

824477

LOUDIANBAOHUKAIGUAN

LOUDIANBAOHUKAIGUAN

周松椿 李万平等编著

漏电保护开关

天津科学技术出版社

LOUDIANBAOHUKAIGUAN

LOUDIANBAOHUKAIGUAN

LOUDIANBAOHUKAIGUAN



漏 电 保 护 开 关

周松椿 李万平 编著

天津科学技术出版社

内 容 简 介

本书较系统地介绍了电击保护理论，电击保护特性，常用电击保护装置（电压型、电磁电流型、电子式电流型漏电保护开关）的基本原理，常用电击保护装置的结构、试验、安装、设计计算、故障分析及对策，并在附录中详细地介绍了国际电工学会关于电流通过人体的效应的报告。

本书可供从事电力、劳动保护工作的人员，以及从事有关专业的科研、设计人员使用和参考。

本书由天津市电器研究所周松椿、武汉江汉大学李万平编著，并由华中理工大学罗陶审定。

本书编著中得到天津市电机工程学会和津红无线电元件厂、静海电器二厂等漏电保护开关厂的大力支持和帮助，编著者对此表示衷心的感谢。

目 录

第一章 绪论

- 一 引言..... (1)
- 二 低压电力系统中的安全措施..... (2)
- 三 电源中点接地和不接地系统的特点..... (3)
- 四 漏电保护开关的组成和动作原理..... (10)
- 五 电击保护装置的发展及其趋势..... (16)

第二章 电击保护特性和动作特性

- 一 电击保护特性..... (20)
- 二 电击保护装置的動作特性..... (28)
- 三 电击保护装置的分工和配合..... (35)

第三章 电压型漏电保护开关

- 一 电压型漏电保护开关的基本元件..... (43)
- 二 接地系统用电压型漏电保护开关..... (63)
- 三 非接地系统用电压型漏电保护开关..... (67)
- 四 电动机漏电保护用电压型漏电保护开关..... (71)
- 五 影响漏电保护开关灵敏度的主要因素..... (74)

第四章 电磁式电流型漏电保护开关

- 一 电流型漏电保护开关的特点..... (79)

二	电磁式漏电保护开关的结构特点和工作原理	(83)
三	过载和短路保护	(89)
四	触电和漏电保护	(92)
五	漏电脱扣器的灵敏度和动作时间	(95)
六	舌簧式漏电保护开关简介	(95)

第五章 电子式电流型漏电保护开关

一	可控硅开关电路式漏电保护开关	(104)
二	其它电子式漏电保护开关	(107)

第六章 漏电保护开关的安装和试验

一	为什么要安装漏电保护开关	(113)
二	触电事故的原因	(116)
三	安全基准的确定	(118)
四	漏电保护开关的选用	(121)
五	安装场所和注意事项	(123)
六	漏电保护开关的试验	(128)
七	其它有关试验	(135)

第七章 漏电保护开关的常见故障及其对策

一	常见故障的主要原因	(143)
二	电子电路的电磁干扰	(154)
三	温度变化的影响	(157)
四	电源电路的电磁干扰	(159)
五	磁性材料的影响	(161)

六	导体布置不当的影响·····	(166)
七	过电压的影响·····	(171)

第八章 漏电保护开关的整定和基本参数的计算分析

一	单相漏电流的计算·····	(173)
二	单相分支电路触电电流的计算·····	(182)
三	单相分支电路的电流回收率·····	(184)
四	三相触电电流的计算·····	(189)
五	三相系统的电流回收率·····	(194)
六	不平衡漏电流的计算实例·····	(198)
七	电流型漏电保护开关整定值的计算和分析·····	(205)

参考文献·····	(213)
-----------	-------

附 录 IEC479—1/2《电流通过人体的效应》

报告——1984年/1987年·····	(216)
----------------------	-------

第一章 绪 论

一 引 言

现在家用电器普遍进入城乡住户，人们与电接触的机会增多，用电设备发生故障以至工作人员触电伤亡也时有发生。为了人身安全与设备安全，在技术上，应采取两方面的措施，一方面是保证电气产品的安全性能和质量，一方面是采取措施防止触电事故的发生。前者属材料和产品制造问题，后者属运行和管理问题。这本书仅分析和介绍防止触电事故的辅助装置——漏电保护开关（简称漏电开关）的原理和应用，让读者对漏电保护开关有正确认识，从而正确选用它。

顾名思义，漏电保护开关是取漏电为动作信号，并在一定的漏电条件下切断漏电，以免伤及人身和烧毁设备的装置。本书论述的是以人为主要保护对象，动作电流在30mA以下的装置。

漏电保护开关这一名称术语在我国制造行业和日本国普遍使用。在我国水电运行行业则称触电保安器，欧州称漏电接地断路器（简称E. L. C. B），美国称接地故障断路器（简称GFCI），国际电工委员会统一称为剩余电流装置（Residual Current Devices）。

二 低压电力系统中的安全措施

在低压电力系统中，防止漏电和防止电击的安全措施，概括起来有下列几种。

1. **隔离** 除非用特殊的方法才能触及带电体的措施。例如将动力和照明等线路架空或埋入地下等，以防止人畜无意的触及。

2. **防护** 将带电体隔开甚至封闭起来。例如采用密封金属外壳、胶木盒、栅栏、护罩、铁丝网或围墙等隔电措施，以防意外电击或爆炸伤人。

3. **采用双线圈变压器** 供电变压器副边中点不接地，并保证与原边线圈没有电的直接联系。这种措施常用于医疗、游泳池等特殊场所。

4. **采用高频交流电和直流电** 采用高频交流电和直流电，是一种对人体危害较小的措施，医院等场所常用作医疗器具的电源。

5. **绝缘** 这是一种常见的措施，即用不导电的物质覆盖导电体，或利用空气间隙对电气构成一高值电阻的通路。例如将导线加上绝缘漆层；在用电设备中，对各相导电体规定最小电气间隙或漏电距离等。

6. **双重绝缘** 除载流导体表面绝缘外，在人易触及的机壳等外表面上再加以绝缘层，常用在移动式或手持式电动工具中。

7. **接地** 用低值电阻（如导线）将电源中点或用电设备的不带电金属外壳接地，也可通过接地网接地。它是一种

常用的安全用电措施。

8. **触电漏电保护装置** 也称电击保护装置, 包括漏电保护开关, 漏电继电器和漏电警报器等。是用来防止电击和漏电引起事故的一种接地保护装置。当电路或用电设备漏电大于许可值, 或人、畜发生危险的触电时, 它即迅速动作, 切断事故电路或发出警报。

三 电源中点接地和不接地系统的特点

在低压电力系统中, 有中点接地和不接地两种运行方式, 它们各有特点, 对漏电和触电也有着不同的影响。在考虑保护措施或选用、安装电击保护装置时, 对这些影响应有所了解。

1. **不同运行方式对接地电流的影响** 接地电流也称回零电流, 如回零的漏电流、不平衡漏电流、触电电流等。

图 1-1 和图 1-2 为中点接地和中点不接地系统的原

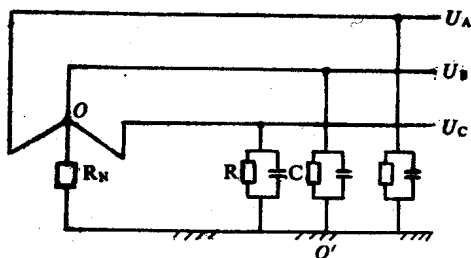


图 1-1 电源中点接地系统

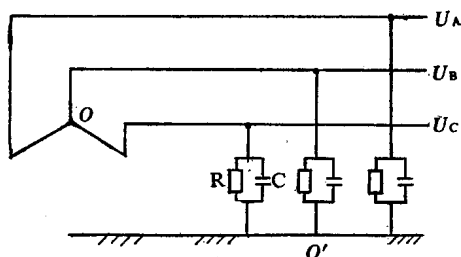


图 1-2 电源中点不接地系统

理线路图。图中， R 和 C 分别表示各相沿线对地的绝缘电阻和沿线对地的分布电容， R_N 为接地系统中的接地电阻。我们用三个集在线路中央的阻抗 Z ，分别表示各相的对地绝缘电阻 R 和电抗 X_c ($X_c = 1/\omega C$)，并组成一高阻抗中点(O')接地的星形负载。

在不接地系统中，相对地的绝缘电阻 R 非常大(不接地系统应如此)，可认为各相漏电流不通过 R ($R \rightarrow \infty$)，只存在由分布电容 C 组成的星形负载(图 1-3)。在正常情况下，各相工作电压对称且相等，如果各相对地分布电容相等，则通过三相星形负载电流的向量和等于零，中点 O' 不发生位移，中点电压 $U_{O'O}$ 等于零。如果三相容性负载不相等，或三相对地绝缘电阻值虽然很大，但不相等，在这样的条件下，三相漏电流的向量和不等于零，中点 O' 发生位移，即在电源中点 O 和高阻抗星形负载的中点 O' 之间，出现中点电压 $U_{O'O}$ 。设电源中点 O 和负载中点 O' 两点之间的对地绝缘电阻为 R_0 ，三相不平衡漏电流为 I_0 ，则 $I_0 = \frac{U_{O'O}}{R_0}$ 。由于

中点不接地， R_0 非常大。因此，不论 $U_{00'}$ 为何值， I_0 都很小，当 $R_0 \rightarrow \infty$ 时，则 $I_0 \rightarrow 0$ 。

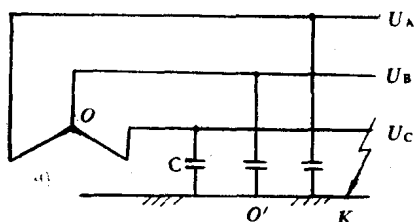


图 1-3 容性星形负载

但在接地系统中（图 1-1），接地电阻 R_N 很小，仅有几欧姆或几十欧姆。设接地系统的不平衡漏电为 I_N ， O 和 O' 两点间的电压为 U_N ，若 $R_0 > R_N$ ，则有 $I_N > I_0$ 。

在中点不接地系统中，如果人、畜触及相线，因 R_0 很大，触电电流（回零电流）值很小，安全性也就较高。因此，在某些特殊场所利用不接地系统的这一特点，而不必装设电击保护装置。对接地系统来说，接地电流大，触电电流也大，为安全计，必须装设电击保护装置。

以上是就漏电流而言。如果在图 1-3 的中点不接地系统中，在 K 点发生完全接地时，如前所述，由于 K 点和电源中点 O 之间的绝缘电阻值非常大，所以接地短路电流值很小，不易引起火灾等事故，也不易为人所觉察。但在中点接地系统中，由于 K 和 O 点之间的接地电阻 R_N 很小，所以接地短路电流就相当大，易引起火灾等事故。

2. 不同接地运行方式对线电压的影响 中点接地系统发生一相完全接地（例如图 1-3 中的 C 相），使大地同 B

相之间，以及大地同A相之间的电压为线电压。此时，如人、畜触及没有接地的任一相线，则所承受的电击电压将为线电压，这是一种非常危险的触电情况。

在中点接地系统中，即使某一相完全接地，由于电源中点接地电阻值很小，对 midpoint 电位位移有抑制作用，位移很小或接近零。所以没有接地的任一相的对地电压，基本上维持或稍高于原有的相电压。

3. 不同接地运行方式对事故率和检测的影响 在中点不接地系统中，一相完全接地后，由于接地电流值小，对系统的运行影响不大，一般来说负载仍有可能继续运行。但是由于中点电压值大，负载端电压受到一定的影响，用电设备可能因负载电流增大或极不平衡，引起过热而烧损。特别是由于接地电流小，不易觉察，使故障未能及时排除，增加了人、畜触电的机率。此外，有时接地电流在接地处产生持续燃弧现象，可能使低压电力系统发生振荡，出现过电压，事故就将扩大。

在中点接地系统中则不然，由于O点和O'点之间的接地电阻值很小，当一相发生全完全接地时，短路电流值很大，虽有易于引起火灾等事故的缺点，但可借助短路保护装置的动作来防止。

由此可见，中点不接地系统的接地电流值都很小，且无明显的回路，检测故障信号非常困难。因此，在中点不接地系统中，如要装设电击保护装置，则必须设置人为中点（也称辅助中点）。而在接地系统中，接地电流通过接地电阻回零，易于检测。

为了达到安全用电的目的，不接地系统的各相对地应经

常保持很高的绝缘水平。事实上，用电设备的绝缘电阻要老化，对地绝缘电阻还要受到气候的影响，即使经常维护，也很难长期保持很高的绝缘水平。所以，除特定场所（如游泳池、医院和矿井等）以外，一般是不采用不接地系统的。

4. 不同运行方式下分布电容的影响 容性电流为

$$I_{xc} = \frac{U_p}{X_c} = U_p \omega C \quad \text{A} \quad 1-1$$

式中工作电压 U_p , V; 容抗 $X_c = 1/\omega C$, Ω ; 角频率 $\omega = 2\pi f$, rad/s; 电源频率 $f = 50\text{Hz}$ 。

从公式 1-1 可见，工作电压 U_p 越高，或分布电容 C 越大， I_{xc} 也越大。由于分布电容 C 与线路长度成正比（见公式 8-19），所以在不接地系统中，往往用限制线路长度和工作电压来限制 I_{xc} ，从而达到安全的目的。

图 1-4 表示三相对地绝缘电阻 $R = \infty$ ，人体触电电阻 R_w 分别为 $(0.5, 2, 4) \times 10^3 \Omega$ ，触及中点不接地系统中相线的条件下，由计算所得的触电电流 I_w 同分布电容 C 的关系曲线；图 1-5 表示三相对地绝缘电阻相等，且 $R = R_A = R_B = R_C = 100\text{K}\Omega$ ，其余条件和图 1-4 相同，由计算所得的 I_w 同 C 的关系曲线。

从图中曲线可以看出，不论对地绝缘电阻 $R = \infty$ 或 $R = 100\text{k}\Omega$ ，人体触电电流 I_w 皆随分布电容 C 而变， C 增大， I_w 也增大； C 减小， I_w 也减小。这一事实告诉我们，不要以为对地绝缘电阻值很大，就无触电的危险，而应注意到，即使在中点不接地系统中，当对地绝缘电阻值很大时，分布电容对触电电流是个决定性因素（在接地系统中也如

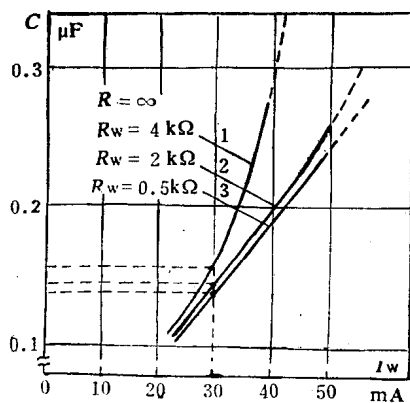


图1-4 $R = \infty$, $C = f(I_w)$ 、关系曲线

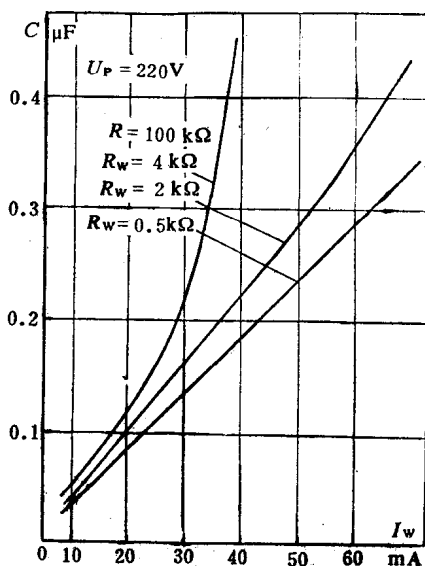


图1-5 $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = f(I_w)$ 关系曲线

此)。R虽大，但只要C到达一定的数值，触电电流还是可以达到相当大的数值而危及人身安全的。因此，对分布电容也应有所限制。如果不装设电击保护装置，一般来说，应限制 $C \leq 0.2 \mu F$ ， $R \geq 100 k\Omega$ 。实际上，要经常维持这样高的对地绝缘电阻值很不容易。所以，在中点不接地系统中还是装设电击保护装置为好。

5. 不同运行方式对异常电压侵入的影响 在中点不接地系统中，当出现异常电压（如高低压线路互相短接，雷击，操作过电压等）侵入时，由于中点不接地，供电线路及其延伸线路的对地电位升高，容易引起电击伤亡和损坏设备等事故。而在中点接地系统中，一般可使各种危险电压通过中点短接至大地，而不会窜入供电系统中。因此，中点接地也可起到抑制异常电压升高的作用。

表 1-1 电源中点接地与不接地系统的特点

中 点 接 地 系 统	中 点 不 接 地 系 统
1. 回零电流大	1. 回零电流小
2. 触电电压为相电压	2. 触电电压可能为线电压
3. 对过电压有抑制作用	3. 过电压高
4. 对电源中点有稳定作用	4. 电源中点容易飘移
5. 接地故障易于检出	5. 接地故障不易检出
6. 在接地极周围有禁区	6. 无禁区
7. 适应于低压大系统	7. 适用于低压小系统
8. 应装设电击保护装置，装设环境一般	8. 一般可以不装设电击保护装置，对线路绝缘要求严格

中点接地系统虽能抑制系统异常电压的升高，但也存在弱点，即电流通过接地极流入大地时，在接地极周围地面上，产生以接地极为中心的跨步电压，在一定的半径范围内，出现禁区，人、畜在禁区范围内有受电击的危险。在这种情况下，如果触及与接地线联结的导线和用电设备时，也要受到电击。

综合以上的论述，将电源中点接地系统同中点不接地系统的特点，列成表 1-1，以资参考。

四 漏电保护开关的组成和动作原理

上面已经提到，漏电保护开关是电击保护装置的一种，主要用于触电保护，也兼有漏电保护的作用。一般和过载、短路等保护元件组装在一起，成为一种多用途的组合电器，有电压型和电流型之分。表 1-2 和表 1-3 是电压型和电流型漏电开关的基本技术数据，可供选用或整定时的参考。

表 1-2 电压型漏电保护开关的基本技术数据

高 速 型				一 般 型	
高 灵 敏 类		低 灵 敏 类		低 灵 敏 类	
额定动作 电压 (V)	动作时间 (s)	额定动作 电压 (V)	动作时间 (s)	额定动作 电压 (V)	动作时间 (s)
25	<0.1	50	<0.1	50	<0.2

表 1-3 电流型漏电保护开关的基本技术数据

高 速 型				一 般 型	
高 灵 敏 类		低 灵 敏 类		低 灵 敏 类	
额定动作 电流(mA)	动作时间 (s)	额定动作 电流(mA)	动作时间 (s)	额定动作 电流(mA)	动作时间 (s)
5		50, 100		50, 100	
10	<0.1	200, 300	<0.1	200, 300	<0.2
30		500, 1000		500, 1000	

附注：额定不动作值一般规定为表 1-2 和表 1-3 中额定动作值的50%；1974IEC又将表 1-3 中的低灵敏类改为中灵敏类，额定动作值大于 1000mA 定为低灵敏类。

不论哪一种漏电保护开关都是由检测元件、中间元件、执行元件以及检试元件组成，各元件的作用关系如方框图所示（图 1-6）。

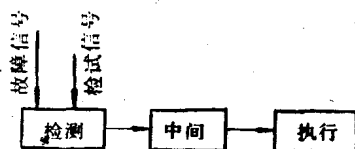


图1-6 各元件作用关系

检测元件的主要作用是将触电、漏电等故障信号检出，并送至中间元件；中间元件主要起比较和放大作用，它可以是电子放大线路或电磁式继电器之类，例如由检测元件放大