



泰山科技学院

Taishan College of Science and Technology

《电力系统继电保护》（理论部分） 教 案

课程学时：_____ 理论：40 _____

课程性质：_____ 必修 _____

授课对象：_____ 专升本 _____

授课教师：_____ 游玲玲 _____

开课单位：_____ 智能工程学院 _____

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第一周，（2.22） 周三，第 3、4 节 J3-414 （专升本）22-6：第一周，（2.25） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 1 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第一章绪论 1.1 电力系统继电保护的任务和作用； 1.2 对继电保护的基本要求 1.3 继电保护的工作原理、构成及分类； 1.4 继电保护发展简史				
教学目的与要求： 通过本课次的学习使学生掌握电力系统继电保护的主要任务，明确继电保护的基本原理和保护装置的组成和对电力系统继电保护的基本要求。				
教学重点及难点： 重点：继电保护基本原理与组成。 难点：电力系统继电保护“四性”的应用。				
作业、讨论题、思考题：1.2 1.4 1.5 1.9				
课后小结：学习完本课次后，学生应能够通过所学内容，具体分析判断电力系统继电保护“四性”的满足程度，掌握电力系统继电保护的任务和作用。				
下节课预习重点：第二章 2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>对课程定位及内容结合视频短片（1分40秒）进行简单介绍 首先阐述电力系统存在故障和事故的可能性，然后提出防范措施——继电保护概念的提出，这样由浅入深地引导学生理解继电保护装置的概念。（播放视频短片，可使学生直观了解电力系统的构成，工作条件和工作过程以及可能出现的故障及防护措施、技术手段。）通过视频了解，我们可以看到电力系统继电保护，蕴含严谨而富有创新的科学哲理，同时也折射出现代技术发展的光芒。</p> <p>电力系统继电保护是一种科学，是一项技能，更是一门艺术。让我们走进继电保护的世界，探究其中的奥秘吧。</p> <p>在学习之前我们先对本门课程的概况简单介绍一下（简单介绍本课程的主要课程内容和重要程度。PPT内课程介绍，教材及参考文献）。</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，突出重学习点；</p> <p>教学手段：利用视频及多媒体PPT课件支持并辅以板书，为学生提供丰富的资源，帮助学生接受和掌握所学内容。</p>
10M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程：</p> <p>绪论部分的讲解</p> <p>1.1 电力系统的正常工作状态、不正常工作状态和故障状态</p> <p>（一）电力系统的构成</p> <p>一次设备： 发出、传送、分配和使用电能的设备。 发电机、变压器、母线、输电线路、电容器、电动机等属于一次设备。</p> <p>二次设备： 对一次设备的运行状态进行监视、测量、控制和保护的设备。</p> <p>电力系统控制目标： 通过自动的和人工的控制，使电力系统尽快的摆脱不正常状态和故障状态，能够长时间在正常状态下运行。</p>	

(二) 电力系统运行条件的方程描述:

$$\begin{array}{l}
 \text{等式约束条件} \left\{ \begin{array}{l} \sum P_{Gi} - \sum P_{Lj} - \sum \Delta P_S = 0 \\ \sum Q_{Gi} - \sum Q_{Lj} - \sum \Delta Q_S = 0 \end{array} \right. \\
 \text{不等式约束条件} \left\{ \begin{array}{l} S_k \leq S_{k.\max} \\ U_{i.\min} \leq U_i \leq U_{i.\max} \\ I_{ij} \leq I_{ij.\max} \\ f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \end{array} \right.
 \end{array}$$

10M

1、正常运行状态:

所有的**等式和不等式**约束条件均**满足**，表明电力系统以足够的电功率满足负荷对电能的需求;

电力系统中各发电、输电和用电设备均在规定的长期安全工作限额内运行; 电力系统中各母线电压和频率均在允许的偏差范围内，提供合格的电能。

2、不正常运行状态:

所有的**等式**约束条件均**满足**，**部分的不等式**约束条件**不满足但又不是故障**的电力系统工作状态。

常见的不正常工作状态: 过负荷、频率降低、过电压、系统振荡等;

一般由继电保护装置检测到不正常状态后**发出信号**，或**延时切除**不正常工作的元件。

3、不正常工作状态的危害

过负荷: 因负荷超过电气设备的额定值造成的电流增大。

危害: 造成载流导体的熔断或加速绝缘材料的老化和损坏从而导致故障。

频率降低: 由于系统中出现有功功率缺额而引起的危害。

1) 影响产品质量

2) 降到 47~48Hz 以下会引起频率崩溃

3) 使电压下降可能引发电压崩溃

过电压: 发电机突然甩负荷而产生

危害: 造成绝缘击穿导致短路

<p>5M</p>	<p>系统振荡：因系统受到扰动而失去功率平衡。</p> <p>危害：系统振荡时，电流和电压周期性摆动，严重影响系统的正常运行</p> <p>4、故障状态：最常见也最危险的故障是发生各种类型的短路。</p> <p>短路的后果：</p> <ul style="list-style-type: none"> ●数值很大的短路电流通过短路点将燃起电弧，使故障设备损坏。 ●短路电流通过非故障设备时，产生热和电动力的作用，致使其绝缘遭到损坏或使设备缩短使用寿命。 ●电力系统中大部分地区的电压下降，使大量电能用户的正常工作遭到破坏或产生废品。 ●破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统振荡，甚至造成整个电力系统瓦解。 	
<p>5M</p>	<p>5、事 故</p> <p>系统或其中的一部分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，甚至造成人员伤亡和电气设备的损坏。</p> <div style="text-align: center;"> <p>提取：“差异” 区分：“状态” 配置：“保护” 甄别：“元件”</p> </div> <p>1.2 继电保护的基本原理及其构成</p> <p>进一步提出如何构成继电保护装置及其主要依据；</p> <p>引出继电保护的作用</p> <p>继电保护的作用</p> <p>故障不可避免：自然因素，设备制造因素，人为因素。</p> <p>故障必须快速自动切除：电磁暂态过程短，对设备修复有利，对系统稳定有利。</p> <p>（一）继电保护装置：能反应电力系统中电气设备发生故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。</p> <p>（二）基本任务：</p>	

10M

1. 自动、快速、有选择性的将故障元件从电力系统中切除，使故障元件免于继续遭到损坏，使无故障部分迅速恢复正常运行。

2. 反应电力设备的异常运行状态，并根据运行维护条件动作于信号或跳闸。

(三) 继电保护的基本任务：

故障状态——有选择性地快速切除故障元件

异常状态——检测异常元件，发报警信号

完成继电保护任务的基本思路（三步走）：

区分电力系统的三种状态——不同状态不同任务

甄别具体的故障元件——有选择性切除

执行相应的保护动作——跳闸或发信号

首先区分系统状态，形成不同保护原理

分析故障、不正常状态、正常状态下，被保护设备各种（电气或非电气）运行参数的特征和区别。利用该特征构成判别的依据——保护原理。

保护常用的物理量：电流、电压

保护常用的导出参数：功率，相位，序分量，阻抗，方向

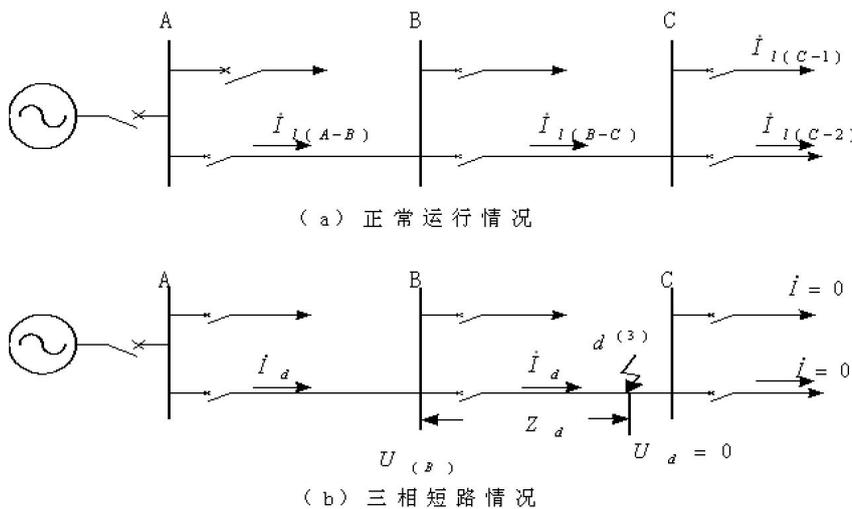
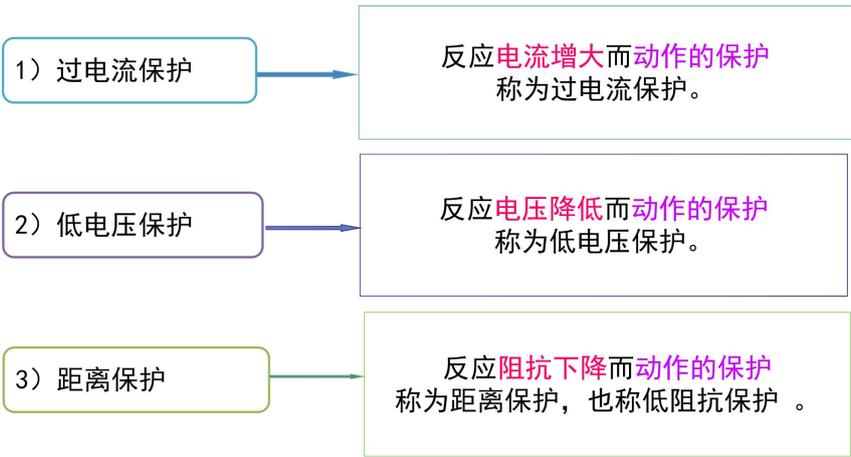
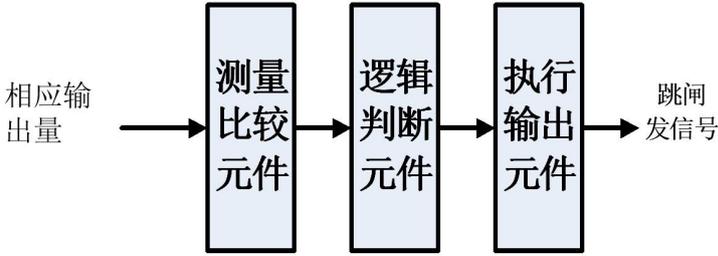


图 1-1 单侧电源网络接线



其次由以上基础向学生讲授继电保护构成逻辑框图；引入继电保护装置的构成：



继电保护装置的构成

5M

最后分析继电保护的配合及保护范围的划分

保护分区的目的：为了尽可能的减小因故障跳闸引起的停电区域，电力系统中每个继电保护都有严格的保护范围，称为保护区。保护区内的故障（区内故障），保护才动作；保护区外的故障，保护不动作。

保护分区原则和方法：保护以断路器位置作为分区的基准（因为断路器是切除和隔离故障的主要设备）。遵循**全覆盖原则**和**重叠区原则**，保护区的边界取决于电流互感器的位置。

保护配置原则：取决于被保护元件的重要程度、经济性以及规程的规定。

主保护：通常指能实现全线快速切除故障的保护设备。

后备保护：主保护或断路器拒动时用来切除故障的保护。

①**近后备保护**：近后备保护与主保护安装在同一断路器处，当主保护拒动时由后备保护启动断路器跳闸；当断路器失灵时，

由失灵保护启动跳开所有与故障元件相连的电源侧断路器。

②远后备保护：远后备保护：一般下级电力元件的后备保护安装在上级（近电源侧）元件的断路器处。

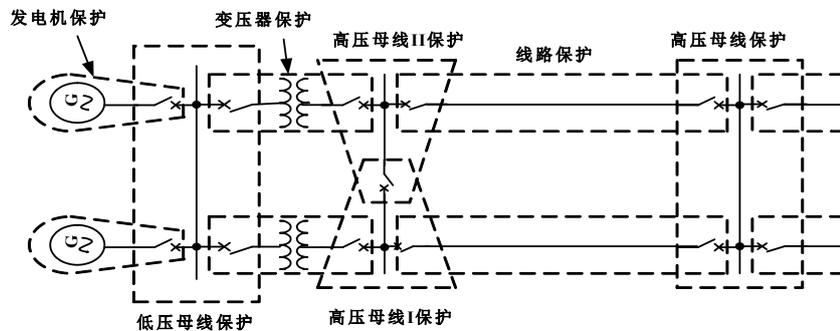


图 1-5 保护配置、配合关系示意图

课本图 1-5 示出的是各电力设备主保护的保护区。每个虚线框表示一个保护范围。由图可见，发电机保护与低压母线保护、低压母线保护与变压器保护等上、下级电力元件的保护区间**必须重叠**，这是为了保证任意处的故障都置于保护区内。同时**重叠区越小越好**（此处可以先设问，引起同学们的思考和讨论。提问同学们为什么重叠区越小越好？）通过分析引导释出原因：因为在重叠区内发生短路时，会造成两个保护区内所有的断路器跳闸，扩大停电范围。

1.3 继电保护的基本要求

电力系统继电保护“四性”的分析；



A、定义；B、“四性”具体的含义；C、量化的性能指标；保护的四个基本要求，既有联系，又有矛盾。

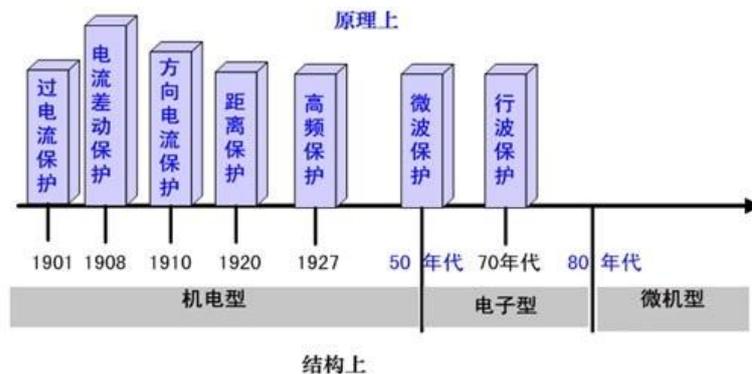
20M

选择性提高，速度、灵敏性可能会降低
 速动性提高，可靠性可能会降低
 灵敏度提高，安全性可能会降低
 可靠性提高，速动性可能会降低
 实际应用中，应根据工程实际、系统情况及运行规程进行博弈和取舍。而这种博弈正是保护思想的精华所在。

教学思政：我们在学习和生活中会遇到抉择的困难，要根据自己的实际情况有所取舍，比如如何平衡学生会工作和专业学习之间的关系，毕业选择考研深造还是就业积累事业发展经验。指导学生建立正确的学习观、价值观。

1.4 继电保护的发展简史

归纳总结继电保护的分类及发展历程



15M

第三阶段课程小结：本节课通过电力系统运行三种状态的区别，建立故障区分和甄别的概念，引出电力系统继电保护的概念并明确继电保护的主要任务和构成，并对继电保护的基本的“四性”进行学习。在学习法过程中贯穿教学思政的内容，让学生在专业学习上有所收获的同时，在人生启迪上亦有所启发。

课程思政融入点：微机保护装置是目前我国电力系统的主流保护装置，自1984年杨奇逊院士研制出我国第一套微机保护装置以来，我国微机保护在世界上一直处于领先水平，我国电力系统中使用的微机保护装置几乎全部实现了国产化，南瑞继保、北京四方、国电南自等国内有名的微机保护企业也都有着很好的发展前景，电气专业的毕业生为我国的继电保护发展添砖加瓦。学会对电力系统的正常工作状态、不正常工作状态和故障状态区分。了解我国电力工业级电力系统基本情况，展望电力系统继电

5M

保护的未来发展，坚定同学们心中为中华民族崛起而读书的理想信念和精益求精的大国工匠精神。

教学反思：本节课先从学生感兴趣的生活用电案例入手，通过短视频演示引出本节课的主要内容，即什么是电力系统继电保护，如何区分电力系统的三种状态，随后通过引导式教学的方式逐步分析了对应于电力系统的不正常和故障状态要采取怎样的措施，即继电保护装置的基本任务。在明确继电保护装置构成和基本任务的同时通过分析其动作要达到的“四性”的具体的含义和量化指标。

由于本章作为绪论章节，课程内容涉及到本课程的重要概念、后续原理的分析方法等主要内容，极大激发了学生学习的热情。接下来指导学生以自主探索、小组讨论和教师辅助的方式进行课堂思考，最后以（学习通/钉钉）课程群的方式引出课后思考，继电保护装置在电力系统中所起的作用是什么？

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 (专升本) 22-5: 第一周, (2.25) 周六, 第 3、4 节 J1-206 (专升本) 22-6: 第二周, (3.4) 周六, 第 5、6 节 J1-128	课次	第 2 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目(教学章、节或主题): 第二章 电网的电流保护 第 1 节单侧电源网络相间短路的电流保护				
教学目的与要求: 通过本课次的学习使学生掌握电流保护核心器件电流继电器的工作原理;要求通过本课次的学习深刻理解电流继电器的动作及返回电流的概念以及相应的边界条析。 学习完本课次后, 学生应掌握电流速断保护的基本原理、动作电流整定计算、该保护的适用范围。				
教学重点及难点: 重点: 电流保护核心器件电流继电器的工作原理。 难点: 电流速断保护的基本概念、基本原理。				
作业、讨论题、思考题: 2.1 2.3 2.5				
课后小结: 主要内容在复习强化继电保护基础知识之保护四性的基础上, 学习掌握单侧电源配电网相间故障特点, 详细分析电流速断保护原理, 突出配电线路为“末”的概念。				
下节课预习重点: 2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护 2.1.4 限时电流速断保护、2.1.5 定时限过电流保护				
参考文献: 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》, 中国电力出版社, 2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》, 中国电力出版社, 2007 年				

15M

抗干扰能力强。另外还要求安装整定方便，维护少，价格低等。

(二) 过电流继电器的工作原理

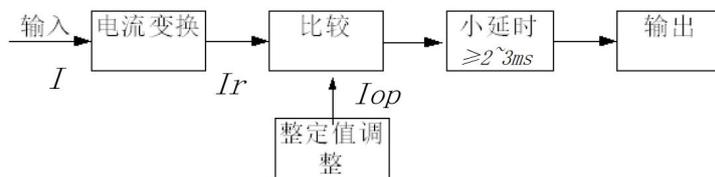


图 2-1 过电流继电器框图

(三) 继电特性及返回系数

继电特性曲线：

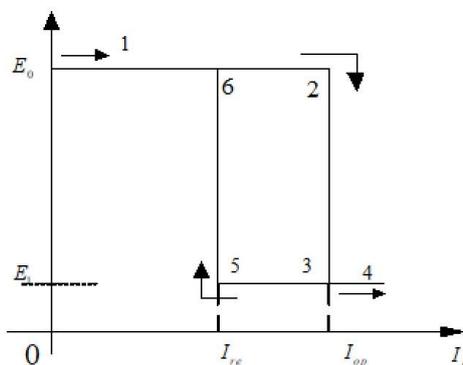


图 2-2 电流继特性曲线

继电特性作用：保证了继电器动作明确、可靠。不出现触点跳跃现象。

教学思政：路遥所著的《人生》中通过高加林的故事告诉我们“人生的道路虽然漫长，但紧要处常常只有几步，特别是当人年轻的时候”，恰如同学们的此时此刻，你们即将面临继续求学或者不如社会的双重甚至是多重选择，面对人生紧要的关头，你是否能明确自身发展这个整体系统所处的运行“状态”？面对即将来临的“状态”的改变，你都做了哪些准备来适应即将到来的挑战？如何去激活你的“继电装置”条件去适应这种改变？

引导学生确立学习、工作的目标，并制定学习计划坚持不懈地丰富自己的学时和能力应对即将到来的挑战。

(三) 继电特性及返回系数

$$K_{RE} = \frac{I_{re}}{I_{op}}$$

过量继电器返回系数<1，通常为 0.85-0.95

20M	<p>欠量继电器返回系数>1，通常为 1.02-1.05</p> <p>2.1.2 单侧电源网络相间短路时电流量值特性</p> <p>应用背景介绍：</p> <p>110kV 及其以上电压等级电网：750kV，500kV，330kV，220kV，110kV 承担电能输送任务，考虑提高输电能力，供电可靠性因素，通常采用多电源环网（通常在高电压等级的主干网为环网结构，低一级电压电网解环运行）结构。中性点接地方式为中性点直接接地，限制过电压水平。</p> <p>110kV 及其以上电压等级电网采用的主保护类型：纵联保护</p> <p>110kV 以下电压等级电网：54kV，35kV，10kV，6kV 以下承担电能分配任务，为限制短路电流，降低环网运行导致的线损增加，通常采用单侧供电的辐射型网络，在电源接入点，通过手拉手开关形成电源备用，保证供电可靠性。中性点接地方式为中性点非直接接地方式，供电可靠性高。</p> <p>110kV 以下电压等级电网采用的主保护类型：阶段式动作特性的电流保护。</p> <p>要采取电流保护，必须明确在电力系统中不同的工作状态下电流的变化，以 110kV 以下单侧电源供电网络，相间短路工况下分析。</p> <p>研究前提条件：</p> <p>网络结构：单电源辐射型网络；</p> <p>开关配置：只在靠近电源侧安装断路器</p> <p>最大负荷电流 ($I_{AB.max}$、$I_{BC.max}$、$I_{CD.max}$)：正常运行时，各条线路中流过所供的负荷电流，负荷电流的大小，取决于用户负荷接入的多少，当用户的负荷同时都接入时，形成最大负荷电流。负荷电流与供电电压之间的相位角就是通常所说的功率因数角，一般小于 30°。</p>	
-----	--	--

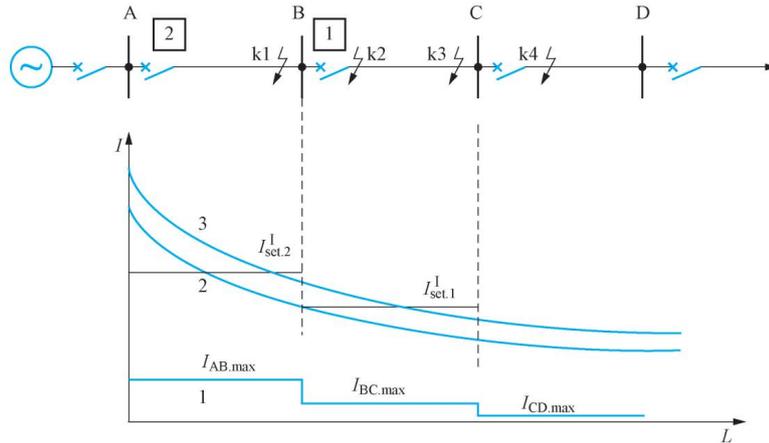


图 2.3 单侧电源供电网络

电网相间故障短路电流分析

$$I_k = k_{ph} \frac{E_{ph}}{Z_S + Z_K}$$

最大运行方式：在相同地点发生相同类型的短路时，流过保护安装处的电流最大，对继电保护而言称为系统最大运行方式，对应的系统等值阻抗最小， $Z_s = Z_{s.min}$

最小运行方式：在相同地点发生相同类型的短路时，流过保护安装处的电流最小，对继电保护而言称为系统最小运行，对应的系统等值阻抗最大， $Z_s = Z_{s.max}$ 。

短路故障的特点：电流增大

影响短路电流量值的因素：

Z_S ， E_{ph} ：与系统运行方式有关，其中运行方式对 Z_S 影响更大；对 E_{ph} 的影响通常可以忽略掉。

Z_k ：故障点位置和过渡电阻有关

k_{ph} ：故障类型有关

电流保护需要解决的问题：

电流保护以故障时电流增大的特征作为故障判别的依据，这是电流保护的基本原理。但从影响故障电流的诸因素可以看到。即使同一地点的故障，也会由于故障类型不同，有无过渡电阻，运行方式的变化等因素造成短路电流的变化。

因此在以电流增大为基本判据的电流保护所要解决的问题

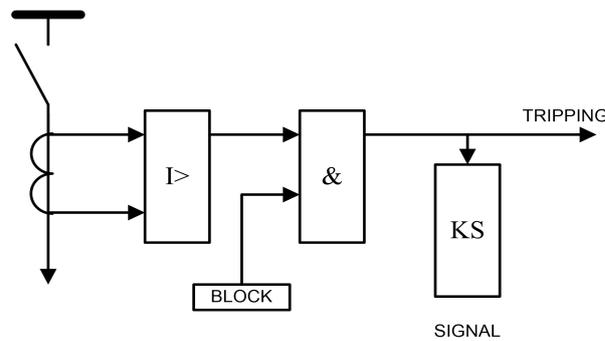
10M	<p>就是如何在电网运行中使得由电流保护构成的继电保护系统满足保护的基本要求：选择性，灵敏性，速动性和可靠性。</p> <p>2.1.3 在掌握电流继电器原理提基础上讲解电流速断保护；</p> <p>（一）工作原理（结合单侧电流幅射型线路）</p> <p>反应电流增大而瞬时动作的电流保护，称为电流速断保护。</p> <p>电流速断保护原理分析：</p> <p>强调动作的快速性，因此在保护的四项基本原则中把速动性作为第一要素。</p> <p>选择性分析：优先保证动作的选择性，即从保护装置起动参数的整定上保证下一条线路出口出短路时不起动，在继电保护技术中，这又称为按躲开下一条线路出口处短路的条件整定。</p> <p>在进行电流速断保护时应采用选择性和快速性兼顾的方案：保证区外故障不误动的前提下提高动作速度。</p> <p>从而得出具体措施——提高动作电流，缩短保护范围。</p> <p>首次故障不考虑选择性的方案：靠重合闸纠正。</p> <p>保护装置的整定电流：</p> <p>对反应电流升高而动作的电流速断保护而言，能使该保护装置起动的最小电流值，以 I_{set} 表示。</p> <p>最小的保护范围：</p> <p>在各种运行方式下发生各种短路保护都能动作切除故障的短路点位置的最小范围。</p>	
20M	<p>（二）电流速断保护的整定计算原则：</p> <p>为了避免区外故障误动作，保证选择性，其整定的动作电流要躲过被保护元件（线路）末端故障时可能的最大短路电流</p> $I_{SET1}^I = K_{REL}^I \cdot I_{K.C.MAX}$ <p>最大短路电流的确定：最大运行方式下线路末端发生三相金属性短路时的短路电流</p> <p>动作电流（继电器动作的电流）：</p> $I_{op}^I = \frac{I_{set}^I}{n_{TA}} K_{con}$ <p>动作时间：由于在动作定值上保证了选择性，所以保护动作</p>	

时间就是继电器的固有动作时间，一般小于 10ms 可认为是 0s。

实际上考虑到中间继电器的动作时延及躲过避雷器动作时间，通常会带 60-80ms 的延时。

保护范围（灵敏度）的校验：

（三）电流速断保护的构成



电流速断保护原理接线图

（四）电流速断保护的优缺点评价

优点：原理简单（判据本身简单，接线简单），工作可靠

缺点：无法保护线路全长，保护范围（灵敏度）受运行方式影响较大，极端情况下无保护范围（例如系统等值阻抗远大于线路阻抗时相当于恒流源）。

通过对电流速断保护的学习，引导学生树立分析研究继电保护原理“四步走”的思路。

继电保护的研究思路



板书设计：

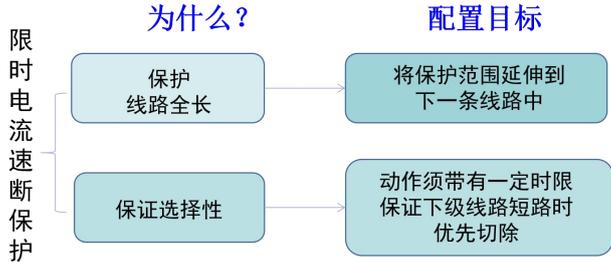
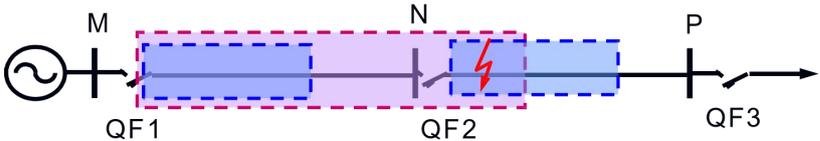
以讲述内容的大标题为主线，适度配合若干电力系统简单的网络图以及短路电流计算曲线加以说明。图文布置均要合理。

第三阶段：课程小结

5M	<p>1、继电器原理，分类及继电特性的概念。</p> <p>2、单相接地保护电流速断保护（I 断保护）的原理，整定，灵敏度检验及评价。</p> <p>教学反思：</p> <p>本节课通过具体的电流速断保护的教学实施，引导学生完成了继电保护原理由表及里，在强化理论概念的认知和原理过程的明晰的基础上，进行具体问题具体分析，以电流速断保护的研究作为落脚点，通过电流的突然增大反应系统的不正常或故障运行状态，从而针对性地进行相应的保护动作的判断。在学习的过程中注意引导学生如何实现将故障特征进行量化从而方便去分析解决问题的思路和方法。</p> <p>教学设计时将理论知识与生活实例相结合，激发学生的学习兴趣；讲授过程中注意与学生的互动，贯彻启发式教学，以传统教学法和多媒体技术相结合，在进行短路电流分析和保护判据确定时利用 PPT 曲线加动画的形式辅助学生的直观学习，加深学生的理解。</p>	
5M	<p>课程思政融入点：在本次课开始之前，播放特高压输电线路架设与维护视频，以其为背景，介绍以继电保护更新为代表的“中国制造”、“中国引领”不断出现，这背后无疑是千百万电力行业的科技工作者、建设者不懈努力、无私奉献、自主创新的结果。通过该视频说明每一项继电保护新技术从方案提出到实际的应用，是一个坎坷的过程；都需要我们怀着工匠精神，一丝不苟地去做！激励学生把自己的小我融入祖国和建设的大我之中，与时代同呼吸共命运，在奋斗中体现自己的青春价值。</p> <p>本节课通过学习电流速断保护，说明动作值不是随意设定的，技术参数设计应该因地制宜相呼应，突出一丝不苟的工匠精神；继电保护必须依靠电流互感器、断路器等元件，完成保护功能突出继电保护团队意识，呼应个体在社会中的社会责任感和大局观点的意识。</p>	

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第二周，（3.1） 周三，第 3、4 节 J3-414 （专升本）22-6：第三周，（3.11） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 3 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）：				
第二章 电网的电流保护 2.1 单侧电源网络相间短路的电流保护 2.1.4 限时电流速断保护 2.1.5 定时限过电流保护				
教学目的与要求：				
1、通过本课次的学习使学生全面掌握限时电流速断保护、定时限过电流保护的原理。 2、学习完本课次后，学生应掌握电流保护 I、II、III 段的基本原理、动作电流整定计算、保护的适用范围。				
教学重点及难点：				
重点：限时电流速断保护、定时限过电流保护的基本概念、基本原理以及动作电流计算、灵敏度等性能指标的检验。 难点：限时电流速断保护、定时限过电流保护的定值计算。				
作业、讨论题、思考题：2.6 2.7				
课后小结：进行阶段式电流保护的限时电流速断保护（II 段）与定时限过电流保护（III 段）的基本原理与动作过程学习。掌握 II、III 段式电流保护原理、动作电流整定、灵敏度校验、动作时间整定、电压及方向保护的原理、接线与整定计算。				
下节课预习重点：第二章电网的电流保护 2.1.6-2.1.8				
参考文献：				
1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教学内容	方法及手段
10M	<p>第一阶段：引入课程</p>  <p>通过复习电流速断保护的原理、整定公式、灵敏度校验及保护评价既对继电保护四性的要求的符合满足程度，对比出该保护的不足之处即不能保护线路全长，从而引入新的保护原理。</p>	教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过绘图分析、计算、讨论，
20M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>1、限时电流速断保护（电流保护II段保护）</p> <p>在掌握电流继电器原理和电流速断保护基础上讲解限时电流速断保护（电流保护II段保护）；</p> <p>A、定义引出：限时电流速断保护在任何情况下能保护线路全长，并具有足够的灵敏性，力求动作时限最小。其动作为保证选择性带有延时，故称限时电流速断保护。为保证选择性及最小动作时限，首先考虑其保护范围不超出下一条线路第I段的保护范围。即整定值与相邻线路第I段配合。</p>  <p>B、从定义的内涵上加以解释；（结合单侧电流幅射型线路）</p>  <p>C、动作电流的计算；</p> $I_{SET.2}^{II} = K_{REL}^{II} \cdot I_{SET.1}^I$	通过绘图分析、计算、讨论，练习题的方式使学生掌握原理的分析过程和对对应计算的方法。

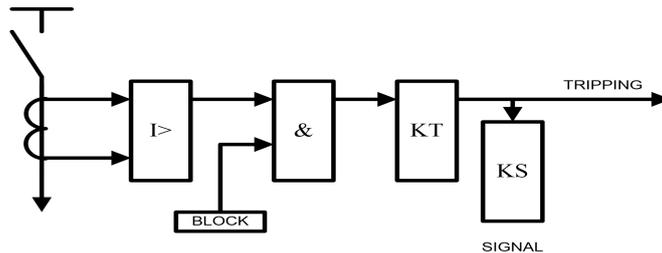
D、动作时间的规定： $t_2^{\text{II}} = t_1^{\text{I}} + \Delta t$

E、保护灵敏度的检验；

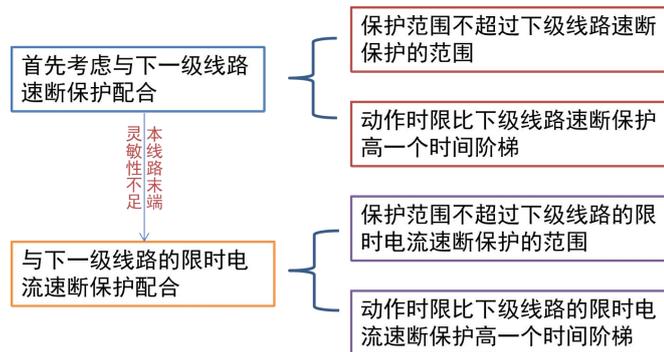
F、结合短路电流计算曲线说明该保护的保护范围大小的确定；

$$K_{sen} = \frac{I_{K.B.min}^{\text{II}}}{I_{set}^{\text{II}}}, \quad K_{sen} \geq 1.3-1.5$$

G、讲授如何以电流继电器为核心构成该保护的单相原理图；



H、保护评价：



优点：灵敏度好，能保护线路全长。

缺点：带 0.5~1S 延时，速动性差一些；不能作为下一级线路的远后备；受系统运行方式影响。

20M

可以与速断保护配合作为主保护

可以保证全线范围内的故障在 0.5 秒内予以切除

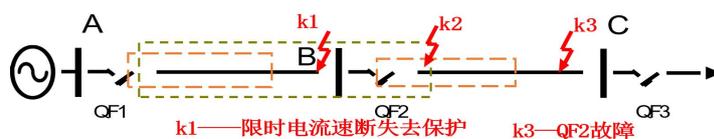
适用于对速动性要求不高的系统——35kV 以下

2、在掌握电流速断和限时电流速断基础上讲解带定限过电流保护（电流保护III段保护）；

A、定义；

定时限过电流保护：保护启动后出口动作时间是固定的整定时间。

B、从定义的内涵上加以解释；（结合单侧电流幅射型线路）



C、动作电流的计算；

$$I_{SET.2}^{III} = \frac{K_{REL}^{III} K_{SS}}{K_{RE}} \cdot I_{Lmax}$$

D、动作时间的规定： $t_2^{III} = t_1^{III} + \Delta t$

E、保护灵敏度的检验；

$$K_{sen.1} \geq K_{sen.2} \geq K_{sen.3} \geq K_{sen.4} \geq K_{sen.5} \geq \dots$$

25M

灵敏度配合的一般原则：

同一故障点而言，越靠近故障点的保护灵敏度应越高。这样有利于故障的快速选择性切除。

注意：后备保护的灵敏度要高于主保护，对过电流保护，这一要求是天然满足的。

在后备保护之间，只有当灵敏系数和动作时限都互相配合时，才能切实保证动作的选择性，这一点在复杂网络的保护中，尤其应该注意。

3、在掌握电流保护I、II、III段基础上引出阶段式电流保护的概念

限时电流速断依靠启动电流定值和上下级之间动作时间的配合保证选择性，可以快速有选择性地（延时）切除被保护线路范围内任意点的故障。**与电流速断**共同构成被保护元件（线路）的**主保护**，保证区内故障可以选择性地**快速**切除。（**主保护：强调快速性全线切除**）

三段式电流保护的构成：

电流速断+限时电流速断+过电流保护共同构成。

总的保护配置原则：

工程应用时，应在满足保护四项基本要求的基础上，根据被保护设备的重要性和投资情况进行保护的配置。以简单、可靠、经济为原则。

10M

过电流保护可兼做下级的远后备。

末级线路：只配备过电流保护。

靠近电源端的线路：由于过电流保护动作时间过长，为保证区内故障的快速切除，一般配置完整的三段式电流保护。

对于**靠近负荷端的非末级线路：**若过电流保护动作时限已经满足快速切除故障的要求，则只需配置速断+过电流保护两段式电流保护即可。

三段式电流保护接线方式（三种常用电流保护接线方式）；

三段式电流保护装置的原理接线图和展开图；

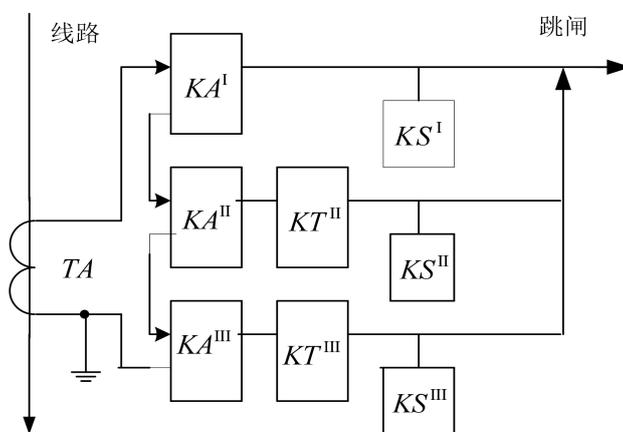


图2-14 具有三段式电流保护的单相原理框图

阶段式电流保护，其主要的优点就是简单，可靠，一般情况下能满足快速切除故障的要求，因此在电网中特别是在 35kV 及以下的较低电压的网络中获得广泛的应用。

保护的缺点是它直接受电网的接线以及电力系统的运行方式变化的影响，例如整定值必须按系统最大运行方式来选择，而灵敏性则必须用系统最小运行方式来校验，这就使它往往不能满足灵敏系数或保护范围的要求。

作为本线路主保护的近后备以及相邻线下一线路保护的远后备。其起动电流按躲最大负荷电流来整定的保护称为过电流保护，此保护不仅能保护本线路全长，且能保护相邻线路的全长。为保证动作选择性，各个保护线路段在时间上应该按照阶梯原则整定。并同样要进行灵敏度校验，有远后备和近后备灵敏度之分。

板书设计：以讲述内容的大标题为主线，适度配合若干电

5M	<p>力系统简单的网络图以及短路电流计算曲线加以说明电流保护 II 段和 III 段的动作原理和整定电流选择的依据。例题讲解给出明确的条件要求。文图布置均要合理。</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>1、本节课使学生在掌握电流保护核心器件电流继电器的工作原理和电流速断的基础上全面掌握限时电流速断保护、定时限过电流保护。</p> <p>2、通过学习本次课程，学生掌握电流保护II段、电流保护III段的基本原理、动作电流整定计算、该保护的适用范围。并学会根据不同的线路要求，进行三段式电流保护的最优组合应用。</p> <p>教学反思：</p> <p>电流保护是继电保护学习的基础，对相间短路故障的三段式电流保护而言，学生在学习的过程中很容易混淆三者之间的概念，并记混整定的公式。在讲解的过程中要注重学生对整定原理的理解，可以通过画图法加解析讲述结合起来进行授课。让学生学会在全局的角度根据线路的具体要求去配置保护。</p> <p>课程思政融入点：我们讲到定时限过电流保护，定时限过电流保护是作为主保护的后备保护而配置的，那么它的存在是可有可无的吗？当主保护不能正确动作时，后备保护则起着关键性的作用。这一知识点可以映射出我们每个人在社会中的岗位，没有高低贵贱之分，都对社会起到关键性的作用。树立学生的职业自信，同时激发学生的社会责任感和爱国情怀。另外，定时限过电流保护定值整定这一任务包括定值的计算和对保护装置的整定两个环节，十分考验学生的精益求精、科学求实的工匠精神。</p> <p>突出如何通过科学合理的整定方案，达到既保全电网稳定，又保障社会民生需求的目的。引导学生从大处着眼，从小处入手，合理解决矛盾问题。</p>	
----	---	--

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第二周，（3.4） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第四周，（3.18） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 4 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第 2 章电网的电流保护第 1 节单侧电源网络相间短路的电流保护 2.1.6-2.1.8				
教学目的与要求： 1、通过该次课的学习，使学生深刻理解三段式电流保护的阶段配合，掌握其工作原理。2、要求学生理解电流保护的接线方式。				
教学重点及难点： 重点：电流保护的接线方式。 难点：阶段式电流保护之间的配合。				
作业、讨论题、思考题：为什么要进行三段式电流保护的配合？				
课后小结： 通过电网的电流保护原理的学习，使学生学会分析问题的思路，尤其是对双侧电源的网络，如何进行故障电流的判断，训练学生提高自己分析问题的能力，使学生看问题要通过实物本身的特性归纳其共性，积累分析思考的逻辑思辨技能。				
下节课预习重点： 第 2 节 双侧电源网络相间短路的方向性电流保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
10M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>通过复习回顾比较三段式电流保护的各自的保护特点</p> <p>（一）电流速断、限时电流速断、过电流保护的特点分析</p> <p>共同点：识别故障的原理相同</p> <p>不同点：定值整定原则不同（导致灵敏度不同）</p> <p>（1）速断以躲开线路末端最大短路电流整定</p> <p>（2）限时电流速断以躲开下级线路电流速断保护范围内的最大短路电流整定</p> <p>（3）过电流以躲开最大负荷电流整定</p> <p>动作时间不同</p> <p>（1）速断瞬时动作</p> <p>（2）限时电流速断延时动作</p> <p>（3）过电流逐级配合</p>	
30M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>（二）阶段式电流保护的配合关系</p> <p>（1）电流速断：</p> <p>电流速断启动电流的量值保证了动作的选择性</p> <p>无需与其它元件配合，可以瞬时切除区内靠近电源端故障</p> <p>（2）限时电流速断：</p> <p>限时电流速断依靠启动电流定值和上下级之间动作时间的配合保证选择性</p> <p>可以快速有选择性地（延时）切除被保护线路范围内任意点的故障。</p> <p>与电流速断共同构成被保护元件（线路）的主保护，保证区内故障可以选择性地快速切除。</p> <p>不能作为相邻元件的后备保护</p> <p>（3）过电流保护</p>	<p>教 学 方 法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；</p>

过电流保护靠时间元件逐级配合满足选择性要求

过电流保护的电流元件不具备选择性

过电流保护作用有两方面

作为电流速断+限时电流速断的近后备

作为下级线路的远后备

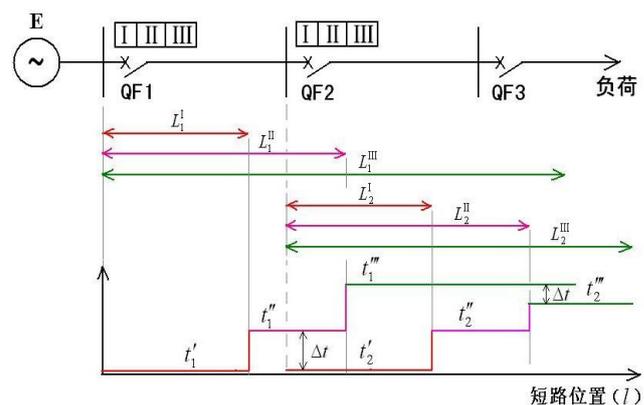
(4) 完整的阶段式电流保护

电流速断+限时电流速断+过电流保护共同构成。

(三) 总的保护配置原则：

工程应用时，应在满足保护四项基本要求的基础上，根据被保护设备的重要性和投资情况进行保护的配置。以简单、可靠、经济为原则

过电流保护可兼做下级的远后备



阶段式电流保护应用——动作情况分析

(四) 对电流保护的评价及其应用范围

(1) 评价保护的一般方法和原则：

从可靠性、速动性、灵敏性、选择性四项基本要求对保护进行评价

对电流保护的评价：

优点——简单，可靠；并且在一般情况下也能够满足 0.5S 切除故障的要求。

缺点——直接受电网的接线以及电力系统运行方式变化的影响；为了同时满足选择性和灵敏性要求，则需要牺牲速动性。

总结：阶段式电流保护无法做到快速的全线保护，速动保护范围较小。

因此在电网中特别是在 35kV 及以下的较低电压的网络中获得广泛的应用。

15M

2.1.7 反时限电流保护

1、反时限电流保护的特点

定时限过电流保护的问题：

定时限过电流保护靠时间配合实现选择性跳闸，电流元件无选择性，导致短路点越靠近电源，过电流保护动作时间越长。

为克服上述缺点，可以采用动作时间与流过继电器中电流的大小有关的继电器，当电流大时，保护的动作时限短，而电流小时动作时限长，构成反时限电流保护。

2、反时限电流保护的動作特性

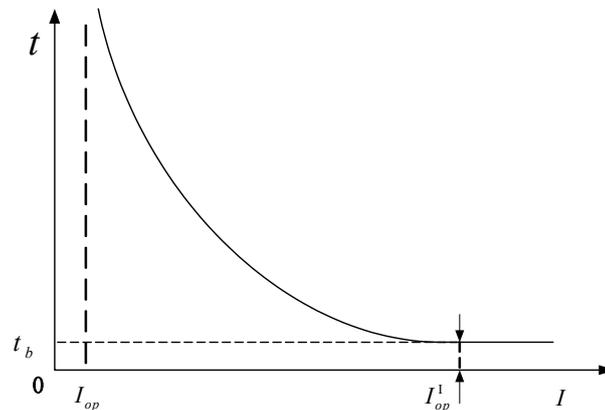


图2-15 反时限过电流继电器时限特性

反时限电流保护的整定配合

反时限特性上下级之间的配合整定

3、配合原则：

(1) 启动电流——躲过最大负荷电流

(2) 动作时限——为保证动作的选择性逐级配合确定

反时限电流保与电源侧定时限过电流保护的配合（了解）

反时限过电流继电器电流速断的整定

反时限电流保护优缺点

对比定时限和反时限两种保护的时限特性，其基本整定原则相同

反时限保护的优点：

20M	<p>可使靠近电源的故障具有较小的切除时间。</p> <p>反时限保护的缺点：整定配合比较复杂，调试维护不方便，以及当系统最小运行方式下短路时，其动作时限可能较长。</p> <p>反时限保护应用范围：主要用与单侧电源供电的终端线路和较小容量的电动机上，作为主保护和后备保护使用。</p> <p>反时限保护的思想是很重要的！一引申分析问题的逆向思维</p> <p>2.1.8 电流保护的接线方式分析</p> <p>（一） 继电保护接线方式</p> <p>通常是指保护中的电流继电器和电流互感器的连接方式，即继电器交流回路的连接情况。</p> <p>其本质是保护所需的电气量与继电器的连接方式</p> <p>（二）接线方式的基本要求</p> <p>必须能反应各种类型的故障</p> <p>电流保护接线方式要解决的问题：</p> <p>引导学生讨论思考：是否每相都要装设单相式电流保护才能保护任意相别的相间故障？如果不需要有哪些情况，考虑什么因素？</p> <p>（三）常用接线方式</p> <p>三相星形接线方式或称三相三继电器方式</p> <p>两相星形接线方式或称两相两继电器方式</p> <p>两相三继电器接线方式适用于中性点非直接接地系统</p> <p>（四） 接线方式分析</p> <p>中性点直接接地和中性点非直接接地系统的各种相间故障（AB，BC，CA，ABC，ABG，BCG，CAG）</p> <p>两相星形、三相星形接线、两相三继电器接线，均能正确反应相间短路故障，选择性跳开三相开关。</p>	
15M	<p>第三阶段：课程小结</p> <p>1、电流保护的接线；</p> <p>2、阶段式电流保护的配合</p> <p>教学反思：</p> <p>本节课先从三段式电流保护的原理和整定总结回顾入手，让</p>	

同学们明确电流保护各阶段之前相互配合完成对电路的保护。同时由于实际的电力系统是三相线路，在应用电力系统的电流保护时不可避免遇到电流保护的接线方式问题。对于保护设备的接线可分为三相两线制和三相三线制，不同的接线方式可以和各个阶段的电流保护相配合共同完成对三相线路中发生的相间短路故障的保护。在授课过程中通过具体的实例说明引导同学们进行讨论和思考，得出在考虑到安全性、经济性和可靠性的因素下，并不是所有的线路、每一段的电流保护都需要在三相线路上设置保护设备。要根据线路和设备的实际需求，项目的综合成本，保护满足四性的迫切性程度综合分析采用的接线方式。

课程思政融入点：通过学习总结三段式电流保护的相互配合，说明动作值不是随意设定的，技术参数设计应该因地制宜相呼应，突出一丝不苟的工匠精神；继电保护必须依靠电流互感器、断路器等元件，完成保护功能突出继电保护团队意识，呼应个体在社会中的社会责任感和大局观点的意识。

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第三周，（3.8） 周三，第3、4节 J3-414 （专升本）22-6：第五周，（3.22） 周三，第3、4节 J3-414	课次	第5次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第二章 电网的电流保护 2.3 中性点直接接地电网的零序电流及方向保护				
教学目的与要求： 通过该课次的讲授，使学生掌握中性点直接接地电网中反应接地故障的零序电流保护的基本概念、基本原理。				
教学重点及难点： 重点：中性点直接接地电网中反应接地故障的零序电流保护的基本概念、基本原理。 难点：零序电流保护的整定计算。				
作业、讨论题、思考题：2.17				
课后小结：通过对照电网的相间短路电流保护原理的学习，使学生学会分析中性点直接接地电网的零序电流及方向保护问题的思路。了解接地短路时零序电压、电流和功率的分布规律，理解保护原理，掌握零序电流 I、II、III 段保护的整定原则及计算方法。				
下节课预习重点： 第二章 电网的电流保护 2.4 中性点非直接接地系统中单相接地故障的保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010年				

(二) 对称分量过滤器

1、零序电压过滤器，从以下几方面逐层进行分析。

A、零序电压过滤器定义：

$$3u_0(k) = u_a(k) + u_b(k) + u_c(k)$$

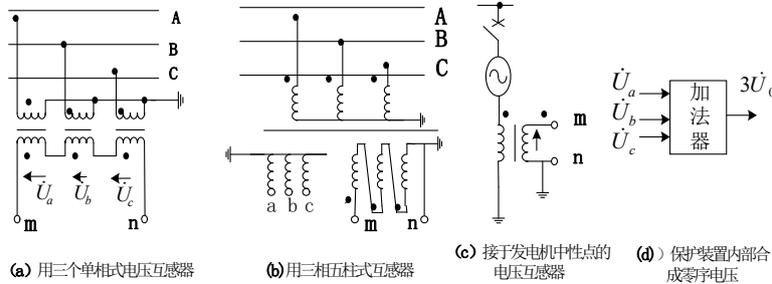


图 2-39 取得零序电压的接线图

B、零序电压过滤器结构；

C、零序电压过滤器原理分析；

D、不平衡电压产生的原因分析；

2、零序电流过滤器，从以下几方面逐层进行分析。

A、零序电流过滤器定义：

$$3i_0(k) = i_a(k) + i_b(k) + i_c(k)$$

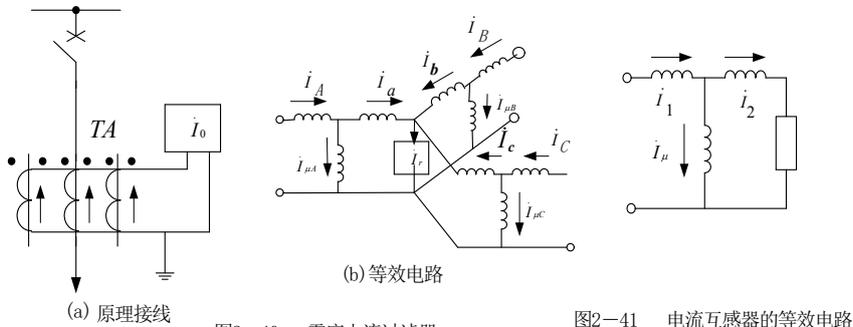


图2-40 零序电流过滤器

图2-41 电流互感器的等效电路

B、零序电流过滤器结构；

C、零序电流过滤器原理分析；

D、不平衡电流产生的原因分析；

二、零序电流 I 段、II 段、III 段保护。

(一) 零序电流 I 段保护

针对可能出现零序电流的各种情况，整定原则通常考虑以下两种情况：

$$I_{set}^I = K_{rel}^I \cdot 3I_{0.max}$$

躲开下级线路出口接地故障时最大零序电流。（实际整定时

20M

25M

不仅要考虑运行方式的变化，还要考虑故障类型的变化)

$$I_{set}^I = K_{rel}^I 3I_{0.unb}$$

躲开短路器三相触头不同期合闸时出现的最大零序电流

零序 I 段的整定 $K_{rel}^I = 1.2 \sim 1.3$

如果保护动作时间大于短路器不同期合闸时间，或零序 I 段经小延时 (0.1s) 动作，则可以不考虑条件 2。

灵敏度校验：不小于 30%

(二) 零序电流 II 段保护

整定原则：

启动电流与下一级线路零序 I 段保护范围末端配合，并高出一个动作时限的级差 Δt

整定应考虑分支线路的影响，选取最小的零序分支系数整定。

$$I_{set.2}^{II} = \frac{K_{rel}^{II}}{K_{0.b}} I_{set.1}^I$$

零序网络的分支，取决于接地变压器的运行方式

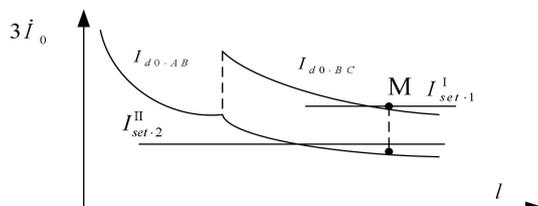
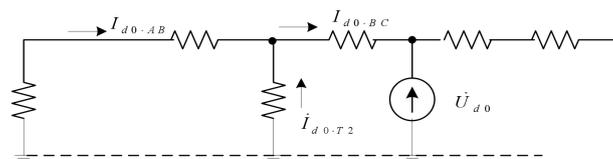
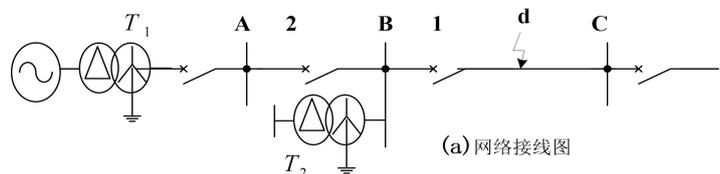


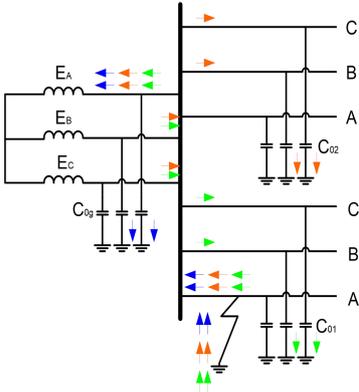
图2-43 有分支电路时，零序II段动作特性的分析

10M	<p>最小的零序分支系数的确定。</p> <p>对于零序网络，分支线路情况取决于接地变压器的运行情况。一般而言，变压器按 n-1 方式考虑；线路按 n-2 方式考虑。</p> <p>灵敏度校验： 按本线路末端接地短路最小零序电流来校验。</p> <p>要求 $K_{sen}^{II} > 1.5$</p> <p>(三) 零序 III 段的整定</p> <p>零序 III 段作用相当于过电流保护，在一般情况下作为后备保护，但在中性点直接接地系统的终端线路（零序网在其后开路）可以作为主保护。</p> <p>整定原则：</p> <p>原则一：躲开下级线路出口处相间短路的最大零序不平衡电流</p> $I_{set}^{III} = K_{rel}^{III} \cdot 3I_{0.unb.max}$ <p>原则二：考虑各保护间灵敏度的配合，按逐级配合的原则考虑。即本级线路的零序 III 段不能超出相邻线路零序 III 段的保护范围。当考虑分支时，按下式整定：</p> $I_{set.2}^{III} = \frac{K_{rel}^{III}}{K_{0.b.min}} \cdot I_{set.1}^{III}$ <p>灵敏度校验：通常作为远后备校验。即按下级线路末端发生接地短路时，本线路的最小零序电流（考虑分支系数为最大的情况）</p> <p>要求：近后备 $K_{sen} > 1.5$；远后备 $K_{sen} > 1.2$</p> <p>动作时限的确定：逐级配合原则，但配合点起始于零序支路末端，即零序网开路处。</p>	
5M	<p>三、对零序电流保护的评价</p> <p>(一) 优点</p> <p>不受负荷电流影响，零序过电流保护灵敏度高。</p> <p>零序网络结构通常比正常网络要简化得多，因而其过流保护配合的级数要小于相过流保护，因而动作速度快。</p> <p>受系统运行方式影响小。相电流保护受系统开机、线路检修等运行方式的影响较大。而零序网只受接地中性点变化的影响，</p>	

5M	<p>因而受系统运行方式变化影响小。</p> <p>零序方向元件无电压死区。</p> <p>系统绝大多数故障是接地故障或由接地故障发展成相间故障，零序电流保护可以可靠的保护接地故障。</p> <p>(二) 缺点</p> <p>系统运行方式变化较大时，可能无法满足灵敏度的要求，这时需采用灵敏度更高的保护方式。</p> <p>非全相运行又发生振荡时，可能引起误动。</p> <p>超高压电网通常采用自耦变连接两个不同电压等级的电网。此时，将使零序电流配合复杂化，增加动作时间。</p> <p>由于零序电流保护简单、经济、可靠、灵敏，所以在 110kV 以上电压等级的中性点直接接地电网中得到广泛应用，作为接地故障的主保护和后备保护。</p> <p>板书设计：文图布置均要合理。</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>通过本节课的学习让学生重点学习掌握零序电流保护的原理，整定，校验和评价。</p> <p>教学反思：学生对电力系统分析中的零序电流的概念遗忘较快，授课时适时复习引导，并结合相间短路的三段式电流保护对零序电流保护进行讲解。让学生学会举一反三，活学活用前期所学知识，完成对学习的迁移。</p> <p>课程思政融入点：求真务实意识。工程实际中，容易犯经验主义与教条主义的错误。随着电网的不断发展，保护原理与保护装置的不断进步，部分传统的、原本合理的整定方案就会出现问題。因此既要遵守规程规范的基本原则不动摇，又要做到因地制宜、随机应变。</p>	
----	--	--

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第三周，（3.11） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第五周，（3.25） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 6 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第二章 电网的电流保护 2.4 中性点非直接接地系统中单相接地故障的保护				
教学目的与要求： 电网为非直接接地时，要求学生应掌握此电网的零序电流、电压的特点，了解构成中性点非直接接地保护的思路。				
教学重点及难点： 重点：中性点非直接接地电网故障线路及非故障线路中的零序电流、电压的特点； 难点：中性点非直接接地电网故障线路及非故障线路中的零序电流、电压的特点；				
作业、讨论题、思考题： 2.19 2.24				
课后小结： 通过中性点非直接接地系统中单相接地故障的保护学习，让学生了解中心点消弧线圈接地系统中单相接地故障的特点。				
下节课预习重点： 第三章电网距离保护 3.1 距离保护的基本原理与构成 3.2 阻抗继电器及其动作特性				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
<p>10M</p> <p>20M</p>	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>复习中性点直接接地系统单相接地保护，引出中性点不接地系统的故障差异，引入新的保护原理。</p> <p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>零序电流、电压的特点；</p> <p>（一）中性点非直接接地系统单相接地故障特点：</p> <p>当发生接地故障时，故障电流很小。</p> <p>三相线电压保持对称，对负荷供电没有影响。</p> <p>非故障相对地电压升高$\sqrt{3}$ 倍</p> <p>中性点非直接接地系统单相接地故障运行要求</p> <p>规程一般允许中性点非直接接地系统带接地故障继续运行1~2 小时。（系统本身不影响供电，无可靠的保护方法）因而其供电可靠性较高。这是中性点非直接接地系统的主要优点。</p> <p>因此，对于中性点非直接接地系统中单相接地故障通常只要求选出故障线路，并及时发出信号；但当单相接地故障对人身和设备安全有危险时，则动作于跳闸。因而也对此类保护装置称为接地选线装置。</p> <p>分析假设：</p> <p>由于中性点不接地系统接地电流很小，而其零序阻抗主要为对地电容支路的容抗，因而在分析时我们作如下简化假设：忽略零序电流和负荷电流在线路上的压降。</p>  <p>1) A 相接地时故障点 k 边界条件</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；</p>

$$\dot{U}_{Ak} = 0$$

$$\dot{U}_{Bk} = \dot{E}_B - \dot{E}_A = \sqrt{3}\dot{E}_A e^{-j150^\circ}$$

$$\dot{U}_{Ck} = \dot{E}_C - \dot{E}_A = \sqrt{3}\dot{E}_A e^{+j150^\circ}$$

2) 故障点 k 的零序电压

$$\dot{U}_{k0} = \frac{1}{3}(\dot{U}_{Ak} + \dot{U}_{Bk} + \dot{U}_{Ck}) = -\dot{E}_A$$

3) 故障点处非故障相产生的电容电流

$$\dot{I}_B = \dot{U}_{Bk} j\omega C_0$$

$$\dot{I}_C = \dot{U}_{Ck} j\omega C_0$$

4) 由于忽略零序电流和负荷电流在线路上的压降，全网各相电压相等。对于非故障线路，保护安装处测得的零序电流。

$$3I_0 = \dot{I}_B + \dot{I}_C = -3\dot{E}_A \cdot j\omega C_0$$

非故障线路零序电流为线路自身的电容电流代数和。容性功率为从母线流向线路。

5) 对于故障线路，保护安装处测得的零序电流

$$3I_0 = \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3\dot{E}_A \cdot j\omega(C_{0\Sigma} - C_{01})$$

故障线路零序电流全系统电容电流代数和减去故障线路自身的电容电流代数和。容性功率为从线路流向母线。

单相接地故障分析小结

零序网络由对地电容构成回路，因而零序阻抗很大

与故障元件连接的电压等级全网络出现零序电压。且零序电压基本不随测量位置变化

非故障线路保护安装处测量的零序电流是线路本身的电容电流。零序功率为容性，方向为从母线流向线路。

故障线路保护安装处测量的零序电流是全系统非故障线路零序电流的总和

利用上述故障特点可以构成故障选线及保护判据

(二) 中性点经消弧线圈接地系统，零序电流的特点

弧光过电压的危害：对于中性点非直接接地系统，发生单相接地故障时，接地电流通常较小。但如果线路电容较大时，接地电流比较大，则该接地电流会在接地点燃起电弧。由于电弧的不

20M

稳定会引起弧光过电压。弧光过电压可能引起设备损坏或发展成为相间故障。

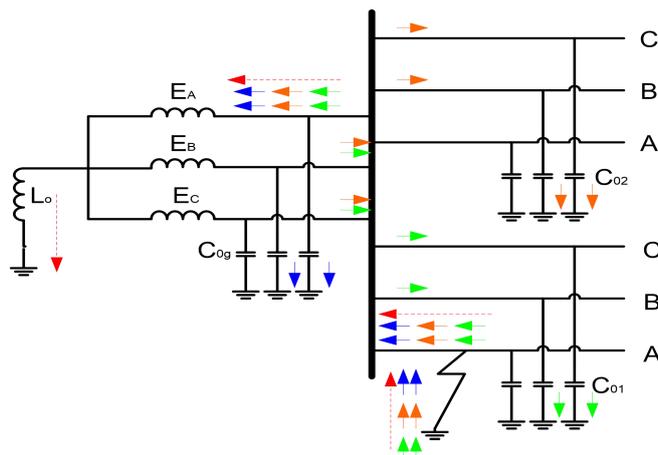
消弧线圈：为了降低故障点电容电流，消除弧光过电压，可以采用中性点经消弧线圈接地的办法。消弧线圈本身可以看作是纯电感。

规程规定：对不同电压等级的电网当接地电容电流超过一定数值时，必须安装消弧线圈。6kV—30A； 10kV—20A； 22-66kV—10A

20M

(三) 单相接地故障稳态分析

电容电流分布：由于中性点非直接接地电网单相接地故障电流小，若忽略因故障电流引起的线路压降，可以认为全网各处电压相同。这样各线路的零序电容电流大小和分布与中性点不接地系统完全相同。在图中用实线标出。



消弧线圈支路：

单相接地时中性点电压 $-\dot{E}_A$

流过消弧线圈支路的电流 $i_L = -\frac{\dot{E}_A}{j\omega L}$

故障点故障电流：等于全网电容电流和消弧线圈电流之和

$$\begin{aligned} 3\dot{I}_0 &= \dot{I}_{0C\Sigma} + \dot{I}_L \\ &= -3j\omega(C_\Sigma)\dot{E}_A - \frac{\dot{E}_A}{j\omega L} \end{aligned}$$

完全补偿方式下的串联谐振问题

A、网络不对称

B、断路器操作不完全同时

串联谐振的危害：引起危险的过电压

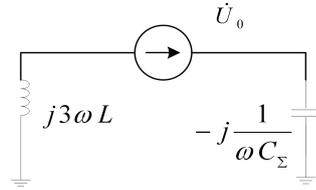


图 2-51 产生串联谐振的零序等效网络

通常采用过补偿方式

用补偿度 P 来表示补偿程度

$$P = \frac{I_L - I_\Sigma}{I_\Sigma} \times 100 \%$$

15M

(四) 过补偿方式下单相接地故障稳态电气量的特点

非故障线路：测量点零序电容电流和中性点不接地系统完全一致，等于本线路电容电流代数和

$$3I_0 = \dot{I}_B + \dot{I}_C = -3\dot{E}_A \cdot j\omega C_0$$

变压器支路：测量点零序电容电流

$$3\dot{I}_0 = \dot{I}_{0G} + \dot{I}_L = -\frac{\dot{E}_A}{j\omega L} - 3j\omega C_g \dot{E}_A$$

故障线路：测量点零序电流在过补偿方式下，量值可能很小，电容功率方向为母线指向线路

$$3\dot{I}_0 = \dot{I}_{0G} + \dot{I}_L = -\frac{\dot{E}_A}{j\omega L} - 3j\omega(C_\Sigma - C_{self})\dot{E}_A$$

结论：由于消弧线圈的接入，原有的对于不接地系统的故障特征已不成立，即利用稳态零序电容电流或零序功率方向，不能保证可靠的选择故障线路，可能造成误选线。

(五) 过补偿方式下单相接地故障暂态电气量的特点

暂态电容电流包括以下两部分：

由于故障相电压突然降低而引起的故障相放电电容电流，它通过母线而流向故障点，放电电流衰减很快，其振荡频率高达数千赫，振荡频率主要决定于电网中线路的参数（R 和 L 的数值），故障点的位置以及过渡电阻的数值。

5M	<p>由非故障相电压突然升高而引起的非故障相充电电容电流，此电流要通过电源、故障点而成回路。由于整个流通回路的电感较大，因此，充电电流衰减较慢，振荡频率也较低（仅为数百赫）。</p> <p>暂态电容电流特点：</p> <p>故障支路：暂态零序电流最大，暂态零序功率方向指向母线</p> <p>非故障支路：暂态零序电流为自身的暂态电容电流，暂态零序功率方向指向线路。</p> <p>暂态电容电流的特点类似于中性点不接地系统的稳态电容电流特点</p> <p>零序电压保护</p> <p>利用单相接地故障时，全网将出现零序电压的特点、构成接在母线电压互感器的开口三角</p> <p>零序电压保护不具备选择性，仅可用于绝缘监视</p> <p>以简单电力系统为例，阐述中性点非直接接地电网故障线路及非故障线路中的零序电流、电压的特点，以此为基础，讲述中性点非直接接地保护的思路。</p> <p>介绍目前的重点研究课题：中性点非直接接地系统的选线装置。</p> <p>板书设计：文图布置均要合理</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>中性点非直接接地系统的零序电流保护故障特点，保护原理，整定计算与保护评价。重点掌握故障选相的原理。</p> <p>教学反思：在授课之前引导学生对照中性点直接接地故障时的零序保护，分析故障之间的异同点，根据区分甄别故障的选择找到适应保护的新原理。让学生学会根据现有知识拓展创新思路，无惧探索未知新领域。</p> <p>课程思政融入点：激励学生把自己的小我融入祖国和人民的大我之中，与时代同步伐，与人民共命运，更好的实现人身价值。</p>	
----	---	--

《电力系统继电保护》教案

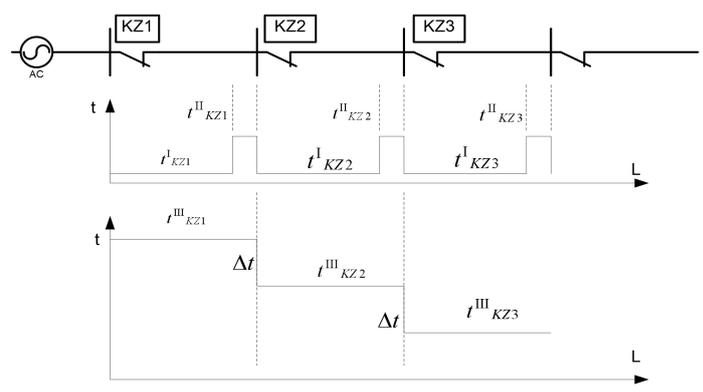
授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第四周，（3.15） 周三，第 3、4 节 J3-414 （专升本）22-6：第六周，（3.29） 周三，第 3、4 节 J3-414	课次	第 7 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第三章：电网距离保护 3.1 距离保护的基本原理 3.2 阻抗继电器及其动作特性				
教学目的与要求： 通过该课次的讲授，使学生掌握在双侧电源环网中引入距离保护的必要性，使学生掌握距离保护的基本概念、基本原理； 距离保护的核心器件为阻抗继电器，要求学生应掌握此元件的动作特性、动作方程。				
教学重点及难点： 重点：距离保护的基本原理和整定原则。 难点：距离保护的三段式配合。				
作业、讨论题、思考题：3.7 3.8				
课后小结： 本节课重点让学生理解和掌握距离保护的基本原理和整定原则，通过矢量图的绘制表达，加深学生对距离保护保护原理的认识和理解。				
下节课预习重点 第三章 电网距离保护 3.3 阻抗继电器的实现方法				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

30M

启动部分：用于检测故障，要求当作为远后备保护时，保护范围末端故障，可靠启动，投入整组保护

测量部分：快速准确测量出故障距离和方向，并于预先设定的保护范围（定值）比较故障，确定保护的动作为行为。

振荡闭锁部分：系统发生振荡时闭锁保护。



电压回路断线检测：防止电压回路断线引起保护的误动。

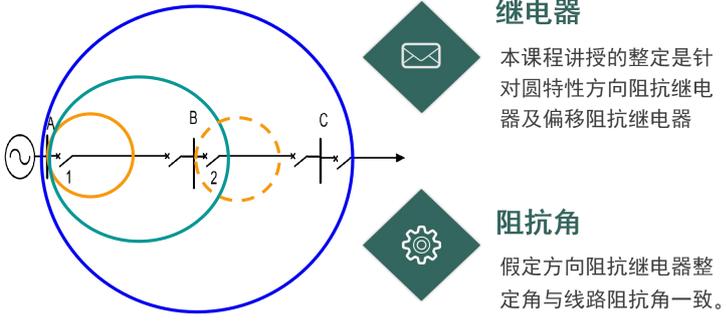
逻辑配合部分

出口部分

二、将简单网络移植在复数平面。

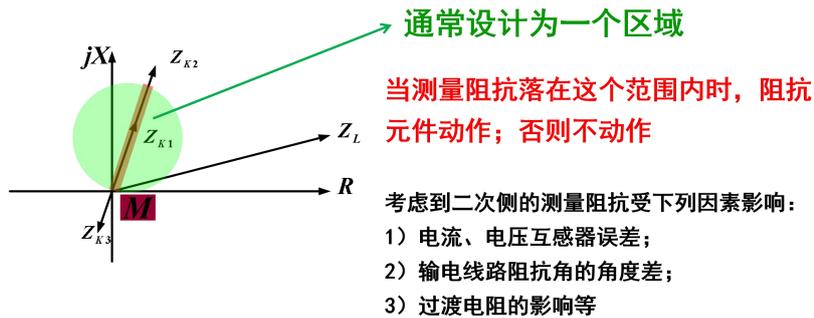
- A、单一测量阻抗在复数平面的表示方法；
- B、简单网络复数平面上的表示方法。
- C、阻抗继电器分类。

假定条件



动作区域：使阻抗继电器能够动作的所有测量阻抗值在阻抗复平面上形成的点集。称为阻抗继电器的动作区域。点集以外的区域称为不动作区。

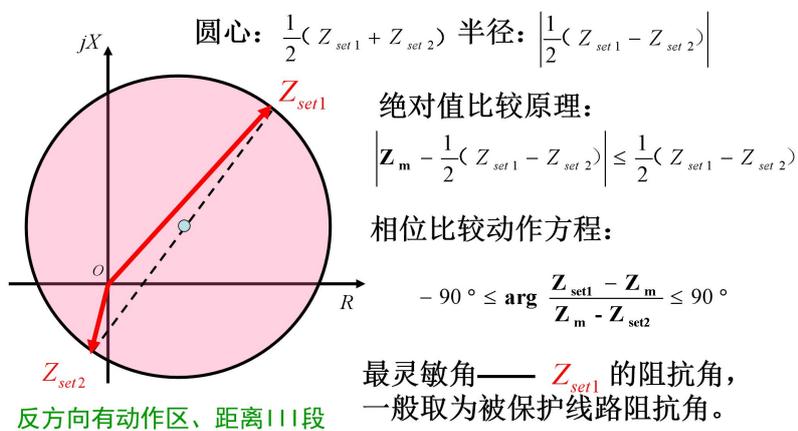
动作特性：阻抗继电器动作区域边界曲线称为其动作特性。



该曲线的方程成为动作特性方程。

动作方程的描述可以采用幅值方程, 相位方程和点坐标方程。

常见动作特性: 圆特性, 苹果形, 透镜型, 多边形和直线。



15M

三、阻抗继电器特性分析

1、全阻抗继电器、方向阻抗继电器、偏移阻抗继电器特性分析;

A、定义; B、动作特性; C、动作方程; D、幅值比较式动作方程与相位比较式动作方程统一性论证;

板书设计:

A、以讲课内容的大标题为主线, 分层次进行板书设计;

B、文图布置均要合理;

第三阶段: 课程小结

5M

通过本节课学习, 让学生了解距离保护的构成; 理解距离保护的基本原理、全阻抗继电器、偏移阻抗继电器的动作特性; 掌握单相式方向阻抗继电器的动作特性及动作方程。

本课小结



3.1 距离保护的基本原理与构成

距离保护概念

测量阻抗与故障距离的关系

三相系统中测量电压和电流的选取

距离保护的延时特性

距离保护的构成

3.2 阻抗继电器及其动作特性

动作区域

动作特性和动作方程

电力系统继电保护

在授课过程中注意采用前后知识对比迁移的方式，把距离保护和电流保护对照讲解，加深学生对知识理解的深度。

教学反思

在教学中注重知识的前后联系，着重引导学生自主思考和探索不同保护之间的差异。可以从以下两个角度进行引导：

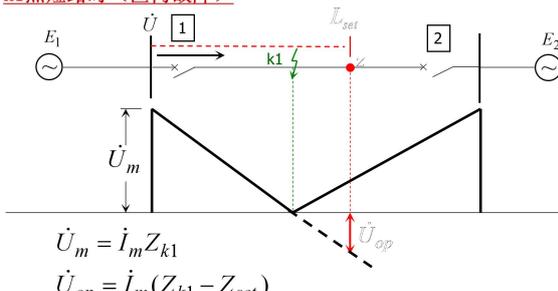
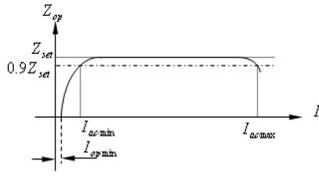
1、距离保护与电流电压保护相比有何特点？

2、方向阻抗继电器的测量阻抗、整定阻抗、动作阻抗的概念理解。

课程思政融入点：让学生了解创新 19 项世界第一的中国电力技术的最新进展，认识到目前所学的知识与我国的技术发展紧密相关，在开阔学生的视野的同时，树立民族自豪感，走进时代楷模，树立责任意识。

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第四周，（3.18） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第六周，（4.1） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 8 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第三章：电网距离保护 3.3 阻抗继电器的实现方法				
教学目的与要求： 1、通过该课次的讲授，使学生掌握距离保护对阻抗继电器接线的要求； 2、掌握比较工作电压相位法实现的故障区段判断				
教学重点及难点： 重点：零度接线及零序电流补偿的相电流、相电压接线； 难点：结合不同种短路类型对阻抗继电器进行性能分析；				
作业、讨论题、思考题： 3.12				
课后小结： 通过该课次的讲授，使学生掌握阻抗继电器的实现形式和采用比较工作电压相位法的基本原理，在教学中注重图文结合。				
下节课预习重点 第 3 章 3.4 距离保护的整定计算				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年				

15M	<p>1、模拟式相位比较阻抗继电器的实现</p> <p>2、数字是相位比较中相位比较的实现</p> <p>3.3.3 比较工作电压相位法实现的故障区段判断</p> <p>1、比较工作电压相位法的基本原理</p> $\dot{U}_{op} = \dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set} = \dot{I}_m Z_m - \dot{I}_m Z_{set} = \dot{I}_m (Z_m - Z_{set})$ <p>k1点短路时（区内故障）</p>  $\begin{aligned} \dot{U}_{op} &= \dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set} \\ &= \dot{I}_m Z_{K1} - \dot{I}_m Z_{set} \\ &= \dot{I}_m (Z_{K1} - Z_{set}) \\ &= -\dot{I}_m (Z_{set} - Z_{K1}) \end{aligned}$ $\begin{aligned} \dot{U}_m &= \dot{I}_m Z_{k1} \\ \dot{U}_{op} &= \dot{I}_m (Z_{k1} - Z_{set}) \end{aligned}$ <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">结论：区内故障时，\dot{U}_{op} 和 \dot{U}_m 反相。</p>	
20M	<p>2、以正序电压为参考电压的测量元件</p> <p>3、以记忆电压为参考电压的测量元件</p> <p>利用故障前的电压作为参考电压</p> <p>消除所有故障死区（正序电压在出口三相短路时有死区）</p> <p>动作特性基本同正序电压为参考电压的测量元件，也具有明确的方向性。</p> <p>记忆电压获取措施。</p> <p>模拟式：LC 谐振记忆回路</p> <p>数字式：存放在存储器中的故障前电压的采样值</p> <p>3.3.4 阻抗继电器的精确工作电流与精确工作电压</p>  <p>$I_{ac.min}$, $I_{ac.max}$: 都是使动作阻抗降为 $0.9Z_{set}$ 对应的测量电流，$I_{ac.min}$ 为最小精确工作电流，$I_{ac.max}$ 为最大精确工作电流。</p> <p>$I_{op.min}$: 使动作阻抗降为 0 对应的测量电流，称为最小动作电流，实际电流小于它时，无论测量阻抗为多少继电器都不动作。</p>	
5M	<p>板书设计：</p> <p>A、以讲课内容的大标题为主线，分层次进行板书设计；</p> <p>B、文图布置均要合理；</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>1、通过该课次的讲授，使学生掌握距离保护对阻抗继电器</p>	

接线的要求；

2、掌握比较工作电压相位法实现的故障区段判断

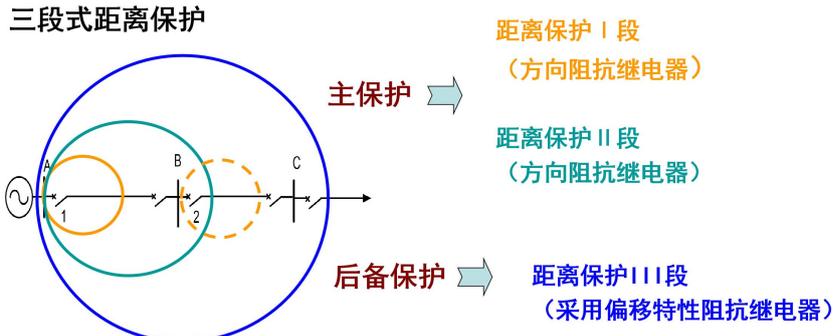
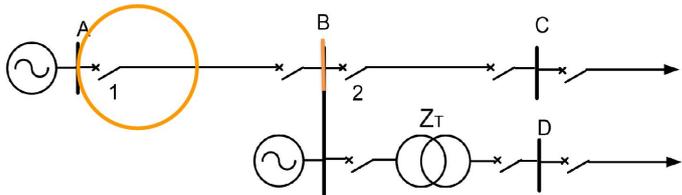
教学反思：

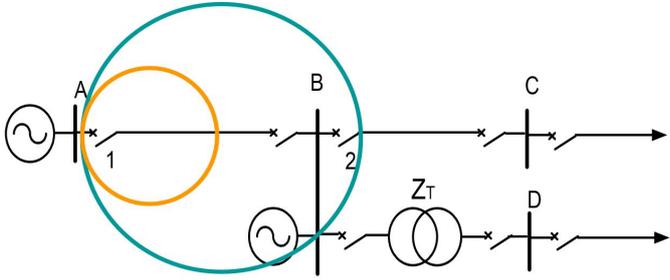
学生在阻抗继电器原理的学习过程中，尤其是模拟式阻抗继电器的接线容易混淆，绝对值比较继电器和相量比较式继电器两者之间的接线原理，此处讲授时应结合重点接线图和各部分的元器件作用进行详细讲解，让学生理解其不同之处，掌握原理。

课程思政融入点：本环节是本次课的重点与难点，应通过比喻，让学生体会到透过现象看本质的重要性，应帮助学生建立唯物辩证法的发展观，引导学生学习从事物的发生、发展规律去探究问题的本质，同时引导学生采用方法论，科学地分析并解决问题。

《电力系统继电保护》教案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第五周，（3.25） 周六，第3、4节 J1-206 （专升本）22-6：第七周，（4.5） 周三，第3、4节 J3-414	课次	第9次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第三章：电网距离保护 3.4 距离保护的整定计算与对距离保护的评价				
教学目的与要求： 通过该课次的讲授，使学生掌握距离保护三段式保护的原理、整定及校验方法。				
教学重点及难点： 重点：三段式距离保护的整定原则。 难点：三段式距离保护的整定定值计算及校验。				
作业、讨论题、思考题：3.14				
课后小结：学生通过本节课掌握距离保护的整定计算。可以引导学生类比电流的三段式保护进行学习。				
下节课预习重点 第三章：电网距离保护 3.5 距离保护的振荡闭锁 3.6 故障类型判别和故障选相				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010年				

课时分配	教学内容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>通过复习前述距离保护原理和阻抗继电器的学习，引入距离保护的具体实现原理，并类比电流保护的三段式，进行比较学习。</p> <p>三段式距离保护</p> 	教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；
10M	<p>距离保护一般采用阶段式的配合思想，各段之间的配合关系，类似于三段式电流保护。</p> <p>通常配置距离 I 段、距离 II 段、距离 III 段。其中，距离 I 段、距离 II 段一般采用具有方向性的动作特性，作为被保护线路的主保护；距离 III 段，通常采用带有偏移特性的动作特性，作为本线路、下级线路及反向出口故障的后备。</p> <p>距离保护的整定，实际上是确定与保护动作特性有关的特征阻抗。</p>	
20M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程（在授课中引导学生对比电流的三段式保护）</p> <p>一、阶段式距离保护的整定计算</p> <p>（一）距离保护第 I 段的整定</p> <p>作用：无延时的速动段，只反映本线路内部故障，下级线路出口应可靠不动作。</p> 	

15M	<p>原则：躲过本线路末端短路时的测量阻抗</p> $Z_{set}^I = K_{rel}^I zL$ <p>组织学生分组思考讨论：为何距离保护的 I 段不需要进行灵敏度的校验？</p> <p>(二) 距离保护第 II 段的整定</p> <p>作用：距离 I 段无法保护线路全长，增加距离 II 段；其保护范围应涵盖线路全长，且有一定灵敏度。因此距离 II 段的保护范围应延伸至下一级线路，并在动作时间上与下一级线路进行配合，以实现选择性跳闸。</p>  <p>原则：动作阻抗应不超过下级线路配合段的保护范围，动作时间应比下级线路配合段提高一个时间级差。</p> <p>情形之一：与相邻下级线路保护</p> $Z_{set}^{II} = K_{rel}^{II} (zL + K_{b\min} Z_{adj}^I)$ <p>情形之二：与相邻变压器配合（考虑变压器配置差动保护）</p> $Z_{set}^{II} = K_{rel}^{II} (zL + K_{b\min} Z_T)$ <p>灵敏度校验：距离 II 段要保护线路全长，因此其灵敏度校验要求在线路末端故障时，有足够的灵敏度。</p> $K_{lm} = \frac{Z_{set}^{II}}{zL} \geq 1.25$ <p>灵敏度不满足要求时，应考虑进一步扩大距离 II 段保护范围，与下级线路距离 II 段配合</p> <p>动作时间：为保证下级线路出口的选择性，距离 II 段动作时间应比配合段多一个时间级差</p>
20M	$t^{II} = t_{adj}^x + \Delta t$ <p>(三) 距离保护第 III 段的整定</p>

作用：本线路的近后备或下级线路的远后备
整定原则：

情形之一：与下级线路距离 II 段或距离 III 段配合

$$Z_{set}^{III} = K_{rel}^{III} (zL + K_{b \min} Z_{adj}^{II})$$

情形之二：与下级线路电流、电压保护配合

$$Z_{set}^{III} = K_{rel}^{III} (zL + K_{b \min} Z_{adj}^{\min})$$

情形之三：按躲过最小负荷阻抗整定最小负荷阻抗的确定

$$Z_{L \min} = \frac{(0.9 - 0.95) \dot{U}_N}{\dot{I}_{\max}}$$

全阻抗特性定值：

$$Z_{set \cdot I}^{III} = \frac{1}{K_{rel} K_{ss} K_{re}} Z_{L \cdot \min}$$

方向阻抗特性定值：

$$Z_{set \cdot I}^{III} = \frac{Z_{L \cdot \min}}{K_{rel} K_{ss} K_{re} \cos(\varphi_{set} - \varphi_L)}$$

灵敏度校验：

近后备灵敏度：要求按本线路末端故障校验

$$K_{sen} = \frac{Z_{set}^{III}}{zL} \geq 1.5$$

远后备灵敏度：要求按相邻线路末端故障校验，这时考虑分支系数的影响，应考虑相邻线末端故障，保护测量阻抗最大的情况，即取最大分支系数进行校验，此时保护的灵敏度最低

$$K_{sen} = \frac{Z_{set}^{III}}{zL + K_{b \max} Z_{adj}} \geq 1.2$$

定值的归算

实际的保护定值都是以二次侧阻抗值给出的，因此需将上述定值进行归算

$$Z_{set(2)} = \frac{n_{TA}}{n_{TV}} Z_{set(1)}$$

将整定参数换算到二次侧

15M	<p>整定计算举例</p> <p>(四) 110KV 线路保护配置</p> <p>(五) 对距离保护的评价</p> <p>灵敏度方面：同时利用故障时电流电压变化特征，通过阻抗确定故障区间。因而保护范围稳定，灵敏度高，受电网运行方式影响小。</p> <p>速动性方面：由于仅使用单端信息不能实现全线速动，对于超高压输电线路，速动性不满足要求。</p> <p>可靠性方面：算法，接线复杂，可靠性不如电流保护。</p> <p>距离保护的应用</p> <p>高压网络（110kV 电网）中作为主保护</p> <p>超高压网络（220kV 及其以上）中作为后备保护，在发电机和变压器保护中作为后备保护。</p> <p>板书设计：</p>	
5M	<p>A、以讲课内容的大标题为主线，分层次进行板书设计；</p> <p>B、文图布置均要合理；</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>(1) 距离保护的整定计算与电流保护比较</p> <p>(2) 接地电阻对距离保护的影响。</p> <p>教学反思：</p> <p>在课程讲授过程中，注意引导学生对比距离保护的整定计算与电流保护整定计算比较有哪些相似之处和不同之处，过渡电阻对距离保护哪几段有影响？有何影响？在授课时可以通过问题引导同学们进行相关知识的对比记忆。</p> <p>课程思政融入点：本环节应使学生建立对新型阻抗保护装置的感性认识，为后续的工程实践做好准备。同时，应让学生体会到，继电保护原理的多样性，可以选择不同的电气参量形成新的保护原理，在此基础上，让学生明白继电保护技术与装置随着科技的进步都在不断地提升发展，只有与时俱进，坚持探索，才能赶上时代发展的步伐。</p>	

《电力系统继电保护》教 案

课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第六周（4.1） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第七周，（4.8） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 10 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>		课时 安排	2 学时
授课题目（教学章、节或主题）： 第三章：电网距离保护 3.5 距离保护的振荡闭锁 3.6 故障类型判别和故障选相				
教学目的与要求： 通过该课次的讲授，使学生掌握影响距离保护正确工作的五个主要因素，过渡电阻、电力系统振荡、电网结构、互感器误差、串补电容器等，并使学生在理解其影响因素的基础上能够采取相应的措施或方法消除其对距离保护的影响。				
教学重点及难点： 重点： 电力系统振荡对距离保护的影响； 难点：从理论上分析当电力系统振荡时，其电压、电流以及阻抗的变化规律；故障类型判别和故障选相。				
作业、讨论题、思考题： 3.21 3.24				
课后小结： 重点理解电力系统振荡对距离保护的影响，并掌握故障选相的方法。				
下节课预习重点 第三章 3.7 距离保护特殊问题的分析 3.8 工频故障分量距离保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>在前一节课的内容已经学习了距离保护的原理，整定计算、灵敏度校验和保护评价，电力系统在实际的运行中，受到环境、运行维护、组成器件本身质量等多种因素的影响，对每一种保护的实现都会产生不利的因素，那么电力系统运行过程中影响距离保护的因素有哪些？他们分别会产生怎么的影响，针对这些影响因素，我们应该采取何种措施去将这些影响因素降到最低呢？这就是本节课我们要学习讨论的。</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，通过实例分析讨论，画图演示、精讲多练等多种方式突出教学重点；</p>
10M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>电网振荡实例引入： 2005年9月1日18点53分至21点12分发生了三次蒙西电网机组对主网的低频振荡。前两次振荡自行平息，第三次振荡有逐渐加大的趋势，万家寨电站#1机、#3机相继跳闸，蒙西电网机组对主网的振荡平息。通过实例分析引出电力系统振荡的概念。</p> <p>一、电力系统振对距离保护的影响</p> <p>1、电力系统振荡的定义：</p> <p>振荡现象： 并联运行的同步发电机之间出现功角大范围周期性变化的现象，称为振荡。</p> <div data-bbox="603 1429 831 1736" data-label="Diagram"> </div> <p>振荡产生原因： 系统故障、线路无故障跳闸、系统突然失去大容量的负荷和发电机等大的扰动都有可能引起系统振荡。振荡的根本原因是系统有功不平衡或系统静稳极限不足，导致发电机功角周期性变化。</p> <p>振荡表现形式： 衰减振荡，系统失去同步。两者的不同表现</p>	

在振荡功角的变化范围和变化周期。

振荡表现形式：

形式一：衰减振荡，机组间功角变化幅度逐渐减小，最后振荡平息。

形式二：系统失去同步，机组间功角在 0-360 度之间作周期性变化。

两者的不同表现在振荡时功角的变化范围和变化周期。

两者的共同点在于功角均近似的作周期性变化

电力系统振荡对保护的影响

10M

电力系统振荡时，会引起系统各个点的电流、电压、测量阻抗、功率等的大范围、周期性变化。一旦保护安装处的上述各电气量满足保护动作条件，有可能引起保护动作。

振荡闭锁：

由于振荡本身只是一种不正常运行状态，而非故障。因此一般靠电力系统自动装置如励磁调节、调速、PSS 等的调节，可以使系统恢复同步运行。因而振荡时，不希望保护无计划动作导致切除重要联络线，这可能使事故扩大，造成更为严重的事故。因此在系统振荡时，应采取措施防止保护误动，这种措施统称为振荡闭锁。

20M

2、分析电力系统振荡时，各物理量的变化规律；

电压、电流、测量阻抗变化规律

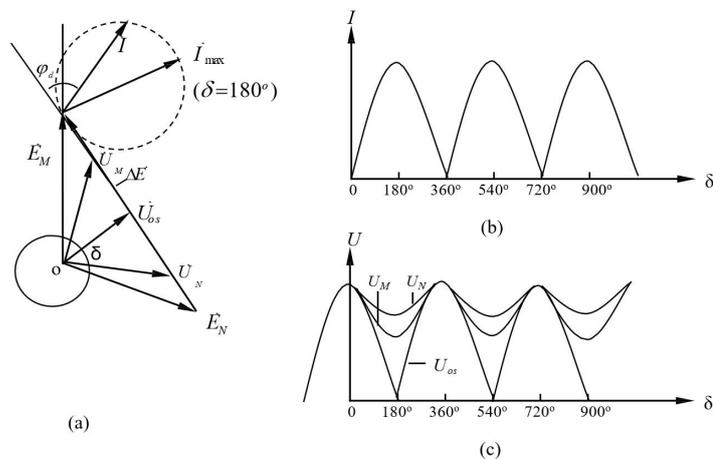


图 3-30 系统振荡时的电流和电压

(a) 相量图； (b) 电流有效值变化曲线； (c) 电压有效值变化曲线

10M

3、分析对不同特性阻抗继电器的影响；

若振荡中心在距离 I 段保护范围内，则在振荡中距离 I 段可能误动若振荡中心在距离 II 段保护范围内，则距离 II 段会否误动取决于振荡周期，正当频率越慢，越易引起误动距离 III 段一般靠动作延时可以躲过振荡影响（振荡周期一般在 0.1-1.5s 之间）

振荡中心不在保护范围内，则不会引起保护误动保护动作区形状不同，受振荡影响的程度不同

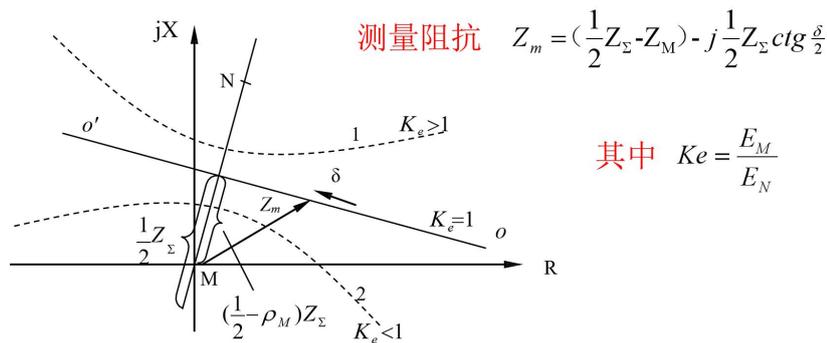


图 3-31 测量阻抗的变化轨迹

10M

4、提出解决措施——振荡闭锁原理

系统发生全相或非全相振荡时，保护装置不应误动作，即单纯振荡要可靠闭锁保护。

系统在全相或非全相振荡过程中，被保护线路发生各种类型的不对称故障，保护装置应有选择性的跳闸，纵联保护仍应快速动作。

系统在全相振荡过程中又发生三相故障时，保护装置应可靠动作，并允许带一定延时。

二、故障类型判别和故障选相

故障类型（短路）：

- 1、相间短路——三相短路、两相短路
- 2、接地短路——单相接地、两相接地短路

故障选相思路：

选相元件通过分析各种不同类型故障时保护安装处电流、电压的大小，相位等关系判别故障相。目前常用的选相元件，有电流选相元件，电压选相元件和阻抗选相元件。

20M

5M	<p>板书设计：</p> <p>A、以讲课内容的大标题为主线，分层次进行板书设计；</p> <p>B、文图布置均要合理；</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>1、接地电阻对距离保护的影响。</p> <p>2、电压闭锁、振荡闭锁 课堂交流 误动、拒动？</p> <p>教学反思：</p> <p>通过该课次的讲授，使学生通过实例分析直观感受电力系统振荡给电力系统带来的影响，通过理论的讲解使其掌握影响距离保护正确工作的五个主要因素，如过渡电阻、电力系统振荡、电网结构、互感器误差、串补电容器等，并使学生在理解其影响因素的基础上能够采取相应的措施或方法消除其对距离保护的影响。在讲解时候针对距离保护和电流保护相同的原理部分，可以让学生对比进行学习记忆。</p> <p>同时在授课的过程中，可以让学生进行分组讨论，一起来探讨电力系统运行的因素对距离保护的影响。</p> <p>课程思政融入点：通过对振荡实例的分析，告诉同学们要对科学有严谨求实的态度，不仅要知其然更要知其所以然，才能在实际中遇到问题的时候能够针对性的分析问题和解决问题。知识就是最有利的武器，同时科学技术的进步是推动继电保护装置发展的重要力量，给电力系统的生产方式带来了深刻的变革，未来继电保护的发展必将紧跟科技创新的步伐，同时推动科学技术不断创新发展也是发展社会主义事业的必然要求，激发学生的责任感和自信心。</p>	
----	--	--

《电力系统继电保护》教 案

课时间	电气工程及其自动化 (专升本) 22-5: 第七周 (4.8) 周六, 第 3、4 节 J1-206 (专升本) 22-6: 第八周, (4.12) 周三, 第 3、4 节 J3-414	课次	第 11 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目 (教学章、节或主题):				
第三章: 电网距离保护 3.7 距离保护特殊问题的分析 3.8 工频故障分量距离保护				
教学目的与要求:				
距离保护特殊问题的分析, 工频故障分量距离保护				
教学重点及难点:				
重点: 短路点过渡电阻对距离保护的影响; 工频故障分量距离保护				
难点: 工频故障分量距离保护				
作业、讨论题、思考题: 3.31 3.32				
课后小结:				
本节课重点介绍过渡电阻对距离保护的影响, 在讲述过程中利用阻抗的相量图进行分析, 让学生理解更加深刻清晰。				
下节课预习重点				
第四章 输电线路的纵联保护				
4.1 输电线路纵联保护概述				
4.2 输电线路纵联保护两侧信息的交换				
参考文献:				
1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》, 中国电力出版社, 2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》, 中国电力出版社, 2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》, 中国电力出版社, 2010 年				

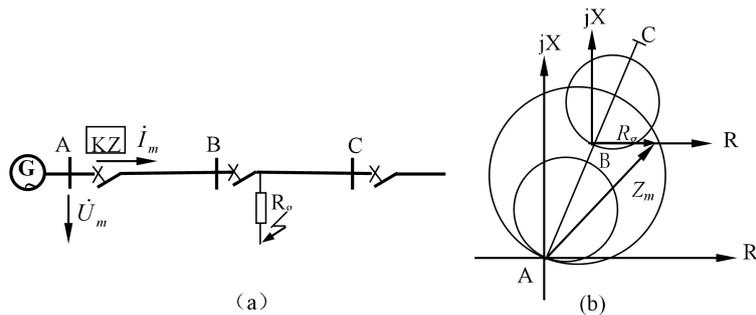


图 3-40 单侧电源线路过渡电阻的影

(a) 系统示意图; (b) 对不同安装地点的距离保护的

保护安装处测量阻抗为

$$\dot{U}_m = \dot{I}_m Z_m = \dot{I}_m (Z_k + R_g)$$

单侧电源线路上，过渡电阻的存在总是使测量阻抗值增大，从而缩小了保护范围。不存在稳态超越。

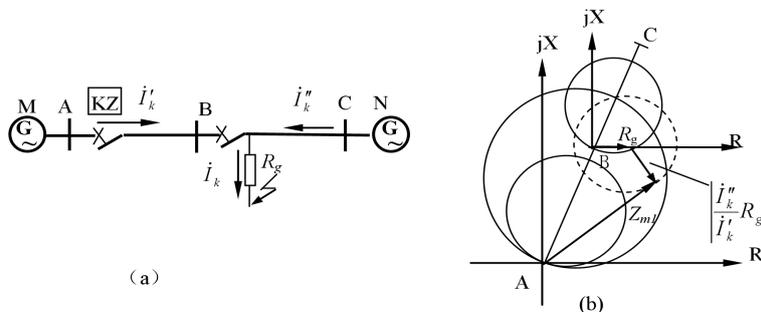


图 3-41 双侧电源线路过渡电阻的影响

(a) 系统示意图; (b) 对不同安装地点的距离保护的影响

过渡电阻对阻抗元件的影响与阻抗元件动作特性有关。

整定阻抗越小，保护受过渡电阻影响越大。或者说过渡电阻对保护的影响与保护安装位置有关

一般情况下：保护动作特性沿 R 轴方向的范围越小，越易受过渡电阻的影响

30M

B: 故障点过渡电阻对双侧电源送电线路距离保护的影响;

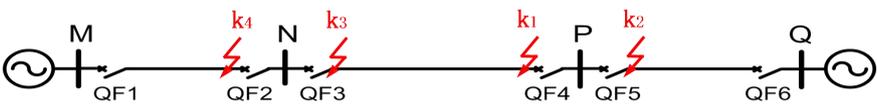
$$\begin{aligned} Z_m &= \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{\dot{I}'_k Z_k + (\dot{I}'_k + \dot{I}''_k) R_g}{\dot{I}'_k} \\ &= (Z_k + R_g) + \frac{\dot{I}''_k}{\dot{I}'_k} R_g \end{aligned}$$

当保护安装于送电端时， \dot{I}'_k 超前于 \dot{I}''_k ， $\frac{\dot{I}''_k}{\dot{I}'_k} R_g$ 具有容抗的性质。从相量图可知，这种情况可能使总的测量阻抗减小，从而使保护超范围动作。我们称这种因过渡电阻存在而使测量阻抗减

15M	<p>小，导致保护超范围动作的现象为距离保护稳态超越。</p> <p>当保护安装于受电端时，i_k' 滞后于 i_k''，$\frac{i_k''}{i_k'} R_s$ 具有阻抗的性质。从相量图可知，这种情况必然使总的测量阻抗增大，保护范围减小。所以受电端不会出现稳态超越问题</p> <p>C：防止过渡电阻对距离保护影响的措施</p> <p>选用合适的动作特性</p> <p>采用高阻接地距离算法</p> <p>利用电抗分量</p> <p>2、工频故障分量距离保护</p> <p>A：工频故障分量的概念</p> <p>B：工频故障分量距离保护的工作原理；</p> <p>C：工频故障分量距离保护的動作特性；</p> <p>D：工频故障分量距离保护的特点及应用。</p> <p>板书设计：</p> <p>1、以讲课内容的大标题为主线，分层次进行板书设计；</p> <p>2、文图布置均要合理；</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>1、短路点过渡电阻对距离保护的影响；</p> <p>2、工频故障分量距离保护。</p>	
5M	<p>教学反思：</p> <p>教学设计时将理论知识与生活实例、工程实践相结合，激发学生的学习兴趣；讲授过程中注意与学生的互动，贯彻启发式教学，以传统教学法和多媒体技术相结合，利用动画的形式辅助学生的学习。</p> <p>课程思政融入点：建立师生共建课堂，通过对过渡阻抗的讲解和分析，让学生体会到透过现象看本质的重要性，应帮助学生建立唯物辩证法的发展观，引导学生学习从事物的发生、发展规律去探究问题的本质，同时引导学生采用方法论，独立自主的思考，科学地分析并解决问题。</p>	

《电力系统继电保护》教 案

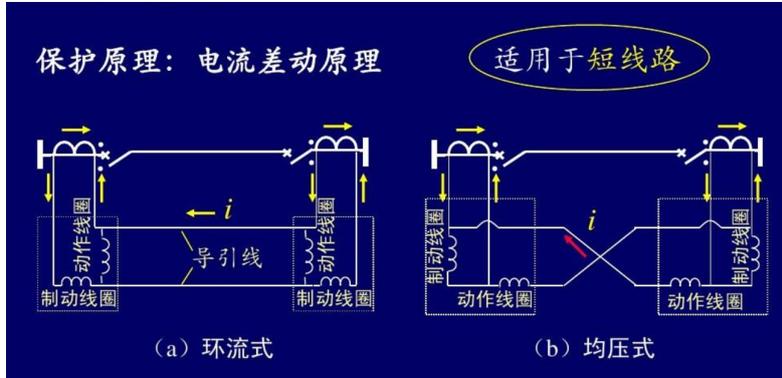
授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第八周（4.15） 周六，第3、4节 J1-206 （专升本）22-6：第八周，（4.15） 周六，第5、6节 J1-128	课次	第 12 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第四章 输电线路的纵联保护 4.1 输电线路纵联保护概述；4.2 输电线路纵联保护两侧信息的交换				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生理解单端保护的缺陷，进而引入双端保护的概念。 即纵联差动保护的基本概念、基本原理。				
教学重点及难点： 重点：纵联差动保护的基本概念与基本原理； 难点：纵联差动保护的不平衡电流引入原因及在纵差差动保护中的应用。				
作业、讨论题、思考题：4.1				
课后小结：本次课程重点讲解了纵联差动保护的基本概念与基本原理；并通过对线路中影响故障电流的因素，造成的纵联差动保护的不平衡电流，进一步细化在实际纵差差动保护中的判据。				
下节课预习重点 第四章 4.3 方向比较式纵联保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010年				

课时分配	教学内容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>通过给学生观看继电保护工作者在乌东德超高压直流输电示范工程中，解决“卡脖子”技术难题，创造世界第一的案例视频，引入教学内容；在前面的几点保护学习中，以电流保护和距离保护为例，都是单侧电源的保护。简单复习单侧电源的电流保护和距离保护的原理及整定原则和保护评价。</p> <p>我们对于双侧电源的系统我们应该配置怎样的保护来保证电力系统的一个正常运行呢？这是我们本章需要解决的问题。</p> <p>单侧量保护的不足 如何改进？</p>  <p>对于k₁、k₂故障，保护3不能区分，保护4可以区分。 对于k₃、k₄故障，保护4不能区分，保护3可以区分。 线路两侧得到的信息具有互补的效果。 可以综合线路两侧信息来区分线路内、外部故障。</p> <p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>一、单端保护存在的缺点</p> <p>1、从高压双侧电源入手分析要求保护能够全线无时限切除任何短路故障的基础上，总结出单端保护存在的问题。</p> <p>（一）高压输电线路对保护的要求</p> <p>高压输电线路故障的快速切除，对于维持同步稳定，防止元件故障发展为系统事故具有特殊意义。</p> <p>（二）反映单端电气量保护的不足</p> <p>距离、电流保护等反映单端电气量的保护无法识别线路末端、对侧母线、下级线路出口故障。因而无法实现全线速动，其根本原因是其动作判据本身不具备绝对的选择性。</p> <p>（三）电气元件故障时两端电气量的特征分析</p>	教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过视频播放进行思政导入并分析设计理论知识、课堂讲解采用举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；
5M		

10M	所选电气量	区内故障特征	区外或正常运行时特征	保护原理
	功率方向	均指向被保护元件	一端指向被保护元件反方向	纵联方向
	电流	$i_1 + i_2 = i_F$	$i_1 + i_2 = 0$	纵联电流差动
	电流相位	相差 180	接近同相	纵联电流相位差动
	测量阻抗	正向二段内	一端反向	纵联距离
10M	<p>1、引入双端保护概念。</p> <p>双端保护：实现被保护元件两端电气量的采集处理。计算本端的电气量信息，如：电流，功率方向，电流相位，故障距离等。</p> <p>通信设备：将上述信息发送至对端的保护设备，同时接收对端保护发送的信息并送至本端保护单元。</p> <p>通信信道：信息传输的媒介</p>			
20M	<p>二、讲解纵联差动保护的基本概念</p>			
10M	<p>1、定义；</p> <p>2、接线结构；</p> <p>3、原理分析；</p> <p>4、纵差保护对电流互感器极性的要求；</p> <p>5、纵联差动保护整定计算问题；</p> <p>三、输电线路纵联保护两侧信息的交换</p> <p>了解引导线、电力线载波、微波、光纤通信的方式、构成、特点。</p> <p>思考题：通道传输的信号种类、通道的工作方式有哪些？</p>			

1、导引线通信：

将线路两端电流互感器二次电流直接通过专门铺设的导引线传送至对端保护二次回路，成为导引线纵联保护。



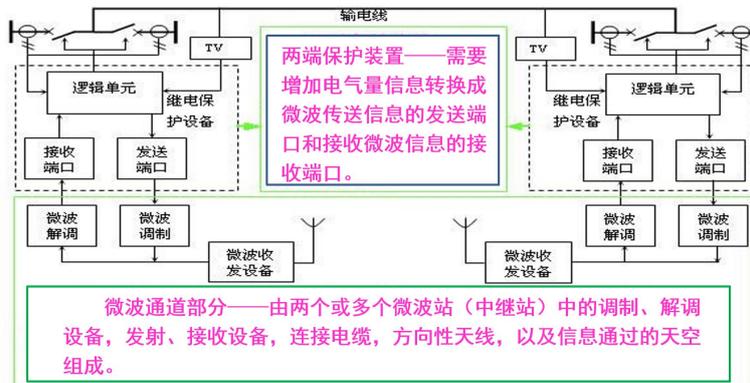
特点：

信息无须加工，直接传送至对端，因而基本不存在同步问题
保护原理一般采用电流差动原理，故也称导引线差动保护。

简单可靠，不受系统运行方式影响，不受振荡影响

2、电力线载波通信：

采用输电线路本身作为信息传输媒介，在传输电能的同时完成两端信息的交换。

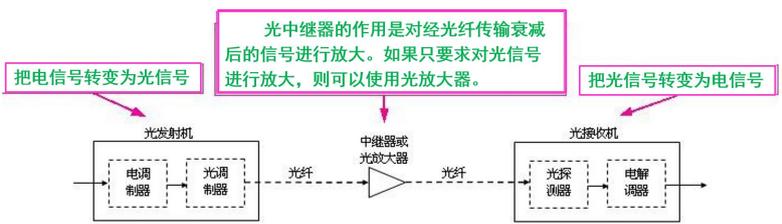


电力线载波通道特点：

工作带宽窄：50-400kHz。过低易受工频干扰，过高衰耗大
无中继通信距离长。可达几百公里。

经济方便，无须铺设其他信道，可与输电线路同步建设。

通信速率低，仅适合传送逻辑信号。因而适合于纵联方向、纵联距离、纵联相差动保护。

	<p>正常有高频电流方式（长期发信方式）</p> <p>正常无高频电流方式（故障启动发信方式）</p> <p>移频方式</p> <p>3、无线微波通道</p> <p>微波纵联保护的特点：</p> <p>通信通道独立于输电线路，通道的检修不影响输电线路运行。同时，输电线路的任何故障都不会使通道工作破坏，可以传送内部故障时的允许信号和跳闸信号。</p> <p>通信频带宽，300-30000MHz，传输速度快可以实现纵联电流分相差动保护。</p> <p>受外界干扰的影响小，工业、雷电等干扰的频谱基本上不在微波频段内，通信误码率低，可靠性高。</p> <p>传输距离有限，需加微波中继站，通道价格较贵。</p>	
10M	<p>4、光纤通信</p>  <p>光中继器的作用是对经光纤传输衰减后的信号进行放大。如果只要求对光信号进行放大，则可以使用光放大器。</p> <p>把电信号转变为光信号</p> <p>把光信号转变为电信号</p> <p>光纤通信的特点</p> <p>通信容量大。目前一对光纤一般可通过几百路到几千路。</p> <p>可以节约大量金属材料，光纤通信的经济性佳。</p> <p>光纤通信还有保密性好，敷设方便，不怕雷击，不受外界电磁干扰，抗腐蚀和不怕潮等优点。</p> <p>光纤最重要的特性之一是无感应性能，因此利用光纤可以构成无电磁感应的和极为可靠的通道。</p> <p>通信距离有限，一般超过 100km 需加装中继。</p> <p>光纤通道将成为未来电网的主要通信方式</p> <p>板书设计：</p> <p>配合若干电力系统简单的双端供电电源网络图加以讲授。文图布置均要合理。</p>	
5M	<p>第三阶段：课程小结</p>	

通过本次课的讲解，使学生理解单端保护的缺陷，进而引入双端保护的概念。即纵联差动保护的基本概念、基本原理。

并重点讲解纵联保护两侧信息量的交换四种通道。

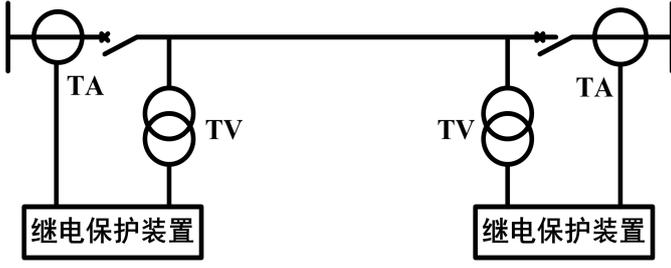
教学反思

教学通过实例引出继电保护的新篇章——纵联保护。同时通过板书，简单总结在双侧电源供电情况下不同区域发生短路故障的时候不同故障参量的特点，引出纵联保护的原理。让学生通过对故障现象的分析，在利用前述学习无法解决当下新情况的问题时，能够引发学生主动探索的兴趣和知难而上的勇气。

课程思政融入点：大家想想在电力系统运行中，长时间的过负荷、绝缘受损运行，都是量变的积累，量变也会引起质变。短路故障随时都可以发生的。同学们未来都是电力行业的精英，我们要从现在学好专业知识，从点点滴滴做起，为今后工作，积累必要专业知识基础。在工作中做好每一个环节。对电力系统的故障要有未雨绸缪，要有安全责任意识，保证电力系统正常运行，为国民经济发展保驾护航。

《电力系统继电保护》教案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第九周，（4.22） 周六，第3、4节 J1-206 （专升本）22-6：第九周，（4.22） 周六，第5、6节 J1-128	课次	第13次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第四章 输电线路纵联保护 4.3 方向比较式纵联保护				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生理解纵联差动保护存在的问题，进而引入方向比较式纵联保护的概念。要求学生掌握方向比较式纵联保护的基本概念、基本原理，并且理解方向比较式纵联保护在实际应用时与理论上存在的不同点。				
教学重点及难点： 重点：方向比较式纵联保护的基本概念与基本原理； 难点：方向比较式纵联保护				
作业、讨论题、思考题： 4.2				
课后小结： 通过对输电线路长距离输电造成纵联差动保护不适用的原因分析，引入方向比较式纵联保护概念及分类。				
下节课预习重点 第四章输电线路纵联保护 4.4 纵联电流差动保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010年				

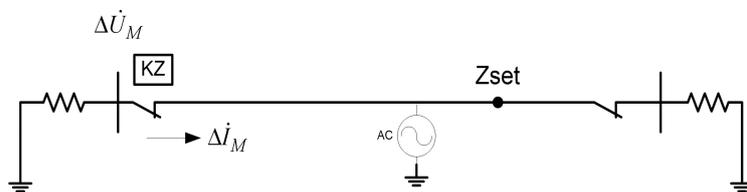
课时分配	教 学 内 容	方法及手段
10M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>回顾纵联保护概念，利用通信通道将线路两端的保护装置纵向联结起来，将两端电气量进行比较，判断故障在区内还是在区外，从而决定是否切断被保护线路。</p>  <p>让学生分析输电线路短路时两侧电气量的故障特征量，总结纵联保护的基本原理，在此基础上思考通道传输的信号种类、通道的工作方式有哪些？</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；</p>
10M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>一、讲解纵联纵动保护存在的缺点</p> <p>1、输电线路长距离输电造成纵联差动保护不适用的原因分析。</p> <p>2、引入方向比较式纵联保护概念及分类。</p>	
20M	<p>(一) 方向原理保护</p> <p>区内故障：两端保护均判别为正方向</p> <p>区外故障：至少有一端保护判别为反方向</p> <p>(二) 方向元件</p> <p>方向元件的基本原理</p> <p>利用电流、电压相位关系实现方向判别</p> <p>方向元件的基本要求</p> <p>正确反映所有类型故障时故障点的方向，无方向死区</p> <p>不受负荷影响，在正常负荷状态下不启动</p> <p>不受系统振荡影响，振荡无故障时不误动，振荡中再故障仍能正确判断方向</p>	

20M

非全相运行又发生故障时仍能正确判断故障方向

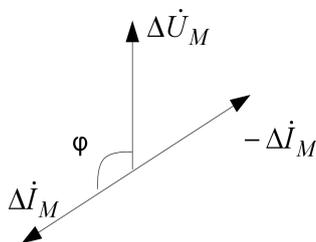
(三) 故障分量方向元件

正向故障



正向故障判据

$$270^\circ \geq \arg \frac{\Delta \dot{U}}{Z_{sys} \Delta \dot{I}} \geq 90^\circ$$



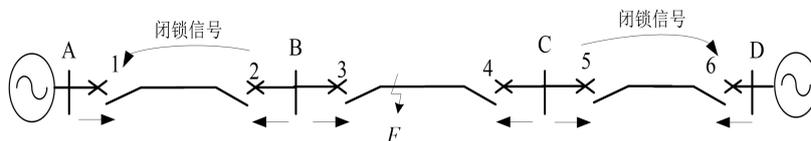
10M

二、讲解方向比较式纵联保护的基本概念

20M

三、方向比较式纵联保护原理

1、定义及其原理接线；



2、原理分析；

情景之一：正常运行无故障时

情景之二：区内故障时（图中线路 BC 两侧保护）

情景之三：区外故障时（图中线路 AB 或 CD 两侧保护）

3、方向比较式纵联保护的具本接线及性能分析；

板书设计：

配合电力系统简单的网络图以及该线路的高频保护方案的设计分析表格加以讲授。文图布置均要合理。

5M

第三阶段：课程小结

通过本次课的讲解，使学生理解纵联差动保护存在的问题，

	<p>进而引入方向比较式纵联保护的概念。通过对两侧短路功率方向分析，找到合适的高频保护方案。明确保护发信条件和启动条件。</p> <p>要求学生掌握方向比较式纵联保护的基本概念、基本原理，并且理解方向比较式纵联保护在实际应用时与理论上存在的不同点。</p> <p>教学反思：在讲授本节课之前要和学生共同回顾高频保护的原理，明确在方向性纵联保护的配置中需要进行哪些信号选择。即需要进行高频通道工作方式的选择和高频信号类型的选择。板书设计要结合功率方向的判断分析进行总结，让学生抓住重点原理。</p> <p>课程思政融入点：电气工程及其自动化专业培养目标不仅侧重工程实际的人才培养，而且做到“与思想政治理论课同向同行，形成协同效应”，培养出政治够硬、素质够高、专业够强的综合性人才。作为该专业毕业生以后从事电力行业，要有敬业精神，胡杨精神。干一行爱一行要有无私奉献的精神。在电力行业能够脚踏实地的工作学习，要养成在工作中即有成就感和幸福感。</p>	
--	--	--

《电力系统继电保护》教案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第十周，（4.29） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第十周，（4.29） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 14 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第四章 输电线路纵联保护 4.4 纵联电流差动保护				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生理解纵联电流差动保护的概念、基本原理。要求学生理解纵联电流差动保护在实际应用时与理论上存在的不同点。				
教学重点及难点： 重点：纵联电流差动保护的基本概念与基本原理； 难点：纵联电流差动保护基本原理				
作业、讨论题、思考题：4.18				
课后小结：利用线路两侧电流相量和的差异来区分线路的故障状态，形成新的差动保护——纵联电流差动保护。在理论讲授的同时让学生明白继电保护新原理的诞生是一代代继保人不断创新探索的结果，要学会传承这种登峰的精神。				
下节课预习重点 第五章 自动重合闸 5.1 自动重合闸的作用及对它的基本要求 5.2 输电线路的三相一次自动重合闸				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>1、方向比较式纵联差动保护原理复习</p> <p>2、通过复习上节课学习的方向比较式纵联差动保护可以知道我们在此保护中所采用区分线路故障差异的电气量时两侧电源的功率方向。那么是否还可以利用其他的电气参量来进行故障的区分呢？这节课呢我们就来学习利用线路两侧电流相量和的差异来区分线路的故障状态，形成新的差动保护——纵联电流差动保护。</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；</p>
20M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>一、讲解纵联差动保护的基本概念</p> <p>1、定义；</p> <p>电流差动保护原理建立在基尔霍夫电流定律的基础之上，它具有良好的选择性，能灵敏地，快速地切除保护区内的故障，被广泛地应用在能够方便地取得被保护元件两端电流的发电机保护、变压器保护、大型电动机保护中，输电线路的电流纵联差动保护是该原理应用的一个特例。</p> <p>2、接线结构；</p> <div data-bbox="405 1413 1198 1630" data-label="Diagram"> </div> <p>3、原理分析；</p> <p>定义差动电流：$I_d = I_M + I_N$</p> <p>理想情况下：</p> <p>区内短路时：$I_d = I_k$</p> <p>正常运行或外部短路：$I_d = 0$</p> <p>若正常运行或外部短路时若 $I_d \neq 0$，则称该电流为不平衡电流</p>	

20M

—— I_{unb}

故电流差动保护的判据:

$$I_d = |I_M + I_N| \geq I_{set}$$

3、纵差保护对电流互感器极性的要求;

流过差动继电器的电流是电流互感器的二次侧电流, 由于两个电流互感器总是具有励磁电流, 且励磁特性不会完全相同, 所以在正常运行及外部故障时, 流过差动继电器的电流不等于零, 此电流称为不平衡电流。考虑励磁电流的影响, 二次侧电流的数值应为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_m &= \frac{1}{n_{TA}} (\dot{I}_M - \dot{I}_{\mu M}) \\ \dot{I}_n &= \frac{1}{n_{TA}} (\dot{I}_N - \dot{I}_{\mu N}) \end{aligned} \right\}$$

二、纵联电流相位差动保护的工作原理

1、纵联电流相位差动保护的工作原理;

电流差动的主要问题:

- (1) 数据同步
- (2) 传输数据量大, 对通道要求高
- (3) 易受互感器饱和的影响

纵联电流相位差动保护在以上几方面具有优势

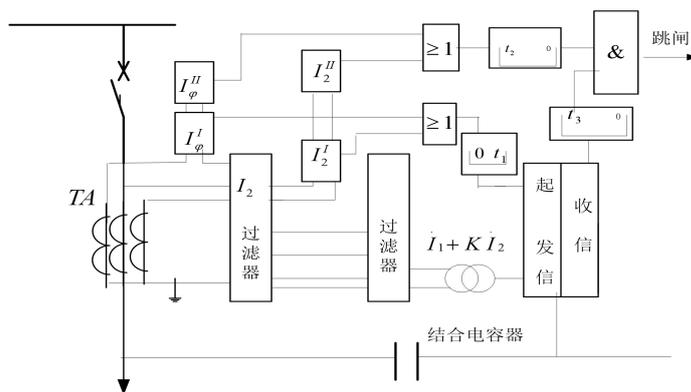
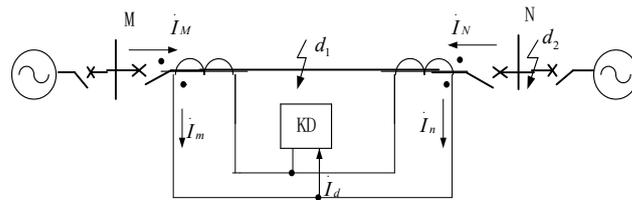
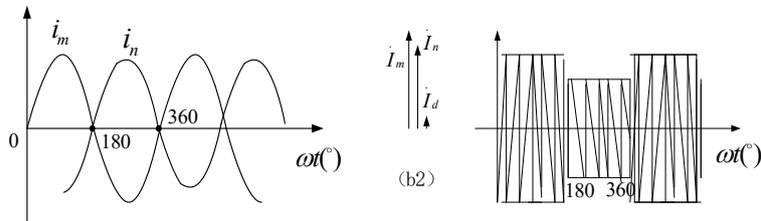


图4-23 闭锁式电流相位纵联差动保护的原理框图

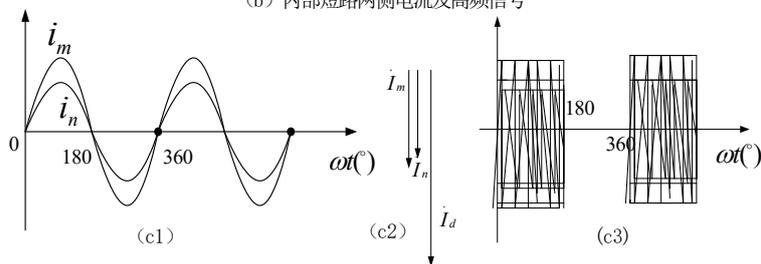


(a) 原理示意图



(b1)

(b) 内部短路两侧电流及高频信号



(c1)

(c2)

(c3)

(c) 外部短路两侧电流及高频信号

图4-19 电流纵联差动保护内、外部短路示意图

20M

(三) 动作特性

区外故障时，两端接收到的高频信号相位差分析

两端电势相位不同。在极端情况下，有可能达到 70 度相位差。假设 M 端超前 N 端 70 度。

两端系统阻抗角不同。M 侧系统阻抗角取 60 度，N 侧系统阻抗角取 90 度。则上述故障两端电流相位差 100 度。

测量误差。互感器角度误差 7 度，保护装置测量 15 度
信号延迟引起的相位差

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_{\text{功角}} + \delta_{\text{阻抗角}} + \delta_{\text{LH}} + \delta_{\text{BH}} + \frac{l}{100} \times 6^\circ \\ &= 122^\circ + \frac{l}{100} \times 6^\circ \end{aligned}$$

区内故障时，两端接收到的高频信号相位差分析电流为穿越性质，相差 180 度。与两端电势系统阻抗无关测量误差。互感器角度误差 7 度，保护装置测量 15 度 信号延迟引起的相位差。

$$\delta_b = \delta_{LH} + \delta_{BH} + \frac{l}{100} \times 6^\circ + \delta_y$$

$$= 22^\circ + \frac{l}{100} \times 6^\circ + \delta_y$$

可见实际外部故障时，两端电流相位并非严格的反相。

闭锁角的整定：由于区外故障时，两端电流相位并非完全反相。所以时间元件 t_3 不能整定过短。

整定 t_3 的原则：保证区外故障不误动。

从而

相继动作：

$$t_3 = \frac{\delta_b}{360} * 20 \text{ ms}$$

对于长线路，内部故障时，超前侧保护测得电流相位差可能满足下式，导致保护不动作。

$$122^\circ + \frac{l}{100} \times 6^\circ > 180^\circ - \delta_b$$

但同一情况下，滞后侧测得的电流相位差为

$$122^\circ - \frac{l}{100} \times 6^\circ < 180^\circ - \delta_b$$

因而滞后侧必然可以动作。

措施：相继动作。

2、纵联差动保护整定计算问题；

操作电流的选取可以反映各种故障类型

有足够的灵敏度

通常操作电流选取

$$I_1 + KI_2$$

3、影响纵联电流差动保护正确动作的因素。

(一) 影响因素之一：分布电容电流

分布电容电流的存在，破坏了差动保护的基本原理。可能引

$$\delta = 180^\circ \pm (\delta_{LH} + \delta_{BH} + \frac{l}{100} \times 6^\circ)$$

$$= 180^\circ \pm (22^\circ + \frac{l}{100} \times 6^\circ)$$

起保护误动，特别是对于超高压长线路，电容电流的影响更为严

15M

<p>5M</p>	<p>重。</p> <p>解决措施：</p> <p>电容电流补偿，提高动作门槛，躲开电容电流影响，但降低了灵敏度延时躲过暂态电容电流。</p> <p>（二）影响因素之二：电流互感器误差和不平衡电流</p> <p>差动保护原理是建立在对一次系统的分析基础上的，但保护所采用的电流信号是互感器的二次输出信号。二次信号和一次信号之间的传变误差，导致了不平衡电流的出现。</p> <p>不平衡电流对所有电流差动原理保护都有影响。</p> <p>解决措施</p> <p>采用性能优良的互感器；提高动作门槛；采用制动特性</p> <p>（三）影响因素之三：负荷电流</p> <p>重载线路发生高阻接地故障时，故障电流不大，穿越性的负荷电流成为制动的主要因素。可能引起保护拒动。</p> <p>解决措施：</p> <p>故障分量差动保护：</p> $ \Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n = \dot{I}_m + \dot{I}_n > K \Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n $ <p>差动电流：</p> $ \Delta \dot{I}_m + \Delta \dot{I}_n = \dot{I}_m + \dot{I}_n $ <p>制动电流：</p> $ \Delta \dot{I}_m - \Delta \dot{I}_n $ <p>通过讲解引导学生要牢固掌握好纵联差动保护出现的原因和主要优点，分析为什么纵联差动保护理论上可以保护线路的全长。纵联差动保护建立信息传递通道的主要原因是信息比较的两端位于被保护线路两侧，需要对被保护线路全范围覆盖，因此建立合理的信息传递通道非常重要。组织同学们分组讨论：闭锁式方向保护的主要原因是为了防止信息通道的破坏影响信息传递，这一点是如何做到的？对于不平衡电流对于纵联差动保护的影响一般采用带有制动特性的差动保护进行处理。</p> <p>板书设计：</p>	
-----------	---	--

5M	<p>配合若干电力系统简单的网络图以及双侧系统的电流相量图加以讲授。文图布置均要合理。</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、纵联电流差动保护 2、纵联电流相位差动保护 <p>教学反思：</p> <p>本节课重点讲解纵联电流差动保护，该保护原理的理论性较强，重点让学生理解记忆其原理，关键在于会应用“和相量”去判断区分区外和区内的故障。同时要让学生们知道在面对困难的时候并不止只有一种方法，只要找对新的故障参量就可以形成一项新的保护，在科学探索的路上永无止境。</p> <p>课程思政融入点：</p> <p>带领同学们回顾学过的电流保护、距离保护和纵联保护等一系列的继电保护原理，说明不同原理继电保护装置的创新历程反映出了每一项继电保护新技术从方案提出到实际的应用，是一个坎坷的过程，需要硬件的支持、需要软件的支持，需要经过成百上千次仿真、实验，鼓励学生学习继电保护工作者不畏艰难、一丝不苟、自主创新的工匠精神，和投身奉献社会的无私精神。</p>	
----	---	--

《电力系统继电保护》教案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第十一周，（5.6） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第十一周，（5.6） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 15 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第五章 自动重合闸 5.1 自动重合闸的作用及对它的基本要求 5.2 输电线路的三相一次自动重合闸				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生掌握输电线路自动重合闸的基本概念，使学生掌握自动重合闸装置对提高输电线路供电可靠性的优点体现，掌握线路三相一次自动重合闸的定义及实现技术手段。				
教学重点及难点： 重点：输电线路的故障分类，特别是对暂时性故障的理解，重点掌握自动重合闸的启动原则及原理。 难点：三相一次重合闸装置的结构，尤其是如何保证三相一次重合闸只发一次重合闸脉冲的技术关键。				
作业、讨论题、思考题：5.1 5.2				
课后小结：在讲授输电线路的故障分类时，特别是对暂时性故障永久切除造成的影响比较广泛，可以多举几个实例，重点让学生掌握自动重合闸的启动原则及原理。				
下节课预习重点 第五章 自动重合闸 5.3 高压输电线路的单相自动重合闸 5.4 高压输电线路的综合重合闸简介				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>什么是自动重合闸？顾名思义自动重合闸是在断路器因故障跳开后按需要自动投入的自动装置。</p> <p>继电保护的作用是反映电力故障并有选择性跳闸来切除故障，继电保护中为什么会提出自动重合闸呢？</p> <p>引导学生进行讨论：</p> <p>1、电力线路出现故障后的处理办法？</p> <p>2、监测和保护都反映有故障，巡检无故障？</p>	教 学 方 法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，
10M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>一、线路故障的分类：</p> <p>1、瞬时性故障；</p> <p>2、永久性故障；</p> <p>3、两种故障的主要区别；</p>	通 过 分 析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；
5M	<p>二、自动重合闸装置的基本概念；</p> <p>1、定义；</p> <p>2、自动重合闸装置的作用；</p> <p>自动重合闸的作用</p> <p>优点：</p>	
10M	<p>大大提高供电可靠性，减少停电次数。对单侧电源系统效果尤为明显</p> <p>在高压线路上采用重合闸，可以提高电力系统并列运行稳定性</p> <p>对断路器由于机构不良或保护误动引起的误跳闸，可以其纠正作用</p> <p>缺点：</p>	
15M	<p>重合于永久故障，可能使电力系统遭受二次冲击，使断路器工作条件恶化。</p> <p>3、讲解电力系统对自动重合闸装置的要求；</p>	

10M	<p>重合闸成功率</p> $\text{重合闸成功率} = \frac{\text{重合闸动作恢复供电的次数}}{\text{重合闸总动作次数}}$ <p>重合闸正确动作率</p> $\text{重合闸正确率} = \frac{\text{重合闸正确动作次数}}{\text{重合闸总动作次数}}$ <p>4、重点讲授自动重合闸的启动原则：</p> <p>(一) 不允许重合的情况</p> <p>运行人员手动或遥控分闸操作时。</p> <p>手动合闸时，如果线路上存在故障，保护跳闸，则不允许重合。 断路器不正常不允许重合</p> <p>基于以上原因，重合闸启动应优先采用不对应启动原则</p> <p>(二) 其他原因（保护跳闸、机构不良导致的偷跳）导致的断路器跳闸，均应进行重合</p> <p>(三) 重合闸动作次数应符合预先的设定。（单次重合或多次重合）</p> <p>(四) 支持自动复归和手动复归</p> <p>(五) 重合闸动作时间应能整定（调整）</p> <p>(六) 双侧电源线路上实现重合闸时，应具备同步检定功能</p> <p>重合闸方式的选择原则：</p> <p>总原则： 在满足系统稳定要求的前提下，尽量简化重合闸</p> <p>一般没有特殊要求的单电源线路，宜采用一般的三相重合闸。</p> <p>凡是选用简单的三相重合闸能满足要求的线路，都应当选用三相重合闸。</p> <p>当发生单相接地短路时，如果使用三相重合闸不能满足稳定要求，会出现大面积停电或重要用户停电，应当选用单相或综合重合闸。</p>	
5M	<p>5、按三种分类原则，对自动重合闸进行分类：</p> <p>三相重合闸： 不论故障类型如何，故障后均跳开三相开关，然后重合，重合不成功，跳开三相。</p>	

15M

单相重合闸：单相接地故障，只跳开故障相，然后单相重合，重合不成功，跳开三相。相间故障不重合。

综合重合闸：单相接地故障，只跳开故障相，然后单相重合，重合不成功，跳开三相；相间故障跳开三相，然后三相重合，重合不成功，跳开三相。

实现单重和综重，要求装置具有选相能力。

三、单侧电源送电线路三相一次重合闸

1、定义

(一) 工作方式：

断路器由于保护动作或开关偷跳原因跳闸时，重合闸启动，经预定延时发出合闸脉冲，将断路器重合。若合闸后，故障已消失，则线路继续运行；若合闸后，故障仍存在，则保护再次动作跳开三相。

(二) 单侧电源三相一次重合闸的特点

单侧电源无需考虑同期问题，故而实现简单。

无需考虑故障类型

1、原理接线；

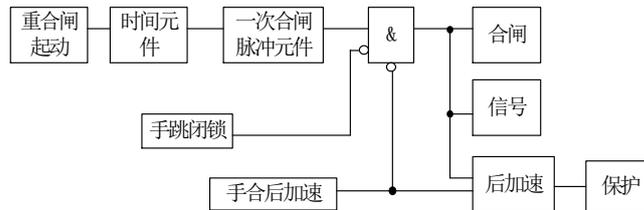


图5-1 三相一次重合闸逻辑框图

2、动作性况分析；

(三) 各组成部分功能分析

重合闸启动：当断路器由继电保护动作跳闸或其它非手动原因而跳闸后，重合闸均应启动。一般采用不对应启动重合闸时间元件：启动元件发出启动指令后，时间元件开始记时，达到预定的延时后，发出一个暂短的合闸脉冲命令。该延时时间可以整定。

一次合闸脉冲控制：当延时时间到后，它马上发出一个可以合闸脉冲命令，并且开始记时，准备重合闸的整组复归，复归时

10M

间一般为 15—25 秒

手动跳闸闭锁重合闸

重合闸加速回路

四、双侧电源线路重合闸

1、双侧电源送电线路重合闸的特点：

（一）双端电源三相一次重合闸的特点

同期合闸问题

故障点绝缘恢复问题

2、双侧电源送电线路重合闸的主要方式。

（一）快速重合闸

保护断开两侧断路器后在 0.5~0.6 秒内使之再次重合，在这样短的时间内，两侧电势角摆开不大，系统不可能失去同步，即使两侧电势角摆大了，冲击电流对电力元件、电力系统的冲击均在可以耐受范围内，线路重合后很快会拉入同步。

应用范围：

线路两侧都装有可以进行快速重合的断路器

线路两侧都装有全线速动的保护

重合瞬间输电元件中出现的冲击电流对电力元件、电力系统的冲击均在允许范围内。

（二）非同期重合闸

合闸时不考虑同期条件，靠系统自动拉入同步。

应用条件：

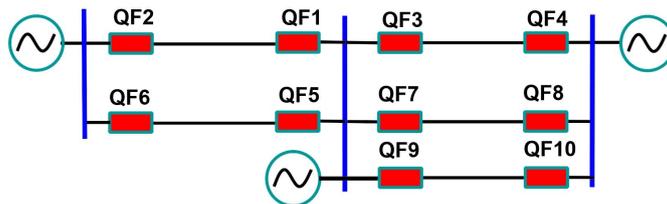
着重考虑重合瞬间对系统和设备的冲击要低于其耐受水平

（三）检同期重合闸

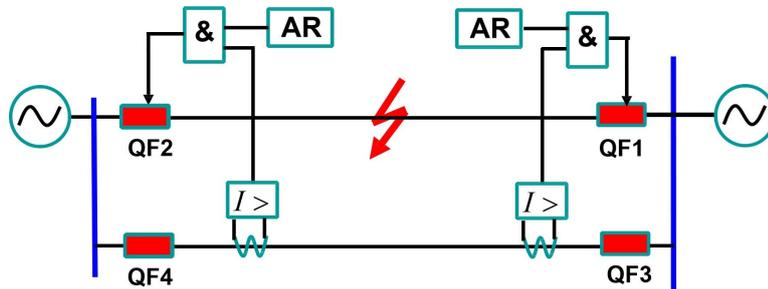
可适合任何场合。

检同期方法的替代方案：

（1）系统联系紧密，可以不检同期，直接重合



(2) 双回线路并联运行，用检测相邻线电流办法进行同期检测



板书设计：

配合讲授的重合闸类型进行板书，图文布置做到合理。

第三阶段：课程小结

- 1、什么是自动重合闸
- 2、自动重合闸配置的必要性
- 3、自动重合闸的基本要求
- 4、自动重合闸的分类
- 5、单侧电源送电线路三相一次重合闸
- 6、双侧电源线路重合闸

教学反思：

在教学设计中，引入学生讨论模式，同时做好教师的引导如在讲授自动重合闸的作用内容时，一方面，引入日常生活中打雷下雨时偶尔发生的电灯熄灭后又立刻点亮的现象，激发学生的兴趣，使他们带着思考进入下一步课程的学习，同时可以用加州大停电的例子说明事故发生的原因、过程和后果，进一步拓展自动重合闸对电力系统稳定运行的重要性。让学生意识到电力安全稳定运行是保障国计民生的重要支撑，教导学生端正学习和工作态度，增强其职业使命感和责任感。

课程思政融入点：讲授自动重合闸的作用章节内容时，引入日常生活中打雷下雨时偶尔发生的电灯熄灭后又立刻点亮的现象，激发学生的兴趣，使他们带着思考进入下一步课程的学习，并通过本节课程知识学习能正确解释电灯的闪烁现象，培养其透过表象认清事实本质的唯物主义辩证观。

5M

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>引入故障实例以 2021 年 2 月美国德州大停电事故为导出，介绍该事故的发生、发展过程及其后果，组织同学们讨论，同时复习上节课讲述的单相和双侧电源自动重合闸的原理，分类，在此基础上引入新的课程知识。</p>	教 学 方 法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，
15M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>5.3 高压输电线路单相重合闸</p> <p>1、单相自动重合闸与保护的配合关系；</p> <p>实现单相重合闸的技术保障：</p> <p>保护具有选相跳闸功能、断路器支持分相操作</p> <p>单相重合期间引起的技术问题：</p> <p>重合期间系统处于非全相运行，会出现零序和负序分量；非全相运行产生的零序和负序分量会引起的有关的保护误动。</p> <p>2、单相自动重合闸的特点；</p> <p>（一）故障相选择元件</p> <p>实现单相重合闸的前提是保护具有选相跳闸功能，断路器支持分相操作。</p> <p>选相跳闸要求保护在故障中，能够识别故障相别。</p> <p>选相基本原理：</p> <p>选相元件通过分析各种不同类型故障时保护安装处电流、电压的大小，相位等关系判别故障相。目前常用的选相元件，有电流选相元件，电压选相元件和阻抗选相元件。</p> <p>电流选相元件之一：相电流差突变量选相元件</p>	通 过 分 析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；
15M	<p>基本原理：</p> <p>1、接地故障和相间故障的判别：零序电流</p> <p>2、故障相别的判别：计算相电流差突变量，然后比较大小</p>	

20M	<p>1. 接地故障选相判据</p> $\begin{cases} m \Delta \dot{I}_{BC} \leq \Delta \dot{I}_{AB} \text{ 且 } m \Delta \dot{I}_{BC} \leq \Delta \dot{I}_{CA} \Rightarrow \text{A相} \\ m \Delta \dot{I}_{CA} \leq \Delta \dot{I}_{BC} \text{ 且 } m \Delta \dot{I}_{CA} \leq \Delta \dot{I}_{AB} \Rightarrow \text{B相} \\ m \Delta \dot{I}_{AB} \leq \Delta \dot{I}_{CA} \text{ 且 } m \Delta \dot{I}_{AB} \leq \Delta \dot{I}_{BC} \Rightarrow \text{C相} \end{cases}$ <p style="text-align: center; color: red;">否则判为两相接地故障</p> <p>2. 相间故障选相判据</p> $\begin{cases} m \Delta \dot{I}_C \leq \Delta \dot{I}_A \text{ 且 } m \Delta \dot{I}_C \leq \Delta \dot{I}_B \Rightarrow \text{AB相} \\ m \Delta \dot{I}_A \leq \Delta \dot{I}_B \text{ 且 } m \Delta \dot{I}_A \leq \Delta \dot{I}_C \Rightarrow \text{BC相} \\ m \Delta \dot{I}_B \leq \Delta \dot{I}_C \text{ 且 } m \Delta \dot{I}_B \leq \Delta \dot{I}_A \Rightarrow \text{CA相} \end{cases}$ <p style="text-align: center; color: red;">否则判为三相短路</p> <p>电流选相元件之一：相电流差突变量选相元件 电流选相元件之二：序分量选相元件 基本原理： 接地故障和相间故障的判别：零序电流 故障相别的判别：计算正序、负序、零序分量，然后进行相位比较</p> <p style="text-align: center; color: red;">单相接地</p> $\dot{I}_{1\varphi} = \dot{I}_{2\varphi} = \dot{I}_{0\varphi}$ <p style="text-align: center; color: red;">两相短路或两相短路接地：</p> $\arg \dot{I}_{1\varphi} = \arg(-\dot{I}_{2\varphi})$ <p>电压选相元件：利用故障后零序电压，对地电压、相间电压的大小实现选相 阻抗选相元件：利用 6 个阻抗元件的阻抗计算结果实现选相。阻抗元件本身具有选相能力，因为只有相应故障环路上的阻抗测量能反映故障阻抗。 一般来说，电流选相元件在大电源端效果好；电压选相元件在弱馈侧选相效果好；阻抗选相元件一般不单独使用，而是和距离保护配合使用。</p>	
15M	<p>3、输电线路自适应单相自动重合闸的特点； 常规重合闸的缺点：</p>	

15M	<p>不论故障性质（永久或瞬时），常规重合闸都进行重合，如果故障为永久性故障，则重合操作会给系统及电力设备造成二次冲击。</p> <p>单相自适应重合闸： 根据故障性质决定是否进行重合操作，若为瞬时故障，则重合；若为永久故障，则不重合。</p> <p>实现自适应重合闸的关键是如何识别故障是永久故障还是瞬时故障</p> <p>永久故障特征</p> <p>瞬时故障切除故障相后，故障相两端电压由电感耦合电压和电容耦合电压叠加构成</p> <p>永久故障切除故障相后，故障相只包含电感耦合电压</p> <p>利用这一特征可以构成永久故障识别判据。</p> <p>5.4 高压输电线路综合重合闸</p> <p>综合自动重合闸实现的基本原则</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、单相接地短路时跳开单相，然后进行单相重合，如重合不成功则跳开三相而不再进行重合。 2、各种相间短路时跳开三相，然后进行三相重合。如重合不成功，仍跳开三相，而不进行重合。 3、当选相元件拒绝动作时，应能跳开三相并进行三相重合。 4、对于非全相运行中可能误动作的保护，应进行可靠的闭锁；对于在单相接地时可能误动作的相间保护（如距离保护），应有防止单相接地误跳三相的措施。 5、当一相跳开后重合闸拒绝动作时，为防止线路长期出现非全相运行，应将其它两相自动断开。 6、任意两相的分相跳闸继电器动作后，应联跳第三相，使三相断路器均跳闸。 7、无论单相或三相重合闸，在重合不成功之后，均应考虑能加速切除三相，即实现重合闸后加速。 8、在非全相运行过程中，如又发生另一相或两相的故障，保护应能有选择性地予以切除，上述故障如发生在单相重合闸的 	
-----	---	--

5M	<p>脉冲发出以前，则在故障切除后能进行三相重合。如发生在重合闸脉冲发出以后，则切除三相不再进行重合。</p> <p>9、对空气断路器或液压传动的油断路器，当气压或液压低至不允许实现重合闸时，应将重合闸回路自动闭锁；但如果在重合闸过程中下降到低于运行值时，则应保证重合闸动作的完成。</p> <p>总结自动重合闸一章的重点内容。</p> <p>板书设计：</p> <p>配合高压输电线路单相自动重合闸和综合重合闸的相关内容加以讲授，文图布置做到合理。</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、高压输电线路的单相自动重合闸 2、高压输电线路的综合重合闸 <p>教学反思：</p> <p>高压输电线路的综合重合闸需要进行故障选相，重点让学生掌握相电流差突变量选相元件的原理，在此基础上了解综合自动重合闸实现的基本原则设立的依据，从而让学生对高压输电线路的综合重合闸这个复杂的系统性问题不再难于理解。</p> <p>课程思政融入点：以 2021 年 2 月美国德州大停电事故为导出，介绍该事故的发生、发展过程及其后果，进一步拓展介绍自动重合闸装置对保证电力系统安全稳定运行的重要性，让学生意识到电力安全稳定运行是保障国计民生的重要支撑，教导学生端正学习和工作态度，增强其职业使命感和责任感。</p>	
----	--	--

《电力系统继电保护》教案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第十三周，（5.20） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第十三周，（5.20） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 17 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第六章 电力变压器保护 6.1 电力变压器的故障类型和不正常工作状态 6.2 变压器纵差动保护				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生掌握电力变压器的故障、异常工作状态；电力变压器的纵差动保护				
教学重点及难点： 重点：电力变压器的故障、异常工作状态；电力变压器的纵差动保护。 难点：电力变压器的纵差动保护。				
作业、讨论题、思考题：6.1 6.3				
课后小结： 在课堂讲授中可以穿插变压器设备的工程故障实例，引出变压器保护的重要性。				
下节课预习重点 第六章 电力变压器保护 6.3 变压器的励磁涌流及鉴别方法 6.4 变压器相间短路的后备保护				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教学内容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>播放在生产中遇到的电力变压器事故的视频，同时视频直观演示让同学们认识到电力变压器是电力系统中不可缺少的一个重要的电气设备。变压器一旦发生故障将对供电的可靠性和系统安全运行带来严重的影响，同时大容量的电力变压器也是十分贵重的。因此应根据变压器容量等级和重要程度装设性能良好，动作可靠的继电保护装置。从而引出本节课的重点电力变压器的保护。</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；</p>
10M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>一、电力变压器的故障、异常工作状态</p> <div data-bbox="395 974 1225 1512" data-label="Image"> </div> <p>(一) 变压器内部故障</p> <p>(1) 油箱内故障： 绕组相间、匝间短路、绕组接地（绕组和外壳短路）铁芯烧损。</p> <p>(2) 油箱外故障：套管和引出线上发生相间和接地故障。</p> <p>本质上讲，油箱外的故障已经不是变压器本身的故障，但按照继电保护配置及保护区域的划分原则，上述区域的故障属于变压器保护的保护区，所以归入变压器故障。</p> <p>(二) 变压器不正常运行方式</p>	

20M

外部短路引起的过电流

外部接地引起的过电流和中性点过电压

过负荷、过励磁、油面降低，冷却系统故障

(三) 变压器保护的分类和配置

非电量保护：瓦斯保护

电量保护：（根据变压器容量及电压等级来配置）

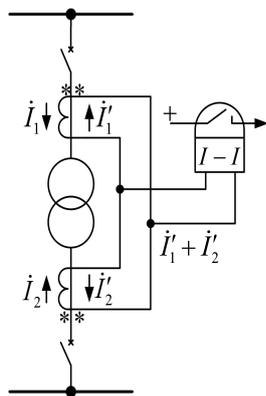
保护配置

主保护：差动保护、电流速断保护、瓦斯保护

后备保护：过电流保护，零序过电流，零序过电压等。

二、电力变压器的纵差动保护

1、电力变压器的纵差动保护的基本原理和接线方式



假设变压器为理想变压器

(一) 正常运行差动电流分析

$$i_H = -\frac{1}{n_T} i_L$$

二次差动回路电流为

$$I_{diff} = \frac{n_T i_H + i_L}{n_{CTL}} + (1 - \frac{n_T n_{CTH}}{n_{CTL}}) \frac{i_H}{n_{CTH}}$$

二次选择合适的电流互感器变比

$$1 - \frac{n_T n_{CTH}}{n_{CTL}} = 0 \quad \text{即} \quad n_T = \frac{n_{CTL}}{n_{CTH}}$$

则有 $I_{diff} = 0$

假设变压器为理想变压器

(二) 区内故障

$$I_{diff} = \frac{n_T i_H + i_L}{n_{CTL}} + (1 - \frac{n_T n_{CTH}}{n_{CTL}}) \frac{i_H}{n_{CTH}}$$

其中，对于前面所选择的变比，后一项为零；前一项和故障点电流成正比

(三) 保护判据

$$I_{diff} \geq I_{set}$$

3、电力变压器的纵差动保护的不平衡电流和减小不平衡电流影响的方法

(一) 变压器接线组别导致的相移引起的不平衡电流

产生原因:

电力变压器为了抑制三次谐波,改善波形,一般采用 Y, d-11 接线或 Y, d-11 接线。导致高压侧和低压侧电流存在相位差。若采用常规差动接线方式,则由于两侧电流存在相位差,正常运行时必然会出现差动不平衡电流。

消除方法

模拟式: 利用 CT 二次接线的变化对相位进行校正。

具体方法是 Y 侧 CT 接成三角形, 三角形侧接成 Y 形

(二) CT 计算变比和实际变比不一致引起的不平衡电流

产生原因:

1、要想消除两侧变比不一致引起的不平衡电流,则两侧变比必须满足

$$n_T = \frac{\sqrt{3}n_{CT\Delta}}{n_{CTY}}$$

2、CT 的生产制造是按标准化生产的,其变比为标准变比。不可能正好满足上述关系,一般是在满足容量要求前提下,配置变比最接近的 CT

3、不平衡电流估计

$$I_{unb \cdot \max} = f_{za} I_{k \cdot \max}$$

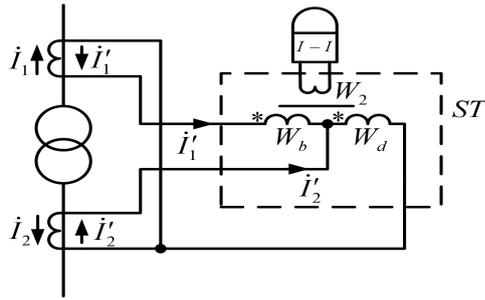
$$f_{za} = \left| 1 - \frac{n_{TA1} n_T}{n_{TA2}} \right|$$

解决措施:

模拟方法

采用平衡绕组

(不可能完全消除)



(三) 变压器带负荷调整分接头产生的不平衡电流

产生原因：

- 1、要想消除两侧变比不一致引起的不平衡电流，则两侧变比必须满足

$$n_T = \frac{\sqrt{3}n_{CT\Delta}}{n_{CTY}}$$

- 2、变压器带负荷调整分接头，其本质是调节变压器的变比
- 3、不平衡电流估计

(四) 电流互感器传变误差引起的不平衡电流

$$I_{unb.max} = \Delta U I_{k.max}$$

产生原因：1、CT 等值电路；2、暂态非周期分量的影响

产生原因：

不平衡电流大小的估计

解决措施：

- 1、抬高动作门槛
- 2、采用速饱和变流器
- 3、延时确认

(五) 变压器励磁涌流产生的不平衡电流

产生原因：

- 1、变压器等值电路
- 2、励磁电流与变压器铁芯特性有关，正常运行时，变压器工作在其铁磁特性线性段，励磁阻抗很大，可近似认为励磁电流为 0
- 3、空载合闸或故障后电压恢复时，由于剩磁的影响，可能时变压器进入饱和区，从而产生很大的励磁电流

解决措施：

15M

15M

20M	<p>1、差动原理是由基尔霍夫电流定律导出的，变压器本身不满足其前提，因此从原理上无法消除励磁涌流的影响</p> <p>2、寻找判别涌流和故障的特征（研究热点）</p> <p>3、提高动作门槛</p> <p>4、延时</p> <p>三、纵差动保护的整定原则</p> <p>原则之一：按躲过外部短路故障时的最大不平衡电流整定</p> $I_{set} = K_{rel} I_{unb.max}$ <p>原则之二：按躲过变压器最大励磁涌流整定</p> $I_{set} = K_{rel} K_{\mu} I_N$ <p>原则之三：按躲过电流互感器二次回路短引线引起的差电流</p> $I_{set} = K_{rel} I_{L.max}$ <p>灵敏度校验</p> $K_{sen} = \frac{I_{k.min.R}}{I_{set}}$ <p>动作时间：由于差动保护不存在于其他保护的配合问题，可以独立判别区内和区外故障，故而动作时间为 0</p>	
5M	<p>四、具有制动特性的差动继电器</p> <p>理论分析结果（不考虑涌流影响）</p> $I_{unb.max} = (\Delta f_{za} + \Delta U + 0.1K_{np}K_{st})I_{k.max}$ $I_{set.R} = \begin{cases} I_{set.min}, I_{res} < I_{res.g} \\ K(I_{res} - I_{res.g}) + I_{set.min}, I_{res} \geq I_{res.g} \end{cases}$ $I_{res.g} = (0.6 \sim 1.1)I_N I_{set.min} = (0.2 \sim 0.5)I_N$ <p>板书设计：</p> <p>配合电力变压器的纵差动保护的基本原理和接线方式加以绘图讲授。图文布置做到合理。</p> <p>第三阶段：课程小结</p> <p>通过本次课的讲解，使学生掌握电力变压器的故障、异常工作状态；电力变压器的纵差动保护。</p>	

教学反思

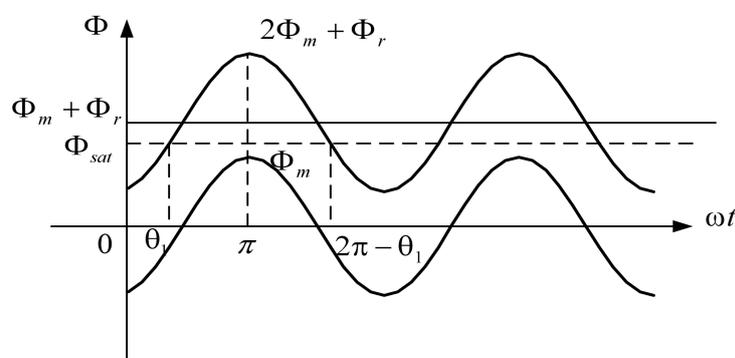
在教学引入阶段可以增加一些变压器故障影响的工程实例，提升学生对变压器保护学习的积极性，让他们充分认识到系统用电安全稳定的重要性。

电力变压器的纵差动保护学习可以让学生类比线路的纵联差动保护进行理解。

课程思政融入点：科学严谨的工作态度分析问题解决问题的能力通过视频直观的形式让学生感受中国电力工业发展过程中荣辱，感受我国电力百年厚重历史，从内心理解电力工业对于社会稳定及经济发展的重要意义，树立追求真理信念，塑造现代电力职业精神。

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第十四周，（5.27） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第十四周，（5.27） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 18 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第六章 电力变压器保护 6.3 变压器的励磁涌流及鉴别方法 6.4 变压器相间短路的后备保护				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生掌握电力变压器的故障、异常工作状态；电力变压器的纵差动保护				
教学重点及难点： 重点：电力变压器的故障、异常工作状态；电力变压器的纵差动保护。 难点：电力变压器的纵差动保护。				
作业、讨论题、思考题：6.4				
课后小结： 励磁涌流的原理重在理解，本节课重点掌握防止励磁涌流引起误动的方法，以及变压器相间短路的几种后备保护。				
下节课预习重点 第六章 电力变压器保护 6.5 变压器接地短路的后备保护 6.6 变压器零序电流差动保护 6.7 变压器保护配置原则				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教学内容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>复习回顾变压器纵差动保护的原理、整定原则，其中整定电流的确定受到变压器励磁涌流的影响，由此导入新内容。</p>	教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；
20M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>一、电力变压器的励磁涌流及鉴别方法</p> <p>1、单相变压器的励磁涌流</p> <p>空载合闸时铁芯中磁通的变化曲线</p> 	
20M	<p>1) 空载合闸时铁芯磁通变化曲线的直流分量与合闸时刻及剩磁大小和方向有关</p> <p>2) 合闸初相角为零时，直流分量最大，此时铁芯中磁通的峰值可达到 $2\Phi_m + \Phi_r$</p> <p>2、三相变压器励磁涌流的特征</p> <p>1) 由于三相电压之间有 120° 的相位差，因而三相励磁涌流不会相同，任何情况下空载投入变压器，至少在两相中要出现不同程度的励磁涌流。</p> <p>2) 某相励磁涌流可能不再偏离时间轴的一侧，变成了对称性涌流。其它两相仍为偏离时间轴一侧的非对称性涌流。对称性涌流的数值比较小。非对称性涌流仍含有大量的非周期分量，但对称性涌流中无非周期分量。</p> <p>3) 三相励磁涌流中有一相或两相二次谐波含量比较小，但至少有一相比较较大。</p>	

4) 励磁涌流的波形仍然是间断的，但间断角显著减小，其中又以对称性涌流的间断角最小。但对称性涌流有另外一个特点：励磁涌流的正向最大值与反向最大值之间的相位相差 120° ，这个相位差称为“波宽”，显然稳态故障电流的波宽为 180°

3、防止励磁涌流引起误动的方法

- 1) 速饱和变流器
- 2) 二次谐波制动
- 3) 间断角鉴别

二、变压器相间短路的后备保护

1、过电流保护

最大负荷电流 $I_{Load.max}$ 的确定考虑以下因素对并列运行的变压器，应考虑切除一台变压器后，其他变压器由于负荷转移出现的过负荷

$$I_{Load.max} = \frac{n}{n-1} I_n$$

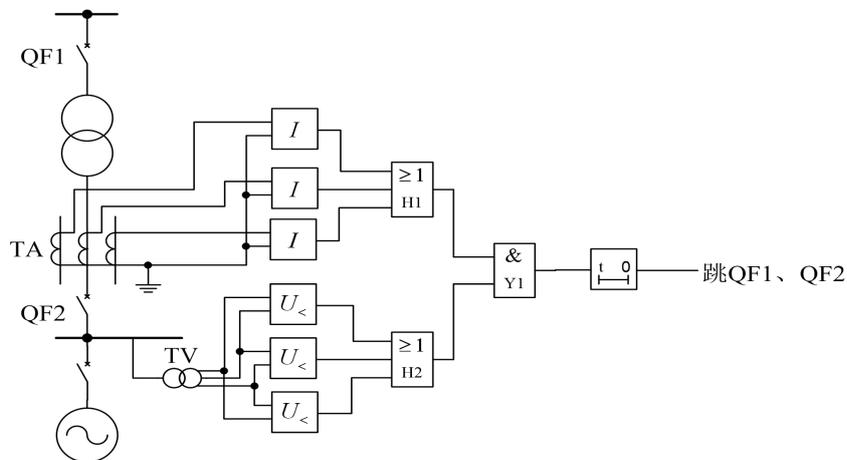
对降压变压器，还应考虑电动机自启动时的最大电流

$$I_{Load.max} = K_{ss} I'_{Load.max}$$

动作时间和灵敏度的校验同线路过电流保护

2、低电压启动的过电流保护

按躲过最大负荷电流原则整定的过电流保护启动电流较大，灵敏度低。为提高其灵敏度，可以采用低电压启动的过电流保护。



过电流元件整定：只需躲过正常负荷电流即可

$$I_{set} = \frac{K_{rel}}{K_{re}} I_N$$

低电压元件整定：

- 1) 按躲过正常运行时可能出现的最低工作电压整定
- 2) 按躲过电动机自启动时的电压整定

一般工程上采用 $U_{set} = 0.7U_N$

电流元件灵敏度校验同线路过电流保护

电压元件灵敏度校验按下式计算

$$K_{sen} = \frac{U_{set}}{U_{k.min}} \geq 1.25$$

其中：灵敏度校验点发生三相金属性短路时，保护安装处感受到的最大残压。

- 3) 复合电压启动的过电流保护
- 4) 三绕组变压器相间短路后备保护的特点
动作时间的整定同输电线路过电流保护

板书设计：配合若干电力系统简单实例加以讲授。文图布置合理。

5M

第三阶段：课程小结

- 1、电力变压器的励磁涌流及鉴别方法
- 2、变压器相间短路的后备保护

教学反思

励磁涌流的原理重在理解，本节课重点掌握防止励磁涌流引起误动的方法，以及变压器相间短路的几种后备保护。

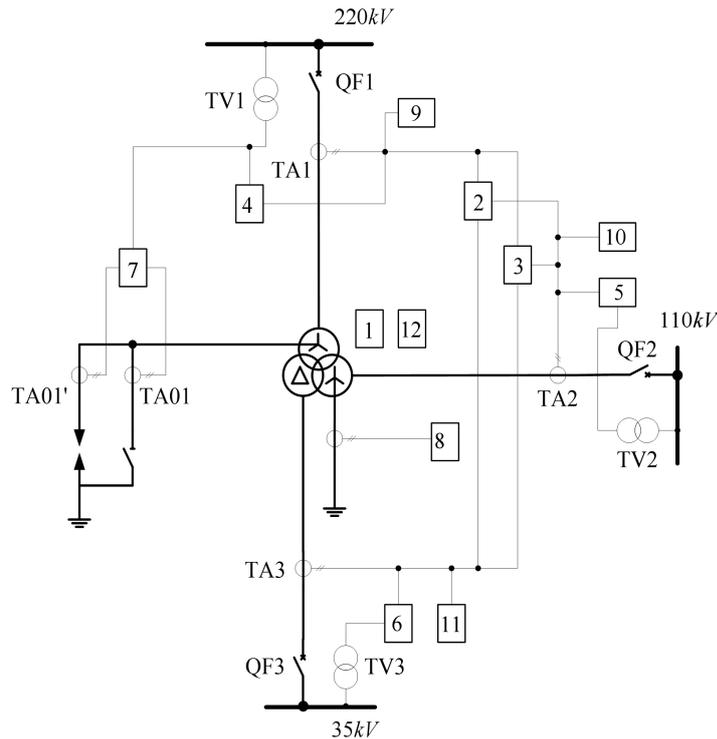
课程思政融入点：课程内容中涉及的实际工程问题和对应内容的数学分析联系起来，帮助学生更好的理解实际复杂工程问题的需求和解决方案。

《电力系统继电保护》教 案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第十五周，（6.3） 周六，第 3、4 节 J1-206 （专升本）22-6：第十五周，（6.3） 周六，第 5、6 节 J1-128	课次	第 19 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 第六章 电力变压器保护 6.5 变压器接地短路的后备保护 6.6 变压器零序电流差动保护 6.7 变压器保护配置原则				
教学目的与要求： 通过本次课的讲解，使学生掌握变压器接地短路的后备保护；变压器的零序电流差动保护；变压器保护配置原则				
教学重点及难点： 重点：使学生掌握变压器接地短路的后备保护；变压器保护配置原则 难点：变压器的零序电流差动保护				
作业、讨论题、思考题：6.7 6.8 6.14				
课后小结：在讲解的同时可以让学生进行讨论思考：对比电力线路的纵联电流保护，变压器的零序电流差动保护有何特殊之处。				
下节课预习重点： 总复习				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013 年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007 年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010 年				

课时分配	教 学 内 容	方法及手段
5M	<p>第一阶段：引入课程</p> <p>回顾变压器的三种与性状态，并对变压器差动保护的原理和整定进行复习，引出变压器的后备保护。</p>	<p>教学方法：课堂讲授法为主，贯彻启发式教学方法，通过分析、举例、讨论，用精讲多练的方法突出重点；</p>
15M	<p>第二阶段：基本教学内容及进程</p> <p>6.5 变压器接地短路的后备保护</p> <p>1、变电所单台变压器的零序电流保护</p> <p>中性点直接接地运行的变压器，通常采用两段式零序电流保护零序电流 I 段与相邻元件零序电流 I 段相配合作为变压器保护的后备；</p> <p>零序电流 II 段与相邻元件零序电流后备段相配合，作为相邻元件接地故障的后备。</p> <p>零序电流 I 段</p> $I_{set}^I = K_{rel} K_{br} I_{lx.set}^I$ <p>零序 II 段</p> $I_{set}^I = K_{rel} K_{br} I_{lx.set}^{II}$ <p>灵敏度校验：</p> <p>零序电流 I 段的灵敏系数按变压器母线处故障校验；</p> <p>II 段按相邻元件末端故障校验。校验方法与线路零序电流保护相同。</p> <p>校验方法同线路零序电流保护</p>	
15M	<p>2、自耦变压器零序电流保护的特点</p> <p>普通三绕组变压器，两侧的零序电流通常接于各侧接地中性线的零序电流互感器上。</p> <p>自耦变压器高、中压两侧由于具有共同的接地中性点，两侧的零序电流保护不能接于中性线上，而应分别接于本侧三相电流互感器的零序电流滤过器上。</p>	
15M	<p>3、多台变压器并联运行时的接地后备保护</p>	

15M	<p>A、全绝缘变压器的接地保护</p> <p>B、分级绝缘变压器接地后备保护</p> <p>6.6 变压器的零序电流差动保护</p> <p>6.1 节介绍的变压器纵差动保护采用的电流是相电流，因此变压器发生内部单相接地故障时灵敏度比较低。若这种差动保护在单相接地故障时灵敏度不足，可以增设零序电流差动保护。图6-32所示的是自耦变压器高中压侧零序电流差动保护的原理接线图，流入差动保护的差电流为</p> $I_{r0} = \frac{ 3\dot{I}_{g0} - 3\dot{I}_{z0} - 3\dot{I}_0 }{n}$ <p>对于三绕组的普通变压器，可以在中性点直接接地的两侧分别装设零序电流差动保护，原理接线图略。</p> <p>零序差动保护的判据与一般差动保护一样。整定原则为</p> <p>(1) 躲过外部单相接地故障时的不平衡电流。不平衡电流的计算公式与一般电流差动保护类似。</p> <p>(2) 躲过励磁涌流情况下和外部三相故障时产生的零序不平衡电流。励磁涌流对零序差动保护而言是穿越性电流，理论上不会产生不平衡电流，三相故障时一次侧也无零序电流。实际中产生的零序不平衡电流是由于各个电流互感器传变误差引起的。</p> <p>从上面的整定原则可以看到，零序电流差动保护的動作电流比一般电流差动保护小，因此在变压器内部单相接地故障时灵敏度比较高。</p>	
20M	<p>6.7 变压器保护配置</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、瓦斯保护 2、纵差动保护或电流速断保护 3、外部相间短路和接地短路时的后备保护 4、过负荷保护 5、过励磁保护 6、其他非电量保护 <p>举例：设计 220kV 变压器保护配置图</p>	



1、瓦斯保护；2、第一纵差动保护；3、第二纵差动保护（间断角鉴别原理），4、5、6：高、中、低压侧的复合电压启动的过电流保护；7、高压侧的零序电流电压保护；8、中压侧的零序电流保护；9、10、11：高、中、低压侧的过负荷保护；12、其它非电量保护。

板书设计：配合变压器保护的原理加以讲授。

第三阶段：课程小结

- 1、变压器接地短路的后备保护
- 2、变压器零序电流差动保护
- 3、变压器保护配置原则

教学反思：变压器保护原理的学习需要有详细的计算和分析，在讲授具体内容之前，应介绍学习思路，降低学生的畏难情绪，帮助学生更好掌握学习内容。

课程思政融入点：牢记“以学生发展为中心”核心理念，教育学生做到今后步入工作岗位应该力求“学以致用”。课程教学与电力系统一线技术发展高度关联，让学生在在学习理论的同时，深入行业实际，了解工程与社会、树立时代使命感。

5M

《电力系统继电保护》教案

授课时间	电气工程及其自动化 （专升本）22-5：第十五周，（6.3） 周六，第3、4节 J1-206 （专升本）22-6：第十五周，（6.3） 周六，第5、6节 J1-128	课次	第 20 次课	
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input checked="" type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2 学时	
授课题目（教学章、节或主题）： 总复习				
教学目的与要求： 梳理所学知识内容，要求掌握各章节重点部分。				
教学重点及难点： 重点：各章节重点 难点：各章节难点				
作业、讨论题、思考题：各章节思考题				
课后小结： 本门课程应该本着以服务工程实践为指导的理念，对于教学内容做了梳理，尽量讲清工程问题和物理概念，结合先修课程的基本知识，避免冗长的推导。重原理，强实践。				
下节课预习重点 无				
参考文献： 1、《电力系统继电保护》张保会主编中国电力出版社 2、贺家李、宋从矩主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2013年 3、曾克娥主编《电力系统继电保护原理》，中国电力出版社，2007年 4、谷水清主编《电力系统继电保护》，中国电力出版社，2010年				