

中华人民共和国国家标准

GB/T 6115.1—2008
代替 GB/T 6115.1—1998

电力系统用串联电容器 第1部分：总则

Series capacitors for power systems—Part 1: General

(IEC 60143-1:2004, MOD)

2008-06-30 发布

2009-04-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围和目的 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 使用条件 6

5 质量要求和试验 7

6 绝缘水平..... 14

7 过负荷、过电压和负荷周期 20

8 安全要求..... 21

9 标志和说明书..... 21

10 额定值的选择、安装和运行导则..... 23

附录 A（规范性附录） 外部熔断器和由外部熔断器开断的电容器单元的试验要求和使用导则 31

附录 B（资料性附录） 串联电容器组损耗的经济估算 33

附录 C（资料性附录） 电容器组的熔丝技术和电容器单元配置 34

附录 D（资料性附录） 输电线中大型串联电容器装置的典型接线图例 36

附录 E（资料性附录） 防止多氯联苯污染环境的预防措施 37

参考文献 38

前 言

GB/T 6115《电力系统用串联电容器》分为三个部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：串联电容器组用保护设备；
- 第3部分：内部熔丝。

本部分为 GB/T 6115 的第1部分。

本部分修改采用 IEC 60143-1《电力系统用串联电容器 第1部分：总则》(2004年英文版)。

本部分与 IEC 60143-1 的主要差异是：

- 电容器单元和电容器装置的绝缘耐受电压符合 GB 311.1 和 GB/T 311.2—2002 的规定。

本部分代替 GB/T 6115.1—1998《电力系统用串联电容器 第1部分：总则 性能、试验和额定值 安全要求 安装导则》。

本部分与 GB/T 6115.1—1998 相比，主要变化如下：

- 增加了一些术语和定义，如补偿度、无熔丝电容器组、保护水平、工频耐受电压、子段等；
- 端子间试验电压的确定有很大变动，取消了交流耐压试验；
- 例行试验中增加了“内部熔丝的放电试验”；
- 取消了型式试验中“内熔丝试验”；
- 增加了附录“串联电容器组损耗的经济估算”；
- 增加了附录“电容器组的熔丝技术和电容器单元配置”；
- 在额定值的选择、安装和运行导则中，增加了许多内容；
- 增加了典型的平台对地绝缘子的绝缘水平；
- 增加了对爬电比距的要求；
- 增加了标准雷电及标准操作冲击耐受电压和最小空气间距之间的关系；
- 增加了空气间距与交流工频耐受电压间的关系曲线。

本部分的附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电力电容器标准化技术委员会(SAC/TC 45)归口。

本部分主要起草单位：西安电力电容器研究所、西安 ABB 电力电容器有限公司。

本部分主要起草人：李怀玉、刘菁。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB 6115—1985；
- GB/T 6115.1—1998。

电力系统用串联电容器

第 1 部分:总则

1 范围和目的

GB/T 6115 的这一部分适用于拟串联连接在交流输电线路或配电线路中,成为频率为 15 Hz~60 Hz的交流电力系统的一个组成部分的电容器单元和电容器组。

本部分主要适用于输电。

串联电容器单元和电容器组通常拟用于接入高压电力系统。本部分适用于整个电压范围。

本部分不适用于自愈式金属化介质类型的电容器。

下列电容器即使其与回路串联连接也不适用于本部分。

——感应加热装置用电容器(GB/T 3984.1);

——交流电动机电容器(GB/T 3667.1);

——电力电子电容器(GB/T 17702);

——管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器(GB 18489 和 GB/T 18504)。

绝缘子、开关、互感器、外部熔断器等附件的标准类型均应符合相应的国家标准。

注 1: 对有内熔丝保护的电容器的附加要求以及对内熔丝的要求见 GB/T 6115.3—2002。

注 2: 对有外部熔断器保护的电容器的附加要求及对外部熔断器的要求见附录 A。

注 3: 串联电容器附件(火花间隙、非线性电阻、放电电抗器、限流阻尼电抗器、阻尼电阻、断路器等)的单独标准为 GB/T 6115.2—2002。串联电容器用的内部熔丝的标准为 GB/T 6115.3—2002。

本部分的目的是:

——制定有关性能、试验和额定值的统一要求;

——制定专门的安全规则;

——提供安装和运行导则。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 6115 的本部分的引用而成为本部分的条款。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部分,然而,鼓励根据本部分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部分。

注: 如果本部分与下面列举的标准有冲突,则以本部分的试验为准。

GB 311.1 高压输变电设备的绝缘配合(GB 311.1—1997, neq IEC 60071-1:1993)

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 60071-2:1996)

GB/T 6115.2—2002 电力系统用串联电容器 第 2 部分:串联电容器组用保护设备(IEC 60143-2:1994, IDT)

GB/T 6115.3—2002 电力系统用串联电容器 第 3 部分:内部熔丝(IEC 60143-3:1998, IDT)

GB/T 11024.2—2001 标称电压 1 kV 以上交流电力系统用并联电容器 第 2 部分:耐久性试验(idt IEC/TS 60871-2:1999)

GB 15166.5 交流高压熔断器 并联电容器外保护用熔断器(GB 15166.5—1994, neq IEC 60549:1976)

GB/T 16927. 1 高电压试验技术 第一部分：一般试验要求 (GB/T 16927. 1—1997, eqv IEC 60060-1:1989)

JB/T 5895 污秽地区绝缘子使用导则 (JB/T 5895—1991, IEC/TR 60815:1986)

IEEE Std. 693:1997, IEEE 变电站抗震设计推荐规程

3 术语和定义

本部分采用下列术语和定义。

3.1

环境空气温度 (对于电容器) **ambient air temperature (for capacitors)**

在拟安装电容器装置处的空气温度。

3.2

旁路开关 **bypass switch**

一种用于与串联电容器和它的过电压保护装置相并联使线路电流在一定时间内或连续地被旁路的开关或断路器之类的装置。

注：这种装置还具有将电容器插入和旁路到承载一定电流水平的电路的能力。

3.3

电容器 **capacitor**

电容器一词用于不必强调电容器单元和与段结合在一起的电容器单元组的不同含义的场合。

3.4

电容器单元 **capacitor unit**

由一个或多个电容器元件组装于同一外壳中并有引出端子的组装体。

3.5

(电容器)元件 **(capacitor) element**

由被电介质隔开的两个电极所构成的部件。

3.6

电容器损耗 **capacitor losses**

在电容器中消耗的有功功率。

注：应包括各种部件产生的所有损耗。对于单元应包括由介质、放电器件、内部熔丝 (如果有的话) 和内部连接件等产生的损耗。对于电容器组, 则应包括由单元、外部熔断器 (如果使用的) 和母线等产生的损耗。附加的讨论见附录 B。

3.7

冷却空气温度 **cooling air temperature**

在额定电流和稳态条件下, 在电容器组的最热区域中两台电容器单元的中间位置所测得的空气温度。如果仅有一台电容器, 则指在距离电容器外壳大约 0.1 m 和距离底部三分之二高度处测得的温度。

3.8

补偿度 **degree of compensation**

k

(线段的) 串联补偿度 k 是：

$$k = 100 \left(\frac{X_c}{X_L} \right) \%$$

式中：

X_c ——串联电容器的容抗；

X_L ——设有串联电容器的输电线路的正序感抗的总和。

3.9

(电容器的)放电器件 **discharge device (of a capacitor)**

连接在电容器端子之间或设置在电容器单元内部的,能在电容器与电源断开后使电容器上的剩余电压有效地降低到零的一种装置。

注:对放电器件进一步的定量要求见 8.1。

3.10

(电容器的)外部熔断器 **external fuse (of a capacitor)**

与电容器单元或电容器单元的并联组相串联连接的熔断器。

3.11

无熔丝电容器组 **fuseless capacitor bank**

由电容器单元的并联串组成的没有内部熔丝和外部熔断器的电容器组。每一个串由串联连接的电容器单元组成。

注:见附录 C 中对“串”的说明。

3.12

三相系统最高电压 **highest voltage of a three-phase system**

在正常运行状态下,电力系统在任何时间和任何地点出现的最高相间电压的方均根值。

注:它不包括瞬变电压(如因系统切合操作)和由不正常的系统状态(如因故障或突然断开大负荷)引起的暂态电压变化。

3.13

设备最高电压 **highest voltage for equipment**

U_m

相间最高电压的方均根值,设备在其绝缘以及在相关设备标准中涉及此电压的其他性能方面均按此电压进行设计。

注:此电压是设备可以使用的系统最高电压的最大值。

3.14

绝缘水平 **insulation level**

U_i

非同时发生的试验电压的组合[工频(U_{ipf})或操作冲击和雷电冲击],它表征了电容器端子与地、相间、端子与非地电位的金属构件(如台架)之间耐受电气强度能力的绝缘特性。

3.15

电容器的内部熔丝 **internal fuse of a capacitor**

在电容器内部与一个元件或一个元件组相串联连接的熔丝。

3.16

极限电压 **limiting voltage**

U_{lim}

过电压保护装置动作前瞬间和动作期间出现在电容器单元端子之间的工频电压的最高峰值除以 $\sqrt{2}$ (见 5.1.4)。

3.17

线路端子 **line terminal**

连接到电力系统的端子。

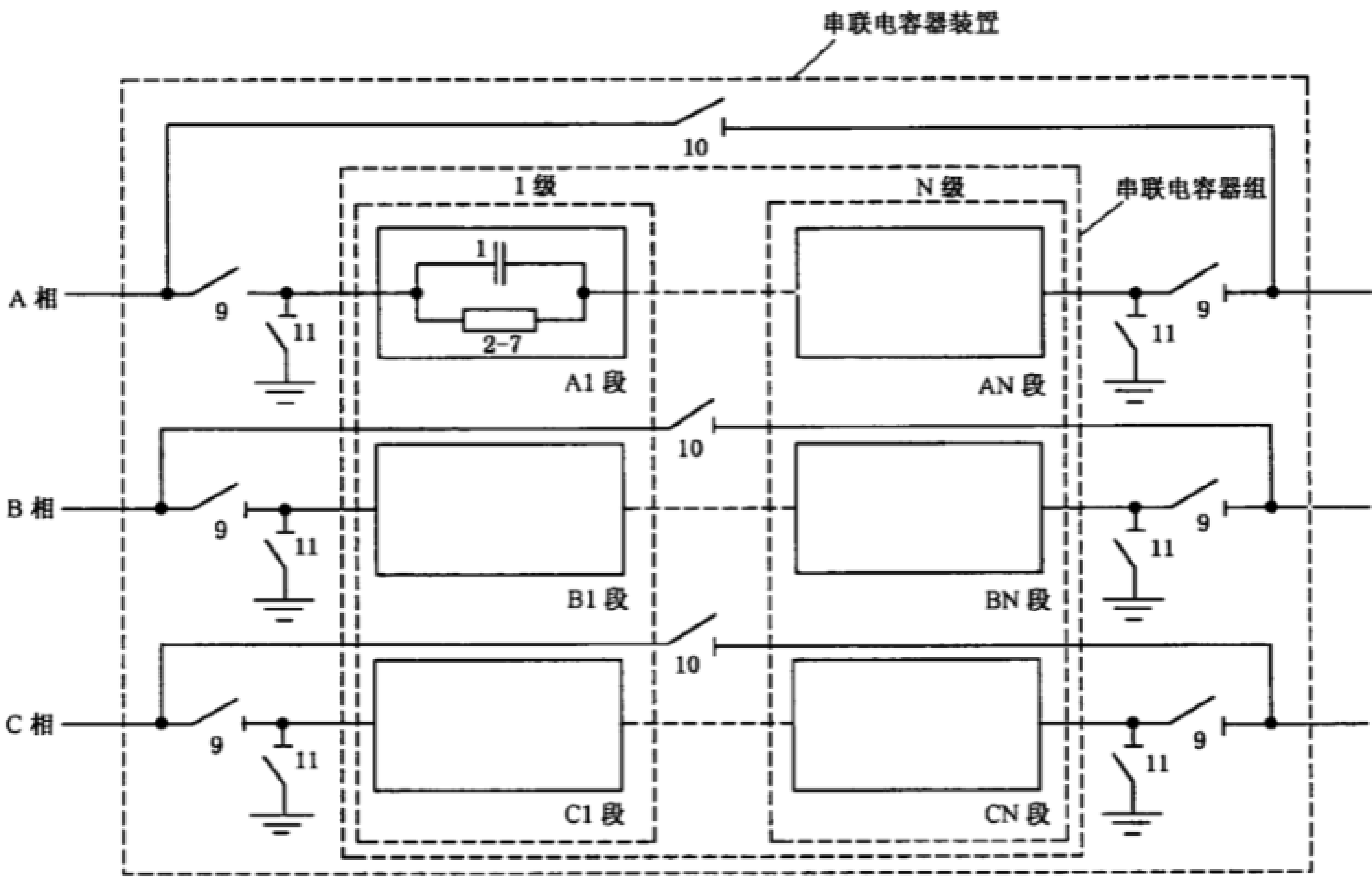
3.18

(串联电容器的)级 **module (of a series capacitor)**

由各相中相同的段所组成的串联电容器的可切换部分(见图 1)。此外,在级中还配备了使这些段

中的旁路装置能一起操作的设备。

注：级的旁路开关通常是在三相的基础上操作的。然而，在某些使用场合为了保护的目的，旁路开关也可以要求暂时按单相进行操作。



3. 19

(串联电容器的)过电压保护装置 **overvoltage protector (of a series capacitor)**

由于回路故障或者其他不正常的系统状态将使作用在电容器上的电压超过允许值,过电压保护装置是一种能将作用在电容器上的电压限制到允许值的快速动作装置。

3. 20

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

U_{ipf}

套管和绝缘子的工频耐受电压。

注：IEC 标准中是指湿工频耐受电压。

3. 21

保护水平 **protective level**

U_{pl}

在电力系统发生故障期间出现在过电压保护装置上的工频电压的最大峰值。

注：保护水平也可以根据作用在段上实际的峰值电压或根据作用在电容器上的额定电压峰值为基准的标么值来表示(见 5. 1. 4, 10. 4 和 10. 5)。

3.22

(电容器的)额定电容 **rated capacitance (of a capacitor)**

C_N

设计电容器时所采用的电容值。

3.23

(电容器的)额定电流 **rated current of (a capacitor)**

I_N

设计电容器时所采用的交流电流的方均根值。

3.24

(电容器的)额定频率 **rated frequency (of a capacitor)**

f_N

拟使用电容器的系统的频率。

3.25

(电容器的)额定容量 **rated output (of a capacitor)**

Q_N

根据额定电抗和额定电流导出的无功功率。

注：对于以 Mvar 表示，电容器组的额定三相无功功率(Q_N)可由下式求得：

$$Q_N = 3I_N^2 X_N$$

式中：

I_N ——额定电流，单位为千安培(kA)；

X_N ——额定电抗，单位为欧姆(Ω)。

3.26

(电容器的)额定电抗 **rated reactance (of capacitor)**

X_N

在额定频率和介质温度为 20 ℃时，每相串联电容器的电抗。

3.27

(电容器组的)额定电压 **rated voltage (of the bank)**

设计电容器组时所采用的相对地绝缘系统中电力系统的线电压。

3.28

(电容器的)额定电压 **rated voltage (of a capacitor)**

U_N

由额定电抗和额定电流导出的电容器端子间电压(方均根值)， $U_N = X_N I_N$

3.29

(电容器的)剩余电压 **residual voltage (of a capacitor)**

电容器断开电源之后在给定时间内端子间的残留电压。

3.30

(串联电容器的)段 **segment (of a series capacitor)**

电容器组的每一个相分为一个或几个串联连接的部分，而这每一部分又是由该部分中的电容器单元、过电压保护装置、保护元件和旁路开关所组成，每一这样的组合就称作段(见图 1)。

注：段与段之间通常不用隔离开关分开。一个以上的段可以在同一个绝缘平台上。

3.31

串联电容器组(或组) series capacitor bank (or bank)

具有相应的保护和绝缘支持结构的三相电容器组。

注：组可以包括一个或几个级(见图 1)

3.32

串联电容器装置 series capacitor installation

由串联电容器组和包括旁路开关以及隔离开关等附件组成的装置。

3.33

稳定状态条件 steady-state condition

电容器在恒定的输出容量和恒定的环境空气温度中达到的热平衡。

3.34

子段 sub-segment

在段可分为一个以上的串联连接部分的情况，而其中的每一部分又包含一个电容器组及其过电压保护装置和选配的保护元件，每个这样的部分被称作子段。

注：子段没有属于自己的旁路开关。

3.35

(电容器的)损耗角正切 tangent of loss angle (of a capacitor)

$\tan\delta$

在规定的正弦交流电压和频率下，电容器的等值串联电阻与容抗之比。

注：损耗角正切也可以由电容器的损耗除以电容器的无功功率来表示。

3.36

非线性电阻器匹配电流 varistor coordinating current

与保护水平相对应的非线性电阻器上的电流值。

注：非线性电阻器匹配电流的波形仅考虑(30~50) μ s 的波前时间即可，波形的波尾对于确定保护水平电压是不重要的。

4 使用条件

4.1 正常使用条件

串联电容器组应适于在规定的电流、电压，额定频率和规定的故障过程以及下列条件下运行：

- a) 海拔不超过 1 000 m；
- b) 室内和室外的环境温度不超过购买方规定的范围；
- c) 覆冰厚度不超过 19 mm(如适用)；
- d) 风速不大于 35.6 m/s；
- e) 当地震的水平加速度(如适用)和垂直加速度同时作用在设备的支持绝缘子基础时，水平加速度不应超过 0.2g，垂直加速度不应超过 0.16g。在此场合对加速度值的要求是固定的。

注：在 IEEE Std 693 中可以看到这是一个“较低的地震水平”。地震加速度和最大风速不是同时发生的。

f) 积雪的厚度(如适用)不应超过支持绝缘子地基平台的高度(典型的最大高度为 1 m)。

g) 太阳辐射应不大于 1 000 W/m²。

4.2 环境空气温度类别

电容器按温度类别分类，每个温度类别规定由一个数字后跟一个字母组成。数字表示电容器可以投入运行的最低环境空气温度。字母表示温度变化范围的上限，在表 1 中规定了最大值。

温度类别覆盖了从-50℃~+55℃的整个温度范围。电容器可以投入运行的最低环境空气温度应从以下五个优先值中选取：+5℃，-5℃，-25℃，-40℃，-50℃。

任何最低值与最高值的组合均可选作电容器的标准温度类别,例如:−40/A 或 −5/C。

表 1 是以电容器不影响环境空气温度的运行条件(例如户外装置)为前提的。如果电容器影响空气温度,则应通风和/或选择电容器,使表 1 中的极限得以保持。在这样一些装置中的冷却空气温度不应比表 1 的最高温度高 5 ℃ 以上。

注:与表 1 相应的温度值可在安装现场地区的气象温度资料中找到。

表 1 温度范围上限的字母符号

符号	环境空气温度/℃		
	最高值	周期最高平均值	
		24 h	1 年
A	40	30	20
B	45	35	25
C	50	40	30
D	55	45	35

4.3 非正常使用条件

串联电容器组在不同于正常使用条件的情况下使用应被视为特例并应在购买方的技术规范中标明,例如以下条件:

- a) 在 4.1 中列举之外的其他使用条件;
- b) 暴露于具有强烈腐蚀和导电尘埃中;
- c) 暴露于盐雾、破坏性气体或蒸汽中;
- d) 昆虫繁多;
- e) 大量鸟类;
- f) 要求超常绝缘或绝缘子具有加大爬电距离的条件;
- g) 要求按 IEEE Std 693 中“中等或高的地震水平”相应的地震加速度。

4.4 非正常的电力系统条件

非正常的电力系统条件包括:

- a) 在电力系统中有连续谐波电流;
- b) 装有串联电容器组的输电线没有相间换位,所以输电线的每相电抗不是完全相等的。

5 质量要求和试验

5.1 电容器单元的试验要求

5.1.1 概述

本条给出了对电容器单元的试验要求。

注:对其他设备的试验要求见 GB/T 6115.2—2002,GB/T 6115.3—2002 和本部分的附录 A。

支持绝缘子、开关、互感器、外部熔断器等应符合相应的国家标准。

5.1.2 试验条件

除了对特殊的试验或测量另有规定外,电容器的介质温度应在 +5 ℃ ~ +35 ℃ 的范围内。当必须进行校正时,使用的参考温度为 20 ℃,但制造方与购买方之间另有协议时除外。如果电容器在不通电状态下在恒定的环境空气温度中放置了适当长的时间,则可认为电容器的介质温度与环境空气温度相同。

如果没有其他规定,则无论电容器的额定频率是多少,交流试验和测量均可在 50 Hz 或 60 Hz 的频率下进行。

5.1.3 由过电压保护装置确定的电压极限

a) 作用

由于电力系统故障或电网的其他不正常条件会使作用在串联电容器上的电压超过其允许值，快速动作的过电压保护装置能限制作用在串联电容器上的电压不超过允许值。

b) 分类

四种常见的方案如下(见图 2)：

- 单一火花间隙保护(K1 型)；
- 由两个不同设置的单一火花间隙组成的双间隙系统(K2 型)；
- 非线性电阻器(M1 型)；
- 带有旁路间隙的非线性电阻器(M2 型)。

注 1：如果过电压保护装置的火花放电电压取决于空气的密度，则 U_{pi} 可以看作是对应于产生最高火花放电电压的条件，即最高气压和最低温度。而且，当确定 U_{pi} 时应将火花放电电压的允许偏差也考虑在内。

注 2：对于线路图 K2(双间隙)， U_{pi} 和所有的试验电压以及绝缘水平都将取决于高放电电压的间隙。

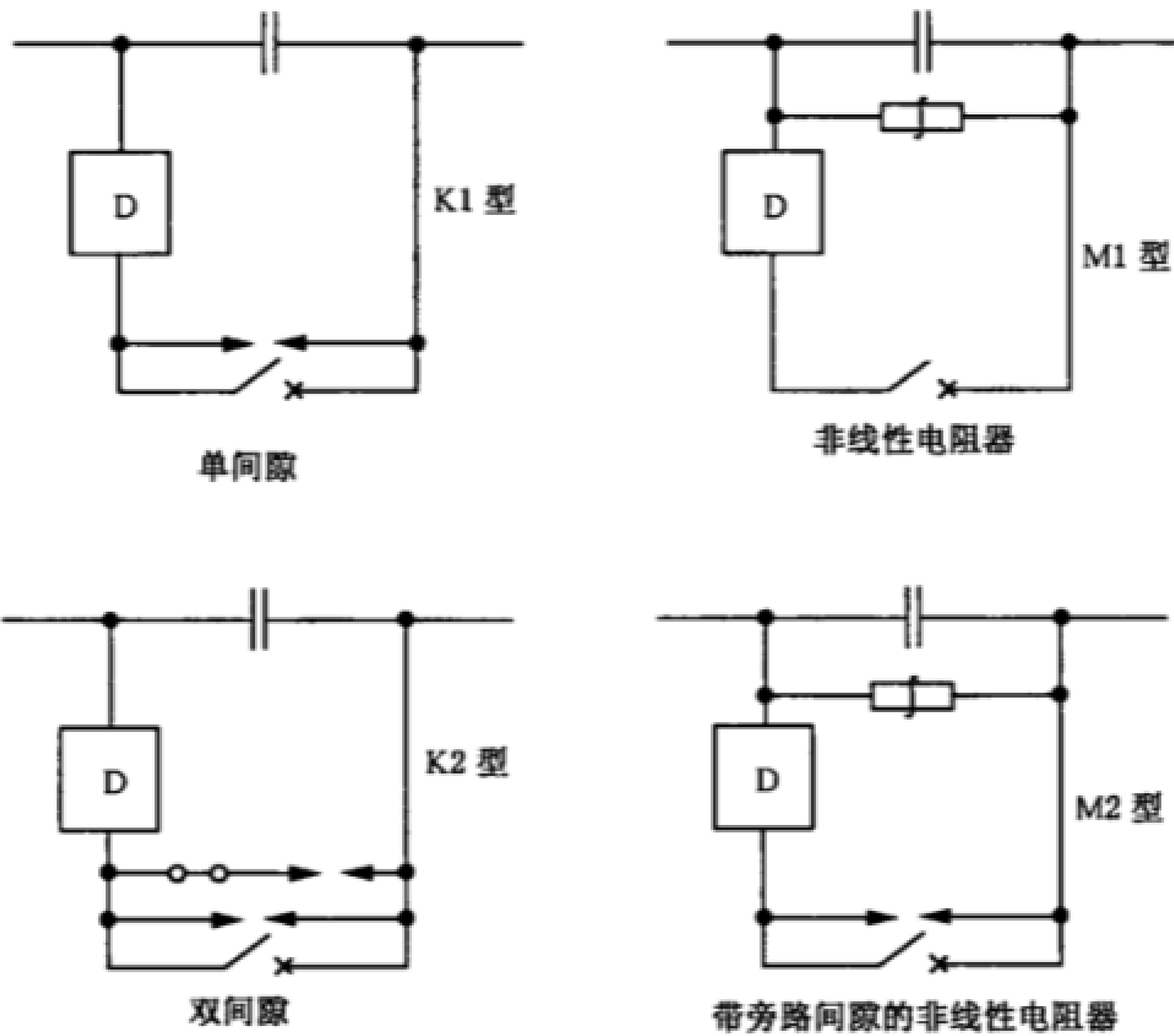


图 2 过电压保护的分类

5.1.3.1 K 型过电压保护装置

当由于系统故障引起线电流过大时，间隙就会发生火花放电，电弧将一直持续到线路被开断或者旁路开关闭合时。

在间隙燃弧期间电容器上承受的电压，峰值将不大于 U_{pi} 。电容器仅在间隙每次动作时受到一次短暂放电。

5.1.3.2 M 型过电压保护装置

非线性电阻器永久性地跨接在电容器的端子之间，当电容器组在正常的负荷电流下运行时，仅有非常小的电流通过非线性电阻器。

在线路发生外部故障的场合，一旦故障被切除，串联电容器就会自动地被再次接入。甚至在故障期间串联电容器仍能起到一定的补偿作用。由于这个原因，在许多情况下 M 型保护装置所选取的 U_{pi} 值可以低于 K 型过电压保护装置的 U_{pi} 值。另一方面，当被补偿线本身短路时，线路末端的断路器将被打开。

非线性电阻器应能耐受在过负荷状态下和出现在 10.3 中那样的系统摇摆时以及由此引起的最大的线路故障电流产生的热应力。

一旦其线路保护失灵,则外部故障将长时间存在,这时非线性电阻器将处于过热状态。另外,在被补偿线路上的短路会产生很大的电流,要按照这个电流来决定非线性电阻器的参数是不经济的。在这种情况下,为了保护非线性电阻器,可以用一个开关或一个强制触发的火花间隙进行旁路。

5.1.4 保护水平电压 U_{pl} 和极限电压 U_{lim} 的确定

端子间的试验电压(U_t)决定于过电压保护装置的类型和它们的保护水平电压 U_{pl} (见 5.1.3)。
电容器单元的极限电压 U_{lim} (kV,方均根值)与实际所在相或段的保护水平电压 U_{pl} (kV,峰值)的关系如式(1)所示。

$$U_{lim} = U_{pl} / (s \times \sqrt{2}) \dots\dots\dots (1)$$

式中:
 s —— U_{pl} 所作用的电容器单元的串联数。
在 10.4 和 10.5 中给出了进一步的说明。

5.2 试验分类

对构成电容器组的设备进行的试验分为例行试验、型式试验和特殊试验。附加试验通常在电容器组已经被安装之后进行。在 GB/T 6115.2—2002 中讨论了这些试验。

5.2.1 例行试验

- a) 电容测量(见 5.3);
- b) 电容器损耗测量(见 5.4);
- c) 端子间电压试验(见 5.5);
- d) 端子与箱壳间的交流电压试验(见 5.6);
- e) 内部放电器件试验(见 5.7);
- f) 密封性试验(见 5.8);
- g) 内部熔丝的放电试验(见 GB/T 6115.3—2002 的 3.1.2)。

试验不一定要按上述顺序进行。
例行试验应由制造方在交货前对每一台电容器进行。

5.2.2 型式试验

- a) 热稳定试验(见 5.9);
- b) 端子与箱壳间交流电压试验(见 5.10);
- c) 端子与箱壳间雷电冲击电压试验(见 5.11);
- d) 冷工作状态试验(见 5.12);
- e) 放电电流试验(见 5.13)。

进行型式试验是为了保证电容器单元具有技术规范所规定的性能,并能满足本部分中所规定的运行要求。

可以不在同一台电容器单上进行全部型式试验项目。
上述型式试验所列项目顺序并不表示试验顺序。
除非另有规定,每一台进行型式试验的电容器试品应已通过了全部例行试验项目。
如果以前已在结构相似、场强或负荷水平等于或高于规定使用要求的设备上通过了型式试验,并且已提供上述试验的型式试验报告,制造方可以不再重复该试验。但制造方应提供以前的试验能满足规定使用要求的说明。

仅当采用新的设计、新的关键工艺,或者比以前通过试验的设计场强或负荷水平更高,或者购买方有特殊的要求时,需对试品进行新的型式试验。

5.2.3 特殊试验(耐久性试验)

耐久性试验仅在制造方和购买方之间达成协议之后进行(见 5.14)。

5.3 电容测量(例行试验)

5.3.1 测量程序

每台电容器单元的电容应在 $0.9U_N \sim 1.1U_N$ 下,用能排除因谐波引起的误差的方法进行测量。只要在制造方和购买方之间商定了一个适当的校正系数,电容的测量也可以在其他电压下进行。

测量方法的准确度能使在 5.3.2 中规定的允许偏差得以保持。测量方法的再现性应能检测出一个元件击穿或一根内熔丝动作。

最终的电容测量应在电压试验之后进行(见 5.5)。为了显示由元件击穿或一根内熔丝损坏等引起的电容变化,应在例行试验的电压试验之前初测电容。初测应在不高于 $0.15U_N$ 的电压下进行。

制造方应按协议(购买方如果有要求)提供如下内容的曲线或数据。

- 在额定容量的稳定状态下,在温度类别范围内,电容与环境空气温度间的函数关系;
- 在温度类别范围内,电容与介质温度间的函数关系。

5.3.2 电容偏差

电容偏差是指在 $0.9U_N \sim 1.1U_N$ 下和在 5.3.1 中规定的条件下所测得的电容值的偏差。

在参考温度下(见 5.1.2)的电容与额定电容之偏差应不超过下列限值:

- 对电容器单元: $\pm 5.0\%$;
- 对额定容量小于 30 Mvar 的电容器组: $\pm 5.0\%$;
- 对额定容量为 30 Mvar 及以上的电容器组: $\pm 3.0\%$ 。

此外,电容偏差应不大于:

- 额定容量小于 30 Mvar 的电容器组中任何两个相间或同一级中的任何两个段之间的电容偏差: 2.0% ;
- 在额定容量为 30 Mvar 及以上的电容器组中,任何两个相间或同一级中的任何两个段之间的电容偏差: 1.0% 。

在更苛刻的使用条件下可要求更小的偏差。

制造方提供电容器单元的配置方案。

5.4 电容器损耗测量(例行试验)

5.4.1 测量程序

电容器的损耗(或 $\tan \delta$)应在 $0.9U_N \sim 1.1U_N$ 下,用能排除由谐波造成的误差的方法进行测量。

注 1: 测量设备应按照 JB/T 8957 或其他使其具有同等的或更高的准确度的方法进行校正。

注 2: 浸渍的低损耗介质的损耗角正切在初始赋能的前几个小时内会有明显下降。这种下降与 $\tan \delta$ 随温度变化无关。在同时制造的相同单元之间初始 $\tan \delta$ 值也可能是不同的。但是,其最后的“稳定”值通常是接近的,并且在极限的范围以内。在例行试验中最初的 $\tan \delta$ 测量值应认为仅是一个大致的值。如果合同有要求,单元 $\tan \delta$ 的测量可在热稳定试验之后进行,或者单元已经过了工厂的老练处理。

5.4.2 损耗要求

电容器的损耗是指在 5.4.1 的条件下的测量值。

有关电容器损耗的要求可由制造方和购买方协商确定。

有关电容器损耗的进一步的资料已在附录 B 中列出。

制造方应按协议提供在温度类别范围内,在容量稳定的条件下,稳定的电容器损耗(或 $\tan \delta$)与环境空气温度的函数关系曲线或数据。

5.5 端子间电压试验(例行试验)

当采用 K 型和 M 型过电压保护装置时,电容器单元应经受 $1.7U_{lim}$ (即 $1.2 \times \sqrt{2} \times U_{lim}$) 直流电压试验。试验电压值应不低于 $4.3U_N$ 。试验的持续时间为 10 s。

试验过程中应既不发生击穿也不发生闪络。

注: 如果对电容器进行复试,则推荐采用 $0.75 U_N$ 的复试电压。

5.6 端子与箱壳间的交流电压试验(例行试验)

具有两个对壳绝缘端子的单元,在其端子(连在一起)与箱壳之间应能经受住交流试验电压,历时 10 s。试验电压值应按 6.1.3.2 选取。

试验过程中应既不发生击穿也不发生闪络。

即使在运行中有一个端子拟与箱壳连接的电容器单元,也应进行这项试验。

有一个端子永久性地与箱壳连接的电容器单元,不进行这项试验。

5.7 内部放电器件试验(例行试验)

如果有内部放电电阻,其阻值应通过测量来检验。推荐采用高阻表进行测量。

这项试验应在 5.5 的电压试验之后进行。

5.8 密封性试验(例行试验)

单元(在无涂层状态下)应进行能有效检测其箱壳和套管任何渗漏的试验。试验程序由制造方确定,制造方应说明该项试验的方法。

如果制造方没有规定程序,则应采用如下试验程序。

将未赋能的电容器单元通体加热,使各部分达到比表 1 中所列最大值至少高 20 ℃ 的温度后,历时不少于 2 h,应不出现渗漏。制造方应使用适当的泄漏指示方法。

5.9 热稳定试验(型式试验)

5.9.1 测量程序

被试电容器单元应置于两台额定值和赋能电压与被试电容器相同的陪试单元之间。陪试单元应具有与被试单元几乎相同的箱壳尺寸。另一种可供选择的方案是用两台内部装有电阻器的模拟电容器来作为陪试单元。电阻器的损耗应调节到使模拟电容器的箱壳温度等于或高于被试电容器的箱壳温度。单元的温度应在“等同”点处测量,该处必须不受另一单元的直接热辐射。单元间的间距应等于或小于使用时安装间距。整个组合应置于烘箱中的静止空气之中,并根据制造方对电容器在运行现场的安装说明将电容器放在对热最为不利的部位。

环境空气温度应保持在表 2 所示的相应温度(允许温差±2 ℃)。应采用热时间常数约为 1 h 的温度计进行测量。这个温度计应加入屏蔽使其所受到的来自被试电容器单元和陪试单元的热辐射减到最少。

表 2 热稳定试验中的环境空气温度

符 号	温度/℃
A	40
B	45
C	50
D	55

被试电容器应经受基本正弦波交流电压,历时不少于 48 h。在整个试验过程中电压值应保持恒定。试验电压值可根据实测电容(见 5.3.1)和电容器的容量等于 1.44 倍 Q_N 规定的规定计算求得。试验值 1.44 Q_N 是与 7.1 中规定的 8 h 过电流为 1.1 I_N 相对应的。如果这个 8 h 过电流倍数增大了,那么系数 1.44 应按平方增大。

在最后 6 h 内最少应测量 4 次箱壳温度。在整个 6 h 内温升的增加应不大于 1 K。如果观察到较大的变化,则试验应继续进行直到最后 6 h 内的连续 4 次测量能满足上述要求为止。

在试验前和试验后应在 5.1.2 规定的温度范围内测量电容(见 5.3.1),两次测量值应校正到同一介质温度。

两次测量值之差应小于相当于一个元件击穿或一根内熔丝动作所引起的变化量。当分析测量结果时,应考虑下列因素:

——测量的再现性；

——即使没有任何元件击穿或内部熔丝动作，介质的内部变化也会产生微量的电容变化。

注 1：当检验温度状态是否良好时，应考虑在试验过程中的电压波动、频率和环境空气温度。因此建议做出这些参数和箱壳温升与时间的关系曲线。

注 2：只要达到规定的容量，预期用于 60 Hz 装置的电容器单元可以用 50 Hz 来进行试验，反之亦然。对于额定频率低于 50 Hz 的单元，其试验条件应由制造方和购买方协商确定。

5.9.2 电容器损耗测量

电容器损耗(或 $\tan \delta$)应在热稳定试验结束时测量。测量电压应为进行热稳定试验的电压，其余采用 5.4.1 的规定。

测得的 $\tan \delta$ 值应不大于制造方规定的值或制造方与购买方商定的值。

5.10 端子与箱壳间交流电压试验(型式试验)

有两个与箱壳绝缘的端子的单元，在连在一起的端子与箱壳之间施加 1 min 试验电压。试验电压的值按 6.1.3.2 来选取。

对于一个端子永久性地接箱壳的单元，应在端子之间施加 1 min 交流试验电压，以检查其对壳绝缘是否足够。试验电压与 U_N 成正比，其值按 6.1.3.2 进行计算。当此试验电压超过电介质试验要求时，可以改变试验单元的介质结构，例如增加串联元件数以避免介质损坏，但对壳绝缘不能改变。另外，也可使用一台带有两个绝缘端子、对壳绝缘相同的模拟单元进行试验。

户内使用的单元采用干试电压。户外使用的单元应在人工淋雨的条件下进行试验(GB/T 16927.1)。在进行人工淋雨条件下的试验时，套管的位置应与运行时的位置相一致。

试验过程中应既不发生击穿也不发生闪络。

注：只有在制造方能提供表示该套管能够耐受 1 min 湿试验电压的型式试验报告时，拟安装在户外的单元才可以只进行干试试验。在这个的型式试验中，套管的位置应与运行时的位置相一致。

5.11 端子与箱壳间雷电冲击电压试验(型式试验)

本试验仅适用于所有端子均与箱壳绝缘而且箱壳接地的单元。

雷电冲击电压试验应按 GB/T 16927.1 进行，但其波形为 $(1.2 \sim 5)/50 \mu s$ ，试验电压的峰值应与按 6.1.1 选取的单元的绝缘水平相一致。

在连接在一起的套管与箱壳之间施加 15 次正极性冲击电压之后，接着再施加 15 次负极性冲击电压。改变极性后，在施加试验冲击电压前，允许先施加几次较低幅值的冲击电压。

如果满足下列要求，则认为电容器通过了试验：

——未发生内部击穿；

——在每一极性下未发生多于 2 次的外部闪络；

——波形未显示不规则性，或与在降低了的试验电压下记录的波形无显著差异。

另一种方法是单元承受 3 次正极性冲击电压，除不允许发生闪络外，以上的验收准则均适用。

5.12 冷工作状态试验(型式试验)

本试验的目的是证明电容器组中的电容器，当其最初处于最低环境空气温度的情况下是否能耐受住达到保护水平的过电压以及相应的过电流。

在试验期间所加电压应是工频，其波形应为基本正弦波。试验回路应适当阻尼以降低超过规定的工频电压的暂态过程。

冷工作状态试验可以在标准单元上进行，也可以在具有 GB/T 11024.2—2001 中所述特性的特殊单元上进行。

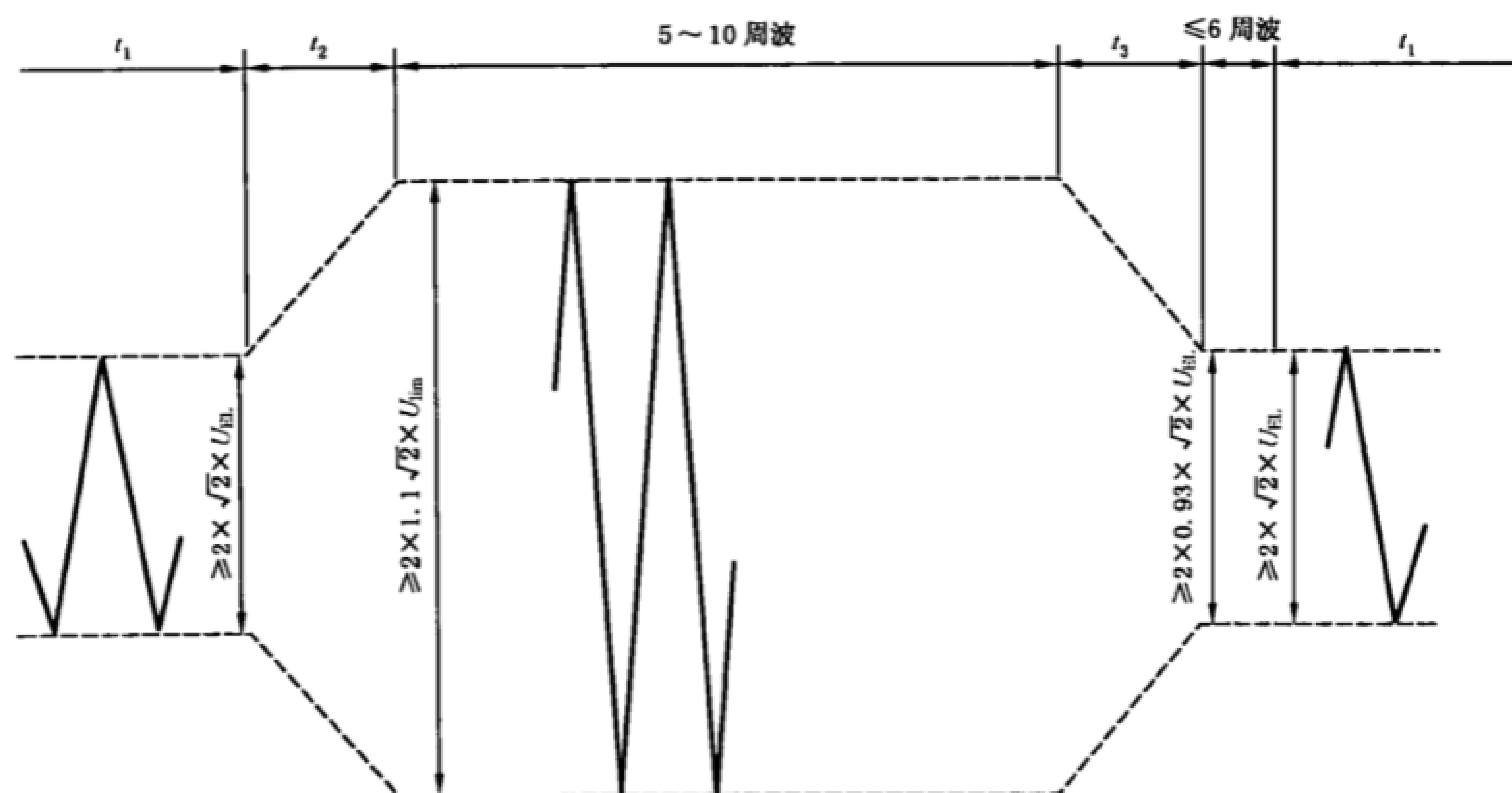
在试验的准备阶段，应将试验单元放入冷冻箱中，将单元冷冻到内部的介质温度等于或低于其温度类别中的最低温度。

应在从冷冻箱中取出后的 10 min 内在单元上施加电压 U_{EL} (在两个端子之间), 历时 30 s。此后, 在不开断电压的情况下施加 $1.1 U_{lim}$ (但不低于 $2.25 U_N$) 的过电压, 历时 5 到 10 个周波。此后, 在不开断电压的情况下 (见图 3) 保持过电压 U_{EL} , 历时 1.5 min~2 min。此后, 应施加另一次相同的过电压周期, 如此周而复始直到施加了 50 个 $1.1 U_{lim}$ 工频过电压周期和紧跟其后的 U_{EL} (见图 3)。

在最后一次 $1.1 U_{lim}$ 过电压周期之后, 电压 U_{EL} 应保持 30 min。

U_{EL} 的值可以是 $1.2 U_N$ 或随着系统扰动发生的与最大 30 min 过负荷条件相应的电压 (见第 7 章和 10.3.1), 取两者中较大者。

试验前后应按 5.3.1 测量电容, 两次测量应校正到同一介质温度 (见 5.1.2)。试验前后所测得的电容应无明显差别, 在任何情况下, 其差别均应小于一个元件击穿或一根内熔丝动作所引起的电容变化。在解释测量结果时应考虑 5.9.1 中所指出的因素。



注: 时间 t_1 是相邻两次过电压之间的 1.5 min~2 min 的时间间隔。时间 t_2 和 t_3 取决于试验回路的参数, 并应尽可能短。

图 3 过电压周期的幅值和时间限值

5.13 放电电流试验(型式试验)

本试验包括在两组不同参数下的放电试验。第一个试验是用来证明单元能耐受住发生在发生闪络时将阻尼电路旁路这样少有的情况下产生的应力。第二个试验是用来证明单元能够耐受住由间隙动作或旁路开关闭合所产生的放电电流。

注: 放电频率应与应用的频率相近似。

对于第一个试验, 电容器单元应充电到直流 $\sqrt{2} U_{lim}$ 的电压, 然后通过一个具有尽可能低的阻抗的回路放电一次。放电回路可以用一个小熔丝或短路开关来构成。

对于第 2 个试验, 同一个单元应接着被充电到 $1.6 U_{lim}$ 的直流电压 (即 $1.1 \times \sqrt{2} U_{lim}$), 并通过能够满足下列条件的回路放电:

- 放电电流的峰值应不低于由间隙导通或旁路开关闭合引起的电流的 110%;
- 放电电流的 $I^2 t$ 应至少比由间隙导通或旁路开关闭合引起的 $I^2 t$ 大 10%。(见 GB/T 6115.2—2002)。

这种放电应以小于 20 s 的时间间隔重复 10 次。在最后一次放电之后后的 10 min 内, 单元应经受一次 5.5 中规定的端子间的电压试验。

试验前后均应按 5.3.1 测量电容,两次测量值应校正到同一介质温度(见 5.1.2)。试验前后所测得的电容应无明显差别,在任何情况下,其差别均应小于一个元件击穿或一根内部熔丝动作引起的电容变化。当解释测量结果时,应考虑 5.9.1 中所指出的因素。

5.14 耐久性试验(特殊试验)

耐久性试验是对元件(它们的介质结构和组成)和这些元件装配在一个电容器单元中的制造工艺的试验。一项耐久性试验可以覆盖电容器的一定设计范围。在 GB/T 11024.2—2001 中列出了对可比元件和试验单元设计的要求。

整个耐久性试验由老化试验和过电压周期试验组成。在 GB/T 11024.2—2001 的 2.1.3 中的过电压周期试验部分被本部分中 5.12 的“冷工作状态试验”所取代,老化试验部分则按 GB/T 11024.2—2001 的 2.1.4 进行。

6 绝缘水平

6.1 绝缘耐受电压

6.1.1 标准值

电容器单元和电容器装置的绝缘耐受电压应从 GB 311.1 和 GB/T 311.2—2002 中规定的标准值中选取。标准绝缘水平见表 3。

6.1.2 对地绝缘和相间绝缘

试验电压应按 6.1.1 的规定从标准值中选取。

对于海拔超过 1 000 m 的装置可能需要提高绝缘。

注:对地的绝缘水平不仅适用于平台绝缘子,也适用于在相与地间的其他的串联电容器设备,在地面安装的旁路开关、通信绝缘子、隔离开关等。

6.1.3 平台上的绝缘子和其他设备的绝缘水平

6.1.3.1 一般要求

安装在支撑平台上的绝缘子和串联电容器设备的绝缘水平与平台有关。

如果安装在海拔超过 1 000 m 的地方,可能需要较高的绝缘水平。

在平台上的绝缘子和设备的绝缘水平应根据过电压保护装置的保护水平来确定,并可使用式(2)计算得出。这个公式适用于跨接整个段的绝缘,这时采用该段的保护水平。这个公式也适用于段内部的绝缘,这时采用的是按比例分配在段的这一部分上的保护水平。

$$U_{ipf} \geq 1.2U_{pl}/\sqrt{2} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

U_{ipf} ——工频耐受电压(方均根值);

U_{pl} ——保护水平的峰值电压。

6.1.3.2 电容器单元

安装在绝缘平台上的电容器单元,或对地绝缘的电容器单元,其端子与箱壳之间应能耐受式(3)或式(4)给出的工频电压。并应采用式(3)或式(4)中的较高值。

$$U_{ipf(n)} \geq U_{ipf} \times n/s \dots\dots\dots(3)$$

$$U_{ipf(n)} \geq 2.5 \times n \times U_N \dots\dots\dots(4)$$

式中:

U_N ——电容器单元的额定电压;

s ——所在段中电容器单元的总的串联数;

n ——相对于与箱壳连接的金属台架的电容器单元的串联数(例如,在一个金属台架上放有 6 台串联连接的电容器单元,其中点接台架,这时, $n=3$)。

箱壳接地的电容器单元在其端子与箱壳之间应按 6.1.1 耐受全绝缘。

注:上面 $U_{ipf(n)}$ 的表达式是指电容器单元的端子与箱壳间的绝缘。这个表达式不适用于电容器介质的试验电压。

电容器介质的试验电压应采用第 5 章中的等式。

6.1.3.3 电容器支架

任何支架之间的绝缘子,例如在支架之间用支柱绝缘子,都应耐受式(3)和式(4)给出的工频耐受电压。并应采用式(3)或式(4)中的较高值。在此场合, n 对应于可跨接在该绝缘间隔间的单元串联数。

6.1.3.4 在平台上的支持绝缘子和其他设备

安装在平台上的设备的绝缘水平,如果在以下分条中没有另外的规定,应按照在 6.1.3.1 中所述的程序和采用式(2)进行选择。

a) 母线绝缘子

在平台上支撑不同母线的绝缘子的绝缘等级应在上述关系的基础上进行选择。绝缘子的电压等级是根据 GB 311.1 所选绝缘子确定的,该绝缘子的耐受电压应等于或大于表 3 中规定的工频耐受电压。

b) 设备绝缘子

除了某些例外情况,通常在平台上的设备的绝缘子的工频绝缘水平应该由式(3)和上述对母线绝缘子所述的方法来确定。

c) 旁路开关

旁路开关断口间的绝缘水平应以上述关系为基础进行选择。

d) 非线性电阻

非线性电阻的外壳应能耐受由上述公式得出的工频湿耐受电压。不要求所选的绝缘水平必须符合 GB 311.1 中的标准值。

e) 旁路间隙

用于旁路间隙的绝缘子在以上关系的基础上应对旁路间隙所承受的一部分段电压加以考虑。设计应考虑到在正常的击穿过程中,中间的部件会受到高的瞬态量的工况。此外,主间隙和任何点火电路应能耐受住在电力系统不适当的工况下所有系统扰动,并且不会受到破坏。

f) 限制放电电流的设备

在平台上用于支撑限制放电电流电路的绝缘子,应以上述关系式为基础,对绝缘子上所受到的一部分段电压加以考虑。

限制放电电流电路两端的绝缘水平应根据旁路间隙放电或旁路开关闭合时出现在电路两端的瞬时电压来选择。绝缘等级要求的工频耐受能力至少为这个瞬时电压的 $1.2/\sqrt{2}$ 倍。电路的 LIWL(雷电冲击耐受水平)即 BIL(基本雷电冲击绝缘水平)这时从表 3 中选择。但是,必须考虑到在旁路间隙放电或旁路开关闭合时出现在电路两端的电压其频率远高于 50 Hz 或 60 Hz,其作用时间是非常短暂的。

在 50 Hz 或 60 Hz 下电路的阻抗值通常是非常小的,在选择绝缘水平时实际上不可能采用工频电压耐受试验。另一方面,电路很容易用一脉冲电压来进行试验。因此,选择电路两端间绝缘的要点是采用 LIWL(BIL)。

g) 电流互感器和光学电流变换器

电流互感器和光学电流变换器的绝缘水平应以上述关系式为基础来选择。

表 3 标准绝缘水平 单位为千伏(kV)

系统标称电压 (方均根值)	设备最高电压 U_m (方均根值)	额定雷电冲击 耐受电压 (峰值)	额定操作冲击 耐受电压 (峰值)	额定短时工频耐受电压 (湿试与干试) (方均根值)
3	3.5	40	—	18/25
6	6.9	60	—	23/30
10	11.5	75	—	30/42
15	17.5	105	—	40/55
20	23.0	125	—	50/65
35	40.5	185	—	80/95
66	72.5	325	—	140
		350	—	160
110	126	450	—	185/200
220	252	850	—	360
		950	—	395
330	363	1 050	850	460
		1 175	950	510
500	550	1 425	1 050	630
		1 550	1 175	680
		1 675	—	740
750	800	1 950	1 425	900
		2 100	1 550	960
注：对同一设备最高电压给出两个绝缘水平者，在选用时应考虑到电网结构及过电压水平、过电压保护装置的配置及其性能、可接受的绝缘故障率等。 斜线下的数据为外绝缘的干耐受电压。				

6.2 爬电距离

应采用 GB/T 311.2—2002 表 1 中给出的推荐值。购买方应规定采用的污秽水平或爬电比距。

在表 4 中给出了相对于 GB/T 311.2—2002 中的表 1 所规定的不同的污秽水平的爬电比距。（有关污秽水平的进一步的细节，见 GB/T 311.2—2002）。爬电距离用表 4 最小标称爬电比距乘以上所述绝缘两端的额定电压的 $\sqrt{3}$ 倍进行计算。表 4 中的值广泛地应用于任何电压，即相对相、相对地或在一个相段内的任何电压。

如果 30 min 过负荷电流(I_{30})超过 1.35 pu，爬电距离应按比例($I_{30}/1.35$ pu)作线性增加。

表 4 爬电比距

污秽水平	环境的例子 (详见 GB/T 311.2—2002,表 1)	按(GB/T 311.2—2002,表 1) 的最小标称爬电比距/ (mm/kV)	通用标称爬电比距/ (mm/kV)
I 轻	没有或只有密度很低的工业或住房; 农业区或山区; 距海最少有 10 km 到 20 km 的地方	16	28
II 中等	工业不产生显著污染的烟尘; 高的住宅或/和工业密度但经常有风和/ 或降雨; 有海风,但不太靠近海岸	20	35
III 严重	工业高度密集和大城市的郊区,产生 污染; 靠近海的区域	25	44
IV 很重	工业烟尘产生导电沉积; 非常靠近海并受到盐雾; 沙漠地区	31	52
注:在表 4 第 4 列中的通用标称爬电比距可从 GB/T 311.2—2002 表 1 中的值乘以 $\sqrt{3}$ 获得。在 GB/T 311.2—2002(第 3 章)中的值是以设备的最高电压为基础的(见 3.13),只应用于相对地绝缘。当将这些标称爬电比距应用于相对相绝缘时,这些值必须乘以 $\sqrt{3}$ 。比较通用的近似方法是采用第 4 列中跨越任何电容器组内的绝缘路径上的电压值。			

6.3 空气间距

关于空气间距的推荐值可从 GB/T 311.2—2002 的附录 A 中找到。最小间距取决于不同电极的形状。最小间距是一个考虑了实践经验、经济性、设备的实际尺寸在 1 m 以下的间距所取的较为保守的近似值。这些间距仅是对绝缘配合的要求提出的建议。从安全性要求出发可能会得出较大的间距。

表 5 取自 GB/T 311.2—2002,该表规定了雷电冲击耐受电压的相对相和相对地绝缘。

表 6 和表 7 取自 GB/T 311.2—2002,该表规定了操作冲击耐受电压的相对地和相对相绝缘的应用。

对于仅要求耐受交流电压的绝缘,例如安装在平台上的设备的绝缘,其适当的空气间距应选用 GB/T 311.2—2002 附录 G 中的推荐值。最小空气间距与交流工频耐受电压的关系如图 4 所示,如果没有其他更详细的要求,应该采用图中关系。

应用举例:绝缘水平、爬电距离和空气间距的计算

串联电容器(SC)的额定值为 $X_{CN}=43\ \Omega$, $I_{CN}=1\ 500\ \text{A}$ 。30 min 过负荷电流为 1.35 pu。串联电容器由保护水平等于 2.2 pu 的 ZnO 避雷器保护。其污秽水平按照 JB/T 5895 为 II 级。计算安装在平台上的支撑高压母线绝缘子的绝缘水平、爬电距离和空气间距。

解:

额定电压 $U_{CN}=43\times 1.5=64.5\ \text{kV}$ (方均根值)

保护水平电压 $U_{pl}=\sqrt{2}\times 2.2U_{CN}=200.7\ \text{kV}$ (峰值)(见 10.5)

a) 绝缘水平

按照 6.1.3.1 中的式(2)可得到:

$V_{ipf} \geq 1.2U_{pl}/\sqrt{2} = 170.3 \text{ kV}$ (方均根值)

根据 GB 311.1, 高压母线的支持绝缘子的绝缘水平应按工频耐受电压 185 kV 和雷电冲击耐受电压 450 kV。

b) 爬距

按照 6.2 中的表 4 可以得到：

爬距 $l = 20\sqrt{3}U_{CN} = 2\,258 \text{ mm}$

c) 空气间距

从图 4 可以得到：

相应于 170.3 kV(方均根值)的空气间距是 580 mm。

表 5 标准雷电冲击耐受电压和最小空气间距之间的关系
(引自 GB/T 311.2—2002, 表 A. 1)

标准雷电冲击耐受电压/kV	最小间隙距离/mm	
	棒-构架	导线-构架
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1 100	
650	1 300	
750	1 500	
850	1 700	1 600
950	1 900	1 700
1 050	2 100	1 900
1 175	2 350	2 200
1 300	2 600	2 400
1 425	2 850	2 600
1 550	3 100	2 900
1 675	3 350	3 100
1 800	3 600	3 300
1 950	3 900	3 600
2 100	4 200	3 900

注：标准雷电冲击适用于相间和相对地。
对于相对地,可采用导线-构架和棒-构架的最小间距。
对于相间,可采用棒-构架的最小间距。

表 6 标准操作冲击耐受电压和最小相对地空气间距之间的关系
(引自 GB/T 311.2—2002,表 A. 2)

标准雷电冲击耐受电压/kV	最小相对地间距/mm	
	导线-构架	棒-构架
750	1 600	1 900
850	1 800	2 400
950	2 200	2 900
1 050	2 600	3 400
1 175	3 100	4 100
1 300	3 650	4 800
1 425	4 200	5 600
1 550	4 900	6 400

表 7 标准操作冲击耐受电压和最小相间空气间距之间的关系
(引自 GB/T 311.2—2002,表 A. 3)

标准操作冲击耐受电压			最小相间间隙距离/mm	
相对地电压/kV	相间值/相对地值	相间电压/kV	导线-导线	棒-构架
750	1.5	1 125	2 300	2 600
850	1.5	1 275	2 600	3 100
850	1.6	1 360	2 900	3 400
950	1.5	1 425	3 100	3 600
950	1.7	1 615	3 700	4 300
1 050	1.5	1 575	3 600	4 200
1 050	1.6	1 680	3 900	4 600
1 175	1.5	1 763	4 200	5 000
1 300	1.7	2 210	6 100	7 400
1 425	1.7	2 423	7 200	9 000
1 550	1.6	2 480	7 600	9 400

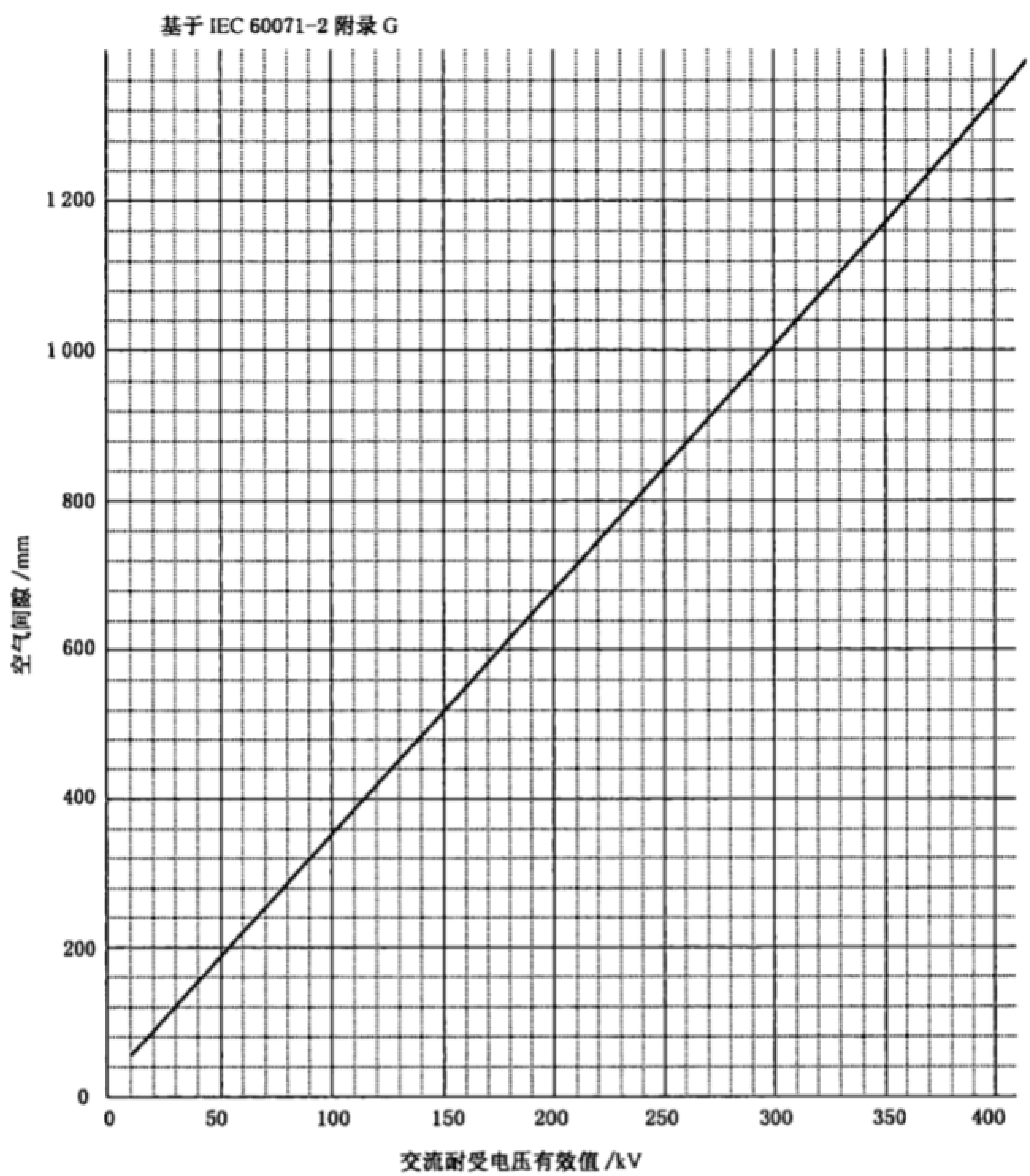


图 4 空气间距与交流工频耐受电压间的关系曲线

7 过负荷、过电压和负荷周期

7.1 电流

串联电容器组应能承受额定连续电流、系统摇摆电流、应急负荷、电力系统故障和某些应用条件下的谐波电流。这些工况中有些已经在 10.3 中说明。这些参数通常是由购买方规定的。

7.2 暂态过电压

串联电容器应能承受在运行中反复出现的暂态过电压,例如电力系统故障可能会使电容器端子间产生最高的电压值 U_{p1} 。暂态过电压通常由过电压保护装置来限制(见 5.1.3,5.1.4 和 10.5)。过电压的预期值应由制造方和购买方商定。购买方应提供估计的重复率。

7.3 负荷周期

串联电容器装置的设计应能使其耐受住购买方提出的故障、系统摇摆电流、应急负荷和连续电流。电容器组中的所有组成部分应按照能耐受住这些工作状态所构成的负荷周期进行设计。负荷周期应与周围的电力系统运行在内部和外部故障的两种方式相一致。购买方应详细规定正常的故障负荷周期,持续的时间和不同故障类型(三相和单相)的故障负荷周期。如果购买方对相间故障有明确说明则设计者应予以重视,因为这可确定可变电阻的能量定额。负荷周期的典型例子可在 GB/T 6115.2—2002 的

3.4中找到。同时参见本部分的 10.5。

虽然本小节的中心是含有系统故障的负荷周期,显然电容器组的设计应能满足在其他场合下运行,例如在购买方规定的工况下插入和再插入。

8 安全要求

8.1 放电器件

每一个电容器单元或并联的单元组都应具有使电容器的剩余电压从 $\sqrt{2}U_N$ 降到 75 V 或更低的放电器件。电容器单元或并联的单元组的最长放电时间为 10 min。在电容器单元或并联单元组与放电器件(外部放电器件)之间不得有开关、熔断器或任何其他隔离装置。

为了满足线路和串联电容器组自动重合的要求,放电回路必须具备使电容器从等于 U_N 的电压水平放电所要求的足够的载流能力和能量吸收能力。

放电器件不能取代维护装置前所必须进行的将电容器端子短接并接地的操作。

注 1: 高于额定电压的运行条件会使 10 min 后的剩余电压高于 75 V。

注 2: 单元内的故障被熔丝排除后,或在电容器组中的某一部分发生闪络,均会在段的内部产生局部剩余电荷,对于这种局部剩余电荷,跨接在段的端子间的放电器件在规定的时间内是清除不掉这些电荷的。

注 3: 在需要更短的放电时间和更低的剩余电压场合下,购买方应通知制造方。

注 4: 根据使用需要可以要求在相或段上装设在电容器单元之外的附加放电器件。

8.2 箱壳连接

为了固定电容器单元金属箱壳的电位,并承受在对壳击穿时产生的故障电流,在箱壳上应配备螺纹尺寸最少为 M10 的螺栓作为连接部件,或其他等效部件(例如:安装面不涂漆的吊攀)。

8.3 环境保护

当电容器中所含物质(例如:多氯联苯)不准被扩散到环境时,应遵循有关国家的法律要求(附录 E)。

8.4 其他安全要求


购买方在询价时应提出国家对于电容器安装的安全法则方面的所有特殊要求。


9 标志和说明书

9.1 单元的标志

9.1.1 标牌

在每个电容器单元的标牌上应给出以下信息:

- a) 制造方名称;
- b) 识别编号和制造年份,年份可为识别编号的一部分或代码形式;
- c) 额定电流 I_N , A;
- d) 额定电容 C_N , μF ;
- e) 额定频率 f_N , Hz;
- f) 额定电压 U_N , V 或 kV;
- g) 额定容量 Q_N , kvar;
- h) 极限电压 U_{lim} , V 或 kV;
- i) 温度类别;
- j) 放电器件,若有则应以文字或符号  或额定电阻来表示, k Ω 或 M Ω ;
- k) 绝缘水平 U_i , kV;

- l) 内部熔丝,若有则应以文字或符号来表示;
- m) 浸渍剂的化学名称或商品名称,可以在警告牌上表示(见 9.1.2);
- n) 执行标准 GB/T 6115.1(加上出版年份);

应为测量电容预留一个位置(见 5.3.1),这个值可用以下方法之一来表示:

- 可取代额定电容的绝对电容值;
- 在实测电容后面加上电容的偏差等级表示法,例如,以数字将电容偏差范围表示如下:
 - +4 表示: +3.5% ~ +5.0%;
 - +3 表示: +2.5% ~ +3.5%;
 - +2 表示: +1.5% ~ +2.5%;
 - +1 表示: +0.5% ~ +1.5%;
 - 0 表示: -0.5% ~ +0.5%;
 - 1 表示: -0.5% ~ -1.5%;
 - 2 表示: -1.5% ~ -2.5%;
 - 3 表示: -2.5% ~ -3.5%;
 - 4 表示: -3.5% ~ -5.0%。

绝缘水平可以用由一斜线隔开的两个数字来表示,第一个数字表示额定短时工频耐受电压(kV),第二个数字表示额定雷电冲击耐受电压(kV),例如 42/75 kV。对于有一个端子永久连接箱壳的单元和按照 5.10 和 5.11 的规定不进行该两项试验的单元,不用标出绝缘水平。

9.1.2 警告牌

如果电容器单元中含有会污染环境或其他危险的(例如,易燃性)物质,则应按照相关法律,单元应在标牌或其他地方有相应的标志。购买方应通知制造方有关这方面的法律(见附录 E)。

9.2 电容器组的标志

9.2.1 说明书或标牌

制造方应在说明书中或按合同协议在标牌上提供以下最低限度的信息:

- a) 制造方名称;
- b) 额定容量 Q_N (例如: 3×10 Mvar);
- c) 每相电抗;
- d) 额定电流 I_N ;
- e) 持续 30 min 的允许过电流(见 10.3.1);
- f) 额定电压 U_N ;
- g) 保护水平电压 U_{pl} ;
- h) 对地绝缘水平;
- i) 相电压从 $\sqrt{2}U_N$ 放电到 75 V 的时间;
- j) 过电压保护装置类型(见 5.1.3)。

如果在说明书中有进一步的资料,在标牌(在无标牌时也可在其他地方)上应有参照该说明书的标示。

如果电容器组含有几个串联连接的段,则项 c), f), g) 和 i) 应涉及到每一个段。

绝缘水平可以用一斜线隔开的两个数字表示,第一个数字表示额定短时工频耐受电压(对于 $U_m < 300$ kV)或额定操作冲击耐受电压(对于 $U_m \geq 300$ kV)单位是千伏(kV)。第二个数字表示额定雷电冲击耐受电压(kV),例如: 185/450 kV。

9.2.2 警告牌

9.1.2 也适用于电容器组。

9.3 说明书

在串联电容器组的说明书中应提供以下最低限度的资料：

- a) 制造方的名称；
- b) 总组
 - 总的额定值；
 - 配置图；
- c) 电力设备
 - 综述；
 - 额定值；
 - 外形图；
 - 维护方法；
 - 备件；
- d) 保护和控制
 - 操作说明；
 - 简图；
 - 维护方法；
 - 试验方法；
 - 备件。

10 额定值的选择、安装和运行导则

10.1 概述

串联电容器在降低线路感性电抗的同时减小了线路两端间的相角差，在长距离输电线中它们可以用来改善电压特性和系统的稳定性，以及增加输电线的输送容量。它们也可用于控制并联运行的线路间有功功率的分配，从而降低总的传输损耗。

因为串联电容器的自动和瞬时响应，所以在配电线路中串联电容器被用来降低因负荷变动所引起的快速电压波动。见参考文献[15]。所以在大多数情况下它改善了所在系统的电压状况。

由于线路电流的波动，串联电容器端子间所承受的电压的变化要比并联电容器大得多。当系统中出现短路时，此电压如此之高，如果按照能耐受此电压来设计电容器单元就很不经济的了。因此，对于这样的过电压，在绝大多数情况下，用一个旁路相或段的过电压保护装置来限制过电压。

在几乎每一个实际使用中，串联电容器在系统中的作用和它们的运行条件都是不一样的。为了获得最佳的技术和经济效果，制造方和购买方之间应紧密合作，根据本导则中提出的准则对每个具体情况进行单独研究，并将研究的结果形成合同内容的一部分。

10.2 每条线的电抗，每个电容器组的额定电抗和每个组的级数

10.2.1 每条线的电抗

在输电线中典型的串联补偿是按照输电线感抗的固定百分率来选择的。根据对系统的传输功率、系统稳定性，短路和次同步谐振(SSR)研究，在以下基础上选择串联补偿度：

- 在枢纽变电所的电压；
- 沿线路的电压分布；

- 系统动稳定性要求；
- 并联线路的功率潮流分配；
- 在靠近非水轮发电机时要考虑 SSR。

最后,考虑设备成本。串联补偿的成本将随着串联补偿度的提高而增大。较高的补偿度通常可以使系统的运行性能得到改善,但是,如果补偿靠近具有 SSR 危险的非水轮发电机侧,则为了减轻其 SSR 需要付出高昂的代价。基于以上考虑,首先应选择一个固定的串联补偿度。

对于几个并联线路或传输线,串联补偿度的选择应避免不均匀的功率传输。然而,在某些场合下,串联补偿可以使具有不同额定线电流的并联线路的功率传输实行最佳化,使优先的输电线传输更多的功率。

任何地方的补偿度约是线路阻抗的 20%~80%。通常在长距离输电线路需要串联补偿以改善其系统稳定性和电压波动。串联补偿也可应用于短距离输电线路来平衡功率传输。串联补偿度的范围应低于 100%,最理想的是输电线呈纯感性并使输电线的谐振频率低于系统的同步频率。输电线的补偿度为 50%,长度为 300 km,具有 $0.3 \Omega/\text{km}$ 的正序线路阻抗的输电线路将需 45Ω 的串联容性阻抗 ($0.5 \times 300 \text{ km} \times 0.3 \Omega = 45 \Omega$),也就是为了对线路进行串联补偿而需要安装的串联电容器的“容抗”。

通常,装有串联电容器的大部分输电线都是各相换位的,所以各相感抗是近似相等的。串联电容器组在制造时使各相电抗近似相等,以使补偿线路的各相的剩余电抗也是近似相等的。这种方法使负序电流被降至最小。串联电容器在非换相线路上的应用是可能的。但是,对每相的额定电抗和电流的选择需要仔细考虑。如果输电线没有换相,则购买方应在规范书中予以说明。

10.2.2 输电线路中串联电容器组的数量

在输电线路中,串联电容器组的数量取决于线路的长度、补偿度和线电流大小,关于串联电容器组电抗值的大小没有统一的标准。如果线路比较长,并且补偿度和电流都比较大,则为了得到较理想的容抗值,通常可以将电容器组分成两组,在线路的两端各安装一组,也可以仅在线路的中点安装一组。安装在线路中点时,通常通过的故障电流较小,其要求的非线性电阻的额定值也比安装在线路末端的小。这样可使传输线路上保持一个可以接受的电压,在有些情况下还可限制加在单个串联电容器组上的电压。在传输功率较大的情况下,串联电容器通常会在输电线上产生一个阶梯电压。基本上,当功率中含有在高负荷条件下产生滞后的感性电流分量时,输电线的感抗会使电压下降。当此电流通过呈容性的串联电容器组时,会在串联电容器上产生一升高的电压。当将串联容抗分成两部分并将它们安装在输电线的两个位置时,电压升高会降低一半,因此可以避免输电线上的电压被过分抬高。在轻负荷条件下,流过串联电容器的线路充电电流将会产生电压降落。在每条输电线中装有一个以上的电容器组时,如果有一个电容器组退出运行,那么不会使输电线失去全部补偿。

当在线路较短或补偿度较小或额定电流较小的情况下进行串联补偿时,通常采用每条线仅安装一个电容器组。

10.2.3 一个电容器组中的级数

大部分串联电容器组是由单一级组成的。除非一个级无法承受由电抗和所需电流在电容器组两端所产生的电压时,供应商可选择由两个级组成的电容器组来承担电压。通常单一级组成的电容器组的结构是最为经济的。

然而,在有些场合需要将电容器组分为两个级以改善对电力系统功率潮流的控制。对功率潮流控制的益处可以超过由两个级组成的电容器组的设备成本。此外,由两个级组成的电容器组如果有一级被旁路则另一级仍能提供部分补偿。但是,具有两个级的电容器组无法对其中的一个级进行维修,除非将整个组退出运行。

如果要求每个电容器组有一个以上的级,购买方应在技术规范中提出。

10.2.4 对串联电容器未来的要求

在选择串联电容器组额定值的时候,应考虑诸如将来需要较高的补偿度,较高的传输功率,较高的故障电流等。

购买方应在技术条件中说明目前所安装的必须适应未来运行要求的程度。

10.3 组的额定电流

购买方应给出在运行中的连续电流、故障电流和摇摆电流的大小。这些电流属于电容器组处于接入状态下的电流。还应给出在旁路状态下的连续电流和故障电流的大小,因为通常这些电流是与接入状态时有所不同。

在图 5 中举例说明了这些电流和它们相应的时间周期。

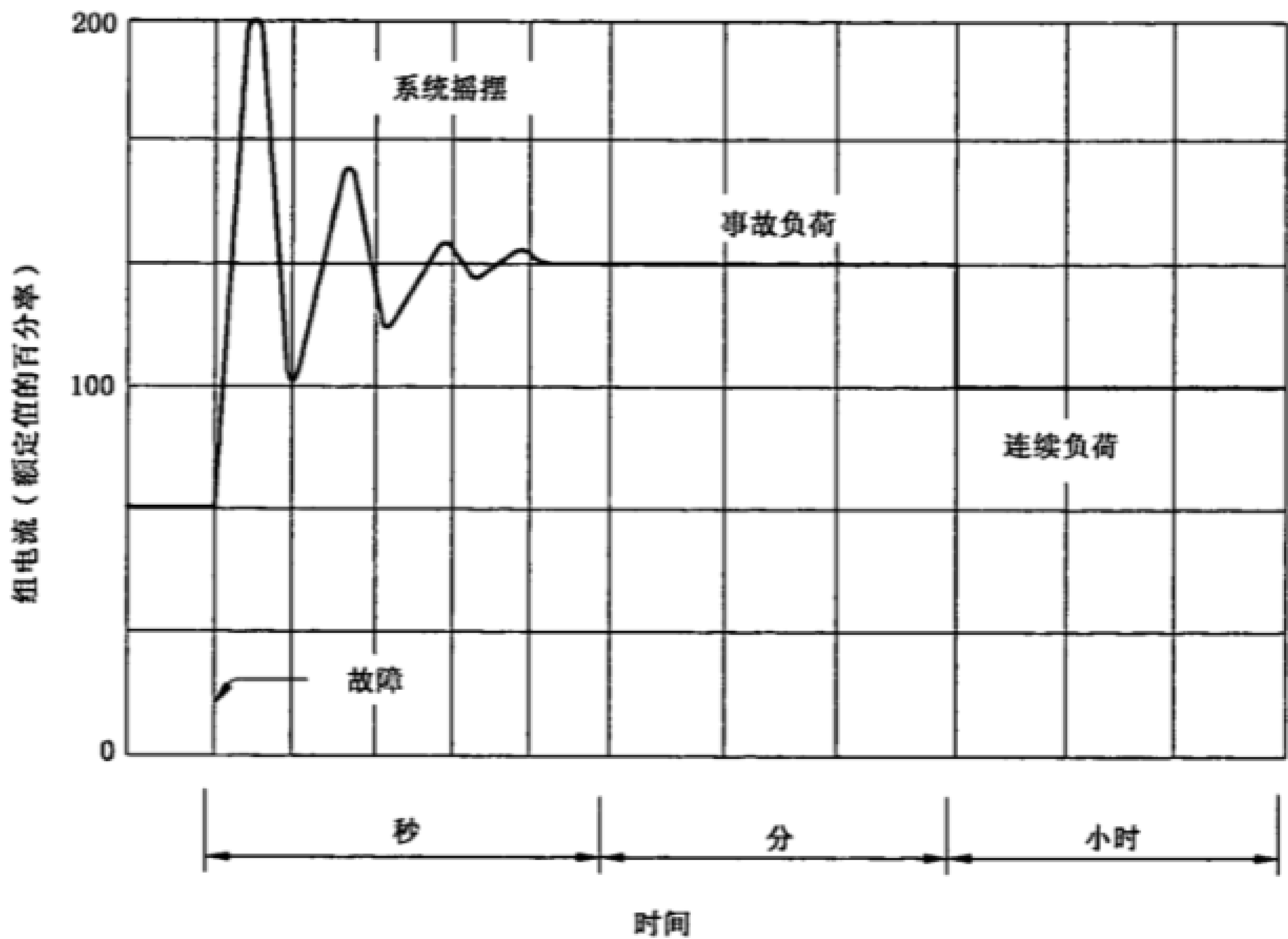


图 5 在故障和失去并联线路后,电容器组接入过程中典型的电流-时间曲线

注: 没有给出故障电流。

10.3.1 电容器组典型的耐受过负荷和摇摆电流的能力

由于串联电容器组串联接入输电线之后会承受到一个波动范围较宽的电流。因此,电容器组最少要有表 8 所示的三个电流额定值。表中所列的每一个类别是以电容器组额定值的倍数表示电流的典型值和电流的典型时间范围。为了实现最佳设计,购买方应分析电力系统的需求,同时在这些需求的基础上规定电容器组的各种电流的额定值。

表 8 电容器组典型的耐受过负荷和摇摆电流的能力

电流	持续时间	典型的范围/pu	最常见的值/pu
额定电流	连续	1.0	1.0
1.1×额定电流	每 12 h 中 8 h	1.1	1.1
紧急情况过负荷(I_{EL})	30 min	1.2~1.6	1.35~1.50
摇摆	1 s~10 s	1.7~2.5	1.7~2.0

在有些场合紧急情况过负荷被规定为持续时间 10 min 或 4 h, 分别对应高于和低于表 8 中给出的过电流倍数。30 min 紧急情况过负荷是最一般的规定, 可以合理地要求电容器在其额定寿命期间, 能耐受住总数达 300 次这样的过负荷。电容器组的保护和控制系统通常将通过闭合旁路开关来限制过负荷至规定值。

规定的 30 min 过负荷值会影响电容器和非线性电阻器的设计和成本。为了达到 30 min、1.6 pu 以上的过电流的能力, 制造方应提高电容器单元耐受连续电流的能力。此外, 组的保护水平也随之提高。

应该指出, 由规定的 30 min 过电流(I_{EL}), 将被用于确定电容器单元的“冷工作状态试验”电压和非线性电阻器的“耐受能量和工频电压稳定性试验”(见 GB/T 6115.2—2002) 的电压, 除非购买方另有规定。

10.3.2 对连续和紧急情况过负荷电流的确定分析

串联电容器组的连续和紧急情况过负荷电流的额定通常可以通过以下三种途径之一来确定:

- 假定电力系统具有最不利的、实际上是持续的紧急情况和有最大传输功率通过电容器组, 对其分析可以采用功率潮流计算程序进行分析。电容器组应选择与紧急情况时功率传输相对应的连续额定值。用这种方法时, 电容器组可以不需要有非常高的紧急情况下的过负荷额定值, 因为过高的电流是不切实际的。
- 假定在电力系统中已采用了功率潮流程序以分析通过电容器组的标称和最大传输功率, 那么不但电容器组要选择与这个标称传输功率相对应的连续电流额定值, 还要分析在系统发生紧急情况期间, 特别是并联电路退出期间, 通过电容器组的电流来确定紧急情况下电流的额定值, 这个额定值应直接来自这些研究。但是, 如果并联电路的退出使得紧急情况下的电流额定值与连续电流额定值之比高于表 8 中范围的上限, 则电容器组的连续电流额定值也应作相应的提高, 对紧急情况下的电流的持续时间也应予以考虑。
- 电容器组的连续额定值应对应于输电线的最大热负荷电流。在这种场合下, 组的紧急情况下的负荷可以按与输电线的短时热过负荷容量相一致的方法来选择。此外, 如果紧急情况下的电流额定值与连续额定值之比高于表 8 中范围的上限, 那么组的连续电流额定值应增大。

10.3.3 对摇摆电流额定值的确定分析

通常用动稳定性计算程序来确定摇摆电流。对可能在电容器组中产生最大摇摆电流的故障和电力系统紧急情况进行分析, 对研究并联电路退出特别重要。

如果这个电流低于电容器组连续额定电流的 1.7 pu, 则其对电容器组的设计的影响较小。如果电流高于 1.7 pu 则会对设计有较大影响。所以在技术规范中应对电流的幅值和波形作出详细的规定。

10.4 过电压保护要求

通常, 推荐制造方选择最适合于设备的保护水平。但是, 如果购买方已经对该电力系统的 SSR 或线路断路器的 TRV(见 10.8.8) 进行了分析研究并且已经确定了保护水平的要求, 那么这个要求应包含在技术规范之中。典型的保护水平对于 M 型过电压保护装置在 2.0 pu 和 2.5 pu 的范围之内, 而对于 K 型过电压保护装置(见 5.1.3) 其保护水平较高。

应规定过电压保护设备的类型。此外, 还应规定在故障期间和对随后的内部和外部线路故障时, 明确对设备的要求。这方面的进一步的资料包含在 GB/T 6115.2—2002 之中。

10.5 电力系统故障期间的电压限制

串联电容器组应该能够限制在电力系统故障期间加在每个段或子段上的电压。保护装置必须限制在所有系统故障或由购买方规定的其他条件下产生的工频电压峰值。每一个段或子段应能耐受住由保护装置限定的, 和由制造方确定的或由购买方规定的电压。

段的保护装置的保护水平的电压值与额定段电压之间具有式(5)的关系：

$$U_{PL} = (pu)U_R \sqrt{2} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

- U_{PL} ——保护水平的电压峰值；
- U_R ——额定段电压(方均根值)；
- pu ——保护水平的标么值。

10.5.1 当主要的过电压保护装置与电容器之间的电感可以忽略时的电压限制

在主要的过电压保护装置与电容器之间的电感可以忽略时以下内容是合适的。

10.5.1.1 电压点火球隙

在保护装置是一个电压点火球隙的情况下,保护水平是间隙的最高工频放电电压。对于基于一个以上间隙的保护系统,其保护水平是具有最高放电电压的间隙的最高工频放电电压。例如最典型的场合,限制放电电流的电抗器的电感在任何规定的电力系统故障期间应足够低,以使加在段上的电压低于保护水平。

10.5.1.2 无强制旁路间隙的非线性电阻器

对于基于非线性电阻器和没有旁路间隙的保护系统,保护水平是建立在规定的电力系统故障条件下流过非线性电阻器的最大电流的基础上的。这个最大电流可以是由购买方规定的,或者是由制造方根据购买方提供的电力系统的资料通过计算机模拟确定的。非线性电阻和电容器间架设的母线的电感不是一个重要的因素。

10.5.1.3 具有强制旁路间隙的非线性电阻器

在保护装置由非线性电阻器和强制触发旁路间隙组成的情况下,对决定保护水平的非线性电阻器的配合电流的选择应根据以下给出的两者之一进行：

- a) 考虑了间隙点火系统的逻辑控制和相关的延迟时间在内的任何故障条件下的最大非线性电阻电流。
- b) 用来触发间隙的非线性电阻器动作电流。对于靠近电容器组的内部故障,通过非线性电阻的电流将暂短地超过这个动作电流,在相应的非线性电阻上的电压也将随之升高。对于电压升高、持续时间小于 1 ms 和电压的幅值不大于电容器极间耐压试验时直流电压值的 90%或者电压升高到段的绝缘系统的工频耐受电压峰值的 90%是允许的。

非线性电阻器配合电流值的选择取决于购买方的使用要求和制造方与购买方达成的协议。这些电流值是用计算机模拟确定的。

10.5.2 主过电压保护装置和电容器之间的电感不可忽略时的电压限制

在某些应用中,在主保护装置与被保护的电容器之间存在不可忽略的电感。在这种场合时,有可能在系统发生故障期间,加在电容器上的电压明显地高于加在保护装置上的最高电压。

在限制放电电流的电抗器与电容器串联连接的电路结构中有可能会发生上述现象。假如非线性电阻是主保护装置,并且该非线性电阻跨接在由电抗器和电容器构成的串联组的两端,则在电容器两端上的电压可能会高于被非线性电阻所限制的电压。两者的电压差决定于电抗器的电感和来自电力系统的有效故障电流。如果使用这个电路结构,那么制造方可以通过计算机模拟来确定由购买方规定的在电力系统故障期间加在电容器上的电压值。电容器电压值可用来确定电容器单元上极间耐压的 U_{lim} ,也可以用于确定电容器组件的绝缘配合。

10.6 保护和投切装置

10.6.1 电容器熔丝

在串联电容器组中采用三种不同类型的熔丝：

- 内熔丝电容器组；
- 外熔丝电容器组；
- 无熔丝电容器组。

详见附录 C。

有关外部熔丝的详细要求可在附录 A 中找到。

10.6.2 其他装置

其他装置见 GB/T 6115.2—2002。

10.6.3 连接图

在附录 D 中列出了一些连接图的例子。

10.7 绝缘水平的选择

10.7.1 正常情况

- a) 绝缘水平、爬电距离和相对地空气间距,以及相与相间的空气间距应由购买方规定。
- b) 平台的绝缘水平,爬电距离和空气间距应由制造方用 6.1.3、6.2 和 6.3 中所述的程序给出。

10.7.2 海拔超过 1 000 m

当海拔超过 1 000 m 时,外绝缘的绝缘水平如果按照 6.1 来选取则可能是低了一些(见第 4 章)。在这种场合,购买方应规定一个在正常的试验条件下所需的绝缘水平。6.1 的要求仍然有效,但是要采用新规定的绝缘水平。

对于以箱壳作为一个端子的单元,制造方应提供套管的外部绝缘能耐受与海拔高度相应的试验电压的证明。

10.8 在应用中考虑的其他事项

10.8.1 概述

串联电容器可以提高输电和配电线路的输送容量。但是,应用该设备时应考虑下面所述的问题。

10.8.2 铁磁谐振

由于变压器铁芯的磁饱和作用,进入变压器的涌流可以引发持续的谐振振荡。当空载变压器或并联电抗器接入处于轻负荷状态的串联补偿系统时,特别是在切除负荷以后会出现这种现象。这种现象的发生主要取决于电力系统的拓扑结构。对于辐射状的串联补偿电路,特别是在配电系统中使用串联电容器,这种现象可能很严重。

在那些可能会发生这种现象的电路中,可以通过采用对串联电容器和系统的投切方案来实现正常运行。例如,将串联电容器预先旁路并保持旁路几秒钟,待变压器的涌流现象停止之后再将串联电容器接入。

10.8.3 次同步谐振

次同步谐振(SSR)是一个在串联电容器与附近的汽轮发电机之间产生的次谐波频率下的一种电-机械轴振现象。如果有下列情况时,这种现象对串联电容器的应用可能是很危险的。

- 汽轮发电机的连接或可能被连接到其余电力系统的唯一重要传输线路上具有串联电容器；
- 汽轮发电机的机械振荡频率与串联补偿电网的电频率互补,并在该频率下振荡；
- 机械振荡通过发电机与电力系统相互作用。

在绝大部分的传输系统应用中,要从汽轮发电机的观点出发,对次同步振荡频率和次同步的阻尼问题进行研究和估算。对发生扰动时串联电容器对汽轮发电机轴的转矩的冲击也需要进行研究。研究指出,在应用中可能存在的问题,通常可以采用诸如降低补偿度到 35%,或在某些布局的电力系统中采用旁路等方法。从功率传输的角度看,如果这些补救措施没有明显效果,则可采用其他对策。可考虑使用阻塞滤波装置或发电机的动态稳定器,或者采用具有适当控制和保护措施的晶闸管控制串联电容器,这些对策需要更广泛的研究和设备投资。

基本对策是在可能发生扭动或转子电流的汽轮发电机上安装保护装置,如果超过临界值时,汽轮发电机保护跳闸。

没有迹象表明 SSR 对水轮发电机是一个问题。

10.8.4 电力系统的继电保护

应对串联电容器可能干扰系统保护用继电器工作的问题给予充分的注意,尤其是对阻抗保护的干扰问题。

如果研究表明问题严重,则现有的继电保护需要用一些专门为串联补偿线路而设计的适用装置来取代。

10.8.5 载波传输的衰减

串联电容器组会增加该线路上载波的衰减,这主要决定于阻尼回路的参数及其所在位置。在有些场合其相关的耦合装置被装在串联电容器侧的线路上。

10.8.6 无换位的输电线路

无换位的输电线路有较多的不平衡因素,特别是负序不平衡。在整个三相加入具有相同电抗的串联电容器将会增大负序不平衡。如果这个输电线的一端处于发电站侧,那么无论这是否会引起高负序电流进入同步机的危险,都应该仔细地校核。

可以将串联电容器组设计成各相具有不同的电抗,这可降低在无位移线路中的负序电流。但是,这种方法可能会增大零序电流。

10.8.7 电力系统谐波电流

当串联电容器组的旁路开关处于闭合状态时,则构成了一个限流电抗器与电容器并联的电路。这个电路将有一个自然谐振频率,其典型值在 600 Hz~1 200 Hz 的范围内。如果旁路开关处于闭合状态,而且在输电线中含有显著的谐波电流,则在电抗器/电容器电路中就会产生一个很高的谐波环流,这个谐波电流可能会使电抗器过热。

在某些应用中,串联电容器组将运行在旁路开关闭合状态。如果串联补偿线路靠近 HVDC 的一端或者靠近静止无功补偿装置(SVC),并且,那么串联补偿与闭合的旁路开关一起运行一段时间是重要的。本部分规定的非正常条件下未考虑系统中可能有连续谐波电流,因此,如果系统中存在上述情况,则购买方应作详细说明。在这种场合,供应商应选择具有合适电感的电抗器,而且电抗器的容量应与规定的系统谐波相适应。如果上述不容易实现,则应考虑装设与电容器串联的电抗器。

10.8.8 在线路断路器两端的 TRV

在超高压输电系统中应用串联补偿,会导致切断电流时线路断路器两端上的暂态恢复电压(TRV)升高。TRV 的升高量可能会超过线路断路器的标准要求。应该将出现在线路断路器上的 TRV,作为拟在输电系统中采用串联补偿时的一个研究因素。计算程序,诸如 EMTP 可以用来确定恢复电压。恢复电压可能会受电力系统拓扑结构的影响。

降低 TRV 的方法包括:出现内部故障能快速旁路串联电容器;采用相对地避雷器和在断路器上跨接避雷器。在有些场合,断路器需具有高于标准要求的开断容量。在线路断路器中的分闸电阻也可以降低 TRV。在有些场合,线路断路器需用具有较高 TRV 能力的断路器来代替。

10.8.9 延迟线路电流过零

对 800 kV 串联补偿线路的研究得出,当故障电流通过线路断路器时,其波形有延时过零的可能性。通过研究还表明,在非常罕见的综合条件下,过零可以被延时至 60 Hz 下的七个周波。但对将串联补偿应用在电压低于 800 kV 的电力系统中的研究,并没有发现这种现象。这些系统通常都具有较低的 X/R 比,因此阻尼较大。

还没有见到任何有关在串联补偿电力系统中出现过这种现象的报告。

10.8.10 长时间的再生电弧电流

许多串联补偿输电线非常长,因此在线路中接有并联电抗器。当线路内部出现故障和线路断路器开断的时候,在串联电容器和并联电抗器之间可能会有轻微阻尼振荡。这种振荡的出现取决于并联电抗器与串联电容器间的相对位置。

如果串联电容器设置在靠近相对于并联电抗器的线路中点,则串联电容器的残余电荷在线路断路器开断以后可能产生一个低频(10 Hz)电流通过串联电容器,线路电抗器和故障电弧。因为在该回路中的电阻可能较小,所以振荡电流可能是低阻尼的,在故障被清除期间再生电弧电流的持续时间被延长,尤其是当发生单极跳闸快速重合闸时。故障的电弧电阻能增大阻尼,当低频电流在电抗器中显著发展之前,旁路串联电容器可减轻这种现象。

附录 A

(规范性附录)

外部熔断器和由外部熔断器开断的电容器单元的试验要求和使用导则

A.1 综述

附录 A 适用于串联电容器的外部熔断器。

在现行国标中还没有为串联电容器保护用的外部熔断器设立标准。但是,当要使用时,GB 15166.5 可作为基础。例如,熔断器的额定电压和额定电流应根据串联电容器的允许过负荷(见 7.1 和 10.3)来选择,熔断器在放电电流下的特性应以串联电容器在放电电流下的特性来选择。

A.2 目的

附录 A 的目的是:

- 规定关于外部熔断器的性能和试验的规则;
- 提供一个外部熔断器的使用导则。

A.3 在附录 A 中使用的术语

在本附录中使用 GB 15166.4 中的术语和本部分中的定义 3.10。

A.4 性能要求

- a) 熔断器的性能要求原则上按 GB 15166.4 执行,但要适用于在串联电容器上使用的情況。
- b) 外部熔断器应能在 $0.5 U_N \sim U_{lim}$ 的电压下均能很好地动作;
- c) 外部熔断器应能耐受在 7.1 和 10.3 中相应的过电流和热稳定试验条件(见 5.9)。拟用于单元上的外部熔断器在热稳定试验期间应接入回路(并置于烘箱内),或在等效的或更苛刻的条件下单独进行型式试验;
- d) 外部熔断器应该耐受在放电试验中所施加的电流(见 5.13)。拟用于单元的熔断器,在放电试验中应接入回路,也可在等效的或更苛刻的条件下单独进行型式试验。
- e) 单元组的外部熔断器应在上述相同的条件下单独进行型式试验。熔断器的电气条件应与装有被试熔断器的整个电容器组一起进行试验的条件相同。
- f) 对外部熔断器动作后的绝缘水平要求(见 6.1),既可按熔断器本身对绝缘水平的要求,也可按熔断器动作后产生的绝缘距离来定。对于一个动作后外部没有被断开的外部熔断器,对其也有爬距要求(见 6.2)。
- g) 对于配备能使熔丝动作后实体开断的装置的外部熔断器和/或在熔丝动作时能喷射气体(或其他物质)的外部熔断器,还应考虑熔断器在动作期间电容器组中的绝缘条件。

A.5 试验

A.5.1 熔断器试验

熔断器试验,见 GB 15166.4。

A.5.2 在电容器箱壳上的型式试验

正在考虑中。

A.6 熔断器保护的配合导则

A.6.1 概述

每个熔断器与一个单元或单元组相串联,被用来隔离故障单元。

注 1: 单元故障引起的通过故障单元自身的故障电流是与相的结构和单元内部的连接方式有关的,这个故障电流加上与故障单元相并联的单元上的储能放电电流一起通过熔断器,在故障单元中有多个串联元件击穿之前,通常这两个电流之和是不足以使熔断器动作的。为了保证熔断器可靠动作,并完全隔离故障单元,熔断器的额定值的选取应使其受到 0.5 倍额定线路电流时能够熔断,这个工频过电流部分地将流入短路单元。

注 2: 一个或多个熔断器动作将引起相电压的变化。作用在并联健全单元上的电压值和持续时间均不应超过 7.1 中的规定。除非其结构可用开断电容器组来使其达到这个要求,否则在该电容器组中的所有单元,其额定值均应能适应因熔断器动作而开断单元所产生的更为苛刻的工况。

注 3: 对于具有串联元件的单元,在熔断器动作前,元件击穿会使组内的电压分布发生变化,也会使单元内部的电压分布发生变化。这些电压变化也应在设计组保护的顺序时予以考虑。

A.6.2 保护顺序

串联电容器的保护应按顺序动作。通常,第一步是单元(组)熔断器动作;第二步是组的继电保护(例如,不平衡保护)动作;第三步是线路保护动作。

注 1: 继电保护的设计取决于组的大小,也就是说,并不是所有的串联电容器组都要有这些保护步骤。

注 2: 在大型电容器组中有时还采用继电保护报警。

注 3: 除非熔断器在 $0.5\sqrt{2}U_N \sim \sqrt{2}U_{lim}$ 的电压范围内,并在能量放电的作用下能正常动作,否则,制造方应提供熔断器的电流-时间特性及其允许偏差。

注 4: 在有些情况下,不平衡保护比熔断器保护更灵敏,这就意味着熔断器仅在例如套管闪络或单元中介质发生贯穿性击穿时动作。在这种情况下,不平衡保护是第一步,而熔断器起后备保护的作用。

A.7 熔断器的选择

A.7.1 概述

在选择熔断器时,应考虑采用最有效的资料和导则,将电容器单元在发生故障的过程中箱壳发生破裂的可能性减至最小。所使用的资料和导则应得到制造方和购买方的认可。这些是指对工频过电流和与故障单元并联的单元的储能的要求。

在选择时熔断器应对接入 5.9 和 5.13 的型式试验回路时熔断器将会受到电的和热的影响予以考虑。

A.7.2 非限流熔断器

非限流熔断器通常是具有可更换熔丝芯管的喷逐式熔断器。这种熔断器对工频电流或储能放电电流均没有或只有很小的限流作用。

与故障单元相并联的电容器单元上所储存的能量之和应小于熔断器能够熔断而不发生爆炸的能量,并且小于会引起故障单元爆裂的能量(见 A.7.1)。

这种类型的熔断器可用于流过故障单元的工频过电流很小的场合。

A.7.3 限流熔断器

这种类型的熔断器能将工频过电流限制到预定值以下,并且能在正常的电流过零前将电流降低到零。选择适当的熔断器可使得只有一部分贮能进入故障单元,允许通过熔断器的能量应小于能使故障单元爆裂的能量。

当工频过电流或与故障单元并联的单元中所贮存的最大能量达到足以使喷逐式熔断器或故障单元爆裂时,应选用限流熔断器。选择适当的限流熔断器可以将进入故障单元的储能控制在上限值以下。

A.8 熔断器使用者需要的资料

为了正确的选用各种用途的熔断器,需参考在 GB 15166.4 中给出的部分或全部资料。

附录 B

(资料性附录)

串联电容器组损耗的经济估算

购买方在采购的过程中很少会对串联电容器组的损耗进行经济估算。这是因为由全膜介质电容器单元组成的串联电容器组的损耗与其他电力设备诸如电力变压器相比,是非常低的。由于这个原因和其他的因素,串联电容器损耗体现的经济价值是很低的。因此,很少对这些损耗进行估算。本附录主要是阐明有关串联电容器组损耗方面的知识。

电容器组的损耗是与电流的平方成比例变化的。因此,选择电流值对电容器组的使用情况进行分析是十分重要的。为了估算损耗最好采用电容器组在正常情况下的连续运行时的电流。例如,对于一个具有两条平行线的输电系统,购买方会将两条线均为满负荷时的电流之和作为串联电容器组的额定值,以保证当只有一条线运行时也能承担全负荷。在这种场合,正常的电容器组的电流将只是额定值的50%,电容器组的损耗仅是额定电流时产生的损耗的25%。

电容器组主体的损耗主要是电容器的损耗和电容器熔丝的损耗。电容器的损耗是由内部放电电阻器损耗、内部连接线损耗和介质损耗组成。前两种损耗在电容器的整个使用寿命内是始终不变的。但是,介质损耗在加上交流电压后起初是下降的。电容器单元和电容器组的损耗将从在5.4中所述的在工厂中进行例行试验期间所测得的初始值逐步下降。在工厂同时制造的同一种单元,其初始损耗也可能是不同的。但是,这些电容器单元最终达到的“稳定损耗”通常相差是很小的。制造方已经开发出一种试验技术,这种试验技术可以为购买方提供用于估算损耗的试验数据(长期运行时损耗)。在本部分中没有必要对这些技术做详细的说明。

除了电容器单元损耗和熔丝损耗之外,大部分串联电容器组没有其他显著的附加损耗。通常,阻尼电路是与旁路开关串联的,而旁路开关是常开的。在这种运行模式中,不会给电容器组增添附加损耗。然而,在有些串联补偿装置中阻尼电路是与电容器相串联的。在这种情况下,或者电容器组通常处于旁路状态,应考虑阻尼电路的损耗。

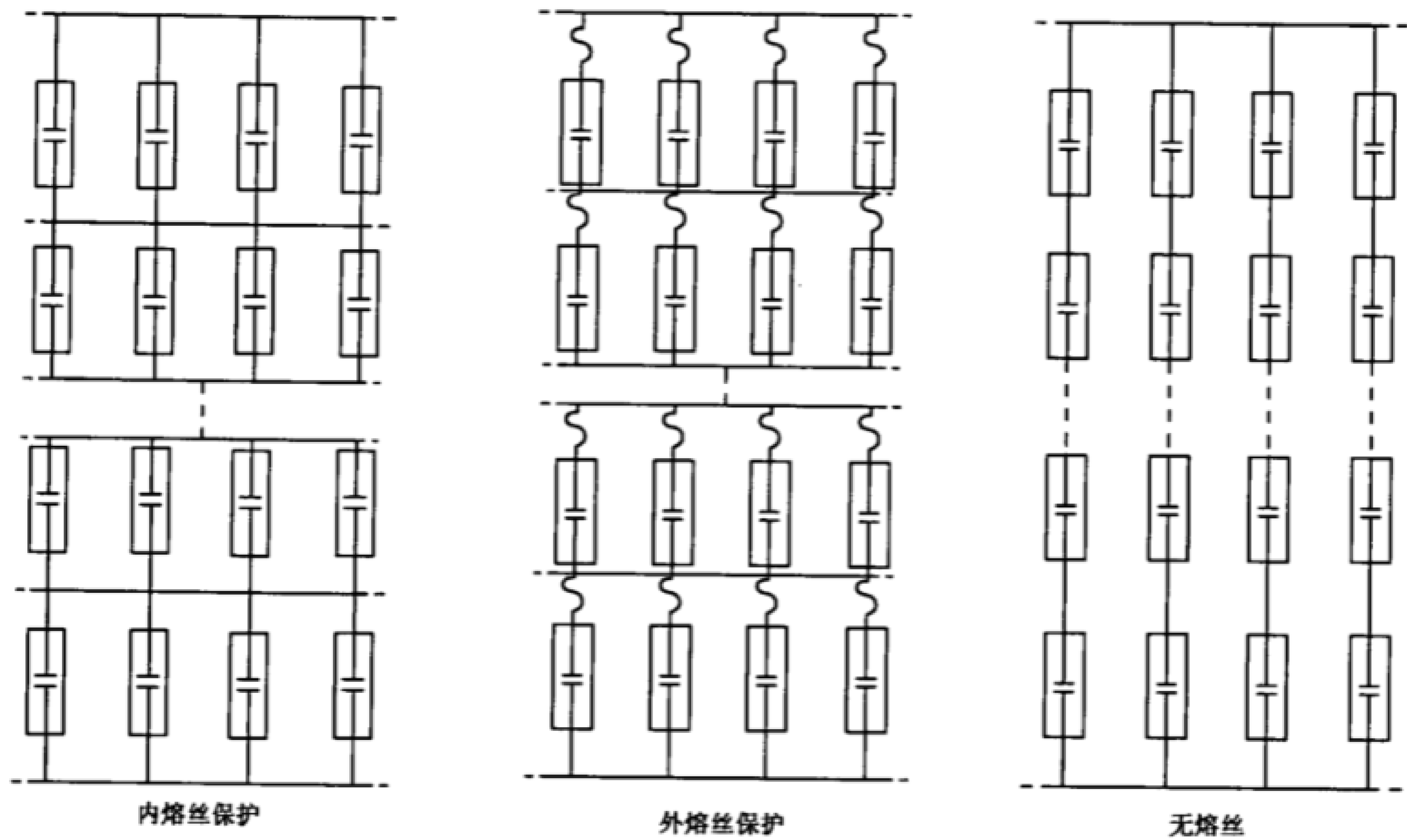
与箱式加热器和控制功率有关的功率损耗都是很小的,在损耗估算中通常不予考虑。

测量安装后的串联电容器组的损耗是不切实际的。

附录 C
(资料性附录)

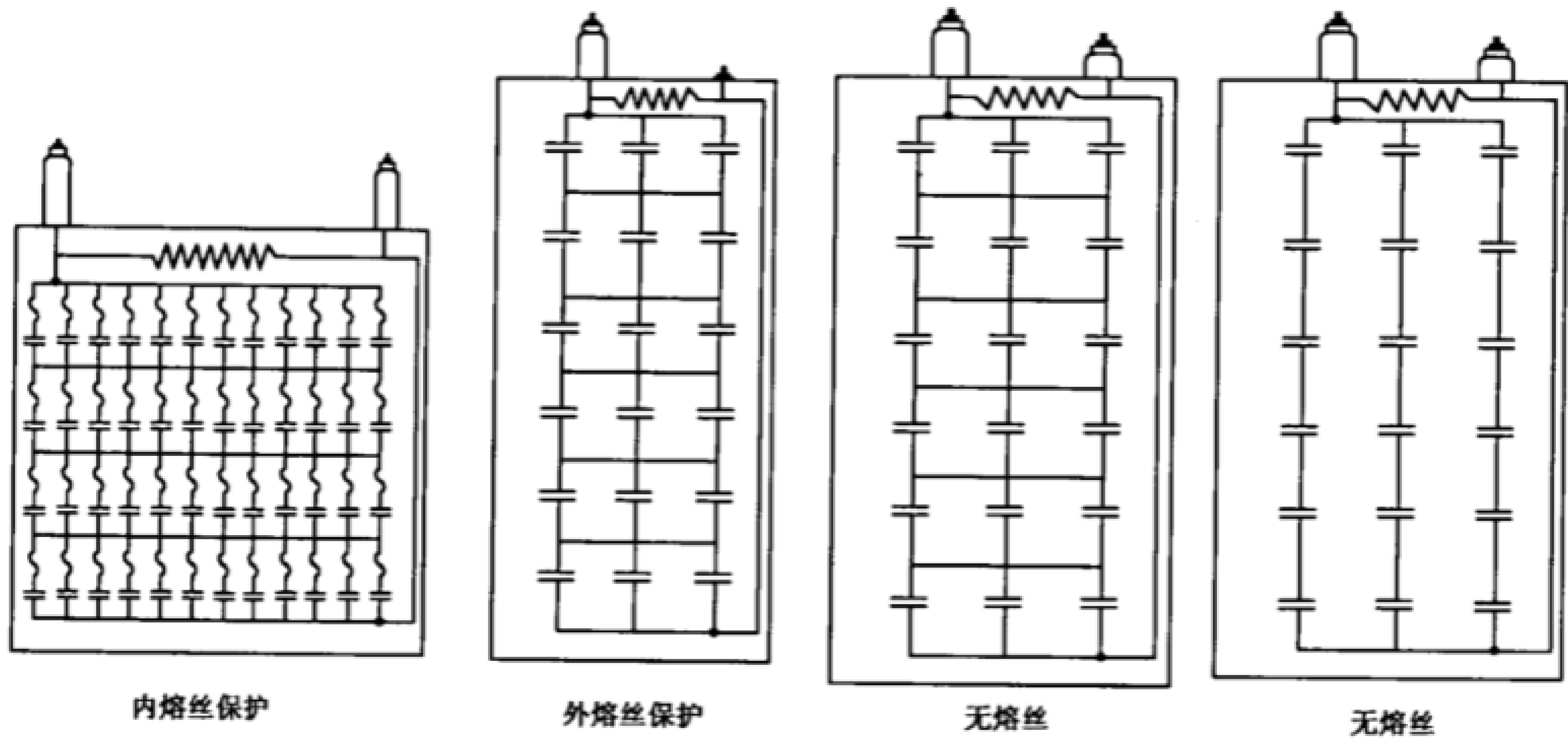
电容器组的熔丝技术和电容器单元配置

在串联电容器组上可以采用三种不同类型的熔丝技术。本附录提出这些类型及相应的电容器单元的配置,参见图 C.1 和图 C.2。



单元数可随着用途和熔丝的类型而改变。在此没有将电容器不平衡电流互感器表示出来。

图 C.1 在段或相中电容器单位的典型连接



单元中的元件数和元件的串、并联数将根据使用要求和工厂的设计惯例而变化。

图 C.2 在电容器单元内部元件的典型连接

C.1 内熔丝电容器组

内熔丝保护的电容器单元的最典型的配置是在这些电容器单元中含有呈并联连结的具有熔丝保护的元件组,将这些元件组串联连接,使单元达到其额定值。这些电容器单元经串、并联连接后使整个电容器组达到其额定值,并允许有不同的串并联数。为了实现检测电容器电流的不平衡,可以将整个电容器组分为两个或两个以上的平行串。

电容器元件发生故障时会使其与其并联元件上的能量通过故障元件的熔丝放电,并使该熔丝熔断。熔丝的熔断又使得单元内部并联元件上的电压增大,并使此单元上的电压也有增加,但非常小。这些电压的增加量主要决定于制造方在设计时所采用的并联元件数。

当有大电流通过电容器组时很可能会出现元件故障。GB/T 6115.3—2002 要求,内部熔丝应按能在电容器组电流比额定值大 50% 和电压上升至 U_{lim} 的情况下正确动作。在设计中应将某些熔丝熔断所引起的附加电流和附加电压考虑进去。

电容器单元可以具有一个或两个绝缘引出端子。

C.2 外熔断器电容器组

采用外部熔断器的电容器的典型配置包括,将受外熔断器保护的电容器连结成并联组,使其能达到必需的电容器组的额定电流。将这些并联组再串联连接起来,以便达到电容器组所要求的额定电压和额定阻抗。电容器组可以分裂为两个或两个以上的并联串,以实现检测电容器的不平衡电流。

电容器单元的故障引起进入外熔断器的电流升高和熔丝熔断,也使得并联组单元上的电压升高。电压升高量决定于工厂设计时所采用的并联单元数。

经常采用由两个熔丝串联组成的双熔丝熔断器。其中一个熔丝是限流型的,用于限制并联组电容器中的高贮能放电。第二个熔丝是喷逐型的,它在小电流条件下动作并提供一个明显的断开信号。附录 A 要求整个熔断器能在 $0.5U_N \sim U_{lim}$ 的电压下可靠地动作。由某些熔丝熔断所引起的附加电流和附加电压应在设计中予以考虑。

典型的电容器单元具有一个绝缘引出端子。

C.3 无熔丝电容器组

无熔丝电容器的典型配置中含有多个串联连接的电容器单元串。根据电容器的承受电压的能力来确定串联连接的串联数。将这些电容器串进行并联连接以达到电容器组的额定电流和额定阻抗。

电容器组分为两个或两个以上的串的并联组,以实现检测电容器的不平衡电流。

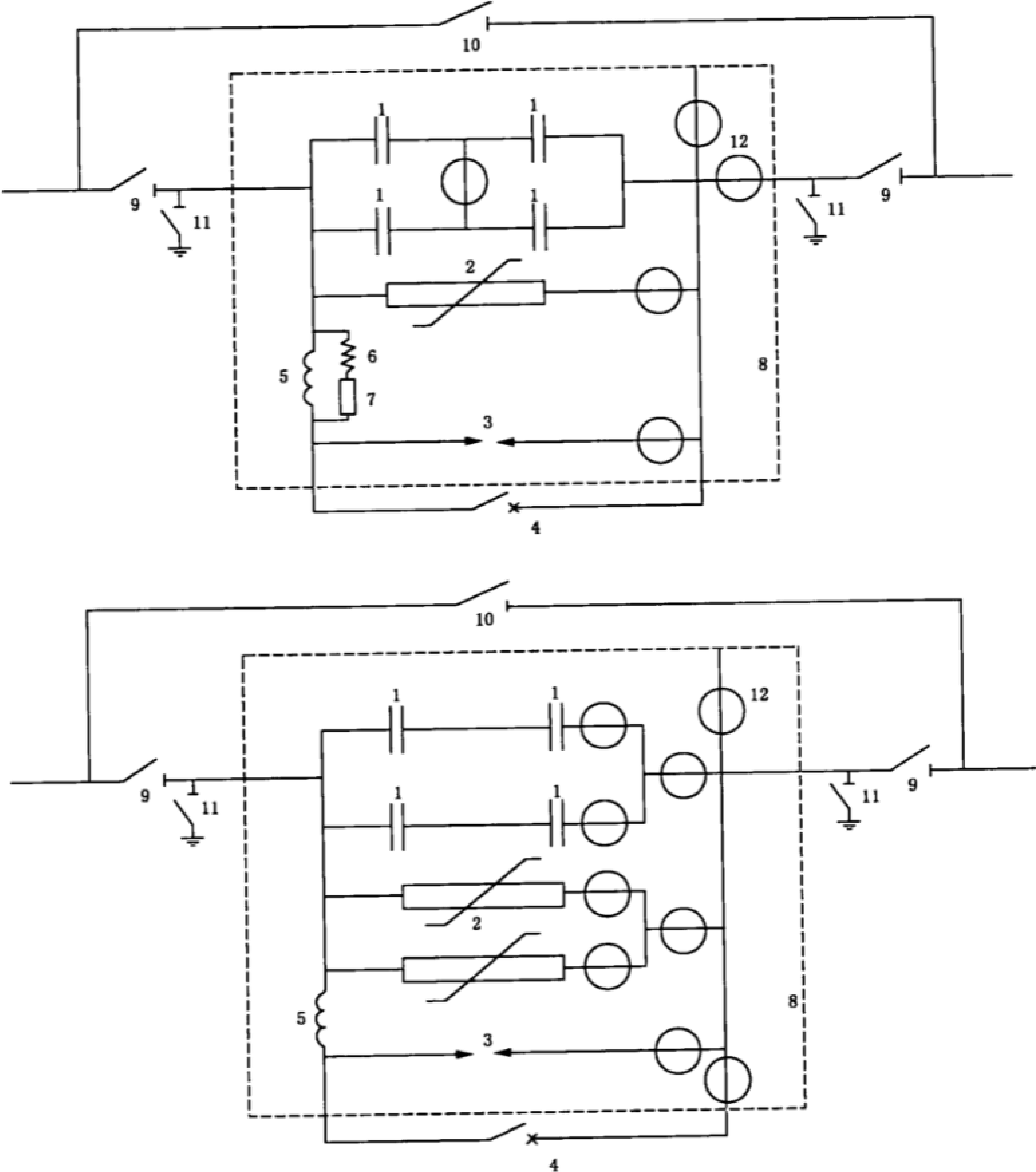
电容器元件的故障,造成电容器单元内部相关串联段短路。其结果使电容器单元内部其他元件上的电流增大、电压升高,同时在相关串中的其他电容器单元上的电压和电流也随之增高,升高的量决定于在串中的总的单元串联数。在电容器单元不直接并联连接的情况下,放电能量和电流的增加都是很小的。含有短路元件的电容器单元仍然继续运行。无熔丝电容器单元采用全膜介质结构。在具有全膜介质结构的元件中,其故障造成短路点的电阻非常小。在含有纸的老的介质结构中情况就不是这样。

通常电容器单元按双绝缘套管设计。

附 录 D
(资料性附录)

输电线中大型串联电容器装置的典型接线图例

可能有其他变化和组合的接线方式。对于容量小的电容器组其接线图可与此不同。



- 图例
- | | |
|-----------|---------------|
| 1——电容器； | 7——非线性电阻器或间隙； |
| 2——非线性电阻； | 8——平台； |
| 3——旁路间隙； | 9——隔离开关； |
| 4——旁路开关； | 10——旁路隔离开关； |
| 5——电抗器； | 11——接地开关； |
| 6——线性电阻器； | 12——电流互感器。 |

图 D.1 输电线中大型串联电容器装置的典型接线

附 录 E
(资料性附录)
防止多氯联苯污染环境的预防措施

多氯联苯(PCB)的处置如果缺乏必要的措施会使环境受到污染。此外,当用 PCB 浸渍的电容器单元偶然受到火焰加热,或受到电弧作用时,燃烧过程产生的有毒物质会使电容器附近的地区受到污染。

用作电容器浸渍剂的 PCB 的特性和它们的处理和销毁的方法应由国家的法律或法规来管理(见 9.12)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.16 电工术语 电力电容器[GB/T 2900.16—1996, neq IEC 60050(436):1990]
- [2] GB/T 2900.50 电工术语 发电、输电及配电 通用术语[GB/T 2900.50—1998, neq IEC 60050(601):1985]
- [3] GB/T 2900.57 电工术语 发电、输电及配电 运行[GB/T 2900.57—2002, eqv IEC 60050(604):1987]
- [4] GB/T 3667.1 交流电动机电容器 第1部分:总则——性能、试验和定额——安全要求——安装和运行导则(GB/T 3667.1—2005, IEC 60252-1:2001, IDT)
- [5] GB/T 3984.1 感应加热装置用电容器 第1部分:总则(GB/T 3984.1—2004, IEC 60110-1:1998, IDT)
- [6] GB/T 8287.2 高压支柱瓷绝缘子 第2部分:尺寸与特性(GB/T 8287.2—1999, neq IEC 60273:1990, 用于标称电压1000 V以上系统的户内和户外支柱绝缘子的特性)
- [7] GB/T 16927.2 高电压试验技术 第二部分:测量系统(GB/T 16927.2—1997, eqv IEC 60060-2:1994)
- [8] GB/T 17702(所有部分) 电力电子电容器[idt IEC 61071(所有部分)]
- [9] GB 18489 管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器 一般要求和安全要求(GB 18489—2001, idt IEC 61048:1999)
- [10] GB 18504 管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器 性能要求(GB 18504—2001, eqv IEC 61049:1991)
- [11] JB/T 8957 校验电容器损耗角正切测量准确度的方法(JB/T 8957—1999, idt IEC 60996:1989)
- [12] IEC 60721-2-6:1990 环境条件分类 第2~6部分:自然界出现的环境条件 地震、振动和冲击
- [13] IEEE Std 824™—2004 用于电力系统的串联电容器组的 IEEE 标准
- [14] IEEE paper PE—009 PRD(09—2000) 串联电容器应用于放射状配电电路时应考虑的问题。IEEE 电容器分会的串联电容器工作组
- [15] ANSI C29.9:1983 用于瓷绝缘子湿处理的美国国家标准(注:柱型)

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
电力系统用串联电容器
第 1 部分：总则
GB/T 6115.1—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码：100045

网址 www.spc.net.cn

电话：68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

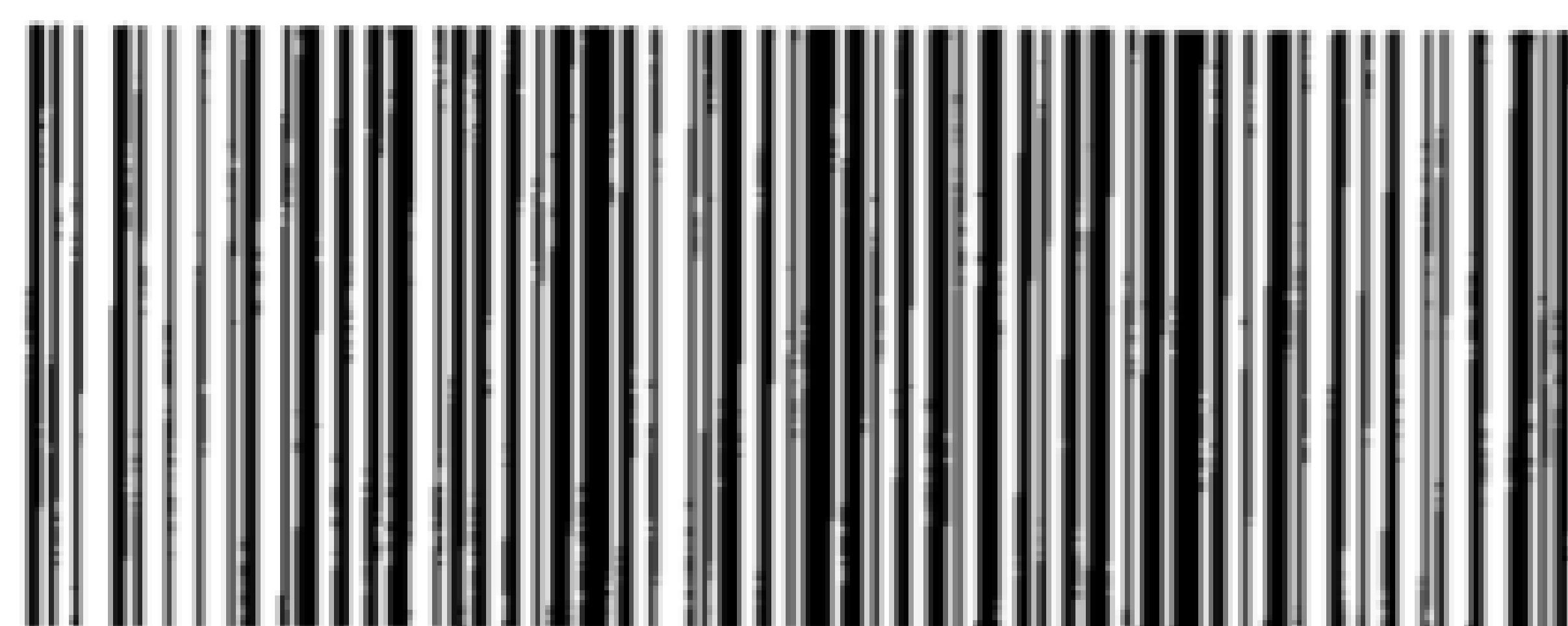
*

开本 880×1230 1/16 印张 2.75 字数 75 千字
2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月第一次印刷

*

书号：155066·1-34037 定价 30.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话：(010)68533533



GB/T 6115.1—2008