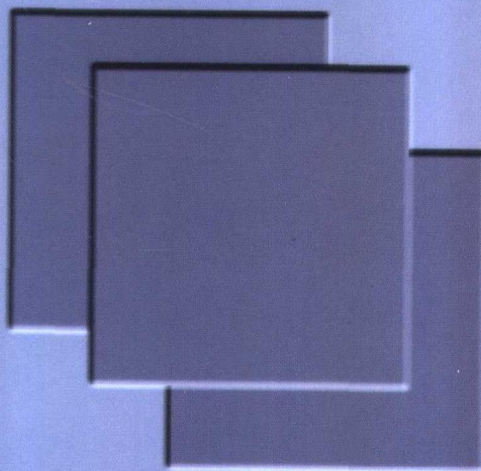




全国高职高专电气类精品规划教材

电力系统自动装置

主编 钱 武 李生明



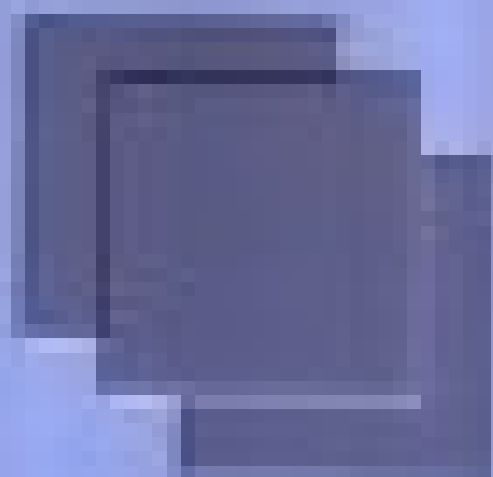
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

②

中国电力出版社“十一五”国家重点图书出版规划项目

电力系统自动装置

第二版 王 强 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS

全国高职高专电气类精品规划教材

电力系统自动装置

主 编 钱 武 李生明

副主编 陈金星 龙 运 冯黎兵



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是为了满足高等职业教学要求,及时反映电力系统自动装置的新技术发展而编写的。

本教材系统介绍了备用电源自动投入装置,输电线路的自动重合闸装置,按频率自动减负荷装置,同步发电机自动并列装置,同步发电机自动调节励磁装置,故障录波装置的基本原理和运行维护,介绍了微机在以上装置和系统中的应用及运行。

本教材可作为高职高专电力类专业教材之用,也可供职业技能培训和相关专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统自动装置/钱武,李生明主编. —北京:中国水利水电出版社,2004.8

全国高职高专电气类精品规划教材

ISBN 7-5084-2203-1

I. 电... II. ①钱...②李... III. 电力系统—自动装置—高等学校:技术学校—教材 IV. TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 062285 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 电力系统自动装置
作 者	主编 钱武 李生明
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16开本 11.5印张 225千字
版 次	2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	18.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

为了适应高等职业技术教育发展的需要,我们根据全国部分高等专科学校和职业技术学院厦门教材规划会议的精神,编写了本教材。

本教材既可作为发电、供电和电力系统自动化等专业的必修课教材,也可作为职业技术培训教材使用。

本教材第1章由长江工程职业技术学院李生明编写;第2章由福建水利电力职业技术学院陈金星编写;第3章和第6章由四川电力职业技术学院龙运编写;第4章由四川水利职业技术学院冯黎兵编写;第5章由广东水利电力职业技术学院钱武编写。本教材由钱武统稿。

本教材力求反映电力系统自动装置的基本原理和应用,反映该领域的先进技术。由于时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,请读者批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

序

前言

绪论 1

第 1 章 备用电源自动投入装置 4

1.1 备用电源自动投入装置的作用和基本要求 4

1.2 备用电源自动投入装置的原理 8

1.3 备用电源自动投入装置接线 9

小结 14

复习思考题 15

第 2 章 输电线路的自动重合闸装置 16

2.1 输电线路自动重合闸装置的作用及分类 16

2.2 对输电线路自动重合闸装置的基本要求 18

2.3 单侧电源线路三相一次自动重合闸 19

2.4 双侧电源线路三相自动重合闸 24

2.5 自动重合闸与继电保护的配合 33

2.6 综合重合闸与新技术简介 35

2.7 重合器与分段器 48

小结 51

复习思考题 53

第 3 章 按频率自动减负荷装置 55

3.1 概述 55

3.2 按频率自动减负荷装置的工作原理 57

3.3 按频率自动减负荷装置接线 60

3.4 防止按频率自动减负荷装置误动作措施 65

小结 66

复习思考题 67

第4章 同步发电机自动并列装置	68
4.1 概述	68
4.2 整步电压	69
4.3 ZZQ—5型自动准同期装置	74
4.4 数字式并列装置	87
4.5 自动并列装置的运行与调试	97
小结	99
复习思考题	100
第5章 同步发电机自动调节励磁装置	102
5.1 概述	102
5.2 励磁调节器的基本概念	106
5.3 同步发电机的常见励磁方式	108
5.4 继电强行励磁和发电机灭磁	111
5.5 晶闸管静止励磁装置	115
5.6 复式励磁和相位复式励磁	141
5.7 微机发电机励磁调节器	145
5.8 并联运行发电机间无功功率分配	160
小结	162
复习思考题	163
第6章 故障录波装置	164
6.1 概述	164
6.2 故障录波装置的基本原理	166
6.3 故障录波装置的应用	171
小结	173
复习思考题	174
参考文献	175

绪 论

随着经济建设的发展，我国电力系统的规模日益扩大，发电设备的容量也相应增大，系统运行方式的变化越来越频繁。为了更好地保证电力系统的安全、经济运行并保证电能质量，电力系统自动装置及其技术得到广泛应用并日益发展，同时也促进电力系统自动控制技术的不断提高。

一、电力系统及其运行特点

与其他产品不同，电能的生产、传输、分配和消耗在同一时刻完成，遵循功率平衡原则。所以发电厂、变电所、输配电线路和用户构成的电力系统是一个有机的整体，在运行中任何一个环节出现问题，都会影响到电力系统的稳定运行，严重时会造成恶性事故，导致整个系统崩溃。

为了取得更大的经济效益，电力网规模越来越庞大、发电机容量也越来越大，因此为了满足电力系统运行的要求，电力系统必须借助于自动装置来完成对电力系统及其设备监视、控制、保护和信息传递。因此自动化技术就成了必不可少的手段。

二、电力系统自动控制的总目标和主要内容

电力系统自动控制的总目标是：保证供电质量，提高供电的可靠性，实现电力系统的安全经济运行。为了实现这个总目标，电力系统自动控制的任务有以下几个方面。

1. 电力系统自动监视和控制

电力系统自动监视和控制，其主要任务是提高电力系统的安全、经济运行水平，电力系统中各发电厂、变电所把反映电力系统运行状态的实时信息，由远动终端装置送给调度控制中心的计算机系统，由计算机及时地对电力系统的运行进行分析得出安全经济运行的决策并通过人机联系系统显示出来，供运行人员参考。这样不仅为运行



人员集中精力指挥电网运行创造条件,而且便于在安全分析后及时地提出并采取预防性控制,可极大地提高电网运行的安全性、经济性。

2. 电厂动力机械自动控制

电厂的动力机械随电厂类型不同而有很大的差别,如水电厂、火电厂、核电厂等,它们的动力设备截然不同,其控制要求和控制规律相差很大。在火电厂中有锅炉和汽轮机的自动控制系统,在水电厂中有水力机械的自动控制系统等,其目的是控制电能生产的大小、质量与经济性。对这些能量转换的机械系统的控制是电力系统自动控制的主要任务之一。由于它们分属不同的学科。不在本教材中反映。

3. 电力系统主要电力设备的自动控制

对发电厂、变电所、线路电气设备运行进行控制与操作的自动装置,是直接为电力系统安全、经济和保证电能质量服务的基础自动化设备。这些设备或装置包括备用电源和设备自动投入、自动重合闸、同步发电机自动并列、同步发电机自动调节励磁、按频率自动减载、事故记录等。

近年来,由于控制理论、信息论等方面的成就,大规模、超大规模集成电子器件不断推出;计算机技术和数据通信技术的发展,自动控制技术正发生着日新月异的变化;计算机控制技术在电力系统自动装置中得到广泛应用。

三、本课程的主要内容

根据教学大纲要求,本书分6章讲授:

(1) 第1章备用电源和设备自动投入装置。主要讲授备用电源自动投入装置的基本含义、作用、基本要求、原理接线、工作原理和元器件参数整定等,要求学生掌握备用电源自动投入装置的作用、基本要求和工作原理,了解备用电源自动投入装置中元器件参数的整定计算。

(2) 第2章输电线路的自动重合闸装置。主要讲授自动重合闸装置的作用以及对自动重合闸的基本要求;三相一次自动重合闸的概念,电气式三相一次自动重合闸装置的工作原理及参数整定原则;双侧电源线路三相自动重合闸应考虑的特殊问题,无电压检定和同步检定的三相自动重合闸的工作原理及参数整定原则、同步检定继电器;重合闸前加速、后加速保护的定义、工作过程及特点;综合重合闸的工作方式、综合重合闸需考虑的特殊问题及构成原则;简要介绍重合器与分段器的功能及配合使用原则。

(3) 第3章按频率自动减负荷装置主要讲授负荷与频率的关系,频率变化的动态特性,AFL装置的基本要求,AFL装置基本原理与分级切负荷原理,低频继电器的原理。防止AFL装置误动措施等内容。



(4) 第4章同步发电机自动并列装置主要讲授同期的各种方式及并列的允许条件。整步电压原理, ZZQ—5型同期装置和微机自动同期装置的组成部分、工作原理及运用要求。

(5) 第5章同步发电机自动励磁调节装置主要讲授了同步发电机自动励磁调节装置的基本概念, 可控硅整流电路, 励磁调节器的基本原理, 各种限制、保护功能, 自动励磁调节装置对发电机的影响, 微机励磁装置的基本构成和原理。

(6) 第6章故障录波装置主要讲授故障录波装置的作用, 录取量的选择应满足的要求。微机故障录波装置的基本原理。微机故障录波装置录波结果分析方法。故障录波装置的起动方式, 录波数据采样及记录方式。



第 1 章

备用电源自动投入装置

【教学要求】 本章主要讲授备用电源自动投入装置的基本含义、作用、要求、原理接线、工作原理和元器件参数整定等，要求学生掌握备用电源自动投入装置的作用、基本要求和工作原理，掌握备用电源自动投入装置中元器件参数的整定计算。

1.1 备用电源自动投入装置的作用和基本要求

1.1.1 备用电源自动投入装置的含义和作用

在电力系统中，很多用户和用电设备是由单电源的辐射形网络供电的。当供电电源由于某些原因而断开时，则连接在它上面的用户和用电设备将失去电源，从而使正常工作遭到破坏，给生产和生活造成不同程度的损失。为了消除或减少损失，保证用户不间断供电，在发电厂和变电所中广泛采用了备用电源自动投入装置。

备用电源自动投入装置是指当工作电源因故障被断开以后，能迅速自动地将备用电源投入或将用电设备自动切换到备用电源上去，使用户不至于停电的一种自动装置，简称备自投或 BZT 装置。一般在下列情况下装设：

- (1) 发电厂的厂用电和变电所的所用电。
- (2) 有双电源供电的变电所和配电所，其中一个电源经常断开作为备用。
- (3) 降压变电所内装有备用变压器或互为备用的母线段。
- (4) 生产过程中某些重要的备用机组，如给水泵、循环水泵等。

在电力系统中，不少重要用户是不允许停电的。因此常设置两个或两个以上的独立电源供电，一个工作，另一个备用，或互为备用。当工作电源消失时，备用电源的投入，可以用手动操作，也可以用 BZT 装置自动操作。手动操作动作较慢，中断供



电时间较长,对正常生产和生活有一定影响;对生产工艺不允许停电的场合,手动投入备用电源往往不能满足要求。采用 BZT 装置自动投入,中断供电时间只是自动装置的动作时间,时间很短,只有几秒,对生产无明显影响,故 BZT 装置可大大提高供电可靠性。

1.1.2 备用方式

BZT 装置从其电源备用方式上可以分成两大类:明备用和暗备用。图 1-1 为应用 BZT 装置的几种电气接线举例。

1. 明备用方式

在图 1-1 (a) 中,正常工作时,断路器 1QF、2QF、6QF、7QF 合上运行,变压器 T1、T2 处于通电工作状态,向母线 I、II 供电;断路器 3QF、4QF、5QF 断开运行,变压器 T3 处于备用状态。当 T1 (或 T2) 故障时,其两侧断路器 1QF、2QF (或 6QF、7QF) 由变压器的继电保护动作而跳闸,然后 BZT 装置动作,将 3QF、4QF (或 3QF、5QF) 迅速合闸, I 段 (或 II 段) 母线即由 T3 恢复供电。这种设有可见的专用备用变压器或备用母线的情况,称为“明备用”。图 1-1 (b) ~ 图 1-1 (d) 均属明备用方式。

2. 暗备用方式

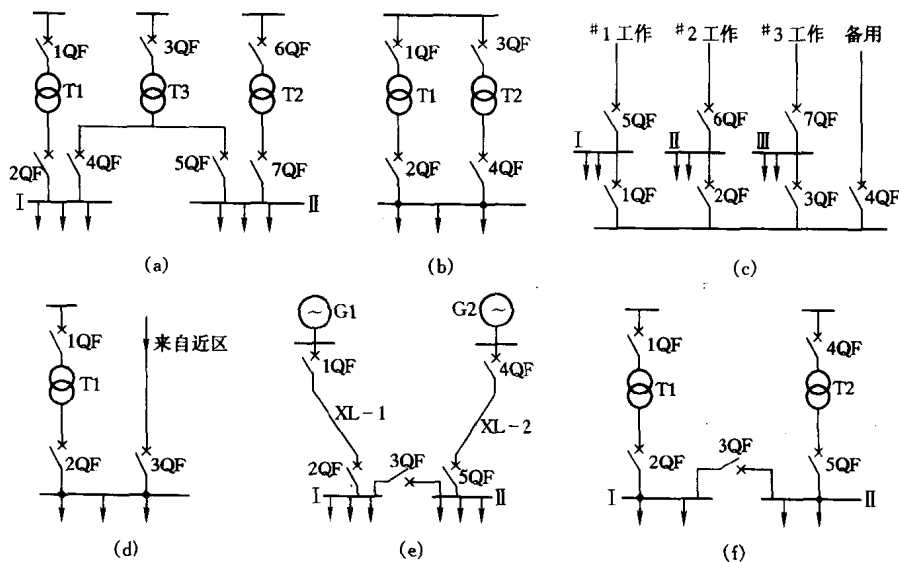


图 1-1 应用 BZT 装置的一次接线举例

(a) ~ (d) 明备用; (e)、(f) 暗备用



在图 1-1 (f) 中, 正常运行时, 断路器 1QF、2QF、4QF、5QF 合上运行, 3QF 断开运行, 两台工作变压器 T1、T2 分别向 I、II 段母线供电, 母线分段运行。当变压器 T1 发生故障时, T1 的继电保护动作, 将 1QF 和 2QF 跳闸, 然后 BZT 装置动作, 将 3QF 投入, I 段母线负荷即转移由变压器 T2 供电; 同样, 当变压器 T2 发生故障时, T2 的继电保护动作将 4QF 和 5QF 跳闸, BZT 装置使 3QF 投入, II 段母线转由变压器 T1 供电。这种互为备用的方式称为“暗备用”, 暗备用的每台变压器容量, 都应按两分段母线上的总负荷来考虑, 否则在 BZT 装置动作后会造成过负荷运行, 当然在实际应用上可考虑变压器允许的暂时过负荷能力, 变压器容量可选得比总负荷小些, 在 BZT 装置动作后及时采取措施, 停止次要负荷的供电, 以免变压器长期过负荷的运行。图 1-1 中 (e) 图也属暗备用方式。

从上述接线图的工作情况可见, 如果采用手动切换, 动作慢, 中断供电时间较长。如不采用 BZT 装置, 要想达到同样的供电可靠性, 同一母线必须由两路电源供电或由两台变压器并联运行, 这样势必造成继电保护装置复杂, 短路电流增大, 设备投资增加等。因此, BZT 装置的采用是一种安全、经济的措施, 采用 BZT 装置后, 有如下优点:

- (1) 提高供电的可靠性, 节省建设投资。
- (2) 简化继电保护, 因为采用了 BZT 装置后, 环形网络可以开环运行, 变压器可以分裂运行等, 这样, 就可以采用方案相对简单的继电保护装置。
- (3) 限制短路电流, 提高母线残余电压。在受端变电所, 如果采用开环运行和变压器分裂运行, 将使短路电流受到一定限制, 不需要再装出线电抗器, 这样, 既节省了投资, 又使运行维护方便。

由于 BZT 装置可以大大提高供电的可靠性和连续性, 因此, 广泛应用于发电厂的厂用电系统和厂矿企业的变、配电所的所用系统中。

1.1.3 对备用电源自动投入装置的基本要求

BZT 装置应满足下列基本要求:

1. 工作母线突然失压时 BZT 装置应能动作

工作母线突然失去电压, 主要原因有: ①工作变压器发生故障, 继电保护动作, 使两侧断路器跳闸; ②工作母线上的馈电线发生短路, 没有被线路保护瞬时切断, 引起变压器断路器断开; ③工作母线本身故障, 继电保护使断路器跳闸; ④工作电源断路器操作回路故障跳闸; ⑤工作电源突然停止供电; ⑥误操作造成工作变压器退出。这些原因都不是正常跳闸的失压, 都应使 BZT 装置动作, 使备用电源迅速投入恢复供电。



2. 工作电源先切, 备用电源后投

主要目的是提高备用电源自动投入装置动作的成功率。假如工作电源发生故障, 工作断路器尚未断开时, 就投入备用电源, 也就是将备用电源投入到故障元件上, 这样就势必扩大事故, 加重故障设备的损坏程度; 另外, 备用电源与工作电源不是取自同一点, 往往存在电压差或相位差, 只有工作电源先切, 备用电源后投才能避免发生非同期并列。实现这一要求的主要措施是: 备用电源必须判断工作电源断路器切实断开, 工作段母线无电压, 才允许备用电源合闸, 比如备用电源断路器的合闸部分应该由工作电源断路器的常闭辅助触点来起动。

3. BZT 装置只动作一次, 动作时应发出信号

当工作母线发生持续性短路故障或引出线上发生未被出线断路器断开的持续性短路故障时, 备用电源第一次投入后, 由于故障仍然存在, 继电保护装置动作, 将备用电源跳开, 此时工作母线又失压, 若再次将备用电源投入, 就会扩大事故, 对系统造成不必要的冲击。为了解决这一问题, 就需控制备用电源或设备断路器的合闸脉冲, 使它只能合闸一次。

4. BZT 装置动作过程应使负荷中断供电的时间尽可能短

工作母线失压到备用电源投入, 这段时间为中断供电时间。停电时间短, 对电动机自起动是有利的。停电时间短, 电动机未完全制动, 则在 BZT 装置动作, 恢复供电时, 电动机自起动较容易; 但停电时间过短, 电动机残压可能较高, 当 BZT 装置动作时, 会产生过大的电流和冲击力矩, 导致电动机的损伤。因此, 装有高压大容量电动机的厂用电母线, 中断供电的时间应在 1s 以上。对于低压电动机, 因转子电流衰减极快, 这种问题并不突出。同时为使 BZT 装置动作成功, 故障点应有一定的电弧熄灭去游离时间, 在一般情况下, 备用电源或备用设备断路器的合闸时间, 已大于故障点的去游离时间, 因而可不考虑故障点的去游离时间, 但在使用快速断路器的场合, 必须进行校核。另外, 中断供电的时间还必须满足馈电线外部故障时, 由线路保护切除故障, 避免越级跳闸。运行经验证明, BZT 装置的动作时间以 1~1.5s 为宜。

5. 工作母线电压互感器熔断器熔断时 BZT 装置不误动

运行中电压互感器二次侧断线是常见的, 但此时一次侧回路正常, 工作母线仍然正常工作, 所以此时不应使备用电源自动投入装置动作, 即 BZT 装置应予闭锁。

6. 备用电源无压时 BZT 装置不应动作

正常工作情况下, 备用母线无电压时, BZT 装置应退出工作, 以避免不必要的动作, 因为在这种情况下, 即使动作也没意义。当供电电源消失或系统发生故障造成工作母线与备用母线同时失去电压时, BZT 装置也不应动作, 以便当电源恢复时仍由工作电源供电。为此, 备用电源必须具有有压鉴定功能。



7. 正常停电操作时 BZT 装置不起动

如手动跳闸，因为此时工作电源不是因故障而退出运行，BZT 装置应予闭锁。

8. 备用电源或备用设备投于故障时应使其保护加速动作

因为此时故障的性质已确定，如果仍由继电保护的固有动作时间去跳闸，则达不到快速切除故障的目的。

除上述要求以外，一个备用电源同时作为几个工作电源的备用或有两个备用电源的情况，备用电源应能在备用电源已代替某工作电源后，其他工作电源又被断开，必要时备用电源自动投入装置仍应能动作。但对于单机容量为 200MW 及以上的火力发电厂，备用电源只允许代替一个机组的工作电源。在有两个备用电源的情况下，当两个备用电源互为独立备用系统时，应各装设独立的 BZT 装置，使得当任一备用电源都能作为全厂各工作电源的备用时，BZT 装置使任一备用电源都能对全厂各工作电源实行自动投入。

1.2 备用电源自动投入装置的原理

备用电源自动投入装置中，当一次运行方式相对固定时，BZT 装置接线比较简单。但对于实际的运行方式来说，不可能永远在一种方式下运行，顾及到电网的灵活性，要求 BZT 装置投入时的动作过程也相应有所不同，如下图 1-2 所示：

在图 1-2 这种接线方式下，共有三种可能的运行方式，从而也就有三种备自投方式。以下分别详细说明。

第一种运行方式：正常运行时 3QF 处于断开位置，I、II 段母线分裂运行，分别由 T1、T2 供电。在这种运行方式下，如果 I 回路故障，导致 I 段母线失压，此时 BZT 装置应能自动断开运行断路器 1QF 和 2QF，然后再投入分段断路器 3QF，使母

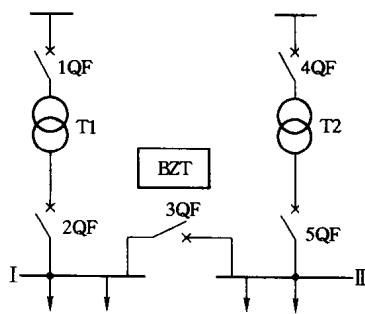


图 1-2 BZT 装置一次接线图

线 I 恢复供电；反之，如果 II 回路故障，导致 II 段母线失压，此时 BZT 装置应能自动断开运行断路器 4QF、5QF，然后再投入分段断路器 3QF，使母线 II 恢复供电。此种方式属暗备用的备自投方式。

第二种运行方式：1QF、2QF、3QF 处于合闸位置，4QF、5QF 断开，正常运行时由 T1 给两条母线供电。在这种运行方式下，如果 I 回路故障，导致两段母线均失压，此时 BZT 装置应能自动断开运行断路器 1QF、2QF，然后再投入 4QF、5QF，使 T2 给两段母线供电。