珞研教育电网辅导系列

国家电网招聘考试专用讲义

（电工类本科、专科） 继电保护

珞研教育电网教务组◎编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京•BEIJING

获取配套视频课程

OBTAIN SUPPORTING VIDEO COURSES

购买正版教材可兑换配套视频课程，即往年珞研专业教材领学课全套视频课程。

1. 兑换说明

（1）凭兑换码兑换的配套视频课程，兑换一次即失效，兑换后不支持转赠。
（2）兑换码贴在封套右下角，刮开涂层可见，兑换码区分大小写，且无空格。
（3）兑换期限至 2026 年 6 月 30 日。

2. 兑换方法

（1）扫码关注公众号“珞研”。
（2）单击公众号菜单“课程资料→图书资源兑换”，输入兑换码，即可兑换配套视频课程。

珞研教育创办于 2012 年，是一家专业服务于考研、大学生就业、注册类证书考试的教育培训机构。目前，珞研教育的业务范围主要包括考研教育培训、电网考试培训、央国企就业培训、注册电气工程师辅导、一二级建造师考试辅导等。

多年来，珞研教育以各省电网培训中心师资为根基，聚集武汉大学、华北电力大学、三峡大学、湖北工业大学、广东工业大学等高校教授级优质师资，针对电网招聘类考试开设“线下 + 线上”辅导班。珞研教育集团在西安、南京、广州、沈阳等 11 座城市开设了线下辅导培训基地，欢迎同学们及其家长参观咨询。

总　　纲

硕士考纲	对应章节
电力系统继电保护的基本概念和要求	第 1 章
输电线路保护原理	第 2、3、4 章
变压器的主要故障类型和保护配置	第 6 章
母线保护和重合闸虽然不在硕士考纲中，但是历年真题中偶有出现，建议简单复习	
本科考纲	**对应章节**
电力系统继电保护的基本概念和要求	第 1 章
阶段式电流保护配合原理、构成和整定计算	第 2 章
距离保护的工作原理、动作特性和整定计算	第 3 章
纵联保护的工作原理、动作特性和整定计算	第 4 章
输电线路的自动重合闸	第 5 章
输电线路、变压器、母线的主要故障类型、保护配置和特殊问题	第 6 章
数字式保护及控制装置基础	第 7 章
专科考纲	**对应章节**
电力系统继电保护的基本概念和要求	第 1 章
电网的电流保护原理、构成及校验	第 2 章
距离保护的工作原理、动作特性及检验	第 3 章
输电线路自动重合闸的作用、要求和原理	第 5 章
变压器的故障类型、保护配置和原理	第 6 章
母线的故障类型和保护配置	第 6 章
互感器、控制回路与微机保护	第 7 章

考纲解读

以本科为基准，虽然在硕士考纲中没有第 5 章的自动重合闸内容，也没有第 6 章最后一节母线保护的内容，但是在历年真题中偶有出现，建议简单复习。

在本科考纲中没有第 7 章最后一个知识点的控制回路。

专科考纲虽然涉及的知识最广，但对计算没有要求，只需要掌握最基础的三段式过电流保护整定计算，第 4 章的纵联保护仅需要掌握 4.1 节的内容即可。

学习方法

继电保护的相关知识点难度大，需要在对电力系统有一个系统认知后才能理解，推荐尽量理解记忆，切忌死记硬背。继电保护是一个很讲道理的科目，整个学科的存在就是配合电网使用的，保护设置、选用等都是有道理可循的。掌握这个道理，就很容易理解为什么使用或设置保护了。

目　录

CONTENTS

第 1 章　电力系统继电保护的基本概念和要求 …… 1

知识点 1　电气一次系统与电气二次系统 …… 2
知识点 2　电压互感器（TV）和电流互感器（TA） …… 2
知识点 3　电力系统主要电压等级 …… 4
知识点 4　电力生产特点 …… 5
知识点 5　电力系统运行状态分为正常运行状态、不正常运行状态、故障状态 …… 5
知识点 6　继电保护的作用（任务） …… 6
知识点 7　两种电网保护基本原理 …… 7
知识点 8　对继电保护的四个基本要求 …… 7
知识点 9　主保护和后备保护 …… 8
知识点 10　继电保护的基本组成部分 …… 9
习　　题 …… 10

第 2 章　阶段式电流保护原理、构成和整定计算 …… 11

2.1　单侧电源辐射网络相间短路的电流保护 …… 12
知识点 1　继电器 …… 12
知识点 2　三段式电流保护 …… 13
知识点 3　最大短路电流与最小短路电流 …… 14
知识点 4　瞬时电流速断保护（过电流保护Ⅰ段）整定原则 …… 15
知识点 5　限时电流速断保护（过电流保护Ⅱ段）整定原则和灵敏度校验 …… 16
知识点 6　定时限过电流保护（过电流保护Ⅲ段）整定原则和灵敏度校验 …… 18

知识点 7　不完全差动保护…… 136
知识点 8　元件固定连接的双母线电流差动保护 …… 137
知识点 9　当外部短路时的 TA 饱和 …… 137
知识点 10　电压闭锁元件…… 138
知识点 11　母线互联…… 138
知识点 12　母联电流比相式母线差动保护…… 139
知识点 13　断路器失灵保护…… 140
知识点 14　断路器失灵保护的使用范围…… 140
知识点 15　断路器失灵保护的动作逻辑…… 140
知识点 16　断路器失灵保护的动作条件…… 141
习　　题……141

第 7 章　微机保护与控制回路……146

7.1　数字式继电保护及控制装置……147
知识点 1　数字式继电保护基本概念…… 147
知识点 2　数字式保护及控制装置的组成…… 147
知识点 3　数字式保护的信号采集…… 151
知识点 4　数字滤波器的概念…… 152
知识点 5　数字式保护算法…… 152
知识点 6　数字式保护及控制装置的软件构成 …… 153
知识点 7　电力系统稳定控制的三道防线…… 154
知识点 8　常见的安全自动装置…… 154
7.2　控制回路 ……155

第 1 章
CHAPTER 1

电力系统继电保护的基本概念和要求

知识点 1 电气一次系统与电气二次系统

★★★

电气一次系统：能够直接完成发电、变电、输电、配电、用电的设备所组成的强电系统，对应的设备被称为电气一次设备，如发电机、变压器、断路器、母线、输配电线路、电动机等。

电气二次系统：为保证电气一次系统能够安全稳定运行所配置的继电保护、控制、监测及自动控制与调节等设备所组成的弱电系统，对应的设备被称为电气二次设备。

在一般情况下，电气设备是一次设备还是二次设备可以通过设备的作用来判断，也可以通过设备的耐压、耐流来判断：电气一次设备可流过大电流、经受高电压；电气二次设备可流过小电流、经受低电压。

◆ 例 1 在以下设备中，属于电气一次设备的是（　　）。

A. 隔离开关　　B. 继电器　　C. 操作电源　　D. 继电保护装置

答案 A

解析 此题主要考查电气一次设备和电气二次设备的判断：隔离开关是电气一次设备；继电器是电气二次设备；操作电源是电气二次设备；选项 D 继电保护装置是电气二次设备。

◆ 例 2 在以下设备中，属于电气二次设备的是（　　）。

A. 电流互感器　　B. 变压器　　C. 继电保护装置　　D. 避雷器

答案 C

解析 此题比较容易出错，一定要注意互感器都是电气一次设备。

知识点 2 电压互感器（TV）和电流互感器（TA）

作用：将电气一次系统的高电压、大电流成比例转变为电气二次系统需要的低电压、小电流，保证运行人员和电气二次设备的安全。

电压互感器和电流互感器的二次侧均应接地。

电压互感器和电流互感器都是电气一次设备。

规定：电压互感器二次侧额定电压为 100V；电流互感器二次侧额定电流为 5A 或 1A。注意，电压互感器的额定电压是正常运行时的二次侧电压，电流互感器的额定电流不是正常运行时的二次侧电流，因为在运行时，负载电流是变化的，二次测电流等于一次侧电流除以电流互感器的变比也是变化的，不是固定的 5A 或 1A。

电流互感器的一次侧绕组串联在线路中相当于短路，二次侧相当于电流源，内阻近似为无穷大。电压互感器的一次侧绕组并联在母线上，内阻为无穷大，二次侧相当于电压源，内阻为零。电压互感器二次侧负载阻抗越大，误差越小。电流互感器二次侧负载阻抗越小，误差越小。

一般要求故障时电流互感器的测量误差小于 10%。电流互感器 10%误差曲线就是当测量误差达到 10%时，一次侧电流和二次侧负载阻抗之间的关系曲线。根据 10%误差曲线可以选择合适的互感器型号，在区外有最大短路电流时，要求实际负载阻抗小于曲线中的负载阻抗。

由于故障时电流会比额定电流大得多，因此电流互感器的测量误差会增大，常见的减小测量误差的方法有：

（1）增大一次侧额定电流；

（2）减小二次侧负载阻抗；

（3）适当增加磁铁间隙（在铁芯中加入气隙），注意该方法虽会使正常运行电流互感器的测量误差变大（因为改变了铁芯磁导率），但会使故障时电流互感器的测量误差减小（因为改善了 TA 饱和）；

（4）在电流互感器容量不足时，串联变比相同的电流互感器二次侧绕组。

由于故障时电压一般都是减小的，因此一般不讨论电压互感器的测量误差，只在后面的章节中讨论电压互感器的死区问题。

电压互感器接线方式与额定电压之间的关系见表 1-1。

表 1-1　电压互感器接线方式与额定电压之间的关系

电压互感器类型	接线方式	系统额定电压（kV）	电压互感器额定电压（出线电压）		
			一次侧绕组（kV）	二次侧绕组（V）	第三绕组（V）
三相五柱三绕组	接于线电压	3～10	U_N	100	100/3
三相三柱双绕组	接于线电压	3～10	U_N	100	无
单相双绕组	接于线电压	3～35	U_N	100	无
单相三绕组	接于相电压	3～63	$U_N/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3
单相三绕组	接于相电压	110～500	$U_N/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100

表 1-1 中的第三绕组是用于测量零序电压的绕组，接线方式为开口三角形，输出电压为 $3U_0$。

◆ 例 3（判断题）电流互感器一次侧电流只与负载电流有关，与二次侧电流无关。（　　）

A. 正确　　B. 错误

答案　A

解析　很多同学没掌握这个因果关系，比如电阻等于电压除以电流，能说电阻与加在上面的电压有关吗，肯定不能，同理，一次侧电流是用户的用电电流，与二次侧电流无关，二次侧电流等于一次侧电流除以电流互感器的变比，仅此而已。

3.2 距离保护的阻抗测量元件

知识点 1 阻抗测量元件（阻抗继电器）及其动作边界

与过电流保护不同，距离保护的测量阻抗是一个既有大小又有方向的矢量，不能通过简单的比大小来判别是否动作，实际的动作比较应该在一个坐标轴的二维平面上，不是在一个一维数轴上。

距离保护动作的判断比三段式过电流保护要复杂一些，一般用一个封闭区域作为距离保护的动作区域，最常用的封闭区域就是圆形。

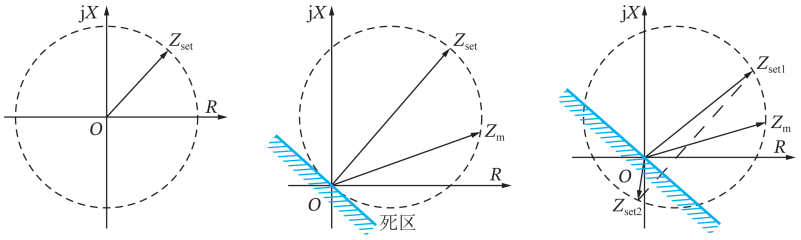
★★★

图 3-4 为三种特性圆。

图 3-4（a）：以整定阻抗幅值为半径、圆心位于坐标原点的圆，被称为**全阻抗特性圆**。

图 3-4（b）：以整定阻抗幅值为直径、圆周过阻抗复平面坐标原点的圆，被称为**方向阻抗特性圆**。

图 3-4（c）：圆心偏离原点、圆周处于整定阻抗反向延长线的圆，被称为**偏移阻抗特性圆**。



(a) (b) (c)

图 3-4 三种特性圆

距离保护的动作判据：将测量阻抗的起点放在原点，终点落在圆内则保护动作，终点落在圆外则保护不动作。

三种特性圆阻抗测量元件的优缺点：

①全阻抗特性圆阻抗测量元件动作特性良好，没有方向性；

②方向阻抗特性圆阻抗测量元件有完全的方向性，有死区；

③偏移阻抗特性圆阻抗测量元件没有死区，牺牲了一定的方向性。

方向阻抗特性圆阻抗测量元件一般用于距离保护的主保护，即Ⅰ段和Ⅱ段。

偏移阻抗特性圆和全阻抗特性圆阻抗测量元件一般用于距离保护的后备保护，即Ⅲ段。

整定阻抗Z_{set}：从原点出发，在最大灵敏角φ_{sen}（线路阻抗角）方向的动作阻抗（最大动作阻抗）。整定阻抗用来界定保护范围，在保护投运前人为整定。

测量阻抗Z_m：保护安装处的阻抗，通过电压除以电流得到。

整定阻抗、动作阻抗、测量阻抗的关系：整定阻抗Z_{set}是用于确定动作区域的阻抗，在保护投运之前就应该设置好，整定阻抗确定了，保护动作区域就确定了；动作阻抗Z_{op}是在实际故障发生后，在故障功率因数角下能动作的最大阻抗，不同故障的动作阻抗一般不相同；测量阻抗Z_m是在发生故障时测量到的电压和电流的比值。

记忆口诀：整定阻抗是用来化缘（画圆）的阻抗，动作阻抗只有故障后才存在。

◆ 例 1 （判断题）偏移阻抗特性圆的动作特性没有死区。（　　）

A. 正确　　B. 错误

答案 A

解析 偏移阻抗特性圆的动作特性相比方向阻抗特性圆的动作特性，牺牲了一定的方向性，换来了没有死区。

知识点 2 特性圆阻抗测量元件动作方程（动作条件）

阻抗测量元件动作方程分为幅值比较式和相位比较式两种。

1. 方向阻抗特性圆阻抗测量元件

方向阻抗特性圆阻抗测量元件的特点：动作边界以整定阻抗Z_{set}的幅值为直径，圆周过阻抗复平面坐标原点，动作阻抗Z_{OP}与测量阻抗角φ_m有关，具有完全方向性。

（1）幅值比较式

动作条件为

$$|Z_m-\frac{1}{2}Z_{set}|\leqslant|\frac{1}{2}Z_{set}|\text{或}\left|\dot{U}_m-\dot{I}_m\frac{1}{2}Z_{set}\right|\leqslant\left|\dot{I}_m\frac{1}{2}Z_{set}\right|$$

（2）相位比较式

动作条件为

$$90°\leqslant\arg\frac{Z_m}{Z_m-Z_{set}}\leqslant270°\text{或}\ 90°\leqslant\arg\frac{\dot{U}_m}{\dot{U}_m-\dot{I}_mZ_{set}}\leqslant270°$$

2. 全阻抗特性圆阻抗测量元件

全阻抗特性圆阻抗测量元件的动作阻抗Z_{OP}与测量阻抗角φ_m无关，无方向性。

（1）幅值比较式

动作条件为

$$|Z_m|\leqslant|Z_{set}|$$

（2）相位比较式

动作条件为

$$90° \leqslant \arg\frac{Z_m + Z_{set}}{Z_m - Z_{set}} \leqslant 270° \text{或} \ 90° \leqslant \arg\frac{\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leqslant 270°$$

3. 偏移阻抗特性圆阻抗测量元件

当正方向整定阻抗为Z_{set}时，向反方向偏移一个αZ_{set}（$0 < \alpha < 1$，一般α为0.1～0.2），动作阻抗Z_{OP}与φ_m有关，具有不完全方向性。

（1）幅值比较式

动作条件为

$$\left|Z_m - \frac{1}{2}(1-\alpha)Z_{set}\right| \leqslant \left|\frac{1}{2}(1+\alpha)Z_{set}\right| \text{或} \left|\dot{U}_m - \dot{I}_m \frac{1}{2}(1-\alpha)Z_{set}\right| \leqslant \left|\dot{I}_m \frac{1}{2}(1+\alpha)Z_{set}\right|$$

（2）相位比较式

动作条件为

$$90° \leqslant \arg\frac{Z_m + \alpha \cdot Z_{set}}{Z_m - Z_{set}} \leqslant 270° \text{或} \ 90° \leqslant \arg\frac{\dot{U}_m + \dot{I}_m \alpha \cdot Z_{set}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leqslant 270°$$

偏移阻抗特性圆阻抗测量元件一般用于距离保护的后备保护段，即Ⅲ段。

注意：各种不同特性圆及直线特性阻抗测量元件的相位比较式动作条件都有一个共同的比较量，被称为补偿阻抗（$Z_m - Z_{set}$）或补偿电压（$\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}$），不同特性只是另一个被称为极化阻抗或极化电压的比较量：方向阻抗特性圆为$\dot{U}_m$，全阻抗特性圆为（$\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set}$），偏移阻抗特性圆为（$\dot{U}_m + \dot{I}_m \alpha Z_{set}$），直线特性为$\dot{I}_m Z_{set}$。

◆ 例 2 在三种特性圆阻抗测量元件中，（　　）测量元件的动作阻抗与测量阻抗的阻抗角无关。

A. 方向阻抗　　B. 全阻抗　　C. 偏移阻抗

答案 B

解析 此题比较简单，掌握三种特性圆的图形，即可快速选出答案。

◆ 例 3 某阻抗继电器采用全阻抗特性，在对该继电器进行试验时，加入的测量阻抗为1.05倍的整定阻抗，若该继电器动作特性良好，则（　　）。

A. 该继电器不动作

B. 该继电器动作

C. 该继电器可能动作也可能不动作

D. 以上说法都不对

答案 A

解析 距离保护是测量阻抗小于定值时动作，因为1.05倍定值明显大于定值，所以距离保护不应动作。

◆ 例 4 从实际角度出发，距离保护一般（　　）。

A. Ⅰ、Ⅱ段使用方向阻抗特性圆，Ⅲ段使用全阻抗特性圆

B. Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段都使用方向阻抗特性圆

C. Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段都使用全阻抗特性圆

D. Ⅰ、Ⅱ段使用全阻抗特性圆，Ⅲ段使用方向阻抗特性圆

答案 A

解析 Ⅰ、Ⅱ段作为主保护，需要有完全的方向性，要用方向阻抗特性圆，Ⅲ段作为后备保护，对灵敏性要求高，尽量不要有动作死区，一般使用全阻抗特性圆或偏移阻抗特性圆。

知识点 3 线路各序阻抗之间的关系及各序分量的提取

设线路单位自感阻抗为Z_L，单位互感阻抗为Z_M，则有

单位正序阻抗：$Z_1 = Z_L - Z_M$（去磁）

单位负序阻抗：$Z_2 = Z_L - Z_M$（去磁）

单位零序阻抗：$Z_0 = Z_L + 2Z_M$（助磁）

可见，$Z_2 = Z_1$，$Z_0 > Z_1$。

各序分量的提取为

零序分量：$3\dot{U}_0 = \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C$

A 相负序分量：$3\dot{U}_{A2} = \dot{U}_A + \dot{U}_B e^{-j120^\circ} + \dot{U}_C e^{j120^\circ}$

A 相正序分量：$3\dot{U}_{A1} = \dot{U}_A + \dot{U}_B e^{j120^\circ} + \dot{U}_C e^{-j120^\circ}$

◆ 例 5 线路的零序阻抗一般大于正序阻抗。（　　）

A. 正确　　B. 错误

答案 A

知识点 4 在距离保护中阻抗继电器的接线方式

1. 对接线方式的要求

（1）测量阻抗Z_m可反映短路点到保护安装处的正序阻抗$z_1 l$（l：短路点到保护安装处的距离）。

（2）测量阻抗应与故障类型无关，保护范围不随故障类型变化。电流保护与故障类型有关，保护范围随故障类型变化。

2. 距离保护的分类

★★★

距离保护分为**相间距离保护**和**接地距离保护**。

（1）相间距离保护用于反映三相短路、两相短路（两相接地短路也可正确动作），不能反映单相接地短路。

（2）接地距离保护用于反映单相接地短路、两相接地短路（三相短路也能正确动作），不能反映两相短路。

3. 相间距离保护采用 0°接线方式

$$\begin{cases} KZ_{AB}:\ \dot{U}_m=\dot{U}_{AB};\ \dot{I}_m=\dot{I}_A-\dot{I}_B \\ KZ_{BC}:\ \dot{U}_m=\dot{U}_{BC};\ \dot{I}_m=\dot{I}_B-\dot{I}_C \\ KZ_{CA}:\ \dot{U}_m=\dot{U}_{CA};\ \dot{I}_m=\dot{I}_C-\dot{I}_A \end{cases}$$

若电压、电流皆反向，则不改变正确性。

（1）三相短路情况分析

由于三相对称，因此三个继电器的情况相同，以继电器 1 为例，有

$$\dot{U}_m=\dot{U}_{AB}=\dot{I}_A z_1 l-\dot{I}_B z_1 l=(\dot{I}_A-\dot{I}_B)z_1 l$$

则

$$Z_m=\frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{I}_A-\dot{I}_B}=z_1 l$$

（2）两相短路情况分析

以 A、B 两相短路为例。两相短路时，既有正序分量，又有负序分量，无零序分量，线路的正序阻抗与负序阻抗相等。

*故障相继电器 1，有

$$\dot{U}_m=\dot{U}_{AB}=(\dot{I}_{A1}z_1 l+\dot{I}_{A2}z_1 l)-(\dot{I}_{B1}z_1 l+\dot{I}_{B2}z_1 l)=(\dot{I}_A-\dot{I}_B)z_1 l$$

则

$$Z_m=\frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{I}_A-\dot{I}_B}=z_1 l$$

*非故障相继电器 2、继电器 3：测量电压较大，测量电流较小，即测量阻抗较大（$>z_1 l$），可能拒动。

三个继电器的出口采用或逻辑，对故障相的继电器（测量电压和测量电流只包含故障相电压、电流），针对各种相间短路，测量阻抗可正确反映短路点到保护安装处的正序阻抗，$Z_m=\dot{U}_m/\dot{I}_m=z_1 l$。

4. 接地距离保护采用带零序电流补偿的 0°接线方式

$$\begin{cases} KZ_A:\ \dot{U}_m=\dot{U}_A;\ \dot{I}_m=\dot{I}_A+K\cdot 3\dot{I}_0 \\ KZ_B:\ \dot{U}_m=\dot{U}_B;\ \dot{I}_m=\dot{I}_B+K\cdot 3\dot{I}_0 \\ KZ_c:\ \dot{U}_m=\dot{U}_C;\ \dot{I}_m=\dot{I}_C+K\cdot 3\dot{I}_0 \end{cases}$$

若电压、电流皆反向，则不改变正确性。

零序电流补偿系数$K=\frac{z_0-z_1}{3z_1}$，K为常数，取决于线路参数。

（1）单相接地短路情况分析：以 A 相接地短路为例

*故障相继电器 1，有

$$\begin{aligned}\dot{U}_{\mathrm{m}}=\dot{U}_{\mathrm{A}}&=\dot{I}_{\mathrm{A1}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A2}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A0}}z_0l=\dot{I}_{\mathrm{A1}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A2}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A0}}z_1l-\dot{I}_{\mathrm{A0}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A0}}z_0l\\&=(\dot{I}_{\mathrm{A1}}+\dot{I}_{\mathrm{A2}}+\dot{I}_{\mathrm{A0}})z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A0}}(z_0-z_1)l\\&=\dot{I}_{\mathrm{A}}z_1l+\dot{I}_0\frac{z_0-z_1}{z_1}z_1l=\left(\dot{I}_{\mathrm{A}}+3\dot{I}_0\frac{z_0-z_1}{3z_1}\right)z_1l=(\dot{I}_{\mathrm{A}}+K\cdot3\dot{I}_0)z_1l\end{aligned}$$

则

$$Z_{\mathrm{m}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{A}}}{\dot{I}_{\mathrm{A}}+K\cdot3\dot{I}_0}=z_1l$$

*非故障相继电器 2、继电器 3：测量电压较大，测量电流较小，即测量阻抗较大（$>z_1l$），可能拒动。

（2）两相接地短路情况分析（与单相接地短路情况相同）：以 A、B 两相接地短路为例

*故障相继电器 1、继电器 2，以继电器 1 为例，有

$$\begin{aligned}\dot{U}_{\mathrm{m}}=\dot{U}_{\mathrm{A}}&=\dot{I}_{\mathrm{A1}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A2}}z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A0}}z_0l\\&=(\dot{I}_{\mathrm{A1}}+\dot{I}_{\mathrm{A2}}+\dot{I}_{\mathrm{A0}})z_1l+\dot{I}_{\mathrm{A0}}(z_0-z_1)l\\&=\left(\dot{I}_{\mathrm{A}}+3\dot{I}_0\frac{z_0-z_1}{3z_1}\right)z_1l=(\dot{I}_{\mathrm{A}}+K\cdot3\dot{I}_0)z_1l\end{aligned}$$

则

$$Z_{\mathrm{m}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{A}}}{\dot{I}_{\mathrm{A}}+K\cdot3\dot{I}_0}=z_1l$$

*非故障相继电器 3：测量电压较大，测量电流较小，即测量阻抗较大（$>z_1l$），可能拒动。

三个继电器的出口采用或逻辑，对故障相的继电器，针对各种接地短路，测量阻抗可正确反映短路点到保护安装处的正序阻抗，$Z_{\mathrm{m}}=\dot{U}_{\mathrm{m}}/\dot{I}_{\mathrm{m}}=z_1l$。

◆ 例 6 距离保护的相间阻抗继电器采用 0°接线方式，当输入电压为U_{CA}时，输入电流应为（　　）。

A. $I_{\mathrm{A}}-I_{\mathrm{C}}$　　B. I_{A}　　C. I_{C}　　D. $I_{\mathrm{C}}-I_{\mathrm{A}}$

答案 D

解析 距离保护的相间短路采用 0°接线方式，由于 0°接线采用测量阻抗正比于故障点距离的原理，因此输入电流为线电流与相电流的差值。

◆ 例 7 某一 110kV 线路的接地距离保护，零序补偿系数由 0.667 被误整定为 2，使保护范围（　　）。

A. 增大　　B. 减小　　C. 不变　　D. 不一定

答案 A

解析 接地保护采用带补偿的接线方式，补偿系数增加了，测量阻抗减少了，保护范围增大了。

★★★

测量阻抗的变化情况如图 3-7（b）所示。

当**α为正**（保护位于线路**受电端**）时，测量阻抗增大，保护范围缩小，可能使保护拒动，过渡电阻呈感性。

当在受电端反方向出口处发生经过渡电阻短路时，受电端保护甚至可能误动。

当**α为负**（保护位于线路**送电端**）时，测量阻抗可能减小，保护范围扩大，甚至大于线路全长，出现区外故障误动的情况，这种情况叫作稳态超越。

需要注意的是，送电端的测量阻抗也可能增大，具体与α和线路阻抗角有关。不少题目在出题时少了可能两个字，其实是非常不严谨的。

记忆口诀："宋（送）蓉（容）"受感。

3. 过渡电阻R_t对距离保护的影响

（1）保护装置距短路点越近，受R_t影响越大。

（2）保护装置定值越小，受R_t影响越大。Ⅰ段受R_t影响最大，Ⅲ段受R_t影响最小。

（3）不同动作特性继电器受R_t的影响：动作特性在$+R$轴方向所占面积越大，R_t的能力越强，受R_t的影响越小，躲负荷阻抗的能力越差。

★★★

如图 3-8（a）所示，在相同整定阻抗的情况下，特性阻抗受过渡电阻影响从大到小的排序为：

椭圆特性 > 方向圆特性 > 偏移圆特性 > 全阻抗特性

如图 3-8（b）所示，相同整定阻抗，躲负荷阻抗能力由强到弱的排序为：

椭圆特性 > 方向圆特性 > 偏移圆特性 > 全阻抗特性

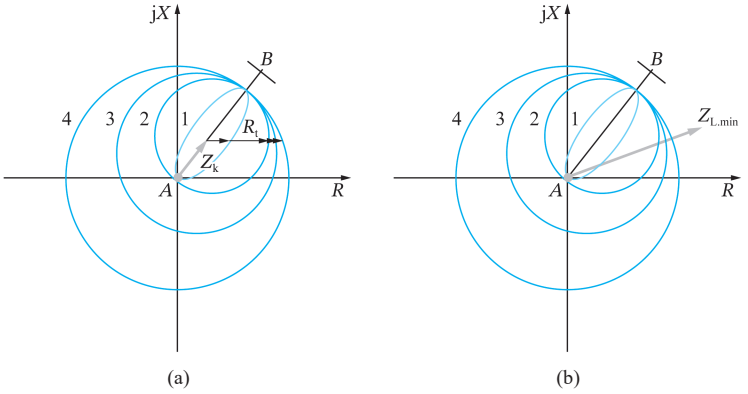


图 3-8　不同特性阻抗受过渡电阻影响及躲负荷阻抗能力

（4）由于相间短路过渡电阻对距离保护的影响是可以通过瞬时测定装置解决的，因此未经特别强调，所研究的过渡电阻均为接地短路过渡电阻，接地短路过渡电阻对距离保护Ⅰ段

的影响大于距离保护Ⅱ段。对于相间短路过渡电阻来说，由于过渡电阻随时间增大，因此针对相间短路过渡电阻，距离保护Ⅱ段受到的影响比距离保护Ⅰ段大。

减小过渡电阻影响的措施如下：

（1）增大保护在 $+R$ 轴方向的动作区；

（2）针对相间短路电弧电阻采用瞬时测定装置。

◆ 例 1 单侧电源供电系统短路点的过渡电阻对距离保护的影响是（　　）。

A. 使保护范围扩大

B. 使保护范围缩小

C. 保护范围不变

D. 保护范围不定

答案 B

解析 此题主要考查过渡电阻对距离保护的影响。过渡电阻的存在，在一般情况下会使测量阻抗变大，使保护范围缩小。

◆ 例 2 以下关于距离保护中过渡电阻影响的说法，正确的是（　　）。

A. 线路越短，过渡电阻对距离保护的影响越小

B. 线路越短，过渡电阻对距离保护的影响越大

C. 过渡电阻的影响与线路的长短无关

D. 线路越长，过渡电阻对距离保护的影响越大

答案 B

解析 线路越短，距离保护的定值越小，同等大小的过渡电阻，对小定值的影响肯定要比大定值大。

◆ 例 3 在 110kV 双电源系统中，送电侧距离保护受过渡电阻的影响一定使测量阻抗减小。（　　）

A. 正确　　B. 错误

答案 B

解析 送电端的测量阻抗也可能增大，具体与 α 和线路阻抗角有关。

知识点 2 TV 二次回路断线对距离保护的影响及防止方法

1. TV 二次回路断线对距离保护的影响

首先要明确的是TV二次回路断线并不是故障，也不需要跳闸，由于测量电压为 0，因此阻抗继电器所测阻抗与线路出口短路相同，$Z_m \approx 0$，会引起保护误动。

2. 防止方法

增加TV二次回路断线闭锁回路，断线时进行闭锁保护。

◆例 4 当TV失压时，线路保护应将（　　）自动闭锁。

A. 电流差动保护　　B. 电流速断保护

C. 距离保护　　D. 零序电流保护

答案 C

解析 TV为电压互感器，失压时无法测得电压。在选项中，只有距离保护需要用到电压互感器，此时需要将距离保护闭锁才能防止线路出现误动。

知识点 3 系统振荡对距离保护的影响及振荡闭锁回路

1. 系统振荡

★★★

系统振荡是两个系统之间的功角δ在0°～360°之间进行周期性变化的一种不正常运行状态，导致各点电压、线路电流、测量阻抗呈现周期性变化，属于严重的不正常运行状态，不是故障，保护不应动作于跳闸。

振荡的特点：

（1）振荡是三相对称的，没有零序分量和负序分量；

（2）振荡只发生在两侧电源系统中，35kV及以下的线路一般不考虑振荡的影响。

（3）通常振荡周期为1.5s左右。

★★★

振荡涉及空间和时间两个维度的概念。

（1）**空间维度**：振荡时，一个系统中有很多条线路，每条线路受振荡的影响各不相同，越靠近振荡中心受影响越大，越远离振荡中心受影响越小。

（2）**时间维度**：同一条线路上距离保护的测量阻抗是随着时间（或者功角）的变化而不断变化的，在振荡中心，电压变化的幅度最大。

记忆口诀：小时候玩的跳长绳。

2. 系统振荡时电流、电压和测量阻抗的变化

假设系统各部分阻抗角都相等，综合阻抗$Z_{\Sigma}=Z_{M}+Z_{L}+Z_{N}$，振荡时，$\dot{E}_{M}$绕$\dot{E}_{N}$摆动或旋转（$\dot{E}_{M}$与$\dot{E}_{N}$的夹角$\delta$在0°～360°之间变化），如图3-9（a）所示，电流、电压、阻抗随着δ的周期性变化而变化，当$\delta=180°$时，振荡中心的电压为0，电流最大，无异于三相短路，两个

系统之间的电流元件、低电压元件以及阻抗元件将周期性启动。

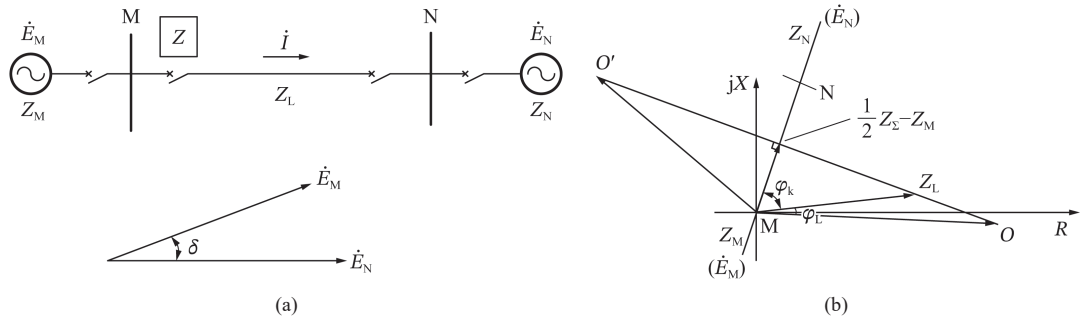


图 3-9　系统振荡分析

线路 MN 上的电流$I=\frac{E_M-E_N}{Z_\Sigma}=\frac{2E_M}{Z_\Sigma}\sin\frac{\delta}{2}$，当$\delta=180°$时，电流最大。

振荡中心位于两侧电源系统的电气中心，即系统综合阻抗$\frac{1}{2}Z_\Sigma=\frac{1}{2}(Z_M+Z_L+Z_N)$处，振荡中心电压$U_{OM}=E_M\cos\frac{\delta}{2}$，当$\delta=180°$时，电压为 0。

保护 M 处的电压$U_M=E_M-IZ_M$，测量阻抗$Z_M=\frac{U_M}{I}$。

代入U_M和I的公式，可得保护 M 侧的测量阻抗为

$$Z_{m.M}=\left(\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M\right)-j\frac{1}{2}Z_\Sigma\cot\frac{\delta}{2}$$

如图 3-9（b）所示，随着δ从 0°变化到 360°，测量阻抗沿着直线OO'变化，当$\delta=180°$时，测量阻抗最小，$Z_{m.Mmin}=\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M$。

（1）当$\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M>0$时，测量阻抗的轨迹穿越第一象限，若$Z_{m.Mmin}=\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M<Z_{set}$，则在振荡时，保护 M 会误动；若$Z_{m.Mmin}=\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M>Z_{set}$，则在振荡时，保护 M 不会误动。所以在振荡时，并不是系统中所有线路都会受振荡影响而误动。

（2）当$\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M=0$时，测量阻抗的轨迹穿越原点，测量阻抗的最小值为零。

（3）当$\frac{1}{2}Z_\Sigma-Z_M<0$时，测量阻抗的轨迹穿越第三象限，与距离保护Ⅰ、Ⅱ段的方向阻抗特性圆不相交，不会误动。

如图 3-10 所示，在相同定值下，动作特性在系统振荡时受影响的排序：全阻抗继电器 > 偏移阻抗继电器 > 方向阻抗继电器 > 透镜型阻抗继电器（橄榄型阻抗继电器）。

继电器的动作特性沿OO'方向所截长度越长，受系统振荡的影响越大。同级线路的三段式距离保护，Ⅲ段阻抗继电器受系统振荡的影响最大，Ⅰ段阻抗继电器受系统振荡的影响最小。

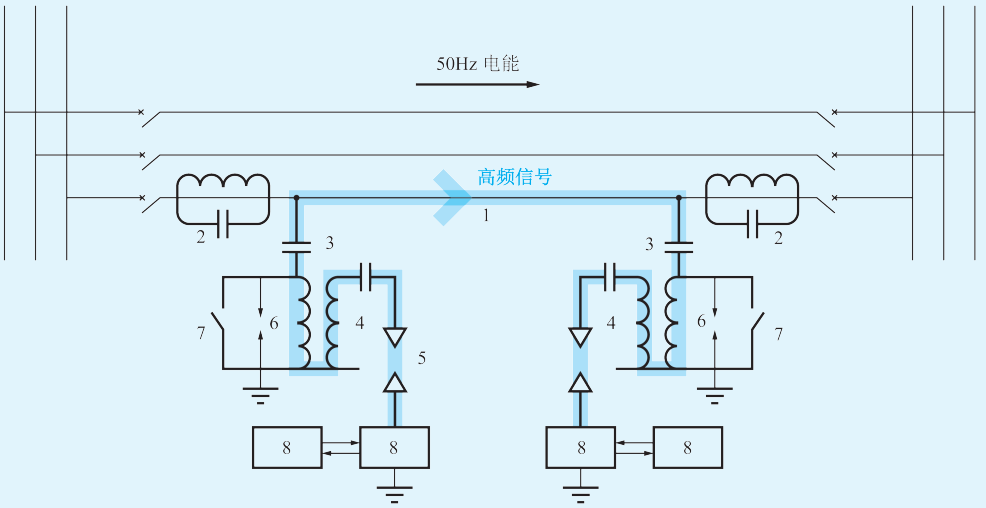
需要注意的是，当一条线路的距离保护Ⅲ段用全阻抗特性和方向阻抗特性进行整定时，由于所用整定公式不同，因此定值是不相同的，方向阻抗特性的定值更大，如果是比较距离保护Ⅲ段用全阻抗特性和方向阻抗特性在整定时受振荡影响的程度，则是方向阻抗特性受振荡影响更大。

由于距离保护Ⅲ段的整定动作时限在振荡中心一般大于振荡周期，可在时间上躲开振荡

知识点 ② 高频通道构成

★★★

相-地制高频通道接线图如图 4-2 所示。



1：输电线路；2：高频阻波器；3：耦合电容器；4：连接滤波器；5：高频电缆；6：保护间隙；7：接地开关；8：高频收、发信机

图 4-2　相-地制高频通道接线图

1. 输电线路

相-地制高频保护一般加工一相输电线路作为高频信号的传输回路。

2. 高频阻波器（由L、C组成的并联电路，通工频，阻高频）

*对高频：并联谐振，呈大阻抗（约为 1000Ω），不能通过，高频信号被限制在本段输电线路上。

*对工频：无谐振，呈小阻抗（0.04Ω），能顺利通过，不影响工频电流传输。

3. 耦合电容器（电抗$X_C = 1/(\omega C)$，通高频，阻工频）

同时起到隔离高压线路与高频收、发信机的作用。

4. 连接滤波器（由可调空心变压器和高频电缆侧电容器组成）

（1）连接滤波器与耦合电容器构成带通滤波器（提取所需高频信号，滤除其余高频干扰）。

（2）实现波阻抗的匹配（消除高频波反射，减小高频能量损耗），带通滤波器的波阻抗：输电线侧与输电线波阻抗（400Ω）匹配，高频电缆侧与电缆波阻抗（100Ω 或 75Ω）匹配。

★★★

5. 高频电缆

带屏蔽层，以减小高频泄漏和干扰。*高频电缆在进入收、发信机前不应经过任何其他端子，以免破坏屏蔽层，引起较大的泄漏和干扰。

记忆口诀：顺丰直达，不经过任何转运。

6. 高频收、发信机

发信机由继电保护控制，发信方式有：

（1）**故障发信方式**：平常不发信，故障时才根据情况可能发信，普遍采用，需要定时检查通道。

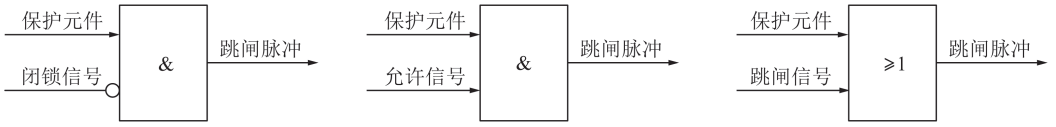
（2）**长期发信方式**：平常发信，故障时才根据情况可能停信，较少采用。

（3）**移频发信方式**：平常发f_1，故障时发f_2，f_1具有监视通道的作用。

收信机可收到对端（闭锁式也可收到本端）发信机发出的高频信号。

从性能上，虽然长期发信方式和移频发信方式都具有监测通道完好性的作用，但是实际上使用的基本都是故障发信方式，主要原因是故障发信方式平常不发信，收、发信机使用寿命长。后续讨论的高频保护除非特别强调是长期发信方式，否则一概认为是故障发信方式。

高频信号按性质的不同分类如下（见图 4-3）。



(a) 闭锁信号　(b) 允许信号　(c) 跳闸信号

图 4-3　高频信号分类

★★★

（1）**闭锁信号**：构成闭锁式高频保护，无闭锁信号是跳闸的必要条件，故障时闭锁信号主要在非故障线路上传输，防拒动能力强，防误动能力差。

闭锁式高频保护的动作逻辑：本侧保护动作，收不到对侧闭锁信号。

（2）**允许信号**：构成允许式高频保护，有允许信号是跳闸的必要条件，故障时允许信号主要在故障线路上传输，防误动能力强，防拒动能力差。

允许式高频保护动作逻辑：本侧保护动作，收到对侧允许信号。

（3）**跳闸信号**：一般构成欠范围式纵联保护，收到跳闸信号，断路器就可以跳闸。

在实际使用中，一般都是用闭锁信号，常见的高频保护都是闭锁式的。

注意：闭锁式和允许式高频保护都是投运前就定好的，不可能在通道中同时传输闭锁信号和允许信号。