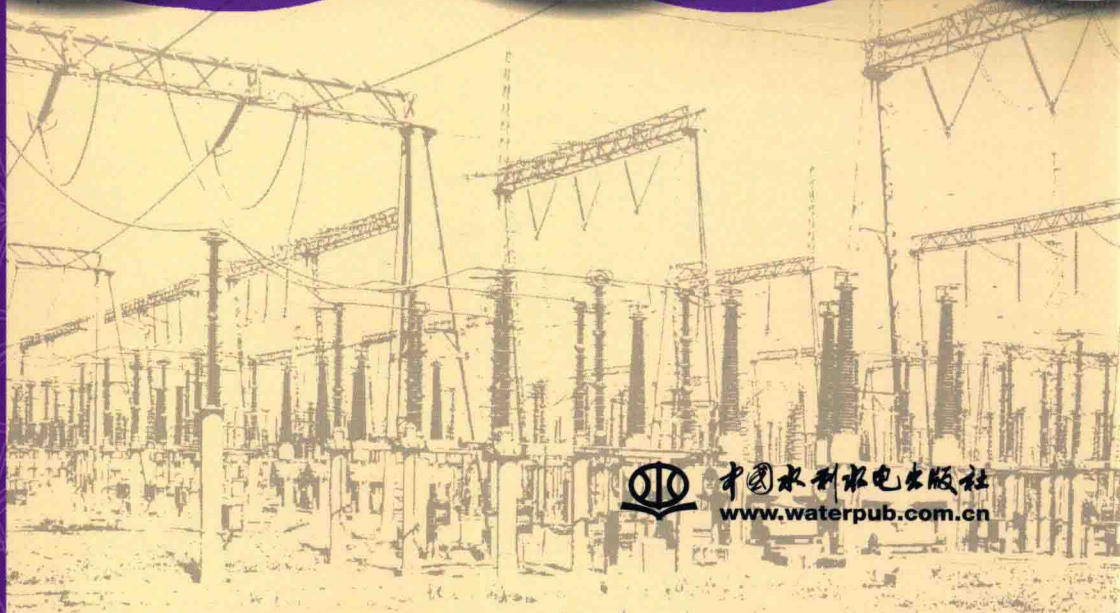


变电站运行与检修技术丛书

110kV 变电站 保护自动化设备 检修运维技术

丛书主编 杜晓平

本书主编 李 靖 张 良



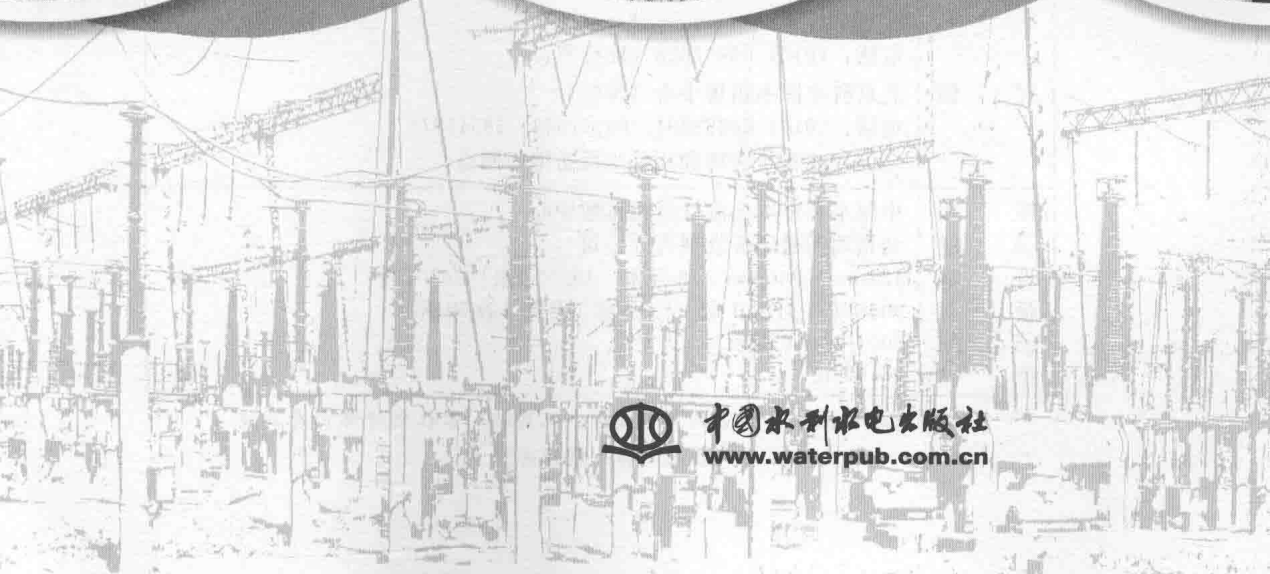
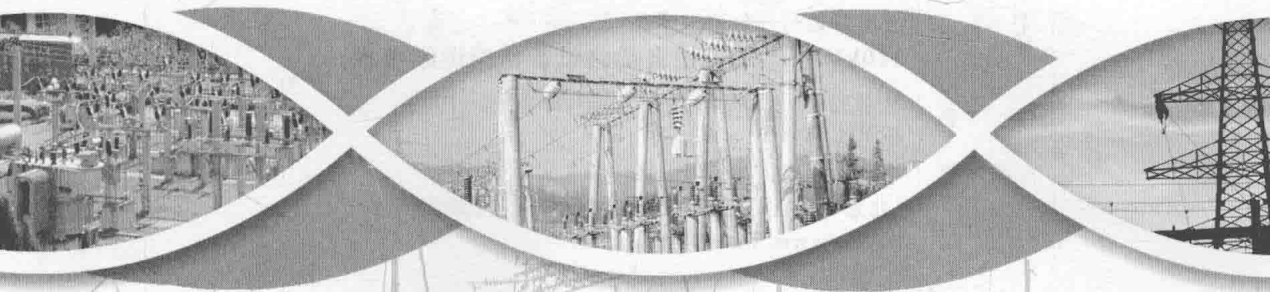
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

变电站运行与检修技术丛书

110kV 变电站 保护自动化设备 检修运维技术

丛书主编 杜晓平

本书主编 李 靖 张 良



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是《变电站运行与检修技术丛书》之一。本书结合电网保护及自动化系统运维检修的实际,总结归纳了多年来现场运维检修工作的宝贵经验。全书共分9章,分别介绍了110kV线路保护装置、110kV变压器微机保护装置、10kV线路(电容器)保护装置校验、备自投装置校验、低频低压解列装置校验、故障录波器、电压并列回路、二次回路和变电站自动化系统校验等内容。

本书既可作为从事变电站保护自动化运行管理、检修调试、设计施工和教学等相关人员的专业参考书和培训教材,也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

110kV变电站保护自动化设备检修运维技术 / 李靖,
张良主编. — 北京:中国水利水电出版社,2016.1
(变电站运行与检修技术丛书 / 杜晓平主编)
ISBN 978-7-5170-3975-4

I. ①1… II. ①李… ②张… III. ①变电所—变压器
保护—检修②变电所—变压器保护—运行 IV.
①TM403.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第006601号

书 名	变电站运行与检修技术丛书 110kV 变电站保护自动化设备检修运维技术
作 者	丛书主编 杜晓平 本书主编 李 靖 张 良
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10.5印张 249千字
版 次	2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《变电站运行与检修技术丛书》

编 委 会

丛书主编 杜晓平

丛书副主编 楼其民 李 靖 郝力军 王韩英

委 员 (按姓氏笔画排序)

王瑞平	方旭光	孔晓峰	吕朝晖	杜文佳
李有春	李向军	吴秀松	应高亮	张一军
张 波	陈文胜	陈文通	陈国平	陈 炜
邵 波	范旭明	周露芳	郑文林	赵寿生
郝力飙	钟新罗	施首健	钱 肖	徐军岳
徐街明	郭伯宙	温信强		

本书编委会

主 编 李 靖 张 良

副 主 编 李有春 李跃辉 李策策 张丹阳

参编人员 (按姓氏笔画排序)

江应沪	吴乐军	傅显峰	叶加炜	韦浩洋
吴国良	施 川	单 鑫	叶 玮	梅 杰
曹旭华	朱晨皓	林 昂	盛献飞	温佶强
郭宇隼	杜浩良	黄 晖	刘乃杰	金慧波
张一航	吴雪峰			

前 言

全球能源互联网战略不仅将加快世界各国能源互联互通的步伐，也势必强有力地促进国内智能电网快速发展，许多电力新设备、新技术应运而生，电网安全稳定运行面临着新形势、新任务、新挑战。这对如何加强专业技术培训，打造一支高素质的电网运行、检修专业队伍提出了新要求。因此我们编写了《变电站运行与检修技术丛书》，以期指导提升变电运行、检修专业人员的理论知识和操作技能水平。

本丛书共有六个分册，分别是《110kV 变电站保护自动化设备检修运维技术》《110kV 变电站电气设备检修技术》《110kV 变电站电气试验技术》《110kV 变电站开关设备检修技术》《110kV 变压器及有载分接开关检修技术》以及《110kV 变电站变电运维技术》。作为从事变电站运维检修工作的员工培训用书，本丛书将基本原理与现场操作相结合、理论讲解与实际案例相结合，立足运维检修，兼顾安装维护，全面阐述了安装、运行维护和检修相关内容，旨在帮助员工快速准确判断、查找、消除故障，提升员工的现场作业、分析问题和解决问题能力，规范现场作业标准化流程。

本丛书编写人员均为从事一线生产技术管理的专家，教材编写力求贴近现场工作实际，具有内容丰富、实用性和针对性强等特点。通过对本丛书的学习，读者可以快速掌握变电站运行与检修技术，提高自己的业务水平和工作能力。

本书是《变电站运行与检修技术丛书》的一本，主要内容包括：110kV 线路保护装置、110kV 变压器微机保护装置、10kV 线路（电容器）保护装置校验、备自投装置校验、低频低压解列装置校验、故障录波器、电压并列回路、二次回路和变电站自动化系统校验。由于此书针对运行与检修专业的现场人员学习，故有一些惯用的旧电气符号和文字符号没有译成新的电气符号和文字符号。

在本丛书的编写过程中得到过许多领导和同事的支持和帮助，使内容有了较大改进，在此向他们表示衷心的感谢。本丛书的编写参阅了大量的参考文献，在此对其作者一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2015年11月

目 录

前言

第 1 章 110kV 线路保护装置	1
1.1 基础知识	1
1.2 保护装置校验	13
1.3 典型缺陷处理分析	19
1.4 实际案例分析	24
第 2 章 110kV 变压器微机保护装置	26
2.1 基础知识	26
2.2 主变压器保护装置调试	27
2.3 典型缺陷处理分析	34
2.4 实际案例分析	37
第 3 章 10kV 线路(电容器)保护装置校验	39
3.1 基础知识	39
3.2 保护调试的安全和技术措施	41
3.3 保护的调试	44
3.4 典型缺陷处理分析	47
第 4 章 备自投装置校验	58
4.1 基础知识	58
4.2 备自投装置的现场校验方法	63
4.3 技能知识	74
4.4 典型缺陷处理分析	75
第 5 章 低频低压解列装置校验	79
5.1 基础知识	79
5.2 实训、实操部分	81
5.3 典型缺陷处理分析	91
5.4 实际案例分析	94
第 6 章 故障录波器	96
6.1 基础知识	96
6.2 故障录波器试验工作	99
6.3 典型缺陷处理分析	101
第 7 章 电压并列回路	103
7.1 基础知识	103

7.2	电压并列检查、试验工作	105
7.3	典型缺陷处理分析	108
第8章	二次回路	110
8.1	基础知识	110
8.2	二次回路检验、试验工作	119
8.3	典型缺陷处理分析	123
8.4	实际案例分析	129
第9章	变电站自动化系统校验	133
9.1	变电站自动化系统功能及原理	133
9.2	变电站自动化系统校验的安全和技术措施	137
9.3	变电站自动化系统校验标准化作业	144
9.4	自动化后台参数修改的标准化作业	147
参考文献		155

第 1 章 110kV 线路保护装置

1.1 基础知识

1.1.1 工作原理

装置总启动元件的主体由反应相间工频变化量的过流继电器实现，同时又配以反应全电流的零序过流继电器和负序过流继电器互相补充；低周启动元件可经控制字选择投退。反应工频变化量的启动元件采用浮动门坎，正常运行及系统振荡时变化量的不平衡输出均自动构成自适应式的门坎，浮动门坎始终略高于不平衡输出，在正常运行时由于不平衡分量很小，而装置有很高的灵敏度。

(1) 电流变化量启动。当相间电流变化量大于整定值，该元件动作并展宽 7s，去开放出口继电器正电源。

(2) 零序过流元件启动。当外接和自产零序电流均大于整定值，且无交流电流断线时，零序启动元件动作并展宽 7s，去开放出口继电器正电源。

(3) 负序过流元件启动。当负序电流大于整定值时，经 40ms 延时，负序启动元件动作并展宽 7s，去开放出口继电器正电源。

(4) 低周元件启动。当低周保护投入，系统频率低于整定值，且无低电压闭锁和滑差闭锁时，低周启动元件动作并展宽 7s，去开放出口继电器正电源。

(5) 低压元件启动。当低压保护投入，系统电压低于整定值，且无滑压闭锁和电压不平衡时，低压启动元件动作并展宽 200ms，去开放出口继电器正电源。

(6) 重合闸启动。当满足重合闸条件则展宽 10min，在此时间内，若有重合闸动作则开放出口继电器正电源 500ms。

1.1.2 二次基本回路

1.1.2.1 高频纵联保护

RCS-941B 型装置配有由距离方向和零序方向继电器，经通道交换信号构成全线路快速跳闸的方向保护，即装置的纵联保护。

纵联距离继电器将按超范围整定的距离继电器构成方向比较元件，由低压距离继电器、接地距离继电器、相间距离继电器组成。

零序方向继电器。

纵联保护由整定控制字选择是采用超范围允许式还是闭锁式等方式。

1. 闭锁式纵联保护逻辑

一般与专用收发信机配合构成闭锁式纵联保护，位置停信、其他保护动作停信、通道

交换逻辑等都由保护装置实现，这些信号都应接入保护装置而不接至收发信机，即发信或停信只由保护发信接点控制，发信接点动作即发信，不动作为停信。

(1) 故障测量程序中闭锁式纵联距离保护逻辑。闭锁式纵联保护启动后方框图见图1-1。

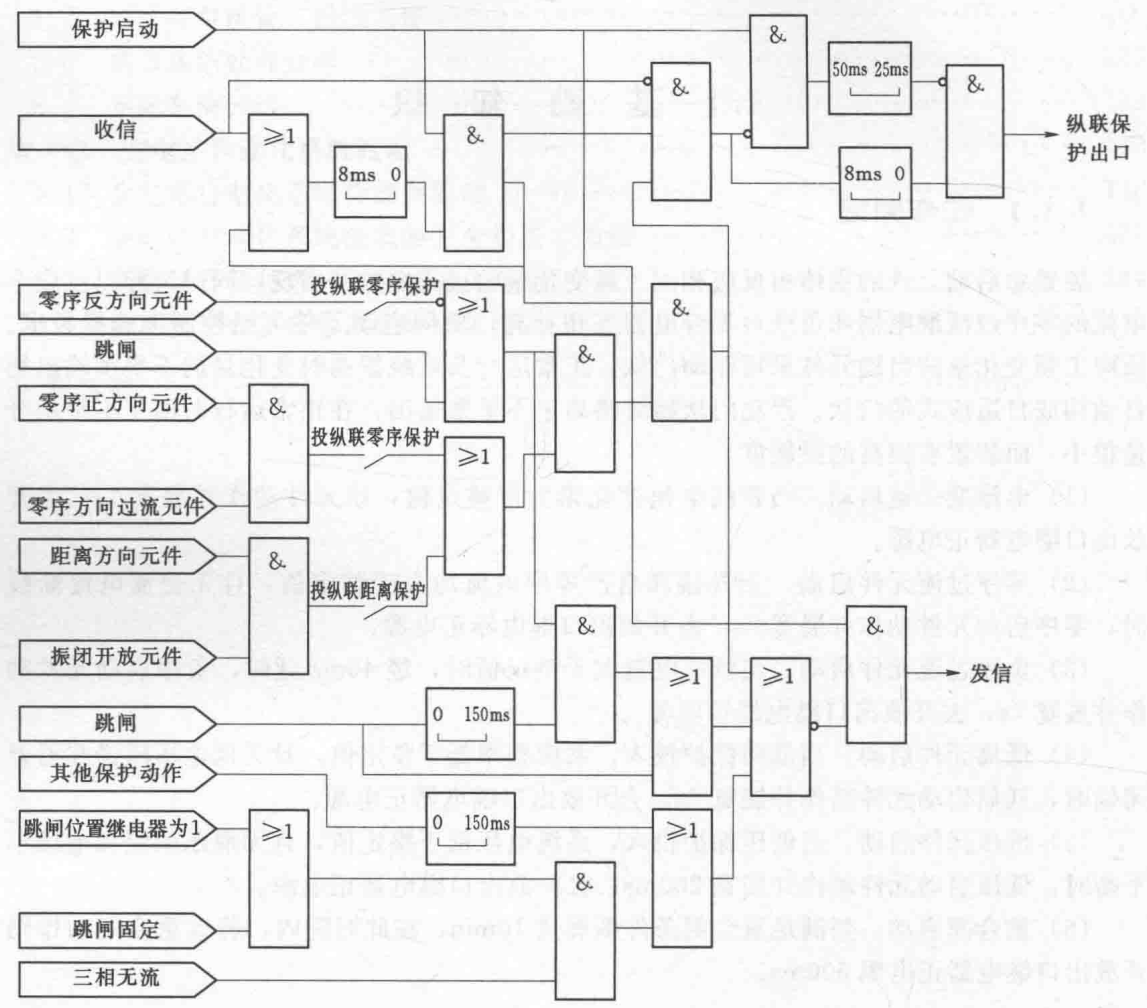


图 1-1 闭锁式纵联保护启动后方框图

- 具体内容如下：
- 1) 低定值启动元件动作后启动收发信机发闭锁信号。
 - 2) 反方向元件动作时，立即闭锁正方向元件的停信回路，即方向元件中反方向元件动作优先，这样有利于防止故障功率倒方向时误动作。
 - 3) 启动元件动作后，收信 8ms 后才允许正方向元件投入工作，反方向元件不动作，纵联距离元件或纵联零序元件任一动作时，停止发信。
 - 4) 当本装置其他保护（如零序延时段、距离保护）动作，或外部保护（如母线差动保护）动作跳闸时，立即停止发信，并在跳闸信号返回后，停信展宽 150ms，但在展宽期间若反方向元件动作，立即返回，继续发信。

6) 跳闸固定回路动作或跳闸位置继电器 (TWJ) 动作且无流时, 始终停止发信。

(2) 正常运行程序中闭锁式纵联保护逻辑。通道试验、远方启信逻辑由本装置实现,进行通道试验时就把两侧的保护装置、收发信机和通道一起进行检查。与本装置配合收发信机内部的远方启信逻辑部分应取消。闭锁式纵联保护未启动时的方框图见图

1-2.

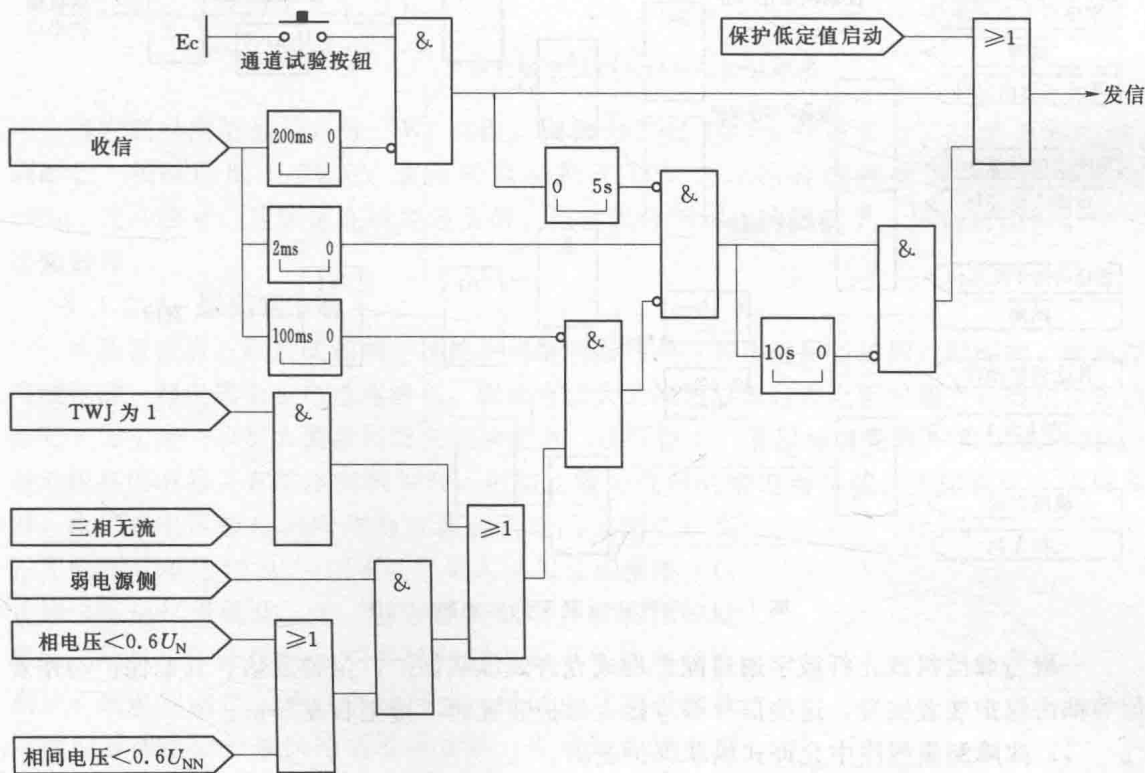


图 1-2 闭锁式纵联保护未启动时的方框图

1) 远方启动发信: 当收到对侧信号后, 如 TWJ 未动作, 则立即发信, 如 TWJ 动作, 则延时 100ms 发信; 当用于弱电侧, 判断任一相电压低于 $0.6U_N$ 或相间电压低于 $0.6U_N$ 时, 延时 100ms 发信, 这保证在线路轻负荷, 启动元件不动作的情况下, 由对侧保护快速切除故障。无上述情况时则本侧收信后, 立即由远方启信回路发信, 10s 后停信。

2) 通道试验: 对闭锁式通道, 正常运行时需进行通道信号交换, 由人工在保护屏上按下通道试验按钮, 本侧发信, 收信 200ms 后停止发信; 收对侧信号达 5s 后本侧再次发信, 10s 后停止发信。

4) 通道试验自检: 保护装置可根据每次的通道试验情况(手动或自动)作出通道正常与否的判断。若通道正常, 保护将自动复归收发信机信号; 若通道异常或有收发信机 3DB 告警开入, 将给出通道异常告警信号, 该信号可手动复归, 也可通过远方复归。

允许式纵联保护启动后方框图见图 1-3。

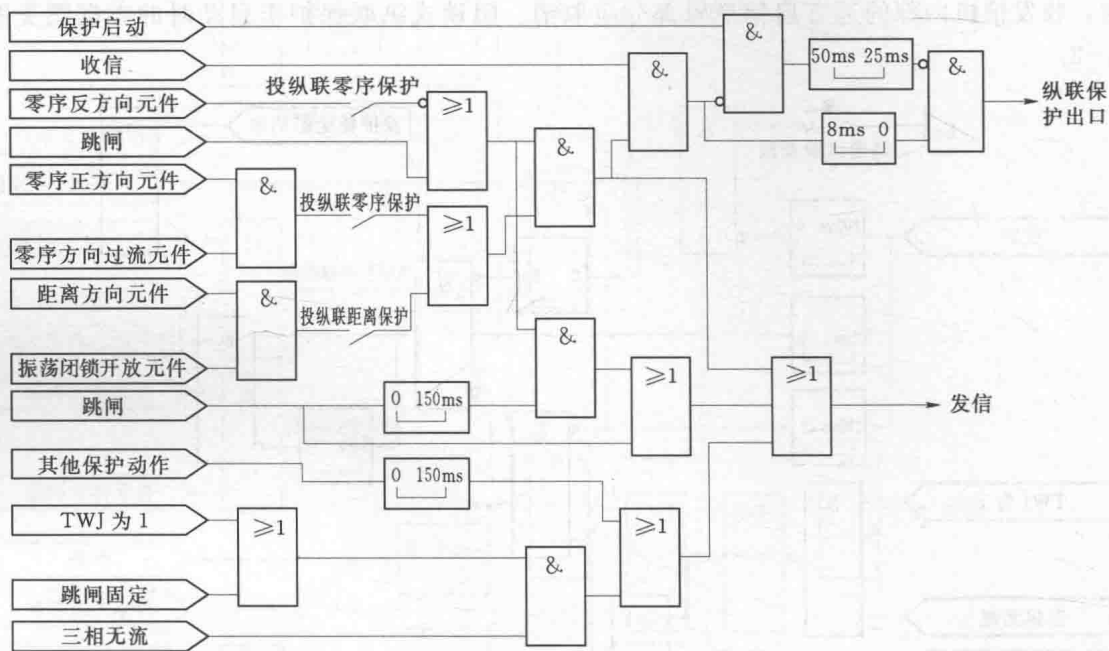


图 1-3 允许式纵联保护启动后方框图

一般与载波机或光纤数字通道配合构成允许式纵联保护，位置发信、其他保护动作发信等都由保护装置实现，这些信号都应接入保护装置而不接至收发信机。

1) 正方向元件动作且反方向元件不动即发允许信号, 同时收到对侧允许信号达 8ms 后纵联保护动作。

2) 如连续 50ms 未收到对侧允许信号, 则其后纵联保护动作需经 25ms 延时, 防止故障功率倒向时保护误动。

3) 当本装置其他保护(如零序延时段、距离保护)动作跳闸,或外部保护(如母线差动保护)动作跳闸时,立即发允许信号,并在跳闸信号返回后,发信展宽150ms,但在展宽期间若反方向元件动作,则立即返回,停止发信。

4) 三相跳闸固定回路动作或三相跳闸位置继电器均动作且无流时, 始终发信。

(2) 正常运行程序中允许式纵联保护逻辑。允许式纵联保护未启动时的方框图见图 1-4。

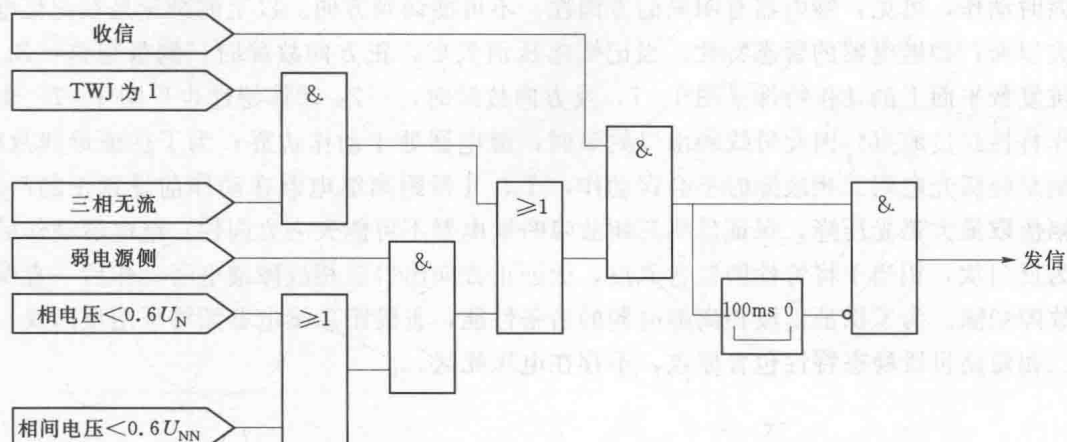


图 1-4 允许式纵联保护未启动时的方框图

当收到对侧信号后，如 TWJ 动作，则给对侧发 100ms 允许信号；当用于弱电侧，判断任一相电压低于 34.6V 或相间电压低于 60V 时，当收到对侧信号后给对侧发 100ms 允许信号，这保证在线路轻负荷，启动元件不动作的情况下，可由对侧保护快速切除故障。

1.1.2.2 距离继电器

本装置设有三阶段式相间、接地距离继电器和两个作为远后备的四边形相间、接地距离继电器。继电器由正序电压极化，因而有较大的测量故障过渡电阻的能力；当用于短路时，为了进一步扩大测量过渡电阻的能力，还可将 I、II 段阻抗特性向第 I 象限偏移；接地距离继电器设有零序电抗特性，可防止接地故障时继电器超越。正序极化电压较高时，由正序电压极化的距离继电器有很好的方向性；当正序电压下降至 $10\%U_N$ 以下时，进入三相低压程序，由正序电压记忆量极化，I、II 段距离继电器在动作前设置正的门槛，保证母线三相故障时继电器不可能失去方向性；继电器动作后则改为反门槛，保证正方向三相故障继电器动作后一直保持到故障切除。III 段距离继电器始终采用反门槛，因而三相短路 III 段稳态特性包含原点，不存在电压死区。

1. 低压距离继电器

当正序电压小于 $10\%U_N$ 时，进入低压距离程序。正方向故障时，低压距离继电器暂态动作特性见图 1-5。

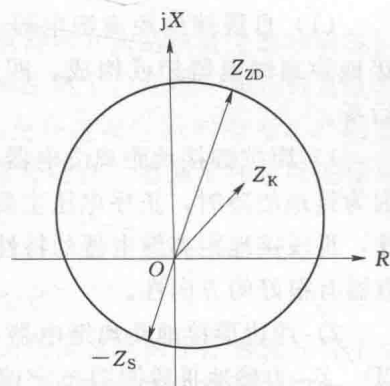


图 1-5 正方向故障时动作特性图

Z 为保护安装处背后等值电源阻抗，测量阻抗 Z_K 在阻抗复数平面上的动作特性是以 Z_{ZD} 至 $-Z_S$ 连线为直径的圆，动作特性包含原点表明正向出口经或不经过渡电阻故障时都能正确动作，并不表示反方向故障时会误动作；反方向故障时的动作特性必须以反方向故障为前提导出。反方向故障时，测量阻抗 $-Z_K$ 在阻抗复数平面上的动作特性是以 Z_{ZD} 与 Z'_S 连线为直径的圆，见图 1-6，其中， Z'_S 为保护安装处到对侧系统的总阻抗。当 $-Z_K$ 在

圆内时动作，可见，继电器有明确的方向性，不可能误判方向。以上的结论是在记忆电压消失以前，即继电器的暂态特性。当记忆电压消失后，正方向故障时，测量阻抗 $-Z_K$ 在阻抗复数平面上的动作特性见图 1-7，反方向故障时， $-Z_K$ 动作特性也见图 1-7。由于动作特性经过原点，因此母线和出口故障时，继电器处于动作边界；为了保证母线故障，特别是经弧光电阻三相故障时不会误动作，Ⅰ、Ⅱ段距离继电器在动作前设置正的门槛，其幅值取最大弧光电压降，保证母线三相故障时继电器不可能失去方向性；继电器动作后则改为反门槛，相当于将特性圆包含原点，保证正方向出口三相故障继电器动作后一直持续到故障切除。为了保证Ⅲ段距离继电器的后备性能，Ⅲ段距离继电器始终采用反门槛，因而三相短路Ⅲ段稳态特性包含原点，不存在电压死区。

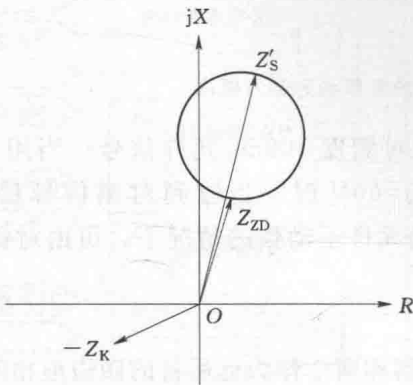


图 1-6 反方向故障时的动作特性

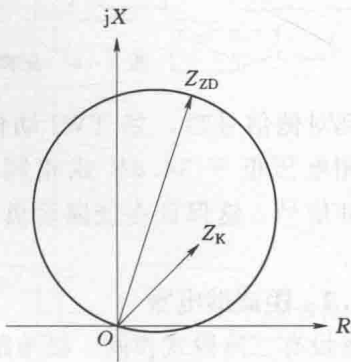


图 1-7 三相短路稳态特性

2. 接地距离继电器
- (1) Ⅲ段接地距离继电器。Ⅲ段接地距离继电器由阻抗圆接地距离继电器和四边形接地距离继电器相或构成，四边形接地距离继电器可作为长线末端变压器后故障的远后备。
- 1) 阻抗圆接地距离继电器：继电器的极化电压采用当前正序电压，非记忆量，这是因为接地故障时，正序电压主要由非故障相形成，基本保留了故障前的正序电压相位，因此，Ⅲ段接地距离继电器的特性与低压时的暂态特性完全一致，见图 1-5 和图 1-6，继电器有很好的方向性。
- 2) 四边形接地距离继电器：四边形接地距离继电器的动作特性见图 1-8 中的 ABCD， Z_{ZD} 为接地Ⅲ段圆阻抗定值， Z_{REC} 为接地Ⅲ段四边形定值，四边形中 BC 段与 Z_{ZD} 平行，且与Ⅲ段圆阻抗相切；AD 段延长线过原点偏移 jX 轴 15° ；AB 段与 CD 段分别在 $Z_{ZD}/2$ 和 Z_{REC} 处垂直于 Z_{ZD} 。整定四边形定值时只需整定 Z_{REC} 即可。
- (2) Ⅰ、Ⅱ段接地距离继电器。Ⅰ、Ⅱ段接地距离继电器由方向阻抗继电器和零序电抗继电器相与构成。Ⅰ、Ⅱ段方向阻抗继电器的极化电压，较Ⅲ段增加了一个偏移角 θ_1 ，其作用是在短线路应用时，将方向阻抗特性向第Ⅰ象限偏移，以扩大允许故障过渡电阻的能力。 θ_1 的整定可按 0° 、 15° 、 30° 三挡选择。方向阻抗与零序电抗继电器两部分结合，增强了在短线上使用时允许过渡电阻的能力。正方向故障时继电器特性见图 1-9。

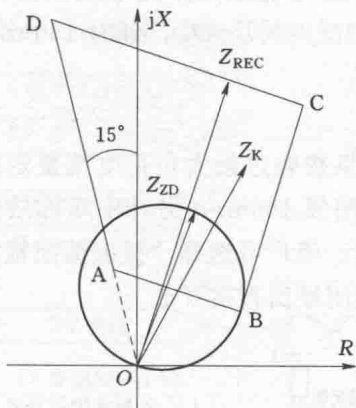


图 1-8 四边形接地距离继电器的动作特性

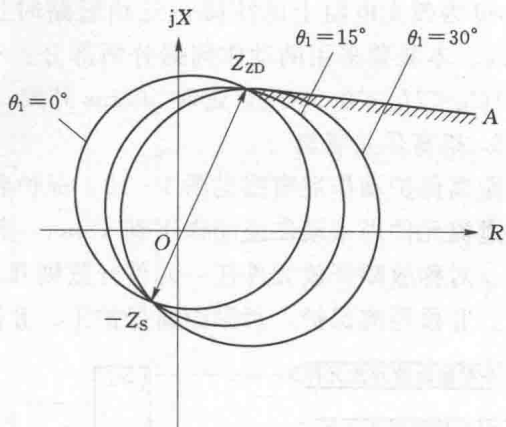


图 1-9 正方向故障时继电器特性

3. 相距离继电器

(1) III段相间距离继电器。III段相间距离继电器由阻抗圆相间距离继电器和四边形相间距离继电器相或构成，四边形相间距离继电器可作为长线末端变压器后故障的远后备。

1) 阻抗圆相间距离继电器：继电器的极化电压采用正序电压，不带记忆。因相间故障其正序电压基本保留了故障前电压的相位；故障相的动作特性见图 1-5 和图 1-6，继电器有很好的方向性。三相短路时，由于极化电压无记忆作用，其动作特性为一过原点的圆，见图 1-7。由于正序电压较低时，由低压距离继电器测量，因此，这里既不存在死区也不存在母线故障失去方向性问题。

2) 四边形相间距离继电器：四边形相间距离继电器动作特性同四边形接地距离继电器，见图 1-8，只是工作电压和极化电压以相间量计算。

(2) I、II段相间距离继电器。I、II段相间距离继电器由方向阻抗继电器和电抗继电器相与构成。I、II段方向阻抗继电器的极化电压与接地距离 I、II段一样，较III段增加了一个偏移角 θ_2 ，其作用也是为了在短线路使用时增加允许过渡电阻的能力。 θ_2 的整定可按 0° 、 15° 、 30° 三挡选择。方向阻抗与电抗继电器两部分结合，增强了在短线上使用时允许过渡电阻的能力。

4. 振荡闭锁

装置的振荡闭锁分三个部分，任意一个元件动作开放保护。

(1) 启动开放元件。启动元件开放瞬间，若按躲过最大负荷整定的正序过流元件不动作或动作时间尚不到 10ms，则将振荡闭锁开放 160ms。该元件在正常运行突然发生故障时立即开放 160ms，当系统振荡时，正序过流元件动作，其后再有故障时，该元件已被闭锁，另外当区外故障或操作后 160ms 再有故障时也被闭锁。

(2) 不对称故障开放元件。不对称故障时，振荡闭锁回路还可由对称分量元件开放。

(3) 对称故障开放元件。在启动元件开放 160ms 以后或系统振荡过程中，如发生三相故障，则上述两项开放措施均不能开放振荡闭锁，本装置中另设置了专门的振荡判别元件，即测量振荡中心电压： $U_m = U_N \cos \theta$ 为正序电压， θ 是正序电压和电流之间的夹角。在系统正常运行或系统振荡时， $U_N \cos \theta$ 反应振荡中心的正序电压；在三相短路时，

$U_N \cos \theta$ 为弧电阻上的压降，三相短路时过渡电阻是弧电阻，弧电阻上压降小于 $5\%U_N$ 。本装置采用的动作判据分两部分： $-0.03U_N < U_{os} < 0.08U_N$ ，延时 150ms 开放； $-0.1U_N < U_{os} < 0.25U_N$ ，延时 500ms 开放。

5. 距离保护逻辑

距离保护动作逻辑图见图 1-10。保护启动时，如果按躲过最大负荷电流整定的振荡闭锁过流元件尚未动作或动作不到 10ms，则开放振荡闭锁 160ms，另外不对称故障开放元件、对称故障开放元件任一元件开放则开放振荡闭锁；用户可选择“投振荡闭锁”去闭锁 I、II 段距离保护，否则距离保护 I、II 段不经振荡闭锁而直接开放。

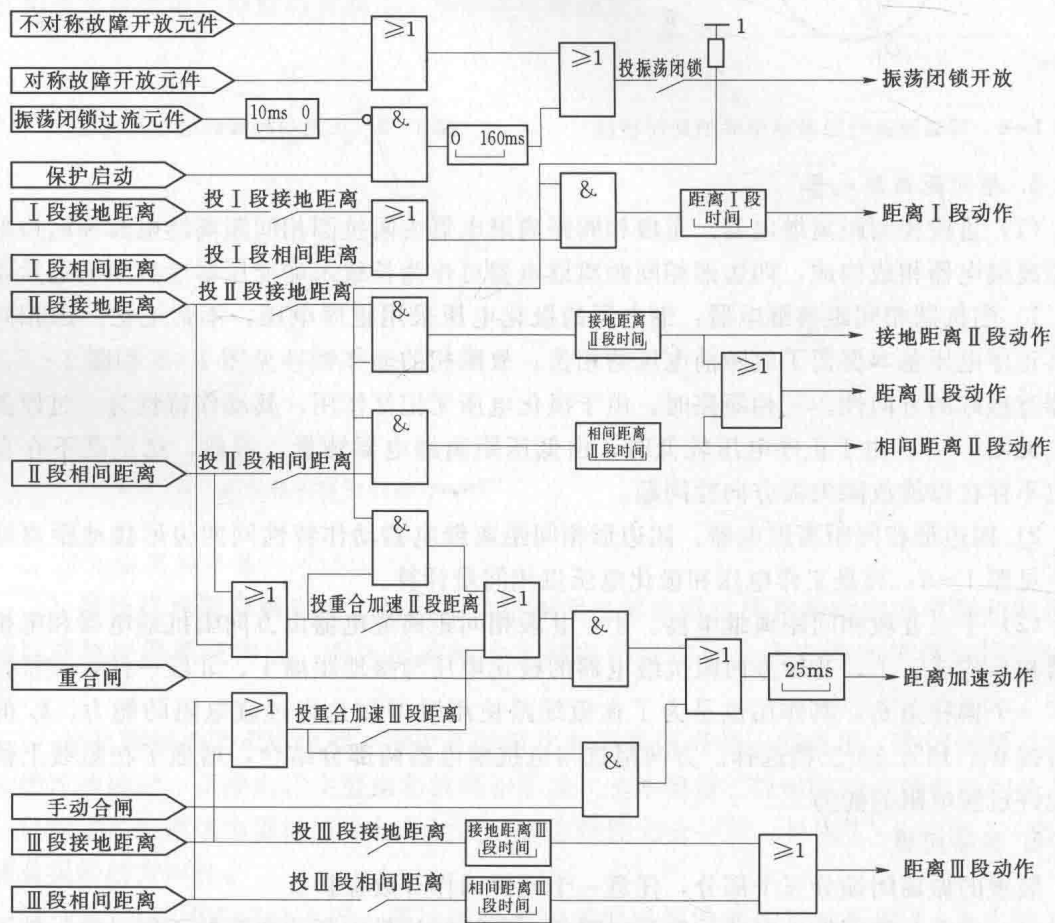


图 1-10 距离保护动作逻辑图

(1) 合闸于故障线路时加速跳闸有两种方式：一是受振闭控制的 II 段距离继电器在合闸过程中加速跳闸；二是在合闸时，还可选择“投重合加速 II 段距离”、“投重合加速 III 段距离”、由不经振荡闭锁的 II 段或 III 段距离继电器加速跳闸，手动合闸时总是加速 III 段距离。

(2) 对 RCS-941J 型保护，用户可经控制字“投前加速接地 II 段”“投前加速相间 II 段”独立地对相间距离 II 段或接地距离 II 段实现前加速，其投入标志为重合闸充电。用户可经控制字“投振荡闭锁”选择距离 II 段前加速是否受振荡闭锁控制。