

电力系统继电保护 及自动装置 (第2版)

李斌 赖勇 杨红静 等 主编

DIANLI XITONG JIDIAN BAOHU
JI ZIDONG ZHUANGZHI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力系统继电保护 及自动装置

(第2版)

李斌 赖勇 杨红静 等 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍电力系统继电保护及安全自动装置的工作原理、实际应用等内容。

全书共分9章,第1章介绍继电保护基础知识,包括电压互感器、电流互感器、变换器、微机保护硬件、软件基本知识;第2~6章介绍输电线路继电保护、安全自动装置工作原理及配置;第7章介绍主设备保护,包括变压器保护、同步发电机保护、母线保护及断路器失灵保护;第8章介绍供电网络自动装置,包括备用电源自动切换以及自动按频率减负荷装置;第9章介绍发电厂自动装置,包括同步发电机的励磁调节与自动并列装置。

本书既可以作为电气工程及其自动化专业本科教材,还可以作为电力系统、继电保护从业人员的专业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护及自动装置 / 李斌等主编. -- 2
版. -- 北京:中国水利水电出版社, 2015.8
ISBN 978-7-5170-3598-5

I. ①电… II. ①李… III. ①电力系统—继电保护②
电力系统—继电自动装置 IV. ①TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第206986号

书 名 作 者 出 版 发 行	电力系统继电保护及自动装置 (第2版) 李斌 赖勇 杨红静 等 主编 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版 刷 格 规 次 版 数 印 定	中国水利水电出版社微机排版中心 北京瑞斯通印务发展有限公司 184mm×260mm 16开本 13.5印张 320千字 2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷 2015年8月第2版 2015年8月第1次印刷 0001—5000册 34.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第2版前言

随着电力系统自动化技术的快速发展,电力系统继电保护、安全自动装置进入数字化、网络化阶段,且相互融合,如输电线路自动重合闸、按频率自动减负荷装置已经成为实际继电保护装置中的程序模块,而备用电源自动投入装置中也加入了继电保护功能。因此本书编写时考虑融合电力系统继电保护与安全自动装置方面内容,按照设备功能组织编写:基础知识(第1章)、输电线路用继电保护、安全自动装置(第2~6章)、电力主设备保护(第7章)、供电网络自动装置(第8章)、发电厂自动装置(第9章)。在编写过程中,力求反映当前生产实际,强调基本概念、基本原理、设备配置以及兼顾一定的整定计算原则,减少不必要的理论分析,突出实用性、可读性。对于目前实际应用较少的电磁型、整流型继电器,只介绍基本概念,略去详细的继电器结构、动作方程分析等内容。

本书是普通高等学校电力工程类的专业课教材,也可作为从事电力系统运行、管理的技术人员的专业读物及从事继电保护和安全自动装置工作的技术人员的专业培训教材。

本书(第1版)于2008年出版,本次为修订版,在第2版的编写过程中,为了适应课程学时的设置保留了原有的章节结构,在此基础上,为适应近年来继电保护及自动控制装置的发展,修改了其中不符合技术发展的内容,且具体各章节内容根据电力生产技术发展进行了适当调整,并对第1版教材中的部分错误进行了修正。

编者除了一直承担本科的专业教学工作外,还长期从事继电保护专业技师、高级技师的培训及鉴定工作,熟悉变电站二次施工设计,因此对电力系统继电保护与安全自动装置当前的状况及发展趋势非常了解,从而为此教材具有较强的实用性、针对性提供了保证。为了进一步增强教材的工程实用性,第2版教材编写时特聘请了具有丰富工作经验的江苏省宿迁供电公司高级技师赖勇编写第1、2章。

本书的第1、2章由赖勇编写,第3、4、6章由东南大学成贤学院杨红静编写,第7章由南京工程学院隆贤林编写,第5、8、9章由南京工程学院李敏

编写。李斌、隆贤林分别负责第1~6章和第7~9章的统稿工作，赖勇负责全书技术图纸、工程应用方面的统稿工作。

在此衷心地感谢为此书提供大量技术资料和图纸的继电保护设备制造单位及施工设计部门。

由于水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，恳切希望广大师生和读者批评指正！

编 者

2015年5月

第1版前言

随着电力系统自动化技术的快速发展,电力系统继电保护、安全自动装置进入数字化、网络化阶段,且相互融合,如输电线路自动重合闸、按频率自动减负荷装置等已经成为实际继电保护装置中的程序模块,而备用电源自动投入装置中也加入了继电保护功能。因此本书编写时考虑融合电力系统继电保护与安全自动装置方面等内容,按照设备功能组织编写:基础知识(第1章)、输电线路用继电保护、安全自动装置(第2~6章)、电力主设备保护(第7章)、供电网络自动装置(第8章)、发电厂自动装置(第9章)。在编写过程中,力求反映当前生产实际,强调基本概念、基本原理、设备配置以及兼顾一定的整定计算原则,减少不必要的理论分析,突出实用性、可读性。对于目前实际应用较少的电磁型、整流型继电器,只介绍基本概念,略去详细的继电器结构、动作方程分析等内容。

本书是普通高等学校电力工程类的专业课教材,也可作为从事电力系统运行、管理的技术人员的专业读物及从事继电保护和安全自动装置工作的技术人员的专业培训教材。

编者除了一直承担本科的专业教学工作外,还长期从事继电保护专业技师、高级技师的培训及鉴定工作,熟悉变电站二次施工设计,因此对电力系统继电保护与安全自动装置当前的状况及发展趋势比较了解,从而为本教材具有较强的实用性、针对性提供了保证。

本书的第1、2、4、6章由南京工程学院李斌编写,第3、7章由南京工程学院隆贤林编写,第5、8、9章由南京工程学院李敏编写,李斌、隆贤林分别负责前6章和后3章的统稿工作。

国电南自、南瑞继保、南瑞科技等设备制造单位以及江苏省电力设计院为此书提供了大量的技术资料及图纸,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,恳切希望广大师生和读者批评指正!

编者

2007年11月

下角符号对照表

act	动作	aper	非周期分量
set	整定	arc	电弧
bra	分支	p	极化
rel	可靠	d	差动
re	返回	k	短路
Ms	自启动	imp	冲击
sen	灵敏	φ	相
er	误差	$\varphi\varphi$	相间
ss	同型	min	最小
brk	制动	max	最大

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

下角符号对照表

第 1 章 基础知识	1
1.1 继电保护及安全自动装置概述	1
1.2 电压互感器	6
1.3 电流互感器	12
1.4 变换器	14
1.5 电磁型继电器	16
1.6 微机保护硬件组成	19
1.7 微机保护软件组成	29
复习思考题	30
第 2 章 电网的电流保护	31
2.1 单侧电源线路的电流保护	31
2.2 电网相间短路的方向电流保护	43
2.3 电网的接地保护	52
复习思考题	63
第 3 章 电网的距离保护	65
3.1 距离保护基本原理	65
3.2 阻抗继电器分类与特性	67
3.3 阻抗继电器的接线方式	73
3.4 实用阻抗元件	75
3.5 距离保护的振荡闭锁	80
3.6 距离保护的电压回路断线闭锁	84
3.7 过渡电阻对距离保护的影响及消除措施	85
3.8 距离保护的整定计算	87
复习思考题	90
第 4 章 电网的纵联保护	92
4.1 纵联保护的原理与分类	92

4.2 纵联保护通道	95
4.3 纵联差动保护	99
4.4 纵联方向保护	102
4.5 纵联距离、零序方向保护	105
复习思考题	108
第5章 线路自动重合闸	110
5.1 概述	110
5.2 输电线路三相重合闸	111
5.3 综合重合闸	118
复习思考题	123
第6章 线路保护配置原则与实例	124
6.1 线路保护配置原则	124
6.2 线路保护实例	128
第7章 电力主设备保护	137
7.1 变压器保护	137
7.2 同步发电机保护	149
7.3 母线保护	163
7.4 断路器失灵保护	167
复习思考题	168
第8章 备用电源自动投入装置与按频率自动减负荷装置	170
8.1 备用电源自动投入装置 (AAT)	170
8.2 按频率自动减负荷装置	178
复习思考题	186
第9章 同步发电机的励磁调节与自动并列	187
9.1 发电机自动励磁调节装置	187
9.2 同步发电机自动并列	200
复习思考题	203
参考文献	205

第1章 基础知识

1.1 继电保护及安全自动装置概述

1.1.1 电力系统继电保护及安全自动装置的作用

继电保护及安全自动装置是电力系统的重要组成部分，是电力系统安全、稳定运行的可靠保证，是保证输电、供电可靠性与电能质量的主要措施。

电力系统在运行中，可能发生各种故障和不正常运行状态，最常见同时也是最危险的故障是发生各种形式的短路。发生短路时可能产生三方面的后果：①对电力设备而言，过高的短路电流及其燃起的电弧可能使故障元件损坏，另外发热和电动力的作用还会引起非故障元件的损坏，缩短元件的使用寿命；②对电网而言，故障可能破坏电力系统并列运行的稳定性；③对用户而言，故障导致电能质量下降，会影响工厂产品质量，破坏用户用电的持续性。

电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但没有发生故障，这种情况属于不正常运行状态。例如，因负荷超过电气设备的额定值而引起的电流升高（一般又称过负荷）就是一种最常见的不正常运行状态。另外，电网的电压、频率、功角的波动如果超出允许范围也会引起系统的不稳定。

故障和不正常运行状态都可能在电力系统中引起事故。事故，就是指全部或部分系统的正常工作遭到破坏，并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的地步，甚至人身伤亡和电气设备损坏。

在电力系统中，继电保护装置的基本作用是在故障时自动、迅速、可靠、有选择性地故障元件从电力系统中切除，即跳开故障设备各侧的断路器；如果系统出现过负荷等不正常运行状态时自动、迅速地发出告警信号，必要时也可以动作于跳闸。

为了保证重要电力设备的稳定正常运行，保证输电、供电的持续性与电能质量，维护系统的稳定，需要在发电机与电网中装设安全自动装置，例如自动重合闸、备用电源自动投入装置，同步发电机的自动调节励磁装置、自动并列装置、自动按频率减负荷装置等。安全自动装置的主要作用是：①配合继电保护装置提高供电的持续性；②保证电能质量与系统稳定。

为了维护电力系统安全稳定运行，在确定电力网结构、厂站主接线和运行方式时，必须与继电保护及安全自动装置的配置统筹考虑，合理安排。继电保护及安全自动装置的配置方式既要满足电力网结构和厂站主接线的要求，也要考虑电力网和厂站运行方式的灵活性。对导致继电保护及安全自动装置不能保证电力系统安全运行的电力网结构形式、厂站

主接线形式、变压器接线方式和运行方式，应限制使用。

1.1.2 继电保护的基本原理

为完成继电保护的任 务，应该要求它能够正确地区分系统正常运行、不正常运行与发生故障这三种运行状态，利用这三种状态电气参数变化的特征构成保护的判据，并根据不同的判据构成不同原理的继电保护。一般情况下，发生短路后总是伴随有电流增大、电压降低、线路始端测量阻抗减小，以及电压与电流之间相位角变化等现象。利用正常运行与故障时这些基本参数的区别可以构成各种不同原理的继电保护。例如，反应于电流增大而动作的过电流保护，反应于电压降低而动作的低电压保护以及反应于短路点到保护安装地点之间的距离而动作的距离（低阻抗）保护等。

这些电气参数包括反应于每相中的电流和电压（如相电流、相电压或线电压）和仅反应于其中某一个对称分量（如负序、零序或正序）的电流和电压等。由于在正常运行情况下，负序和零序分量不会出现，而在发生不对称接地短路时，它们都具有较大的数值，在发生不接地的不对称短路时，虽然没有零序分量，但负序分量却很大，因此，利用这些分量构成的保护装置，一般都具有良好的选择性和灵敏性，这也是这种保护装置获得广泛应用的原因。

除上述反应于各种电气量的保护以外，还有根据电气设备的特点实现反应非电量的保护。例如，当变压器油箱内部的绕组短路时，反应于油被分解所产生的气体压力变化而构成的瓦斯保护；反应于电动机绕组的温度升高而构成的过负荷或过热保护等。

1.1.3 电力系统继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护，在技术上一 般应满足四个基本要求，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性，现分别讨论如下。

1. 选择性

继电保护动作的选择性是指保护装置动作时，仅将故障元件从电力系统中切除，使停电的范围尽量小，以保证系统中的无故障部分仍能继续工作。选择性说明图如图 1-1 所示。

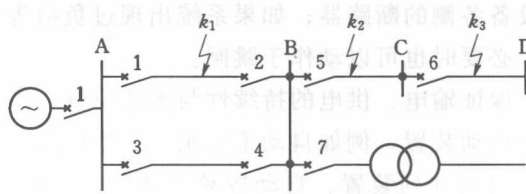


图 1-1 选择性说明图

在图 1-1 所示的电路接线中，当 k_1 点短路时，应由距短路点最近的保护 1 和 2 动作跳闸，将故障线路切除，变电站 B 则仍可由另一条无故障的线路继续供电。而当 k_3 点短路时，保护 6 动作跳闸，切除线路 C-D，此时只有变电站 D 停电。

在要求继电保护动作有选择性的同时，还必须考虑继电保护或断路器有拒绝动作的可能性，因而就需要考虑后备保护的问题。图 1-1 中，当 k_3 点短路时，距短路点最近的保护 6 本应动作切除故障，但由于某种原因，该处的继电保护或断路器拒绝动作，故障便不能消除，此时靠其前面一条线路（靠近电源侧）的保护 5 动作，故障也可消除。保护 5 作为相邻元件的后备保护。按以上方式构成的

后备保护是在远处实现的，因此又称为远后备保护。

在复杂的高压电网中，当实现远后备保护在技术上有困难时，也可以采用近后备保护的方式。即当本设备的主保护拒绝动作时，由本设备的另一套保护作为后备保护；当断路器拒绝动作时，由同一发电厂或变电站内的有关断路器动作，实现后备。由于这种后备作用是在主保护安装处实现，因此，称它为近后备保护。

根据以上分析，在继电保护的配置上有以下几个基本概念：

- (1) 主保护。尽可能快速（符合要求）地切除被保护元件内部故障的保护称为主保护。
- (2) 后备保护。当被保护元件主保护拒动时利用该保护切除相应断路器的保护称为后备保护。后备保护分为近后备保护和远后备保护。
- (3) 辅助保护。辅助保护是为补充主保护和后备保护的性能或当主保护和后备保护退出运行而增设的简单保护。

2. 速动性

快速地切除故障可以提高电力系统并联运行的稳定性，减少用户在电压降低的情况下工作的时间，并缩小故障元件的损坏程度。因此，在发生故障时，应力求保护装置能迅速动作切除故障。对继电保护速动性的具体要求，应根据电力系统的接线以及被保护元件的具体情况来确定。下面列举一些必须快速切除的故障。

- (1) 根据维持系统稳定的要求，必须快速切除的高压输电线路上发生的故障。
- (2) 使发电厂或重要用户的母线电压低于允许值（一般为 0.7 倍额定电压）的故障。
- (3) 大容量的发电机、变压器以及电动机内部发生的故障。
- (4) 1~10kV 线路导线截面过小，为避免过热不允许延时切除的故障。
- (5) 可能危及人身安全、对通信系统或铁道号志系统有强烈干扰的故障等。

故障切除的总时间为保护装置动作时间加断路器动作时间。目前一般的快速保护的动作为 0.04~0.08s，最快的可达 0.01~0.02s；一般的断路器的动作时间为 0.06~0.15s，最快的可达 0.02~0.06s。

3. 灵敏性

继电保护的灵敏性，是指对于其保护范围内发生故障或不正常运行状态的反应能力。灵敏性一般包括两方面的含义：①保护区内的各种故障类型都能反应；②保护区内任意一点故障都能反应。保护装置的灵敏性通常用灵敏系数来衡量，它主要取决于被保护元件和电力系统的参数和运行方式。灵敏系数应根据常见的不利方式和不利的短路形式计算。

在进行整定计算时，常用到最大运行方式和最小运行方式。最大运行方式是指流过保护装置的短路电流为最大的系统运行方式；最小方式是指流过保护装置的短路电流为最小的系统运行方式。

反应故障参数增加的保护装置（如过电流保护），其灵敏系数为

$$K_{\text{sen}} = \frac{I_{k.\text{min}}}{I_{\text{act}}} \quad (1-1)$$

式中 $I_{k.\text{min}}$ ——保护区末端金属性短路时保护安装处故障参数的最小值；

I_{act} ——保护装置的动作参数。

反应故障参数降低的保护装置（如低电压保护），其灵敏系数为

$$K_{\text{sen}} = \frac{U_{\text{act}}}{U_{\text{k.max}}} \quad (1-2)$$

式中 $U_{\text{k.max}}$ ——保护区末端金属性短路时保护安装处故障参数的最大值；

U_{act} ——保护装置的动作参数。

GB/T 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》对各类保护的灵敏系数都作了具体规定，关于这个问题在以后各章中还将分别予以讨论。

4. 可靠性

保护装置的可靠性是指在该保护装置规定的保护范围内发生了它应该动作的故障时，它可靠不拒动，而在任何该保护不应该动作的情况下，则可靠不误动。

可靠性主要针对保护装置本身的质量和运行维护水平。一般来说，保护装置的组成元件的质量越高、接线越简单、回路中继电器的触点数量越少，保护装置的工作就越可靠。同时，精细的制造工艺、正确的调整试验、良好的运行维护以及丰富的运行经验，对于提高保护的可靠性也具有重要的作用。

继电保护装置的误动作和拒绝动作都会给电力系统造成严重的危害。但提高其不误动的可靠性和不拒动的可靠性的措施常常互相矛盾。由于电力系统的结构和负荷性质不同，误动和拒动的危害程度有所不同，因而提高保护装置可靠性的着重点在各种具体情况下也应有所不同。应根据电力系统和负荷的具体情况采取适当的措施。

为了便于分析继电保护装置的可靠性，在有些文献中将继电保护不误动的可靠性称为安全性，而将其不拒动和不会非选择性动作的可靠性称为可信赖性，意指保护装置的动作行为完全依附于电力系统的故障情况。安全性和可信赖性基本上都属于可靠性的范畴，因此本书仍沿用我国传统的四个基本要求（或称“四性”）的提法。

选择继电保护方式除应满足上述的基本要求外，还应该考虑其经济性。首先应从国民经济的整体利益出发，按被保护元件在电力系统中的作用和地位来确定保护方式，而不能只从保护装置本身的投资来考虑。这是因为保护不完善或不可靠给国民经济造成的损失一般都远远超过即使是最复杂的保护装置的投资。但要注意对较为次要且数量很多的电气元件（如低压配电线路、小容量电动机等）也不应该装设过于复杂和昂贵的保护装置。

由于对不同的自动装置有不同的要求，对自动装置的基本要求在相关章节中介绍。

1.1.4 继电保护及安全自动装置的发展

继电保护及安全自动装置是随着电力系统的发展而发展起来的。电力系统中的故障与正常运行状态是不可避免的。短路必然伴随着电流的增大，因而为了保护发电机等免受短路电流的破坏，首先出现了反应电流超过预定值的过电流保护。熔断器就是最早的、最简单的过电流保护装置，这种保护方式至今仍广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是集保护装置与切断电流的装置于一体，因而最为简单。由于电力系统的发展，用电设备的功率、发电机的容量不断增大，发电厂、变电站和供电网的接线不断复杂化，电力系统中的正常工作电流和短路电流都不断增大，熔断器已不能满足选择性和快速性的要求，于是出现了作用于专门的断流装置（断路器）的过电流继电器。20世纪初随着电力系统的发展，继电器开始广泛应用于电力系统的保护，这个时期也可认为是继电保护与安

全自动装置发展的开端。

1901 年出现了感应型过电流继电器。1908 年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动保护原理。1910 年方向性电流保护开始得到应用,在此时期也出现了将电流与电压相比较的保护原理,20 世纪 20 年代初距离保护装置出现。随着电力系统载波通信的发展,1927 年前后出现了利用高压输电线上高频载波电流传送和比较输电线两端功率方向或电流相位的高频保护装置。20 世纪 50 年代,微波中继通信开始应用于电力系统,从而出现了利用微波传送和比较输电线两端故障电气量的微波保护。早在 20 世纪 50 年代就出现的利用故障点产生的行波实现快速继电保护的设想,经过 20 余年的研究,20 世纪 70 年代末出现了行波保护装置。显然,随着光纤通信在电力系统中的大量采用,利用光纤通道的继电保护也将得到广泛的应用。

与此同时,构成继电保护装置的元件、材料,保护装置的结构型式和制造工艺也发生了巨大的变革。20 世纪 50 年代以前的继电保护装置都是由电磁型、感应型或电动型继电器组成。这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器。但这种保护装置体积大、消耗功率大、动作速度慢、机械转动部分和触点容易磨损或粘连、调试维护比较复杂,不能满足高电压、大容量电力系统的要求。

20 世纪 50 年代,由于半导体晶体管的发展,开始出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小、功率消耗小、动作速度快、无机械转动部分,称为电子式静态保护装置。20 世纪 70 年代是晶体管继电保护装置在我国大量应用的时期,满足了当时电力系统向高电压、大容量方向发展的需要。

电子工业方面,集成电路技术的发展使数十个或更多的晶体管集成在一个半导体芯片上成为可能,从而出现了体积更小、工作更加可靠的集成运算放大器和其他集成电路元件,促使静态继电保护装置向集成电路化方向发展。20 世纪 80 年代后期静态继电保护从第一代(晶体管式)向第二代(集成电路式)过渡,20 世纪 90 年代开始向微机保护过渡。目前,微机保护装置已取代集成电路式继电保护装置,成为静态继电保护装置的主要形式。

微机保护具有巨大的计算、分析和逻辑判断能力,有存储记忆功能,因而可用于实现任何性能完善但复杂的保护原理。微机保护可连续不断地对本身的工作情况进行自检,因此工作可靠性很高。此外,微机保护可用同一硬件实现不同的保护原理,使保护装置的制造大大简化,也更容易实行保护装置的标准化。微机保护除了保护功能外,还可兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录和调度计算机交换信息等辅助功能,这对简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。

由于计算机网络与通信技术的发展及其在电力系统中的大量应用,微机保护目前正朝着集测量、保护、控制和数据通信一体化的方向发展。此外,基于计算机网络的数据信息共享功能,微机保护可以共享全系统的运行数据和信息,并应用自适应原理和人工智能方法使保护原理、性能和可靠性得到进一步的发展和提高,使继电保护技术沿着网络化、智能化、自适应和保护、测量、控制、数据通信一体化的方向不断前进。

继电保护与自动装置是电力学科中最活跃的分支,在 20 世纪 50~90 年代的 40 年时间里走过了机电式、整流式、晶体管式、集成电路式和微机式五个发展阶段,目前已经进入

智能化、数字化阶段。电力系统的快速发展为继电保护及自动装置技术提出了艰巨的任务，电子技术、计算机技术、通信技术又为继电保护及自动装置技术的发展不断注入新的活力。

1.2 电压互感器

电压互感器（TV）是隔离高电压，供继电保护、自动装置和测量仪表获取一次电压信息的变换器。

电压互感器也是一种特殊形式的变压器，其二次电压正比于一次电压，近似为一个电压源，正常使用时电压互感器的二次负载阻抗一般较大。在二次电压一定的情况下，阻抗越小电流越大，当电压互感器二次回路短路时，二次回路的阻抗接近于零，二次电流变得非常大，如果没有保护措施将会导致损坏电压互感器。所以，电压互感器的二次回路不能短路。

正确地选择和配置电压互感器型号、参数，严格按技术规程与保护原理连接电压互感器二次回路，对降低计量误差、确保继电保护等设备的正常运行、确保电网的安全运行具有重要意义。

1.2.1 电压互感器的型式

电压互感器的型式多种多样，按工作原理分为电磁式电压互感器、电容式电压互感器和光电式电压互感器。其中电磁式电压互感器在结构上又可分为三相式和单相式两种。在三相式电压互感器中又分为三相三柱式和三相五柱式两种。从使用绝缘介质上电压互感器又可分为干式、油浸式及 SF₆ 等多种电压互感器。

1. 电磁式电压互感器

电磁式电压互感器的优点是结构简单，制造和运行经验丰富，产品成熟，且暂态响应特性较好。其主要缺点是因铁芯的非线性特性，容易产生铁磁谐振，引起测量不准确及电压互感器损坏。

2. 电容式电压互感器

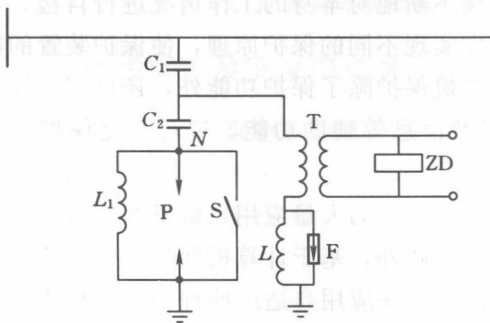


图 1-2 电容式电压互感器示意图

C₁—高压电容；C₂—中压电容；T—中间变压器；
ZD—阻尼器；L—补偿电抗器；F—氧化锌避雷器；
L₁—排流线圈；P—保护间隙；S—接地开关

电容式电压互感器的优点是没有谐振问题，装在线路上时可以兼作高频通道的结合电容器。其主要缺点是暂态响应特性比电磁式电压互感器差。带载波附件的电容式电压互感器原理接线如图 1-2 所示，电容分压后的电压经 T 变换后输出。

电容式电压互感器包括电容分压器和电磁装置两部分，电容分压器的作用是电容分压，包括高压电容器 C₁（主电容器）和串联电容器 C₂（分压电容器）。电容器组由三节耦合电容器及电容分压器重叠组成，每节耦合电容器或电容分压器单元装有数十只串联

而成的膜纸复合介质组成的电容元件，并充以十二烷基苯绝缘油密封，高压电容 C_1 的全部电容元件和中压电容 C_2 被装在 1~3 节瓷套内，由于它们保持相同的温度，所以温度引起的分压比的变化可被忽略。电容元件置于瓷套内经真空处理、热处理后已彻底脱水、脱气，注进已脱水脱气的绝缘油并密封于瓷套内。每节电容器单元顶部有一个可调节油量的金属膨胀器，以便在运行温度范围内使油压始终保持正常状态。

电磁装置由中间变压器 T 和补偿电抗器 L 组成，其作用是将电容分压器上的电压降低到所需的二次电压值，由于电容分压器上的电压会随负荷变化而变化，在分压回路串入电感（补偿电抗器）来补偿电容器的内阻抗，可以使电压稳定。电容分压器经过一个电磁式电压互感器隔离后再接仪表和保护装置。

另外，电容式电压互感器还设有过压保护装置和载波耦合装置。保护装置包括保护间隙（ P ）和氧化锌避雷器（ F ），用来限制补偿电抗器和电磁式电压互感器与分压器的过电压；阻尼电阻（ ZD ）用来防止持续的铁磁谐振。载波耦合装置是一种能接收载波信号的线路元件，把它接到开关 S 的两端，其阻抗在工频电压下很小，完全可以忽略，但在载波频率下其数值却很大。当不接载波耦合装置时，应闭合接地开关 S 。 L_1 是排流线圈，电容分压器的工频电流通过排流线圈接地。排流线圈的工频阻抗值很小，当小于 10Ω ，且电容电流也小于 $0.5A$ 时，排流线圈两端的工频压降就很小，当小于 $5V$ 时，由于排流线圈的一端接地，这样，在工频电压下，电容分压器低压端 N 对地电位就被限制得很低。另外，排流线圈两端的保护间隙可抑制 N 点出现的冲击过电压。 N 点处于低电位可以保证两点：①保证电容分压器低压引出套管、引出端子板免受过电压而损坏，当电容式电压互感器不带有载波附件，如果电容分压器低压端 N 接地不可靠，则 N 点会出现高压而损坏绝缘件；②由于电容分压器低压端 N 直接与结合滤波器的高压端相连， N 点的低电位保证了结合滤波器始终处于低电位，即使结合滤波器内部出现故障，也能保证结合滤波器及后置载波机免受过电压之害，保证了设备和人身的安全。

3. 光电式电压互感器

数字式光电电压互感器是一种混合式光电电压互感器。其采用罗科夫斯基线圈实现的大电流（或高电压）变送、高电位取能、远距离激光供能、光纤数据传输，变电站自动化信息接口等多项技术，具有无饱和、高精度、线性度好、安全性高等特点。光电互感器的采集器单元（包括电流电压传变和信号处理等）与电力设备的高电压部分为等电位，高低压之间全部使用光纤连接，将一次电流电压传变为小电压信号，然后转换为数字量，通过光纤传输给保护、测量和监控等设备使用，减少了设备的体积和重量，提高了可靠性。

光电互感器可作为数据服务器使用，向实现保护测量等具体功能的装置提供数据，也可以根据需要集成继电保护和测控等功能。光电互感器原理如图 1-3 所示。

1.2.2 电压互感器的基本参数

1. 一次额定电压

电压互感器的一次参数主要是额定电压。其一次额定电压的选择主要应满足相应电网电压的要求，其绝缘水平能够承受在电网电压下长期运行，并能承受可能出现的雷电过电压、操作过电压及异常运行方式下的电压，如小接地电流方式下的单相接地。

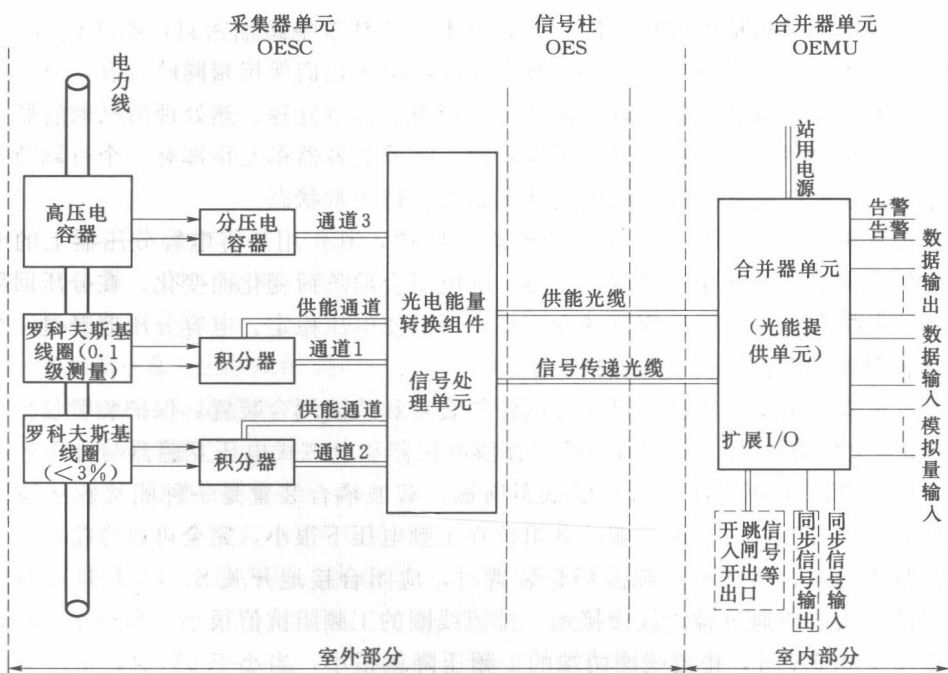


图 1-3 光电式电压互感器原理图

对于三相电压互感器和用于单相系统或三相系统间的单相互感器，其一次额定电压应符合 GB/T 156—2007《标准电压》所规定的某一个标称电压，即 6kV、10kV、20kV、35kV、66kV、110kV、220kV、330kV、500kV。对于接在三相系统相与地之间或中性点与地之间的单相电压互感器，其一次额定电压为上述额定电压的 $1/\sqrt{3}$ 。

2. 二次额定电压

接于三相系统相间电压的单相电压互感器的二次额定电压为 100V，即系统正常运行时电压互感器二次线电压为 100V，相电压为 $100/\sqrt{3}$ V，即 57.7V。

接成开口三角形的电压绕组额定电压与系统中性点接地方式有关。大接地电流系统中开口三角形绕组的额定电压（现场有时称为三次绕组）为 100V，小接地电流系统中该绕组额定电压则为 $100/3$ V。

3. 二次额定输出容量

电压互感器的额定输出容量标准值是 10VA、15VA、25VA、30VA、50VA、75VA、100VA、150VA、200VA、250VA、300VA、400VA、500VA。对于三相式电压互感器，其额定输出容量是指每相的额定输出，电压互感器二次承受负载功率因数 $\cos\varphi=0.8$ （滞后），负载容量不大于额定容量时，互感器能保证幅值与相位的精度情况下的输出容量。

除额定输出容量外，电压互感器还有一个极限输出值。其含义是在 1.2 倍一次额定电压下，互感器各部位温升不超过规定值时，二次绕组能连续输出的视在功率值（此时互感器的误差通常超过限值）。

在选择电压互感器的二次输出容量时，首先要进行电压互感器所接的二次负荷统计。计算出各台电压互感器的实际负荷，然后再选出与之相近并大于实际负荷的标准输出容