

高等职业技术教育项目化教学系列教材

# 继电保护 运行与调试

Jidian Baohu Yunxing Yu Tiaoshi

王 敏 高爱云 主编



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

国家骨干高职院校建设系列教材  
高等职业技术教育项目化教学系列教材

# 继电保护运行与调试

主 编：王 敏 高爱云



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护运行与调试 / 王敏, 高爱云主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2012. 11  
高等职业技术教育项目化教学系列教材  
ISBN 978-7-5623-3827-7

I. ①继… II. ①王… ②高… III. ①继电保护-高等职业教育-教材 ②继电保护装置-调试方法-高等职业教育-教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 258300 号

## 继电保护运行与调试

王敏 高爱云 主编

---

出版人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http://www.scutpress.com.cn E-mail: scute13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 何小敏

印刷者: 广东省农垦总局印刷厂

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13.5 字数: 329 千

版次: 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1 000 册

定 价: 35.00 元

---

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

# 前 言

“继电保护运行与调试”是一门与现场职业工种——继电保护工对应的职业课程，是一门理论与实践高度结合的课程。本教材根据国家骨干院校建设对教学改革的要求联合企业专家共同编写，旨在以国家职业资格标准作为培养目标，培养学生在继电保护及安全自动装置的安装、调试、运行维护和检修方面的专业技能，使学生毕业后在从事的相应岗位工作中，具备扎实的岗位技能。教材内容的选取满足国家职业资格标准对继电保护工知识和技能的要求，以电力系统主要设备为载体由浅入深、由单一到整体再到系统的渐进秩序，分配到5个学习情境的工作过程中，每个学习情境工作过程分为2~5个项目任务，满足教学过程中“教、学、做”一体化的要求。

本教材中的学习情境一、学习情境二由王敏编写，其中学习情境二的项目三由珠海供电局蒋芳玉高级工程师编写；学习情境三、学习情境四由高爱云编写；学习情境五由黄埔发电厂王建新工程师编写。由王敏对全书进行统稿。

本教材可供高职高专电力类专业教材之用，也可供职业技能培训和相关专业技术人员参考使用。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者  
2012年7月

# 目 录

## 学习情境一 电力系统继电保护的基本知识

项目一 电力系统继电保护的基本知识 .....	1
任务一 了解电力系统继电保护的作用 .....	1
任务二 了解继电保护的基本原理和保护装置的构成 .....	2
任务三 了解对继电保护的基本要求 .....	3
项目二 认识继电保护的基本元件 .....	5
任务一 互感器 .....	5
任务二 测量变换器 .....	7
任务三 对称分量滤过器 .....	8

## 学习情境二 输电线路保护的运行与调试

项目一 输电线路电流电压保护 .....	13
任务一 单侧电源输电线路相间短路的电流电压保护 .....	13
任务二 双侧电源输电线路相间短路的方向电流保护 .....	44
任务三 输电线路接地故障保护 .....	55
项目二 输电线路的自动重合闸 .....	65
任务一 单侧电源线路三相一次自动重合闸 .....	72
任务二 双侧电源线路三相自动重合闸 .....	76
任务三 自动重合闸与继电保护的配合 .....	84
任务四 综合重合闸与新技术简介 .....	87
项目三 输电线路距离保护 .....	94
任务一 距离保护的构成及原理 .....	94
任务二 阻抗继电器 .....	98
任务三 影响阻抗继电器正确测量的因素及克服办法 .....	107
任务四 距离保护的整定计算 .....	122
项目四 输电线路全线速动保护 .....	125
任务一 输电线路纵联差动保护 .....	125
任务二 平行线路横联方向差动保护 .....	128
任务三 高频保护 .....	130
项目五 输电线路保护整组运行与调试 .....	138

## 学习情境三 电力变压器保护运行与调试

项目一 电力变压器主保护运行与调试 .....	144
-------------------------	-----



任务一 瓦斯保护的原理 .....	144
任务二 纵差动保护的运行与调试 .....	147
项目二 电力变压器后备保护运行与调试 .....	155
任务一 相间短路后备保护的运行与调试 .....	155
任务二 接地短路后备保护的运行与调试 .....	163
项目三 电力变压器保护整组运行与调试 .....	166

#### 学习情境四 发电机保护运行与调试

项目一 发电机主保护运行与调试 .....	172
任务一 纵差动保护的运行与调试 .....	172
任务二 匝间短路保护的运行与调试 .....	177
项目二 发电机后备保护运行与调试 .....	180
任务一 定子绕组单相接地保护的运行与调试 .....	180
任务二 发电机的电流、电压保护 .....	187
项目三 发电机辅助保护运行与调试 .....	189
任务一 发电机励磁回路接地保护 .....	189
任务二 发电机失磁保护 .....	191
项目四 发电机-变压器组保护运行与调试 .....	193
项目五 发电机-变压器组的检查与调试 .....	194

#### 学习情境五 母线保护运行与调试

项目一 完全电流差动母线保护 .....	201
项目二 元件固定连接的双母线完全电流差动保护 .....	202
项目三 比相式母线差动保护 .....	204
项目四 一个半断路器接线的母线保护 .....	205
项目五 断路器失灵保护 .....	207
参考文献 .....	209

# 学习情境一 电力系统继电保护的基本知识

## 教学目标

1. 理解电力系统继电保护的作用；
2. 了解继电保护的基本原理和保护装置的原理及构成；
3. 熟悉继电器的图形符号、文字符号及型号表示方法；
4. 理解对运行方式、主保护、后备保护、辅助保护等几个重要名词定义。

## 项目一 电力系统继电保护的基本知识

### 任务一 了解电力系统继电保护的作用

#### 1. 电力系统故障和异常运行

电力系统运行中可能发生各类故障和不正常运行状态。其中故障是指各类相间短路、接地短路和断线。不正常运行状态是指电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏，但没有导致故障。例如，过负荷、电力系统发生振荡、系统中出现功率缺额引起频率降低、发电机突然甩负荷而产生的过电压等，都属于不正常运行状态。

故障和不正常运行状态都可能在电力系统中引起事故。事故是指系统或其中一部分的正常工作状态遭到破坏，并造成对用户少送电或电能质量恶劣至不能容许的地步，甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏。

#### 2. 电力系统继电保护的作用和任务

继电保护的作用就是在电力系统故障和不正常运行状态时，迅速而有选择地切除故障元件，保证非故障部分能继续安全运行并及时发出报警信号。因此，继电保护装置的基本任务就是：

(1) 当被保护的电力系统元件发生故障时，应该由该元件的继电保护装置迅速准确地给距离故障元件最近的断路器发出跳闸命令，使故障元件及时从电力系统中断开，以最大限度地减少对电气元件本身的损坏，降低对电力系统安全供电的影响，并满足电力系统的某些特定要求。

(2) 当被保护的电力系统元件出现异常运行状态时，继电保护应能及时反应，并根据运行维护条件发出信号，以便值班人员人工处理或由装置自动调整。

## 任务二 了解继电保护的基本原理和保护装置的构成

### 1. 继电保护的基本原理

电力系统中任何电气设备发生故障时，必然有故障信息出现，继电保护的基本原理是利用被保护的电力系统元件故障前后某些突变的物理量为信息量，当突变量达到一定值时，启动逻辑控制环节，发出相应的跳闸脉冲或信号。

#### (1) 利用基本电气参数的变化

发生短路故障后，利用电流、电压、线路测量阻抗、电压电流间相位、负序和零序分量的出现等的变化，可构成过电流保护、低电压保护、距离保护、功率方向保护、序分量保护等。

#### (2) 利用比较两侧的电流相位（或功率方向）

在双侧电源网络中，若两侧电流相位（或功率方向）相同，则判定被保护线路内部故障；若两侧电流相位（或功率方向）相反，则判定区外短路故障。利用被保护线路两侧电流相位（或功率方向），可构成纵联差动保护、相差高频保护与方向保护等。

#### (3) 反映序分量或突变量保护

电力系统正常运行时，不存在负序、零序分量；当发生不对称短路时，出现负序、零序分量，而无论是对称短路还是不对称短路，正序分量都发生突变。因此，可以根据是否出现负序、零序分量构成负序保护和零序保护；根据正序分量是否突变构成对称短路、不对称短路保护。

#### (4) 反映非电气量保护

除上述反映各种电气量的保护外，还有根据电气设备的特点反映非电气量保护，如反映变压器油箱内部故障时所产生的瓦斯气体而构成的瓦斯保护；反映变压器绕组温度升高而构成的过负荷保护等。

一般说来，只要找出正常运行与故障时系统中电气量或非电气量的变化特征（差别），即可找出一种原理，且其差别越明显，保护性能越好。

### 2. 继电保护装置的构成

一般而言，整套继电保护装置是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成。其原理结构如图 1-1 所示。

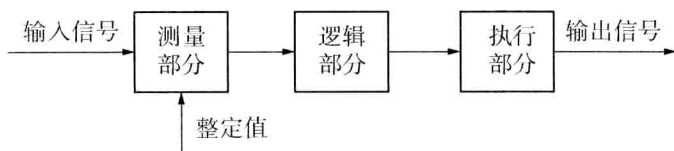


图 1-1 继电保护装置的原理结构

#### (1) 测量部分

测量部分是测量从被保护对象输入的有关物理量（如电流、电压、阻抗、功率方向等），并与给定的整定值进行比较，根据比较结果给出“是”或“非”性质的一组逻辑信号，从而判断保护是否应该启动。



## (2) 逻辑部分

逻辑部分是根据测量部分各输出量的大小及性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合,使保护装置按一定的逻辑关系工作,然后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号,并将有关命令传给执行部分。继电保护中常用的逻辑回路有“或”、“与”、“否”、“延时启动”、“延时返回”以及“记忆”等回路。

## (3) 执行部分

执行部分是根据逻辑部分输出的信号,最后完成保护装置所担负的任务。如发生故障时,动作于跳闸;异常运行时,发出信号;正常运行时,不动作等。

## 任务三 了解对继电保护的基本要求

电力系统各电气元件之间通常用断路器互相连接,每台断路器都装有相应的继电保护装置,可以向断路器发出跳闸脉冲。继电保护装置是以各电气元件或线路作为被保护对象的,其切除故障的范围是断路器之间的区段。

实践表明,继电保护装置或断路器有拒绝动作的可能性,因而需要考虑后备保护。实践中,每一电气元件一般都有两种继电保护装置——主保护和后备保护,必要时还另外增设辅助保护。

反映整个被保护元件上的故障并能以最短的延时有选择性地切除故障的保护称为主保护。主保护或其断路器拒绝动作时,用来切除故障的保护称为后备保护。后备保护分近后备和远后备两种。主保护拒绝动作时,由本元件的另一套保护实现后备,称之为近后备;当本元件保护或其断路器拒动时,由相邻元件的保护实现后备的,称之为远后备。为补充主保护和后备保护的不足而增设的简单的保护称为辅助保护。

电力系统对作用于动作跳闸的继电保护,在技术性能上必须满足四个基本要求:可靠性、选择性、灵敏性和速动性。

### 1. 可靠性

保护装置的可靠性是指发生了属于某保护装置动作的故障,其应能可靠地动作,即不发生拒绝动作(不拒动);而在正常运行或发生不属于本保护动作的故障时,保护应可靠不动,即不发生错误动作(不误动)。

影响可靠性的因素有内在的和外在的。内在的因素有装置本身的质量,包括元件好坏、结构设计的合理性、制造工艺水平、内外接线简明,触点多少等。外在的因素有运行维护水平、安装调试是否正确等。

### 2. 选择性

保护装置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,使停电范围尽量缩小,以保证电力系统中的无故障部分仍能继续安全运行。

在图1-2的网络中,当 $K_1$ 短路时,保护1、2动作跳开断路器 $QF_1$ 、 $QF_2$ ;当 $K_2$ 短路时,保护6动作跳开断路器 $QF_6$ ,保护装置的这种动作是有选择性的;若当 $K_2$ 短路时,保护5动作跳开 $QF_5$ 保护装置,保护装置的这种动作是无选择性的,但若保护6拒动或断路器 $QF_6$ 拒动,保护5动作跳开 $QF_5$ 保护装置的这种动作也是有选择性的。

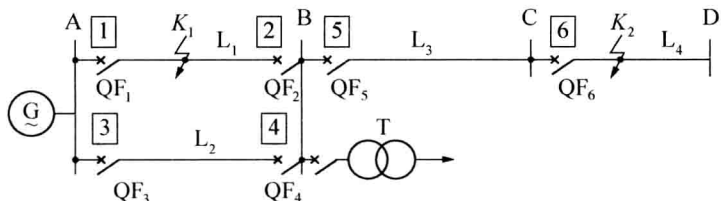


图 1-2 保护选择性动作说明图

### 3. 灵敏性

继电保护装置的灵敏性，是指对于其保护范围内发生故障或异常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应该是在区内故障时，不论短路点的位置和短路的类型及系统运行方式如何，都能灵敏地正确反应。

通常灵敏性用灵敏系数  $K_{sen}$  来衡量。

对于反应故障参数增大而动作的保护装置（如电流保护），其灵敏系数是

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时保护安装处故障参数的最小值}}{\text{保护装置的动作参数}} = \frac{I_{kmin}}{I_{act}}$$

对于反应故障参数降低而动作的保护装置（如低电压保护），其灵敏系数是

$$K_{sen} = \frac{\text{保护装置的动作参数}}{\text{保护区末端金属性短路时保护安装处故障参数的最大值}} = \frac{U_{act}}{U_{kmax}}$$

式中，故障参数的最小、最大计算值是根据实际可能的最不利于保护动作的系统运行方式、故障类型和短路点位置来计算的。

实际上，短路大多数情况是非金属性的，而且故障参数在计算时会有一定误差，因此必须要求  $K_{sen} > 1$ 。在中华人民共和国国家标准的《继电保护和安全自动装置技术规程》中，对各类保护的灵敏系数  $K_{sen}$  的要求都作了具体规定。

### 4. 速动性

继电保护装置的速动性是指继电保护应以允许的可能最快速度动作于断路器跳闸，以切除故障或终止异常状态的发展。继电保护快速动作可以减轻故障元件的损坏程度，提高线路故障后自动重合闸的成功率，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的使用时间。

## 思考题

1. 继电保护的主要任务是什么？
2. 试述简单继电保护的基本工作原理。
3. 电力系统对继电保护有哪些基本要求？什么是保护的选择性？请举例说明继电保护选择性与非选择性动作。
4. 后备保护的作用是什么？什么是近后备？什么是远后备？
5. 什么叫保护的灵敏性？怎样表示？

## 项目二 认识继电保护的基本元件

### 任务一 互感器

#### 1. 电流互感器

在继电保护回路中, 电流互感器 (TA) 是用来将二次电流回路与一次电流的高压系统隔离, 按一定比例将一次电流变成二次电流以满足保护的需要, 且其一、二次绕组之间有充分的绝缘, 从而保证所有低压设备与高电压相隔离。二次绕组的额定电流一般为 5A 或 1A。为防止其一、二次绕组绝缘击穿时危及人身和设备的安全, 电流互感器二次侧有一端必须接地。

##### (1) 电流互感器极性

为了简便、直观地分析继电保护的工作, 判别电流互感器一次电流与二次电流间的相位关系, 应按规定标示电流互感器绕组的极性。

电流互感器一次和二次绕组的极性常按减极性原则标注, 即当系统一次电流由极性端流入时, 电流互感器的二次电流从极性端流出。同极性端以符号 “\*” 标注, 如图 1-3。

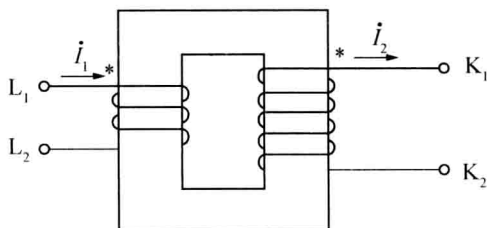


图 1-3 电流互感器极性标注

##### (2) 电流互感器的误差

电流互感器的磁势平衡方程为

$$N_1 I_1' - N_2 I_2 = N_1 I_0 \quad (1-1)$$

由式 (1-1) 可见, 由于励磁电流的存在, 电流互感器的一次折算后的电流和二次电流大小不相等、相位不相同, 说明电流转换中存在数值和相位的偏差, 即数值误差和角度误差。

数值误差又称变比误差, 用  $f_i$  表示。定义为二次侧电流与一次折算后的电流的算术差与一次折算后的电流之比的百分数。即

$$f_i = [(I_2 - I_1') / I_1'] \times 100\% \quad (1-2)$$

角度误差指  $I_1'$  与  $I_2$  的电流相位差, 数值较小。

##### (3) 电流互感器的 10% 误差曲线

当一次侧发生短路故障时, 流入电流互感器的一次电流远大于其额定值, 因铁芯饱和电流互感器会产生较大误差。为了控制误差在一定的范围, 对一次电流倍数  $m$  及二次侧的负载阻抗有一定的限制。所谓一次电流倍数, 是指一次侧实际电流与额定电流之比, 即

$m = \frac{I_1}{I_{IN}}$ 。为便于检验电流互感器的准确度，生产厂家把每一种电流互感器的电流误差为10%、角度误差不超过 $7^\circ$ 时，允许的一次电流倍数（ $m$ ）和相应的允许二次负载（ $Z_L$ ）绘制成一条曲线，这条曲线称为电流互感器的10%误差曲线，如图1-4所示。如实际的一次电流倍数 $m$ （纵坐标）与二次负载（横坐标）的交点在这条曲线之下，则电流互感器的误差就不超过允许值。

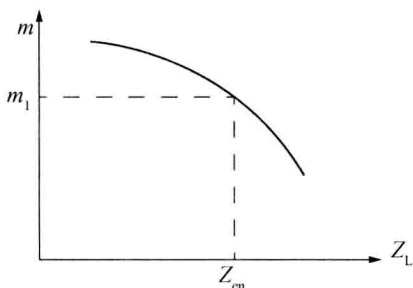


图1-4 电流互感器的10%误差曲线

## 2. 电压互感器

电压互感器的作用是将一次高电压系统与二次设备的低压系统隔离；将系统的一次电压按电压互感器的变比变换为数值较小的二次低电压。电压互感器二次侧的额定相间电压一般为100V。电压互感器不同于电流互感器，二次侧所接入的负载是继电器的电压线圈，其阻抗值比较大，二次侧接近开路状态，相当于一个电压源。系统短路时电压降低，电压互感器不存在铁芯饱和问题，能真实地反映一次电压的突然变化。另外，电压互感器的二次侧都应保护接地，以防止互感器一、二次线圈间绝缘损坏时，高电压对二次设备和工作人员的危害。

### (1) 电压互感器的极性

电压互感器一、二次绕组间的极性与电流互感器一样，按照减极性原则标注。用相同注脚表示同极性端子，当只需标出相对极性关系时，也可在同极性端子上标以符号“\*”。

### (2) 电压互感器的误差

电压互感器的误差是由于空载电流和负载电流引起的，这些电流经电压互感器的绕组产生电压降，从而产生电压互感器的数值误差和相位误差。

数值误差：又称变比误差，用 $f_u$ 表示。定义为二次侧电流与一次折算后的电流的算术差与一次折算后的电流之比的百分数。即

$$f_u = [(U_2 - U'_1) / U'_1] \times 100\% \quad (1-3)$$

角度误差指 $U'_1$ 与 $U_2$ 间的相角差。

根据电压互感器误差产生的原因，可以采取以下方法减小误差：

- ① 尽量减小一次绕组与二次绕组之间的漏抗；
- ② 减小电压互感器的空载电流；
- ③ 减小电压互感器的负载电流，即接入阻抗大的负载。



## 任务二 测量变换器

### 1. 变换器的作用

继电保护用的测量变换器主要用于整流型、静态型及数字型继电保护装置中。因为这些类型继电保护装置的测量元件，不能直接接入电流互感器或电压互感器的二次线圈，而需要将电压互感器的二次电压降低，或将电流互感器的二次电流变为电压后，才能应用。这种中间变换装置称为测量变换器，其作用如下：

(1) 电量变换。将互感器二次侧电压（额定 100V）、电流（额定 5A 或 1A），转换成弱电电压，以适应弱电元件的要求。

(2) 电气隔离。电流、电压互感器二次侧的保护、工作接地，是用于保证人身和设备安全的，而弱电元件往往与直流电源连接，直流回路不允许直接接地，故需要经变换器实现电气隔离。

(3) 调节定值。整流型、晶体管型继电保护可以通过改变变换器一次或二次线圈抽头来改变继电器的动作值。

(4) 用于电量的综合处理。通过变换器将多个电量综合成单一电量以利于简化保护。

### 2. 变换器的分类

继电保护中常用的变换器有电压变换器（UV）、电流变换器（TA）和电抗变压器（UR）。

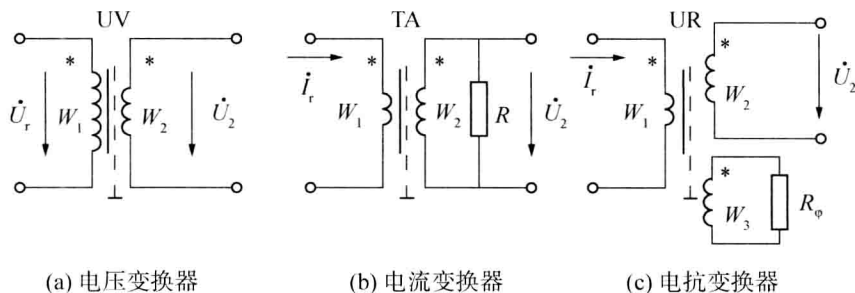


图 1-5 测量变换器原理图

#### (1) 电压变换器（UV）

电压变换器结构原理与电压互感器、变压器相同。一般用来把输入电压降低或使之可以调节，如图 1-5a 所示。

电压变换器原方与电压互感器相联，电压互感器二次侧有工作接地，电压变换器副方的“直流地”为保护电源的 0V，电容 C 容量很小，起抗干扰作用。

从电压变换器原方看进去，输入阻抗很大，对于负载而言电压变换器可以看成是一个电压源，电压变换器二次侧电压与一次侧电压关系可近似表示为

$$U_2 = K_{uv} U_1 \quad (1-4)$$

式中， $K_{uv}$  为电压互感器的变比。

#### (2) 电流变换器（TA）

电流变换器的主要作用是将一次电流变换为一个与之成正比的二次侧电压。它由一台

小型电流互感器和并联在二次侧的小负载电阻  $R$  组成。如图 1-5b 所示。

从电流变换器原方看进去，输入阻抗很小，对于负载而言电流变换器可以看成是一个电流源。电流变换器二次电流（一般为毫安级）与一次电流成正比，二次电流在电阻上形成二次电压：

$$U_2 = I_2 R = \frac{R}{n} I_1 = K_L I_1 \quad (1-5)$$

式中， $K_L$  为电流变换器的变换系数。

### (3) 电抗变换器 (UR)

电抗变换器是把输入电流直接转换成与电流成正比的电压的一种电量变换装置。二次侧绕组  $W_3$  和调相电组  $R_\phi$ ，用于改变输入电流与输出电压之间的相角差，如图 1-5c 所示。

UR 输入阻抗很小，串于 TA 二次回路；对于负载，UR 近似为电压源。UR 励磁阻抗相对于负载来说很小，可以认为一次电流全部作为励磁，这样二次电压为

$$U_2 = I_1 Z'_e = K_{ur} I_1 \quad (1-6)$$

式中， $K_{ur}$  为带有阻抗量纲的复常数，又称电抗变换器的转移阻抗； $I_1$  为一次向二次折算电流。

## 任务三 对称分量滤过器

系统正常运行时，一般三相是对称的，只存在正序分量，没有负序和零序分量；不对称短路时，三相电流、电压中分别存在正序对称分量和负序对称分量；接地短路时，三相电流电压中分别存在正序、负序和零序三组对称分量。因此，在保护中，利用故障时出现负序和零序分量构成保护，可提高保护的灵敏度。

某种相序滤过器是一种从三相电流或电压中过滤出正序、负序和零序分量的装置，当输入端加入三相电流或电压时，输出端即可得到与输入量中某一相序分量成比例的电压或电流。

### 1. 零序分量滤过器

#### (1) 零序电流滤过器

将三相电流互感器极性相同的二次端子分别接在一起将电流继电器接于两个连接端子之间即组成零序电流滤过器，如图 1-6 所示。

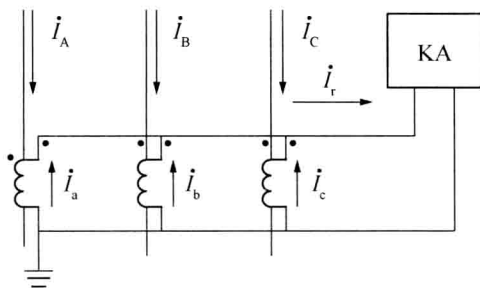


图 1-6 零序电流滤过器原理接线图

此时流入继电器回路中的电流为三相电流之和。若三相中包含有正序、负序、零序分量电流时，由于正序、负序三相电流之和为零，故只有零序电流输出：

$$I_r = I_a + I_b + I_c = 3I_0 \quad (1-7)$$

理论上在系统正常运行或发生对称短路时， $I_r = 0$ ，实际上， $I_r \neq 0$ ，而是存在着不平衡电流。

### (2) 零序电压滤过器

为了取得零序电压，需采用零序电压滤过器。构成零序电压滤过器时，必须考虑零序磁通的铁芯路径，所以采用的电压互感器铁芯形式只能是三个单相的或三相五柱式的。三相五柱式电压互感器二次绕组顺极性接成开口三角形，如图 1-7 所示。

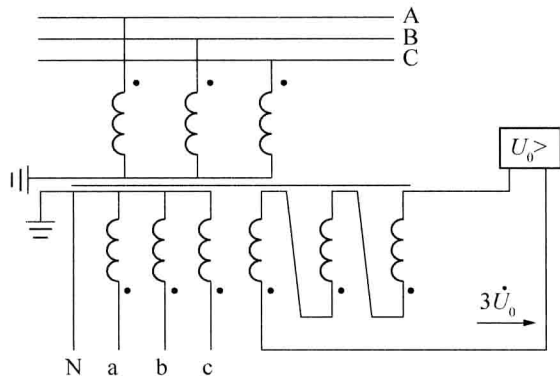


图 1-7 零序电压滤过器原理接线图

在开口三角形开口端获得零序电压，即：

$$U_{mn} = \frac{1}{n}(U_A + U_B + U_C) = \frac{1}{n}3U_0 \quad (1-8)$$

实际上在正常运行和电网相间短路时，由于电压互感器的误差及三相系统对地电压不平衡，在开口三角形开口端会有不大的电压输出，此电压称为不平衡电压，零序电压保护应躲过其影响。

## 2. 负序分量滤过器

### (1) 负序电压滤过器

负序电压滤过器是从三相全电压中滤出负序电压分量的滤过器，用于反映不对称短路的故障。

应用比较广泛的是阻容式负序电压滤过器，如图 1-8 所示。

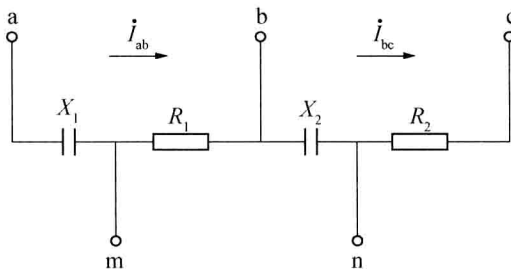


图 1-8 阻容式负序电压滤过器

这种电压滤过器有三个输入端 a、b、c，分别接在电压互感器副边的三相电压端子上，两个输出端 m、n 接到负载，两个阻容臂  $R_1$ 、 $X_1$  和  $R_2$ 、 $X_2$  分别接于线电压，而线电压不存在零序分量，因此该电压滤过器无须采用其他消除零序电压的措施。为了避免正序分量通过，滤过器阻容臂的参数应该满足如下关系：

$$R_1 = \sqrt{3}X_1, \quad X_2 = \sqrt{3}R_2 \quad (1-9)$$

当输入正序电压时，因  $R_1 = \sqrt{3}X_1$ ，故电流  $I_{ab1}$  超前电压  $U_{ab1}$   $30^\circ$ ；又因为  $X_2 = \sqrt{3}R_2$ ，故电流  $I_{bc1}$  超前电压  $U_{bc1}$   $60^\circ$ 。各相量关系如图 1-9a 所示。

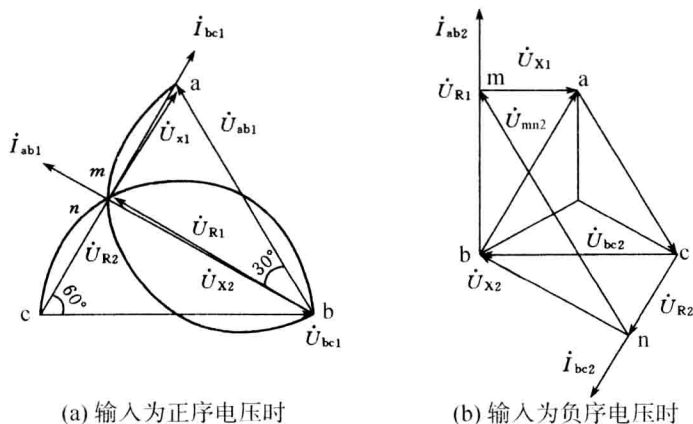


图 1-9 相量图

图中电压三角形 anm 和电压三角形 bmc，两顶点 m、n 重合，即输出电压  $U_{mn1} = 0$ ，故滤过器的输出电压为零。

当输入负序电压时，负序电压相序与正序电压相反，此时负序电压滤过器的相量关系如图 1-9b 所示。 $I_{ab2}$  超前电压  $U_{ab2}$   $30^\circ$ ，而电流  $I_{bc2}$  超前电压  $U_{bc2}$   $60^\circ$ ，输出电压为

$$U_{mn2} = \sqrt{3}U_{R1} = 1.5U_{ab2} \quad (1-10)$$

上式表明，当输入三相负序电压时，滤过器的输出电压为输入电压的 1.5 倍，而其相位超前输入电压  $U_{bc2}$   $60^\circ$ 。

负序电压滤过器只有在满足式 (1-9) 的条件下，对正序电压才无输出。实际上，由于元件参数不准确，阻抗值随环境温度及系统频率变化等原因，使加入正序电压时，有不平衡电压输出，使用中应予以注意。

若输入电压中存在五次谐波分量，则由于五次谐波分量的相序与基波相序相同，输出端也会有输出。为了消除五次谐波分量的影响，可以在输出端加装五次谐波滤波器。

如果将负序电压滤过器任意两个输入端互相换接，则滤过器就会变成正序电压滤过器。

## (2) 负序电流滤过器

负序电流滤过器的输入是三相或两相全电流，输出的是与输入电流负序分量成比例的单相电压，并从原理接线上保证正序电流和零序电流不能通过滤过器。常用的负序电流滤过器有两类，感抗移相式负序电流滤过器和电容移相式负序电流滤过器。下面介绍的感抗移相式负序电流滤过器如图 1-10 所示。



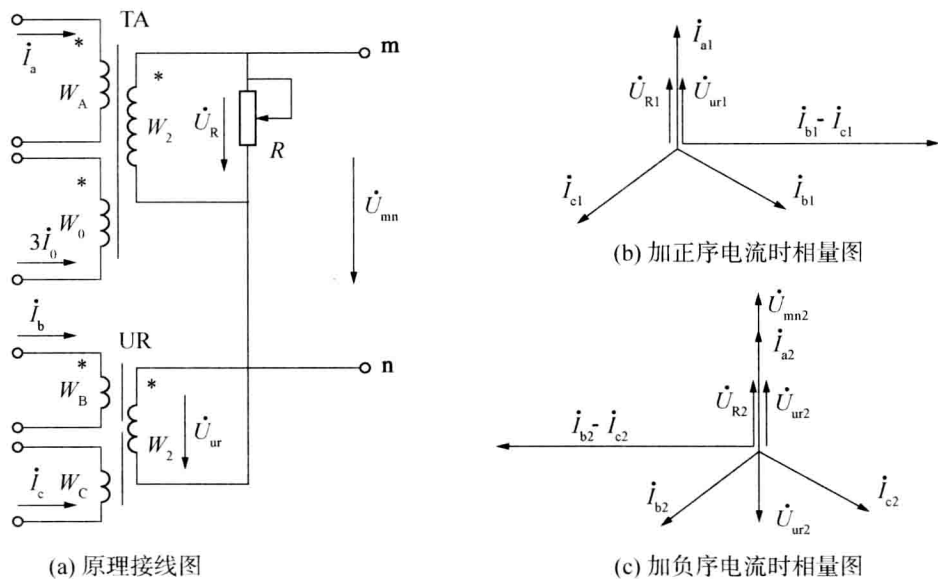


图 1-10 负序电流过滤器

电抗变压器的一次侧有两个匝数相同的线圈，即  $W_B = W_C$ ，分别通入  $I_b$  和  $-I_c$ ，其二次侧输出电压为

$$U_{ur} = j(I_b - I_c) K_{ur} \tag{1-11}$$

式中  $K_{ur}$  ——电抗变换器的转移电抗。

TA 有两个一次线圈  $W_A$  和  $W_0$ ，并且  $W_A = 3W_0$ ，正常运行时零序磁势平衡，即

$$I_a W_A - 3 I_0 W_0 = I_a W_2 \tag{1-12}$$

设 TA 的变比  $n_i = \frac{W_2}{W_A}$ ，则二次输出电流为  $\frac{(I_a - I_0)}{n_i}$ ，故 TA 二次输出电压为

$$U_R = \frac{1}{n_i} (I_a - I_0) R \tag{1-13}$$

负序电流过滤器输出电压为  $U_R$  与  $U_{ur}$  的相量差，即

$$\begin{aligned} U_{mn} &= U_R - U_{ur} \\ &= \frac{1}{n_i} (I_a - I_0) R - j(I_b - I_c) K_{ur} \end{aligned} \tag{1-14}$$

当加入零序电流时  $I_a = I_b = I_c = I_0$ ，由于  $W_A = 3W_0, W_B = W_C$ ，所以电流变换器与电抗变压器一次磁势互相抵消，或从式 (1-14) 也可以得到  $U_{mn} = 0$ ，故不反映零序分量。

当加入正序电流时，过滤器的输出电压为

$$\begin{aligned} U_{mn1} &= U_{R1} - U_{bc1} \\ &= \frac{1}{n_i} I_{a1} R - j(I_{b1} - I_{c1}) X_{ur} \\ &= I_{a1} \left( \frac{R}{n_i} - \sqrt{3} K_{ur} \right) \end{aligned} \tag{1-15}$$