合闸的断路器。

b) CO— t'' —CO

其中: $t''=15 \text{ s}$,不用于快速自动重合闸的断路器。

这里:

O 表示一次分闸操作;

CO 表示一次合闸操作后立即(即无任何故意的时延)进行分闸操作;

t , t' 和 t'' 是连续操作之间的时间间隔。

t 和 t' 应以分钟或秒表示。

t'' 应以秒表示。

如果无电流时间是可调的,应规定调整的极限。

4.105 近区故障特性

对设计用于额定电压 72.5 kV 及以上,额定短路开断电流大于 12.5 kA,直接与架空输电线路连接的三极断路器,要求具有近区故障性能。这些特性与中性点接地系统中单相接地故障的开断有关(其首开极系数等于 1.0)。

注:在本标准中,认为在相电压下的单相试验已经覆盖了所有类型的近区故障。

近区故障回路是由断路器电源侧的电源回路和其负载侧的短线路组成(见图 15),其特性如下:

a) 电源回路特性:

——电压等于相对地电压 $U_r/\sqrt{3}$;

——短路电流,在出线端短路情况下,等于断路器的额定短路开断电流;

——预期瞬态恢复电压,在近区故障情况下,是表 1a、1b 和 1c 中给出的标准值;

——ITRV 特性,对于额定电压 126 kV 及以上的断路器,从表 3 中导出。

b) 线路特性

——RRRV 系数(基于波阻抗 Z 为 450 Ω)、峰值系数 k 和线路侧时延 t_{dl} 的标准值在表 4 中给出。

线路侧时延、线路侧电压上升率的确定见图 16;

——据特性计算瞬态恢复电压的方法在附录 A 中给出。

4.106 额定失步关合和开断电流

额定失步开断电流是在本标准规定的使用和性能条件下,具有下述规定的恢复电压的回路中,断路器能够开断的最大失步电流。

额定失步关合和开断电流的规定是非强制性的。如果规定有额定失步开断电流,下述内容适用:

a) 工频恢复电压,对于中性点固定接地系统应为 $2.0/\sqrt{3}$ 倍的额定电压;对于其他系统应为 $2.5/\sqrt{3}$ 倍的额定电压。

b) 瞬态恢复电压应符合:

——表 1a,额定电压 126 kV 以下的断路器;

——表 1b,额定电压 126 kV 的断路器;

——表 1c,额定电压 252 kV 及以上的断路器。

c) 除非另有规定,额定失步开断电流应为额定短路开断电流的 25%,额定失步关合电流应为额定失步开断电流的峰值。

考虑到额定失步关合、开断电流,使用的标准条件如下:

——分闸和合闸操作应与制造厂提供的断路器及其辅助设备操作和正确使用的说明书一致;

——电力系统中性点的接地条件应与断路器试验过的条件一致;

——断路器的两侧均无故障。

表 4 近区故障线路特性的标准值

额定电压 U_n kV	每相导体数	波阻抗 Z Ω	峰值系数 k	RRRV 系数	时延 t_{dl} μs
				50 Hz	
				s^a (kV/ μs)/kA	
≤ 126	1~4	450	1.6	0.200	0.2
≥ 252	1~4	450	1.6	0.200	0.5

注：这些数值覆盖了本标准中涉及到的近区故障试验。对于非常短的线路($t_L < 5 t_{dl}$)，不是本表中的所有要求都可满足。

^a 关于 RRRV 系数 s ，见附录 A。

4.107 额定容性开合电流

容性开合电流可能包含了断路器的部分或全部操作职能，例如空载架空输电线路或电缆的充电电流，并联电容器的负载电流。

适用时，用于容性电流开合的断路器，其额定值应包括：

- 额定线路充电开断电流；
- 额定电缆充电开断电流；
- 额定单个电容器组开断电流；
- 额定背对背电容器组开断电流；
- 额定单个电容器组关合涌流；
- 额定背对背电容器组关合涌流。

表 5 中给出了额定容性开合电流的优选值。

容性电流开合的恢复电压取决于：

- 系统的接地；
- 容性负载的接地，如屏蔽电缆、电容器组、输电线路；
- 容性负载相邻相的相互影响，如铠装电缆、敞开空气中的线路；
- 同一线路中相邻架空线系统的相互影响；
- 存在单相或两相接地故障。

根据断路器的重击穿性能，可以把其分成两级：

- C1 级：容性电流开断过程中低的重击穿概率；
- C2 级：容性电流开断过程中非常低的重击穿概率。

注 1：该概率与 6.111 规定的型式试验系列期间的性能有关。

注 2：一种断路器对于一种类型的应用（例如中性点接地系统中）可以是 C2 级，而对恢复电压更严酷（例如中性点不接地系统中）的另一种应用场合，可以是 C1 级。

注 3：具有不同于 C1 和 C2 级重击穿概率的断路器不包含在本标准范围内。

4.107.1 额定线路充电开断电流

额定线路充电开断电流是指断路器在本标准规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大线路充电电流。额定线路充电开断电流的要求对于额定电压 72.5 kV 及以上的断路器是强制性的。

4.107.2 额定电缆充电开断电流

额定电缆充电开断电流是指断路器在本标准规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大电缆充电电流。额定电缆充电开断电流的要求对于额定电压 40.5 kV 及以下的断路器是强制性的。

4.107.3 额定单个电容器组开断电流

额定单个电容器组开断电流是指断路器在本标准规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大电容器电流。该开断电流是指在断路器的电源侧没有连接并联电容器时开合一台并联电容器组的开断电流。

表 5 额定容性开合电流的优选值

额定电压 U , kV (有效值)	线路 额定线路充 电开断电流 I_l A(有效值)	电 缆 额定电缆充 电开断电流 I_c A(有效值)	单个电容器组		背对背电容器组	
			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_{bi} kA(峰值)	涌流的频率 f_{bi} Hz
3.6	10	10	400	400	20	4250
7.2	10	10	400	400	20	4250
12	10	25	400	400	20	4250
24	10	31.5	400	400	20	4250
40.5	10	50	400	400	20	4250
72.5	10	125	400	400	20	4250
126	31.5	140	400	400	20	4250
252	125	250	400	400	20	4250
363	315	355	400	400	20	4250
550	500	500	400	400	20	4250
800	900					

注 1: 选择本表中给出的数值是出于标准化的目的。
 注 2: 对于实际工况, 涌流可以按照附录 H 计算。
 注 3: 如果做了背对背电容器组开合试验, 就不要求进行单个电容器组开合试验。
 注 4: 取决于系统条件, 涌流的频率和涌流的峰值可能会高于或低于表 5 中的优选值, 例如, 是否使用了限流电抗器。

4.107.4 额定背对背电容器组开断电流

额定背对背电容器组开断电流是断路器在本标准规定的使用和性能条件以及其额定电压下所能开断的最大电容器电流。

该开断电流是指断路器的电源侧接有一组或几组电容器, 且它能提供的关合涌流等于额定背对背电容器组关合涌流时开合并联电容器组的开断电流。

注: 类似的条件适用于变电站中电缆的开合。

4.107.5 额定单个电容器组关合涌流

额定单个电容器组关合涌流是断路器在其额定电压以及与其使用条件相应的涌流频率下应能关合的电流的峰值。

注: 对于单个电容器组, 没有规定额定关合涌流和涌流频率的优选值。正常使用条件下, 额定单个电容器组关合涌流在 5 kA~10 kA 范围内。可以采用摘自 ANSI/IEEE C37.012[11]中表 1 的下述公式进行粗略地计算:

$$i_{\max \text{ peak}} \approx \sqrt{2kI_{sh}I_{sb}}$$

式中:

$i_{\max \text{ peak}}$ —— 关合涌流(峰值);

I_{sh} —— 电容器组所处位置的短路电流(有效值);

I_{ab} ——额定单个电容器组电流(有效值);

k ——取 1.15, 用来覆盖偏差以及可能出现的过电压的乘数;

涌流的频率在 200 Hz~1000 Hz 范围内, 可以采用下面的公式[11]进行粗略地计算:

$$f_{inrush} \approx f_r \sqrt{I_{sh}/I_{ab}}$$

式中:

f_r ——额定频率;

f_{inrush} ——涌流频率;

如果要求的关合涌流峰值与涌流频率的乘积($i_{max\ peak} \times f_{inrush}$)等于或小于相应试验中采用的这些数值的乘积, 则认为单个电容器组关合性能已满足。

4.107.6 额定背对背电容器组关合涌流

额定背对背电容器组关合涌流是断路器在其额定电压以及与使用条件相应的涌流频率下所能关合的电流的峰值(见表 5)。

注: 如果要求的关合涌流峰值与涌流频率的乘积($i_{max\ peak} \times f_{inrush}$)等于或小于相应试验中采用的这些数值的乘积, 则认为背对背电容器组关合性能已满足。

4.108 小感性开断电流

未规定额定值, 见 IEC 61233。

4.109 额定时间参量

按图 1、图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 和图 7。

可以对下列时间参量规定额定值:

- 分闸时间(空载);
- 开断时间;
- 合闸时间(空载);
- 分合时间(空载);
- 重合闸时间(空载);
- 合-分时间(空载);
- 预插入时间(空载);

额定时间参量基于:

- 合闸和分闸机构以及辅助和控制回路的额定电源电压(见 4.8);
- 合闸和分闸机构以及辅助和控制回路的额定电源频率(见 4.9);
- 绝缘、操作和/或开断用压缩空气源的额定压力(见 4.10), 适用时;
- 操作用液压源的额定压力;
- 周围空气温度为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

注: 由于燃弧和预击穿时间的分散性, 提出关合时间或关合一开断时间的额定值通常是不现实的。

4.109.1 额定开断时间

在 6.106.2、6.106.3 和 6.106.4 的出线端故障试验方式 T30、T60 和 T100 s 中, 断路器在其额定辅助电源电压和频率以及气源或液源的额定压力、周围空气温度为 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 下操作时测定的最长开断时间不应超过额定开断时间。

注 1: 按照 6.102.3.1 的规定, 除了 T100 a 以外, 基本短路试验方式应在操作作用和/或开断用的最低电压和/或压力下。为了验证这些方式时的额定开断时间, 考虑到最低辅助电源电压和压力, 记录到的最长开断时间应按下述方法进行修正:

$$t_b \geq t_1 - (t_2 - t_3)$$

式中:

t_b ——额定开断时间;

t_1 ——试验方式 T30、T60 和 T100 s 记录到的最长开断时间;

- t_4 ——按照试验方式 T30、T60 和 T100 s 所采用的辅助电源电压和/或开断用的压力时测取的最长空载分闸时间；
- t_5 ——额定分闸时间。

如果按该方法确定的开断时间超过额定开断时间，则具有最长开断时间的试验方式应在辅助电源电压和频率以及开断和/或操作用的压力的额定值下重复进行。

注 2：单相试验模拟三相操作时，记录到的开断时间，按照注 1 进行修正后可能会超出额定开断时间 0.1 个周波。这是因为，在这种情况下，电流零点的出现频率小于三相试验时的出现频率。

注 3：试验方式 T100 s 中的关合一开断操作时的开断时间超出额定开断时间的部分不应大于工频的半个周波。

4.110 机械操作的次数

考虑到制造厂规定的维护程序，断路器应能完成下述次数的操作：

标准断路器(基本的机械寿命)	M1 级	2 000 次操作循环
特殊使用要求的断路器(延长的机械寿命)	M2 级	10 000 次操作循环

4.111 断路器按照电寿命的分类

按 3.4.113 定义的且按 6.112.2 和表 20 试验的、要求具有电寿命能力、打算用于自动重合闸方式、通常用于架空线路网络且额定电压为 40.5 kV 及以下的断路器，划分为 E2 级。

按 3.4.113 定义的且按 6.112.1 试验的、要求具有电寿命能力、但打算用于无自动重合闸方式(例如电缆连接的网络中的)、额定电压为 40.5 kV 及以下的断路器，划分为 E2 级。

E2 级称为延长的电寿命。

不要求具有这种电寿命能力的断路器，划分为 E1 级，按 3.4.112 所定义的，称为基本的电寿命。

5 设计与结构

5.1 断路器中液体的要求

GB/T 11022—1999 的 5.1 适用。

5.2 断路器中气体的要求

GB/T 11022—1999 的 5.2 适用。

5.3 断路器的接地

GB/T 11022—1999 的 5.3 适用。

5.4 辅助设备

GB/T 11022—1999 的 5.4 适用，并做如下补充：

——使用并联分闸和合闸脱扣器的场合，当施加永久的合闸或分闸指令时，应采取适当的措施避免脱扣器损坏。例如，那些措施可以是使用串联控制触头的布置使得当断路器处于合闸位置时，合闸脱扣器的控制触头(“b”触头或开断触头)处于分闸位置，分闸脱扣器的控制触头(“a”触头或关合触头)处于合闸位置；当断路器处于分闸

位置时，分闸脱扣器的控制触头是分开的，合闸脱扣器的控制触头是闭合的；

注 1：也可能采用不同于触头的其他系统。

——对于并联合闸脱扣器，上述第一个破折号所述的并联合闸脱扣器的保护措施的动作不应早于断路器的合闸指令最短持续时间(3.7.147)，也不应迟于断路器的额定合闸时间；

注 2：如果合闸并联脱扣器的电流是由控制触头开断的，合闸指令必须长于额定合闸时间。

——对于并联分闸脱扣器，上述第一个破折号所述的并联分闸脱扣器的保护措施的动作不应早于断路器要求的脱扣指令最短持续时间(3.7.146)，也不应迟于断路器主触头分闸后 20 ms；

——对于具有短的合——分闸时间要求的场合，上述第一个破折号所述的并联分闸脱扣器的保护措施的动作不应早于断路器主触头的合闸时刻，也不应迟于断路器主触头合闸后一个半波；

——辅助开关用作位置指示器时，应指示断路器处于休止、分闸或合闸的终了位置，信号还应保持；

——连接件应能承受由断路器产生的应力，尤其是那些由于操作时的机械力而产生的应力；

- 户外断路器的所有辅助设备包括连接线,应进行充分的防雨和防潮保护;
- 使用特殊的控制设备元件时,应在辅助和控制回路的电源电压、开断和/或绝缘以及操作作用的介质的规定范围内操作,并能开合断路器制造厂规定的负载;
- 辅助设备的专用元件,诸如液体指示器、压力指示器、释放阀、充排设备、加热器和联锁的触点,应能在辅助和控制回路电源电压的规定范围内、开断和/或绝缘用以及操作作用的介质的使用范围内工作;
- 加热器在额定电压下的能量消耗应在制造厂规定值的 $\pm 10\%$ 公差范围内;
- 防跳跃装置作为控制回路的一部分时,如果安装了不止一个,它们应在每一个回路中动作;
- 极间不同期的控制回路作为断路器的一部分时,应对极的位置(分闸或合闸)进行监控。根据使用情况,延时应在0.1 s到3 s间可调。

5.5 动力合闸

GB/T 11022—1999的5.5适用,并做如下补充:

用外部能源进行动力合闸的断路器,必须能在关合额定短路关合电流的合闸操作后立即分闸。

5.6 储能合闸

GB/T 11022—1999的5.6适用,并对其第一段做如下补充:

储能合闸的断路器,必须能在关合额定短路关合电流的合闸操作后立即分闸。

5.7 不依赖人力的操作

GB/T 11022—1999的5.7不适用于断路器。

5.8 脱扣器操作

GB/T 11022—1999的5.8适用,并做如下补充:

5.8.101 过电流脱扣器

5.8.101.1 动作电流

过电流脱扣器应标明其额定电流和电流整定范围。

在电流整定范围内,过电流脱扣器应在电流整定值的110%及以上时可靠动作,而在电流整定值的90%及以下时不动作。

5.8.101.2 动作时间

对于反时限延时过电流脱扣器,动作时间应从过电流出现瞬间起,到脱扣器启动断路器脱扣机构的瞬间为止的这段时间进行测量。

制造厂应提供带有适当公差的表格或曲线,表明动作时间与两倍至六倍动作电流间的电流的函数关系。这些表格或曲线应提供极限电流整定值和极限延时整定值。

5.8.101.3 复位电流

在过电流脱扣器的延时终了以前,如果主回路中的故障电流降低到低于某一值时,则脱扣器不应完成其动作而应恢复到其初始位置。

5.8.102 多个脱扣器

若断路器安装有同样功能的多个脱扣器时,则一个脱扣器的缺陷不应干扰其他脱扣器的功能。相同功能使用的脱扣器应磁场隔离。

对于额定电压72.5 kV及以上的断路器,应提供一个附加的合闸和一个附加的并联分闸脱扣器。

5.8.103 脱扣器的动作限值

在额定电源电压下,并联分闸脱扣器的脱扣指令最短持续时间和并联合闸脱扣器的指令最短持续时间不应小于2 ms。

并联脱扣器动作的最低电源电压不应小于额定电源电压的30%。

5.8.104 脱扣器的功耗

三极断路器的并联分闸或合闸脱扣器的功耗不应超过 1200 VA。对于某些断路器的设计,可能需要更高的值。

5.8.105 自脱扣断路器的集成继电器

集成继电器用于自脱扣断路器时,应符合 GB/T 14598.7。输入的激励量是流过主触头的电流。

5.9 低压力和高压力闭锁装置

下述内容取代 GB/T 11022—1999 的 5.9:

所有具有储气筒和蓄压筒储能的断路器(见 GB/T 11022—1999 的 5.6.1)及除密封压力装置外采用压缩气体开断的断路器(见 5.103),均应装设低压力闭锁装置,也应装设高压力闭锁装置,这些闭锁装置应设定在制造厂规定的压力或适当的压力极限范围内动作。

5.10 铭牌

GB/T 11022—1999 的 5.10 适用,并做如下补充:

断路器和其操动机构的铭牌应按表 6 的内容标注。

操动机构的线圈应有一个参考标识,以使用户能从制造厂获得全部数据。

脱扣器应带有适当的数据。

在正常工作和安装位置铭牌均应明显可见。

5.11 联锁装置

GB/T 11022—1999 的 5.11 适用。

5.12 位置指示

GB/T 11022—1999 的 5.12 适用。

5.13 外壳的防护等级

GB/T 11022—1999 的 5.13 适用。

5.14 爬电距离

GB/T 11022—1999 的 5.14 适用。

5.15 气体和真空的密封

GB/T 11022—1999 的 5.15 适用。

5.16 液体的密封

GB/T 11022—1999 的 5.16 适用。

5.17 易燃性

GB/T 11022—1999 的 5.17 适用。

5.18 电磁兼容性(EMC)

GB/T 11022—1999 的 5.18 适用。

5.101 单合和单分操作时的极间同期性要求

如果对极间同期操作没有规定特别的要求,合闸时触头接触瞬间的最大差异不应超过额定频率的四分之一周波。

如果对极间同期操作没有规定特别的要求,分闸时触头分离瞬间的最大差异不应超过额定频率的六分之一周波。如果一极由多个串联的开断单元组成,则这些串联的开断单元之间触头分离瞬间的最大差异不应超过额定频率的八分之一周波。

注:对于分极式断路器,如各极的动作条件相同,则本要求适用;单极重合闸操作后,三个机构的动作条件可能会不同。

5.102 操作的一般要求

断路器及其操动机构应能在 GB/T 11022—1999 第 2 章确定的温度级别的整个环境温度范围内,按 5.5~5.9 和 5.103 相关的规定完成其额定操作顺序(见 4.104)。

表 6 铭牌参数

1	缩写	单位	断路器	操动机构	条件:仅当需要时才标注
2	3	4	5	6	
制造厂			×	×	
型号或系列号			×	×	
额定电压	U_r	kV	×		
额定雷电冲击耐受电压	U_p	kV	×		
额定操作冲击耐受电压	U_s	kV	Y		额定电压 363 kV 及以上时
额定频率	f_r	Hz	Y		对 50 Hz 不适用时
额定电流	I_r	A	×		
额定短路持续时间	t_k	s	Y		不同于 1 s 时
额定短路开断电流	I_{sc}	kA	×		
额定短路开断电流的直流分量		%	Y		大于 20% 时
首开极系数	k_{op}		Y		对于额定电压 126 kV, 不同于 1.3 时
额定失步开断电流	I_d	kA	(×)		
额定线路充电开断电流	I_l	A	Y		额定电压 72.5 kV 及以上时
额定电缆充电开断电流	I_c	A	Y		额定电压 40.5 kV 及以下时
额定单个电容器组开断电流	I_{sb}	A	(×)		
额定背对背电容器组开断电流	I_{bb}	A	(×)		
额定电容器组关合涌流	I_{si}	kA	Y		规定有额定电容器组关合涌流时
额定背对背电容器组关合涌流	I_{bi}	kA	(×)		
操作用的额定压力	p_{rm}	MPa		(×)	
开断用的额定压力	p_{rc}	MPa	(×)		
合闸和分闸装置的额定电源电压	U_{op}	V		(×)	
合闸和分闸装置的额定电源频率		Hz		(×)	
辅助回路的额定电源电压	U_a	V		(×)	
辅助回路的额定电源频率		Hz		(×)	
质量(包括油断路器的油)	M	kg	Y	Y	超过 300 kg 时
开断用流体的质量	m	kg	Y		气体断路器或油断路器时
额定操作顺序			×		
制造年份			×		
温度等级			Y	Y	不同于:户内-5℃; 户外-25℃
分级			Y		不同于 E1 级、C1 级和 M1 级时
标有发布日期的相关标准			×	×	

注 1: × 表示这些值的标注是强制性的; 空格表示此值为零; (×) 表示这些值的标注是可选的; Y 表示按照栏 6 中的条件标注的值;

注 2: 栏 2 中的缩写可以代替栏 1 中的术语。采用栏中的术语时可不出现“额定”。

此要求不适用于辅助的人力操动装置;若装有这种装置,则仅供不带电回路的维护和紧急操作之用。

装有加热器的断路器应该设计成:加热器在最短两个小时不工作时,断路器在温度级别确定的最低周围空气温度下能够进行分闸操作。

5.103 操作作用流体的压力极限

制造厂应规定操作作用流体的最高压力和最低压力,断路器在此极限压力下应能按其额定值使用,并应整定合适的低压力和高压力闭锁装置(见 5.9)。制造厂应规定操作和开断用的最低功能压力(见 3.7.157 和 3.7.158)。

制造厂可规定断路器能够进行下述每一种操作的压力极限:

- 开断其额定短路开断电流,即一个“分(O)”操作;
- 关合其额定短路关合电流后,立即开断其额定短路开断电流,即一个“合分(CO)”操作循环;
- 对于快速自动重合闸的断路器:开断其额定短路开断电流后,经过额定操作顺序(见 4.104)的时间间隔 t ,关合其额定短路关合电流后,紧接着再次开断其额定短路开断电流,即一个“分— t —合分(O— t —CO)”操作顺序。

断路器应具有足够容量的能量储存,以便在规定的相应最低压力下进行适当的操作时获得满意的性能。

5.104 排逸孔

排逸孔是断路器在操作过程中专门用来释放其内部压力的装置。

注:本定义适用于空气断路器、气吹断路器和油断路器。

断路器排逸孔的设置应使排油或排气或排逸两者时,不致引起电击穿,且不朝向任何可能出现人员的地方。制造厂应规定必要的安全距离。

断路器或其辅助设备正常操作时,其结构应使气体不会聚集在由于操作中或操作后产生的火花所能点燃的任何位置。

6 型式试验

GB/T 11022 的第 6 章适用,并作如下补充:

断路器的型式试验项目列于表 7 中。

对于型式试验,试验参量的公差在附录 B 中给出。

原则上,各项型式试验应该在新的、干净的断路器上进行。对于采用 SF₆ 作为绝缘、开断和/或操作的断路器,气体的质量至少应达到 GB 12022 的接收水平。

制造厂的责任仅限于所声明的额定值,而不是型式试验中获得的值。

通过示波器或等效设备(例如瞬态记录仪)包括相关设备来确定额定参数(例如短路电流、外施电压和恢复电压)量值的每项测量的不确定度应在±5%(等于包含因子为 2.0)范围内。

注:关于包含因子的含义,测量不确定度的表达式见 ISO 导则(1995)[12]。

6.1 概述

6.1.1 试验的分组

GB/T 11022—1999 的 6.1.1 适用。

6.1.2 确认试品用的资料

GB/T 11022—1999 的 6.1.2 适用。

6.1.3 型式试验报告包含的资料

GB/T 11022—1999 的 6.1.3 适用,并作如下补充:

关于关合、开断和短时电流性能型式试验的报告和记录,更详细的说明在附录 C 中给出。

6.2 绝缘试验

6.2.1 试验时的周围大气条件

GB/T 11022—1999 的 6.2.1 适用。

6.2.2 湿试程序

GB/T 11022—1999 的 6.2.2 适用,并增加下面的注:

注:对于落地罐式断路器,如果套管已按相关的标准试验过,则湿试程序下的试验可以免试。

6.2.3 绝缘试验时断路器的状态

GB/T 11022—1999 的 6.2.3 适用。

表 7 型式试验

强制的型式试验项目	条款号
绝缘试验	6.2
无线电干扰电压试验	6.3
主回路电阻测量	6.4
温升试验	6.5
短时耐受电流和峰值耐受电流试验	6.6
密封试验	6.8
EMC 试验	6.9
常温下的机械操作试验	6.101.2.1~6.101.2.3
短路电流关合和开断试验	6.102~6.106
容性电流开合试验:线路充电电流开合试验($U \geq 72.5$ kV)	6.111.5.1
容性电流开合试验:电缆充电电流开合试验($U \leq 40.5$ kV)	6.111.5.2
适用时,强制的型式试验项目	条款号
防护等级验证	6.7
特殊使用条件下断路器延长的机械寿命试验 * #	6.101.2.4
低温和高温试验	6.101.3
湿度试验	6.101.4
端子静负载试验	6.101.6
临界电流试验	6.107
近区故障试验 #	6.109
失步关合和开断试验 * #	6.110
电寿命试验(仅适用于额定电压 40.5 kV 及以下) *	6.112
严重冰冻条件下的操作验证试验 * #	6.101.5
单相和异相接地故障试验 * #	6.108
容性电流开合试验:线路充电电流开合试验 * ($U \leq 40.5$ kV)	6.111.5.1
电缆充电电流开合试验 # ($U \geq 72.5$ kV)	6.111.5.2
单个电容器组开合试验 * #	6.111.5.3
背对背电容器组开合试验 * #	6.111.5.3
并联电抗器和电动机的开合试验 * #	IEC 61233
注:应采用 GB/T 11022—1999 的 6.1.1 及 6.102.2 中规定的试品数量进行所有的型式试验。对于额定电压为 40.5 kV 及以下的断路器的试验,用 * 标记;对于额定电压为 72.5 kV 及以上的断路器的试验,用 # 标记。对带这些标记的试验,允许使用一台附加的试品。	

6.2.4 通过试验的判据

GB/T 11022—1999 的 6.2.4 适用,并作如下补充:

断路器的冲击试验应满足下列条件:

- a) 非自恢复绝缘上不应发生破坏性放电;
- b) 如果试验过程中出现破坏性放电,而不能给出任何理由来证明该破坏性放电出现在自恢复绝缘上,则在完成绝缘试验后应对断路器进行解体检查。如果发现非自恢复绝缘击穿,则断路器就没有通过该试验。对每一个试验系列的 15 次冲击,破坏性放电的次数不应超过 2 次,但后 5 次冲击中出现的破坏性放电不得超过 1 次。如果后 5 次冲击中出现 1 次破坏性放电,则应增加 5 次附加的冲击试验来验证,该附加的试验中不应出现破坏性放电。

注 1:带有试验套管的 GIS 中的断路器进行试验时,因试验套管不是断路器的一部分,故应不考虑试验套管上出现的闪络。

注 2:实验室应使用足够的方法来确定观察到的破坏性放电的位置,如照片、录像、内部检查等。

6.2.5 试验电压的施加和试验条件

GB/T 11022—1999 的 6.2.5 适用。

6.2.6 $U_r \leq 252 \text{ kV}$ 的断路器的试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.6 适用。

6.2.6.1 工频电压试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.6.1 适用,并增加下面的注:

注:对于落地罐式断路器,如果套管已按相关的标准试验过,则湿试验程序下的试验可以免去。

6.2.6.2 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.6.2 适用。

6.2.7 $U_r > 252 \text{ kV}$ 的断路器的试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.7 适用。

6.2.7.1 工频电压试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.7.1 适用,并作如下补充:

按照替代方法的试验程序比按照优选方法的试验程序更严酷。

6.2.7.2 操作冲击电压试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.7.2 适用,并作如下补充:

户外断路器的干试应仅使用正极性电压进行。

断路器处于合闸位置时,对于 GB/T 11022—1999 的表 9 规定的每个试验条件均应施加额定对地耐受电压。

断路器处于分闸位置时,对于 GB/T 11022—1999 的表 9 规定的每个试验条件均应施加额定对地耐受电压。

对于 4.2 中规定的特殊用途的断路器,应按第二试验系列进行。试验电压按 GB/T 11022—1999 的表 2 栏(6)的规定。对于 GB/T 11022—1999 表 11 规定的每个试验条件,一个端子施加操作冲击电压,另一端子施加工频电压。

征得制造厂的同意,断路器分闸状态下的试验可以不使用工频电压源。这个试验系列包括依次对每个端子施加的电压等于操作冲击电压和 GB/T 11022—1999 表 2 栏(6)规定的峰值电压之和,而另一端子应接地。应考虑到 GB/T 11022—1999 的 6.2.5.2 的项 b),通常,本试验程序比规定的试验程序更苛刻。

6.2.7.3 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.7.3 适用,并作如下补充:

断路器处于合闸位置时,对于 GB/T 11022—1999 表 9 规定的每个试验条件,应施加额定对地耐受

电压。

断路器处于分闸位置时,对于 GB/T 11022—1999 表 11 规定的每个试验条件,应施加额定断口耐受电压。

征得制造厂的同意,断路器分闸状态下的试验可以不使用工频电压源。这个试验系列包括依次对每个端子施加的电压等于额定雷电冲击耐受电压和 GB/T 11022—1999 表 2 栏(8)规定的峰值电压之和,进行连续 15 次冲击试验,而另一端子应接地。应考虑到 GB/T 11022—1999 的 6.2.5.2 的项 a)和项 b),通常,本试验程序比规定的试验程序更苛刻。

6.2.8 人工污秽试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.8 适用。

6.2.9 局部放电试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.9 适用,并作如下补充:

完整的断路器一般不需要进行局部放电试验。然而,如果断路器采用的某些元件有相关的标准,且包括有局部放电测量(例如套管,见 GB/T 4109)时,制造厂应提供证据,说明这些元件已按相关标准通过了规定的局部放电试验。

6.2.10 辅助和控制回路的试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.10 适用。

6.2.11 作为状态检查的电压试验

GB/T 11022—1999 的 6.2.11 适用,并作如下补充:

关合、开断试验或开合试验(见 6.102.9)后,或机械试验或环境试验(见 6.101.1.4)后,进行作为状态检查的电压试验时,下述条件适用:

对于电流路径不对称的断路器,连接线应倒换。应对每一种连接线布置进行一次完整的试验。

—— $U_i \leq 72.5$ kV 的断路器

应进行一分钟工频电压试验。试验电压应为 GB/T 11022—1999 表 1 栏(2)中数值的 80%。

—— 72.5 kV $< U_i \leq 252$ kV 的断路器

应进行冲击电压试验。冲击电压的峰值应为 GB/T 11022—1999 表 1 栏(4)中的最高相关值的 60%。

—— U_i 为 363 kV 的断路器

应进行冲击电压试验。冲击电压的峰值应为 GB/T 11022—1999 表 2 中给出的额定操作冲击耐受电压的 80%。额定操作冲击耐受电压既可以从该表栏(4)中也可以从该表栏(6)中选取,状态检查的参考值应从同一栏中选取。

—— 550 kV $\leq U_i \leq 800$ kV 的断路器

应进行冲击电压试验。冲击电压的峰值应为 GB/T 11022—1999 表 2 中给出的额定操作冲击耐受电压的 90%。额定操作冲击耐受电压既可以从该表栏(4)中也可以从该表栏(6)中选取,状态检查的参考值应从同一栏中选取。

进行冲击电压试验时,每一极性应施加 5 次冲击。如果未出现破坏性放电,则认为断路器通过了试验。

对于冲击电压试验,也可以使用大容量试验室的合成试验设备。冲击电压的波形应是标准操作冲击的波形,或者是按照出线端短路试验 T10 规定的 TRV 的波形。对于采用 T10 波形的试验,时间 t_3 允许的偏差为 -10% 和 $+200\%$ 。

注 1:比较试验已经证明:不论断路器是新的还是烧蚀过的状态,分别用标准操作冲击或出线端短路试验 T10 规定的 TRV 的波形进行试验,对断路器性能的考核几乎没有差别。

注 2:采用 TRV 冲击进行试验时,如果符合下述条件,则标准操作冲击和出线端短路试验 T10 波形的 TRV 冲击是等效的:

- TRV 的阻尼应使得 TRV 振荡的第二个峰值不高于第一个峰值的 80%；
- 峰值后大约 2.5 ms 处，恢复电压的实际值应在峰值的 50% 以上。

6.3 无线电干扰电压(r. i. v.) 试验

GB/T 11022—1999 的 6.3 适用，并作如下补充：

试验可以在断路器的一极上进行，断路器应分别处于分闸和合闸位置。试验期间，断路器应装有可能影响无线电干扰性能的所有附件，例如均压电容器、电晕环、高压连接件等。

6.4 主回路电阻的测量

GB/T 11022—1999 的 6.4 适用。

6.5 温升试验

6.5.1 受试断路器的状态

GB/T 11022—1999 的 6.5.1 适用。

6.5.2 断路器的布置

GB/T 11022—1999 的 6.5.2 适用，并作如下补充：

对于未装有串联连接附件的断路器，试验应按断路器的额定电流进行。

对于装有一定额定电流范围的串联连接附件的断路器，应进行下列试验：

- 装有额定电流等于断路器额定电流的串联连接附件的断路器，应按断路器的额定电流进行试验。
- 装有预期附件的断路器，应分别按各个附件的额定电流进行一系列试验。

注：如果断路器的附件可移开，且有证据说明断路器和附件的温升不产生明显的相互影响，则上述试验 b) 可用各附件单独进行的一系列试验来代替。

6.5.3 温度和温升的测量

GB/T 11022—1999 的 6.5.3 适用。

6.5.4 周围空气温度

GB/T 11022—1999 的 6.5.4 适用。

6.5.5 辅助和控制设备的温升试验

GB/T 11022—1999 的 6.5.5 适用。

6.5.6 温升试验的解释

GB/T 11022—1999 的 6.5.6 适用。

6.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

GB/T 11022—1999 的 6.6 适用。

6.6.1 断路器以及试验回路的布置

GB/T 11022—1999 的 6.6.1 适用，并作如下补充：

如果断路器装有直接过电流脱扣器，则应把最小动作电流的线圈，整定到在最大电流和最长延时下进行试验，线圈应接到试验回路的电源侧。如果断路器也可以在不装直接过电流脱扣器时使用，则应在无过电流脱扣器时进行试验。

对于其他的自脱扣断路器，过电流脱扣器应整定在最大电流和最长延时下动作时进行试验。如果断路器可以在不带脱扣器时使用，则应在无脱扣器时进行试验。

6.6.2 试验电流和持续时间

GB/T 11022—1999 的 6.6.2 适用，并作如下补充：

对于自脱扣断路器，应进行仅限于分闸操作的额定操作顺序。除非试验在额定电压下进行，可以采用预期电流值。否则，所有相和操作中的开断电流的交流分量有效值的平均值，应作为短时电流的有效值。

6.6.3 断路器在试验中的性能

GB/T 11022—1999 的 6.6.3 适用。

6.6.4 试验后断路器的状态

GB/T 11022—1999 的 6.6.4 适用,并作如下补充:

自脱扣断路器试验后,断路器的状态应符合 6.102.9,并应证明过电流脱扣器仍然是正确、有序的动作。正如制造厂所声明的,以最小脱扣电流的 110%,进行一次注入试验,应得到一个满意的验证。

6.7 防护等级验证

6.7.1 IP 代码的检验

GB/T 11022—1999 的 6.7.1 适用于正常使用条件下断路器的可触及的所有部分。

6.7.2 机械撞击试验

GB/T 11022—1999 的 6.7.2 适用。

6.8 密封试验

GB/T 11022—1999 的 6.8 适用。

6.9 电磁兼容性(EMC)试验

GB/T 11022—1999 的 6.9 适用。

6.101 机械试验和环境试验

6.101.1 机械试验和环境试验的各项规定

6.101.1.1 参考的机械行程特性

型式试验前,应建立断路器的机械行程特性,例如,记录空载行程曲线。这些曲线可以作为参考的机械行程特性。这些参考的机械行程特性是为了表征断路器的机械性能。其他试验,包括:环境、关合、开断和开合试验之前和/或之后,以及在出厂试验和交接试验(如果适用)时,均要求进行类似的试验。

应记录下述动作特性:

——分闸和合闸操作的机械行程特性;

——用于记录行程特性的传感器应安装在适当的位置,以便能够直接或间接地提供最佳的机械行程特性。传感器的安装位置应在试验报告中说明。机械行程特性曲线可以连续地或离散地记录。在后一种情况下,对于完整的行程至少应给出 20 个离散数值;

——合闸时间;

——分闸时间。

参考的机械行程特性,应在操动机构及辅助和控制回路的额定电源电压、操作作用的额定功能压力以及为了试验方便,在开断用的最低功能压力下,对额定操作顺序为 $O-t-CO-t'-CO$ 或 $CO-t'-CO$ 分别进行 $O-t-CO$ 或 CO 操作顺序的空载试验来得到。参考的空载试验可以取自一项独立型式试验的一部分中任何适当的空载试验。

参考的机械行程特性,可以用来确认在机械、关合、开断和开合型式试验中使用的不同样品的机械动作方式相同。用于机械、关合、开断和开合型式试验的所有试验样品的机械行程特性应在下述包络线内。如果因为不同的试验室所用的测量方法不同,而不能对包络线进行直接比较,制造厂应提供证据说明这些包络线一致。

参考的机械行程特性也可以用来确定:该参考曲线上允许偏差的限值。根据该参考曲线,可以从分闸时的触头分离时刻和合闸时的触头接触时刻到触头行程终止时刻,划出两条包络线。两条包络线距初始点的距离应在总行程的 $\pm 5\%$ 范围内,如图 23b 所示。断路器的总行程为 20 mm 或更小时,两条包络线距初始点的距离应为 ± 2 mm。已经发现,对于某些断路器的设计,这些方法不适用。在这种情况下,制造厂应证明所用的方法和限值是正确的。

图 23a 到图 23d 是为了图解的目的,且仅说明了分闸操作。这些都是理想的,没有考虑触头的磨擦效应或行程终止时阻尼引起的外形偏差。尤其重要的是,应注意到这些图中并没有表示出阻尼效应。行程终止时产生的振荡取决于驱动系统的阻尼效应。这些振荡的形状可以是设计的结果,也可能是由

不良设计、制造、装配或调整导致的。因此，行程终止时曲线上的任何超出包络线公差范围的偏差，为了表明与参考曲线的等效性，在放弃或接受该曲线之前，对其作出完整的解释和推断是很重要的。通常，应接受所有包络线范围内的曲线。

包络线可以在垂直方向移动，直到一条曲线覆盖了参考线。这就分别给出参考机械行程特性的最大允许偏差分别为0%，+10%和0%，-10%，如图23c和23d所示。为了得到和参考特性10%的最大的总偏差，包络线的移动在整个试验过程中只允许使用一次。

参考的空载试验中记录的分闸时间和合闸时间可以作为参考的分闸和合闸时间。这些参考的时间，其允许偏差相应于制造厂给出的公差，在额定控制电压下测量时不应超出±10%。

6.101.1.2 单元试验

当对整台断路器进行试验不可行时，单元试验也可以作为型式试验。制造厂应确定适合进行试验的单元。

单元是具有独立功能的分装，可以独立于整台断路器而操作（例如一极，一个开断单元，一个操动机构）。

进行单元试验时，制造厂应证明试验时单元上承受的机械和环境应力不小于整台断路器试验时施加在同一单元上的机械应力。如果个别试验适于在单元上进行，单元试验应包含整台断路器所有不同类型的单元。单元型式试验的条件应该和其在整台断路器中所起作用时的试验条件相同。

按照有关标准制造的辅助和控制设备的部件应符合这些标准。与断路器其他部件的功能有关的这些部件的固有功能应进行验证。

6.101.1.3 试验前后应记录的断路器的特性和整定值

试验前后，下列动作特性或整定值应予以记录和计算：

- a) 合闸时间；
- b) 分闸时间；
- c) 一极中各单元之间的时间差；
- d) 极间时间差（如果进行多极试验时）；
- e) 操动装置的恢复时间；
- f) 控制回路的损耗；
- g) 脱扣装置的损耗，可能时还应记录脱扣器的电流；
- h) 分闸或合闸指令的持续时间；
- i) 密封性（适用时）；
- j) 气体密度或压力（适用时）；
- k) 主回路电阻；
- l) 时间-行程特性曲线；
- m) 制造厂规定的其他重要特性或整定值。

上述动作特性应在下列情况下记录：

- 额定电源电压和操作用的额定充气压力；
- 最高电源电压和操作用的最高充气压力；
- 最高电源电压和操作用的最低功能压力；
- 最低电源电压和操作用的最低功能压力；
- 最低电源电压和操作用的最高充气压力。

6.101.1.4 断路器在试验中和试验后的状态

断路器在试验中及试验后应处于这样的状态：能够正常操作，能够承载额定电流，能够关合、开断其额定短路电流及按照其额定绝缘水平承受电压。

如果断路器符合下列条件，则认为上述要求已被满足：

- 试验中,断路器按指令动作,无指令不动作;
- 试验后,按照 6.101.1.3 测出的特性在制造厂给出的偏差范围内;
- 试验后,所有部件,包括触头无过度磨损;
- 试验后,在接触区有镀层的触头,表面的镀层仍应保持,否则,触头被认为是裸露的,温升试验中(按照 6.5)的触头温升不应超过相应于裸露触头的允许值;
- 试验中及试验后,机械部件的任何变形对断路器的操作不得有不利的影响,或者不得妨碍可更换零件的正常装配;
- 试验后,断路器在分闸位置的绝缘性能应该和试验前的状况基本相同。试验后断路器的外观检查通常足以判断其绝缘性能。对于灭弧室终身密封的断路器,按照 GB/T 11022—1999 的 6.2.11,作为状态检查的电压试验可能是必要的。

6.101.1.5 辅助和控制设备在试验中和试验后的状态

试验中及试验后,辅助及控制设备应满足下列条件:

- 试验中,应注意防止过热;
- 试验中,应安排一组触头(包括关合和开断辅助触头),用以开合所控制的回路的电流(见 5.4);
- 试验中及试验后,辅助和控制设备应满足其功能;
- 试验中及试验后,辅助开关和控制设备的辅助回路的功能不应受到损坏。若有怀疑,应按照 GB/T 11022—1999 的 6.2.10 进行试验;
- 试验中及试验后,辅助开关的接触电阻不应受到不利的影响。承载额定电流时,其温升不应超过规定值(见 GB/T 11022—1999 的表 3)。

6.101.2 周围空气温度下的机械操作试验

6.101.2.1 概述

机械操作试验应在试验地点的周围空气温度下进行。周围空气温度应记录在试验报告中。应包括作为操动机构组成部件的辅助设备。

机械操作试验应由 2000 次操作循环组成。

除了装有过电流脱扣器的断路器外,试验应在主回路中既无电压又无电流的条件下进行。

对于装有过电流脱扣器的断路器,操作循环总操作次数的 10%应该是在分闸装置由主回路中的电流激励的情况下进行,电流应是过电流脱扣器动作所必需的最小电流。对于这些试验,通过过电流脱扣器的电流,也可由一个合适的低压电源供给。

试验中,允许按照制造厂的说明书进行润滑,但不允许进行机械调整或其他类型的维修。

6.101.2.2 试验前断路器的状态

被测断路器应安装在其自身的支架上,且其操动机构应按照规定的方式进行操作。根据断路器的类型,按照下列规定进行试验:

由一个操动机构操作和/或所有极装在一个共用基架上的多极断路器,都应当作为一个整体进行试验。

试验应按 6.101.1.3 的项 j),在开断用的额定充入压力下进行。

每极或者甚至每个柱分别由单独的操动机构操作的多极断路器最好以一台完整的多极断路器进行试验。但是,为了方便,或者由于试验间尺寸的限制,可以用断路器的一个极试验,只要在整个试验范围内它同用完整的多极断路器的试验等价或者不会更有利,例如在下列几个方面:

- 参考的机械行程特性;
- 合闸和分闸机构的功率和强度;
- 结构的刚度。

6.101.2.3 M1 级断路器试验的说明

断路器应按照表 8 进行试验。

表 8 额定操作顺序的次数

操作顺序	控制电压和 操作压力	操作顺序次数	
		自动重合闸断路器	非自动重合闸断路器
C— t_n —O— t_n	最低	500	500
	额定	500	500
	最高	500	500
O— t —CO— t_n —C— t_n	额定	250	—
CO— t_n	额定	—	500

注：O 表示分闸；C 表示合闸；CO 表示合闸操作后，紧接着（没有任何人为延时）进行一个分闸操作； t_n 表示两次操作之间的时间间隔，以使断路器恢复到起始状态和/或防止断路器的某些部件过热（这个时间可以根据操作的类型而不同）； t 表示如无其他规定，对于快速自动重合闸断路器为 0.3 s。

6.101.2.4 特殊使用要求下 M2 级断路器的延长的机械寿命试验

对有特殊使用要求的、需频繁操作的断路器，应进行延长的机械寿命试验，试验程序如下：
试验应按 6.101.1, 6.101.2.1, 6.101.2.2 和 6.101.2.3 进行，并作如下补充：

- 试验应由 5 倍于 6.101.2.3 中表 8 规定的相关试验系列，即 10 000 次操作循环组成；
- 规定的试验系列之间，允许根据制造厂的说明书进行一些维护，如：润滑和机械调整。不允许更换触头；
- 试验过程中的维修程序应由制造厂在试验前确定，并记录在试验报告中。

6.101.2.5 机械操作试验的判据

下面给出的判据适用于 M1 和 M2 级断路器的机械操作试验。

a) 全部试验程序完成前、后，应进行下述操作：

- 在合分闸装置以及辅助和控制回路的额定电源电压和/或操作作用的额定压力下，进行 5 次合—分操作循环；
- 在合分闸装置以及辅助和控制回路的最低电源电压和/或操作作用的最低压力下，进行 5 次合—分操作循环；
- 在合分闸装置以及辅助和控制回路的最高电源电压和/或操作作用的最高压力下，进行 5 次合—分操作循环；

在这些操作循环中，应记录或计算其动作特性（见 6.101.1.3）。不需给出所有记录到的示波图。但是，试验报告中至少应对上述的每一种条件给出一张示波图。

另外，还应进行下面的检查和测量（见 10.2.102）：

- 如果适用，操作过程中操作流体压力特性和损耗的测量；
- 额定操作顺序的验证；
- 如果适用，某些规定操作的检查。

延长的机械寿命试验前、后测量到的每个参数与平均值之差应在制造厂给出的允差范围内。

b) 每一个 2 000 次操作循环后，6.101.1.3 中的 a)、b)、c)、d)、e) 和 i) 的动作特性应予以记录；

c) 完成所有试验程序后，断路器的状态应该符合 6.101.1.4。

6.101.3 低温和高温试验

6.101.3.1 概述

两类试验不需要连续进行，试验的顺序是任意的。对于 -5℃ 级的户内断路器和 -10℃ 级的户外断

断路器不要求低温试验。

对于单箱壳型断路器或共用一个操动机构的多箱壳型断路器应该进行三极试验。对于每极为一个独立单元的多箱壳型断路器,允许用一个完整的极进行试验。

由于受试验设备的限制,如果在试验的布置上,断路器的机械条件不比正常的机械操作条件更有利(见 6.101.2.2),多箱壳型断路器可以采用下列一个或几个替代方案进行试验:

- a) 降低相对地绝缘高度;
- b) 缩小极间距离;
- c) 减少单元数。

如果需要,可以将热源投入使用。

除非断路器的设计要求为供给断路器操作作用的液体或气体源提供热源,否则,断路器应处于试验时的空气温度。

试验过程中,不允许对断路器进行检修、更换零部件、润滑或调整。

注:为了确定材料的温度特性、老化等,可能需要比下列条款所规定的更长时间的试验。

作为本标准规定的试验方法的一种替代办法,是由制造厂提供断路器良好的现场运行的经验资料,来证明已有的某断路器系列符合本条款的要求,这些运行经验包括:至少在一个地点其周围空气温度经常等于或高于所规定的最高周围空气温度 40℃ 的运行经验,及至少在一个地点其周围空气温度为断路器级别(见 GB/T 11022—1999 的第 2 章)所规定的最低温度的运行经验。

6.101.3.2 周围空气温度的测量

试验地点的周围空气温度的测量应该在断路器高度一半及距断路器 1 m 处进行。

断路器高度上的最大温度偏差应不超过 5 K。

6.101.3.3 低温试验

试验顺序的图示和规定的试验点确定见图 17a。

如果低温试验是紧接着高温试验后进行的,则低温试验可以在高温试验完成项 u) 后继续进行,这时,项 a) 和项 b) 可以省略。

- a) 被测断路器应按照制造厂的说明书进行调整。
- b) 在周围空气温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ (T_A) 下,按照 6.101.1.3 的规定记录断路器的特性和整定值。如果适用,应按照 6.8 进行试验。
- c) 断路器处于合闸位置,根据断路器的级别(GB/T 11022—1999 中 2.1.1、2.1.2 和 2.2 给出的)将周围空气温度降低到相应的最低周围空气温度 (T_L)。周围空气温度稳定在 T_L 后,断路器应保持在合闸位置 24 h。
- d) 在温度 T_L 下,断路器保持合闸位置 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用)。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A ,并处于热稳定状态时,其泄漏率能恢复到原始值,增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率不得超过 GB/T 11022—1999 表 12 中的允许暂时泄漏率。
- e) 保持在温度 T_L 24 h 后,断路器应在电源电压及操作压力的额定值下进行分闸和合闸,记录下分闸和合闸时间,以确定断路器的低温操作特性。如果可行,还要记录触头的运动速度。
- f) 在 t_x 期间,切断所有供热设备,包括防止凝露的加热元件,以检验断路器的低温性能及其报警和闭锁系统。在此期间,允许报警,但不允许闭锁。在时间间隔 t_x 末,在电源电压和操作压力的额定值下给出分闸指令,断路器应分闸。分闸时间应记录下来(如果可行,还应测量机械行程特性),以便估算开断能力。

制造厂应规定在没有二次电源对加热设备供电的条件下,断路器依旧能够操作的最长时间 t_x 值(不小于 2 h)。如果没有上述规定,优选值为 2 h。

- g) 断路器应置于分闸位置 24 h。
- h) 在温度 T_L 下,断路器处于分闸位置的 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用)。如果断路器恢

复到周围空气温度 T_A ，并处于热稳定状态时，其泄漏率能恢复到原始值，增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率不得超过 GB/T 11022—1999 表 12 中的允许暂时泄漏率。

- i) 在 24 h 终了时，在温度 T_L 下，断路器应以其额定电源电压及操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。对于每个循环或顺序允许至少有 3 min 的时间间隔。应记录第一次合闸和分闸操作，以确定其低温操作特性。如果可行的话，应记录触头的速度。在第一次合闸操作和第一次分闸操作后，应进行三个“合分”操作循环（无人为延时）。其余的操作应按“合— t_s —分— t_a ”操作顺序进行（ t_s 的定义见表 8）。
- j) 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后，空气温度应以大约每小时 10 K 的变化率提高到周围空气温度 T_A 。

在温度变化的过渡期间，断路器应以额定电源电压和操作压力交替地进行“合— t_s —分— t_a —合”和“分— t_s —合— t_a —分”操作顺序。交替的操作顺序间的时间间隔为 30 min，以使断路器在操作顺序之间的 30 min 期间处于分闸位置和合闸位置。

- k) 断路器在周围空气温度 T_A 下达到热稳定状态后，应按照项 a) 和项 b) 重新检查断路器的整定值、动作特性和密封性，以便同起始特性进行比较。

在进行从项 b) 到项 j) 的完整的低温试验过程中，其累积的泄漏应不致达到闭锁压力（但是，达到报警压力是允许的）。

6.101.3.4 高温试验

试验顺序的图示和规定的试验点的确定见图 17b。

如果高温试验是紧接着低温试验后进行，则高温试验可以在低温试验项 j) 完成后继续进行，这时，项 k) 和 l) 可以省略。

- l) 被试断路器应按照制造厂的说明书进行调整。

- m) 在周围空气温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ (T_A) 下，按照 6.101.1.3 的规定，记录断路器的特性及其整定值。如果适用，应按照 6.8 进行密封试验。

- n) 断路器处于合闸位置，将空气温度升高到适当的、符合 GB/T 11022—1999 的 2.1.1、2.1.2 和 2.2 给出的周围空气温度的上限，即最高周围空气温度 (T_H)。断路器的周围空气温度稳定在 T_H 后，保持在合闸位置 24 h。

注：没有考虑太阳辐射的影响。

- o) 在温度 T_H 下，断路器处于合闸位置的 24 h 期间，应进行密封试验（如果适用）。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A ，并处于热稳定状态时，泄漏率能恢复到原始值，则增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率不得超过 GB/T 11022—1999 表 12 中的允许暂时泄漏率。

- p) 保持温度 T_H 24 h 后，断路器应在其额定操作电压及操作压力下分闸和合闸，记录下分闸和合闸时间，以确定其高温操作特性。如果可行，还应记录触头的运动速度。

- q) 在温度 T_H 下断路器分闸，并处于分闸位置 24 h。

- r) 在温度 T_H 下，断路器处于分闸位置的 24 h 期间，应进行密封试验（如果适用）。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A ，并处于热稳定状态时，其泄漏率能恢复到原始值，则增大的泄漏率是允许的。但这种暂时增大的泄漏率不得超过 GB/T 11022—1999 表 12 中的允许暂时泄漏率。

- s) 24 h 终了时，在温度 T_H 下，断路器应以额定电源电压和操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作，对于每个循环或试验顺序允许至少有 3 min 时间间隔，应记录第一次合闸和分闸操作，以确定其高温操作特性。如果可行，还应记录触头的运动速度。

在第一次合闸和第一次分闸操作后，应进行三个“合分”操作循环（无人为延时）。其余的操作按“合— t_s —分— t_a ”操作顺序进行（ t_s 的定义见表 8）。

- t) 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后，空气温度应以大约每小时 10 K 的变化率降低到周围空气温度 T_A 。

在温度变化的过渡期间,断路器应以额定电源电压和操作压力交替地进行“合— t_a —分— t_a —合”和“分— t_a —合— t_a —分”操作顺序。交替的操作顺序之间的时间间隔应为 30 min,以使断路器在操作顺序之间的 30 min 期间处于分闸位置和合闸位置。

- u) 断路器在周围空气温度 T_A 下达到热稳定状态后,应按照项 k) 和 l) 重新检查断路器的整定值、操作特性和密封性,以便同起始特性进行比较。

在进行从项 l) 到项 t) 完整的高温试验顺序过程中,其累积的泄漏应不致达到闭锁压力(但是,达到报警压力是允许的)。

6.101.4 湿度试验

6.101.4.1 概述

如果因为温度的骤变,在长期承受电压作用的绝缘表面可能出现凝露,则应对断路器或断路器的部件进行湿度试验。该试验不对设计用在直接暴露于降雨环境中的设备(如户外断路器的一次元件)实施。也没有必要对已采取了有效的防凝露措施的设备(如带有防凝露加热器的控制柜)实施。

通过 6.101.4.2 中叙述的试验程序,可以在试品的表面产生凝露,试品、断路器的元件耐受湿度效应的能力,以加速的方式来确定。

6.101.4.2 试验程序

试品应安装在空气流通的试验室中,试验室的温度及湿度应按下面循环给出:

该循环的一半,试品表面应是湿的,该循环的另一半,试品表面应是干燥的。为此,在试验室内,试验循环由低空气温度($T_{\min}=25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$)阶段 t_1 和高空气温度($T_{\max}=40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$)阶段 t_2 组成。两个阶段的时间应相等。对低空气温度的半个循环,应保持施加产生的雾(见图 18)。

雾产生的开始,原理上与低空气温度阶段同时开始。然而为了加湿具有高的热时间常数的材料的垂直表面,有必要在低温度期间内延迟开始雾的产生。

试验循环的持续时间取决于试品的热特性,并在高温度和低温度期间均应足够长,以使得所有的绝缘表面变湿和干燥。为了达到这些状态,可以向室内直接注入蒸汽或将热水以雾状喷入室内;蒸汽或雾状热水供给热量,或者必要时使用加热器,可以使温度从 25°C 上升到 40°C 。把试品放在试验室内进行的第一个循环是为了观察和检查这些条件。

注:高压断路器的低压元件的热时间常数通常小于 10 min,图 18 中给出的时间间隔的持续时间为 $t_1=10\text{ min}$ 、 $t_2=20\text{ min}$ 、 $t_3=10\text{ min}$ 和 $t_4=20\text{ min}$ 。

通过连续的或间断的在每立方米空间内雾化(0.2~0.4)L/h 的水(电阻特性在下面给出)来获得雾。喷嘴的直径应小于 $10\ \mu\text{m}$;这样的雾可以通过机械喷雾器获得。喷洒的方向应使得试品的表面不被直接喷到。试品上面的顶板不应有水滴落。产生雾的期间,试验室应关闭,不允许有额外的强迫空气流通。

产生湿度作用的水,应该是在试验室内收集到的,其电阻率应等于或大于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,且既不含盐(NaCl)也不含腐蚀性元素。

试验室内空气的温度和相对湿度应在试品附近测量,并应在整个试验期间进行记录。温度下降时,不规定相对湿度的数值,但是,当温度保持在 25°C 期间,湿度应在 80% 以上。试验室内的空气应是流通的,以保证试验室内的湿度得以均匀分布。

循环次数应为 350 次。

试验中和试验后,试品的操作特性不应受到影响。辅助和控制回路应能耐受 1500 V 工频电压 1 min。腐蚀的程度(如果有),应在试验报告中说明。

6.101.5 严重冰冻条件下操作的验证试验

严重冰冻条件下的试验,仅适用于具有可动的外部部件的户外断路器,规定的结冰厚度等级为 10 mm 或 20 mm。试验应按照 GB 1985 规定的条件进行。

6.101.6 端子静负载试验

6.101.6.1 概述

进行端子静负载试验是为了验证在冰、风及连接导体同时作用下断路器能正确地操作。

端子静负载试验仅适用于额定电压 72.5 kV 及以上的户外断路器。

如果制造厂通过计算可以证明断路器能够耐受该负载,则不需要进行试验。

断路器上的覆冰和风压,应符合 GB/T 11022—1999 的 2.1.2 的规定。

表 9 中给出了由于软连接和管形连接导体产生的作用力的一些例子(不包括作用在断路器本体上的风和冰负载及动态负载),可作为试验的导则。

假定由连接导体产生的拉力作用在断路器端子的最外端上。

冰、风和连接导线同时作用时,端子合成负载分别以 F_{shA} 、 F_{shB} 和 F_{sv} (见图 19) 表示,且定义为额定端子静负载。

6.101.6.2 试验

试验应在试验室的周围空气温度下进行。

试验至少应在断路器的一个完整极上进行。如果制造厂能够证明一个极中各柱之间无相互作用,则仅试验一个柱已足够。对于相对一个极的垂直中心线是对称的断路器,则仅需以额定端子静负载对一个端子进行试验。对于不对称的断路器,应对每一个端子进行试验。

试验应分开进行,首先以水平力 F_{shA} 施加于端子的纵向轴(图 20 中的方向 A1 和 A2),第二步以水平力 F_{shB} 相继施加于与端子纵向轴成 90° 的两个方向上(图 20 中的方向 B1 和 B2),第三步以垂直力 F_{sv} 相继施加于两个方向上(图 20 中的方向 C1 和 C2)。为了避免施加一个专门的力来代表作用在断路器的承压中心的风力,这个风负载可以施加在端子上(见图 19),其值可按较长的杠杆臂的比例缩小(断路器最低部分的弯矩应该相同)。

对于每一组规定的端子的五个负载试验应进行两个操作循环。

6.102 关合、开断和开合试验的各项规定

除非在相关条款中另有规定,下列条款适用于所有的关合和开断试验。

在进行试验之前,制造厂应声明下列值:

- 保证额定操作顺序时,操动机构的最低条件(例如液压操动机构操作作用的最低功能压力);
- 保证额定操作顺序时,开断装置的最低条件(例如 SF₆ 断路器开断用的最低功能压力)。

6.102.1 概述

断路器应能关合和开断直到包括额定短路开断电流在内的所有的对称的和非对称的短路电流,如果断路器在额定电压下关合和开断 10% (如果 6.107.1 适用,或 6.107.2 中规定的更小的电流) 和 100% 额定短路开断电流之间所规定的所有三相对称和非对称电流,则可以认为断路器的上述性能已被验证。

表 9 端子静负载试验的静态水平和垂直力示例

额定电压范围 U , kV	额定电流范围 I , A	静态水平力 F_{sh}/N		静态垂直力 F_{sv}/N (垂直轴向上和向下)
		纵向 F_{shA}	横向 F_{shB}	
72.5	800~1 250	500	400	500
	1 600~2 500	750	500	750
126	1 250~2 000	1 000	750	750
	2 500~4 000	1 250	750	1 000
252~363	1 600~4 000	1 500	1 000	1 250
550~800	2 000~4 000	2 000	1 500	1 500

此外,用于中性点接地系统或单极操作的断路器,在相对地电压($U/\sqrt{3}$)下应能关合和开断 10%

(如果 6.107.1 适用,或 6.107.2 中规定的更小的电流)和 100% 额定短路开断电流之间的单相短路电流。

具有任何容性电流额定值的断路器,应能在直到规定值(见 6.111.7)的电压下开合直到其额定容性开合电流的任何容性电流。这一点可以通过在规定的试验电压下断路器开合其额定容性开合电流来验证。

三相关合和开断要求,应优先在三相回路中验证。

如果试验在实验室进行,外施电压、电流、瞬态和工频恢复电压可以从一个单独的电源获得(直接试验),或者从几个电源获得,其中电流的全部或大部分从一个电源获得,而瞬态恢复电压可以全部地或部分地从一个或多个独立的电源获得(合成试验)。

如果受试验设备的限制,断路器的短路性能不能按上述方法验证时,根据断路器的类型可采用下列一种或几种组合试验方法,这些验证方法应用直接试验法或合成试验法:

- a) 单极试验(见 6.102.4.1);
- b) 单元试验(见 6.102.4.2);
- c) 多部试验(见 6.102.4.3)。

6.102.2 试品的数量

GB/T 11022—1999 的 6.1.1 适用,并做如下补充:

作为进行短路关合、开断试验和开合试验(适用时包括出线端短路、近区故障、失步和容性电流开合试验)的推荐经验,这些试验应用一台试品。短路试验时,每个独立的试验方式之间和其他非短路试验时每个独立的试验系列之间,需要时,如果允许,可以进行维修。制造厂应向试验室说明试验过程中需要更换的零部件。

然而,也注意到几个试验方式必须在同一个试验站的同一位置进行的情况,上述限制条件可能会成为不经济的制约。在这种情况下,最多允许使用两台样机进行上述试验。此时,应按 GB/T 11022—1999 的 6.1.2 对两台样机进行全面确认;另外,两台试品的机械行程特性应在 6.101.1.1 规定的允差范围内。

作为补充,仅限于每级具有独立机构的断路器允许进行单相整极试验。作为对两台试品的补充,也可以使用最多两极的开断单元。

如果对一极的一个单元或多个单元进行单元试验时,单个试验中使用的单元总数,考虑到 6.102.4.2.3 的规定,可以认为是一个样品。在这种情况下,可以使用两个试验样品及相应的操动机构和最多两台附加的样品(适当的开断单元)。

关合、开断和开合试验允许的试品数量的图解说明见图 21。按 GB/T 11022—1999 的 3.2.2,试品的定义的图解说明见图 22。

如果完成试验后,对断路器的非可更换零部件检查未发现过分的损坏,但不更换非可更换零部件可能会影响断路器完成整个型式试验,则允许按补充要求。如果不是这种情况,则应该用同一台试品完成整个型式试验,而仅更换制造厂说明的可更换零部件。

需要进行附加的非强制性试验时,可以使用附加的试品,超过上述规定的试品数量是允许的(见表 7)。

6.102.3 受试断路器的布置

6.102.3.1 概述

受试断路器应安装在自身的支架或与之等效的支架上。作为封闭单元的一个组成部分的断路器,应完整装配在自身的支持结构件和外壳内,即装有隔离装置和构成单元部件的排逸孔,以及如果可行的话,还要有主连接和母线。

操动机构应按规定的方式进行操作,特别时,如果它是电动或弹簧操作的,合闸线圈或并联合闸脱扣器和并联分闸脱扣器分别应在最低电源电压下保证成功地操作(合闸线圈和并联合闸脱扣器为额定

电压的 85%，分闸脱扣器的电源电压，交流为额定电压的 85%，直流则为额定电压的 85%)。为了便于稳定地控制分闸和合闸操作，在 T100a 试验、容性电流开合试验和 6.108 中规定的单相试验时，应供给脱扣器最高操作电压。对于气动或液压操动机构，应该在操作作用的最低功能压力下操作，如 3.7.157，除非相关条款中另有规定，应进行 4.104 规定的额定操作顺序。如果受试验方式和试验站条件的限制，允许操作顺序由单分、合分和分—t—合分操作构成，下列程序适用：

- a) 开断、关合和开合试验前，应从 3.7.157 规定的操作作用的最低功能压力开始，应记录所进行的空载额定操作顺序时的所有压力；
- b) 应把记录到的压力值与制造厂提出的保证单分、合分和分—t—合分成功操作的最低值比较；
- c) 试验应在上述 a) 和 b) 获得的最低压力下操作，试验方式中相应操作的压力不论如何低，该压力值应记录在试验报告中。

与压力闭锁相关的闭锁装置，如果与试验相矛盾，则在试验过程中应予解除。

应表明断路器在上述条件和 6.102.6 规定的空载条件下能够满意地操作。按照 3.7.157，开断用的压缩气体的压力(如果有)应整定到其最低功能值。

断路器应根据 6.102.3.2 和 6.102.3.3 规定的类型进行试验。

6.102.3.2 共箱型

全部弧触头均装在一个共用的箱壳内的三极断路器，应在三相回路中对完整的三极断路器进行试验，且应参照 IEC 61633。

理由如下：

- 由于排出气体的影响，存在极间或极对地间破坏性放电的可能性；
- 灭弧介质的状态(压力、温度、污秽水平等)可能不同；
- 三相故障时，相间的电动力产生的巨大影响；
- 操动机构所受的应力可能不同。

6.102.3.3 分箱型

由三个独立的单极开合装置组成的三极断路器，可按照 6.102.4.1 进行单相试验。制造厂应提供试验证据表明符合 5.101。

对不具有完全独立的开合装置的三极断路器，应用整台三极断路器进行试验。但是，如果受可供使用的试验设备的限制，可以用断路器的一个单极进行试验，只要整个试验过程中在下列各方面同整台三极断路器等价或不处于较之更有利的条件下：

- 关合操作时的机械行程特性(计算方法见 6.102.4.1)；
- 开断操作时的机械行程特性(计算方法见 6.102.4.1)；
- 灭弧介质的利用率；
- 合闸和分闸机构的功率与强度；
- 结构的刚度。

6.102.3.4 自脱扣断路器

对于自脱扣断路器，按照 6.103.4 的规定，在关合、开断和开合试验过程中过电流脱扣器应不动作，且过电流脱扣器或电流互感器应接到试验回路的带电侧。

6.102.4 关于试验方法的一般考虑

6.102.4.1 三极断路器单极的单相试验

按照本方法，三极断路器的单极在单相回路中进行试验，施加与完整的三极断路器在三相试验中相同的电流和相应的条件下，承受与完整的三极断路器在三相开断和关合中最高应力的极上相同的工频电压。

当断路器的设计允许用单相试验去模拟三相条件且断路器的三极共用一个操动机构时，应该提供一台装配完整的三极断路器进行试验。

对于短路试验,为了确定断路器能否允许用单相试验模拟三相试验条件,应进行的验证性试验包括非对称的和对称的关合操作和开断操作。此外,应该检查单相试验时断路器的动作特性,应和 6.101.1.1 的规定一致。

开断的验证性试验包括进行一个三相短路开断试验,试验电流和试验方式 T100s 相同,不施加 TRV,施加任何方便的试验电压,而且在后开极中达到最长的预期燃弧时间。

关合的验证性试验包括在与 6.104.2 相同条件下的两次三相关合操作。一次关合操作应为完全对称的电流,且在一极中获得预击穿时间;另一次关合操作应在一极中获得最大的非对称电流,在这种情况下,关合操作可以在任何方便的低电压下进行。

在这些关合和开断的验证试验过程中,应记录触头的运动过程。它可以作为下述程序(见图 23a)的参考。用于记录触头运动轨迹的传感器应安装在适当的位置,以便能够直接或间接地提供最佳的触头运动轨迹。

根据该参考轨迹,可以从触头分离时刻到触头运动终止画出两条包络线。两条包络线和原始轨迹的距离应为三相验证试验估算的触头总行程的 $\pm 5\%$ (见图 23b)。

应记录相同条件(具有最长燃弧时间和最长预击穿时间的 T100s 试验方式)下、单相试验过程中的触头运动轨迹。如果单相试验时的触头运动轨迹在三相试验时的分闸操作从触头分离时刻到触头运动终止间和合闸操作从触头接触时刻到触头运动终止间的机械行程特性的包络线内,则用单相试验代表三相试验是有效的。

包络线可以在垂直方向移动,直到一条曲线覆盖了参考线。这就分别给出和参考触头行程曲线的最大允许偏差分别为 0% , $+10\%$ 和 0% , -10% (见图 23c 和 23d)。为了得到和参考线 10% 的最大的总偏差,包络线的移动在整个试验过程中只允许一次。

注:为获得正确的单极触头运动特性,根据其设计(单极或三极操作),有必要进行调整,如采用转换功能。

应特别注意电弧分解物的喷射。例如,如果认为这种喷射可能损害相邻极间的绝缘距离,则应采用接地金属屏进行检查(见 6.102.8)。

6.102.4.2 单元试验

某些断路器是由装配完全相同的开断和关合单元串联组成,使用并联阻抗通常可以改善每一极的各单元之间的电压分布。

这种型式的设计,可以使断路器的开断和关合性能通过一个或多个单元上进行的试验来验证。

6.101.1.1、6.102.3 和 6.102.4.1 的要求也适用于单元试验。因此,至少制造一个装配完整的极,适合于在一个或多个单元上进行验证试验,试验结果仅与特定设计的极有关。

应该区分以下几种情况:

a) 断路器的极由独立操作的单元(或单元装配)组成,且灭弧介质没有相互连通:

这种情况下,可以进行单元试验。但是,应该考虑到单元中电流间的电动力和单元中电弧的相互影响(见图 24)。这可以用等效形状的导体代替第二开断单元来实现。

b) 断路器的极由独立操作的单元(或单元装配)组成,但其灭弧介质是相互连通的:

这种情况下,如果未进行试验的单元在试验过程中处于燃弧状态(例如,在合成试验时用作辅助断路器),则可以进行单元试验。

c) 断路器的极是由不是独立操作的单元(或单元装配)组成:

这种情况下,如果单个单元试验时和整极试验时的机械行程特性相同,则可以进行单元试验。可以采用相应于 6.102.4.1 中对三极断路器的单极试验所给出的方法。此外,还应考虑到电动力的影响(亦可见上述项 a)。

然而,如果未进行试验的单元在试验过程中处于燃弧状态(例如合成试验时作为辅助断路器),则认为和机械行程特性相关的要求已经满足。在这种情况下,单元间灭弧介质相互连通(亦可见上述项 b))的断路器的要求也就同时满足。

- d) 如果受试单元中灭弧介质的体积正比于具有相同灭弧介质的单元装配的适当部分,则可以进行试验电流小于或等于60%额定短路开断电流的单元试验。

单个单元试验时应和整极试验时的机械行程特性相同。应采用相应于6.102.4.1中对三极断路器的单板试验所给出的方法。

进行单元试验的基础是所有单元完全相同,且已知不同试验类型(如出线端故障、近区故障、失步等)的静态电压分布。

6.102.4.2.1 单元的同源性

断路器所有单元的形状、尺寸及操作条件必须是相同的;仅允许控制各单元间电压分布的装置可以不同。特别是,应满足下列条件:

a) 触头的操作

一极的各个触头在开断试验的分闸和关合试验的合闸中应该是这样:首先动作单元的触头的分闸或合闸与最后动作单元的触头的分闸或合闸之间的时间间隔不应超出额定频率的1/8周波。应采用额定操作压力和电压来确定这个时间间隔。

b) 灭弧介质的供应

对于从单元以外的来源向单元供应灭弧介质的断路器,供应给每个单元的介质,实际上应与其他单元无关,且供应管道的布置,应保证同时且以相同的方式对所有单元供应介质。

6.102.4.2.2 电压分布

通过对一极中各单元间电压分布的分析来确定试验电压。

受大地影响,一极中各单元之间的电压分布,应按整极试验的相关试验条件来确定。

——对于出线端故障条件,见6.103.3的项c)和d)以及图27a、图27b、图28a和图28b;

注1:图27b和图28b所示的试验回路,不适用于相间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如GIS或落地罐式断路器)。对于这些断路器,适当的试验方法在IEC 61633中给出。

——对于近区故障条件,见6.109.3;

——对于失步条件,见6.110.1及图51、图52和图53。

——对于容性电流开合条件,见6.111.3、6.111.4和6.111.5。

当各单元是非对称布置时,电压分布还应按方向相反的接线来确定。

电压分布既可以通过测量也可以通过计算来确定。计算时使用的数值,应有对断路器的杂散电容测量的支持。验证计算中所用假定条件的这种计算和测量由制造厂负责。

如果断路器装有并联电阻,电压分布应按TRV的等效频率进行计算或静态测量。

注2:在四参数法情况下,可以认为等效频率等于 $1/(2t_1)$;在两参数法情况下,可以认为等效频率等于 $1/(2t_1)$ (见图39和图40)。

对于近区故障单元试验,电压分布应以线路侧电压和电源侧电压为基础进行计算或静态测量,这时,线路侧电压的频率等于线路振荡的基波频率,电源侧电压的频率等于出线端故障时瞬态恢复电压的等效频率,此两电压的公共点为地电位。

如果仅用电容器均压,则电压分布可按工频进行计算或测量。

应考虑到电阻和电容器在制造中的偏差,制造厂应规定这些偏差值。

注3:应考虑到失步和容性电流开断试验中的电压分布比出线端故障或近区故障试验中的情况更为有利。在中性点接地系统中必须以不接地故障条件进行试验的例外情况下,这一点也适用。

注4:在确定电压分布时,没有考虑污秽的影响。在某些情况下,污秽可能影响该电压分布。

6.102.4.2.3 单元试验的要求

当进行单个单元试验时,试验电压按6.102.4.2.2确定,应为断路器整极中作用电压最高的单元上的电压。对于近区故障条件,该单元是在线路侧瞬态恢复电压出现第一个峰值的规定时间内作用电压最高的单元。

当试验一组单元时,该组中作用电压最高的单元上出现的电压应等于整极中作用电压最高的单元上的电压,两者均应按 6.102.4.2.2 确定。

单元试验中,断路器对地绝缘未承受完整断路器开断操作时所产生的全电压。因此,对于某些类型的断路器,例如,金属外壳中的断路器,需要验证其对地绝缘在全部单元的最长燃弧时间条件下开断额定短路电流后能够耐受该全电压。还要考虑排出气体的影响。

应考虑到 IEC 61633。

6.102.4.3 多部试验

对于给定的试验方式,如果所有的 TRV 要求不能同时得到满足,试验可以分成两个连续的部分进行,见图 43 的图解。

第一部分,瞬态恢复电压(TRV)的起始部分应满足直到电压 u_1 、时间 t_1 规定的参考线,且不得与时延确定的直线相交。

第二部分,应获得电压 u_2 、时间 t_2 。

每一部分的试验次数应和该试验方式要求的次数相同,每一部分的燃弧时间应满足 6.102.10 的要求。作为多部试验一部分的独立试验的燃弧时间应相同且留有 ± 1 ms 的裕度。此外,如果一部分的最短燃弧时间与其他部分的最短燃弧时间相差超过 1 ms 时,则这两部分均应采用的最长燃弧时间为两个最短燃弧时间中较长者所对应的最长燃弧时间。

第一部分和第二部分试验之间,断路器可以按照 6.102.9.5 修整。

在极少数情况下,可能需要进行多于两部的试验。在这种情况下,上述原则同样适用。

6.102.5 合成试验

合成试验方法可用于做 6.106~6.111 所规定的关合、开断和开合试验。合成试验技术和方法在 GB/T 4473 中阐述。

6.102.6 试验前的空载操作

在关合和开断试验开始前应进行空载操作和空载操作顺序(O,CO 和 O—t—CO),并应记录断路器的操作特性的细节,例如合闸时间和分闸时间。

另外,应证明断路器或试品的机械性能与 6.101.1.1 中要求的参考的机械行程特性一致。对于本试验,6.101.1.1 中规定的操作条件适用。更换触头或任何方式的维修后,应重新进行这些空载试验,并对机械行程特性重新确认。

对于装有关合电流脱扣器的断路器,应验证其在空载时不动作。

开断用的流体压力应按照 3.7.158 整定到其最低功能值。

对于电动或弹簧操作的断路器,操作应按下列条件进行:在其合闸线圈或并联合闸脱扣器上施加 100% 及 85% 的合闸装置的额定电源电压;在其并联分闸脱扣器上施加 100% 及 85% 额定电源电压(交流)和 100% 及 65% 额定电源电压(直流)。

对于气动操动机构或液压操动机构,应在下列条件下进行操作:

- 操作作用的流体压力应整定在 3.7.157 定义的最低功能值且以 85% (交流) 或 65% (直流) 额定电源电压加于并联分闸脱扣器,以及 85% 的额定电源电压加于并联合闸脱扣器。
- 操作作用的流体压力整定在 4.10 定义的额定值且以额定电源电压加于并联脱扣器。

6.102.7 替代的操动机构

如果断路器设计成可配替代的操动机构使用时,对每一种操动机构均应进行各自的一系列短路试验方式,除非能证明更换机构并不影响公共部分的特性,特别是有关断路器的分闸和合闸特性。

如能满意地证明这一点,则仅要求用其中一种操动机构做一套完整系列的短路试验方式,但对其他所有替代的机构都应重复进行出线端故障 T100s。

替代的操动机构等价性的证据应采用下述验证试验得出。

- 对每一台断路器(带原来的操动机构和带替代的操动机构)都应进行空载的合—分操作循环。

每一试验均应记录触头行程的轨迹。试验中,配原来的操动机构的触头行程轨迹应作为参考(见图 23a)。配替代的操动机构在分闸和合闸过程中获得的曲线从触头分离瞬间或触头接触瞬间分别到触头行程终止时应在 6.101.1.1 规定的两条包络线内。

- b) 每一台断路器(带原来的操动机构和替代的操动机构)都应在最长燃弧时间,任何方便的试验电压,不考虑 TRV 的条件下按照试验方式 T100s 进行一次开断操作。应按照上述 a) 中叙述的方法对该试验进行评价。

注:按照 b),在一个频率(50 Hz 或 60 Hz)下进行的验证试验已经足够。

6.102.8 试验中断路器的性能

关合和开断试验过程中,断路器不应:

- 表现出损坏的迹象;
- 表现出极间有害的相互作用;
- 表现出与相邻的试验设备之间有害的相互作用;
- 表现出可能危及操作者的性能。

对于设计在关合和开断试验过程中具有开断介质对大气放电的断路器,如果符合下述条件,则认为断路器已满足了上述要求:

- 对于油断路器,不应有外喷火焰,喷出的气体以及带油的气体应得到控制和导向,以远离所有的带电导体以及可能有人员出现的地方;
- 对于其他类型的断路器,如气吹或空气断路器,可能会有外喷的火焰、气体和/或金属粒子。如果这种喷射比较显著,可能要求在带电体附近并与其离开一段制造厂规定的安全间距处放置金属屏后进行试验。该金属屏应对地绝缘且通过能够指示对地泄漏电流的适当装置接地。试验过程中,对断路器的接地构件(或装有的金属屏)不应指示出有明显的泄漏电流。

注:如果无其他可用装置,接地件等应通过一个直径 0.1 mm,长度为 5 cm 的铜丝构成的熔断器接地。如果试验后该熔丝完好无损,则认为没有出现明显的泄漏电流。

如果出现的故障不是持续的或不是由于设计上的缺陷造成的,而是由于装配或维修失误造成的,则该故障可以纠正,断路器可以重复进行相应的试验方式。在这些情况下,试验报告应包含无效试验的附注。

开断操作后的恢复电压阶段可能会出现非保持破坏性放电(NSDD,仅对真空断路器,见 3.1.126)。TRV 阶段的击穿放电不能看作为 NSDD。如果放电发生在后开两极中的电流开断后的 1/4 工频周波以后,就认为是 NSDD。认为更早的放电是熄弧过程的一部分。

在中性点绝缘的三相试验回路中的容性电流开合试验期间,出现在电流开断后工频的 1/4 到 1/2 周波之间的放电应视为重击穿,而不是 NSDD。

注:1.3 中给出了解释性的注。

如果出现 NSDD:

- 在整个试验系列(包括重复的或重新开始的任何试验方式)中最多允许出现三次 NSDD。如果一次试验中多次出现该现象,应单独进行计数。
- 对于容性电流开合试验,在一个独立的试验系列中,允许出现 NSDD 的最多次数为开断操作次数的 1/9,例如线路充电电流开合试验。
- 在任何情况下,一次试验过程中多次出现该现象时,应予以单独计数。
- NSDD 引发的与工频相关的电流是不允许的,即使它仅导致流过了一个半波电流。
- 试验报告应包含对 NSDD 的附注以及出现 NSDD 的试验方式。

6.102.9 试验后断路器的状态

6.102.9.1 概述

在任何一个试验方式后,可以对断路器进行检查。其机械部件和绝缘件应基本上和试验前的状态

相同。外观检查通常足以验证绝缘性能。若有怀疑,按照 6.2.11 的状态检查试验就足以验证其绝缘性能。

对于开断单元终身密封的断路器,状态检查试验是强制性的,6.102.9.4 中规定的情况例外。

6.102.9.2 一个短路试验方式后的状态

断路器在每一个短路试验方式后,虽然其短路关合和开断性能可能有所下降,仍应能在额定电压下关合和开断其额定电流。在试验方式 L90 后,应按 6.2.11 进行状态检查试验。如果没有做过试验方式 L90,则应在试验方式 T100s 后进行状态检查试验。

主触头试验后的状态,特别是关于烧伤、接触区、压力和运动的自由度方面,应该能承载断路器的额定电流而其温升不超出 GB/T 11022—1999 表 3 中规定值的 10 K。

注:经验表明断路器两端电压降的升高不能作为温升升高的可靠证据。

触头在经过任何一个短路试验方式后,只有在接触点上保留有镀银层时,才被认为是“镀银的”;否则,触头应按“未镀银的”来处理(见 GB/T 11022—1999 中 4.4.3 后的说明 6)。

为了检查试验后断路器的操作,如果一个试验方式后打算更换触头或进行其他类型的维修,应进行空载操作。这些操作应与按照 6.102.6 进行的相应操作进行比较,且无明显变化。

6.102.9.3 一个短路试验系列后的状态

为检查试验后断路器的操作,断路器在完成一个完整的短路试验系列后,应进行空载合闸和空载分闸操作。这些操作应与按照 6.102.6 所进行的相应操作进行比较且应无明显的变化。6.101.1.1 的要求应满足。断路器应能满意地合闸和扣锁。

断路器的额定短路电流关合、开断和承载能力已经降低,但其载流回路元件的劣化不应降低断路器的机械支撑件和绝缘件的完整性。关于主触头,6.102.9.2 的相关规定适用。

对于流体(气体、油、空气等)绝缘的可接受的劣化水平不能给出判据,因为它们要求的绝缘强度与具体断路器的设计依据有关。

6.102.9.4 一个容性电流开合试验系列后的状态

断路器经过 6.111.9 规定的线路充电、电缆充电和电容器组开合试验系列后,修整前,在其额定电压下应能在直至其额定短路开断和关合电流的任何短路开断和关合电流下满意地操作。

此外,断路器应能承载其额定电流而温升不超过 GB/T 11022—1999 表 3 中的允许温升值。对于 C2 级断路器,温升不应超过 GB/T 11022—1999 表 3 中允许值的 10 K。

绝缘材料内部不应有击穿、闪络的证据或痕迹,但灭弧装置中暴露于电弧的零部件允许有适度的烧损。

载流回路中元件的劣化不应降低正常载流回路的完整性。

如果在容性电流开合试验中出现一次重击穿,且容性电流开合试验时的恢复电压峰值低于规定的绝缘状态检查试验的电压峰值,则应在外观检查之前按照 6.2.11 进行绝缘状态检查试验。紧接着的外观检查仅用来验证重击穿出现在弧触头之间。绝缘材料内部不应有击穿、闪络的证据或痕迹。只要没有降低开断能力,则灭弧装置中暴露于电弧的部件的烧损是允许的。此外,应检查主触头之间的绝缘间隙(如果他们不同于弧触头),不应有任何重击穿的痕迹。

如果在容性电流开合试验中未发生重击穿,则外观检查已经足够。不需要按照 6.2.11 进行绝缘状态检查试验。

如果对同一极还要进一步进行试验,绝缘状态检查试验应在容性电流开合试验后进行。如果容性电流开合试验中没有出现重击穿,该绝缘状态检查试验不需要进行,该状态检查试验可在附加的试验后进行。

注:如果断路器在附加的试验中失败,则该程序会使容性电流开合试验无效。

对具有开断单元终身密封的断路器,无论其在试验过程中发生重击穿与否,只要在其容性电流开合试验时恢复电压峰值低于规定的绝缘状态检查试验的电压峰值,应按照 6.2.11 进行状态检查试验。

6.102.9.5 一个短路试验方式和其他试验系列后的修整

经过一个短路试验方式或其他试验系列后,为了使断路器恢复到制造厂规定的初始状态,有必要对断路器进行维护。例如,可能需要进行下列维护:

- a) 修理或更换弧触头和制造厂推荐的其他可更换部件;
- b) 油或其他灭弧介质的更换或过滤,以及补充适量的介质使其恢复到正常水平或密度;
- c) 清除内绝缘件上因灭弧介质分解而形成的沉积物。

E2 级断路器在 6.106 中的基本短路试验方式期间不能进行修整。

6.102.10 燃弧时间的说明

进行三次有效开断操作的优选顺序,应是最后一次开断操作的燃弧时间为中燃弧时间。本条款中描述的程序与预期燃弧时间的调整有关。实际的燃弧时间可能不同于预期的燃弧时间,只要实际的燃弧时间在附录 B 给出的允差范围内,则试验有效。

对于额定操作顺序为 CO—t"—CO 的断路器,一个 CO 应验证最短燃弧时间,另一个 CO 应验证最长燃弧时间。

6.102.10.1.2、6.102.10.2.1.2 和 6.102.10.2.2.2 中的出线端故障试验 T100a,由与额定操作顺序无关的三次有效操作组成。做完额定操作顺序中规定的操作次数后,断路器可以按照 6.102.9.5 进行修整。

注:本条款中描述的燃弧时间足以覆盖断路器的极间不同周期性所产生的影响。

6.102.10.1 三相试验

下面给出的程序适用于直接试验。进行合成试验时,在开始程序之前,应首先确定首开极的最短燃弧时间。确定最短燃弧时间的方法在 6.102.10.2 中给出。

6.102.10.1.1 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s(b)、OP1 和 OP2

对于这些试验方式,每次分闸操作间脱扣脉冲控制的整定值应依次提前 40 度(40°)。对于 T100s(b),见 6.106 中的注。

三次有效开断操作的图形表示,对于首开极系数为 1.5 的情况,在图 29 中给出;对于首开极系数为 1.3 的情况,在图 30 中给出。

6.102.10.1.2 试验方式 T100a

对于该试验方式,由于试验的严酷度随着触头分离时刻的不同而有很大的变化,为了使受试断路器承受真实的负荷,开发了一个试验程序。其目的是为了获得一个三次有效的试验系列。为了使在触头分离瞬间所要求的直流分量从一相转移到另一相,各次试验之间短路起始相角要变化 60°。

而且,为了满足瞬态恢复电压(TRV)的要求,在试验系列中至少要有一次首开极的直流分量符合要求。如果该相中电流是在燃弧的一个完整的大半波或尽可能大的完整的大半波末开断,则本次试验有效。由于某些断路器不在一个大半波末开断,如果电弧延续到下一个小半波熄灭,则试验仍然有效。但是,如果断路器在直流分量符合要求的相中是在缩短了的一个大半波末开断或是在尽可能大的部分没有燃弧的大半波后的小半波末开断,则认为此试验无效。

试验程序如下:

对于第一次有效操作,短路的起始相角和脱扣脉冲控制的整定值应该这样:

- 在一相中获得触头分离瞬间所要求的直流分量;
- 在同一极中,若是首开极,电弧应在一个大半波(或在半波中尽可能大的部分)末熄灭;若是后开极,电弧应在延长的大半波(或在半波中尽可能大的部分)末熄灭。

对于第二次有效操作,短路起始相角应提前 60°,脱扣脉冲控制的整定值应为:

- 如果第一次有效操作是在直流分量满足要求的相中经过大半波后开断,则脱扣脉冲控制的整定应调整到比第一次有效试验提前约 130°发出。
- 如果第一次有效操作是在直流分量满足要求的相中经过延长的大半波后开断,则脱扣脉冲控

制的整定应调整到比第一次有效试验提前约 25°。

对于第三次操作,可以重复第二次操作的程序,即短路起始相角应比第二次操作提前约 60°,脱扣脉冲控制的整定值应为:

——如果第二次有效操作是在直流分量满足要求的相中经过大半波后开断,则脱扣脉冲控制的整定应调整到比第二次有效试验提前约 130°发出。

——如果第二次有效操作是在直流分量满足要求的相中经过延长的大半波后开断,则脱扣脉冲控制的整定应调整到比第二次有效试验提前约 25°。

三次有效开断操作的图形表示,对于首开极系数为 1.5 的情况,在图 31 中给出;对于首开极系数为 1.3 的情况,在图 32 中给出。

如果断路器的特性不稳定,则有必要采取其他的程序获得上述的三次有效操作。如果因断路器的特性而不可能满足上述要求时,应增加操作次数去验证。在这种特殊情况下,应获得最严酷的试验条件。试图满足上述要求时,断路器不应承受多于 6 次的分闸操作。在进行增加的操作之前,断路器可以更换其可更换部件。

6.102.10.2 单相试验代替三相试验

下面给出的程序,部分是由合成试验方法导出的。进行直接试验时,确定最短燃弧时间的程序可能导致最长燃弧时间或超过最长燃弧时间的燃弧时间下的有效试验。

下述单相试验的目的是为了在同一试验回路中满足每种试验方式中首开极和后开极的条件。

如果额定操作顺序的所有操作满足 5.101 的要求,下述程序适用。否则,使用下述表 10 和表 11 时应谨慎。

6.102.10.2.1 固定接地系统以外的系统

6.102.10.2.1.1 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s(b)、OP1 和 OP2

第一次有效开断操作,应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($t_{arc\ min}$)。它可以通过这样的方法获得:触头分离相对于电流零点增加任一额外时延后,可导致在下一个零点开断。这个最短燃弧时间可以通过改变脱扣脉冲的整定(步长大约 18°)来获得。

第二次有效开断操作,应验证在最长燃弧时间时的开断性能。要求的最长燃弧时间被称为 $t_{arc\ max}$,并由下式确定:

$$t_{arc\ max} \geq t_{arc\ min} + T \frac{150^\circ - d\alpha}{360^\circ}$$

式中:

$t_{arc\ min}$ ——第一次有效开断操作中获取的最短燃弧时间;

$d\alpha$ ——18°;

T ——工频的一个周期。

这一燃弧时间通常可以通过比第一次有效开断操作的脱扣脉冲的整定提前至少(150°- $d\alpha$)来获得。

第三次有效开断操作,应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的开断。该燃弧时间称为中燃弧时间($t_{arc\ med}$)并由下式确定:

$$t_{arc\ med} = (t_{arc\ max} + t_{arc\ min}) / 2$$

第三次有效开断操作的脱扣脉冲应比第二次开断操作延迟大约 75°(±18°)。

三次有效开断操作的图形表示见图 33。

6.102.10.2.1.2 试验方式 T100a

a) 燃弧时间

第一次有效开断操作,应验证在尽可能短的燃弧时间且在小半波末的开断,所产生的燃弧时间被称为最短燃弧时间 $t_{arc\ min}$ 。它可以通过这样的方法获得:触头分离相对于电流零点增加任一额外时延后,

可导致在下一个零点(大半波末的)开断。该最短燃弧时间可以通过步长为 $18^\circ(\alpha)$ 来改变脱扣脉冲的整定来获得。

第二次有效开断操作,应验证在最长燃弧时间时的开断。要求的最长燃弧时间称为 $t_{arc\ max}$ 并由下式确定:

$$t_{arc\ max} \geq t_{arc\ min} + \Delta t_1 - T \frac{30^\circ + \alpha}{360^\circ}$$

式中的时间间隔 Δt_1 是表 10 给出的大半波的持续时间。

表 10 与短路试验方式 T100a 相关的频率为 50 Hz 时燃弧期间的电流峰值和电流半波持续时间

	分闸时间 ms	$\tau=45\ ms$		$\tau=60\ ms$		$\tau=75\ ms$		$\tau=120\ ms$	
		\hat{I} (p. u.)	Δt_1 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_1 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_1 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_1 ms
大半波	$0 < t \leq 12.5$	1.51	13.5	1.61	14.0	1.67	15.0	1.78	15.5
	$12.5 < t \leq 33.0$	1.33	12.5	1.44	13.0	1.51	13.5	1.66	14.5
	$33.0 < t \leq 53.5$	1.21	11.5	1.31	12.0	1.39	12.5	1.56	14.0
	分闸时间 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_2 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_2 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_2 ms	\hat{I} (p. u.)	Δt_2 ms
小半波	$0 < t \leq 12.5$	0.36	5.5	0.28	5.0	0.23	4.5	0.16	3.5
	$12.5 < t \leq 33.0$	0.59	7.0	0.49	7.0	0.41	6.0	0.28	5.0
	$33.0 < t \leq 53.5$	0.74	8.5	0.63	8.0	0.55	6.5	0.40	6.0

注: \hat{I} ——与短路电流峰值相关的峰值电流的标么值;
 Δt_1 ——大半波的持续时间(圆整到 0.5 ms);
 Δt_2 ——小半波的持续时间(圆整到 0.5 ms);
 τ ——系统回路的时间常数。

表 10 中的所有数值都是根据继电保护时间为 10 ms 计算的。

注: 系统回路的时间常数 $\tau=45\ ms$ 是标准的时间常数,按照 4.101.2, $\tau=60\ ms, 75\ ms$ 和 $120\ ms$ 是特殊工况的时间常数。

时间间隔 Δt_1 是回路时间常数(τ)、系统的额定频率和断路器的分闸时间的函数。时间间隔 Δt_1 应该等于或大于系统的继电保护时间加上断路器的分闸时间时出现的大半波的持续时间(适当的非对称电流波形的)。

开断应发生在大半波末或要求的大半波末未能开断而在随后的小半波末。这一点可以通过把脱扣脉冲设定在迟于第一次开断操作来获得。

表 10 考虑的继电器时间为额定频率的一个半波(50 Hz 为 10 ms)。如果断路器在要求的大半波末未开断而在随后的小半波末开断,则要求的最长燃弧时间应该延长表 10 给出的适当的小半波的持续时间 Δt_2 。

第三次开断操作应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进行。该燃弧时间被称为中燃弧时间($t_{arc\ med}$)并由下式确定:

$$t_{arc\ med} = (t_{arc\ max} + t_{arc\ min})/2$$

本次开断应出现在大半波末或断路器在要求的大半波末未开断时而在随后的小半波末。

第三次有效开断操作的脱扣脉冲应比第二次开断操作延迟以便获得该燃弧时间。

三次有效开断操作的图形表示见图 34。

b) 燃弧期间的短路电流

如果试验回路的时间常数和规定的时间常数有差异时,但若能满足下列条件,开断操作仍然有效:

- 开断前的最后半波的预期峰值短路电流应在要求值的 90% 和 110% 之间；
 - 开断前的最后半波的预期短路电流持续时间应在要求值的 90% 和 110% 之间。
- 表 10 给出了开断前的最后半波应该获得的短路电流峰值和半波持续时间的要求值。

6.102.10.2.2 中性点固定接地系统(包括近区故障试验)

6.102.10.2.2.1 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s(b)、OP1、OP2、 L_{90} 、 L_{75} 和 L_{60}

获得三次有效开断操作的程序和中性点绝缘系统的一样,并做如下修正:
要求的最长燃弧时间应为:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + T \frac{180 - d\alpha}{360^\circ}$$

该燃弧时间通常可以通过比第一次有效开断操作的脱扣脉冲至少提前 $(180^\circ - d\alpha)$ 来获得。

第三次有效开断操作,应验证燃弧时间近似等于第一次和第二次有效开断操作的燃弧时间的平均值时的开断。该燃弧时间由下式确定:

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}}) / 2$$

第三次有效开断操作可由比第二次有效开断操作的脱扣脉冲滞后 $90^\circ (\pm 18^\circ)$ 来获得。

三次有效开断操作的图形表示见图 35。

6.102.10.2.2.2 试验方式 T100a

获得三次有效开断操作的试验程序和中性点绝缘系统的一样,并做如下修正:
要求的最长燃弧时间应为:

$$t_{\text{arc max}} \geq t_{\text{arc min}} + \Delta t_1 - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

其中 Δt_1 在表 10 中给出。

三次有效开断操作的图形表示见图 36。

6.102.10.2.3 断路器中燃弧时间开断试验失败时的变更试验程序

6.102.10.2.3.1 对称电流开断试验

如果断路器在中燃弧时间开断对称电流时,断路器未能在期望的电流零点开断,则有必要进行一次或二次附加试验。

a) 直接试验

应考虑两种情况:

——对于 $k_{pp} = 1.3$ (系统的中性点固定接地)

如果断路器在预期的中燃弧时间未开断,而在随后的电流零点开断,则此次试验的燃弧时间称为“最终的最长燃弧时间” $t_{\text{arc ult max}}$ 。如果断路器能够在附加的“新的最短燃弧时间”(比预期的中燃弧时间长 18°) 开断,则本次试验有效。在这种情况下,该单个的附加试验已经足够,把脱扣脉冲的整定提前 18° 。

——对于 $k_{pp} = 1.5$ (系统的中性点非固定接地)

如果断路器在预期的中燃弧时间以及随后的电流零点未开断,需要进行两次附加试验:

(1) 一次试验的燃弧时间为“新的最短燃弧时间” $t_{\text{arc new min}}$, 它比预期的中燃弧时间长 18° ;

(2) 另外一次试验的燃弧时间为“新的最长燃弧时间”, 它比“新的最短燃弧时间”长 150° 。本次试验可能在经过的电流零点需要强迫复燃的回路中进行。

b) 合成试验

第一次有效的附加试验应验证在“新的最短燃弧时间” $t_{\text{arc new min}}$ 时的开断性能。该燃弧时间是在中燃弧时间试验时的触头分离时刻任何一个额外的提前将会导致开断成功。“新的最短燃弧时间”可以通过步长为 $18^\circ (d\alpha)$ 来改变脱扣脉冲的整定值获得。

第二次有效的开断操作,应验证在“最终的最长燃弧时间”时的开断性能。“最终的最长燃弧时间”

$t_{arc\ ul\ max}$ 应为:

$$t_{arc\ ul\ max} \geq t_{arc\ new\ min} + T \frac{150^\circ - d\alpha}{360^\circ} \quad k_{pp} = 1.5$$

$$t_{arc\ ul\ max} \geq t_{arc\ new\ min} + T \frac{180^\circ - d\alpha}{360^\circ} \quad k_{pp} = 1.3 \text{ 或 } 1.0$$

式中:

$t_{arc\ new\ min}$ ——“新的”最短燃弧时间;

$t_{arc\ ul\ max}$ ——“最终的”最长燃弧时间;

$d\alpha$ —— 18° 。

如果断路器在第二次附加试验中开断失败,允许按照 6.102.9.5 对断路器进行检修,并且以长于失败的中燃弧时间作为最短燃弧时间开始试验,重复该试验方式。

6.102.10.2.3.2 非对称电流开断试验

如果断路器在非对称电流开断试验(试验方式 T100a)中的中燃弧时间试验时在预期的大半波末的电流零点未开断,则必须在随后的小半波末开断。

6.102.10.2.4 中性点绝缘系统和中性点接地系统试验合并的条件

中性点绝缘系统(6.102.10.2.1)和中性点接地系统(6.102.10.2.2)的两种条件可以合并成一个试验系列。所采用的瞬态恢复电压和工频恢复电压应为中性点绝缘系统所适用的,燃弧时间应为中性点接地系统所适用的。

6.102.10.2.5 考虑到每一开断极相关的 TRV, 试验系列中试验方式的分解

众所周知,代替三相条件的单相试验比三相试验更严酷,因为采用了后开极的燃弧时间和首开极的 TRV。作为替代的方法,制造厂可以选择把每一个试验方式分成两个或三个独立的试验系列,每一个试验系列验证在每一个开断极相应的 TRV 以及最短、最长和中燃弧时间时的成功开断。表 2 中给出了额定电压 72.5 kV 以上第二、三开断极 TRV 值的标准乘数。

每一个试验系列后断路器可以修整,但应满足 6.102.9.5 的要求。

假定额定操作顺序中的所有操作的极间不同期都在 5.101 规定的允差范围内,且如果把首开极的最短燃弧时间开断瞬间作为参考,对称电流开断时每一相的开断窗口应在表 11 规定的区间内。开断窗口和决定单极 TRV 的电压系数 k_p 的图形表示,对于首开极系数为 1.3 的情况在图 37 中给出,对于首开极系数为 1.5 的情况在图 38 中给出。

6.103 短路关合和开断试验的试验回路

6.103.1 功率因数

各相的功率因数应按附录 D 所阐述的方法之一来确定。

三相回路的功率因数应取各相功率因数的平均值。

试验时,此平均值不得超过 0.15。

任意一相的功率因数与平均值之差不应超出平均值的 25%。

表 11 对称电流试验时的开断窗口

首开极系数	首开极	第二开断极	第三开断极
1.5	$0^\circ \sim 42^\circ$	$90^\circ \sim 132^\circ$	$90^\circ \sim 132^\circ$
1.3	$0^\circ \sim 42^\circ$	$77^\circ \sim 119^\circ$	$120^\circ \sim 162^\circ$

6.103.2 频率

断路器应在额定频率下进行试验,频率允差为 $\pm 8\%$ 。

然而,为了试验方便,稍许超出上述允差是允许的。例如额定频率为 50 Hz 的断路器在 60 Hz 下进行试验,反之亦然,但在解释试验结果时要谨慎,要考虑到所有重要的因素,如断路器的型式和所进行试验的类型。

6. 103.3 试验回路的接地

短路关合和开断试验时,试验回路的对地连接应符合下述要求,并应在所有情况下,在试验报告(见 C.2.4 的项 g))的试验回路图中予以指明。

a) 三极断路器的三相试验,首开极系数为 1.5:

断路器(其构架与运行时一样接地)应接到电源中性点绝缘且短路点接地的试验回路中,如图 25a 所示;或者反过来,如图 25b 所示,当试验仅能按后一种方式进行时。

这些试验回路给出的首开极系数为 1.5。

按照图 25a,电源中性点可以通过电阻接地,其电阻值应尽可能大,以欧姆表示,任何情况下不得小于 $U/10$,其中 U 为试验回路的线间电压的伏特数。

如果采用图 25b 所示的试验回路,在被试断路器一个端子接地的情况下,可能会产生危险的接地电流。因此,允许电源的中性点通过一个适当的阻抗接地。

b) 三极断路器的三相试验,首开极系数为 1.3:

断路器(其构架与运行时一样接地)应接到电源中性点通过适当的阻抗接地且短路点接地的试验回路中,如图 26a 所示;或者反过来,如图 26b 所示,当试验只能按后一种方式进行时。

中性点连接的阻抗应选择适当,以获得首开极系数 1.3。假定 $Z_0 = 3.25 Z_1$,则中性点连接的阻抗的适当值为 0.75 倍的相阻抗。

注 1:对于首开极系数小于 1.3 的系统中的断路器,可能有必要降低中性点的接地阻抗以满足第二和第三开断极的开断条件。应注意所有三极的 TRV。

注 2:图 26b 中所示的试验回路不适用于相间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如 GIS 和落地罐式断路器)。对于这些断路器,适当的试验方法在 IEC 61633 中给出。

c) 三极断路器的单极单相试验,首开极系数为 1.5:

试验回路和断路器构架应按图 27a 连接,以便使电弧熄灭后带电体和构架间的电压条件和按图 25a 所示的试验回路进行三极断路器试验时的首开极的电压条件一样。

优选的试验回路如图 27a 所示。如果受试验站设备的限制,可以采用图 27b 所示的试验回路。

注 3:图 27b 中所示的试验回路不适用于相间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如 GIS 和落地罐式断路器)。对于这些断路器,适当的试验方法在 IEC 61633 中给出。

d) 三极断路器的单极单相试验,首开极系数为 1.3:

试验回路和断路器构架应按图 28a 连接,以便使电弧熄灭后带电体和构架间的电压条件和按图 26a 所示的试验回路进行三极试验时的首开极的电压条件近似一样。

优选的试验回路如图 28a 所示。如果受试验站设备的限制,可以采用图 28b 所示的试验回路。

注 4:图 28b 中所示的试验回路不适用于相间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如 GIS 和落地罐式断路器)。对于这些断路器,适当的试验方法在 IEC 61633 中给出。

e) 单极断路器的单相试验

试验回路和断路器构架应连接成在电弧熄灭后断路器内部带电体和地之间的电压条件能重现运行时的电压条件。试验报告中应表示出所用的接线图。

6. 103.4 试验回路与断路器的连接

如果断路器一侧的物理布置不同于另一侧的物理布置,试验时,试验回路的带电侧应接到能给断路器施加更严酷的对地电压条件的一侧,除非断路器是仅从一侧供电的特殊设计。

若不能满意地验证哪种连接更严酷时,试验方式 T10 和 T30(6.106.1 和 6.106.2)应以相反的接线方式来进行,试验方式 T100s 和 T100a 亦如此。如果试验方式 T100a 省略,则试验方式 T100s 应对两种接线方式均进行试验。

6. 104 短路试验参数

6. 104.1 短路关合试验前的外施电压

对于 6.106.4 的短路关合试验,外施电压应为:

- a) 对于三极断路器的三相试验,外施电压的平均值应不低于额定电压 U_n 除以 $\sqrt{3}$,且未经制造厂的同意不得超过该值的 10%。
各极的外施电压与平均值之差不应超过 5%。
- b) 对于三极断路器的单相试验,外施电压应不低于相对地电压值 ($U_n/\sqrt{3}$),且未经制造厂的同意不得超过该值的 10%。

注:为了试验的方便,在征得制造厂同意后,允许外施电压等于相对地电压与断路器的首开极系数(1.3 或 1.5)的乘积。

对于可供单极重合闸操作的断路器,在随后的三极合闸操作中各触头接触之间的最大时差超过额定频率的四分之一周波(与 5.101 的注比较)时,则外施电压应等于相对地电压与断路器的首开极系数(1.3 或 1.5)的乘积。

- c) 对于单极断路器,外施电压应不低于额定电压,且未经制造厂的同意不得超过该值的 10%。
进行合成试验时,GB/T 4473 适用,亦可见 6.106.4.1a)、6.106.4.2a) 和 6.106.4.3。

6.104.2 短路关合电流

6.104.2.1 概述

断路器关合额定短路关合电流的能力在试验方式 T100s(见 6.106.4)中验证。

当在电压波的任一点发生预击穿电弧时,断路器应能关合该预击穿电流。两种极端的情况规定如下(见图 1):

- 在电压波的峰值处关合,产生一个对称的短路电流以及最长的预击穿电弧;
- 在电压波的零点关合,无预击穿,产生一个完整的非对称短路电流。

下文所述的试验程序旨在验证断路器满足以下两项要求的能力:

- a) 断路器能够关合预击穿始于外施电压峰值处而产生的对称电流。该电流应为额定短路开断电流的对称分量(见 4.101);
- b) 断路器能够关合完整的非对称短路电流。该电流应为额定短路关合电流(见 4.103)。

电压低于额定电压时(见 4.101 的项 a)),断路器应能运行,且在该电压下断路器确有可能关合完整的非对称电流。电压的下限值(如有),应由制造厂规定。

注 1:如果电流起始于外施电压峰值的 $\pm 15^\circ$ 内,则认为短路电流是对称的。

注 2:对于预击穿时间超过 10 ms 的断路器,为满足最严酷的条件,可能需要超过两次的关合操作。

注 3:合闸时,由于极间不同期,触头接触时刻可能不同,因而在一极中可能会引起更高的峰值关合电流(也可见 5.101)。特别当一极中开始流过电流的时间比其他两极滞后大约 1/4 周波,且又没有预击穿。在这种情况下,如果断路器关合失败,则认为断路器未通过该试验方式。

6.104.2.2 试验程序

6.104.2.2.1 三相试验

对于三极断路器的三相试验,在试验方式 T100s 中,可认为上述的项 a) 和项 b) 的要求已经得到充分的验证。

时间的控制,应使试验方式 T100s 的两个合一分(CO)操作中至少有一次获得额定短路关合电流。

当断路器呈现的预击穿达到这样的程度,以致试验方式 T100s 的第一次“合分”操作循环时未获得额定短路关合电流,并且调整时间后,在第二次“合分”操作循环中仍然未达到额定短路关合电流,则应在降低的电压下进行第三次“合分”操作。该操作前断路器可以修整。

6.104.2.2.2 单相试验

对于单相试验,试验方式 T100s 或 T100s(a) 应以这样方法进行:即在一次合闸操作中满足 6.104.2.1 中的项 a) 规定的要求,而在另一次合闸操作中满足 6.104.2.1 中的项 b) 规定的要求。这些操作的顺序不作规定。如果在试验方式 T100s 或 T100s(a)(见 6.106 的注)中项 a) 和项 b) 规定的要求之一未充分地受到检验,则必需附加一次“合分”操作。该操作之前,断路器可以修整。

取决于正常的试验方式 T100s 或 T100s(a) 中获得的结果, 该附加的“合分”操作应验证下列要求之一:

- 6.104.2.1 项 a) 或项 b) 中的要求, 或
- 表明所获得的短路关合电流代表了运行中因断路器预击穿特性所遇到的条件。

由于断路器的特性, 如果在试验方式 T100s 或 T100s(a) 中未达到额定短路关合电流, 则可在较低的外施电压下进行附加的“合分”试验。

如果方式 T100s 或 T100s(a) 中未获得上述 a) 项要求的对称电流, 则可以在 6.104.1 所述的外施电压范围内进行附加的“合分”试验。

6.104.3 短路开断电流

断路器所开断的短路电流, 应按照图 8 在触头分离时刻进行测量, 且用下述两个数值予以规定:

- 各相交流分量有效值的平均值;
- 任一相中最大直流分量的百分数。

在任何一相中, 开断电流的交流分量有效值与平均值的差异, 应不大于平均值的 10%。

虽然开断电流是在相应于触头分离时刻测量的, 但是, 断路器的开断性能取决于最后燃弧半波中开断的电流值及其他因素。因此, 短路电流交流分量的衰减是十分重要的, 特别是当燃弧为好几个电流半波的断路器试验时, 尤其如此。为了避免试验条件的减轻, 短路电流交流分量的衰减应该是: 在对应于最后开断极主电弧最终熄灭时刻, 预期电流的交流分量不得小于试验方式所规定的电流值的 90%。这一点可以通过试验前的预期电流的记录来证明。

如果断路器的特性能使短路电流值减小到低于预期开断电流, 或者如果在示波图上不能成功地把电流波的包络线画出来, 则可以认为所有相的预期短路开断电流的平均值就等于短路开断电流, 且在预期电流的示波图上对应于触头分离的时刻进行测量。

触头分离的时刻, 可以根据试验站的经验和受试断路器的类型用不同的方法确定, 例如, 试验时记录触头行程、电弧电压或对断路器作空载试验。

6.104.4 短路开断电流的直流分量

对在分闸操作时不能控制直流分量的断路器, 如自脱扣断路器, 按 6.102.3 的条件整定进行试验时, 直流分量可能大于 6.106 对试验方式 T10、T30、T60 和 T100s 所规定的值。

断路器在试验方式 T100a 中, 即使在某一次分闸操作中的直流分量百分数小于规定值, 只要在试验方式的各分闸操作中直流分量百分数的平均值超过规定的直流分量百分数, 则认为断路器已满足了试验方式 T100a 的要求。在该试验方式的任何一次试验中, 直流分量不应小于规定值的 90%。

如果任一开断操作的示波图是这样, 不能成功地画出电流波的包络线, 这时, 只要短路起始瞬间是可比的, 则预期的直流分量百分数可以作为试验时触头分离时刻的直流分量百分数。直流分量的百分数应在预期的示波图对应于触头分离的时刻进行测量。

6.104.5 短路开断试验的瞬态恢复电压(TRV)

6.104.5.1 概述

试验回路的预期 TRV, 应该使用那种产生和测量 TRV 波形而对其无明显影响的方法来确定。应在与断路器连接的端子上进行测量, 包括所有必需的试验测量装置, 如分压器等。附录 F 中叙述了一些适当的测量方法(亦可见 6.104.6)。在不可能进行测量的情况下, 例如在某些合成试验回路中, 允许计算预期的 TRV。附录 F 给出了导则。

对于三相回路, 预期 TRV 是对按 6.103.3 的规定布置的一个合适的试验回路的首开极而言, 即指跨在一个分闸极上的电压, 而其余两极均合闸。

试验的预期 TRV 是由附录 E 所示的方法画出的包络线和它的起始部分来表示。

试验中所规定的 TRV, 按照 4.102.2 和图 10、图 11 及图 12 中与额定短路开断电流相关的 TRV 同样的方式, 用一参考线、一时延线及起始瞬态恢复电压(ITRV)的包络线来表示。

TRV 参数定义为下述额定电压(U_r)、首开极系数(k_{pp})和振幅系数(k_{af})的函数。 k_{pp} 和 k_{af} 的实际值在表 1a、表 1b、表 1c、表 12 和表 13 中规定。

a) 额定电压 126 kV 以下

用于所有试验方式的预期 TRV,用两参数表示。

——TRV 峰值 $u_c = k_{pp} \times k_{af} \times U_r \sqrt{2/3}$

其中 k_{af} (振幅系数)=1.4(对应于试验方式 T100 和近区故障的电源回路时);

k_{af} =1.5(对应于试验方式 T60、T30 和 T10 时);

k_{af} =1.25(对应于失步开断试验时)。

——时间 t_3 是由 u_c 和上升率 u_c/t_3 的规定值导出的。

——试验方式 T100 的时延 t_d :

$t_d = 0.05 t_3$ (对应于额定电压为 40.5 kV 和 72.5 kV 以及近区故障的电源侧回路时);

$t_d = 0.15 t_3$ (对应于试验方式 T60、T30、T10 和失步开断时)。

——电压 $u' = u_c/3$ 。

——时间 t' 是由图 11 中的 u' 、 u_c/t_3 和 t_d 导出的。

b) 额定电压 126 kV~800 kV

试验方式 T100、T60、T30、L90、L75、OP1 和 OP2 的预期 TRV 用四参数法表示,试验方式 T10 用两参数法表示。

——第一参考电压 $u_1 = k_{pp} \times U_r \sqrt{2/3}$ 。

——时间 t_1 是由 u_1 和上升率 u_1/t_1 的规定值导出的。

—— $u_1 = 0.75 k_{pp} \times U_r \sqrt{2/3}$

——TRV 峰值 $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \sqrt{2/3}$

其中 k_{af} (振幅系数)=1.4(对应于试验方式 T100 和近区故障的电源侧回路时);

k_{af} =1.5(对应于试验方式 T60 时);

k_{af} =1.53(对应于试验方式 T30 时);

k_{af} =1.7×0.9[引入系数 0.9 是为了表示仅有约 90% 的电压出现在变压器上,且假定所有的短路电流由变压器提供],对应于试验方式 T10 时];

k_{af} =1.25(对应于失步开断试验时);

—— $t_2 = 4 t_1$ (对应于试验方式 T100、近区故障的电源侧回路时);

$t_2 = 2t_1 \sim 4t_1$ (对应于失步开断时)

$t_2 = 6t_1$ (对应于试验方式 T60 时);

——对于试验方式 T30 和 T10,时间 t_3 是由 u_c 和上升率 u_c/t_3 的规定值导出的。

——时延 t_d :

$t_d = 2 \mu\text{s} \sim 0.28 t_1$ (对应于试验方式 T100);

$t_d = 2 \mu\text{s} \sim 0.3 t_1$ (对应于试验方式 T60);

$t_d = 2 \mu\text{s} \sim 0.1 t_1$ (对应于试验方式 OP1 和 OP2);

$t_d = 0.15 t_3$ (对应于试验方式 T30 和 T10);

$t_d = 2 \mu\text{s}$ (对应于近区故障的电源侧回路时)。

试验中所用 t_d 的相应值在 6.104.5.2 到 6.104.5.5 中给出。

——电压 u'

$u' = u_c/2$ (对应于试验方式 T100、T60 和近区故障的电源侧回路以及失步开断试验);

$u' = u_c/3$ (对应于试验方式 T30 和 T10)。

——对于试验方式 T100、T60 和近区故障的电源侧回路以及失步开断试验,时间 t' 按照图 10 由 u' 、 u_1/t_1 和 t_d 导出;对于试验方式 T30 和 T10,按照图 11 由 u' 、 u_c/t_3 和 t_d 导出。

试验回路的预期 TRV 波形应满足以下两项要求:

——要求 a)

任何时候其包络线应不低于规定的参考线;

注 1: 必须强调,包络线超出规定的参考线的程度应得到制造厂的同意(见 6.104);特别重要的是在规定的四参数参考线而用两参数包络线的场合,或当规定的是用两参数参考线而用四参数包络线的场合。

注 2: 为了试验方便,允许对额定电压 126 kV 及以上的断路器的试验方式 T100、T60 和 T30 采用两参数法,只要其恢复电压的上升率与 u_1/t_1 的标准值一致,电压峰值与 u_c 的标准值一致。且该试验程序需得到制造厂的同意。

——要求 b)

其起始部分应满足规定的 ITRV 要求。ITRV 可以像近区故障一样处理。因此,有必要按照传统的方法独立于电源侧测量 ITRV。ITRV 由峰值 u_1 和时间 t_1 确定(见图 12b)。传统的方法大多是由 ITRV 的起始点到 u_1 和 t_1 确定的点画参考直线。固有的 ITRV 波形应符合要求的 ITRV 峰值的 20% 和 80% 间的参考直线。因为 ITRV 的幅值低于规定的 ITRV 峰值的 20% 和 80%,因此,与参考线的偏差是允许的。不应明显地高出上述的参考线。如果不显著地提高上升率就不能达到峰值的 80% 时,优选的方法是提高 ITRV 的峰值以达到 80% 的点。不应提高 ITRV 的上升率,因为这样会使电源阻抗产生变化导致试验的苛刻程度发生根本改变。

对于 T100a、T100s 和 L90,有必要在 ITRV 条件下进行试验。如果断路器具有近区故障额定值,且采用了无明显时延的线路进行试验,则认为已覆盖了 ITRV 的要求(见 6.104.5.2)。

因为 ITRV 正比于母线波阻抗和电流,对于装在金属封闭气体绝缘开关设备中的断路器,由于其波阻抗较低,或额定短路开断电流小于 25 kA 的断路器可以不考虑 ITRV 的要求。对于额定电压低于 126 kV 的断路器,因其母线尺寸较小,也同样适用。

这些要求图示在图 39~图 42 中。

6.104.5.2 试验方式 T100s 和 T100a

对于额定电压 72.5 kV 及以下,规定的标准值在表 12 中给出。

对于额定电压 126 kV 及以上,规定的标准值在表 13 中给出。

规定的参考线、时延线和 ITRV 的标准值在表 1a、表 1b、表 1c、表 2 和表 3 中给出。

参考 ITRV,如果试验是在 6.104.5.1 的要求 b) 规定的和图 12b 表示的,符合参考线的 TRV 下做的,则认为对断路器的影响与 6.104.5.1 的要求 b) 和图 12b 确定的 ITRV 类似。

如果受试验站的限制,要满足 6.104.5.1 的项 b) 和表 1a、表 1b 和表 1c 所规定的时延 t_d 的要求不可行时,则可在近区故障试验时,用提高线路侧电压振荡的第一峰值(见 6.109.3)来补偿电源回路 TRV 的这些缺陷。电源回路的时延应尽可能的小,但在任何情况下不能超出表 12 或表 13 的括号中给出的数值。

对于还要做近区故障试验的场合,将 ITRV 和近区故障(SLF)的线路侧回路的要求综合起来考虑可能更方便。当 ITRV 与表 4 规定的具有时延 t_{dL} 的短线的瞬态电压合并时,总的负荷实际上等于无明显时延的短线。因此,当用无时延 t_{dL} (见 6.109.3)的短线进行近区故障试验时,则认为试验方式 T100s 和 T100a 的 ITRV 要求已得到满足,除非,从电气的观点来看,断路器的两端子不同(例如,采用了 6.109.3 的注 4 中提及的附加电容)。

6.104.5.3 试验方式 T60

对于额定电压 72.5 kV 及以下,规定的标准值在表 12 中给出。

对于额定电压 126 kV 及以上,规定的标准值在表 13 中给出。

6.104.5.4 试验方式 T30

对于额定电压 72.5 kV 及以下,规定的标准值在表 12 中给出。对于额定电压 126 kV 及以上,规定的标准值在表 13 中给出。

直接试验时,可能很难满足较小的 t_3 值。应采用所能达到的最小值,但不应小于规定的数值。应在试验报告中指明所用的数值。

注:鉴于短路电流额定值较小时变压器提供的短路电流的比例较大的事实,且甚至对额定电压 126 kV 的中性点接地系统,相对大多数变压器在运行时中性点不接地,对于额定电压为 126kV 到 252 kV,试验方式 T30 和 T10 规定的 TRV,确定的首开极系数为 1.5。对于额定电压为 363 kV 及以上的试验方式 T10,也同样适用。

6.104.5.5 试验方式 T10

对于额定电压 72.5 kV 及以下,规定的标准值在表 12 中给出。对于额定电压 126 kV 及以上,规定的标准值在表 13 中给出。时间 t_3 是变压器固有频率的函数。

直接试验时,可能很难满足较小的 t_3 值。应采用所能达到的最小值,但不应小于规定值。应在试验报告中指明所使用的数值。

6.104.6 试验期间瞬态恢复电压的测量

短路试验时,断路器的特性诸如电弧电压、弧后电导和分合闸电阻(如装有)将对瞬态恢复电压产生影响。因此,试验中的瞬态恢复电压不同于以一定性能要求为基础的试验回路的预期瞬态恢复电压波形,其程度取决于断路器的特性。

除非断路器对 TRV 的影响不明显,且开断电流不包含明显的直流分量,试验时所做的记录不应用来评定回路的预期瞬态恢复电压特性;而应通过如附录 F 中阐述的其他方法来进行。

试验时,应记录瞬态恢复电压。

6.104.7 工频恢复电压

试验回路的工频恢复电压可以用下面规定的工频恢复电压百分数来表示。它应不小于规定值的 95%,并应维持至少 0.3 s。

对于合成试验回路,细节和允差在 GB/T 4473 中给出。

对于 6.106 规定的基本短路试验方式,工频恢复电压在上述的 95% 的最低值的条件下,应为:

- a) 对于三极断路器的三相试验,工频恢复电压的平均值应等于断路器的额定电压 U_n 除以 $\sqrt{3}$ 。任一极的工频恢复电压在电压保持终了时刻与电压平均值的偏差不应超过 20%。

中性点接地系统中,应该证明在断路器一极中绝缘强度的建立不充分时,不会导致燃弧时间延长或开断失败。应采用单相试验(6.108)进行验证。

- b) 对于三极断路器的单相试验,其工频恢复电压应等于相对地电压值 $U_n/\sqrt{3}$ 与首开极系数(1.3 或 1.5)的乘积;在额定频率一个周波后工频恢复电压可以降低到 $U_n/\sqrt{3}$ 。

- c) 对于单极断路器,工频恢复电压应等于断路器的额定电压 U_n 。

工频恢复电压应在试验回路的每一相中断路器一极的端子间进行测量。其有效值应在示波图上电弧最终熄灭后试验频率的半个周波和一个周波之间的时间间隔内确定,如图 44 所示。应量出从第二半波的峰值至其前一个与其后一个半波峰值间的连线间的垂直距离(分别为 V_1 、 V_2 和 V_3),将这些值除以 $2\sqrt{2}$ 再乘以适当的标尺,即为所记录的工频恢复电压的有效值。

6.105 短路试验程序

6.105.1 试验间的时间间隔

基本短路试验和近区故障试验(如果适用)包括 6.106 和 6.109 规定的一系列试验方式。

一个试验顺序的各个操作之间的时间间隔应是 4.104 给出的断路器的额定操作顺序的时间间隔,并应遵循以下规定:

由于试验站的限制,有可能达不到额定操作顺序的 15 s、1 min 或 3 min 时间间隔。在这种情况下,时间间隔可以延长至 10 min 而不应认为试验无效;也可能需要长于 10 min 的时间间隔。延长的时间间隔不应是由断路器的故障操作引起的。操作之间的实际时间间隔应在试验报告中给出。如果长于 10 min,该延时的原因应记录在试验报告中。

对于具有额定操作顺序为 O—t—CO—t'—CO 的断路器,且其具有不同的额定值 t' ,试验应该在最短的时间间隔 t' 下进行。认为该试验已覆盖了具有较长时间间隔 t' 的所有额定操作顺序。这样就有可能把 4.104 的 a) 和 b) 规定的额定操作顺序的试验合并进行。应记录实际的时间间隔。

表 12 用两参数表示的额定电压 72.5 kV 及以下预期瞬态恢复电压的标准值

额定电压 U_r kV	试验方式	首开极 系数 k_{pp}	振幅 系数 k_{ar}	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μ s	时延(见注) t_d μ s	电压 u' kV	时间(见注) t' μ s	上升率 u_c/t_3 kV/ μ s
3.6	T100	1.5	1.4	6.2	41	6	2.1	20	0.15
	T60	1.5	1.5	6.6	17	3	2.2	9	0.39
	T30	1.5	1.5	6.6	9	1	2.2	4	0.77
	T10	1.5	1.5	6.6	9	1	2.2	4	0.77
7.2	T100	1.5	1.4	12.3	51	8	4.1	25	0.24
	T60	1.5	1.5	13	22	3	4.4	11	0.60
	T30	1.5	1.5	13	11	2	4.4	6	1.20
	T10	1.5	1.5	13	11	2	4.4	6	1.20
12	T100	1.5	1.4	20.6	61	9	6.9	29	0.34
	T60	1.5	1.5	22	26	4	7.3	13	0.85
	T30	1.5	1.5	22	13	2	7.3	6	1.70
	T10	1.5	1.5	22	13	2	7.3	6	1.70
24	T100	1.5	1.4	41	87	13	14	43	0.47
	T60	1.5	1.5	44	38	6	15	18	1.16
	T30	1.5	1.5	44	19	3	15	9	2.32
	T10	1.5	1.5	44	19	3	15	9	2.32
40.5	T100	1.5	1.4	69.5	114	17	23.2	55	0.61
	T60	1.5	1.5	74.5	49	10	24.8	26	1.53
	T30	1.5	1.5	74.5	24	5	24.8	13	3.06
	T10	1.5	1.5	74.5	24	5	24.8	13	3.06
72.5	T100	1.5	1.4	124	165	8(25)	41	63(80)	0.75
	T60	1.5	1.5	133	72	11	44	35	1.85
	T30	1.5	1.5	133	36	5	44	17	3.70
	T10	1.5	1.5	133	36	5	44	17	3.70

注: t_d 和 t' (T100) 给出两个数值的地方,通过括号分开,如果还要进行近区故障试验,则采用括号中的数值。否则,则采用括号前面的数值。

表 13 用四参数(T100、T60 和 T30)或两参数(T10)表示的
额定电压 126 kV~800 kV 预期瞬态恢复电压的标准值

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 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 (见注) t_d μs	电压 u' kV	时间 (见注) t' μs	上升率 u_1/t_1 u_c/t_3 kV/ μs
126	T100	1.3	1.4	100	50	188	200	2~14	50	27~39	2.0
		1.5	1.4	116	58	216	232	2~16	58	31~45	2.0
	T60	1.3	1.5	100	33	201	198	2~10	50	19~27	3.0
		1.5	1.5	116	39	231	234	2~12	58	21~31	3.0
	T30	1.3	1.53	--	--	205	41	6	68	20	5.0
		1.5	1.53	--	--	236	47	7	79	23	5.0
	T10	1.3	0.9×1.7	--	--	205	29	5	68	15	7.0
		1.5	0.9×1.7	--	--	236	34	5	79	16	7.0
OP1- OP2	2	1.25	154	100	258	200~400	2~10	77	52~60	1.54	
	2.5	1.25	193	115	322	230~460	2~11	96	59~68	1.67	
252	T100	1.3	1.4	201	100	374	400	2~28	100	52~78	2.0
	T60	1.3	1.5	201	67	401	402	2~20	100	35~53	3.0
	T30	1.3	1.53	--	--	409	82	12	136	39	5.0
	T10	1.3	0.9×1.7	--	--	409	58	9	136	28	7.0
	OP1- OP2	2	1.25	309	201	514	402~804	2~20	154	102~120	1.54
363	T100	1.3	1.4	289	144	539	576	2~40	144	74~112	2.0
	T60	1.3	1.5	289	96	578	576	2~28	144	50~76	3.0
	T30	1.3	1.53	--	--	590	118	18	197	57	5.0
	T10	1.3	0.9×1.7	--	--	590	84	13	197	41	7.0
	OP1- OP2	2	1.25	444	288	741	576~1 152	2~29	222	146~173	1.54
550	T100	1.3	1.4	438	219	817	876	2~61	219	111~170	2.0
	T60	1.3	1.5	438	146	876	878	2~44	219	75~117	3.0
	T30	1.3	1.53	--	--	893	179	27	298	87	5.0
	T10	1.3	0.9×1.7	--	--	893	128	19	298	62	7.0
	OP1- OP2	2	1.25	674	438	1 123	876~1 752	2~44	337	221~263	1.54
800	T100	1.3	1.4	637	318	1 189	1 272	2~89	318	161~248	2.0
	T60	1.3	1.5	637	212	1 274	1 272	2~64	318	108~170	3.0
	T30	1.3	1.53	--	--	1 299	260	39	433	126	5.0
	T10	1.3	0.9×1.7	--	--	1 299	186	28	433	90	7.0
	OP1- OP2	2	1.25	980	636	1 633	1 272~ 2 544	2~64	490	320~382	1.54

注 1: 时间 t_0 和 t' 对于出线端故障试验方式 T100 给出两个数值, 如果还要进行近区故障试验, 则采用大的数值。否则, 采用小的数值。时间 t_0 和 t' 对于出线端故障试验方式 T60、失步试验方式 OP1 和 OP2 给出两个数值, 这些值表示用于试验的上限和下限。时延 t_d 和时间 t' 在试验时不应比相关的下限值短, 也不能比相关的上限值长。

注 2: 对于近区故障, 表中规定的 TRV 参数为其回路电源侧的。

6.105.2 分闸脱扣器辅助电源的施加——开断试验

辅助电源应在短路起始后施加在分闸脱扣器上,但如果受试验站的限制而不可行时,可在短路起始前施加辅助电源(但有一个限制条件:触头不应在短路起始前开始移动)。

6.105.3 分闸脱扣器辅助电源的施加——关合一开断试验

在关合一开断试验中,不应在断路器到达合闸位置之前给分闸脱扣器施加辅助电源。在试验方式 T100s(见 6.106.4)的合一操作循环中,触头关合后一个半波内不应施加辅助电源。为使直流分量不超过允许值,允许断路器延迟分闸。

6.105.4 短路扣锁

当主载流触头在合闸位置静止、完全通电而且在没有机械或电气的脱扣之前应保持在该位置,断路器应扣锁。除非断路器装有关合电流脱扣器或等效装置,否则,应验证在合闸期间电流的交流分量的衰减可以忽略不计,断路器能毫无迟滞的扣锁。

断路器对短路关合电流的扣锁能力可在试验方式 T100s(见 6.106.4)或关合验证试验(见 6.102.4.1)时验证。本试验过程中,下列情况适用:

——对于三极断路器的三相试验,合闸相角的控制应使远离机构的极上出现峰值关合电流。

——对于三极断路器的单相试验,应对远离机构的极进行试验,且与并联在一起的其他两极串联。

注:如果进行单相试验,应注意施加在远离机构的极上的应力和三相试验时施加在该极上的外施电压、预击穿时刻和电流流过该极的时刻的方式相同。

如果受试验站的限制,不可能在 6.104.1 规定的外施电压规定的范围内进行试验方式 T100s 时,试验可以在降低的试验电压下进行,用一个能产生额定短路关合电流且交流分量衰减忽略不计的回路重复进行此项试验。

有几种方法可以用来确定断路器是否已合闸和扣锁,例如:

——通过适当地记录辅助触头和触头的行程;

——关合试验完成后,目力检查扣锁的位置;

——通过记录装置的动作来检查锁扣(例如,适合于安装在机构上的微型开关)。

试验报告应记录证明断路器满意扣锁所采用的方法。

6.105.5 无效试验

如果出现无效试验,则可能有必要进行比标准要求更多次数的短路试验。无效试验是指本标准要求的一个或多个试验参数未满足。这包括,例如电流、电压和时间参数以及相位要求(如有规定)和合成试验时的附加参数例如:辅助断路器的正确动作和正确的注入时间。

与本标准的任何偏差可导致试验偏轻或偏严。表 14 中考虑了四种不同情况。

试验方式中的无效部分可在断路器不经修整时重复进行。但是,如果断路器在该附加的试验时失败或根据制造厂的决定,断路器可以修整而重复进行整个试验方式。在这些情况下,试验报告应包括相关的无效试验。

注:在快速自动重合闸方式循环中,认为 O—t—CO 是一部分,紧接着的 CO 也是一个部分。

E2 级断路器可以修整,但在这种情况下应重复整个试验系列。

如果由于技术原因,某个操作不能再现时,只要以其他方式提供证据说明断路器没有失败且要求的试验值已满足,则本次操作不应被认为无效。

6.106 基本短路试验方式

基本短路试验系列应由下面规定的试验方式 T10, T30, T60, T100s 和 T100a 组成。

对于试验方式 T10 和 T30,开断电流与规定值的偏差不应超出规定值的 20%,对于试验方式 T60 不应超出 10%。

在试验方式 T100s, T100s(b) 和 T100a 的开断电流试验中,短路电流的峰值不应超出断路器额定

短路关合电流的110%。

注：在6.106.4说明的情况下，可能有必要把试验方式T100s分成关合试验和开断试验。此时，构成关合操作的部分称为T100s(a)，构成开断操作的部分称为T100s(b)。

表 14 无效试验

与标准相关的 试验条件	断 路 器	
	通 过	未 通 过
更严酷	试验有效，结果可接受。	以正确参数重复该试验。 不需要修改断路器的设计。
欠严酷	应以正确的参数重复进行试验。 不需要修改断路器的设计。	断路器未通过试验。 要求修改断路器的设计，以提高关合、开断和开合能力。 试验将在修改过的断路器上重新开始。

为了试验方便，在试验方式T10、T30和T60中，允许在任何开断操作之前省略关合操作。各个操作之间的时间间隔，应是断路器额定操作顺序中的时间间隔(见6.105.1)。

6.106.1 试验方式T10

试验方式T10由额定操作顺序组成，在6.104.5.5、表12、表13和6.104.7规定的瞬态和工频恢复电压下开断10%的额定短路开断电流，其直流分量小于20%。

6.106.2 试验方式T30

试验方式T30由额定操作顺序组成，在6.104.5.4、表12、表13和6.104.7规定的瞬态和工频恢复电压下开断30%的额定短路开断电流，其直流分量小于20%。

6.106.3 试验方式T60

试验方式T60由额定操作顺序组成，在6.104.5.3、表12、表13和6.104.7规定的瞬态和工频恢复电压下开断60%的额定短路开断电流，其直流分量小于20%。

6.106.4 试验方式T100s

试验方式T100s由额定操作顺序组成，其开断电流为6.104.3规定的100%额定短路开断电流，表12、表13和6.104.7规定的瞬态和工频恢复电压，6.104.2规定的额定短路关合电流和6.104.1规定的外施电压。

对于本试验方式，开断电流的直流分量百分数不应超过交流分量的20%。

对三极断路器的一极进行单相试验时，或者试验设备的特性不可能在6.104.1中的外施电压、6.104.2的关合电流、6.104.3的开断电流和6.104.5.2及6.104.7的瞬态和工频恢复电压的规定限值内实施试验方式T100s时，并考虑到6.105.3和6.105.4的规定，试验方式T100s中的关合和开断试验可以按下述方式分开进行。

6.106.4.1 试验回路的直流分量的时间常数等于规定值

试验回路的直流分量的时间常数等于4.101.2确定的规定值时，进行上述试验方式T100s的替代试验方法如下：

a) 关合试验，试验方式T100s(a)

应按与额定操作顺序O-t-CO-t'-CO或CO-t''-CO相应的顺序C-t'-C或C-t''-C进行试验，其中第一个合闸操作对应于额定短路开断电流的对称电流，第二个合闸操作对应于符合6.104.2规定的额定短路关合电流。第一个合闸操作应在6.104.1规定的外施电压下进行；

b) 开断试验，试验方式T100s(b)

紧接着a)中提及的这些合闸操作，应该在额定短路开断电流及6.104.5.2和6.104.7规定的瞬态和工频恢复电压下进行与额定操作顺序O-t-CO-t'-CO或CO-t''-CO相应的O-t-CO-t'-

CO 或 CO— t' —CO 操作。

本试验过程中,下列规定适用:

——a)和 b)之间不允许检修;

——如果在 b)中的一个合闸操作已经达到额定短路关合电流,则 a)中的第二个合闸操作可以免去;

——对于合成试验,GB/T 4473 适用。

6.106.4.2 试验回路的直流分量的时间常数小于规定值

试验回路的直流分量的时间常数小于由 4.101.2 确定的规定值时,进行上述试验方式 T100s 的替代试验方法如下:

a) 关合试验,T100s(a)

应按照 6.104.2 进行一个额定短路关合电流下的单合操作。该合闸操作可以在 6.104.2 规定范围内降低的电压下进行。

b) 开断试验,T100s(b)

紧接着这个合闸操作,应在 100%额定短路开断电流、6.104.1 规定的外施电压以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下,进行与额定操作顺序 O— t —CO— t' —CO 或 CO— t'' —CO 相应的 O— t —CO— t' —CO 或 CO— t'' —CO 操作。在这第二部分,其中一次合闸操作应关合等于额定短路开断电流的对称电流。

注:由于采用了相对于规定值较小的试验回路时间常数进行额定短路电流开断试验,a)中的电流对称值须大于规定值。b)中的电流峰值,由于同样的原因,就会小于额定短路关合电流。

本试验过程中,下列规定适用:

——a)和 b)之间不允许检修;

——对于合成试验,GB/T 4473 适用。

6.106.4.3 试验回路的直流分量的时间常数大于规定值

试验回路直流分量的时间常数大于由 4.101.2 确定的规定值时,进行上述试验方式 T100s 的替代试验方法如下:

a) 应在 100%额定短路开断电流、6.104.1 规定的外施电压以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下,进行与额定操作顺序 O— t —CO— t' —CO 或 CO— t'' —CO 相应的 O— t —CO— t' —CO 或 CO— t'' —CO 操作。在这个操作顺序中,一个合闸操作对应的对称电流等于额定短路开断电流,另一个合闸操作对应于完全的非对称电流。由于试验回路直流分量的时间常数大于 4.101.2 的规定值,非对称合闸时的峰值电流将会大于额定短路关合电流。因此,应选相控制合闸操作,以达到要求的额定短路关合电流。但是,按试验程序 a)进行试验应征得制造厂的同意。

注:因为在非对称合闸操作中出现了较大的峰值电流,不需要进行 6.104.2 规定的额定短路关合电流下的单合操作。

b) 作为上述试验程序 a)的替代方法,第一个合闸操作对应的对称电流等于额定短路开断电流,第二个合闸操作空载。也就是说,在 100%额定短路开断电流、6.104.1 规定的外施电压以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下,进行与额定操作顺序 O— t —CO— t' —CO 或 CO— t'' —CO 相应的 O— t —CO— t' —O 或 CO— t'' —O 操作。

在这种情况下,验证断路器能够进行额定操作顺序的能力,在相关的要求以及小于额定短路开断电流的对称电流的条件下,使得在一次合闸操作中得到额定短路关合电流,通过重复试验程序 a)来实现。在这个重复的试验方式中,合闸操作可以在 6.104.2 规定范围内降低的电压下进行。

注:由于断路器关合额定短路关合电流的能力已在重复的试验方式中得到验证,因此,不需要进行 6.104.2 规定的

额定短路关合电流下的单合操作。

本试验过程中,下列规定适用:

- 如果采用试验程序 b),重复额定操作顺序之前允许检修;
- 对于合成试验,GB/T 4473 适用。

6.106.4.4 试验回路的交流分量的时间常数较小

试验回路的交流分量的时间常数较小时,就不可能在断路器没有完全过负荷的情况下进行额定操作顺序试验。在此情况下,允许把试验方式 T100s 中的关合和开断试验分开如下:

a) 关合试验,试验方式 T100s(a)

对于额定操作顺序 $O-t-CO-t'-CO$,为 $C-t'-C$;

对于额定操作顺序 $CO-t''-CO$,为 $C-t''-C$ 。

且应符合 6.104.2 规定的关合电流以及 6.104.1 规定的外施电压。对于各个试验之间的时间间隔,6.105.1 适用。

b) 开断试验,试验方式 T100s(b)

试验程序取决于额定操作顺序。

- 对于额定操作顺序 $O-t-CO-t'-CO$,试验方式 T100s(a)的合闸操作后应在 6.104.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下进行 $O-t-CO-t'-CO$ 操作。对于各个试验之间的时间间隔,6.105.1 适用。

对于操作顺序 $O-t-CO$ (额定操作顺序 $O-t-CO-t'-CO$ 的初始部分),可以通过两个试验来验证。在此情况下,下述规定适用:

第一次试验,第一个分闸操作应在 6.104.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下进行。随后的合闸和分闸操作的关合电流、外施电压、开断电流以及瞬态和工频恢复电压,应分别尽可能接近试验方式 T100s 的规定值。

第二次试验,附加的 CO 操作循环应在 6.104.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下进行。该 CO 操作循环之前应增加一个空载的分闸操作,以完成操作顺序 $O-t-CO$ 。

- 对于额定操作顺序 $CO-t''-CO$,试验方式 T100s(a)的合闸操作后,应在 6.104.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下进行 $CO-t''-CO$ 操作。对于各个试验之间的时间间隔,6.105.1 适用。

- 如果试验方式 T100s(b)中的合闸操作已经满足上述 a)中给出的要求,则试验方式 T100s(a)中的合闸操作可以免去。为了不使断路器过负荷,试验方式 T100s(b)中有必要进行合闸控制。对于合闸操作,可能不会满足 6.104.1 和 6.104.2 规定的要求。

试验方式 T100s(a)和 T100s(b)之间不允许维修。如果该试验程序产生的实际应力超过了表 B.1 规定的限值,应征得制造厂的同意。

6.106.5 试验方式 T100a

试验方式 T100a 仅适用于时间间隔等于制造厂规定的断路器的最短分闸时间 T_{co} 加额定频率的半个周波 T_c ,此时,触头刚分瞬间的直流分量大于 20%(见 4.101.2)的断路器。

试验方式 T100a 由时间间隔符合 6.105.1、在 100%额定短路开断电流、直流分量的百分数等于 4.101.2 规定的适当的额定值、6.104.5.2 和 6.104.7 规定的预期瞬态和工频恢复电压(亦可见 6.104.6)下的三个分闸操作组成。(参照的表见 6.106.4)。

如果试验回路的直流分量时间常数不同于为断路器规定的直流分量时间常数,试验方式 T100a 应按 IEC 62215 进行。

6.107 临界电流试验

6.107.1 适用性

这些试验是对 6.106 中的基本短路试验方式补充的短路试验,仅适用于具有临界电流的断路器。如果基本短路试验方式 T10、T30 或 T60 中的一个试验方式的最短燃弧时间超过另一个试验方式的最短燃弧时间半个周波或更长,则认为属于这种情况。对于三相试验,应考虑所有三相的燃弧时间。

6.107.2 试验电流

适用时,考虑到断路器临界电流时的性能,应进行两个试验方式的试验。

这两个试验方式的试验电流应等于相应于出现延长的燃弧时间的试验方式(见 6.107.1)的开断电流和下列相应电流的平均值:

- a) 一个试验方式:开断电流相应于相邻的更高开断电流;
- b) 另一个试验方式:开断电流相应于相邻的更低开断电流。

如果延长的燃弧时间出现在试验方式 T10 中,临界电流开断试验应该在 20% 额定短路开断电流时进行一个方式,在 5% 额定短路开断电流下进行另一个试验方式。

6.107.3 临界电流试验方式

临界电流试验方式是由 6.107.2 规定的电流且直流分量小于 20% 的额定操作顺序构成。其瞬态和工频恢复电压与基本短路试验方式中相邻的更高开断电流的试验方式的一致。

临界电流试验可以在修整过的断路器上进行。

6.108 单相和异相接地故障试验

6.108.1 适用性

断路器应能开断出现在下述两种情况下的单相短路电流:

- 中性点固定接地系统中的单相故障,或
- 中性点非固定接地系统中的异相接地故障,即接地故障出现在不同的相,一个点在断路器的一侧,另一个点在断路器的另一侧。

根据使用断路器的系统的中性点接地条件、断路器操动机构的设计(单极或三极操作)和试验方式 T100s 进行的是单相试验还是三相试验,来确定是否有必要进行附加的单相试验(见图 45)。

这些试验是为了证明:

- 断路器在相应参数时能够开断单相故障电流;
- 对于三极共用一个操动机构且装有一个共用分闸脱扣器的断路器,单相故障电流产生的不平衡应力对断路器的操作不产生负面影响。

单相故障试验应在远离操动机构的边极上进行,而异相接地故障可在任一极上进行。

注:如果两个单相试验在一台共机构的三极断路器上进行,为了防止一极过负荷,可在两个不同的极上进行。

6.108.2 试验电流和恢复电压

附加的单相开断试验的开断电流和恢复电压如图 45 所示。

开断电流的直流分量不应超过交流分量的 20%。瞬态恢复电压应满足 6.104.5.1 的项 a) 和 b) 的要求。标准值应从表 1a、表 1b 和表 1c 的 u_1 、 t_1 、 u_c 和 t_3 导出。用于单相故障和异相接地故障试验的数值在表 15 中给出,并标有索引(sp):

表 15 单相故障和异相接地故障试验的 TRV 参数

系统中性点	额定电压					
	$U_n < 126 \text{ kV}$ 两参数 TRV			$U_n \geq 126 \text{ kV}$ 四参数 TRV		
	$u_{c,sp}$	$t_{3,sp}$	$u_{1,sp}$	$t_{1,sp}$	$u_{c,sp}$	$t_{2,sp}$
固定接地	$1.4 \times U_n \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_3 \times u_{c,sp} / u_c$	$0.75 \times U_n \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_1 \times u_{1,sp} / u_1$	$1.4 \times u_{1,sp}$	$4t_{1,sp}$
非固定接地	$1.4 \times U_n \sqrt{2}$		$0.75 \times U_n \sqrt{2}$			

与 $u_{1,sp}$ 、 $u_{c,sp}$ 、 $t_{1,sp}$ 和 $t_{2,sp}$ ($t_{3,sp}$) 相关的其他参数见 6.104.5.1 中关于试验方式 T100 的定义。必要时,可以优先采用 6.104.5.2 中关于试验站条件限制方面的措施。

6.108.3 试验方式

对于两种规定的故障情况的每一种情况,试验方式由一个额定操作顺序组成。试验电流应施加在、对连接机构的中间极产生最大应力的边极上。

开断操作时的燃弧时间不应小于下面的 t_a :

$$t_a \geq t_{a100s} + 0.7 \times T/2$$

这里 t_{a100s} 是:

——如果出线端故障试验方式 T100s 进行的是三相试验,试验方式 T100s 的三次开断操作中首开极燃弧时间的最小值;

——如果出线端故障试验方式 T100s 进行的是单相试验,试验方式 T100s 的最短燃弧时间。

T 为工频一个周期的持续时间。

为了减少试验次数,允许用一次试验代替两次试验,只要两个试验条件同时满足。该替代的允许条件仅限于制造厂的同意。

6.109 近区故障试验

6.109.1 适用性

近区故障试验是对 6.106 涵盖的基本短路试验方式补充的短路试验。进行这些试验的目的是确定断路器在近区故障条件下,瞬态恢复电压由电源侧和线路侧组合时断路器开断短路电流的能力。

近区故障试验仅适用于直接和架空线连接的、额定电压 72.5 kV 及以上且额定短路开断电流超过 12.5 kA 的三极断路器。

6.109.2 试验电流

试验电流应计及电源侧和线路侧的阻抗。电源侧的阻抗应是相应于近似 100% 额定短路开断电流 I_{sc} 和额定电压 U 的相对地值时的阻抗值。线路侧阻抗的标准值分别规定为相应于额定短路开断电流交流分量减少到 90% 和 75% 时的阻抗值。

试验中,代表断路器线路侧的线路长度可能不同于与电流等于额定短路开断电流的 90% 和 75% 相应的线路长度。线路长度与这些标准长度的偏差,对 90% 额定短路开断电流允许 $-20\% \sim 0\%$,对 75% 额定短路开断电流允许 $\pm 20\%$ 。

线路长度的这些偏差导出了短路电流的下述偏差:

—— L_{90} 线路长度偏差在 0% 时: $I_L = 90\% I_{sc}$;

—— L_{90} 线路长度偏差在 -20% 时: $I_L = 92\% I_{sc}$;

—— L_{75} 线路长度偏差在 $+20\%$ 时: $I_L = 71\% I_{sc}$;

—— L_{75} 线路长度偏差在 -20% 时: $I_L = 79\% I_{sc}$ 。

对于 6.109.4 项 c) 规定的情况,要求在 60% 额定短路开断电流时进行另一次试验 (L_{60})。相应标准线路长度的偏差为 $\pm 20\%$ 。这样导出短路电流的偏差为:

—— L_{60} 线路长度偏差在 $+20\%$ 时: $I_L = 55\% I_{sc}$;

—— L_{60} 线路长度偏差在 -20% 时: $I_L = 65\% I_{sc}$ 。

更详细的资料,见附录 J。

6.109.3 试验回路

试验回路应是单相的,且由电源回路和线路回路(见图 46、图 47 和图 48)组成。基本要求在 4.105 中给出。

考虑到电源侧和负载侧的时延以及 ITRV(见 4.102.1),规定了两项主要要求且应把它们区分

开来:

- a) 电源侧:有时延(t_d)而无 ITRV;
线路侧:有时延(t_{dl});
- b1) 电源侧:有时延(t_d)且有 ITRV;
线路侧:有时延(t_{dl});
- b2) 电源侧:有时延(t_d)而无 ITRV;
线路侧:无明显时延(t_{dl});

如果线路侧振荡不采用时延(见 6.104.5.2),则代表电源侧的 ITRV 可以忽略。只要线路侧的时延不超过 100 ns 就可以认为没有明显的时延。

注 1:如果电源侧无 ITRV,线路侧无明显的时延,且在规定的范围内并接近 100 ns,根据断路器的额定值,在时间 t_d 时断路器两端的电压可能在某种程度上低于电源侧有 ITRV、线路侧有时延时的情况。

考虑到这些规定,根据他们的时延表征的三种试验回路适用于近区故障试验:

- a) 电源侧有时延(t_d)且线路侧有时延(t_{dl})(见 A.4.1);回路如图 46 所示。
- d1) 电源侧有 ITRV 且线路侧有时延(t_{dl})(见 A.4.2);回路如图 47 所示。
- d2) 电源侧有时延(t_d)且线路侧无明显时延(t_{dl})(见 A.4.3);回路如图 48 所示。

回路 c) 仅适用于没有 ITRV 要求的场合。回路 d2) 可以作为回路 d1) 的替代回路。除非断路器的两个端子在电气上不一样(例如 6.109.3 的注 4 中提及的使用附加电容的场合)。

使用的试验回路的选择见图 49 的流程图。

试验回路电源侧和负载侧的其他特征应与附录 A 中的解释和计算一致。

如果由于试验室条件的限制,电源侧的 TRV 要求不能满足时,电源侧 TRV 时延的缺陷可以通过提高线路侧电压的幅值来补偿。线路侧电压的提高值 $u_{L,mod}^*$ 可按下述方法计算(亦可见图 16 和图 50):

$$\begin{aligned} t_d < t_d' \leq t_L & \quad u_{L,mod}^* = u_L^* + L_f \times RRRV \times (t_d' - t_d) \\ t_d < t_L \leq t_d' & \quad u_{L,mod}^* = u_L^* + L_f \times RRRV \times (t_L - t_d) \end{aligned}$$

式中:

RRRV——要求的电源侧恢复电压上升率(kV/ μ s);

L_f ——SLF 的电流系数 I_L/I_{sc} (0.9 或 0.75 或 0.60);

t_d ——要求的电源侧时延(μ s);

t_d' ——电源侧的实际时延(μ s);

t_L ——线路侧瞬态恢复电压到达峰值电压 u_L^* 的时间(μ s);

u_L^* ——要求的线路侧峰值电压(kV);

$u_{L,mod}^*$ ——调节的线路侧峰值电压(kV)。

如果试验是在一个端子接地的情况下进行的,或在合成试验时,应该对线路侧和电源侧振荡的电压分布系数进行测量或计算。线路侧振荡较高的应力单元对应电源侧振荡较低的应力单元。认为更显著的作用来自线路侧。电压分布系数应为:

——单元试验:应测量或计算线路侧单元的系数。

——多单元试验:应测量或计算邻近线路侧的多单元的系数。应该注意到在多个单元内电压的分布不使断路器过负荷。对受试部分应采用新的测量或计算方法。

测量预期 TRV 时,应该把线路连接到实际的回路中以便考虑到因试验回路中分压器、杂散电容和电感产生的所有影响。

可以在线路侧或电源侧或断路器的断口间接上一个附加的电容,用来调节试验回路中各个部分的

时延。

注 2: 术语“实际的”是用来和额定的(90%、75%、60%)值相区别。不排除使用 6.104.3 定义的预期短路开断电流。

注 3: 为了调节线路侧的时延使其达到表 4 中的标准值而接入了额外的电容,则在该电容的延时效应衰减后,线路侧 TRV 的上升率应达到其标准值($du_L/dt = -s \times I_L$)。

注 4: 当断路器的开断能力不足以开断近区故障时,不论在试验或运行时,可以在线路侧或断路器断口间使用一个附加的并联电容器。通过这个方法可以降低断路器所承受的应力。试验中所使用的附加电容器的数值和位置都应在试验报告中表示出来。对于大容量的附加电容,由于该附加电容的效应,线路侧的波阻抗和线路侧的延时可能会降低。然而,线路自身的波阻抗(事先已按表 4 中给出的标准值调整过)保持不变。因为附加电容的延时效应的衰减时间可能长于到达线路侧 TRV 峰值的时间,所以,TRV 上升阶段包络线的较低的上升率可能被误解为线路侧的波阻抗减小。因此,对于接有附加电容的线路,计算的时延和波阻抗值与试验无关。

试验报告应给出适合于断路器额定值的规定的瞬态恢复电压,且为了比较,还应给出所用的试验回路的预期瞬态恢复电压。

6.109.4 试验方式

近区故障试验应为单相试验。试验方式的系列规定如下。每一试验方式由额定操作顺序组成。为了便于试验,合闸操作可以是空载操作。

试验回路应符合 6.109.3。

对于这些试验方式,触头分离瞬间的直流分量百分数应小于交流分量的 20%。

与符合 6.109.2 的试验电流相关的试验方式如下:

a) 试验方式 L_{90}

在 6.109.2 给出的 L_{90} 的电流和适当的预期瞬态恢复电压下进行。

b) 试验方式 L_{75}

在 6.109.2 给出的 L_{75} 的电流和适当的预期瞬态恢复电压下进行。

c) 试验方式 L_{60}

在 6.109.2 给出的 L_{60} 的电流和适当的预期瞬态恢复电压下进行。

仅当试验方式 L_{75} 中的最短燃弧时间长于试验方式 L_{90} 中的最短燃弧时间四分之一周波或更多时,这个试验方式才是强制性的。

6.109.5 用容量有限的试验电源进行近区故障试验

当试验站可供利用的最大短路容量不足以对断路器整极进行近区故障试验时,允许进行单元试验(见 6.102.4.2)。

放宽 6.109.3 的规定时,近区故障试验也可以在降低的工频电压下进行。应尽可能地满足这些规定,且瞬态恢复电压应至少在三倍于线路侧恢复电压第一幅值的规定时间内予以满足。如果 6.106 中的基本短路试验方式已满足,且假定断路器在瞬态恢复电压的峰值附近的介质强度与电流过零后施加在其上的电压无关,就可以使用这一方法。这个试验方法也可以和单元试验结合使用。

如果近区故障试验是在降低的工频电压下进行的,且任何一个近区故障试验方式按照 6.102.10.2.2.1 确定的最长燃弧时间长于试验方式 T100 s 的最长燃弧时间 2 ms,则应在出线端故障 T100 s 的试验条件下进行一个具有近区故障试验获得的最长燃弧时间的分闸操作。这个附加操作的 TRV 参数可以降低到相应于首开极系数为 1.0,和正常的近区故障试验相同的值。如果附加的分闸操作成功地开断了电流,则认为断路器通过了近区故障试验。

6.110 失步关合和开断试验

6.110.1 试验回路

试验回路的功率因数应不超过 0.15。

试验通常在单相试验回路中进行,因此,本条款仅涉及单相试验程序。

注：除了单相试验以外，也允许三相试验。如果进行三相试验，试验程序应按照制造厂和用户之间的协议。

试验回路应这样布置，约有一半的外施电压和恢复电压施加在断路器的每一侧(见图 51)。

如果在试验站使用这种回路不现实时，征得制造厂的同意，只要断路器两端的总电压符合 6.110.2 中的规定，可以采用相位差 120° 的两个相同的电压代替相位差 180° 的两个相同的电压的试验回路。

制造厂同意时，才允许断路器的一端接地(见图 53)。

6.110.2 试验电压

外施电压和工频恢复电压应等于下列数值之一：

- 对用于中性点固定接地系统中的断路器， $2.0/\sqrt{3}$ 倍的额定电压；
- 对用于中性点非固定接地系统中的断路器， $2.5/\sqrt{3}$ 倍的额定电压。

瞬态恢复电压应符合 4.106。

6.110.3 试验方式

应进行的试验方式列于表 16 中。

对于每一个试验方式的分闸操作，开断电流的直流分量应小于交流分量的 20%。

对于试验方式 OP2 中的合一分操作循环中的合闸操作：

- 工频电压应为 $2U_n/\sqrt{3}$ ；
- 关合应出现在外施电压峰值的 $\pm 15^\circ$ 内。

合闸操作应产生具有最长预击穿时间的对称电流。关合电流应等于额定失步关合电流，开断电流的直流分量不作规定。燃弧时间见 6.102.10.2.1 和 6.102.10.2.2。

可能由于试验设备的限制，如果在外施电压峰值处关合时的预击穿时间没有明显长于工频的四分之一周波，允许用下面的操作顺序替代试验方式 OP2 中的 CO 操作循环：

- C(在全电压和适用的最大关合电流下)；
- CO(空载合闸)；
- O—O。

表 16 验证失步额定值的试验方式

试验方式	操作顺序	开断电流占额定失步开断电流的百分数
OP1	O—O—O	30
OP2	CO—O—O 或替代的 C*—C*—O—O—O (C*：全电压下的 C；C*：空载时的 C)	100

注 1：装有合闸电阻的断路器，合闸电阻的热耐受能力可以单独试验。
注 2：如果断路器的燃弧特性是：按照 6.107.1 规定的临界电流试验的电流值低于出线端故障 T10 的试验电流时，则试验方式 OP1 可以免去。

6.111 容性电流开合试验

6.111.1 适用性

容性电流开合试验适用于规定有下述一个或多个额定值的所有断路器：

- 额定线路充电开断电流；
- 额定电缆充电开断电流；
- 额定单个电容器组开断电流；
- 额定背对背电容器组开断电流；
- 额定单个电容器组关合涌流；

——额定背对背电容器组关合涌流；

额定容性开合电流的优选值在表 5 中给出。

注 1: 开合容性电流时过电压的确定不在本标准的范围内。

注 2: 关于容性电流开合的解释性的注在 I. 4 中给出。

6. 111. 2 概述

容性电流开合试验时允许出现复燃。根据断路器的重击穿性能可以将其分成两级：

——C1 级：特定的型式试验(6. 111. 9. 2)验证的容性电流开合试验中具有低的重击穿概率。

——C2 级：特定的型式试验(6. 111. 9. 1)验证的容性电流开合试验中具有非常低的重击穿概率。

注 1: 该概率与断路器型式试验系列中的性能有关。

注 2: 重击穿或复燃后出现的现象不能代表运行条件, 因为试验回路并不能完全再现事后的电压条件。

试验室试验, 线路和电缆可以部分或全部用电容器、电抗器和电阻等集中元件组成的人工回路代替。

试验回路的频率应为额定频率, 允差为 $\pm 2\%$ 。

注 3: 在 60 Hz 时进行的试验可以认为已证明了 50 Hz 时的开断特性。

注 4: 只要能证明断路器断口上的电压在开断后的第一个 8.3 ms 内不低于规定电压下 60 Hz 试验时的情况, 则认为 50 Hz 时的试验也可以验证 60 Hz 时的特性。如果重击穿出现在 8.3 ms 以后, 因为其瞬态电压高于在 60 Hz 试验时规定的瞬态电压, 则试验可在 60 Hz 时重复进行。

注 5: 回路的要求可以用恢复电压的要求代替。

6. 111. 3 电源回路的特性

试验回路应满足下述要求：

a) 在开合时, 试验回路的特性应是工频电压的变化, 对试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1) 小于 2%, 对试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2) 小于 5%。如果电压变化超过规定值, 允许使用规定的恢复电压(6. 111. 10)或合成试验来替代进行试验。

b) 电源回路的阻抗不应低至使其短路电流超过断路器的额定短路开断电流。

对于线路充电电流开合试验、电缆充电电流开合试验或单个电容器组电流开合试验, 电源回路的预期瞬态恢复电压不应比 6. 104. 5. 2 中对试验方式 T100 规定的瞬态恢复电压更严酷。

对于背对背电容器组开断电流试验, 电源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。

注 1: 如果断路器打算用于电源侧有适当长度电缆的系统中时, 电源回路就应采用适当的附加电容。

注 2: 对于背对背电容器组开合电流试验, 如果单独进行关合试验, 可以为开断试验选择较低的电源回路电容。该电容值的选择不应太低, 以致电源回路的预期瞬态恢复电压超过 6. 104. 5. 2 中对短路试验所规定的值。

6. 111. 4 电源回路的接地

对于试验室单相试验, 单相电源回路的任一端可以接地。但是, 如果必须保证断路器各单元之间正确的电压分布, 可以换到电源回路的另一端接地。

三相试验应按下列规定接地：

a) 对于电容器组电流开合试验, 电源回路的中性点应接地。对于中性点接地的电容器组, 零序阻抗应不大于三倍的正序阻抗, 对于中性点绝缘的电容器组, 与该比值无关。

b) 对于线路充电和电缆充电电流开合试验, 电源回路的接地原则上应相应于断路器使用时回路的接地条件；

——对用于中性点接地系统中的断路器的三相试验, 电源回路的中性点应接地, 其零序阻抗应不大于三倍的正序阻抗；

——对用于中性点绝缘及谐振接地系统中的断路器的三相试验, 电源侧的中性点应绝缘。

注: 为了试验方便, 只要试验室能证明获取的恢复电压值是等价的, 可以使用替代的试验回路, 例如: 中性点接地的系统和中性点绝缘的电容器组构成的试验回路, 在很多情况下可以用中性点绝缘的系统和中性点接地的电容

器组代替。

另外,应注意 TRV 控制电容对恢复电压值的影响,尤其是对小的容性电流。表 19 中给出了要求的恢复电压值。

6.111.5 被开合的容性回路的特性

包括所有必需的测量装置如分压器在内的容性回路的特性,应在电弧最终熄灭后 300 ms 时断路器断口电压的衰减不超过 10%。

如果试验回路不能提供 300 ms 的恢复电压,断路器的耐受能力应以其他方式验证。该试验可以通过无电流、在触头分离后施加要求的恢复电压持续工频的一个周波的附加试验来完成。该要求的恢复电压可以通过,例如在要求的时间内一端施加直流电压,另一端施加交流电压来获得。施加电压的次数应和试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)的分闸操作次数相同,且在两个极性间均匀分布。如果进行的容性电流开合试验是三相试验,该附加的绝缘试验应对每一相实施。

6.111.5.1 线路充电电流开合试验

有三种可能性:

- 三相试验,允许采用几条并联线路,或者用集中电容器组部分地或全部地替代实际的三相线路。对于 72.5 kV 及以上,其正序电容应近似等于两倍的零序电容;对于额定电压 72.5 kV 以下,其正序电容应近似等于 3 倍的零序电容;
- 用三相试验回路进行单相试验,容性回路的两相直接连接到三相电源回路,而另一相通过断路器的被试极连接到电源回路;
- 试验室单相试验,允许用集中电容器组部分地或全部地取代实际的线路,也允许采用几条不同相的导线并联连接,电流通过地或一个导线返回。

当利用电容器模拟架空线时,最大值为 5% 容抗的无感电阻可以与电容器串联,更高的电阻值可能会过分地影响恢复电压。如果串联这个电阻后,涌流峰值仍然是高得不可接受,只要开断瞬间的电流和电压条件以及恢复电压没有明显的偏离规定值,可以用一个替代阻抗(例如 LR)来替代电阻。

采用该替代阻抗应注意,因为该阻抗在复燃后会产生过电压,将可能导致更进一步复燃或重击穿。

6.111.5.2 电缆充电电流开合试验

可以利用电容器组来模拟屏蔽及铠装电缆。对于代表三芯铠装电缆的三相试验回路,其正序电容应该近似地等于两倍的零序电容。

当电容器被用来模拟电缆时,可以用最大值为 5% 容抗的无感电阻与电容器串联,更高的电阻值可能会过分地影响恢复电压。如果串联这个电阻后,峰值涌流仍然高得不可接受,只要开断瞬间的电流和电压条件以及恢复电压没有明显的偏离规定值,可以用一个替代阻抗(例如 LR)来替代电阻。

采用该替代阻抗应注意,因为该阻抗在复燃后会产生过电压,将可能导致更进一步复燃或重击穿。

注:只要线路充电电流不超过电缆充电电流的 1%,可以采用一条短架空线与电缆串联作此试验。

6.111.5.3 电容器组电流开合试验

除了额定电压高于或等于 72.5 kV 的情况以外,电容器的中性点应绝缘,如果断路器打算用于中性点接地系统,则试验电容器的接地条件应与电容器运行中的条件相同。

6.111.6 电流波形

被开断电流的波形应尽可能地接近正弦波。如果电流有效值与其基波分量有效值之比不超过 1.2,则认为满足该条件。

被开断电流在每个工频半波中过零不得多于一次。

6.111.7 试验电压

对于三相直接试验和单相试验,被开合的容性回路应按照 6.111.5.1 的项 b) 进行布置,试验电压应在断路器分闸前的瞬间,于断路器所在处的相间测得,应不小于断路器的额定电压 U_r 。

对于试验室单相直接试验,在断路器临分闸前,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:

a) 1.0

适用的试验相应于中性点接地系统的正常运行条件,且容性回路相邻的相间无明显的相互影响,典型的回路如中性点接地的电容器组和屏蔽电缆;

b) 1.2

适用于按 6.111.5.1 项 c) 规定的相应于额定电压 72.5 kV 及以上的中性点接地系统中正常运行条件下铠装电缆和线路充电电流的开合试验;

c) 1.4

适用的这类试验相应于以下情况:

——中性点接地系统以外的系统正常运行条件下的开断;

——中性点绝缘的电容器组的开断;

另外,系数 1.4 也适用于按照 6.111.5.1 项 c) 规定的相应于额定电压小于 72.5 kV,中性点接地系统中正常使用条件下铠装电缆和线路充电电流的开合试验。

存在单相或两相接地故障时,要求验证容性电流开合能力,下列系数适用(亦可见 6.111.9.3 的试验电流):

d) 1.4

适用的试验相应于中性点接地系统中存在单相或两相接地故障条件下的开断。

e) 1.7

适用的试验相应于中性点接地系统以外的系统中存在单相或两相接地故障条件下的开断。

对于单元试验,其试验电压应选定为相应于断路器整极中承受最高电压单元的电压。

容性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 0.3 s。

注 1:上述 b) 到 c) 中的电压系数适用于单回线路结构。多回架空线路结构的开合试验要求可能大于这些系数。

注 2:当断路器不同极中触头分离的不同周期性超过额定频率的 1/6 周波时,建议进一步提高电压系数,或仅实施三相试验。

6.111.8 试验电流

表 5 规定了额定容性电流的优选值。

6.111.9 试验方式

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:

——线路充电电流,试验方式 1 LC1;

——线路充电电流,试验方式 2 LC2;

——电缆充电电流,试验方式 1 CC1;

——电缆充电电流,试验方式 2 CC2;

——电容器组电流,试验方式 1 BC1;

——电容器组电流,试验方式 2 BC2。

6.111.9.1 C2 级断路器的试验条件

6.111.9.1.1 C2 级试验方式

C2 级断路器的容性电流开合试验应在断路器完成了作为预备试验的试验方式 T60(T60 与断路器的额定开断能力有关)后进行。试验的布置应使得在必须进行的试验之间,与断路器无相互干扰。但是,如果不可能,且地方安全法规要求降低压力以进入试验间,只要断路器补气时重新使用了这些气体,允许降低断路器中的压力。

作为替代,预备试验可包括:

——和试验方式 T60 相同的电流;

——低的电压且不规定 TRV;

- 3 次开断操作；
- 燃弧时间：和 T60 相同或者制造厂给出的期望的 T60 的燃弧时间值；
- 额定的或闭锁的条件。

注 1：出于实际原因，对于额定电压小于 72.5 kV 的断路器，制造厂可以选择对 T60 预备试验增加其他试验方式。
注 2：如果几个容性电流开合试验如线路充电、电缆充电和电容器组电流开合试验在同一台断路器上进行且不经调整，则 T60 预备试验仅需在容性电流开合试验开始时进行一次。

容性电流开合试验应由表 17 规定的试验方式组成。

表 17 C2 级试验方式

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
1 LC1、CC1 和 BC1	最高电压	最低功能压力	10~40	()
2 LC2、CC2 和 BC2	最高电压	额定压力	≥100	O 和 CO 或 CO

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；
注 2：为了试验方便，试验方式 1(LC1、CC1、BC1)也可进行 CO 操作。

对于终身密封的流体断路器，可用开断用的额定压力代替最低功能压力，这是因为在整个寿命期间由泄漏引起的压力降较小。对于真空断路器，开断的压力条件不适用。

对于关合—开断试验，瞬态电流消失之前断路器的触头不应分离。为此，可能需要调节合闸和分闸之间的时间间隔，但应尽可能地保持 3.7.143 规定的合一分时间。

关合操作之前，容性回路中不应有明显的电荷。

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(在三相试验的一相上)。适用时，关合电流至少应等于额定背对背电容器组关合涌流。

如果受试验站的限制而不能在 CO 操作循环中满足这些要求时，则允许把试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)的要求按照一系列单独的关合试验紧随着一系列 CO 试验进行。

本试验系列的单独的关合试验包括：

- 相同的操作次数；
- 适用时，关合电流应等于额定背对背电容器组关合涌流；
- 试验电压应与试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)相同；
- 合闸应发生在电压峰值±15°内(三相试验的同一相上)。

单独的关合操作后，CO 操作应按前面所述的对于单独的关合操作相同的试验程序进行，并应在空载条件下合闸。

注 3：开合容性电流时，CO 操作循环中的分闸操作不会受到前面的合闸操作时预击穿的影响，但可能会受到合闸操作引起的开断用流体的实际性能(如密度、平衡度和流体运动的差异)的影响。因此，仅考虑电气强度而没有考虑开断用流体的运动条件，上述提到的合闸和分闸操作可以分开进行。正因为这些原因，才有必要在分闸操作前进行空载合闸操作。

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，对于额定电压小于 72.5 kV 的断路器应等于或大于 0.75；对于额定电压等于或大于 72.5 kV 的断路器应等于或大于 0.85。

对于分闸操作，通过改变触头分离的时刻，依次大约 6°，来确定最短燃弧时间。采用该方法，必须进行几次试验，以验证最短燃弧时间和最长燃弧时间。

注 4：为了获得更稳定的断路器的分闸时间和合闸时间，征得制造厂的同意后，这些试验可以施加甚至高于操动机构电源电压上限的电压。

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，本次试验仍然有效，而且应计在总的

要求中。在这种情况下,有必要:

- 提前脱扣脉冲 6° ,重复该试验。新的整定值可作为最短燃弧时间的其他试验;
- 少做一次分闸操作以保证总的试验次数。

即使超过规定的总的操作次数,仍应达到在 6.111.9.1.2、6.111.9.1.3、6.111.9.1.4 和 6.111.9.1.5 规定的最短燃弧时间下的操作次数。

后一个电流零点开断后出现的复燃应被视为长燃弧时间时的开断操作。

对于线路充电或电缆充电电流开合试验的优选顺序如下:

- 出线端故障 T60(开始时为强制性的);
- 容性电流开合试验,试验方式 1(LC1 或 CC1);
- 容性电流开合试验,试验方式 2(LC2 或 CC2)。

对电容器组(单个或背对背)电流开合试验的强制性顺序如下:

- 出线端故障 T60;
- 容性电流开合试验,试验方式 2(BC2);
- 容性电流开合试验,试验方式 1(BC1)。

在每一个试验方式内,6.111.9.1.2~6.111.9.1.5 中的操作顺序是推荐性的而不是强制性的。

对于电流回路不对称的断路器,端子接线应在试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)和试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)间倒换。

考虑到规定的允差,如果规定值被这些试验所覆盖,则对于某个规定值或某种应用(例如线路充电电流开合试验)所进行的容性电流开合试验,也可能对不同的额定值或其他应用(例如电缆充电电流开合试验)有效,而不需附加试验。

6.111.9.1.2 三相线路充电和电缆充电电流开合试验

每个试验方式包括下述的 24 次操作或操作循环:

试验方式 1(LC1 和 CC1)

- 4 个 O,分布在一个极性上(步长: 15°);
- 6 个 O,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 4 个 O,分布在另一个极性上(步长: 15°);
- 6 个 O,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计 24 个 O,均匀分布(步长: 15°)。

试验方式 2(LC2 和 CC2)

- 4 个 CO,分布在一个极性上(步长: 15°);
- 6 个 CO,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 4 个 CO,分布在另一个极性上(步长: 15°);
- 6 个 CO,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计 24 个 CO,均匀分布的(步长: 15°)。

这些试验中,所有的最短燃弧时间均应出现在同一相上。

合闸操作可以是空载操作。在这种情况下,应按照 6.111.9.1.1 进行一系列单独的关合试验。

注:如果断路器的分闸时间妨碍了触头分离的精确控制,最短燃弧时间在一相上的要求可以忽略。

6.111.9.1.3 单相线路充电和电缆充电电流开合试验

每个试验方式包括下述要求的 48 次操作或操作循环:

试验方式 1(LC1 和 CC1)

- 12 个 O,分布在一个极性上(步长: 15°);
- 6 个 O,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 12 个 O,分布在另一个极性上(步长: 15°);

- 6个O,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计48个O,均匀分布(步长:15°)。

试验方式2(LC2和CC2)

- 6个O和6个CO,分布在一个极性上(步长:30°);
- 3个O和3个CO,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 6个O和6个CO,分布在另一个极性上(步长:30°);
- 3个O和3个CO,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计24个O和24个CO,均匀分布的(步长:30°)。

合闸操作可以是空载操作。在这种情况下,应按照6.111.9.1.1进行一系列单独的关合试验。

6.111.9.1.4 三相电容器组(单个或背对背)电流开合试验

试验方式1(BC1)应包括总计24个O试验。试验方式2(BC2)包括总计80个CO试验如下:

试验方式1(BC1)

- 4个O,分布在一个极性上(步长:15°);
- 6个O,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 4个O,分布在另一个极性上(步长:15°);
- 6个O,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计24个O,均匀分布(步长:15°)。

试验方式2(BC2)

- 4个CO,分布在一个极性上(步长:15°);
- 32个CO,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 4个CO,分布在另一个极性上(步长:15°);
- 32个CO,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计80个CO,均匀分布(步长:15°)。

这些试验中,所有的最短燃弧时间应在同一相上完成。

合闸操作可以是空载操作。在这种情况下,应按照6.111.9.1.1进行一系列单独的关合试验。

注:如果断路器的分闸时间妨碍了触头分离的精确控制,最短燃弧时间在一相上的要求可以忽略。

6.111.9.1.5 单相电容器组(单个或背对背)电流开合试验

试验方式1(BC1)应包括总计48个O的试验。试验方式2(BC2)应包括总计120个CO试验。

试验方式1(BC1)

- 12个O,分布在一个极性上(步长:15°);
- 6个O,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 12个O,分布在另一个极性上(步长:15°);
- 6个O,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计48个O,均匀分布(步长:15°)。

试验方式2(BC2)

- 12个CO,分布在一个极性上(步长:15°);
- 42个CO,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 12个CO,分布在另一个极性上(步长:15°);
- 42个CO,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计120个CO,均匀分布(步长:15°)。

合闸操作可以是空载操作。在这种情况下,应按照6.111.9.1.1进行一系列单独的关合试验。

6.111.9.2 C1 级断路器的试验条件

6.111.9.2.1 C1 级试验方式

C1 级断路器的容性电流开合试验由表 18 规定的试验方式组成,没有预备性试验(6.111.9.1.1)。

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,但应尽可能地保持 3.7.143 定义的合一分时间。

关合操作之前,容性回路上不应有明显的电荷存在。

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(在三相试验的一相上)。适用时,关合电流至少应等于额定背对背电容器组关合涌流。

如果受试验站的限制而不能在 CO 操作循环中满足这些要求时,则允许把试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)的要求按照一系列单独的关合试验紧随着一系列 CO 试验进行。

表 18 C1 级试验方式

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
1 LC1、CC1 和 BC1	最高电压	额定压力	10~40	O
2 LC2、CC2 和 BC2	最高电压	额定压力*	≥ 100	CO

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。
注 2: 为了试验方便,试验方式 1(LC1、CC1、BC1)也可进行 CO 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 CO 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

本试验系列中单独的关合试验包括:

- 相同的操作次数;
- 适用时,关合电流应等于额定背对背电容器关合涌流;
- 试验电压应与试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)相同;
- 合闸应发生在电压峰值 $\pm 15^\circ$ 内(三相试验时在同一相上)。

单独的关合操作后,CO 操作应按前面所述的对于单独的关合操作相同的试验程序进行,并应在空载条件下合闸。

注 1: 开合容性电流时,CO 操作循环中的分闸操作不会受到前面的合闸操作时预击穿的影响,但可能会受到合闸操作引起的开断用流体的实际性能(如密度、平衡度和流体运动的差异)的影响。因此,仅考虑电气强度而没有考虑开断用流体的运动条件,上述提到的合闸和分闸操作可以分开进行。正因为这些原因,才有必要在分闸操作前进行空载合闸操作。

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,对于额定电压小于 72.5 kV 的断路器,应等于或大于 0.75;对于额定电压等于或大于 72.5 kV 的断路器,应等于或大于 0.85。

对于分闸操作,通过改变触头分离的时刻,依次大约 6° ,来确定最短燃弧时间。采用该方法,必须进行几次试验以验证最短燃弧时间和最长燃弧时间。

注 2: 为了获得更稳定的断路器的分闸时间和合闸时间,征得制造厂的同意后,进行这些试验时,可以施加甚至高于操动机构电源电压上限的电压。

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,本次试验仍然有效,而且应计在总的要求中。在这种情况下,有必要:

- 提前脱扣脉冲 6° ,重复该试验。新的整定值可作为最短燃弧时间的其他试验;
- 少做一次分闸操作以保证总的试验次数。

即使超过规定的总的操作次数,仍应达到 6.111.9.2.2 规定的最短燃弧时间下的操作次数。

后一个电流零点开断后出现的复燃应被视为长燃弧时间时的开断操作。

在每一个试验方式内,6.111.9.2.2中的操作的顺序是推荐性的,而不是强制性的。

对于电流通路不对称的断路器,端子的接线应在试验方式1(LC1、CC1和BC1)和试验方式2(LC2、CC2和BC2)之间倒换。

考虑到规定的允差,如果规定值被这些试验所覆盖,则对于某个规定值或某种应用(例如线路充电电流开合试验)所进行的容性电流开合试验,也可能对不同的额定值或其他应用(例如电缆充电电流开合试验)有效,而不需附加试验。

6.111.9.2.2 单相和三相容性电流开合试验

试验方式1(LC1、CC1和BC1)包括总计24次分闸操作试验。试验方式2(LC2、CC2和BC2)包括总计24次合分试验。

试验方式1(LC1、CC1和BC1):

- 6个O,分布在一个极性上(步长:30°);
- 3个O,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 3个O,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 6个O,在另一个极性上的最长燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计24个O,均匀分布(步长:30°)。

试验方式2(LC2、CC2和BC2):

- 6个CO,分布在一个极性上(步长:30°);
- 3个CO,在一个极性上的最短燃弧时间;
- 3个CO,在另一个极性上的最短燃弧时间;
- 6个CO,在另一个极性上的最长燃弧时间;
- 其余的试验应达到总计24个CO,均匀分布(步长:30°)。

合闸操作可以是空载操作。在这种情况下,应按照6.111.9.2.1进行一系列单独的关合试验。

本试验优选的顺序如下:

- 容性电流开合试验方式1(LC1或CC1或BC1);
- 容性电流开合试验方式2(LC2或CC2或BC2)。

6.111.9.3 存在接地故障时相应的开断试验条件

a) 线路和电缆

要求在存在接地故障时开合线路和电缆充电电流相应的试验应按下述规定。

应进行单相试验室试验,试验电压按6.111.7,容性电流等于:

- 1.25倍额定容性开断电流,中性点接地系统中;
- 1.7倍额定容性开断电流,中性点接地系统以外的系统中;

试验程序在6.111.9.1和6.111.9.2中给出,除此之外,对每一个相关的试验方式,要求的总试验次数被2除。

注:如果存在接地故障时相应的开断试验分别采用6.111.9.1或6.111.9.2规定的操作次数来进行,则这些试验覆盖了6.111.9.1或6.111.9.2中给出的要求,不需进行6.111.9.1和6.111.9.2规定的那些试验。

b) 单个电容器组

中性点接地系统中的单个电容器组不需要进行该试验。

在中性点接地系统以外的系统中开合中性点接地的电容器组,可导致较高的应力(电压)。因为,这不是正常的系统条件,本标准未考虑该试验要求。

c) 背对背电容器组

因为这不是正常的系统条件,本标准未考虑该试验要求。

6.111.10 规定TRV的试验

作为采用6.111.3中确定的试验回路的替代回路,开合试验可以在预期恢复电压满足下述要求的

回路中进行：

——预期试验恢复电压的包络线确定为：

$$u_c \geq u_c$$

$$t_2 \leq t_2$$

——作为补充，预期恢复电压的初始部分应保持从原点到 u_1 和 t_1 确定的点组成的线段以下。

u_1 、 t_1 、 u_c 和 t_2 的规定值在表 19 中给出。

表 19 u_1 、 t_1 、 u_c 和 t_2 的规定值

试验方式	与试验电压峰值有关的图 54 中的恢复电压值		图 54 中的时间值	
	u_c (p. u.)	u_1 (p. u.)	t_1	t_2
1	≥ 1.98	$\leq 0.02 \times k_{st}$	$\geq t_1$ 或 t_2 (4.102.3 中为	50 Hz
2	≥ 1.95	$\leq 0.05 \times k_{st}$	出线端故障规定的值)	8.7 ms
注：对于单相合成试验，预期恢复电压是根据与单相直接试验相应的试验电压计算得来的。				
* k_{st} = 振幅系数 = 1.4 (见表 1a、表 1b 和表 1c)				

6.111.11 通过试验的判据

6.111.11.1 概述

如果满足下述条件，断路器就成功地通过了试验：

- 在所有前述试验方式的容性电流开断和关合过程中，断路器的性能满足 6.102.8 给出的条件；
- 或者在试验方式 1 (LC1、CC1 和 BC1) 和试验方式 2 (LC2、CC2 和 BC2) 中未出现重击穿，或者，如果在整个试验方式 1 和方式 2 中出现 1 次重击穿，则两个试验方式均应在未经检修的同一台断路器上重复进行。延长的试验系列中不应出现重击穿，也不应发生外部闪络和相对地闪络。如果出现 NSDD，I.4 适用。
- 试验系列后断路器的状态应符合 6.102.9.4 给出的条件。如果试验方式 1 和试验方式 2 中未出现重击穿，外观检查就已足够。

6.111.11.2 按 C2 级要求进行试验的断路器重新划分为 C1 级断路器的判据

如果满足上述项 a) 和项 c)，并且至少满足下述一种条件，则按 C2 级试验程序进行试验的断路器可以看作 C1 级断路器：

- 满足 C2 级通过试验的判据；
- 线路充电电流开合试验 (LC1 和 LC2) 或电缆充电电流开合试验 (CC1 和 CC2) 中重击穿的总次数不大于：
 - 第一个操作系列中 2 次，即三相试验时 48 次和单相试验时 96 次，见 6.111.9.1.2 和 6.111.9.1.3 (没有进行重复的试验系列)，或
 - 第一个操作系列中 1 次，即三相试验时 48 次和单相试验时 96 次，见 6.111.9.1.2 和 6.111.9.1.3，不考虑重复的试验系列中的重击穿次数；
- 电容器组开合试验 (BC1 和 BC2) 中重击穿的总次数不大于：
 - 第一个操作系列中 5 次，即三相试验时 104 次和单相试验时 168 次，见 6.111.9.1.4 和 6.111.9.1.5 (没有进行重复的试验系列)，或
 - 第一个操作系列中 1 次，即三相试验时 104 次和单相试验时 168 次，见 6.111.9.1.4 和 6.111.9.1.5，不考虑重复的试验系列中的重击穿次数。

6.112 E2级断路器关合和开断试验的特殊要求

6.112.1 用于无自动重合闸方式的E2级断路器

打算用于无自动重合闸方式的断路器,如在电缆连接的网络中的断路器的电寿命能力,是通过不进行中间检修完成6.106规定的基本短路试验方式来验证。不要求进行附加的试验。

6.112.2 用于自动重合闸方式的E2级断路器

打算用于自动重合闸方式的断路器,通常是用在架空线网络中的断路器,应按表20及其规定的次序进行作为对6.106的基本短路试验方式补充的电寿命试验,而且,不应进行中间检修。

表20 按照6.112.2用于自动重合闸方式的E2级断路器电寿命试验的操作顺序

试验电流(额定短路开断电流的百分数)(%)	操作顺序	操作顺序的次数	
		(序列1) ^a	(序列2) ^a
10	O	84	12
	O—0.3s—CO	14	6
	O—0.3s—CO—t—CO	6 ^b	4 ^b
30	O	84	12
	O—0.3s—CO	14	6
	O—0.3s—CO—t—CO	6 ^b	4 ^b
60	O	2	8
	O—0.3s—CO—t—CO	2 ^b	8 ^b
100(对称的)	O—0.3s—CO—t—CO	2 ^b	4 ^b

^a 序列1是优选的。序列2是适用于中性点接地系统中的断路器所用的替代值。

^b 当经过6.106的基本短路试验顺序后,断路器未经修整时,为满足本表的要求,确定附加的操作循环次数时,应考虑已进行过的试验。实际上,这就意味着标有^b的数字减去1。

试验应在与6.106规定的基本短路试验同样的、干净的、新的断路器上实施,不应进行中间维护,试验参数应按6.106的规定,但下述情况除外:

- 气体断路器,应在绝缘和/或操作作用的额定压力、合闸装置和分闸装置以及辅助回路和控制回路的额定电源电压下进行试验;
- 应选取对试验方便的 t 值;
- 试验操作顺序间的最短时间间隔应由制造厂规定。

对于10%和30%的开断试验,燃弧时间应是随机的;对于60%和100%的开断试验,燃弧时间按照6.102.10进行调整。

试验后断路器的状态应满足6.102.9.2和6.102.9.3的规定。

7 出厂试验

GB/T 11022—1999的第7章适用,并作如下补充:

7.1 主回路的绝缘试验

GB/T 11022—1999的7.1适用,并作如下补充:

如果断路器由相同的开断和关合单元串联组成,在分闸状态时加于每个单元上的试验电压应当是断路器完全打开且一端接地时,由实际工频电压分布得出的在总耐受电压中占较高份额的单元上的电压。

参见GB/T 11022—1999中图2所示的三极断路器,试验电压应按表21施加。

表 21 主回路绝缘试验电压的施加

试验条件序号	断路器状态	电压施加于	接 地 于
1	合闸状态	AaCc	BbF
2	合闸状态	Bb	AaCcF
3	分闸状态	ABC	abcF

注：如果极间绝缘是在大气压下的空气，则序号 1 和序号 2 的试验条件可以合并，试验电压加在连接在一起的主回路的各部分和底座之间。

7.2 辅助和控制回路的绝缘试验

GB/T 11022—1999 的 7.2 适用。

7.3 主回路电阻的测量

GB/T 11022—1999 的 7.3 适用。

7.4 密封性试验

GB/T 11022—1999 的 7.4 适用。

7.5 设计和外观检查

GB/T 11022—1999 的 7.5 适用，并作如下补充：

应检查断路器以验证其与订货技术要求的符合性。

适用时，可对下列项目进行检查：

- 铭牌上的用语和数据；
- 辅助设备的确认；
- 油漆的颜色和质量以及金属表面的防腐蚀保护；
- 连接到主回路的电容和电阻的值。

7.101 机械操作试验

机械操作试验应包括：

- a) 在操动机构以及辅助和控制回路的最高电源电压和操作作用的最高压力下(适用时)：
 - 5 次合闸操作；
 - 5 次分闸操作。
- b) 在操动机构以及辅助和控制回路的最低电源电压和操作作用的最低功能压力下(适用时)：
 - 5 次合闸操作；
 - 5 次分闸操作。
- c) 在操动机构以及辅助和控制回路的额定电源电压和额定操作压力下(适用时)：
 - 对主触头闭合时脱扣机构带电的断路器，进行 5 次合一分操作循环；
 - 此外，对于用作快速自动重合闸的断路器(见 4.104)，则进行 5 次分— t —合的操作循环，其中 t 应不大于对额定操作顺序规定的时间间隔。

机械操作试验应在完整的断路器上进行。但是，如果断路器分成单元装配和运输，出厂试验可以按照 6.101.1.2 的规定对部件进行。在这种情况下，制造厂应给出在现场使用的交接试验的程序，以保证这样的单元试验和装配完整断路器的一致性。交接试验的导则在 10.2.101 中给出。

对所有要求的操作顺序，对合、分闸操作均应进行下述记录：

- 动作时间测量；
- 操作过程中液体消耗量的测量(适用时)，例如压力差。

应有证据证明机械性能与型式试验使用的样品的机械性能一致。例如，在出厂试验结束后还应进行一次空载操作，以记录空载触头行程曲线。如果进行了该操作，从触头分离瞬间到触头运动终了时，该曲线应在 6.101.1.1 定义的参考机械行程特性的包络线内。

如果出厂机械试验是在分装件上进行的,在现场交接试验结束时,其参考机械行程特性应归算到上述的正确曲线上。

如果在现场进行测量,制造厂应规定出优选的测量程序。采用其他测量程序,可能导致测量结果不同且不可能对触头瞬时运动轨迹进行比较。

如果可以直接记录到机械行程特性,采用一个行程传感器或断路器触头系统中的或与驱动触头系统直接连接的方便位置安装的类似装置,这样就可以得到具有代表性的触头运动轨迹。优选的机械行程特性应是如图 23a)所示的连续曲线。如果在现场进行测量,操作期间的行程记录点也可使用其他方法。

在这种情况下,记录点的数量应足够多以便能导出触头速度、触头接触和触头分离的时间以及整个行程时间。

在完成要求的操作顺序后,应进行下列试验和检查(适用时):

- 检查连接;
- 控制和/或辅助开关应正确指示断路器的分、合闸位置;
- 所有辅助设备在操动机构以及辅助和控制回路的电源电压和/或操作压力的限值时应正确动作。

此外,还应进行下列试验和检查(适用时):

- 加热器(如有的话)电阻和控制线圈电阻的测量;
- 按订货技术要求,检查控制的连接线,加热器和辅助设备的回路,并检查辅助触头的数量;
- 控制柜(电气、机械、气动和液压系统)的检查;
- 储能时间(s);
- 压力释放阀的功能操作;
- 电气、机械、气动或液压的联锁和信号装置的操作;
- 防跳跃装置的操作;
- 在电源电压要求的允差范围内设备的一般性能;
- 断路器接地端子的检查。

对于自脱扣断路器,脱扣器或继电器应整定在电流整定值范围内的最小刻度上。

应证明经过主回路的电流不超过电流整定值范围内最小脱扣电流的 110%时,过电流脱扣器应能正确启动断路器分闸。可以使用二次注入试验作为替代。

对于这些试验,通过电流脱扣器或电流互感器的电流可以由适当的低压电源提供。

对于装有欠压分闸脱扣器的断路器,应该证明,当脱扣器上施加的电压在规定的限定值内时,断路器应能分闸并能被合闸(见 GB/T 11022—1999 的 5.8.4)。

如果在机械操作试验过程中需要调整,则在调整后应重复进行完整的试验顺序。

8 断路器运行的选用导则

8.101 概述

选择适合于给定运行方式的断路器时,最好要考虑到负载条件和故障条件要求的各个额定值。

完整的额定特性的清单在第 4 章中给出。本章中仅涉及下列额定值:

额定值的类型	条款
— 额定电压	8.102.1
— 额定绝缘水平	102.2
— 额定频率	8.102.3
— 额定电流	8.102.4
— 额定短路开断电流	8.103.1

——出线端故障的瞬态恢复电压	8.103.2
——额定失步关合和开断电流	8.103.3
——额定短路关合电流	8.103.4
——额定操作顺序	8.103.5
——额定短路持续时间	8.103.6
——电寿命的分级[E1级和E2级(有/无自动重合闸方式)](适用时)	8.104
对于在本章中未涉及的额定特性(适用时),应参考第4章的如下部分:	
额定值的类型	条款
——额定短时耐受电流	4.5
——额定峰值耐受电流	4.6
——合、分闸装置以及辅助和控制回路的额定电源电压	4.8
——操动机构和辅助回路的额定电源频率	4.9
——绝缘、操作和/或开断用的压缩气源的额定压力	4.10
——近区故障特性	4.105
——容性电流开合过程中的重击穿特性(C1级或C2级)	4.107
——容性电流开合试验条件的特性(如接地条件,容性负载的类型等)	4.107
——额定线路充电开断电流	4.107.1
——额定电缆充电开断电流	4.107.2
——额定单个电容器组充电开断电流	4.107.3
——额定背对背电容器组充电开断电流	4.107.4
——额定单个电容器组关合涌流	4.107.5
——额定背对背电容器组关合涌流	4.107.6
——机械操作的次数(M1级或M2级)	4.110
选用断路器时需考虑的其他参数,例如:	
——当地的大气条件和气候条件	8.102.5
——在高海拔地区使用	8.102.6
——分闸时间	8.103.1
——小感性开断电流	4.108

要求断路器在故障条件下承担的任务,应该根据某些公认的方法计算电力系统中断路器安装地点的故障电流来确定。

选择断路器时,应充分考虑电力系统的未来发展,使断路器不仅可以满足当前的需要,也可以满足未来的要求。

对额定值(即额定电压、电流、关合和/或开断电流)的某种配合圆满地完成了型式试验的断路器,适用于任何较低的额定值(额定频率除外),无须进一步试验。感性负载(变压器的励磁电流、高压电动机和并联电抗器)开合在IEC 61233中规定。

注:某些故障条件如发展性故障和某些运行条件如电弧炉的开合,本标准不涉及。因此,应作为制造厂和用户协商的特殊条件来考虑。同样的原则也适用于这样的断路器:由于某种操作,该断路器的工频恢复电压高于断路器在额定电压下操作时相应的值。这种情况可能发生在系统的某些点上,特别是在长线路的末端。在这种特殊情况下,在断路器分闸时,断路器两端可能出现的最高电压下的开断电流值应由制造厂和用户协商。

8.102 运行条件下额定值的选择

8.102.1 额定电压的选择

断路器的额定电压至少应等于断路器安装处系统的最高电压。

断路器的额定电压应从GB/T 11022—1999的4.1给出的标准值中选取。

选择额定电压时,还应考虑 4.2 规定的相应的绝缘水平(也可见 8.102.2)。

8.102.2 绝缘配合

断路器的额定绝缘水平应按 4.2 选取。

这些表中的规定值适用于户内断路器和户外断路器。应该在询问单中明确断路器用于户内还是户外。

电力系统的绝缘配合用来减少过电压对电力设备的危害,并有助于将闪络点(当不能经济地避免时)限制在不产生危害的地方。

应采取措施将断路器端子上的过电压限制到绝缘水平以下的规定值(见 GB/T 311.2)。

要求断路器用在绝缘水平较高的地方时,应在询问单中说明(见 9.101)。

对打算用于同步操作并且在操作时可能出现显著操作波的断路器,见 4.2 和 6.2.7.2。

选用断路器时,还有必要考虑相应于瞬态现象和过电压方面的特性。经验表明,在某些临界的使用情况下,瞬态现象的不良影响和过电压的危害可以通过下述方法减少:

——适当选择断路器的类型;

——系统变更或采用阻尼或限制瞬态现象的附加设备(如 RC 回路,避雷器,非线性电阻等)。

对于各种情况的这些预防措施可以和制造厂协商。选择方案的评估可以通过协议的特殊试验来进行。

8.102.3 额定频率

如果断路器使用在额定频率以外的其他频率时,应向制造厂咨询(见 GB/T 11022—1999 的 4.3)。

当额定频率为 50 Hz 的断路器在 60 Hz 下进行试验,或者相反,在解释试验结果时要谨慎,要考虑到所有重要因素,如断路器的型式和所进行试验的类型。

8.102.4 额定电流的选择

断路器的额定电流应从 4.4 给出的标准值中选取。

应注意,没有规定断路器的连续过电流能力。所以当选择断路器时,应使其额定电流适应于运行中可能出现的任何负载电流。在有频繁的和严重的间歇过电流的场合,应向制造厂咨询。

8.102.5 当地的大气条件和气候条件

断路器的正常大气条件和气候条件在第 2 章中给出。

适用于不同的最低周围空气温度的断路器,以等级“户内—5”、“户内—15”、“户内—25”、“户外—10”、“户外—25”和“户外—40”来区分。当断路器安装地点的周围空气温度,对于户内断路器可能低于—25℃,和对于户外断路器低于—40℃或温度可能超过 40℃(或 24 h 平均温度超过 35℃)时,应向制造厂咨询。

对于户外断路器,由于烟尘、化学烟雾和盐雾等,某些地区的大气条件是不利的。如果知道存在这些不利条件,对通常暴露在大气中的断路器零件(特别是绝缘子)的设计,应给予特殊考虑。

在这类大气中,绝缘子的性能也取决于清洗或清扫的频度和雨的自然清洗频度。由于在这些条件下,绝缘子的性能取决于如此多的因素,因而不可能对正常污秽和严重污秽的大气作出准确的定义。该地区使用绝缘子的经验是最好的导则。

当断路器安装处的风压超过 700 Pa 时,应向制造厂咨询。

对于覆冰,规定了三种不同等级的断路器。这些等级对应的覆冰厚度不超过 1 mm、10 mm 和 20 mm。如果断路器安装在预期覆冰厚度超过 20 mm 的地方,要使断路器在此条件下能够正常运行,则需经制造厂和用户协商。

适用时,应考虑到 GB/T 11022—1999 的 2.2.4 中规定的抗震水平。

对户内设备,湿度条件在 GB/T 11022—1999 的 2.1.1 e) 中给出。选择断路器时,要求有高的湿度和可能出现凝露的场合,应说明这些使用条件。关于 GB/T 11022—1999 的 2.1.1 e) 注 3 中提到的预防出现凝露的措施的结果和数量应由用户与制造厂协商。

对户内断路器,任何特殊运行条件,例如存在化学烟雾、腐蚀性大气、盐雾等时,应向制造厂咨询。

8.102.6 使用于高海拔地区

GB/T 11022—1999 的第 2 章规定了正常运行条件,适用于海拔不超过 1000 m 的断路器。

对安装于海拔 1000 m 以上的断路器,GB/T 11022—1999 的 2.2.1 适用。

8.103 故障条件下额定值的选择

8.103.1 额定短路开断电流的选择

按 4.101 规定,额定短路开断电流由两个数值表示:

- a) 交流分量有效值;
- b) 直流分量百分数(解释见 I.2)。

直流分量的百分数从短路开始就随时间而变化,当断路器满足 4.101.2 规定的要求时,在断路器可能的最短分闸时间加上(对于仅由辅助能源脱扣的断路器)额定频率的半个周波的最短继电器时间的时间间隔末尾,断路器应能开断图 9 中规定的直流分量。图 9 中的曲线是根据交流分量恒定,短路功率因数为表 22 中的规定值,分别对应于标准的时间常数 $\tau=45$ ms,特殊工况下的时间常数 60 ms、75 ms 和 120 ms 时作出的。

只要交流分量一样或更大且满足较低直流分量相关的 TRV 条件,则较高直流分量的试验就可以覆盖较低直流分量的试验。

表 22 短路功率因数、时间常数和工频之间的关系

时间常数 τ ms	短路功率因数 $\cos \varphi$
	50 Hz
45	0.071
60	0.053
75	0.042
120	0.026

当设备安装在电气上距发电机足够远时,则交流分量的衰减可以忽略,只需验证 50 Hz 时,短路功率因数不大于 0.071,在标准时间常数 $\tau=45$ ms 和保护设备的最小延时不小于额定频率的一个半波时断路器的性能。在这种条件下,选择的断路器的额定短路开断电流不小于断路器安装处短路电流的有效值就足够了。

可以选用基本的短路试验方式(6.106),临界电流试验(6.107)和适用时的近区故障试验(6.109),来验证断路器在各种电流值直至额定短路开断电流时的性能。所以,当预期的短路电流较低时,没有必要进行基于较低的额定短路开断电流的一系列短路试验。

在某些情况下,直流分量的百分数可能高于图 9 中给出的值。例如,当断路器靠近发电中心,交流分量可能比正常情况衰减得更快,短路电流甚至可以几个周波不过零。断路器的任务可以通过延迟分闸或由另外的断路器接入附加的阻尼装置并使断路器依次分闸来减轻。如果不能遵守直流分量百分数的标准值,则所要求的百分数应在询问单中规定,并应根据制造厂和用户之间的协议来试验。有关这方面的注意事项见 8.103.2 的项 b)。

注:电流零点可能由于电弧电压和/或开断其他相中具有较早的电流零点的短路电流的影响而提前,在这种情况下,标准断路器的适用性应进一步仔细研究。

额定短路开断电流应由 4.101.1 给出的标准值中选取。

8.103.2 出线端故障的额定瞬态恢复电压(TRV),首开极系数和近区故障特性的选择

电力系统的预期瞬态恢复电压(TRV)不应超过对断路器所规定的表示额定瞬态恢复电压的参考线。TRV 在接近于零电压时与规定的时延线相切,但以后不与它再相交(见 4.102.2)。标准值见 6.104.5。

注 1: 当开断最大短路电流时, 出现的瞬态恢复电压未必比其他情况下出现的更严酷, 例如, 当开断较小的短路电流时可能有较高的瞬态恢复电压上升率。

对额定电压小于或等于 72.5 kV 的标准值, 适用的首开极系数为 1.5。对额定电压为 126 kV 的标准值, 适用的首开极系数为 1.3 或 1.5。对额定电压 126 kV 以上的标准值, 适用的首开极系数为 1.3 (亦可见 6.104.5.4 的注)。

首开极系数 1.3 是基于中性点接地的系统, 且认为不接地的三相故障是根本不可能的。对于中性点绝缘和谐振接地的系统, 应采用的首开极系数为 1.5。对于出现三相不接地故障的可能性不容忽视的中性点接地系统以及中性点接地系统以外的系统, 有必要采用的首开极系数应为 1.5。

通常不必考虑替代的瞬态恢复电压, 因为规定的标准值已经覆盖了大多数的实际情况。

在某些情况下可能出现更严酷的条件, 例如:

a) 一种情况是当短路出现在靠近变压器且在断路器的出线侧时, 且变压器和断路器之间无任何显著的附加电容时。在这种情况下, 瞬态恢复电压的峰值和上升率都可能超出本标准的规定值。

注 2: 应当注意, 为变压器一次侧选择的断路器可能需要开断变压器二次侧出现的短路。

用于临近限流电抗器的断路器, 由于电抗器的固有频率较高, 可能会使断路器开断失败。在这种情况下, 应选择特殊的断路器或者通过给电抗器并联电容器来降低其固有频率。

注 3: 应当注意, 限制故障的变压器 TRV, 中瞬态恢复电压上升时间值建议按 ANSI C37.06.1[16]。

b) 靠近发电机的断路器出现短路时, 瞬态恢复电压的上升率可能会超出本标准的规定值。

在这些情况下, 有必要由用户和制造厂协商确定特殊的 TRV 特性。

当要求断路器用于具有额定近区故障特性的地点时, 断路器安装处的架空线的波阻抗和峰值系数应不大于且时延不小于表 4 给出的额定线路特性的标准值。然而, 如果实际的条件不同, 则标准的断路器仍然有可能是适用的, 特别是当电力系统的短路电流小于断路器的额定短路开断电流时。关于这一点, 可以通过附录 A 给出的方法, 根据额定特性计算近区故障的预期 TRV, 并与系统的实际特性导出的预期 TRV 进行比较。

如果要求特殊的近区故障特性, 则应由用户和制造厂协商。

8.103.3 失步特性的选择

本标准的要求满足了在失步条件下开合操作的断路器的大多数使用条件。几种情况合并起来产生的严酷度会超出本标准中试验所能含盖的严酷度, 而且, 失步条件下的开合操作是很少的, 所以, 按最极端的条件去设计断路器是很不经济的。

当预期有经常性的失步开合, 或可能存在过负荷时, 则应考虑实际的系统条件。

有时候可能需要特殊的断路器或较高额定电压的断路器。作为替代方案, 在一些系统中, 可用配有阻抗敏感元件的继电器来控制脱扣时刻, 以便使开断出现在显著地提前或滞后相位达到 180° 的时刻, 从而减轻失步开合的严酷度。

当断路器的一端与变压器相连时, 可能出现高于表 1a、表 1b 和表 1c 规定的恢复电压上升率。只要断路器满足了基本短路试验系列的试验方式 T30, 则可以认为按本标准试验的断路器满足了这种较高的上升率要求。

8.103.4 额定短路关合电流的选择

如 4.103 规定的, 额定短路关合电流应与额定电压相对应, 与系统的额定频率和直流分量时间常数相关。对于额定频率为 50 Hz 和标准时间常数 $\tau=45$ ms, 其值应为断路器额定短路开断电流交流分量的 2.5 倍(即, 近似为 $1.8\sqrt{2}$ 倍)。

如果 4.101.2 规定的特殊工况的时间常数(60 ms、75 ms 或 120 ms)适用时, 考虑到 I.2 给出的解释, 额定短路关合电流应为 2.7 倍断路器的额定短路开断电流, 该值与额定频率无关, 对 50 Hz 和 60 Hz 均适用。

选择的断路器的额定短路关合电流应不小于使用地点的预期短路电流的最大峰值。

在某些情况下,例如在电气上接近感应电动机时,故障电流的最大峰值可能会大于短路电流的交流分量与上述系数的乘积。在这种情况下,应避免采用特殊设计,而应选择具有适当额定短路关合电流的标准断路器。

8.103.5 运行中的操作顺序

断路器的额定操作顺序应是4.104给出的操作顺序之一。除非另有说明,4.104给出的时间间隔值是适用的。提供的额定操作顺序有:

- a) 分—3 min—合分—3 min—合分;
- b) 合分—15 s—合分;
- c) 分—0.3 s—合分—3 min—合分(用于快速自动重合闸的断路器)。

注:若不用3 min,其他时间间隔,即15 s用于额定电压40.5 kV及以下,1 min也可以用于快速自动重合闸的断路器。时间间隔的选择原则上取决于系统的要求,如运行的连续性。

如果断路器在自动重合闸时能够开断的短路电流小于额定短路开断电流,应由制造厂规定。

如果运行中的操作顺序比本标准规定的更苛刻,用户应在其询问单和/或订单中予以规定,以使制造厂可以适当地修正断路器的额定值。特殊方式下工作的断路器如:用于控制电弧炉、电极锅炉和在某些情况下控制整流器的断路器。多极断路器的单极操作,例如单相关合和开断,也属于特殊工作方式。

8.103.6 额定短路持续时间的选择

额定短路持续时间的标准值为2 s(GB/T 11022—1999的4.7)。

然而,如果需要较长或较短的持续时间,应选择推荐的值:0.5 s、1 s、3 s和4 s作为额定值。

当短路持续时间大于额定持续时间时,除非制造厂另有规定,否则电流和时间的关系就按下列公式计算:

$$I^2 \times t = \text{常数}$$

对于自脱扣断路器,仅在最大延时大于预期值时,才应规定额定短路持续时间。在这种情况下,应按上式确定。

8.104 标称电压3 kV~35 kV电网中断路器电寿命的选择

3.4.113中定义了E2级断路器。对用于电缆连接的、且不需要重合闸的电网中的断路器的电寿命能力通过进行6.106的短路试验方式且未经中间检修来验证已经足够。

对更严酷的使用条件,如架空线连接的、有重合闸方式的网络,推荐使用能够满足6.112规定的电寿命要求的少维护断路器。

8.105 容性电流开合的选择

在使用电缆的变电站安装电容器组时应注意,反之亦然,因为这可以使这些线路的控制断路器承受背对背开合方式。该背对背方式可能与4.107.4中描述的类似。

9 与询问单、标书和订单一起提供的资料

9.101 与询问单和订单一起提供的资料

当询问或订购断路器时,询问者应提供下列信息:

- (A) 电力系统的信息,即标称电压和最高电压、频率、相数和中性点接地情况的详细说明。
- (B) 运行条件,包括最低和最高周围空气温度;高于1 000 m时的海拔,以及可能存在或出现的任何特殊条件,例如过度地暴露在水蒸气、湿气、烟雾、爆炸性气体、过量灰尘或含盐的空气中(见8.102.5和8.102.6)。
- (C) 断路器的特性

应提供下列资料:

资料的类型

参见

- a) 极数;
- b) 类别:户内或户外;
- c) 额定电压; 8.102.1
- d) 额定绝缘水平,在与给定的额定电压对应的几个不同的绝缘水平中选择。或者如果是非标的,则应为要求的绝缘水平; 8.102.2
- e) 额定频率; 8.102.3
- f) 额定电流; 8.102.4
- g) 额定短路开断电流; 8.103.1
- h) 首开极系数; 8.103.2
- i) 如果是非标的,要求的出线端故障的瞬态恢复电压; 8.103.2
- j) 如果是非标的,要求的近区故障特性; 8.103.2
- k) 如果是非标的,要求的短路关合电流; 8.103.4
- l) 额定操作顺序; 8.103.5
- m) 如果是非标的,要求的短路持续时间; 8.103.6
- n) 开断时间; 4.109
- o) 适用时,容性电流开合时的重击穿性能(C1级或C2级); 4.107
- p) 适用时,容性电流开合条件的特性(如接地条件,容性负载的类别等); 4.107
- q) 适用时,额定线路充电开断电流; 4.107.1
- r) 适用时,额定电缆充电开断电流; 4.107.2
- s) 适用时,额定单个电容器组开断电流; 4.107.3
- t) 适用时,额定背对背电容器组开断电流; 4.107.4
- u) 适用时,额定单个电容器组关合涌流; 4.107.5
- v) 适用时,额定背对背电容器组关合涌流; 4.107.6
- w) 适用时,额定失步关合和开断电流; 4.106
- x) 特殊要求下规定的型式试验(人工污秽试验和无线电干扰试验); 6.2.8和6.3
- y) 机械操作的次数(M1级或M2级); 4.110
- z) 适用时,电寿命特性[E1级或E2级(有/无自动重合闸方式)]; 4.111
- aa) 适用时,小感性开断电流; 4.108
- bb) 适用时,超出标准的型式试验、出厂试验和交接试验的试验。
- (D) 断路器的操动机构和辅助设备的特性,特别是:
- a) 操作的方法,手力的或动力的;
- b) 备用辅助开关的数量和型式;
- c) 额定电源电压和额定电源频率;
- d) 如果多于一个,分闸脱扣器的数量;
- e) 如果多于一个,合闸脱扣器的数量。
- (E) 有关压缩空气的使用要求和压力容器的设计与试验要求。

注:除上述内容外,询问者应提供可能影响投标和订货的特殊条件的资料(也可见8.101的注)。

9.102 与标书一起提供的资料

当询问者查询断路器的技术细节时,制造厂应提供下列资料(适用的部分),并应附有说明和图样:

(A) 额定值和特性

资料的类型

参见

a) 极数;

b) 分类:户内或户外,温度,覆冰;

8.102.5

c) 额定电压;	8.102.1
d) 额定绝缘水平;	8.102.2
e) 额定频率;	8.102.3
f) 额定电流;	8.102.4
g) 额定短路开断电流;	8.103.1
h) 首开极系数;	8.103.2
i) 出线端故障的瞬态恢复电压;	8.103.2
j) 近区故障特性;	8.103.2
k) 额定短路关合电流;	8.103.4
l) 额定操作顺序;	8.103.5
m) 额定短路持续时间;	8.103.6
n) 额定失步关合和开断电流;	4.106
o) 额定分闸时间,额定开断时间和额定合闸时间;	4.109
p) 容性电流开合时的重击穿性能(C1级或C2级);	4.107
q) 容性电流开合条件的特性;	4.107
r) 额定线路充电开断电流;	4.107.1
s) 额定电缆充电开断电流;	4.107.2
t) 额定单个电容器组开断电流;	4.107.3
u) 额定背对背电容器组开断电流;	4.107.4
v) 额定单个电容器组关合涌流;	4.107.5
w) 额定背对背电容器组关合涌流;	4.107.6
x) 特殊要求下规定的型式试验(如:人工污秽试验和无线电干扰试验);	6.2.8和6.3
y) 机械寿命的M1级或M2级;	4.110
z) 电寿命的E1级或E2级;	4.111
aa) 小感性开断电流。	4.108

(B) 型式试验

根据要求提供的证书或报告。

(C) 结构特点

如果适用于断路器的设计,应提供下列详细资料:

- a) 不带绝缘、开断和操作用的流体时完整断路器的质量;
- b) 绝缘用的流体的质量/体积,其质量的好坏和工作范围的大小,包括最低功能值;
- c) 开断用的流体(不同于项 b)和/或项 d)中述及的流体)的质量/体积,其质量的好坏和工作范围的大小,包括最低功能值;
- d) 操作用的流体(不同于项 b)和/或项 c)中述及的流体)的质量/体积,其质量的好坏和工作范围的大小,包括最低功能值;
- e) 密封性的规定;
- f) 在运输和储存过程中,为防止内部元件劣化,每一极中需要充入的流体的质量/体积;
- g) 每一极中串联的单元数量;
- h) 最小空气间隙:
 - 极间;
 - 对地;
 - 对于向外喷射游离气体和火焰的断路器,开断操作时的安全距离范围;
- i) 在所要求的周围空气温度下,为保持断路器的额定特性而采取的任何特别措施(例如加热或冷

却)。

(D) 断路器的操动机构和辅助设备

- a) 操动机构的型式；
- b) 断路器是否适用于自由脱扣或固定脱扣操作，以及是否具有防止非全相合闸的联锁装置；
- c) 合闸机构的额定电源电压和/或额定压力，不同或超出 9.102 的(C)d)时的压力限值；
- d) 额定电源电压下断路器合闸要求的电流；
- e) 断路器合闸时的能量消耗，例如，压力降的测量；
- f) 并联分闸脱扣器的额定电源电压；
- g) 在额定电源电压下并联分闸脱扣器要求的电流；
- h) 备用辅助接点的数量和型式；
- i) 在额定电源电压下其他辅助设备要求的电流；
- j) 高低压闭锁装置的整定值；
- k) 多于一个时，分闸脱扣器的数量；
- l) 多于一个时，合闸脱扣器的数量。

(E) 外形尺寸和其他资料

制造厂应提供有关断路器外形尺寸的资料和基础设计必需的细则。

应提供断路器维护及连接的一般资料。

10 运输、储存、安装、运行和维护规则

GB/T 11022—1999 的第 10 章适用，并作如下补充：

10.1 运输、储存和安装的条件

GB/T 11022—1999 的 10.1 适用。

10.2 安装

GB/T 11022—1999 的 10.2.1 到 10.2.4 适用，并作如下补充：

10.2.101 交接试验导则

断路器安装完好并完成所有的连接后，推荐进行交接试验。这些试验的目的是在于检查断路器没有因运输和储存而损坏。此外，当安装和/或调整的大部分工作是在现场进行时，如 7.101 所确定的，要求在交接试验中确认现场工作和由它决定的功能特征的满意性和与分装件的兼容性。

作为对 10.2.102 中要求的补充，对于主要分装是在现场组合的且没有做过出厂试验的断路器应在现场进行 50 次空载操作。这些操作应在装配、所有的连接和检查及交接试验程序完成后进行。这些操作包括现场调整和密封检查完成后形成交接试验程序一部分的延缓的出厂试验操作。这些试验的目的是为了减少断路器运行寿命期间的早期故障和误操作。

制造厂应给出现场进行交接检查和试验的程序。应避免完全重复进行工厂做过的出厂试验程序。交接试验是为了确认：

- 无损坏；
- 各个单元的兼容性；
- 正确的装配；
- 装配完整的断路器的正确特性。

一般地，交接试验应包括这些项目，但又限于 10.2.102 给出的程序。试验结果应记录在试验报告中。

10.2.102 交接检查和试验程序

10.2.102.1 安装后的检查

10.2.101 要求制造厂给出交接检查和试验的程序，该程序应基于但又限于本条款中给出的检查

和试验程序。

10.2.102.1.1 一般检查

- 装配符合制造厂的图样和说明书；
 - 断路器、其紧固件、流体系统和控制装置的密封性；
 - 外绝缘以及(适用时的)内绝缘未被损坏且干净；
 - 油漆和其他防腐保护完好；
 - 操动机构,尤其是动作脱扣器应没有污损；
 - 足够和完整的接地连接以及和变电站接地系统连接的接口；
- 以及,适用时:
- 应记录发送时动作计数器的数字；
 - 记录所有现场试验完成后动作计数器的数字；
 - 记录第一次送电时动作计数器的数字。

10.2.102.1.2 电路检查

- 与接线图的一致性；
- 信号装置(位置、报警、闭锁等)的正确动作；
- 加热装置和照明装置的正确动作。

10.2.102.1.3 绝缘和/或灭弧流体的检查

- 油:类型、绝缘强度(GB 2536)、油位。
- SF₆:充入的压力/密度和质量检查,应分别和 GB 12022、GB/T 8905 和 IEC 61634 的接受水平一致。对于密封设备和密封瓶中取出的新气体,这些质量检查不要求。应进行露点和杂质总含量的检查,以达到制造厂的接受水平。
- 混合气体:送电前应确认其质量；
- 压缩空气:质量(适用时)和压力。

10.2.102.1.4 已充的或现场增补的操作流体的检查

- 液压油:除非另有协议,油位和含水量应足够低,以防止内部腐蚀或对液压系统的其他损坏；
- 氮气:充入压力和纯度(例如不含氧气或1%的示踪气体)。

10.2.102.1.5 现场操作

7.101 要求的交接检查和试验程序完成后,以及适用时,应按 10.2.101 的要求另外进行 50 次附加的操作试验。

10.2.102.2 机械试验和测量

10.2.102.2.1 绝缘和/或开断用流体压力特性的测量(适用时)

10.2.102.2.1.1 概述

应进行下列测量,以把它们和出厂试验及制造厂所保证的值进行比较。这些值可作为将来维护和其他检查的参考,还可以用来探测操作特性的任何变化。

适用时,这些测量包括报警和闭锁装置(压力开关、继电器、传感器等)动作的检查。

10.2.102.2.1.2 应进行的测量

- a) 适用时,在压力上升阶段:
 - 分闸/脱扣闭锁的复位值；
 - 合闸闭锁的复位值；
 - 自动重合闸闭锁的复位值；
 - 低压力报警解除值。
- b) 适用时,在压力下降阶段:
 - 低压力报警值；

- 自动重合闸闭锁的动作值；
- 合闸闭锁的动作值；
- 分闸闭锁的动作值。

10.2.102.2.2 操作用流体的压力特性的测量(适用时)

10.2.102.2.2.1 概述

应进行下列测量,以把它们和出厂试验的数值及制造厂所保证的数值进行比较。这些值可作为将来维护和其他检查的参考,还可以用来探测操作特性的任何变化。

适用时,这些测量包括报警和闭锁装置(压力开关、继电器、传感器等)的动作检查。

10.2.102.2.2.2 应进行的测量

a) 泵装置(泵、压缩机、控制阀等)运行时的压力上升阶段:

- 分闸闭锁的复位值;
- 合闸闭锁的复位值;
- 自动重合闸闭锁的复位值(适用时);
- 低压力报警解除值;
- 泵装置的停止压力;
- 安全阀打开压力(适用时)。

注:这些测量可以和操动机构的恢复时间的测量合并进行(见10.2.102.2.5.2)。

b) 泵装置停止时的压力下降阶段:

- 安全阀的关闭(适用时);
- 泵装置的启动;
- 低压力报警;
- 自动重合闸闭锁(适用时);
- 合闸闭锁;
- 分闸闭锁。

对于液压控制,应在试验前指明储压筒的预充压力同时测量周围空气温度。

10.2.102.2.3 操作过程中消耗的测量(适用时)

关掉泵装置,且各个储压筒处于泵装置的启动压力,应确定下述每一个操作或顺序时的损耗值:

- 三极分闸;
- 三极合闸;
- 三极分—0.3 s—合分(适用时)。

应记录每个操作或操作顺序后的稳态压力。

10.2.102.2.4 额定操作顺序的验证

应验证断路器完成其规定的额定操作顺序的能力。该试验应在储能装置工作的情况下进行,使用现场的电源电压,并在适用时,从10.2.102.2.3规定的泵装置的启动压力开始。

应提供证据,以证明闭锁装置的干涉水平和在额定操作顺序过程中测到的最低操作压力间的配合关系。

现场电源电压是指来自正常现场电源的、适用于断路器的负载电压且应与辅助回路和控制回路的额定电源电压兼容。

10.2.102.2.5 时间参数的测量

10.2.102.2.5.1 断路器的时间参数特性

a) 合闸时间和分闸时间,时间的分散性

在现场电源电压(流过满负荷电流时设备端子处测量的)和最大压力(切断泵装置时)下应该进行的测量:

- 每一极的合闸时间,极间的时间分散性和可能时的开断单元或每一极各单元组之间的时间分散性;
- 每一极的分闸时间,极间的时间分散性和可能时的开断单元或每一极各单元组之间的时间分散性。

在多个脱扣线圈的情况下,应对所有的脱扣线圈进行试验并记录每一个的时间。

应记录动作前和动作中的电源电压。如有三极控制继电器的话,也应记录其带电时刻,以便能够计算出三极操作时总的时间(继电器时间加上合闸时间或分闸时间)。

如果断路器装有合闸或分闸电阻单元,应记录电阻的接入时间。

b) 控制和辅助触头的动作

断路器的分闸和合闸时,应确定与主触头操作相关的每一种控制和辅助触头(关合和开断)的动作时间。

10.2.102.2.5.2 操动机构的储能时间

a) 流体操动机构

应该测量泵装置(泵、压缩机、控制阀等)的动作时间:

- 最低压力和最高压力之间(泵装置的投入和切断);
- 在下列操作或操作顺序过程中,每次从最低压力(投入泵装置时)开始:
 - 三极合闸;
 - 三极分闸;
 - 三极分—0.3 s—合分(适用时)。

b) 弹簧操动机构

在现场电源电压下,应测量在合闸操作后电动机的储能时间。

10.2.102.2.6 机械行程特性的记录

按照 7.101 的要求,断路器第一次在现场装配完整时或所有或部分出厂试验在现场进行时,应记录机械行程特性。通过和 6.101.1.1 中的参考空载试验得到的参考机械行程特性比较,记录到的机械行程特性应与其达到一致。

10.2.102.2.7 某些特定操作的检查

10.2.102.2.7.1 在操作作用的最低功能压力时的自动重合闸操作(适用时)

当泵装置不工作时,把控制压力降低到重合闸时的闭锁值,进行重合闸操作(在现场条件下,可能需要一个独立的时序装置来实施重合闸操作)。试验应在设备流过满负荷电流时的电源电压下进行。应记录操作前和操作中的电源电压。应记录最终的压力并应保证对分闸操作的最低功能压力留有足够的裕度,作为对压力开关分散性和瞬态压力的保护。

如有怀疑时,可从低于重合闸(短路的触头)操作作用的最低功能压力的压力值开始,按照不同于上述方法的替代方法进行试验,接着应该验证分闸操作仍然是可行的。

10.2.102.2.7.2 在操作作用的最低功能压力时的合闸操作(适用时)

当泵装置不工作时,把控制压力尽量降低到合闸时的闭锁值,进行合闸操作。试验应在设备流过满负荷电流时的电源电压下进行。应记录操作前和操作中的电源电压。应记录最终的压力并应保证对分闸操作的最低功能压力留有足够的裕度。

如有怀疑时,可从低于合闸(短路的触头)操作作用的最低功能压力的压力开始,按照不同于上述方法的替代方法进行试验,接着应该验证分闸操作仍然是可行的。

10.2.102.2.7.3 在操作作用的最低功能压力时的分闸操作(适用时)

当泵装置不工作时,把控制压力尽量降低到分闸时的闭锁值,进行分闸操作。试验应在设备流过满

负荷电流时的电源电压下进行。应记录操作前和操作中的电源电压。应记录最终的压力。

10.2.102.2.7.4 故障关合操作的模拟和防跳跃装置的检查

应测量断路器进行 CO 操作循环且辅助触头闭合使脱扣回路带电,断路器保持在合闸位置的时间。

由于分闸命令的过早施加,该试验也可以对防跳跃装置的动作和由于机械的、液压的和气动的原因引起的任何误动作进行检查。

为了能检查防跳跃装置的有效动作,合闸命令应保持 1 s 到 2 s。

注:采用现场的控制设施,也可以进行模拟的防跳跃试验。在这种情况下,施加并保持合闸命令,继而再施加分闸命令。

10.2.102.2.7.5 存在分闸命令时施加合闸命令后断路器的性能

应该验证断路器在预先施加并维持有分闸命令后,再出现合闸命令时能够满足技术条件的要求。

10.2.102.2.7.6 对两个脱扣器同时施加分闸命令(适用时)

有可能出现两个脱扣器(正常的和紧急的)同时(或事实上同时)带电的情况。

特别是,如果脱扣器不在同一个动作值时动作,应保证断路器的动作不受任何机械的、液压的或气动的干扰。

10.2.102.2.7.7 极间不同期的防护(适用时)

极间不同期的防护措施可以通过下列任一试验来检查:

- 断路器处于分闸状态,一极的合闸脱扣器带电,以检查断路器是否先合闸后分闸;
- 断路器处于合闸状态,一极的分闸脱扣器带电,以检查断路器的其他两极是否分闸。

10.2.102.3 电气试验和测量

10.2.102.3.1 绝缘试验

应对辅助回路进行绝缘试验,以确认断路器的运输和储存没有损坏这些回路。然而,应认识到这些回路中包含薄弱的元件,施加全部的试验电压并保持全部的持续时间可能会导致损坏。为了避免出现这种情况和试验连接线的临时移开,制造厂应详细规定说明不会出现损坏的试验程序以及根据本试验程序记录试验结果的方法。

对于金属封闭开关设备和控制设备主回路的绝缘试验,IEC 60298[8]和 IEC 60517[9]适用。

10.2.102.3.2 主回路电阻的测量

如果开断单元是在现场装配的,才应进行主回路电阻测量。测量应按照 GB/T 11022—1999 中 7.3 的规定,在直流下进行。

10.3 运行

GB/T 11022—1999 的 10.3 适用。

10.4 维护

GB/T 11022—1999 的 10.4 适用,并做如下补充:

另外,制造厂应给出关于断路器维护的下列资料:

- a) 短路操作;
- b) 正常运行时的操作。

这些资料包括检修后按照项 a)和项 b)断路器能完成的操作次数。

GB/T 11022—1999 的 10.4.1 到 10.4.3 适用。10.2.102.1.3 中要求的检查适用。

10.4.101 电阻和电容

检查电阻器和电容器时,制造厂应给出数值的允许偏差。

11 安全性

GB/T 11022—1999 的第 11 章适用,并做如下补充:

任何已知的化学危害和环境危害应在断路器手册或使用说明中明确。

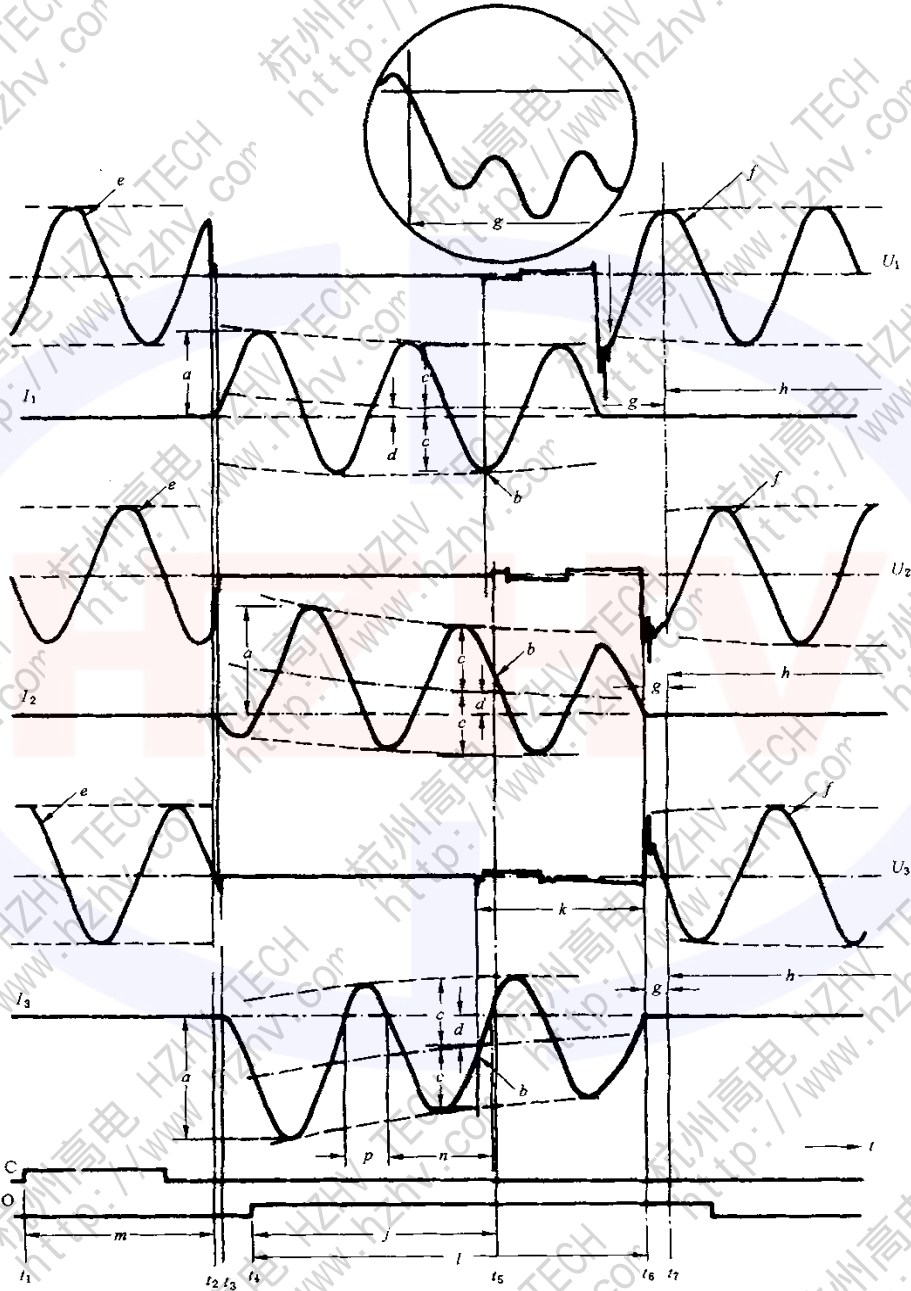


图 1 三相短路关合一开断循环的典型示波图

图 1 中的图例：

U_1 ——首先开断极端子间的电压；	b ——开断电流；
I_1 ——首开极中的电流；	c ——交流分量的峰值；
U_2, U_3 ——其他两极端子间的电压；	d ——直流分量；
I_2, I_3 ——其他两极中的电流；	e ——外施电压；
C ——合闸命令，例如，合闸回路端子间的电压；	f ——恢复电压；
O ——分闸命令，例如，分闸脱扣器端子间的电压；	g ——瞬态恢复电压；
t_1 ——合闸操作的起始时刻；	h ——工频恢复电压；
t_2 ——主回路中开始流过电流的时刻；	j ——分闸时间；
t_3 ——所有极中都通流的时刻；	k ——燃弧时间；
t_4 ——分闸脱扣器带电时刻；	l ——开断时间；
t_5 ——所有极中的弧触头分离时刻(起弧时刻)；	m ——关合时间；
t_6 ——所有极中最终电弧熄灭时刻；	n ——大半波；
t_7 ——最后开断极中的瞬态电压现象消失的时刻；	p ——小半波。
a ——(峰值)关合电流；	

对后面的图 2 到图 7 的注：

- 实际上，三极触头运动间存在时间的分散性，为了清楚起见，对于所有的三极，图中的触头运动用一根单线表示。
- 实际上，三极中电流开始和终了均存在时间的分散性。为了清楚起见，对于所有的三极，图中的电流开始和终了均用一根单线表示。

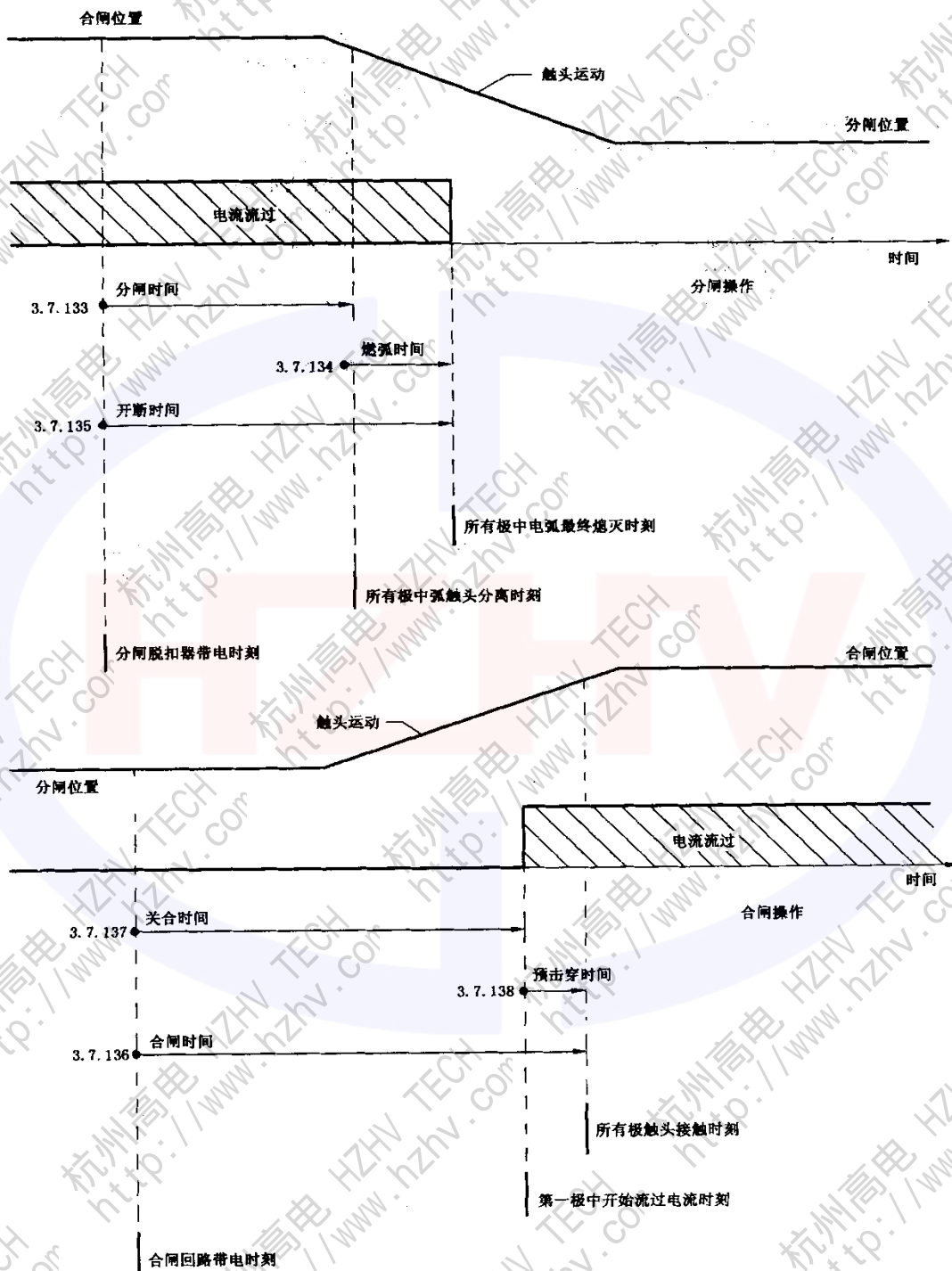


图 2 没有开合电阻的断路器的分闸和合闸操作

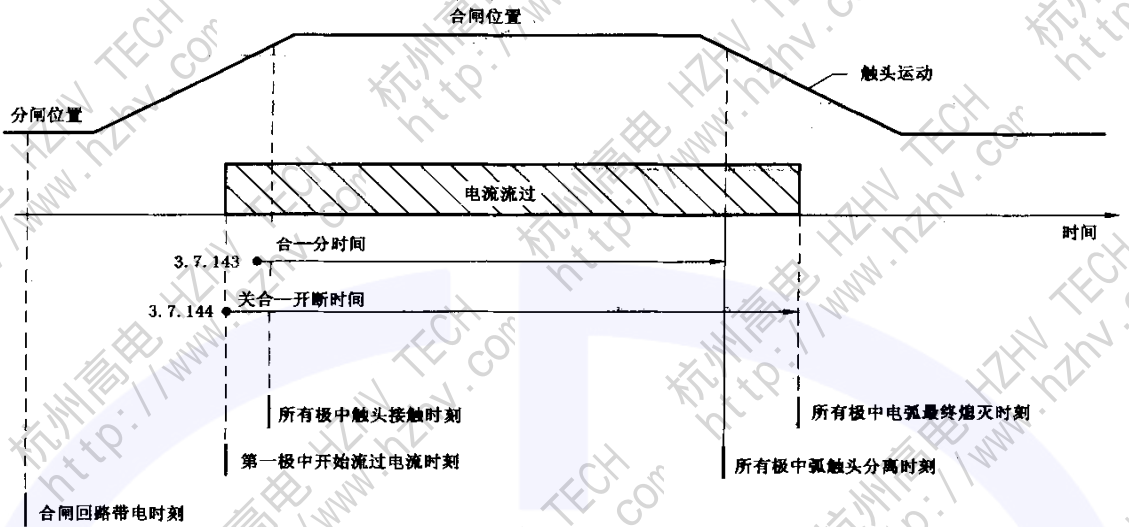


图 3 没有开合电阻的断路器的合—分循环

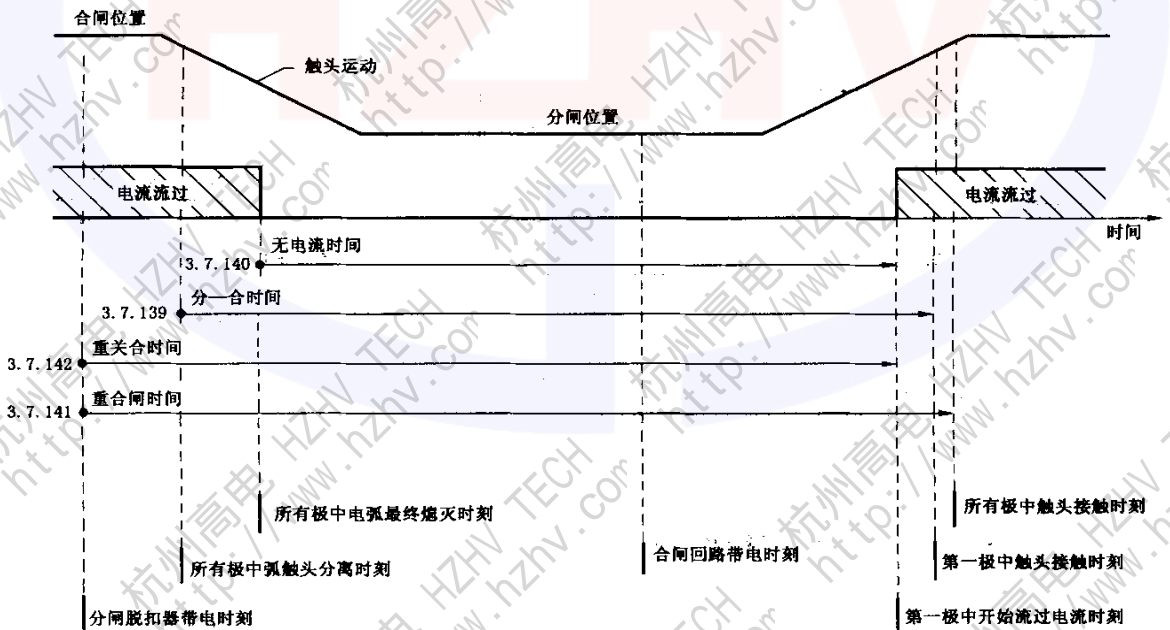


图 4 没有开合电阻的断路器的重合闸(自动重合闸)

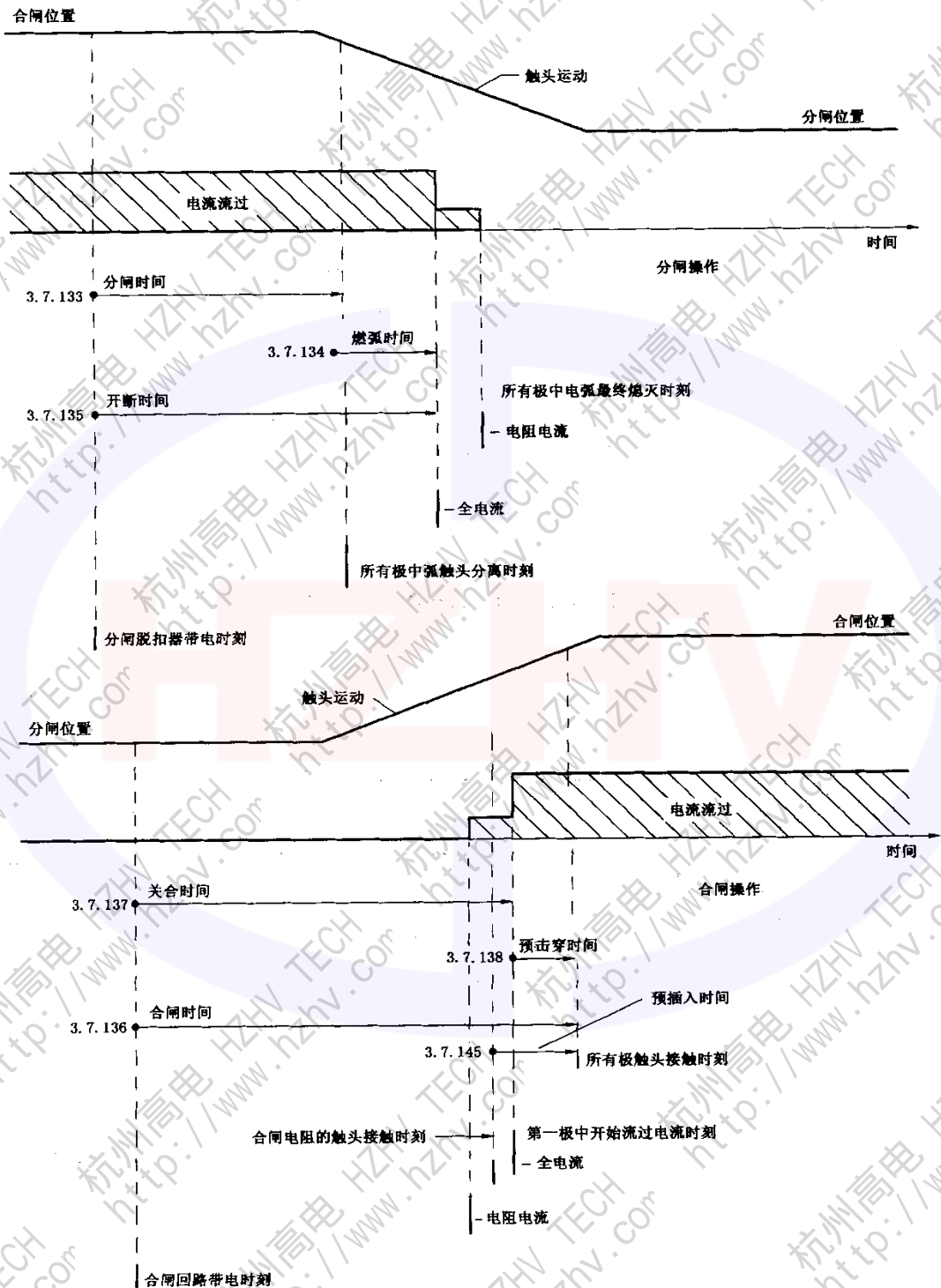


图 5 有开合电阻的断路器的分闸和合闸操作

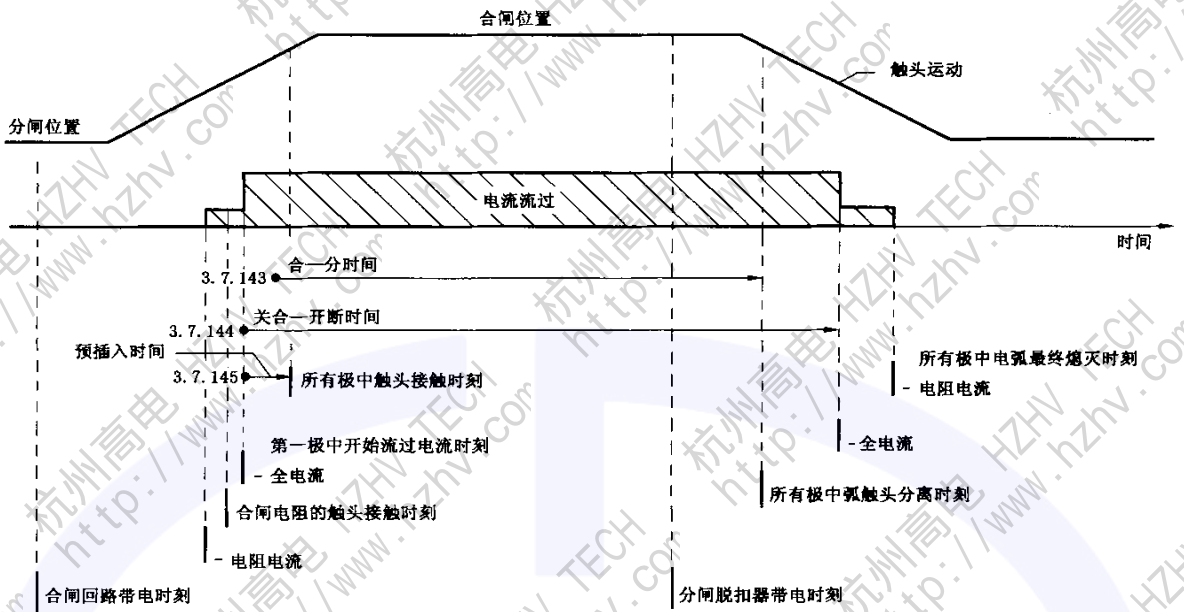


图 6 有开合电阻的断路器的合一分循环

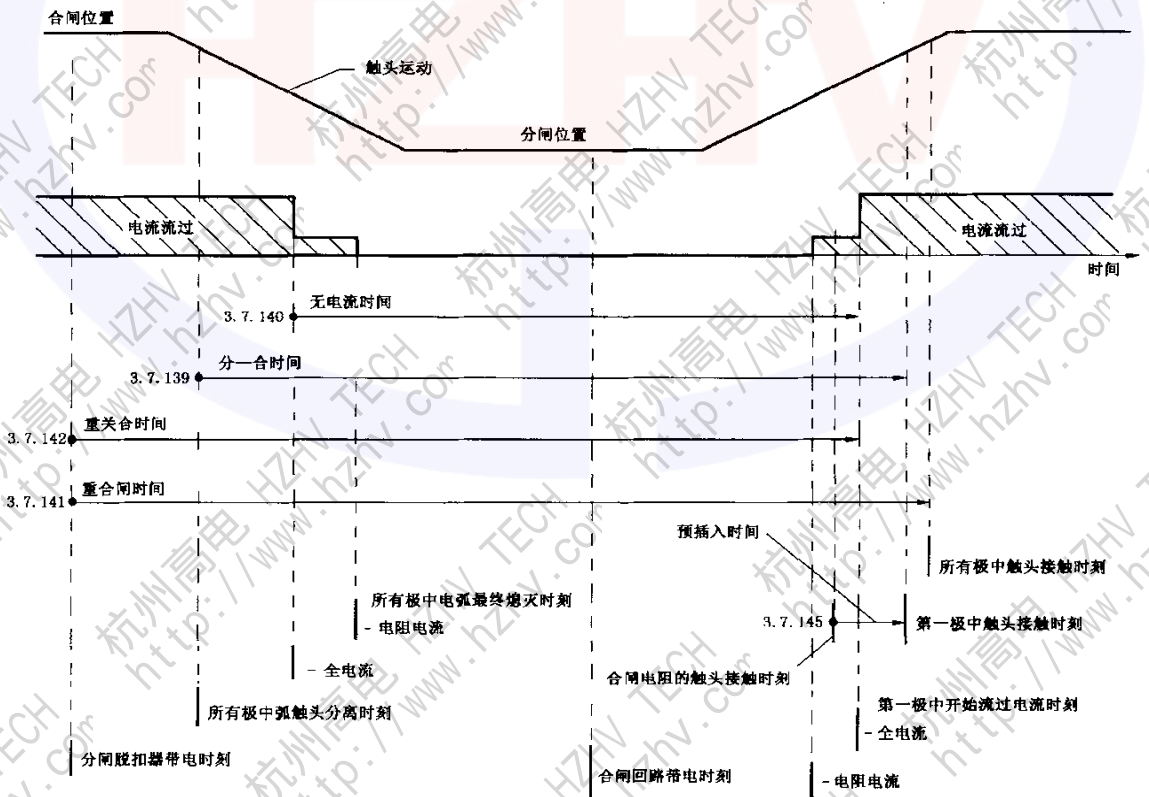


图 7 有开合电阻的断路器的重合闸(自动重合闸)

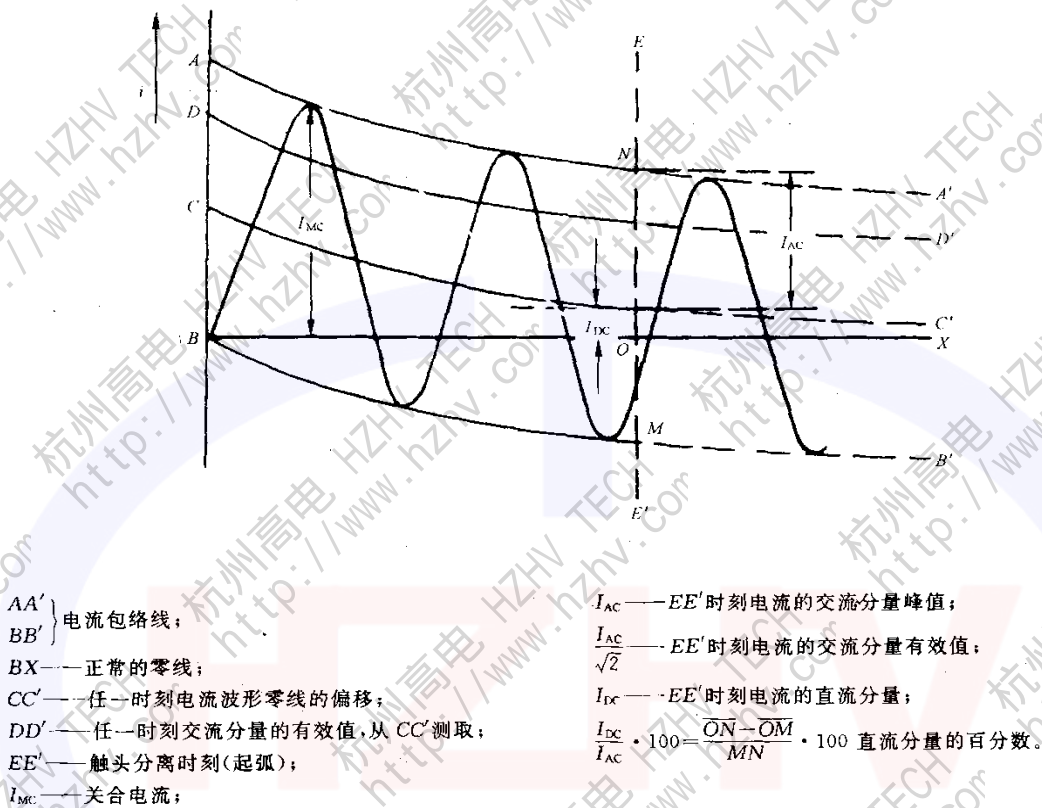
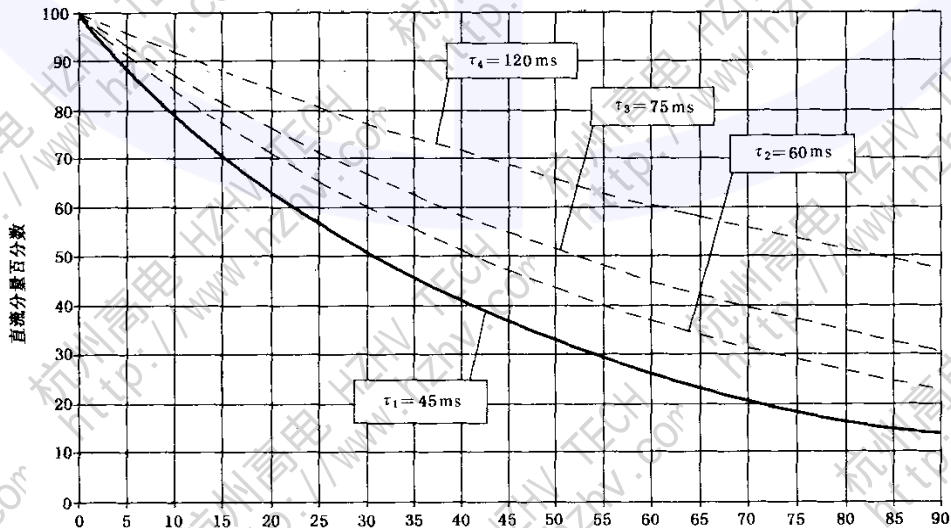


图 8 短路关合和开断电流以及直流分量百分数的确定



从短路电流起始时刻的时间间隔/ms

图 9 对于标准时间常数 τ_1 和特殊工况的时间常数 τ_2, τ_3 以及 τ_4 , 直流分量的百分数与时间间隔 ($T_{op} + T_r$) 的关系曲线

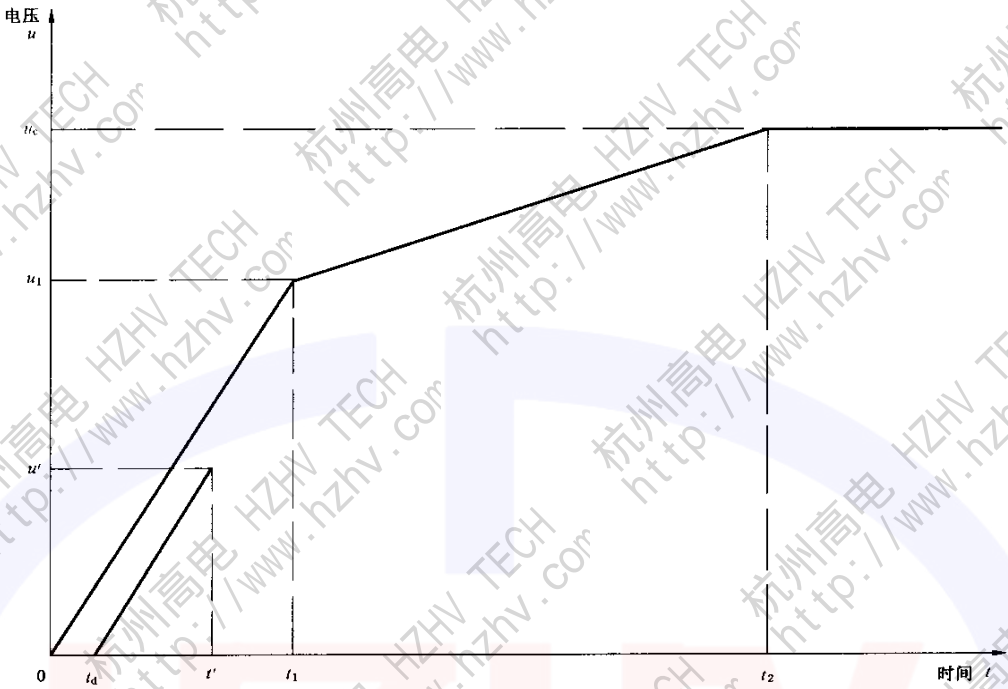


图 10 用四参数参考线对试验方式 T100、近区故障和失步条件规定的四参数 TRV 和时延线的表示

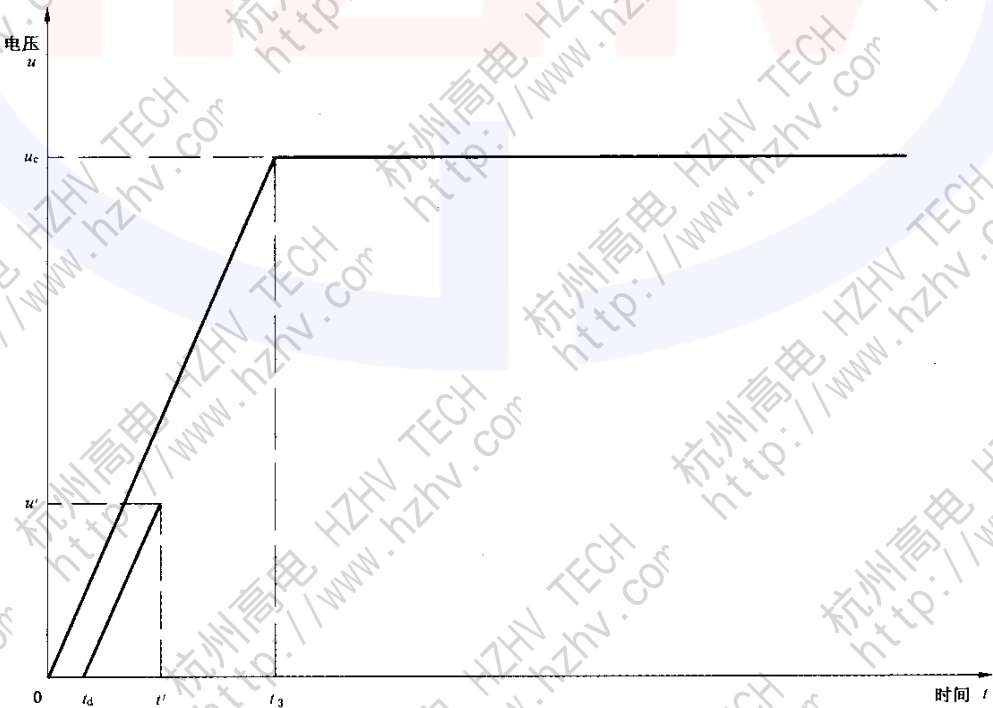
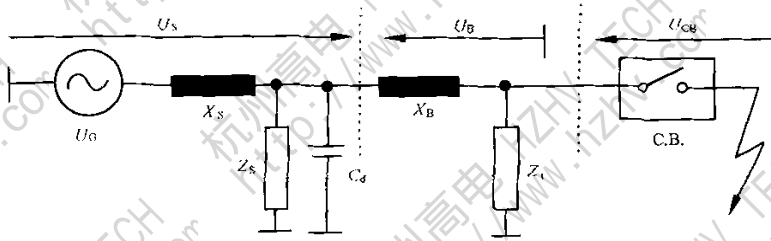


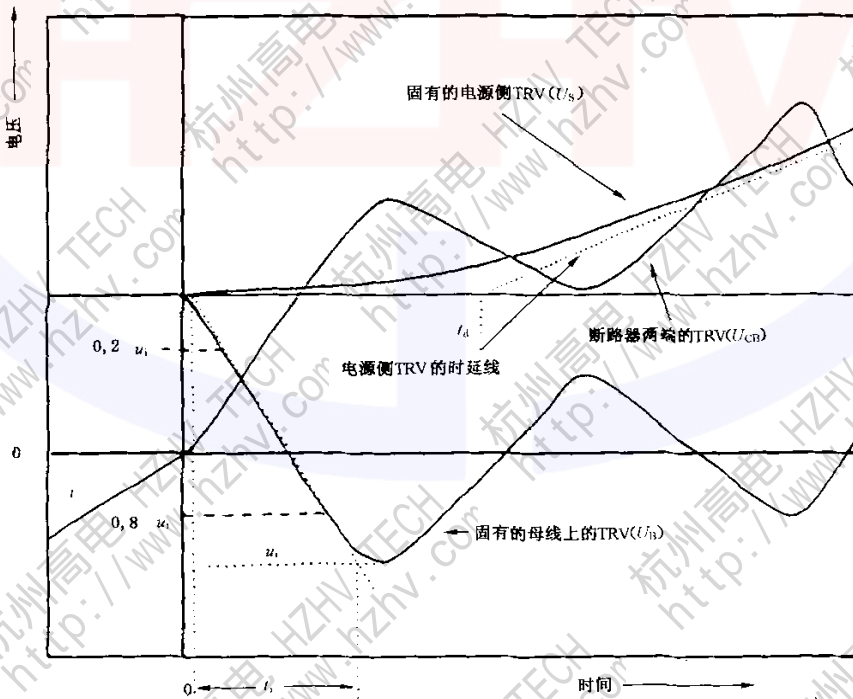
图 11 用两参数参考线和时延线对规定的 TRV 的表示



- C. B. —— 断路器；
- U_G —— 电源侧电压；
- U_B —— 母线电压；
- U_{CB} —— 断路器两端的电压；
- U_S —— 电源侧电抗两端的电压；
- C_d —— 电源侧的时延电容；
- Z_S —— 电源侧 TRV 控制元件；
- Z_I —— ITRV 控制元件；
- X_S —— 电源侧工频电抗；
- X_B —— 母线工频电抗。

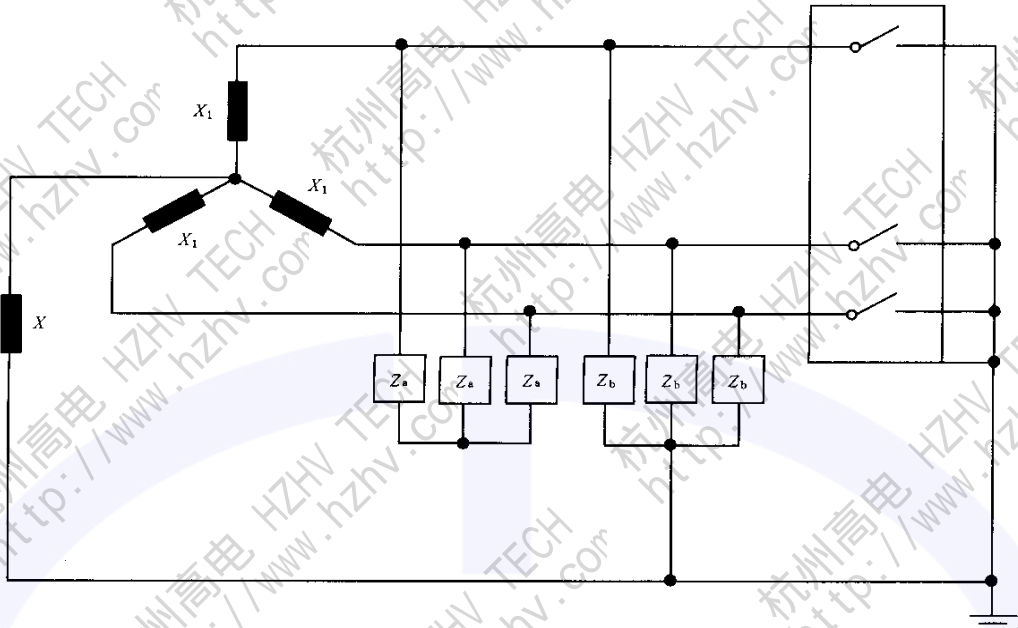
注：如果 X_S 使用集中电感，则 ITRV 控制元件可以和该电感并联。

图 12a 具有 ITRV 的出线端故障的基本回路



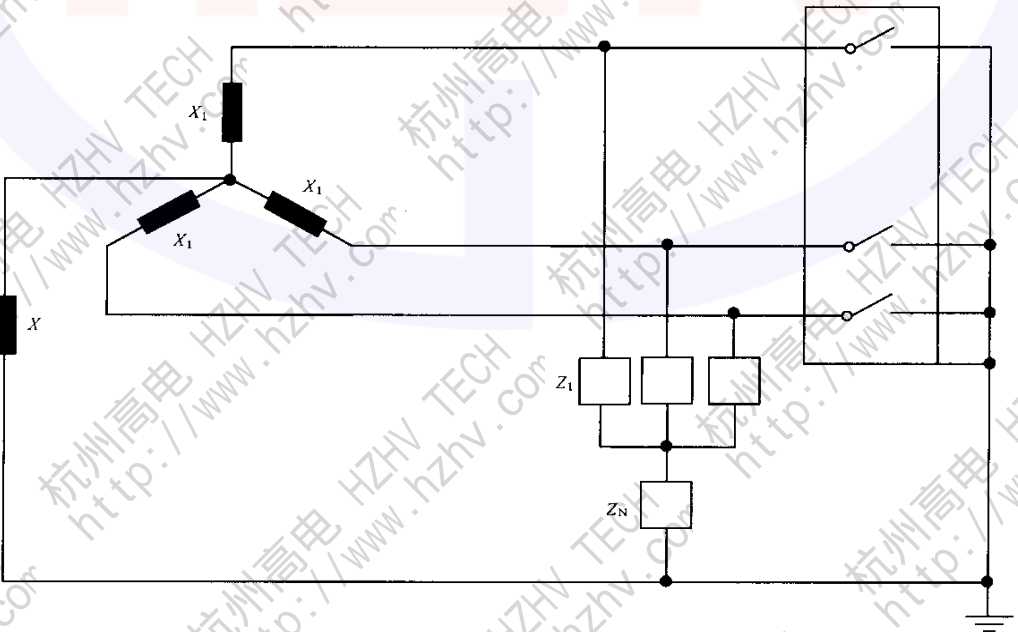
u_i ITRV 的峰值电压 t_i ITRV 的时间坐标

图 12b ITRV 与 TRV 关系的表示



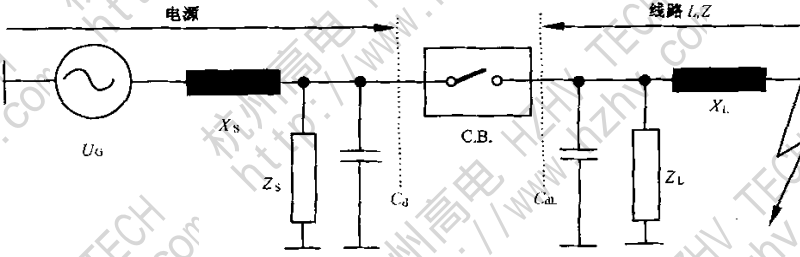
X_N ——对于首开极系数为 1.5 时等于 ∞
 X_N ——对于首开极系数为 1.3 时等于 0.75
 因为: $Z_b/Z_1=2$;
 $Z_a=Z_b=2Z_1$

图 13 三相短路的表示



对于 $Z_b/Z_1=2$;
 $Z_N=1/3Z_1$

图 14 图 13 替代的表示



- U_G ——电源电压, 相对地值;
- X_s ——电源侧工频电抗;
- Z_s ——电源侧 TRV 控制元件;
- C_d ——电源侧时延电容;
- C. B.——断路器;
- X_L ——线路侧工频电抗;
- Z_L ——线路侧 TRV 控制元件;
- C_{dL} ——线路侧时延电容;
- Z ——线路的波阻抗;
- L ——到故障点的线路长度。

图 15 近区故障的基本回路

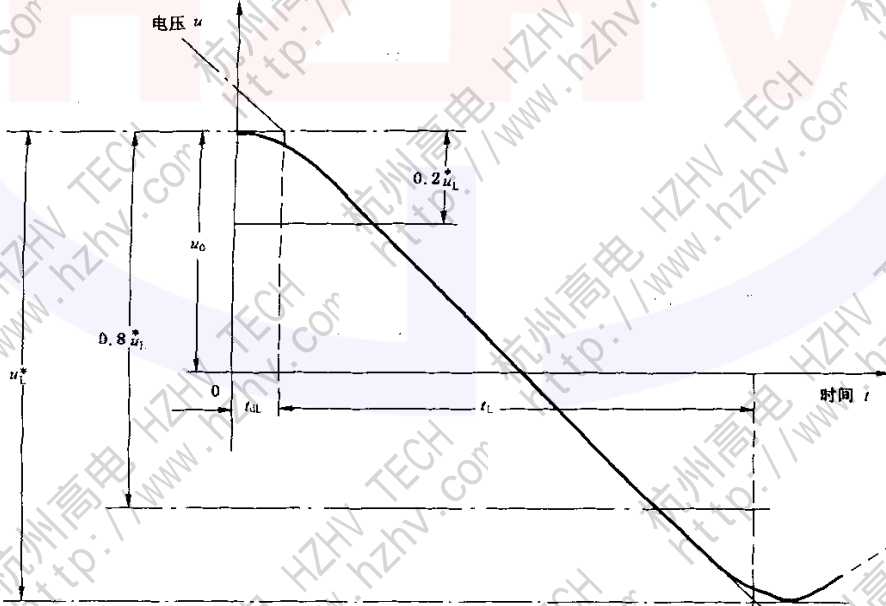
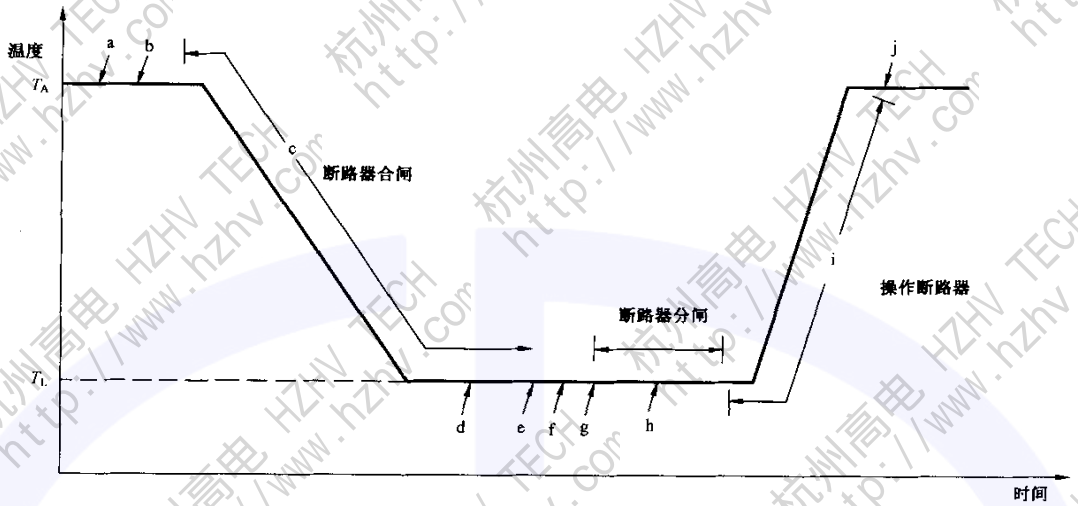
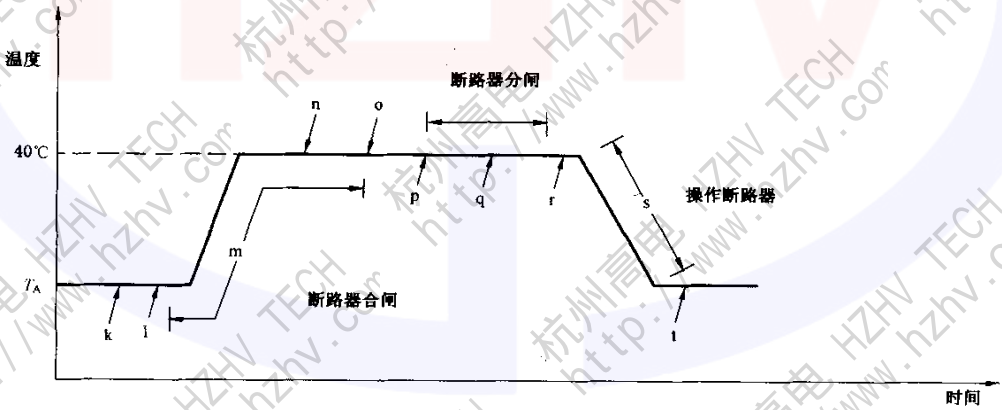


图 16 有时延的线路侧恢复电压以及圆形的波峰导出 u_0' , t_L 和 t_{dL} 方法的说明



a) 低温试验



b) 高温试验

注：字母 a 到 t 表示 6.101.3.3 和 6.101.3.4 中规定的试验的应用点。

图 17 低温和高温试验的试验顺序

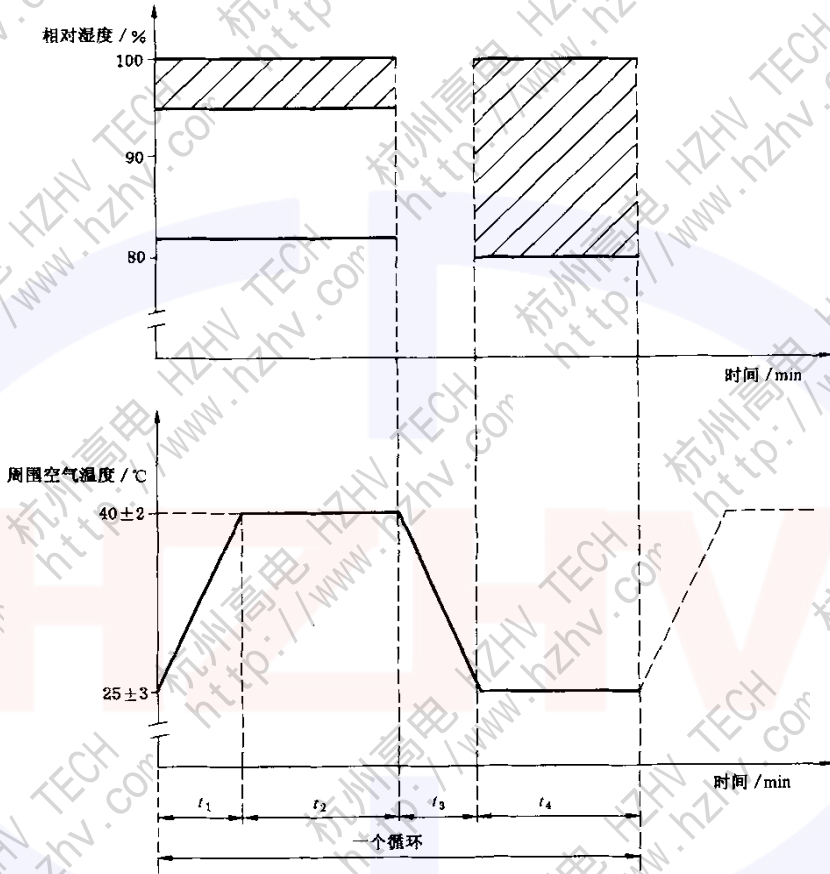
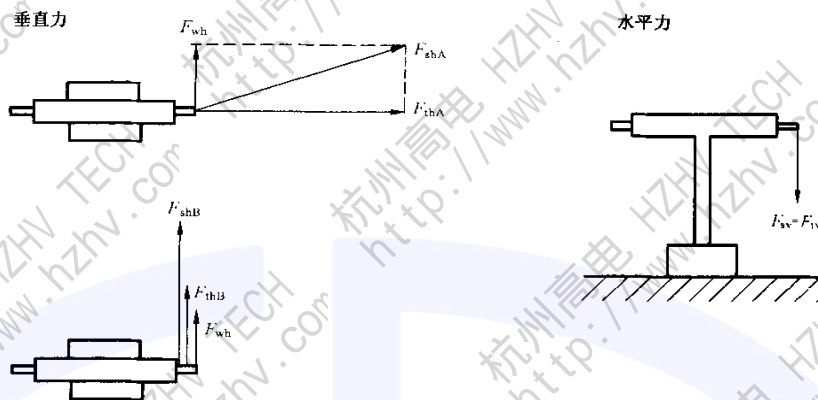


图 18 湿度试验



- F_{thA} ——连接导体引起的水平拉力(A向);
- F_{thB} ——连接导体引起的水平拉力(B向);
- F_{cv} ——连接导体引起的垂直拉力(C向);
- F_{wb} ——覆冰的断路器上风压引起的水平力;

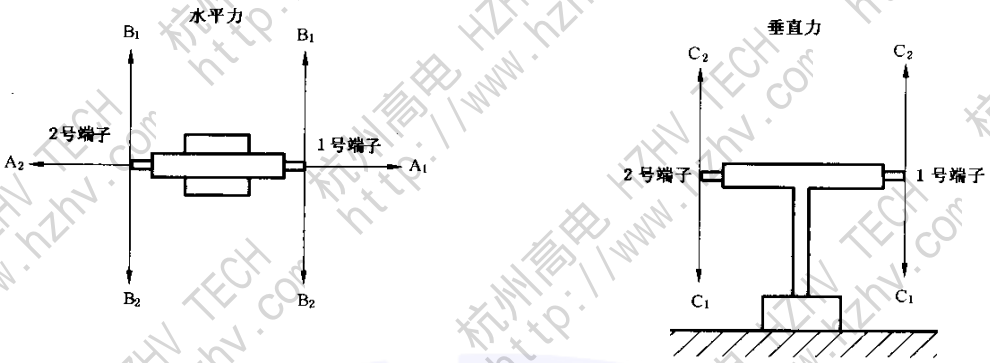
F_{shA} , F_{shB} 和 F_{sv} ——额定端子静负载(合力)。

注:关于 A、B 和 C 向,参见图 20。

图 19 端子静负载

	水平的	垂直的	标 注
因连接导体上的重量、风和冰产生的力	F_{thA}, F_{thB}	F_{cv}	按照表 9
因断路器上的风和冰产生的力 ^a	F_{wb}	0	由制造厂计算
合力	F_{shA}, F_{shB}	F_{sv}	

^a 断路器上的水平力,由于风的作用,可能会从压力中心向端子移动且与较长的杠杆臂成比例地降低数值(断路器最低部分的弯矩应相同)。

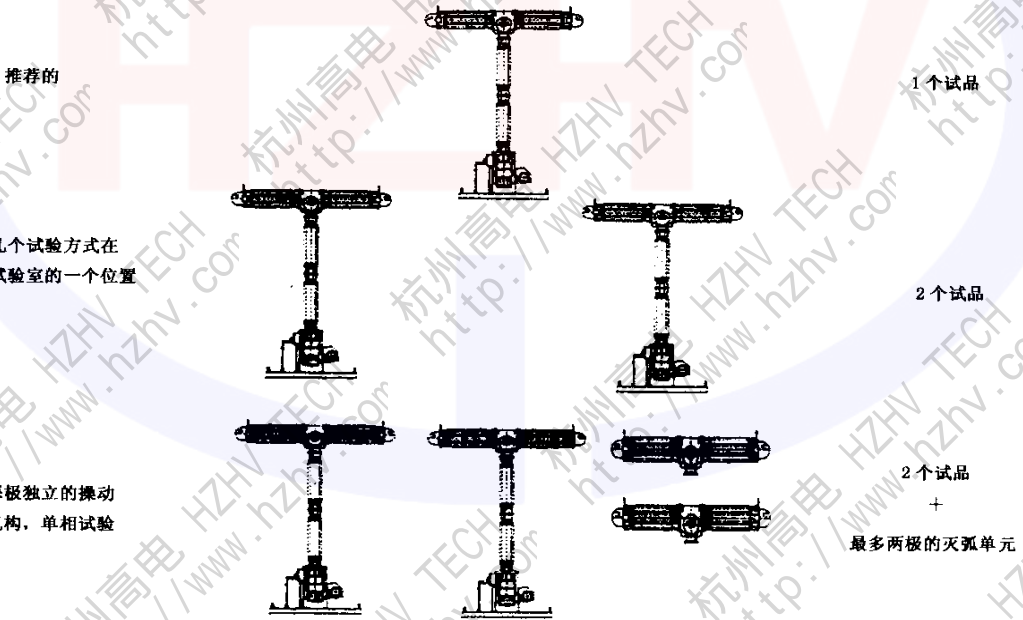


力的方向:1号端子为 A_1 , B_1 和 B_2
 力的方向:2号端子为 A_2 , B_1 和 B_2
 水平试验力: F_{shA} 和 F_{shB} (见图 19)

力的方向:1号端子为 C_1 , C_2
 力的方向:2号端子为 C_1 , C_2
 垂直试验力(两个方向): $F_{v\alpha}$ (见图 19)

注:对于以极单元垂直中心线对称的断路器,仅需要对一个端子进行试验。

图 20 端子静负载试验的方向



推荐的

几个试验方式在
 试验室的一个位置

每极独立的操动
 机构,单相试验

1个试品

2个试品

2个试品

+
 最多两极的灭弧单元

图 21 合、开断和开合试验允许的试品数量,6.102 中的规定的图示

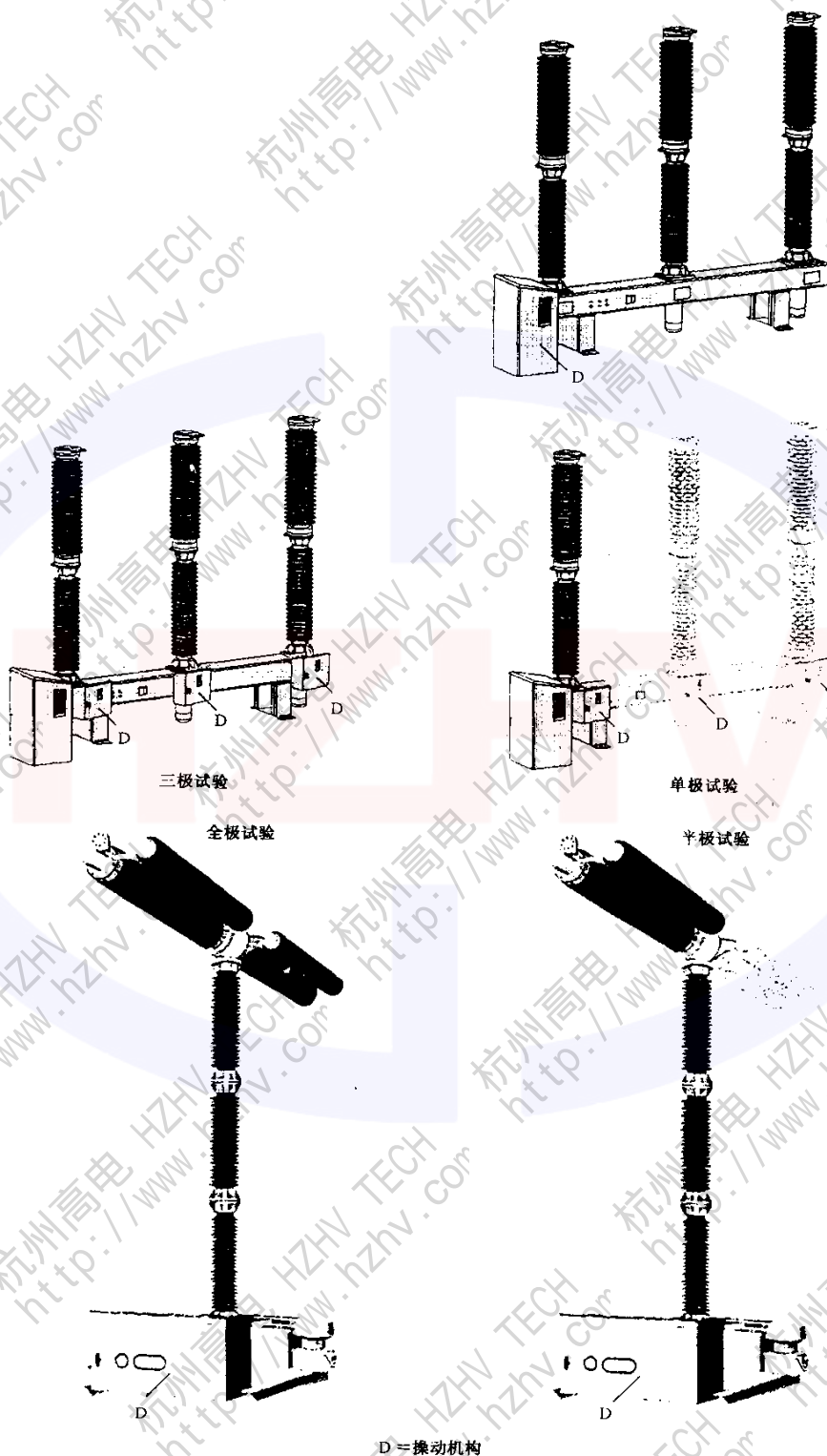


图 22 按照 GB/T 11022 的 3.2.2, 单个试品的定义

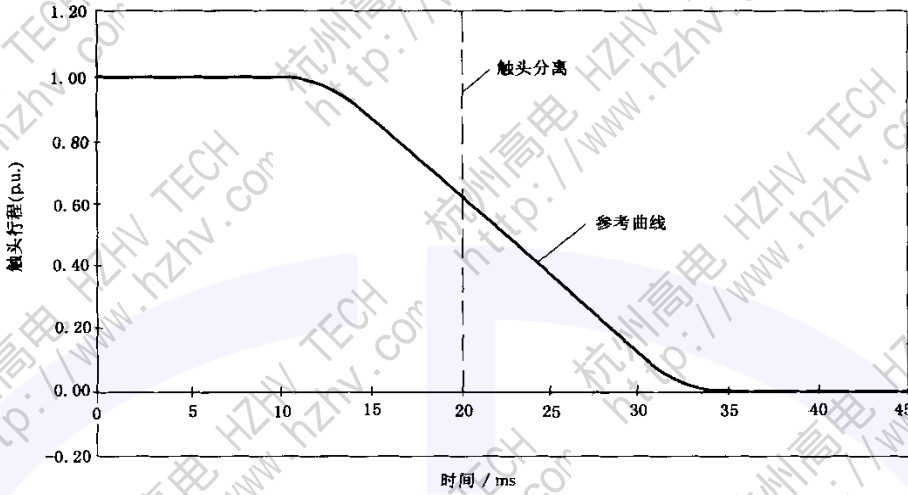


图 23a 参考的机械行程特性(理想曲线)

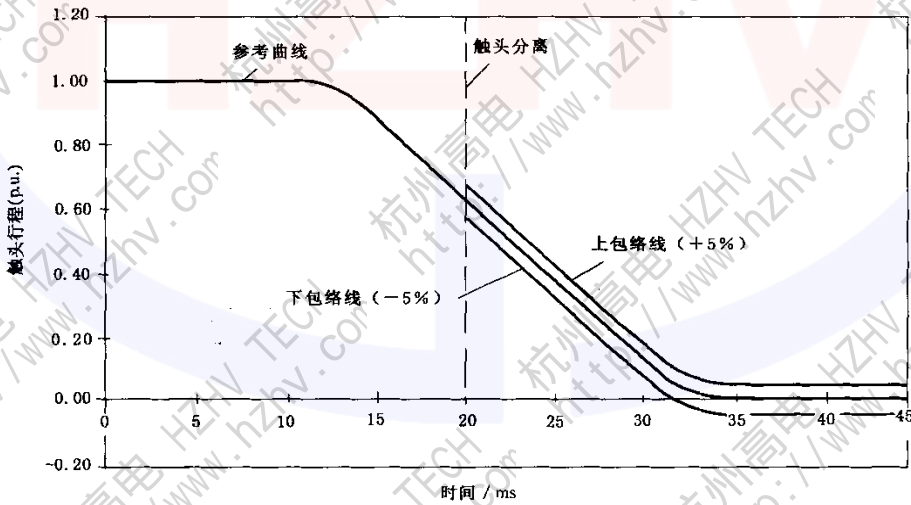


图 23b 具有以参考曲线为中心的规定的包络线(+5%, -5%)的参考机械行程特性(理想曲线),本例中触头分离时刻为 $t = 20 \text{ ms}$

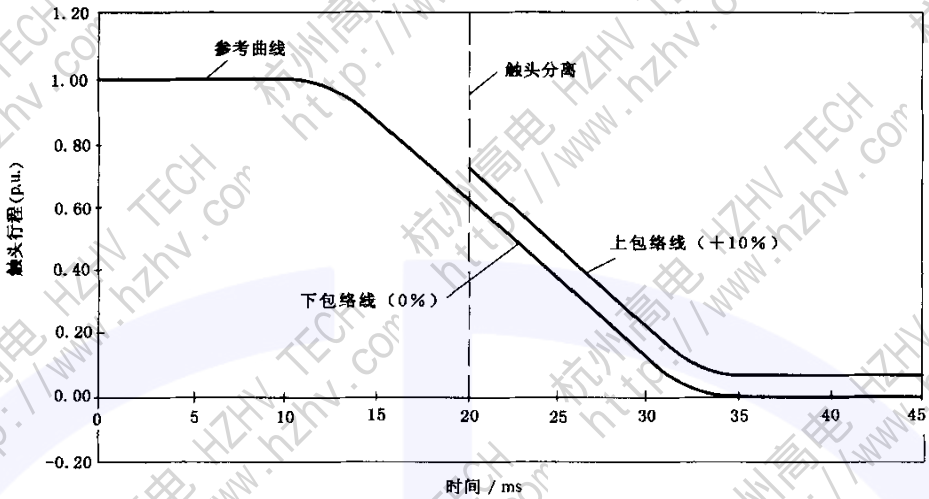


图 23c 具有以参考曲线为基准完全上移的规定的包络线(+10%,0%)的参考机械行程特性 (理想曲线),本例中触头分离时刻为 $t = 20$ ms

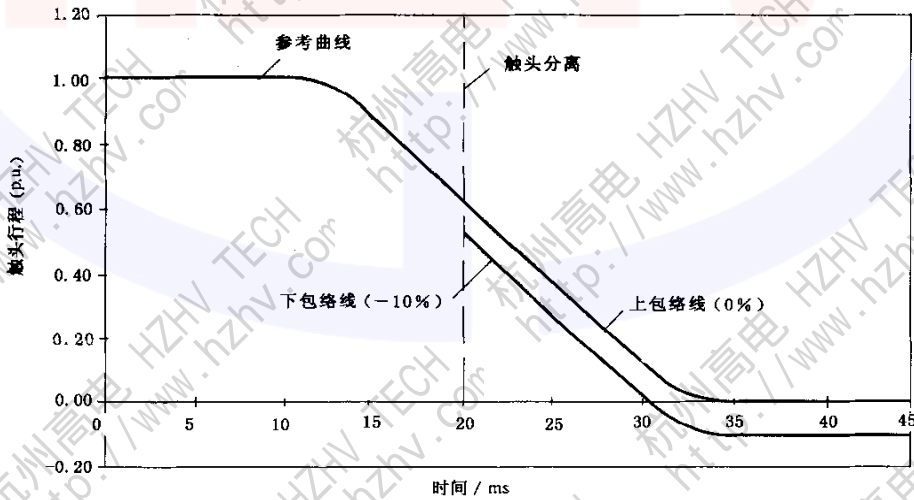


图 23d 具有以参考曲线为基准完全下移的规定的包络线(0%,-10%)的参考机械行程特性 (理想曲线),本例中触头分离时刻为 $t = 20$ ms

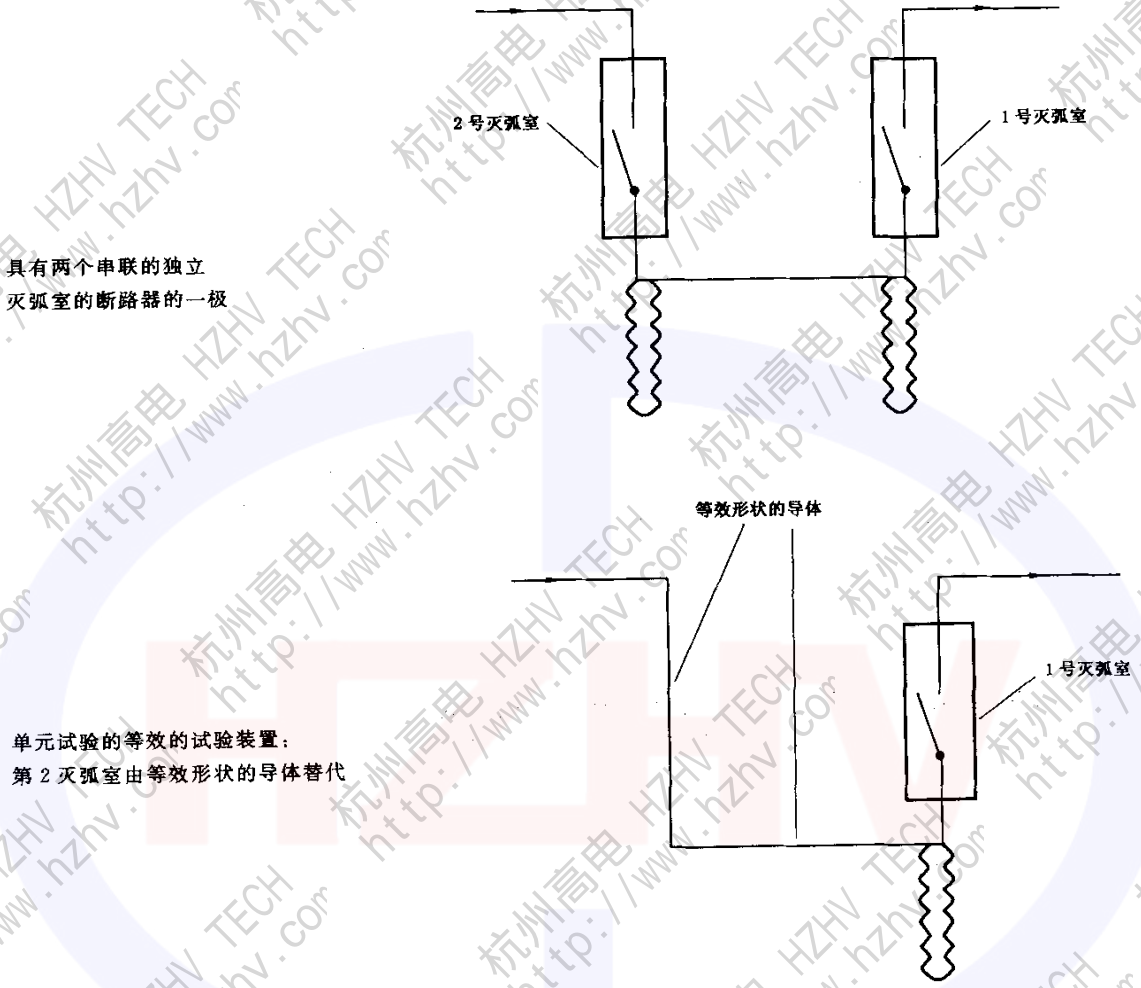
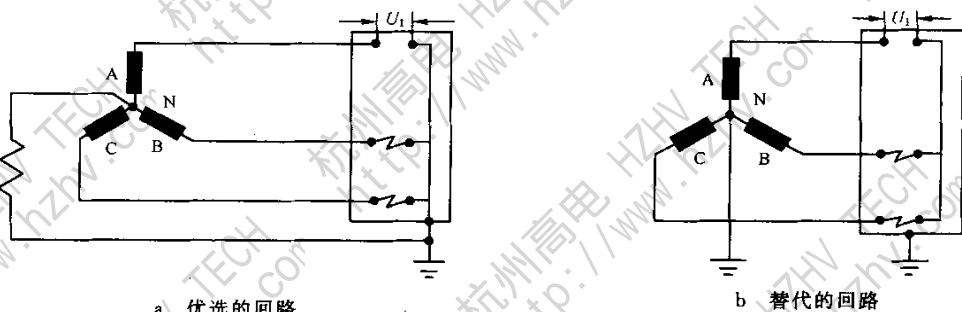


图 24 多于一个独立灭弧室的断路器的单元试验的等效试验装置



a 优选的回路

b 替代的回路

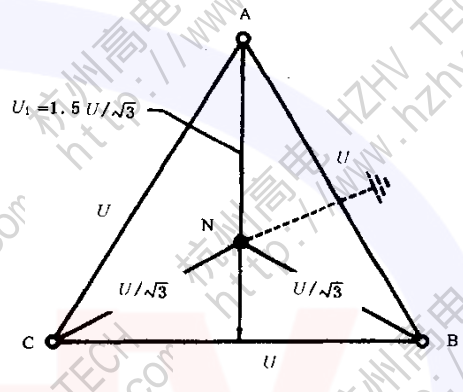
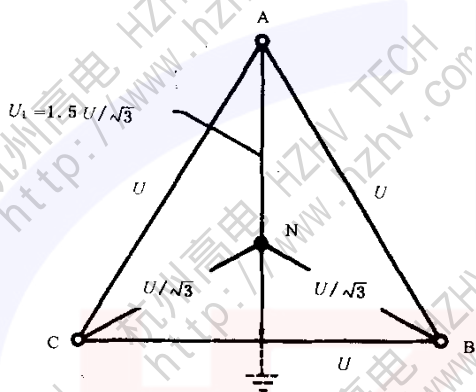
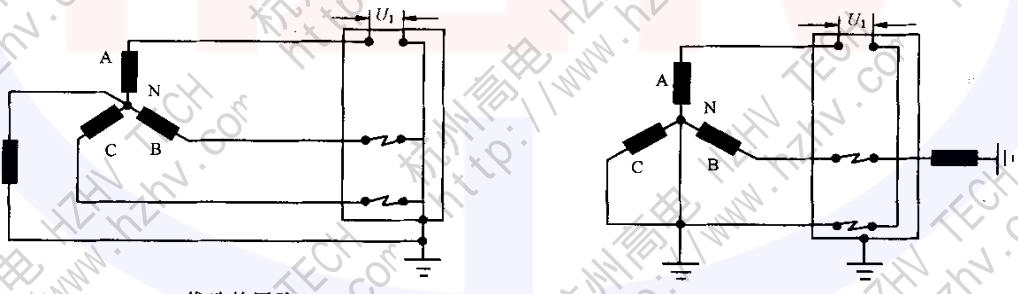


图 25 三相短路试验的试验回路的接地,首开极系数为 1.5



a 优选的回路

b 替代的回路

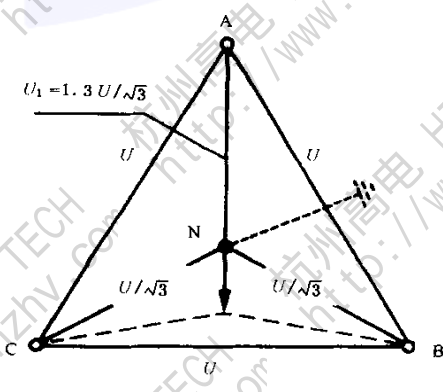
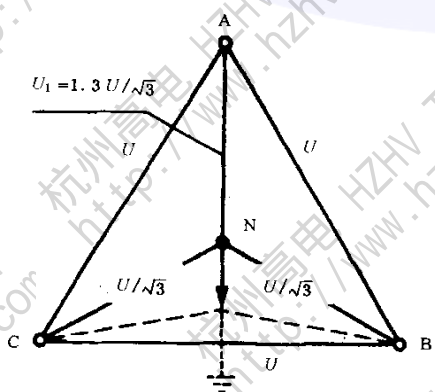
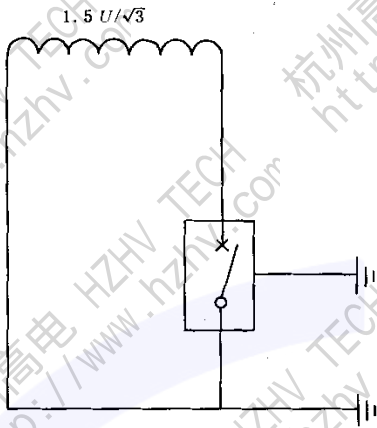
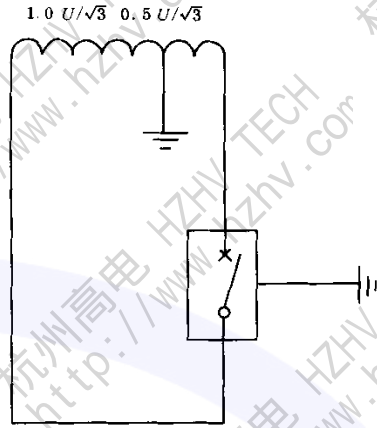


图 26 三相短路试验的试验回路的接地,首开极系数为 1.3

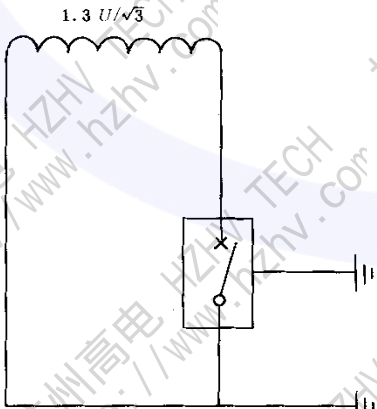


a 优选的回路

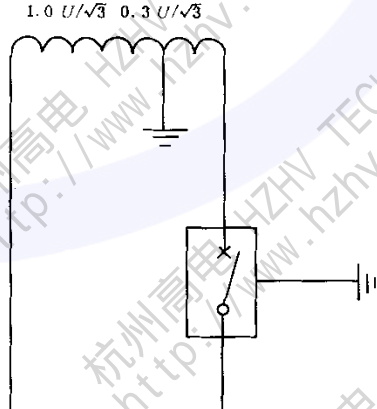


b 不适用于相间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如, GIS或落地罐式断路器)的替代的回路

图 27 单相短路试验的试验回路的接地,首开极系数为 1.5



a 优选的回路



b 不适用于相间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如, GIS或落地罐式断路器)的替代的回路

图 28 单相短路试验的试验回路的接地,首开极系数为 1.3

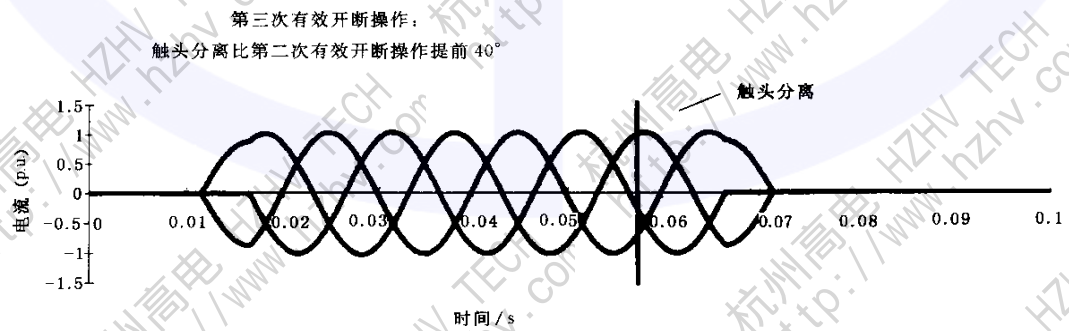
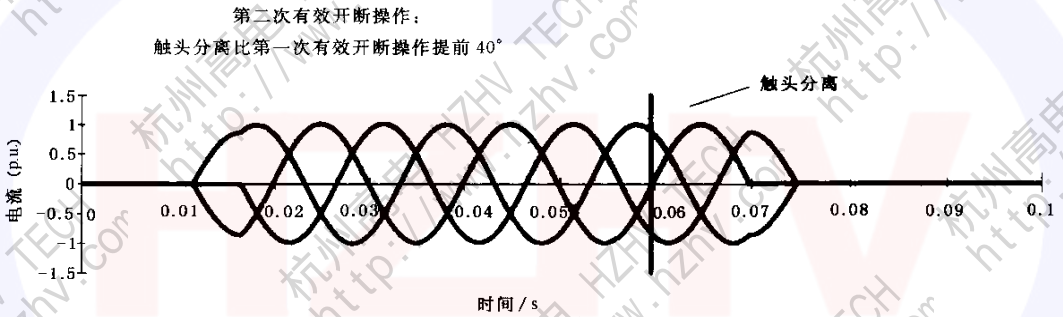
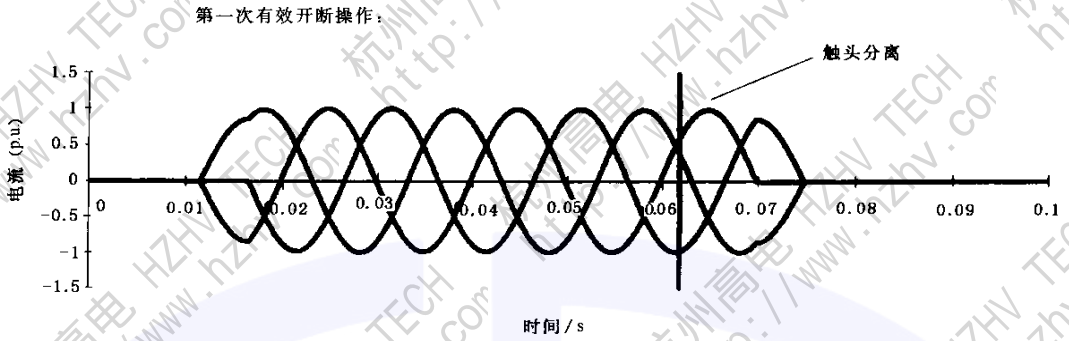
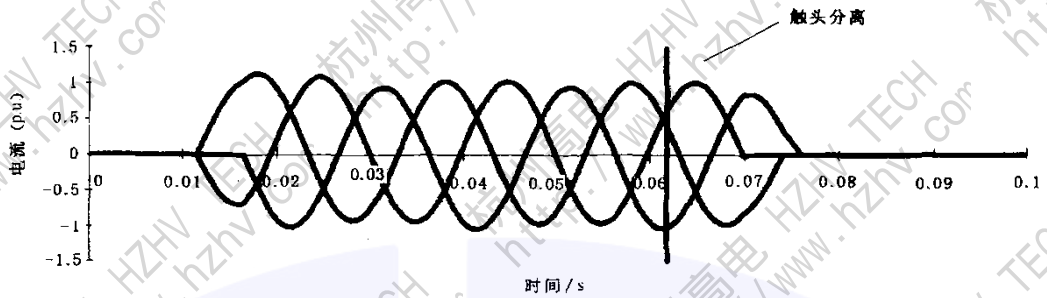
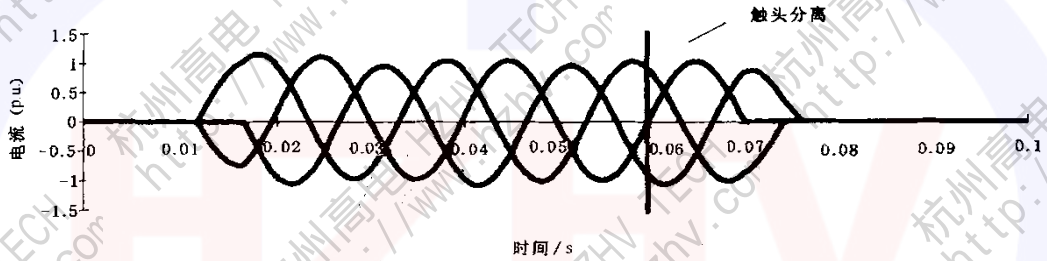


图 29 中性点非固定接地系统中(首开极系数 1.5)三相试验时
三次有效对称开断操作的图形表示

第一次有效开断操作:



第二次有效开断操作:
触头分离比第一次有效开断操作提前 40°



第三次有效开断操作:
触头分离比第二次有效开断操作提前 40°

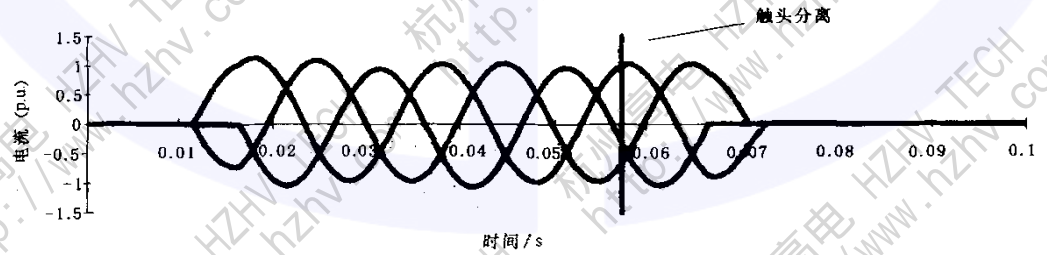
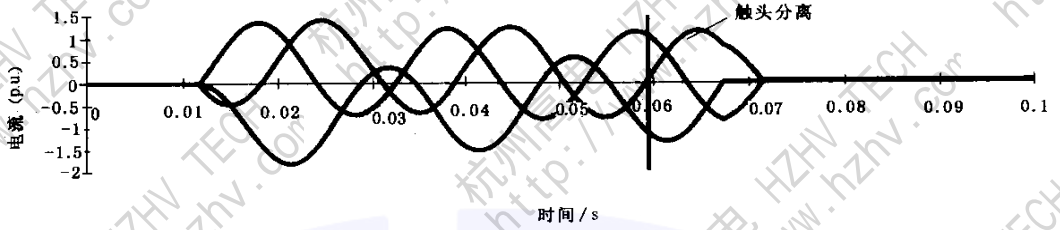
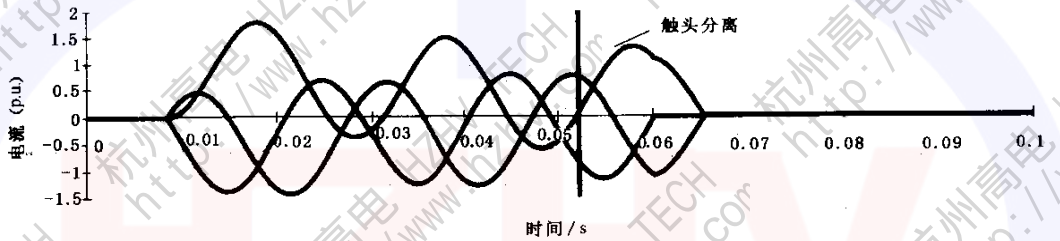


图 30 中性点固定接地系统中(首开级系数 1.3)三相试验时
三次有效对称开断操作的图形表示

第一次有效开断操作：首开极大半波
并在触头分离时刻具有要求的直流分量

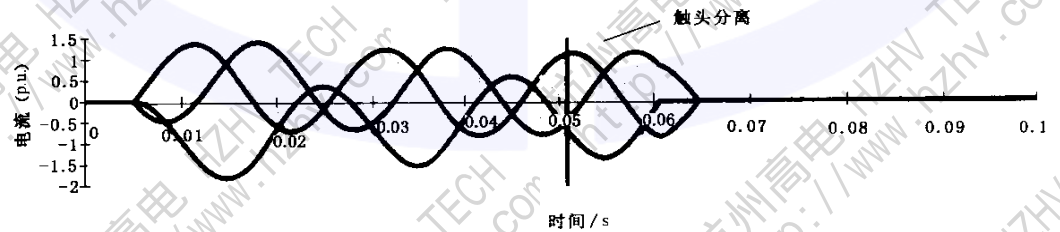


第二次有效开断操作：后开的一极中
出现延长的大半波且在触头分离时刻具有要求的直流分量



电流起始时刻较第一次有效开断操作
提前 60°；触头分离时刻较第一次
有效开断操作提前 130°

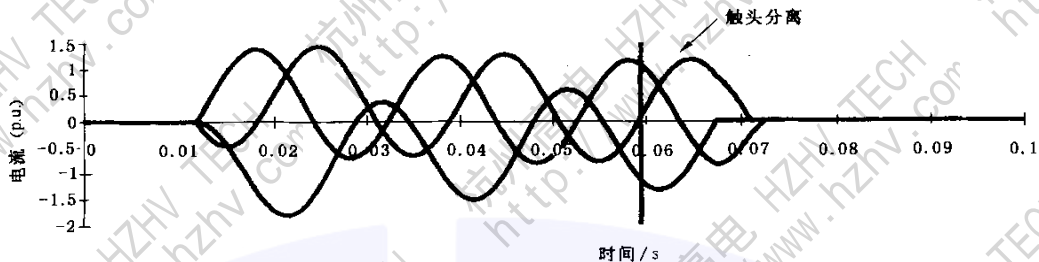
第三次有效开断操作：首开极大半波
并在触头分离时刻具有要求的直流分量



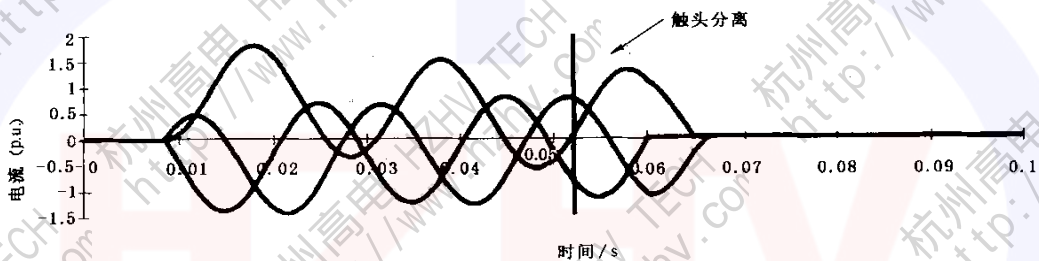
电流起始时刻较第二次有效开断操作
提前 60°；触头分离时刻较第二次
有效开断操作提前 25°

图 31 中性点非固定接地系统中(首开极系数 1.5)三相试验时
三次有效非对称开断操作的图形表示

第一次有效开断操作：首开极大半波
并在触头分离时刻具有要求的直流分量

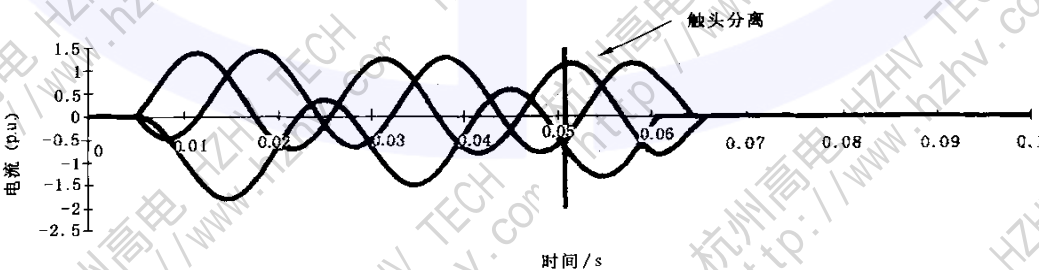


第二次有效开断操作：第二级开断
出现在延长的前半波末且在触头分离时刻具有要求的直流分量



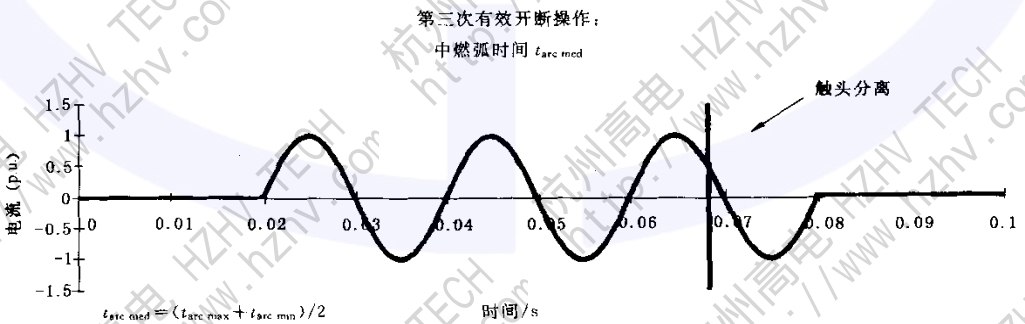
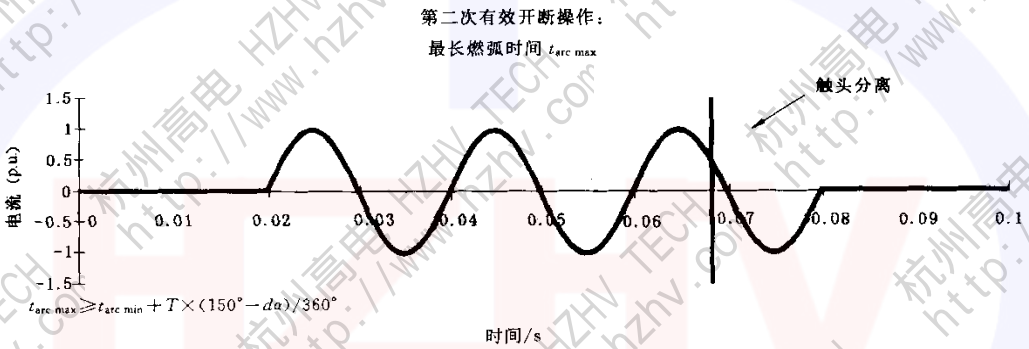
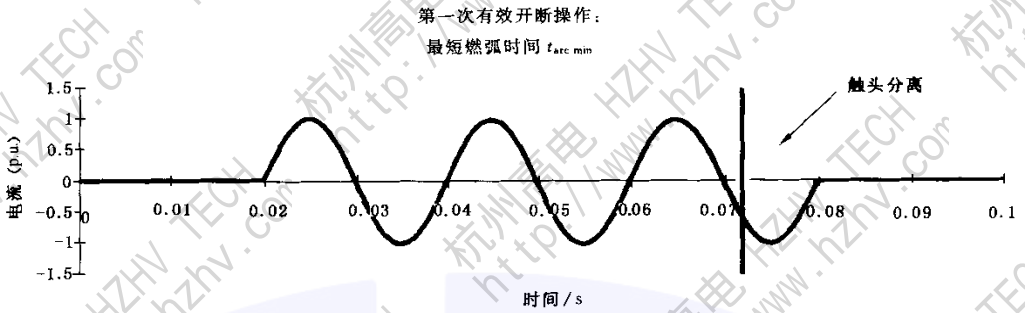
电流起始时刻较第一次有效开断操作
提前 60°；触头分离时刻较第一次
有效开断操作提前 130°

第三次有效开断操作：首开极出现在大半波
末并在触头分离时刻具有要求的直流分量



电流起始时刻较第二次有效开断操作
提前 60°；触头分离时刻较第二次
有效开断操作提前 25°

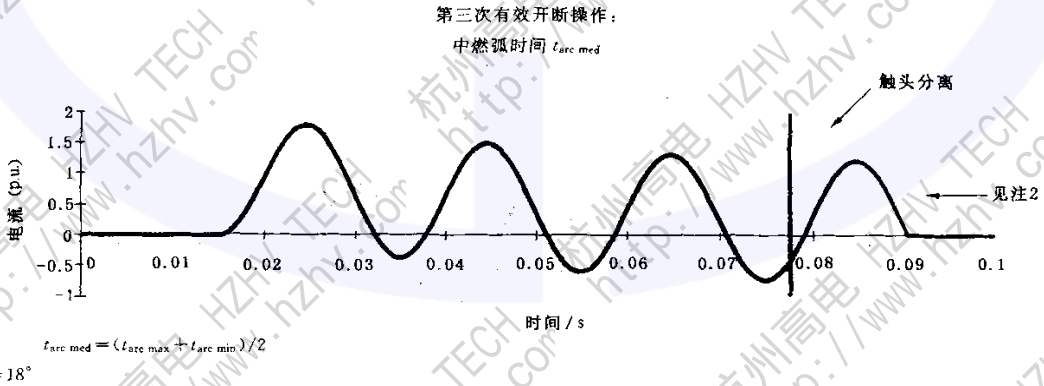
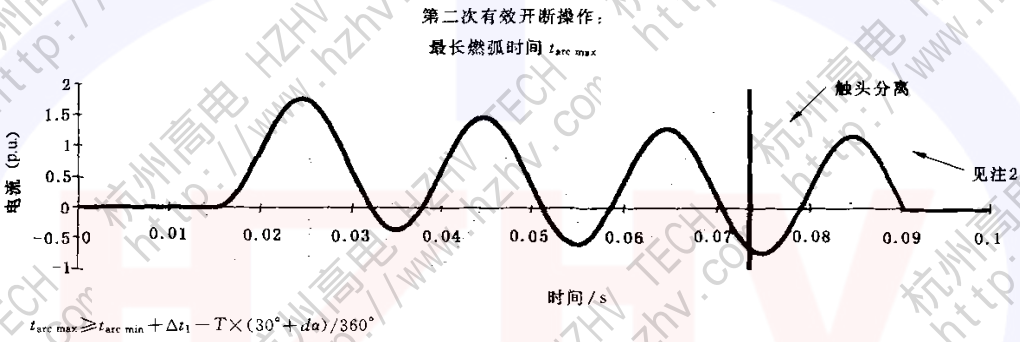
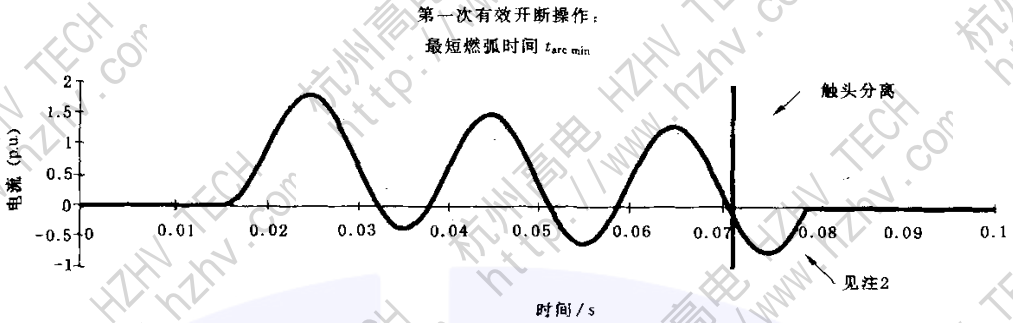
图 32 中性点固定接地系统中(首开极系数 1.3)三相试验时
三次有效非对称开断操作的图形表示



$\alpha = 18^\circ$

注：电流的极性可以相反。

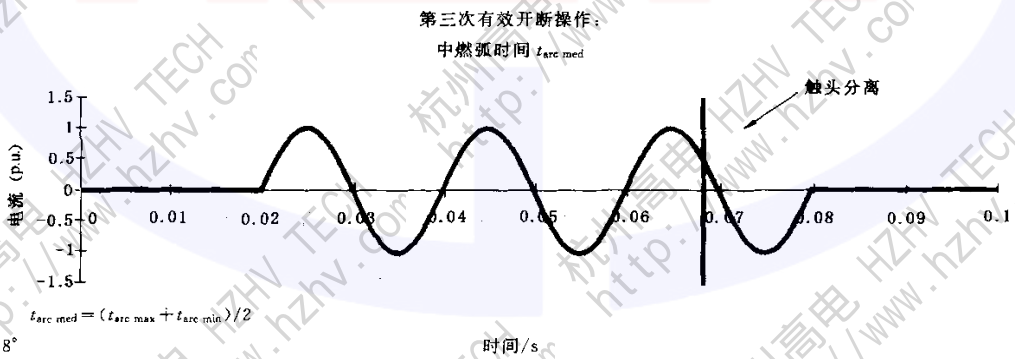
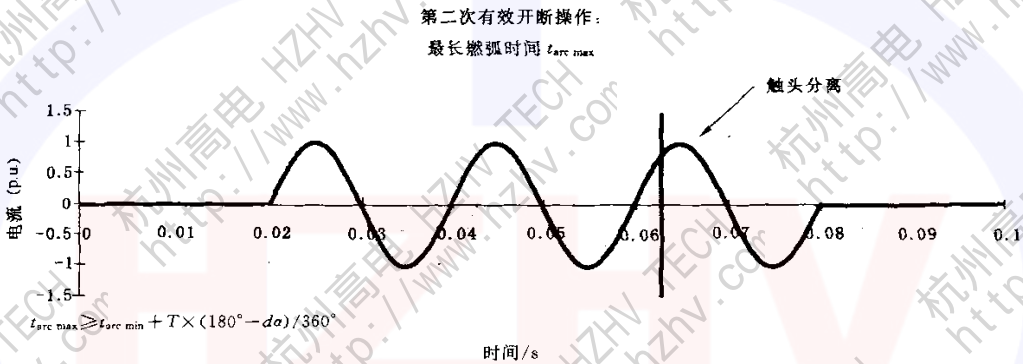
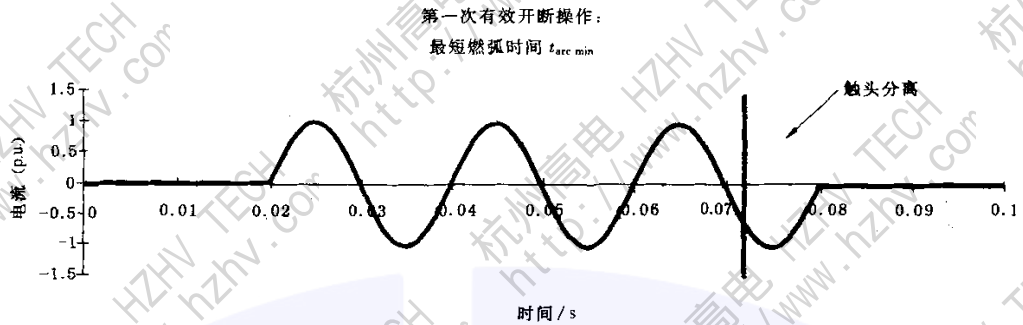
图 33 中性点非固定接地系统中(首开极系数 1.5)单相试验代替三相条件时
三次有效对称开断操作的图形表示



注1：电流的极性可以相反。

注2：最后电流半波的幅值和持续时间必须满足 6.102.10 中规定的判据。

图 34 中性点非固定接地系统中(首开极系数 1.5)单相试验代替三相条件时
三次有效非对称开断操作的图形表示

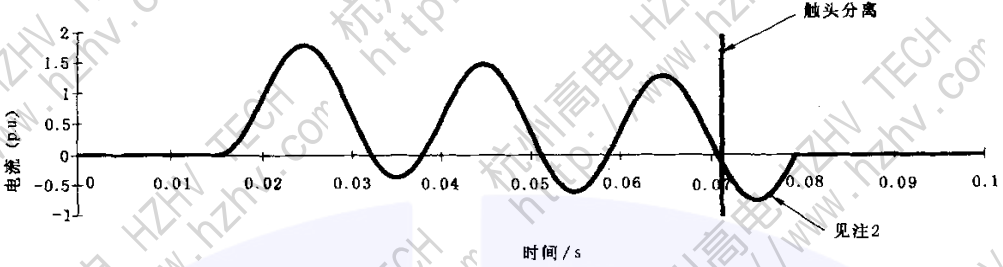


注：电流的极性可以相反。

图 35 中性点固定接地系统中(首开极系数 1.3)单相试验代替三相条件时
三次有效对称开断操作的图形表示

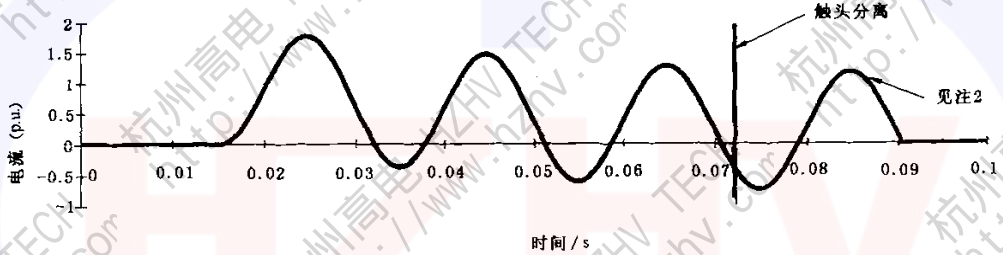
第一次有效开断操作:

最短燃弧时间 $t_{arc\ min}$



第二次有效开断操作:

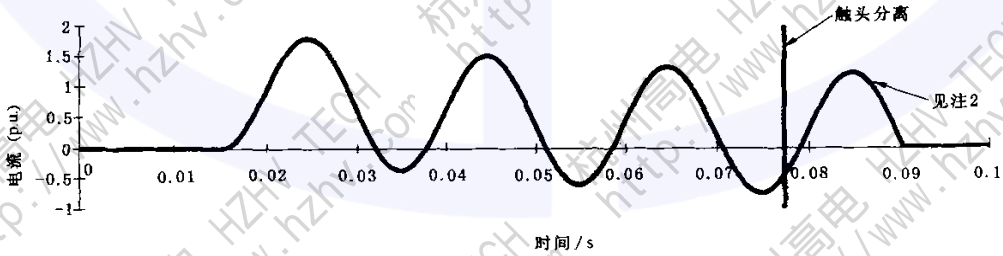
最长燃弧时间 $t_{arc\ max}$



$$t_{arc\ max} = t_{arc\ min} + \Delta t_1 - T \times da / 360^\circ$$

第三次有效开断操作:

中燃弧时间 $t_{arc\ med}$



$$t_{arc\ med} = (t_{arc\ min} + t_{arc\ max}) / 2$$

$$da = 18^\circ$$

注 1: 电流的极性可以相反。

注 2: 最后电流半波的幅值和持续时间必须满足 6.102.10 中规定的判据。

图 36 中性点固定接地系统中(首开极系数 1.3)单相试验代替三相条件时
三次有效非对称开断操作的图形表示

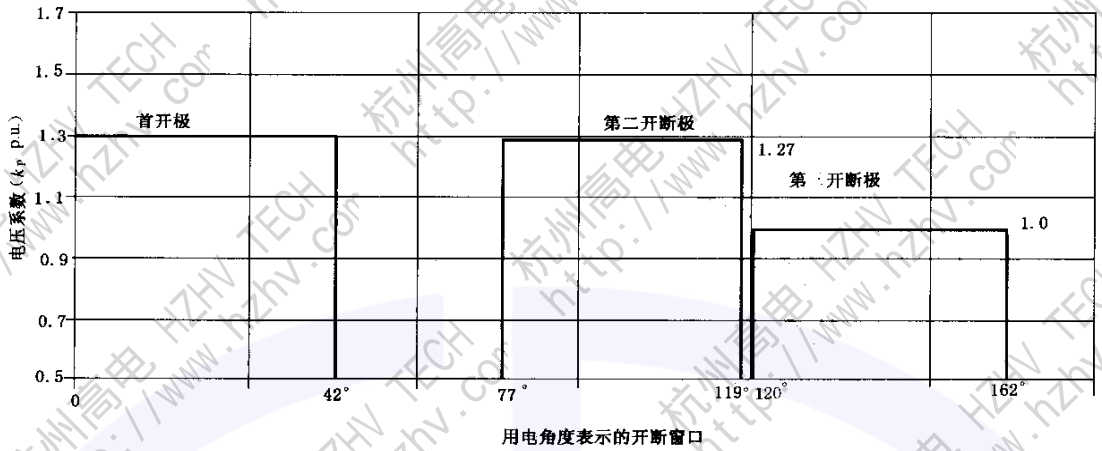


图 37 对于首开极系数为 1.3 的系统, 决定各级 TRV 的开断窗口和电压系数 k_F 的图形表示

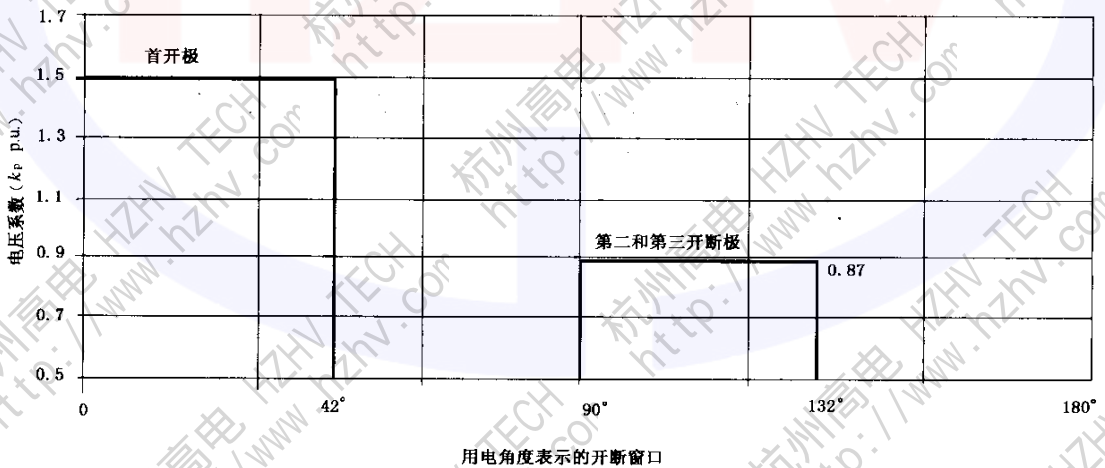


图 38 对于首开极系数为 1.5 的系统, 决定各级 TRV 的开断窗口和电压系数 k_F 的图形表示

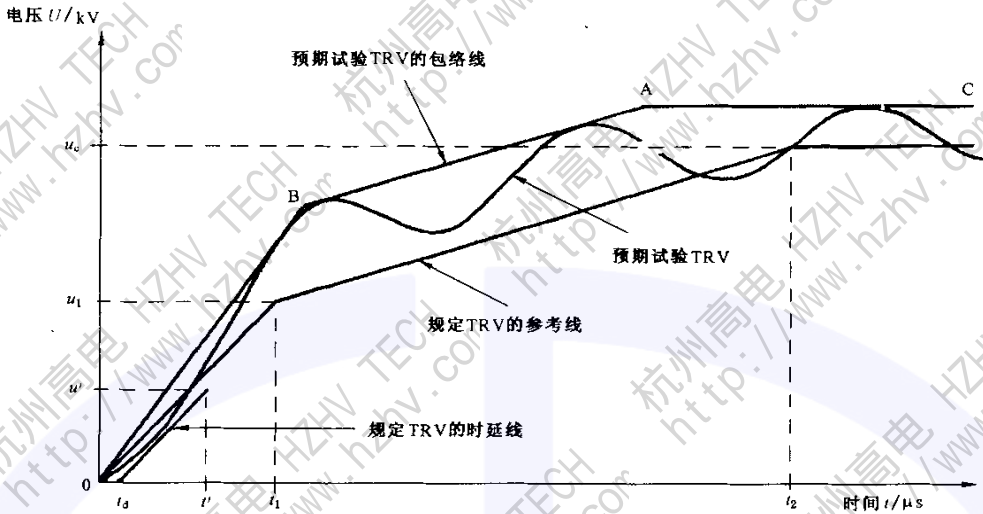


图 39 满足型式试验条件的、用四参数包络线表示的预期试验的 TRV 示例:具有四参数参考线的规定的 TRV 的情况

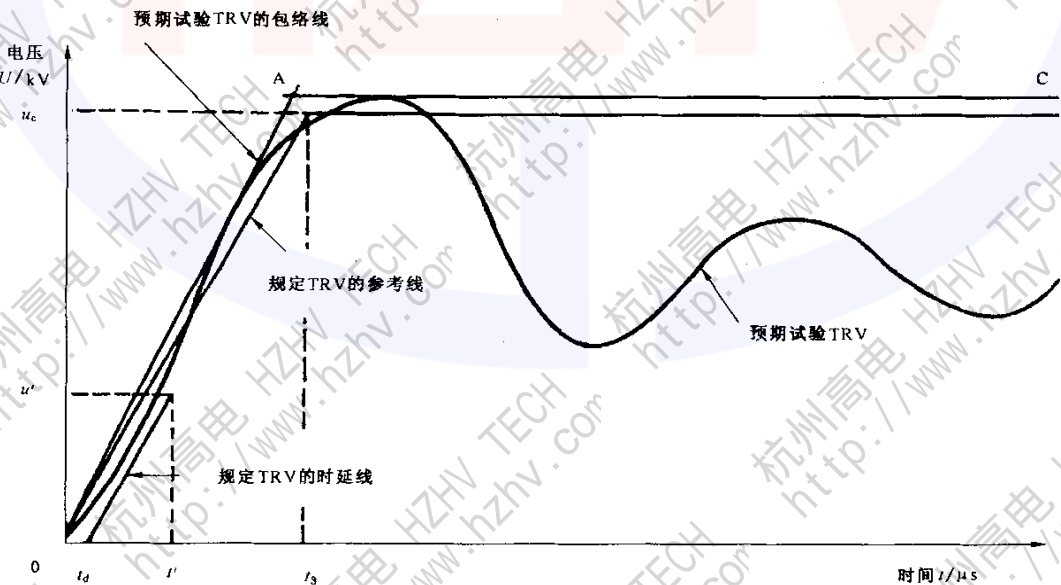


图 40 满足型式试验条件的、用两参数包络线表示的预期试验的 TRV 示例:具有两参数参考线的规定的 TRV 的情况

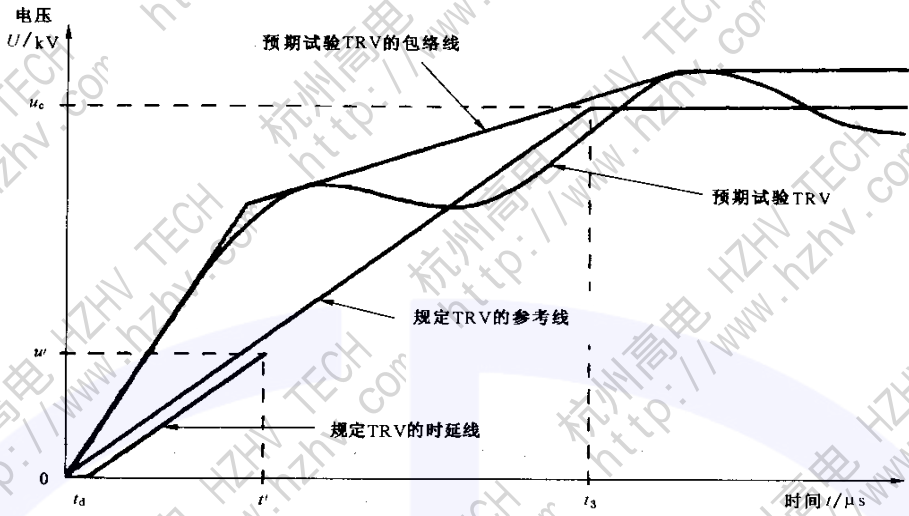


图 41 满足型式试验条件的、用四参数包络线表示的预期试验的 TRV 示例:具有两参数参考线的规定的 TRV 的情况

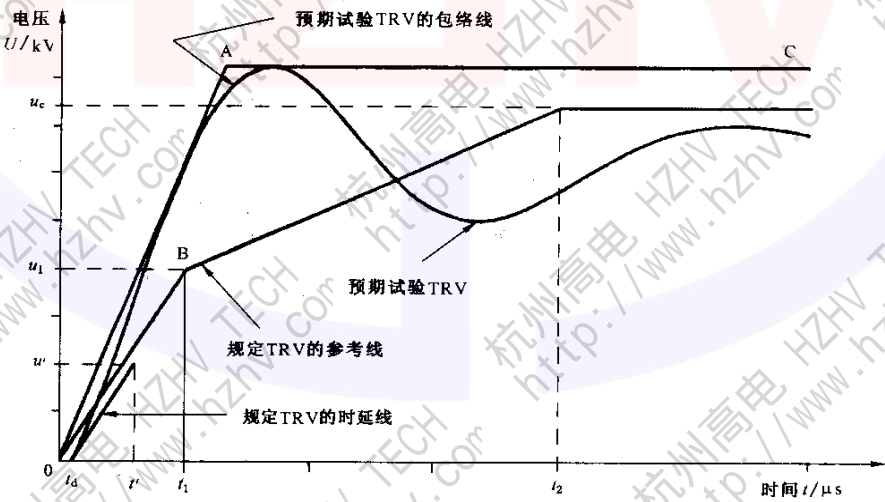


图 42 满足型式试验条件的、用两参数包络线表示的预期试验的 TRV 示例:具有四参数参考线的规定的 TRV 的情况

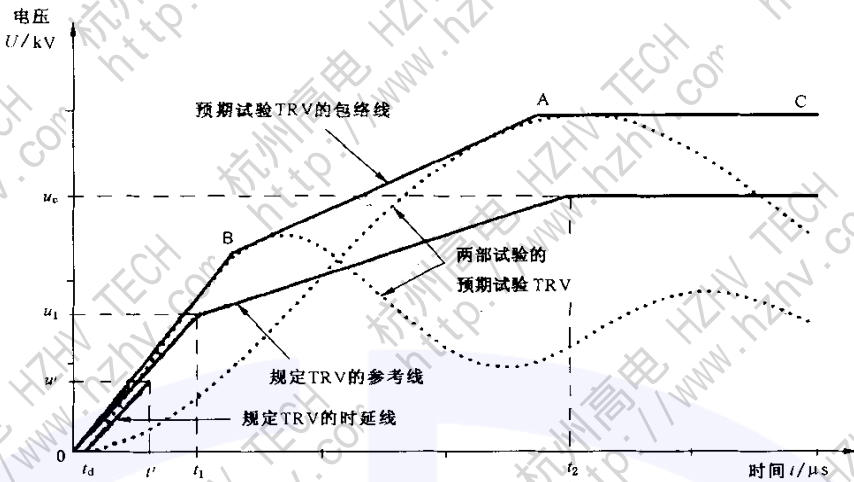


图 43 两部试验中两个预期的 TRV 波形以及它们组合的包络线的例子

I 极——首开极；

OO——所有相中电弧最终熄灭时刻；

G_1G_1 ——OO 后 $\frac{1}{2f}$ 时刻；

G_2G_2 ——OO 后 $\frac{1}{f}$ 时刻；

f ——试验频率；

$\frac{V_1}{2\sqrt{2}}$ ——I 极工频恢复电压的数值；

$\frac{V_2}{2\sqrt{2}}$ ——II 极工频恢复电压的数值；

$\frac{V_3}{2\sqrt{2}}$ ——III 极工频恢复电压的数值。

在 III 极中，电压峰值准确出现在 G_1G_1 时刻。

在这种情况下，在后面的 G_2G_2 处测量。

I 极、II 极和 III 极的工频恢复电压的平均值

$$= \frac{\frac{V_1}{2\sqrt{2}} + \frac{V_2}{2\sqrt{2}} + \frac{V_3}{2\sqrt{2}}}{3}$$

该示例图解了三相系统中三极断路器且其中一个中性点绝缘(见图 25a 或图 25b)时进行试验获得的三个电压，导致首开极的恢复电压暂时提高 50%，如 I 极所示。

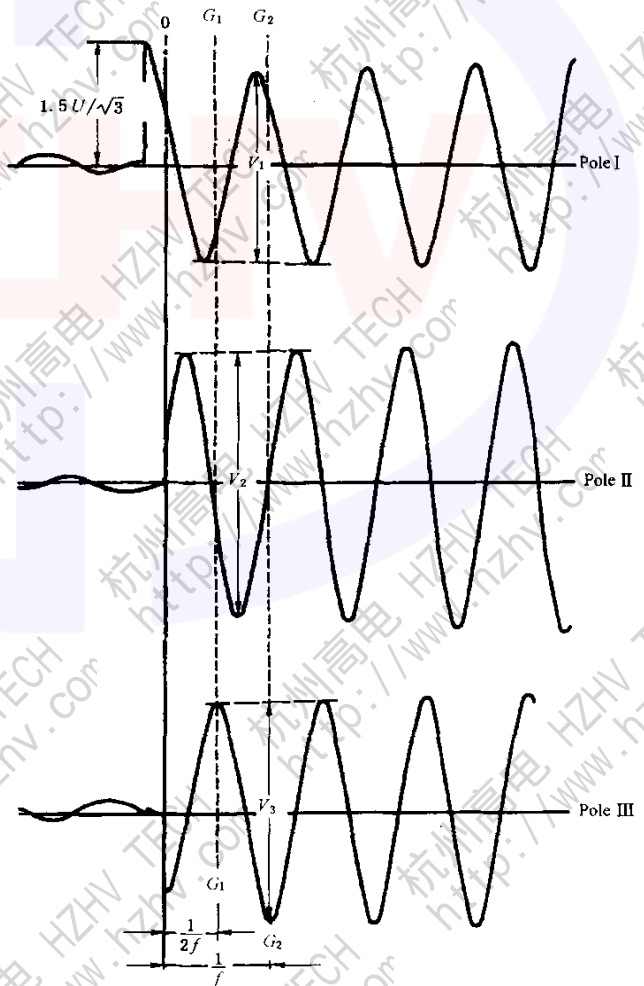


图 44 工频恢复电压的确定

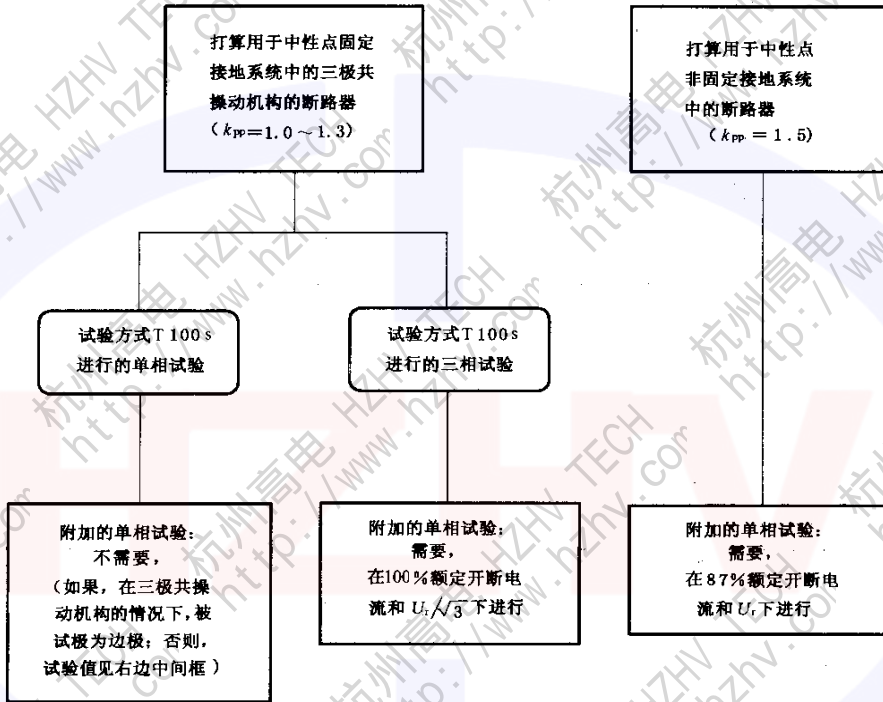
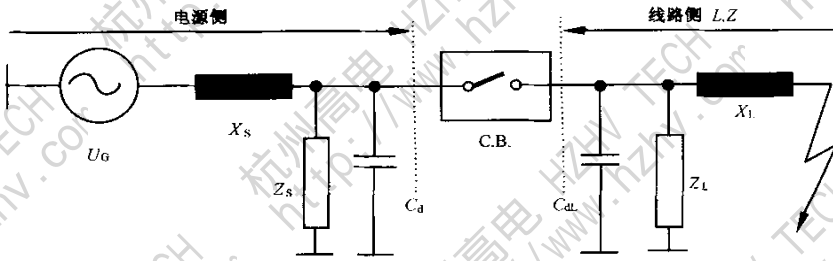


图 45 附加的单相试验的必要性和试验要求



- U_G ——电源电压, 相对地值;
- X_s ——电源侧工频电抗;
- Z_s ——电源侧 TRV 控制元件;
- C_d ——电源侧时延电容;
- C. B.——断路器;
- X_L ——线路侧工频电抗;
- Z_L ——线路侧 TRV 控制元件;
- C_{dL} ——线路侧时延电容;
- Z ——线路波阻抗;
- L ——至故障点的线路长度。

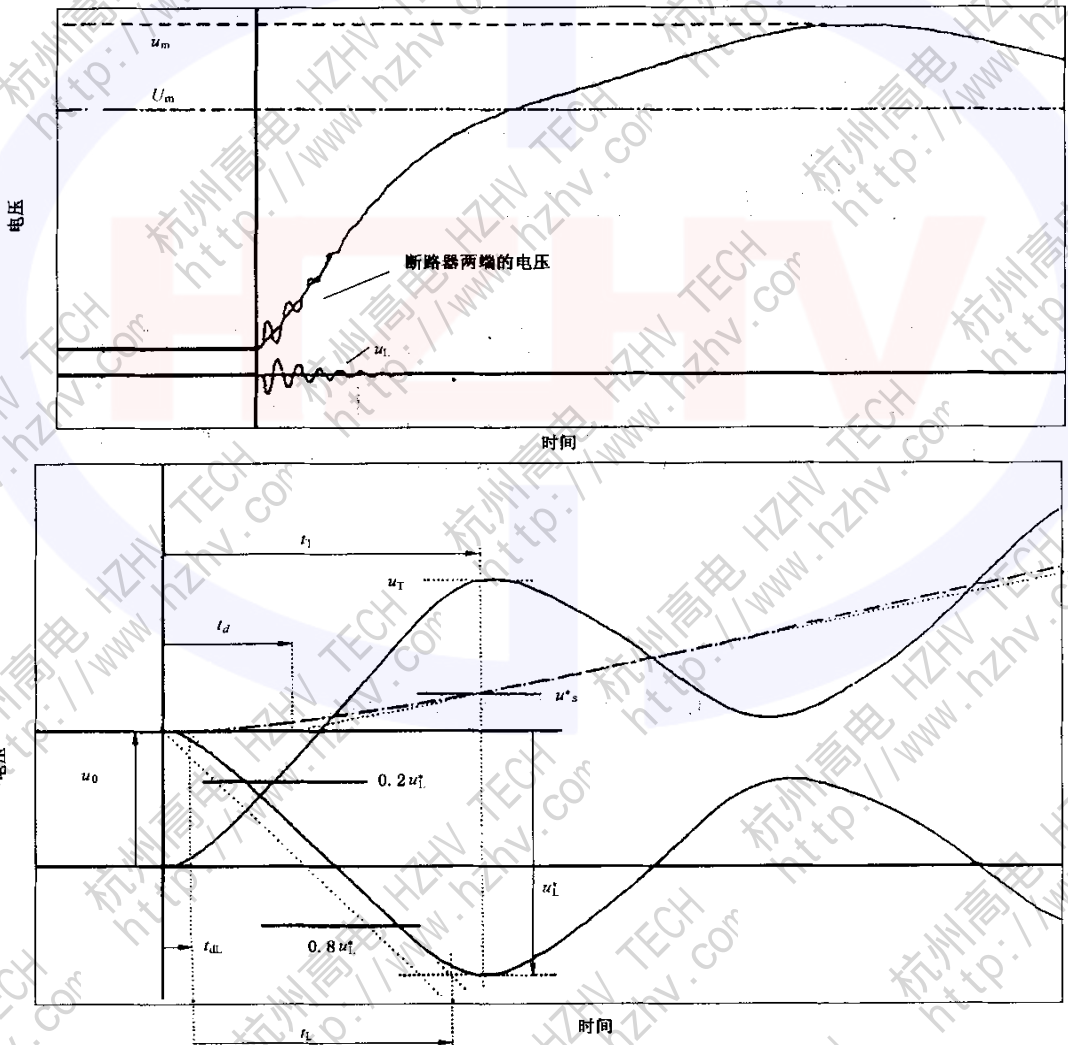
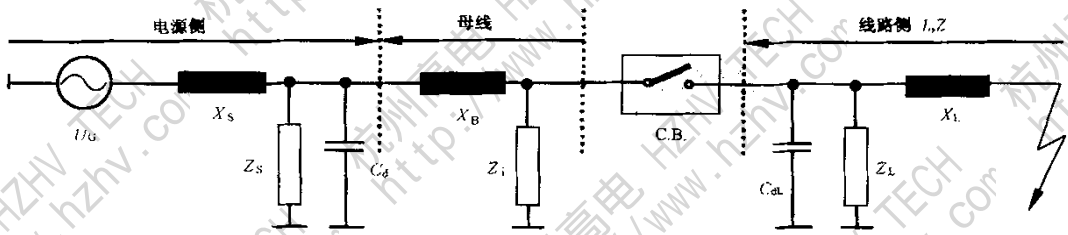


图 46 符合 6.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和
a) 类预期 TRV 回路: 电源侧和线路侧均有时延



- U_G ——电源电压, 相对地值;
- X_S ——电源侧工频电抗;
- Z_S ——电源侧 TRV 控制元件;
- C_d ——电源侧时延电容;
- C. B. ——断路器;
- X_B ——母线工频电抗;
- X_L ——线路侧工频电抗;
- Z_L ——线路侧 TRV 控制元件;
- C_{dL} ——线路侧时延电容;
- Z ——线路波阻抗;
- L ——至故障点的线路长度;
- Z_i ——ITRV 控制元件。

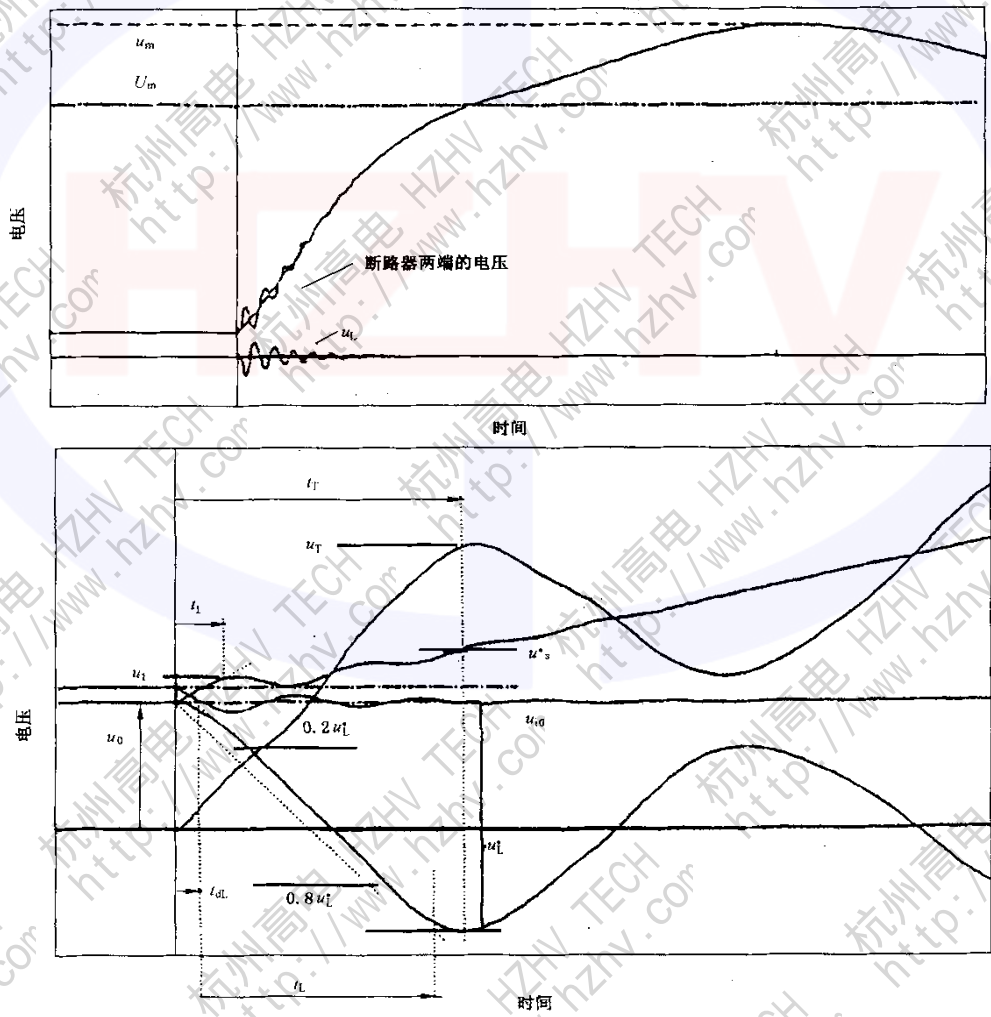


图 47 符合 6.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和
b1) 类预期 TRV 回路: 电源侧有 ITRV 和线路侧有时延

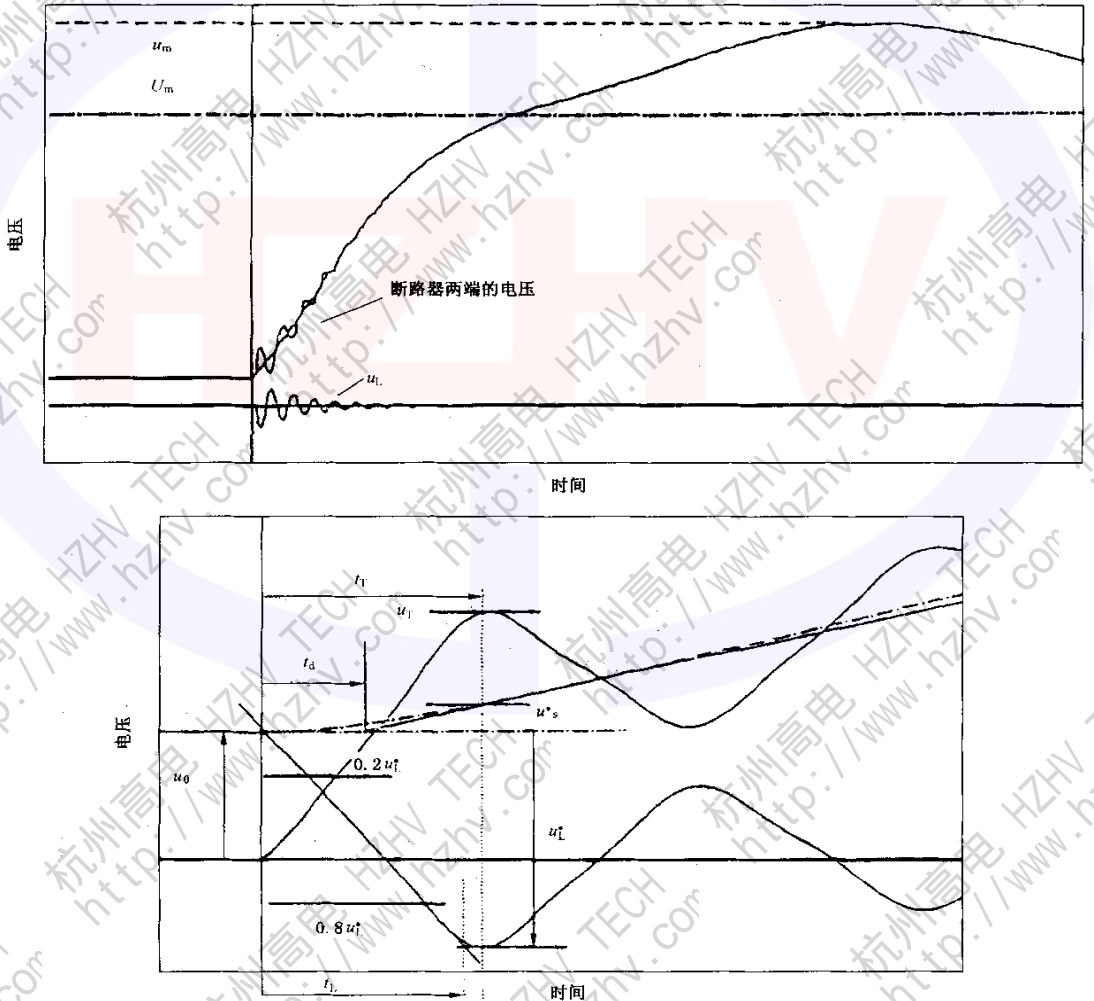
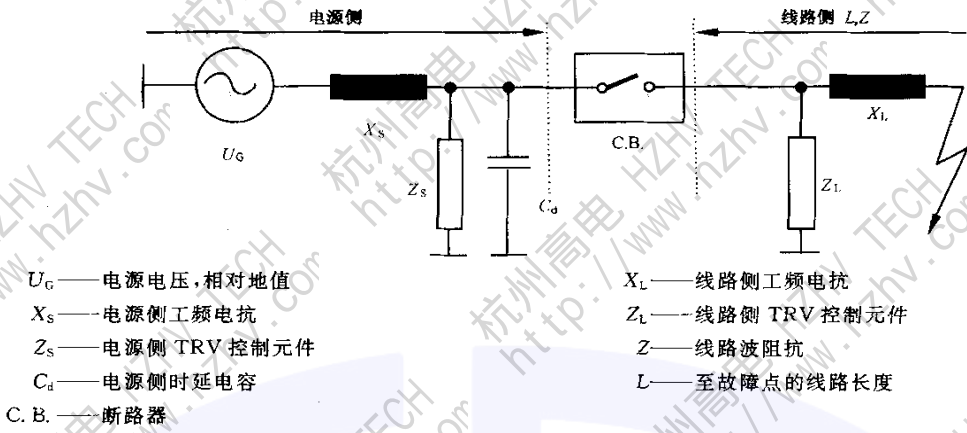


图 48 符合 6.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b2) 类预期 TRV 回路: 电源侧有时延和线路侧无时延

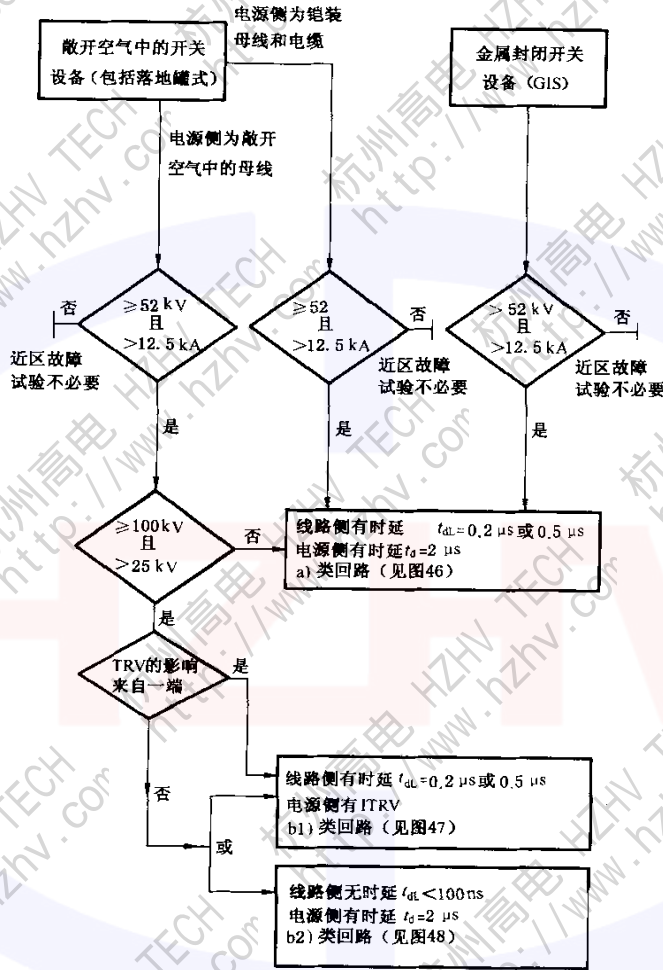


图 49 选择近区故障试验回路的流程图

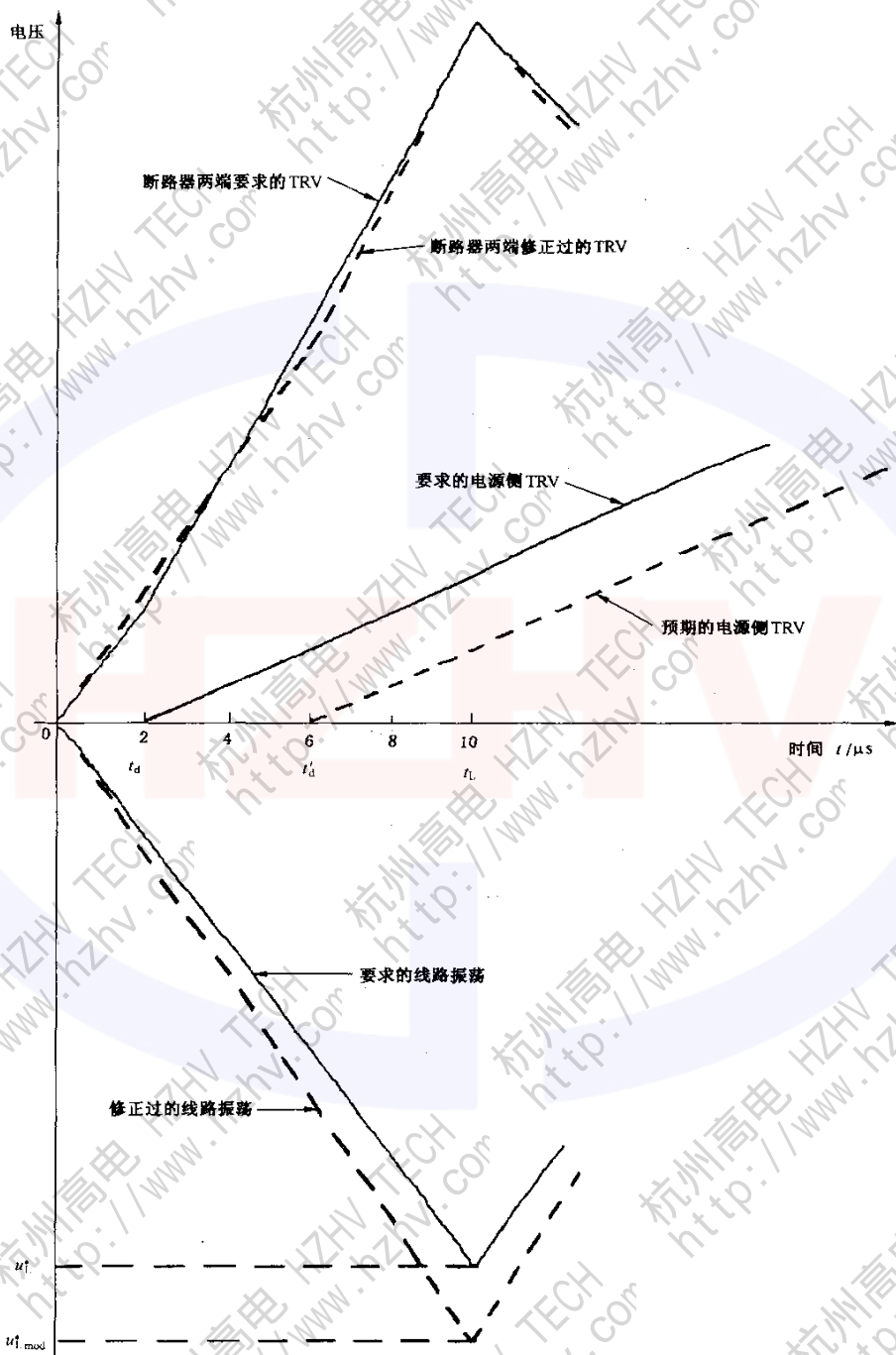
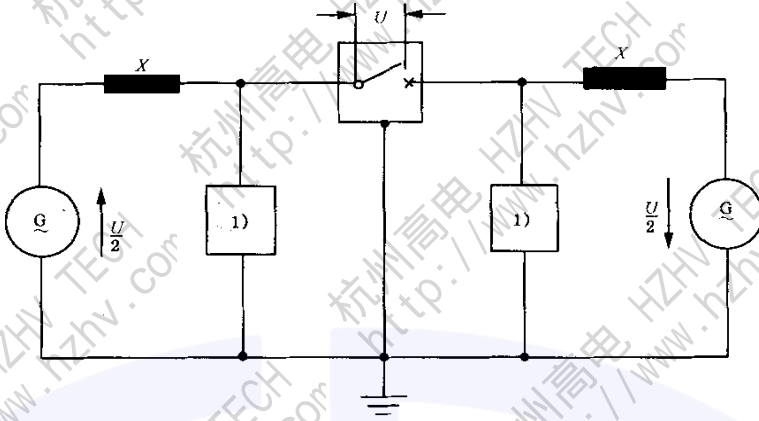
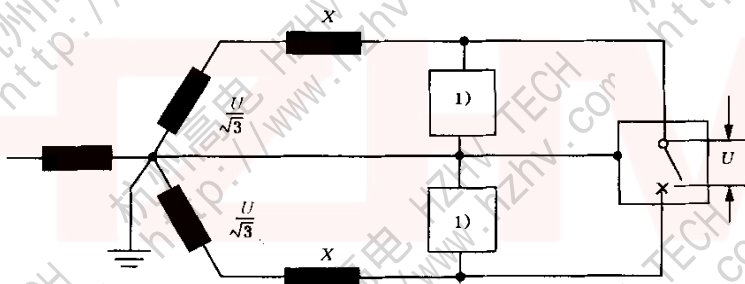


图 50 通过提高线路侧电压的幅值补偿电源侧时延的缺陷



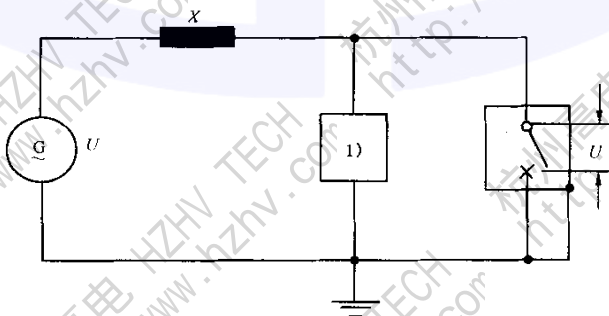
1) 该方框表示电容和电阻的组合。

图 51 单相失步试验的试验回路



1) 该方框表示电容和电阻的组合。

图 52 利用两个相差 120° 的电压进行失步试验的试验回路



1) 该方框表示电容和电阻的组合。

图 53 断路器一端接地时失步试验的试验回路(征得制造厂的同意)

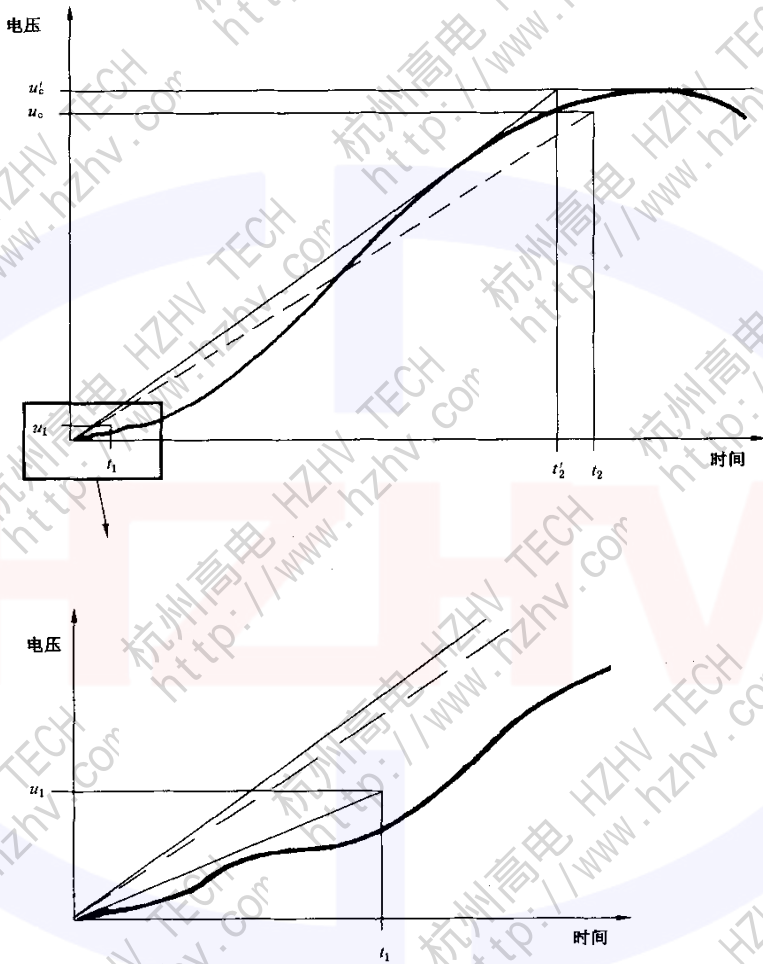


图 54 容性电流开断试验的恢复电压

附录 A

(规范性附录)

根据额定特性对近区故障的瞬态恢复电压的计算

A.1 基本方法

为了确定额定参数和进行试验,决定只考虑中性点接地系统中单相接地的近区故障且其首开极系数等于 1.0,其严酷程度足以覆盖其他情况,系统参数可能比标准值更严酷的特殊情况除外。

简化的单相回路可以用图 46、图 47 和图 48 表示。

在短路时,电源电压 U_G 为:

$$U_G = U_r / \sqrt{3} \quad \text{..... (A.1)}$$

此处, U_r 是断路器的额定电压。

电压 U_G 使电流 I_L 流经由电抗 X_S 、 X_B (如果有)和 X_L 组成的串联回路。

电抗的定义如下:

— X_S 电源侧电抗;

— X_B 电源侧母线电抗;

— X_L 线路侧电抗。

相应的电感为:

$$L_S = X_S / \omega \quad \text{..... (A.2a)}$$

$$L_B = X_B / \omega \quad \text{..... (A.2b)}$$

$$L_L = X_L / \omega \quad \text{..... (A.2c)}$$

因为数值较小,不考虑 X_B ,电源侧电压降的有效值为:

$$U_x = I_L \times X_S = U_G \frac{I_L}{I_{sc}} \quad \text{..... (A.3)}$$

式中:

I_{sc} ——额定短路开断电流;

I_L ——近区故障开断电流;

沿线路的电压降的有效值为:

$$U_L = I_L \times X_L = U_G \left(1 - \frac{I_L}{I_{sc}}\right) \quad \text{..... (A.4)}$$

电流开断瞬时,线路电感上感应的电压降为:

$$u_0 = U_L \sqrt{2} = L_L \frac{di}{dt} \quad \text{..... (A.5a)}$$

对称电流时:

$$u_0 = \omega \times L_L \times I_L \sqrt{2} \quad \text{..... (A.5b)}$$

该电压降经过在断路器和故障点之间的沿线路的一系列行波来回反射,然后降到零,在线路上产生了衰减的锯齿形振荡形式的瞬态电压。

注:实际上,由于断路器端子上有集中参数电容(电压互感器、电容互感器等的电容)的存在而产生时延,从而使锯齿波在一定程度上畸变,振荡波顶部轻微变圆。

电流开断瞬时,电源侧电抗上感应的电压降为:

$$u_x = U_x \sqrt{2} = L_S \frac{di}{dt} \quad \text{..... (A.6a)}$$

对称电流时:

$$u_x = \omega \times L_s \times I_L \sqrt{2} \dots\dots\dots (A. 6b)$$

该电压经过一系列振荡后衰减到零。它叠加在电源电压上共同形成断路器电源侧的电压 u 。电流开断瞬时,总的感应电压的峰值为:

$$U_m = u_0 + u_x = (L_L + L_S) \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (A. 7a)$$

对称电流时:

$$U_m = \omega(L_L + L_S) I_L \sqrt{2} = U_G \sqrt{2} = U_r \sqrt{2} / \sqrt{3} \dots\dots\dots (A. 7b)$$

断路器电源侧端子上的电压是电源电压和电抗 X_S 上电压降的差。近区故障时出现在断路器两端规定的瞬态恢复电压是图 A. 1 中所示的电源侧瞬态电压 u_s 和线路侧瞬态电压 u_L 之差。

开断瞬间的电压 u_0 和电源电压的峰值 U_m 之比决定于线路侧电抗两端与电源侧电抗两端电压降之比,因此:

$$u_0/U_m = u_0/(u_0 + u_x) = L_L/(L_L + L_S) = 1 - I_L/I_{SC} \dots\dots\dots (A. 8)$$

近区故障电流的标准比值关系如表 A. 1 所示。

表 A. 1 开断瞬间电压和电源侧瞬态恢复电压之比

I_L/I_{SC}	u_0/U_m	u_m/U_m
0.90	0.10	1.36
0.75	0.25	1.30
0.60	0.40	1.24

A. 2 线路侧瞬态电压

线路侧瞬态电压第一个波峰的峰值电压 u_L^* 可以用电压 u_0 乘以峰值系数 k 获得:

$$u_L^* = k u_0 = k L_L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (A. 9)$$

时间 t_L 可用线路侧瞬态电压 u_L 的上升率 L_{90} 及其峰值 u_T 求得:

$$du_L/dt = \Delta t_2 = Z \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (A. 10)$$

然后:

$$t_L = \frac{u_L^*}{du_L/dt} = \frac{u_L^*}{s I_L} = kL_L/Z \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中:

- s ——恢复电压上升率(RRRV)的系数(kV/μs/kA);
- Z ——线路波阻抗;
- f ——额定频率。

额定线路参数 Z, k 和 s 在表 4 中给出(见 4.105)。

注:对给定的近区故障,线路长度的近似值可用下式获得:

$$l = c \times t_L / 2 \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中的 c 为行波传播速度,假定:

$$c = 0.3 \text{ km}/\mu\text{s} \dots\dots\dots (A. 13)$$

A. 3 电源侧瞬态电压

从初始值 u_0 到峰值 u_m 的电源侧瞬态电压过程可以由表 1a、表 1b 和表 1c 导出。这些表中给出的 t_1, t_2, t_3 和 t_d 可以直接引用。表 1a、1b 和 1c 中的电压 u_1 等于电流开断瞬间的总的感应电压 U_m ,且不受影响,但 TRV 的峰值电压 u_c 下降到一个较低的值 u_m 。

$$u_m = u_0 + k_{af} u_X \dots\dots\dots (A. 14)$$

所以

$$u_m / U_m = (u_0 + k_{af} u_X) / U_m \dots\dots\dots (A. 15a)$$

使用(A. 8)式后:

$$u_m / U_m = 1 + (k_{af} - 1) I_L / I_{SC} \dots\dots\dots (A. 15b)$$

如表 A.1 中给出的。

电源侧 TRV 的上升率 $(du/dt)_{SLF}$ 与端子故障 T100 时上升率 $(du/dt)_{TF}$ 的标准值相比较低。对于四参数波形时,其数值为:

$$(du/dt)_{SLF} = (U_m - u_0) / t_1 = (du/dt)_{TF} \times I_L / I_{SC} \dots\dots\dots (A. 16)$$

正如一般情况,在时间 t_2 (或 t_3) 之前,只要线路上振荡电压已经降到零,则电源侧瞬态恢复电压峰值 u_m 就是断路器两端的瞬态恢复电压的峰值。

瞬态恢复电压最重要的部分是经过时间 t_T 后线路侧瞬态恢复电压上升到的第一个峰值 u_L^* 。

——线路侧有时延(见图 46 和图 47): $t_T = 2t_{dL} + t_L \dots\dots\dots (A. 17a)$

——线路侧有时延(见图 48): $t_T = 2t_{dL} + t_L \dots\dots\dots (A. 17b)$

注:与通过包络线确定瞬态恢复电压的一般程序相反,为了估计线路侧电压到达第一峰值 u_L^* 瞬间断路器两端的总电压,须使用实际的波形。应用这一修改后的程序是由于包络线方法会在断路器两端总电压峰值稍前的 TRV 上升沿产生一个中间电压,而不是断路器两端总电压的实际峰值,这与试验条件的评估有关。如果瞬态恢复电压波上不叠加两种或两种以上其他电压分量,包络线法完全可以满足。根据目前的情况,估算断路器两端总的瞬态恢复电压时,应考虑到三种不同分量,电源侧 TRV、电源侧 ITRV 和线路侧 TRV。

计算 t_T 时刻电源侧电压 u_s^* ,须区分两种不同情况:

——无 ITRV 要求(见图 A. 1)

$$u_s^* = (du/dt)_{SLF} \times (t_T - t_d) \dots\dots\dots (A. 18)$$

且

$$u_T = u_L^* + u_s^* \dots\dots\dots (A. 19)$$

——有 ITRV 要求(见图 A. 2)

$$u_s^* = u_{i0} + (du/dt)_{SLF} \times (t_T - t_d) \dots\dots\dots (A. 20)$$

且

$$u_T = u_L^* + u_s^* \dots\dots\dots (A. 21)$$

——对于有 ITRV 要求的情况(如表 3 中给出的),下面公式适用:

$$u_i = f_i \times I_L = k_i \times L_B (di/dt) \dots\dots\dots (A. 22)$$

式中:

k_i ——1.4(峰值系数);

f_i ——表 3 中的乘数。

那么,母线的电压降为:

$$u_{i0} = u_i / k_i \dots\dots\dots (A. 23)$$

且母线的电感为:

$$L_B = u_{i0} / (di/dt) \dots\dots\dots (A. 24)$$

A. 4 计算示例

以试验回路(见 6. 109. 3)的三个基本类型为例进行计算,结果在 A. 4. 1 到 A. 4. 3 中给出:

——电源侧和线路侧均有时延(A. 4. 1);

——电源侧有 ITRV 和线路侧有时延(A. 4. 2);

——电源侧有时延和线路侧无时延(A. 4. 3)。

A. 4. 1 电源侧和线路侧均有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90} 、 L_{75})

参数名称	公式	试验参数		
		单位	L_{90}	L_{75}
电源侧工频				
额定电压 U_r	...	kV	252	252
额定短路电流 I_{sc}	...	kA	50	50
额定频率 f_r	...	Hz	50	50
电源电压 U_G	A. 1	kV	145.5	145.5
电源侧电抗 X_s	...	Ω	2.91	2.91
电源侧电感 L_s	A. 2a	mH	9.27	9.27
线路侧工频				
规定的线路设置	...	%	90	75
近区故障开断电流 I_L	...	kA	45	37.5
电流开断时 di/dt	...	A/ μ s	20	16.7
线路侧电压 U_L	A. 4	kV	14.6	36.4
线路侧电抗 X_L	...	Ω	0.32	0.97
线路侧电感 L_L	A. 2c	mH	1.0	3.1
线路侧 TRV 参数				
电流开断时电压 u_0	A. 8	kV	20.6	51.5
峰值系数 k	...	p. u.	1.6	1.6
线路侧 TRV 的第一峰值 u_1^*	A. 9	kV	33.0	82.4
时延 t_{dL}	...	μ s	0.5	0.5
线路侧 TRV 的上升率 du_L/dt	A. 10	kV/ μ s	9	7.5
规定的线路波阻抗 Z	...	Ω	450	450
上升时间 t_L	A. 11	μ s	3.66	11.0
电源侧 TRV 参数				
时延 t_d	...	μ s	2	2
额定短路开断电流 I_{sc} 时的电压上升率 $(du/dt)_{TF}$...	kV/ μ s	2	2
近区故障开断电流 I_L 时的电压上升率 $(du/dt)_{SLF}$	A. 16	kV/ μ s	1.8	1.5
电流开断时的电压 u_K	A. 6a	kV	185	154
瞬态峰值电压 u_m	A. 14	kV	280	267
瞬态系数 u_m/U_m	A. 15a	p. u.	1.36	1.3
断路器两端第一峰值				
到达第一峰值的时间 t_T	A. 17	μ s	4.66	12.0
t_T 时刻电源侧 TRV 的电压增量 u_S^*	A. 18	kV	4.8	15.0
第一峰值电压 u_T	A. 19	kV	37.8	97.4

A. 4.2 电源侧有 ITRV, 线路侧有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90})

参数名称	公式	试验参数	
		单位	L_{90}
电源侧工频		同 A. 4. 1	
线路侧工频		同 A. 4. 1	
线路侧 TRV 参数		同 A. 4. 1	
电源侧 TRV 参数		同 A. 4. 1	
电源侧 ITRV 参数			
时间 t_i	表 3	μs	0.6
乘数 f_i	表 3	kV/kA	0.069
初始峰值电压 u_i	A. 22	kV	3.1
母线电压降 u_{i0}	A. 23	kV	1.94
母线电感 L_B	A. 24	μH	97
断路器两端的第一峰值电压			
到达第一峰值的时间 t_T	A. 17	μs	4.66
时间 t_T 时电源侧的电压增量 u_S	A. 20	kV	6.7
第一峰值电压 u_T	A. 21	kV	39.7

A. 4.3 电源侧有时延, 线路侧无时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90})——简化方法的计算

参数名称	公式	试验参数	
		单位	L_{90}
电源侧工频		同 A. 4. 1	
线路侧工频		同 A. 4. 1	
线路侧 TRV 参数		同 A. 4. 1	
电源侧 TRV 参数		同 A. 4. 1	
断路器两端的第一峰值电压			
到达第一峰值的时间 t_T	A. 17	μs	3.66
时间 t_T 时电源侧的电压增量 u_S	A. 18	kV	3
第一峰值电压 u_T	A. 19	kV	36

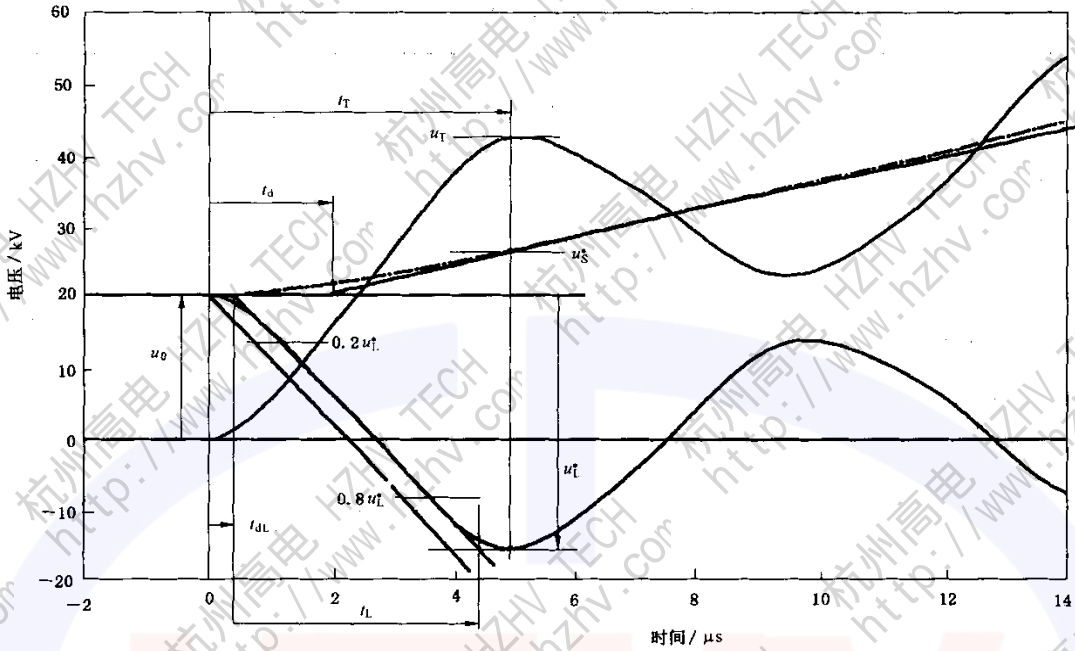


图 A.1 线路侧和电源侧 TRV 参数的典型图示——线路侧和电源侧均有时延

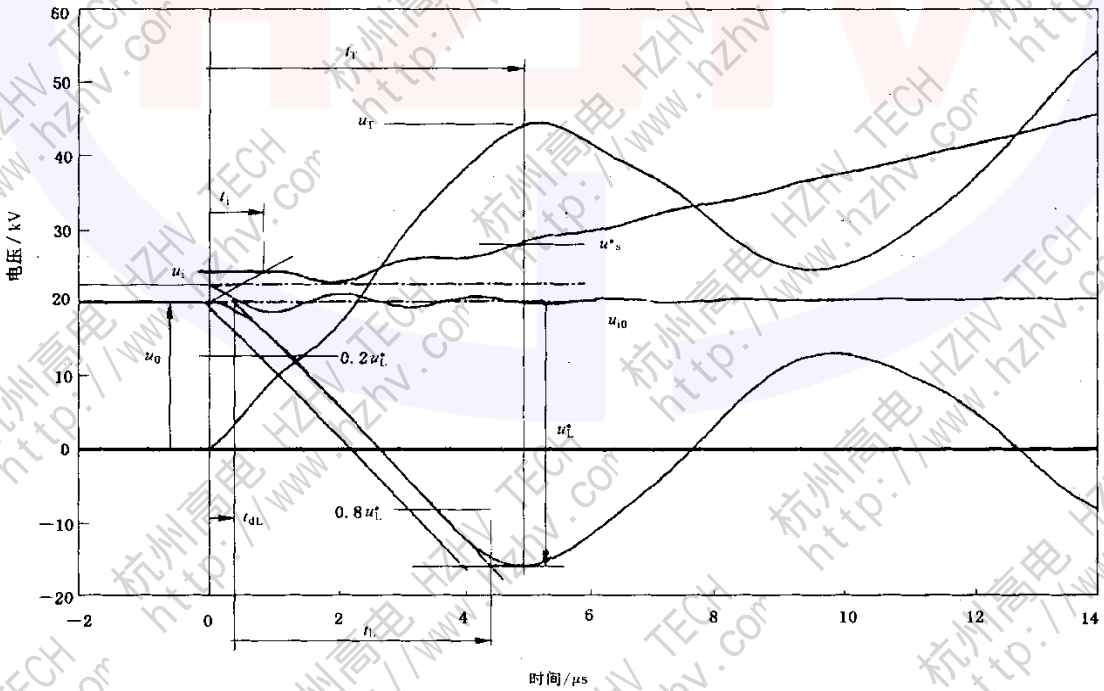


图 A.2 线路侧和电源侧 TRV 参数的典型图示——线路侧和电源侧均有时延,电源侧有 ITRV

附录 B
(规范性附录)

型式试验中试验参数的公差

在型式试验中,通常应区分下述类型的公差:

- 直接决定试品承受应力的试验参数的公差;
- 与试品在试验前后的状态及性能相关的公差;
- 试验条件的公差;
- 与使用的测量设备参数相关的公差。

在后面的表 B.1 中,仅考虑试验参数的公差。

公差定义为在本标准规定的试验值的范围,测量到的试验值应在该范围内,本次试验方有效。在某些情况(见 6.105.5 和表 15)下,即使测量到的数值落在公差以外,试验仍然可能有效。

在此,不考虑因测量不确定度所引起的测量到的试验值与真实试验值的任何偏差。

型式试验中,应用试验参数公差的基本规则如下:

- a) 在任何情况下,试验站的目标是标准规定的试验值;
- b) 试验站应观测规定的试验参数的公差。仅当制造厂同意时,才允许断路器承受的应力超过这些公差的较高值。试品承受较低的应力会导致试验无效;
- c) 当本标准或其他适用的标准没有给出试验参数的公差时,型式试验应在不比规定值欠严的数值下进行。其上限应力值应征得制造厂的同意。
- d) 若只给出某试验参数一侧的限值,则认为另一侧限值应为尽可能地接近标准的规定值。

表 B.1 型式试验时试验参数的公差

条款号	试验名称	试验参数	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	引用标准
6.2	绝缘试验				
6.2.6.1 和 6.2.7.1	工频电压试验	试验电压(有效值)	额定短时工频耐受电压	±1%	GB/T 11022 GB/T 16927.1
		频率		45 Hz~65 Hz	
		波形	峰值/有效值= $\sqrt{2}$	±5%	
6.2.6.2 和 6.2.7.3	雷电冲击电压试验	峰值	额定雷电冲击耐受电压	±3%	GB/T 16927.1
		波前时间	1.2 μs	±30%	
		半峰值时间	50 μs	±20%	
6.2.7.2	操作冲击电压试验	峰值	额定操作冲击耐受电压	±3%	
		波前时间	250 μs	±20%	
		半峰值时间	2 500 μs	±60%	
6.2.11	用标准操作冲击电压进行状态检查的电压试验	操作冲击电压的峰值	见 6.2.11	±3%	
		波前时间	250 μs	±20%	
		半峰值时间	2 500 μs	±60%	

表 B.1 (续)

条款号	试验名称	试验参数	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	引用标准
6.2.11	用 T10 的 TRV 回路进行状态检查的电压试验	操作冲击电压的峰值	见 6.2.11	±3%	
		到达峰值的时间	T10 的标准值(见表 13)	+200%~-10%	
6.3	无线电干扰电压试验	试验电压	见 GB/T 11022 的 6.3	±1%	GB/T 16927.1
6.4	主回路电阻测量	直流试验电流 I_{DC}		$50 A \leq I_{DC} \leq$ 额定电流	GB/T 11022
6.5	温升试验	周围空气速度		≤0.5 m/s	GB/T 11022
		试验电流频率	额定频率	+2%~-5%	
		试验电流	额定电流	+2%~0%这些限值仅在试验期间的最后两个小时保持。	
		周围空气温度 T		+10℃ < T < 40℃	
6.6	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	试验频率	额定频率	±10%	GB/T 11022
		峰值电流(在一个边相)	额定峰值耐受电流	+5%~0%	
		三相试验电流交流分量的平均值	额定短时耐受电流	±5%	
		任一相试验电流交流分量/平均值	1	±10%	
		短路电流持续时间	额定短路持续时间	见 I^2t 的公差	
		I^2t 的值	额定 I^2t 值	10%~0%	
6.101.3	高低温试验	在试品高度方向周围空气温度的偏差		≤5 K	
		试验前记录的周围空气温度	20℃	±5℃	
		试验过程中周围空气温度的最大值和最小值	根据断路器的温度级别(见 GB/T 11022)	±3℃	
6.101.4	湿度试验	每个循环的最低温度	25℃	±3℃	
		每个循环的最高温度	40℃	±2℃	
6.101.6	端子静拉力试验导则	力	规定于 6.101.6	+10%~0%	
6.102	关合、开断及开合试验的各项规定	应控制的最长燃弧时间	规定的试验值	±0.5 ms	
		应控制的中燃弧时间	规定的试验值	±1 ms	

表 B.1 (续)

条款号	试验名称	试验参数	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	引用标准
6.103	短路关合和开断试验的试验回路	功率因数(平均值)		≤ 0.15	
		任一相的功率因数/平均功率因数		$\pm 25\%$	
		频率	额定频率	± 8	
6.104	短路试验参数				
6.104.1	短路关合试验前的外施电压	外施电压	见 6.104.1	$+10\% \sim 0\%$	
		施加的相电压/平均(三相)电压	1	$\pm 5\%$	
6.104.3	短路开断电流	任一相的交流分量/平均交流分量	1	$\pm 10\%$	
		最后开断极电弧熄灭时预期电流的交流分量	相关试验方式开断电流的规定值	$\geq 90\%$	
6.104.4	短路开断电流的直流分量	T10、T30、T60、T100 s 中的直流分量	对防止控制分闸的断路器	$\leq 20\%$ $\geq 20\%$	
		T100 a 中的直流分量	见 6.104.2	\geq 规定值的 90%	
		T100 a 中的直流分量的平均值	开断电流(见 6.104.2)	\geq 规定值的 100%	
6.104.5	端子故障试验的瞬态恢复电压 (TRV)	TRV 峰值	断路器的额定电压 ≤ 72.5 kV	见表 12	$+10\% \sim 0\%$
			断路器的额定电压 > 72.5 kV	见表 12 和表 13	$+5\% \sim 0\%$
		RTV 上升率	断路器的额定电压 ≤ 72.5 kV	见表 12	$+15\% \sim 0\%*$
			断路器的额定电压 > 72.5 kV	见表 12 和表 13	$+8\% \sim 0\%$
		时延 t_d	见表 12 和表 13	$\pm 20\%$	
6.104.7	工频恢复电压 (RV)	工频恢复电压	根据 6.104.7 的规定值	$\pm 5\%$	
		恢复电压持续时间未任一极 RV 与平均值的偏差/平均值	1	$\pm 20\%$	

表 B.1 (续)

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	引用标准
6.106	基本短路试验方式	T10 的开断电流	额定短路开断电流的 10%	±20%	
		T30 的开断电流	额定短路开断电流的 30%	±20%	
		T60 的开断电流	额定短路开断电流的 60%	±10%	
		T100 的开断电流	额定短路开断电流的 100%	+5%~0%	
		T100s 和 T100a 的短路电流峰值	额定短路关合电流	+10%~0%	
		T10、T30、T60、T100s 开断电流的直流分量	≤20%，例外见 6.104.4	上限 25%	
		T100a 开断电流的直流分量	按照 4.101.2	单个试验直流分量的平均值不小于规定值；单个试验的允差：-10% (仅一次)，+5%	
6.107	临界电流试验	开断电流	见 6.107.2	±20%	
		开断电流的直流分量	≤20%	上限 25%	
6.108	单相和异相接地故障试验	开断电流	见图 45	+5%~0%	
		开断电流的直流分量	≤20%	上限 25%	
		TRV 峰值	断路器的额定电压 ≤72.5 kV	见 6.108.2 及表 12 和表 13	+10%~0%
			断路器的额定电压 >72.5 kV		+5%~0%
6.108	单相和异相接地故障试验	TRV 上升率	断路器的额定电压 ≤72.5 kV	见 6.108.2 及表 12 和表 13	+15%~0%
			断路器的额定电压 >72.5 kV		+8%~0%
6.109	近区故障试验	开断电流直流分量	≤20%	上限 25%	
		开断电流 L_{50}	90% 额定短路开断电流	90%~92%	
		开断电流 L_{75}	75% 额定短路开断电流	71%~79%	
		开断电流 L_{60}	60% 额定短路开断电流	55%~65%	
		波阻抗	450 Ω	±3%	
		线路侧电压峰值	见表 4 和附录 A	+20%~0%	
		线路侧电压上升率		+5%~0%	
时延 t_{at}	0%~-10%				

表 B.1 (续)

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验值	试验公差/试验值的限值	引用标准	
6.110	失步关合和开断试验	功率因数		≤ 0.15		
		开断电流的直流分量	$\leq 20\%$	上限 25%		
		外施电压和工频恢复电压	见 6.110.2 的规定	$\pm 5\%$		
		TRV 峰值	断路器的额定电压 ≤ 72.5 kV	见表 1a	+10%~0%	
			断路器的额定电压 > 72.5 kV	见表 1a、表 1b、表 1c	+5%~0%	
		TRV 上升率	断路器的额定电压 ≤ 72.5 kV	见表 1a	+15%~0%	
			断路器的额定电压 > 72.5 kV	见表 1a、表 1b、表 1c	+8%~0%	
		试验方式 OP2 的合闸时刻	在一极外施电压的峰值处	$\pm 15^\circ$		
		试验方式 OP1 的开断电流	额定失步开断电流的 30%	规定值的 $\pm 20\%$		
		试验方式 OP2 的开断电流	额定失步开断电流的 100%	+10%~0%		
6.111	容性电流开合试验	工频电压变化	对试验方式: LC1, CC1, BC1	$\leq 2\%$		
			对试验方式: LC2, CC2, BC2	$\leq 5\%$		
		电弧熄灭后 300 ms 工频恢复电压衰减有效值/基波分量有效值		$\leq 10\%$		
		试验电压	见 6.111.7 的规定	+3%~0%		
		恢复电压的频率	额定频率	$\pm 2\%$		
		开断电流/额定容性开断电流	LC1, CC1, BC1	10%~40%		
			LC2, CC2, BC2	$\geq 100\%$		
		涌流的阻尼系数	断路器额定电压 < 72.5 kV	≥ 0.75		
			断路器额定电压 ≥ 72.5 kV	≥ 0.85		
		背对背电流开合: 关合涌流的峰值	BC2	$\pm 10\%$		
背对背电流开合: 关合涌流的频率	BC2	$\pm 10\%$				
a 对于 T10 和 T30, 如果超过上限, 则应尽可能使用最小的值。						
注: 近区故障试验的优先参数是线路侧电压的波形, 而不是线路的波阻抗。						

附录 C

(规范性附录)

型式试验的记录及报告

C.1 应记录的资料及结果

型式试验报告中应包括所有相关的型式试验资料及结果。

应记录所有符合 C.2 的短路操作的示波图并将其包括在型式试验报告中。

型式试验报告应包括和试验用测量系统不确定度相关的叙述。该叙述应参考试验室内部程序,通过该程序可以建立测量不确定度的溯源性。

型式试验报告应包括每一试验方式中断路器性能及每一试验方式后(在检查范围内)和一系列试验方式结束时断路器状态的叙述。叙述应包括下列内容:

- a) 断路器的状态,给出所做的所有替换或调整的细节以及触头、灭弧室和油(包括油量的减少)的状态。电弧屏蔽、外壳、绝缘子及套管损坏情况的描述。
- b) 试验方式中性能的描述,包括油、气体或火焰的喷出。

C.2 型式试验报告应包括的内容

C.2.1 概述

- a) 试验日期;
- b) 参考的报告编号;
- c) 试验项目数;
- d) 示波图张数。

C.2.2 受试电器

GB/T 11022—1999 的 6.1.3 适用。

C.2.3 断路器的额定参数,包括其操动机构和辅助设备

制造厂应给出本标准第 4 章中规定的额定参数值及最短分闸时间。

C.2.4 试验条件(对试验的每个系列)

- a) 极数;
- b) 功率因数;
- c) 频率, Hz;
- d) 发电机中性点(接地或绝缘);
- e) 变压器中性点(接地或绝缘);
- f) 短路点或负载侧中性点(接地或绝缘);
- g) 包括接地的试验回路图;
- h) 断路器接入试验回路的细节(例如,方向);
- i) 绝缘和/或灭弧用流体的压力;
- j) 操作用流体的压力。

C.2.5 短路关合和开断试验

- a) 操作顺序和时间间隔;
- b) 外施电压, kV;
- c) 关合电流(峰值), kA;
- d) 开断电流;

- i) 每相及平均的交流分量有效值, kA;
- ii) 直流分量的百分数;
- e) 工频恢复电压, kV;
- f) 预期瞬态恢复电压:
 - i) 按照 6.104.5.1 的 a) 的要求; 可引用电压和时间;
 - ii) 按照 6.104.5.1 的 b) 的要求;
- g) 燃弧时间, ms;
- h) 分闸时间, ms;
- i) 开断时间, ms;

应给出适用的直到主电弧熄灭瞬间的开断时间和直到阻性电流开断瞬间的开断时间。

- j) 合闸时间, ms;
- k) 关合时间, ms;
- l) 试验中断路器的性能, 适用时, 包括喷出的火焰、气体、油或发生的 NSDD 等;
- m) 试验后的状态;
- n) 试验期间零部件的更新和修复。

C.2.6 短时耐受电流试验

- a) 电流
 - i) 有效值, kA;
 - ii) 峰值, kA;
- b) 持续时间, s;
- c) 试验期间断路器的性能;
- d) 试验后的状态;
- e) 试验前后主回路的电阻, $\mu\Omega$ 。

C.2.7 空载操作

- a) 关合和开断试验前(见 6.102.6);
- b) 关合和开断试验后(见 6.102.9.3)。

C.2.8 失步关合和开断试验

- a) 每相的开断电流, kA;
- b) 每相的关合电流, kA;
- c) 每相的电压, kV;
- d) 预期瞬态恢复电压;
- e) 燃弧时间, ms;
- f) 分闸时间, ms;
- g) 开断时间, ms;
- h) 合闸时间, ms;
- i) 关合时间, ms;
- j) 阻性电流持续时间(如果适用), ms;
- k) 试验中断路器的状态, 适用时, 包括喷出的火焰、气体、油或发生的 NSDD 等;
- l) 试验后的状态。

C.2.9 容性电流开合试验

- a) 试验电压, kV;
- b) 每相的开断电流, A;
- c) 每相的关合电流, kA;

- d) 相对地间电压的峰值, kV:
 - i) 断路器的电源侧;
 - ii) 断路器的负载侧。
- e) 重击穿(如果有)的次数;
- f) 选相整定的详细情况, 燃弧时间, ms;
- g) 合闸时间, ms;
- h) 关合时间, ms;
- i) 试验中断路器的状态;
- j) 试验后的状态。

C. 2. 10 示波图和其他记录

应记录整个操作的示波图。应记录下述参量。其中某些量可能需要单独记录, 可能需要多张具有不同时间刻度的示波图。

- a) 施加电压;
- b) 每极中的电流;
- c) 恢复电压(充电电流试验时断路器电源侧及负载侧的电压);
- d) 合闸线圈中的电流;
- e) 分闸线圈中的电流;
- f) 适用于要求准确度的恰当的幅值和时间刻度;
- g) 机械行程特性(适用时)。

不能严格满足本标准要求的全部情况及所有偏差应在试验报告的开始部分明确指出。

附录 D (规范性附录)

短路功率因数的确定

没有准确的方法来确定短路功率因数,但是,对于本标准,采用下述更合适的两种方法中的任一种方法来确定试验回路每相的短路功率因数,并具有足够的精度。

D.1 方法 1——由直流分量计算

可以根据短路起始时刻和触头分离时刻间的非对称短路电流的直流分量曲线来确定角度 φ (电压向量和电流向量间的夹角),如下所示:

D.1.1 直流分量公式

直流分量的公式为:

$$i_d = I_{do} \times e^{-\frac{t}{\tau}} = I_{do} \times e^{-\frac{t}{L/R}}$$

式中:

- i_d ——任意时刻的直流分量值;
- I_{do} ——直流分量的初始值;
- $\tau=L/R$ ——回路时间常数, s;
- t —— i_d 和 I_{do} 之间的时间间隔, s;
- e ——自然对数底数。

由上述公式按如下方法可以确定时间常数 L/R :

- a) 测量短路瞬间 I_{do} 的数值及在触头分离前的任何时刻 t 的 i_d 值;
- b) 用 i_d 除以 I_{do} 确定 $e^{-Rt/L}$ 的值;

由 e^{-x} 的值确定与 i_d/I_{do} 对应的 $-x$;
 x 代表 Rt/L , 由此可以确定 L/R 。

D.1.2 相角 φ

由下式可以确定相角 φ :

$$\varphi = \arctan \omega L/R$$

其中 ω 为 2π 乘以实际频率。

D.2 方法 2——由控制发电机确定

如果控制发电机和试验发电机装在同一个轴上时,示波图上控制发电机的电压首先和试验发电机的电压进行相位比较,然后和试验发电机的电流进行相位比较。

控制发电机电压和试验发电机电压间的相角和控制发电机电压和试验发电机电流间的相角之差即为试验发电机电压和电流间的相角,由此可以确定功率因数。

附 录 E

(规范性附录)

回路预期瞬态恢复电压包络线的画法及特征参数的确定方法

E.1 简介

瞬态恢复电压可能具有不同的波形,振荡的和非振荡的都有。

可以通过由三条连续线段构成的包络线来定义波形;当波形接近单频阻尼振荡时,包络线变为两个连续的线段。所有情况下,包络线均应尽可能准确地反映瞬态恢复电压的实际波形。这里所述的方法在大多数实际情况下可以足够近似地达到这一目的。

注:然而,可能出现这样的情况,即建议的方法得出的参数比由瞬态恢复电压曲线证明是正确的参数严酷得多。这种情况应作为例外对待,因此,它应成为制造厂、用户和试验室间协议的主题。

E.2 画包络线

用下述方法画预期瞬态恢复电压曲线包络线的构成线段:

a) 第一条线段通过原点 O 和曲线相切,但不和曲线相交(见图 E.1 到 E.3 的线段 OB 和图 E.4 的线段 OA)。

当曲线的初始部分朝左凹进时,切点常常在第一峰值附近(见图 E.1 到 E.2 的线段 OB)。

如果朝右凹进时,如指数曲线,切点在原点附近(见图 E.3 的线段 OB)。

b) 第二条线段在曲线的最高峰值处同曲线水平相切(见图 E.1 到 E.4 的线段 AC)。

c) 第三条线段在前面两个切点之间的一个或多个点同曲线相切,但不和曲线相交。

最后一条线段有三种可能的画法:

1) 画一条线段同曲线切于两点(或可能多于两点)。

在这种情况下,就构成了部分包络线(见图 E.1 的线段 BA)。

这样,就获得四参数包络线 O, B, A, C 。

2) 可能画出多条同曲线切于两点(或多于两点)但不相交的线段。

在这种情况下,用于包络线的线段与曲线只有一个切点。线段的位置应使得切点两边曲线和包络线之间区域的面积近似相等(见图 E.2 的线段 BA)。

这样,就获得四参数包络线 O, B, A, C 。

3) 画不出一条同曲线切于多于一点但不相交的线段:

这种情况下,应做如下区别:

i) 第一线段的切点远离最高峰值点,这是指数曲线或近似指数曲线的典型情况。

这种情况下,线段与曲线切于一点,使得切点两边曲线和包络线之间区域的面积近似相等,如 E.2 的 c)2)(见图 E.3 的线段 BA)。

这样,就获得四参数包络线 O, B, A, C 。

ii) 第一线段的切点靠近最高峰值点

这是单频阻尼振荡或类似形状的波形的情况。

这种情况下,不画第三线段,采用与起初的两个线段对应的两参数表示(见图 E.4)。

这样,就获得两参数包络线 O, A, C 。

E.3 参数的确定

根据定义,特征参数就是构成包络线各线段交点的坐标。

当包络线由三条线段组成时,交点 A 和 B 的坐标就是图 E.1、E.2 和 E.3 中所表示的四参数 u_1 、

t_1 、 u_c 和 t_2 。

当包络线仅由两条线段组成时,交点 A 的坐标就是图 E.4 中所表示的两参数 u_c 和 t_3 。

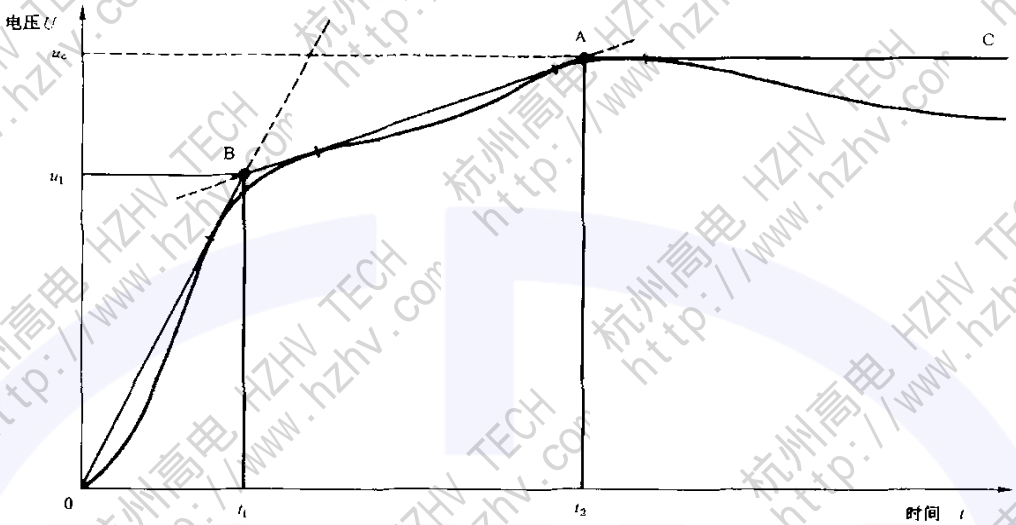


图 E.1 用四参数表示回路的预期瞬态恢复电压——E.2 C) 1) 的情况

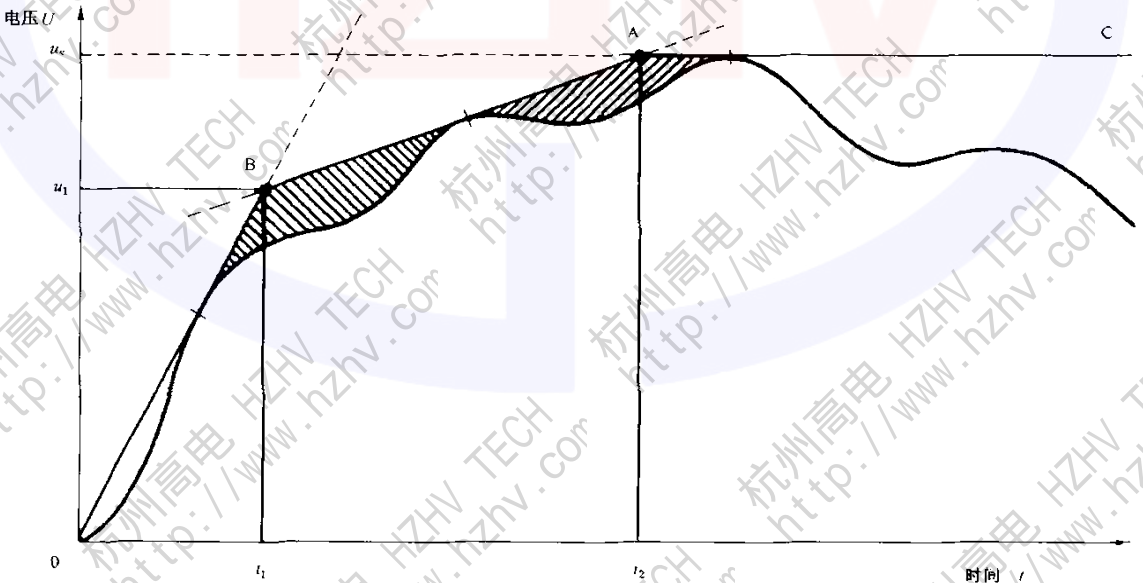


图 E.2 用四参数表示回路的预期瞬态恢复电压——E.2 C) 2) 的情况

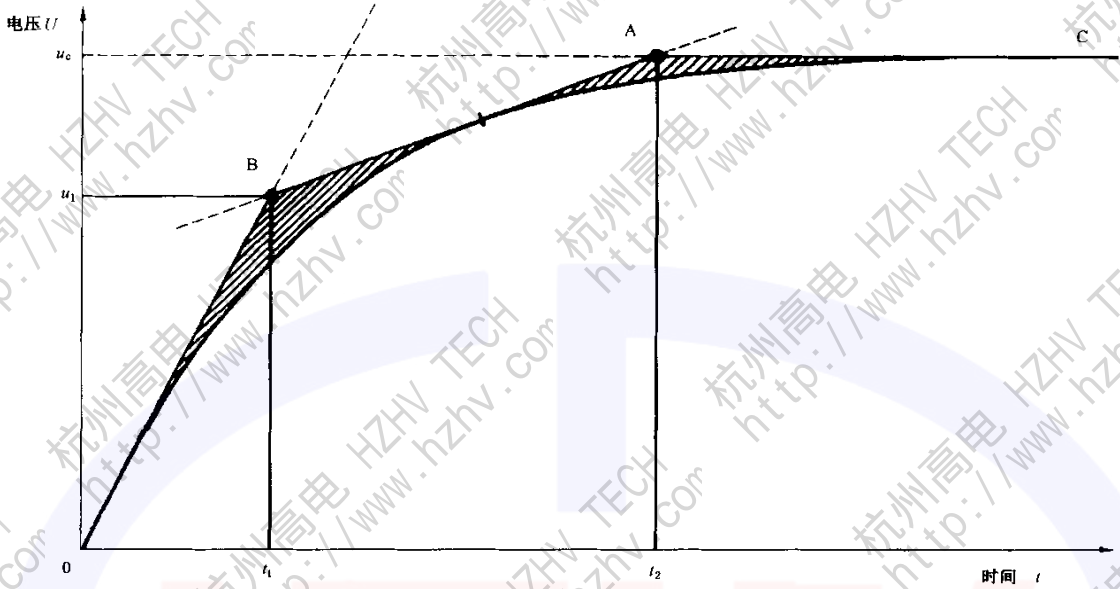


图 E.3 用四参数表示回路的预期瞬态恢复电压——E.2 C) 3) i) 的情况

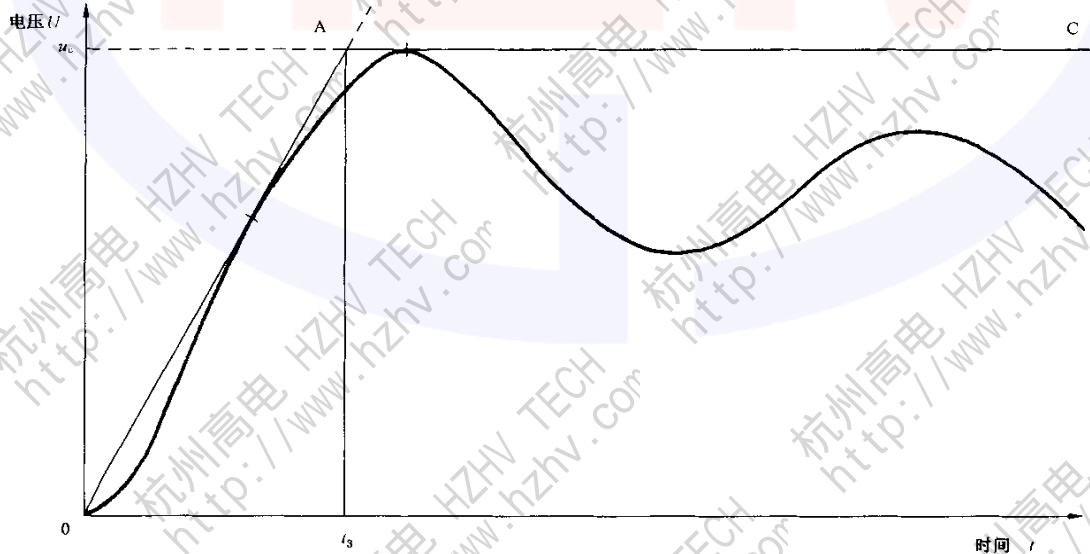


图 E.4 用两参数表示回路的预期瞬态恢复电压——E.2 C) 3) ii) 的情况

附录 F

(规范性附录)

确定预期瞬态恢复电压波形的办法

F.1 简介

开断短路电流产生的瞬态恢复电压(TRV)取决于两个方面主要因素,即回路参数(电感、电容、电阻、波阻抗等)决定的因素和断路器特性(电弧电压、弧后电导、电容和开合电阻等)决定的因素。

给出用来确定仅由回路参数决定的瞬态恢复电压,即“预期瞬态恢复电压”波形的办法。

由于任何测量设备都会影响预期瞬态恢复电压的波形,因此,需要采取适当的预防措施和可能的校正措施。

确定试验站短路试验回路和电力系统的预期瞬态恢复电压的办法有多种,这里列举并简介推荐的办法,并考虑到为额定值和试验而规定的 TRV 特性。

试验站和电力系统的经验表明:开断短路电流后,叠加在工频电压波上的不仅有单频或多频的振荡波,而且还有幅值和持续时间相当大的指数波。后者的时间常数取决于回路元件的特性,例如发电机、变压器、线路等。这些指数分量具有抑制 TRV 峰值和上升率的作用,使这些值低于只有振荡分量叠加在工频电压上时可能出现的值。如图 F.1 所示,测量的所有办法均应考虑这一效应。

测量表明:由于导体、大地和磁回路内部涡流的屏蔽作用,各种回路元件的电感都随频率而变化。加上有助于减小瞬态电压的其他因素,在此引入时间常数,它由发电机的几百微秒下降到变压器的几十微秒,其准确值取决于特定设备的设计及 TRV 分量的频率。在某些情况下,它可以抑制 TRV 峰值多达 25%。

因此,确定试验站或系统预期瞬态恢复电压时,考虑到这些因素很重要,并给出了与推荐办法有关的导则。

不论采用哪种办法,试验站预期瞬态恢复电压的实测值应与本标准的规定值一致。

如果 TRV 到达峰值时间 t_2 超过比如说 1250 μs 时,除了上述效应外,在任何情况下,瞬时工频电压,50 Hz 时降低 6% 以上,60 Hz 时降低 10% 以上。因此,当使用确定包括工频恢复电压的预期 TRV 的办法时,或用回路常数进行计算时,还应考虑这些影响。

电流过零后工频分量的瞬时值也与短路功率因数和电流最后半波的直流分量百分比有关,这样,就可能小于全峰值。对于对称电流及短路功率因数为 0.15 或更小的情况,降低量不超过 1.5%,所以,它对试验站的试验回路并不重要。因为运行中可能存在较高的功率因数,降低量可能会很明显。

对于出线端故障的额定 TRV(见 4.102),考虑到局部电容对断路器电源侧的影响,引入了一个时延。也规定了相关试验回路相应的时延(见 6.104.5),TRV 的测量办法应能分辨出这一时延。

对一些断路器,还规定了近区故障的额定特性(见 4.105)及近区故障试验期间产生的 TRV。断路器和线路之间的局部电容也会在线路侧 TRV 分量中产生时延。试验期间,希望测量和记录线路侧的时延,所用的办法应适于测到此值。

F.2 推荐办法简述

确定预期瞬态恢复电压基本办法分类如下:

- 第 1 组— 直接短路开断法;
- 第 2 组— 工频电流注入法;
- 第 3 组— 电容电流注入法;
- 第 4 组— 模型网络法;

- 第5组— 回路参数计算法；
- 第6组— 空载开合包括变压器的试验回路；
- 第7组— 不同方法的组合。

第1组、第4组和第5组推荐用于电力系统。

第2和3组可用于电力系统的局部。

仅第1组到第3组或它们的组合适用于确定短路试验站试验回路的预期瞬态恢复电压。

当使用第1组、第2组、第3组、第4组、第5组、第6组或第7组时，应仔细检查电压记录回路，确保在所要记录的 TRV 频率范围内总的校准刻度是恒定的，且时间的偏转是线性的。然后应当用一个已知电压来校准示波器及所有分压器。使用具有扫描时间基准的阴极射线示波器时，应准确知道偏转/时间刻度，且最好是线性的，以免为了比较等目的而重复描绘。

适用时，注入电流和所研究的回路两端的电压应该采用具有适当速度的时基进行记录，此外，还应在电流零点处对电流和电压进行高速记录。TRV 应由具有适当灵敏度和适当时间刻度的示波器来记录。

F.3 推荐方法的细节

F.3.1 第1组——直接短路开断法

这一方法包括开断在所研究系统中通过金属连接建立的实际短路电流和通过示波器记录产生的 TRV。理想状况下，开断电流应是对称的。如果有明显的不对称，也应考虑到 di/dt 的变化。对这种方法，不可忽略断路器的影响。这方面最重要的特性为电弧电压和弧后电导。

由于电弧电压，断路器触头间的电压在开断电流的瞬间可能不为零，因此，TRV 不是从零电压而是从电流零点的电弧电压值开始上升。这样，TRV 开始低于零电压轴然后与电压轴相交（见图 F.3）。

因此，峰值电压比理想断路器（零电弧电压）的情况（见图 F.2）要高。如果电流很小，电流零点可能明显提前（电流截断），在这点开断可能会引起类似且更加明显的结果（见图 F.4）。更进一步，如果预期 TRV 包括多个振荡分量，电流截断产生的波形会与用理想断路器得到的波形明显不同。

因此，电流零点前的电弧电压低和不截流的断路器特别适合于直接短路开断使用。

可以补偿电弧电压的影响，如图 F.6 所示。

原则上，电弧电压补偿仅适合于具有单频瞬态分量的 TRV，但是，对具有多频瞬态分量的 TRV，如果主振荡分量的幅值占主流，作为一个好的近似方法也可使用它。

弧后电流，即 TRV 上升期间电弧间隙流过的电流，由于衰减作用会影响 TRV 的波形，这样，降低了它的上升率和峰值（见图 F.5）。使用与断路器灭弧室并联的电阻会产生类似的效果。

所以，除了与低电弧电压和无电流截断相关的要求外，直接短路开断方法所用断路器不应安装并联电阻且不应有明显的弧后电导。

特别是在试验站可以在适当降低励磁运行的条件下，真空断路器通常近似用做“理想”断路器。但是，应当确定所用的任何装置不会在研究的具体回路中有明显的电流截断。用于直接电流开断的断路器特性有时可做适当地改进，例如安排触头分离的时间以缩短电弧持续时间和降低电弧电压。

这一方法在开断所研究回路中的实际短路电流以及记录的 TRV 应或多或少地考虑到恢复电压降低的效应。因此，直接短路开断方法可能是确定预期 TRV 最合适的方法（这与断路器的特性有关），常被用作检查其他方法的基础。但是，直接短路开断方法不适合于测量时延，尤其是在近区故障情况下的线路侧 TRV 的时延。

F.3.2 第2组——工频电流注入法

本方法仅用于不带电回路，所以，大多数用于试验站或者不带电时可分离的系统的一部分。因此也不考虑电晕或磁饱和现象。

本方法的基础是向回路中注入一较小电流，并记录由理想开关装置（即可以忽略电弧电压和弧后电

流的装置)开断这一电流时回路的响应。

合适的注入电流源是由当地低压主网供电的单相变压器,二次输出一系列电压和电流,例如,在 200 V 时的 2 A 和 25 V 时的 300 A 之间。这一系列覆盖了需要确定的大多数回路的阻抗。本方法使用的示例简图见图 F.7,并附有元件的详细说明。图 F.8 表示其操作顺序。

应注意确保电源及测量装置的固有电容不影响测量结果。

应在回路的输入端测量电压响应,适用时,回路的一端应接地。回路的两端均不接地时,测量和注入设备应完全与地绝缘。这可以用一个与地绝缘且对地电容可以忽略的辅助发电机做到这一点。

用于这一方案最方便的开关装置是半导体二极管。通常,反向恢复时间不超过 100 ns 的半导体二极管是很适合的。当 TRV 具有低的等效固有频率时,时间稍长也可以接受。为了得到正确的载流能力,可几个二极管并联运行。

注:二极管的特性与多个因素有关,例如,正向电流值、反向电压的波形和幅值以及与确定其特性所使用的方法有关的工厂数据。

为了获得对称的电流波形,可能需要通流达 20 个周期。在这一时间的大部分中,二极管被一开关旁路,这一开关在该段时间的末尾打开,使得电流流过二极管,在随后的电流零点二极管开断回路电流。

为了准确地确定时延,需要放大波形初始部分的电压和时间刻度。

较低速记录电流可以表明开断电流是否对称,高速记录可以给出电流零前的变化率 di/dt ,这也可表明是否有引起 TRV 衰减的不可忽略的弧后电流,或有影响 TRV 幅值的不可忽略的电流抑制。

记录的 TRV 可以再现所研究的回路的固有瞬态振荡,还有引起电压衰减的诸多因素。

回路满载时,采用电压校准可以确定其数值。详细内容见 F.3.4。

F.3.3 第 3 组——电容电流注入法

本方法除了流过回路的电流来自于电容器放电外,其余类似于第二组。这样,注入电流的频率取决于回路的电容值和电感值。

由于注入电流的频率通常远高于工频,所以,本方法不考虑引起电压衰减的因素。

由于放电电流的频率应为回路等效固有频率的 1/8,这意味着这种方法适合于测量包含高固有频率分量回路的 TRV。这种方法对近区故障试验回路线路侧分量特性的测量特别有用,这种回路的固有频率很高,且时延相当小。

电容电流注入的一个原理图例见图 F.9,包含元件的详细情况。图 F.10 为该方法的操作顺序。

校准方法及注意事项同第 2 组,详细内容见 F.3.4。

F.3.4 第 2 组和第 3 组——校准方法

由电流零点前注入电流的变化率 di/dt 的测量值计算注入电流的等价有效值 I_i :

$$I_i = \frac{di/dt}{2\pi f_i \sqrt{2}}$$

式中:

f_i ——注入电流的频率。

该公式假定:

$$i_i = I_i \sqrt{2} \sin 2\pi f_i t \cong I_i \sqrt{2} \pi f_i t$$

当 $t_2 < 1\ 250\ \mu\text{s}$ 时,该假定基本是正确的。

基于上述近似值,可得出如下规律:

注入电流的频率应小于或等于被测量回路等效固有频率的 1/8。对于预期 TRV 的 t_2 大于 1 250 μs 的情况,注入电流的频率应等于额定频率。

注:如果系数为 1/8,在 $(t_2 - t_0)$ 阶段,注入电流的斜率与直线的最大偏差可达 15%;系数为 1/4 时,最大偏差为 5%。

如果回路的最大短路电流的有效值为 I_{sc} ,则对应于 I_{sc} 的 TRV 电压校准刻度 $V_{sc}(\text{mm})$ 为:

$$V_{sc}(mm) = V_i(mm)(I_{sc}/I_i)(f_{sc}/f_i)$$

式中:

f_{sc} ——短路电流的频率。

根据上述关于具有较长 u_T 时的预期 TRV 的规定,当电流曲线与对称的正弦曲线的偏差过大而不可忽略时,应使用下述基本公式:

$$V_{sc}(mm) = V_i(mm) \frac{(di_{sc}/dt)_{i_{sc} \rightarrow 0}}{(di_i/dt)_{i_i \rightarrow 0}}$$

式中:

$(di_{sc}/dt)_{i_{sc} \rightarrow 0}$ ——电流零点的工频短路电流的变化率,电流的函数为:

$$i_{sc} = I_{sc} \sqrt{2} \sin(2\pi f_{sc} t) \cong I_{sc} \sqrt{2} \times 2\pi f_{sc} t$$

这一公式特别适用于轻微衰减振荡形式的电流的电容电流注入法。

确定近区故障试验的校准刻度时,下述方法比较合适:

从高速记录测量:

du_i/dt 是注入电流零点 TRV 的 RRRV;

u_i 是注入电流的第一电压峰值;

$(di_i/dt)_{i_i \rightarrow 0}$ 是注入电流在其零点的变化率。

然后,通过计算可以得到波阻抗 Z 的值:

$$Z = \frac{du_i/dt}{(di_i/dt)_{i_i \rightarrow 0}}$$

F.3.5 第4组——模型网络法

在这种方法中,模型网络由能真正代表整个回路元件的单元组成。通常需要采用具有集中参数的模型单元来模拟具有分布参数的实际回路元件。另外,模型单元的阻抗(特别是电抗和电阻)特性应尽可能真实地模拟实际元件在频率高到至少和考虑中的 TRV 频率相当情况下的阻抗特性。

这种方法的准确性取决于被模拟回路参数的准确值,这些数据经常很难获得,也难在一个小的模型网络上模拟。

这种方法特别适用于随频率变化的参数,所以,本方法通常不直接考虑 TRV 的衰减,用它求得的价值比在实际系统上直接短路得到的稍高。

本方法主要用于研究电力系统,由于它不需要系统停止运行,如果认识到其局限性,也可给出有用的导则。

F.3.6 第5组——回路参数计算法

如果知道与回路元件参数有关的数据,和第4组一样,特别是在回路不太复杂时,TRV 波形的计算常常很方便。

通常,这一方法不考虑衰减效应,如果已知回路的相关数据,可做一些修正;类似于工频分量的减少,对那些时间 t_2 超过 $1\ 250\ \mu s$ 的 TRV,也可考虑衰减效应。

本方法受到第4组的制约,除非在使用第1、2、3或6组的技术从试验中获得的实际 TRV 波形检查试验结果方面已经有经验,加上计算中的固有误差。

F.3.7 第6组——空载开合包括变压器的试验回路

本方法由连接开路回路中的试验变压器和记录二次回路的开路间隙上瞬态电压特性的示波器组成。

在由发电机产生短路电流的试验站,这种方法特别有用。但是,用于开合的断路器应没有并联电阻,且没有明显的预击穿,安装位置紧靠被试断路器。本方法仅限用于产生单频 TRV、不再产生与涡流相关的指数分量的回路。

F.3.8 第7组——不同方法的组合

如果使用由不同试验回路组合而成的合成试验回路,可能需要组合使用上述推荐的方法。如果 TRV 上叠加多个电源(通常多达三个电源)的输出,通常就是这种情况。例如,在电压注入试验回路中,可能由电流源来校核 TRV,但电流源与电压注入回路产生的 TRV 无关。也就是说,每个单独回路用一种推荐方法来校核。不同的回路可以采用不同的方法。可由数学方法得出总的 TRV(不同回路产生的 TRV 总和)。如果用数字记录仪,通过综合不同方法得到的数据也可能得出总的 TRV。

表 F.1 给出了这些方法的具体制约因素,组合使用这些方法时应加以考虑。

F.4 各种方法的比较

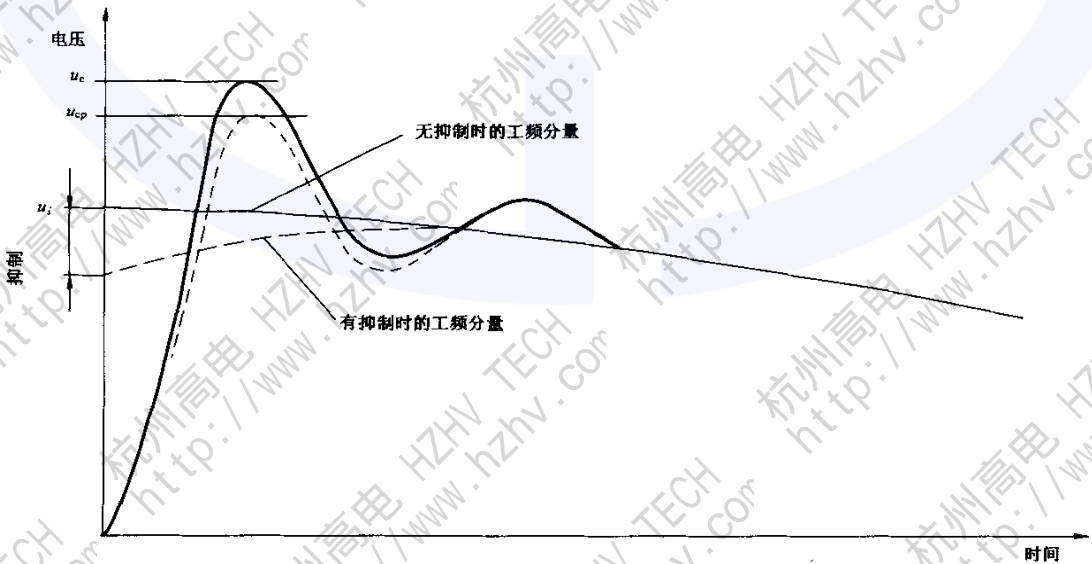
各种方法的特征及其优缺点列于表 F.1。

表 F.1 确定预期 TRV 的各种方法(续)

方 法	理论上的制约因素	实际上的制约因素
F.1.1 用理想断路器进行实际试验	没有。所有现象都能正确再现	不存在可以满足全部要求的理想断路器
F.1.2 全电压且有限流干扰时的工频试验(理想断路器试验或“合闸”试验均可)	不必考虑试验回路中可能存在的非线性,即在一特定频率下,电流和电压间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆)	不存在可以满足全部要求的理想断路器。分离出 TRV,需要熟练的测量技术;否则,存在大的工频分量时很难解释结果。 对于关合试验,最合适的限流装置是电感;否则,适用时试验回路的其他元件(如电阻、电容)也可使用。 所用元件可能体积庞大或价钱昂贵
F.1.3 用理想断路器在其他都不变的试验回路中降压进行的工频试验(即低励磁试验)	不用考虑试验回路中可能存在的非线性,即在一特定频率下,电流和电压间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆)	当还不存在可以满足全部要求的理想断路器时,所用理想断路器的选择受到限制。 当回路使用一个以上的发电机时,同步很难满足。 励磁应足够高以防波形畸变。 一般在网络试验站不可能
F.1.4 用普通断路器在实际试验回路中进行试验	难于从试验中记录的 TRV 特性中分离出断路器的影响	选择具有低的电弧电压、在电流零点产生的电流畸变可以忽略、可以忽略的弧后电流、没有并联阻抗的断路器。 当不能做到上述这些时,会产生误差,试验站之间由于使用了具有不同特性的断路器而有可能缺乏一致性
F.2 在“不带电”回路中注入工频电流的理想断路器试验	不必考虑试验回路中可能存在的非线性,即在一特定频率下,电流和电压间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆)	在网络供电的试验站,仅适用于“不带电”的回路元件,例如,近区故障元件,或网络阻抗与回路阻抗的剩余部分相比可以忽略的情况。 发电机应停止工作以防残压。 如果直轴和交轴电抗间的差异很大,则转子的位置可能很重要。 用以代替理想断路器、能够承载需要注入的工频电流的开关二极管的反向恢复时间可能影响包括高频分量的 TRV,例如,在近区故障试验回路中。 由于回路阻抗低,测量电压相对较小时,外界电源在“不带电”回路中感应引起的干扰可能影响 TRV,例如,与近区故障相关的

表 F.1 (续)

方 法	理论上的制约因素	实际上的制约因素
F.3 在“不带电”回路中注入频率高于工频的电流的理想断路器试验	不必考虑试验回路中可能存在的非线性。 不能直接给出工频阻抗。 假如注入电源的频率高于工频但远低于 TRV 的频率,只能给出单频或多频回路的 TRV 由零到第一最大值的正确波形和数值。不可能正确地确定振幅系数	在网络供电的试验站,仅适用于“不带电”的回路元件,例如,近区故障元件,或网络阻抗与回路阻抗的剩余部分相比可以忽略的情况。 发电机应停止工作以防残压。 如果直轴和交轴电抗间的差异很大,则转子的位置可能很重要
F.4 模型网络试验(暂态网络分析)	并非能经常得到网络的非线性及与频率相关特性的准确资料。 需要回路元件及其杂散参数的准确情况	需要充分表现瞬态网络分析元件中的回路元件的特性,包括其非线性和与时间有关的特性
F.5 由回路参数计算	并非能经常得到电网的非线性及频率相关特性的准确资料。 需要回路元件及其杂散参数的准确情况	网络阻抗与试验站阻抗相比不可忽略时,需要与瞬态网络条件相关的全部知识。 准确或充分地表现回路元件的特性,包括它们的非线性以及与时间有关的特性,特别是杂散参数
F.6 空载开合试验变压器	除非在电压波的峰值附近使变压器带电,否则,需要校正工频电压的波前	要求实际的短路试验回路。 仅适用于单频回路



U_c ——规定 TRV 的峰值;
 U_{cp} ——具有抑制效应时测得的 TRV 的峰值;
 U_i ——没有抑制作用时工频恢复电压的峰值。

图 F.1 衰减对 TRV 峰值的影响

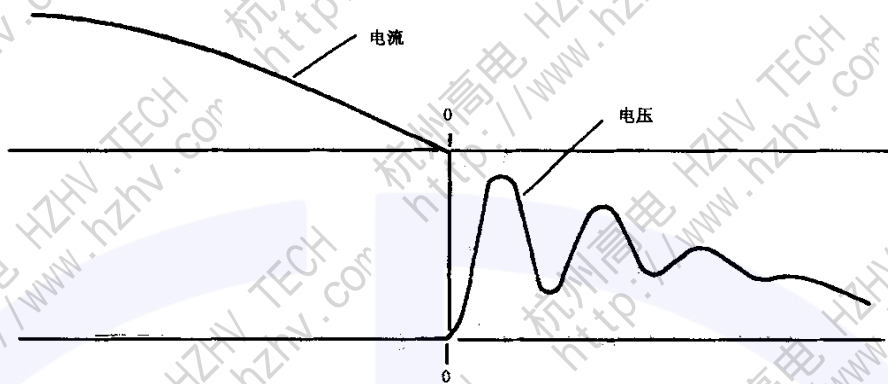


图 F.2 理想开断时的 TRV

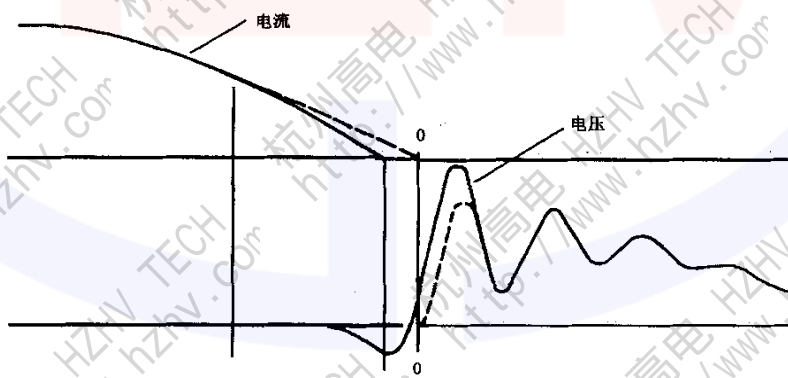


图 F.3 存在电弧电压时的开断

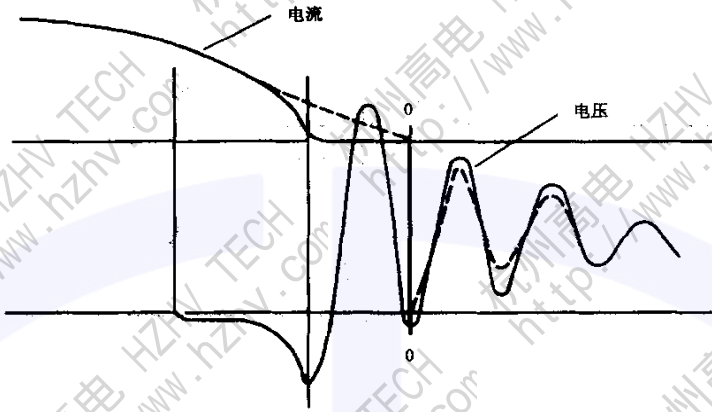


图 F.4 电流零点显著提前时的开断

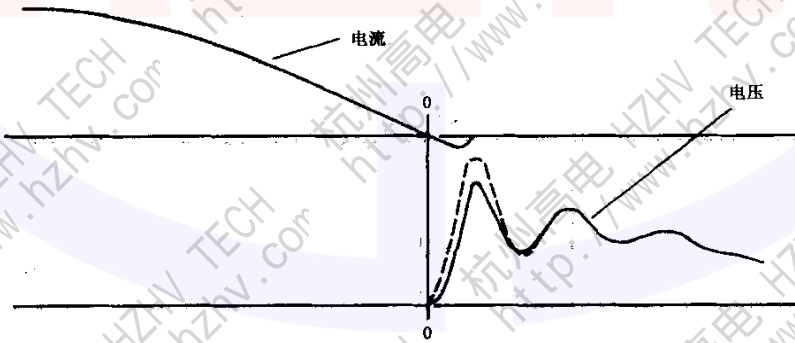
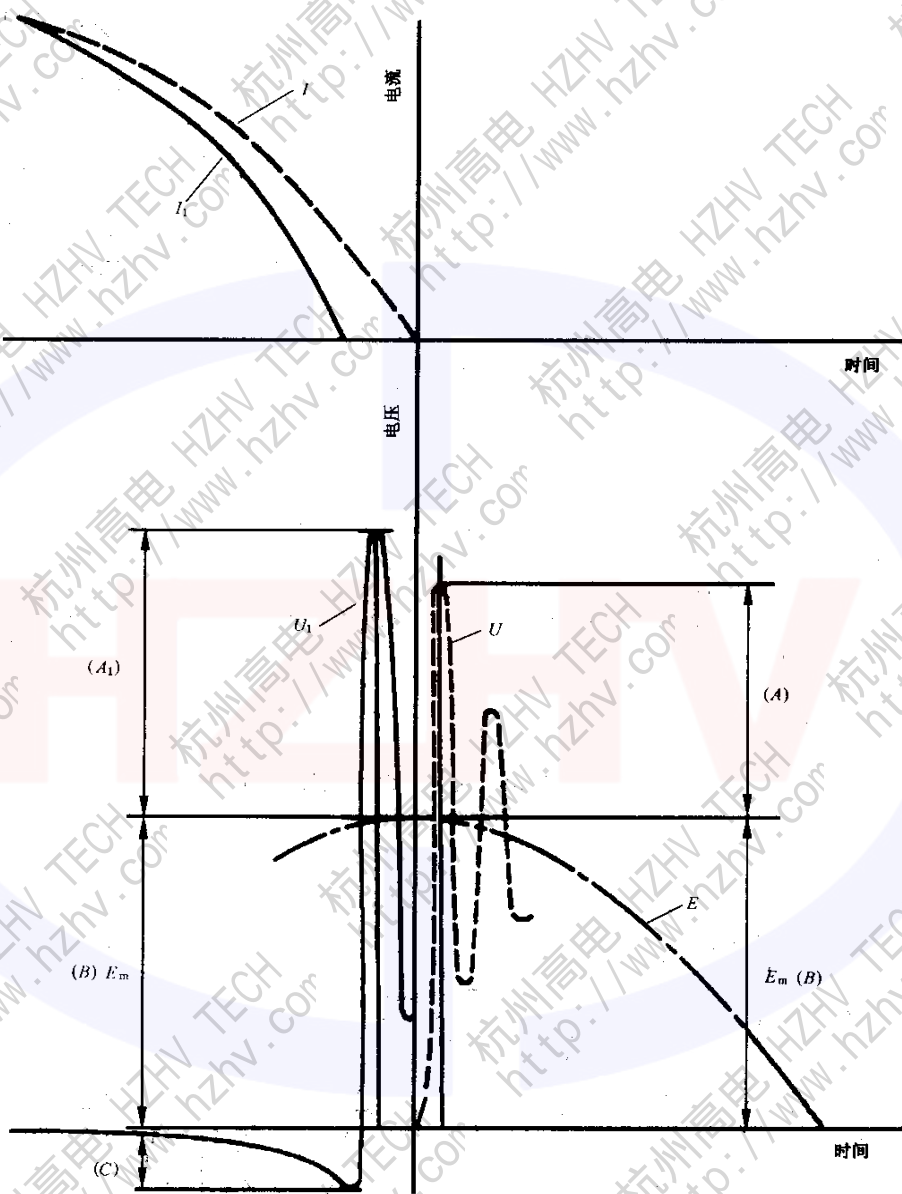


图 F.5 有弧后电流时的开断

注：电弧、提前的电流零点以及弧后电导对瞬态恢复电压的影响。图 F.3 到 F.5 的虚线部分表示理想开断时的特性。



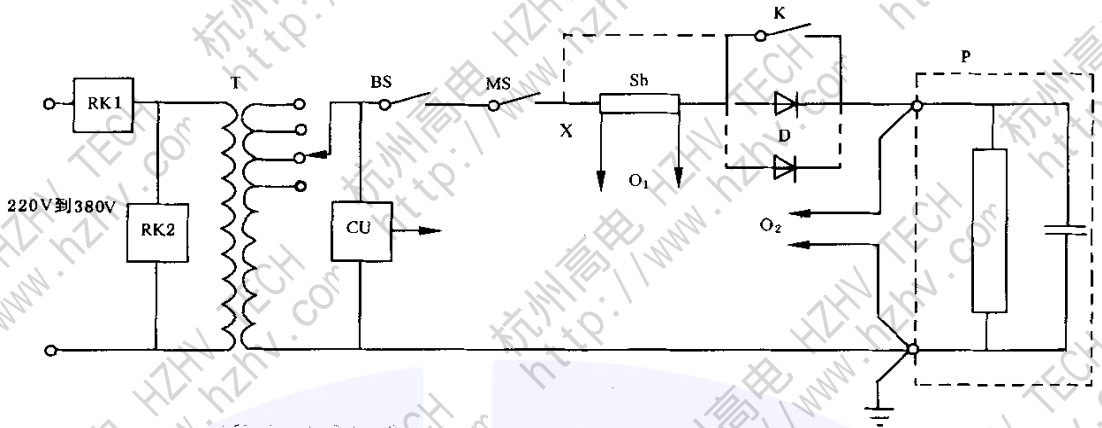
I_1, U_1 —— 分别在试验中获得的电流和电压；

I, U —— 分别为系统的预期电流和电压；

E —— 工频恢复电压；

$A + B = A_1 \frac{B}{B + C} + B$ —— 瞬态恢复电压的峰值。

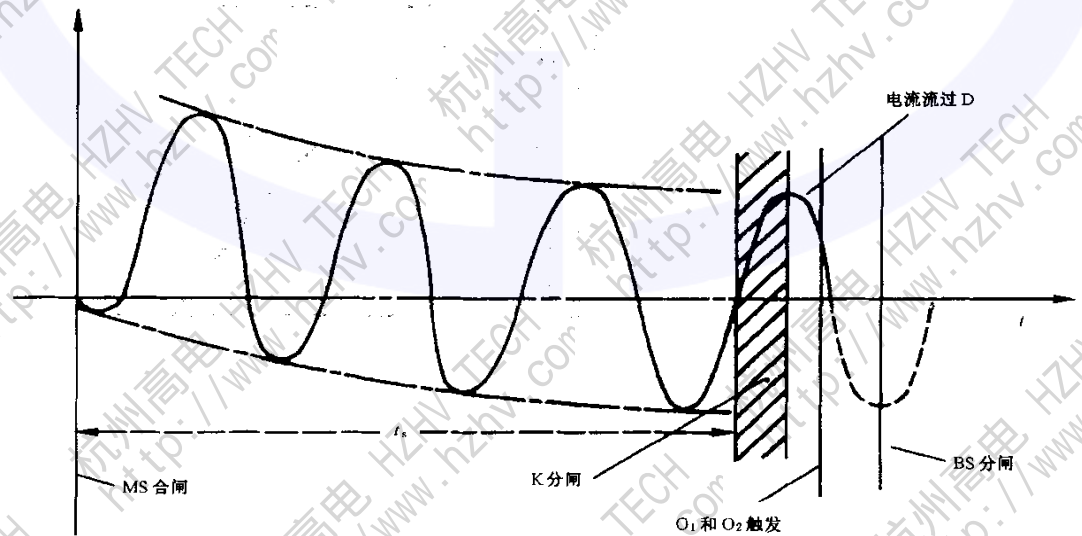
图 F.6 试验中出现的和系统预期的电流值与 TRV 间的关系



- RK1, RK2——如果有要求,用于抑制谐波的串联和并联谐振回路;
- T——把注入电流和电源隔离并提供可调节的输出电压的变压器;
- BS——后备开关;
- MS——合闸开关;
- K——二极管旁路开关;
- X——允许使用具有较低时间电流额定值的分流器的 K 的替代连接;
- D——直到 5 个快速开关二极管的并联连接;
- Sh——测量电流的分流器;
- O₁——阴极射线示波器,通道 1 记录用于检查二极管动作的电流的幅值和线性度;
- O₂——阴极射线示波器,通道 2 记录回路的响应;
- P——需要测量的预期 TRV 的回路;
- CU——提供图 F.8 中给出的动作程序的控制单元。

注:注入电流的测量也可在地电位处同样进行。

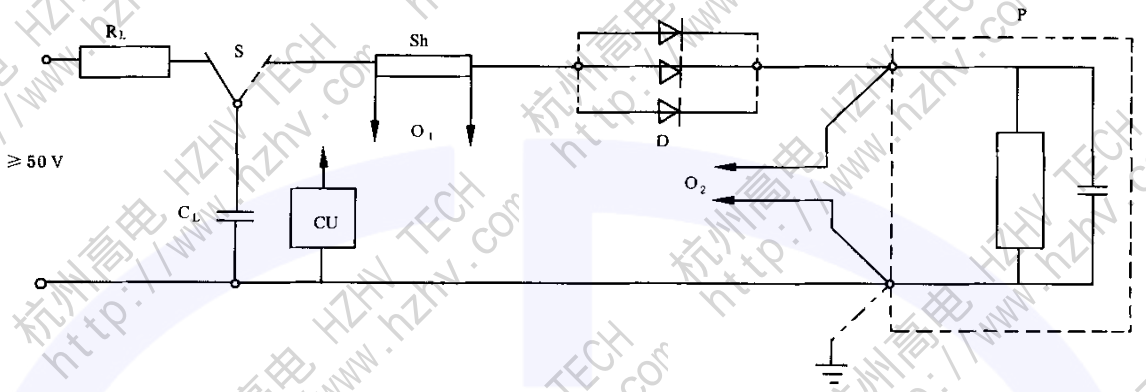
图 F.7 工频电流注入装置的原理图



静止状态:BD 和 K 合闸,MS 分闸。

t_0 = 开关 K 动作之前的通流时间,典型值为注入电流的 10 到 20 周波之间。主要的判据是电流的直流分量,如果有的话,应衰减到小于交流分量的 20%。

图 F.8 工频电流注入装置的操作顺序



- R_L——充电电阻；
- S——开关继电器；
- C_L——电源电容；

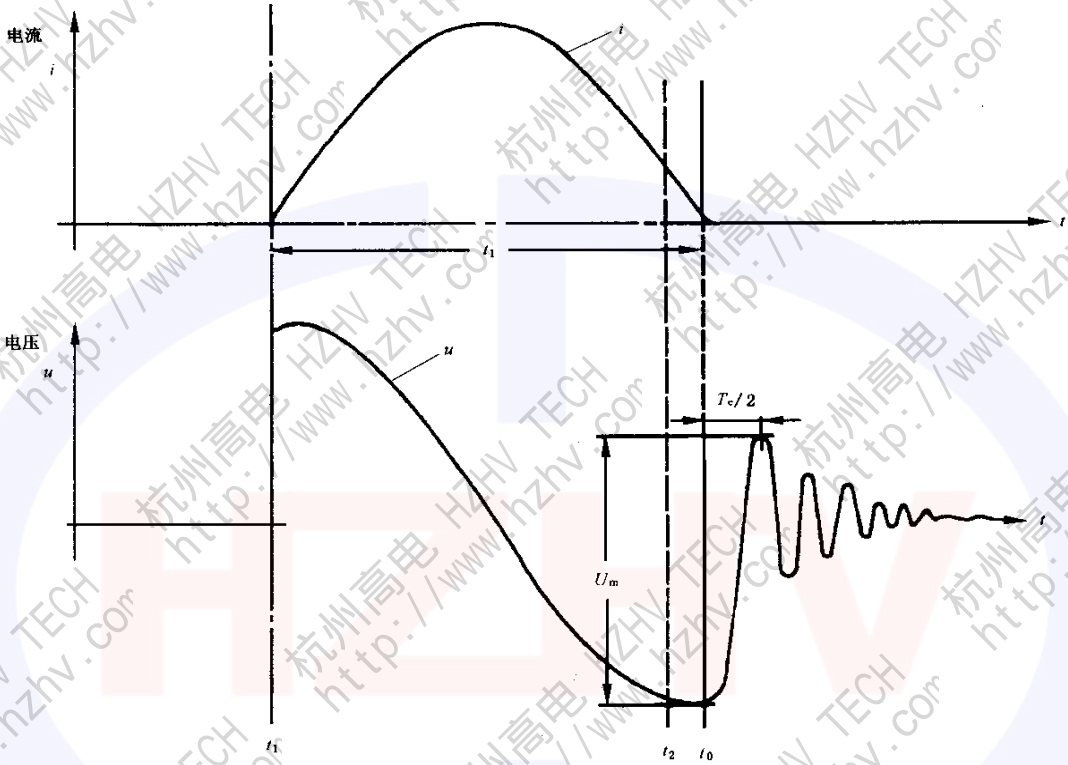
注：如果充电电容 C_L 通过开关继电器连接到回路 P，流过频率为 f₁ 的振荡电流。应调节 C_L 的值，使得：f₁ < $\frac{f_c}{8}$ ，这

里 f_c 是回路 P 的固有频率，f_c = $\frac{1}{2T_c/2} \cdot f_1$ 应该是叠加的电流振荡，且在电流零点之前消失。

- Sh——测量电流的分流器；
- O₁——阴极射线示波器，通道 1 记录用于检查二极管动作的电流的幅值和线性度；
- O₂——阴极射线示波器，通道 2 记录回路的响应；
- D——直到 100 个快速开关硅二极管的并联连接；
- P——需要测量的预期 TRV 的回路；
- CU——提供图 F. 10 中给出的动作程序的控制单元。

注：注入电流的测量也可在地电位处同样进行。

图 F. 9 电容注入装置的原理图



- t_1 —— S 的闭合；
- t_2 —— 阴极射线示波器的触发；
- u —— 回路 P 两端的电压波形；
- i —— 注入电流的波形；
- U_m —— 二极管上的最高电压；
- t_0 —— 电流过零时刻 (TRV 振荡开始)；
- t_1 —— 电流流过二极管 D 的时间, $t_1 = \frac{1}{2f_1}$ ；
- $\frac{T_c}{2}$ —— TRV 半波的持续时间。

图 F.10 电容注入装置的操作顺序

附录 G

(规范性附录)

引入 E2 级断路器的理论基础

应当注意到,引入 E2 级断路器仅限于配电断路器。本标准已经有这样的情况:一些试验仅限于一定的电压范围内,所以,对额定电压 72.5 kV 及以下断路器的增加电寿命试验不会产生任何问题。

现在生产的大部分断路器是密封型或封闭型的,只事先充气(适用时),不做中间维护。传统的断路器不要求少维护,但是,用户为了合理的经济原因,希望(多数情况下确实希望)规定出 E2 级断路器。

所以,有两种选择:要么采用可维护内部元件的断路器,在预期寿命内需要时即可维修;要么使用 E2 级断路器,但需要特别繁杂的试验程序来检验其能力。

建议电缆连接电网的电寿命试验是从试验方式 T10 到 T100a 全部系列的试验,且不做中间维修。几乎可以确定,所有密封型六氟化硫型的配电断路器或真空型的配电断路器已经这样试验了多年。所以,对普通短路型式试验不需要增加额外试验。

对于架空线电网,标准的试验必须单独进行。附加试验是用户在统计运行经验的基础上提出的要求。

应当注意比较不同的试验程序。电流与磨损的关系不像其表现的那么简单。

最后,应当注意到,仅当用户为满足这些要求时才选择附加的试验。

附录 H

(资料性附录)

单个及背对背电容器组的涌流

H.1 概述

通过断路器合闸关合电容器组会由于电容器组充电而产生瞬态现象。振荡引起过流(涌流),其幅值和频率与网络、电容器组特性、合闸的时刻有关。涌流的幅值和波形与外施电压、回路的电容、回路中电感的大小及安装位置、回路闭合时电容器上的充电量以及开合瞬间的衰减有关。计算涌流时,通常假定电容器组没有预充电,且回路在产生最大涌流时合闸。

当关合有预充电的电容器组时,产生的涌流比关合没有预充电的电容器组时产生的涌流要高。下面给出一个估算系数,通过它可以得出可增加的电流值:

$$\frac{\text{合闸时预充电的电容器组上的电压变化}}{\text{合闸时未充电的电容器组上的电压变化}}$$

应当说明的是,重击穿断路器也会在电容器上产生危险的电压。

如果知道网络阻抗,也可以计算涌流。图 H.3 为分别已有 0、1 和 n 组电容器连接到母线上时接入一个电容器组的三种不同情况。

通常,图 H.3 中 b) 和 c) 的简化计算是可以接受的。

当两个或更多的电容器组互相紧密相连且其间电感很小时,从电容器和断路器来看,可能需要通过接入与电容器串联的阻抗来减小涌流。通常串联一个电感可以使涌流的峰值和频率降到可以接受的数值。

实践中,利用涌流的 di/dt 小于用表 5 中规定的优选值的原理可以计算这一电感值。 di/dt 正比于涌流峰值和涌流频率(分别为 20 kA 和 4250 Hz)的乘积。

计算的两个示例见 H.2 和 H.3。

H.2 例 1——开合一个并联电容器(见图 H.1)

H.2.1 被开合电容器组简介:

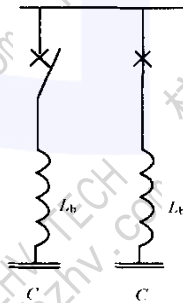


图 H.1 例 1 的回路图

额定电压 $U_n = 145 \text{ kV}$

额定频率 $f_n = 50 \text{ Hz}$

单个电容器组的容量 $Q_b = 16 \text{ Mvar}$ (三相在 126 kV 有效值时)

电容器组间导体的总长度 $l = 40 \text{ m}$

单位长度导体的电感 $L' = 1 \mu\text{H}/\text{m}$

根据这些值可以计算出电容 C 和电感 L_b 。

$$C = 3.2 \mu\text{F}; \quad L_b = 20 \mu\text{H}$$

H. 2. 2 没有任何限流设施时的计算

用图 H. 3 中的公式, 可以确定涌流的峰值 \hat{i} 和频率 f_{ib} :

$$\hat{i} = U_r \cdot \sqrt{\frac{C}{6 \cdot L_b}} = 145 \times 10^3 \cdot \sqrt{\frac{3.2 \times 10^{-6}}{6 \times 20 \times 10^{-6}}} = 23.7 \times 10^3 \text{ A} = 23.7 \text{ kA}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_b \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{3.2 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}} = 19\,900 \text{ Hz}$$

这些值远高于额定值, 所以, 必须采用限制设施。有时, 在断路器合闸时预击穿的一瞬间, 第二组电容器组可能已经反极性充满了电, 则 \hat{i} 的值甚至加倍。

H. 2. 3 有限流设施时的计算

母线上所加的电感 L_a 应使涌流的峰值和频率低于表 5 中规定的优选值。认为和实际的涌流峰值与频率之积低于表 5 中规定的优选值 (20 kA 和 4 250 Hz) 之积是等价的。

$$U_r \cdot \sqrt{\frac{C}{6 \cdot (L_a + L_b)}} \cdot \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_a + L_b) \cdot C}} \leq 20 \times 10^3 \times 4\,250$$

$$L_a \geq \frac{U_r}{20 \times 10^3 \times 4\,250} \times \frac{1}{2\pi \sqrt{6}} - L_b \text{ 和 } L_a \geq 91 \mu\text{H}$$

使用这一附加电感后, 实际的涌流峰值和频率为: $\hat{i} = 10 \text{ kA}$ 和 $f_{ib} = 8\,445 \text{ Hz}$ 。

H. 3 例 2——开合两个并联电容器

H. 3. 1 被开合电容器组简介

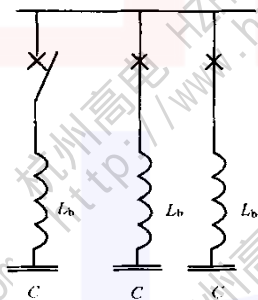


图 H. 2 例 2 的回路图

额定电压 $U_r = 24 \text{ kV}$

额定频率 $f_r = 50 \text{ Hz}$

单个电容器组的容量 $Q_b = 5 \text{ Mvar}$ (三相在 22 kV 有效值时)

电容器组间导体的总长度 $l = 5 \text{ m}$

单位长度导体的电感 $L' = 1 \mu\text{H}/\text{m}$

根据这些值可以计算出电容 C 和电感 L_b 。

$$C = 32.9 \mu\text{F}; \quad L_b = 5 \mu\text{H}$$

H. 3. 2 没有任何限流设施时的计算

用图 H. 3 中的公式, 可以确定涌流的峰值 \hat{i} 和频率 f_{ib} :

$$\hat{i} = U_r \cdot \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{2 \cdot C}{3 \cdot L_b}} = 24 \times 10^3 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2 \times 32.9 \times 10^{-6}}{3 \times 5 \times 10^{-6}}} = 33.5 \times 10^3 \text{ A} = 33.5 \text{ kA}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_b \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{32.9 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}} = 12\,400 \text{ Hz}$$

这些值远高于额定值，所以，必须采用限制装置。某些情况下，在断路器合闸时预击穿的一瞬间，电容器组可能已经反极性充满了电，则 i 的值加倍。

H.3.3 有限流设施时的计算

母线上所加的电感 L_s 应使涌流的峰值和频率低于表 5 中规定的优选值。认为和实际的涌流峰值与频率之积低于表 5 中规定的优选值 (20 kA 和 4250 Hz) 之积是等价的。

$$U_r \cdot \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{2 \cdot C}{3 \cdot (L_s + L_b)}} \cdot \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_s + L_b) \cdot C}} \leq 20 \times 10^3 \times 4\,250$$

$$L_s \geq \frac{U_r}{20 \times 10^3 \times 4\,250} \times \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{n}{n+1} - L_b \text{ 和 } L_s \geq 20 \mu\text{H}$$

使用这一附加电感后，实际的涌流峰值和频率为： $i = 15 \text{ kA}$ 和 $f_{ib} = 5\,550 \text{ Hz}$ 。

a) 连接一个单组

$$i = U_r \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C}{L_0 + L}} \approx U_r \sqrt{\frac{2}{3} \frac{C}{L_0}} \quad L_0 \gg L$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C(L_0 + L)}} \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{CL_0}}$$

b) 当已接有一组时的连接

$$i = U_r \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C_1 C}{C_1 + C} \cdot \frac{1}{L_1 + L}}$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L) C_1 C / (C_1 + C)}}$$

$$S = \frac{U_r}{L_1 + L} \sqrt{\frac{2}{3}}$$

当 $L_1 = L$ 且 $C_1 = C$ 时，则：

$$i = U_r \sqrt{\frac{C}{6L}} \text{ 且 } f_{ib} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

c) 当已接有 n 组时的连接

$$L' = \frac{1}{1/L_1 + 1/L_2 + \dots + 1/L_n} \text{ 且 } C' = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

当 $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L$ 且 $C_1 = C_2 = \dots = C_n = C$ 时，则：

$$L' = L/n \text{ 且 } C' = nC$$

$$i = U_r \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{2C}{3L}} \text{ 且 } f_{ib} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

用 L' 和 C' 代替图 H.3b) 中的 L_1 和 C_1 。

当 $L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2 = \dots = L_n \cdot C_n$ 时，则计算是正确的，其他情况下则是近似的。

元件：

U_r —— 系统电压

i —— 涌流峰值

f_{ib} —— 涌流频率

S —— 涌流的上升率

L_0 —— 电源电感

L —— 与开合的电容器组串联的电源电感

C —— 被开合的电容器组的电容 (等效的星形值)

L_1, L_2, \dots, L_n —— 电源侧与电容器组串联的电感

C_1, C_2, \dots, C_n —— 电源侧的电容 (等效的星形值)

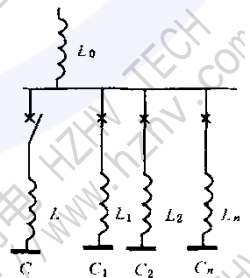
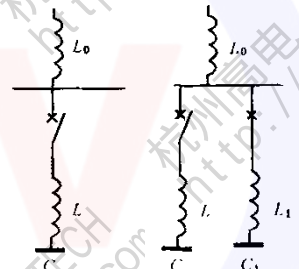


图 H.3 计算电容器组涌流的公式

附录 I
(资料性附录)
解释性的注解

I.1 概述

在本标准的使用导则发布以前,本附录收集了现有的或将来的所有的解释性的注。

I.2 关于额定短路开断电流的直流分量(4.101.2)的解释性的注

I.2.1 选取适当的时间常数的建议

45 ms 的时间常数足以覆盖大多数实际工况。与断路器额定电压相关的、特殊工况的时间常数应覆盖 45 ms 时间常数不足的场合,例如,额定电压非常高的系统(如 800 kV 系统,线路具有较高的 X/R 比值),一些辐射式结构的中压系统或具有特殊系统结构或线路特性的系统,这种情况适用。考虑到 CIGRE WG 13-04 的调查结果,确定了特殊工况的时间常数。

确定特殊工况的时间常数时,应考虑到下述方面:

- a) 本标准中提及的时间常数仅对三相故障电流有效。单相对地短路的时间常数小于三相故障电流的时间常数。
- b) 至少在一相短路电流的起始时刻出现在系统电压零点最大的非对称电流。
- c) 时间常数与断路器的最大额定短路开断电流相关。例如,如果要求高于 45 ms 的时间常数,但短路开断电流小于其额定值,这种情况可以被 45 ms 时间常数时的非对称额定短路开断电流试验所覆盖。
- d) 一个完整系统的时间常数是一个与时间相关的参数,被认为是从该系统的各个支路短路电流的衰减导出的等效常数,而不是一个真实的、单一的时间常数。
- e) 可以采用各种方法计算直流分量的时间常数,计算结果可能有显著的差异。应注意所采用的计算方法。
- f) 选择特殊工况的时间常数时,应切记断路器在触头分离后承受非对称短路电流。触头分离时刻对应于断路器的分闸时间和保护继电器的响应时间。本标准中仅考虑了一个工频半波的继电器时间。如果保护时间大于该值,则应予以考虑。
- g) 选择单一的特殊工况的直流分量时间常数值,可以减少要求验证设备能力的试验的次数。然而,至今既没有特定的等效性判据,也没有试验方法去验证在额定短路电流及相应的额定直流分量时间常数下所做的试验对不同的额定短路电流和其相应的时间常数的有效性。例如,对一台断路器在 63 kA、直流分量的时间常数为 45 ms 时所做的试验并不能必然地满足验证其在 50 kA、时间常数为 60 ms 时的性能要求。

虽然如此,还是给出了一些应考虑到的重要因素。应利用开断技术,仔细检查下述规定的参数:

- 1) 开断前最后电流半波的幅值;
- 2) 开断前最后电流半波的持续时间;
- 3) 燃弧窗口;
- 4) 电弧能量;
- 5) 触头分离时刻短路电流的直流分量;
- 6) 电流开断时的 di/dt ;
- 7) TRV 峰值电压 u_c 和适用时的第一参考电压 u_1 。

解释非对称电流的产生、对断路器开断能力的影响、特殊工况时间常数的确定和应用以及关于该项

目的背景资料,将形成一个针对本标准的公共应用导则的一部分。目前,该部分内容正在考虑中。

1.2.2 CIGRE 论文《开关设备试验非对称电流能力规定的时间常数》的再版

在 1998 年 6 月法兰克福的 IEC SC17A 会议上,已经就关于再版《试验开关设备非对称电流能力规定的时间常数》一文(已刊登在 *Electra* 第 173 期的第 19 页~31 页(1997—08))达成一致。该文包含了规定特殊工况时间常数的背景资料。

试验开关设备非对称电流能力规定的时间常数

前言

下面的文件摘要地介绍了 CIGRE WG 13-04 特别工作组(TF)关于用于试验断路器和开关设备非对称电流开合能力的时间常数方面的论述和结论。这些论述基于现有的 IEC 和 CIGRE 文件,其目的是为了根据本领域内存在的较广范围内的观点,形成一些结论和建议。

目标

为了形成关于最适用的和最具代表性的适合于试验短路电流和直流分量时间常数的组合条件的推荐,以便能充分覆盖 IEC 标准估计的 90%。

概述和一般结论

本文件初步收集和整理了已出版的资料中的结论,在大多数情况下,这些结论实质上是相互矛盾的。没有打算给出大量的技术资料,如果需要,可以从原文件查到。

IEC 标准的目的是为了提供可以充分涵盖 90%及以上应用的规则和型式试验程序。这个 90%的准则是不可能准确量化的,其精髓在于明确大多数“正常的”要求,而不是根据异常或专门的工况为基础,进而导出过分详细的规定。

正在修订的 IEC 60056 已经提出了“目前规定的 45 ms 单个时间常数是否可能充分地覆盖适当比例的系统的要求以及更重要的是,它是否还能在可预见的将来适用?”的问题。因此,IEC 要求 CIGRE 重新考虑关于这一方面的情况并提出建议。

目前规定的时间常数(45 ms),严重地受到了高压架空线路固有的时间常数的影响。IEC 60056 的非对称试验仅在全短路额定值时采用该时间常数进行。选择该组合时的最基本的假设就是最严酷的非对称条件和 a)较高的短路电流水平(接近 100%)不会与较长的时间常数并存,以及 b)较高的时间常数,有限的电流(例如额定值的 30%)能力已经被现有的全额定非对称试验充分验证。

电网设备方面

输电或配电系统的每一个谨慎的项目均有确定的电阻(R)值和电感(L)值。这些数值之比确定了适当的直流分量时间常数。一般的项目,设备的时间常数近似如下:

	1 MVA	10 MVA	100 MVA	1 000 MVA
变压器发电机	20 ms~40 ms	50 ms~150 ms	80 ms~300 ms	200 ms~400 ms
	60 ms~120 ms	200 ms~600 ms	200 ms~600 ms	200 ms~600 ms
架空线路	<72.5 kV	72.5 kV~420 kV	(420/525)kV	>525 kV
	<20 ms	15 ms~45 ms	35 ms~53 ms	58 ms~77 ms

电缆的背景资料显示电缆具有较高的电容,表明其时间常数在等效的电压范围内一直小于架空线路的时间常数。对于任何规格的电,时间常数直接与导体截面积(CSA)有关,电压在 220kV 及以上时,时间常数从小的 CSA(<200 mm²)时的接近于零到 CSA 为 2 000 mm² 时的大约 40 ms。

类似地,架空线路的电感是非常恒定的,在 1 mH/km 左右,时间常数的变化主要取决于因导体材料、尺寸和结构的变化引起的电阻变化。

电力系统故障时,直流分量总的衰减是由所有故障源的组合的时间常数决定的,而且,这也是实际的状态,并与实际的最大故障电流组合,断路器必须在这种条件下试验。各种故障源的组合和支路的以

及串联的 X 或 R 值的复杂累加使得用单一的指数衰减进行试验是对实际情况明显的折中。然而,只要很好地选择该指数衰减的时间常数,认为这种逼近不会表现出明显的问题,且这种一般的逼近也是勿容置疑的。

设备由用户安装的趋势越来越明显,尤其在很高的(输电)电压等级,对估计这些条件很重要,它们包括:

- 以降低运行损耗而使用大容量、低损耗的电力变压器(具有较高的时间常数)的倾向增加;
- 给电力变压器安装高的短路电抗以限制短路水平,以要求延伸的分接能力为代价来弥补电压降(加拿大报道使用过高达 32% 阻抗的电抗器);
- 倾向于使用大截面、多分裂导线的输电线路,使得时间常数向提及的范围的上限发展;
- 系统控制更多地使用了感性元件,包括短路限流电抗器。

所有的这些发展,组合在某些工况中,与电网中的小型发电厂的相互作用和分歧的程度提高,使得独立故障源的时间常数有提高的趋势,并使得系统的时间常数提高。相反地,如今很少的广泛发展会导致时间常数减小。

电网设计方面

根据电网的额定电压和基本的拓扑结构可以把它们分成很多类型。

首先,根据电压等级,确定了三个基本类型,分别为:

- 运行电压直到 52 kV 的中压网络;
- 运行电压在 72.5 kV~420 kV 的高压网络;
- 运行电压在 420 kV 以上,即 525 kV 及以上的高压网络;

根据拓扑系数,确定的两个基本类别称为:

- 主要由线路和电缆连接而成的网状网络,其直流分量的时间常数大约为 45 ms 或以下,可能与较高的短路电流组合。
- 主要由电力变压器供电的网络。在这种工况下,直流分量的时间常数几乎完全取决于电力变压器,通常超过 45 ms 并且可能长至 150 ms。在这种工况下,短路电流相对较低。

依次考虑上述电压类别和它们“典型的”网络拓扑,可以确定某些一般性的趋势。

运行电压直到 52 kV 的中压网络通常但不总是以变压器为主的。在这种工况下,较高的直流分量时间常数与相对较低的短路电流水平相关联。在这种情况下,试验时必须考虑显著提高的时间常数,可能超过 100 ms。重要的一点是应注意到高的直流时间常数通常伴随着低的短路电流水平。

运行电压在 72.5 kV 到 420 kV 范围内的大多数高压网络都是以线路和电缆为主,且大约 45 ms 的直流分量时间常数覆盖了大多数的此类应用。但是,值得注意的是某些网络结构和线路设计可以导致 60 ms 的较高的时间常数和较高的短路电流的组合。275 kV 网络的典型的短路水平研究的结果示于表 1。

运行电压在 525 kV 及以上的网络,由于它们相对很少,因此,与其相适用的直流分量时间常数没有很好地确定。因为这些电压等级的应用典型为使用新颖的线路设计、长距离输电线路且终端为大容量电力变压器,所以,具有较高的直流分量时间常数的趋势。报道的例子为:550 kV 时为 55 ms,765 kV 时为 75 ms 以及 1 100 kV 时为 110 ms。

断路器方面

断路器的设计技术已经有了显著的提高,使得断路器的尺寸、重量、能量需求和造价均有所降低。同时,也发现这一进步导致了传统设计裕度不可避免的减小,大多数旧设备,由于其广泛的运行经验,可能比上述现代设备具有明显的裕度。这一趋势本身没有问题,但需要进一步强调将来的试验方法能够完全再现设备正确运行于其中的系统条件。

不考虑开合方式,开断能力基本是稳定的,试验证据的内插法技术相对简单并可以接受。但是,在装置的基本开断特性与方式有关的场合,这种内插技术难以实现简单,且能够相信在部分短路电流时,

可以确定临界故障方式。原则上,与非对称方式相关的高能量和相对较低的 di/dt 值使得对于装置来说比等效的对称方式时欠严酷。然而,低能量小半波和延长电弧时间的可能性的效应,通常伴有非常短的总行程时间,这些都是可以证明的特别临界的因素。

归根结底,设备试验应把受试设备作为“黑盒”模型而不考虑所采用的技术,但是,如果变更的设计技术具有特别的敏感性时,就会出现明显的困难。

在这一点上,必须强调的是:并不是为了确定特定设备的设计原理在能力方面的疑问,而是为了强调按精确的设计技术实现小型化的设计,因此,良好的结构和实际试验方法的重要性才得以提高。

显然,但不是优选的,解决非对称开合问题的方法就是提高断路器的动作时间,尽管这一点并没有减轻其他相关设备的职能,且从总的系统角度来看,可能也是不适合的,这也与现代设备减小保护时间的趋势相矛盾。

用户的观点

从用户的观点出发,确信“标准水平”的设备能够满足现有系统以及可预见的未来发展的需要是至关重要的。历史地看,对于证明因非对称开断条件引起故障的报道极少这一事实有着强烈的争议。但是,这并不能说明没有出现故障。其次,如上所述,应认为大多数电力网络仅在现在接近其设计水平,并且设备技术已经得以稳定发展和提高。因此,很有可能在可预见的未来出现我们感兴趣的条件,并且,首先成为广泛的实践。考虑到这一点,应谨慎处理历史数据的推断。

快速保护时间的实际出现,如为试验所假定的那些条件以及可能运行于接近限值的设备的区域。

另外,存在疑问时,大多数用户已制定了是否需要进行特殊型式试验的政策,选购明显超过额定值的设备或选取“折中”的额定值而不是技术上的技巧,从而在某个范围内提供一定程度的可信度。

这种逼近方法的示例是英国在购买设备时的实践,即按 63 kA/时间常数等于 45 ms 试验的设备满足 57.5 kA/时间常数等于 60 ms 的单相要求。德国的用户报道在 63 kA/50 ms 的场合安装了 80 kA 的设备,尽管高短路要求的大部分已被 45 ms 所覆盖,但实际中,也有报道该数值达到 57 ms 的情况。

根据该观点,大量其他网络适用的数据摘要如下:

法国用户报道对 420 kV 级的最大要求为 60 ms/70 ms,245 kV 级为 160 ms,较低电压等级的系统中最大可达 200 ms。70 ms 的数值与 63 kA 的故障水平相关,并出现在电厂较集中的电网的特定区域。

意大利用户反映在意大利北部地区的 380 kV 电网中的时间常数在 46 ms~63 ms 范围内,对于故障电流超过 30 kA 时平均在 54 ms。

作为对上述资料的补充,同一德国用户报道在 10 kV 和 20 kV 电压等级,时间常数曾经有过 80 ms~100 ms。

加拿大用户反映他们的 315 kV 网络的时间常数通常大于 45 ms,且在 735 kV 网络中超过 77 ms。在此基础上,考虑到电压小于 315 kV 的网络,时间常数在 45 ms~160 ms,他们建议使用一系列优选值,例如 45 ms,60 ms,80 ms 和 120 ms。

日本整理了他们的电网情况,在 550 kV 基本全为网状结构,在较低电压等级存在辐射式结构。提出的额定参数的组合示例为:550 kV/63 kA/118 ms;300/42.8/190;300/31.5/128;168/30.5/136;168/20/96;72/26.3/97 以及 72.5/12.5/48。尽管出现了非常高的时间常数,但是没有出现因不能开断具有高直流分量的短路电流而产生的故障。

一个特别的美国用户提供了四类数据,可以摘要如下:

——500 kV:短路水平小于 40 kA 时,时间常数最大约为 130 ms,但大多数情况小于或等于约 80 ms;

——230 kV:大多数短路水平小于或等于 40 kA 时,时间常数最大约为 93 ms,但大多数情况小于或等于约 66 ms。

——115 kV:大多数短路水平小于 35 kA 时,虽然有极少数情况达到 100 ms,但大多数的时间常数

非常低；

——69 kV 及以下，虽然，短路电流较低（典型为 5 kA~10 kA），但是时间常数的分布很广，从非常低的数值到约 240 ms。

根据提供的数据，高的短路电流和高的时间常数之间的关联程度不明确。

在英国，估计额定电压 275 kV 及以上的网络中的 15%，在大于 60% 额定短路电流的场合的时间常数大于 45 ms。这些数值与很多因素有关，如发电中心，增加的网络密度以及采用的线路结构[如 $2 \times 850 \text{ mm}^2$] 给出的时间常数在 53 ms 范围内，还应值得注意的是 NGC 的经验增加了高于正常试验时的初始峰值条件。

上述示例简明地概述了用户报道的最苛刻情况的背景，注意到存在这些高的直流时间常数的场合非常重要，它们是大多数普遍使用条件的极端情况。

咨询用户通常能够确定其自身的特殊要求并规定相应的试验，但是，这样会使试验制度的标准化程度初期弱化。这一点对咨询那些对他们的网络及安装于其中的设备非常了解的用户来说不重要。然而，这可以对大量未咨询到的用户，尤其在较低电压市场提供安全的假定，他们不可避免地非常依赖于 IEC 标准的内容，并且在此区域，试验制度的初期弱化成为至关重要的问题。

概率方面

从历史的观点看，一个好的处理方法是给出实际经验完全偏离故障的概率。在此不打算重复这些细节，仅报道该概率相对较低的情况，因为要求在电压零点发生故障。这意味着完全的停电故障可能出现在雷击和故障状况下的重合闸或者维护接地，相位基本上是随机的。

如果这是不可避免的，就没有必要坚持试验要求。采用 90% IEC 的判据，建议标准断路器应完全满足 90% 的系统出现的、最苛刻的、可预见的故障，而不是给定地点故障的 90%。事实上，完全的非对称故障很少，不是最重要的。如果该概率方法用来追求远远超过运行中断路器的 90% 的极端情况，可能会导致很少的或无额定故障的操作，因此没有必要进行额定故障开断试验。建议这不作为 90% 判据的真正目的，而且，在这种情况下，90% 仅仅是指网络中故障点的比例。

供应方/制造厂方面

根据制造厂的观点，首先考虑的是标准变化的影响以及对设备的现在和将来的设计进行试验相关的问题。规定的时间常数的增加可以看作一种提高，包括规定要求中的裕度。此类影响按下述两个独立的方面来考虑：a) 现有的能力的变化和和设备发展以满足规定的要求，以及 b) 将来的设计。

和用户的情况一样，只要可能，标准的产品对于制造厂在供应方面有益。这就是上述的第一种情况，技术要求的改变可能产生两种可能的情况。最简单和最少的烦恼，是现有的标准产品能够在新的要求下重新进行满意的试验，在这种情况下，技术要求变化的额外负担受试验成本的严格限制。麻烦的是现有的标准产品不能满足新的要求。在这种情况下，明显的发展和重新试验的成本在随后的一段时间内，不论从技术上还是经济上可能使制造厂陷入恶劣的市场状况。另外，可能有必要提供更高额定值的设备以减少对竞争的影响。显然，这可能需要“改变规则”，技术判定的变化可能有安全和可靠性方面的限制因素，既使在用户看来所有的制造厂处于等同的位置并且同样重要，最终不应受到经济方面的压力。

预先假定该等同的方法，因为开发设计的判据会清楚和确定，所以，对未来设计的影响会很小。

由于上述原因，除了满足实际系统的要求外，避免对所有机构增加成本的不必要的过分试验是重要的。

试验方面

确定了对目前所用的不同时间常数进行试验的可能性后，有关试验室能力方面的实际考虑是重要的。明显的问题是适当的短路电流和相应的时间常数能力的适用性。试验站报道的时间常数非常广泛，从某些电网的 20 ms 变化到某些发电机设计的 100 ms（几百毫秒的情况很少），因此，对“典型的”短路试验设施很难概括出或考虑一个时间常数。清楚的一点是，试验站已经广泛使用短路电抗器和变压

器来修正这些固有的时间常数。实际上,规定时间常数的小的变化(例如,在满故障电流时从 45 ms 到 60 ms)不可能成为试验站的主要困难。根据适用的资料,是否更高的时间常数(超过 100 ms 等)可以广泛获取尚不清楚,因此,是否采用部分高时间常数额定值的试验将会不公平,对某些试验设施相对于其他设施有利,这一点需要进一步研究。

可用的资料建议 60 ms 及以下的时间常数在大多数试验站对宽范围的电流都可以毫无困难地得到,图 1 摘要了一些试验站提供的数据。

另外一个设备方面的因素是短路变压器不需要对低损耗有任何要求,趋于使用少铜的变压器,因此,具有减小的 X 值和时间常数。

除了时间常数的控制外,试验方法的其他方面应按施加的特定试验条件来考虑。如果不可能或不现实获取正确的电流/衰减特性,为了取得正确的峰值/半波长度,应选择变化的各个分量,如电流的交流分量。为了保证 a),在考虑该选项时应注意断路器在试验前、后及试验中没有明显地过载,以及 b) 中的临界因素,如最长燃弧时间得以充分再现。使用的等效试验应予以非常仔细地检查。

主要的观点和建议

1 电网的直流时间常数可被概括地分成下面几类:

- a) 额定电压直到 52 kV 的中压网络;
- b) 额定电压从 72.5 kV 到 420 kV 的高压网络;
- c) 额定电压 525 kV 及以上的高压网络;
- d) 发电机回路。

在这些类别的每一类别中,直流时间常数亦随着短路电流的幅值而变化。

2 额定电压直到 52 kV 的中压网络

在额定电压直到 52 kV 的中压网络中的直流时间常数,根据应用,可以进一步分成下述两类:

- 通过电缆或线路连接在网状网络中的断路器的时间常数在 45 ms 及以下;
- 连接到主要由一台或两台电力变压器供电的母线上的断路器。在这种情况下,直流时间常数主要取决于电力变压器,且通常大于 45 ms 并有可能达到 150 ms。

建议:

对于额定电压直到 52 kV 的断路器,直流时间常数可分成两类:

- 1) 对于由线路和电缆供电的配电网络中的断路器,45 ms 的时间常数足够;
- 2) 对于变压器供电的变电站(其短路电流要求等于额定短路开断电流)中的断路器推荐的时间常数为 120 ms。在短路电流要求低于断路器的额定短路开断电流在 R10 系列中至少一个等级的情况下,按照 45 ms 的时间常数进行试验的断路器可以满足要求。例如,一台 50 kA 的断路器按照 45 ms 的时间常数试验后可以判定它对于 40 kA 且具有更高时间常数的场合足够。

3 额定电压从 72.5 kV 到 420 kV 的高压网络

额定电压从 72.5 kV 到 420 kV 的高压网络主要由线路构成,其直流时间常数的研究建议现有的 45 ms 足以覆盖此类应用的绝大部分。然而,某些网络结构和线路设计产生更高的时间常数,可能到 60 ms,且与高的短路电流组合。另外,由于短路电流的主要部分是由变压器提供的,较低短路开断电流要求的应用通常具有更高的时间常数。

建议:

- 1) 对于额定电压从 72.5 kV 到 420 kV 的断路器,现有的 45 ms 的时间常数通常是足够的并应予以保留。
- 2) 对于导致直到 60 ms 的更高时间常数的网络结构和线路设计,试验时的时间常数应根据另外的协议。
- 3) 对于以变压器为主的应用,试验时规定的时间常数可以提高,但应切记此类应用的短路电流应限于小于额定短路开断电流。

- 4) 在要求的短路电流低于断路器的额定短路开断电流在 R10 系列中至少一个等级的情况下,按 45 ms 时间常数试验的断路器可以满足更高时间常数的要求。例如,50 kA 的断路器按 45 ms 时间常数进行的试验可以判定其对于 40 kA 且具有更高时间常数的场合足够。

4 额定电压 525 kV 及以上的高压网络

额定电压 525 kV 及以上的网络中的时间常数还没有确定,但是,趋向于随着电压的升高而提高,且通常大于 45 ms。例如,根据报道,550 kV 时为 55 ms;765 kV 时为 75 ms 以及 1 100 kV 时为 110 ms。

建议:

- 1) 对于试验,规定的时间常数应予以单独考虑,且应根据另外的协议。
- 2) 在短路电流要求小于断路器的额定短路开断电流在 R10 系列中至少一个等级的情况下,按 45 ms 时间常数试验过的断路器可以满足更高时间常数的要求。例如,按 45 ms 时间常数试验的 50 kA 的断路器可以判定其对于 40 kA 且具有更高时间常数的场合足够。

5 发电机回路

对用于发电机回路的断路器的考虑仅限于那些与小容量的(例如 20 MVA)、与中压配电网连接的地方电厂,因为此类应用可能涉及到标准断路器的使用,而不是专门的发电机断路器。与大型高压网络连接的发电厂和小型工业电厂的断路器不在此列。对于设备的上述分类,发电厂的接线方式可能导致就地的时间常数提高到超过 45 ms。

建议:

- 1) 应考虑按时间常数大约为 100 ms 进行试验。
- 2) 在短路电流要求小于断路器的额定短路开断电流在 R10 系列中至少一个等级的情况下,按 45 ms 时间常数试验过的断路器可以满足更高时间常数的要求。例如,按 45 ms 时间常数试验的 50 kA 的断路器可以判定其对于 40 kA 且具有更高时间常数的场合足够。

6 试验站的能力

短路实验室可用的时间常数变化范围很广,决定的因素如回路是网络供电还是发电机供电。在确定试验要求以及在评估用较高电流有效值和较低时间常数试验验证较低的电流和提高的时间常数的能力的可接受性时,必须予以考虑。

参考文献

起草本文件时使用的大多数文件为 CIGRE WG13.02 的工作组内部文件。但是,也引用了下述发表过的文献:

—J. H. Beeler; Trends of high voltage switchgear requirements in strongly interconnected systems. CIGRE Symposium 1983 L'Énergie Électrique No. 12(1983), pp. 451—460.

—W. M. C. van den Heuvel, A. L. J. Janssen & G. C. Damstra; Interruption of short-circuit currents in MV networks with extremely long time constants, IEE proceedings Vol. 136, PtC(1989) No. 2, pp. 115—119.

—A. Sabot, A. Giard, & Y. Maugin; Decay of d. c. component of the short-circuit currents on the 420 kV and 245 kV networks of Electricité de France. 4th International Symposium on short-circuit currents in Power Systems, Liege(Belgium), September 1990, paper 1.17.

—M. Ishikawa, K. Suzuki, N. Miyake, K. Hisamatsu, H. Toda, T. Yokota; Study of equivalent short-circuit testing methods for long damping time constant of large d. c. component. IEE Japan Power and Energy '94 Proc. Fifth Annual Conference Tokyo July 1994, Vol. 2, pp. 155--159

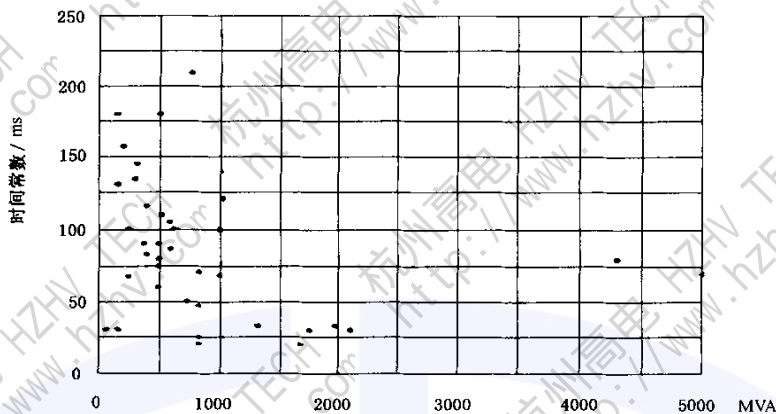


图 1 典型的短路试验站的参数组合

表 1 275 kV 输电站回路特定故障水平的研究结果

故障类型	回路	X/R 比值	初始的有效值电流/kA	初始的峰值电流/kA	瞬时的有效值电流/kA	开断时间/ms	开断电流有效值/kA	直流开断电流/kA	峰值开断电流/kA	非对称开断电流/kA
单相	母线	12.07	35.96	90.75	34.71	70	34.93	8.22	66.14	36.88
三相	母线	15.72	36.49	94.43	32.86	70	33.49	12.74	67.88	36.5
单相	B619	12.57	27.96	70.86	27.19	70	27.33	6.88	52.05	29.56
三相	B619	17.77	26.85	70.17	24.82	70	25.18	11.02	52.01	28.72
单相	B621	15.97	29.68	76.89	28.91	70	29.04	10.59	57.94	32.22
三相	B621	19.56	29.31	77.13	27.18	70	27.55	13.47	58.02	31.87
单相	F613	10.89	28.87	72.01	27.94	70	28.1	5.42	52.23	30
三相	F613	14.5	30.46	78.27	27.63	70	28.12	9.45	55.95	31.25
单相	F617	11.16	29.29	73.27	28.34	70	28.51	5.77	53.21	30.5
三相	F617	14.7	30.73	79.05	27.87	70	28.37	9.73	56.6	31.57
单相	母线	12.1	36.14	91.23	34.89	70	35.10	8.31	66.51	37.09
三相	母线	15.7	36.66	94.85	33.02	70	33.66	12.78	68.19	36.67
单相	B625	15.87	29.92	77.49	29.15	70	29.28	10.59	58.35	32.56
三相	B625	19.49	29.49	77.57	27.35	70	27.72	13.49	58.34	32.06
单相	B623	12.65	27.96	70.89	27.18	70	27.32	6.95	52.1	29.57
三相	B623	17.77	26.8	70.04	24.77	70	25.13	10.99	51.91	28.65
单相	F614	10.93	28.98	72.34	28.06	70	28.22	5.48	52.49	30.15
三相	F614	14.48	30.62	78.68	27.79	70	28.28	9.49	56.25	31.41
单相	F618	11.21	29.49	73.82	28.54	70	28.71	5.87	53.63	30.73
三相	F618	14.7	30.92	79.54	28.06	70	28.56	9.79	56.96	31.78

I.3 关于试验期间断路器性能的解释性的注(6.102.8和6.111.11)

当在中性点绝缘的三相。试验回路中开合容性电流时,无法区分 NSDD 和重击穿,因为两种不同事件在示波图上是相同的。为了避免把出现 NSDD 的断路器置于不公正的不利面,6.102.8 中给出的试验结果的评估是根据下述原因确定的。

如果断路器能够耐受容性电流开合试验中恢复电压的第一个峰值电压,就说明其能够耐受该试验中出现的、分闸运动过程中施加在某个触头位置的最高电压。在任一随后时刻,触头间距更长,即触头间的电场强度减小。如果电压击穿出现在第一个峰值电压之后,则该事件是 NSDD 而不是重击穿的概率就高。因此,采用了下述容性电流开合试验的评估方法,考虑了 6.102.8 给出的所有其他因素:

从电流零点到相关相中电压击穿间的时间间隔 t	事件的评估
$t < 1/4$ 周期	复燃
$1/4$ 周期 $\leq t \leq 1/2$ 周期	重击穿
$t > 1/2$ 周期	NSDD

I.4 关于容性电流开合试验(6.111)的解释性的注解

I.4.1 重击穿性能

由于在运行中所有的断路器都有一定的重击穿概率,因此,不可能定义一个无重击穿的断路器。取而代之,在运行中引入重击穿概率的概念似乎更符合逻辑。

重击穿概率的水平还取决于运行条件(例如绝缘配合,每年的操作次数,用户的维修方案等),因此,不可能引入与运行条件相关的一个公用的概率水平。

为了把断路器的重击穿性能分类,故而引入了两级断路器:C1级和C2级。

I.4.2 试验程序

在确定两级断路器的试验程序时,考虑了下述因素:

- 断路器每年完成的容性负载开合的平均操作次数;
- 通过在最短燃弧时间时增加开合操作次数来减少试验次数的能力,通常,对断路器来说是最困难的容性开合操作,因此,应具有高的可靠性水平。

预期的重击穿概率仅与型式试验有关。因为型式试验的严酷度,在运行中的开合性能有可能提高。

因为对概率计算的假定条件不同,推荐的试验次数可能存在疑问。然而,这些值体现了一个良好的组合(也是存在矛盾时标准的作用),反映了用户的需要(市场要求作出的反应)。综上所述,避免了不实际的要求。这些试验不是可靠性试验,而是验证设备在运行中满足容性电流开合能力的型式试验。

I.4.3 关于表5

表5并没有涵盖容性电流开合的所有实际工况。对于线路和电缆的数值涵盖了大多数情况,电容器组(单个电容器组和背对背电容器组)的电流值是典型值和运行中实际数值的代表。

I.4.4 关于6.111.1

因为12 kV及以上的网络中,大多数断路器用于电缆回路,所以,有理由对于额定电压12 kV及以上的断路器要求电缆充电开合试验。

I.4.5 关于6.111.3

因为在试验中系数 k/f_s 既没有用,也不需要,所以,删去了涉及系数 k/f_s 的那一段。

工频电压的变化,对试验方式2(LC2、CC2和BC2)选为5%,对于试验方式1(LC1、CC1和BC1)选为2%。考虑到试验室的制约因素,这些数值是折中值。把型式试验作为一个整体来考虑,因为各个试验方式的严酷程度不同,应避免试验中电气强度的任何人为降低。工频电压的实际变化(取决于系统的短路容量和容性负载)在1%~2%的范围。

I.4.6 关于 6.111.5

电弧最终熄灭后的一段时间内,电压衰减不应超过 10%,基于运行条件,这一段时间间隔的变化在 100 ms 到 300 ms 之间。

I.4.7 关于 6.111.9.1.1

在修整过的断路器上对 C2 级设备进行的这些容性电流开合试验,一方面是相应的 CIGRE 工作组的建议;另一方面,它接近运行的实际条件,没有因该修整是否改善了断路器的容性电流开合性能而存在的不公正。

合一分操作循环可以在空载合闸操作的情况下进行。任何情况下,为了验证断路器在动态条件下的分闸,即在前面的合闸操作引起的流体运动过程中,应进行完整的循环试验。

I.4.8 关于 6.111.9.1.1 和 6.111.9.2.1

试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)的试验电流的偏差从原来的 20%~40%提高到新的 10%~40%,是为了使试验中不同应用的试验方式的组合更加自由。

实验室中试验时的试验程序(特别是对最短燃弧时间每步 6°的调节)适应于试验的机理。

在额定压力下进行某些试验对于型式试验概念是更实际的方法,而且断路器在运行中通常是在其正常运行条件下工作的。

I.4.9 关于 6.111.9.1.2 和 6.111.9.1.3

在单相线路充电试验和电缆充电试验的试验方式 2(LC2 和 CC2)中,试验成分闸操作和合一分操作循环(6.111.9.1.3)以满足或多或少的实际运行条件。但是,由于实际原因,且试验次数少,试验方式 2(LC2 和 CC2)的三相试验中(6.111.9.1.2)仅进行合一分操作循环。

I.4.10 关于 6.111.9.1.2 到 6.111.9.1.5

对于电容器组开合,由于涌流效应,合一分操作循环很重要。合一分操作循环对线路或电缆开合应用不明显,因此,对线路开合试验和电缆开合试验,仅要求少量的合一分操作循环。

如果受试验站的限制,不可能在合一分操作循环中满足规定的要求,有必要进行一系列单独的关合试验以再现关合涌流引起的磨损(仅对电容器组关合试验)并验证规定的预击穿性能(即预击穿从一组触头转到另一组触头而不产生过度地磨损且预击穿出现在弧触头间而不是在主触头间,等等)。

保持了三相试验和单相试验的次数大致相同。

电容器组开合试验的强制性顺序是因为有必要在试验开始时引入涌流的效应。

I.4.11 关于 6.111.9.1.4 和 6.111.9.1.5

因为实际运行中大量的操作与型式试验中限定次数的操作类似,所以,在电容器组开合试验中进行大量的(分别为 80 次和 120 次)合一分操作循环以模拟运行中的磨损,即使合一分操作循环不是正常的开合顺序。

即使实际运行中的开合试验方式一直在 100% 的额定电流下,对于电容器组开合试验的试验方式 1(BC1)也需进行,这是因为:

——10%~40% 额定电流的试验涵盖了实际电流下的增加的次数;

——容性电流开合性能得以改善。

I.4.12 关于 6.111.9.2

C1 级试验的要求根据 ANSI/IEEE C37.012[11]导出。

附录 J

(资料性附录)

近区故障试验电流及线路长度的公差

对应于标准线路长度的线路电抗可用下面公式计算：

$$X_{L,stand} = \frac{1 - I_{L,stand}/I_{sc}}{I_{L,stand}/I_{sc}} \cdot X_{source}$$

式中：

$I_{L,stand}$ ——对应于标准线路长度的近区故障开断电流；

$X_{L,stand}$ ——对应于标准线路长度的线路电抗；

X_{source} ——对应于额定短路开断电流的电抗。

如果实际使用线路的电抗与对应于标准线路长度的线路电抗的差对 L_{90} 在 -20% 范围内，对 L_{75} 和 L_{60} 在 $\pm 20\%$ 范围内，如 6.109.2 所述，则相关的电流值可计算如下：

$$I_{L,act} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (X_{L,act} + X_{source})}$$

式中：

$I_{L,act}$ ——对应于实际线路长度的近区故障开断电流；

$X_{L,act}$ ——对应于实际线路长度的线路阻抗。

由标准线路长度和实际线路长度与标准线路长度偏差的百分比可以计算实际线路长度：

$$l_{act} = l_{stand} \cdot (1 + d/100)$$

式中：

l_{stand} ——标准线路长度；

l_{act} ——实际线路长度

d ——实际线路长度与标准线路长度偏差的百分数。

用下面公式可以计算出实际线路电抗：

$$X_{L,act} = X_{L,stand} \cdot l_{act}/l_{stand} = X_{L,stand} \cdot (1 + d/100)$$

用下面公式可以计算出实际近区故障试验开断电流的百分数 $I_{perc,act}$ ：

$$I_{perc,act} = 100 I_{L,act}/I_{sc} = \frac{I_{perc,stand}}{1 + (d/100)(1 - I_{perc,stand}/100)}$$

表 J.1 近区故障开断电流的百分比

近区故障开断电流的标准值 $I_{perc,stand} (\%)$	偏差 $d(\%)$	近区故障开断电流的实际值 $I_{perc,act} (\%)$
90	-20	91.8
90	0	90
75	-20	78.9
75	+20	71.4
60	-20	65.2
60	+20	55.5

附录 K
(资料性附录)

GB 1984—2003 中使用的符号和缩写表

符号/缩写词	范 例	含 义
%dc	4.101.2	直流分量的百分数
τ	4.101.2	时间常数
ω	表 3	角频率
τ_1	图 9	标准时间常数
τ_2	图 9	特殊工况的时间常数
τ_3	图 9	特殊工况的时间常数
τ_4	图 9	特殊工况的时间常数
Δt_1	6.102.10.2.1.2	大半波的持续时间
Δt_2	6.102.10.2.1.2	小半波的持续时间
A	表 21	断路器接线端子的表示
A	6.101.6.2	水平力的方向
A	表 21	断路器接线端子的表示
B	表 21	断路器接线端子的表示
B ₁	6.101.6.2	水平力的方向
B ₂	6.101.6.2	水平力的方向
BC1	6.111.9	电容器组电流,试验方式 1
BC2	6.111.9	电容器组电流,试验方式 2
BS	图 F.7	后备开关
C	表 21	断路器接线端子的表示
c	A.2	行波传播的速度
c	表 21	断路器接线端子的表示
C	H.2.1	单个电容器组的电容
C	表 8	合闸操作
C. B.	图 12a	断路器
C ₁	图 H.3	连接的首组电容器组的电容
C ₁	6.101.6.2	垂直力的方向
C1	3.4.114	低重击穿概率的断路器的等级
C ₂	图 H.3	连接的第二组电容器组的电容
C ₂	6.101.6.2	垂直力的方向
C2	3.4.115	非常低重击穿概率的断路器的等级
CC1	6.111.9	电缆充电电流,试验方式 1

符号/缩写词	范 例	含 义
CC2	6.111.9	电缆充电电流,试验方式 2
C_d	图 12a	电源侧时延电容
C_{dL}	图 15	线路侧时延电容
C_L	图 F.9	电源电容
C_n	图 H.3	连接的第 n 组电容器组的电容
CO	4.104	合一分操作循环
CU	图 F.7	动作程序的控制单元
D	图 F.7	并联开关二极管
D	图 22	操动机构
d	附录 J	线路实际长度与标准长度的偏差
da	6.102.10.2.1.1	确定燃弧时间的角差
du/dt_{SLF}	A.3	SLF 的电源侧 TRV 的上升率
du/dt_{TF}	A.3	出线端故障 T100s 的 TRV 上升率
du_L/dt	6.109.3	线路侧 TRV 上升率
E	图 F.6	工频恢复电压
E1	3.4.112	基本电寿命的断路器的等级
E2	3.4.113	延长电寿命的断路器的等级
F	表 21	断路器框架的表示
f_{bi}	表 5	涌流的频率(背对背的)
f_i	表 3	确定 ITRV 波形的乘数
f_{inrush}	4.107.5	涌流的频率(单个电容器组的)
f_c	4.3	额定频率
F_{shA}	6.101.6.1	端子负荷,水平力
F_{shB}	6.101.6.1	端子负荷,水平力
F_{sv}	6.101.6.1	端子负荷,垂直力
F_{th}	表 9	水平静拉力
F_{thA}	表 9	水平静拉力,纵向的
F_{thB}	表 9	水平静拉力,横向的
F_{tv}	表 9	垂直静拉力
I	表 10	和短路电流峰值相关的峰值电流
\hat{i}	H.2.2	涌流峰值
I_{AC}	图 8	电流交流分量的峰值
I_{bb}	表 5	额定背对背电容器组开断电流
I_{bi}	表 5	额定背对背电容器组关合涌流
I_c	表 5	额定电缆充电开断电流
i_d	D.1.1	任一时刻的直流分量值

符号/缩写词	范 例	含 义
I_d	表 6	额定失步开断电流
I_{d0}	D. 1. 1	直流分量的初始值
I_{DC}	图 8	电流的直流分量
I_i	F. 3. 4	引入电流
i_i	F. 3. 4	引入电流
I_k	4. 5	额定短时耐受电流
I_k	表 5	额定线路充电开断电流
I_L	6. 109. 2	近区故障试验电流
$I_{L,act}$	附录 J	对应于实际线路长度的近区故障开断电流
$I_{L,s tand}$	附录 J	对应于标准线路长度的近区故障开断电流
$i_{max peak}$	4. 107. 5	关合涌流的峰值
I_{MC}	图 8	关合电流
I_p	4. 6	额定峰值耐受电流
$I_{perc,act}$	附录 J	实际近区故障开断电流的百分数
$I_{perc,s tand}$	附录 J	近区故障开断电流的标准值
I_r	4. 4	额定电流
I_{sb}	表 5	额定单个电容器组开断电流
I_{sc}	4. 101	额定短路开断电流
i_{sc}	F. 3. 4	短路电流
I_{sh}	4. 107. 5	电容器组所在处的短路电流
I_{si}	表 6	额定电容器组关合涌流
ITRV	4. 102. 1	初始瞬态恢复电压
k	A. 2	峰值系数(近区故障的)
k	4. 107. 5	计算关合涌流峰值的乘数
K	图 F. 7	二极管旁路开关
k_{st}	4. 102. 2	振幅系数(瞬态恢复电压的)
k_c	6. 111. 7	容性电压系数
k_i	A. 3	ITRV 峰值系数
k_p	6. 102. 10. 2. 5	确定各个极中 TRV 用的电压系数
k_{pp}	4. 102. 2	首开极系数
L	图 15	到故障点的线路长度
l	H. 2. 1	电容器组间的导体总长度
L'	H. 2. 1	单位长度的电感
L_0	图 H. 3	电源侧电容器组的电感
L_1	图 H. 3	连接的第一台电容器的电感
L_2	图 H. 3	连接的第二台电容器的电感

符号/缩写词	范 例	含 义
L_{60}	6.109.2	60%额定短路电流时的近区故障试验方式
L_{75}	6.109.2	75%额定短路电流时的近区故障试验方式
L_{90}	6.109.2	90%额定短路电流时的近区故障试验方式
L_a	H.2.3	母线的附加电感
l_{act}	附录 J	实际线路长度
L_B	A.1	电源侧母线的电感
L_b	H.2.1	电容器组的电感
LC1	6.111.9	线路充电电流,试验方式 1
LC2	6.111.9	线路充电电流,试验方式 2
L_f	6.109.3	近区故障电流系数
L_L	A.1	线路侧电感
L_n	图 H.3	连接的第 n 台电容器的电感
L_s	A.1	电源侧电感
$l_{s,land}$	附录 J	标准线路长度
M		断路器的质量
m		开断用流体的质量
M1	3.4.116	基本机械寿命的断路器的等级
M2	3.4.117	延长机械寿命的断路器的等级
MS	图 F.7	合闸开关
NSDD	3.1.126	非保持破坏性放电
O	4.104	分闸操作
O_1	图 F.8	阴极射线示波器 通道 1
O_2	图 F.8	阴极射线示波器 通道 2
O—t—CO	4.104	分—t—合分操作顺序
OP1	6.110.3	失步试验方式 1
OP2	6.110.3	失步试验方式 2
p_{re}	表 6	开断用的额定压力
p_{rm}	表 6	操作用的额定压力
Q_b	H.2.1	单个电容器组的容量
RRRV	表 1a	恢复电压的上升率
S	图 H.3	涌流的上升率
S	图 F.9	开关继电器
s	A.2	RRRV 系数
SLF	6.104.5.2	近区故障
T	6.102.10.2.1.1	工频的一个周期
$t_{arc,max}$	6.102.10.2.1.1	最长燃弧时间

符号/缩写词	范 例	含 义
$t_{arc,med}$	6.102.10.2.1.1	中燃弧时间
$t_{arc,min}$	6.102.10.2.1.1	最短燃弧时间
$t_{arc,new,min}$	6.102.10.2.3.1	新的最短燃弧时间
$t_{arc,ult,max}$	6.102.10.2.3.1	最终的最长燃弧时间
t'	4.102.2	到达 u' 的时间(画延时线)
t'	4.104	额定操作顺序中的时间间隔
t''	4.104	额定操作顺序中的时间间隔
t_1	4.109.1	T30、T60 和 T100s 中记录的最长开断时间
t_1	4.102.2	到达 u_1 (TRV 的)的时间
$t_{1,sp}$	6.108.2	单相、异相接地故障时到达 $u_{1,sp}$ (TRV 的)的时间
t_2	4.109.1	记录的最长空载开断时间
t_2	4.102.2	到达 u_c (四参数 TRV 的)的时间
$t_{2,sp}$	6.108.2	单相、异相接地故障时到达 $u_{c,sp}$ (四参数 TRV 的)的时间
t_3	4.109.1	额定分闸时间
t_3	4.102.2	到达 u_c (两参数 TRV 的)的时间
$t_{3,sp}$	6.108.2	单相、异相接地故障时到达 $u_{c,sp}$ (两参数 TRV 的)的时间
T_A	6.101.3.3	周围空气温度
t_a	6.101.2.3	周围空气温度下两次机械操作试验间的时间
t_b	6.108.3	单相开断的燃弧时间
$t_{a,100s}$	6.108.3	T100s 中首开极的最短燃弧时间
t_b	4.109.1	额定开断时间
t_d	4.102.2	时延
t_{dl}	6.104.5.2	线路侧时延(近区故障的)
T_H	6.101.3.4	最高周围空气温度
t_i	4.102.2	到达 u_i (ITRV 的)的时间
t_k	4.7	额定短路持续时间
T_L	6.101.3.3	最低周围空气温度
t_L	A.2	到达线路侧 TRV 第一峰值的时间
T_{max}	6.101.4.2	高空气温度(湿度试验)
T_{min}	6.101.4.2	低空气温度(湿度试验)
T_{op}	4.101.2	首先分闸极的最短分闸时间
T_{op}	6.106.5	最短分闸时间
T_r	4.101.2	继电器时间,额定频率的半个周期
t_T	A.3	线路侧 TRV(SLF 的)到达峰值的时间
t_x	6.101.3.3	低温试验的时间间隔
u'	4.102.2	参考电压(画时延线)

符号/缩写词	范 例	含 义
u_0	A. 1	开断(SLF)瞬间线路上的电压降
u_1	4.102.2	第一参考电压(四参数参考线)
u_c/I_3	6.104.5.1	恢复电压的额定上升率(两参数参考线)
u_1/I_1	4.102.2	恢复电压的额定上升率(四参数参考线)
$u_{1,sp}$	6.108.2	单相、异相接地故障的第一参考电压
U_a	4.8	辅助和控制回路电源的额定电压
u_c	4.102.2	参考电压(TRV峰值的)
$u_{c,sp}$	6.108.2	单相、异相接地故障的参考电压
U_{CB}	图 12a	断路器断口电压
U_{cp}	图 F.1	有抑制时测得的 TRV
U_G	A. 1	电源电压
u_i	4.102.2	参考电压(ITRV峰值的)
u_{io}	A. 3	母线电压降
U_L	A. 1	线路电压降
u_L	A. 2	线路瞬时电压降
u_L^*	6.109.3	线路两端的峰值电压(SLF的)
$u_{L,mod}^*$	6.109.3	调节的线路两端的峰值电压(SLF的)
U_m	A. 1	总的感应电压的峰值
U_{op}	表 6	操动机构(合闸和分闸装置)的额定电源电压
U_p	表 6	额定雷电冲击耐受电压
U_r	4.1 —	额定电压
U_s	表 6	额定操作冲击耐受电压
U_S	图 12a	电源侧电抗两端的电压
u_s^*	A. 3	第一峰值处电源侧的电压
u_T	A. 3	总的峰值电压
U_x	A. 1	电源侧(SLF时)的电压降
u_x	A. 1	开断(SLF时)瞬间电源侧(SLF的)的电压降
V_{ac}	F. 3. 4	最大短路电流相应的 TRV 的电压校准
X_B	图 12a	母线的工频电抗
X_L	图 15	线路侧的工频电抗
$X_{L,act}$	附录 J	实际线路长度的线路电抗
$X_{L,stand}$	附录 J	标准线路长度的线路电抗
X_N	图 13	中性线电抗
X_S	图 12a	电源侧工频电抗
X_{source}	附录 J	额定短路开断电流对应的(电源侧)电抗
Z	图 15	线路的波阻抗

符号/缩写词	范 例	含 义
Z	6.103.3	阻抗
Z_0	6.103.3	零序阻抗
Z_1	4.102.3	正序阻抗
Z_r	图 13	相间阻抗
Z_g	图 13	相对地阻抗
Z_b	表 3	母线波阻抗
Z_i	图 12a	ITRV 控制元件
Z_s	图 12a	电源侧 TRV 控制元件

参 考 文 献

- [1] IEC 60044-1:1996, Instrument transformers—Part 1: Current transformers
 - [2] IEC 60044-2:1997, Instrument transformers—Part 2: Inductive voltage transformers
 - [3] GB/T 311. 2-1:1989, High-voltage test techniques—Part 1: General definitions and test requirements
 - [4] IEC 60077, Railway applications—Electric equipment for rolling stock
 - [5] IEC 60099-4:1991, Surge arresters—Part 4: Metal oxide surge arresters without gaps for a. c. systems
 - [6] IEC 60143-2:1994, Series capacitors for power system—Part 2: Protective equipments for series capacitor banks
 - [7] IEC 60186:1997, Voltage transformers
 - [8] IEC 60298:1990, A. C. metal enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV
 - [9] IEC 60517:1990, Gas-insulated metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages of 72.5 kV and above
 - [10] IEC 61166:1993, High-voltage alternating current circuit-breakers—Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers
 - [11] ANSI/IEEE C37. 012-1979, IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High—Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
 - [12] ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement(1995)
 - [13] ANSI/IEEE C37. 013-1997, Standard for A. C. High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
 - [14] ANSI/IEEE C37. 09-1999, Test procedure for A. C. High—Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
 - [15] IEC 62215, High-voltage alternating current circuit-breakers — Guide for asymmetrical test duty T100a
 - [16] ANSI C37. 06. 1:2000, Guide for high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis—designated “definite purpose for fast transient recovery voltage rise times”
-