

ICS 31.060.70

K 42

备案号: 50060-2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1415 — 2015

高压并联电容器装置保护导则

Guide for the protection of high voltage shunt capacitor installations

2015-04-02 发布

2015-09-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 电容器分类及元件连接方式..... 2

5 电容器装置的继电保护..... 3

6 电容器组不平衡保护..... 4

7 延时电流速断保护和过电流保护..... 12

8 过电压保护和低电压保护..... 12

9 其他保护..... 12

附录 A（资料性附录） 电容器内部接线..... 13

附录 B（规范性附录） 电容器组不平衡保护计算公式..... 16

附录 C（资料性附录） 不平衡保护计算实例..... 19

附录 D（资料性附录） 电容器装置继电保护整定值汇总表..... 21

附录 E（资料性附录） 电容器组爆破能量计算..... 22

前 言

本标准是根据电力系统中高压并联电容器装置的设计和运行要求提出的。

本标准主要内容为高压并联电容器装置的继电保护，当高压并联电容器装置发生故障时，继电保护能可靠、准确地切除故障，避免故障扩大。本标准考虑了与电力行业标准 DL/T 584—2007《3kV—110kV 电网继电保护装置运行整定规程》中相关规定的衔接。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电力电容器标准化技术委员会归口。

本标准负责起草单位：中国电力科学研究院、山东迪生电气股份有限公司。

本标准参与起草单位：国网陕西省电力公司、国网北京市电力公司、南方电网科学研究院有限责任公司、西北电力设计院、国网河南省电力公司、国网辽宁省电力有限公司、国网浙江省电力公司绍兴电力局。

本标准主要起草人：倪学锋、林浩、严飞、孙士民、盛国钊、苗竹梅、李锐海、马侠宁、陈栋新、李胜川、李电、马辉、郝爽、廖一帆。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

高压并联电容器装置保护导则

1 范围

本标准规定了高压并联电容器装置（以下简称电容器装置）保护的术语和定义、电容器分类及元件连接方式、电容器装置的继电保护、电容器组不平衡保护、延时电流速断保护和过电流保护、过电压保护和低电压保护以及其他保护。

本标准适用于电力系统中 35kV 及以上电压等级变电站内 6kV~110kV 高压并联电容器装置的不平衡保护。

本标准不包含电容器装置的暂态过电压保护和单台电容器用熔断器保护。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.16 电工术语 电力电容器

DL/T 584—2007 3kV~110kV 电网继电保护装置运行整定规程

3 术语和定义

GB/T 2900.16 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

高压并联电容器装置 installation of high voltage shunt capacitors

制造厂根据用户要求设计并组装的以电容器为主体的，用于 6kV~110kV 电压等级并联补偿用的并联电容器补偿装置。

3.2

电容器元件 capacitor element

由电介质和被它隔开的电极所构成的电容器的单一部件。

3.3

单台电容器 capacitor unit

由一个或多个电容器元件组装于单个外壳中并有引出端子的组装体。

3.4

集合式电容器 assembling capacitor

将单台电容器按设计要求串、并联连接后集装于一个容器（或油箱）中，并有引出端子的组装体。

3.5

熔断器 fuse

当电流超过规定值一定时间后，以它本身产生的热量使熔体熔化而开断电路的器件。

3.6

内部熔丝（电容器的） internal fuse (of a capacitor)

在单台电容器内部与电容器元件相串联的熔丝，它能切除和隔离故障元件。

3.7

电容器串段 capacitor series section

电容器组中所有相互并联的单台电容器所构成的部分。

3.8

桥式电路 **bridge circuit**

图 1 b) 中 C_1 、 C_3 的连接线与 C_2 、 C_4 的连接线之间串接一台电流互感器所构成的回路。

3.9

电容器臂 (电容器组的) **capacitor arm (of a capacitor bank)**

桥式电路中的四个电容器回路 [如图 1 b) 中的 2], 或中性线不平衡电流保护一相中分属两个星形的电容器回路称作电容器臂 [如图 1 a) 中的 2]。

3.10

电容器支路 (电容器组的) **string between two teminals (of a capacitor bank)**

电容器臂中, 由多台电容器先并联后串联连接的回路称作电容器支路 (如图 1 中的 1)。

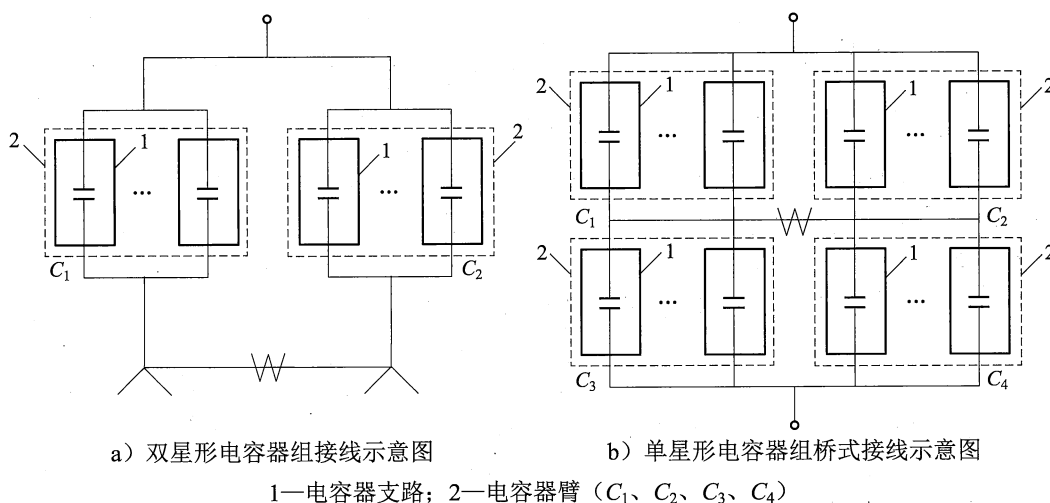


图 1 电容器组单相接线示意图

3.11

不平衡保护 (电容器组的) **unbalance protection (of a capacitor bank)**

利用对电容器组内某两部分之间的电流差或电压差组成的保护。

3.12

外壳耐爆能量 (电容器的) **case energy without rupture (of a capacitor)**

电容器内部短路故障时, 电容器能耐受的不引起箱壳及套管破裂的最大能量, 通常由电容器耐爆能量试验提供。

3.13

爆破能量 (电容器组的) **rupture energy (of a capacitor bank)**

电容器组内某台电容器内部发生极间或极对壳击穿时, 电容器组内相关电容器对故障电容器放电所注入的最大放电能量。

3.14

电容器组额定 (相) 电压 **rated (phase) voltage of a capacitor bank**

电容器组每相电压的设计值 (方均根值)。

4 电容器分类及元件连接方式

4.1 单台电容器

单台电容器可分为内熔丝电容器和无熔丝电容器。

- a) 内熔丝电容器：指内部每个电容器元件都串联熔丝的单台电容器，其元件之间接线原理图见附录 A。
- b) 无熔丝电容器：指没有安装内部熔丝的单台电容器（含箱式电容器），根据内部电容器元件的串、并联接线不同，又可将无熔丝电容器分为先并联后串联接线和先串联后并联接线，其元件之间接线原理图参见附录 A。

4.2 集合式电容器

集合式电容器内部单台电容器（简称内单台）采用内熔丝电容器。

集合式电容器按照内单台或内单台内部元件之间连接方式可分为下列 6 种类型（但不限于此），其原理接线参见附录 A。

- a) 内单台先并联后串联，内单台中元件全并联；
- b) 内单台先并联后串联，内单台中元件先并联后串联；
- c) 每两台内单台先串联后再并联，内单台中元件全并联；
- d) 内单台全并联，内单台中元件先并联后串联；
- e) 有相同容量的 6 个臂（三相共箱），或 2 个臂（单相），每臂中内单台先并联后串联，内单台中元件全并联；
- f) 内部的电容器接成桥式接线，如每个桥臂先内单台 2 台并联后再 2 台串联和 3 台并联后再 2 台串联，然后相并联；内单台中元件先并联后串联。

4.3 箱式电容器

箱式电容器分为内熔丝电容器和无熔丝电容器两种。内熔丝箱式电容器内部元件接线同内熔丝单台电容器；无熔丝箱式电容器内部元件接线除同无熔丝单台电容器的两种接线方式以外，尚其他的接线方式。

5 电容器装置的继电保护

5.1 保护分类

电容器装置的继电保护主要分为下列 5 类（示意图见图 2）：

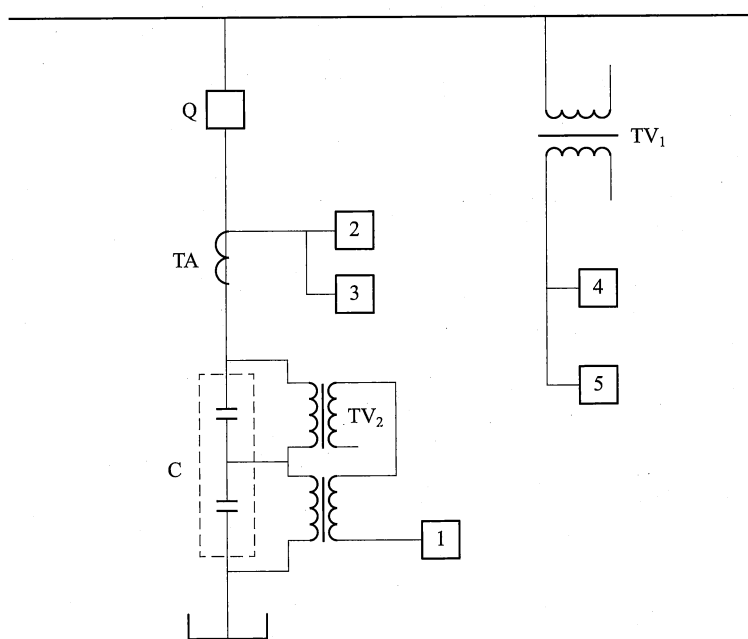
- a) 延时电流速断保护；
- b) 过电流保护；
- c) 过电压保护；
- d) 低电压保护；
- e) 电容器组不平衡保护。

电容器装置禁止设置自动重合闸。

5.2 保护功能

- a) 延时电流速断保护是电容器装置相间短路故障时的保护。
- b) 过电流保护既是电容器装置单相短路故障时的保护，又是防止电容器运行电流超过允许值的保护（谐波电流过大）。在每相单台电容器不超过两个串联段时，过电流保护可作为电容器组单台电容器内部短路故障情况下不平衡保护的后备保护。
- c) 过电压保护是避免电容器装置所接的母线电压升高而危害电容器的保护（如母线持续过电压引起电容器组电压超过规定值）。
- d) 低电压保护用作电容器装置母线失压时的保护，可避免变压器带电容器装置合闸操作产生的危害。
- e) 不平衡保护通常与熔断器或内熔丝相配合使用，共同作为单台电容器内部故障保护，亦可单独作为单台电容器内部故障保护。

电容器组不平衡保护是单台电容器内部故障的主保护（如元件击穿、部分串段元件击穿、单台内部短路、电容器极对壳击穿等故障），也是电容器组内部故障的主保护（如电容器套管闪络、台架之间支柱绝缘子闪络等故障）。



C—电容器组；Q—断路器；1—不平衡电压保护继电器；2—过电流保护继电器；
3—延时电流速断保护继电器；4—过电压保护继电器；5—低电压保护继电器；
TA—电流互感器；TV₁—电压互感器；TV₂—放电线圈

图2 电容器装置的继电保护示意图

6 电容器组不平衡保护

6.1 使用条件

- 电容器组采用中性点不接地星形接线（单星形或双星形）时。
- 有条件时，可配置不平衡保护的后备保护。

6.2 保护原理和分类

6.2.1 不平衡保护原理

当电容器内部出现故障（如多个元件击穿、多个元件串联段击穿等）时，会引起电容器组的相间、串段间或臂间电容值的不平衡，当保护输出达到不平衡保护的整定值时，可以报警或切除故障电容器装置。

6.2.2 电容器组不平衡保护分类

常用的电容器组不平衡保护分以下四类：

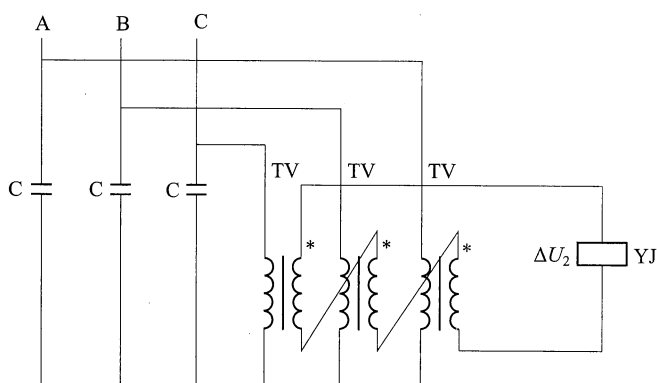
- 单星形开口三角电压保护；
- 单星形电压差动保护（相电压差保护）；
- 双星形中性线不平衡电流保护（中性线差流保护）；
- 单星形桥式差电流保护（桥差保护）。

电容器组不平衡保护不能检测相间（开口三角电压保护）、臂间（中性线不平衡电流保护和桥式差电流保护）、串段间（电压差动保护）的对称性故障。所以，对投运的电容器装置应定期测量电容值。

6.2.3 单星形开口三角电压保护

单星形开口三角电压保护的原理接线如图3所示。电容器组每相各并接一台放电线圈，放电线圈的二次侧一相的首端与另一相的末端相连接，形成一个开口三角接线，开口处接电压继电器（YJ）。

单星形开口三角电压保护的原理：电容器故障引起三相电容不平衡，使得电容器组中性点电位产生偏移，从而导致放电线圈二次电压的相量和（开口三角电压）不再等于零，而是输出一个不平衡电压（零



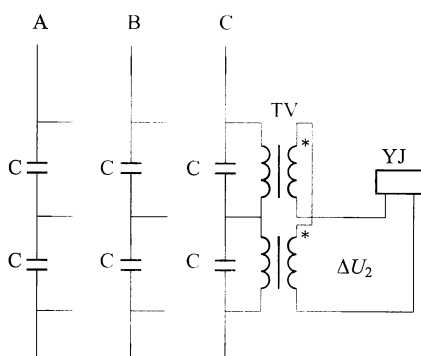
C—电容器；TV—放电线圈；YJ—电压继电器

图3 单星形开口三角电压保护原理接线图

序电压) ΔU_2 ，通过监测 ΔU_2 实现对电容器组的保护。

6.2.4 单星形电压差动保护

单星形电压差动保护的原理接线如图4所示。每相电容器并联一台具有公共抽头的放电线圈，放电线圈二次侧绕组的两个首端连接，两个末端接电压继电器(YJ)，三相的接线是一致的。该接线要求每相电容器组有中间引出端，使用电压差动保护的集合式高压并联电容器或箱式电容器一般每相有三个出线套管。



C—电容器；TV—放电线圈；YJ—电压继电器

图4 单星形电压差动保护原理接线图

单星形电压差动保护的原理：电容器故障引起两个电容器串段电容量之间的比例发生变化，从而使两电容器串段的分压比例发生变化，此时在放电线圈二次出现差压值 ΔU_2 ，通过监测这个差压值实现对电容器组的保护。

注：放电线圈的两个一次绕组的电压分别与其所接两个电容器串段的电压相一致，但二次绕组额定电压是相同的，例如 100V。

6.2.5 双星形中性线不平衡电流保护

双星形中性线不平衡电流保护的原理接线如图5所示。在双星形的中性点之间串联一台电流互感器。电流互感器二次侧接电流继电器(LJ)。

双星形中性线不平衡电流保护的原理：假设电源电压三相对称，当每一个星形接线中三相电容相等时，中性点电位为零，电流互感器中无电流流过。当某一个星形接线中有电容器出现故障时，三相电容就会不平衡，星形中性点电位就会产生偏移，电流互感器中有不平衡电流流过，通过监测这个不平衡电流值实现对电容器组的保护。两个星形接线的电容器并联台数通常是相同的，也可以不同。

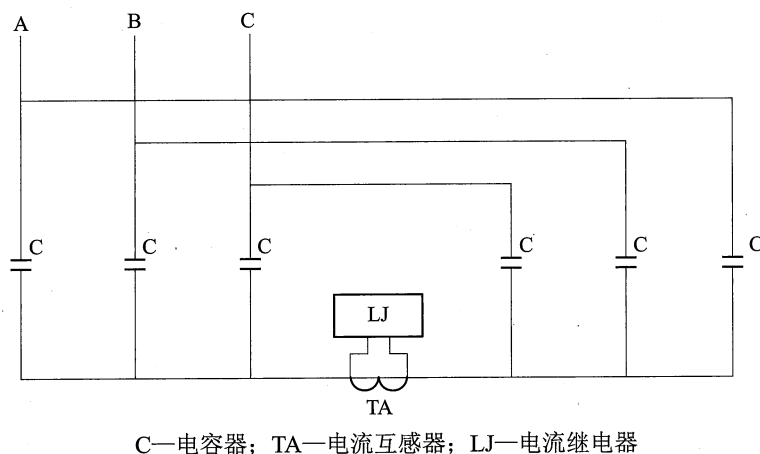
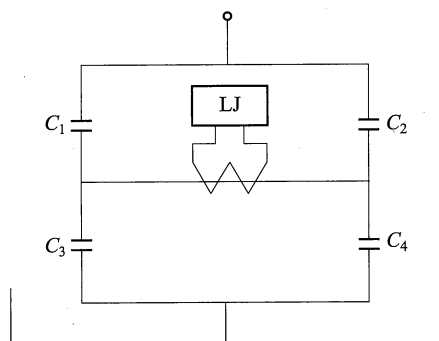


图5 双星形中性线不平衡电流保护原理接线图

6.2.6 单星形桥式差电流保护

单星形桥式差电流保护的原理接线如图6所示。每个桥的电容器分成4个臂，电流互感器二次侧接电流继电器（LJ）。



注：图中画出一相，三相接线是相同的。

图6 单星形桥式差电流保护原理接线图

单星形桥式差电流保护原理：当某一个臂的电容器出现故障时，电桥不再平衡，电流互感器中流过不平衡电流，通过监测这个不平衡电流值实现对电容器组的保护。设4个臂的电容值分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_4 ，忽略电阻分量的影响，则电桥平衡的条件是 $C_1 \cdot C_4 = C_2 \cdot C_3$ 。

6.3 熔丝保护与不平衡保护之间的配合

6.3.1 熔断器保护与不平衡保护之间的配合

当电容器发生贯穿性短路且短路电流达到8倍以上熔断器额定电流时，熔断器为主保护，不平衡保护为后备保护；当短路电流小于8倍熔断器额定电流或电容器元件逐段击穿而未发生贯穿性短路时，熔断器和不平衡保护都是主保护。

6.3.2 内熔丝保护与不平衡保护之间的配合

正常情况下内熔丝和不平衡保护均为电容器内部故障的主保护，在以下三种情况下起保护作用：

- a) 单个元件故障，内熔丝动作切除并隔离故障元件。当元件发生击穿，内熔丝不能可靠熔断且燃弧时间大于不平衡保护动作跳闸整定时间（例如0.2s），不平衡保护就会动作，切除故障电容器组，此时内熔丝保护是主保护，不平衡保护起后备保护的作用。
- b) 多个元件故障，熔丝动作，使得完好元件过电压超过允许值，不平衡保护动作，切除故障电容器组。

- c) 内部引线间击穿或台架上电容器极对壳击穿故障, 内熔丝不起作用, 不平衡保护动作, 切除故障电容器组。

6.4 不平衡保护计算公式

6.4.1 内熔丝电容器组不平衡保护计算公式

6.4.1.1 开口三角电压保护计算公式

开口三角电压保护使用于电压较低和容量较小的电容器组, 如 10kV 电压等级 5000kvar 以下容量的电容器组。

开口三角电压保护的计算公式见附录 B 的表 B.1, 计算公式的符号含义见附录 B 的 B.2。

当串联电抗器装在电容器组的中性点侧, 放电线圈跨接于电容器和串联电抗器的两端时, 公式中的 $U_{N\Phi}$ 应改为 $(1-K_L) U_{N\Phi}$, K_L 为额定串联电抗率。

6.4.1.2 电压差动保护计算公式

单星形接线电压差动保护一般用于中等容量的电容器组, 如 10kV 电压等级 5000kvar 及以上容量的电容器组、35kV 电压等级 20Mvar 及以下容量电容器组和 66kV 电压等级 20Mvar 及以下电容器组。

电压差动保护接线分为对称和不对称两种。对称接线时, 电压差动保护的两段电容器串段数相等, 其计算公式与开口三角电压保护的公式相同 (见附录 B 的表 B.1)。

不对称接线的电压差动保护, 每相的两段电容器串段数不相等, 通常只相差 1 个串段。本标准只考虑相差 1 个串段的情况, 即上、下两段的电容器串段数分别为 N_1 和 N_2 ($N_2=N_1+1$), 保护按照故障发生在串段数多的 N_2 串段进行计算, 其计算公式见附录 B 的表 B.1。

6.4.1.3 中性线不平衡电流保护计算公式

中性线不平衡电流保护适用范围与电压差动保护相近, 但所保护电容器组容量上限可以增大一些, 如增大至 30Mvar。

中性线不平衡电流保护接线分为对称和不对称两种。对称接线时, 每相中两个臂的电容器串、并数相等。对称接线计算公式见附录 B 的表 B.1。

不对称接线时, 即两个星形的单台电容器串联数相等, 并联数不等时, 通常只相差 1 台。本标准只考虑相差 1 台的情况, 即双星中每相单台电容器并联数分别为 M_a 和 M_b , $M_a=M_b+1$, 每臂分为若干支路, 支路中电容器先并后串, 原理接线图见图 7。保护按照故障发生在单台电容器并联数为 M_a 的星形中进行计算, 不平衡输出电流等相关计算公式见附录 B 的表 B.1。

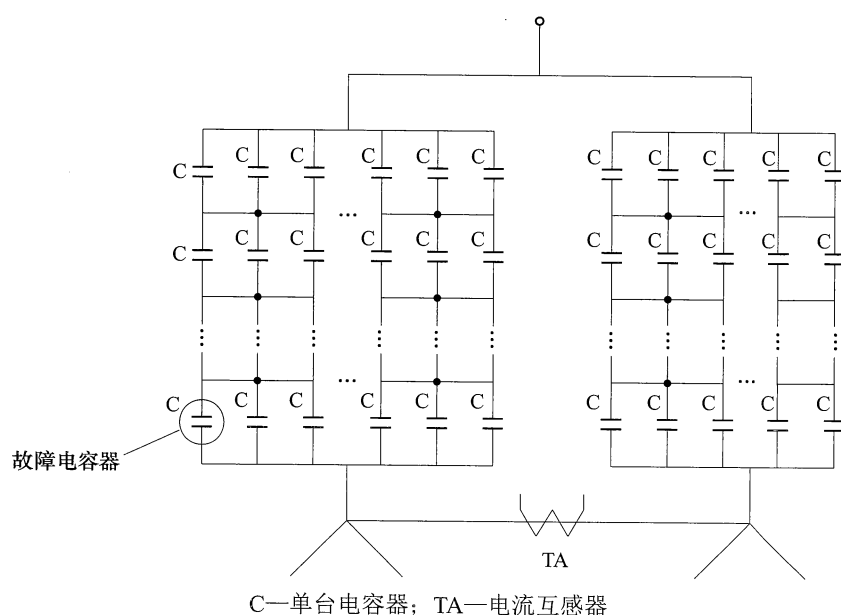


图 7 不对称双星形中性线不平衡电流保护原理接线图

计算公式的使用条件为：电容器组为双星形中性点不接地接线，每相单台电容器 M 并 N 串，故障臂（如图 7 所示）单台电容器 M_a 并；每臂分为多个支路，故障支路单台电容器 M_1 并，且先并联后串联。内熔丝电容器中元件 m 并 n 串，且先并联后串联。

6.4.1.4 桥式差电流保护计算公式

桥式差电流保护通常用于电压较高的大容量电容器组，如 35kV 和 66kV 电压等级、20Mvar 以上容量的电容器组，以及 110kV 的电容器组。

桥式差电流保护接线分为对称接线和不对称接线两类。对称接线时，四臂电容器串、并联数相等；不对称接线时，四臂电容器串、并联数可能不等，每个臂中分若干支路，支路中电容器先并联后串联。

为满足电容器组的爆破能量必须小于单台电容器外壳耐爆能量（如全膜电容器组的爆破能量 $\leq 15\text{kW} \cdot \text{s}$ ）的要求，对称接线大容量电容器组中每个臂也可能分若干支路。如 35kV、60Mvar 的电容器组，每臂分为 2 并联 2 串联和 3 并联 2 串联两个支路，此时爆破能量可用不对称接线方式的计算公式进行计算。每臂单台电容器先并联后串联、不分支路时使用对称接线计算公式。两种接线方式的计算公式分别如下：

- 对称接线。桥式差电流保护对称接线方式，桥中四臂的电容值相等，其计算公式见附录 B 的表 B.1。
- 不对称接线。桥式差电流保护不对称接线方式，桥中四个臂的电容值可能不等，但对应臂的电容值的乘积相等，即 $C_1 \cdot C_4 = C_2 \cdot C_3$ 。接线原理图见图 8，其计算公式见附录 B 的表 B.1。

使用计算公式的条件如下：电容器组为单星形中性点不接地接线。每相单台电容器 M 并 N 串，故障臂（如图 8 所示）电容器 M_a 并；每臂分为多个支路，故障支路电容器 M_1 并，且先并后串；故障电容器所在臂（下桥臂）电容器 N_2 串。内熔丝电容器中元件 m 并 n 串，且先并联后串联。

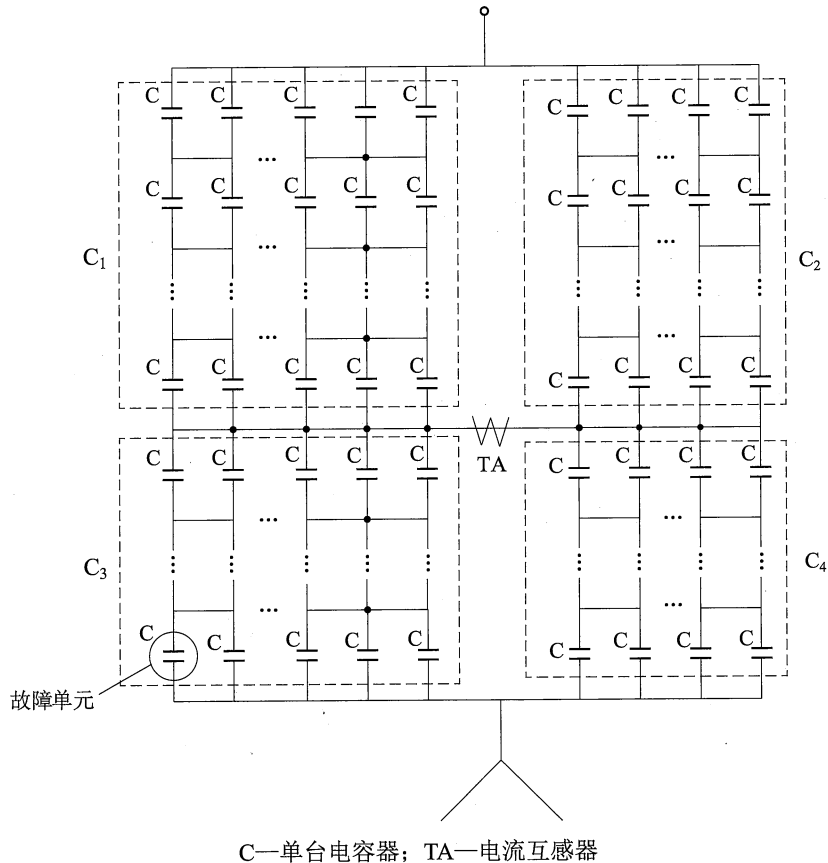


图 8 不对称桥式差电流保护原理接线图

6.4.1.5 内熔丝箱式电容器不平衡保护计算公式

内熔丝箱式电容器不平衡保护计算公式见附录 B 的表 B.1。

6.4.2 采用熔断器的无熔丝电容器组不平衡保护计算公式

6.4.2.1 开口三角电压保护计算公式

采用熔断器的无熔丝电容器组的开口三角电压保护计算公式见附录 B 的表 B.2。

6.4.2.2 电压差动保护计算公式

采用熔断器的无熔丝电容器组的电压差动保护为两段电压相等的接线，每相的两段单台电容器串段数相等，其计算公式与开口三角电压保护的公式相同，见附录 B 的表 B.2。

6.4.2.3 中性线不平衡电流保护计算公式

采用熔断器的无熔丝电容器组的双星形中性线不平衡电流保护仅考虑对称接线，每相中两个臂的单台电容器串、并联数相等，两臂电容值相等。计算公式见附录 B 的表 B.2。

6.4.2.4 桥式差电流保护计算公式

采用熔断器的无熔丝电容器组的桥式差电流保护为四个臂的单台电容器串、并联数相等，四个臂的电容值相等。其计算公式见附录 B 的表 B.2。

6.4.3 不采用熔断器的无熔丝电容器组不平衡保护计算公式

6.4.3.1 开口三角电压保护计算公式

不采用熔断器的无熔丝电容器组开口三角电压保护计算公式见附录 B 的表 B.3。

6.4.3.2 电压差动保护计算公式

不采用熔断器的无熔丝电容器组的电压差动保护为两段电压相等接线，每相两段的单台电容器串段数相等，其计算公式与开口三角电压保护的公式相同，见附录 B 的表 B.3。

6.4.3.3 中性线不平衡电流保护计算公式

不采用熔断器的无熔丝电容器组的双星形中性线不平衡电流保护为对称接线，每相中两个臂的单台电容器串、并数相等，两个臂的电容值相等。计算公式见附录 B 的表 B.3。

6.4.3.4 桥式差电流保护计算公式

不采用熔断器的无熔丝电容器组的桥式差电流保护为对称接线，每相四个臂的单台电容器的串、并数相等。四个臂的电容值相等，其计算公式见附录 B 的表 B.3。

6.4.3.5 元件先并后串的无熔丝箱式电容器不平衡保护计算公式

元件先并后串的无熔丝箱式电容器不平衡保护计算公式见附录 B。

6.5 不平衡保护的整定

6.5.1 不平衡保护的整定原则

不平衡保护的整定原则如下：

a) 单台电容器承受的过电压不超过其额定电压的 1.1 倍。

适用于采用熔断器的无熔丝电容器组和内熔丝电容器组，且主要用于采用熔断器的无熔丝电容器组。

b) 故障电容器内完好元件的过电压不超过元件额定电压的 (1.15~1.3) 倍。

适用于内熔丝电容器组、集合式高压并联电容器组和内熔丝箱式电容器组。

c) 无熔丝单台电容器中元件串联段的击穿段数达 50%~70% 时保护动作。

适用于不采用熔断器的无熔丝电容器组；也可用于采用熔断器的无熔丝电容器组，突发性的电容器极间贯穿性故障由熔断器保护动作，撤出故障电容器，而发展性故障则由不平衡保护来承担，在电容器未发展到极间贯穿性故障前撤出电容器组。这样可减少电容器外壳爆裂的风险。

无熔丝箱式电容器组（电容器元件先并联后串联）可参照执行，但有其不同的串联段击穿百分数的要求。

注：对于已采用熔断器的内熔丝电容器组，使用内熔丝电容器组的整定原则。但新装的电容器装置不应采用该接线

方式。

6.5.2 保护定值的灵敏系数

为了继电器能可靠动作，计算整定值必须考虑一个安全裕度，即定值设置时应考虑保护定值的灵敏系数 K_{LM} ，整定值比不平衡保护输出值小一些，要求 $K_{LM} > 1$ 。

6.5.3 初始不平衡输出

6.5.3.1 初始不平衡的影响因素

不平衡保护整定需考虑初始不平衡输出的影响，由电容器装置参数允许偏差引起的初始不平衡输出的因素主要有：相间电容偏差、串段间电容偏差、臂间电容偏差和测量设备的误差等。相间电容偏差主要对开口三角电压保护有影响，对其他不平衡保护的影响很小；串段间电容偏差对电压差动保护有影响；臂间电容偏差对中性线不平衡电流保护和桥式差电流不平衡保护有影响；测量设备的误差对四种不平衡保护均有影响。

6.5.3.2 电容器装置参数允许偏差引起的初始不平衡输出

由电容器装置参数允许偏差引起的初始不平衡输出值的估算如下：

- a) 电容偏差引起的初始不平衡输出。对于四种不平衡保护接线方式，由电容偏差引起的初始不平衡输出值的估算公式见表 1。该值是近似计算值，一般可满足工程设计的要求。构架式电容器组中电容器外壳接固定电位时，应考虑杂散电容对桥臂电容的影响。
- b) 测量设备的误差引起的初始不平衡输出。测量设备的误差引起的初始不平衡输出取决于测量设备的准确级和使用电流的范围。

表 1 电容偏差引起的初始不平衡输出值估算表

序号	不平衡保护方式	电容偏差	初始不平衡输出	备 注
1	开口三角电压保护	相间电容偏差率 α	αU_{2N} 或 $\alpha U_{N\phi}$	$U_{N\phi}$ 为电容器组额定（相）电压； U_{2N} 为放电线圈的额定二次电压
2	电压差动保护	段间电容偏差率 ξ （二分之一分压）	ξU_{2N} 或 $\xi U_{N\phi}/2$	
3	中性线不平衡电流保护	臂间电容偏差率 η （等容方式）	$\eta I_{N\phi}/4$	$I_{N\phi}$ 为电容器组额定电流
4	桥式差电流保护	臂间电容偏差率 η （等容方式）	$\eta I_{N\phi}/4$	

6.5.3.3 运行条件变化引起的初始不平衡输出

运行条件变化，如三相电源不对称或运行电压、电流的波动，会影响初始不平衡输出。这些因素会使初始不平衡保护输出的实测值产生波动。

三相电源不对称主要影响电容器组开口三角电压保护的初始不平衡输出，具体如下：

——当相间电压幅值的偏差率为 δU_{ϕ} 时，则初始不平衡输出为 $\delta U_{\phi} \cdot U_{N\phi}$ ；

——当相间电压的相位与 120° 之间的偏差为 φ 时，则初始不平衡输出为 $2 \left(\sin \frac{\varphi}{2} \right) \cdot U_{N\phi}$ 。

现场实测初始不平衡输出值应与电容器装置参数偏差引起的初始不平衡输出计算值相对应，当现场实测初始不平衡输出值明显超出计算值时，应分析原因并复核其与保护整定值之间的配合。

6.5.4 可靠系数

为防止不平衡保护误动作，考虑保护整定值与初始不平衡输出配合时，需考虑一个安全裕度，即可靠系数 (K_K)，可靠系数一般不小于 1.5。

6.5.5 不平衡保护整定值设置

6.5.5.1 整定值设置

不平衡保护整定值设置有两种方法，分别如下：

- 方法 1。对于采用内熔丝的电容器组，保护整定值可以取第 n 根和第 $n-1$ 根熔丝动作时输出值的平均值，第 n 根熔丝动作时不平衡保护动作跳闸。
- 方法 2。不平衡保护整定值可由式 (1) 和式 (2) 计算。

$$U_{DZ} = \frac{\Delta U_C}{K_{LM}} \quad (1)$$

式中：

U_{DZ} ——不平衡保护电压整定值（方均根值），V；

ΔU_C ——不平衡保护动作时输出电压值（方均根值），V，指开口三角电压保护或电压差动保护的不平衡电压；

K_{LM} ——保护定值的灵敏系数。

$$I_{DZ} = \frac{I_0}{K_{LM}} \quad (2)$$

式中：

I_{DZ} ——不平衡保护电流整定值（方均根值），A；

I_0 ——不平衡保护动作时输出电流值（方均根值），A，指中性线不平衡电流保护或桥式差电流保护的不平衡电流；

K_{LM} ——保护定值的灵敏系数。

K_{LM} 一般可取 1.1~1.3。

6.5.5.2 保护整定值与初始不平衡输出之间的配合

考虑保护整定值与初始不平衡输出配合时，应满足式 (3) 的要求，式中 U_{BP} 或 I_{BP} 应为综合考虑各种因素以后的初始不平衡输出。

$$U_{DZ}(I_{DZ}) \geq K_K \cdot U_{BP}(I_{BP}) \quad (3)$$

式中：

$U_{DZ}(I_{DZ})$ ——不平衡电压（电流）整定值（方均根值），V（A）；

$U_{BP}(I_{BP})$ ——初始不平衡电压（电流）值（方均根值），V（A）；

K_K ——可靠系数。

应用中一般控制不平衡保护动作跳闸时的输出值与由电容偏差引起的初始不平衡输出值的比值不小于 3。

6.5.5.3 不平衡保护整定计算实例

不平衡保护整定计算实例参见附录 C。

6.6 不平衡保护用设备

6.6.1 放电线圈

选用放电线圈兼作不平衡电压保护时应满足下列要求：

- 放电线圈的准确级应与保护定值及灵敏系数相配合，内熔丝电容器组一般可取 0.5 级，使用熔断器的无熔丝电容器组一般可取 1 级。
- 开口三角电压保护的三台放电线圈的误差特性应一致。放电线圈除接保护负载以外，不得再接其他的负载。
- 电压差动保护用放电线圈的两个绕组的误差特性应一致。

6.6.2 不平衡保护用电流互感器

选择电流互感器时应满足下列要求：

- a) 内熔丝电容器组不平衡保护用电流互感器的准确级宜取 0.5 级。
- b) 电流互感器二次整定电流不宜过小，一般不应小于电流互感器额定电流的 10%。

7 延时电流速断保护和过电流保护

7.1 延时电流速断保护和过电流保护整定计算

延时电流速断保护和过电流保护整定计算可参照 DL/T 584—2007 的规定。

7.2 过电流保护的注意事项

使用过流保护时除满足 DL/T 584—2007 的要求以外，还应符合下列规定：

- a) 当过电流保护能起到电容器内部故障保护（单台电容器内部短路故障）的后备保护作用时，如能避开合闸涌流的影响，时延可取小一些，如 0.2s，以提高装置运行的安全性。当过电流保护不能作不平衡保护的后备保护时，时延可取上限值，如 1s。
- b) 对于每相单台电容器两个串段的电容器装置过电流保护整定值宜取 $1.4I_N$ ，可作不平衡保护的后备保护。
- c) 由于过电流保护主要用途是防止电容器过电流，所以整定值宜取下限值，如 $1.5I_{N\Phi}$ 。
- d) 宜采用反时限过电流保护。

8 过电压保护和低电压保护

8.1 过电压和低电压保护整定计算

过电压和低电压保护整定计算可参照 DL/T 584—2007 的规定。

8.2 使用过电压保护注意事项

使用过电压保护时，除满足 DL/T 584—2007 的要求以外，还应注意同一母线有多组电容器时，应尽可能避免多组电容器同时跳闸。

如果运行需要，可以考虑满足电容器稳态过电压要求的分段过电压保护。

8.3 使用低电压保护注意事项

使用低电压保护时除满足 DL/T 584—2007 的要求以外，还应注意电容器组所接母线为单电源供电时，低电压保护动作时间必须小于电源侧重合闸所需时间。

8.4 电容器装置保护整定计算

电容器装置保护整定计算汇总参见附录 D。

8.5 电容器装置保护整定计算的爆破能量校核

电容器装置结构上不仅应满足保护整定的要求，还应保证电容器组在故障条件下爆破能量小于 $15\text{kW} \cdot \text{s}$ 。校核计算参见附录 E。

9 其他保护

9.1 谐波保护

对于谐波严重的电力系统中的电容器装置，宜设置谐波保护，并在以下三种情况下给出报警信号：

- a) 谐波电压畸变率超过标准要求；
- b) 谐波电流达到 $0.48I_{CN}$ （对应合成电流 $1.2I_{CN}$ ， I_{CN} 为电容器组额定电流）；
- c) 谐波电压峰值达到 $1.2\sqrt{2} U_{CN}$ （ U_{CN} 为电容器组额定电压）。

9.2 缺相保护

电容器装置宜装设缺相保护。

附录 A
(资料性附录)
电容器内部接线

A.1 单台电容器

A.1.1 内熔丝电容器

内熔丝电容器元件之间典型连接原理图见图 A.1 a)。

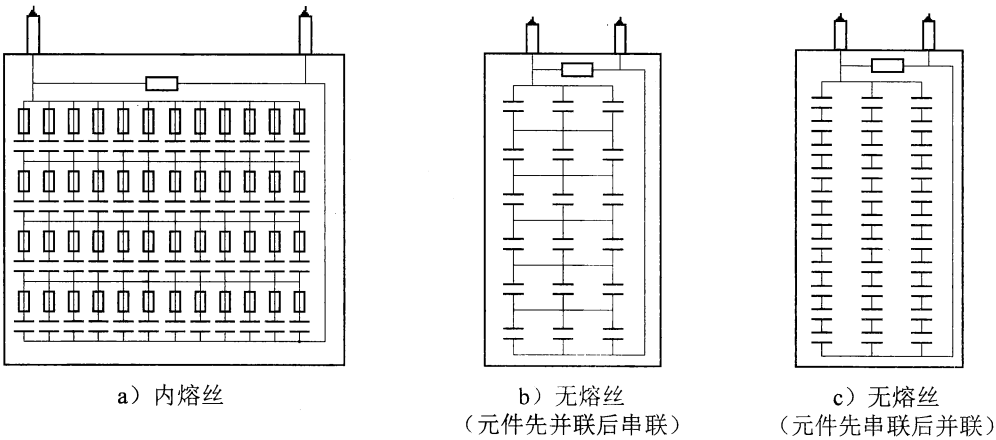


图 A.1 单台电容器元件之间的典型连接原理图

A.1.2 无熔丝电容器

无熔丝电容器元件之间连接原理图分别见图 A.1 b) 和图 A.1 c)。

A.2 集合式电容器

集合式电容器各类型原理接线图如下：

a) 内单台先并联后串联，内单台中元件全并联连接，其原理接线如图 A.2 所示。

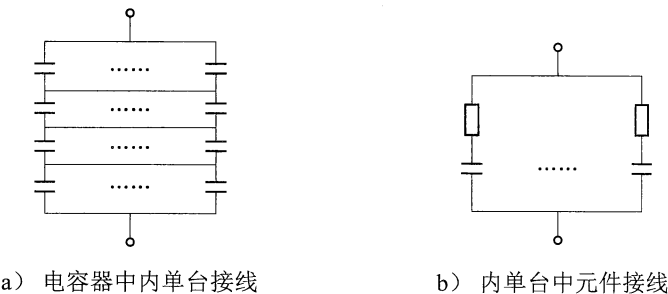


图 A.2 内单台先并联后串联，内单台中元件全并联的集合式电容器原理接线图

- b) 内单台先并联后串联，内单台中元件也先并联后串联连接，其原理接线如图 A.3 所示。
- c) 每两台内单台先串联后再并联，内单台中元件全并联连接，其原理接线如图 A.4 所示。
- d) 内单台全并联，内单台中元件先并联后串联连接，其原理接线如图 A.5 所示。

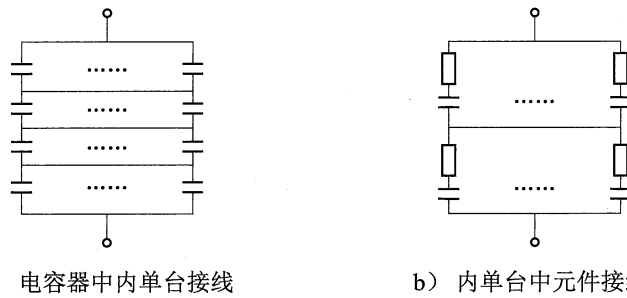


图 A.3 内单台先并联后串联，内单台中元件先并联后串联的集合式电容器原理接线图

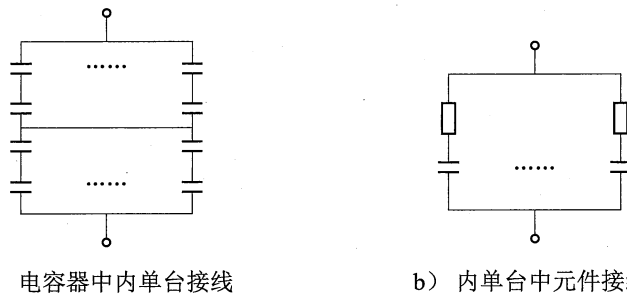


图 A.4 每两台内单台先串联后再并联，内单台中元件全并联的集合式电容器原理接线图

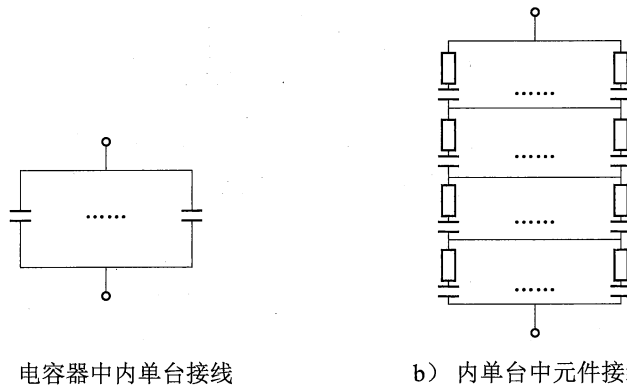


图 A.5 内单台全并联，内单台中元件先并联后串联的集合式电容器原理接线图

e) 有相同容量的 6 个臂（三相共箱），或 2 个臂（单相），每个臂中内单台先并联后串联，内单台中元件全并联连接，其原理接线如图 A.6 所示。

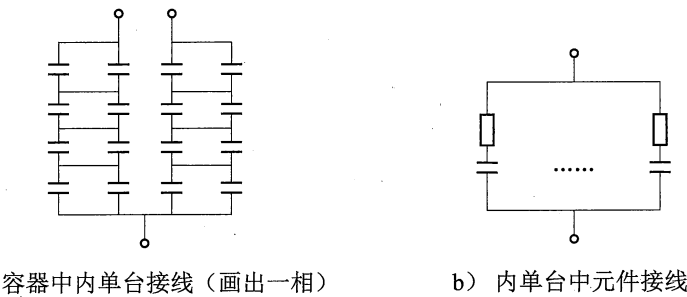
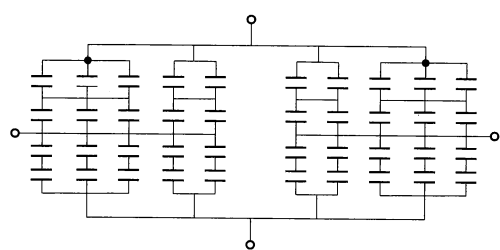
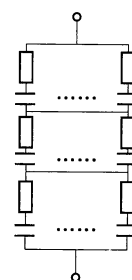


图 A.6 有相同容量的 6 个臂，每个臂中内单台先并联后串联，内单台中元件全并联的集合式电容器原理接线图

f) 内单台接成桥式接线，每个桥臂先内单台 2 台并联后再 2 台串联和 3 台并联后再 2 台串联，然后相并联，内单台中元件先并联后串联，其原理接线如图 A.7 所示。



a) 电容器中内单台接线



b) 内单台中元件接线

图 A.7 内单台接成桥式接线，内单台中元件先并联后串联的集合式电容器原理接线图

附录 B

(规范性附录)

电容器组不平衡保护计算公式

B.1 电容器组不平衡保护计算公式见表 B.1~表 B.3。

表 B.1 内熔丝电容器组不平衡保护计算公式

序号	保护方式	计算公式	
1	开口三角电压保护	$\Delta U_c = \frac{3kU_{N\Phi}}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$ $k = \frac{3MNmn \cdot (K_v - 1)}{K_v(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$ $K_e = \frac{3MNmn}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$ $K_u = \frac{3MN[n(m-k) + k]}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$	
2	电压差动保护	$\Delta U_c = \frac{3kU_{N\Phi}}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)} \quad (\text{对称接线})$ $\Delta U_c = \frac{3NkU_{2N}}{N_2[3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)]} \quad (\text{不对称接线})$ $k = \frac{3MNmn \cdot (K_v - 1)}{K_v(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$ $K_e = \frac{3MNmn}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$ $K_u = \frac{3MN[n(m-k) + k]}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)}$	
3	中性线不平衡电流保护	对称接线	$I_0 = \frac{1.5kI_{N\Phi}}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 6N - 5)}$ $k = \frac{3MNmn(K_v - 1)}{K_v(3MNn - 3MN + 6N - 5)}$ $K_e = \frac{3MNmn}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 6N - 5)}$ $K_u = \frac{3MN[n(m-k) + k]}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 6N - 5)}$
		不对称接线	$I_0 = \frac{3M_1(M - M_a)kI_{N\Phi}}{M[3MM_1Nmn - k(3MM_1Nn - 3MM_1N + 3MN - 3M + M_1)]}$ $k = \frac{3MM_1Nmn \cdot (K_v - 1)}{K_v(3MM_1Nn - 3MM_1N + 3MN - 3M + M_1)}$ $K_e = \frac{3MM_1Nmn}{3MM_1Nmn - k(3MM_1Nn - 3MM_1N + 3MN - 3M + M_1)}$ $K_u = \frac{3MM_1N[n(m-k) + k]}{3MM_1Nmn - k(3MM_1Nn - 3MM_1N + 3MN - 3M + M_1)}$

表 B.1 (续)

序号	保护方式	计 算 公 式	
4	桥式差 电流保护	对称 接线	$I_0 = \frac{3kI_{N\Phi}}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 6N - 8)}$ $k = \frac{3MNmn(K_V - 1)}{K_V(3MNn - 3MN + 6N - 8)}$ $K_e = \frac{3MNmn}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 6N - 8)}$ $K_u = \frac{3MN[n(m - k) + k]}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 6N - 8)}$
		不对称 接线	$I_0 = \frac{3M_1N(M - M_a)kI_{N\Phi}}{M[3MM_1NN_2mn - k(3MM_1NN_2n - 3MM_1NN_2 + 3MNN_2 - 3MN + 3M_1N - 2M_1N_2)]}$ $K = \frac{3MM_1NN_2mn(K_V - 1)}{K_V(3MM_1NN_2n - 3MM_1NN_2 + 3MNN_2 - 3MN + 3M_1N - 2M_1N_2)}$ $K_e = \frac{3MM_1NN_2mn}{3MM_1NN_2mn - k(3MM_1NN_2n - 3MM_1NN_2 + 3MNN_2 - 3MN + 3M_1N - 2M_1N_2)}$ $K_u = \frac{3MM_1NN_2[n(m - k) + k]}{3MM_1NN_2mn - k(3MM_1NN_2n - 3MM_1NN_2 + 3MNN_2 - 3MN + 3M_1N - 2M_1N_2)}$

表 B.2 采用熔断器的无熔丝电容器组不平衡保护计算公式

序号	保护方式	计 算 公 式	备 注
1	开口三角电压保护	$\Delta U_c = \frac{3KU_{N\Phi}}{3MN - K(3N - 2)}$	单台电容器（电压不平衡保护中的每相或电流不平衡保护中的每臂）和元件均先并联后串联的接线方式
2	电压差动保护	$K = \frac{3MN(K_V - 1)}{K_V(3N - 2)}$ $K_u = \frac{3MN}{3MN - K(3N - 2)}$	
3	中性线不平衡 电流保护	$I_0 = \frac{1.5KI_{N\Phi}}{3MN - K(6N - 5)}$ $K = \frac{3MN(K_V - 1)}{K_V(6N - 5)}$ $K_u = \frac{3MN}{3MN - K(6N - 5)}$	
4	桥式差电流保护	$I_0 = \frac{3KI_{N\Phi}}{3MN - K(6N - 8)}$ $K = \frac{3MN(K_V - 1)}{K_V(6N - 8)}$ $K_u = \frac{3MN}{3MN - K(6N - 8)}$	

表 B.3 不采用熔断器的无熔丝电容器组不平衡保护计算公式

序号	保护方式	计 算 公 式	备 注
1	开口三角电压保护	$\Delta U_C = \frac{3\beta U_{N\Phi}}{3MN - \beta(3MN - 3N + 2)}$	单台电容器（电压不平衡保护中的每相或电流不平衡保护中的每臂）和元件均先并联后串联的接线方式
2	电压差动保护		
3	中性线不平衡电流保护	$I_0 = \frac{1.5\beta I_{N\Phi}}{3MN - \beta(3MN - 6N + 5)}$	
4	桥式差电流保护	$I_0 = \frac{3\beta I_{N\Phi}}{3MN - \beta(3MN - 6N + 8)}$	

B.2 表 B.1～表 B.3 计算公式中的符号含义。

电容器组不平衡保护计算公式中符号的含义如下：

ΔU_C ——不平衡电压（方均根值）；

I_0 ——不平衡电流（方均根值）；

k ——同一串段中切除元件数；

K ——同一电容器串段中切除的单台电容器台数；

K_e ——完好元件过电压倍数；

K_u ——单台电容器过电压倍数；

K_V ——完好元件允许过电压倍数， $K_V=1.15\sim 1.3$ ，或单台电容器允许过电压倍数， $K_V=1.1$ ；

M ——一相中单台电容器并联台数；

N ——一相中单台电容器串联段数；

N_2 ——电压差动保护接线中故障电容器所在段的单台电容器串联段数，或桥式差电流保护接线中故障电容器所在臂的单台电容器串联段数；

m ——单台电容器中并联元件数；

n ——单台电容器中元件串联段数；

$U_{N\Phi}$ ——电容器组额定（相）电压；

$I_{N\Phi}$ ——电容器组的额定电流；

K_L ——额定串联电抗率；

U_{2N} ——放电线圈额定二次电压；

M_a ——故障电容器所在臂中单台电容器并联台数；

M_1 ——故障电容器所在支路中单台电容器并联台数；

U_{cn} ——单台电容器额定电压；

I_{cn} ——单台电容器额定电流；

β ——单台电容器内部击穿串段数与总串段数的比值。

附 录 C
(资料性附录)
不平衡保护计算实例

C.1 计算条件及使用公式

构架式电容器装置不平衡保护计算实例的条件及使用公式见表 C.1。

表 C.1 构架式电容器装置不平衡保护计算实例的条件及公式

序号	保护类型	保护接线	单台电容器的接线	元件接线	使用公式	计算实例
1	内熔丝和不平衡保护	开口三角电压保护	每相的电容器先并联后串联	先并联后串联	表 B.1 序号 1 的计算公式	表 C.2 中例 1-1
2		电压差动保护	每相的电容器先并联后串联，两段的电压相等	先并联后串联	表 B.1 序号 2 的对称接线计算公式	表 C.2 中例 1-2
3		中性线不平衡电流保护	每臂不分支路，臂中电容器先并联后串联，两臂中电容器的并联数相等	先并联后串联	表 B.1 序号 3 的对称接线计算公式	表 C.2 中例 1-3
4			每臂分多个支路，支路中电容器先并联后串联，两个臂中的电容器并联数不相等	先并联后串联	表 B.1 序号 3 的不对称接线计算公式	表 C.2 中例 1-4
5		桥式差电流保护	每臂不分支路，臂中电容器先并联后串联，四个臂中电容器的串、并联数相等	先并联后串联	表 B.1 序号 4 的对称接线计算公式	表 C.2 中例 1-5
6			每臂分多个支路，支路中电容器先并联后串联，四个臂中电容器的串、并联数不完全相等	先并联后串联	表 B.1 序号 4 的不对称接线计算公式	表 C.2 中例 1-6

C.2 计算实例

计算实例见表 C.2。

表 C.2 构架式不平衡保护计算实例 (内熔丝)

序号	实例编号	装置		单台电容器		单台接线 (每相)	元件接线	K_V	k	$\Delta U, \times 10^{-3} U_{N0}$	$I_0, \times 10^{-3} I_{N0}$	相、段、臂间 电容值之比	$U_{BP}, \times 10^{-3} U_{N0}$	$I_{BP}, \times 10^{-3} I_{N0}$	$\Delta U / U_{BP}$ 或 I_0 / I_{BP}
		电压 kV	容量 Mvar	电压 kV	容量 kvar										
1	例 1-1	10	3	$11/\sqrt{3}$	334	3 并 1 串	12 并 4 串, 先并联后串联	1.3	4	37.5		相间 1.01	10		3.75
2	例 1-2	10	8	$11/(2\sqrt{3})$	334	4 并 2 串, 每相先 并联后串联	24 并 2 串, 先并联后串联	1.15	5	14.8		段间 1.005	2.5		5.93
3	例 1-3	35	32	12/2	334	8 并 4 串, 每臂先并联后串联	14 并 3 串, 先并联后串联	1.3	5		2.52	臂间 1.003		0.75	3.36
4	例 1-4	35	44.088	12/2	334	见图 7, $M_a=6, M_1=3$ $M=11, N=4$ 每支路 先并联后串联	14 并 3 串, 先并联后串联	1.3	5		1.68	臂间 1.002		0.5	3.36
5	例 1-5	35	60	12/2	500	10 并 4 串, 每臂 先并联后串联	28 并 3 串, 先并联后串联	1.3	9		3.47	臂间 1.004		1.0	3.47
6	例 1-6	66	94.5	12/2	500	见图 8, $N_2=4$ $M_a=5, M_1=3$ $M=9, N=7$ 每支路先并联后串联	16 并 3 串, 先并联后串联	1.3	5		1.68	臂间 1.002		0.5	3.36

附 录 D

(资料性附录)

电容器装置继电保护整定值汇总表

电容器装置继电保护整定值摘自于 DL/T 584—2007 《3kV~110kV 电网继电保护装置运行整定规程》，保护整定值及动作时间见表 D.1。

表 D.1 电容器装置继电保护整定值汇总表

序号	继电保护名称	电压或电流整定值	动作时间 s	说明
1	延时电流速断保护	(3~5) 倍电容器组额定电流	0.1~0.2	
2	过电流保护	(1.5~2) 倍电容器组额定电流	0.3~1	
3	过电压保护	$U_{DZ} = 1.1 \times \left(1 - \frac{X_L}{X_C} \right) \times U_E$ 式中 U_E 为电容器组额定相间电压； X_L 为串联分路电抗器感抗； X_C 为分路电容器组容抗。	≤60	
4	低电压保护	(0.2~0.5) 倍电容器组额定相间电压	$t = \Delta t + t'$	t' 为要求配合的后备保护动作时间， $\Delta t = 0.3s \sim 0.5s$
5	不平衡保护	按公式计算	0.1~0.2	

附 录 E
(资料性附录)
电容器组爆破能量计算

电容器爆破能量是电容器组相关电容器向故障电容器的放电能量中最大的能量值，可以通过计算方法求得。

电容器组爆破能量计算可以分为单一放电回路和串并联放电回路两类：

a) 单一放电回路

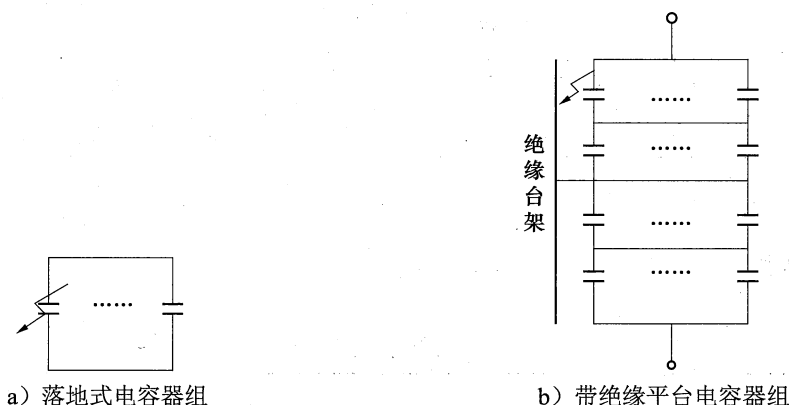


图 E.1 电容器组单一回路放电能量计算原理接线图

对于单串段单台电容器全并联的回路，有一台电容器极间击穿，整个串段的电容器的储能向故障点释放，见图 E.1 a)。置于绝缘台架上的电容器，电容器对壳击穿，则被短接的全部电容器的储能注入故障点，见图 E.2 b)。单一回路爆破能量计算公式见式 (E.1) 或 (E.2)。

$$W_p = Q_N \times \frac{15}{3900} \quad (\text{E.1})$$

$$W_p = Q_N \times \frac{1.21}{\omega} \quad (\text{E.2})$$

式中：

W_p —— 电容器组的爆破能量，kW · s；

Q_N —— 故障段单台电容器的额定容量之和，kvar；

ω —— 角频率， $\omega = 100\pi$ 。

b) 串并联放电回路

电容器组的接线方式是多种多样的，可用通用的接线方式进行计算。放电能量计算的典型接线等值电路图见图 E.2。

故障前放电回路总电容为 C_Σ ，臂电压为 U_Σ ；故障后放电回路总电容为 $C_{\Sigma K}$ ，臂电压为 $U_{\Sigma K}$ 。

可以得故障前的储存电荷为 $C_\Sigma U_\Sigma$ ，故障后的电容器储存电荷为 $C_{\Sigma K} U_{\Sigma K}$ 。

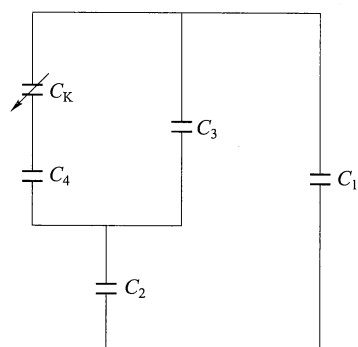
故障相当于 C_K 被短接，然后电容器组内电荷重新分配，但总电荷不变，即有：

$$C_\Sigma U_\Sigma = C_{\Sigma K} U_{\Sigma K} \quad (\text{E.3})$$

式中 C_Σ 、 U_Σ 、 $C_{\Sigma K}$ 已知，可以计算求取 $U_{\Sigma K}$ 。

故障前储能

$$W = C_\Sigma U_\Sigma^2$$



C_K ——与故障点相并联的电容器的电容量； C_4 ——故障支路中除故障段以外的完好串段的电容量；
 C_3 ——与故障支路并联的完好支路的电容量； C_2 ——故障臂除故障区段以外的完好区段的电容量；
 C_1 ——放电回路除故障臂以外的完好臂的电容量

图 E.2 电容器组串并联回路放电能量计算等值电路图

故障后储能

$$W_K = C_{\Sigma K} U_{\Sigma K}^2$$

注入故障点的能量

$$W_P = W - W_K$$

式中：

- W_P —— 电容器组爆破能量，W·s；
- W —— 故障前电容器储能，J；
- W_K —— 故障后电容器储能，J；
- U_{Σ} —— 故障前电容器臂电压（方均根值），V；
- $U_{\Sigma K}$ —— 故障后电容器臂电压（方均根值），V；
- C_{Σ} —— 故障前总电容，F；
- $C_{\Sigma K}$ —— 故障后总电容，F。

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
高压并联电容器装置保护导则
DL/T 1415—2015

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2015年9月第一版 2015年9月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.75印张 47千字
印数0001—3000册

*

统一书号 155123·2618 定价 15.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

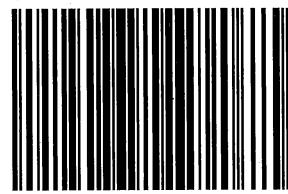
版 权 专 有 翻 印 必 究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2618