

变电二次系统 实用技术

主编 荀堂生 宋志明

BIANDIANERCIXITONG
SHIYONGJISHU



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

变电二次系统 实用技术

主 编	荀堂生	宋志明
副主编	刘承禄	
参 编	陈雪峰	周青明
主 审	马 杰	

BIANDIANERCIXITONG
SHIYONGJISHU



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书结合继电保护专业实际,以解决实际问题为目的,强化继电保护专业的重点工作、突出现场工作人员的技能水平培养,内容突出针对性、实用性。

本书共9章,主要包括变压器保护、输电线路保护、母线保护、断路器控制回路、测控装置及二次回路、故障录波测距装置、保护装置本体功能校验、继电保护新技术与校验变革、提高继电保护装置工作可靠性的措施等内容。本书既有理论知识的介绍,又侧重于二次回路的连接、运行、异常及处理方法的实际运用。

本书既可作为继电保护工的培训教材,又可作为继电保护岗位从业人员日常学习、工作的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

变电二次系统实用技术/荀堂生,宋志明主编. —北京:中国电力出版社,2010.7

ISBN 978-7-5123-0591-5

I. ①变… II. ①荀…②宋… III. ①变电所—二次系统 IV. ①TM645.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 119705 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年7月第一版 2010年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 21印张 502千字

印数 0001—3000册 定价 43.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

前 言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略，大力开展全员职工岗前职业培训和轮岗培训，全面提高生产技能人员的综合素质与业务水平，依据劳动和社会保障部国家职业标准，结合电力企业工作实际，山东电力职工技能培训中心组织编写了《变电二次系统实用技术》一书。

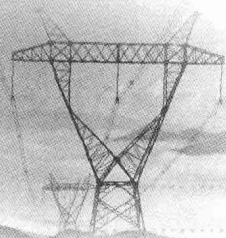
本书内容涵盖了继电保护岗位所需的理论知识和技能需求，结合一线员工的工作实际情况和岗位发展的要求，突出新技术、新设备、新材料、新工艺的推广应用。在保证基本理论的前提下，突出继电保护二次回路、调试技能与现场继电保护反事故措施的实施。做到一书在手，既可通过自身的学习与实践，全面掌握继电保护的基本理论、二次回路、保护调试、反措落实以及保护的异常处理，又可为继电保护员工的专业成材、提高综合素质打下坚实的理论基础。

本书共9章，主要包括变压器保护、输电线路保护、母线保护、断路器控制回路、测控装置及二次回路、故障录波测距装置、保护装置本体功能校验、继电保护新技术与校验变革、提高继电保护装置工作可靠性的措施等内容。其中，第一章、第二章由山东省电力学校宋志明编写；第三章由山东省泰安供电公司陈雪峰编写；第四～第六章由山东省潍坊供电公司刘承禄编写；第七章由北京博电周青明编写；第八章、第九章由山东省电力学校荀堂生编写。全书由山东省电力调度中心马杰主审。本书编写过程中，得到北京博电新力电力系统仪器有限公司、南京南瑞继电保护有限公司、南京新宁电力技术有限公司、潍坊供电公司等单位的大力支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中定有不足之处，恳切希望广大专家、读者提出宝贵意见。

编 者

2010年5月



目 录

前言

第一章 变压器保护	1
第一节 概述.....	1
第二节 变压器保护装置的基本结构.....	3
第三节 变压器电气量保护原理.....	6
第四节 变压器保护装置的外部接入回路	28
第五节 变压器的非电气量保护	33
第六节 变压器保护装置的定值与整定方案	36
第二章 输电线路保护	45
第一节 概述	45
第二节 综自保护一体化线路保护的基本原理与回路	48
第三节 高压输电线路保护原理	55
第四节 高压输电线路保护装置简介	70
第五节 保护装置的二次回路	82
第三章 母线保护	105
第一节 母线保护概述.....	105
第二节 母线保护装置简介.....	106
第三节 母线保护原理及其回路.....	108
第四节 母线保护的开入开出回路.....	121
第四章 断路器控制回路	125
第一节 断路器控制回路概述.....	125
第二节 断路器控制回路的基本原理.....	127
第三节 控制回路主要元器件介绍.....	132
第四节 压力闭锁回路的实现与组合电器的防跃.....	136
第五节 断路器控制回路的常见问题及查找.....	141
第五章 测控装置及二次回路	145
第一节 测控技术概述.....	145
第二节 测控装置简介.....	146
第三节 测控装置二次回路及基本原理.....	147

第四节	测控装置的二次回路检验方法	152
第五节	测控装置二次回路校验注意事项	157
第六章	故障录波测距装置	158
第一节	故障录波测距装置概述	158
第二节	电力系统对故障录波的要求及实现方式	158
第三节	故障录波测距装置基本原理及应用现状	160
第四节	故障录波测距装置检验的基本方法及常见故障处理	165
第五节	故障录波器的改进措施	170
第六节	故障录波图的分析	171
第七章	保护装置本体功能校验	183
第一节	RCS-902 高压线路保护测试	183
第二节	RCS-923 断路器保护调试	188
第三节	RCS-931A 高压线路保护调试	190
第四节	变压器保护 RCS-978E 调试	195
第五节	RCS-915 母线保护测试	214
第六节	电容器保护	224
第七节	RCS-9652 备自投装置测试	227
第八节	低频低压减载装置测试	234
第八章	继电保护新技术与校验变革	237
第一节	继电保护的现状及发展趋势	237
第二节	数字化变电站的简介	239
第三节	校验设备的变革	254
第九章	提高继电保护装置工作可靠性的措施	259
第一节	微机保护的抗干扰措施	259
第二节	继电保护及安全自动装置反事故措施	268
第三节	继电保护反事故措施的具体实施	279
第四节	保证继电保护装置工作可靠性的其他措施	287
附录 A	继电保护及安全自动装置技术规程	297
附录 B	保护地网及接地安装验收作业指导卡	322
附录 C	保护装置安装验收作业指导卡	324
附录 D	第一种工作票格式	326
附录 E	第二种工作票格式	328
参考文献		329

第一章

变压器保护

第一节 概 述

电力变压器是电力系统中十分重要的供电元件，它的故障及异常将对系统正常运行和供电可靠性带来严重的影响。同时，电力变压器也是十分重要的电力设备，必须根据变压器的容量和重要程度，考虑装设性能良好、工作可靠的继电保护装置。

一、变压器的故障

变压器的故障主要包括以下 5 类。

(1) 相间短路。这是变压器最严重的故障类型。它包括变压器箱体内部的相间短路和引出线（从套管出口到电流互感器之间的电气一次引出线）的相间短路。由于相间短路会严重烧损变压器本体设备，严重时会使变压器整体报废，因此，当变压器发生相间短路时，要求瞬时切除故障。

(2) 接地（或对铁芯）短路。这种短路故障只会发生在中性点接地的系统一侧。对这种故障的处理方式和相间短路故障是相同的，但同时要考虑接地短路发生在中性点附近时保护的灵敏度。

(3) 匝间或层间短路。对于大型变压器，为改善其冲击过电压性能，广泛采用新型结构和工艺，匝间短路故障发生的几率有增加的趋势。当短路匝数少、保护对其反应灵敏度又不足时，在短路环内的大电流往往会引起铁芯的严重烧损。如何选择和配置灵敏的匝间短路保护，对大型变压器就显得比较重要。

(4) 铁芯局部发热和烧损。由于变压器内部磁场分布不均匀、制造工艺水平差、绕组绝缘水平下降等因素，会使铁芯局部发热和烧损，继而引发更严重的相间短路。因此，应及时检测这一类故障。

(5) 油面下降。由于变压器漏油等原因造成变压器内油面下降，会引起变压器内部绕组过热和绝缘水平下降，给变压器的安全运行造成危害。因此当变压器油面下降时，应及时检测并予以处理。

二、变压器不正常运行状态

变压器不正常运行状态指变压器本体没有发生故障，但外部环境变化后引起了变压器的非正常工作状态。这种非正常运行状态如果不及时处理或告警，将会引发变压器的内部故障。因此，这一类保护也可称之为故障预测保护。

(1) 过负荷。变压器有一定的过负荷能力，但若长期处于过负荷下运行，会使变压器绕组的绝缘水平下降，加速其老化，缩短其寿命。运行人员应及时了解过负荷运行状态，以便作相应处理。

(2) 过电流。过电流一般是由于外部短路后大电流流经变压器而引起的。由于变压器在这种电流下会烧损，一般要求和区外保护配合后，经延时切除变压器。

(3) 零序过电流。由于变压器的绕组一般都是分级绝缘的, 绝缘水平在整个绕组上不一致, 当区外发生接地短路时, 会使中性点电压升高, 影响变压器安全运行。

(4) 其他故障。如通风设备故障、冷却器故障等。这些故障也都必须作相应的处理。

三、变压器的保护配置

根据变压器可能发生的各类故障和不正常运行方式, 变压器应装设的保护有:

1. 差动保护

差动保护能反应变压器内部各种相间、接地以及匝间短路故障, 同时还能反应引出线及套管的短路故障。它能瞬时切除故障, 是变压器最重要的保护。

10MVA 及以上的单独运行变压器和 6.3MVA 及以上的并列运行变压器, 应装设纵联差动保护; 6.3MVA 及以下单独运行的重要变压器也可装设纵联差动保护。

10MVA 以下的变压器可装设电流速断保护和过电流保护; 2MVA 及以上的变压器当电流速断保护灵敏系数不符合要求时, 宜装设纵联差动保护。

2. 气体〔重(轻)瓦斯〕保护

气体保护能反应铁芯内部烧损、绕组内部短路及断线、绝缘逐渐劣化、油面下降等故障, 不能反应变压器本体以外的故障。它的优点是灵敏度高, 几乎能反应变压器本体内部的所有故障。但也有其缺点, 如不能反映外部引出线故障等。

0.8MVA 及以上的油浸式变压器和 0.4MVA 及以上的车间内油浸式变压器, 均应装设气体保护。当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时应瞬时动作于信号; 当产生大量瓦斯时, 应动作于断开变压器各侧断路器, 当变压器安装处电源侧无断路器或短路开关时, 可作用于信号。

3. 零序电流保护

零序电流能反应变压器内部或外部发生的接地性短路故障。一般是由零序电流、间隙零序电流、零序电压共同构成完善的零序电流保护。

分级绝缘的变压器中性点装设放电间隙, 装设零序电流保护, 并增设反应间隙回路的零序电压和间隙放电电流的零序电流保护。当电力网单相接地且失去接地中性点时, 零序电压保护宜经 0.3~0.5s 时限动作于断开变压器各侧断路器。

4. 过负荷保护

过负荷保护反应变压器过负荷状态。0.4MVA 及以上变压器当数台并列运行或单独运行并作为其他负荷的备用电源时, 应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护, 对三绕组变压器保护装置应能反应各侧过负荷的情况。过负荷保护采用单相式带时限动作于信号, 在无经常值班人员的变电站, 过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷。

5. 后备保护

阻抗保护、复合电压过电流保护、低压过电流保护、过电流保护都能反应变压器的过电流状态。但它们的灵敏度不一样, 阻抗保护的灵敏度最高, 过电流保护的灵敏度最低。

(1) 过电流保护宜用于降压变压器。

(2) 复合电压启动的过电流保护或低电压闭锁的过电流保护宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流不符合灵敏性要求的降压变压器。

对于后备保护:

1) 双绕组变压器应装于主电源侧，动作于断开变压器各侧断路器。

2) 三绕组变压器宜装于主电源侧及主负荷侧。主电源侧的保护应带两段时限，以较短的时限断开未装保护侧的断路器；当不符合灵敏性要求时，可在各侧装设保护装置，各侧保护装置应根据选择性的要求装设方向元件。

6. 其他保护

其他保护包括：反应变压器油温和绕组上层温度升高的温度保护；反应油位变化的油位保护；反应通风及冷却器故障的保护以及反应油箱内部压力异常升高的压力释放保护等。

第二节 变压器保护装置的基本结构

变压器保护装置通常将电气量保护部分和非电量保护部分分开实施，本节仅对变压器保护的电气量保护进行说明，非电量保护部分将在第四节介绍。图 1-1 为某厂变压器保护装置原理框图。

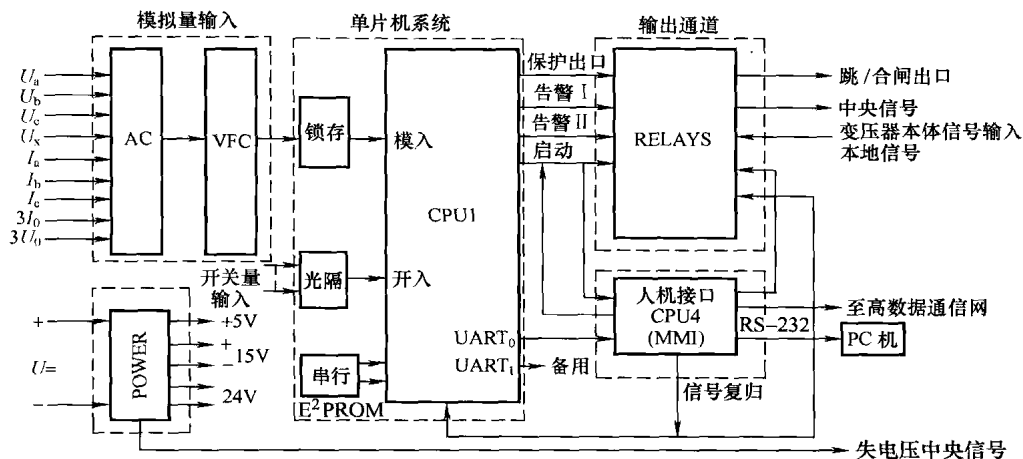


图 1-1 某厂变压器保护装置原理框图

一、模拟量输入

模拟量输入部分是微机保护将交流电流、电压信号采集并进行处理为数字信号的部分，它包括交流变换、低通滤波、采样保持、模数转换等模块。随着微机保护的发展，大部分模块已经集成到装置的核心板中，在保护装置的插件上不再体现。

微机保护装置中，需要把来自于电流互感器和电压互感器的交流量变换成为适合装置使用的交流量。交流插件就是将电流、电压进行变换的专门插件，并统称之为交流插件，其中的主要元件是电流—电压变换器。变换器不仅改变其一、二次侧电量的大小与强弱，还具有把强电同弱电元件隔离开来的作用，所以它们是微机型继电保护装置中不可缺少的一部分。

模拟量转换部分由 AC 插件构成，功能是将 TV 或 TA 二次侧电气量转换成小电压信号，交流插件中的电流变换器按额定电流可分为 1、5A 两种。

变压器保护装置采集的模拟量有各侧相电流、间隙零序电流、中性点零序电流、各侧相电压、各侧零序电压。

二、开关量输入、输出

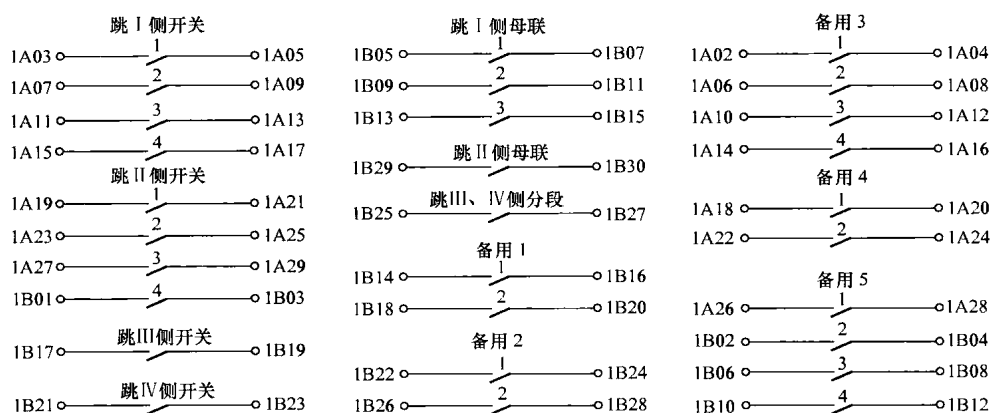
开关量输入俗称开入量，是用以人为控制实现保护装置的功能投退或保护装置完成任务所需的开关量，包括保护装置功能投退、断路器位置监视、压力状态的检测等开关量的输入。其中屏内开关量输入经由 24V 光耦输入装置，此类开入量称为弱电开入量；屏外或存在干扰问题的开关量输入用 220、110V 光耦，称为强电开入量。如图 1-2 所示为变压器保护装置部分弱电开入量。

开关量输出俗称开出量，开关量输出插件主要是由若干有触点的继电器组成，用以完成保护装置的出口跳闸、中央信号、远动、故障录波、与母线保护及主变压器非电量其他设备配合等功能。

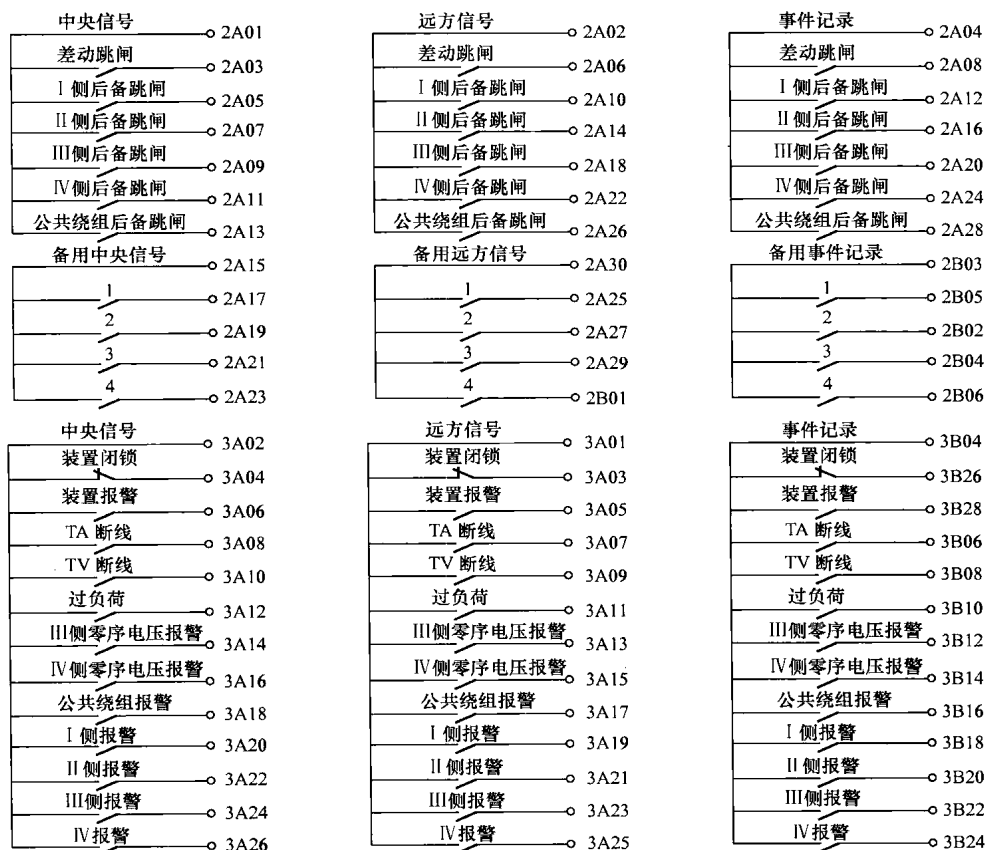
主变压器保护的跳闸开出回路，主要完成主变压器各侧开关跳闸，缩小故障范围的母联、分段设备切除，母线失灵保护及其他自动装置的功能完善等。图 1-3（a）所示为出口触点。中央信号开出回路主要提供监控、远动、事件记录等所需的保护装置的动作行为（保持触点）、事故分析所需的保护动作开关量（不保持触点），过负荷闭锁调压、过负荷启动通风等行为状态，如图 1-3（b）所示。图 1-3（c）所示触点是后备保护、闭锁、配合等触点，可实现冷控失电压保护出口、有载闭锁调压、复合电压闭锁开放母线失灵保护及主变压器高压侧保护等功能。



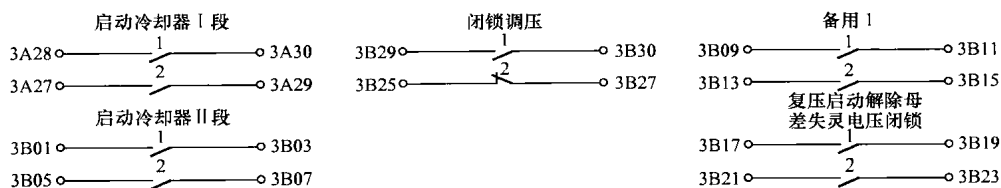
图 1-2 变压器保护装置部分弱电开入量



(a)



(b)



(c)

图 1-3 开关量输出插件触点

(a) 出口触点；(b) 信号及异常触点；(c) 监视触点及保护配合触点

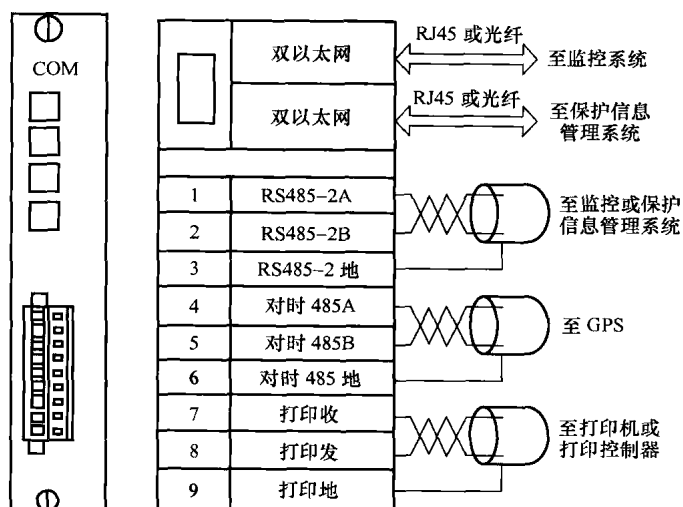


图 1-4 保护通信、打印插件

打印机通过 COM 口进行报告打印。

三、人机接口

人机接口是微机保护接受操作人员对装置进行干预操作的接口，包括定值输入、工作方式的变更、键盘操作、液晶显示、打印及信号灯、网络通信、对时等。如图 1-4 所示为保护通信、打印插件，通信插件可使用光纤接口、以太网接口等多种通道上送报告、下传信息及系统对时等。

GPS 对时接口只接收 GPS 发送的秒脉冲信号，可通过 GPS 装置使用 A 波、B 波或者脉冲对时。

第三节 变压器电气量保护原理

变压器的电气量保护包括变压器的主保护、相间短路的后备保护、变压器接地保护等。变压器的主保护是指能反应变压器三侧电流互感器之间范围内的主要故障，并以较快的速度切除故障的保护，包括电流速断、差动保护。当变压器采用电流速断保护不能满足灵敏度的要求时，则采用差动保护。

一、差动保护

差动保护是变压器内部故障的主保护，主要反应变压器油箱内部、套管和引出线的相间和接地短路故障，以及绕组的匝间短路故障。变压器的差动保护分为差动速断、比率差动、工频变化量比率差动。

1. 差动保护的基本原理

如图 1-5 所示为单相变压器差动保护的原理接线。图 1-5 (a) 中 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 分别为变压器一次侧和二次侧的一次电流，参考方向由母线指向变压器； $\dot{I}'_1$ 、 $\dot{I}'_2$ 为相应的电流互感器的二次侧电流。流入差动继电器的电流为

$$\dot{I}_d = \dot{I}'_1 + \dot{I}'_2$$

差动保护的動作判据为

$$I_d \geq I_{set} \quad (1-1)$$

式中 I_{set} ——差动保护的動作电流；

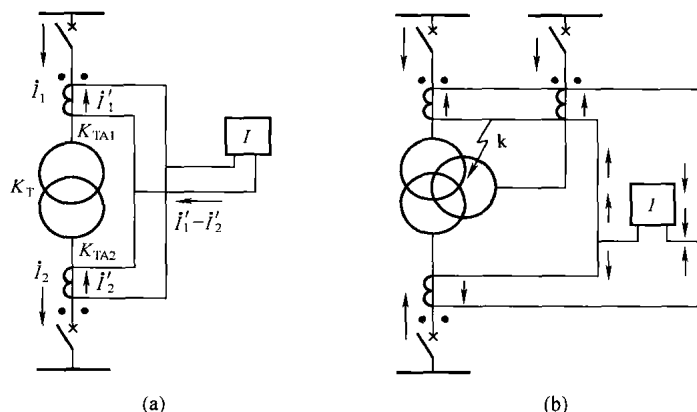


图 1-5 单相变压器差动保护的原理接线

(a) 双绕组变压器正常运行时的电流分布；

(b) 三绕组变压器内部故障时的电流分布

I_d ——差动电流的有效值, $I_d = |\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2|$ 。

图 1-5 (b) 所示为三绕组变压器, 流入差动元件的电流为变压器三侧二次电流之和, 即

$$I_d = \sum_{i=1}^3 I'_i \quad (1-2)$$

变压器三侧的二次电流分别为 I'_1 、 I'_2 、 I'_3 , 动作判据不变。

忽略变压器损耗, 正常运行和外部故障时, 由于变压器两侧电流相位相差 180° , 所以差动电流为零, 保护不会误动作; 当变压器发生内部故障时, 差动继电器中将流入两侧短路电流之和, 只要故障电流大于保护的動作电流, 保护即可以迅速动作。

2. 差动保护的比率制动特性

为了提高变压器内部故障时保护的動作灵敏度并可可靠躲过外部故障的不平衡电流, 均采用具有比率制动動作特性曲线的差动元件。

不同装置的差动保护装置由于其原理的差异与生产厂家的不同, 其差动保护動作特性不尽相同。差动元件的比率特性有直线式、两段折线式及三段折线式。

(1) 直线式動作特性与動作方程。利用简单差动保护原理构成保护装置, 動作方程见式 (1-1)。動作特性如图 1-6 所示。 I_{set0} 是動作电流, I_{re} 是制动电流, 斜实线为制动线, 制动线上方是動作区, 下方为制动区, α 为制动角, 制动线的制动斜率为 K_{re} , $K_{re} = \tan \alpha$ 。

从差动保护的動作原理上看, 当流经差动保护线圈的电流大于或等于動作电流时, 保护動作。而保护区外部短路时, 由于励磁涌流、各侧 TA 饱和、各侧 TA 变比误差、各侧 TA 暂态特性不同、各侧电流回路的时间常数不同以及变压器有载调压等因素的影响, 使得差动回路中流过较大的不平衡电流, 外部短路流经保护区的穿越电流越大, 这种不平衡电流越大, 而且不平衡电流是非线性的。为了防止保护误動作, 将穿越电流定义为制动电流, 并利用穿越电流进行制动, 构成了具有制动特性的差动元件。不同装置厂家对于制动电流的大小定义有所不同, 即制动线的斜率不同。具有制动特性的差动保护可靠性明显提高。

(2) 两段折线式動作特性与動作方程。两段折线式動作特性是国内保护采用较多的一种差动元件, 動作方程为

$$\begin{cases} I_d \geq I_{set0}, & I_{re} \leq I_{re0} \\ I_d \geq K_{re}(I_{re} - I_{re0}) + I_{set0}, & I_{re} > I_{re0} \end{cases} \quad (1-3)$$

式中 I_d ——差动电流;

I_{set0} ——動作电流;

K_{re} ——制动系数, 即制动曲线的斜率, $K_{re} = \tan \alpha$;

I_{re} ——制动电流;

I_{re0} ——最小制动电流。

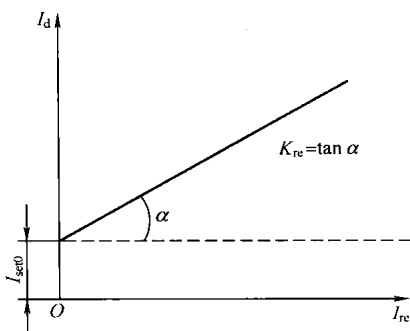


图 1-6 直线式比率制动
差动保护動作特性

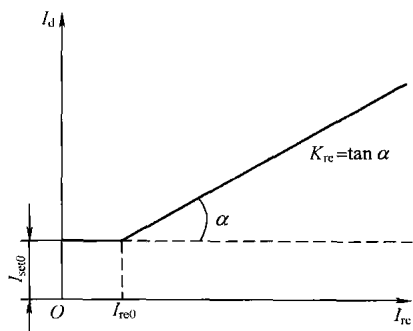


图 1-7 两段折线式比率制动
差动保护动作特性

两段折线式动作特性如图 1-7 所示, 当短路电流处于制动曲线上方时保护动作; 当制动电流大于最小制动电流 I_{re0} 时, 制动电流起到制动作用, 对应于 I_{set0} 与 I_{re0} 的点称为拐点。

两段折线式动作特性差动元件扩大了保护动作区, 增加了差动保护对匝间短路反应的灵敏度, 适当的改变动作电流 I_{set0} 、最小制动电流 I_{re0} 和制动系数 K_{re} , 即可改变保护区的大小, 改善保护的灵敏度及对外部故障的躲过能力。

(3) 三段折线式动作特性与动作方程。三段折线式差动元件的动作方程如下

$$\begin{cases} I_d \geq I_{set0}, & I_{re} \leq I_{re0} \\ I_d \geq K_{re1}(I_{re} - I_{re0}) + I_{re0}, & I_{re1} \geq I_{re} > I_{re0} \\ I_d \geq I_{set0} + K_{re1}(I_{re1} - I_{re0}) + K_{re2}(I_{re} - I_{re1}), & I_{re} \geq I_{re1} \end{cases} \quad (1-4)$$

式中 I_{re1} ——第二拐点制动电流;

K_{re1} ——第一段折线斜率;

K_{re2} ——第二段折线斜率。

为了进一步提高躲过外部故障的能力, 将制动区扩大, 微机保护装置常常采用三折线式差动元件, 其动作特性如图 1-8 所示。动作特性增加了一个拐点, 使得制动曲线变为三折, 从而使得保护区与制动区有更为灵活的改变, 以适应不同要求。

3. 差动保护的接线

由于三相电力变压器通常采用 Yd11 接线方式。正常运行时, 两侧电流存在 30° 相位差, 若仍然采用上述的变压器的单相差动保护接线方式, 将两侧电流直接引入差动保护, 则会在继电器中产生很大的差动电流。通常采用相位补偿法接线方式来消除这个差流, 即变压器的 Y 侧电流互感器二次侧采用 Δ 连接, Δ 侧电流互感器二次侧采用 Y 连接, 如图 1-9 所示。这样引入差动继电器的 Y 侧电流就是两相电流差, 即

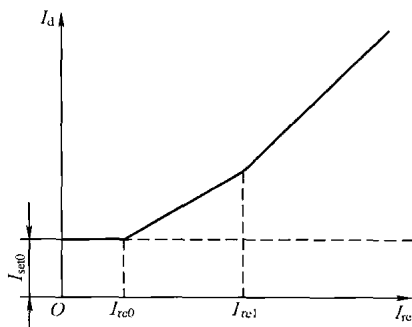


图 1-8 三段折线式比率制动
差动保护动作特性

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{A.d} &= (\dot{I}'_{YA} - \dot{I}'_{YB}) + \dot{I}'_{dA} \\ \dot{I}_{B.d} &= (\dot{I}'_{YB} - \dot{I}'_{YC}) + \dot{I}'_{dB} \\ \dot{I}_{C.d} &= (\dot{I}'_{YC} - \dot{I}'_{YA}) + \dot{I}'_{dC} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 $\dot{I}_{A.d}$ 、 $\dot{I}_{B.d}$ 、 $\dot{I}_{C.d}$ ——流入 3 个差动继电器的差动电流。

这样就可以消除两侧电流相位的不对应。由于 Y 侧采用了两相电流差, 该侧流入差动继电器的电流将增大 $\sqrt{3}$ 倍, 为了保证正常及外部短路故障情况下差动回路没有电流, 该侧的电流互感器变比必须相应增大 $\sqrt{3}$ 倍。

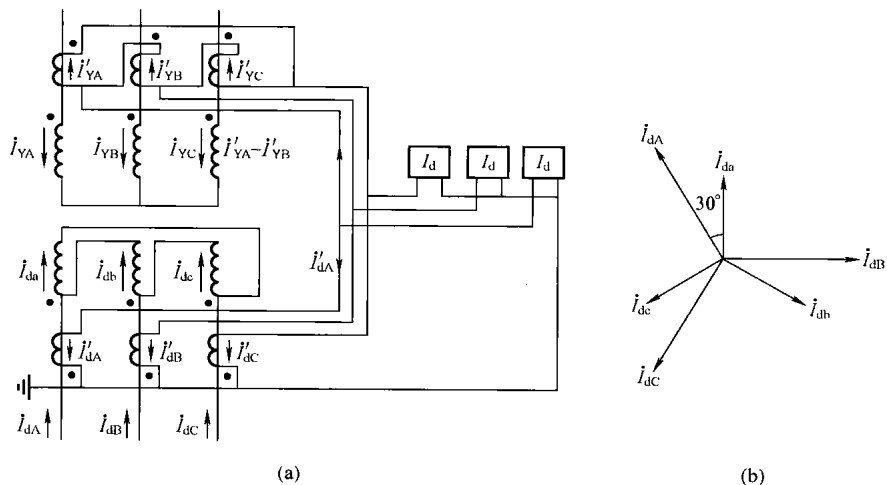


图 1-9 双绕组三相变压器纵差动保护原理接线图

(a) 接线图; (b) 对称工况下的相量关系

在微机保护中, 如果 Y 侧电流互感器三相电流采样值为 i'_{YA} 、 i'_{YB} 、 i'_{YC} , 则软件按式 (1-6) 可求得差动保护所需要计算的三相电流 i'_A 、 i'_B 、 i'_C , 其相量图如图 1-10 所示

$$\left. \begin{aligned} i'_A &= (i'_{YA} - i'_{YB}) / \sqrt{3} \\ i'_B &= (i'_{YB} - i'_{YC}) / \sqrt{3} \\ i'_C &= (i'_{YC} - i'_{YA}) / \sqrt{3} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

经软件转换后的 i'_A 、 i'_B 、 i'_C

就与 i'_{dA} 、 i'_{dB} 、 i'_{dC} 同相位了。

保护装置引入二次电流后, 通过控制字说明所引入的电流是接线补偿电流还是未经补偿。

4. 差动保护实施中考虑的问题

(1) 励磁涌流。当变压器空载

投入和外部故障切除后电压恢复时, 则可能出现数值很大的励磁电流。

励磁涌流的大小和衰减时间, 与外加电压的相位、铁芯中剩磁的大小和方向、电源容量的大小、回路的阻抗以及变压器容量的大小和铁芯性质等都有关系。例如: 对单相变压器来说, 当电压瞬时值为最大时合闸, 就不会出现励磁涌流, 而只有正常时的励磁电流。对三相变压器而言, 无论在何瞬间合闸, 至少有两相要出现程度不同的励磁涌流。

经以上分析, 励磁涌流的特点是:

- 1) 包含有很大成分的非周期分量, 往往使涌流偏于时间轴的一侧;
- 2) 包含大量的高次谐波, 而以二次谐波为主;
- 3) 波形之间出现间断, 如图 1-11 所示, 在一个周期中间断角为 α , α 一般大于 60° ;
- 4) 经多次试验, 故障录波数据证明, 在同一时刻三相涌流之和近似等于零。

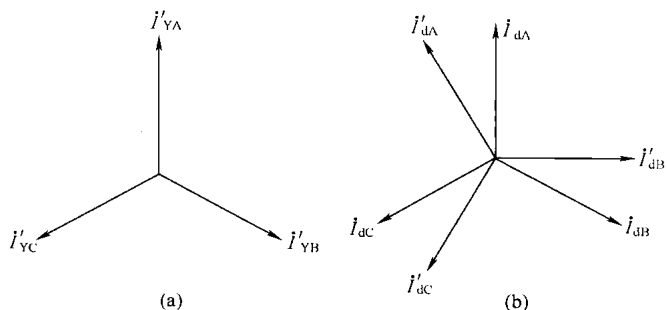


图 1-10 相位补偿电流相量图

(a) 变压器高压侧电流相量; (b) 变压器低压侧电流相量

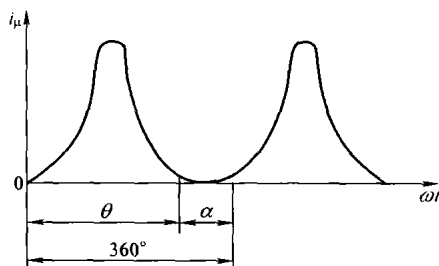


图 1-11 励磁涌流波形

变压器的励磁涌流 I_μ 仅流经变压器的电源侧，因此，通过电流互感器反映到差动回路中不能被平衡；将造成差动保护的误动作或者使保护灵敏度降低，为了消除励磁涌流的影响，保护装置采取了躲开励磁涌流的措施。

保护装置通过对差动电流进行励磁涌流特征的判断，当识别出是励磁涌流时，将差动保护闭锁来防止纵差保护误动作。目前，在广泛应用的变压器纵差保护装置中，通常采用励磁涌流的特征量之一作为闭锁元件来实现躲过励磁涌流。在微机型保护装置中，是采用二次谐波制动或间断角原理或波形对称原理来区分故障电流与励磁涌流的。

1) 二次谐波制动原理。二次谐波制动原理的实质是：利用差动元件差电流中的二次谐波分量作为制动量，区分出差电流是故障电流还是励磁涌流，实现躲过励磁涌流。

在具有二次谐波制动的差动保护中，采用一个重要的物理量，即二次谐波制动比来衡量二次谐波电流的制动能力。

所谓二次谐波制动比 $K_{2\omega}$ 是指在差动元件的差电流中含有基波分量和二次谐波分量，其基波分量大于差动元件的动作电流，而差动元件处于临界制动状态，此时，二次谐波分量电流与基波分量电流的百分比，叫做二次谐波制动比，即

$$K_{2\omega} = \frac{I_{2\omega}}{I_{1\omega}} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 $K_{2\omega}$ ——二次谐波制动比；

$I_{1\omega}$ ——基波电流；

$I_{2\omega}$ ——二次谐波电流。

由二次谐波制动比定义的边界条件及式 (1-7) 可以看出，二次谐波制动比越大，与基波电流相比，单位二次谐波电流产生的作用相对越小；而二次谐波制动比越小，单位二次谐波电流产生的制动作用相对越大。

因此，在对具有二次谐波制动的差动保护进行定值整定时，二次谐波制动比整定值越大，该保护躲过励磁涌流的能力越弱；反之，二次谐波制动比整定值越小，保护躲励磁涌流的能力越强。

2) 间断角原理。变压器内部故障时，故障电流波形无间断；而变压器空投时，励磁涌流的波形是间断的，具有很大的间断角（一般大于 150° ）。按间断角原理构成的差动保护，是根据差电流波形是否有间断及间断角的大小来区分故障电流与励磁涌流的。

a. 间断角。说明间断角原理的波形图如图 1-12 所示。

由图 1-13 可以看出，间断角的物理意义是：在差流的半个周期内，差动量小于制动量的角度。

b. 差动元件的闭锁角。闭锁角 δ_B 是按间断角原理构成的变压器纵差保护的一个重要物理量，用它来判断差动元件中的差流是故障电流还是励磁涌流引起的。

当测量出的间断角满足 $\alpha > \delta_B$ 时，则判断差流为励磁涌流，将保护闭锁。此时，即是 $I_d > I_{op.0}$ ，保护也不会动作。

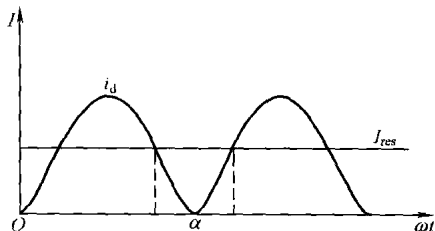
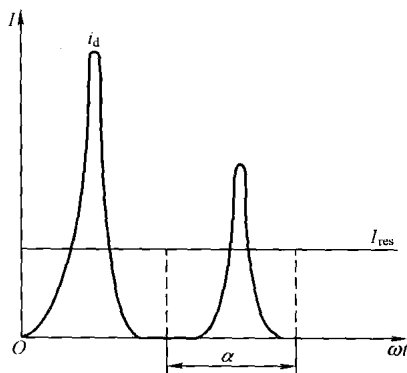


图 1-12 说明间断角原理的波形图

I_{res} —制动电流（直流），其中包括直流
门槛值折算成的制动电流量； i_d —流过差动元
件的差流（将负半波反向之后）； α —间断角

图 1-13 空投变压器时
的差流和制动电流波形

当测量出的间断角满足 $\alpha < \delta_B$ 时，则认为差动元件中的差流为故障电流。当故障电流 $I_d \geq I_{op.0}$ 时，差动保护动作，切除变压器。

c. 保护工况分析。变压器正常运行时差流很小，图 1-13 中的 i_d 很小，而 I_{res} 较大， I_{res} 直线将在 i_d 顶点的上方。此时，间断角 $\alpha \approx 360^\circ$ ，且 $I_d < I_{op.0}$ ，保护可靠不动作。

变压器空投时，产生很大的励磁涌流。设励磁涌流的波形如图 1-13 中的 i_d 所示。

由图 1-13 可以看出：尽管差流 i_d 波形幅值很大（能满足 $I_d \geq I_{op.0}$ ），但由于间断角 α 很大（大于闭锁角 δ_B ），差动保护将被可靠闭锁。

当变压器内部故障时，流入差动元件的差流很大且无间断。设故障电流波形如图 1-14 中的 i_d 所示。

由图 1-14 可以看出， α 很小（ $\alpha < \delta_B$ ）。又由于差流幅值很大，能满足 $I_d \geq I_{op.0}$ ，故差动保护动作，作用于切除变压器。

d. δ_B 定值的影响。当差动元件的启动电流 $I_{op.0}$ 为定值时，整定的闭锁角 δ_B 越小，则要求在半个周期内差流大于制动电流的角度越大，即交流制动系数越大，空投变压器时差动元件越不容易误动。反之，闭锁角 δ_B 整定值越大，躲励磁涌流的能力越小。

3) 波形对称原理。在微机型变压器纵差保护中，采用波形对称算法，将励磁涌流同变压器故障电流区分开来。其计算方法如下：

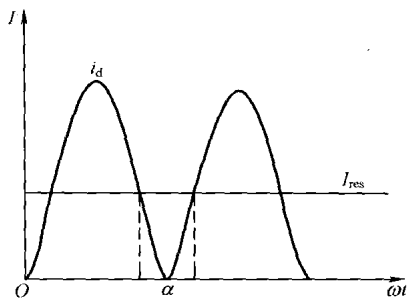
首先将流入差动元件的差流进行微分，滤去电流中的直流分量，使电流波形不偏移向横坐标轴（即时间轴）的一侧，然后比较每个周期内差电流的前半波与后半波的量值。

设 I'_j 表示差流微分后波形上半周某一点的值， I'_{j+180° 表示差流波形微分后波形上与 I'_j 点相差 180° 点的值， K 为比率常数，则当若满足

$$\left| \frac{I'_j + I'_{j+180^\circ}}{I'_j - I'_{j+180^\circ}} \right| \leq K \quad (1-8)$$

则认为波形是对称的，否则认为波形不对称。

在式 (1-8) 中， K 又称不对称系数，通常等于 $1/2$ 。

图 1-14 变压器内部故障时
差流和制动电流波形