



“十三五”普通高等教育本科规划教材

DIANLI XITONG JIDIAN BAOHU
XUEXI ZHIDAO

电力系统继电保护 学习指导

刘学军 孙玉梅 王美春 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

电力系统继电保护 学习指导

刘学军 孙玉梅 王美春 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书作为《电力系统继电保护》(刘学军编著)的配套教材,可帮助读者学习和掌握电力系统继电保护课程相关知识。

本书包含两篇内容。第1篇为电力系统继电保护学习要点与习题解答,共12章,每章包括基本要求、学习要点、思考题与习题解答。总结了《电力系统继电保护》教材的主要内容,提炼出各章的基本要求和学习要点,对主要知识点进行了归纳讲解。对主教材的思考题和习题全部进行了解答,并精心编写了自测题、模拟试卷和参考答案。

第2篇为电力系统继电保护实验指导书,介绍了15个继电保护实验,其中常规继电器特性实验8个、综合性与设计性实验4个、微机继电保护实验3个。这些实验是作者根据多年教学经验编写的,实用性强,已经取得了较好的学习效果。

本书可供电气工程及其自动化专业学生学习使用,还可供从事电力系统继电保护工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护学习指导/刘学军,孙玉梅,王美春编. —北京:中国电力出版社,2016.8

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-8717-1

I. ①电… II. ①刘… ②孙… ③王… III. ①电力系统-继电保护-高等学校-教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 166737 号

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>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016年8月第一版 2016年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 340千字

定价 28.00 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

前言

本书作为《电力系统继电保护》(刘学军编著)的配套教材,可帮助读者学习和掌握电力系统继电保护课程相关知识。本书第1篇系统地总结了电力系统继电保护教材的主要内容,提炼出各章的基本要求和学习要点,对主要知识点进行了归纳讲解。对主教材的思考题和习题进行了解答,并精心编写了自测题、模拟试卷和参考答案。通过学习,学生能够厘清电力系统继电保护课程的知识脉络,理解基本概念,掌握各种保护的整定计算方法和步骤,提高解题能力。为培养学生理论与实践相结合的能力,提高操作技能,本书第2篇介绍了15个继电保护实验,其中常规继电器实验8个、综合性与设计性实验4个,微机继电保护实验3个,这些实验是作者总结多年教学经验编写的,实用性强,已经取得了较好的学习效果,可以根据实际需要选择实验内容。

本书由烟台南山学院孙玉梅编写第1篇第1、第2章和第2篇第13、第14章,王美春编写第1篇第11、第12章,第2篇第14~16章和附录,刘学军编写第1篇第3~10章。全书由刘学军教授负责统稿工作。

本书可供电气工程及其自动化专业学生学习电力系统继电保护课程时与教材配套使用,亦可作为考研的辅导书,还可供从事电力系统继电保护工作的工程技术人员参考。

北华大学白晶教授和段慧达教授阅读了书稿,提出了许多宝贵意见,本书编写过程中,马凤军、王晶晶和杨明在资料整理、文字录入、制图方面做了大量的工作,在此,一并表示真诚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2015年11月

目 录

前言

第1篇 电力系统继电保护学习要点与习题解答

第1章	绪论	2
第2章	电网的电流、电压保护	5
第3章	电网的距离保护	34
第4章	输电线路的差动保护和高频保护	56
第5章	输电线路的自动重合闸	70
第6章	变压器保护	77
第7章	同步发电机的继电保护	90
第8章	母线保护	108
第9章	电动机保护和电力电容器保护	119
第10章	微机继电保护基础	126
第11章	自测题与参考答案	135
第12章	模拟试卷与参考答案	146

第2篇 电力系统继电保护实验指导书

第13章	实验注意事项	168
第14章	常规继电器特性实验	171
实验1	电磁型电流继电器实验	171
实验2	电磁型电压继电器实验	172
实验3	电磁型时间继电器实验	174
实验4	信号继电器实验	176
实验5	中间继电器的实验	177
实验6	功率方向继电器实验	180
实验7	差动继电器实验	183
实验8	三相一次重合闸实验	186
第15章	综合性与设计性实验	191
实验9	单辐射式输电线路阶段式电流保护实验	191
实验10	自动重合闸前加速保护实验	193
实验11	自动重合闸后加速保护实验	195

实验 12 Yd11 双绕组变压器差动保护实验	198
第 16 章 微机继电保护实验	202
实验 13 系统正常运行方式及不平衡电流的测量实验	202
实验 14 微机 Yd11 双绕组变压器差动保护实验	207
实验 15 微机过电流保护	209
附录 A EPL-I 型继电特性及线路保护实验装置常用字符表	213
附录 B 综合实验与考核	214
附录 C 短路保护的最小灵敏系数 $K_{s\min}$	215
参考文献	217

“十三五”普通高等教育本科规划教材

第1篇

电力系统继电保护学习要点 与习题解答



第1章 绪 论

本章主要介绍了电力系统继电保护的作用和任务，电力系统继电保护的基本要求，继电保护的工作原理，保护装置的构成及分类，电力系统继电保护发展简史。

1.1 基 本 要 求

- (1) 了解与继电保护关系密切的基本概念，如故障、不正常运行状态和事故各自的特点和它们的区别。
- (2) 了解继电保护的任务。
- (3) 掌握电力系统继电保护装置的工作原理、分类及构成。
- (4) 理解对继电保护的基本要求。
- (5) 了解继电保护的发展。

1.2 学 习 要 点

- (1) 电力系统故障的后果。
- (2) 继电保护的基本作用和任务。
- (3) 继电保护装置的构成及分类。
- (4) 继电保护的基本要求。对于继电保护的基本要求是所谓的“四性”，即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。这“四性”既有矛盾的一面，又有在一定条件下统一的一面。“四性”中可靠性最重要，选择性是关键，灵敏性则必须足够高，速动性达到要求的程度即可。“四性”是设计、分析和评价继电保护装置是否先进、实用和完善的出发点及依据，要不断加深对“四性”的认识。

1.3 思考题与习题解答

1-1 什么是故障、异常运行方式和事故？它们之间有何不同？又有何联系？

答：电力系统运行中，电气元件发生短路、断线时的状态均视为故障状态。电气元件超出正常允许工作范围，但没有发生故障，属于异常运行方式即不正常工作状态。当电力系统发生故障和异常运行时，若不及时处理或处理不当，则将引发系统事故，事故是指系统整体或部分的工作遭到破坏，并造成对用户少供电或电能质量不符合用电标准，甚至造成人身伤亡和电气设备损坏等严重后果。故障和异常运行方式不可避免，而事故是可以避免的。

1-2 常见故障有哪些类型？故障后果表现在哪些方面？

答：常见故障是各种类型的短路，包括相间短路和接地短路。此外，还有输电线路断线，旋转电机、变压器同一相绕组匝间短路等，以及由上述几种故障组合成的复杂的

故障。

故障后果：故障设备损坏或烧毁；短路电流通过非故障设备产生热效应和力效应，使非故障元件损坏或缩短使用寿命；造成系统中部分地区电压值大幅度下降，破坏电能用户正常工作，影响产品质量；破坏电力系统中各发电厂之间并联运行稳定性，使系统发生振荡，从而导致事故扩大，甚至是整个电力系统瓦解。

1-3 什么是主保护、后备保护和辅助保护？远后备保护和近后备保护有什么区别？

答：一般把反映被保护元件严重故障，快速动作与跳闸的保护装置称为主保护；而把在主保护系统失效时备用的保护称为后备保护。当本元件主保护拒动，由本元件另一套保护装置作为后备保护，这种后备保护是在同一安装处实现的，故称为近后备保护。远后备保护对相邻元件保护各种原因的拒动均能起到后备保护作用，同时它实现简单、经济，因此要优先采用，只有在远后备保护不能满足要求时才考虑采用近后备保护。

辅助保护是为了补充主保护和后备保护的不足而增设的简单保护，如用电流速断保护来加速切除故障或消除方向元件的死区。

1-4 继电保护装置的任务及其基本要求是什么？

答：继电保护装置的任务是自动、迅速、有选择性地切除故障元件使其免受破坏，保证其他无故障元件恢复正常运行；监视电力系统各元件，反映其不正常工作状态，并根据运行维护条件和设备承受能力动作，发出告警信号，或减负荷，或延时跳闸；继电保护装置与其他自动装置配合，缩短停电时间，尽快恢复供电，提高电力系统运行的可靠性。

继电保护装置的基本要求是满足“四性”即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

1-5 什么是保护的极大与最小运行方式？确定极大与最小运行方式应考虑哪些因素？

答：根据系统最大负荷的需要，电力系统中所有可以投入的发电设备都投入运行（或大部分投入运行），以及所有线路和规定接地的中性点全部投入运行的方式称为最大运行方式。对继电保护而言，则指在最大运行方式下短路时，通过该保护的短路电流为最大的系统的连接方式。

系统负荷为最小，投入与之相适应的发电机组且系统中性点只有少部分接地的运行方式称为系统的最小运行方式。在水电厂的系统中，还要考虑水电厂水能状况限制的运行方式。对继电保护而言，是指短路时通过该保护的短路电流为最小的可能运行方式。

确定极大与最小运行方式，应考虑可以投入的发电设备、系统负荷的大小、系统中性点的接地方式。

1-6 在图 1-1 中，各断路器处均装有继电保护装置 P1~P7。试回答下列问题：

(1) 当 k1 点短路时，根据选择性要求应由哪个保护动作并跳开哪个断路器？如果 6QF 因失灵而拒动，保护又将如何动作？

(2) 当 k2 点短路时，根据选择性要求应由哪些保护动作并跳开哪几个断路器？如果此时保护 P3 拒动或 3QF 拒跳，但保护 P1 动作并跳开 1QF，问此种动作是否有选择性？如果拒动的断路器为 2QF，对保护 P1 的动作又应该如何评价？

答：(1) 当 k1 点短路时，根据选择性要求，保护 P6 动作应跳开 6QF，如果 6QF 拒动，由近后备保护 P3、P5 动作跳开 3QF、5QF，或由远后备保护 P2、P4 动作跳开 2QF、4QF。

(2) 当 k2 点短路时，根据选择性要求，应由保护 P2、P3 动作跳开 2QF、3QF。如果

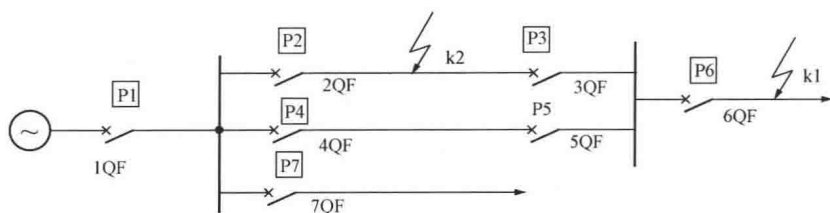


图 1-1 题 1-6 电网示意图

3QF 拒动，保护 P1 动作并跳开 1QF，则保护 P1 为无选择性动作，此时应由保护 P5 或保护 P4 动作，跳开 5QF 或 4QF。如果 2QF 拒动，则保护 P1 动作跳开 1QF 具有选择性。

第2章 电网的电流、电压保护

本章主要介绍了相间短路的电压、电流保护和接地短路的电流、电压保护，还介绍了电流保护用的互感器、变换器和电流保护用的电磁型继电器。

2.1 基本要求

- (1) 了解电流保护用的电压互感器、电流互感器和变换器。
- (2) 了解电流保护用的继电器。
- (3) 掌握单侧电源网络相间短路电流、电压保护的接线、工作原理及整定计算。
- (4) 掌握电网相间短路的方向性电流保护的接线、工作原理及整定计算。
- (5) 掌握电网接地保护的接线、工作原理及整定计算。

2.2 学习要点

- (1) 电流互感器和电磁式电压互感器的工作原理、误差和接线方式。
注意互感器用减极性标注方法可使分析问题简化，充分重视互感器使用时的注意事项。
- (2) 电抗变换器的工作原理。

电抗变换器的转移阻抗 $\dot{K}_I$ 是一个复数，在铁芯不饱和时可认为是常数，而电压变换器的变比 $\dot{K}_U$ 是一个实数，当铁芯不饱和时为常数。

- (3) 对于对称分量滤过器，要掌握电压滤过器和负序电流滤过器的工作原理、接线。

分析时，可认为滤过器中各元件是线性的，输入量中各对称分量之间相互无影响，故可通过移相器和相量加减措施消去要滤去的对称分量，实现滤过作用，这是设计滤过器的基本方法。

- (4) 常用电磁型继电器的构成原理、基本性能和基本动作参数。
了解动作电流、返回电流、返回系数、继电特性等基本概念的内在线索等。
- (5) 电流保护的基本工作原理和基本组成元件。
掌握三段式电流保护的接线、工作原理和整定计算，对保护的评价和应用范围。
- (6) 三段式电流保护的整定计算。

通过典型三段式电流保护（见图 2-1），了解并分析二次回路原理图和展开图，了解它们的特点、绘制原则、阅读方法和适用范围。掌握三段式电流保护整定计算原则。

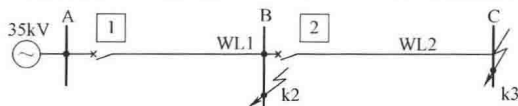


图 2-1 三段式电流保护

- 1) 保护 1 第 I 段整定计算。

a) 保护装置一次侧动作电流 $I_{\text{op},1}^{\text{I}}$ 的计算公式为

$$I_{\text{op},1}^{\text{I}} = K_{\text{rel}}^{\text{I}} I_{\text{k}2,\text{max}}^{\text{I}}$$

b) 保护装置二次侧动作电流, 即继电器的动作电流 $I_{\text{op},1,\text{r}}^{\text{I}}$ 计算公式为

$$I_{\text{op},1,\text{r}}^{\text{I}} = \frac{K_{\text{con}}}{K_{\text{TA}}} I_{\text{op},1}^{\text{I}}$$

c) 保护校验:

$$X_1 l_{\text{p},\text{min}}^{\text{I}} = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{E_{\text{ph}}}{I_{\text{op},1}^{\text{I}}} - X_{\text{s},\text{min}} \right)$$

$$m = \frac{X_1 l_{\text{p},\text{min}}^{\text{I}}}{X_1 l_{\text{AB}}} \times 100\% > 15\% \quad (\text{合格})$$

d) 第 I 段电流保护动作时限 $t_1^{\text{I}} \approx 0\text{s}$ 。

2) 保护 1 第 II 段电流保护整定计算。

a) 保护 1 第 II 段动作电流要与保护 2 第 I 段动作电流相配合, 所以要先计算保护 2 第 I 段动作电流 $I_{\text{op},2}^{\text{I}}$ 。

$$I_{\text{op},2}^{\text{I}} = K_{\text{rel}}^{\text{I}} I_{\text{k}3,\text{max}}^{\text{I}}$$

$$I_{\text{op},1}^{\text{II}} = K_{\text{rel}}^{\text{II}} I_{\text{op},2}^{\text{I}}$$

$$I_{\text{op},1,\text{r}}^{\text{II}} = \frac{K_{\text{con}}}{K_{\text{TA}}} I_{\text{op},1}^{\text{II}}$$

b) 动作时限与 WL2 电流保护 2 第 I 段时限配合

$$t_1^{\text{II}} = t_2^{\text{I}} + \Delta t$$

其时限整定范围为 0.2~1.5s。本保护取 0.5s。

c) 校验第 II 段电流保护灵敏系数

$$K_{\text{sen},1}^{\text{II}} = \frac{I_{\text{k}2,\text{min}}^{(2)}}{I_{\text{op},1}^{\text{II}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{I_{\text{k}2,\text{min}}^{(3)}}{I_{\text{op},1}^{\text{II}}} > 1.25 \quad (\text{合格})$$

3) 保护 1 第 III 段电流整定计算。

a) 第 III 段保护动作电流 $I_{\text{op},1}^{\text{III}}$ 的计算:

$$I_{\text{op},1}^{\text{III}} = \frac{K_{\text{rel}}^{\text{III}} K_{\text{st}}}{K_{\text{re}}} I_{\text{L},\text{max}}$$

$$I_{\text{op},1,\text{r}}^{\text{III}} = \frac{K_{\text{con}}}{K_{\text{TA}}} I_{\text{op},1}^{\text{III}}$$

b) 保护 1 第 III 段保护动作时限 t_1^{III} 应与保护 2 第 III 段保护时限相配合, 即

$$t_1^{\text{III}} = t_2^{\text{III}} + \Delta t$$

c) 保护 1 第 III 段灵敏系数校验:

$$\text{近后备保护} \quad K_{\text{sen}}^{\text{III}} = \frac{I_{\text{k}2,\text{min}}^{(2)}}{I_{\text{op},1}^{\text{III}}} > 1.5 \quad (\text{合格})$$

$$\text{远后备保护} \quad K_{\text{sen}}^{\text{III}} = \frac{I_{\text{k}3,\text{min}}^{(2)}}{I_{\text{op},1}^{\text{III}}} > 1.2 \quad (\text{合格})$$

(7) 理解方向元件的工作原理、构造和动作特性, 分析两个电气量的继电器的基本构成, 理解相位比较原理和幅值比较原理及其互换性。

(8) 通过对整流型功率方向继电器的研究, 弄清楚中间电压变换器和电抗变换器的工作

用、构造及工作原理。

(9) 掌握用于相间短路的功率方向继电器的典型接线方式, 即 90° 接线及其工作分析。

(10) 了解对方向性电流保护的评价。

(11) 电力系统中性点接地方式有中性点直接接地、中性点不接地和中性点经消弧线圈接地方式。

(12) 掌握中性点直接接地电网发生单相接地时电流、电压变化的特点, 特别是出现了零序电流、电压的特点及其变化规律。

(13) 掌握中性点直接接地电网三段式零序电流保护的原理、整定计算原则, 并与相间短路的三段式电流保护相对照, 找出它们之间的异同, 以便加深理解。

(14) 掌握接地保护中应用的零序功率方向继电器 (LG-12 型) 的特点, 特别是零序功率方向继电器的接线。

(15) 了解获得零序电流和零序电压的基本方法。

(16) 了解中性点非直接接地电网中常见的几种接地保护方式及其特点。

(17) 掌握中性点非直接接地电网发生单相接地故障的特点, 以及零序电压和零序电流, 尤其是零序电流的分布及其性质。

(18) 了解中性点经消弧线圈接地电网中实现接地保护的困难性及其克服方法。

2.3 思考题与习题解答

2-1 电流互感器的极性是如何确定的? 常用的接线方式有哪几种?

答: (1) 电流互感器 (TA) 采用减极性标示方法, 其一次绕组 L1—L2 和二次绕组 K1—K2 引出端子极性标注如图 2-2 (a) 所示, 其中 L1 和 K1, L2 和 K2 分别为同极性端。如果 TA 的端子标注不清楚, 可用图 2-2 (b) 所示接线测定判断出同极性端。如用图 2-2 (b) 中实线接法, 则 $U=U_1-U_2$, 电压表 (U) 所接两个端子为同极性端; 如用虚线接法, 则 $U=U_1+U_2$, 电压表 (U) 所接两个端子为异极性端。

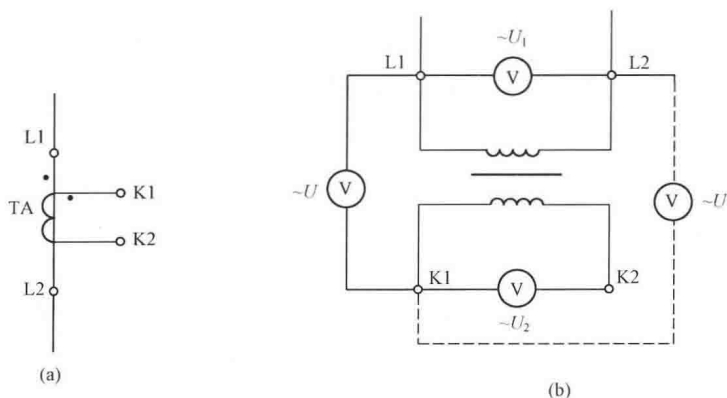


图 2-2 电流互感器接线示意图

(a) 极性标注; (b) 接线示意图

(2) 电流互感器 (TA) 常用接线方式有完全星形接线、不完全星形 (两相 V 形) 接

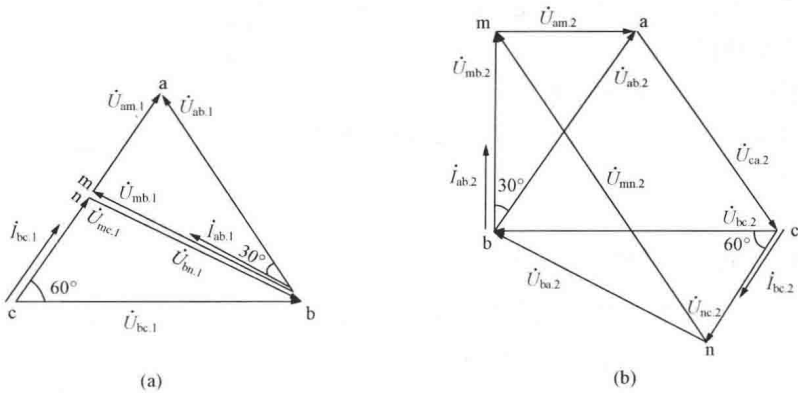


图 2-6 负序电压滤过器相量图

(a) 加入正序电压的相量图；(b) 加入负序电压的相量图

说明 $\dot{U}_{mn.1} = 0$ ，即通过正序电压，输出电压为零。

(2) 输入三相负序电压的相量图如图 2-6 (b) 所示。由于负序三相电压可由正序电压中 b、c 两相交换而得，按与上面相同的三角形 $\triangle abm$ 及 $\triangle bcn$ 的关系，可得到加入负序电压时的 $\dot{U}_{mn.2} = 1.5\sqrt{3}\dot{U}_{a2}e^{j30^\circ}$ 。

2-7 什么是电抗变换器？它与电流互感器有什么区别？

答：电抗变换器是把输入电流转换成输出电压的中间转换装置，同时也起隔离作用。它要求输入电压与输出电压成线性关系，即 $\dot{U}_2 = K_1 \dot{I}_1$ 。而电流互感器是改变电流的转换装置，它将高压大电流转换成低压小电流，是线性变换，因此要求励磁阻抗大，励磁电流小，负荷阻抗小，而电抗器变换器正好与其相反，电抗变换器励磁电流大，二次负荷阻抗大，处于开路工作状态；而电流互感器二次负荷阻抗远小于其励磁阻抗，处于短路工作状态。

2-8 电磁式电压互感器误差表现在哪两个方面，画出等值电路和相量图说明。

答：电磁式电压互感器可用图 2-7 (a) 所示等值电路表示，相量图如图 2-7 (b) 所示。

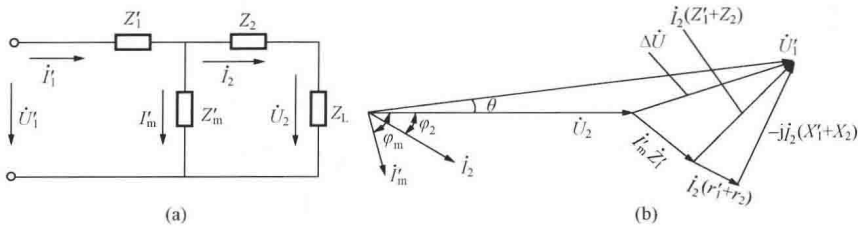


图 2-7 电压互感器的等值电路及相量图

(a) 等值电路；(b) 电压相量图

电压互感器误差表现在 $\Delta\dot{U}' = \dot{U}'_1 - \dot{U}_2$ ，即 $\dot{U}'_1$ 与 $\dot{U}_2$ 不同，二者在数值上不完全相同，在相位上也存在较小的差值 θ 。

2-9 为什么差动保护使用 D 级电流互感器？

答：变压器差动保护用电流互感器其型号和变比都不相同，即使输出线路、发电机、电动机的纵联差动保护两侧所用的电流互感器变比相同，其励磁特性和剩磁也不相同，因此正

2-5 画出三相五柱电压互感器的 YNyn 接线时的接线图, 并说明其特点。

答: 三相五柱式电压互感器有 5 个铁芯柱, 给零序磁通提供了闭合磁路。增加了一个二次辅助绕组, 接成开口三角形, 获得零序电压。其接线图如图 2-4 所示。

电网正常运行时, 三相电压对称, 开口三角绕组引出端子电压 $\dot{U}_{mn}$ 为三相二次绕组电压相量和, 其值为零。但实际上由于漏磁等因素影响, $\dot{U}_{mn}$ 一般不为零, 存在几伏数值的不平衡电压 $\dot{U}_{unb}$ 。

当电网发生单相接地故障时, 电压互感器一次侧零序电压要感应到二次侧, 因三相零序电压大小相等,

相位相同, 故三角形绕组输出电压 $U_{mn} = \frac{3U_0}{K_{TV}}$ (K_{TV} 为电压互感器额定电压变比)。

(1) 这种接线用于中性点不直接接地电网中, 在电网发生单相接地时, 开口三角形绕组两端 3 倍零序电压 $U_{mn} = 3U_0$, 为使 $U_{mn} = 100V$, 开口三角形绕组每相电压为 $100/3V$, 因此, 电压互感器的变比为 $\frac{U_N}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3} V$ (U_N 为一次绕组的额定线电压)。

(2) 这种接线用于中性点直接接地电网中, 在电网发生单相接地故障时, 故障相电压为零, 非故障相电压大小、相位与故障前相同不改变, 开口三角绕组两端的 3 倍零序电压 U_{mn} 为相电压, 为使 $U_{mn} = 100V$, 电压互感器的变比应为 $\frac{U_N}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100V$ 。

2-6 试述阻容式单相负序电压滤过器的工作原理。

答: 常用阻容式负序电压滤过器接线如图 2-5 所示。其参数关系为

$$R_a = \sqrt{3}X_a, X_c = \sqrt{3}R_c$$

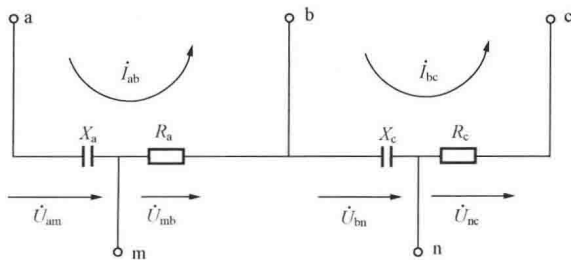


图 2-5 阻容式单相负序电压滤过器接线

而且要求 $\dot{I}_{ab}$ 超前 $\dot{U}_{ab}$ 相位角 30° , $\dot{I}_{bc}$ 超前 $\dot{U}_{bc}$ 相位角 60° 。

(1) 当输入正序电压时, 相量图如图 2-6 (a) 所示。 $\dot{U}_{mb,1}$ 为 $\dot{I}_{ab,1}$ 在 R_a 上电压降, 与 $\dot{I}_{ab,1}$ 同相位; $\dot{U}_{mb,1}$ 为 $\dot{I}_{ab,1}$ 在 X_a 上电压降, 落后电流 $\dot{I}_{ab,1}$ 90° 。 $\dot{U}_{nc,1}$ 为 $\dot{I}_{bc,1}$ 在 R_c 上电压降, 与 $\dot{I}_{bc,1}$ 同相位; $\dot{U}_{bn,1}$ 为 $\dot{I}_{bc,1}$ 在 X_c 上电压降, 落后电流 $\dot{I}_{bc,1}$ 90° 。电压三角形 $\triangle abm$ 与 $\triangle bcn$ 皆为含 30° 、 60° 锐角的直角三角形, 故 $\overline{am} = \frac{1}{2}\overline{ab} = \frac{1}{2}\overline{ac}$, $\overline{nc} = \frac{1}{2}\overline{bc} = \frac{1}{2}\overline{ac}$, 故 m、n 均为 $\overline{ac}$ 之中点, m、n 两点重合,

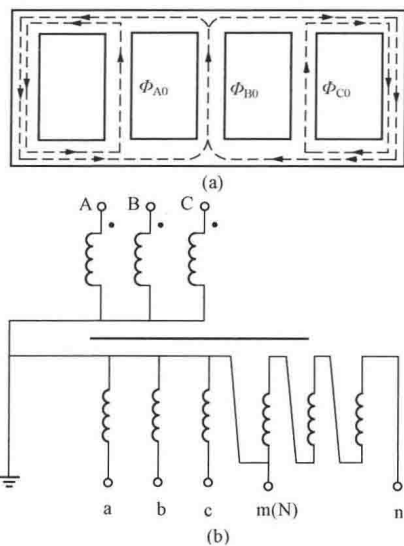


图 2-4 三相五柱式电压互感器的磁路及接线

(a) 磁路; (b) 接线

线、两相电流差接线和一相式接线。

2-2 电流互感器的 10% 误差曲线有何用途？怎样进行 10% 误差校验？

答：电流互感器额定变比 K_{TA} 为常数，其一次电流 I_1 与二次电流 I_2 在铁芯不饱和时有 $I_2 = I_1 / K_{TA}$ 的线性关系，如图 2-3 (a) 中直线 1 所示。但当铁芯饱和时， I_2 与 I_1 不再保持线性关系，如图 2-3 (a) 中曲线 2 所示。继电保护要求在电流互感器一次电流 I_1 等于最大短路电流时，其变化误差要小于或等于 10%，因此可在图 2-3 (a) 中找到一个电流 $I_{1.b}(m_{10})$ ，自 $I_{1.b}$ 点做垂线与直线 1 和曲线 2 分别交于 B、A 点，且 $\overline{BA} = 0.1I'_1$ ($I'_1 = \frac{I_1}{K_{TA}}$)。如果电流互感器一次电流 $I_1 \leq I_{1.b}$ ，则电流互感器变比误差就不会超过 10%。

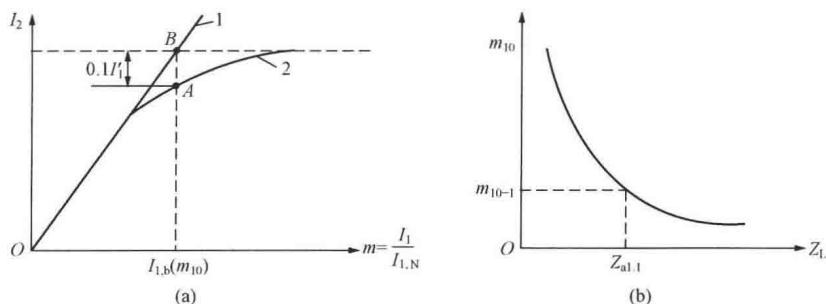


图 2-3 电流互感器 10% 误差曲线说明

(a) 二次电流与一次电流的关系；(b) 10% 误差曲线

由于电流互感器变比误差与其二次负荷阻抗有关，为便于计算，制造厂对每种电流互感器都提供了在 m_{10} 下允许的二次负荷 Z_{al} ，曲线 $m_{10} = f(Z_{al})$ 就称为电流互感器的 10% 误差曲线，用 10% 误差曲线可方便的求出电流互感器在满足误差不超过 10% 时的最大允许负荷阻抗。如图 2-3 (b) 所示，已知 m_{10-1} 后，可以从曲线上查出允许负荷阻抗 $Z_{al.1}$ ，如果 $Z_{al.1}$ 大于实际负荷阻抗 Z_L ，则误差满足要求。

2-3 电流互感器在运行中为什么要严防二次侧开路？电压互感器在运行中为什么要严防二次侧短路？

答：(1) 电流互感器正常运行时，二次电流产生的磁通势起去磁作用，励磁电流很小，铁芯中总磁通很小，二次绕组感应电动势不超过几十伏，如果二次侧开路，二次电流的去磁作用消失，其一次电流完全转变为励磁电流，引起铁芯内磁通剧增，铁芯处于高度饱和状态，加之二次绕组匝数很多，根据电磁感应定律可知二次绕组两端产生很高的电压，可达数千伏，不但会损坏二次绕组绝缘，而且将严重危及人身安全。再者由于铁芯中磁密剧增，铁芯损耗加大，严重发热，甚至烧坏绝缘。因此电流互感器二次绕组不允许开路，故在电流互感器二次回路中不能装设熔断器，二次回路一般不进行切换，若要切换应先将二次绕组短接。

(2) 电压互感器是一个内阻极小的电压源，正常时负荷阻抗很大，相当于开路状态，二次侧仅有很小的负荷电流，当二次侧短路时，负荷阻抗为零，将产生很大短路电流，将电压互感器烧坏，因此，电压互感器二次侧不允许短路。

2-4 电流互感器二次绕组的接线有哪几种方式？

答：电流互感器二次绕组的接线方式有：①完全星形接线；②不完全星形接线；③两相电流差接线；④三角形接线；⑤一相用两只电流互感器串联或并联接线。

常运行时, 总有不平衡电流 I_{unb} 流过差动继电器。而且随着一次电流增大, 铁芯饱和程度的加深, 不平衡电流显著增大。

为减小不平衡电流, 需要在电流互感器的结构、铁芯材料等方面采取措施, 使一次侧通过较大的短路电流时铁芯也不至于饱和。D 级电流互感器就具有上述性能, 它是专门用于纵联差动保护的特种电流互感器。

2-10 DL-10 系列电流继电器的返回系数为什么恒小于 1?

答: 根据电磁式继电器转矩特性和机械转矩特性分析, 由于继电器的剩余转矩 ΔM 和摩擦转矩 M_f 存在, 决定了返回电流必然小于动作电流, 即返回系数 $K_{\text{re}} = I_{\text{cr}, \tau} / I_{\text{op}, \tau}$ 恒小于 1, 如 DL-10 系列电流继电器的返回系数 $K_{\text{re}} = 0.85 \sim 0.9$ 。

2-11 何谓保护的极大和极小运行方式? 确定极大和极小运行方式应考虑哪些因素?

答: 当电力系统运行方式和故障类型改变时, 短路电流 I_k 将随之变化。对每一套保护装置来讲, 通过该保护装置的短路电流为极大的方式称为系统极大运行方式, 而短路电流为极小的方式则称为系统极小运行方式。对于不同安装地点的保护装置, 应根据网络接线的实际情况选取极大运行方式和极小运行方式。在系统极大运行方式下发生三相短路故障时, 通过保护装置的短路电流极大; 而在系统极小运行方式下发生两相短路故障时, 通过保护装置的短路电流极小。

2-12 在计算无时限电流速断保护和带时限电流速断保护的极大电流时, 为什么不考虑负荷的自启动系数和继电器的返回系数?

答: 因为无时限电流速断保护和带时限电流速断保护的极大电流计算公式中, 极大电流 $I_{\text{op}} = K_{\text{rel}} I_{\text{k}, \text{max}}^{(3)}$, 使用极大运行方式下三相短路电流来极大, 和负荷的自启动电流和返回电流相比较, 后者可以互略不计, 因而可以不考虑负荷的自启动系数和继电器返回系数。

2-13 采用电流、电压联锁速断保护为什么能提高电流保护的灵敏系数?

答: 电流、电压联锁速断保护按躲过线路末端短路故障来极大, 通常保护装置按某一主要运行方式下电流元件和电压元件保护范围极大的条件极大计算, 这样极大不仅保证了保护的选择性, 在极大、极小运行方式下, 其保护范围比单独的电流速断或电压速断保护范围要大, 即提高了保护的灵敏系数。

2-14 如图 2-8 所示双电源网络, 已知电源 A 极大、极小电抗分别为 $X_{\text{A}, \text{max}}$ 、 $X_{\text{A}, \text{min}}$, 电源 B 极大、极小电抗分别为 $X_{\text{B}, \text{max}}$ 、 $X_{\text{B}, \text{min}}$, 试确定母线 C 短路时 AB 线路 A 侧保护的极大、极小分支系数。

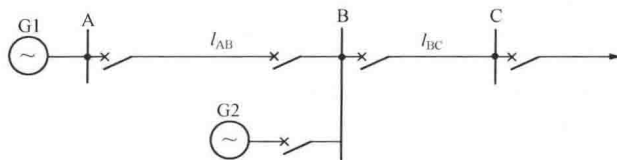


图 2-8 题 2-14 的网络图

$$\text{解: } K_{\text{b}, \text{min}} = 1 + \frac{X_{\text{A}, \text{min}} + X_{\text{AB}}}{X_{\text{B}, \text{max}}}$$

$$K_{\text{b}, \text{max}} = 1 + \frac{X_{\text{A}, \text{max}} + X_{\text{AB}}}{X_{\text{B}, \text{min}}}$$