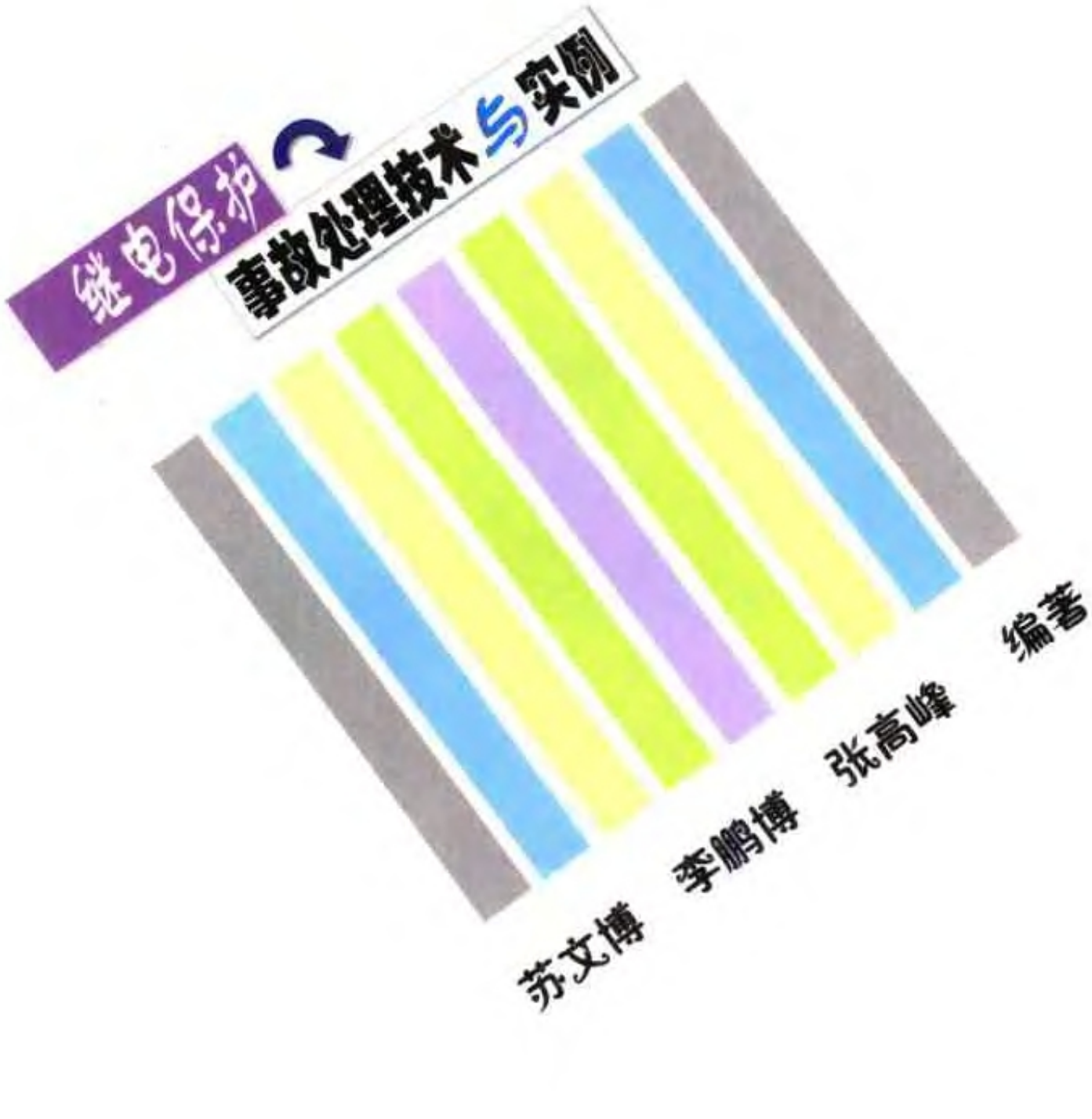
继电保护事故处理技术与实例

苏文博　李鹏博　张高峰　编著

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑：丰兴庆
封面设计：勾　勾



ISBN 7-5083-0967-7
9 787508 309675 >

ISBN 7-5083-0967-7/TM·420
定价：35.00 元

CEPP
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

继电保护事故处理技术与实例

李鹏博　苏文博　张高峰　编著

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是在总结了许多起继电保护事故处理经验教训的基础上编写的。书中详尽地叙述了继电保护误动或拒动等故障现象的过程，深刻地分析了故障存在的原因，从理论上论证了故障所产生的根源，给出了事故处理的方法及应采取的措施。全书共分七章，第一章介绍了现场存在的继电保护故障的种类及根据这些故障所采取的事故处理的基本原则，并指出了提高继电保护事故处理水平的途径。第二～五章分别介绍了发电机保护、变压器保护、线路保护、母线保护的事故处理。第六章介绍了其他设备保护及二次回路事故处理的特点与实例。第七章从管理的角度介绍了减少继电保护事故的工作思路。

本书内容丰富、资料实用，是现场继电保护工作者进行事故处理的指导书，可作为电气运行人员、管理人员、设计人员以及大专院校广大师生的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

继电保护事故处理技术与实例/苏文博，李鹏博，张高峰编著. —北京：中国电力出版社，2002

ISBN 7-5083-0967-7

Ⅰ.继… Ⅱ.①苏… ②李… ③张… Ⅲ.电力系统-继电保护-事故-处理 Ⅳ.TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 012590 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn）

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 504 千字

印数 0001—4000 册 定价 35.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

前言

为了对现场继电保护工作人员、电气运行人员以及电力系统管理人员有所帮助，我们编写了这本《继电保护事故处理技术与实例》，考虑到本书的实用性，在取材上以现场处理的实际问题和保护研制中涉及的问题为主，在内容上注重实用，并辅以理论分析。

出版这本书的目的一方面在于吸取教训，以便安装、调试、管理好现场的继电保护设备，使保护设备少出事故，达到提高继电保护正确动作率的目的。另一方面总结经验，提高工作人员的业务水平，加快继电保护事故处理的速度，缩短事故检查分析的时间。

为了便于读者更全面地了解该书的全貌，现对有关取材的问题分析如下。

随着电力系统的飞速发展，继电保护专业发展很快。继电保护装置在经历了电磁型、整流型、晶体管型、集成电路型以后，现在正逐步向微机型保护过渡。在大机组、高电压的系统中，继电保护更新换代的力度更大，以新换旧的步子逐步加快。近几年中，大量综合自动化变电站的投入，使继电保护与监控系统的联系更加密切，展示出了继电保护专业发展的新特点。

电力系统在线运行的继电保护有各种类型的设备，各种类型的保护中又有不同生产厂家的产品，其中国内的制造厂家有阿城继电器厂、上海继电器厂、许昌继电器厂、南京电力自动化设备厂和南京电力自动化研究院为代表，兼有其他厂家的产品。国外的厂家则以美国的GE公司、瑞典的ABB公司、德国的西门子公司为代表。各种型号的产品同在一个系统内运行，使继电保护设备的情况更加复杂。从统计规律来看，原理最先进的或最新型的保护的可靠性在初期阶段往往是比较低的，随着元器件可靠性的提高，这一局限性很快就能得到解决。

继电保护的事故或设备的故障问题，不仅涉及继电保护的原理及元器件，同时还涉及运行系统以及运行单位。这些情况给全书内容的选材带来了一定的难度，因为很久以来在电力工作者的心目中已经形成了继电保护不能出现任何故障的观念，继电保护一旦误动则必须查清其原因，并找出问题的根源所在，以便彻底的解决。此外，对事故的责任者还要做必要的处罚，因此有

些素材也就不易收集到。尽管如此，已处理的事故的材料仍然比较充足，本书一共正式编入了60余例。

由于历史的原因，那些投入日期早、运行时间长的保护设备所暴露出来的故障也多，其中有些问题已经逐步得到了解决，有的尚未引起运行部门的重视。对于成熟的工作经验，已经成为反事故措施的要点得到贯彻落实或是作为论文公布于众，使大家引以为鉴。本书在选材上以现场人员亲身所见、亲身经历并处理过的问题为主，自然有独特的一面。在结构上有二次回路方面、保护装置方面、制造方面、调试方面的内容。尽管力求素材的代表性，但是统计上的片面性仍然难以避免，作为一种来源于现场的书籍，试图从具体实例中寻找出共性的东西，那就是处理问题的基本思路，以此来弥补其选材上的片面性，但收效怎样，有待读者来评价。

象流星一样，有些类型的继电保护装置很快就退出了历史的舞台，有的正在逐步被淘汰。此类保护所出现的故障处理的思路，同样能给人们一种启示，从这种角度上其意义是积极的，所以安排了适当的篇幅，因为本书的重点不是研究哪种类型的保护，而在于事故处理的思路与技巧。

本书共分七章，第一章，事故处理的基本原则；第二章，发电机保护的事故处理；第三章，变压器保护的事故处理；第四章，线路保护的事故处理；第五章，母线及母线设备保护的事故处理；第六章，二次回路及其他设备保护的事故处理的实例；第七章介绍了提高继电保护管理水平，减少继电保护事故的一些思路。第二章至第六章的内容结构基本相同，分别介绍各种事故的经过、保护或二次线的基本原理、事故的检查经过与分析、采取的措施。

全书由王兴义同志负责主审，李磊、徐志恒、刘宇明、刘娟、崔梅英、吕强、汤建红、贾霞、周大洲、宫兵等同志对本书的出版做了大量的工作，在此表示感谢，同时山东电网的同志在收集材料上给予了无私的帮助，在此一并表示感谢。由于水平所限，书中的错误敬请广大读者批评指正。

编著者

目 录

前 言

第一章 继电保护事故处理的基本原则 …… 1

第一节 继电保护事故的类型 …… 1

第二节 继电保护事故处理的基本思路 …… 12

第三节 提高继电保护事故处理水平的途径 …… 16

第二章 发电机保护的事故处理 …… 21

第一节 HS发电厂6号机组励磁过电压保护误动作 …… 22

第二节 FW发电厂1号机组转子接地保护误动作 …… 28

第三节 FW发电厂1号机组定子接地保护误动作 …… 37

第四节 LSR发电厂6号机组失步保护误动作 …… 39

第五节 XZ发电厂3号发电机失磁的原因分析及处理 …… 52

第六节 ABR发电厂4号机磁场断路器误动跳闸 …… 55

第七节 JB热电厂TV断线引起的发电机振荡事故 …… 61

第八节 HY发电厂1号机组试运时转子接地保护误动等 …… 66

第九节 CL热电厂3号发电机组振荡等问题的分析及处理 …… 68

第十节 KL发电厂4号机组试运期间失磁保护误动等 …… 71

第三章 变压器保护的事故处理 …… 77

第一节 ZX发电厂变压器非电量保护误动作 …… 78

第二节 HW发电厂2号高压厂用变压器差动保护误动作 …… 83

第三节 DQ发电厂2A高压厂用变压器差动速断保护误动作 …… 92

第四节 DNR发电厂6号炉变压器瓦斯保护误动作 …… 93

第五节 ZSR变电站微机保护故障的分析及处理 …… 95

第六节 HY发电厂1号主变压器冲击试验时差动闭锁元件误动作 …… 104

第七节 XZR发电厂6号机组试运行时发变组差动保护误动作 …… 107

第八节 6kV系统故障烧毁高压厂用变压器的原因分析 …… 110

第九节 XJ发电厂1号主变压器压力保护误动作 …… 114

第十节 变压器外部故障时瓦斯保护动作的行为分析 …… 115

第四章　线路保护的事故处理 …… 117

第一节　NJ变电站500kV线路过电压保护误动作 …… 118
第二节　WL发电厂110kV线路零序保护信号不能自保持 …… 121
第三节　WL发电厂线路距离保护Ⅰ段拒动 …… 131
第四节　XQ变电站110kV线路零序保护Ⅱ段误动作 …… 133
第五节　YH热电厂线路Ⅰ段距离保护在区外故障时误动作 …… 135
第六节　HY发电厂主变压器冲击时110kV线路距离保护误动作 …… 147
第七节　AT变电站220kV线路距离保护装置故障 …… 149
第八节　SG变电站220kV线路相差高频保护误动作 …… 151
第九节　GJ变电站220kV线路保护误发装置故障信号 …… 153
第十节　LSH发电厂220kV1号出线接地时相邻线路保护误动跳闸 …… 162
第十一节　WLR发电厂220kV线路重合闸故障 …… 163
第十二节　LFR变电站进线1集成电路保护的故障 …… 170
第十三节　LFR变电站线路Ⅱ集成电路保护的故障 …… 175
第十四节　WJ变电站进线集成电路保护误动跳闸 …… 177
第十五节　ZJ变电站线路微机重合闸误充电 …… 178
第十六节　FW变电站线路微机保护出现的故障 …… 185
第十七节　XZ变电站220kV线路微机保护误动跳闸 …… 186
第十八节　CL热电厂线路保护跳闸触点闭合时间太短的原因分析 …… 188
第十九节　GS变电站220kV线路远方信号传输装置故障 …… 189
第二十节　DW变电站220kV线路高频通道的故障 …… 198
第二十一节　220kV GS线路高频保护误动作 …… 200
第二十二节　HS发电厂220kV PS线路高频通道的故障 …… 202
第二十三节　YJ变电站220kV JS线路高频通道的故障 …… 209
第二十四节　高频通道故障处理的思路 …… 210

第五章　母线及母线设备保护的事故处理 …… 214

第一节　RZH发电厂220kV母线保护误动作 …… 214
第二节　XZ发电厂三相不一致保护中零序电流的分析 …… 226
第三节　ABR热电厂210断路器误动跳闸的原因分析 …… 229
第四节　YH热电厂110kV母线保护不平衡电流超标 …… 234
第五节　YB发电厂110kV母线保护误动作 …… 236
第六节　HYR热电厂干簧继电器误动作 …… 242
第七节　ZHR发电厂220kV母线保护接线错误 …… 248
第八节　相位比较式母线差动保护误动作 …… 251
第九节　JNR热电厂35kV母线保护误动作 …… 257

第十节　NJ变电站隔离开关操作时相邻断路器误动跳闸 …… 262

第六章　二次回路及其他设备保护的事故处理 …… 265

第一节　微机型继电保护试验仪器的故障分析 …… 265
第二节　YB发电厂风机电动机保护误动作 …… 267
第三节　HS发电厂6kV电动机起动时零序保护误动作 …… 269
第四节　HSR发电厂2号联络变压器TV断线保护误动作 …… 274
第五节　HSR发电厂联络Ⅱ线TV间隙放电的分析 …… 278
第六节　ZH发电厂出线控制回路接地的处理 …… 281
第七节　HYR热电厂10kV出线控制回路接地时误动跳闸 …… 283
第八节　DNR发电厂厂用电缆线差动保护误动作 …… 288
第九节　FW发电厂1号机组起动试验时TV回路等故障 …… 290
第十节　CL热电厂3号机组TV振荡等故障 …… 293
第十一节　XZ发电厂6号机组试运时失灵保护误动等 …… 295
第十二节　ZHR发电厂113断路器误动跳闸 …… 297
第十三节　YH热电厂备用电源自投成功率太低的分析 …… 302

第七章　减少继电保护事故的思路 …… 309

第一节　把好设计审查关 …… 309
第二节　把好调试关 …… 312
第三节　把好检验验收关 …… 320
第四节　把好运行管理关 …… 321

附录A　常用电气图用图形符号及新旧符号对照 …… 325
附录B　电平的概念 …… 336
附录C　常用字母符号 …… 337
附录D　本书采用的新旧电气符号对照表 …… 340

后记 …… 346

第一章　继电保护事故处理的基本原则

随着电力系统的不断发展，大容量机组、高电压设备的陆续投入运行，电力设备继电保护体系越来越庞大了，例如一台600MW的发电机变压器组保护有60余种，一条500kV线路的保护屏设置4面，继电保护的原理结构也越来越复杂。虽然继电保护发展的趋势是使保护的管理工作更加规范、保护功能的配置更加完善、保护动作的行为更加可靠，但是，继电保护的故障依然存在，继电保护的故障的种类也不尽相同。再加之辅助的故障录波、信号指示并不一定正确、清晰，给保护的事故分析处理增加了难度。

提高现场的事故处理水平是电力系统面临的一个重大难题，这一课题的研究对新参加继电保护工作的人员更为重要。本章从不同方面介绍了提高现场的事故处理水平的内容。

第一节　继电保护事故的类型

继电保护事故的原因是多方面的，有设计不合理、原理不成熟、制造上的缺陷、定值问题、调试问题和维护不良等原因。当继电保护或二次设备出现问题以后，有时很难判断故障的根源，只有找出事故的根源，才能有针对性的加以消除，所以找到故障点是问题的第一步。

继电保护的分类对现场的事故分析处理是非常必要的。但是分类的标准不易掌握，因为对于运行设备和新安装设备在管理方面的事故划分显然不同，人们理解和运用标准的水平也有差别，因此故障的分类只能是粗线条的。现在从技术的角度出发，结合一些曾经发生过的继电保护事故的实例，将现场的事故归纳为10种。

一、定值的问题

1. 整定计算的错误

在设备特性尚未被人们掌握透彻的情况下，继电保护的定值不容易定准。主要原因如下：

由于电力系统的参数或元器件的参数的标称值与实际值有出入，有时两者的差别比较大，则以标称值算出的定值较不准确。

例如电动机的起动电流达到了额定电流的6～7倍，此时电流互感器TA出现了饱和，电动机的滤过式零序保护因不平衡电流过高而起动跳闸，接线见图1-1。在这种情况下，如果不能更换TA或加装零序TA时，只有用提高定值的办法来躲过不平衡电流，这样电

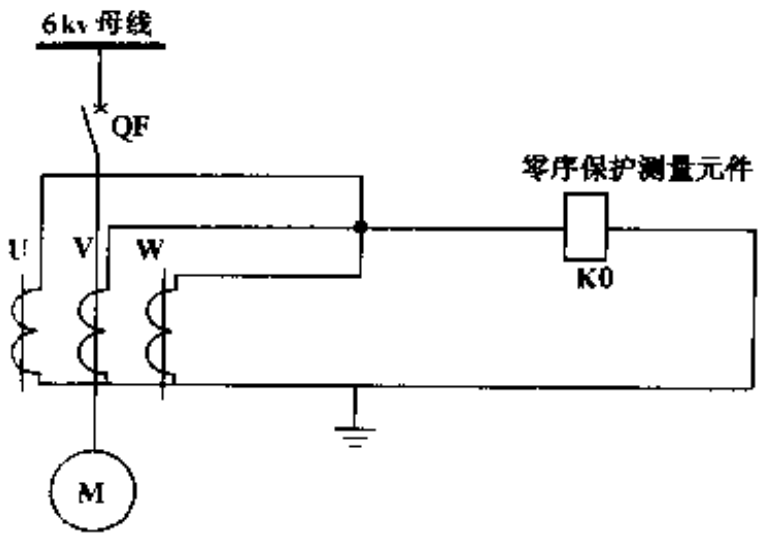


图 1-1　电动机零序保护接线图

动机单相接地故障的灵敏度会受到影响，甚至会失去灵敏度，两者不易兼顾，定值也难以确定。

2. 设备整定的错误

人为的误整定等设备整定方面的错误分析如下。

人为的误整定同整定计算方面的错误类同，有看错数值、看错位置等现象发生过。总结其原因主要是工作不仔细，检查手段落后等，才会造成事故的发生。因此，在现场的继电保护的整定必须认真操作、仔细核对，尤其是把好通电校验定值关，才能避免错误的出现。

另外，在设备送电前再次进行装置定值的校对，也是防止误整定的行之有效的措施。

3. 定值的自动漂移

引起继电保护定值自动漂移的主要原因有几方面。

（1）温度的影响。电子元器件的特性易受温度的影响，影响比较明显的需要将运行环境的温度控制在允许的范围内。

（2）电源的影响。电子保护设备工作电源电压的变化直接影响到给定电位的变化，所以要选择性能稳定的电源作为保护设备的电源，保证保护的特性不受电源电压变化的影响。

（3）元器件老化的影响。元器件的老化有一个过程，积累的结果必然引起元器件特性的变化，同时影响到保护的定值。

（4）元件损坏的影响。元件的损坏对继电保护定值的影响最直接，而且是不可逆转的。

如果定值的漂移不太严重，不会影响保护的性质。定值的偏差≤5%，则可忽略其影响；但是当定值的偏差＞5%时，应查明原因，处理后才能将保护投入使用。

例如，ZB 无人值守自动化变电站的一条 10kV 线路 1 天内误动 20 次，原因是采样值漂移超过了整定值，更换采样保持元件后正常。

二、装置元器件的损坏

在晶体管、集成电路保护中的元件损坏可能会导致逻辑错误或出口跳闸。在计算机保护中的元件损坏会使 CPU 自动关机，迫使保护退出。下面是出口电路三极管损坏的实例。

1. 三极管击穿导致保护出口动作

由三极管构成的出口跳闸电路见图 1-2，系统正常时三极管的击穿导通会使出口继电器 KCO 动作跳闸。

2. 三极管漏电流过大导致误发信号

由三极管构成的出口信号电路见图 1-3。系统正常时，三极管 VT 处于截止

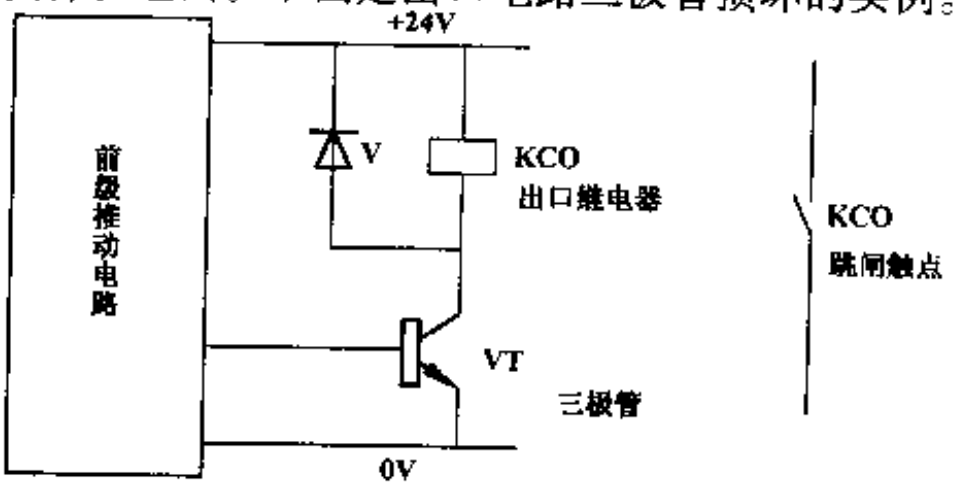


图 1-2　三极管起动的出口电路

状态，信号继电器及发光二极管中无电流流过，但是当三极管的漏电流过大时、会使发光二极管 VL 变亮，发出指示信号；漏电流进一步加大，则会起动信号继电器 KS 发出触点信号。发光管的正常工作电流一般在 10mA 左右，当其电流接近 1mA 时发暗亮。信号继电器 KS 的动作电压为十几伏，动作电流有的小于 10mA，三极管 VT 的漏电流过大，不一定导致保护发触点信号，但有可能使其误发灯光信号。

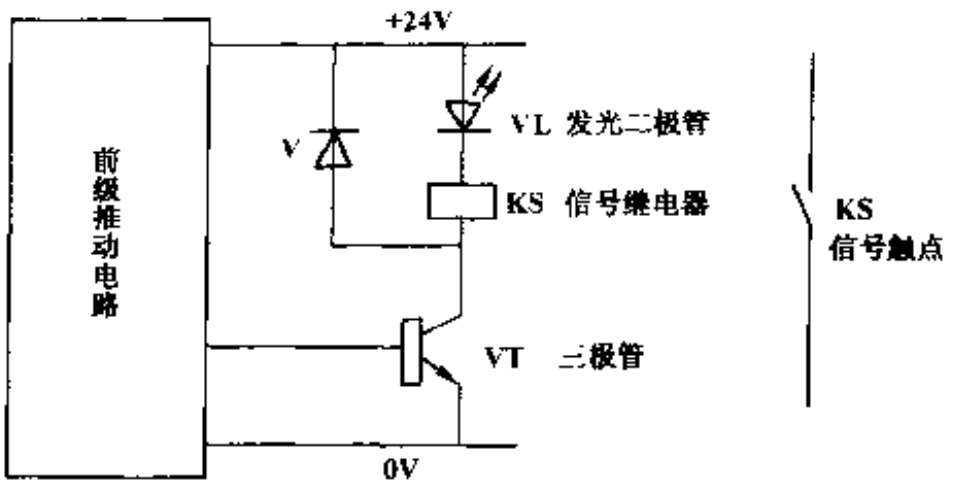


图 1-3 由三极管起动的信号电路

三、回路绝缘的损坏

二次回路的电缆在发电厂、变电站用途较广，部分设备的环境条件较差，容易引起绝缘的损坏。运行中因二次回路绝缘破坏而造成的继电保护事故较多，举例如下。

1. “33”回路接地引起的开关跳闸

“33”回路接地使开关跳闸的电路见图 1-4，33 回路接地之前，绝缘检查回路上的两电容电压对称，均为 110V，但 33 接地后 C_1 继续充电，C_2 放电。在跳闸线圈 LT 的动作电压小于 110V 时，由于回路 33 的接地，使 LT 动作跳闸。在引进的国外设备中，LT 的动作电压都偏低，有的甚至不大于 60V，虽然反措要求应将其提高，但因条件限制却难以办到。

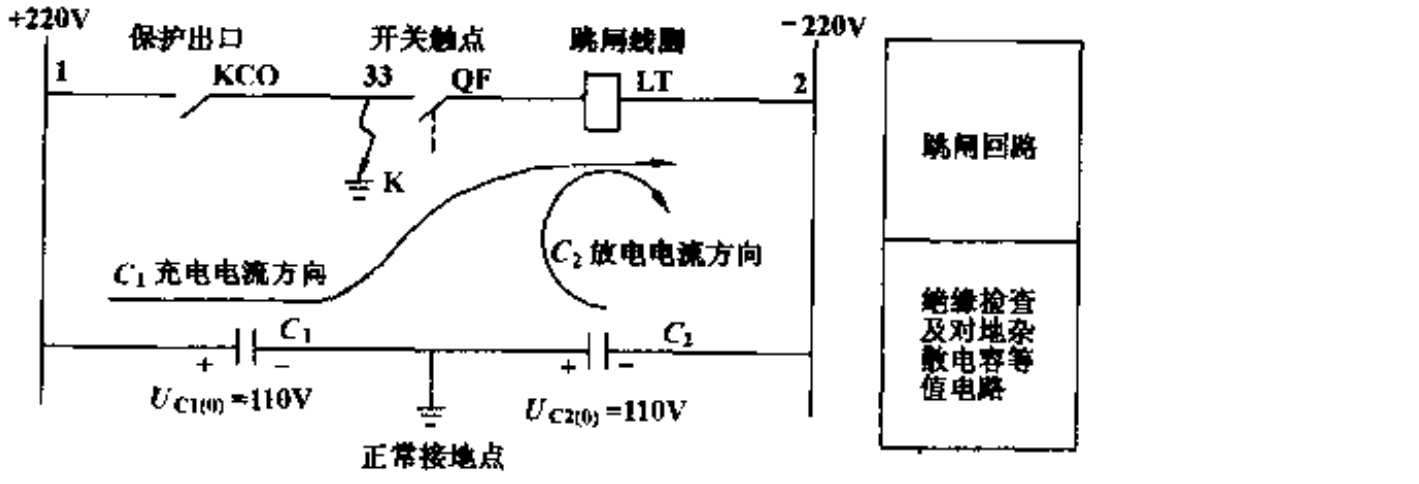


图 1-4 33 回路接地导致 LT 跳闸示意图

2. 绝缘击穿造成的跳闸

有一套运行的发电机保护，在机箱后部跳闸插件板的背板接线相距很近，在跳闸触点出线处相距只有 2mm，由于带电导体的静电作用，将灰尘吸到了接线焊点的周围，因天气潮湿两焊点之间形成了导电通道，绝缘击穿，造成发电机跳闸停机的事故。

3. 不易检查的接地点

在二次回路中，光字牌的灯座接地比较常见，此处的接地点不容易被发现。其原因在于光字牌电阻 800Ω，见图 1-5。原始的接地检查装置的灵敏度不够，保护不能动作。新型的接地检查装置受原理的限制，发电厂或变电站直流系统的对地电容大于一定值时，保护装置不能正确反应。这种情况下虽然没有信号发出，信号回路的绝缘却已损坏，隐患已经

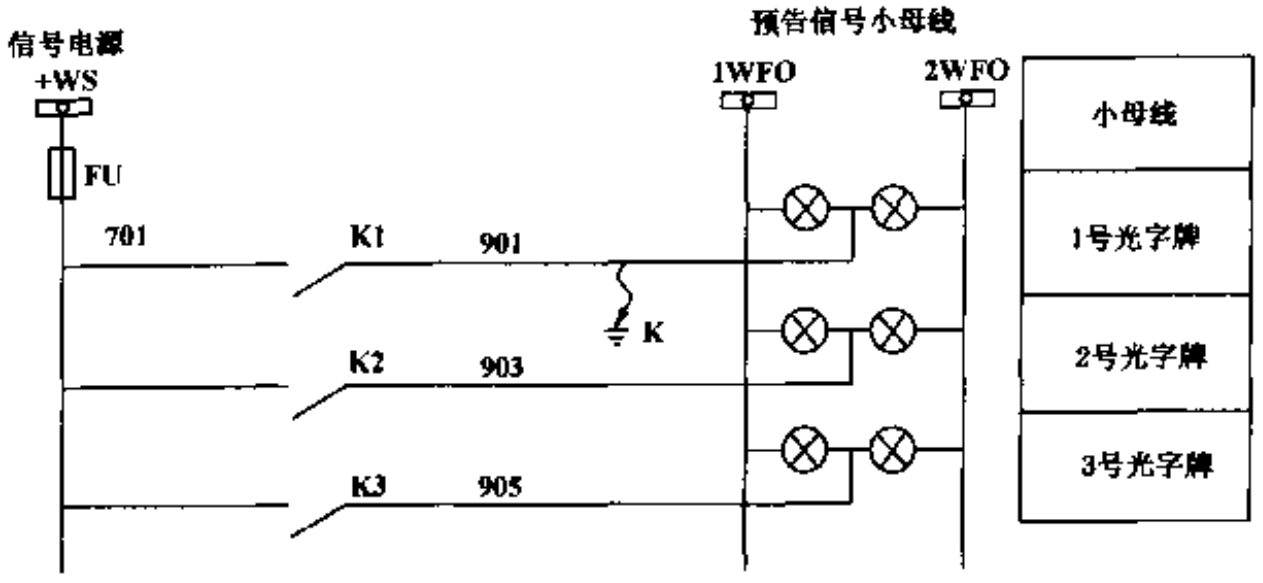


图 1-5　901 回路接地不报警

存在。

四、接线错误

新建的发电厂、变电站或是更新改造的项目中，接线错误的现象相当普遍，由此留下的隐患随时都可能暴露出来，举例如下。

1. 接线错误导致的保护拒动

RS 发电厂 4 号机发电机失磁，但失磁保护拒绝动作，3s 后发电机震荡，1min13s 后发电机对称过电流保护动作跳闸。经检查发现，发电机失磁保护出口闭锁回路插件内部接线错误，将负序电压继电器的常闭触点接成了常开触点，发电机失磁后，负序电压继电器不能动作，常开触点不能闭合，所以失磁保护无法出口跳闸，正确接线见图 1-6。

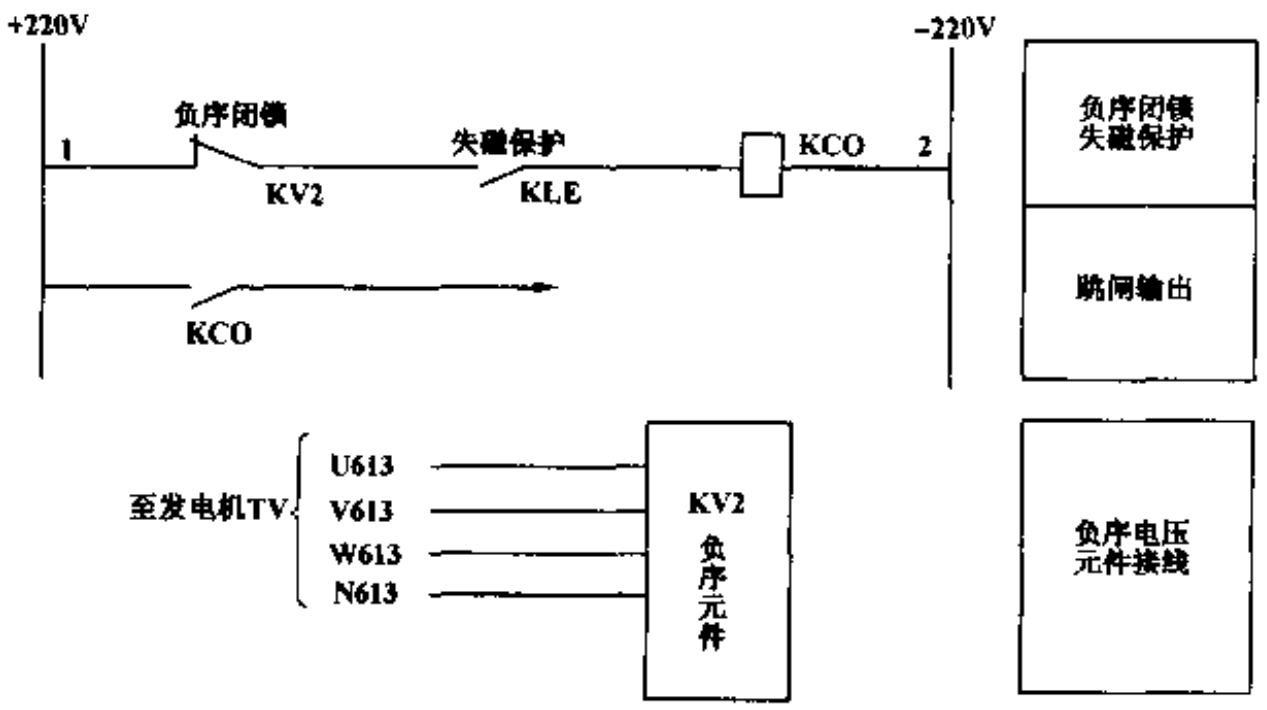


图 1-6　失磁保护出口回路接线

2. 接线错误导致的保护误动作

ST 发电厂 3 号机主变压器差动保护，因高压厂用变压器高压侧电流互感器极性接反，给水泵起动时导致保护误动跳闸，机组全停。正确的接线见图 1-7，主变压器差动回路中，应以发电机侧电流为基准，主变压器高压侧电流以及高压厂用变压器电流的极性与之相

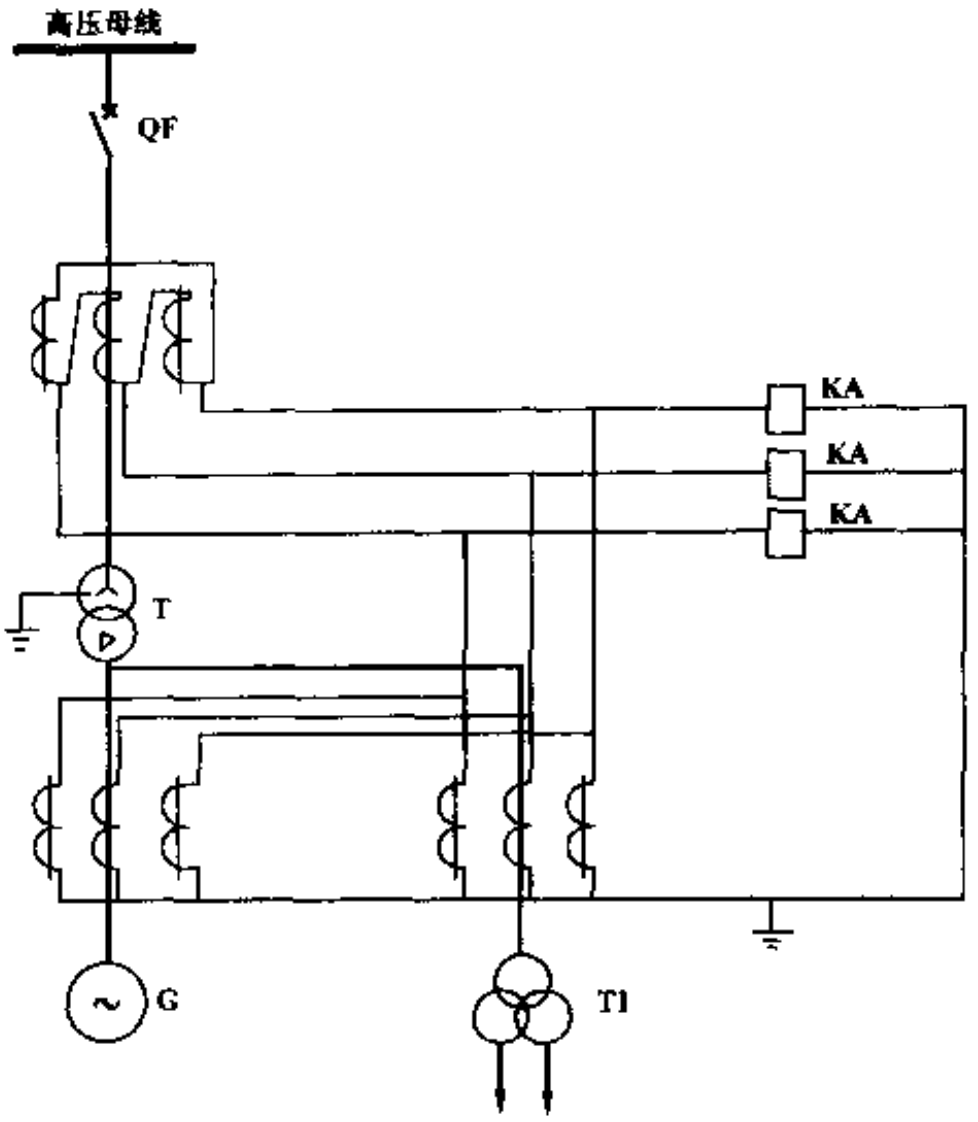


图 1-7　变压器差动接线

反，即相位相差 180°。

五、抗干扰性能差

运行经验表明晶体管保护、集成电路保护以及微机保护的抗干扰性能与电磁型、整流型的保护相比较差。集成电路保护的抗干扰问题最为突出，对讲机在保护屏附近使用，可能导致一些逻辑元件误动作，甚至使出口动作跳闸。

发电厂或变电站的电子设备间运行期间禁止使用无线电通信工具，原因是防止无线电电磁干扰电子设备的正常工作。其实如果无线电通信工具只接收信号，不发射信号时，不会影响电子设备的动作行为。

变压器的微机保护有干扰误动的记录。HS 发电厂主变压器温度信号触点采入保护屏后经光耦隔离直接送到出口元件，由于外部存在的操作干扰信号，两次使保护误动跳闸停机。最后采取了抗干扰措施，使问题得到解决。

现场电焊机的干扰问题不容忽视。例如，SB 发电厂 1 号机在运行中的给水泵附近的管子进行氩弧焊焊接时，高频信号感应到保护电缆上，使保护动作跳机。

总之，在电力系统运行中，诸如操作干扰、冲击负荷干扰、变压器励磁涌流干扰、直流回路接地干扰、系统或设备故障干扰等非常普遍，为解决这些问题必须采取行之有效的方法。

六、误碰与误操作的问题

继电保护工作人员以及运行管理人员担负着生产、基建、更改、反措等一系列的工作，支撑着庞大的电力系统，工作任务艰巨而繁重。尽管大家都有做好工作的愿望，但是在现场由于工作措施的不得力，由于对设备的了解程度不够，由于违章行为的存在，误碰问题并没有彻底杜绝。误碰的后果是非常严重的，现举两例。

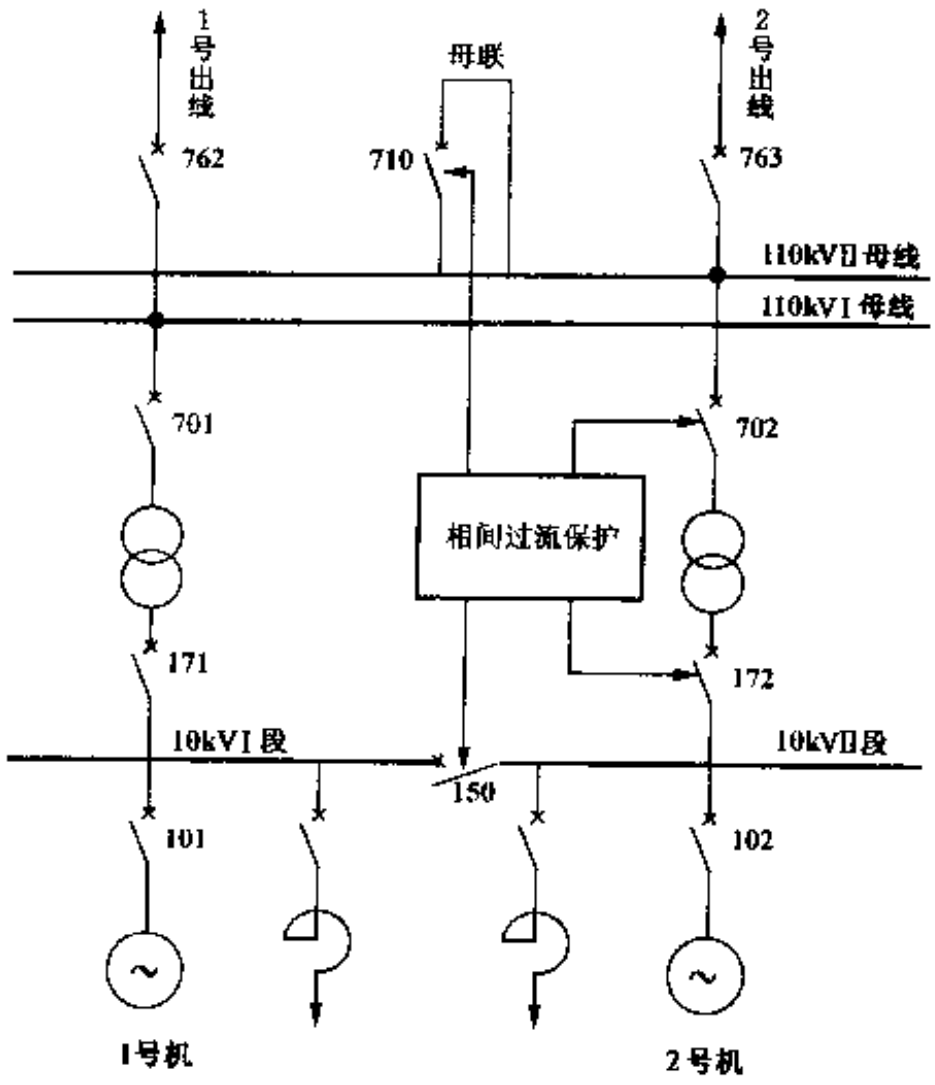


图 1-8　相间过流保护动作跳开 4 只开关示意图

1. 带电拔插件导致的全厂停电

YH 热电厂，当时有 2 台发电机和 2 台主变压器并联运行，发电机、变压器的保护均为晶体管型，其中有一台变压器保护的逻辑插件上的指示灯发出暗光。继电保护维护人员到现场后将其拔出，结果使保护装置的逻辑混乱，造成出口动作，跳开 2 号主变压器两侧断路器、110kV 母联、10kV 母联断路器，系统情况见图 1-8。此时出线 1 对端停电，1 号机解列后带厂用电单机运行，结果其调速系统不能使机组稳定而发生震荡，被迫停机。发电机直供的 10kV 负荷全部停电，直接经济损失 1 千万元以上。

从这一事件的性质上分析，操作者第一没开工作票，第二没有人监护，第三没做任何工作措施，完全属于违章性误碰。

2. 带电事故处理将电源烧坏

YH 热电厂 4 号机厂用变压器保护有故障报警发出，工作人员在电源插件板没有停电的情况下，拔除插件进行更换，将电源的 24V 误碰短路，使电源插件烧毁。

总之，在不停电的二次回路上工作而造成运行开关掉闸，或者误碰短路将直流熔丝熔断，或者将电压互感器 TV 的二次回路短路等装置性违章现象经常出现，根据运行规程的要求必须杜绝此类事故的发生。

七、工作电源的问题

保护及二次设备的工作电源对其工作的可靠性以及正确性有着直接影响，根据电源的不同种类作如下分析。

1. 逆变稳压电源

目前运行设备的工作电源采用逆变稳压电源的很多，逆变稳压电源的基本构成见图 1-

9　逆变稳压电源的工作原理是将输入的 220V 或 110V 直流电源经开关电路后变成方波交流，再经逆变器变成需要的 +5V、±12V、+24V，或 -1.5V、±15V、+18V 电压。

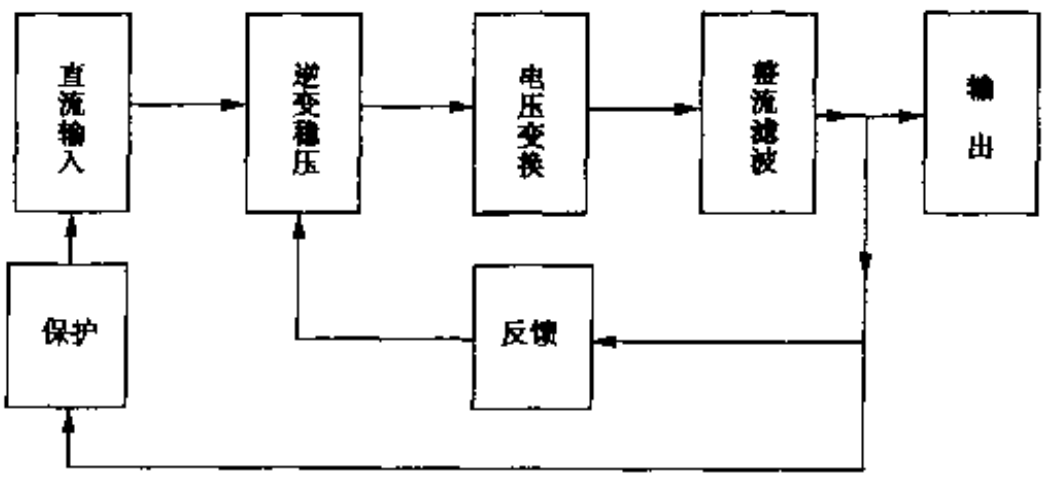


图 1-9　逆变稳压电源的基本构成

（1）逆变稳压电源的优点。

逆变稳压电源之所以得到广泛的应用是因为它有着明显的优点。

1）输入电源稳定。逆变稳压电源的电源输入是直流，直流电源不受停电的影响，可以由蓄电池保证在电力系统事故时供电的连续性。

2）稳压性能好。逆变稳压电源的输出电压一般在 24V 以下，输入电源是 220V 或 110V，所以可调节的范围比较大，容易满足稳压的要求。

3）功耗低。对开关电源来说，由于原理上的考虑，使得输入电流时通时断，降低了消耗。

（2）逆变稳压电源存在的问题

在晶体管设备、集成电路设备以及微机保护中对电源的性能指标要求较高。但运行中的逆变稳压电源却经常发生故障。

逆变稳压电源有几个环节容易出错，即功率部分、调整部分、稳压部分，分析如下。

1）纹波系数过高。纹波系数是指输出的交流电压与直流电压值的比值，交流成分属于高频的范围，高频信号幅值过高会影响设备的寿命，还可能造成逻辑的错误，导致保护的误动作。调试时应按要求将波纹系数控制在规定的范围以内。

2）输出功率不足。电源的输出功率不够，会造成输出电压的下降，如果下降幅度过大，导致比较电路基准值的变化，充电电路时间变短等一系列问题，影响到逻辑配合，甚至逻辑判断功能错误。尤其是在保护动作时有的出口继电器、信号继电器相继动作，要求电源的输出有足够的容量。

3）稳压性能差。稳压问题有两方面，电压过高或电压过低。电压过高、过低都会对保护性能有影响，分析同上。

4）保护问题。电压降低或是电流过大时，快速退出保护并发出报警，这样可以避免将电源损坏。

逆变稳压电源的保护动作会将电源退出，虽然能起到保护电源的作用，但是电源退出后装置便失去了作用，如果供电回路中确有故障存在，则电源退出是正确的。实际上，电源的保护误动作时有发生，这种误动作后果是严重的，对无人值守的变电站危害就更大

了。

2. 电池浮充供电的直流电源

发电厂和变电站的直流供电系统正常供电时大都运行于“浮充”方式下，此时浮充充电器一方面提供蓄电池泄漏的能量损失，另一方面向负荷提供电能，见图 1-10。由于充电设备滤波稳压性能较差，所以保护电源很难保证波形的稳定性，即纹波系数严重超标。

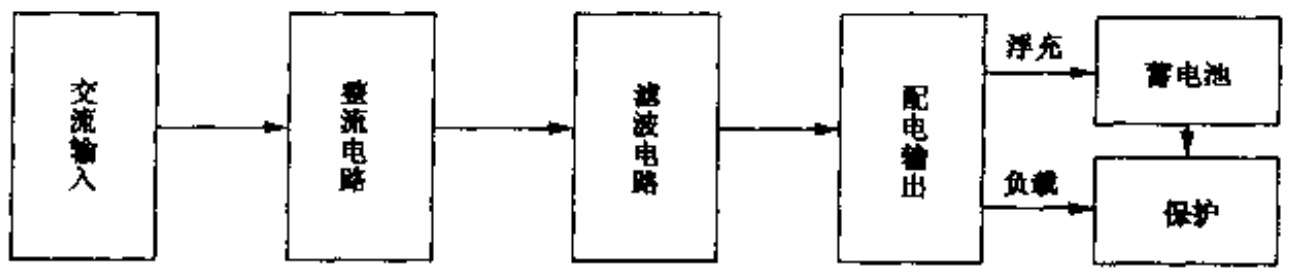


图 1-10　电池浮充的供电系统

SDZ 变电站测得浮充充电器的输出电压的交流值与直流值的比值大于 1/10，电子保护设备在此电源下发出很大的震动噪声，对设备寿命和可靠工作的影响是不可忽视的。

3.UPS 供电的电源

UPS 供电的直流系统也有与浮充充电器一样的问题，在设备的选型与维护时必须注意。在分析对保护的影响时也应考虑其交流成分、电压稳压能力、带负荷能力等问题。

4. 直流熔丝的配置问题

现场的直流系统的熔丝是按照从负荷到电源一级比一级熔断电流大的原则设置的，以便保证直流电路上短路或过载时熔丝的选择性。但是有些 5A、6A、10A 熔丝的底座没有区别，型号非常混乱。其后果是回路上过流时熔丝越级熔断。对这一问题，设计者最好能加以区分，将不同容量的熔丝选择不同的型式。对已运行的现场设备也应加以重视，尤其是对重要的保护及二次设备更应仔细检查，避免此类事情的发生。

保护的工作电源是一个重要的环节，也是经常被忽视的环节。据统计在以往的设备运行中因为电源的故障而发生了许多事故，在现场的事故分析中应特别注意电源正常的工作参数。

八、TV、TA 及二次回路的问题

作为继电保护测量设备的起始点，电压互感器 TV、电流互感器 TA 对二次系统的正常运行非常重要。运行中，TV、TA 及其二次回路上的故障并不少见，主要问题是短路与开路，由于二次电压、电流回路上的故障而导致的严重后果是保护误动或拒动等。涉及到 TV、TA 特性的参数是比差与角差，当比差与角差不满足规定的要求时，将会影响到保护有关的指标，因此在进行继电保护的动作行为分析时，应该作全面的考虑。

1.TV 的问题

（1）二次保险短路故障的实例。RLS 发电厂 300MW 发电机保护 TV 的 V 相熔丝熔断，运行人员几次送上后再又熔断。后来检查发现 V 相熔丝熔断是由于 TV 中性点击穿保险器损坏，构成 V 相短路通道。接线见图 1-11。图中 F 为中性点击穿保险。

（2）TV 二次开路故障的实例。NJ500kV 变电站，由于三相式空气开关 QAC 运行中自

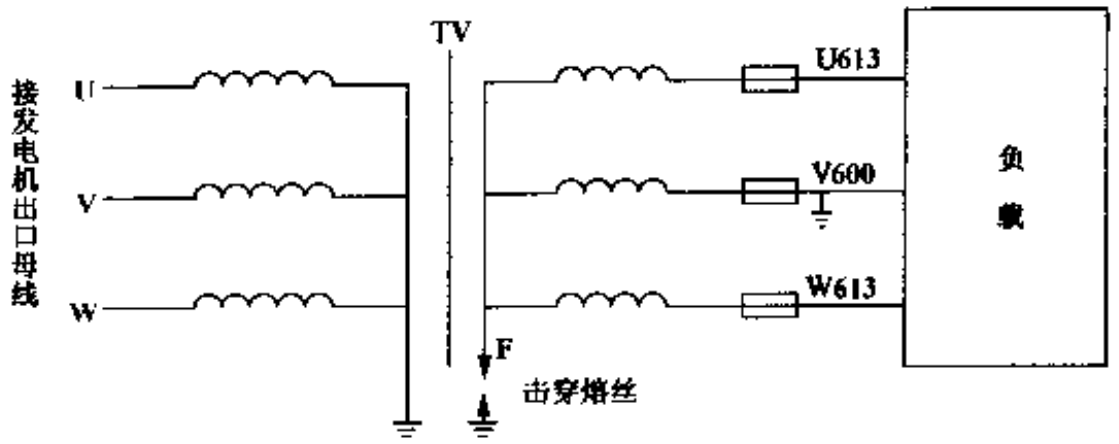


图 1-11　TV 二次侧 V 相接地方式的接线图

行跳开，导致了 U 相电容器与负载电路的振荡。因为负载的分压值达到了保护的整定值，使其过电压保护动作将线路断路器跳开。这一实例的分析详见第四章。

2.TA 的问题

保护用电流互感器 TA 的问题很多，如 10%的误差特性曲线不满足要求、二次接线错误等造成保护误动的情况在前面已作过分析，在此不再赘述。下面只分析两例。

（1）TA 二次的问题使母差保护不平衡电流超标。HY 热电厂采用了 PLM 型母线保护，规程要求其二次不平衡电流应小于 50mA，在一条新线路 TA 二次线接入保护后检查其不平衡电流超过 200mA，原因是就地母线 TA 端子箱螺丝松动。

（2）TA 二次开路造成的保护死机。ZH 变电站在投产以前对 TA 二次通电时，将保护屏电流回路端子排的连接片断开，TA 的二次通电结束后却忘记了恢复，结果对变压器送电过程中 TA 的二次开路电压击毁了电路中最薄弱的元件——光电耦合器，同时三面保护屏的微机保护死机，故障录波器死机。设备的修复工作花费了很长时间。

九、保护性能的问题

保护的性能问题包括两方面的内容，一是性能方面的问题，即装置的功能存在缺陷；二是特性方面的问题，即装置的特性存在缺陷。

1. 保护性能问题的实例

（1）变压器差动保护躲不过励磁涌流。励磁涌流是变压器送电冲击时所特有的现象，涌流的大小出现的相别与合闸角有关。励磁涌流的最高值可达到额定电流的 7 倍。作为变压器的主要保护—差动保护从性能上躲过励磁涌流的影响是最基本的要求，但是在现场进行的变压器冲击试验时的确有差动保护动作跳闸的事故发生。其中有定值的因素，在整定定值时为了提高灵敏度，使之容易误动，提高整定值又降低了灵敏度。从原理上讲在保证内部短路可靠跳闸的条件下，可以适当提高定值。

（2）转子接地保护的误动与拒动。以往的转子接地保护采用注入电流法来监视转子的绝缘，在转子回路对地绝缘下降时发出报警。发电机正常运行时只投转子一点接地保护，如果转子一点接地，则应立即投入两点接地保护。

对于转子水冷的发电机的接地保护也有灵敏度的问题，转子一点电阻定值不可取得过高，如果定值取得过高，由于水质不合格时会误发信号；阻值太低又不太容易发现运行中

转子线圈对地绝缘的下降。因此只能根据装置的原理与运行经验选取合适的定值，来弥补保护性能上的不足。

转子两点接地保护的动作存在死区问题，若一点接地后再发生第二点接地，则其第二接地点距离越远动作越灵敏，距离越近动作越不灵敏，达到一定程度就失去了工作量而成为死区。

（3）保护跳闸出口继电器的接点不能开断跳闸电流。当保护动作跳闸命令发出后，断路器拒分或断路器辅助接点故障时，将烧毁跳闸继电器的接点，这种故障在多数保护中没有得到有效的解决。

另外，有的保护装置在投入直流电源时出现误动现象，高频闭锁保护当存在频拍现象时将会误动作，诸如此类的故障都是保护性能的问题。

2. 保护特性变坏的实例

方向距离保护的特性曲线见图 1-12。图 1-12（a）为偏移特性圆，图 1-12（b）为记忆特性圆。

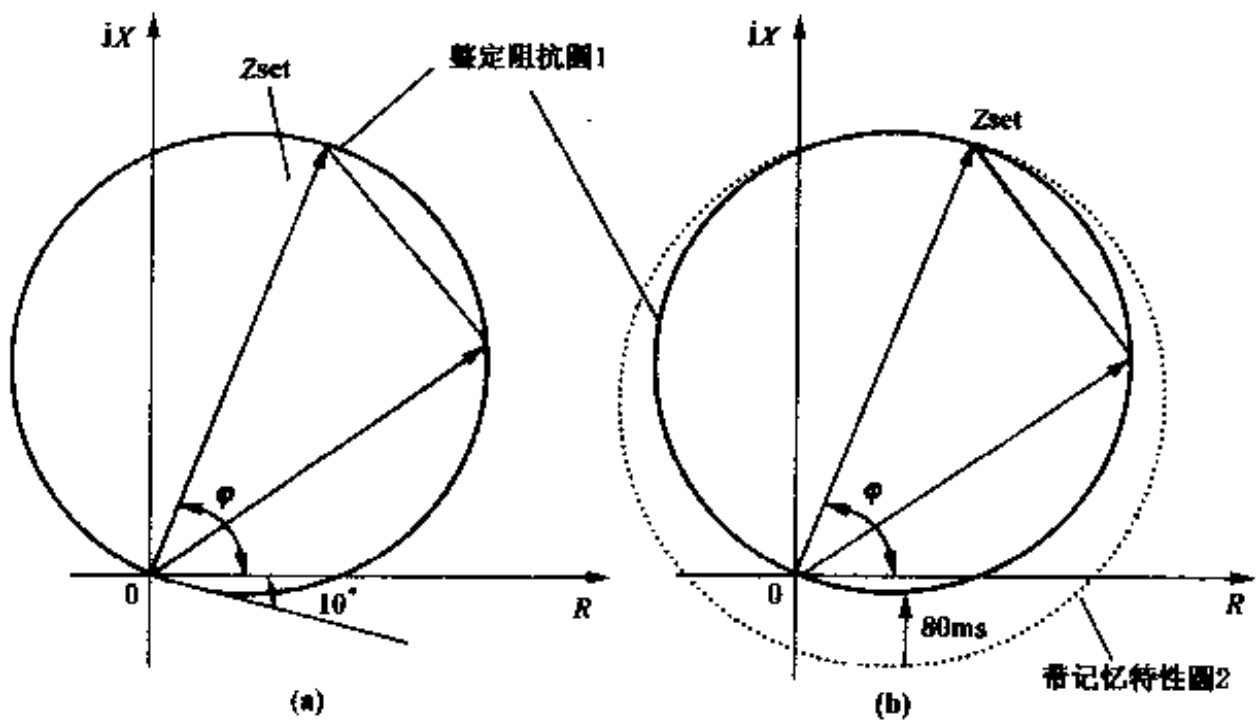


图 1-12　方向距离保护的特性曲线

（a）无记忆特性圆；（b）带记忆特性圆

由于制造的原因或是参数的变化，或是元件特性的变化，可能出现方向偏移的问题，如图 1-12（a）中所示，整个特性曲线沿逆时针方向偏 10°，则出口短路时就会失去反应弧光电阻的能力。图 1-12（b）中，由于元件的损坏可能会出现失去记忆功能的问题。一般要求记忆时间 > 80ms，以满足出口金属性短路故障的可靠切除。记忆功能的消失或记忆时间的变短都是不允许的，必须及时地解决。

有的继电保护的动态特性偏离静态特性很远也会导致动作结果的错误。在故障分析时应充分考虑动态特性与静态特性的偏差。

十、设计的问题

从备用电源自投装置 AAT 的实例说明设计中存在的问题。

在发电厂中厂用系统经常出现厂用母线设备故障，厂用分支（或厂用变压器）跳开，AAT 自动启动投备用变压器的问题。大量的统计资料表明，凡是厂用母线设备出的故障，大都是永久性的故障，此时的备用电源自投 AAT 动作合闸，也就不可能成功。这种设计思想的弊端已经被人们所认识，有的机组已经作了改动，要提高 AAT 自动投入的成功率，必须改变 AAT 启动的判据。

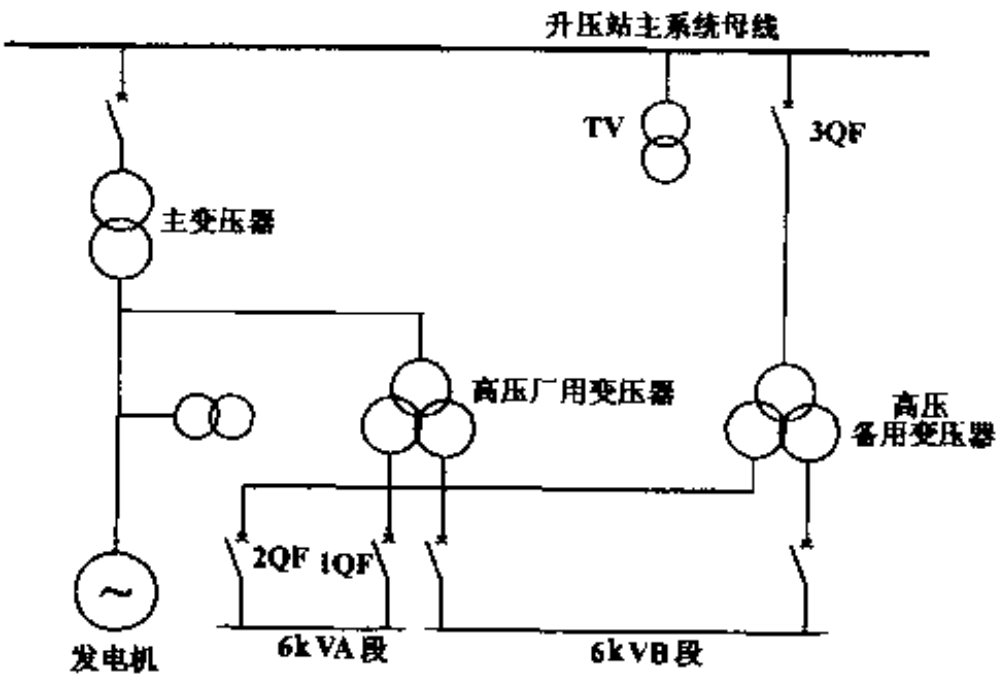
原始的备用电源自投的起动条件比较简单，即工作电源进线跳开，在备用电源电压正常的情况下实现自投。在此应考虑如下的改进措施。

（1）增加工作电源过电流闭锁 AAT 环节。只要 6kV 工作分支过电流动作，则视为母线的永久性故障，应禁止 AAT 动作，以防止备用变压器投到故障母线上，烧坏设备。

（2）增加发电机变压器组主保护起动 AAT 的环节。发电机变压器组主保护动作后一方面跳开出口开关、高压厂用分支开关，另一方面起动 AAT，实现快速自投。此方案能实现快速自投，不存在过流起动的问题。

（3）同时采用以上两种方案，既能实现备用电源的快速自投又能解决自投到故障母线的缺陷，是比较理想的。

改进后的备用电源自投的起动条件逻辑见图 1-13。



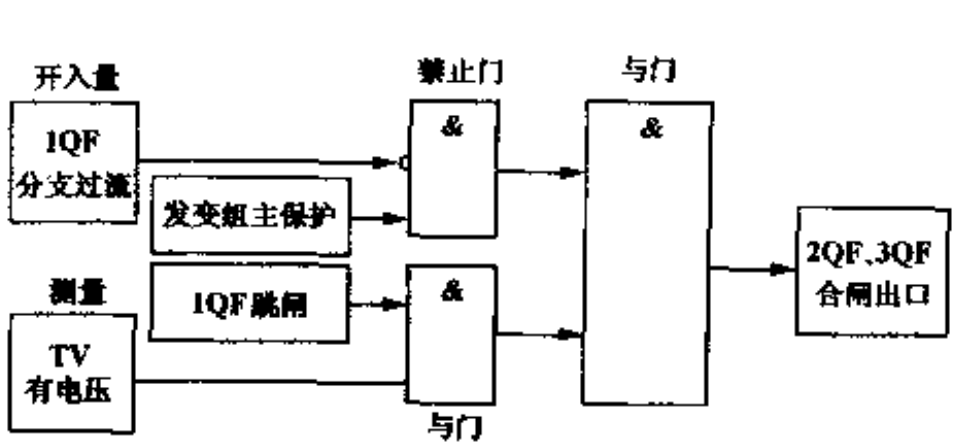


图 1-13　改进后的备用电源自投逻辑电路

以上列举了引起继电保护事故的 10 种原因，这里不讨论这样分类是否合理，只强调有这些方面的故障存在。以后的章节中对上述所举的部分实例作了详细的分析，并补充了若干其他的故障内容。

第二节　继电保护事故处理的基本思路

上一节介绍了继电保护事故的分类，给现场的继电保护事故处理提供了参考的依据。在实际工作中根据不同的事故种类采取不同的措施，找到故障的根源，最终确定事故处理的办法。另一方面，根据继电保护事故的现象，就可以进一步确定事故的种类，从而求得问题的解决。下面介绍最基本的事故处理的思路。

一、正确利用故障信息

要想顺利地查明事故的原因，可以借鉴以往的经验，对于经常出现的简单故障是容易排除的。但是对于少见的复杂故障，仅凭经验并不能解决问题，遇到这种情况时应根据正确的方法和步骤进行工作。

1. 利用信号判明故障点

在现场的光字牌信号、微机事件记录、故障录波器的录波图形、装置的灯光显示信号、保护掉牌信号等是继电保护事故处理的重要依据，要认真分析，去伪存真。根据有用的信息作出正确判断是解决问题的关键。

一旦判明故障点出现在二次回路上，要尽量维持原状，做好记录，待做出必要的分析并制定出事故处理计划后再开展工作，以免由于原始状况的破坏给事故处理带来不必要的麻烦。

2. 利用一次线索判明故障点

根据信号指示，去判断是否一次设备发生了故障，这种思路是电气事故分析的基本思维方法。在无法分清一次系统故障还是继电保护等二次设备误动作的前提下，最简单的办法是一次二次方面同时展开工作。对一次设备进行一些观察、检查、检测工作，可以很快得出结论，同时开展一次设备的工作可以在短的时间内给保护工作人员提供极为有价值的参考信息，很有必要。

应该分清，在一次系统故障后若继电保护能够正确动作，则不存在“继电保护事故处理”的问题，若一次系统没有发生故障而继电保护动作，或者一次故障与二次故障同时存在等才是该书所讨论的中心内容，值得强调的是利用一次线索判明故障点。

3. 正确对待人为事故

有一个值得重视的问题是正确对待人为事故。如果按照现场的信号指示没有找到故障的原因，或者断路器跳闸后没有信号指示，在这种情况下的事故处理比较困难，是人为的事故呢，还是设备的事故呢？必须首先弄清楚。在现场有些工作环境，由于工作人员重视程度不够、或措施不得力，容易发生误碰等人为的事故。一旦发生了人为的事故，必须如实地反映，以便分析，同时要引以为戒防止此类事故的再次发生，否则会引起事故分析的一系列麻烦，结果是白费时间。

二、运用逆序检查法

如果利用指示信号不能在短时间内找出继电保护事故的根源时，应采用“逆序检查法”。逆序检查法就是从事故的结果出发一级一级地往前查找，直到找出原因为止。例如电容器的电压电流保护功能逻辑（正逻辑）见图 1-14。

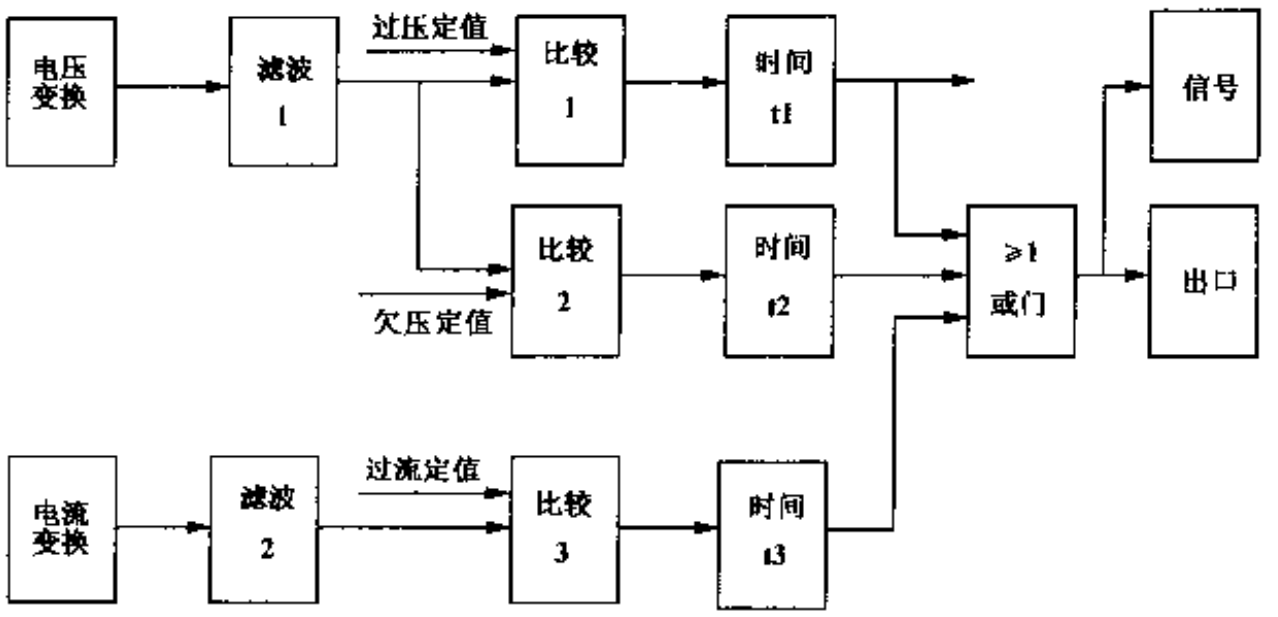


图 1-14　电容器电流电压保护

假设输入电压电流元件没有动作时出口元件有动作信号输出，可按下列顺序检查。

第一路：或门→t1→比较 1→滤波 1。

第二路：或门→t2→比较 2→滤波 1。

第三路：或门→t3→比较 3→滤波 2。

假设查到 t1 有高电平输出，t2、t3 均为低电平，则问题出在第一路，假设 t1 的输入为正常低电平，则表明 t1 元件损坏，依次类推。

这种逐级逆序检查的方法常用在保护出现误动现象时。

三、运用顺序检查法

这是一种比较费时费力但却最为彻底的方法。检查时根据现场的检修规程，按外部检查、绝缘检查、定值检查、电源测试、元件检查、特性检查等顺序分别检查。

全面的顺序检查法常用于继电保护出现拒动或者逻辑出现错误的事故处理中。

1. 顺序检查法的内容

顺序检查法与检验调试相类似，目的是运用检验调试的方法来寻找故障的根源，但事故处理又不同于检验调试，前者的任务是寻找故障点，而后者则是检查装置的所有性能指标是否合格，然后将不合格项调整到合格的范围以内，指标的不合格却不一定会导致故障。

现根据以往事故处理的经验将顺序检查法的基本内容加以介绍。

（1）外观检查。外观检查主要是检查保护元件有无机械损伤、烧坏、脱焊、螺丝松动等问题。对保护装置进行全面、仔细的外观检查，可以发现有外损伤的事故。外观检查的内容如下。

检查保护插件、插头接触情况。

检查保护元器件的完好性、颜色，焊接是否正常。

检查印刷电路板的腐蚀情况。

检查插件固定支架的螺丝、电流端子的螺丝是否拧紧，互相之间是否有接触及过热现象，带电部位距边框金属件的距离是否满足要求。

检查插件板上各元件及导线的高度不超过框架的高度。

检查整定插销、拨轮位置正确。

检查各端子排连接紧固，接线正确。

检查所有接线无压伤现象。

跳闸连接片、合闸连接片等连接逐一试验，确保连接片退出后回路断开，连接片投入后回路接通。

检查操作开关、操作按钮是否正常。

（2）绝缘检查。断开交流电流电压回路的接地点。

1）强电回路的绝缘检查。保护屏强电回路用 1000V 兆欧表测试，要求绝缘电阻大于 10MΩ，带全部外回路要求大于 1MΩ。

2）弱电回路的绝缘检查。弱电回路用不大于 500V 兆欧表测试，绝缘电阻大于 10MΩ，带全部外回路要求大于 1MΩ。

注意：绝缘测试时应将电流互感器、断路器全部停电，电压回路也已断开后才能进行。

（3）电源检查。在电源的输入端接通电源后进行下列项目检查。

1）检查输出的逐级电压。

2）测试交流成分。

3）检查稳压性能。

（4）定值检查

1）检查整定位置的正确性。

2）测试保护的定值是否与定值单相符。

3）若发现定值有问题，应分清是计算错误还是整定错误，并予以纠正。

（5）特性检查。

1）与定值有关的特性检查。检查定值下的特性是否与记录相近，若相差较大，应检查其原因并处理。

2）与定值无关的特性检查。检查与定值无关的特性曲线与记录值相比较。

（6）逻辑检查。

对保护的逻辑配合、逻辑关系应逐步检查，找出错误逻辑的根源。

（7）电位测试。

对电子设备保护的一些测试点，应按要求检查其静态工作电位。在测其保护动作后的电位时，有几种方法可达到目的。诸如利用按钮、短接前一级或者加交流信号。

（8）触点检查。

1）输入触点的功能检查。模拟开入量输入信号接通，相应的内部逻辑状态应有正确的反应。

2）输出触点的功能检查。在输出信号继电器动作后，触点输出应正常。

(9) 传动试验。

对配置的每一种保护、自动装置及重合闸等，应相互配合作联合试验，检查每一跳闸出口继电器，合闸出口继电器的跳合闸能力，以及相互配合的逻辑关系的正确性。

以上检查内容应根据故障的不同情况、不同特点选择应用。

2. 顺序检查法的运用

(1) 检查外观及绝缘。这种方法对于外观有损伤的故障最为直接，不仅能快速判断故障的部位，并且可以直接发现被损元件。外观检查及绝缘检查一般要求在设备停电后进行。

(2) 识别故障的现象。在进行外观检查而没有发现问题后，应该进行识别故障现象。故障现象就是保护及自动装置集成块、元件、特性变差或损坏的表现。如何识别故障现象呢？一是重现故障现象，二是观察故障现象的特征。

(3) 判断故障的范围。发现故障现象，抓住故障特征的目的是尽快判断出故障的范围，把故障点压缩在最小的范围以内。

判断故障范围，关键在于熟悉保护及自动装置的方框图，清楚各单元电路的功能以及它们之间的关系。明确单元电路在故障状态下对整套保护装置所起的作用，通过对故障现象的分析，可以划定故障的范围。

(4) 确定故障的元件。由故障现象所判断出的故障范围比较广泛，在较广泛的范围内发现故障元件，必须灵活运用各种测试仪器，把故障范围内的有关部位的电压值、电阻值等参数及波形，根据需要测试出来，根据原理进行分析，找出故障元件。

四、运用整组试验法

运用整组试验方法的主要目的是检查继电保护装置的逻辑功能是否正常，动作时间是否正常。整组试验的方法可以用很短的时间再现其故障、并判明问题的根源。在进行整组试验时输入适量的模拟量、开关量使保护装置动作，如果动作关系出现异常，再结合上述逆序检查法去寻找损坏的元器件。

以上几种在现场常用的事故处理的方法，关键在于灵活运用。如果工作人员了解系统的状况、掌握保护的原理、熟悉二次接线，则保护的事故处理工作就显得容易了。

五、注意事项

在现场的检查过程中，如果发现特性参数与标准值相差很远时，应仔细检查试验接线、试验电源、电流电压的极性、试验仪器、试验方法等是否存在问题。确认这些方面正确无误后，再考虑被试元件的问题。

1. 对试验电源的要求

在进行保护检验时，要求单独的供电电源作为试验电源。若条件不允许，则应核实所

用电源能否满足三相为正序和对称的电压，并检查其正弦波是否良好、中性线连接是否可靠、容量是否足够。

2. 对仪器、仪表的要求

诸如万用表、电压表、示波器一类取电压信号的仪器必须选用具有高输入阻抗者，以免影响测试的结果。移相器、三相调压器应注意其性能稳定及对称性，毫秒计的精度要高。另外，可以选用经过鉴定的综合试验仪器以简化接线。

第三节　提高继电保护事故处理水平的途径

了解继电保护故障的基本类型，掌握继电保护事故处理的基本思路，是提高继电保护事故处理水平的重要条件，同时还必须掌握必要的理论知识，运用正确的工作方法。

继电保护及自动装置事故处理要求工作人员思路清晰、动作迅速、分秒必争。只有思路清晰、迅速准确地排除故障，才能在消缺时不会扩大故障，确保电网的安全运行，现将一些实用的提高事故处理水平的技巧作介绍如下。

一、掌握必要的理论知识

继电保护及自动装置的事故处理工作和其他技术工作一样，要求理论与实践相结合，调查研究和逻辑思维相结合，为提高事故处理的水平，相关人员至少应做到以下几点。

1. 学好电子技术知识

由于电网的迅速发展，集成电路及微机保护越来越多的被应用，作为一个继电保护工作人员，学好电子技术、集成电路及微机知识就成为当务之急。

电子技术的掌握是有规律可寻的，例如由电阻器、电容器、二极管、三极管等各种元器件组成了电子电路，象单稳态电路、双稳态电路以及放大电路就是由各种元件组成的单元电路，由单元电路组成各式各样的功能性电路。在继电保护及自动装置中，包括用运算放大器、开关电路、振荡电路组成的各种检测和逻辑电路，有的集成度低，有的集成度高，有的运用了微机技术。用学到的电子技术、集成电路、微机等知识解决继电保护检修中的具体问题，解决继电保护事故处理中的具体问题。

2. 掌握保护的原理

为了根据保护及自动装置所产生的故障现象分析产生故障的原因，迅速确定故障部位，找出并更换损坏的元件，工作人员必须具备继电保护的基础知识，必须全面了解保护的基本原理与性能，并且熟记其方框图，熟悉电路原理图。只有这样，才能有针对性的进行逻辑思维、逻辑分析。

3. 备全相关的技术资料

要顺利的进行继电保护故障分析与处理，离不开有关的技术资料，一般情况下在现场应具备以下资料。

相关的技术资料是：继电器检修规程、产品说明书、调试大纲、调试记录、定值通知单、整定试验记录、电路方框图、电路原理图、标准电压值、电流值、波形以及有关的参

数等等。这些资料要靠平时的收集与积累，特别在检修及消缺后都要作好记录，作为下一次检修及消缺的参考资料。

当前的技术管理标准化，是正规化管理的具体表现，对促进资料管理，促进信息共享、提高积累意识具有极大的推动作用。

二、运用正确的方法

要做好继电保护故障处理工作，必须防止经验主义、纸上谈兵、盲目动手的错误做法，否则不但不能迅速排除故障，反而容易使故障扩大或导致问题的复杂化。因此，对继电保护及自动装置进行故障处理，应当遵循一定的规则。

前面曾经介绍了顺序检查法，逆序检查法及整组试验检查法，现场可根据具体情况选用。在实际的故障处理时，往往经过某些简单的检查，一般的故障部位就会被查出。如果经过一些常规的检查，仍未发现故障元件，说明该故障较为隐蔽，应当引起充分重视，此时可采用逐级逆向排查方法，即从故障现象的暴露点入手去分析故障原因，由故障原因判断故障范围，在故障范围内确定故障元件并加以排除，使保护及自动装置恢复正常。如果仍不能确定故障的原因，就要采用顺序检查法，对装置进行全面的检查，并进行认真的分析。

三、熟练掌握故障处理技巧

在保护及自动装置故障处理中，以往的经验是宝贵的，它能帮助工作人员快速消除重复发生的故障。但与经验相比，技能更为重要。要不断提高保护及自动装置故障处理的水平，必须掌握一些技巧，总结如下：

1. 采用电阻测量判别法

利用万用表测量电路电阻和元件阻值确定或判断故障的部位及故障的元件，一般采用在路电阻测量法，即不焊开电路的元件，直接在印刷板上测量，然后判断其好坏的一种方法。

2. 采用电流测量判断法

利用万用表测量晶体管或集成电路的工作电流、稳压电路的负载电流，可确定该电路工作状态是否正常、元件是否完好。常用的回路电流测量方法有：直接测量、间接测量和取样测量三种。

对于小电流（微安级）的测量，可将万用表直接串在电路中进行测量；对于 mA 级以上的较大电流可采用间接测量法，即测量回路中某已知电阻上的电压而求得电流的方法；如果在电路中找不到合适的电阻，可采用取样测量法，具体的做法是找一个适当功率的小量值电阻串在回路中，测量该电阻上的压降，计算出电阻中的电流。

3. 采用电压测量判断法

对所有可能出现故障的电路的各参考点进行电压测量，将测量结果与已知的数值或经验值相比较，通过逻辑判断确定故障的部位及损坏的元件。

4. 采用替代、对比、模拟检查法

替代法是用规格相同、性能良好的插件或元件替代保护或自动装置上被怀疑而不便测

量的插件或元件。对比检查法是将故障装置的各种参数与正常装置的参数或以前的检验报告进行比较，差别较大的部位就是故障点。模拟检查法是在良好的装置上根据电路原理，对其进行脱焊、开路或改变相应元件的数值，观察装置有无相同的故障现象出现。若有相同的故障现象出现，故障部位及损坏的元件被确认。

保护及自动装置的事故处理除了技能的因素之外，培养高度的责任心是十分重要的，工作人员只要有良好的技能、认真的态度就能够快速排除一切故障。

四、掌握事故处理的特点

作为电气运行人员或继电保护工作者，要全面掌握事故处理的技巧，除了具备牢固的继电保护的基础知识，全面的二次回路知识，熟练的一次系统知识以及相当的运行知识以外，还应熟悉继电保护检验规程，继电保护的检验条例以及继电保护的调试方法，还要清楚各类保护的事故处理的特点。现将多年的继电保护故障现象及事故处理的情况总结如下：

1. 分离元件事故处理的特点

分离元件与集成电路或微机保护相比，最明显的特点是直观，元件参数及原理电路都能一目了然，工作原理容易理解。在由分离元件所构成的保护装置中，各元件的工作特性，工作状况都可以用试验的方法进行检查，因此分离元件的保护出现故障后，现场的工作人员能够直接找出故障器件并进行更换，使问题得以解决。

2. 微机保护事故处理的特点

与分离元件相比，微机保护的缺点是原理复杂，难以掌握，主要原因是计算机的知识缺乏。微机保护与其他一般的保护有着共同的一面，装置的测量、判别和输出等环节的工作过程是一致的，保护装置的逻辑框图也基本相同；两者也有不同的一面，即工作方式的不同，计算机保护是用执行逻辑计算程序的方式完成其工作的。问题是能弄清如何将程序输入微机，微机又怎样执行程序并进行工作，掌握了这些专业特点，保护的原理也就理解了。最终是固化程序与执行程序，程序的固化必须借助于开发产品的开发系统，利用开发系统把根据保护逻辑编制的程序“写入”程序存储器，然后微机自动地按照程序的步骤进行工作。

微机保护在现场的事故处理比较简单。目前运行单位在现场对微机保护装置的事故处理时能够进行的工作是更换插件或更换芯片。微机保护常出现故障及处理方法举例如下。

(1) 显示功能不正常。检查判别推动显示器的芯片是否损坏，确认损坏后更换。

(2) 输入信号数值不正确。检查测量通道元件是否损坏，确认损坏后更换。

(3) 温度特性不能满足。当环境温度升高，保护性能变换时，应更换温度性能好的芯片或采取限温措施。

3. 新安装保护事故处理的特点

新投产的设备在设计、安装、调试、试运行方面有许多的特点区别于运行设备。随着电力系统的不断发展，大量的关于电力基本建设工作的规定、条例等文件相继出版，在基建过程中发挥了应有的作用，使各项工作步入正轨。但在实际工作中，并没有避免事故的

发生，原因分析如下。

（1）涉及的新设备多。根据基建工程中新安装的继电保护设备的情况可知，保护设备的新产品一般会首先应用于基建项目中。继电保护发展的规律是，晶体管型的保护代替了整流型的，微机型的代替了集成电路型的。设备不断地更新换代，要求继电保护工作者不断地学习、不断地掌握新的知识，跟上时代发展的需要。

但是从整体上分析，设备的水平很不一致，尤其是在低压设备中，电磁型的保护依然具有一定的市场，给基建管理工作带来了麻烦。

（2）出现的问题集中。基建工程涉及的新设备多，暴露出的缺陷也多。其中有设计方面的、制造方面的、安装方面及现场调试方面的问题等。在后续的文章中列举了某些发电厂或变电站正式移交试生产前继电保护设备出现的一系列问题。以后的基建项目中也无法杜绝类似问题的出现，应引起大家的高度重视。

（3）管理中的漏洞多。继电保护的管理工作被列为电力系统的监督项目，目的是将这一责任重大、专业性强、涉及面广的专业管理工作纳入正规。发电厂、变电站基建项目的管理也被列为继电保护工作的重点，并对设备到货、开箱验收、安装调试、交接验收等各阶段的监督都作了规定。但是根据以往的情况，管理中的漏洞仍然存在。在基建过程中，继电保护的调试工作是最关键的环节，如果调试人员能全面负责，严格把关，对保护的每一种功能、每一种特性、每一个回路都理解得非常清楚，并认真地组织调试，则会减少管理中的漏洞。如果只靠验收过程进行把关，则难以检查出设备的所有隐患，因为验收人员不可能一直介入现场的所有工作，交接验收时又不可能把已完成的调试内容重新演示一遍，再加上调试者的水平及经验的限制，致使有的设备带着缺陷投入了运行，很久以后才暴露出来。

（4）人员配合不够。新建发电厂或变电站是以基建公司为主，而设备的业主是发电厂或电业局。由于基建项目的工期较短、任务繁重，各单位的人员配合也不尽相同，若干的工程需要加班才能完成任务，难免在某些环节上出现差错。

统计资料表明，由于基建期间遗留的问题导致的事故中，有不少是因为忽视或省略了某些项目的检查、试验而造成的。

（5）产品质量差，元件特性不稳定。在新装的保护设备中，有的存在原理上的缺陷，有的存在设计上的问题，还有的选用的元器件质量不过关，具体表现在试运行期间抗干扰性能差，技术数据与设计指标差别较大，元件温度特性不满足要求，严重时会导致保护误动作。有些产品的质量问题在调试时能够被发现，而有的则要到运行期间才能得到解决。元器件的不稳定期一般在一年左右，这期间容易出现元件损坏的故障。

前些年在基建现场遇到的继电保护方面的问题很多，原因归纳为以上五类。在发电厂、变电站的基建过程中出现的继电保护方面的事故及其处理情况中有些典型的材料已经在以后的章节中作了详细的介绍，本节只侧重于介绍现场容易出现的事故的类型，具有一定的代表性，希望读者能从其中得到一些启发。

4. 保护事故处理的新特点

随着电网的发展，继电保护的事故处理的环境变得宽松了许多，现将实际工作中的特

点总结如下。

由于系统内投入一批新的发电机组、新的变电站、新的高压输电线路，系统内的备用容量比较充足，容易解决电力负荷的调配问题。鉴于这种状况，继电保护的事故处理时一次系统的运行方式变得灵活了许多。过去事故处理的规程规定，小电流接地系统发生接地以后，可维持运行 2h 以上，发电机转子一点接后也可以继续运行，如此在运行中寻找故障点，并在运行中进行故障处理；如果在规定的时间内寻找不到故障点时，才允许安排停机检查，这种带故障运行的实例在二次设备异常的处理中也是常见的。

目前，由于系统中有充足的备用容量，可根据事故的具体状况在无法确定是一次系统故障，还是二次设备故障的条件下，将相关的一次设备退出运行，以便故障点的进一步查找，不会使故障的范围扩大，这种观点正在为更多的人所接受。

第二章　发电机保护的事故处理

发电机是电力系统中最重要的设备，为了保证电力系统的安全运行，保证发电机在出现故障以后能够快速停机，保证发电机在出现不正常状况时能够得到及时处理，根据运行中的发电机的故障类型设置了一系列的保护。

发电机是高速旋转的设备，受运行条件的影响，转子绝缘、定子绝缘下降等故障时有发生，为此装设了反映发电机绝缘降低的保护。反映发电机绝缘降低的保护在运行过程中经常会误动作，发电机绝缘保护的不正确动作是发电机保护故障的严重问题之一。

据统计，发电机的励磁回路中也经常出现故障，但是励磁保护有时却不能正确反应故障的发生，在严重的情况下励磁保护会出现误动作。发电机励磁保护的故障是发电机保护事故的问题之一。

总之，由于发电机的运行条件比较差，以及干扰因素的影响，使发电机保护的正确动做率很难提高，正确动作率低的问题有待于人们去努力解决。

发电机保护的基本类型有：

1）反应发电机出口 $3U_0$ 的定子接地保护。

2）反应发电机三次谐波的定子接地保护。

3）失步保护。

4）失磁保护。

5）逆功率保护。

6）转子一点接地保护。

7）转子两点接地保护。

8）转子过负荷保护。

9）电压闭锁过流保护。

10）定子过负荷保护。

11）差动保护。

12）负序过流保护。

13）阻抗保护。

14）低频保护。

15）过频保护。

16）断水保护。

17）发电机起动保护。

18）过电压保护。

19）横差保护。

20）电压平衡保护。

21）汽机联跳保护。

第一节　HS发电厂6号机组励磁过电压保护误动作

一、故障现象

HS发电厂6号机组容量为600MW，在1999年12月20日正常试运行过程中保护突然动作，5052、5053断路器跳闸，磁场断路器QE02跳闸，机组全停。事故前发电机输出有功400MW、无功80Mvar。事故后机组有关信号如下。

励磁调节柜："励磁过电压"，

"灭弧回路故障"。

发电机变压器组保护柜："86G_1"出口跳闸继电器动作，

"86G_2"出口跳闸继电器动作。

根据当时运行表计及*DUS*系统记录的结果显示，跳闸时机组运行正常，电网也无故障发生，因此基本可以判定是保护误动作，必须查明原因。

二、发电机励磁系统及励磁过电压保护简介

事故时该机组刚刚投产，其励磁方式是机端励磁。

1. 励磁系统简介

机端励磁是发电机自励励磁的一种形式。这种励磁方式具有结构简单、维护方便、运行可靠等优点。发电机主系统接线见图2-1。

在机端励磁方式下，励磁电源取自发电机出口，经励磁变压器降压隔离后，送到大功率晶闸管整流柜整流，为发电机提供励磁电流。励磁电流的大小控制通过调节柜调整可控硅整流器的导通角来实现。励磁系统接线见图2-2。

整个励磁系统由以下几部分组成，励磁变压器T01，大功率整流柜，起励柜和灭磁柜EE，励磁调节柜ER。

（1）励磁变压器。励磁变压器为浸油、自冷式，放置在主厂房外侧、发电机出口封闭母线的下边。励磁变压器将发电机的定子电压由22kV降到960V，同时起到发电机的定子和励磁绕组之间的隔离作用。

（2）大功率整流柜。大功率整流装置由4个相同的整流柜组成，当1台柜故障时，本柜切除，其余3台柜能满足各种运行工况的要求；当2台柜故障时，通过改变过励限制单元中I_{fmax}、I_{fth}的定值限制强励；当3台柜故障时灭磁停机。装置通过装在柜体上部的交流风机实现空气冷却。

（3）起励柜和灭磁柜。来自厂用 400V 的三相交流电源经起励变压器降压、电气隔离后进行三相全波整流，作为发电机开机时的启励电源。当磁场断路器 QE02 闭合后，有其辅助触点间接起动启励开关 QE03，发电机启励，发电机定子电压升至 40%额定值时，启励电源自动退出。

灭磁装置包括：两台并联的磁场断路器 QE02，灭磁电阻 R_{02}，放电晶闸管 V2、V3，过压保护晶闸管 V1。发电机采用逆变灭磁和线性电阻灭磁相结合的灭磁方式。灭磁时，trip1、trip2 命令去逆变灭磁出口，同时送至灭磁放电晶闸管的触发回路，并跳开磁场断路器 QE02，即先逆变灭磁然后经线性电阻灭磁。

（4）励磁调节柜。本套励磁调节装置为 TNITROL—M 系列模块集成电路调节器，调节器有自动和手动通道组成，通道之间完全独立，可以相互切换。手动通道对运行中的自动通道的工作点自动跟踪，自动通道故障时可以无扰动地向手动通道切换。

1）自动通道即电压调节器，测量发电机定子电压与给定值比较，经过 PID 控制算法，通过调节励磁电流实现对发电机电压的自动调节。

自动通道中设有多种限制器和校正控制电路，以改善调节器的调节品质、扩大发电机组的稳定运行范围。其中，励磁电流限制器限制强励过程中转子过热；功角限制器，在发电机低励时，防止励磁电流的过分减少，以保证发电机不超出其稳定运行极限，并限制机端电压的过分降低；电力系统稳定器（PSS）通过给 AVR 增加一个可变干扰补偿，增加发电机与电网之间机电振荡的阻尼，抑制低频振荡的发生；恒功率因数调节（P. F）以有

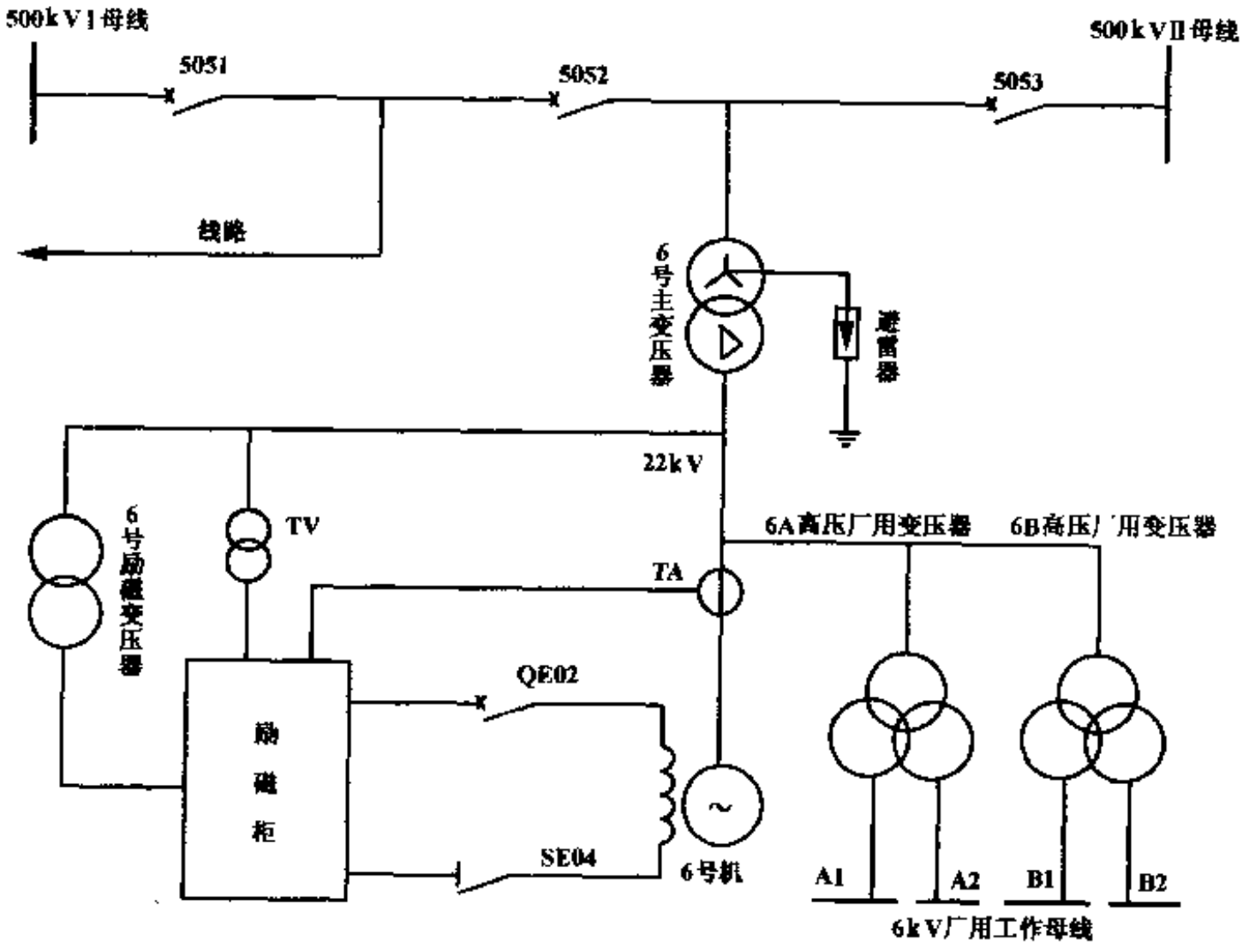


图 2-1　发电机及励磁主系统结构

QE02—发电机磁场断路器；SE04—发电机磁场隔离开关

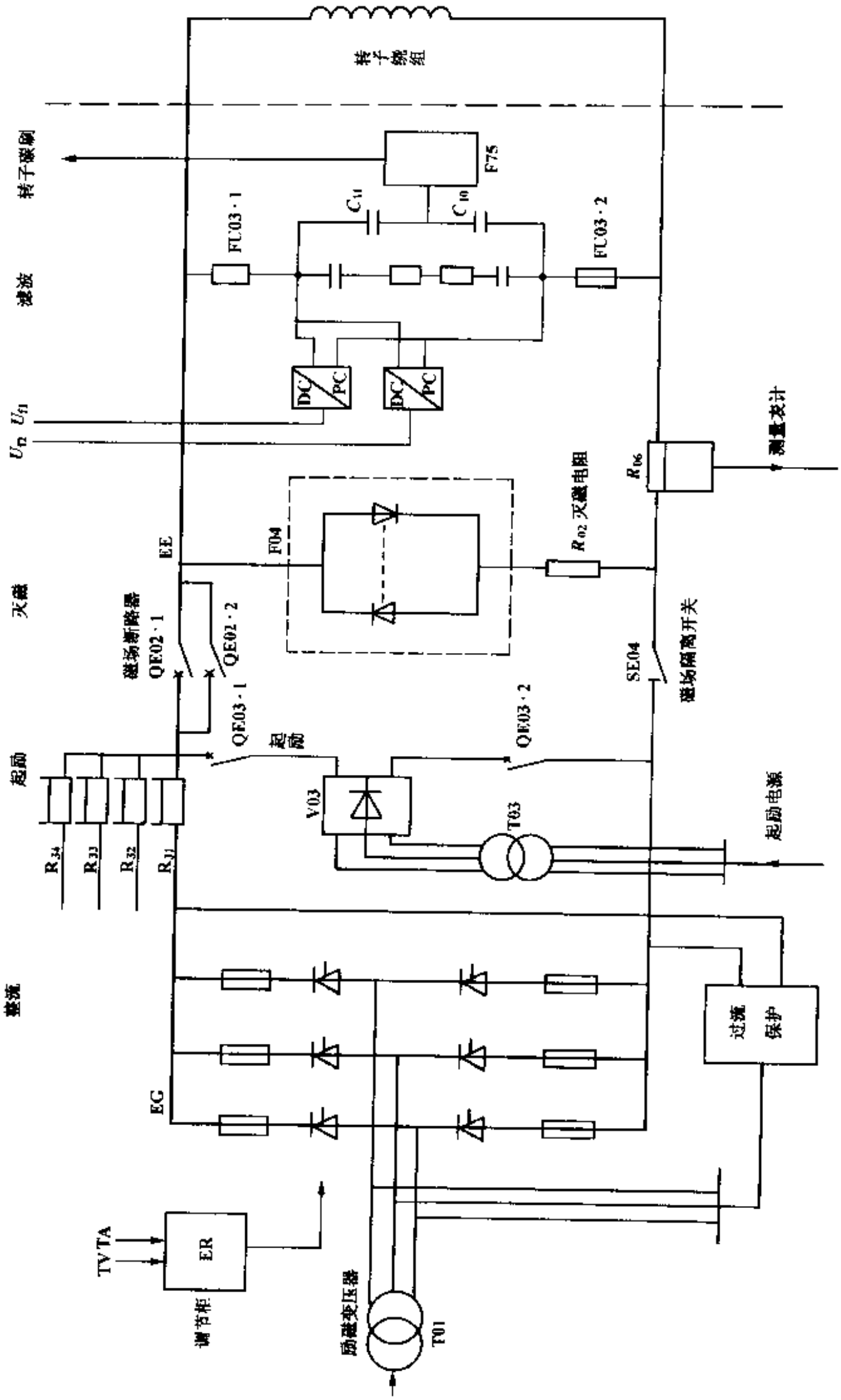

转子绕组
转子碳刷
F75
C_{11}
C_{10}
FU03·1
FU03·2
滤波
DC/PC
DC/PC
U_{n1}
U_{n2}
测量表计
R_{06}
R_{02} 灭磁电阻
F04
EE
灭磁
磁场断路器
QE02·1
QE02·2
QE03·1
QE03·2
起励
起励
SE04
磁场隔离开关
起励电源
V03
T03
R_{34}
R_{33}
R_{32}
R_{31}
整流
过流保护
EG
TV TA
ER
调节柜
励磁变压器
T01

图 2-2　发电机励磁系统

功电流与无功电流比例恒定原理实现功率因数的恒定调节，它通过调整 AVR 的给定值间接起作用，不影响 AVR 的动态性能。

2）手动通道即励磁电流调节器，励磁电流的测量值与给定值比较，经过 PI 控制算法，实现对励磁电流的自动调节。手动通道可以作为自动通道故障情况下的备用通道，同时也为发电机的调整试验提供了方便。

3）监测和保护。励磁监视功能是通过对两组 TV 电压和励磁电流的监测对通道故障作出判断。通道选择功能是根据外部操作命令及来自励磁监视单元提供的信息，选择工作通道、实现工作通道的切换或者发出故障跳闸命令。导通性监测单元是完成对可控硅导通与否的检测，当检测到某一整流柜存在可控硅故障时，则闭锁该柜的触发脉冲，并发出报警信号。转子接地保护是检测转子回路（包括整流器、励磁变压器的二次绕组、发电机的励磁绕组）对地绝缘，当绝缘电阻小于 2kΩ 时，延时 2s 报警；当绝缘电阻小于 0.5kΩ 时，延时 2s 跳闸。

2. 励磁过电压保护介绍

在灭磁柜中设有专门的过电压保护作为励磁回路中可能出现的过电压保护。其原理电路见图 2-3 及图 2-4。

励磁过电压保护分正向过电压和反向过电压两种。

正常运行时，晶闸管 V1、V2、V3 因没有触发信号而不导通，灭磁电阻 R_{02}中没有电流通过，励磁电流 I_E 经过励磁绕组构成回路。

励磁回路出现反向过电压时，反向的过电压信号经过 V1002、V1007 的并联电路、二极管 V1 加到 R_1、R_2 的分压电路上。

由于 R_2 此时分到了很强的电压信号，而使 V1 触发导通，将灭磁电阻 R_{02}投入到励磁绕组回路中，将励磁电压的能量释放到灭磁电阻中，使发电机的定子电压迅速下降，达到降压的目的。与此同时，传感器 T5、T6 的反向测量部分有过电压信号输出，使反向过电压保护动作。一方面将磁场断路器跳开，切断励磁电源，发出励磁过电压信号；另一方面，起动发变组保护中的出口跳闸继电器，将发电机解列，机组全停。

励磁回路出现正向过电压时，过电压信号通过 R_3、R_4 串联电路触发 V2 导通、或通过 R_5、R_6 串联电路触发 V3 导通，将灭磁电阻 R_{02}投入到励磁绕组回路中。灭磁过程同上。此时，因是正向电压信号，从而使正向过电压保护动作，其输出结果与反向过电压保护动作一样。

如果灭磁开关跳闸后出现过电压，则正向过电压保护被闭锁。

另外，V2、V3 是磁场断路器 QE02 跳闸后，励磁回路放电的可控硅。当磁场断路器跳闸后，V2、V3 接收到跳闸信号而导通，将灭磁电阻 R_{02}投入。

三、故障查找过程及原因分析

1. 励磁过电压保护动作的原因分析

根据记录，在励磁调节柜有“励磁过电压保护动作”信号，从原理上讲，引起励磁过电压保护动作的因素可能有三种。

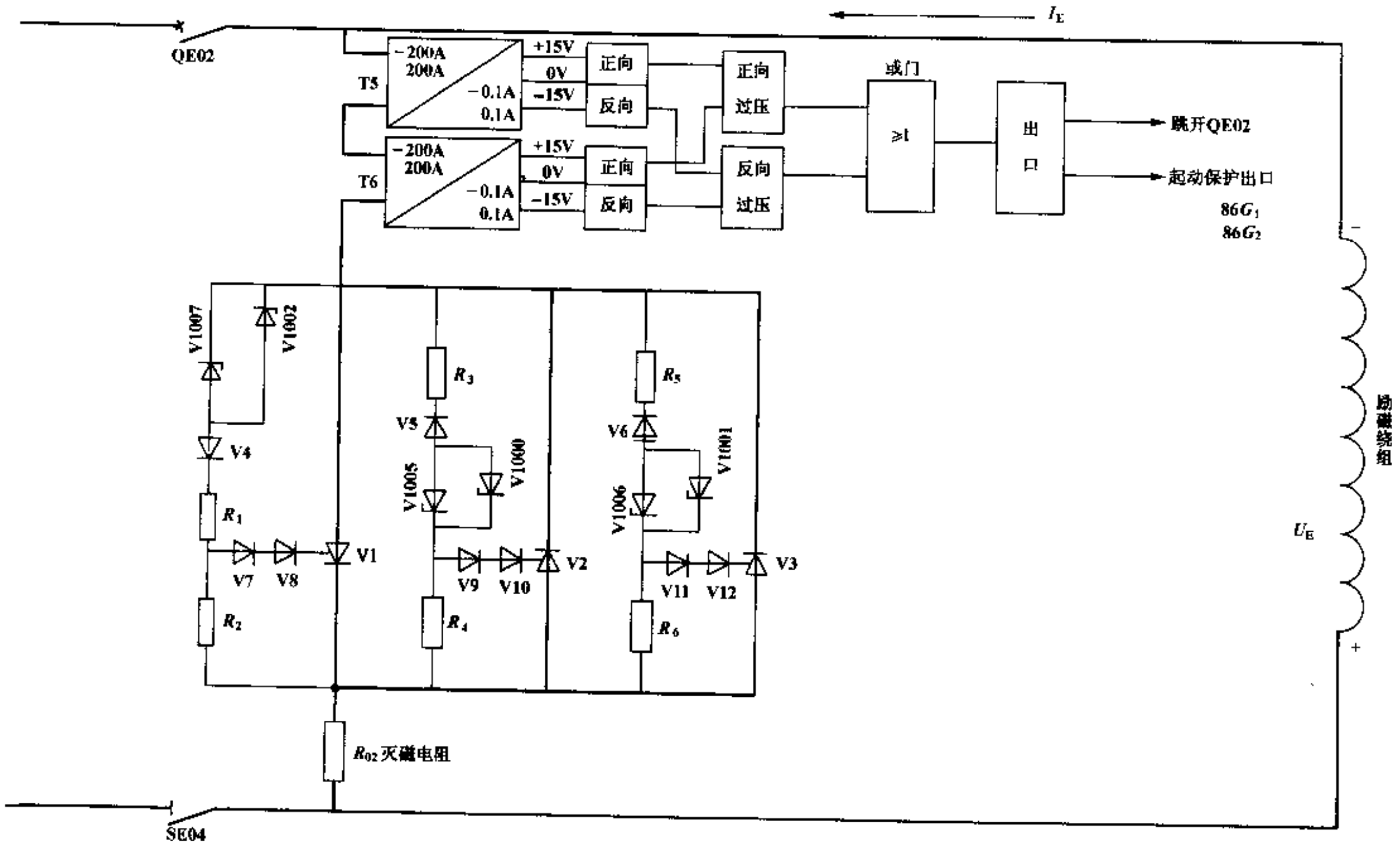


图 2-3　灭磁电路及过电压保护示意图

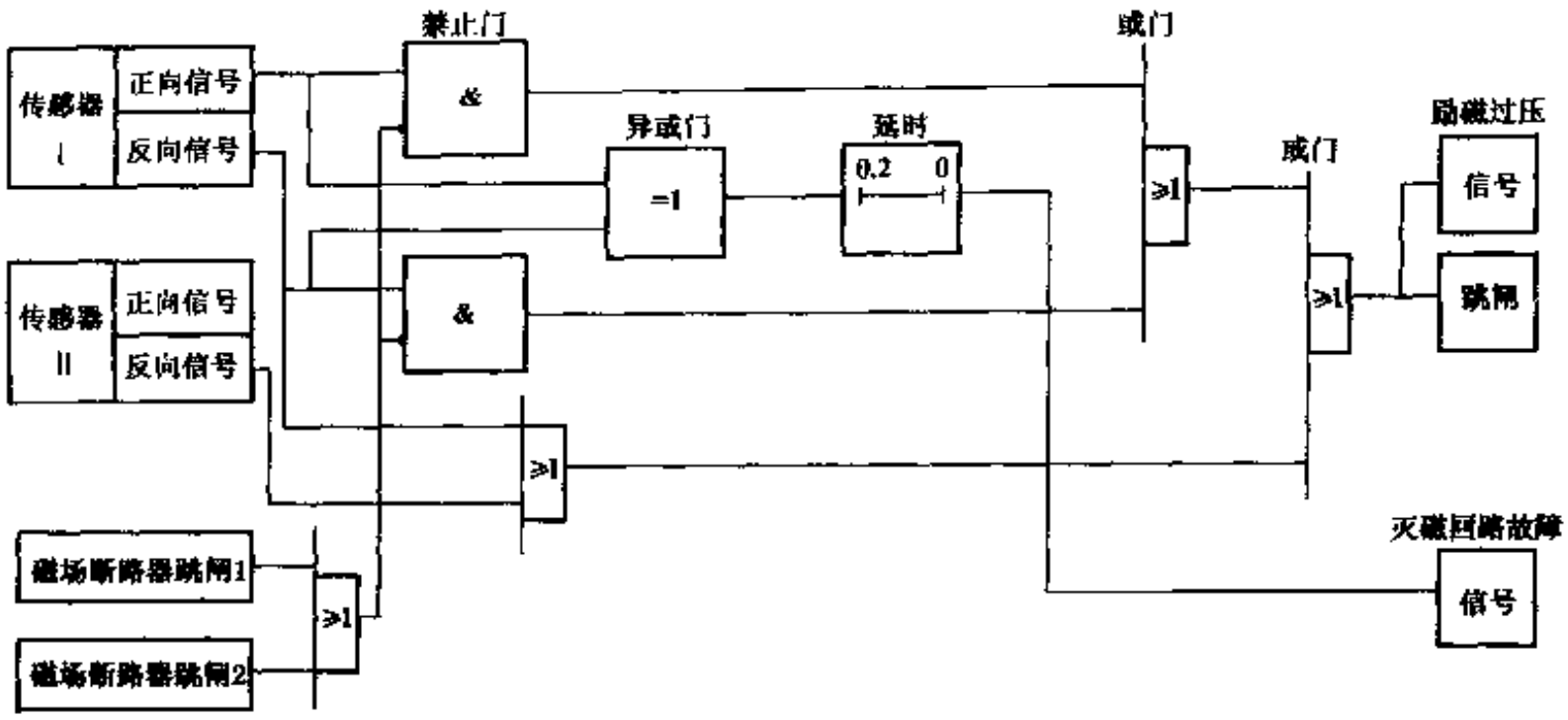


图 2-4　过电压保护逻辑电路

（1）运行过程中励磁系统故障出现的过电压。

（2）励磁开关跳闸后励磁绕组出现的反向过电压。

（3）保护元件损坏或元件特性变坏致使励磁过电压保护动作。

从运行记录的盘表指示以及 DUS 系统打印的结果来看，事故前机组的运行参数为：P = 420MW，Q = 80Mvar，U = 22.2kV，I_E = 5000A，U_E = 400V（I_E、U_E 分别为发电机励磁电流、电压）。发电机运行正常，U_E 不存在过电压，这就否定了第一个因素。

从 6 号机空载灭磁试验曲线看，当磁场断路器跳开时，转子会出现过电压现象。这样就给事故分析带来了困难。需要进一步判定励磁过电压保护动作是由于灭磁开关跳开之后在励磁回路反向过压的作用下正确动作还是过电压保护误动。

此时 5 号机组（与 6 号机组型号相同）也出现一次跳闸，跳闸前有功 500MW。这次跳闸证明灭磁开关跳开后，励磁调节器并没有过电压信号发出。这一点在后来的 6 号机 100%甩负荷试验时得到证明。

根据以上情况判定，励磁过电压保护是由于第三种因素引起的误动作。

2. 对励磁过电压保护的元器件进行全面检查

（1）外观检查。对保护回路各组成部分、保护插件板作了全面检查，未发现异常。

（2）绝缘检查。对灭磁电阻、励磁回路、过电压保护回路测试其绝缘电阻均大于 2MΩ，属正常。

（3）励磁过电压保护各元件参数测试。在不带电情况下，用万用表测试各元件参数，发现正向过电压保护的高压稳压管参数型号有误。参数的偏差使正向过电压保护的可控硅触发电压分压值偏高，即差值使过电压保护误动作。

3. 发电机开机升压后的进一步考核

进行了上述检查，在没有发现其他异常现象的情况下，决定开机升压考验设备。结果合上磁场断路器 QE02 后，发电机出口电压升到 5kV 左右时，励磁过电压保护再次误动作。说明故障点没有排除。

4. 励磁过电压保护直流电源测试

将励磁过电压保护的直流电源送上，检查“±15V”电源沿线电压数值，发现在T5电流电压传感器上的电压出现严重偏差：“+15V”下降到“+8V”，“-15V”下降到“-22V”。在这一参数下，当有一定的励磁电压后，保护的动作信号得到加强，从而导致保护误动作。

更换T5传感器以后，“±15V”电压偏差消失，保护正常。因此引起这次励磁过电压保护误动的原因是传感器损坏。

四、采取的措施

1. 高压稳压管的处理

在高压稳压管没有备品的情况下，将保护装置中不易动作的反向过电压保护中的高压稳压管移到正向过电压保护中，而把不合格的正向管临时放到反向位置，待备品到货后再彻底更换。

2. 电流电压传感器的处理

临时借用5号机的传感器，待备品到货后再还回。

3. 备品的补充

运行设备损坏严重，有的器件尚无备品的状况，必须准备充足的备件，以防运行元件损坏后，有所补充。

第二节　FW发电厂1号机组转子接地保护误动作

一、故障现象

1. 灭磁时间常数测试时，转子一点接地保护的误动作

在做发电机灭磁时间常数试验时，转子电压由额定的310V突然降到负值，此时转子一点接地保护误动作。发电机励磁系统简图见图2-5，由发电机的励磁系统图可知，在测量灭磁时间常数时，磁场断路器QE2跳开后，其灭磁分为两部分，第一部分是转子回路的灭磁，发电机实测的灭磁时间常数是2.14s，即发电机出口二次电压从100V降到36.5V用了2.14s；第二部分是励磁电源的灭磁，由于转子一点接地保护的测量回路接在励磁母线605与602之内，所以转子一点接地保护的误动作与励磁母线上的变化特性有关。

2. 自动方式升压时，转子一点接地保护的误动作

发电机在用自动方式升压时，其转子一点接地保护也有误动作的现象出现。由于发电机采用自动励磁方式时，励磁电压建立的比较快，造成保护误动作，手动方式下升压，电压升的比较慢，就不出现误动作的问题。

二、励磁电压的波形分析

1. 做灭磁时间常数试验时，有关电压波形分析

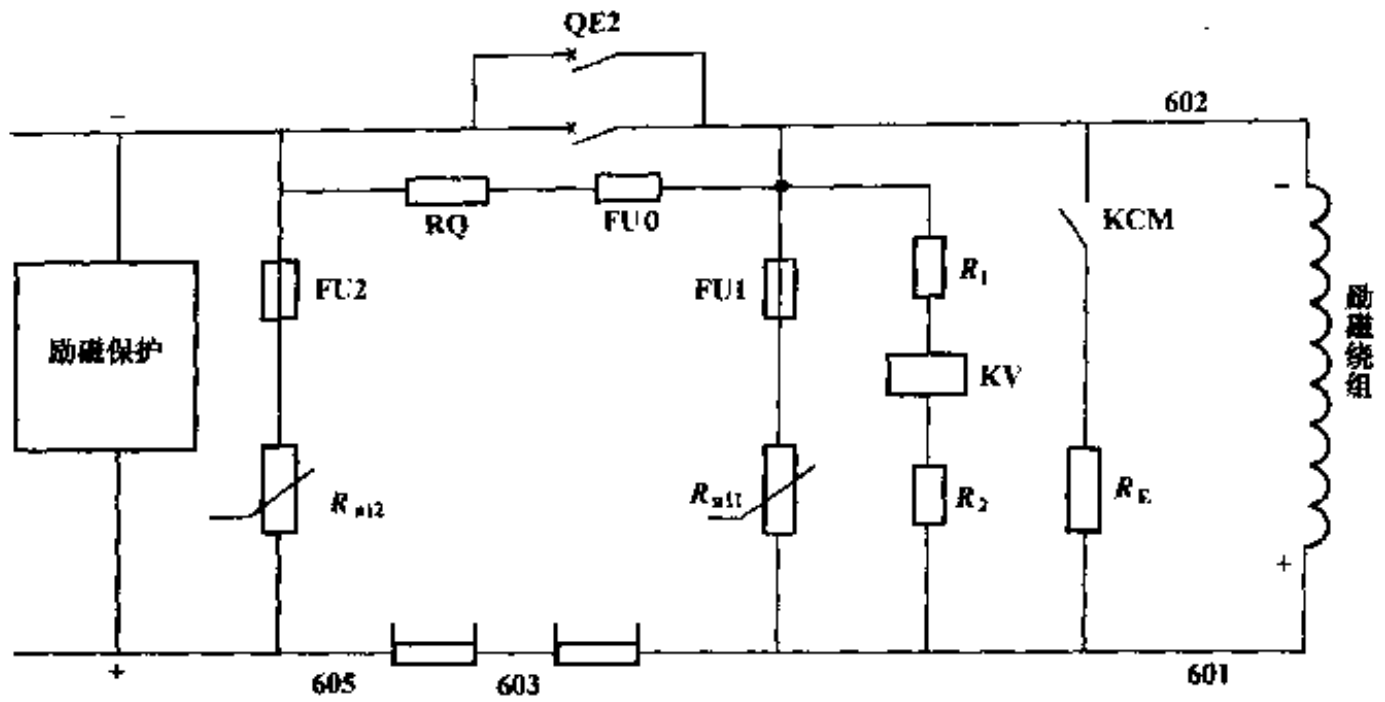


图 2-5　发电机的励磁系统简图

在做灭磁时间常数试验时，转子电压的波形见图 2-6（a），当灭磁开关 QE2 跳开，灭磁开关灭弧前，转子接地保护上测得的电压与转子电压有电的联系，因此在分析接地保护的动作行为时，应考虑到转子部分灭磁的影响。

在测灭磁时间常数时，励磁母线 605 与 602 之间的电压即转子一点接地保护所感受到的电压波形见图 2-6（b）。

从图 2-6 可以看出，转子电压在做灭磁试验时出现突变，突变的原因还需以励磁系统的灭磁过程来分析。

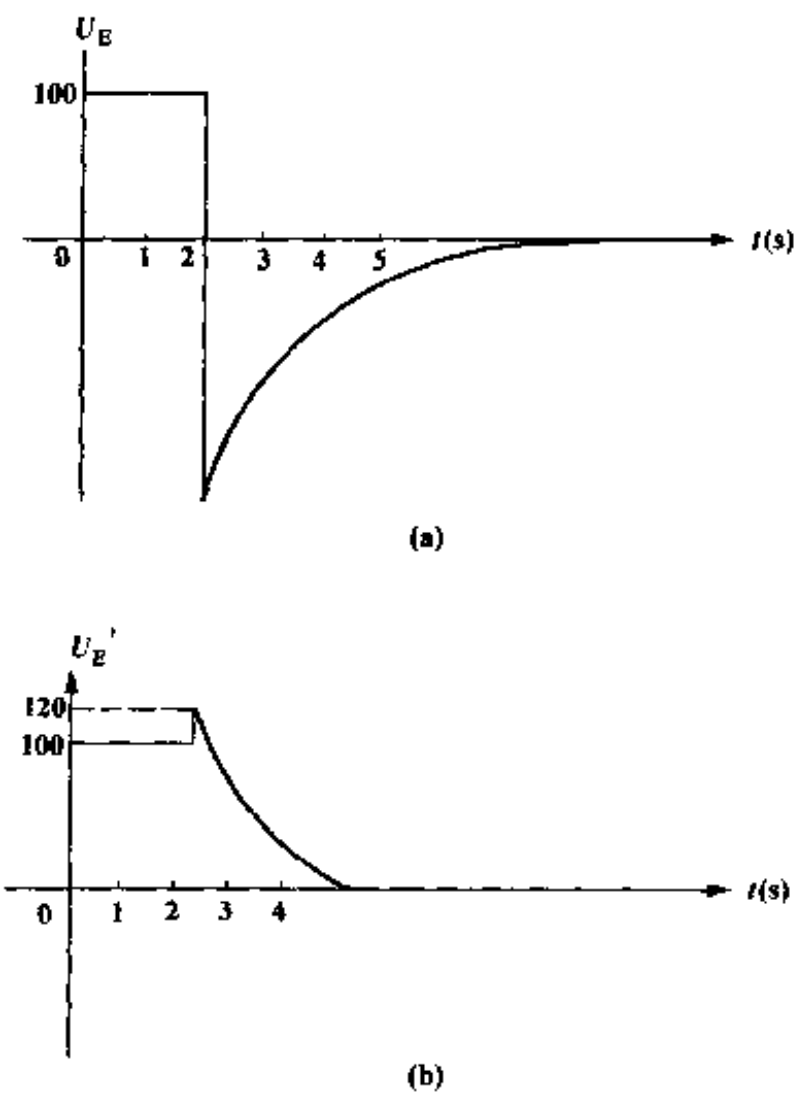


图 2-6　发电机灭磁时的电压波形测量图

（a）灭磁时的转子电压波形图；

（b）灭磁时励磁母线的电压波形图

发电机的励磁系统励磁过压保护见图 2-7。发电机正常运行时，QE2 磁场断路器处于合闸状态，接触器 KCM 触点在断开位置。此时非线性电阻 R_{n11}、R_{n12}接在 602、605 之间，FU0、RQ 为 QE2 所短接。

励磁过压保护的原理如下：当灭磁开关 QE2 跳闸时，QE2 由断流产生的电弧电压，加到 FU0、RQ 的串联回路上，由于电压产生的电流较大，使 FU0 熔断，在 602 与 605 之间的过电压，由 R_{n12}非线性电阻的特性，表现为低电阻，将过电压吸收，同样在 602 与 605 之间的过电压由 R_{n11}非线性电阻起到灭磁保护作用，QE2 断开后，由辅助闭触点，KT 延时返回起动 KCM 接触器，KCM 触点闭合，将 R_E 电阻投入达到进一步灭磁的目的。灭磁的过程分为两步：第一步，非线性电阻 R_{n11}灭磁，第二步，灭磁电阻 R_E 灭磁。在 300MW 发电

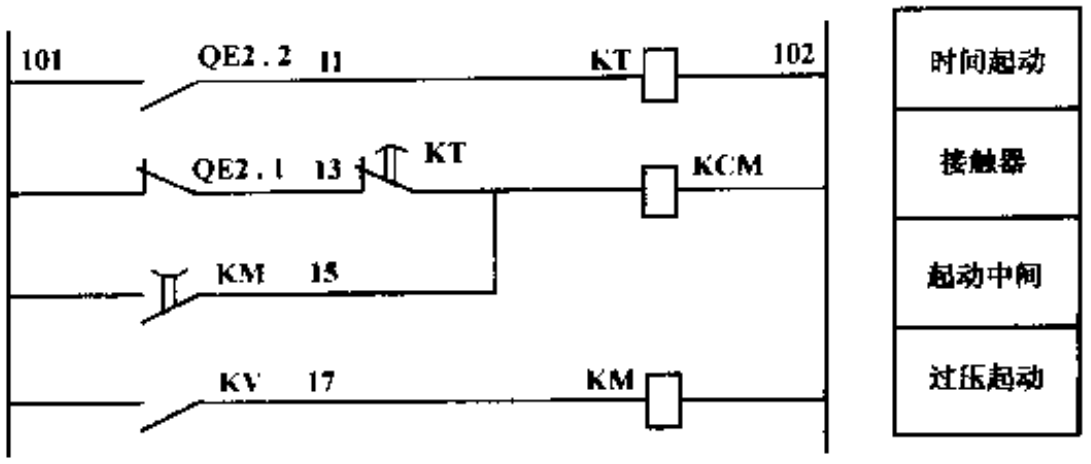


图 2-7　过电压保护控制电路

机组中，磁场断路器 QE2 为 DM2 型空气开关，断弧能力不够，如果其断弧能力很强，则上述的灭磁过程可以简化，即除去 FU0、RQ 回路，KCM、R_E 回路，R_1、R_2、KV 回路以

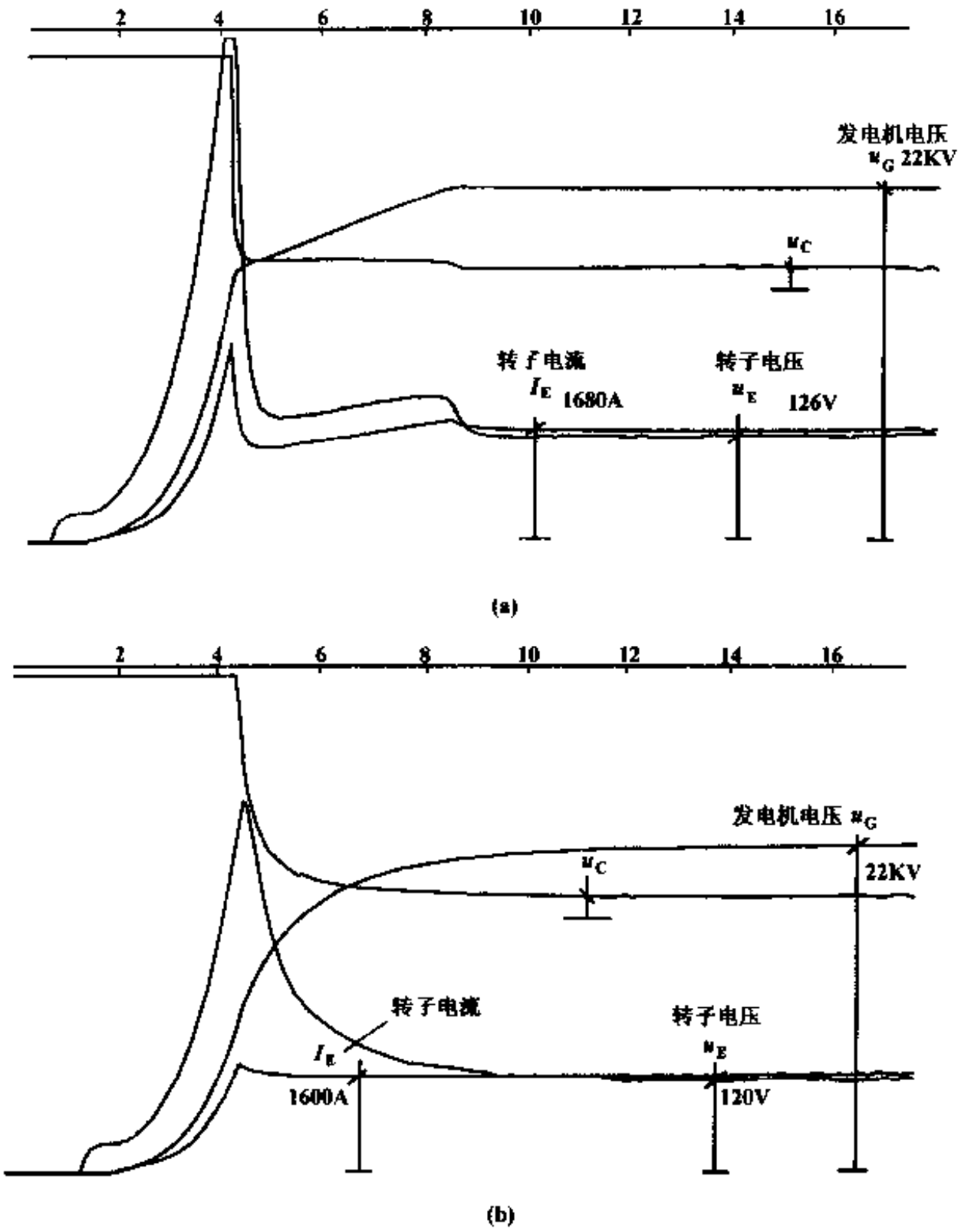


图 2-8　不同励磁方式下的电压曲线

（a）自动通道升压时的电压波形；（b）手动通道升压时的电压波形

及逻辑电路 KT、KM，只保留非线性电阻 R_{n11}实现灭磁即可。

发电机灭磁系统正常运行时，如果转子回路中出现过电压现象，可由非线性电阻 R_{n11}、R_{n12}构成的并联起到吸收作用；当过电压保护 KV 动作以后，由 KV 起动 KM，KM 的触点闭合起动接触器 KCM，由 KCM 将灭磁电阻 R_E 投入，将因过电压产生的能量吸收。当过电压值低于 KV 返回值以后，KV 返回，使 KM 失磁，其触点经延时返回，由 KCM 将 R_E 退出。

另外，在磁场断路器 QE2 跳开后，将信号送到励磁调节器，调节器迅速表现为逆变状态，对励磁系统的电源部分进行逆变灭磁，使电压下降。

2. 发电机升压时，电压的波形分析

发电机在用“自动”通道方式下升压时的电压波形见图 2-8（a）。从图 2-8 中可以看出，励磁电压上升的速率 du/dt 数值较大，电压迅速上升的趋势明显，而“手动”方式下，电压建立平缓。“手动”通道方式下升压时的电压波形见图 2-8（b）。

三、ZJ—1 型转子一点接地继电器简介

1. 用途

ZJ—1 型转子一点接地继电器可以作为同步发电机的转子接地保护，当转子回路绝缘电阻降至预定值时动作于信号或跳闸。

2. 主要性能及技术数据

（1）反应转子回路的对地电阻，动作值不受转子对地电容、故障地点和转子电压数值及其谐波成分的影响。

（2）不需向转子回路叠加电压。

（3）继电器中的低压器件与转子回路间在电气上隔离，有利于安全。

（4）灵敏度整定范围：5 ~ 50kΩ，可在面板上用拨轮开关改变整定值，级差为 5kΩ。

（5）适用的转子电压范围：500V 以内。

（6）刻度误差和温度变差：不超过 10%或 1kΩ。

（7）保护本身动作带有延时，应用时无须另加延时元件。

（8）辅助交流电压：~100V。

3. 工作原理

本保护采用了一个简单的电阻，电容网络接在转子上，在此网络的三个分支上按顺序进行切换，采样及比较以确定转子回路对地电阻值。

采用电阻电容原理的电路见图 2-9，假设接地故障发生在转子绕组中部任一点，将转子电压 U 分为 U_1 和 U_2，故障点电阻为 R_x。图中的电阻在继电器插件中，

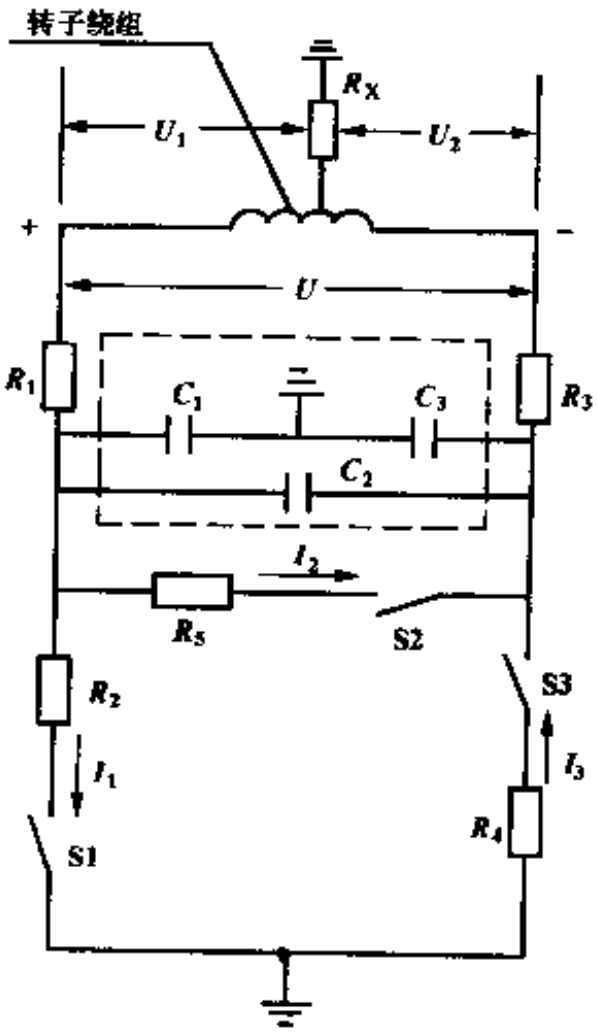


图 2-9　保护装置的电阻电容网络

电容在插件外，电容的作用是消除转子电压谐波分量及干扰电压对继电器的影响。下面简述其工作原理。

开关 S1 闭合时稳态电流 I_1 为

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_2 + R_x}$$

经过采样保持和处理后，在装置内得到与 I_1 成正比的电压 u_1

$$u_1 = k_1 I_1 = \frac{k_1 U_1}{R_1 + R_2 + R_x} \tag{2-1}$$

式中 k_1 为选定的常数。

同样，开关 S2 闭合时有相应的稳态电流 I_2 和电压 u_2

$$u_2 = k_2 I_2 = \frac{k_2 U}{R_1 + R_3 + R_5} \tag{2-2}$$

开关 S3 闭合时有相应的 I_3 和电压 u_3

$$u_3 = k_3 I_3 = \frac{k_3 U_2}{R_3 + R_4 + R_x} \tag{2-3}$$

为简化运算，取 $R_1 = R_3 = R_a$，$R_2 = R_4 = R_b$，$k_1 = k_3 = k$

则式（2-1）、式（2-2）、式（2-3）分别变成如下的式（2-4）、式（2-5）、式（2-6）

$$u_1 = \frac{k U_1}{R_a + R_b + R_x} \tag{2-4}$$

$$u_2 = \frac{k_2 U}{2R_a + R_5} \tag{2-5}$$

$$u_3 = \frac{k U_2}{R_a + R_b + R_x} \tag{2-6}$$

如取保护装置的动作判据为

$$u_1 + u_3 \geqslant u_2 \tag{2-7}$$

考虑到

$$U_1 + U_2 = U \tag{2-8}$$

由式（2-4）、式（2-5）、式（2-6）和式（2-7）、式（2-8）可得装置动作时得 R_x

$$R_x \leqslant \frac{k}{k_2}(2R_a + R_5) - (R_a + R_b) \tag{2-9}$$

式（2-9）中 R_a，R_b 和 R_5 皆为选定的参数，如 k 也取固定值，则改变 k_2 可以调整灵敏度，k_2 值可根据所需灵敏度由式（2-9）求得

$$k_2 = \frac{k(2R_a + R_5)}{R_a + R_b + R_x} \tag{2-10}$$

式（2-9）是构成本继电器的基础。灵敏度的调整则是通过改变相应的运算放大器的闭环放大系数来实现的。

继电器的方框图见图 2-10。继电器由三个插件组成。第一插件包括三个电子开关和相应的电流取样回路，以及构成阻容网络的电阻。第二插件包括由五个单稳串接构成的时序

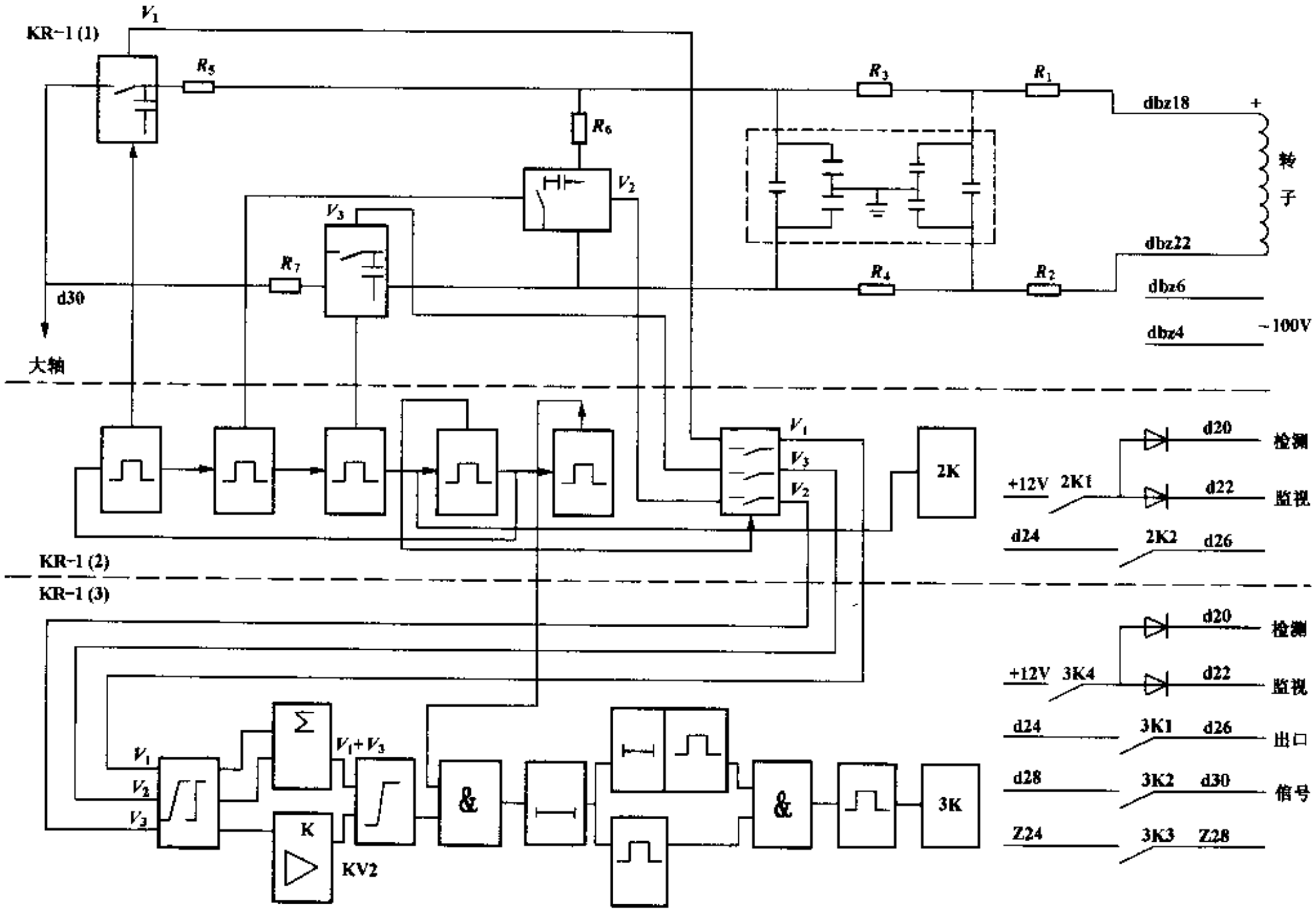


图 2-10　转子一点接地继电器方框图

回路（时序回路的原理见通用电路部分）和三个模拟开关以及监视时序回路的继电器和灯光信号。第三插件包括电压处理回路，比较回路和执行回路。

（1）时序回路。

时序回路按顺序循环地向装置的各部分送出命令，依次切换图 2-9 中的 S1、S2 和 S3，并对相应的电流进行采样和保持，然后将采样值加以处理和比较。

转子回路的分布对地电容和本装置的电阻、电容网络使得在 S1、S2 或 S3 合上瞬间相应的电流有较大暂态值，其衰减过程如图 2-11 所示。因此，为保证测量准确，需在 S 合上后延迟 Δt 方能进行采样。

图 2-12 为工作过程时序图。对 I_1、I_2 和 I_3 采样的时间分别为 t_1、t_2 和 t_3。

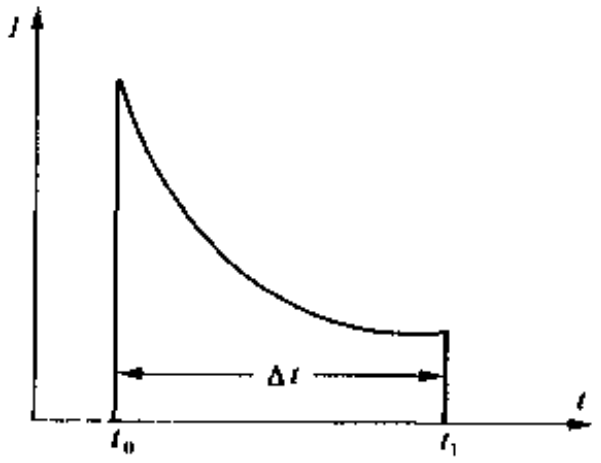


图 2-11　各分支电流的暂态过程

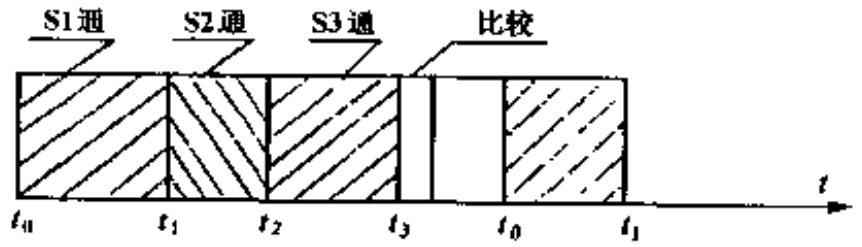


图 2-12　电路时序图

（2）切换及采样保持回路。

图 3-13 是电阻电容网络中第一分支的切换和采样回路，作为切换开关用的 VT1 为高反压二极管，其耐压水平在 1000V 以上，由于回路中有大电阻限流，此三极管即使受过电压击穿也不会失效。

电感 L_1 供采样及隔离用。在 VT1 导通变截止瞬间，L_1 中储存的磁能 $\frac{L_1 I_1^2}{2}$ 变为电容 C_1

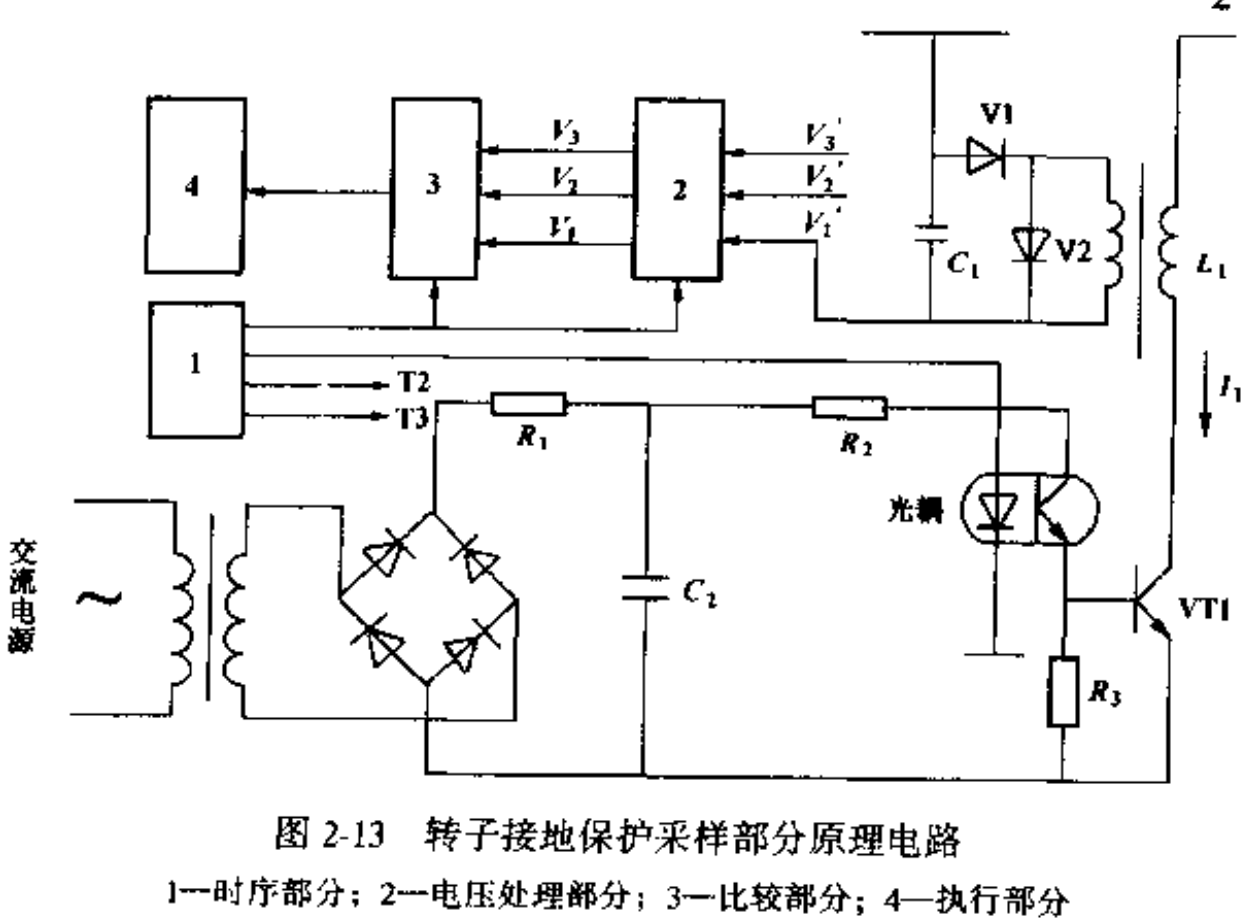


图 2-13　转子接地保护采样部分原理电路

1—时序部分；2—电压处理部分；3—比较部分；4—执行部分

中的电能$\frac{C_1U_1^2}{2}$，因此在电容上采样并保持了与 I_1 相对应的电压 U'_1。

第二、第三分支回路与该回路相似。

（3）电压处理回路。

由于二极管 V1 的能量损耗，图 2-13 中的 U'_1 与 I_1 间不是准确的正比关系。此能量损耗与电流及温度间为非线性关系。电压处理回路的主要作用是在各种工况下准确补偿此二极管的损耗，这是提高装置精度的关键。其次，电压处理回路还将补偿后的电压变换成满足式（2-4）、式（2-5）、式（2-6）的 U_1、U_2、U_3 送至比较回路。

（4）比较回路。

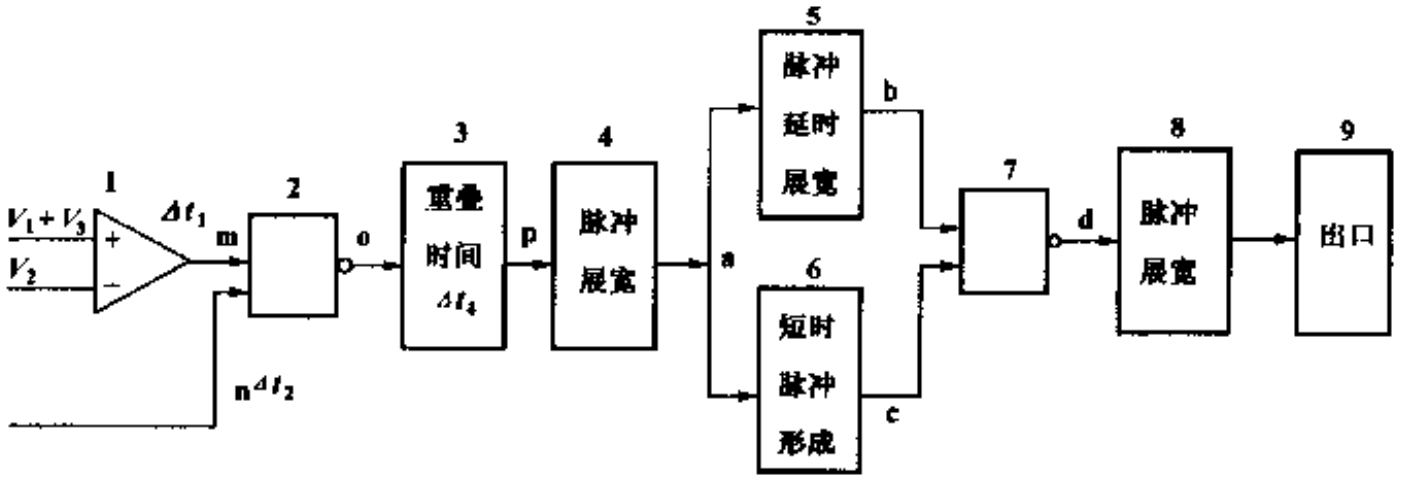


图 2-14　比较及执行部分逻辑电路

图 2-14 左半部分为比较回路。其主要作用是执行判据（2-7）。这里采取了一系列的措施以提高装置的可靠性。首先限定了在一个循环周期中只有极短的时间间隔是比较器的有效工作时间，这一时间间隔即时序回路送至与门 2 的脉冲宽度 Δt_2，其次，图 2-14 中方框 3 将 Δt_2 间隔中满足式（2-7）的持续时间 Δt_3 与预定的时间间隔 Δt_4 比较，如 $\Delta t_3 > \Delta t_4$，则输出宽度为（$\Delta t_3 > \Delta t_4$）的脉冲；如满足式（2-7）的时间太短，$\Delta t_3 < \Delta t_4$，则比较结果无效，这就大大地提高了装置的抗干扰能力。图 2-15（a）、（b）分别为比较结果有效和无效的波形图。

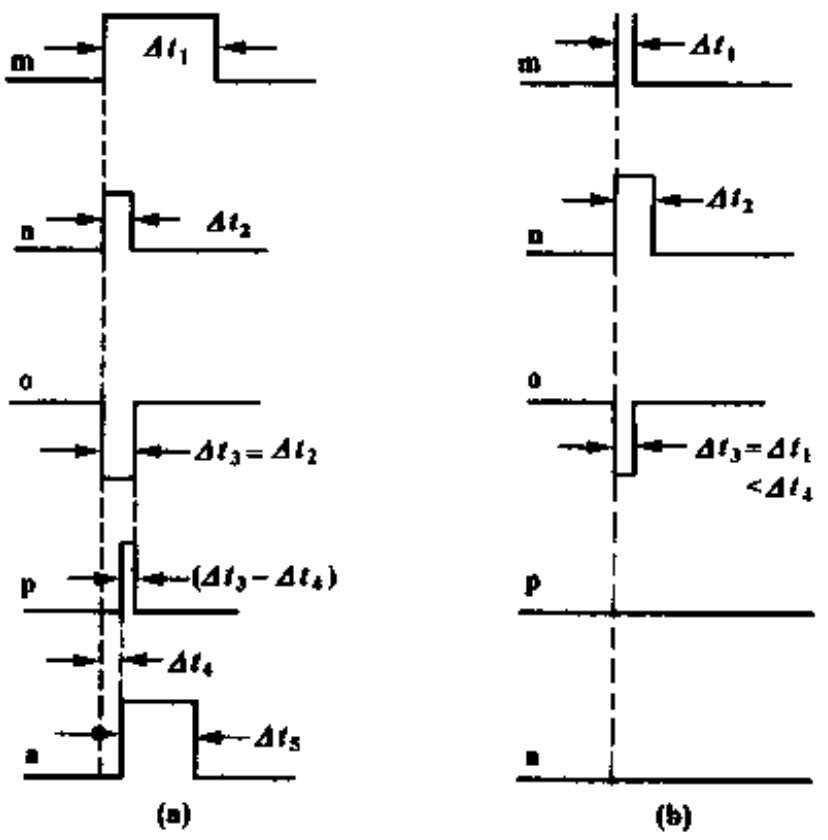


图 2-15　比较回路波形图

（a）比较结果有效；（b）比较结果无效

（5）执行回路。

图 2-14 的右半部分是执行回路，它的主要任务是判断是否连续两个周期中比较回路送来有效脉冲，图 2-16 是其各点波形图。图 2-14 方框 5 比较回路送来的脉冲 Δt_5 延迟 Δt_6 并展宽至约一个半周期，方框 6 则将送来的脉冲截去波尾，形成短脉冲 Δt_7（$< \Delta t_6$），因此，第一个有效比较脉冲不会使与门 7 产生输出，如图相继的下一周期有无效比较脉冲（图 2-16（a）），则各点电压恢复正常，装置

不动作，如果相继的下一周期也有有效比较脉冲（图 2-16（b）），则与门 7 输出动作脉冲，经过脉冲展宽作用于出口，这样不仅进一步提高了抗干扰能力，还可防止装置投入瞬间及转子电压迅速变动的误动作。

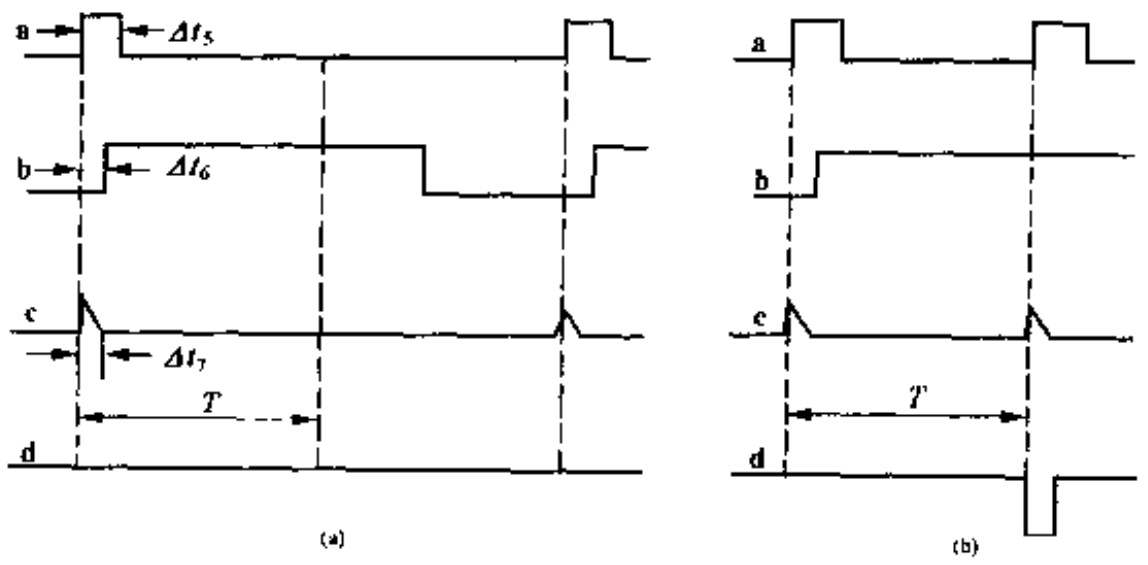


图 2-16　执行回路波形图

（a）第二周期无有效比较脉冲；（b）连续两周期皆有有效比较脉冲

4. 运行和维护

（1）保护装置灵敏度的整定取决于正常运行时转子回路的绝缘水平。对于水内冷转子，其动作电阻整定值一般不应大于 10kΩ。

（2）正常运行时第二个插件的指示灯应当是慢速闪动的（约 2、5s 闪一次），如指示不正常，可撤此插件上的停止按钮和起动按钮，如尚不能恢复正常，则应退出保护，检查时序回路。

（3）可以定期进行模拟转子接地试验以检查本保护的动作情况，在转子绝缘电阻大于 1MΩ 情况下将转子任一极以 80%整定电阻接地，保护应能可靠动作；以 120%整定电阻接地，保护应不动作。

四、保护误动作的原因分析

1. 保护在发电机灭磁及自动励磁时的动作属于误动作

在做发电机的灭磁时间常数试验时，保护发出了“转子一点接地”信号，对保护进行了检查，静态试验的结果是正常的。对励磁系统的对地绝缘进行了测试，结果 > 2MΩ，也属于正常。可以判定保护此时的动作是误动作。

同样，在发电机开机，用励磁调节器自动升压时，发出的转子接地信号也是保护误动所致。

2. 保护误动的原因是躲不过“脉冲”的干扰

保护误动作出现在 100%负载励磁电压断开以及自动通道升压时两种情况下，在发电机发电运行正常以及手动励磁通道升压时不动作，说明保护动作是因为躲不过“脉冲”干扰的影响。分析如下。

根据保护的动作条件，$U_1 + U_3 \geqslant U_2$，并且这个条件维持 2 个采样周期，才能有效出口。但是以下两种情况下都不满足动作条件。

（1）磁场断路器断开时，上述条件不能满足。

由于没有接地点存在，所以动作条件 $U_1 + U_3 \geqslant U_2$ 不能满足。

（2）自动升压时，上述条件也不满足。

自动升压的过程是：磁场断路器合闸以后，励磁电压在 3s 左右的时间内升到约 10%，此时也没有转子接地点存在，所以动作条件 $U_1 + U_3 \geqslant U_2$ 也不能满足。

所以保护不存在满足动作条件而动作的因素。由于发电机灭磁以及自动升压时电压的快速变化所产生的干扰脉冲比较明显，见电压波形图，此脉冲是保护误动作的根源所在（前面述及正常运行及手动缓慢升压时没有误动的现象）。

五、采取的措施

（1）增加抗干扰的措施。根据反措的要求，采取必要的抗干扰措施。

（2）复归误动信号。如果采取抗干扰措施无效，则采取复归信号的方法，因为这种动作发生在比较特殊的条件下，一点接地只是发信号，如果信号能复归，则证明励磁回路无问题，可以继续运行。

（3）选用新型保护。

第三节　FW发电厂1号机组定子接地保护误动作

一、故障现象

进行发变组短路试验时，发电机电流上升过程中定子接地保护动作，使磁场断路器跳闸，主汽门关闭，机组全停。对 1 号机组定子绕组进行一系列的测试后认为机组定子正常，定子接地保护误动作，因此将定子接地保护的连接片退出，重新开始进行短路试验。关于定子接地保护的动作记录如下。

1. 保护的整定值

零序保护的电压整定值是 4V 动作于跳闸。

2. 不同的短路电流时的零序电压情况

当做发变组短路试验时，不同短路电流时的零序电压值见表 2-1。

根据记录，短路电流从 600A 定子接地保护开始误动作，短路电流从 1000A 降到 400A 时，保护仍然不返回。

表 2-1　不同短路电流时的零序电压值

短路电流（A）	200	400	800	1000
零序电压（V）	2.5	3.5	4.5	14.0
保护行为	不动	不动	动作	动作

二、定子接地保护的基本原理简介

定子接地保护是由三次谐波原理的定子接地继电器和零序电压继电器构成的，保护区

为 100%。

保护的测量回路接线见图 2-17，三次谐波原理的继电器框图见图 2-18。

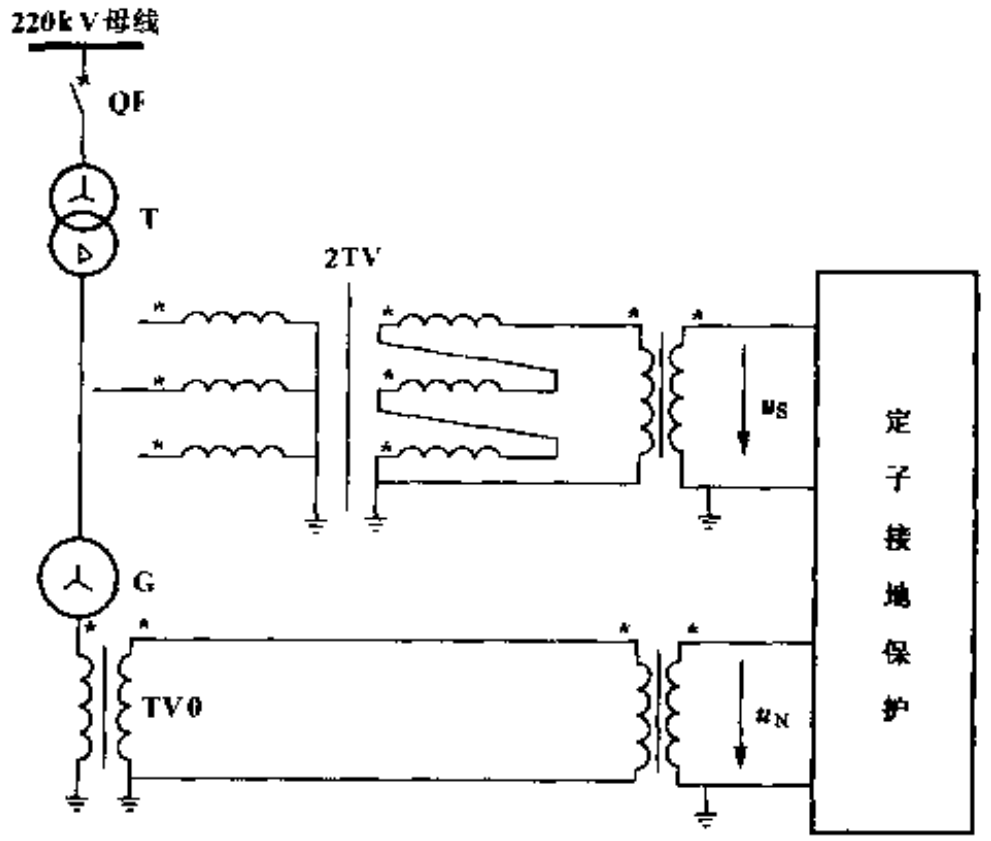


图 2-17　定子接地保护的测量回路接线图

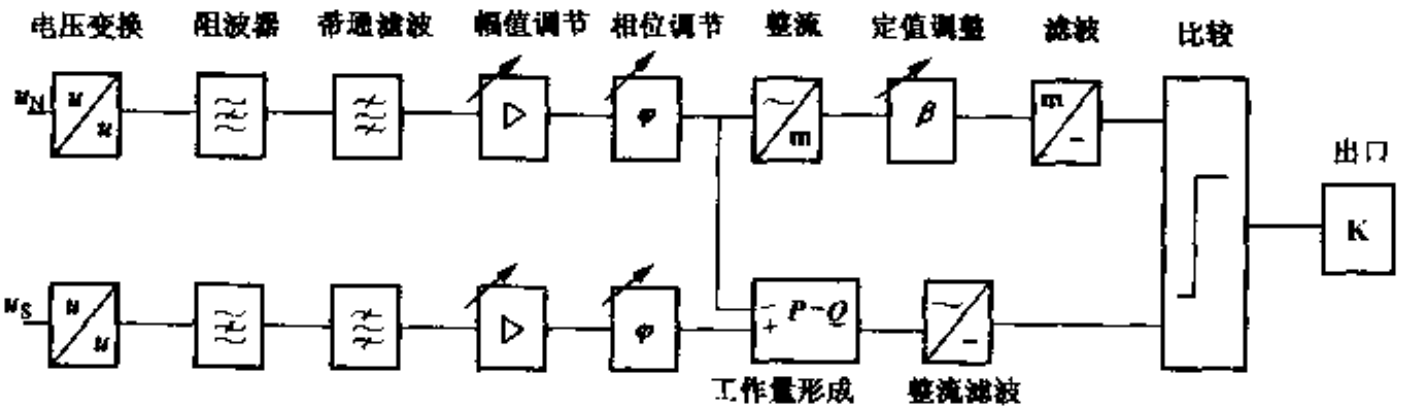


图 2-18　三次谐波原理的定子接地保护框图

发电机中性点的电压 u_N 及出口 TV 开口三角形电压 U_S 经过电压变换、阻波器、带通滤波器、幅值调整，把 u_N、U_S 中的基波及高次谐波滤去，并将两电压的幅值、相位调整的一致。

将 U_N 和 U_S 相减后作为继电器的动作量，U_N 整流后取 β 部分作为继电器的制动量。正常运行时，U_N 和 U_S 之差接近于零，βU_N > 零，继电器不动作。定于接子时，U_N 和 U_S 之差 > βU_N，继电器动作。

制动系数 β 的整定范围为 10%、15%、20% 至 55% 十档。现场的整定根据运行经验和发电机三次谐波电压的实测结果进行。一般选择发电机并网，负荷在 20% P_e 时进行调整，使 U_N 和 U_S 之差最小，β 一般取 0.2。

零序电压继电器构成比较简单，在此不再叙述。

三、保护误动原因分析

三次谐波部分未整定，根据三次谐波保护的原理及整定的方法，要求发电机带有一定

负荷下进行整定，而此项工作却按要求完成，保护误动作不可避免。

2TV 一次 W 相熔断器没有压紧，使三次谐波不可避免的产生了出来，其三次谐波破坏了应有的平衡，导致了保护的误动作。

四、采取的措施

首先将定子接地保护的连接片退出，继续其他项目的试验工作。待并网发电后，负荷带到 60MW 时按整定原则进行整定，最后将 β 值整定为 0.3，保护投入后运行正常。

第四节　LSR发电厂 6 号机组失步保护误动作

一、故障现象

1998 年 3 月 23 日 5 时，LSR 发电厂 6 号发电机组电压互感器 1TV 的 V 相熔丝熔断，运行人员又压上了新的熔丝，随后熔丝又熔断，失步保护随之动作于跳闸，机组全停。导致发电机停止运行的两方面的原因需要查清。

（1）TV 的 V 相熔丝熔断的原因。

（2）失步保护动作的原因。

失步保护的动作是由于电压互感器 TV 断线引起的，从原理上讲设有断线闭锁功能，在 TV 断线时，断线闭锁元件动作将其闭锁。另一方面，电压互感器 TV 断 V 相其失步保护就能进入动作区吗？

二、TV 回路接线简介

LSR 发电厂 6 号机组为 300MW 的汽轮发电机组，发电机变压器是单元式接线，变压器升压至 220kV 送出。发电机组于 4 个月前移交试生产。机组电压互感器 TV 的接线做如下介绍。

发电机的 TV 二次接线见图 2-19。

消谐元件的作用是当发生铁磁谐振时，在 TV 的二次侧增加适量的阻尼，以消除铁磁谐振。

失步保护接于 1TV 的二次侧。

三、失步继电器简介

6 号发电机采用的是 KOS—1 型失步继电器，有关 KOS—1 型失步继电器的原理、性能及整定原则等介绍如下。

1. 主要性能

本继电器反应同步电机的失步故障，当系统短路或稳定振荡时继电器不动作。继电器适用于作发电机运行的同步电机和作电动机运行的同步电机。同步电机失步后，从失步开

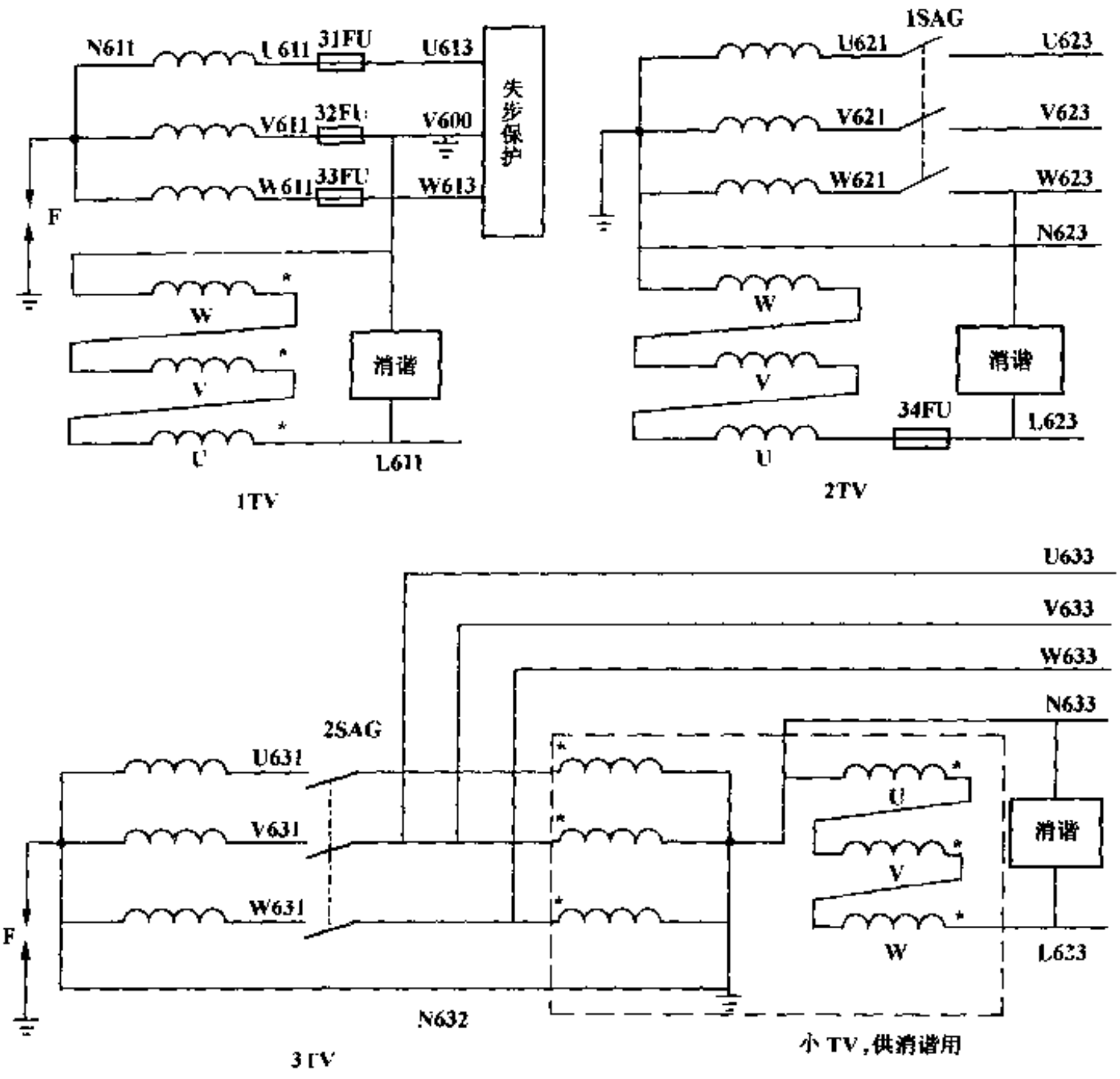


图 2-19　发电机出口 TV 二次接线图

始到跳闸之间的允许的滑极次数可以整定。

2. 技术数据

（1）额定参数。

交流电压：100V。

交流电流：5A（1A）。

频率：50Hz。

直流电压：±12V、24V。

（2）功率消耗。

交流电压回路：额定电压下每相小于 1VA。

交流电流回路：额定电流下每相小于 1VA。

直流回路：+12V 回路小于 0.5W；−12V 回路小于 0.5W；24V 回路小于 1W。

3. 工作原理

（1）单机与系统失步。

发电机与系统失步时的等效系统图和阻抗轨迹如图 2-20 所示。

发电机 B 由电动势 $\dot{E}_B$ 和阻抗 X_G 代表，发电机经过阻抗为 X_T 的电力变压器连到母

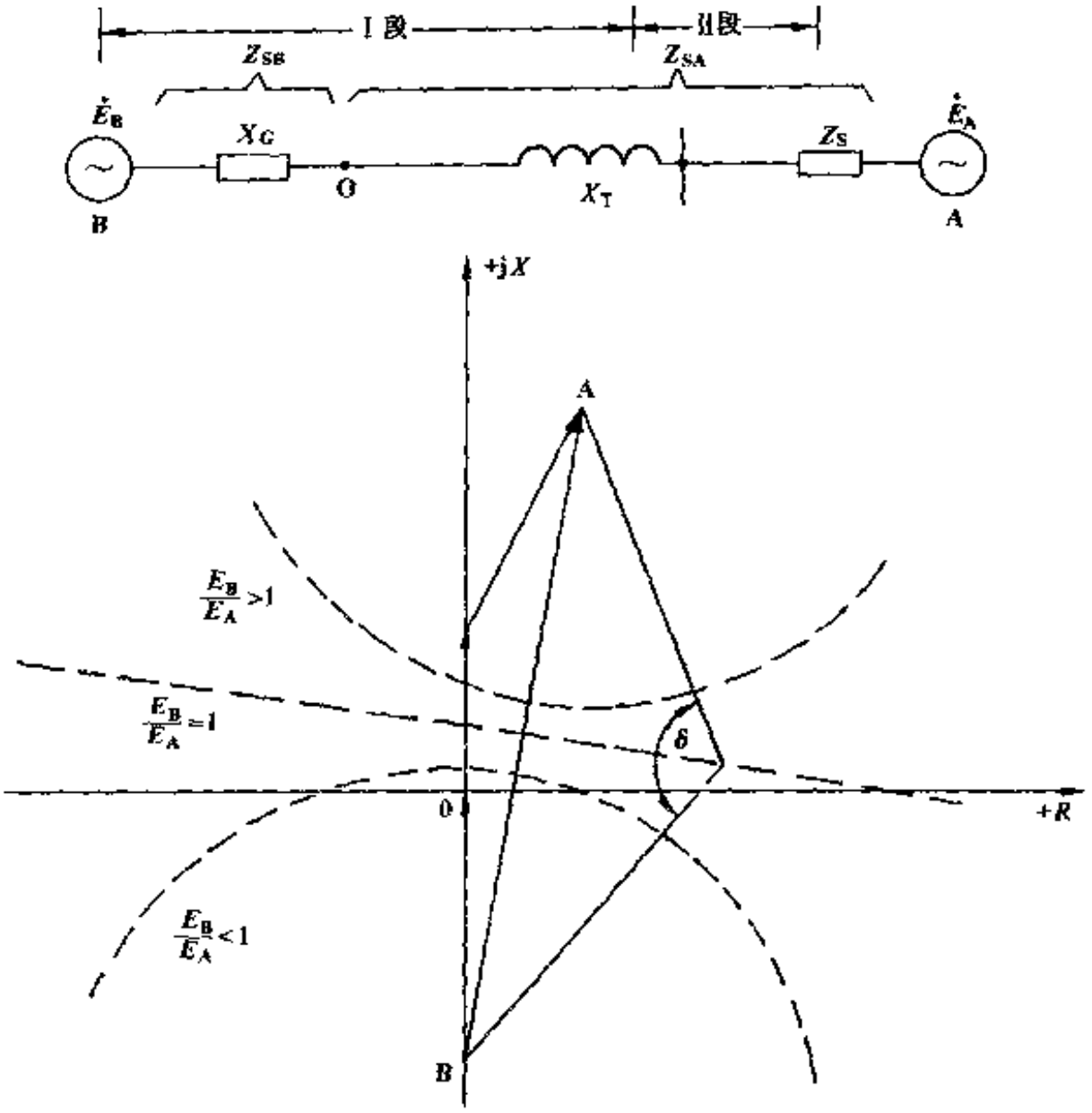


图 2-20　两机系统失步轨迹

线，系统的其余部分和等效发电机用 Z_S 和 $\dot{E}_A$ 代表，图上的线段 AB 代表两台发电机 A 和 B 的电动势之间的总阻抗，坐标原点为 O 点表示继电器的安装位置，δ 是两台发电机转子之间的角度，即两个电动势之间的角度。

虚线是在 O 点测到的阻抗移动的轨迹，轨迹可以是直线也可以是圆。轨迹的形状取决于两个电动势的数值，当两个电动势反相的瞬间，阻抗轨迹通过 R/X 图上的 AB 连线，表示产生了失步。可恢复的功率振荡不会越过 A、B 之间的连线 AB。当同步电机作发电机运行时，失步轨迹从右至左，当同步电机作电动机运行时，失步轨迹从左至右。

(2) 失步继电器的构成。

1) 失步继电器的特性。

失步继电器的特性如图 2-21 所示，在阻抗平面上由三个特性组成：①阻挡器；②透镜；③电抗线。

特性①把阻抗平面分为 L、R 左右两半；特性②把阻抗平面分为 I、A 内外两部分。

两个特性的结合，产生了 4 个区域：左边透镜

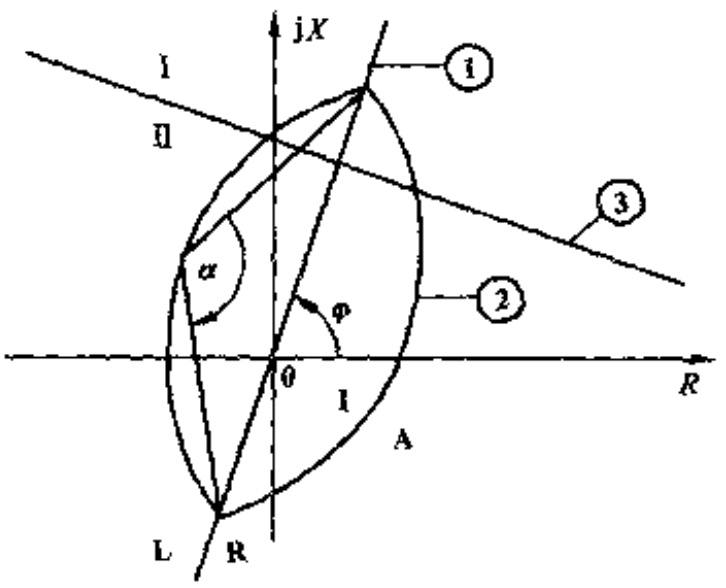


图 2-21　失步保护特性

外（A、L）、左边透镜内（1、L）、右边透镜外（A、R）、右边透镜内（I、R）。

失步继电器根据测量阻抗在4个区域内停留时间作为发电机失步的判据。

特性③（或装在主变压器高压侧的方向继电器）把动作区分为两段：在电抗线以下的为Ⅰ段，在电抗线以上的为Ⅱ段。

另外，电流闭锁元件在电流≤$0.15I_N$时闭锁失步继电器。

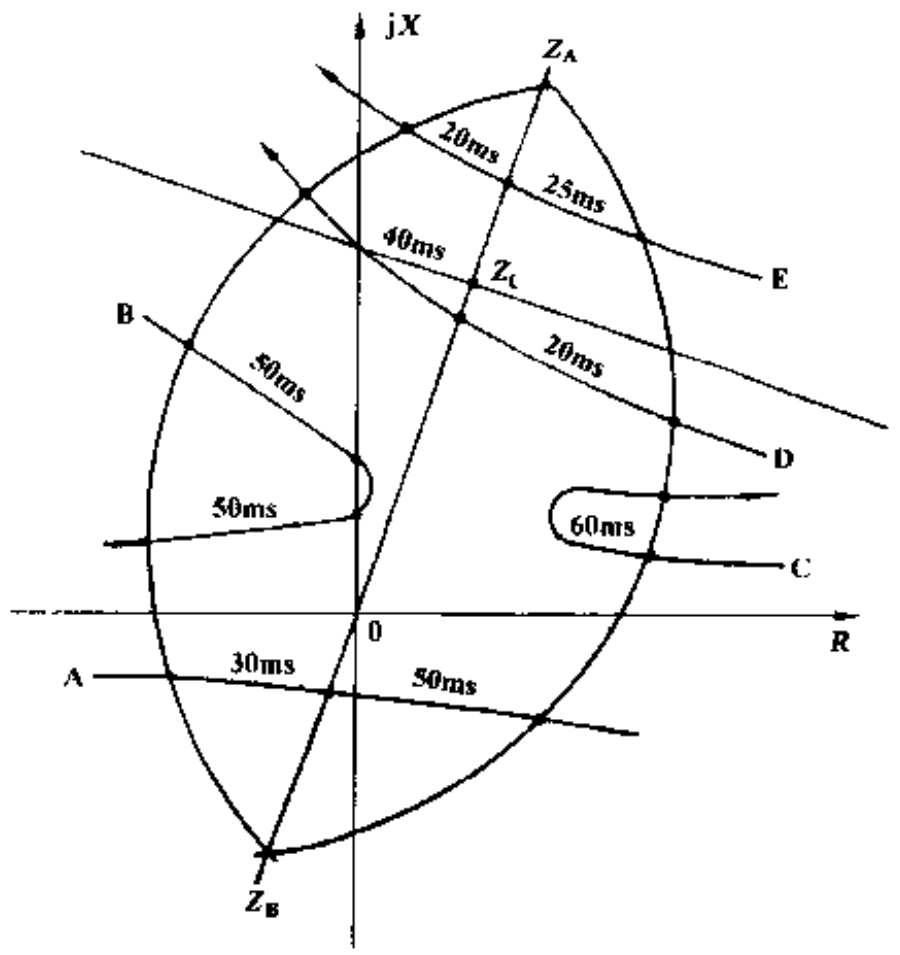


图2-22　阻抗轨迹的例子

2）失步保护的判据。

模式A：当一个阻抗轨迹无论是从右边还是左边整个的穿过透镜，并且在每半个透镜内至少停留25ms，被认为是一次滑极，因此，用于穿过透镜的时间至少为50ms。

模式B：阻抗矢量在前半个透镜内停留的时间小于25ms（但大于2ms），只要在后半个透镜内停留的时间相应的长，使得在透镜内总的停留时间一次最少为50ms。

通过切换开关，可以对两种运行模式进行选择。

6号机使用的是运行模式A，作为说明，图2-22画出了一组阻抗轨迹。

曲线A：同步电机作电动机时测到的一次滑极轨迹，由于轨迹在每半个透镜中停留的时间大于25ms，因此动作有效。

曲线B、C：曲线B和C是不导致失步的功率振荡轨迹，失步继电器不会动作。因为轨迹不从一边到另一边穿过透镜。

曲线D：这一轨迹不被运行模式A检测为失步，因为阻抗矢量在前半个透镜内短于25ms，运行模式B会在Ⅰ段动作，因为在透镜内总的时间大于50ms。

曲线E：继电器不会把此轨迹判断为滑极，因为在后半个透镜内的时间太短。

4. 继电器构成

继电器的逻辑如图2-23所示，继电器总框图为图2-24所示。下面分别介绍继电器的组成部分及其作用。

（1）信号处理2KOS。

继电器采用0°接线，电压取自发电机端电压U_{UV}，电流取自机端电流I_U和I_V，机端电压U_{UV}经电压变换器后送入带通滤波器、反向器、产生构成正反向阻抗所必须的电压量。I_U和I_V经电流电压变换器后，送入减法器，带通滤波器和移相器，由移相器输出端得到$\dot{U}_M = \dot{I} Z_M$，$Z_M = |Z_M| \angle \varphi$（见图2-25）。

φ角的整定范围为65°～85°，级差5°。

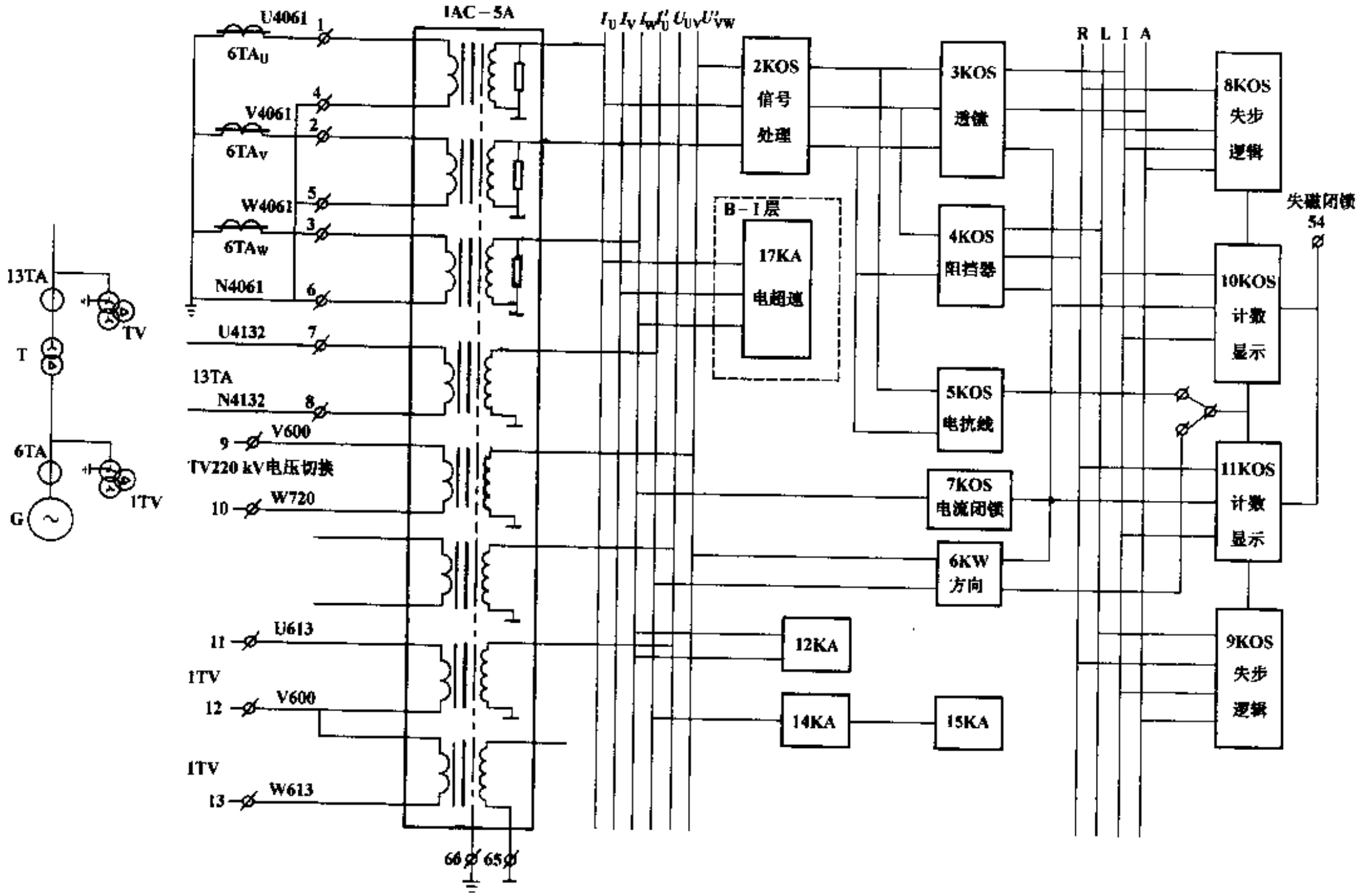


图 2-23　失步保护逻辑图

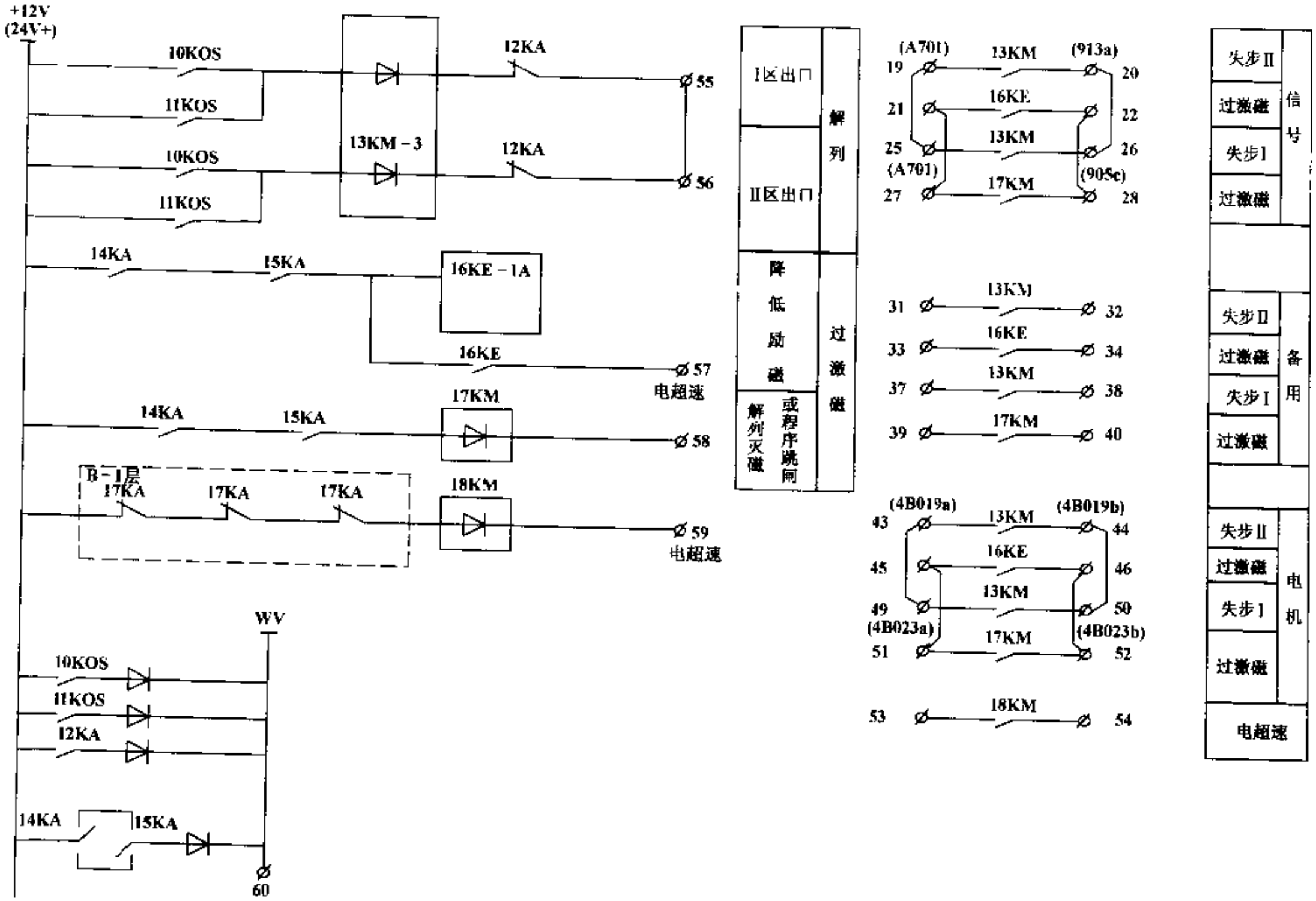


图 2-24　失步保护出口电路

(2) 基本元件。

继电器的基本元件由以下几种组成。

1) 透镜 3KOS。

电压 $\dot{U}$ 乘以 K_B 与 $\dot{U}_M$ 相量相加，得出 $\dot{U}_\Sigma$，即

$$\dot{U}_\Sigma = \dot{U}_M + K_B\dot{U} = \dot{I}Z_M + K_B\dot{U}$$

被旋转 180°的电压 $-\dot{U}$ 乘以 K_A 与 $\dot{U}_M$ 向量相加，得出 $\dot{U}_{\Delta 1}$，即

$$\dot{U}_{\Delta 1} = \dot{U}_M - K_A\dot{U} = \dot{I}Z_M - K_A\dot{U}$$

$\dot{U}_\Sigma$ 和 $\dot{U}_{\Delta 1}$ 变成方波信号，通过 $\delta = \dot{U}_{\Delta 1}\dot{U}_\Sigma$ 角度测量回路形成透镜，即

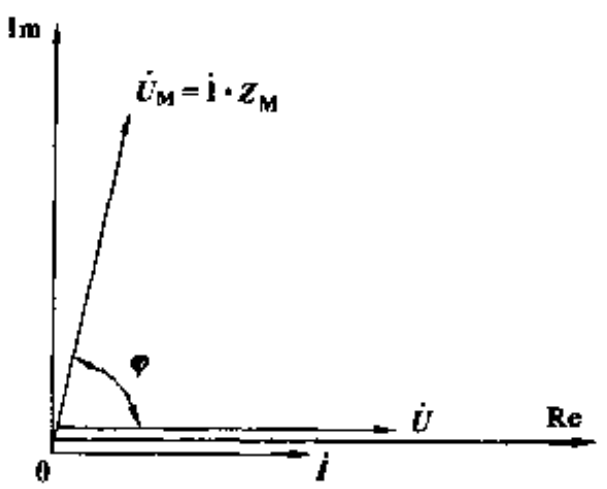
$$\delta = \dot{U}_{\Delta 1}\dot{U}_\Sigma < 180° - \alpha \qquad \text{I(内)}$$

$$\delta = \dot{U}_{\Delta 1}\dot{U}_\Sigma > 180° - \alpha \qquad \text{A(外)}$$

透镜的正反向阻抗 Z_A、Z_B 的整定范围为 0.2～20Ω，级差 0.2Ω，透镜的内角 α 的整定范围为 90°、95°、100°、105°、110°、115°、125°、130°、140°、150°。

透镜元件的输出受低电流闭锁元件 7KOS 的控制，当 $I < 0.15I_N$ 时，I 和 A 端的输出都为零。

透镜 3KOS 特性见图 2-26。



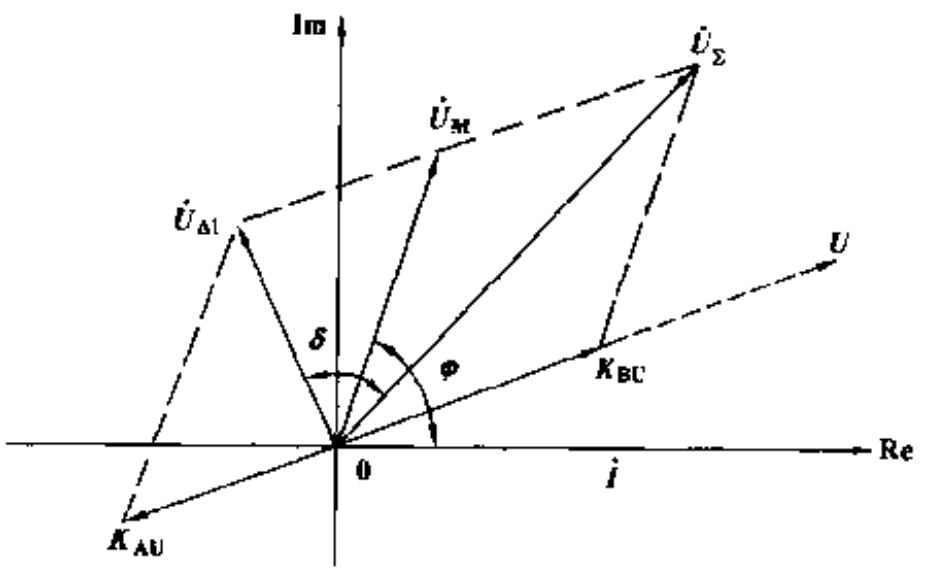


图 2-25 信号处理部分相量图

图 2-26 透镜元件构成原理

2) 阻挡器 4KOS。

阻挡器元件由方波形成回路和维持阻塞 D 型触发器组成。阻挡器元件将阻抗平面分成（L）右（R）两部分，它和水平轴的夹角由 2KOS 中的移相回路 φ 确定。

左边和右边的条件为

$$0° < \dot{U}_1\dot{U}_M < 180° \qquad \text{R(右)}$$

$$180° < \dot{U}_1\dot{U}_M < 360° \qquad \text{L(左)}$$

阻挡器元件的输出受低电流闭锁元件 7KOS 的控制，当 $I < 0.15I_N$ 时，R 和 L 端的输出都为零。

3）电抗线 5KOS。

已被旋转 180°的电压 $-\dot{U}$ 乘以 K_C，并与 $\dot{U}_M$ 相量相加得到 $\dot{U}_{\Delta 2}$。

$$\dot{U}_{\Delta 2} = \dot{U}_M - K_C\dot{U} = \dot{I}Z_M - K_C\dot{U}$$

$\dot{U}_{\Delta 2}$和 $\dot{U}_M$ 变成方波信号送入相位比较回路。

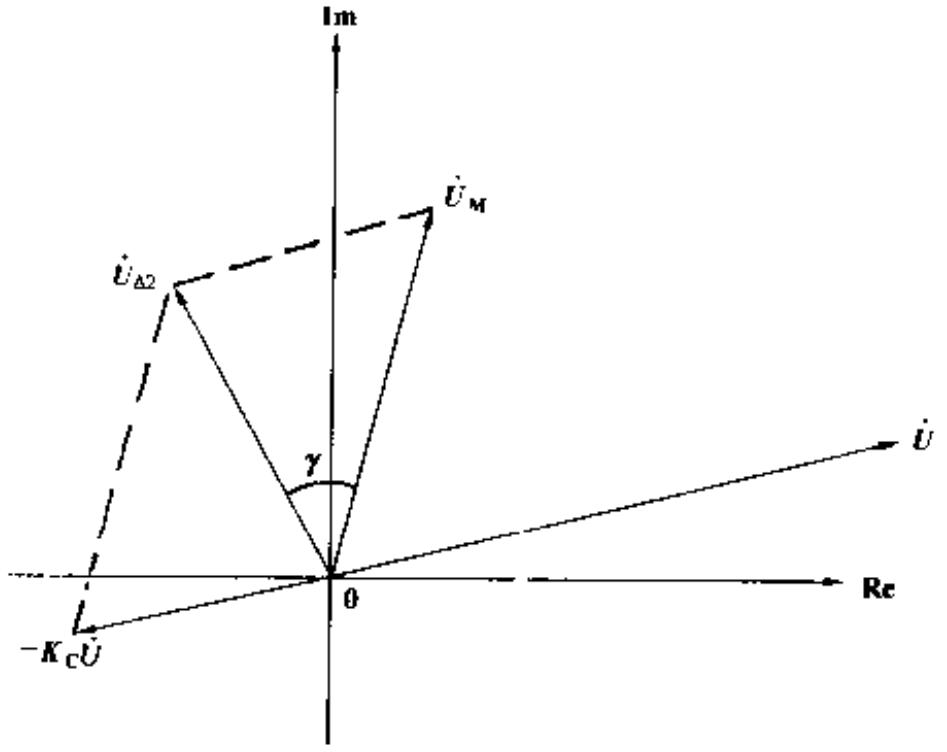


图 2-27　电抗线元件构成原理

当 $r = \hat{\dot{U}}_{\Delta 2}\dot{U}_M < 90$　　U（下）

$r = \hat{\dot{U}}_{\Delta 2}\dot{U}_M > 90$　　O（上）

当 $\dot{U}_{\Delta 2} = 0$ 即 $\dot{U}_{\Delta 2} = \dot{U}_M - K_C\dot{U} = \dot{I}Z_M - K_C\dot{U} = 0$

则 $\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = Z = \frac{Z_M}{K_C} = Z_C$ 时，得出电抗线与阻挡器的交点，Z_C 的整定范围为 0.2～20Ω，级差 0.2Ω。电抗线特性见图 2-27。

（3）其他交流元件。

继电器的其他交流元件为。

1）低电流闭锁元件 7KOS。

低电流闭锁元件由整定、整流、电平检测和展宽回路组成。其作用是当发电机电流小于整定值时，输出高电平闭锁透镜、阻挡器、主变压器高压侧方向和记数回路，低电流闭锁的整定范围 0.2～10.1A，级差 0.2A。

2）主变压器高压侧方向元件 6KW。

该元件可作为电抗线的任选元件，利用装在主变压器高压侧的方向继电器代替电抗器元件，可以使区内、区外的分界点更加明确：就是主变压器高压侧 TA 安装地点。电抗线或方向元件的选择，可通过改变装置的端子连接来实现。

3）过电流闭锁元件 14KA、15KA。

过电流闭锁元件的作用是控制断路器开断电流，使断路器的开断电流不超过其遮断容量。过电流闭锁的整定范围为 0.2～10.1A，级差 0.2A。

（4）逻辑元件。

1）程序逻辑。

失步继电器内有两个相同的程序逻辑插件，一个用作检测发电机失步，另一个用作检测电动机失步。每一个程序逻辑插件中包括运行模式 A 和运行模式 B。通过切换开关 S1 可以对运行模式进行选择。

2）计数显示。

计数显示部分包括独立的Ⅰ，Ⅱ两段计数显示，有下列功能。

发电机运行或电动机运行选择：同步电机只作发电机运行接通开关 S1、断开 S2；相反，只作电动机运行接通 S2、断开 S1。

• Ⅰ、Ⅱ段计数显示的选择。

切换开关 S3 的 2、3 接通时，电抗线以下的滑极可以在Ⅰ段和Ⅱ段计数，电抗线以上的滑极可以在Ⅱ段计数，S3 的 1、2 接通时，电抗线以下的滑极在Ⅰ段计数，电抗线以上的滑极在Ⅱ段计数。计数器整定范围 1～9。

• 引入失磁闭锁。

切换开关 S4 的 1、2 接通时，当发电机失磁时，失磁闭锁端子出现低电平，Ⅰ、Ⅱ两段计数器被闭锁，当 S4 的 2、3 接通时，失磁闭锁退出。

• 引入低电流闭锁。

当发电机电流小于低电流闭锁定值时，低电流闭锁出高电平，两段计数器被闭锁。

• 计数器自动清零。

计数器在接收到最后一个计数脉冲后，在 25s 内没有新的计数脉冲进入计数器时，自动清零回路将计数器内存的数清零。这样可以保证每次失步时，滑极的计数准确。数码显示与计数器同步，用手动复归，可以记下每次失步的滑极次数。

（5）出口逻辑。

Ⅰ、Ⅱ段计数的出口都受过电流闭锁元件的控制。当Ⅰ段或Ⅱ段计数器的继电器动作以后，要等到流过开关的电流小于开关的开断电流后才允许跳闸。出口逻辑见图 2-28。

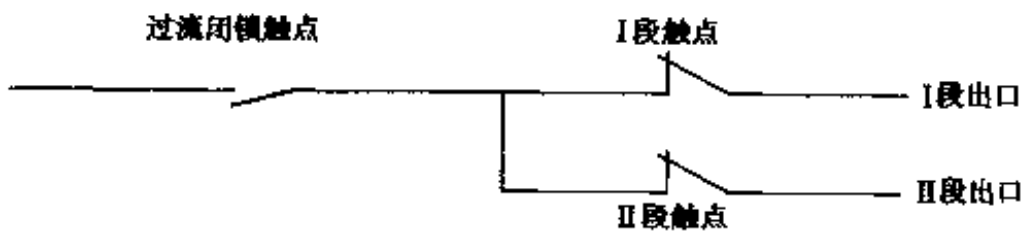


图 2-28　出口逻辑关系

5. 整定计算

（1）Z_A、Z_B 和 φ 的整定值。

透镜的最佳整定值是 Z_A 和 Z_B 与系统阻抗 Z_{SA}和 Z_{SB}一致，透镜的角度在这种情况下相当于阻抗进入透镜时电动势 E_A 和 E_B 的夹角。由于功率振荡是三相对称的，因此线路和电力变压器的阻抗用两台机的平均频率下的正序阻抗，发电机用暂态电抗 X'_d，X'_d 取决于两台机之间的滑差频率。

Z_A 和 Z_B 的最大值有一限制，因为随着电压差别的增大，阻抗圆变得越来越小，如果透镜太长，会有这种可能，阻抗圆与阻挡器的另一个交点也在透镜内，每一次滑极会被计算两次。

Z_A 和 Z_B 最大的允许值是

$$\text{当 } E_A < E_B \text{ 时，} Z_{Amax} = \frac{Z_{SA} \times \frac{\dot{E}_B}{\dot{E}_A} + Z_{SB}}{\frac{\dot{E}_B}{\dot{E}_A} - 1}$$

$$\text{当 } E_A > E_B \text{ 时，} Z_{Bmax} = \frac{Z_{SB} \times \frac{\dot{E}_A}{\dot{E}_B} + Z_{SA}}{\frac{\dot{E}_A}{\dot{E}_B} - 1}$$

阻挡器的倾斜角尽可能的接近阻抗的角度整定（$\varphi = 65°、70°、75°、80°、85°$）。

（2）α 和透镜结构的整定值。

透镜内角 α 确定透镜在电阻方向上的宽度（对于一给定的）。

当 $\alpha = 90°$时，透镜成为一个圆。

在 Z_A、Z_B 与 Z_{SA}、Z_{SB}相对应的情况下，α 的整定值直接的拟定了两台发电机之间能最早跳闸的相位。断路器额定为断开两倍的系统电压，但跳闸命令仍应在尽可能小的相位下发出。因此，α 角应选择的尽可能小（$\alpha = 90° \sim 150°$）。

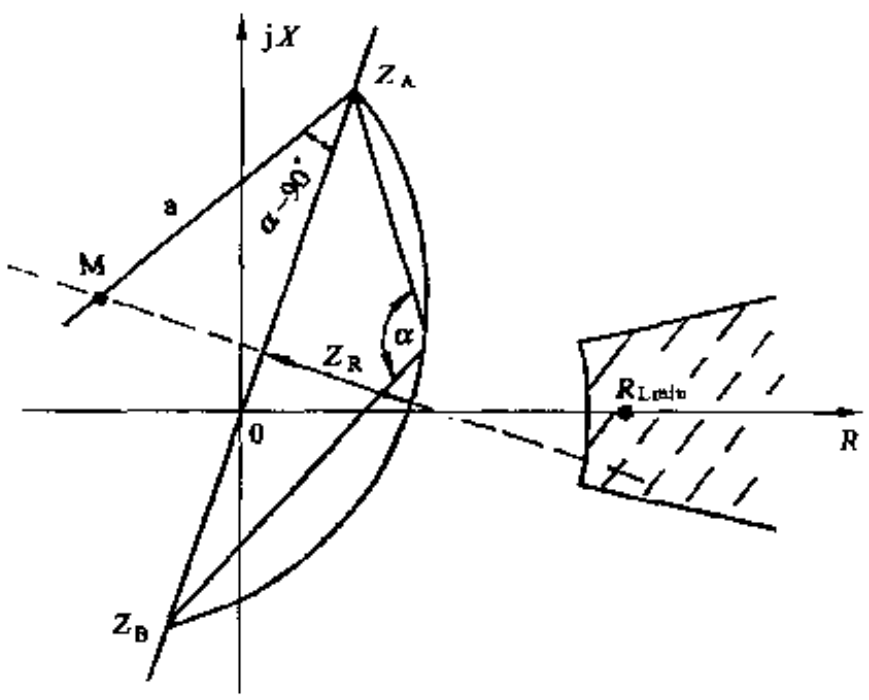


图 2-29　透镜的结构

透镜的宽度与 α 角成反比，但正如前段指出的那样，α 角应当小，因此透镜圆就宽。必须注意，在所有的情况下，负荷阻抗必须位于透镜外面。为了检验这一点，透镜及其 α 的定值以及最小的负荷阻抗应当画在 R/X 图上。

透镜的结构见图 2-29。圆弧的中心 M 在线段 Z_AZ_B 的垂直平分线和直线 a 的交点，直线 a 通过 Z_A 与 Z_AZ_B 的夹角为 α-90°，负荷的最小电阻分量值最小应为透镜的横向范围 Z_R 的 130%，Z_R 能由如下计算确定

$$Z_R = \frac{Z_A + Z_B}{2} \times \text{tg}\left(90° - \frac{\alpha}{2}\right)$$

对于一给定的最小负荷电阻 R_{Lmin}，α 允许的最小整定值为

$$\alpha_{min} = 180° - 2 \times \text{arctg}\left(1.54 \times \frac{R_{Lmin}}{|Z_A + Z_B|}\right)$$

R_{Lmin}最小为 $1.3Z_R$。

（3）Z_C 的整定值。

Z_C 的值确定电抗线③离坐标圆点的距离，电抗线是Ⅰ段和Ⅱ段的分界线，因此在欧

姆数值上整定应与Ⅰ段范围相对应。功率振荡在Ⅰ段还是在Ⅱ段取决于阻抗轨迹与阻挡器相交的位置，在透镜内且低于电抗线为Ⅰ段，与进入或离开透镜的位置无关，Z_C 建议取变压器阻抗的 90%。

(4) 可检测的最大滑差频率。

设 Z_A 和 Z_B 整定的与系统阻抗 Z_{SA}和 Z_{SB}相符，α 角和能被检测的滑差频率之间存在着如下关系

$$\alpha_{max} = 180° \times (1 - 0.05 \times f_{smax})$$

或

$$f_{smax} = 20 \times \left(1 - \frac{\alpha}{180°}\right)$$

其中 f_{smax}为被检测的最大滑差频率，单位用 Hz 表示。

四、有关电压互感器 TV 二次回路上所做的检查工作

为了找出电压互感器 1TV 二次 V 相熔丝在运行中熔断的原因，机组停止运行后在相关的回路中进行了如下检查。

1. 6 号机三组 TV 二次回路绝缘电阻检查（500V 兆欧表）

1TV 二次回路对地电阻 > 50MΩ。

2TV 二次回路对地电阻 > 50MΩ。

3TV 二次回路对地电阻 > 50MΩ。

2. 6 号机两只击穿熔丝绝缘电阻检查（500V 兆欧表）

1TV 击穿熔丝绝缘 > 3MΩ。

2TV 击穿熔丝绝缘 > 50MΩ。

3. 1TV 二次回路通电 100V，V 相电流检查

交流表 1A 档：0.4A。

4. 三只 TV 二次回路并联通电 100V，1TV V 相电流检查

交流表 1A 档：0.4A。

5. 三只 TV 二次回路并联通电 100V，总的 V 相电流检查

交流表 1A 档：0.66A。

6. 三组 TV 二次回路并联通电 100V，电源开关通断检查

开关通断冲击 5 次，电流指示正常，各熔丝完好。

7. 三组 TV 二次回路并联通电 100V，1TV 的 V 相熔丝投切检查

投切检查 5 次，电流指示正常，各熔丝完好。

8.1TV 二次回路直流电阻检查

UV 相直流电阻 > 14Ω。

VW 相直流电阻 > 14Ω。

WU 相直流电阻 > 14Ω。

上述结果表明，TV 的 V 相已处于完好状态，造成 V 相熔丝熔断的因素已经消失。

五、关于失步保护的检查及误动原因分析

1. 失步保护的检查

对失步保护的检查分两方面。

（1）逻辑功能的检查。检查结果表明，失步保护的逻辑功能正常，只是方向闭锁功能没有投入。

（2）失步保护特性检查。根据保护的原理接线，外加电压、电流，测得透镜特性正常、方向继电器的方向特性正常，另外低电流闭锁、过电流闭锁元件的定值也与定值单相符合。

2. 失步保护误动作的原因分析

（1）TV 的 V 相断线后的电路分析。

根据图 2-19，当 V 相熔丝熔断以后，失步继电器的电压测量线圈将与 VW 相的电压测量线圈相串联后接到 UW 之间，见图 2-30。

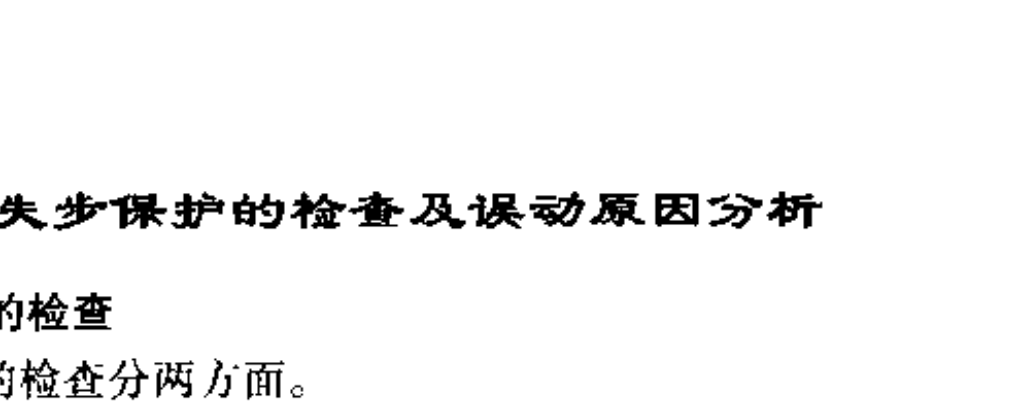


图 2-30　V 相断线后失步继电器电压过渡到 WU 相之间

（a）V 相熔丝熔断前的电压关系；（b）V 相熔丝熔断后的电压关系

（2）V 相断线后失步继电器的相量分析。

V 相断线后失步继电器的相量分析见图 2-31。

从图中可见，V 相熔丝熔断后，继电器感受到的电压由 U_{UV}过渡到 $0.5U_{WU}$。

（3）TV 断线后测量阻抗的变化。

TV 断线后，继电器随着感受电压的变化其测量阻抗也在改变，即由第Ⅰ象限的负荷

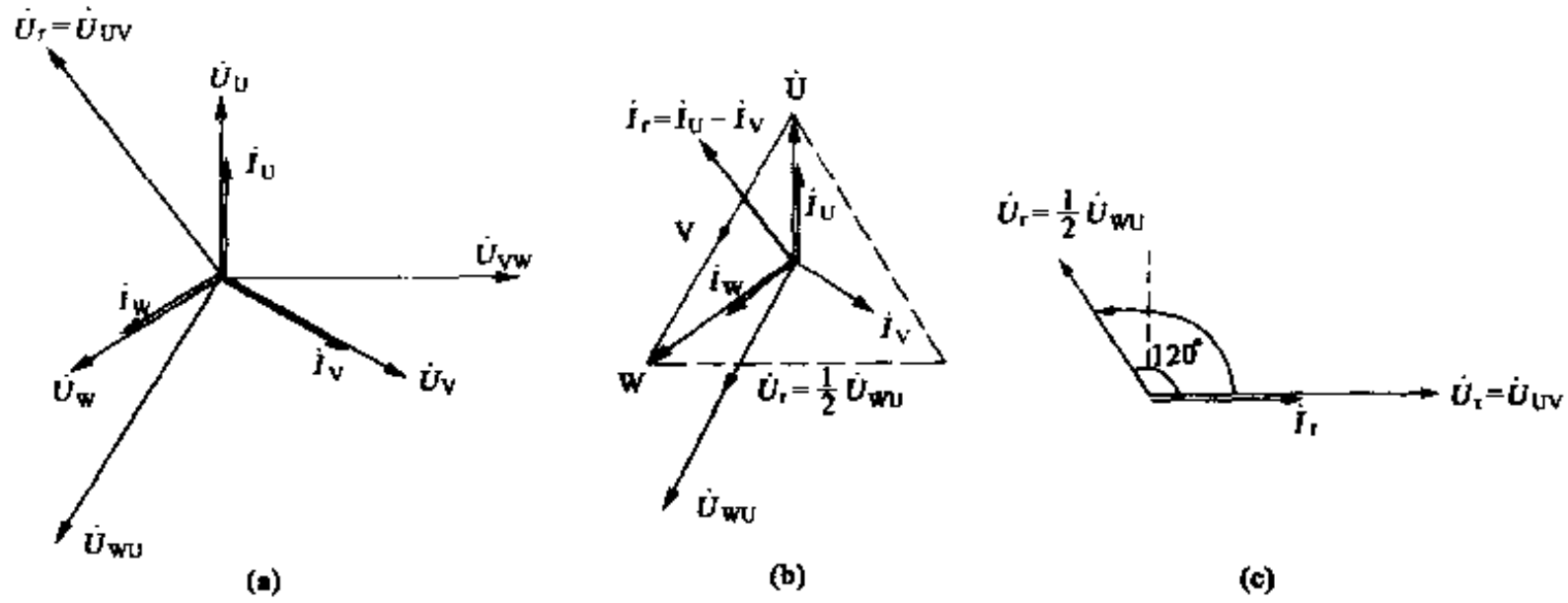


图 2-31　V 相断线后的相量分析

(a) 正常时相量图；(b) V 相断线后的相量图；(c) V 相断线后 $\dot{U}_r$ 的变化过程

阻抗过渡到第Ⅱ象限，从而使继电器测量到了一次滑极的过程。实测表明过渡过程超过了 50ms，满足了计数器起动的条件。又由于 V 相熔丝断送多次，超过了滑极的整定次数，出口动作跳闸。测量阻抗的变化过程见图 2-32。

由 Z_1 过渡到 Z_2 测量阻抗，演示了一个滑极的过程。

失步保护跳闸时，$P=150$MW，$Q=4.5$Mvar。

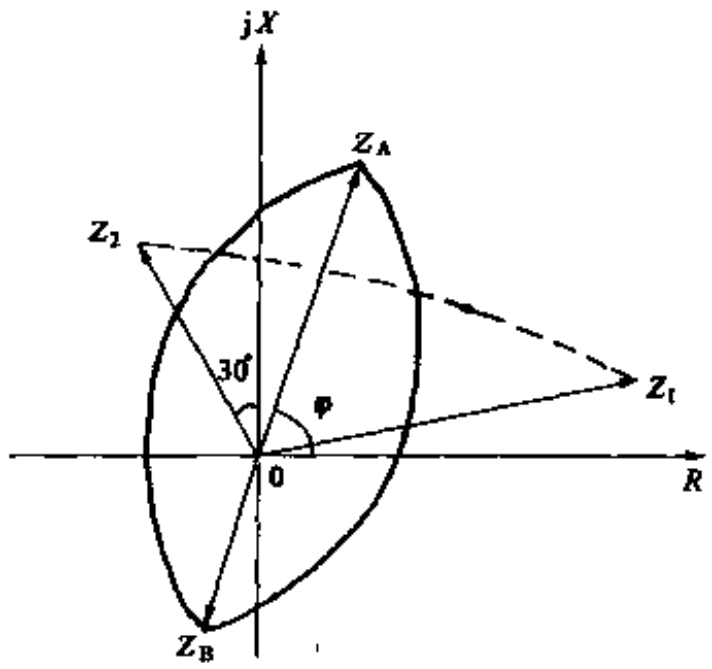


图 2-32　测量阻抗的变化过程

六、采取的措施及处理意见

针对 TV 回路的现状以及失步保护的问题，采取下列处理措施。

1. 关于二次回路

(1) 更换 1TV 的击穿熔丝。

鉴于电压互感器 1TV 击穿熔丝绝缘偏低的状况，决定更换一只新的。

(2) 加强清扫 TV 二次端子排工作。

对与 1TV 有关的设备的各端子排进行清扫，1TV 走向是由 TV 端子箱——发电机控制屏——发电机保护屏，经清扫检查未发现端子排有不正常现象存在。

(3) 开机升压检查。

由于 TV 二次通电正常的情况，决定开机升压检查。

1) 发电机电压升到 500V、10000V、15000V、20000V 分别停留 3～5min，检查 1TV～3TV 熔丝，测量各电压三相对称度。

2) 发电机电压在 5000V 时进行下列工作：①保留电压互感器 1TV 二次熔丝，断开 2TV、2SAG、3TV、3SAG，测量 1TV 二次回路电压。②保留电压互感器 2TV、2SAG，断开

1TV 二次熔丝、3TV、3SAG，测量 2TV 二次回路电压。③保留电压互感器 3TV、3SAG，断开 2TV、2SAG、1TV 二次熔丝，测量 3TV 二次回路电压。

3）发电机电压在 20000V 时测量电压互感器 1TV V 相二次电流，在开机之前应先接好线，测得的数值应同试验值相符。

2. 关于失步保护

（1）运行中禁止在 TV 保护回路上工作。在有关失步保护回路上工作时应先退出该保护，并将这一事项写入运行规程。

（2）设置专门的断线闭锁功能，以防类似事故的发生。

第五节　XZ发电厂3号发电机失磁的原因分析及处理

一、故障现象

XZ 发电厂 3 号发电机失磁保护在一年内曾经动作过 3 次，使 3 号发电机跳闸与系统解列，其故障现象如下。

3 号机警铃响，事故喇叭叫，负荷由 300MW 降至 0，系统频率由 50.08Hz 降到 49.75Hz，500kV 系统 5011、5012 断路器绿灯闪光，励磁系统 QEE、41QE 磁场断路器绿灯闪光，2SAG 自动空气断路器红灯闪光，“3 号机失磁保护动作”光字牌亮，厂用控制屏 3601、3602 断路器绿灯闪光，备用电源 3610、3620 断路器红灯闪光。发电机励磁主系统见图 2-33。

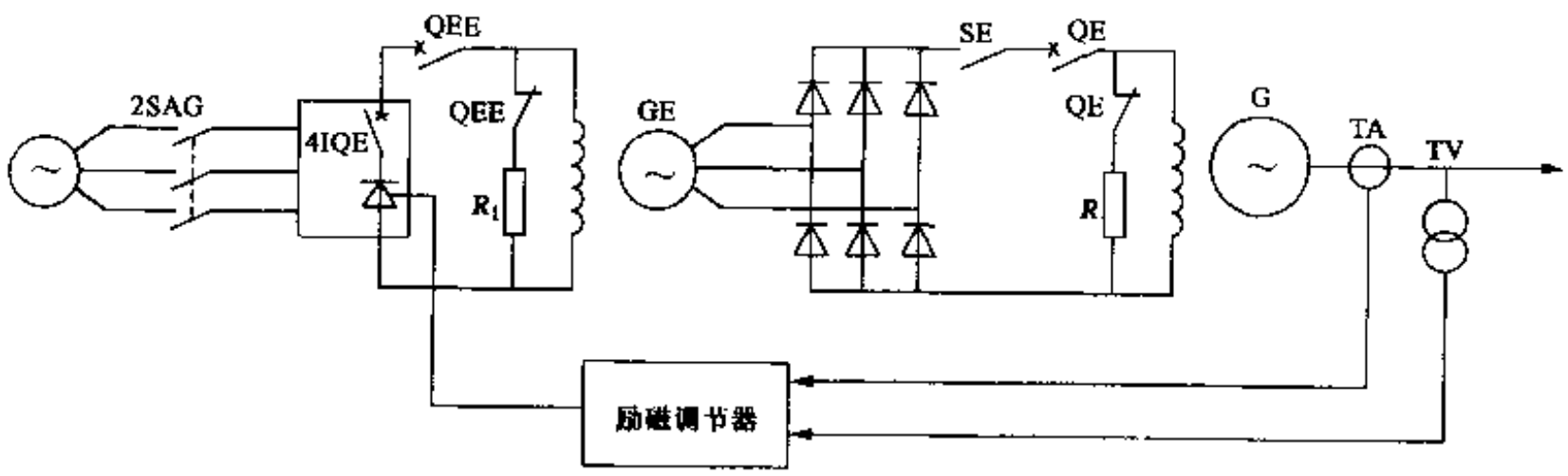


图 2-33　发电机励磁主系统图

QE—发电机磁场断路器；QEE—励磁机磁场断路器；R，R_1—灭磁电阻

二、失磁保护的构成及动作的原因分析

1. 失磁保护的构成

3 号机失磁保护为 ZSC—1 型失磁保护装置，它由阻抗元件、转子低电压元件、定子低电压元件、母线低电压元件和直流逻辑回路所组成。

（1）阻抗元件。

本装置选用 LZ—1A 型失磁阻抗继电器作为阻抗测量元件，是绝对值比较的整流型阻抗继电器，按偏移圆特性整定。发电机失磁后，阻抗从原来的第一象限转入第四象限，即由感性无功变为容性无功，继电器就动作；当发电机励磁正常时为感性无功，阻抗继电器不会动作。

(2) 转子低电压元件。

本装置选用 DJ—122/240V 型低电压继电器作为发电机转子电压的测量元件。在正常情况下，不管发电机采用什么励磁方式，继电器接于绕组两端获得恒定不变的直流电压(400V 左右)，且 > 继电器的整定电压（240V）继电器不动作。

1）励磁电压消失，转子低电压继电器安装处的电压降低时，继电器立即动作（常闭触点闭合）。

2）失磁发生在转子内部时，因励磁继电器反应的是转子端电压，此时转子端电压没变化，励磁继电器拒动。

3）转子部分失磁时，继电器的动作行为由剩余电压的大小与整定值比例而定。

总之，用转子低电压作为失磁保护的唯一判据是不够充分的，但是转子低电压继电器在正常运行时不会误动作。

(3) 定子低电压元件。

本装置选用 KY—34 型电压继电器作为发电机定子电压测量元件，接于定子电压 U613、V600 之间。发电机失磁后，电压降低且在无励磁异步运行时以两倍滑差频率周期性振荡，它能反映失磁后的机端电压、厂用电压和系统电压。当电压降低至整定值 75V 时，进行厂用电源切换，以备用电源供电。

(4) 母线低电压元件。

母线低电压元件采用 DY—32 型电压继电器，当电压降至整定 85V 时，判定为失磁后经 0.5s 起动解列出口（注：母线的低电压元件不动作时，发电机失磁后需经 1s 的延时启动解型出口），发电机与系统解列。

2. 失磁保护动作的原因分析

由以上分析可知，失磁判据由失磁阻抗和转子低电压构成与门，因为两者不会同时误动作，且直流逻辑回路都已经过仔细检查，没有问题。由此可以判定不是失磁保护误动，而是发电机励磁系统确实失磁致使失磁保护动作切机。

三、发电机的失磁原因分析

3 号机大修中将转子回路磁场断路器 QE 短接，直接由主励转子回路中的 QEE 磁场断路器灭磁。正常运行中有两个磁场断路器即调节器输出磁场断路器 41QE 和 QEE，不论哪个磁场断路器跳开均可切断主励转子回路。

励磁机磁场断路器的跳闸回路见图 2-34。

1.41QE 磁场断路器跳开可否造成失磁

如果 41QE 磁场断路器跳开造成发电机失磁，失磁保护动作后立即切换励磁到手动 50Hz 励磁回路，合上 2SAG。只要合上 2SAG 交流断路器，手动 50Hz 正常运行时跟踪励磁

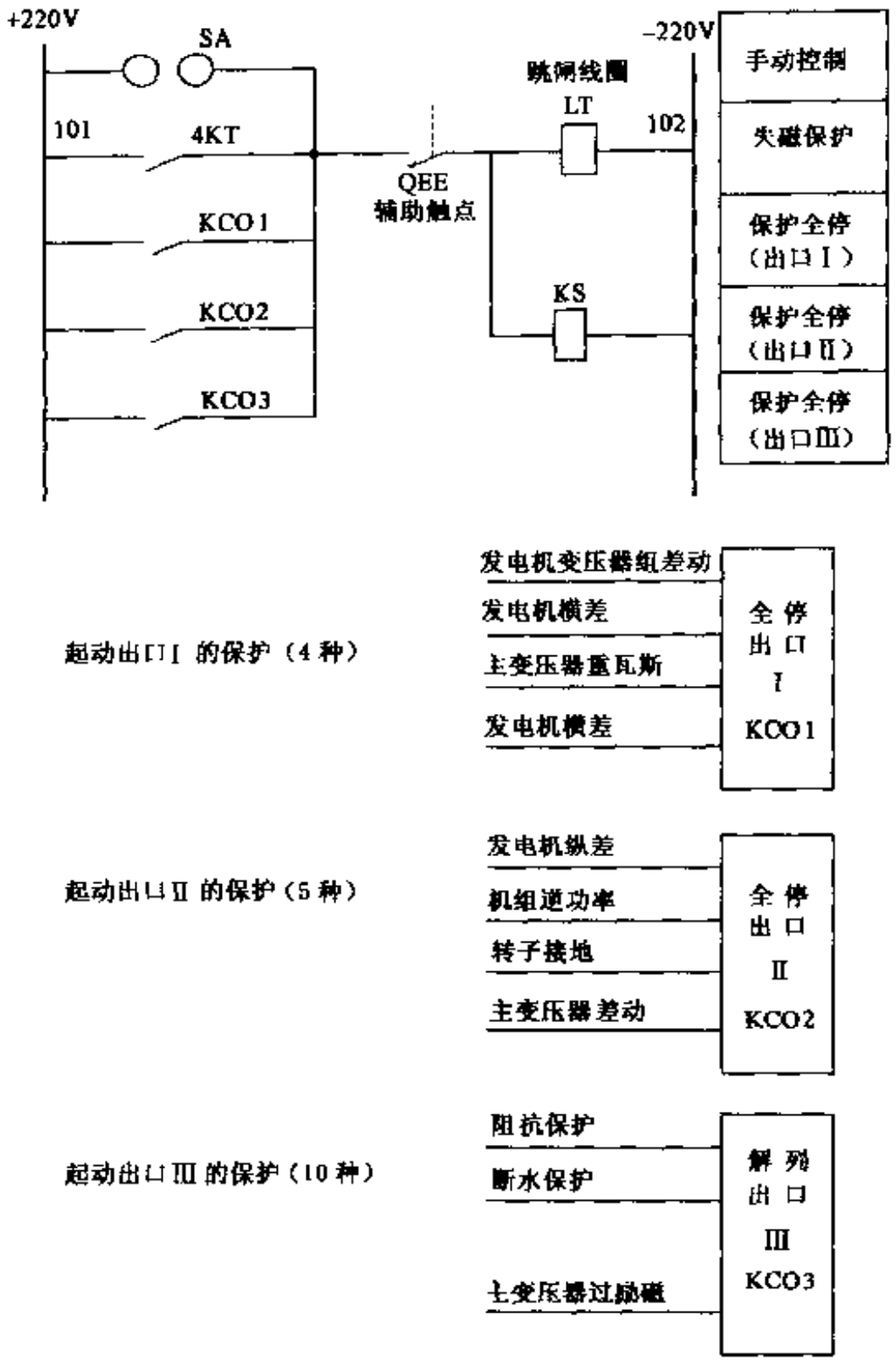


图 2-34　起动励磁机灭磁断路器跳闸的保护配置情况图

调节器输出电压，即可恢复发电机励磁电流，失磁保护返回，失磁保护不起动解列出口，机组不会解列。故障时 2SAG 交流断路器已确切合上，可以断定不是由于 41QE 磁场断路器跳开造成的发电机失磁。

2.QEE 磁场断路器跳开造成发电机失磁

QEE 磁场断路器跳开，发电机失磁，失磁保护动作切换励磁，跳开 41QE，合上 2SAG，但由于 QEE 磁场断路器已断开，主励磁机转子回路没有电流，失磁保护起动解列出口跳开 5011、5012 断路器。

由以上分析可以断定发电机失磁是由于 QEE 磁场断路器跳开造成的。QEE 磁场断路器跳开的原因如下。

（1）手动误拉 QEE 磁场断路器操作把手。运行人员误拉 QEE 磁场断路器操作把手，使 QEE 磁场断路器跳开可使发电机失磁解列，但三次失磁现象完全相同，否定了这种可

能性。

（2）控制回路原因造成 QEE 磁场断路器跳开。由于 QEE 磁场断路器的操作把手触点误通、控制回路正电源 1 和跳闸回路 33 之间绝缘低或 33 回路对地绝缘低且同时直流系统正电源接地都可能造成 QEE 磁场断路器跳闸，第一次事故后即对 QEE 磁场断路器控制回路进行了仔细的检查，1 对地、33 对地、1 对 33 的绝缘电阻都在 5MΩ 以上，操作把手经过多次试验，通断良好，二次回路没有问题。第二次故障时二次回路检查仍没问题，但为了减小故障可能性，仍将 QEE 操作磁场断路器更换了一只新的同型号的操作把手，试验情况良好。

（3）QEE 磁场断路器本身偷跳。QEE 磁场断路器本身偷跳可以造成发电机失磁解列。从以上分析排除了其他各种可能性后，可以肯定就是由于 QEE 磁场断路器偷跳造成了这三次失磁保护动作，使 3 号机解列。

为了查清故障原因，我们在 QEE 磁场断路器跳闸线圈两端并联了一只 DX—11/220V 电压信号继电器 KS，其接线见图 2-34。当保护或控制回路给出跳闸电压时，QEE 磁场断路器跳闸，信号继电器 KS 掉牌；当 QEE 磁场断路器偷跳时，其常开触点断开了跳闸回路，保护或控制回路给出的跳闸电压加不到 QEE 磁场断路器跳闸线圈和信号继电器 KS 上，信号继电器 KS 不会掉牌。经过多次试验证明，当 QEE 磁场断路器有跳闸电压时，信号继电器 KS 能够可靠掉牌，当 QEE 磁场断路器偷跳时，信号继电器 KS 不掉牌。

以后 3 号机的失磁保护又动作了一次，使 3 号机与系统解列，且故障现象与前三次相同，但是信号继电器 KS 没有掉牌。随后对 QEE 磁场断路器进行了多次拉合试验，信号继电器 KS 能够随着 QEE 磁场断路器的跳闸而可靠的掉牌，由此证明上述故障是由于 QEE 磁场断路器偷跳造成的。

四、采取的措施

由于该 QFE 多次跳开的故障已经给电力系统造成了很大损失，说明产品的质量有严重的问题。查明原因后立即更换了新型的 QEE，现在运行状况良好。

第六节　ABR发电厂 4 号机磁场断路器误动跳闸

一、故障现象

1997 年 8 月 6 日，ABR 发电厂 4 号机组（机组容量 300MW）带有功负荷 15MW，无功负荷 6Mvar 运行，突然发生了磁场断路器跳闸、失磁保护动作发电机解列的故障，没有其他信号发出。

根据当时系统的参数状况可判定发电机组运行正常，下一步要分清是磁场断路器的跳闸以及失磁保护的动作哪一个在先哪一个在后，也就是说故障是由于磁场断路器误跳引起呢，还是由于励磁保护误动作引起的。

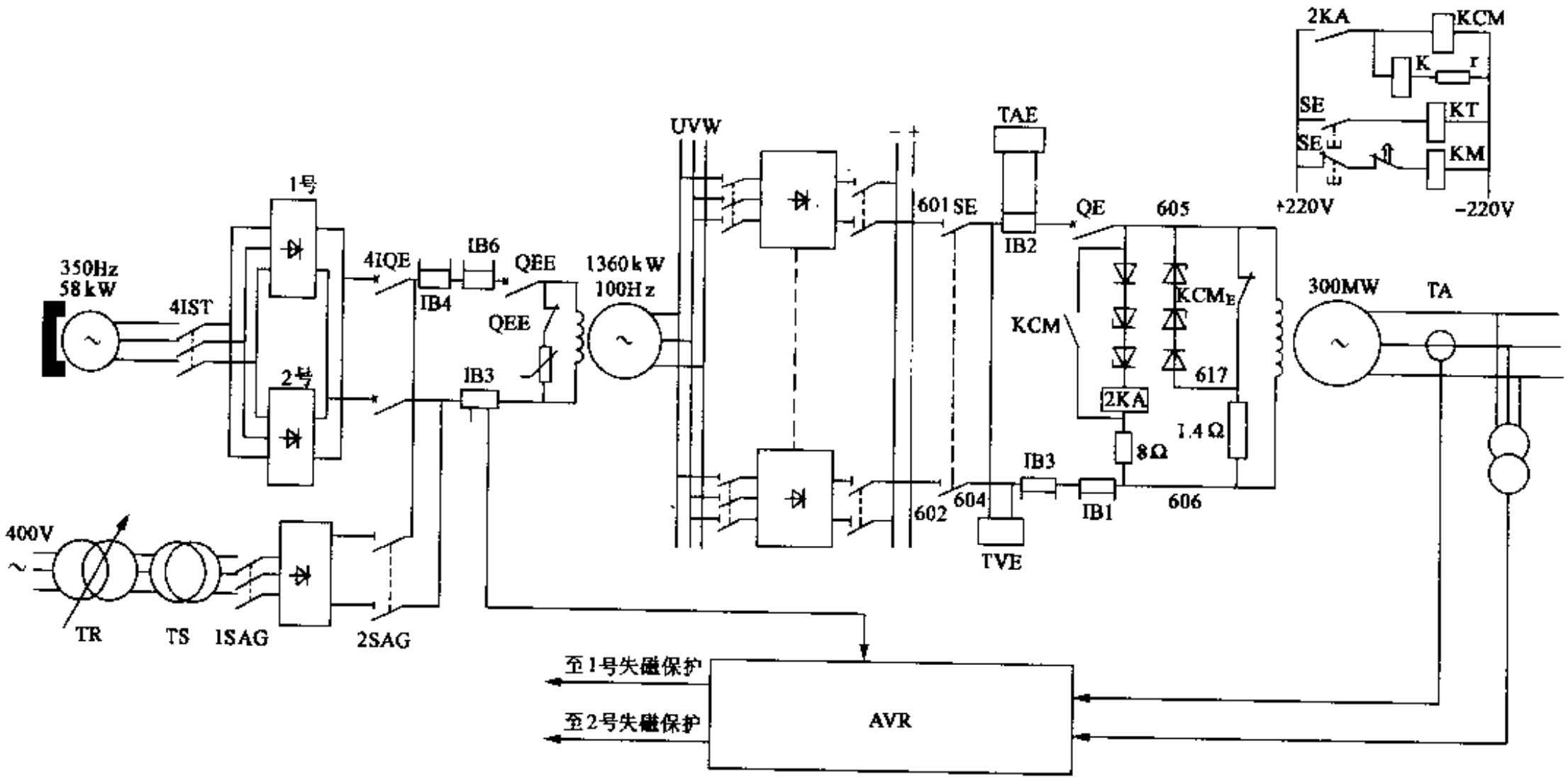


图 2-35　发电机励磁系统示意图

二、励磁系统及失磁保护简介

1. 励磁系统简介

4号发电机励磁系统采用同轴三级励磁的励磁方式。由 350Hz 的中频副励磁机，100Hz 的交流主励磁机，大功率整流柜，AVR 型自动电压调节器及励磁开关柜（设转子过电压保护）等装置构成。永磁机端电压 116V，经晶闸管三相全波整流后供给交流主励磁机励磁；主励磁机的交流输出经静止不可控大功率整流柜整流后，供给发电机励磁，同时通过 AVR 自动电压调节器的“自动控制”或“手动控制”调节主励磁机的磁场电流，以达到自动或手动控制发电机励磁电流的目的。

在电力系统发生故障时，励磁系统可以及时提供一定时间的强励电流，发电机发生故障时可以迅速跳开磁场断路器并进行逆变灭磁；当发电机灭磁或进相运行时，可以自动限制励磁电流在设定的极限范围以内，以保证发电机的稳定运行，当发电机过励磁运行时，可以自动地限制励磁电流在给定的范围内，以保证发电机的安全运行。发电机励磁系统结构见图 2-35。

在图 2-35 中，QE 为磁场断路器，QEE 为励磁机磁场断路器，AVR 为自动励磁调节器，IB 为分流器，KVE 为励磁过电压保护，TVE 为电压传感器，TAE 为电流传感器，TR 为感应调压器，TS 为隔离变压器。

当自动励磁部分状况正常时，发电机励磁由自动柜调节，其手动柜在备用状态，当自动柜故障或系统出现某些故障时，自动柜自动切换到手动柜运行，自动柜退出运行。

2. 失磁保护简介

（1）失磁继电器的动作特性。

发电机失磁继电器是根据机端测量阻抗的变化特点构成的。发电机在失磁前后机端测量阻抗的变化情况如下：发电机在失磁以前，向系统送出有功功率，机端电压 U_G，输出电流 I 之间的夹角 ϕ 为正值，测量阻抗在第Ⅰ象限，失磁以后随着无功功率的变化，ϕ 角由正值变为负值，因此测量阻抗也沿着圆周由第Ⅰ象限过渡到第Ⅳ象限。发电机运行中各参数间的关系见图 2-36。

图中 E_G 为发电机的同步电动势，U_G 为发电机机端电压，I 为发电机的定子电流，X_S 为系统电抗，U_S 为系统电压，X_T 为变压器电抗。发电机在失步后的变化轨迹见图2-37。

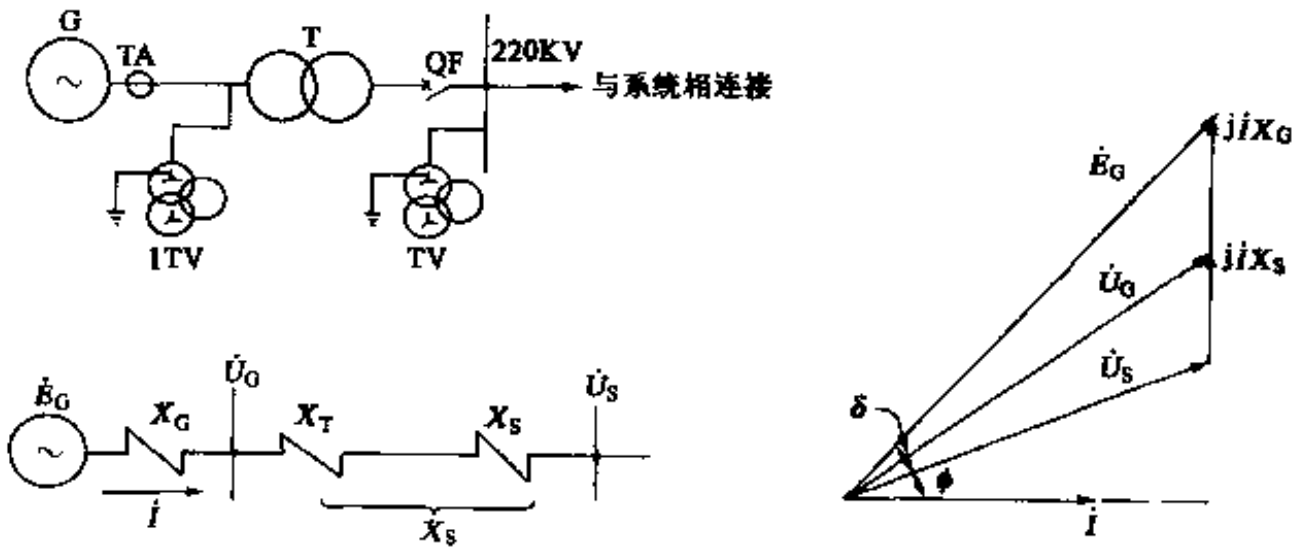


图 2-36　发电机运行中各参量的关系

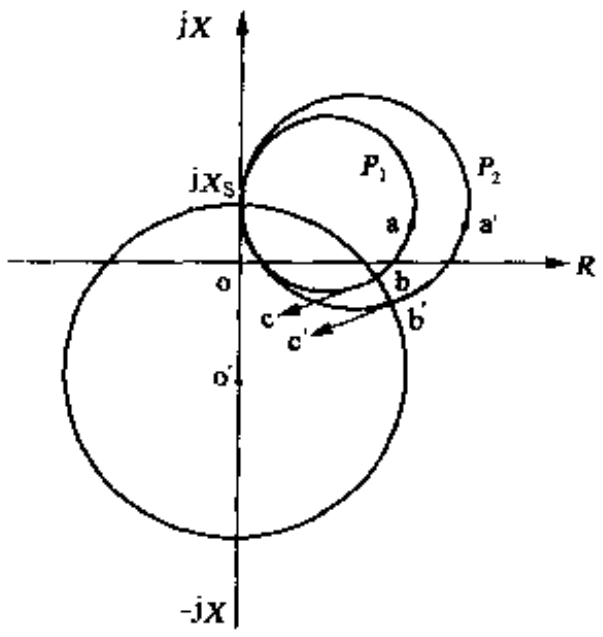


图 2-37　发电机测量阻抗在失磁后的变化轨迹

a—b—c—功率 P_1 较大时的轨迹；

a'—b'—c'—功率 P_1 较小时的轨迹。

以 o'为圆心的圆为临界失步阻抗圆，发电机的失磁阻抗特性与之相似。

（2）失磁保护的原理接线。失磁保护的原理接线见图 2-38。

图 2-38 中，KLE 为失磁保护测量继电器，失磁保护测量继电器采用 0°接线的接线方式，KVG 为发电机出口低电压继电器，KVW 为 220kV 母线低电压继电器，KVE 为转子回路低电压继电器。

（3）失磁保护的动作过程分析。

发电机失磁以后，转子电流逐渐衰减，发电机电动势 E_d 随之减小，随着无功功率的变化，测量阻抗由第一象限过渡到第四象限，进入动作区后，KLE 失磁继电器动作，其触点闭合，由于励磁电压降低，保护低电压继电器 KVE 动作，在直流回路中，正电源经 KLE、KVE 触点起动 2KT、3KT、4KT 时间继电器，3KT（0.5s）动作后切换厂用电，2KT（1s）动作后解列发电机。4KT（1s）动作后经 1KM 跳磁场断路器 QE，经 2KT 跳励磁机磁场断路器 QEE，如果 220kV 母线电压降到 85% U_N 后，则 KVW 动作，起动 1KT，重发解列发电机的脉冲。

三、检查过程

故障发生以后，对灭磁开关、励磁调节器、励磁回路以及失磁保护分别进行了检查，有关的结果如下。

1. 有关继电器定值的检查

出口低电压继电器 KVG：定值 75V，实测值 75V，结果正确。

母线低电压继电器 KVW：定值 85V，实测值 85V，结果正确。

励磁低电压继电器 KVE：定值 238V，实测值 239V，结果正确。

时间继电器 1　　1KT：定值 0.5s，实测值 0.5s，结果正确。

时间继电器 2　　2KT：定值 1.0s，实测值 2.0s，结果正确。

时间继电器 3　　3KT：定值 0.5s，实测值 0.5s，结果正确。

时间继电器 4　　4KT：定值 1.0s，实测值 1.0s，结果正确。

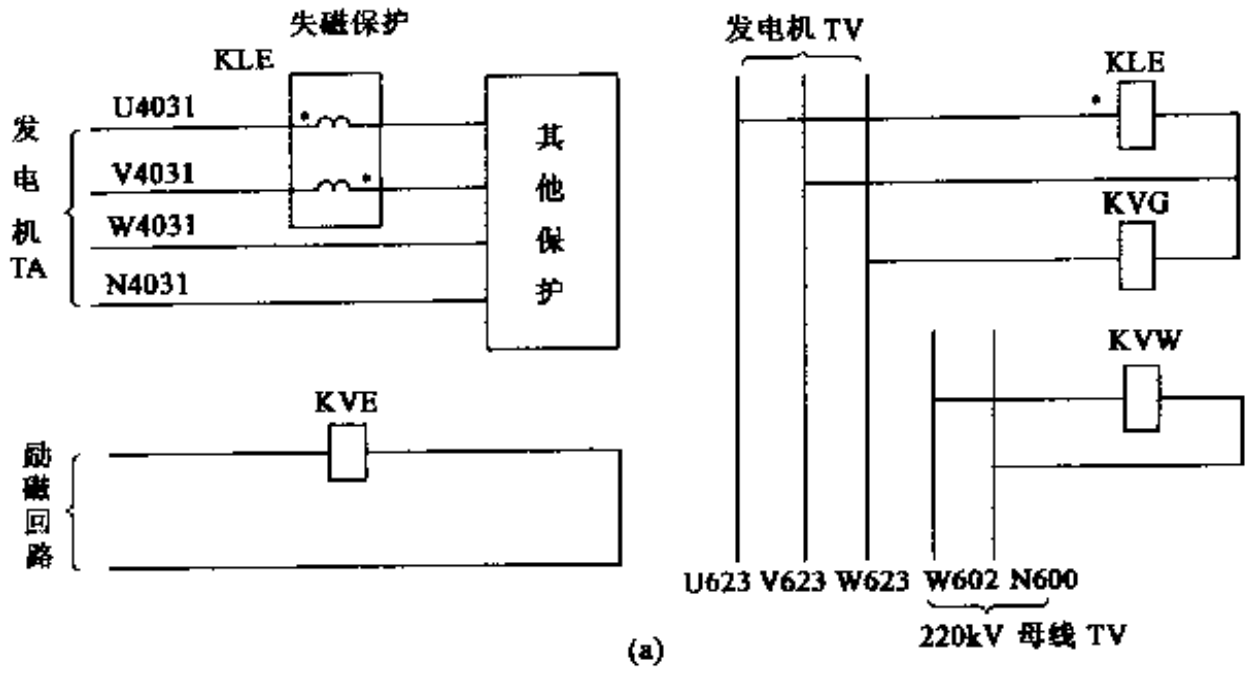
2.KLE 失磁测量继电器检查

发电机失磁继电器整定 $X_B = 35\Omega$，$X_A =$（0% ~ 15%）X_B。实测的特性曲线见表 2-2，其结果正确。

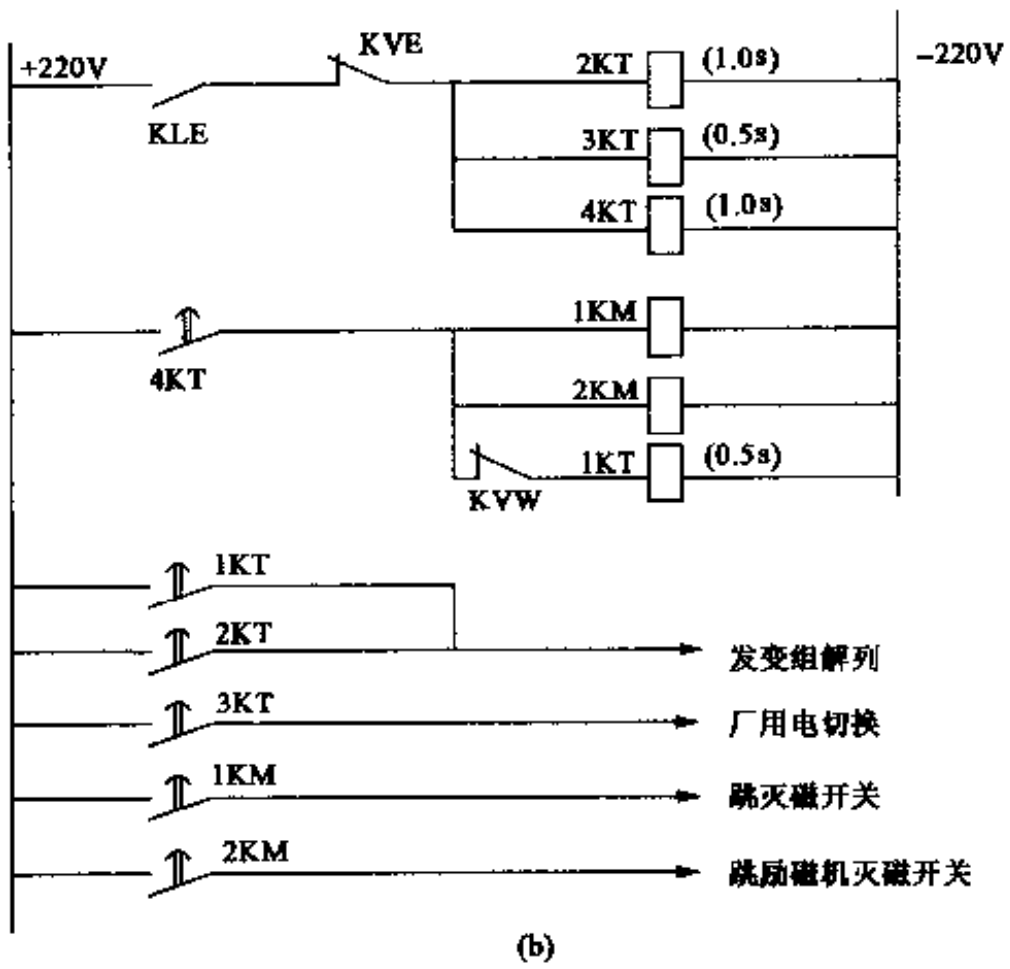
根据表 2-2 的数据可以得到失磁继电器整定阻抗的特性圆并非理想中的圆特性，见图 2-39。由图 2-39 可见，继电器所得的特性圆近似椭圆。

3. 跳闸逻辑功能检查

（1）失磁继电器 KLE 及低电压继电器 KVE 动作时。起动失磁继电器及励磁回路低电



(a)



(b)

图 2-38　发电机失磁保护原理接线

压继电器时，保护出口动作正常。

表 2-2　　失磁继电器特性

ψ	0	45	90	135	180	225	270	315
Z_m	9.0	3.8	3.2	4.5	11.4	26.5	35	20.5

注　Z_m 为测量阻抗。

(2) 失磁继电器 KLE 动作，低电压继电器 KVE 不动作时。失磁继电器动作，励磁回路低电压继电器不动作时，保护出口不动作。

(3) 失磁继电器 KLE 不动作，低电压继电器 KVE 动作时。失磁继电器不动作，励磁回路低电压继电器动作时，保护出口不动作。

4. 励磁整流元件检查

带回路测试辅助柜整流元件正向电阻 240Ω，反向电阻 1.1kW，结果正常。

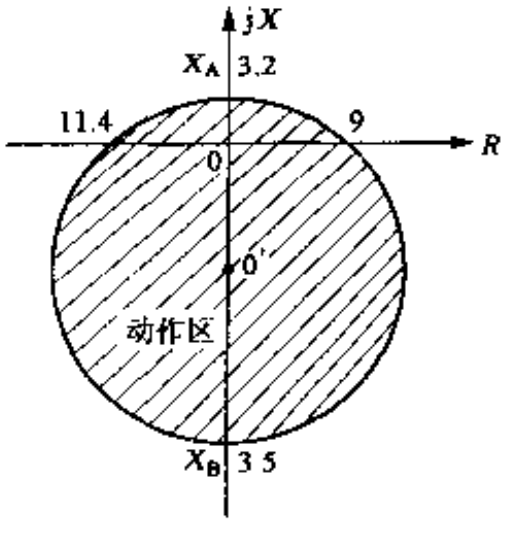


图 2-39　失磁继电器的动作特性圆

带回路测试整流柜整流元件正向电阻 370Ω，反向电阻无穷大，结果正常。

5. 回路绝缘检查

励磁回路、保护回路绝缘检查均满足规程规定的要求值，属正常。

6. 电流互感器 TA 特性检查

保护电流互感器 TA 回路二次伏安特性检查结果见表 2-3。

7. 磁场断路器 QE、QEE 检查

对励磁机磁场断路器 QEE 及发电机磁场断路器 QE 的机械性能进行检查，跳、合闸状况进行检查结果均正常。

表 2-3　　TA 回路二次伏安特性检查结果表

I（A）		0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
U（V）	U 相	40	51	61	67	72	86	97	100	102
	V 相	44	57	68	74	78	92	103	106	108
	W 相	40	53	67	73	77	91	102	105	107

8. 保护带断路器的传动试验

手动合上磁场断路器 QEE、QE 以后，用有关的保护进行跳闸试验，结果正常。

四、发电机失磁的原因分析

上述检查的结果表明，设备处于正常状态。失磁保护测量继电器 KLE 以及励磁回路低电压继电器 KVE 不会同时误动作，即失磁保护误动在先，将磁场断路器跳开，同时将发电机断路器解列的可能性不大，因此认为磁场断路器的偷跳导致了发电机的失磁。建议采取相应的措施，以便类似事故发生后的检查处理。

五、采取的措施

1. 在 QEE 及 QE 跳闸回路串联信号继电器

在 QEE、QE 的跳闸线圈回路上串联一只电流型继电器，以区别保护出口起动跳闸还是开关机构存在问题的跳闸。

2. 在发电机侧装设故障录波器

4 号机为 300MW 大型发电机组，为了监视设备，分析事故，建议装设故障录波器。

六、后记

上述事故发生以后，又出现了发电机失磁解列故障，在跳闸回路上所装信号继电器没有动作，证明上述推断正确。为了彻底解决磁场断路器的再次误动跳闸，已经更换了新型的 QEE 磁场断路器，至此上述问题再也没有发生过。

第七节　JB热电厂TV断线引起的发电机振荡事故

一、故障现象

1996年3月23日19时40分，JB热电厂3号发电机断路器跳闸，母联断路器跳闸，3号机强行励磁装置动作，3号机组过流保护、差动保护发掉牌信号。

与此同时2号机强行励磁装置动作，2号机有功功率由12MW增加到16MW后又降到8000kW，机端电压由额定值6.3kV增长到近8kV，发电机明显表现为振荡，最后被迫停机。

需要分析与查明的是2号机出现振荡和3号机跳闸停机的原因。

二、系统状况简介

JB热电厂的电气一次系统的结构见图2-40。

在当时运行方式下，2号、3号发电机并联于Ⅱ段母线，经过母联断路器、出线Ⅱ与系统相连接，出线Ⅰ断路器未合闸，线路空出。

三、检查的步骤与内容

发电机停机后，根据光字牌的指示信号，断路器跳闸信号等未能直接分析清楚故障的

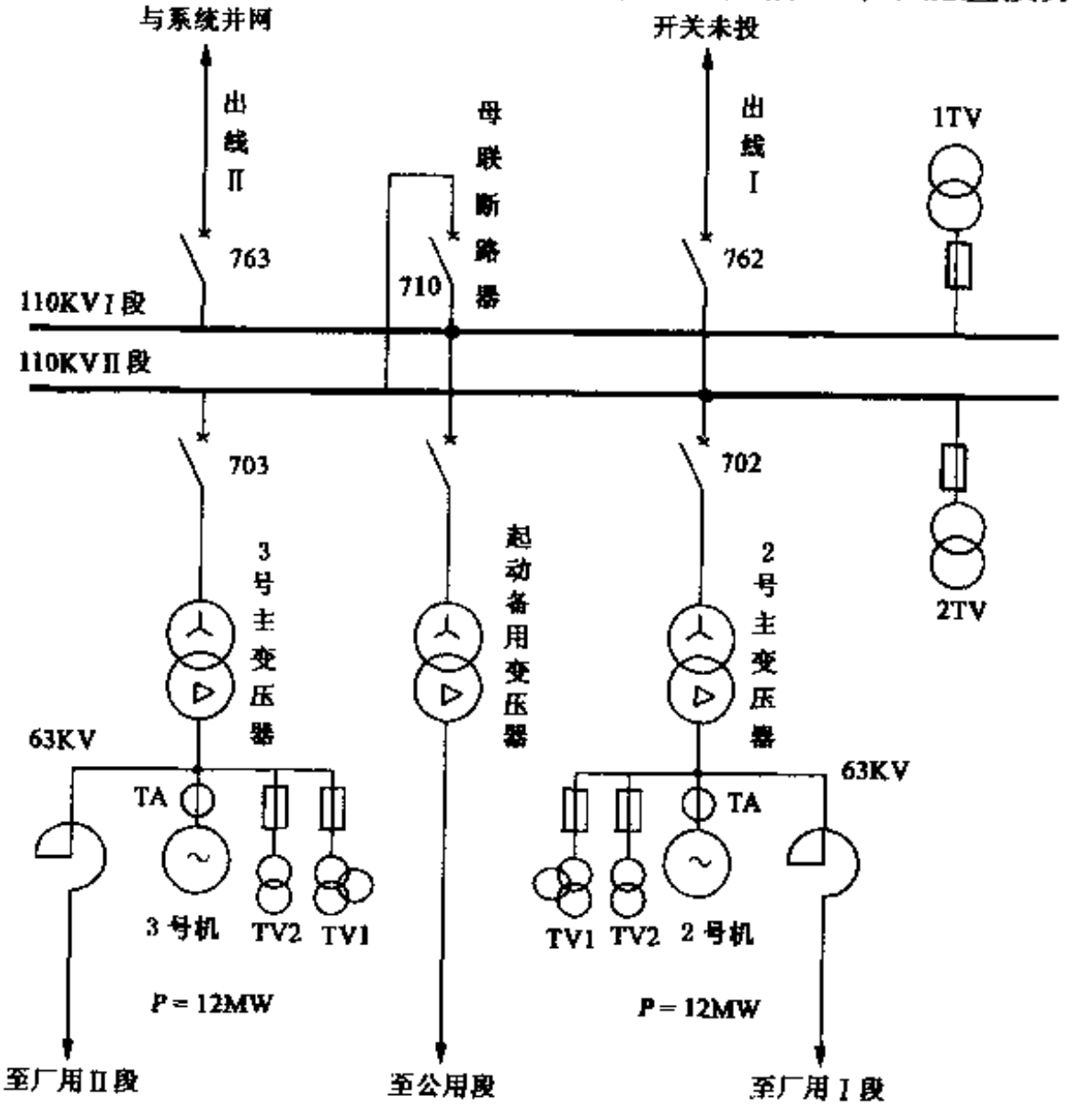


图2-40　JB热电厂一次系统结构

性质，也无法判断是一次系统有故障，还是二次设备有问题。因此按一般的步骤进行了全面检查与检验工作。

1. 保护整定值的检查

停机以后，安排试验人员对 3 号机组的差动保护，过电流保护的整定值做了校验，结果均与定值单相符合。定值整定也作了核定，均正确无误。

2. 一次系统的检查

对发电机、变压器分别进行了绝缘检查和直流电阻测试，结果如下。

（1）发电机。直流电阻值 $R_U = 0.07\Omega$，$R_V = 0.07\Omega$，$R_W = 0.07\Omega$。6kV 系统对地绝缘电阻 $R = 3M\Omega$。

（2）主变压器。高压侧直流电阻 $R_U = 0.34\Omega$，$R_V = 0.34\Omega$，$R_W = 0.34\Omega$。高压侧对地绝缘电阻 $R = 3000M\Omega$。

上述结果正常，证明主系统没有故障存在。

3.TA 回路的检查

对发电机变压器组差动保护 TA 的二次回路进行通电检查表明，各项的数值均正常，相位对称。

4.TA 伏安特性的检查

3 号发电机变压器组（以下简称发变组）TA 伏安特性的数据正常，其中 2TA 的测试结果见表 2-4。

表 2-4　　2TA 伏安特性的数据

I（A）	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0	15.0
U（V）	30.1	31.0	31.8	32.3	32.6	33.0	33.9	35.5

5.TV 回路的检查

对 3 号机出口 TV1、TV2 的检查结果是：TV1：W 相熔丝螺丝已松脱。TV2：W 相熔丝已熔断。

由此可见，已经具备了强行励磁起动的条件。强行励磁起动的原理接线见图 2-41。

当 W 相断线以后，继电器 2KV、3KV 串联于 UV 相电压下，电压降低一半，而强行励磁的电压起动值是 80% U_N。

6. 励磁回路的检查

励磁回路的电阻 $R_C = 12\Omega$。

励磁机直流电阻 $R_C = 26\Omega$。

对地的绝缘电阻 5MΩ。

以上数据都在正常范围以内。

四、故障的原因分析

通过对一次系统、二次系统进行上述的检查后，就导致 3 号机组跳闸解列，2 号机组振荡的原因分析如下。

1. 3 号机的 TV 断线导致了强行励磁误动作

3 号发电机出口 TV，TV1、TV2 的断线造成了 3 号机强行励磁的误动作，致使发电机

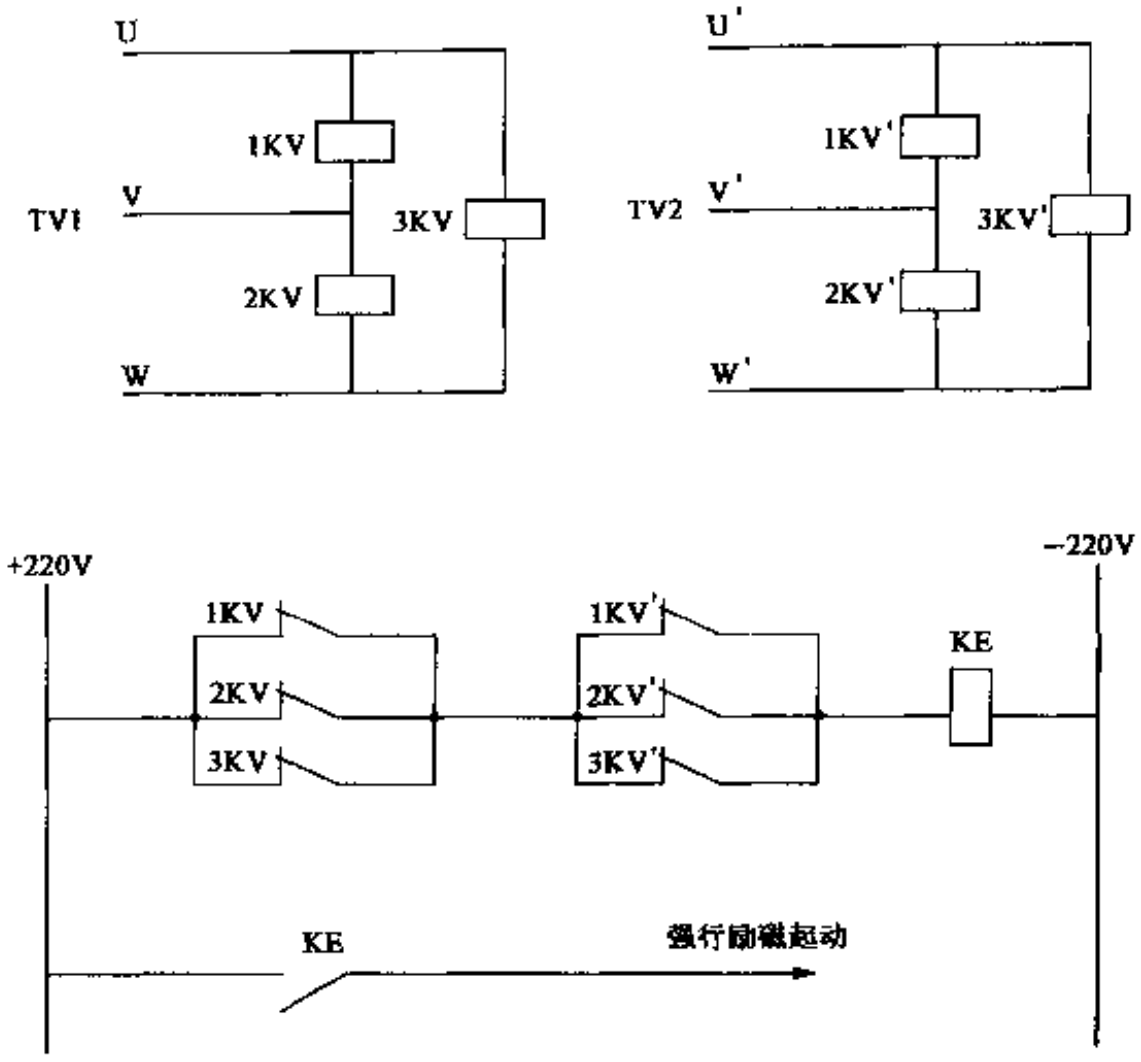


图 2-41　强行励磁起动回路

1KV～3KV—TV1 电压继电器，定值 85V；1KV～3KV—TV2 电压继电器。定值 147V；KE 为强行励磁继电器。

过电流，引起了过电流保护的动作，跳开了 110kV 的母联断路器。2 号、3 号发电机组 TV、TA 的配置情况见图 2-42。

2．2 号、3 号发电机之间振荡导致了 2 号的强行励磁误动作

110kV 母联断路器跳开后，2 号、3 号机组之间产生功率振荡，有运行人员监视表记发现 2 号机的有功功率从 12MW 上升到 16MW，又降到 8MW，2 号机的电压上升到近 8kV。从 2 号、3 号机的振荡导致 2 号机强励的过程作以下分析。

在振荡的过程中，发电机出口的电压及发电机出口的电流会发生变化，根据电力系统理论分析，此时两机系统的模型如图 2-43 示。在图 2-43 中，假定两台发电机参数完全对称，且 3 号机强励倍数为 1.8，即电动势 $E_1 = 1.8E$，阻抗为 Z_1。两台变压器的对称性也很好，阻抗值为 Z_2，$\dot{U}_1$、$\dot{U}_2$ 分别为两台机组出口处的电压，且 $Z_1 = 1.5Z_2$，此时电压可计算出来。

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{2Z_1 + 2Z_2} = \frac{\dot{E}(1.8 - 1\angle\varphi)}{2(Z_1 + Z_2)}$$

电流最大值出现在 $\varphi = 180°$时，此时 $\dot{I}$ 为最大值

$$I_{max} = \left| \frac{2.8E}{2\ (Z_1 + Z_2)} \right|$$

此时发电机的出口电压为 $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{I}\,Z_1$。

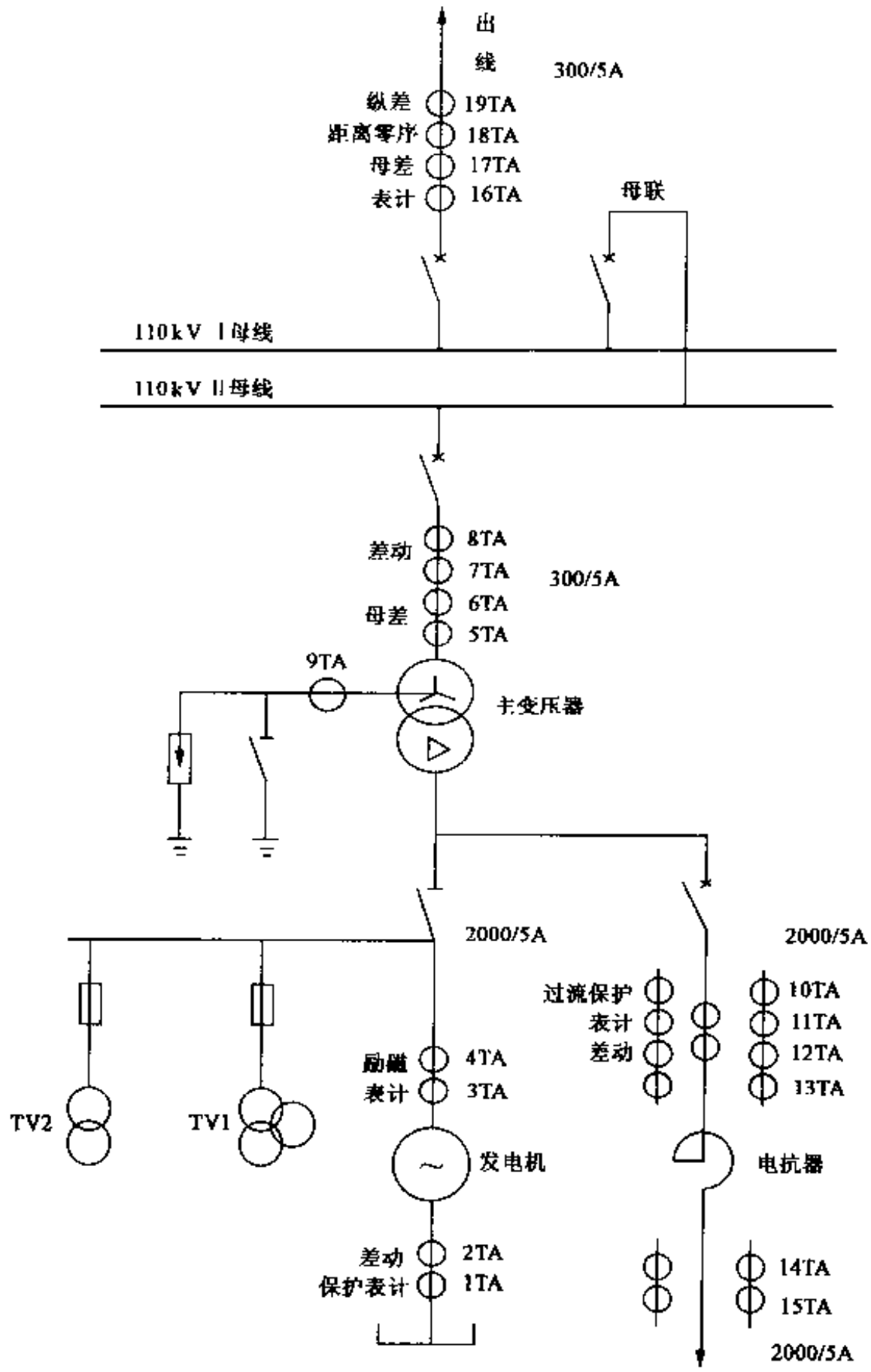


图 2-42　2 号、3 号机组的 TV、TA 配置示意图

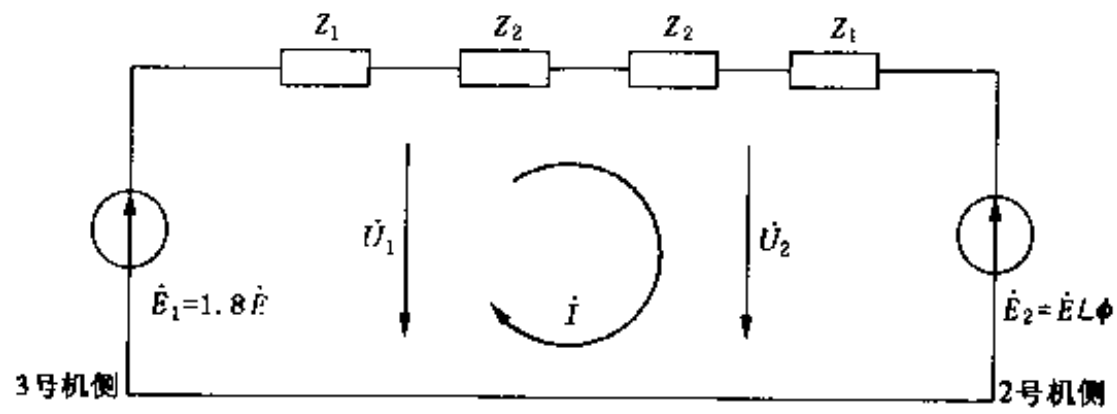


图 2-43　两台机组震荡时的电路模型

当电流出现最大值时，$\dot{U}_2$ 最低。

$$U_{2\min} = E_2 - I_{\max} Z_1 = 0.16E$$

当发电机满负荷时　$E \approx 3 \times 6.3/1.732\text{kV}$

所以

$$U_{2\min} = 0.48 \times 6.3/1.732\text{kV}$$

显然 $U_{2\min}$值小于强励整定值（6.3/1.732）×80%kV，使其动作。

令 $Z = Z_1 + Z_2$，又由于 $Z_1 \approx \text{j}X_1$，$Z_2 \approx \text{j}X_2$，所以有图 2-44 的相量关系。

图中　$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + (-\text{j}\dot{I}X_1)$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \text{j}\dot{I}X_1$$

$$\dot{I} = \frac{-}{\text{j}}\frac{1.4\dot{E}}{(X_1 + X_2)}$$

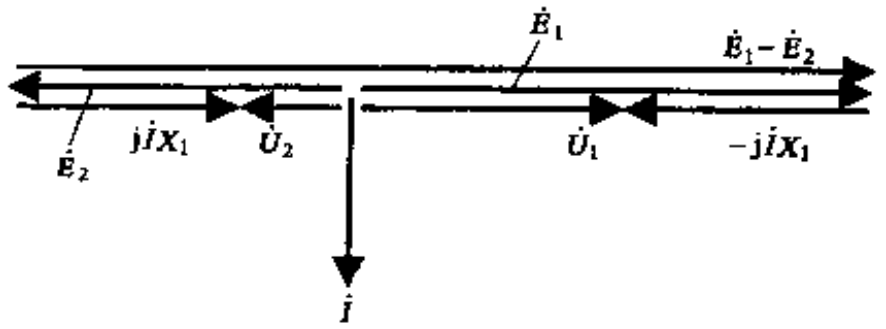


图 2-44　电压最低时的相量关系

3. 强行励磁加振荡使 3 号发变组差动保护误动作

2 号、3 号机的振荡，加上强行励磁的作用，使发电机输出电流增大，导致发变组差动保护回路的不平衡电流高于定值 1A，而动作于跳闸。

关于差动回路不平衡电流超过定值的论证如下。

（1）3 号发变组差动回路的原理接线分析。

3 号发变组差动回路的原理接线如图 2-45。

（2）差动保护的定值问题。

1）3 号机差动定值为 1A，折算到 TA 二次侧 $1 \times 1.66\text{A}$。

2）发电机尾部 TA 二次额定电流 $I_N = 3.4\text{A}$。

3）差动保护的整定原则。

按躲过外部故障时的不平衡电流，得动作值

$$I_S = 8.32\text{A}$$

按躲过 TA 断线时的最大负荷电流得

$$I_S = 1.3 \times 3.4 = 4.47\ (\text{A})$$

所以差动定值为：$8.32/1.66 = 5\text{A}$。

原定值 1A 不能躲过振荡时的不平衡电流。根据当时的强行励磁倍数，算出振荡时的电流最大值应出现在 $\Phi = 180°$，此时两台机均已强励，$E_1 + E_2$ 为强励后的值，为 $3.6E$。

按最不易饱和的情况考虑，取 $E = 6.3/1.732\text{kV}$

$I_{\max} = 3.6E/2\ (Z_1 + Z_2) = 8900\text{A}$

此值与额定电流相比较　$I_{\max} \approx 6.4I_N$

根据 TA 的伏安特性可知　$I = 6.0I_N$

此时 TA 已经饱和了，所以在 $I_{\max}$下 TA 饱和，不平衡电流大于定值 1A，保护误动作。

五、采取的措施

1. 改变差动保护的定值

按保护的整定原则，将差动保护重新整定，定值提高到 8A。

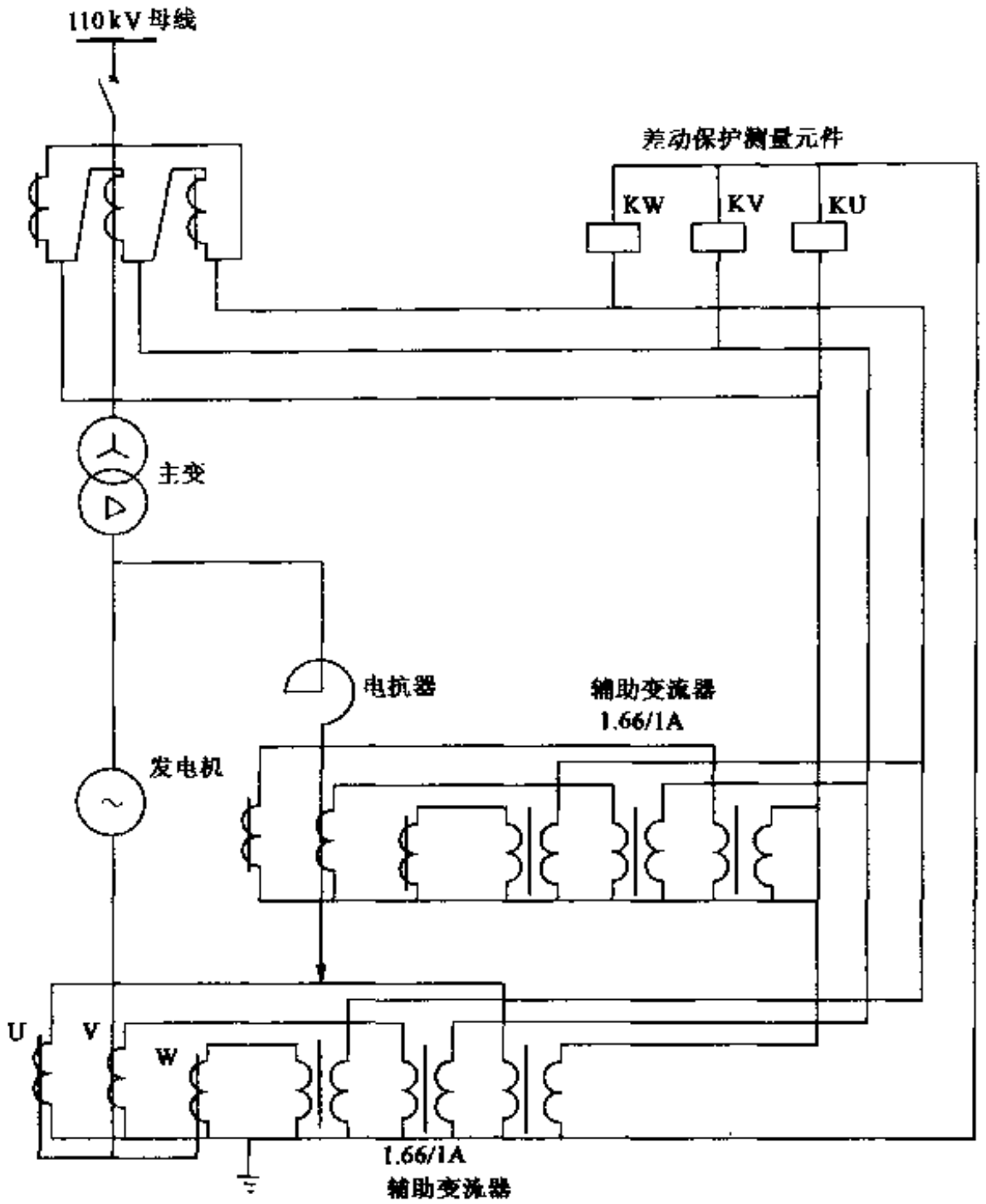


图 2-45　发电机差动保护的原理接线

2. 将强行励磁加入断线闭锁装置

设计一断线闭锁装置，使 2 只 TV 都存在断线时闭锁强行励磁装置。

3. 电厂与系统解列后考虑只允许一台机运行

在电厂与系统解列后考虑只允许一台机运行，余者停机，用回路接线，即联锁切机的方式可解决此问题。

第八节　HY发电厂 1 号机组试运时转子接地保护误动等

一、转子一点接地保护误动作

1. 故障现象

发电机转子一点接地保护在发电机起动过程中一直处于动作状态，经检查转子回路的绝缘正常，因此判定此时转子一点接地保护的动作系误动作。

2. 转子接地保护的基本原理及动作原因分析

转子一点接地保护的原理电路见图 2-46。

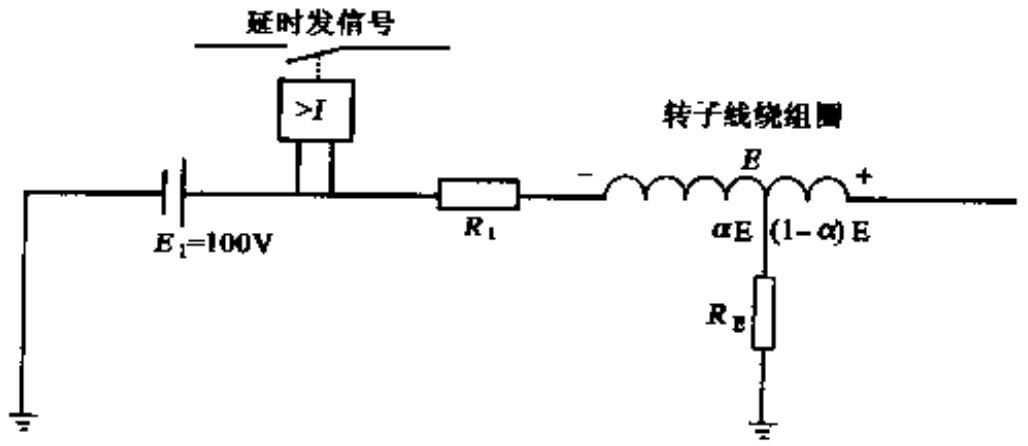


图 2-46　转子一点接地保护原理图

R_E—转子绕组对地电阻（正常时 $R_E = \infty$）

这种转子一点接地保护是利用追加直流的方法实现的。所追加的回路电流 I 很容易计算出来，即

$$I = (E_1 + \alpha E) / (R_1 + R_E)$$

式中　E_1——追加直流的电源电压；

E——转子绕组的电压；

α——转子绕组接地点的分压系数；

R_1——保护内部电阻；

R_E——转子绕组对地绝缘电阻。

正常时转子绕组对地绝缘电阻 $R_E = \infty$，回路电流 $I = 0$，当发电机转子绕组回路发生一点接地或绝缘水平降低时，如果回路电流 I 达到其动作值则经延时发出预告信号。

该保护的灵敏度随着接地点的不同而变化，很明显转子绕组的正极接地时灵敏度最高，负极接地时灵敏度最低。转子绕组对地绝缘电阻 R_E 的整定值整定在 5kΩ 时，其转子水质的变化也会引起保护的误动作。最后将定值设在 2kΩ，保护再未发信号。起动过程中的动作信号是定值整定不当所致。

二、发电机出口 TV 一次接线错误

1. 故障现象

发电机出口有一只一、二次均为三角形接线的 TV。开机试验时发现 TV 二次输出的电压混乱。TV 的接线情况见图 2-47，对于一、二次是星形接线的 TV 来说，只要将二次的 u、w 更换，电压就成了正确的相序。对于此种 TV 的三角形电压的相序虽然没有要求，但是对一次为三角形接线的 TV 也如此处理是不正确的。

2. 改正错误接线的方法

根据图 2-47 的情况，将错误接线改正的方法有两种。

（1）将所有的错误接线全部更正。

（2）只将二次 ux 和 wz 对应换线，连同号码带接线一起对换，v、y 换号，一次线不动。改动前后的电压相量图见图 2-48。从相量图上也可以看出应该怎样改动。由于第二种

方法比较简单，实际处理时采用了这种方法。

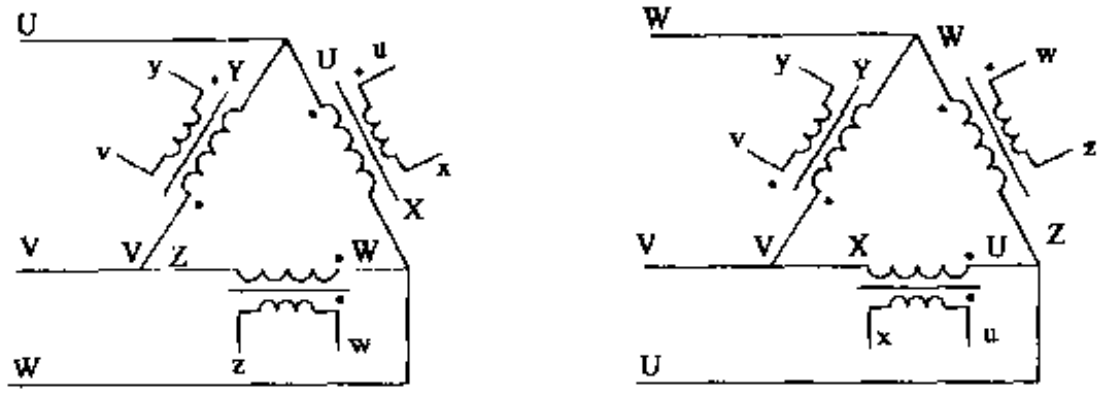


图 2-47　TV 的接线

（a）改前的实际接线；（b）正确的接线

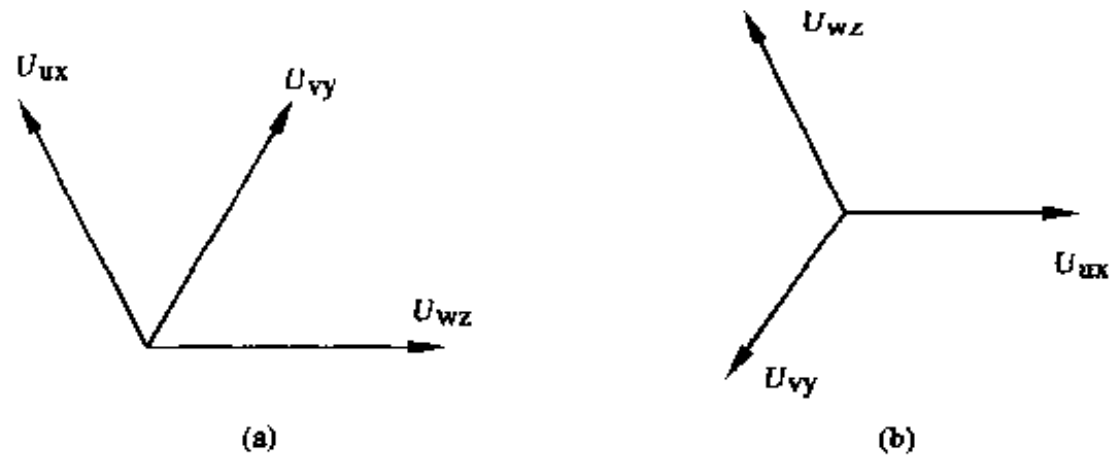


图 2-48　TV 的二次电压相量关系

（a）改线前的相量图；（b）改线后的相量图

第九节　CL热电厂3号发电机组振荡等问题的分析及处理

一、发电机定子接地保护误动作

1. 故障现象

发电机并网后，负荷带到 20% 左右，定子接地保护动作跳机。停机后对定子系统进行了一系列的试验，结果均正常。把定子接地保护退出后又开机带负荷，当负荷再升至 20% 时，定子接地继电器又动作。

2. 原因分析

定子接地保护由零序电压及零序电流两部分组成，见图 2-49。其中，零序电压只发信号，零序电流则作用于跳闸。在发电机负荷升至 20% 左右时，出现定子接地跳闸，但零序保护的信号并未输出，其零序电压值为零。由此可以判定零序电流部分动作为误动作。

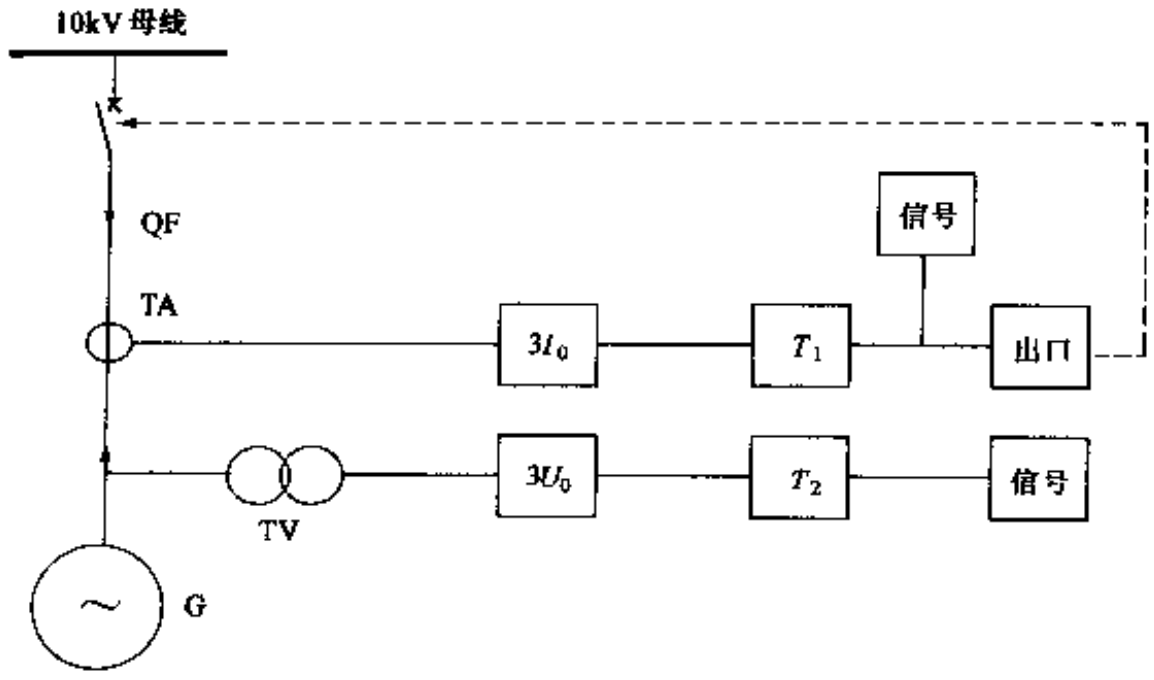


图 2-49　定子接地保护结构

根据图 2-49 可知，当发电机出现内部一点接地时，流过定子接地保护的零序电流是 TA 以外系统电容电流的总和。正常运行时，零序电流只是电容电流的不平衡值，数值较少。又因为发电机中性点不接地，所以即使出现一点接地，其电流值较小，因此一般定值按一次值给出，约为 2～5A，该机取 2A，再经过 TA 的变换以后，二次值在 mA 级，如此定子接地保护继电器的抗干扰性能较差。

对保护的有关检查如下。

（1）定值的核对。从 TA 一次加电流，其动作值为 2A，与整定值一致。

（2）接线的检查。检查 TA 的接线及二次回路正常，但是电缆头接地线的位置与设计不相符，见图 2-50。将接线更正后再开机带负荷检查，零序保护不再动作，但是 TV 回路中仍有零序电流，约为 8mA。

（3）二次线采取屏蔽接地措施。由于 TA 到保护屏的接线较长，而且通过汽机房，信号干扰比较严重。采取屏蔽接地后，零序电流消失，问题得到彻底解决。

二、发电机与厂用系统之间发生功率振荡

1. 故障现象

CL 热电厂 1 号发电机经过 1 号主变压器与系统相连接，110kV 母线 TV 二次熔丝熔断后，110kV 出线跳闸。电厂与系统解列，发电机仅带厂用系统的负荷，其电压、功率都不稳定，指针式的电压表、电流表、功率表出现不停的摆动；同步表投入后，其指针也在摆动，周期约为 2s。有功摆动幅度为 0.6MW，发电机的额定容量是 30MW。在这种情况下，运行人员没有立即进行并网操作，而首先分析问题的原因。

2. 原因分析

振荡现象是单机系统不能稳定的典型实例。当 1 号发电机与系统解列，仅带厂用系统的负荷时，厂用负荷的电功率等于发电机的输出电功率，这两个功率应该与汽轮机输入的机械功率相平衡。从道理上讲，如果电功率与机械功率之间的负荷不能平衡，假设电负荷

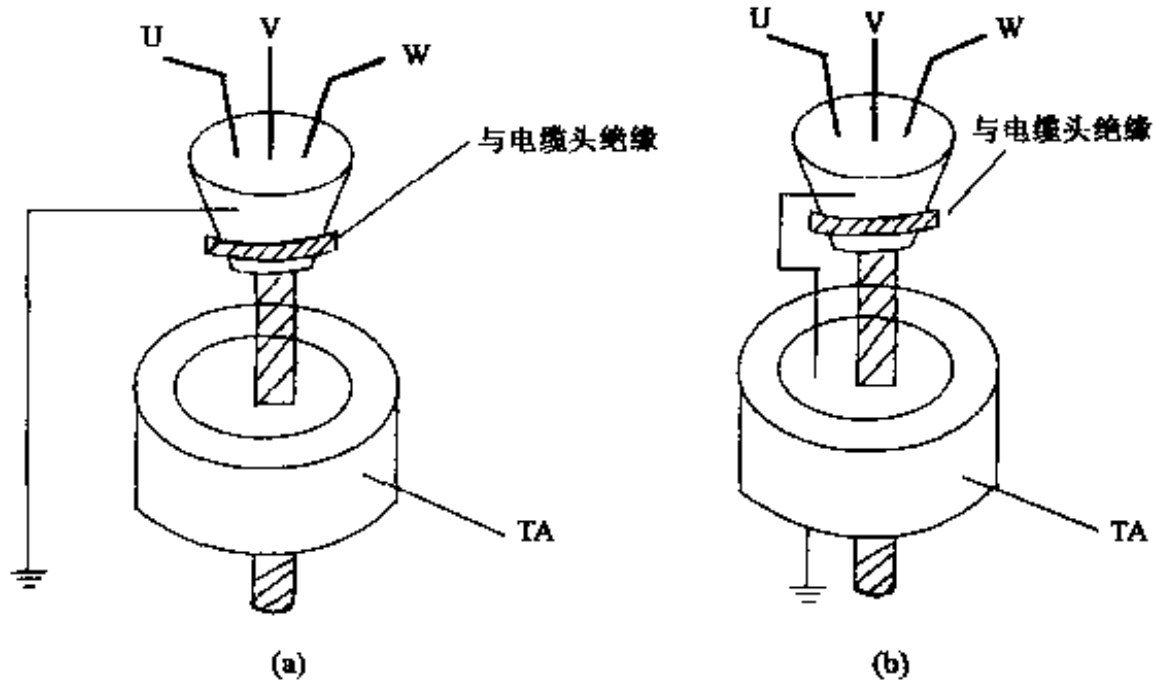


图 2-50　电缆屏蔽线的接地方式

(a) 不正确的接地线；(b) 正确的接地线

增加，则会引起汽门的开度增加，使进汽量增加；此时，机械功率大于电功率，导致汽机转速上升，因此调速系统进行调整，减少进汽量，又造成了机械功率低于电功率，然后再进入下一步的调整，进入下一个周期。如此往复，表计的指针不停的摆动，机组不停的振荡。

因为机组的容量只有 30MW，总的厂用负荷是 3MW，对于整个电网来说是比较小的；又加上该电厂与 220kV 大型变电站相距仅有 10km，所以机组带厂用电系统并网不会造成系统大的振荡。基于这种思路，在机组振荡的情况下并网成功，从而减少了停机后把负荷切至备用变压器再开机的损失。

1 号机组主系统结构见图 2-51。

1 号出线跳闸机组解列后的运行方式如下。

1 号高压备用变压器退出运行。

1 号主变压器空载运行。

1 号发电机带 1 号高压厂用变压器及厂用负荷。

1QF 断路器闭合。

2QF 断路器闭合。

3QF 断路器闭合。

6QF 断路器闭合。

8QF 断路器闭合。

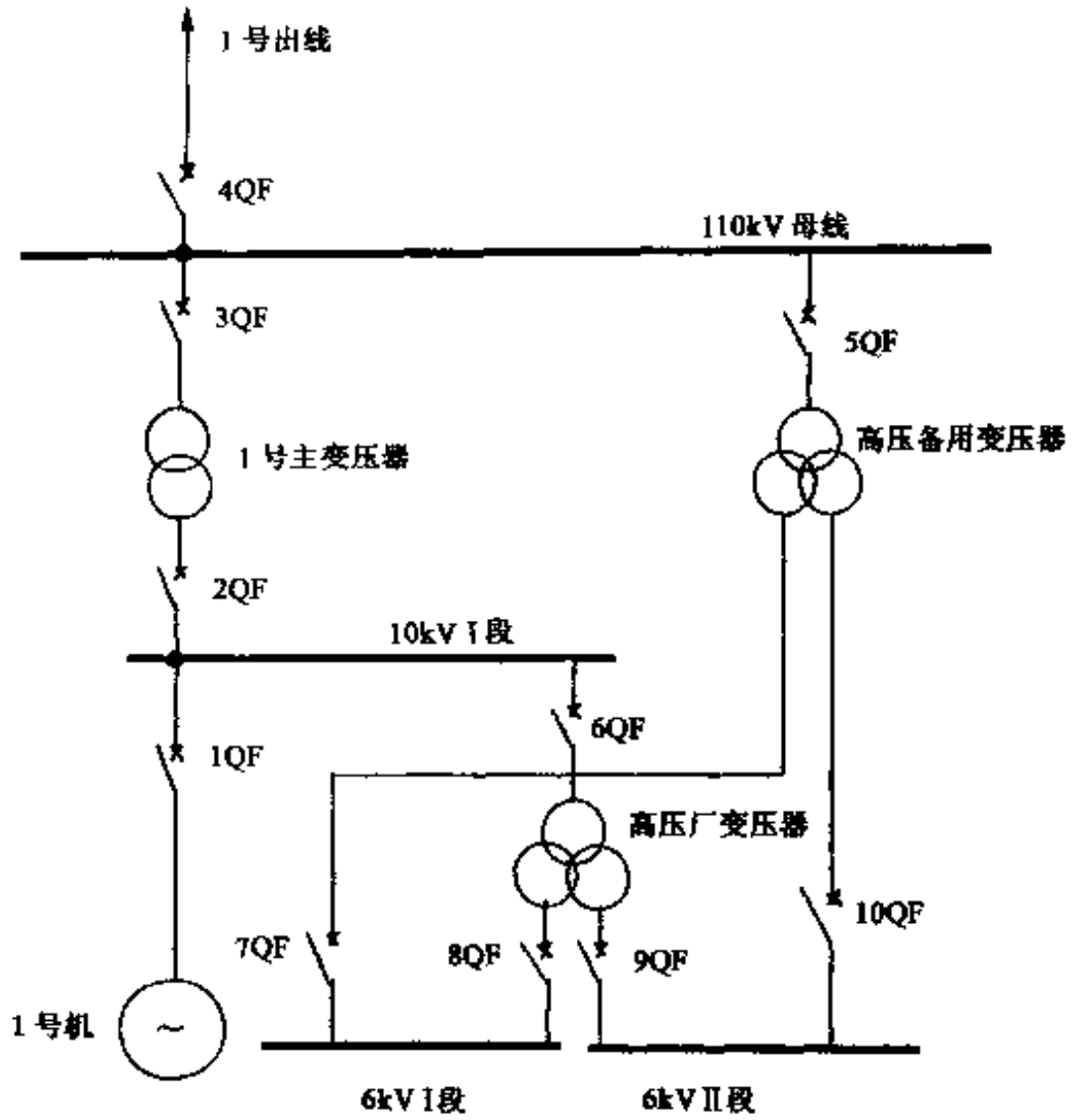
9QF 断路器闭合。

4QF 断路器断开。

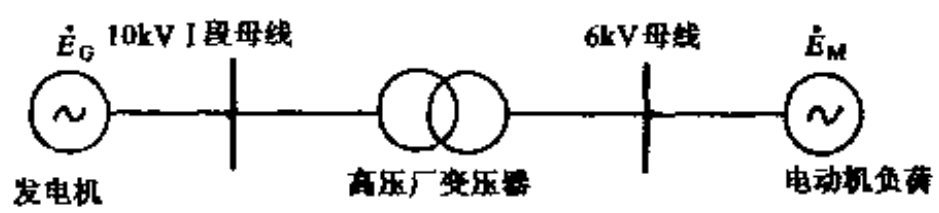
5QF 断路器断开。

7QF 断路器断开。

10QF 断路器断开。



(a)



(b)

图 2-51

第十节　KL发电厂4号机组试运期间失磁保护误动等

一、发变组带接地线并网，失磁保护误动作跳闸

1. 故障现象

4号发变组试验准备时，因为运行方式的需要，将220kV 204—1、204—2隔离开关断开，并把接地开关204—D1合上。在短路试验以后，应该断开204—D1接地开关，但是却忘记了这项工作，结果做204断路器假并列试验时，造成了三相金属性短路故障。由于接地开关在204断路器的外侧，作为发变组来说已经属于外部故障，对于母线保护，由于极性要等到带负荷试验时才能确定其正确性，此时尚未投入，所以故障要靠发变组的后备保护切除。发变组的后备保护有过负荷、主变压器高压侧阻抗保护，应该动作的保护没有动

作。失磁保护是反应发电机失去励磁的一种保护，此时不应该动作，却动作跳闸，切除了故障。这一误操作反应出三方面的问题。

（1）带接地线合闸，并网操作失败。

（2）发电机过负荷、主变压器高压侧低阻抗保护拒动。

（3）发电机失磁保护误动作。

2. 总启动电气试验的主要内容与操作步骤

为了便于分析，现将总起动电气试验的主要内容与操作步骤简述如下。

（1）试验的准备工作。

断开 204 断路器，断开 204—1、204—2 隔离开关，合上 204—D1 接地隔离开关。在 204 断路器外侧做短路线，合上 204 断路器。

（2）试验的主要内容与步骤。

1）发变组短路试验。利用短路点做发变组的短路特性试验，录取发电机的短路特性曲线，检查电流互感器 TA 的二次相量，判断电流保护的极性。上述试验完成后进行下列操作，拆除短路线，断开 204 断路器，断开 204—D1 接地开关。

2）发变组空载试验。做发变组的空载特性试验，录取机组的空载特性曲线，检查各电压互感器 TV 回路二次电压的相量，检查同期回路的正确性，做发电机励磁特性试验、灭磁时间常数试验，测量发电机残压。

3）发变组假并列试验。204—1、204—2 在断开位置，短接 204—1 隔离开关的辅助触点，将系统电压引入同期检查系统，以检查同期系统的正确性。分别用手动同期、自动同期的方法合上 204 断路器。

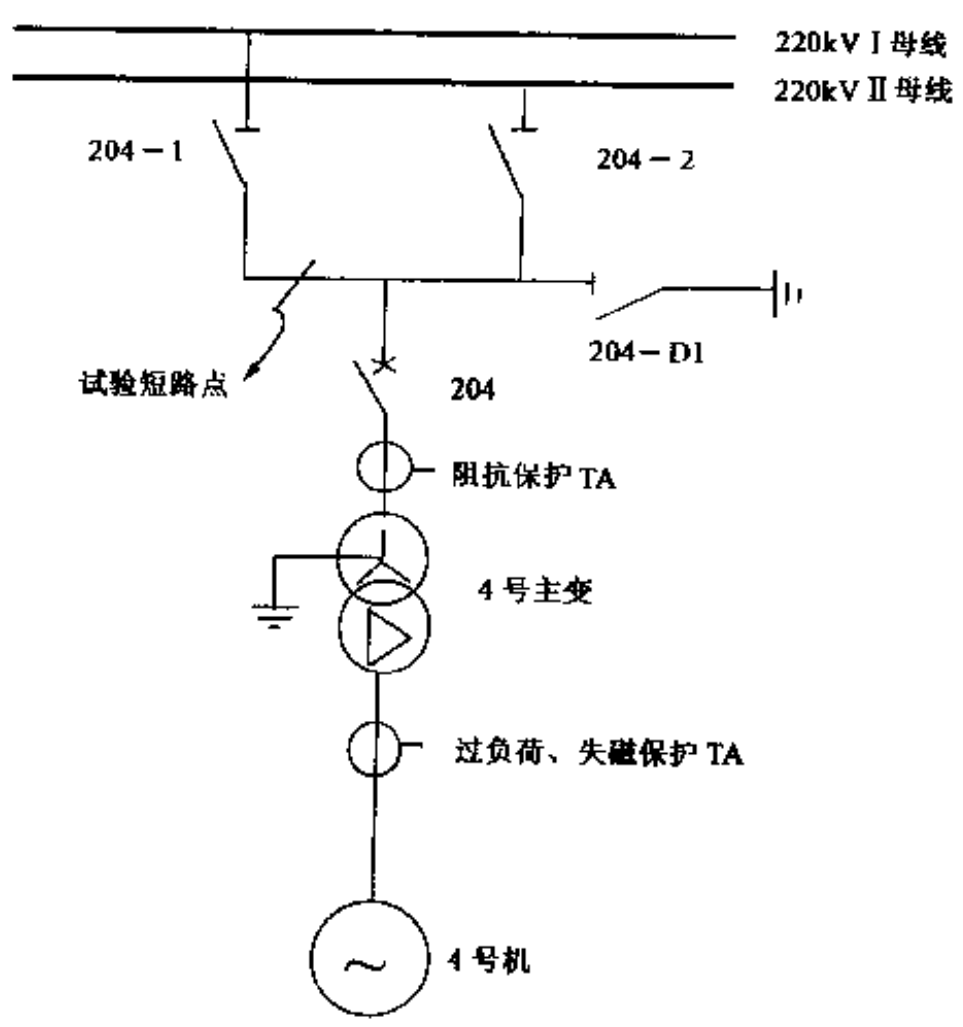


图 2-52　4 号机主系统

4）发变组并列试验。合上 204—1 隔离开关，用手动或自动同期合 204 断路器，带负荷后检查保护的极性。切换厂用电，做备用电源自投试验。

3. 故障的查找过程及原因分析

针对上述问题，分别进行了检查处理。

（1）带接地线合断路器：没有严格执行操作票制度。

在总起动试验时，按有关总起动电气试验措施的要求作为试验操作的依据，其操作的步骤是按运行规程的要求、按试验步骤的要求编排的。由于短路试验前，在 204 断路器的外侧挂了一组短路线，短路试验结束后此短路线应拆除，并拉开 204—D1 隔离开关，然后再进行后续的工作。但是

操作人员忘记了断开 204—D1 隔离开关，以后项目的试验时也未再检查其系统，给事故的发生留下了隐患。

（2）发电机过负荷、主变压器高压侧低阻抗保护拒动。

按照整定值的要求，主变压器高压侧距离保护的方向应指向高压侧母线。但是接线时没有充分考虑距离保护用的 TA 的极性，极性接反。

发电机过负荷保护的整定时间大于失磁保护，所以失磁保护动作在先。灭磁保护将故障切除后，故无信号发出，保护返回。

（3）发电机失磁保护动作属于误动。

关于失磁保护的原理及特性在本章第六节中已有介绍，这里不再重复。总之，失磁保护的方向应该指向复平面的第四象限，主变压器高压侧母线上故障不应在保护的动作区内，所以不应动作。

检查发现失磁保护的 TA 极性接错。将 TA 端子首尾更换后，保护的特性正常。有关 4 号机的一次系统接线见图 2-52。

二、测量电流互感器 TA 二次侧开路

1. 故障现象

发变组测量 TA 的二次侧，控制台接电流表处在做发变组短路试验时，磁场断路器一合闸，发现有剧烈的放电现象。

2. 原因分析

出现放电现象以后，立即断开磁场断路器进行检查，发现测量电流表的接线端子没有压接，留下 2mm 的空隙。

至于 TA 开路会造成二次侧出现过电压的理论，继电保护教材和二次回路的书籍都有详细论述，这里只对过电压的原因作简单的介绍。

电流互感器在正常运行过程中，二次电流产生的磁通势对一次侧，电流产生的磁通势起去磁作用，励磁电流很小，铁芯中的总磁通甚微，在二次绕组中的感应电动势只有几十伏。如果二次侧开路，二次电流的去磁作用消失，其一次电流全部作为励磁电流，引起铁芯内磁通剧增，铁芯处子高度饱和状态，加上二次绕组的匝数很多，根据电磁感应定律可知，在二次绕组两端产生很高的电压，最高可达上万 V。如此高的电压在绝缘薄弱的环节则会产生放电现象，此时的二次侧电压也不再为正弦波了。

三、发电机一次侧首尾不同相差动保护电流相量错误

1. 故障现象

在发变组短路试验时，对发电机的差动保护进行了校验，测得一组数据。

第一组 TA：U4011，参考点。

V4011，－240°。

W4011，－120°。

第二组 TA：U4011，－300°。

V4011，－60°。

W4011，－180°。

出这两组 TA 作出的相量图见图 2-53。从图中可以看出，差动保护的第一组 TA 反相序，即 U4011、W4011 电流相量错位，发电机尾部 TA 接线错误。

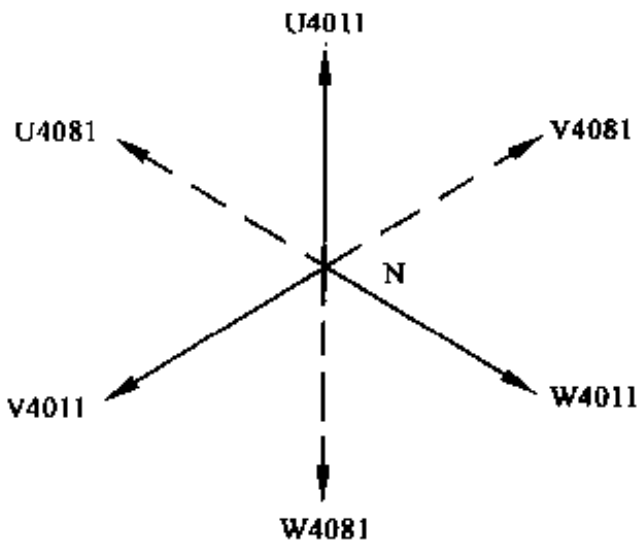


图 2-53　差动保护相量图

2. 原因检查与分析

（1）TA 二次查线

发电小室对 TA 端子箱至 TA 的接线、TA 端子箱到控制屏端子排的接线分别进行了检查，结果接线正确，没有找到 U、W 相标称与相色、接线等混乱的地方。

（2）TA 及一次系统的检查

从二次的检查结果来看其结果正确，再去检查一次系统，用试验电源加电流的办法，在一次侧从出口 TA 的外侧到中性点之间加一电流，然后检查二次侧电流的情况，接线见图 2-54。发现尾部 TA 的 U、W 相实际接线与标志不符。从电流的结果来看，发电机出口 U 相与尾部 W 相为同一相，发电机出口的 W 相与尾部的 U 相为同一相。由此可以判定发电机尾部出现命名错误，即 U、W 两相出错了。

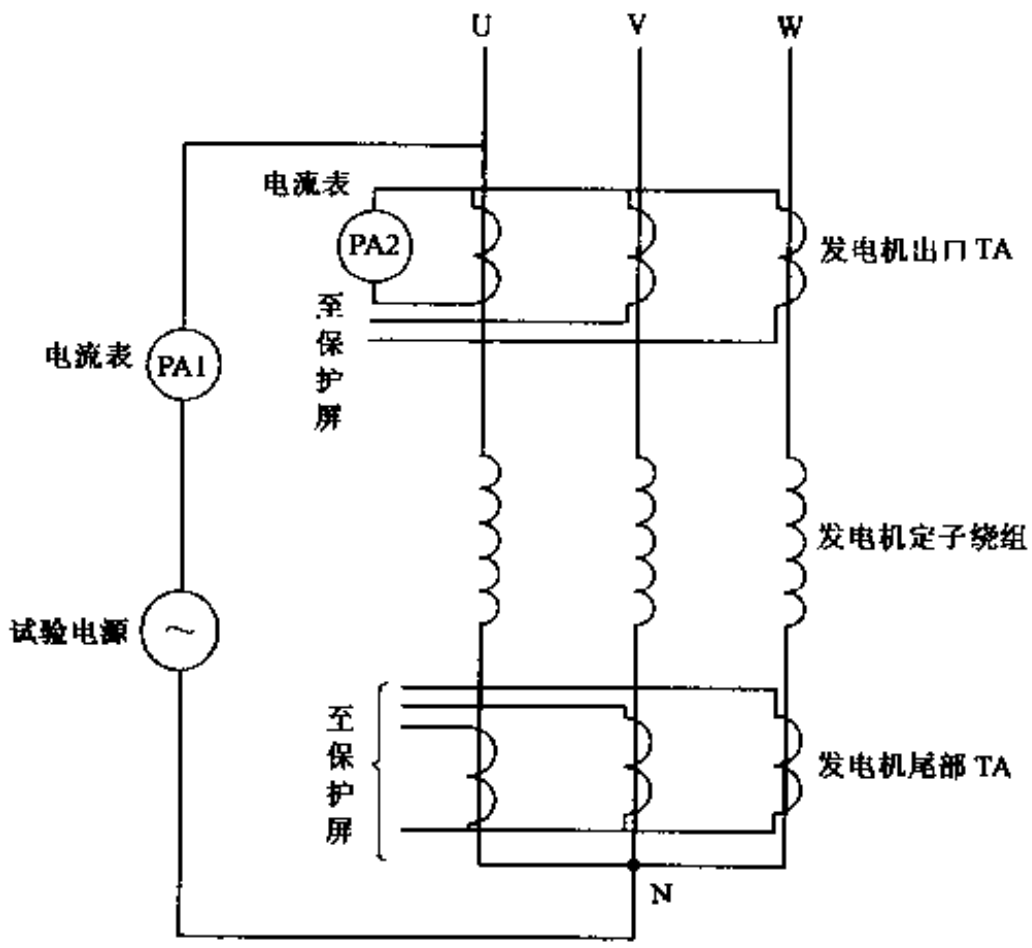


图 2-54　系统查线时的接线图

3. 故障的处理

对发电机尾部 TA 的 U 相、W 相重新命名，即将两只 TA 更换相色，然后对二次线进行换号，或是从 TA 根部移线。由于第二种方法比较容易，采取了从 TA 二次根部移线的办法，使问题得到解决。换相后测得数据如下。

第一组 TA：U4011，参考点。

V4011，－120°

W4011，－240°。

第二组 TA：U4011，－180°。

V4011，－300°。

W4011，－60°。

四、发电机并网时过电流保护动作跳闸

1. 故障现象

发电机与系统并网时出现过电流现象，测量盘表电流指示满刻度，无功指示满刻度，发电机过电流保护动作于解列灭磁。

2. 故障的原因分析

发电机与系统并网时出现过电流的原因有几种。

（1）非同期并列。因为同期系统接错线或者是设备制造的原因，使表计指示错误。虽然表计指示“同期点”，但是发电机与系统并非真正同期，同期断路器在此时合闸的结果就是非同期并列。非同期并列的程度不同，冲击电流的大小也就不一样。最严重的情况是发电机与系统相位相差 180°，在这种情况下并列相当于发电机内部短路，结果使保护动作，将发电机解列。如果不是最严重的情况，则要看系统的运行方式，在系统较强、系统阻抗较小的方式下，并网后有可能将发电机拉入同步。每台发电机都装有同期闭锁装置，其整定角度一般为 25°～30°，在这一数值范围内的相位差是允许的。对于超出定值范围的并列，冲击电流所产生的机械力矩会超出设备动稳定的承受能力而损坏，所以对于任何超出定值范围的非同期并列现象都是不允许的。

（2）相并联的发电机组抢无功。使无功不能按机组的容量平均分配，导致有的机组超出额定值而过载。

（3）并网时设备出现故障。并网时发电机或系统上的设备发生故障，也会使发电机出现过流现象，但概率很低。

3. 故障的检查过程

根据上述分析对设备分别进行了下列检查工作。

（1）同期系统的检查。

并网时采用的是自动准同期方式，自动准同期装置为 ZZQ—5 型，对组成同期系统的三部分：转角变压器、ZZQ—5 自动准同期回路及外回路的接线分别进行了检查。

1）转角变压器的检查。

关于转角变压器的接线在第六章第十节中已有介绍，转角变的相量关系见图 2-55。转角变压器的点数同主变压器一样为 11 点。转角变压器是变发电机侧 TV 二次电压的相位，在同一系统运行时，从主变压器高压侧看 TV 二次及转角变压器变换的相位应该是一致的。

转角变压器检查的结果与设计要求相符合，相位关系正确无误。

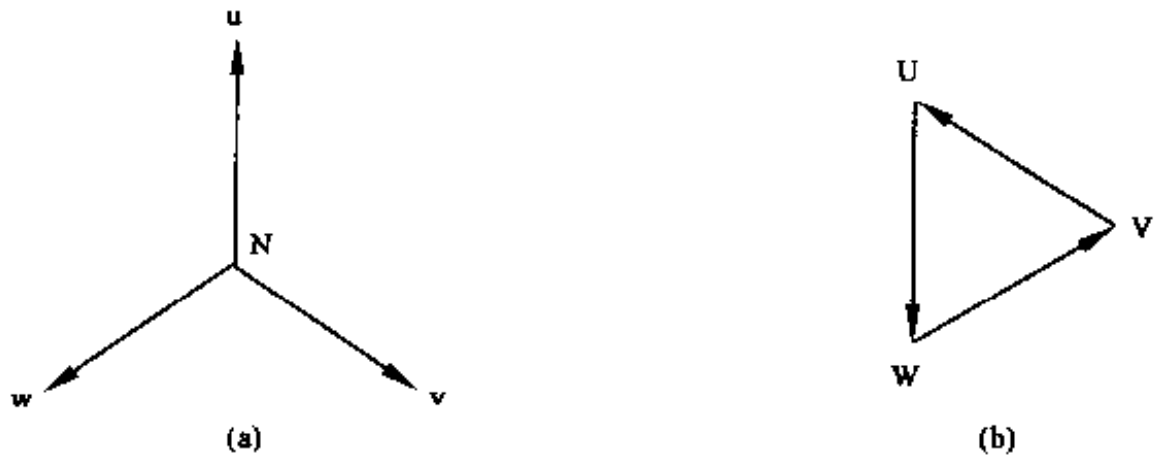


图 2-55　转角变压器的相位

（a）星形侧；（b）三角形侧

2）ZZQ—5 自动准同期装置的检查。

自动准同期装置有三个组成部分：自动调频部分、自动调压部分及自动同期合闸部分。其中前两部分都不会造成并网时非同期故障。自动同期合闸部分设有恒定导前时间的控制功能。将该延时时间整定的与开关的合闸时间一致（定值为 0.2s），合闸时能够保证开关主触头闭合的瞬间，发电机电压与系统电压之间的相位差小于允许值。对 ZZQ—5 型自动准同期装置检查的结果如下。

恒定导前时间：0.2s。

导前相位角：30°。

调频脉冲宽度：0.2s。

调压脉冲宽度：1.0s。

合闸脉冲的频差闭锁周期：2s。

合闸脉冲的压差闭锁值：$\pm 5\% U_N$。

所测数值与定值相符。

3）闭锁继电器及二次接线的检查。

闭锁继电器 KV 实测的闭锁角度为 29°，满足定值 30°的要求。二次接线与图纸相符。

由此可知整个同期系统处于正常状态，并网时的冲击与系统的结构、定值无关。

（2）发电机系统的检查。

对发电机主系统进行了绝缘检查，升压后进行了三相电压检查，测试结果正常。

（3）手动并网试验。

第一次用自动准同期并网是在发电机电压比系统电压高出约 4%时将自动装置投入的。4%的电压差满足整定值的要求，所以自动同期装置没有进行电压的调整直接并网。第二次决定用手动并网，当发电机电压与系统电压非常接近时进行并网操作，冲击电流大大减少，电流表指针指到中间位置并立即返回，同时发电机无功的波动较小。因此第一次自动并网时冲击电流产生的原因就明确了。

第三章　变压器保护的事故处理

变压器是电力系统中重要的设备之一，变压器的故障将给电力系统的安全运行和供电的可靠性带来严重的影响，同时大容量的变压器造价昂贵，运行中的故障及不正常状况也比较常见。因此，变压器必须设置性能良好、功能完备的保护装置，以便在出现不正常状况时能够及时发出信号，在出现故障以后快速切除。

作为主保护之一差动保护，在躲避外部故障，加快内部故障时的动作速度方面曾经进行了大量的研究工作，但是，变压器区外故障时，差动保护仍然有误动作的记录。导致保护误动作的原因比较多，有的是保护的原理存在缺陷，有的则是接线错误，变压器区外故障时差动保护误动作是变压器保护中比较严重的问题。本章给出了这一方面的实例。

变压器保护故障的另一个特点是非电量保护的误动作。变压器装设了多种非电量保护，虽然非电量保护的原理接线非常简单，但是，由于保护的抗干扰等问题的存在造成了非电量保护的误动作。

变压器保护的基本类型有：

1）相间差动保护。

2）相间过流保护。

3）复合电压闭锁的相间过流保护。

4）零序过电流保护。

5）零序过电压保护。

6）零序差动保护。

7）过激磁保护。

8）本体重瓦斯保护。

9）本体轻瓦斯保护。

10）有载调压重瓦斯保护。

11）有载调压轻瓦斯保护。

12）超温保护。

13）压力保护。

14）过负荷保护。

15）方向保护。

16）无载调压分接头改变跳闸保护。

第一节　ZX发电厂变压器非电量保护误动作

一、故障现象

ZX 发电厂第三期工程中采用了 ABB 公司生产的微机型继电保护，在 5 号机组试生产期间，出现过一次保护误发信号的现象，当时，主变压器瓦斯跳闸”、“主变压器分接开关切换跳闸”、“主变压器油温高跳闸”三个由主变压器本体到发变组保护屏的信号全部发出，根据信号出现的情况，判定为干扰信号所致。6 号机组 168h 试运结束移交试生产后的第三天，出现了 6A 高压厂用变压器油温高保护动作跳闸、机组全停的问题，从就地温度计指示结果来看，6A 高压厂用变压器油温并不高，微机保护的存储信息表明，误发的高压厂用变压器油温高信号持续时间为 5ms。经分析认为此跳闸信号也是由干扰产生的，即干扰信号持续时间为 5ms。

二、微机保护的抗干扰问题

微机保护的抗干扰问题非常重要，抗干扰性能的好坏直接影响保护运行的可靠性，尽管微机保护在原理上应用数字量的计算比集成电路在抗干扰方面有着天然的优越性，但由于动作快速，会出现干扰误动的问题，三期工程引进的 ABB 公司生产的微机保护也存在着干扰误动的隐患。

1. 现场存在的干扰源

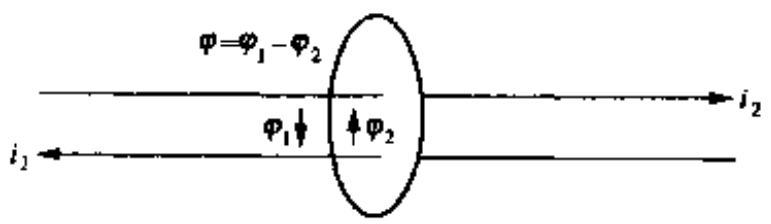


图 3-1　相互抵消的电磁场

i_1、i_2—导线中的电流对；φ_1、φ_2—i_1、i_2 所产生的磁场；φ—φ_1、φ_2 的合成磁场

（1）操作干扰。三期工程电气设备的控制电源是 110V 直流电源，操作电流在 2A 左右。如果电缆中的电流有来有回，则对周围的影响就可以互相抵消，原理图见图 3-1，但在实际的接线中，往往在同一电缆之内，电流都有来无回，此时对周围的影响较大，影响最为严重的是电流的来回不在同一条电缆沟内。

（2）冲击负荷干扰。厂用系统中运行的电动机均为 400V、6kV 三相式交流电动机。稳定运行中的电动机，其三相电流基本对称，所以周围的干扰可以忽略不计。当电动机在起动或自起动时，三相电流也是对称的，只有在 TA 出现饱和时，三相二次电流不再对称，此时对临近的设备会产生影响。

（3）变压器励磁涌流产生的干扰。变压器空载投入时产生的励磁涌流三相不平衡，线路外围的综合磁场不会为零。如果控制电缆与之相距不远，会有电磁干扰。

（4）电焊产生的干扰。6 号机试运时出现过电弧焊接机焊接汽泵平衡管子时，电流产生的高频信号感应到 B 小机测振信号的电缆上使其动作跳机。

（5）直流接地产生的干扰。直流系统中，正负极对地电容平衡，一相接地时，该相的电容放电，另一相的电容充电，其脉冲宽度在 10ms 左右，脉冲对本回路设备以及相邻设

备产生影响。

2. 一般的抗干扰措施

根据抗干扰理论以及电力系统有关继电保护及二次回路反事故措施，现场可采用的抗干扰措施有以下几种。

（1）选用屏蔽电缆。

（2）增加抗干扰电容。

（3）采用重动继电器。

（4）增加延时。

3. 瓦斯保护的原理接线及抗干扰问题

（1）瓦斯保护的原理接线。瓦斯保护的原理接线见图 3-2。在图 3-2 中，气体继电器的触点状态经电缆送到发变组的保护屏。在保护屏的光耦合元件起到隔离作用，光耦再将气体继电器的触点信息变成逻辑信号。逻辑输出送到出口跳闸继电器，同时发出光字牌信号及就地指示信号。这是一种非常简单的逻辑电路。

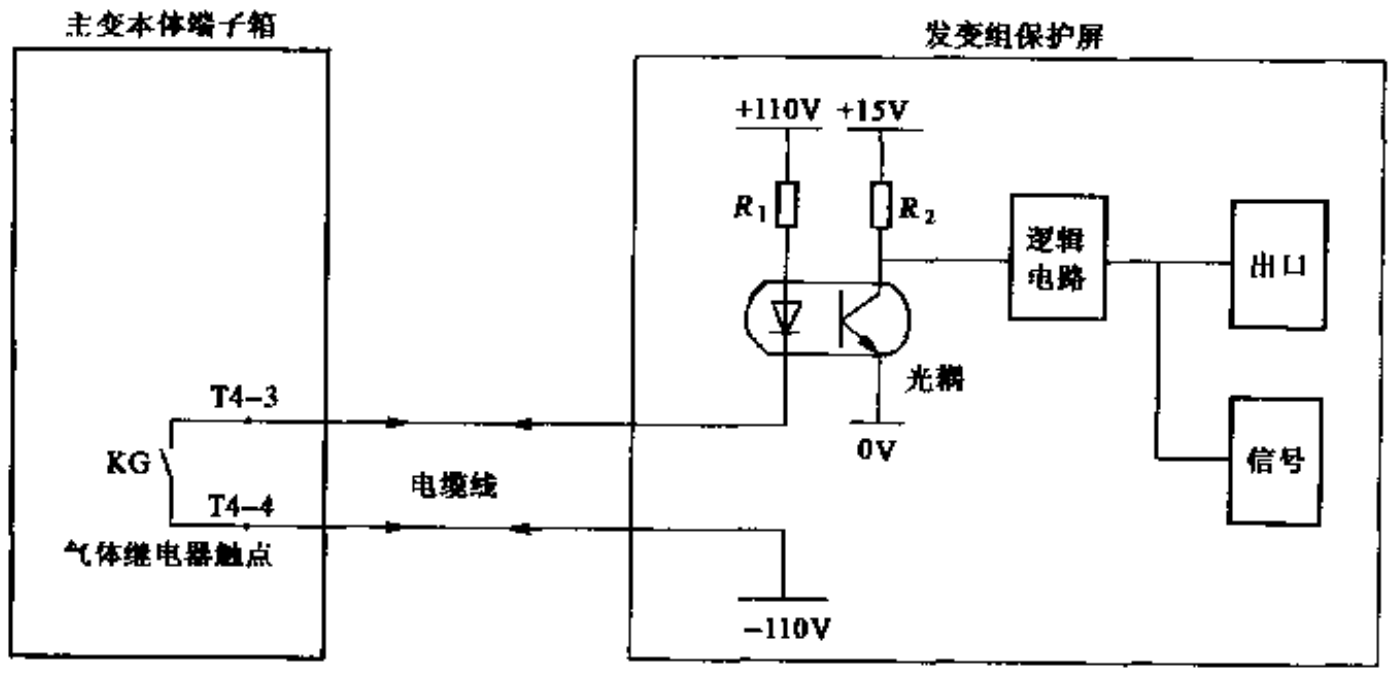


图 3-2　微机实现的瓦斯保护原理示意图

（2）瓦斯保护的抗干扰问题。变压器有三种非电气量保护，即瓦斯保护、油温高保护和分接头切换保护，这三种保护的外回路接线相同，都是从变压器本体采集开入量到电子设备间的保护屏，距离较远，并穿过厂房的一些电动机，干扰现象比较严重，为解决这一问题，除将电缆屏蔽层两端接地外，在油温高保护中加延时 2s，在分接头切换保护中加延时 1s，但是瓦斯保护中不宜加延时，所以瓦斯保护的抗干扰问题需另行考虑。

1）重动继电器的方法。加重动继电器的方法是一种行之有效的抗干扰措施，要使重动继电器动作不仅需要足够的脉冲幅值，还需要足够的能量，即进入继电器的能量应大于其动作所需的能量，在采用屏蔽措施的电缆中，尚没有感应信号使之动作的记录，但重动继电器的动作需要时间，现有的 110V 直流中间继电器动作时间为 25ms，延时太长不宜采用，所以未采取此方案。

2）抗干扰电容的方法。在电路中接入抗干扰电容，必须对其数值的大小以及电容对电路产生的影响分析检验清楚。下面是有关的试验和分析。

三、瓦斯保护有关的试验

1. 瓦斯保护的实验接线

瓦斯保护的抗干扰接线见图 3-3，为了监视其输入量信号的变化接一示波器于 a、b 两点。

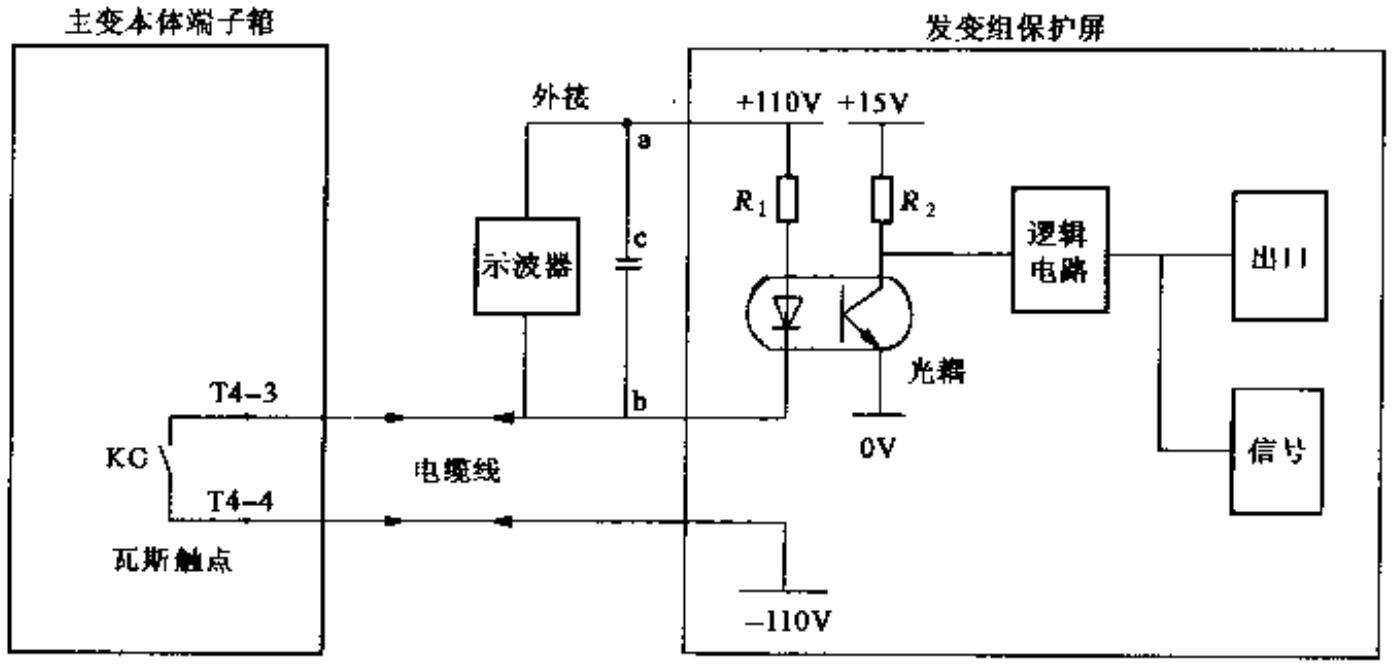


图 3-3　瓦斯保护抗干扰试验接线图

2. 实验内容

（1）6 号主变压器瓦斯保护的动作电压测试。a、b 两点加直流可调电压，测得瓦斯保护的动作电压为 58V。

（2）模拟干扰信号试验。在 6 号主变压器端子箱 W 相端子箱 T4—4 做接地试验，测得保护屏 a、b 两输入点的电压峰值为 44V，波形见图 3-4。

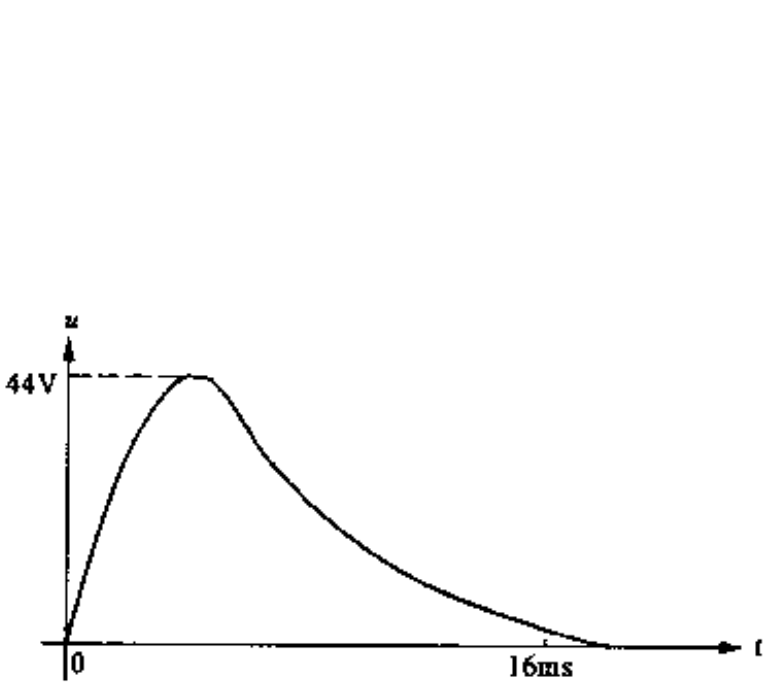


图 3-4　模拟的干扰信号

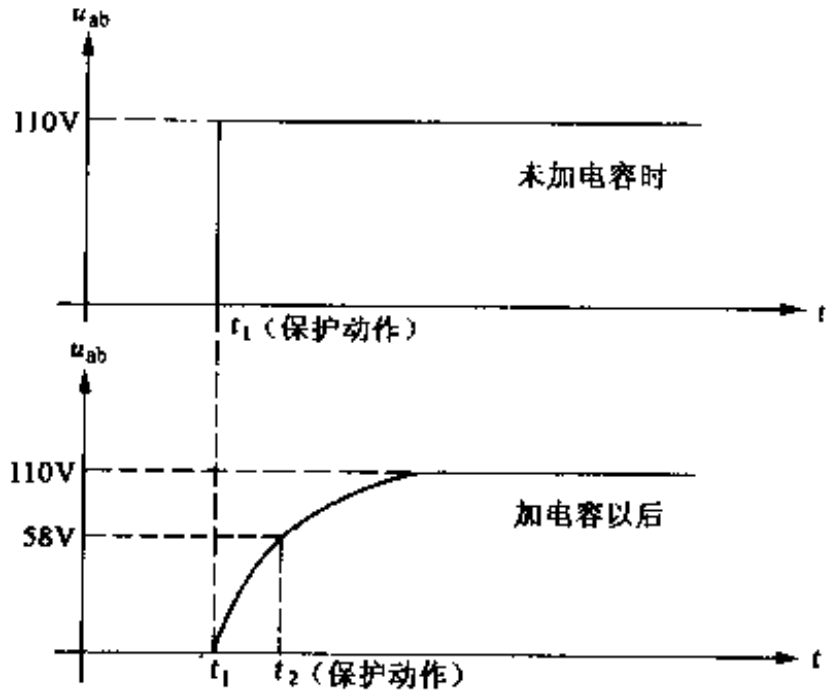


图 3-5　外加电容对保护动作时间的影响

注：试验是在 110V 直流电源正负极对称，对地绝缘良好的情况下进行的。

（3）干扰信号的消除。a、b 两点并联不同值的电容，在 6 号主变压器端子箱排 T4—4 做接地试验，a、b 两点电压峰值情况见表 3-1。

表 3-1　　干扰信号的吸收效果

电容（μF）	0.1	0.22	0.33	0.47	1.00	2.00	4.00
U_{AB}（峰值 V）	8.8	5.0	3.8	3.2	2.2	2.2	2.0

（4）并联电容后对保护的影响检查。在 a、b 上并接 4μF 的电容后对保护的动作时间的影响情况见图 3-5。在未并电容时使保护动作，即短接就地 T4—3、T4—4 触点，电压上升为一条直线，并 4μF 的电容后有充电过程出现对保护动作时间的影响可以忽略不计。

（5）电容与电阻相串后再并入的效果检查。为了防止并联电容被击穿后保护拒动，将只 180Ω、2W 的电阻与一只 2μF 的电容串联后再并入 a、b 两点之间，再进行接地试验，测得 a、b 两点的电压峰值为 3.8V。

出此可见，抗干扰的效果与不串电阻相比很接近，但比不串电阻差。

四、接入电容后的理论分析

从理论上分析瓦斯保护入口处并接电容后对保护产生的影响，并与实测波形作比较。

1. 瓦斯保护的电路描述

根据瓦斯保护的接线图得到其计算电路，见图 3-6。

图中，$R=5\Omega$ 为电缆电阻，$L=0.00017\text{H}$ 为电缆电感，$R_1=10\text{k}\Omega$ 为光耦电路电阻，C 为抗干扰电容。

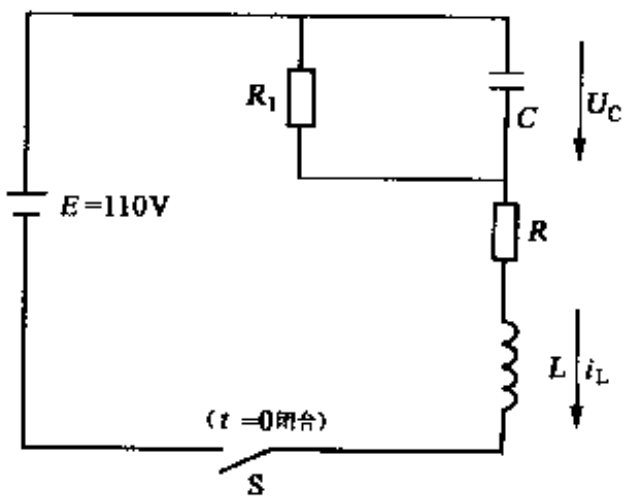


图 3-6　计算电路

2. 数学模型的建立

在计算电路中，$t=0$ 时触点 K 闭合。电路初始条件为 $i_{L(0-)}=0$，$U_{C(0-)}=0$。

则由复频域分析可得

$$U_C(s)=\frac{ER_1}{S}\frac{1}{S^2R_1LC+(RR_1C+L)S+R+R_1}$$

进一步由拉普拉斯变换，可得其时域函数

$$U_C(t)=L^{-1}\{U_C(S)\}=\frac{ER_1}{R+R_1}-\frac{ER_1}{A^2+B^2}e^{-at}[2A\cos(bt)-2B\sin(bt)]$$

其中

$$a=\frac{RR_1C+L}{2R_1LC},b=\sqrt{\frac{1}{LC}-\left(\frac{RR_1C-L}{2R_1LC}\right)^2}\ \frac{1}{LC}-\left(\frac{RR_1C-L}{2R_1LC}\right)^2>0$$

$$A=4R-2R_1-\frac{(RR_1C-L)^2}{R_1LC},B=-(RR_1C-L)b$$

3. 并联不同的电容值时的电容充电特性分析

（1）$C=0.01\mu\text{F}$ 时理论上的充电波形见图 3-7。

（2）$C=0.1\mu\text{F}$ 时理论上的充电波形见图 3-8。

（3）$C=1.00\mu\text{F}$ 时理论上的充电波形见图 3-9。

（4）$C=2.00\mu\text{F}$ 时理论上的充电波形见图 3-10。

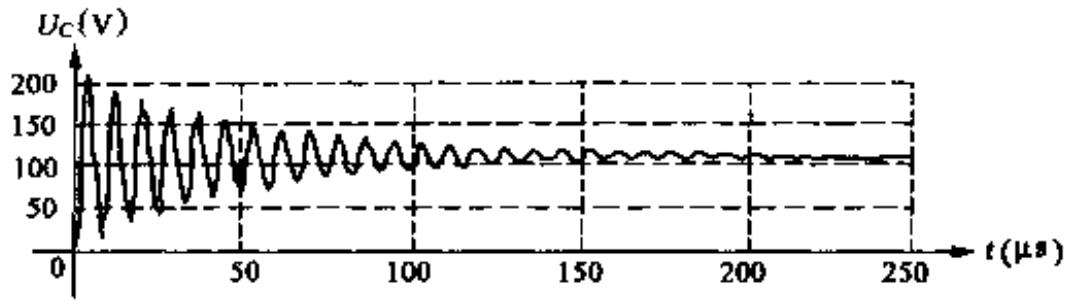


图 3-7　$C=0.01\mu F$ 时理论上的充电波形

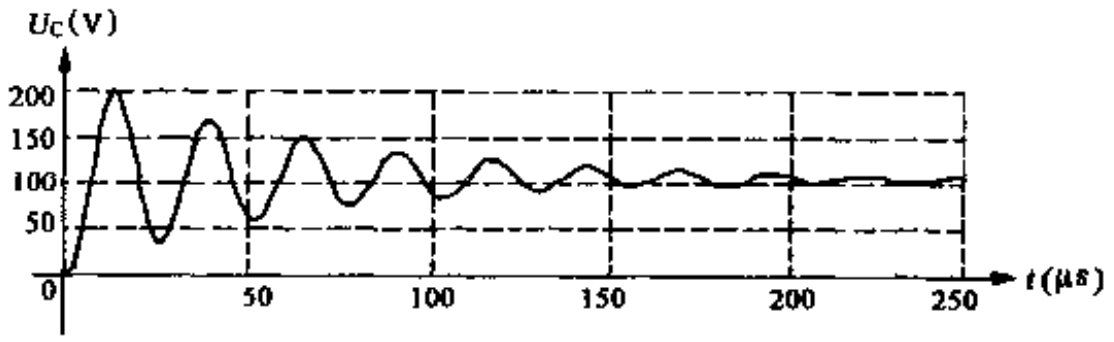


图 3-8　$C=0.1\mu F$ 时理论上的充电波形

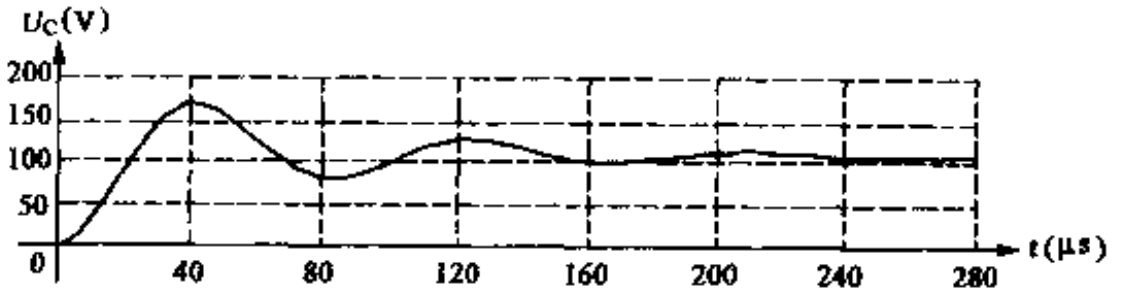


图 3-9　$C=1.00\mu F$ 时理论上的充电波形

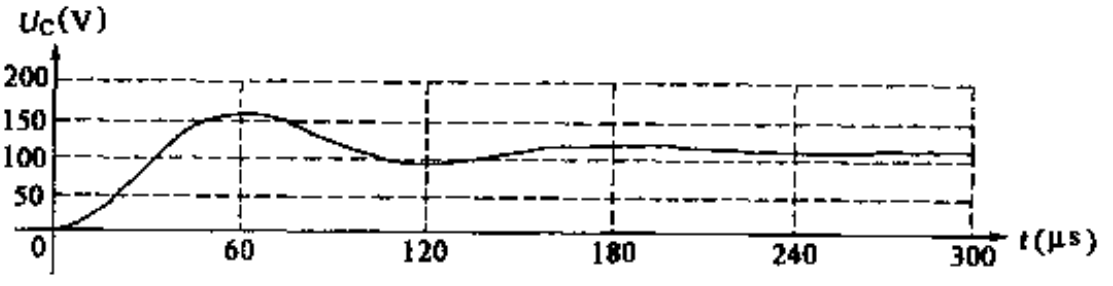


图 3-10　$C=2.00\mu F$ 时理论上的充电波形

实测的波形与理论分析基本一致，经分析表明，当开入量并联不同值的电容后，保护启动时会出现振荡波形，频率为 $b/2\pi$，由于瓦斯保护回路经光耦隔离，所以上述振荡不会对保护产生其他不良影响。

五、采取的措施

试验表明，在保护屏 a、b 两点并接 2μF 的电容后，可以吸收宽度为 10ms 左右的干扰脉冲，根据这一数据已在 6 号主变压器瓦斯、6A 高压厂用变压器瓦斯、6B 高压厂用变压器瓦斯及励磁变压器瓦斯保护屏端子排处，并联了一只 2μF 的电容和一只 180Ω 的电阻串，元件接入后，传动试验正常。这样对开始提出的 5ms 的干扰脉冲全部覆盖，是最理想的方案。

对 6 号主变压器的压力保护、温度保护采取了与瓦斯保护相同的措施，变压器非电量

保护抗干扰的问题得到解决。

第二节　HW发电厂2号高压厂用变压器差动保护误动作

一、故障现象

1998年6月30日，2号机带有功负荷80MW，8时46分，输煤Ⅱ段电流进线电缆头爆炸造成三相短路，其速断保护动作，电源断路器跳闸，与此同时，2号高压厂用变压器差动保护动作跳机。当时有关的动作信号有：2号高压厂用变压器电流回路断线、2号高压厂用变压器差动保护动作、2号发变组逆变灭磁、发电机出口TV断线、发电机差动保护回路断线、发电机变压器组（简称发变组）TA回路断线光字牌亮、202断路器、QE励磁开关、6301断路器及6401断路器跳闸、6410断路器自动投入成功、6310未自投，一次系统有关接线见图3-11。

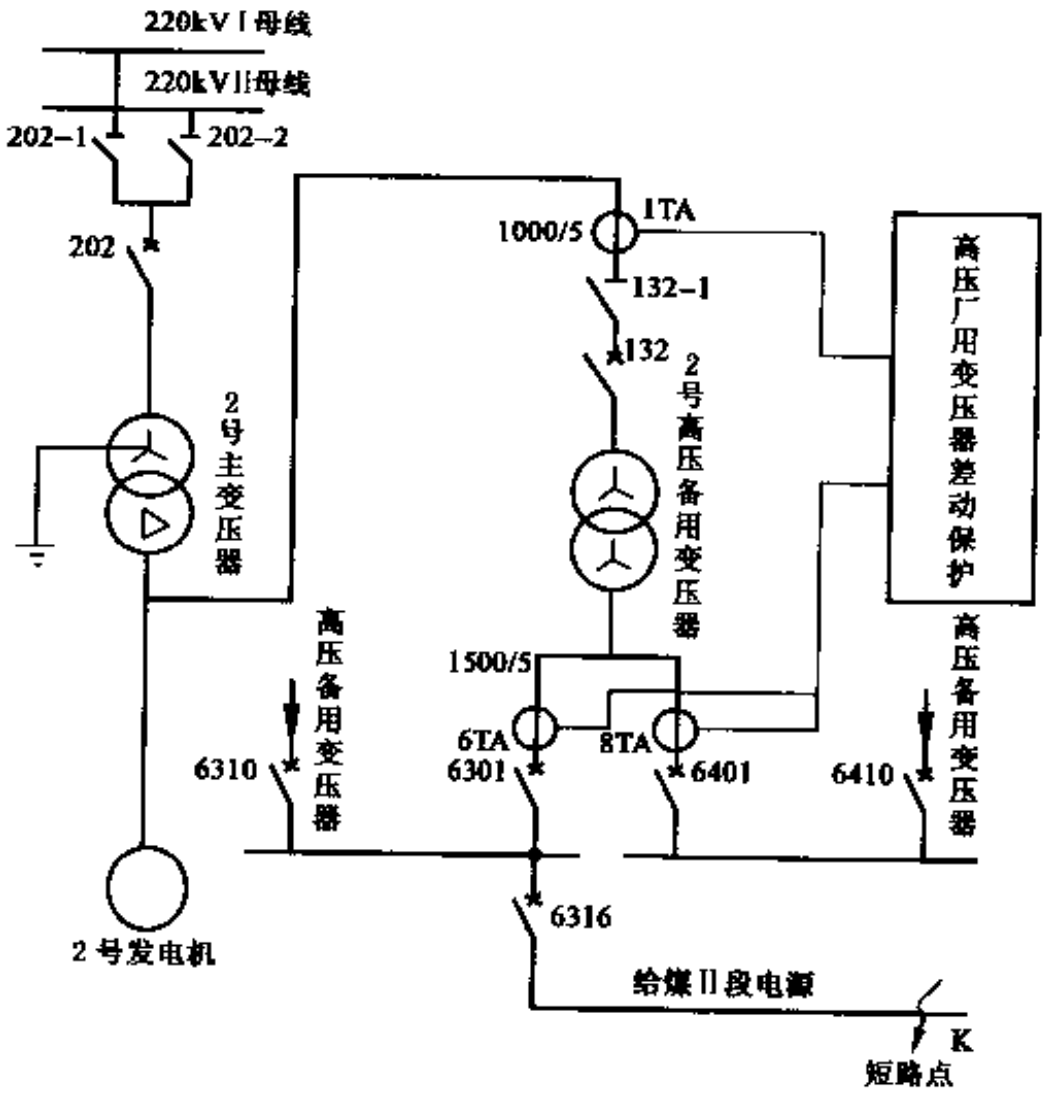


图3-11　2号机主系统及高压厂用变压器保护的位置

从事故后保护的动作行为来看，输煤Ⅱ段电源的电缆线故障，其速断保护动作正确，厂用变压器差动保护动作系区外故障误动作，6kVⅡ段备用电源自投拒动，因此应该查明厂用变压器差动保护误动以及备用电源自投拒动两方面的问题。

二、厂用变压器差动保护简介

厂用变压器保护是发变组保护的一部分，发变组保护采用集成电路原理的保护装置，

对厂用变压器保护做以下介绍。

1. 厂用变压器保护跳闸回路

由于2号高压厂用变压器高压侧在差动保护的范围内，1TA附近发生故障时的短路电流与发电机出口短路时的短路电流水平相同，经计算132断路器的断流能力不能断开短路电流。所以差动保护动作后起动保护全停出口，这就是在2号高厂变差动保护误动后跳发变组202断路器、QE开关并且停机的原因。

2. 差动保护的电流回路

差动保护的电流回路接线如图3-12。

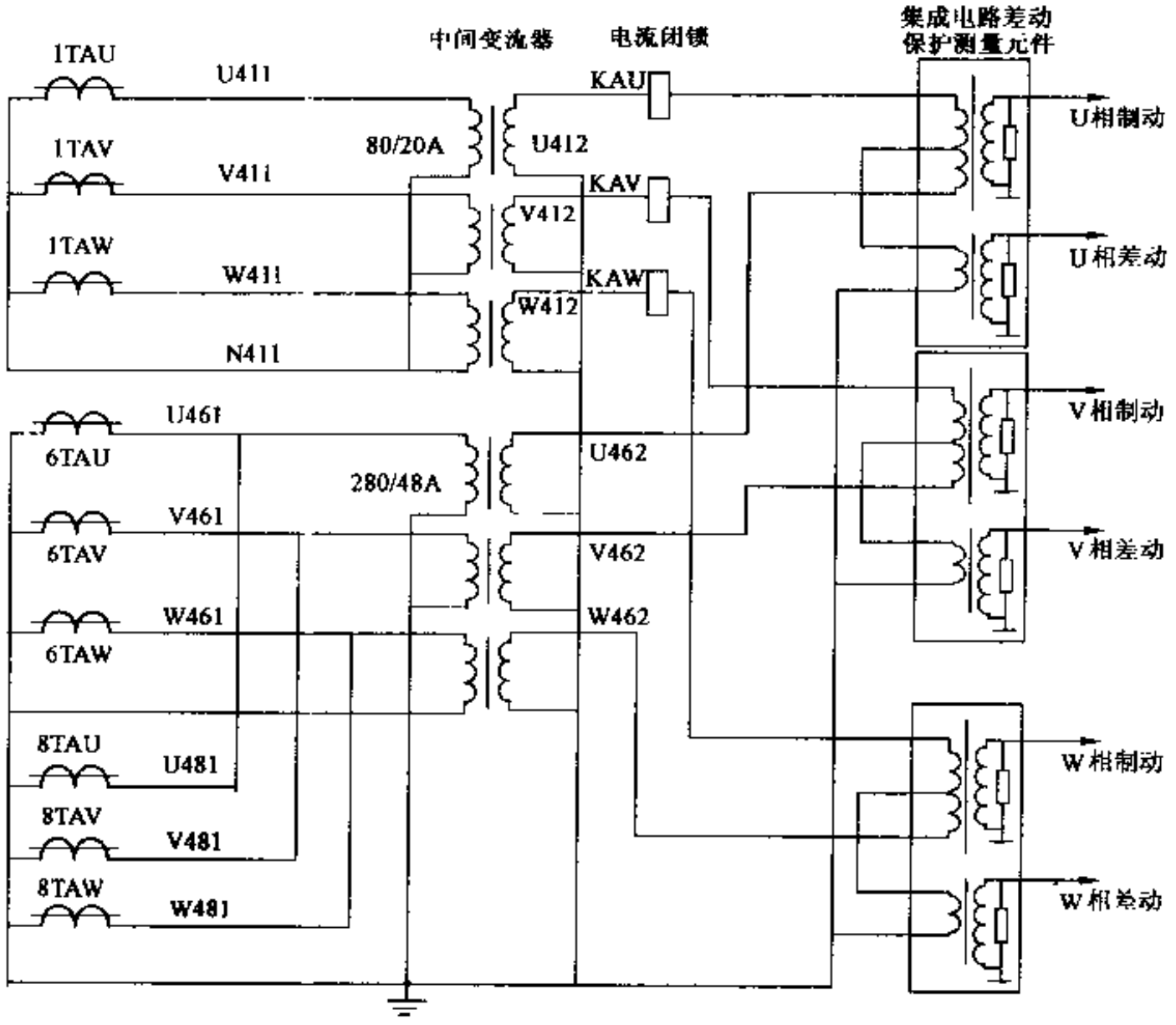


图3-12 厂用变压器差动保护的电流回路图

厂用变压器高、低压侧TA二次电流均经过中间变流器后送到集成电路保护的测量元件。

3. 集成电路差动保护的原理简介

装置内逻辑电路全部采用集成电路运算放大器作为主元件，其原理方框图见图3-13，原理逻辑图见图3-14。

以下结合原理方框图对本装置的电路工作原理进行介绍。

1）电流电压变换电路。

电流电压变换电路是将变压器各侧TA二次电流经变流器1TA、6TA、8TA隔离变换后，在其二次侧电阻上形成电压，该电压反映TA二次电流的大小及方向，为了提高变换器的精度，变换器输出电压经电压跟随器送到后面整流滤波电路，为调试方便，每侧电流

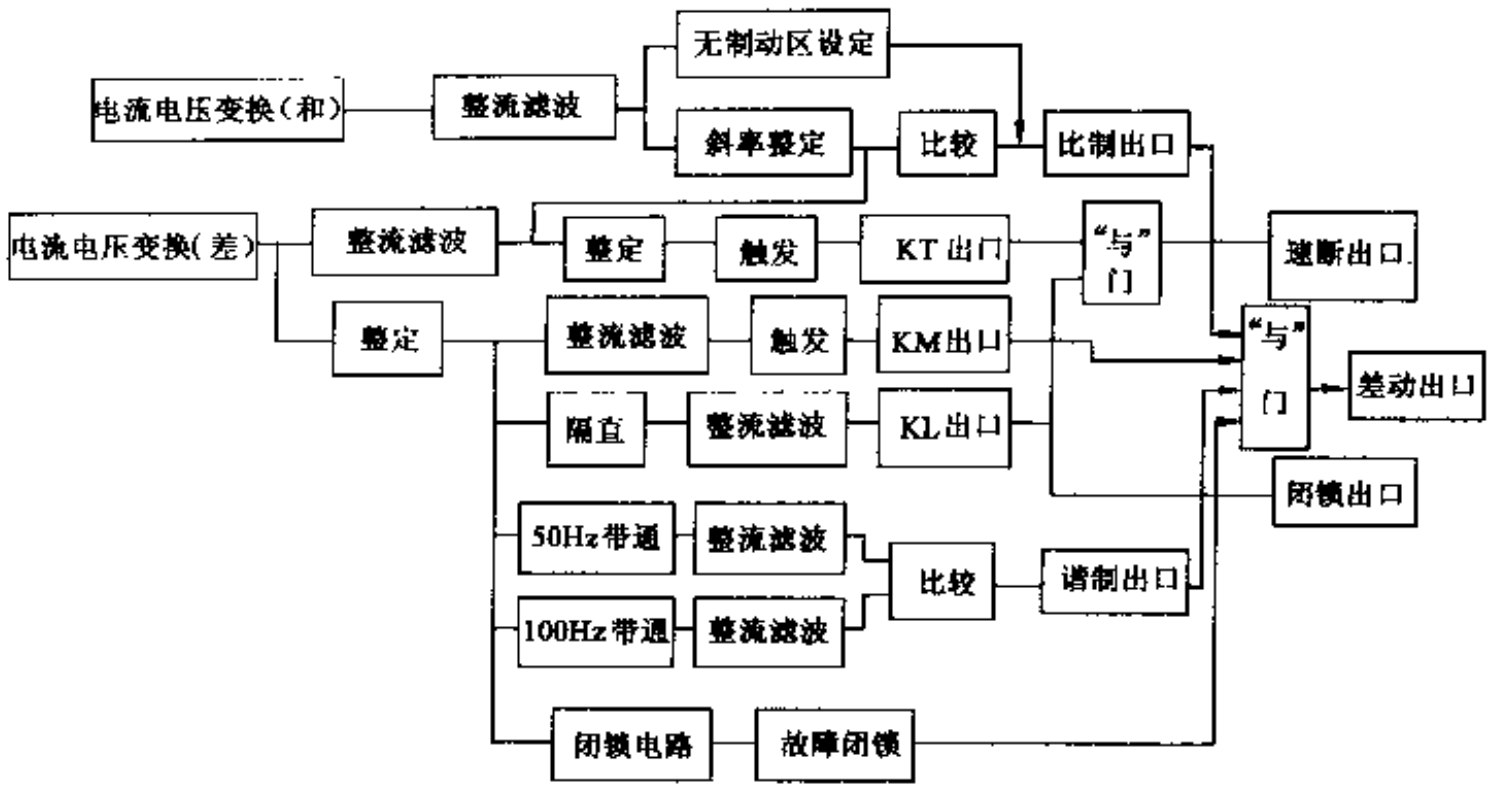


图 3-13　变压器差动保护装置原理方框图

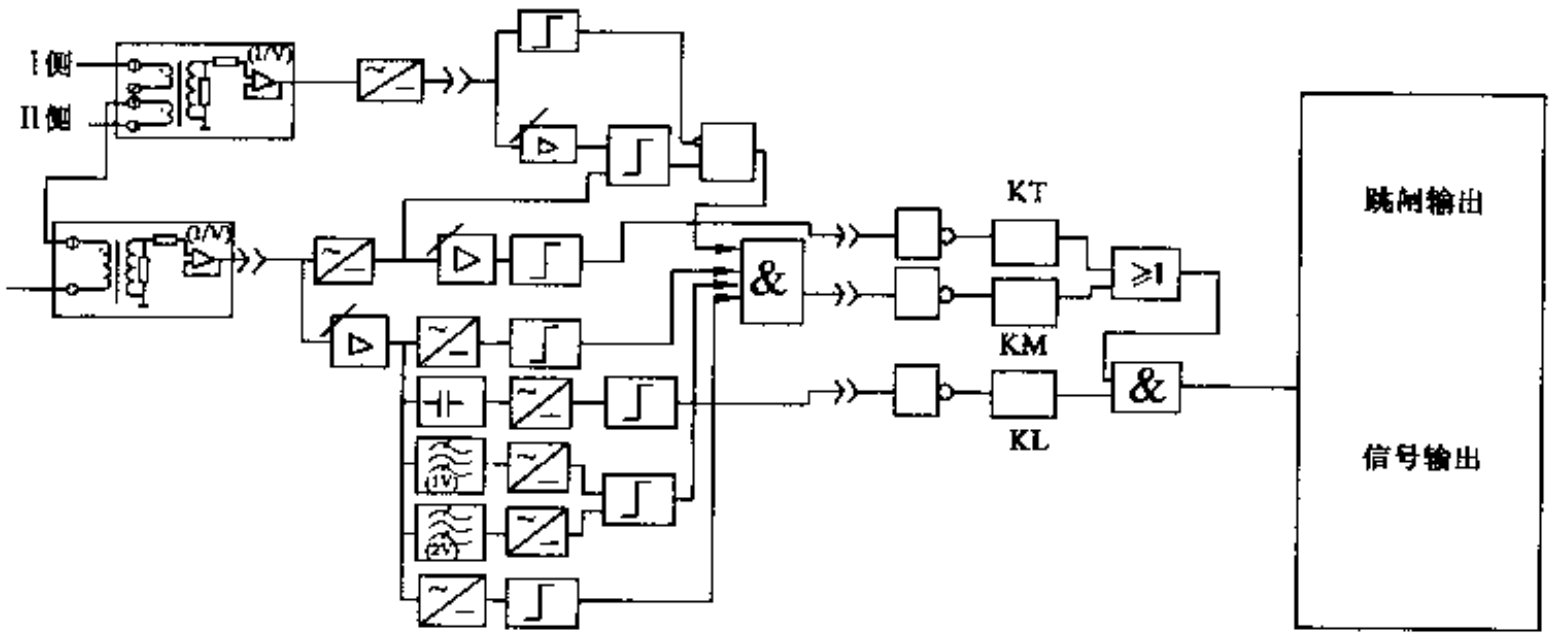


图 3-14　变压器差动保护装置原理逻辑图

电压变换后电压跟随器输出有引至面板的测试孔，以调整各侧变换器的一致。为提高保护的可靠性，电压跟随器输入接有同交流定值巡检装置配合的检测触点，从此触点可以向保护装置注入检测交流信号，以检查保护装置的工作性能。

2）整流滤波电路。

为了进行小信号的处理，装置全部整流滤波电路均采用由运算放大器组成的有源整流滤波电路。为分析方便，将该部分电路示于图 3-15。

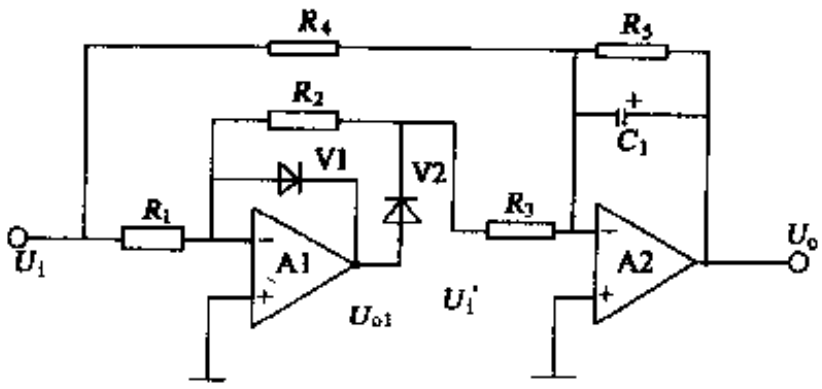


图 3-15　有源滤波电路图

该电路工作原理简述如下。

当 $U_i > 0$时，二极管 V1 导通，$U_{o1} \approx 0.7V$，

$U'_i \approx 0, U_o = -\frac{R_5}{R_4}U_i$ 。

当 $U_i < 0$ 时，二极管 V1 截止，V2 导通，此时有

$$U'_i = -\frac{R_5}{R_4}U, U_o = -\frac{R_5}{R_4}U_i - \frac{R_5}{R_3}U_i = R_5\left(\frac{R_2}{R_1R_3} - \frac{1}{R_4}\right)U_i$$

若选取 $R_1 = R_2, R_4 = 2R_3$，则有

$U_i > 0$ 时，$U_o = -\frac{R_5}{R_4}U_i$

$U_i < 0$ 时，$U_o = \frac{R_5}{R_4}U_i$

即 $U_o = -\frac{R_5}{R_4}|U_i|$

上面分析中没有计及电容 C_1 的滤波作用，如果认为 R_1、C_1 的时间常数足够，则 $U_o = -\frac{R_5}{R_4}|U_{iP}|$（$U_{iP}$为输入交流电压峰值）。

3）比率制动回路。

为了提高保护装置的动作选择性，在变压器外部故障时，装置采用比率制动原理防止差回路不平衡电流引起的装置误动作，比率制动取最大侧值参与制动，通过斜率整定，输出电平与差回路输出电压进行比较，比较的结果决定比率制动出口的状态。为了提高带比率制动特性差动保护装置内部故障时的灵敏度，装置在穿越电流小于额定电流时引入一段无制动区，无制动区的大小可以进行预先设定。

比率制动系数整定是通过改变运算放大器的输入电阻 R_i 来实现的，R_i 是按 BCD 码顺序排列的一组电阻。改变 R_1 即改变运算放大器的输出电压，亦即改变了制动量的大小，从而实现了比率制动系数的整定。

4）差动回路。

差动回路包括了原理方框图中的“差回路电流电压变换”、“整定”、“整流滤波”、“触发”、“KM 出口”等电路。

原理图中 TA3 的一次接于变压器 TA 二次差回路，正常运行情况下，差回路不平衡电流很小，当变压器发生内部故障时，差回路电流经电流电压变换成电压量，经动作值整定电路、整流滤波电路、触发电路使装置动作。

整定电路如图 3-16 所示。

接于运算放大器反馈臂上的电阻按 BCD 码排列，以个分位为例，排列顺序如下。

$$R_{\text{个}} = R_i, R_{\text{十}} = 0.5R_i, R_{\text{百}} = 0.25R_i, R_{\text{千}} = 0.125R_i,$$

设整定值为 0.7（标幺值），对应值为 1 + 2 + 4。

由运算放大器的关系式 $U_o = \frac{R_f}{R_i}U_i$

可知当插孔值和为 7 时 $U_o = \frac{R_{\text{个}}//R_{\text{十}}//R_{\text{百}}}{R_i}U_i = \frac{1}{7}U_i$

由此可见，按 BCD 码排列的 4 个反馈电阻，最高可整定到 1.5（标幺值），但作为一

般差动保护来讲整定到0.9。

触发电路十分简单，由运算放大器构成施密特触发器，调整电位器即可改变触发器的门槛电压，即是调整保护整定的基准值。改变触发器反馈电阻可以改变触发器的“窗口”宽度，即改变装置动作的返回系数。

当变压器内部故障时，触发器状态由正常时的低电平变成高电平此时“与”门各输入端状态均为“1”，则差动保护动作出口，并有动作显示就地信号。

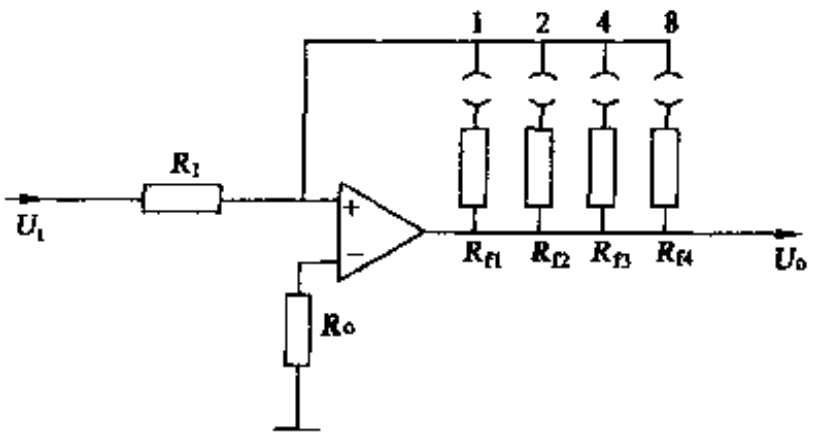


图 3-16　由运算放大器构成的整定电路

5）谐波制动回路。

谐波制动回路包括了50Hz、100Hz带通滤过器以及后面的整流滤波、比较及谐波制动出口电路。

50Hz、100Hz带通滤过器采用多端负反馈的二阶四节有源带通滤过器。通过对两个带通滤过器增益配置不同，实现差动保护谐波制动特性，以躲过变压器空载合闸的励磁涌流。

谐波制动回路的比较器比较两个带通滤过器的输出，决定谐波制动出口的状态，正常情况下，因差回路总有很小的不平衡电流，50Hz带通滤过器输出使零比较器输出高电平，当变压器空载合闸时，由于励磁涌流中包含了以二次谐波为主的高次谐波分量，100Hz带通滤过器整流滤波输出大于50Hz带通回路，零比较器输出低电平，经过谐波制动出口将“与门”闭锁。

6）元件故障闭锁电路。

为了提高保护装置的可靠性，装置设置了元件故障闭锁电路，其原理是：考虑到集成运算放大器如出现故障一般现象为输出端跃变到正或负电源电平。利用这个特性，为了简化闭锁电路，装置在“差回路”整定电路后采取两套电路（KM、KL），其中作为闭锁回路头部经电容隔离直流，差动出口取决于KM、KL两个回路“与”，当某一路出现故障时即可发出元件故障信号。当该回路前边电路（变换、整定）出现过渡性故障（故障元件输出端渐变到正或负电源电平），由于电容的隔直作用，闭锁回路也不出口，由KM回路发出元件故障信号，当前边电路故障输出电位跃变到正或负电源电平时，瞬时闭锁电路将差动出口闭锁，并且发出元件故障信号。

7）巡检功能。

以上介绍的元件故障闭锁，只是针对防止元件故障时使保护装置误动的现象，对于装置在元件发生故障时拒动情况和装置正常运行时性能检查是通过“继电保护装置交流定值自动巡回检测装置”来实现的。

检测顺序是分步进行的，而且可以在巡检装置内任意设定检测顺序，其检测结果由巡检装置的外设打印机打印出来。

当全部检测步骤进行完毕，由保护装置出口回路发出步进信号，巡检装置即步进到下

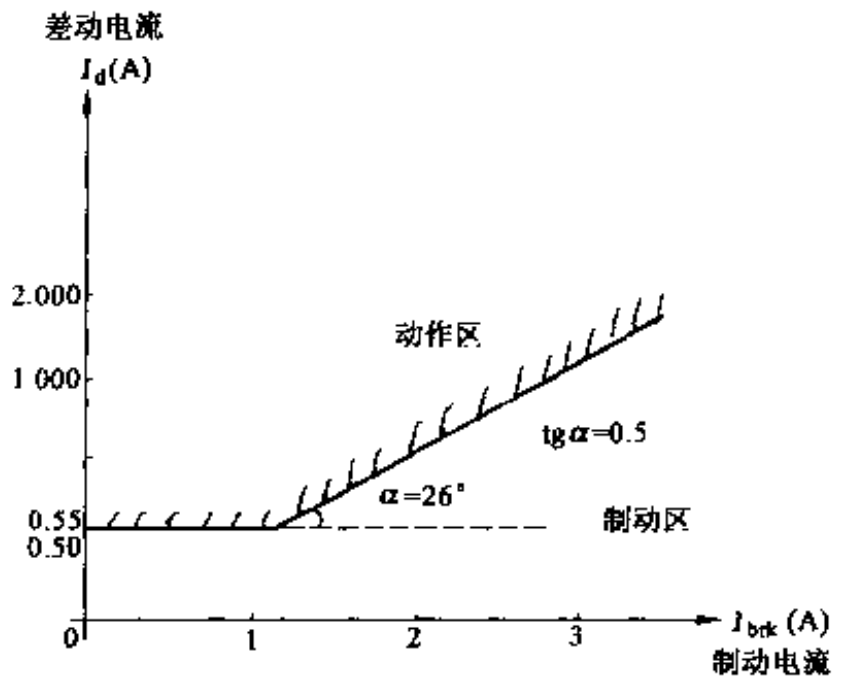


图 3-17　差动保护的比例制动特性曲线

一个装置。

4. 厂用变压器保护的有关定值

高压厂用变压器差动保护的有关定值如下。

最小动作电流：$I_{opmin}=0.55A$。

比例制动系数：$k_{brk}=0.5$。

比例制动曲线拐点：$I_{brk0}=1.10A$。

差动速断保护：$I_{qb}=6.30A$。

三相电流闭锁：$I_L=50.00A$。

由以上定值可得比例制动部分的特性曲线如图 3-17。

在给出的定值中，各参数接中间变流器二次侧的数值，因此对保护整定及调试时，都应该注意以免出错。

三、对保护的检查

1.TA 的 V—A 特性检查

高压厂用变压器高压侧 TA 的 V—A 特性检查结果见表 3-2，低压侧 TA 的 V—A 特性见表 3-3。

表 3-2　　**高压厂用变压器高压侧 TA 特性**

I（A）		0.10	0.12	0.14	0.20	0.30	0.50
U（V）	U 相	107	126	143	164	170	171
	V 相	108	132	145	159	168	170
	W 相	107	132	147	161	167	170

表 3-3　　**高压厂用变压器低压侧 TA 特性（6301 开关）**

I（A）		0.10	0.20	0.50	0.80	1.00
U（V）	U 相	57	64	72	75	75
	V 相	40	44	61	73	76
	W 相	57	65	75	78	79

试验结果正常。

2.TA 的二次回路阻抗测试

实测 TA 的二次回路阻抗，测试情况列入表 3-4。

表 3-4　　**TA 的二次回路阻抗值**

相别	U 相	V 相	W 相	相别	U 相	V 相	W 相
厂用变压器高压侧	1.84Ω	1.84Ω	1.85Ω	厂用变压器低压侧	1.20Ω	1.22Ω	1.22Ω

试验结果正常。

3. 中间变流器的特性检查

高压侧中间变流器的试验数据见表 3-5，低压侧的数据见表 3-6。

表 3-5　　高压侧中间变流器的试验数据

一次电流 I_1（A）		10	20	30	40
二次电流 I_2（A）	U 相	2.5	5.0	7.5	10.0
	V 相	2.5	5.0	7.5	10.0
	W 相	2.5	5.0	7.5	10.0

表 3-6　　低压侧的数据

一次电流 I_1（A）		10	20	30	40
二次电流 I_2（A）	U 相	1.7	3.4	—	6.8
	V 相	1.7	3.4	—	6.8
	W 相	1.7	3.4	—	6.8

一、二次电流最大相位差，3°。

试验结果正确。

4. 保护定值及特性检查

（1）差动速断：$I_{qb}=6.3$A 与定值相符。

最小动作电流：U 相：$I=0.55$A；V 相：$I=0.55$A；W 相：$I=0.56$A

结果与定值相符。

（2）比例制动特性。

比例制动的特性数据见表 3-7，曲线见图 3-18。

表 3-7　　比例制动的特性数据

制动电流（A）		0	0.4	0.8	1.0	1.2
动作电流（A）	U 相	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	V 相	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	W 相	0.56	0.55	0.55	0.55	0.55
制动电流（A）		1.3	2.0	3.0	4.0	5.0
动作电流（A）	A 相	0.67	0.84	1.40	1.84	2.38
	B 相	0.57	0.88	1.36	1.85	2.32
	C 相	0.63	0.93	1.37	1.79	2.34

试验结果正确。

5. 保护的冲击试验

经过计算，在输煤电缆上发生故障时，流到 6TA 二次侧的短路电流约为 45A，因此决定用较大数值的电流对保护进行冲击试验。

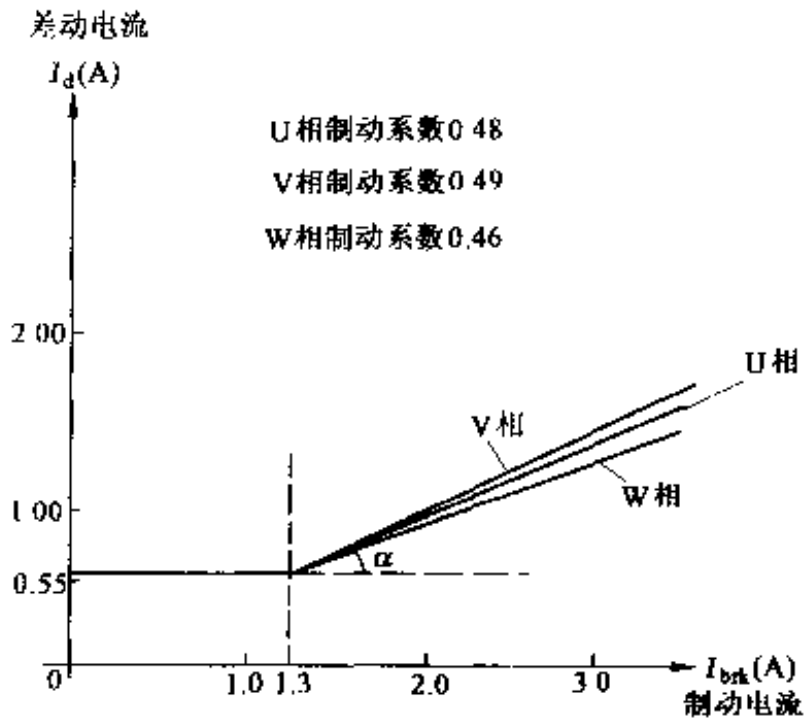


图 3-18　实测的制动特性曲线

在辅助变流器二次侧加 15A 的电流，模拟区外故障进行冲击试验时，保护行为正常。将电流升到 40A 时，U、W 两相的行为正常，但是 V 相保护在冲击电流切断时误动作。连续多次试验的结果不完全一样，有时保护不误动，有时误动。试验电路的接线如图 3-19。经过中间变流器变换后，高压侧输入保护 10A，低压侧输入 6.86A，差值为 3.14A。

四、保护误动作的原因分析

前面曾述及关于 TA 及中间变流器的试验内容，对试验的结果分析可知，差动保护的误动作不是因为 TA 饱和所造成的，因为厂用变压器高压侧 TA 二次流过的短路电流为 29.4A 约为额定电流的 6 倍（29.4/5 = 5.88），根据其二次负载 1.8Ω 及 V—A 特性所得出的 TA 的不饱和电流的倍数约为 18 倍的额定电流，所以不存在饱和问题。对于厂用变压器低压侧 TA，其二次流过的短路电流为 45A 是额定电流的 9 倍（45/5 = 9），根据其二次负载 0.825Ω 及 V—A 特性所得出的 TA 的不饱和电流的倍数约为 12 倍的额定电流，所以也不存在饱和问题。由此否定了 TA 饱和所导致的差动保护误动作的推断。保护的静态特性良好，定值无误，不会导致保护的误动作。

1. 保护是在外部故障切除时误动作的

保护的外部故障模拟试验提供了分析的依据。在冲击电流被切断时保护误动作，其冲击电流的被切断与高压厂用变压器外部故障的被切除是一致的；输煤电缆线的电缆头短路，其速断保护动作，6316 断路器跳开，短路故障被切除，短路电流消失，此时电流的变化情况与冲击试验电流被切断的过程比较如下。

外部故障时，差动保护制动回路中流过的电流为厂用变压器两侧短路电流的和 29.4/（80/20）+ 45/（280/48）= 15A，差动回路中流过的是不平衡电流。

加电流冲击试验时，差动保护的制动回路中流过的电流为：40/（80/20）+ 40（280/48）= 16.86A，差动回路中流过的是以上两电流之差，即 3.14A。

在外部短路时，虽然不能测量不平衡电流的数值，但是不平衡电流肯定存在，而且区外故障与模拟试验两种情况相类似，亦即如果试验时冲击电流被切断时保护误动

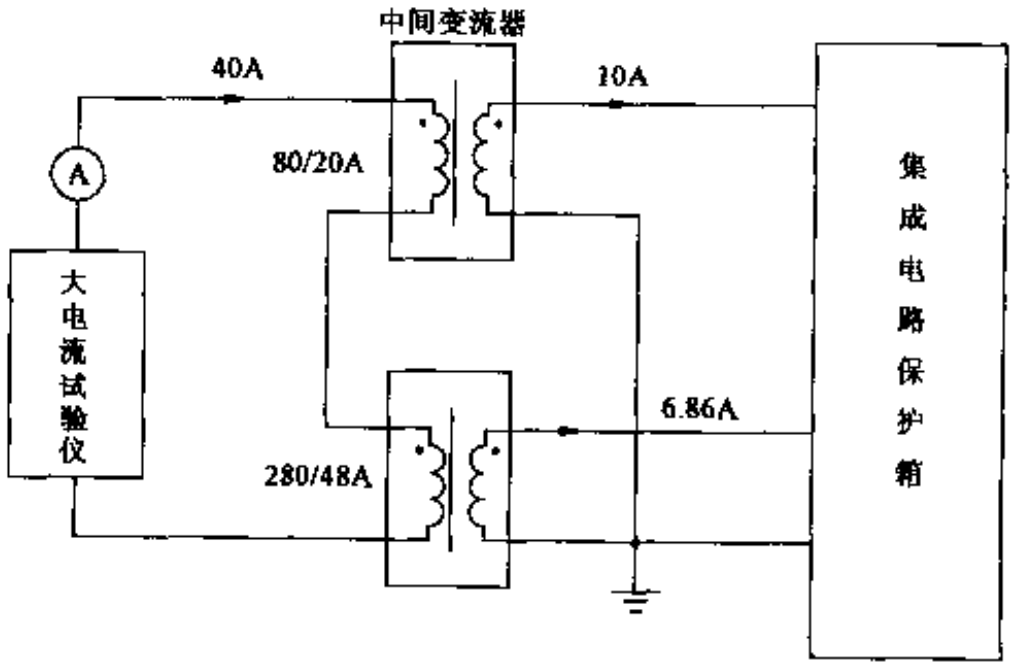


图 3-19　模拟区外故障时的试验接线与电流

作，则外部故障电流切断时保护也会误动作。

2. 制动回路先于差动回路返回是保护误动作的根本原因

差动保护的原理方框图已在前面做了介绍，其制动与差动回路是由电阻、电容以及运算放大器构成。两个电路的动作及返回都需要时间，在冲击试验时，制动回路返回在后，差动回路返回在先，则保护不会误动作。当制动回路先于差动回路返回，且时间差大于保护的动作时间时，保护误动作。保护的试验测试点及动作时录波图形见图 3-20。在图 3-20 中，t_1 时刻制动回路返回，t_2 时刻差动回路返回。如果 $t_2 - t_1 >$ 出口元件的动作时间，则保护出口继电器动作。

从保护的试验结果看出，差动保护的制动回路与差动回路的相对返回时间很不稳定。这证明差动保护中有元件特性出现偏差，尽管其静态特性表现良好，但其动态特性却不能满足要求。

五、采取的措施

1. 备用电源自投保护拒动问题的处理

备用电源自投拒动的原因经检查其动作回路，系开关辅助触点接触不良，将触点处理后，试验正常，在此不再多加叙述。

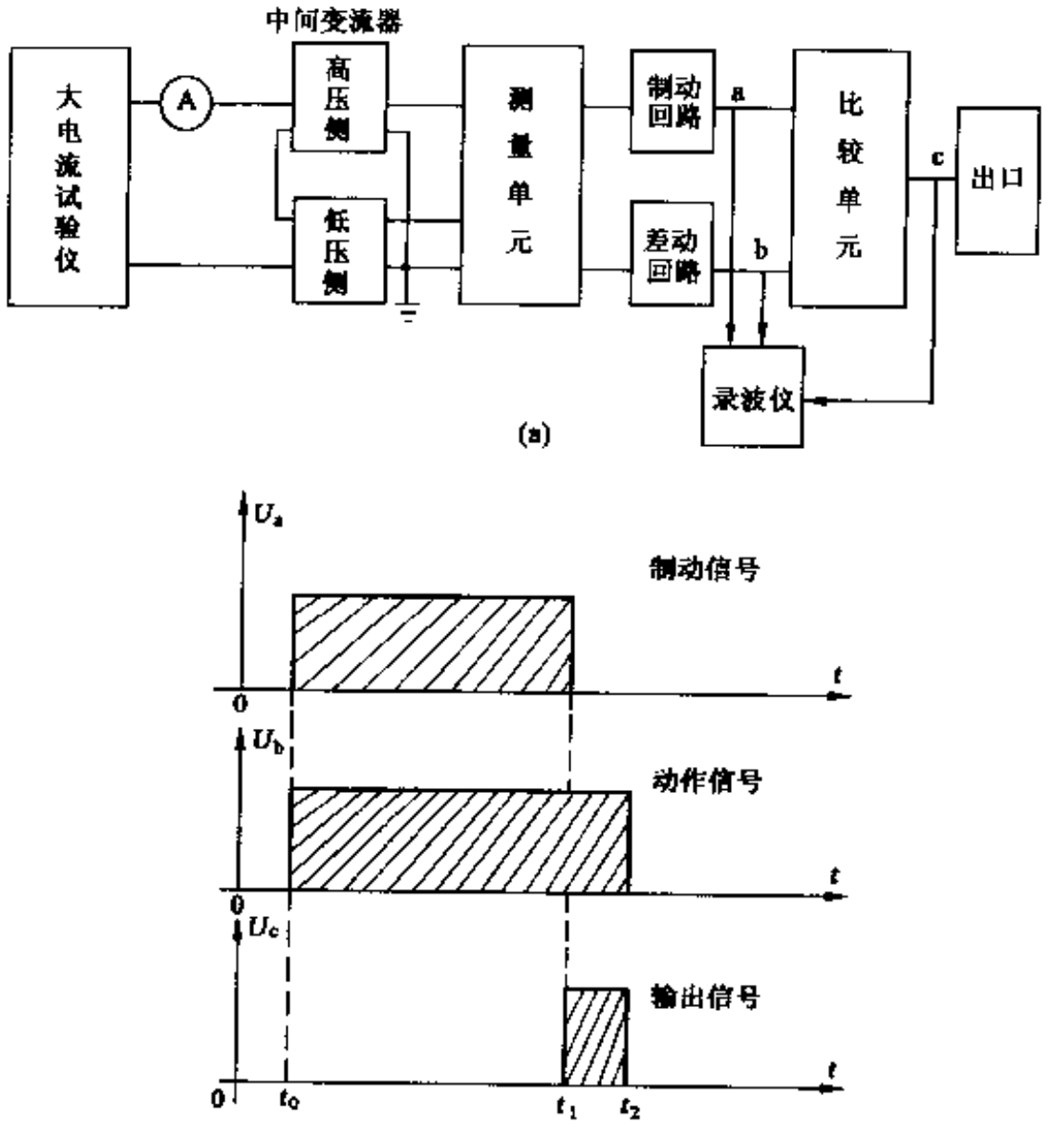


图 3-20　保护误动作时的电位测试

（a）试验接线与测试点；（b）波形图

2. 差动保护误动作问题的处理

根据上述分析，保护的误动作是由于集成电路元件的特性不稳定所致。从原则上讲更换其特性变换的元件可解决问题。但是在现场的测试手段有限，所以采取了更换插件的措施，更换一只备用插件，将定值参数都调到要求的水平上，投入运行，将换下的插件返厂修理。

第三节　DQ发电厂2A高压厂用变压器差动速断保护误动作

一、故障现象

DQ发电厂在XX年10月13日下午4时07分，6kVⅡA母线发生W、U相接地故障，2A高压厂用变压器(以下简称高厂变)差动速断保护误动作跳闸。故障点的位置见图3-21。

二、差动保护的原理与接线

2A高压厂用变压器差动速断保护的TA接线如图3-21，差动保护电流回路接线如图3-22所示。

所采用的差动保护的原理简介见本章第二节。

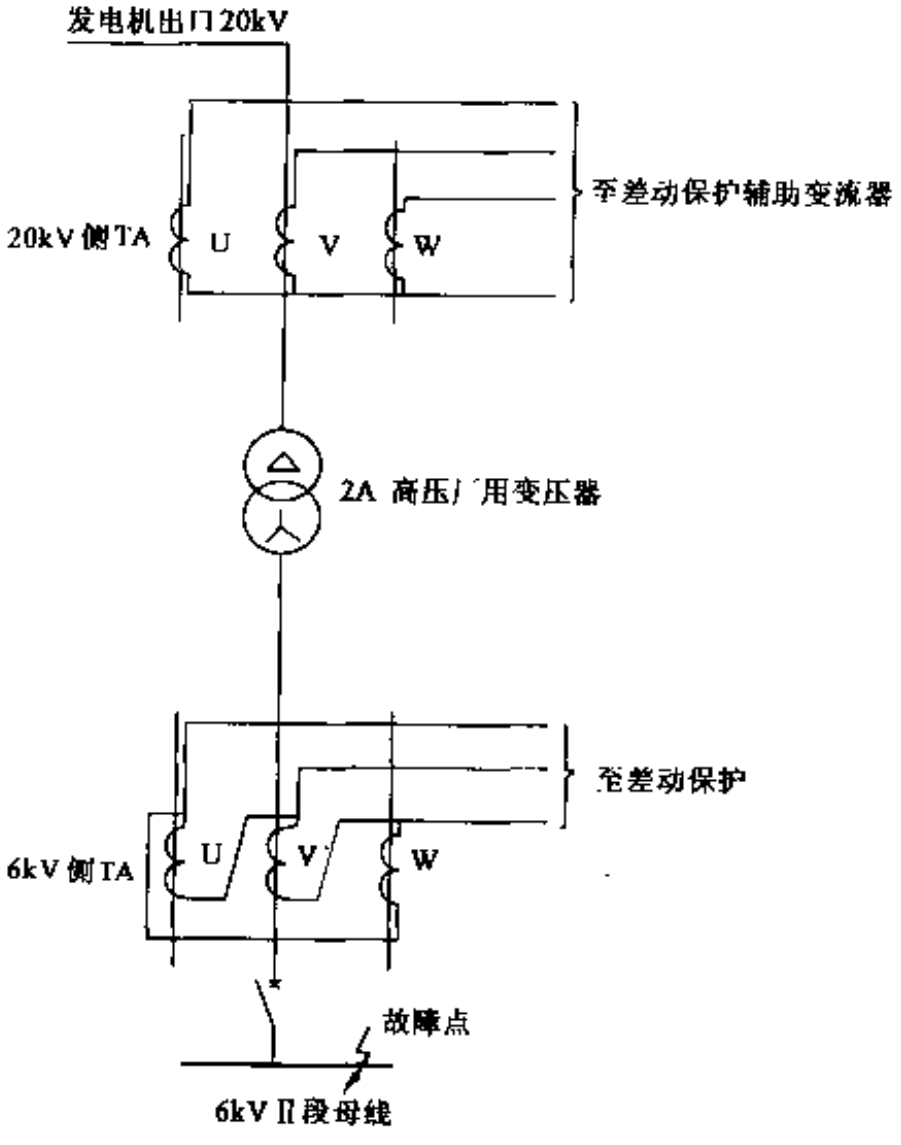


图 3-21　TA的原理接线图

三、故障的检查过程

1. 差动保护检验

(1) 定值检查。保护的电流差动元件、速断元件及TA断线闭锁元件的定值检查结果与定值单相符合。

(2) 保护逻辑关系检查。从保护端子处加电流，检查保护的整组逻辑关系正常，指示信号正确无误。

2. 二次回路绝缘检查

对TA二次回路的绝缘检查结果正常。

3. 接线完整性检查

在保护屏后发现差动回路中20kV侧TA二次侧的辅助变流器的中性线与电流互感器的中性点没有连通接地，这与设计图纸及差动保护的原理要求不符。

四、原理分析

从理论上讲，辅助变流器的中性点

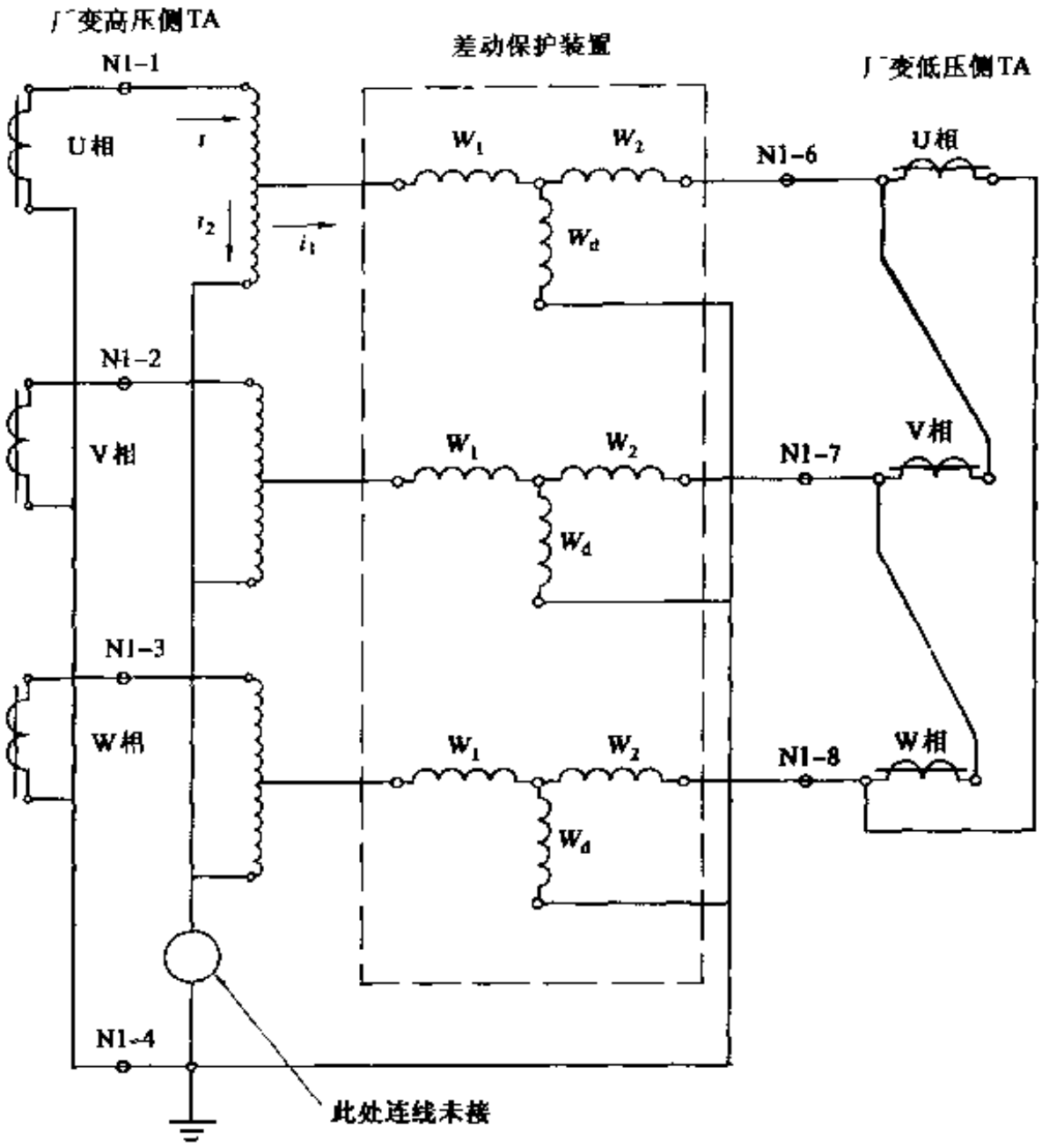


图 3-22　差动保护原理接线图

不与电流互感器二次侧的中性线连通，在一次系统出现故障时，对差动回路的平衡影响很大。因为辅助变流器的输入电流 $i = i_1 + i_2$，其中是经过辅助变流器的中性线返回 TA。中性线的断开，必然使 $i_2 = 0$，$i = i_1$，使 TA 的二次电流全部进入差动继电器中。这样，差动绕组中两侧的输入电流本来可以相互抵消，此时却不能，当不平衡电流达到定值时，差动保护就动作跳闸。这就是 6kV Ⅱ 段母线 W、U 相故障时变压器速断保护误动作的原因。

五、采取的措施

将辅助变流器中性点与 TA 中性线在保护屏端子排处相连接。

第四节　DNR发电厂 6 号炉变压器瓦斯保护误动作

一、故障现象

1989 年 9 月 28 日 X 时 35 分，DNR 发电厂 6 号炉变压器两侧断路器同时跳闸，信号指示如下：6 号炉变压器的瓦斯保护动作，备用电源自投动作，备用电源自投成功。

二、瓦斯保护的原理接线

6 号炉变压器瓦斯保护的接线与常规的瓦斯保护接线一样，比较简单，见图 3-23。

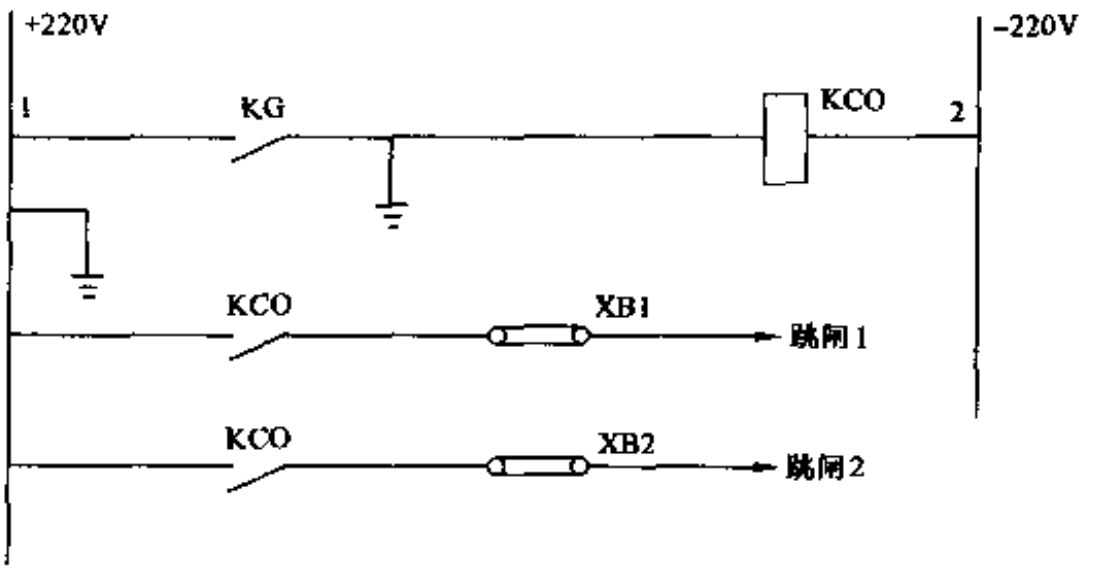


图 3-23　变压器瓦斯保护的接线与误动原因分析

KCO—保护出口继电器；KG—变压器气体继电器

三、故障的查找过程与分析

瓦斯保护是变压器的主保护之一，其主要特点是结构简单、动作可靠。检查结果表明：变压器跳闸过程中，系统没有异常，电流电压没有波动，所以最后还是把注意力集中到瓦斯保护上。对瓦斯保护进行了以下检查工作。

1. 瓦斯保护回路绝缘检查

将气体继电器二次线拆开，用 1000V 兆欧表测量绝缘电阻，结果如下。

（1）正电源对地的绝缘检查。正电源对地绝缘电阻为 0，结果不正常。

（2）瓦斯回路对地的绝缘检查。瓦斯回路对地 > 400MΩ，结果正常。

2. 气体继电器检查

（1）气体继电器绝缘检查。气体继电器跳闸端子对外壳绝缘电阻为 0，跳闸回路的绝缘不正常。

（2）外观检查。进一步对继电器检查发现，触点的绝缘塑料老化受损，使绝缘电阻降低而接地，又逢直流系统正极接地故障，从而沟通了瓦斯保护出口继电器起动的通道，使出口继电器动作于跳闸。

四　采取的措施

1. 加强绝缘的措施

在气体继电器内部引线上增加绝缘套管。

2. 定检时的绝缘检查。

在定检时对气体继电器应用 2500V 兆欧表测量其绝缘电阻，以便及时发现存在的问题。

第五节　ZSR变电站微机保护故障的分析及处理

一、故障现象

SMP型微机保护是配合监控系统为110kV及以下变电站研制的微机型继电保护，该保护在试验及试运行期间曾经出现过以下问题。

1. 显示字码错误

保护的显示器采用8段式数码显示器，试运行过程中曾出现显示字符与设置不符的错误现象，当保护重新写入定值以后，显示器显示恢复正常。

保护也曾出现过显示一半字符的错误，将装置复位后显示正常。

2. 采样值出现偏差

保护装置运行一段时间后，其采样的数值与输入的电流电压值差别较大，将装置复位后则显示数值恢复正常，但是运行一段时间后仍出现偏差，明显地表现为一种积累的误差。

3. 差动保护误动作

试运行过程中差动保护误动作也是由于采样积累误差造成的。

4. 线路保护送直流时误动作

10kV线路保护在送直流电源时曾出现过误动作的问题。

5. 冲击试验时出现死机的问题

在进行保护的冲击试验时输入10倍的额定电流值。保护曾经出现死机现象，死机的概率为50%。

针对以上问题，从硬件软件上采取了不同的措施后，保护的运行转入了正常。

二、保护的原理与电路分析

1. 概述

SMP型110kV及以下变电站微机保护装置由以下几部分组成。

(1) 变压器保护装置一套。

(2) 线路保护装置二套。

(3) 电容器保护一套。

(4) 备用电源自投装置一套。

(5) 母线保护装置一套。

保护装置采用插件式结构，共有插件9种，分别是：DY，逆变稳压电源插件；JL，交流输入插件；AD，模数转换插件；PCPU，保护单片机插件；MCPU，管理用单片机插件；JK，开入开出接口插件；CZ，跳合闸操作出口插件；ZH，输入接点转换插件；EXIT，通讯用扩展插件。根据不同功能需要选用插件进行组合。这种插件插入式设计具有广阔的应用前景。插拔方便，能够互换。印制板背后的接插件采用了双路并列的方式以增加接触

面积减少接触电阻，防止在运行中出现的接触不良或开路。插件的面板采用铝合金材料，可以提高电磁抗干扰能力。

SMP 型 110kV 以下变电站各微机保护核心部分的 CPU 插件是相同的，不同的保护配以不同的程序，但插件板上的键盘、显示器及运行方式开关的规定都是统一的，方便运行操作和调试维修。利用 4 位运行开关，可以将 CPU 置于“运行”、“整定”、“调试”三种不同的状态。每种方式下，6 位显示器先显示出有关的信息帮助人们的工作，同时运用键盘输入所需的信息，完成人机对话。从根本上解决了常规电磁型保护的调试维修复杂的问题。

该保护的铝合金机箱内配有塑料导轨，具有柔性，方便拆装。插件的退出有专用的钥匙。电流输入回路具有带短路功能的接插器，增加了可靠性。

为了防止保护误动，提高抗干扰能力，微机保护采取了一系列的措施。

a. 保护的交流电流电压输入回路，直流控制电压输入回路，保护电流输入回路都设置有抗干扰端子，对外部操作及短路瞬间的干扰具有抵制作用。

b. 交流电流、电压变换器一、二次之间设有屏蔽层并接地，对干扰信号的传变起隔离作用。

c. 在交流电流、电压变换器的二次侧设有一级低通滤波电路，以阻止高次谐波的通过。设置情况如图 3-24。

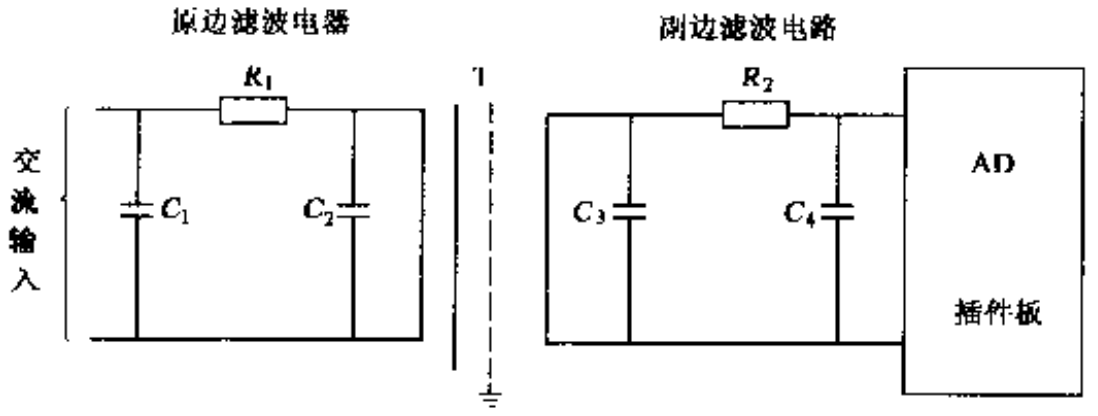


图 3-24　滤波电路的设置

d. 程序中也采取了抗干扰的措施。保护的基本构成见图 3-25。

2. 主要技术性能和指标

（1）变压器保护。

1）技术性能。

变压器差动保护配有 6 个变流器，分别将变压器两侧的各相电流引入，对变比带来的误差从软件上进行补偿，达到平衡的目的。

为了防止变压器空载投入和外部故障切除后电压恢复时差动保护的误动，设计了二次谐波制动和直流分量比例制动特性。其动作的制动回路中均设有数字滤波环节。与一般滤波相比，数字滤波有以下优点：能很理想地实现数字模型所建立的功能；对有用的信号可以不衰减；迟滞效应比较小。

变压器瓦斯保护也是主保护，为了保证所采集的信号的正确性，加入了一级快速转换中间 ZH 插板，其输入回路为直流 220V 操作，触点转换后再经光耦隔离送到保护中去。

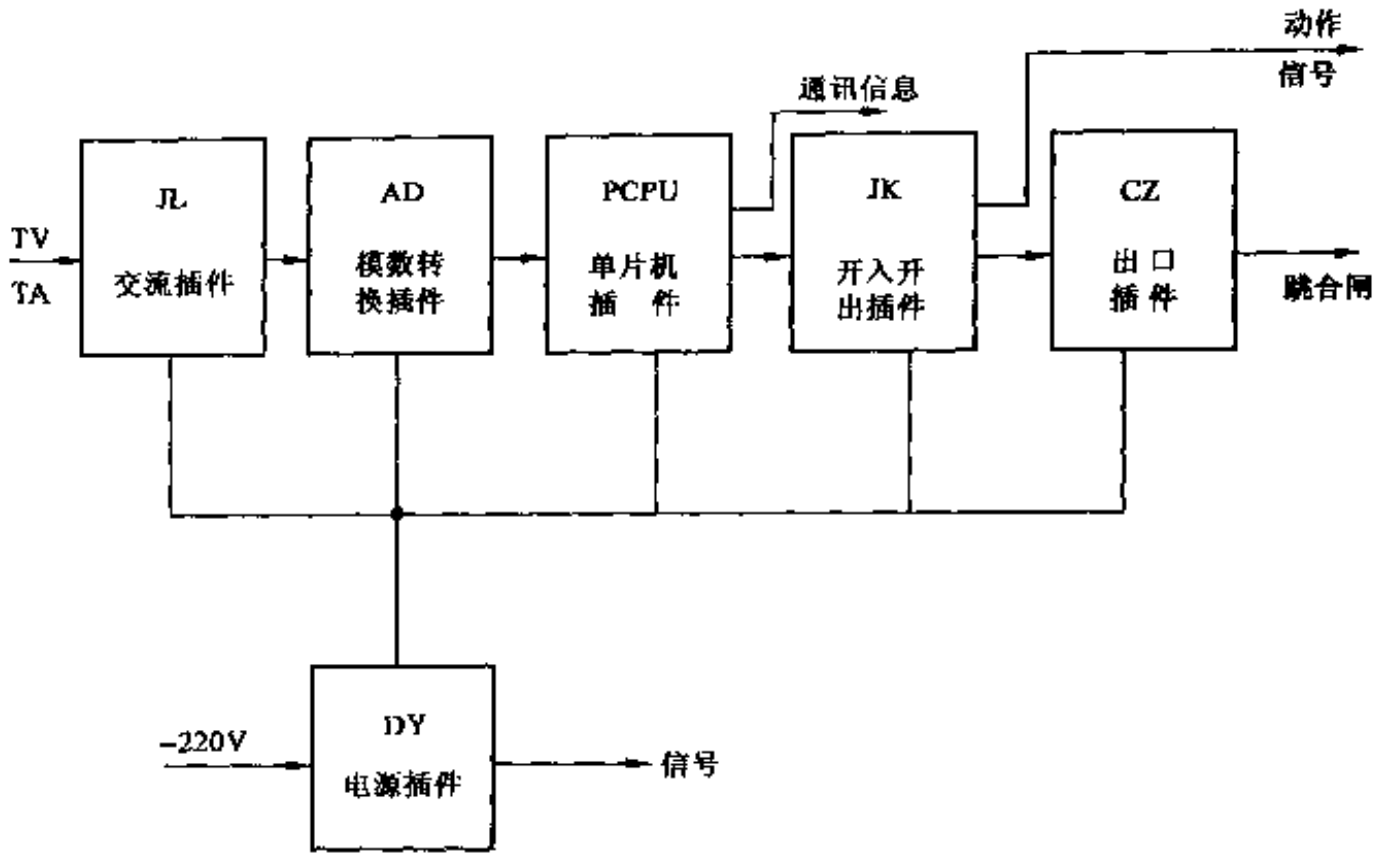


图 3-25 保护的基本构成

2）技术指标。

差动定值范围：0.2～20A；级差 0.1A，误差 < ±5%。

过流定值范围：0.4～40A；级差 0.1A，误差 < ±5%。

过负荷定值范围：0.2～20A；级差 0.1A，误差 < ±5%。

差动保护制动系数：kz = 0.4，0.5，0.6，0.7。

无制动选：1～1.2I_N。

差动保护动作时限：在二倍定值下 ≤50ms。

瓦斯保护动作时限：≤30ms

(2) 线路保护。

1）技术性能。

线路保护由速断、过流、重合闸三部分组成，装置的跳、合闸输出经过屏上的面板来控制投切。10kV 线路的重合闸是按三相一次重合的方式设计的，起动的条件有两个：一是保护动作输出，二是开关跳开，断路器辅助闭触点闭和。

重合闸具有以下功能：当线路故障开关跳开后进行一次重合，如是瞬时性故障则重合成功，若是永久性故障则加速跳闸，不再重合；手动合闸于故障线路时能加速跳开，不进行重合；手动跳闸时不进行重合。

2）技术指标。

速断整定范围：0.5～50A，级差 0.5，误差 < ±5%。

过流整定范围：0.2～20A，级差 0.1，误差 < ±5%。

过流延时整定范围：0.1～2s，级差 0.1s，误差 < ±5%。

速断动作时间：1.2 倍定值时，小于 30ms。

返回系数：0.9～0.95。

重合闸延时：0.1～2s，级差0.1s，误差＜±5%。

一次重合闸脉冲宽度：200ms，±5%。

后加速记忆时间：1s，±5%。

(3) 电容器保护。

1) 技术性能。

电力电容器在防止系统过电压及线路故障切除后电压恢复造成过压的同时，还要防止低电压及内部故障，因此电容器保护采用过电压、低电压及过电流三种判据。

2) 技术指标。

过压整定范围：60V～100V，级差2.5V，误差＜±5%。

过压延时时限：0.2～2.0s，级差0.1s，误差＜±5%。

低压整定范围：5～50V，级差2.5V，误差＜±5%。

低压延时时限：0.2～2.0s，级差0.1s，误差＜±5%。

过流整定范围：0.2～20A，级差0.1A，误差＜±5%。

过流延时时限：0.2～2.0s，级差0.1s，误差＜±5%。

返回系数：低压1.05～1.10，过压及过流0.9～0.95。

(4) 备用电源自投（AAT）。

1) 技术性能。

备用电源自投的判据：工作电源进线故障跳闸，备用电源进线有电压，以上两个条件同时满足才能起动AAT。

若工作电源母线失压则AAT躲开保护跳闸时间再对进线开关进行重跳。

若AAT投备用线于故障时能加速断开母联开关。

手动跳开工作进线开关时，AAT不应起动。

AAT的投切可用屏上压板进行。

2) 技术指标。

低电压整定范围：4～40V，级差2V，误差＜±5%。

过电压整定范围：40～60V，级差5V，误差＜±5%。

过电流整定范围：0.2～20A，级差0.1A，误差＜±5%。

低压延时范围：0.4～4.0s，级差0.1s，误差＜±5%。

过流延时范围：0.2～2.0s，级差0.1s、误差＜±5%。

(5) 母线保护。

1) 技术性能。

母线保护按单母线分段的结构设计，保护中设有电压闭锁元件，差动电流起动元件，差动电流元件。母线保护在母联开关投入时具有选择故障母线段跳闸的功能；当母联退出后，母线保护失去选择性，实现快速全部跳闸。

2) 技术指标。

低电压整定范围：4～40V，级差2V，误差＜±5%。

起动元件整定范围：1～10A，级差0.1A，误差＜±5%。

差动元件整定范围：2～20A，级差0.1A，误差＜±5%。

动作时间：在2倍定值下＜40ms。

3. 保护的软件部分

保护的软件部分的流程图见图3-26。

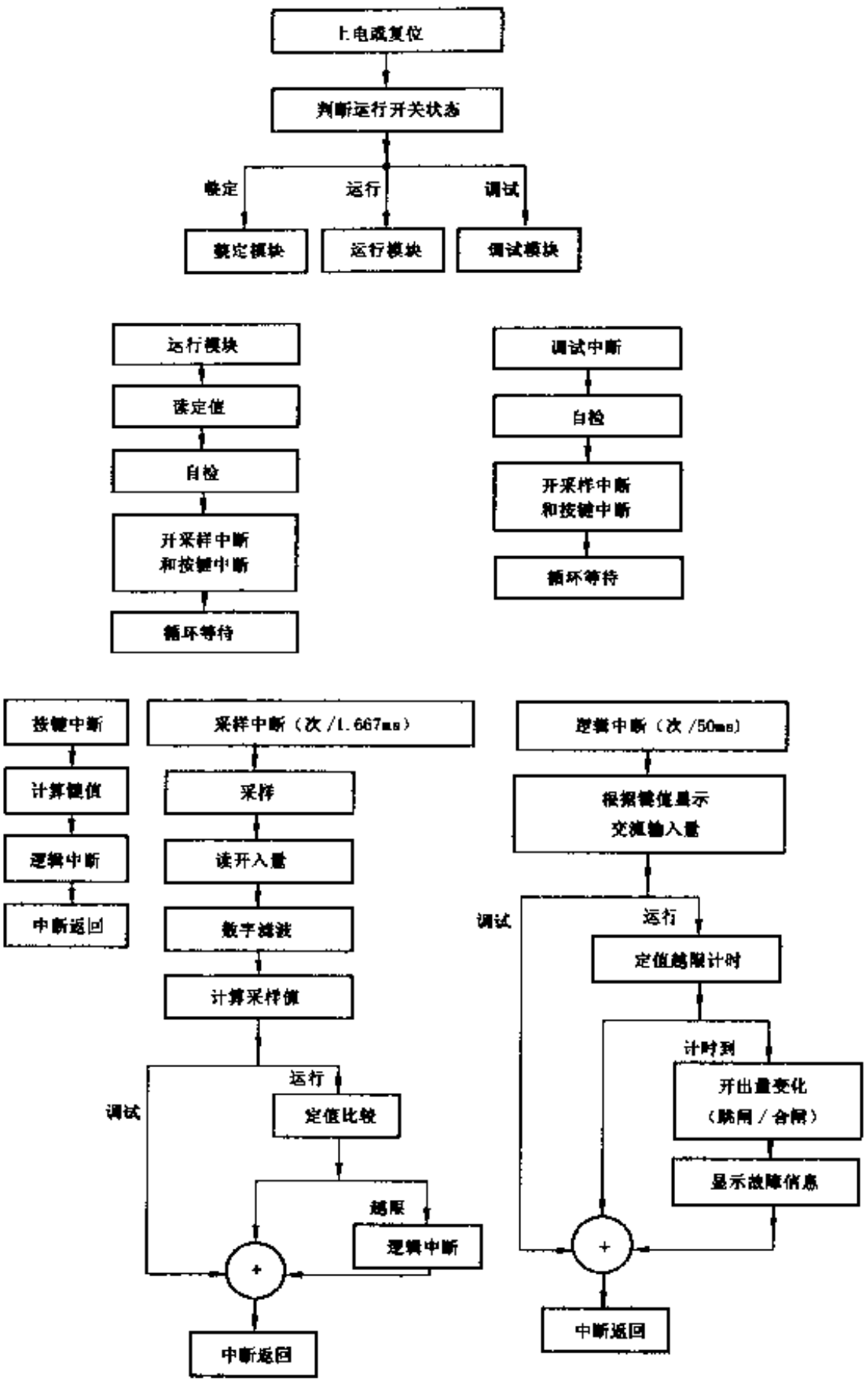


图3-26　保护的软件流程图

4. 保护CPU插件简介

CPU插件原理电路图见图3-27。保护的数模转换计算和逻辑运算全部由CPU插件来完成，其中U1为单片机，内部包含随机存储器RAM，一个串行口，三个软件定时器，一个4通道A/D转换器。U3为一片EPROM，用于存储保护的程序。U4为EEPROM，用来存

放整定值。U5 为键盘和显示器的管理芯片。U1 的高速输出口与并行口 U7 联接，译码后推动出口段的出口继电器，还通过并行口将开入量的信息引入。通讯工作靠 U1 直接完成或经串行口 U9 完成。

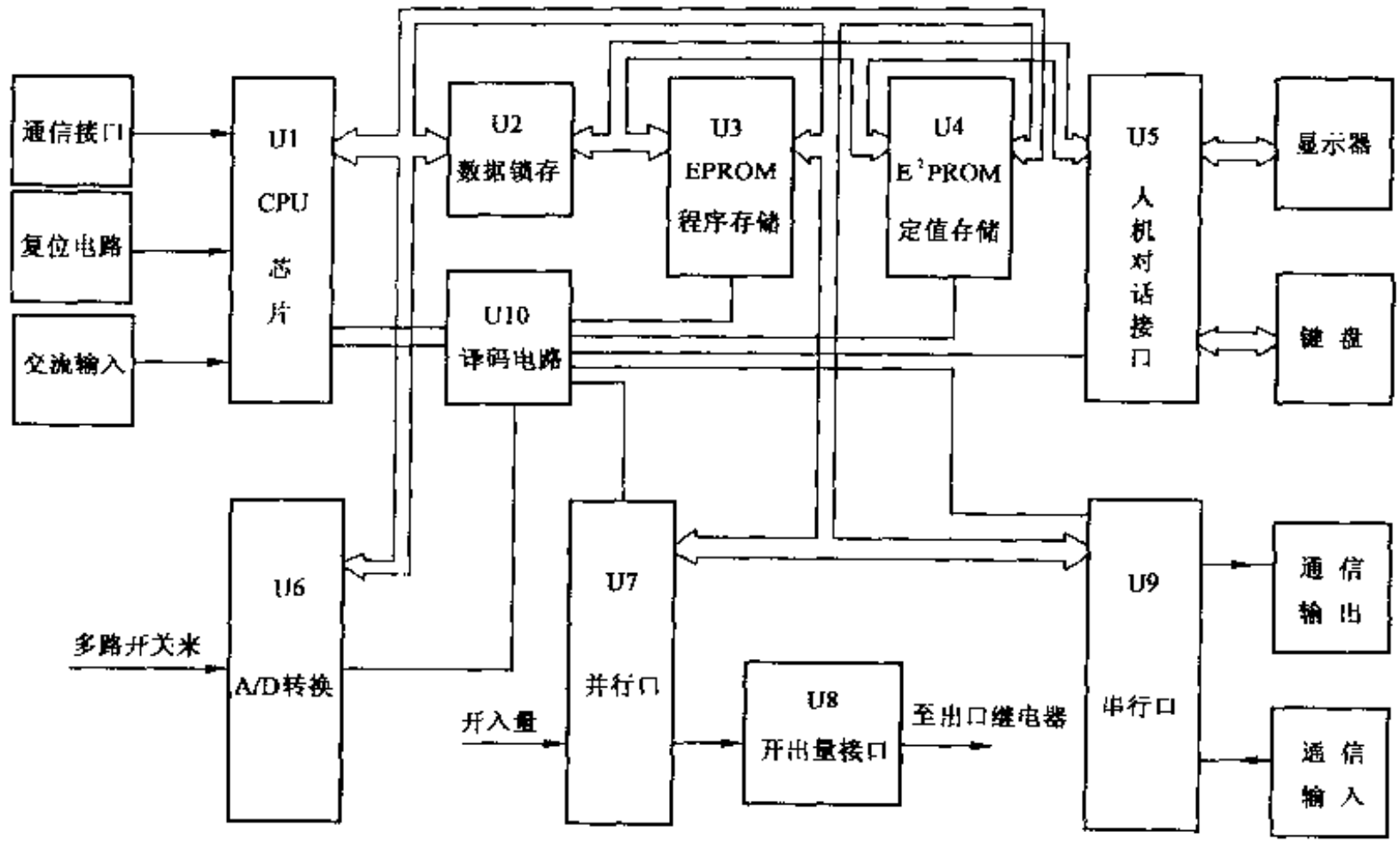


图 3-27　CPU 插件原理电路

5. 键盘操作与功能显示内容简介

(1) 显示字符的含义见表 3-8。

(2) “运行方式”开关的功能。

面板上的 4 位运行方式开关，分别有如下功能。

表 3-8　　**显示字符的含义**

序号	第一行	第二行	含　义	序号	第一行	第二行	含　义
1	Lln	opr	线路保护在运行	14	T.gl	数字	过流延时
2	Lln	SET	线路保护可整定	15	BUS	opr	母线保护在运行
3	Lln	TST	线路保护可检测	16	BUS	SET	母线保护可整定
4	EEP	Err	EPROM 出错	17	BUS	TST	母线保护可检测
5	RAM	Err	RAM 出错	18	Tm	opr	变压器保护在运行
6	Epr	Err	EPROM 出错	19	Tm	SET	变压器保护可整定
7	I.A	数字	A 相电流值	20	Tm	TST	变压器保护可检测
8	I.C	数字	C 相电流值	21	AAT	opr	备自投在运行
9	PTN	数字	保护的序号	22	AAT	SET	备自投可整定
10	P	Lln	线路保护	23	AAT	TST	备自投可检测
11	MOP	Err	运行状态	24	Cap	opr	电容器保护在运行
12	I.sd	数字	速断定值	25	Cap	SET	电容器保护可整定
13	I.gl	数字	过流定值	26	Cap	TST	电容器保护可检测

1) 第一位置“ON”保护处于运行方式下。此时，切换按键可使其显示 A 相电流、C 相电流、保护的序号及运行暗屏。

2）第二、三位置“ON”，保护处于整定方式下。此时按动“确认”键，可以检查定值，按“增”、“减”键可以1的速率改变定值。

运行方式开关第二位置“ON”，再按“增”、“减”键时，改变定值的速率为0.1。

3）第四位置“ON”，保护处于检测状态下，此时，输入定量的电流值则能校验采样值的精确度。

注：上述4位运行方式开关只允许一组在“ON”位，若全部置“ON”方式会出现混乱，全部置“OFF”则显示 MOP.Err。

（3）“按键”的功能。

1）“增”、“减”：在整定方式下，用以增加或减小定值。在运行方式下，用以切换显示的内容。例如：I_U、I_V 的切换。

2）“确认”键：确认当前所显示的定值，并继续显示下一个定值。

3）“清屏”键：“清屏”所显示的内容，使面板处于暗屏运行。按其他键时暗屏恢复。

（4）“复归按钮”的功能。

复归按钮位于保护屏右侧，每层两只。第一只对应左侧保护，第二只对应右侧保护，功能如下。

1）使保护程序运行于初始状态。

2）将接口板信号复归。

（5）接口板 JK 指示灯的定义。

1）1号灯亮表示出口动作，此时“掉牌未复归”光字牌亮。

2）3号灯亮表示装置内部故障，此时“保护装置故障”光字牌亮。

6. 保护的操作

（1）保护的投入操作。

1）检查保护的连接片在断开位置。

2）投入屏后有关保护的电源开关。

3）校对保护定值。

将“运方”开关第二、三位置“ON”，其他位置“OFF”。

投入电源插件板开关，指示灯亮，屏幕应显示 L1n，SET，否则按动复归按钮。

依次按“确认”键，看速断、过流、过流延时的定值，应与定值单相符，否则按“增”或“减”键，直到规定定值后再按“确认”键。

4）将“运方”开关第一位置“ON”，其他置“OFF”，按复归按钮，保护进入运行状态，显示 L1n.opr。

5）用高内阻万用表测量连接片两端的电压值应近于0，否则应查其原因。

6）将连接片投入。

（2）保护的退出操作。

1）退出保护连接片。

2）退出电源插件板开关。

3）退出屏后保护电源的开关。

注：若保护是短时的退出则只退出连接片即可，恢复时也只投连接片就行了。1 号、2 号进线的闭锁问题，从原则上只允许 1 条进线运行，但母联在断开时可借助“闭锁解除”连接片合另一进线。

7. 保护巡视及异常处理

(1) 保护的巡视。

保护显示下列信息时属正常。

I.1n.opr。

A.C 相电流。

暗屏运行，并能转亮屏者。

(2) 异常情况处理。

1) 保护显示下列信息时属异常。

× × × Err.

全屏亮但看不出规定含义的字符。

某一只显示器全亮，但其他不亮。

保护“死机”，按“确认”或“增”“减”键时不能转换其他显示内容。

系统无故障，但显示过流、速断字样，并且 JK 插件板 1 号灯亮。

JK 插件板 3 号灯亮。

2) 异常处理。

若出现上述情况之一时，应采取下列措施

退出保护的连接片。

按“复归”按钮能转入正常时，尚可继续运行，此时按投入步骤操作。

若按“复归”按钮不能恢复正常，则需要换插件进行维修。

(3) 保护设备动作后的恢复

保护动作后应进行如下工作。

1) 记录光字牌显示内容。

2) 记录保护屏幕显示内容。

3) 记录 JK 插件板指示灯的内容。

4) 分析保护动作的正确性。

若属正常动作，应根据一次系统的需要，决定保护是否退出。若属误动，应退出保护，按异常处理步骤操作。

三、故障的原因分析及采取的措施

针对保护所暴露的问题，作如下分析。

1. 显示字码错误的分析

导致数码显示器出现错误的原因是不同的。如有一次出现显示错误后，手按复归按钮，装置恢复正常，但过一段时间后问题重复出现。造成这种错误现象的原因主要是零点飘移。此次更换芯片 U5（显示器推动芯片）后，保护没有再重复出现类似的问题。但有

时装置内部的温度过高也会使其元器件的特性变坏，最终使数字状态发生变化，造成显示错误。对此采取了保护环境的控温措施以后，装置运行正常。

2. 采样值出现偏差的分析

保护装置采样值的偏差表现为一种积累的误差。由于保护装置的电流回路中采用了变流器、电压回路中采用了变压器，将电流电压信号进行二次变换后送到微机的采样环节中。经变换的电流、电压中存在的三次谐波与基波一样参与采样计算，充当正常的参数，并没在电路上得到有效的抑制，为此在软件上加了三次谐波的滤波程序，再投入运行，其积累的误差全部消失。

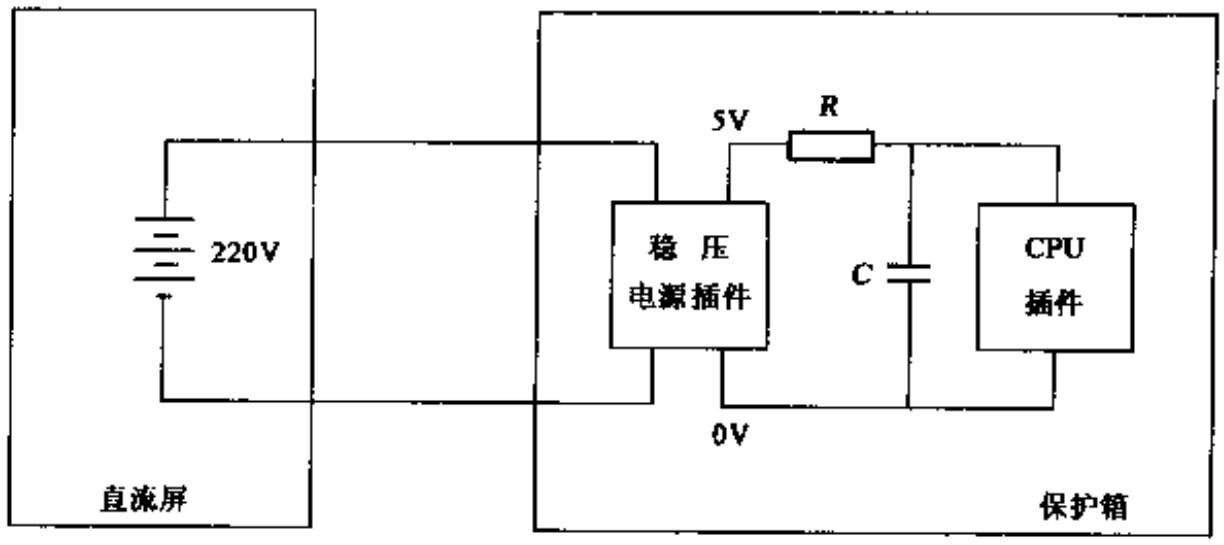


图 3-28　保护送电时的充电电路示意图

R—等值电阻；*C*—等值电容

3. 差动保护误动问题的分析

由于上述三次谐波的原因，保护的测量值表现为正误差，误差积累的时间长则表现为保护的误动作。当时变压器差动保护整定在 6A，保护输入 5A 达到 26h 左右，保护误动作。

软件中加入三次谐波以后，积累误差消失，保护误动的问题不再存在。

4. 线路保护送直流时误动作问题的分析

保护送电时，受装置中的电容的影响，送电后电压的建立表现为电容充电的过程，充电时间约 1.2s。在 0 ~ 1.2s 以内，尤其是电压才开始建立的时刻，各芯片间电压的不确定，表现的数字状态也不正常，导致了保护的误动作。

将送电复位电容由 1μF 改为 4mF，使保护在上电时投入的时间推迟，误动问题解决。

保护送电时的充电的等值电路及充电曲线分别见图 3-28 及图 3-29。

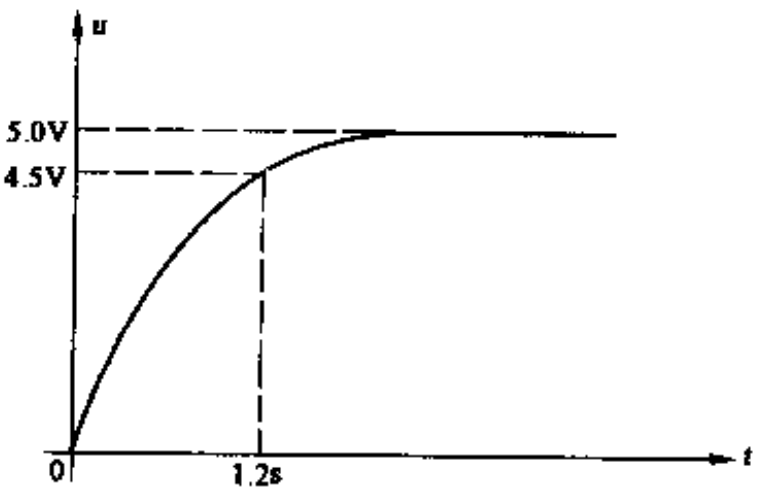
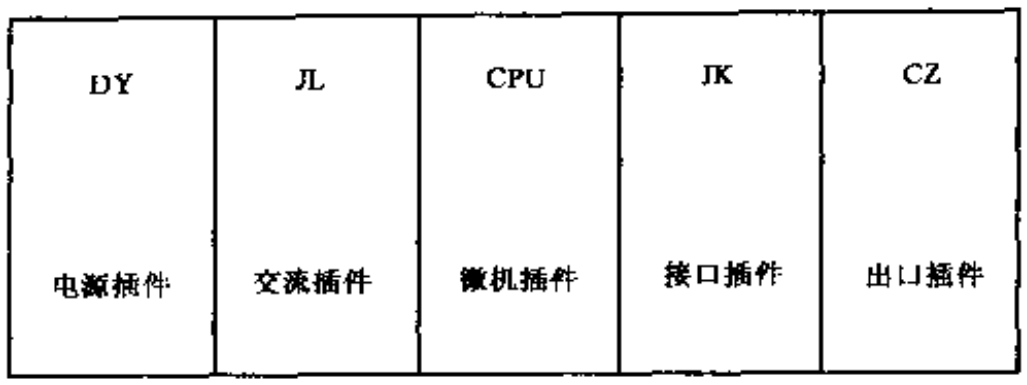


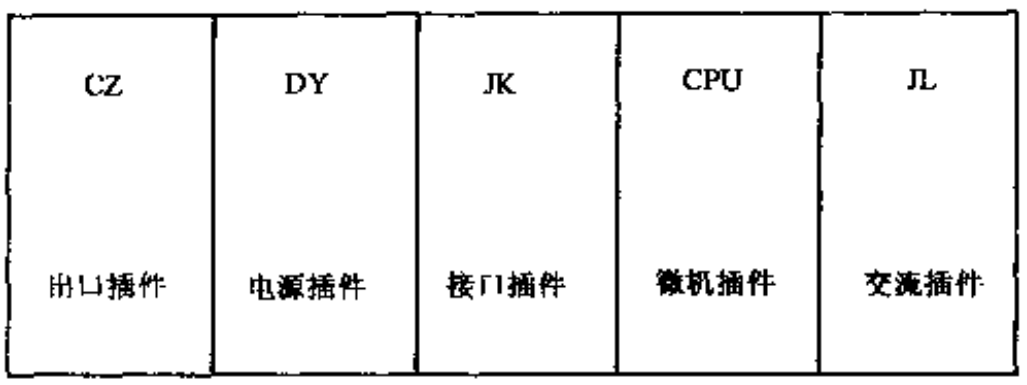
图 3-29　保护送电时的电压曲线

5. 保护冲击试验时的“死机”问题分析

冲击试验时的“死机”问题，是由于冲击电流产生的电磁干扰信号作用于保护的执行电路而导致的。将其保护插件排列顺序改变后，问题得



(a)



(b)

图 3-30　保护插件的排列顺序

（a）改动前的排列顺序；（b）改动后的排列顺序

到解决。保护改变前后的排列情况见图 3-30。

第六节　HY发电厂1号主变压器冲击试验时差动闭锁元件误动作

一、故障现象

1 号主变压器做冲击试验时主变压器差动保护的闭锁元件动作。差动元件是采用闭锁角原理构成。由于差动元件没有误动，所以出口继电器也没有起动。

二、差动闭锁元件的基本原理简介

主变压器差动保护的原理电路见图 3-31，差动闭锁元件的电路见图 3-32，闭锁元件临界动作情况下的电压波形见图 3-33。

主变压器差动继电器的原理在此不做介绍，只是当变压器运行正常时，差动继电器产生的差动信号等于 0，JCD—的端子 7、11 没有电压输出，当变压器内部故障时，差动继电器产生的差动信号经 JCD—的端子 7、11 输出，送到差动闭锁元件，差动闭锁元件根据信号的强弱进行判断是否动作。

图 3-32 中 VT1 ~ VT8 的回路构成三相式闭锁元件，VT1 ~ VT2 为抗干扰延时，VT2 ~ VT3 为脉冲展宽回路，VT3 ~ VT4 为短延时回路。动作原理可用图 3-33 的波形图说明。在

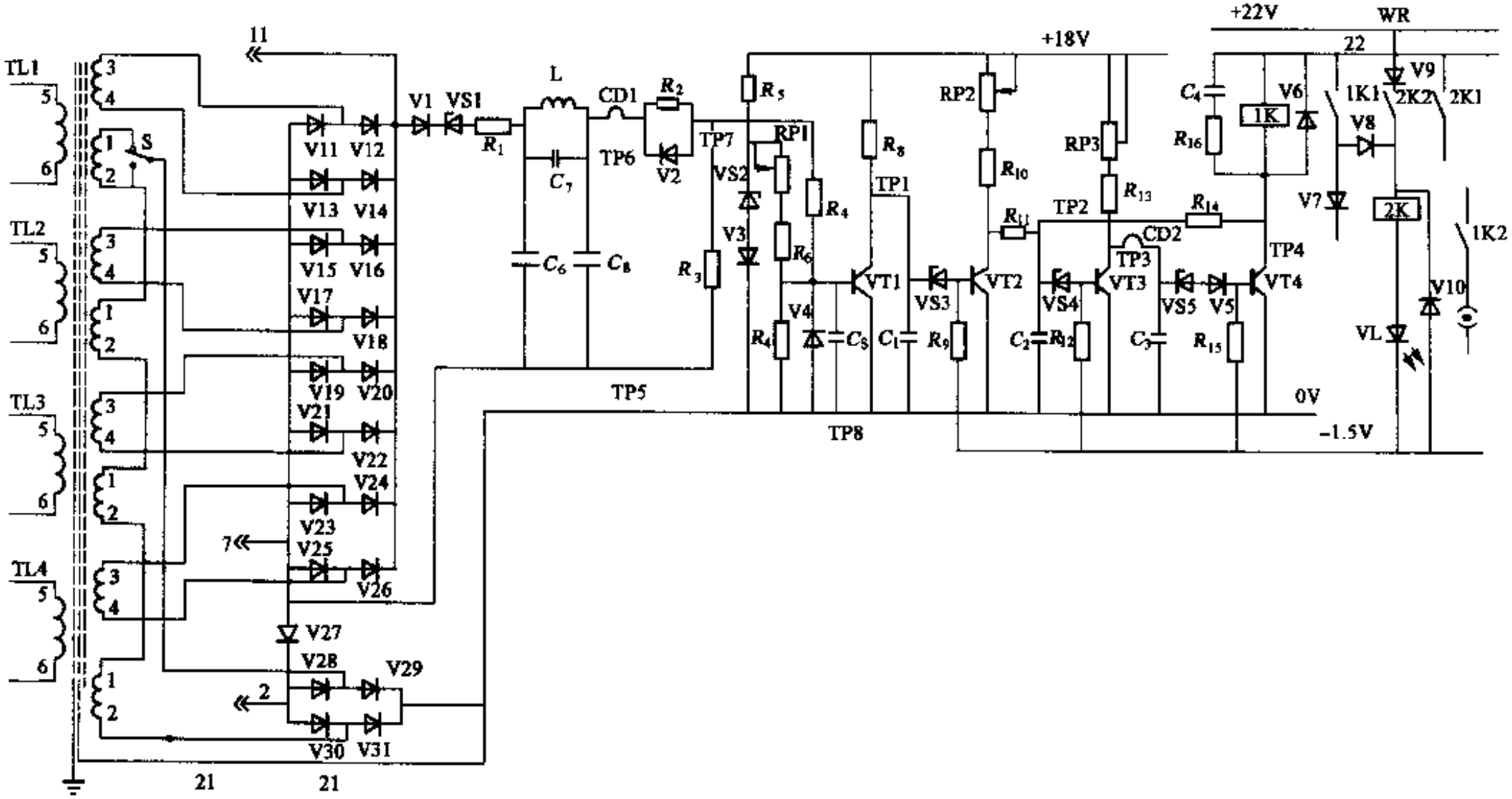


图 3-31　JCD 差动元件原理图

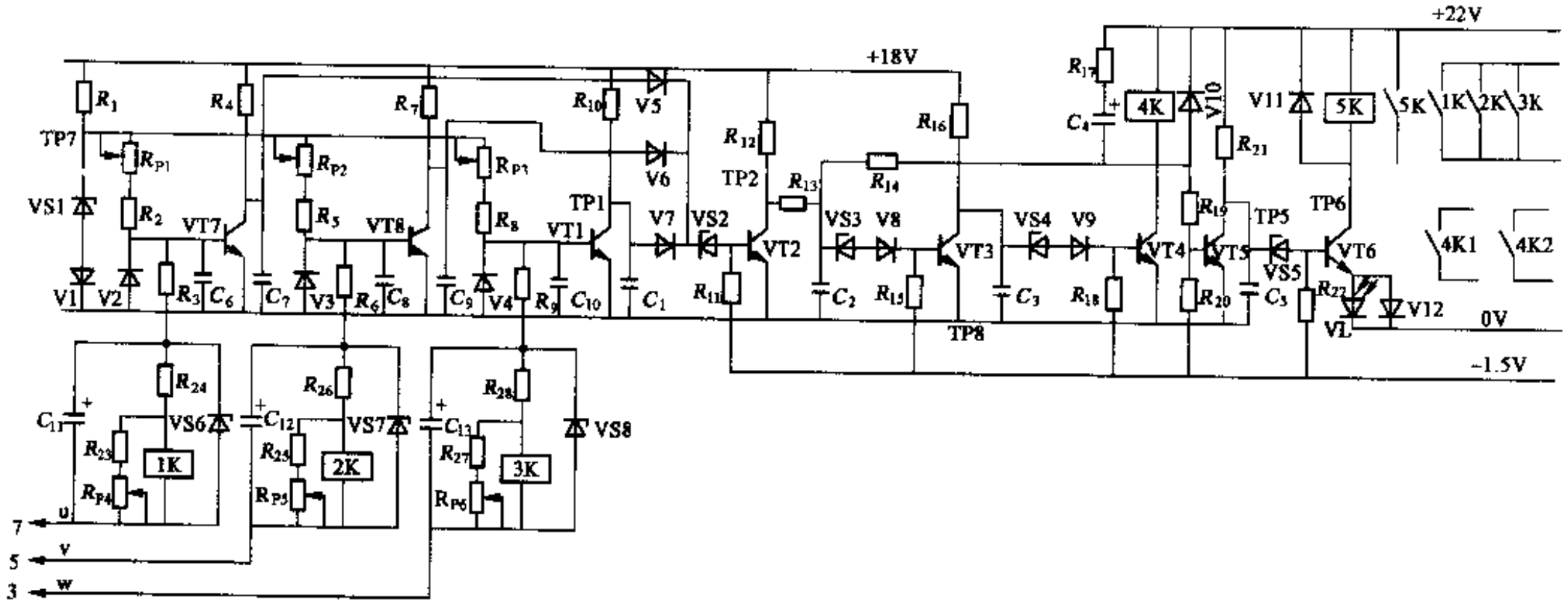


图 3-32　闭锁元件和差动速断元件原理图

变压器运行正常时，差动元件没有差电压输出，三极管 VT7、VT8、VT1 分别由 R_{P1}、R_2，R_{P2}、R_6 和 R_{P3}、R_8 取得使其过饱和导通的基极电流 I_0。变压器内部故障时，整流后的差电压 + 极加于 0V 电源线及 7、5、3 插头间。以 U 相回路为例，差电压经处于导通状态的 VT_7、b—R_3—R_{84}—1K 产生抵消 VT7 基极电流的电流，如此回路的等值电阻以 R_Σ 表示，则使 T7 基极电流为 0 所需差电压为 $V_0 = I_0 Z_Z$。于是 VT7 因无基极电流而截止，C_7 经 R_4 充电，如果 VT7 截止的时间足够长，则 C_7 的电压可充至使 VT2 导通，使 C_2 放电。如 C_2 放电时间足够长，则充不到使 V10、V11 和 VT3 导通所需电压，因此 VT3 处于持续截止状态，C_3 充电经过 12 ~ 15ms 延时，VT4 导通，继电器 4K 动作，输出两对触点 4K1、4K2 供差动件接点回路解除循环闭锁用。V、W 相动作情况同上。其第一级三级管分别为 VT8、VT1、VT2 以后的回路共用。

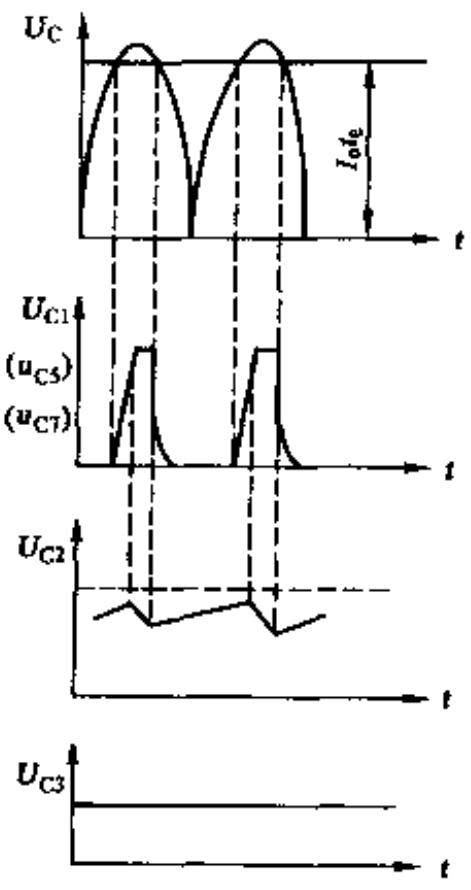


图 3-33　闭锁元件临界动作情况下各级电压波形图

由于闭锁元件无制动特性，外部故障差电压大时可能动作。为使其不频发中央信号，增加了一级由 VT5 ~ VT6 间元件构成的 2 ~ 3s 的延时回路。继电器 5K 专供信号用，其触点接至装置公用的信号继电器。

三、闭锁元件误动的原因分析

由于闭锁元件没有制动特性，在励磁涌流的数值达到定值时该元件起动，励磁涌流持续时间超过其延时时间 3s 时，元件动作。但是，闭锁元件的误动作不会导致整套保护的误动跳闸，闭锁元件的误动作只是开放了跳闸回路。

第七节　XZR发电厂 6 号机组试运行时发变组差动保护误动作

一、发变组升压过程中差动保护误动作

1. 故障现象

1997 年 10 月 25 日，发电机开机升压时采用“自动”励磁方式，升压过程中“发电机差动”、“发变组差动”保护动作，机组全停。检查 DCS 记录结果表明发变组一次系统正常，因此差动保护动作判定为误动作。

2. 原因分析

发电机带主变压器、励磁变压器、高压厂用变压器用“自动”方式零起升压时，电压建立很快，2s 内电压可以达到额定值的 70% 以上。在这种情况下，主变压器、励磁变压器、高压厂用变压器近似于冲击试验，产生励磁涌流。几次自动升压时实测的励磁涌流达到 $0.35I_N$，而保护的定值为 $0.3I_N$，因此躲不过励磁涌流。

发电机带主变压器、高压厂用变压器、励磁变压器升压的主系统见图 3-34。

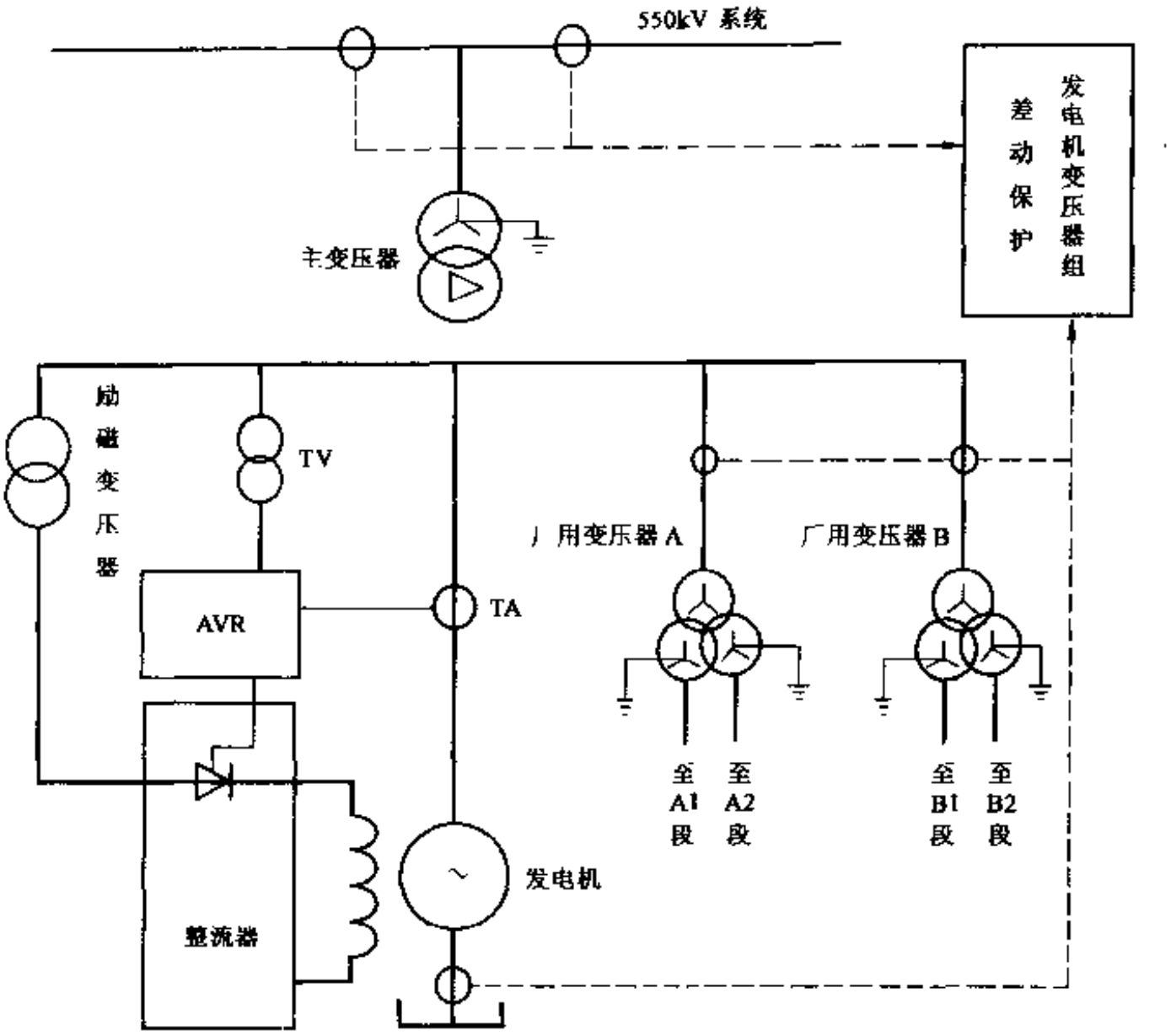


图 3-34　发电机升压时的主系统图

AVR—发电机励磁调节器

发电机在自动方式下的电压建立的波形曲线见图 3-35。

3. 采取的措施

由于保护从原理上躲不过升压时的励磁涌流，主变压器也不存在从高压侧冲击的方式，因此保护只要从定值上躲过升压时的励磁涌流，问题就可以解决。最终将差动保护的定值提高到 $0.4I_N$，再没有出现类似问题。

二、发变组短路试验过程中主变压器差动保护误动作

1. 故障现象

发变组短路试验时，借助各侧的短路点对各 TA 的极性作了检查，发现高压厂用变压器 A、B 高压侧 TA 的极性接错。这些 TA 一共 6 组，其中 4 组用于发电机变压器组的保护，2 组用于测量。测得主变压器差动保护电流相位的一组数据如下。

7TA：U4071，参考点。

V4071，－120°。

W4071，－240°。

20TA：U4201，0°。

V4201，－120°。

W4201。－240°。

30TA：U4301，0°。

V4301，－120°。

W4301，－240°。

2. 采取的措施

从上述数据看，20TA、30TA 的电流相位与发电机出口 7TA 的电流相位相同，正确的主变压器差动 TA 极性的原理见图 3-36。按正确的极性在高压厂用变压器电流端子箱处将 20TA 和 30TA 二次的输出端首尾反接，差动保护不再误动。测量数据如下：

7TA：U4071，参考点。

V4071，－120°。

W4071，－240°。

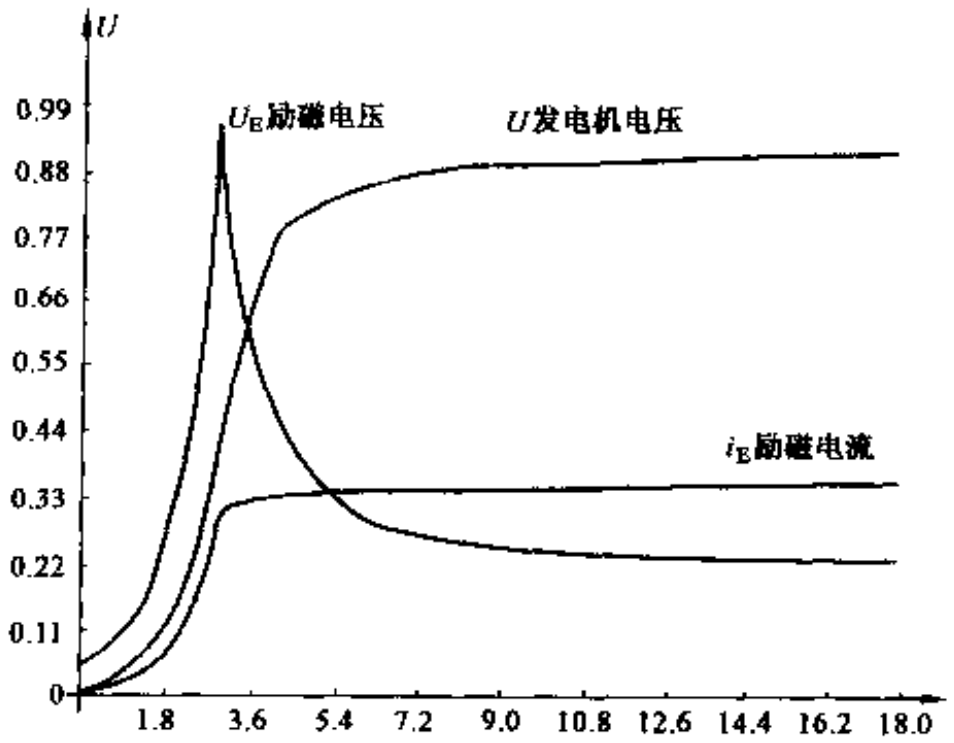


图 3-35　调节器在自动方式下发电机的升压曲线

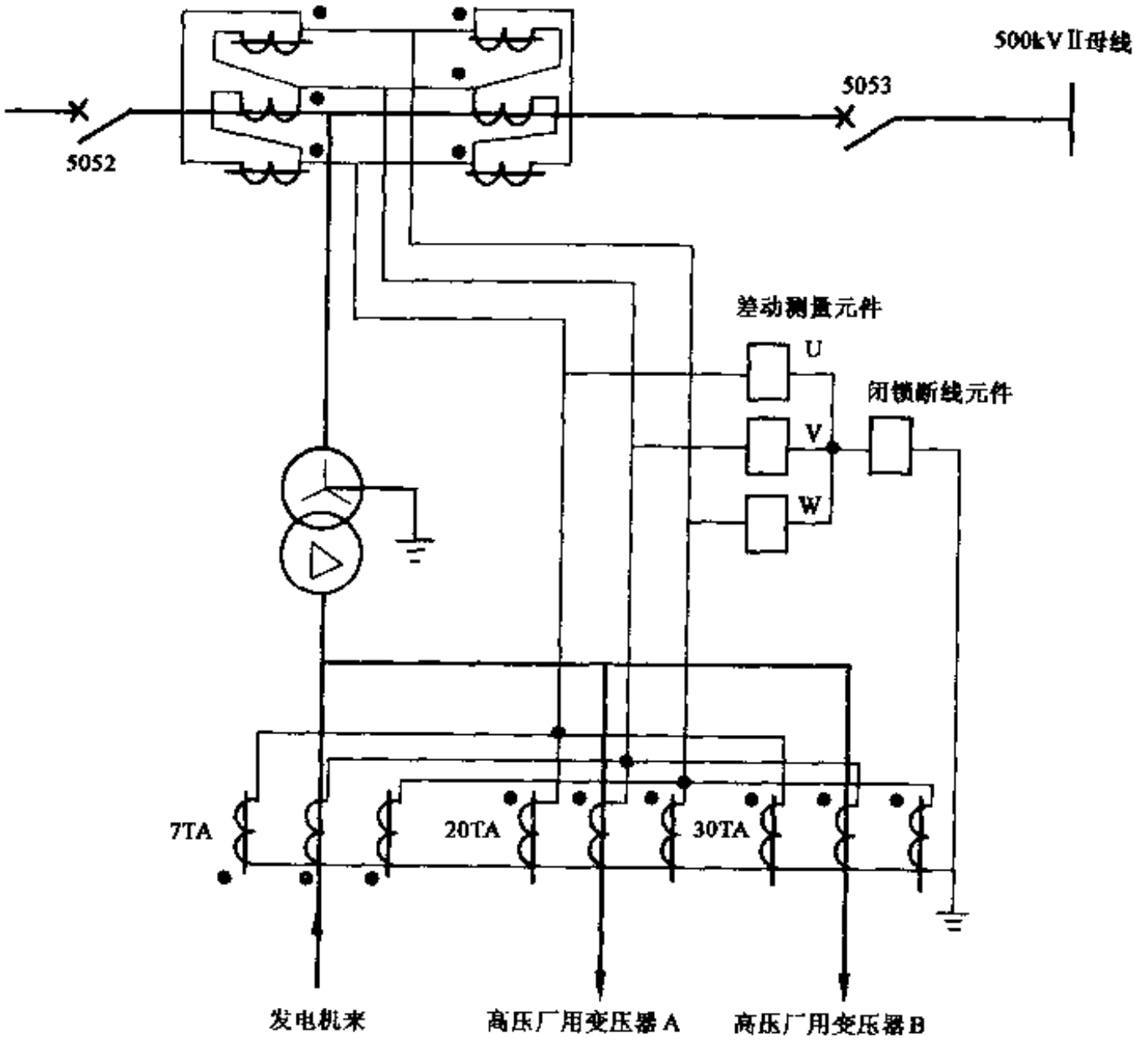


图 3-36　主变压器差动极性示意图

20TA：U4201，－180°。
V4201，－300°。
W4201，－60°。
30TA：U4301，－180°。
V4301，－300°。
W4301，－60°。

第八节　6kV系统故障烧毁高压厂用变压器的原因分析

一、故障现象

1999年3月20日，HSR发电厂3号机组运行中突然跳闸。6kV厂用电失电，报警窗报警如下：出口中间86U1、86U2动作、出口中间86TR动作、3号高压厂用变压器轻瓦斯动作、主变压器冷却器全停、6kV厂用电3A、3B段事故跳闸、出口中间96U4—2动作、3号高压厂用变压器时限速断保护动作、3号高压厂用变压器压力释放，发电机事故跳闸。

3号高压厂用变压器V相差动保护动作，3号高压厂用变压器瓦斯保护动作，3号高压厂用变压器高压侧过流保护动作，起动发电机—变压器组保护总出口，跳开发电机出口231、232断路器，跳开3号机6kV两段进线断路器3610、3620和发电机磁场断路器，

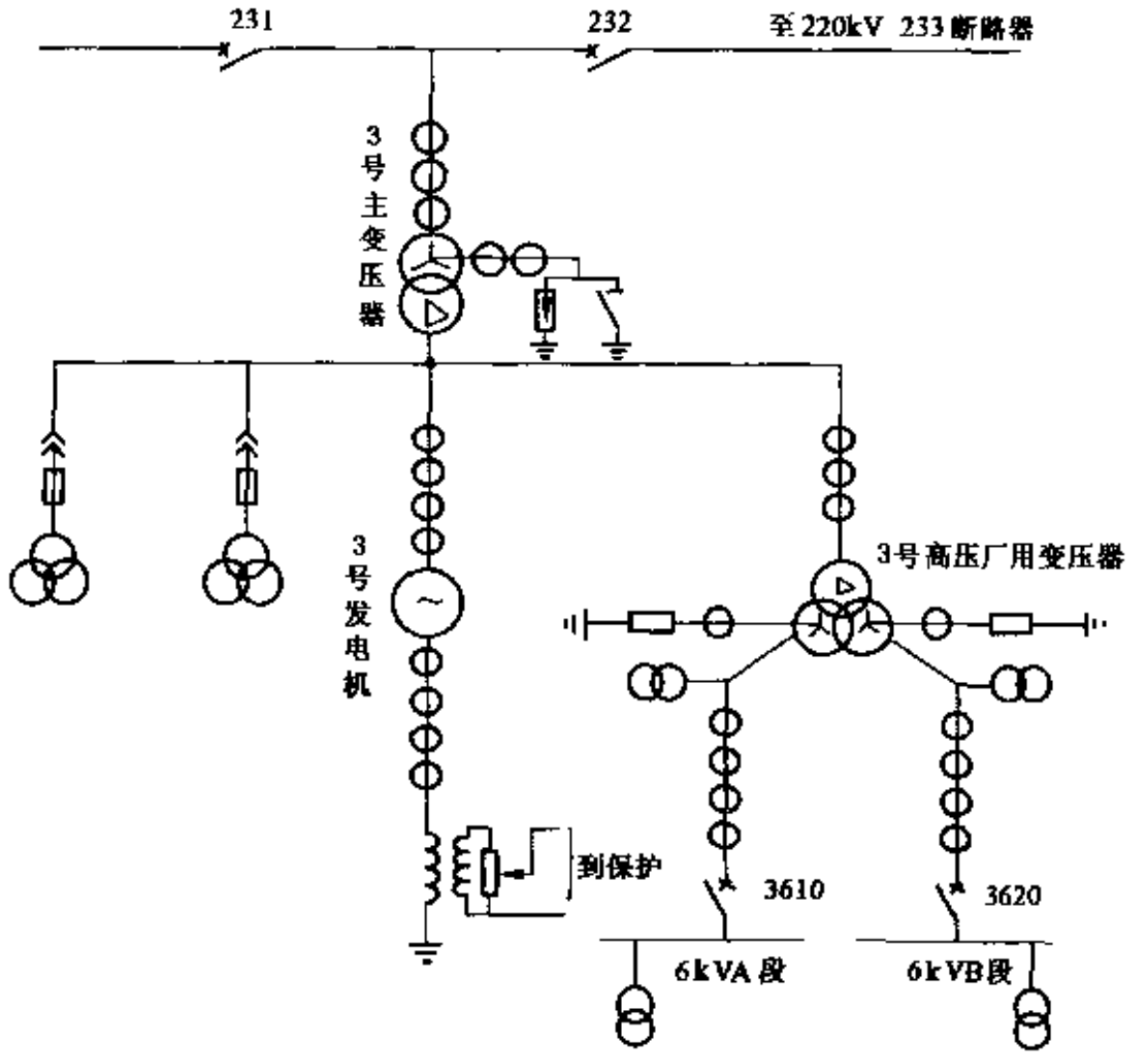


图 3-37　发变组主系统结构图

6kVA 段工作进线断路器 3610 时限速断保护动作。

就地设备情况：3 号高压厂用变压器喷油，6kVA 段上 3A 磨煤机负荷断路器故障，3 号发电机与系统解列。为了便于分析将 3 号机组主系统结构示于图 3-37。

二、故障后的检查内容

（1）3A 磨煤机定子绕组绝缘电阻测量、定子绕组直流电阻测量结果正常。

（2）3A 磨煤机高压电缆绝缘电阻测量结果正常。

（3）进线时限速断保护校验结果正常。

（4）3 号高压厂用变压器 6kV 电缆绝缘检查结果正常。

（5）6kV A 母线绝缘检查不合格。

（6）3A 磨煤机断路器检查已损坏。

（7）3 号高压厂用变压器已烧坏。

三、原因分析

1.3A 磨煤机断路器短路造成了高压厂用变压器的内部故障

由于 6kV A 段上 3A 磨煤机断路器故障，造成 A 工作进线时限速断保护（延时时间 0.4s）动作跳闸。

由于 3A 磨煤机断路器故障，相当于 6kV 母线故障，6kV 母线故障时的最大故障电流达 24000A 以上，由于 3 号高压厂用变压器已经过几次短路电流的冲击，抵抗大电流冲击的能力较差，再承受 20000A 以上的电流达 0.5s 之久（时限速断保护动作时间 0.4s，断路器固有动作时间 0.1s），此时已经被冲击电流损坏。所以是故障电流的冲击，造成了高压厂用变压器的内部故障，导致了变压器瓦斯保护、差动保护、高压侧过流保护动作，使机

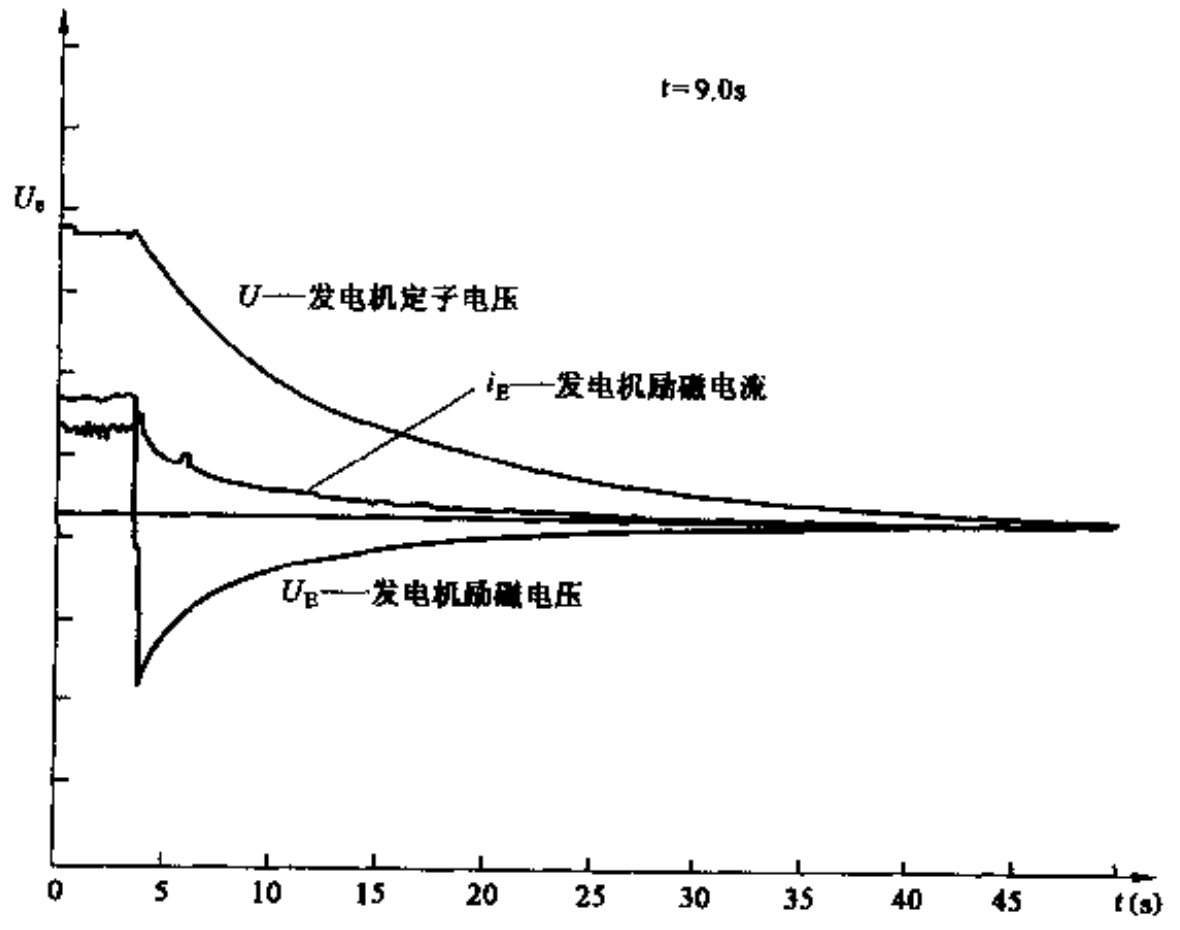


图 3-38　发电机灭磁特性与灭磁时间常数

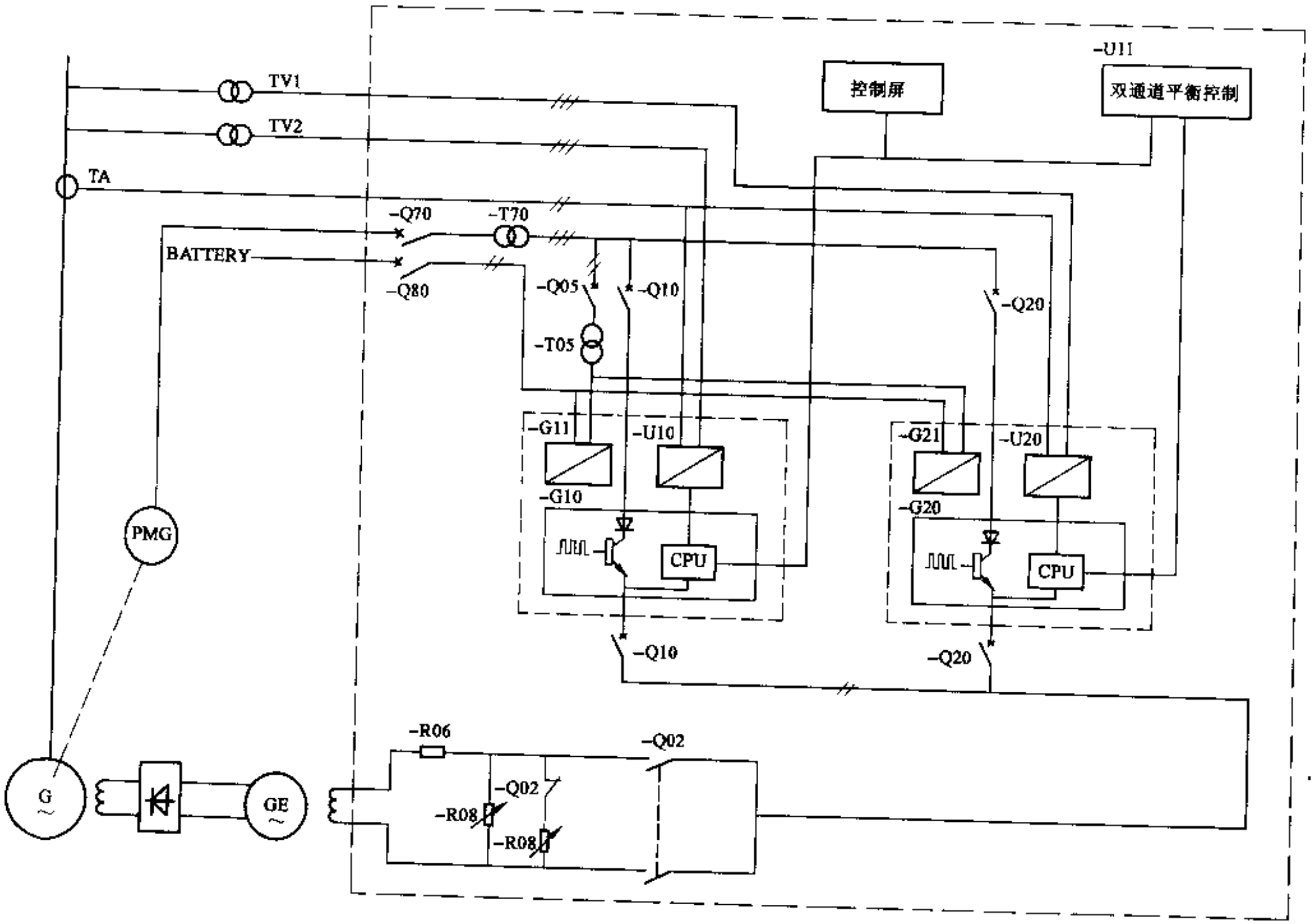


图 3-39　励磁系统主回路图

组解列，磁场断路器跳闸。

2. 持续的短路电流加重了变压器的损坏程度

厂用变压器被损的另一种不可忽视的因素是，虽然机组已解列，磁场断路器跳闸，但是短路电流并没有被切除，这一点通过对发电机的火磁特性曲线进行分析即可得出结论，发电机的灭磁特性曲线见图 3-38。发电机的火磁时间常数为 9s，即空载状态下磁场断路器跳闸，发电机电压从 U_e 降到 36.5% U_e 时，用 9s 的时间。励磁电流方面就是在发电机的空载额定励磁电流 I_e 时进行火磁，到励磁电流降到 36.5% I_e 时要用 9s 的时间。虽然发电机在满载情况下发生短路进行灭磁时其灭磁时间还要短些，但是如果按 3s 的时间计算，也可以说明问题了。

发电机的旋转励磁方式，铁磁材料以及制造的原因决定了灭磁特性的性质，决定了灭磁时间常数的数值。3 号发电机的励磁系统见图 3-39。在厂用变压器存在内部故障的条件下，从发电机灭磁以后，再提供长时间的短路电流，尽管短路电流是按灭磁曲线特性衰减，但是衰减的短路电流也已远远超过了变压器的热稳定极限，这样变压器的动稳定极限、变压器的热稳定极限均已超出，则变压器必然被损坏。

3. 磨煤机开关故障的原因分析

3A 磨煤机断路器经检查发现：断路器真空泡完好，断路器处于分闸状态，断路器内部负荷侧端部三相被电弧烧伤，V 相动触头绝缘拉杆金属螺丝连接处严重烧融，断路器本体部分对应部位烧融、有明显金属融化残留。

经分析认为：由于断路器 V 相动触头绝缘拉杆端部在制造时存有局部绝缘缺陷，长期带电运行使绝缘劣化，造成 V 相对断路器本体绝缘降低，安全距离不够，引起 V 相对本体放电形成单相接地故障，引起断路器下部与底座之间三相短路。这是造成断路器烧坏的主要原因，也是造成变压器故障的直接起因。

四、防范措施

1. 建立定期检查试验制度

建立定期的设备检查试验制度，按规定的周期对断路器进行常规检查试验，同时对其绝缘拉杆进行外观检查及直流泄露试验。

2. 缩短 6kV 进线开关保护的动作时间

6kV 进线断路器时限速断保护延时的时间须进一步缩短。继电保护整定原则要求 6kV 进线断路器时限速断保护的延时时间不超过 0.6s，实际整定在 0.4s。分析表明 0.4s 的延时仍然太长，如果时间缩短为 0s，变压器可能不至于被损坏，至少不会损坏到报废的程度。因此，将厂用变压器低压侧的时限保护整定到 0s，可以避免类似故障的发生。

这种方案的缺点是设备的跳闸失去了选择性。

3. 缩短发电机的灭磁时间常数

发电机的灭磁时间常数与发电机的励磁方式，铁磁材料以及制造的原因有关，对于发电机-变压器组式结构的电气系统，更换励磁系统的励磁方式，使空载灭磁时间常数缩短到 2s 左右，是很有必要的。

第九节　XJ发电厂1号主变压器压力保护误动作

一、故障现象

2000年9月6日晚11时，XJ发电厂1号主变压器断路器跳闸，控制室光字牌指示压力保护动作，线路高频起动发讯，线路有功功率、无功功率、线路电流、母线电压有摆动，故障录波器起动。与此同时，距离XJ发电厂10km的变电站全站停电。当时的天气情况：电闪雷鸣，大雨持续了两个小时。

二、检查过程及原因分析

虽然母线故障录波器起动，但是录波失败，没能提供有用的数据。由于线路有功功率、无功功率、线路电流、母线电压摆动较大，压力保护动作，分析认为XJ发电厂1号主变压器可能存在内部故障；又由于雷鸣电闪，可能存在因落雷造成电网短路的复故障。根据上述的分析对XJ发电厂1号主变压器进行了下列检查工作：

（1）高、低压绕组对地绝缘检查，结果正常。

（2）高、低压绕组之间绝缘检查，结果正常。

（3）取油样做色谱分析，结果正常。

（4）高、低压绕组的直流电阻测量，结果正常。

（5）绕组变形测试，结果正常。

检查结果证明主变压器本体内部不存在故障，又对其二次回路进行了检查，当检查到压力保护的跳闸回路之间的绝缘时，表计指示结果为零。变压器的跳闸是由于压力保护回路绝缘击穿造成的，进一步的检查发现压力释放继电器的接线盒内有积水，是雨水造成了跳闸回路的绝缘击穿。

相临变电站的故障是落雷导致母线三相短路造成的。如果没有该变电站的故障存在，XJ发电厂1号主变压器的故障分析会容易许多，因为压力继电器的接线短路造成的变压器跳闸不会造成线路高频的起动等众多信号的出现。由于众多的信号出现干扰了故障的分析思路。据统计，当主设备跳闸只有一种保护动作时，基本是保护的误动作造成了设备的跳闸。

三、防范措施

此次故障暴露了压力释放接线盒防尘防雨工作没有做好，而且在检修时也没有进行认真的检查，对防止进水的反事故措施执行不力，因此应该采取可靠的防止进水措施。目前已经有规定将压力释放保护由跳闸改投信号。

第十节　变压器外部故障时瓦斯保护动作的行为分析

一、情况简介

1996 年 11 月 20 日，NB 变电站 2 号变压器 110kV 侧的外部引线处发生三相故障，变压器的差动保护动作，变压器的本体瓦斯保护动作，变压器两侧断路器跳闸。

故障点处于差动保护动作区以内，差动保护的动作行为正确动作。但是变压器的本体内部并没有故障发生，瓦斯保护的动作的行为应该如何评价呢？下面结合继电器的检查对其动作原因进行分析。

二、原因分析与检查过程

故障点出现在变压器的外部，瓦斯保护的动作首先被怀疑为误动作，因此对瓦斯保护进行了全面的检查：

（1）保护回路的绝缘检查，结果正常。

（2）气体继电器的机械性能检查，结果正常。

（3）气体继电器的动作值检查，结果正常。

上述结果表明，在变压器的低压侧出现外部故障时，气体继电器动作于出口跳闸，这种动作的原因是变压器中油流作用的结果，现将油流产生的原因分析如下。

变压器正常运行及区外故障时主要受到两种力的作用，第一种是铁芯受到的纵向力的作用，见图 3-40。图中高压绕组 n_1 中的电流 i_1 产生的磁力 f_{d1} 的方向向上，低压绕组 n_2 中的电流 i_2 产生的磁力 f_{d2}的方向向下，合力 $\Delta f = f_{d1} - f_{d2}$，$\Delta f$ 的方向取决于f_{d1}、f_{d2}的大小。纵向力 Δf 的作用使铁芯向上（或向下）运动，运动的幅度取决于 Δf 的大小以及对铁芯固定的程度。

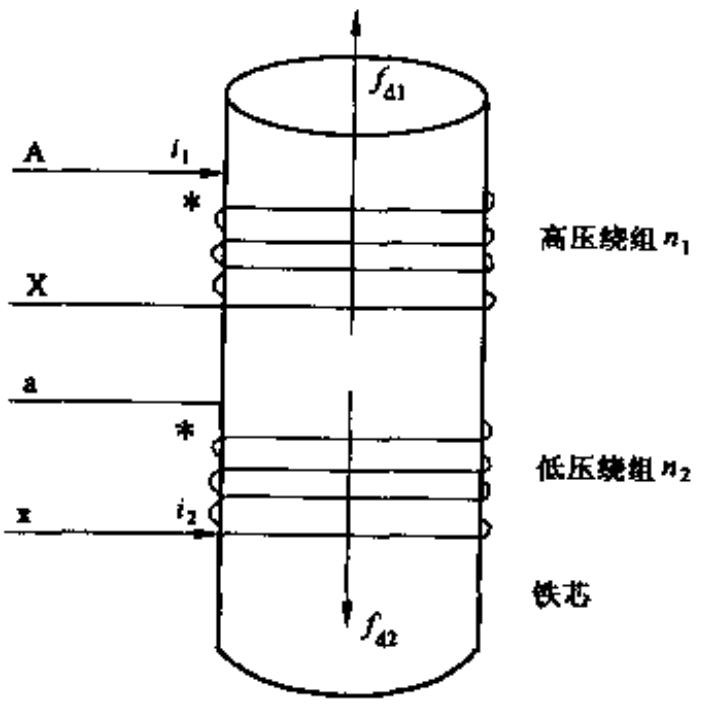


图 3-40　变压器铁芯受力作用的方向示意

第二种是绕组受的辐向力的作用，见图 3-41。图中高压绕组 n_1 中的电流 i_1 所产生的磁力 f_{q1}的方向向外，低压绕组 n_2 中的电流 i_2 所产生的磁力 f_{q2} 的方向向内。辐向力 f_{q1}的作用趋向于使绕组的直径扩大。

变压器正常运行时铁芯受到的合力 $\Delta f \approx 0$，纵向力作用可以忽略不计；绕组受的辐向力的作用比较小，其影响也可以不作考虑。

当变压器低压侧发生短路故障时，漏磁磁通密度随着短路电流的大小正比例的增加，绕组各部分受到的电磁力将随着电流的平方而增长。由于短路点很近，短路时的短路电流达 30 倍的额定值，电磁力增长近千倍。考虑到三相短路的直流分量以及瞬时值并不平衡，

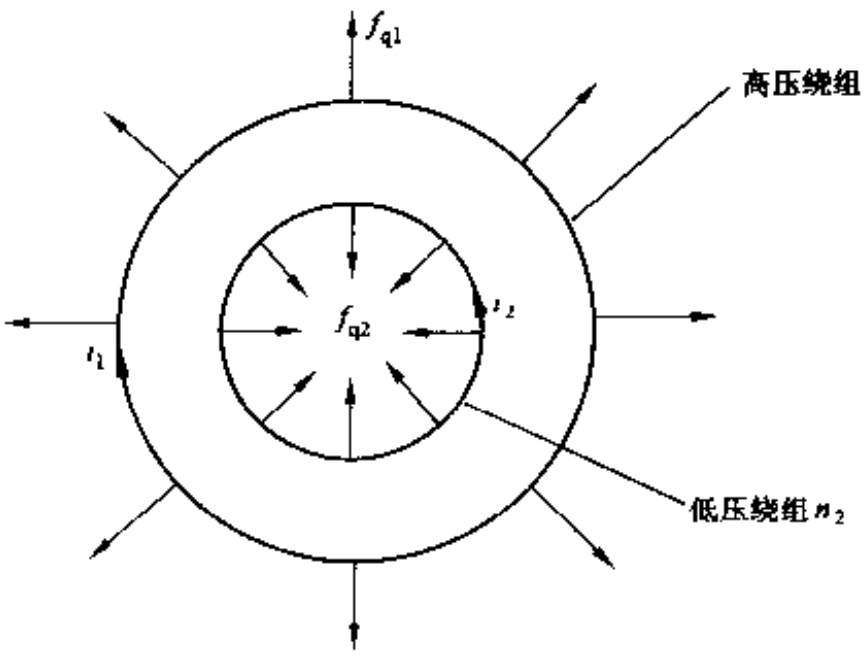


图 3-41　变压器绕组受力作用的方向示意

还有饱和因素的影响、高压绕组对低压绕组的传变特性变坏因素的影响等，高压绕组与低压绕组之间的磁场不再平衡，使变压器同时受到巨大的铁芯纵向力及绕组辐向力的作用。铁芯、绕组因受到力矩的作用而发生位移；导体在大电流的作用下迅速发热，变压器绕组伴随发热而膨胀；变压器油在短路电流的作用下产生出气体使得体积增大，气体本身还会向上不规则的运动。上述位移、膨胀等的综合结果必然波及影响到油位并产生油流，当流速达到气体继电器的定值时继电器动作。

三、结论

1. 气体继电器属于正确动作

继电器在变压器的外部发生故障时动作是比较少见的，从原理上分析，当变压器油流的流速达到气体继电器的定值时继电器动作的行为属于正确动作，并非误动作。但是，原则上变压器的外部发生故障时不希望气体继电器动作，因为变压器外部发生故障时气体继电器动作容易失去选择性。

2. 气体继电器的动作行为与变压器的制造质量有关

变压器的外部发生故障时气体继电器的动作行为与变压器的制造质量有关，尽管变压器在大电流的作用下，热稳定极限、动稳定极限满足了短路电流的冲击效应，变压器没有被损，但气体继电器动作以后，应该严格检查变压器的健康状况。

3. 气体继电器的动作行为与定值有关

在整定气体继电器时应该充分考虑短路容量、冷却方式、继电器的口径等问题，不可千篇一律，使气体继电器既能保证变压器的内部发生故障时可靠动作，又能保证变压器的外部发生故障时不动作。气体继电器的定值不如电气量的保护容易确定，因此避免继电器在变压器的外部发生故障时动作也不是一件容易的事情。

第四章　线路保护的事故处理

电网中的输电线路连接了众多的发电厂与变电站，由于经过的地域广阔，覆盖的范围广大，所以输电线路最容易受到外部自然环境（例如狂风、雷电）以及人为因素的影响而发生故障。因为线路上频繁的故障才使线路保护得到了迅速的发展，才使线路保护比其他保护设计得更完善、管理得更规范，最近比较成熟的微机型线路保护的系列化产品已经进入了市场。但是，线路保护所出现的故障概率仍然偏高，保护的误动、拒动以及误操作等事故依然比较突出，应该引起专业人员以及管理工作者的高度重视。

统计资料表明，当线路出现的故障越多，保护动作越频繁时，保护故障的概率也越高。重合闸起到了一些弥补作用，同样故障录波器的应用对帮助故障的分析及采取措施带来了极大的方便条件，事故处理时应该充分利用故障录波信息。

高频通道作为线路保护的组成部分，有若干的问题值得分析与研究，将高频通道的故障处理的内容编入线路保护一章之中。输电线路保护的基本类型有：

1）瞬时电流速断保护；

2）带时限的电流速断保护；

3）定时限过流保护；

4）反时限过流保护；

5）电流闭锁电压速断保护；

6）相间方向过流保护；

7）零序过流保护；

8）零序电流速断保护；

9）零序方向过流保护；

10）距离保护；

11）高频闭锁距离保护；

12）高频闭锁方向保护；

13）高频相差保护；

14）双回线的横差保护；

15）低压线路的三相一次重合闸；

16）高压线路的综合重合闸。

第一节　NJ变电站500 kV线路过电压保护误动作

一、故障现象

1997年11月25日，500kV NJ变电站JZ线线路过电压保护动作，线路断路器跳闸。值班人员检查发现变电站就地线路CVT端子箱内CVT二次回路小开关“1SA”、“2SA”均跳闸（两只小开关机构均为三相式）。根据运行记录及运行人员反映，当时电网的一次系统运行正常，附近系统也无进行任何操作。

从故障录波图测出，CVT小开关跳闸前，其二次回路的三相电压为61.5V，跳闸后U相的电压升高至68.6V，该数值不正常。

二、故障查找前的分析

对故障录波图分析得知，线路过电压保护动作前，CVT二次回路小开关已跳闸，跳闸后其二次回路电压立即升高，线路过电压保护的误动就是CVT二次回路电压升高造成的。需要弄清的问题是CVT二次回路小开关为什么跳闸，而跳闸后其二次回路电压又为什么升高。

三、CVT一、二次回路的接线情况简介

CVT一、二次回路接线见图4-1。图4-1（a）为CVT一次接线，图4-1（b）为CVT二次回路接线。

从图4-1（b）可以看到，CVT二次回路小开关的U相触点上并有一只电容器，其参数为4μF、630V。小开关为三相式联动机构，装设电容器是为了防止CVT二次回路小开关三相跳闸后造成保护装置内部的交流回路断线闭锁元件拒绝动作。

四、故障原因分析与查找

1. 二次回路电压升高的原因分析

根据图4-1（b），CVT二次回路小开关跳闸后，U相的电压二次回路可以简化为图4-2（a）的形式。图中“E”为CVT二次开路电压，“C”即所并电容器，“R”为CVT二次回路电缆等效电阻，“$r + jX_L$”为保护装置等效阻抗—其中r为电阻分量、X_L为电抗分量；图4-2（b）为自动空气小开关断开后电路的电压分布相量图。

从图4-2（a）可得

$$\dot{U}_L = \frac{r + jX_L}{r + R + j(X_L - X_C)} \dot{E} \tag{4-1}$$

式中　除“X_C”外，对于具体的CVT回路来讲是常量，只有“X_C”随着所配电容器的容量大小而变化。为了简化分析，忽略电缆二次回路电阻“R”，这时简化等效电路的

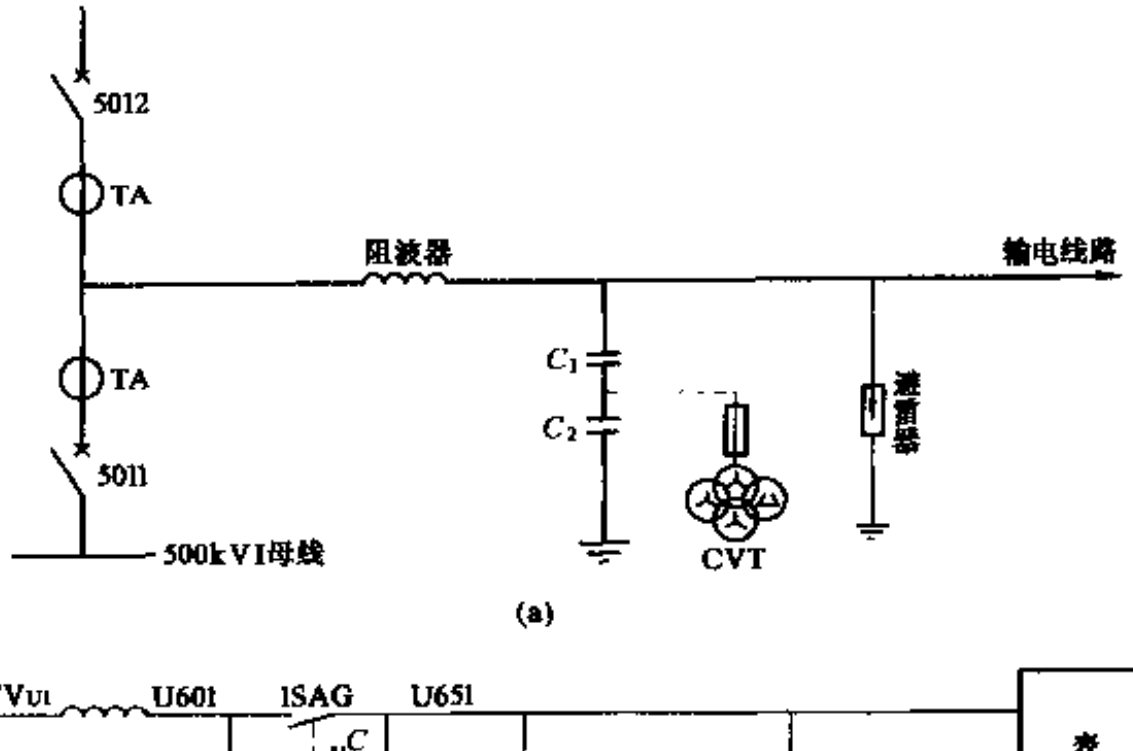


图 4-1　TV 的接线与保护的配置

(a) 线路 TV 的位置；(b) TV 的二次接线

电压分布相量图如图 4-3 所示，式（4-1）变为

$$\dot{U}_L = \frac{r + jX_L}{r + j(X_L - X_C)}\dot{E} \tag{4-2}$$

对应的负载电压 U_L 随 X_C 的变化曲线如图 4-4。这里要注意两个特殊点：当 $X_C = X_L$ 时，U_L 达最大值——$U_{Lmax} = |(r + jX_L)/r|E$，显然，这个数值大于 E；当 $X_C = 2X_L$ 时，$U_L = E$。

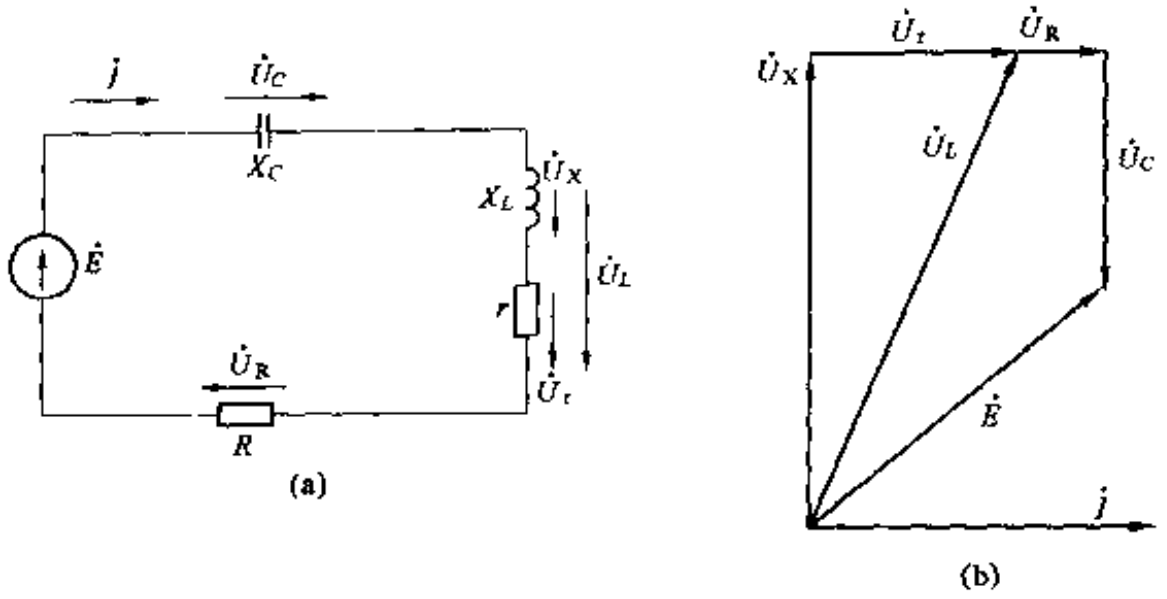


图 4-2　CVT 二次回路等效电路及电压分布相量图

(a) CVT 二次等效电压；(b) 电压相量图

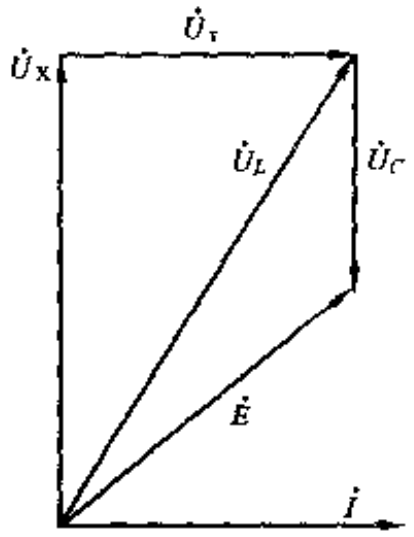


图 4-3　简化等效电路
电压分布相量图

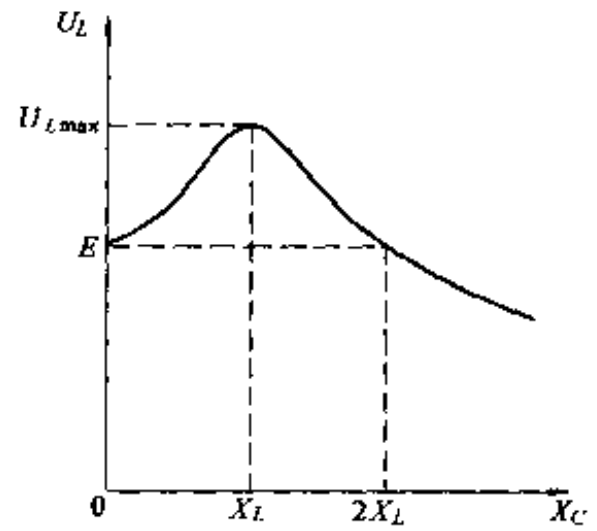


图 4-4　负载电压变化曲线

从以上的分析可知，当 CVT 二次回路小开关触点所并电容器的电容值选配不当时，小开关跳开后其二次回路电压确实有升高的可能。从理论上讲，选取的电容值应满足下列条件：$X_C > X_L$；同时小开关跳开后，CVT 二次回路剩余电压要大于电压问路断线闭锁电路的启动值。

2. 小开关跳闸的原因分析

CVT 二次回路小开关自动跳闸的原因有两个：一是 CVT 二次回路的问题，绝缘不好或过载都能造成小开关过流跳闸；二是小开关本身的问题，过流定值太小或机构出问题。

根据上述分析，首先检查 CVT 的二次回路。用兆欧表检查 CVT 二次 U、V、W 三相对地及三相之间的绝缘均良好，外加额定电压实测 CVT 二次回路负载电流很小，在 mA 级水平。因此排除了 CVT 二次回路的问题。

实测小开关动作电流近百安培，可以肯定小开关跳闸的原因不是由于过流定值太低而造成的。

经过对小开关震击试验，发现小开关在受到一定程度振动（包括强度与次数）后就会脱扣跳闸，说明小开关的机构有问题，已经不能再继续使用。

五、采取的措施

1. 更换小开关

根据现场检查的结果，跳闸的小开关存在有三方面的问题：首先是过流定值选配太大，小开关已起不到保护 CVT 二次回路的作用；其次是小开关的机构制造工艺太差；第三是采用三相联动机构的小开关不合理。

根据以上情况，决定把小开关更换为过流定值小（动作值在 5 ~ 10A）、制造工艺精良、单相机构的快速小开关，并将三相小开关的辅助触点并联后闭锁保护。

2. 取消小开关主触点上所并联的电容器

小开关更换为单相式的产品后，原来所并联电容器的作用已经消失。因为并联电容器是为了防止小开关三相跳闸，现在除 CVT 二次回路发生三相短路外，小开关不会三相同时跳闸。假如 CVT 二次回路发生了三相短路，即使有并联电容器也不能维持 CVT 二次回路的电压，因此电容器是多余的元件，最后拆除了电容器。

3. 评价

当采用三相小开关时，小开关主触点上必须并联电容器，且并联电容器的容量应经试验确定。实验整定时，定值的整定要准确。如果并联电容器的容量不合理，或整定试验值的偏差，都会造成保护的误动作。

第二节　WL发电厂 110 kV线路零序保护信号不能自保持

一、故障现象

WL 发电厂 110kV DL 线路装设的保护为 PLH—11 型线路保护。该保护在进行定检作零序Ⅰ段试验时发现，零序Ⅰ段动作跳闸时，零序插件箱的“零序Ⅰ段”信号灯亮，当重合闸动作，在插件箱上“后加速”信号灯点亮时“零序Ⅰ段”信号灯熄灭，零序Ⅰ段信号继电器自动复归。

二、保护屏的结构与原理

PLH—11 型保护为整流型继电保护。包括相间距离保护、零序电流保护、三相重合闸、三相操作回路 4 个部分。该保护用于 110 ~ 220kV 高压输电线路、母联和旁路断路器上，作为相间短路故障、接地故障和接地短路故障的主保护或后备保护，并实现三相一次重合闸。

1. 保护屏的组成

（1）LH—11 型距离保护装置。

LH—11 型距离保护装置为三段式相间距离保护，第Ⅰ、Ⅱ段为本线路的主保护，第Ⅲ段为本线路和相邻线路的后备保护。

Ⅰ、Ⅱ段故障距离测量元件由三个方向阻抗继电器组成，本保护屏中第Ⅲ段故障距离

测量元件由三个向第三象限偏移 20%的偏移阻抗继电器组成，保护装置的起动元件采用负序电流元件。保护装置为防止因系统振荡过程导致保护误动跳闸而设有振荡闭锁回路。该振荡闭锁回路采用由负序电流起动的方式；为防止电压互感器二次回路断线造成保护误动作，保护Ⅰ、Ⅱ段出口回路由负序电流元件实现电压二次回路断线闭锁，装置设有断线闭锁元件，以作辅助断线闭锁及发断线信号。保护装置通过连接片可以实现第Ⅲ段阻抗对距离第Ⅱ段的瞬时测量，以保证保护装置在第Ⅱ段保护范围下不致因过渡电阻的影响而拒动。

LH—11 型距离保护装置由三个测量元件、三个起动元件、振荡闭锁、助磁系统及直流回路等部分组成；分二箱布置，第一箱为测量元件，第二箱为起动元件和负序电流元件，第三箱为其他部分。

测量元件和起动元件均按整流原理构成。测量元件为Ⅰ、Ⅱ段保护区公用的方向阻抗继电器。起动元件为带偏移特性的阻抗继电器，除用以测量第Ⅲ段保护区外，还起动第Ⅰ、Ⅱ段切换回路。测量元件、起动元件与第Ⅱ、Ⅲ段时间继电器及电码继电器等构成三段式距离保护装置。振荡闭锁由负序电流元件起动，在系统振荡时，闭锁第Ⅰ、Ⅱ段，而在交流电压回路故障时，可防止第Ⅰ、Ⅱ段误动。断线闭锁装置仅闭锁第Ⅲ段。

（2）零序方向电流保护装置。

LL—11 型零序电流保护装置，本装置为适应短线路整定配合的需要，按四段式零序电流方向保护方式接线。保护屏中的实际接线是Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段带方向性，Ⅳ段不带方向性。运行单位根据运行的要求可以改动接线，决定各段的方向性。装置中零序电流继电器 KA0 可作不灵敏段或作 TA 二次回路断线闭锁用。

当发生接地短路时，第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段可以有选择性地切除短路故障。

（3）LSC—11 型三相重合闸装置。

本重合闸装置可以实现三相一次重合闸，装置中设有检查线路无电压和同期的检定回路，通过连接片也可实现无电压检查和不带检定的方式。需要时，还可外接检查相邻线路有电流的触点。

（4）SCZ—11 型三相操作回路。

本回路中设有跳合闸位置继电器，防跳继电器，电压回路切换继电器，以及备用继电器等。三相操作箱可以担负一台三相操作断路器的跳合闸操作。

2. 测量元件

（1）测量元件的组成。

测量元件由电抗变压器 TL、整定变压器 TV、极化变压器 TP、记忆回路、第三相电压引入回路及执行继电器等主要部件组成，见图 4-5。

1）电抗变压器 TL。

TL 一次有两个匝数相同的绕组 W1、W2 可接入不同相别的电流，以实现相电流差的接线方式。两个一次绕组在相同匝数处，各有三个抽头引至面板，各抽头分别标以 2、0.66 和 0.22，表示 TV 抽头在 100%时的整定阻抗值。二次具有三个绕组 W3、W4 和 W5，其中 W3、W4 具有相同的匝数，分别接入制动回路和动作回路，而绕组 W5 接有灵敏角电阻 R_φ。

测量元件的灵敏角 φ_{sen}是由 K_L 的幅角决定的，可以通过改变 TL 二次绕组 W5 所接的

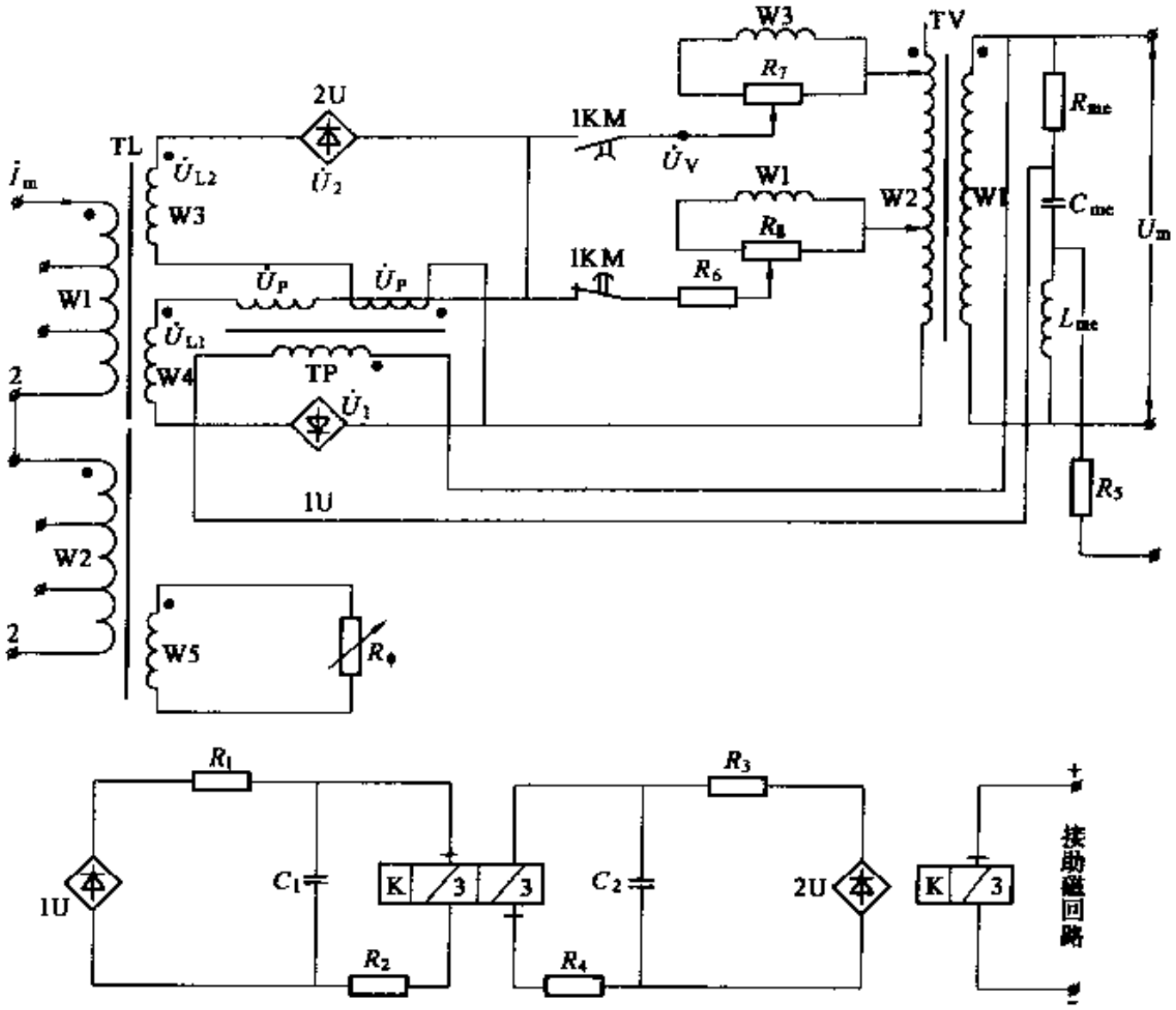


图 4-5　测量元件原理接线图

电阻 R_φ 来改变灵敏角，以满足被保护线路阻抗角的要求。灵敏角有 60°、70°、80°三档。

2）整定变压器 TV。

TV 是一个具有 4 个绕组的降压变压器，一次有一个绕组 W1，二次有一个具有 9 个抽头的一次绕组 W2 和两个均接有微调电阻的二次绕组 W3、W4。W2 为一、二段公用，其抽头分别引至第一段和第二段整定板上，为一、二段整定时独立使用。

正常时，由切换继电器 1KM 将第一段电压回路接通，测量元件处于第一段，当短路发生在第二段保护范围内时，1KM 经一定时间将电压 U_V 自第一段自动地切换到第二段。切换时，先闭合第二段，后断开第一段。用电阻 R_6 限制切换过程所产生的闭环电流。

3）记忆回路。

用以记忆保护安装点发生三相短路以前的极化电压的相位。使极化电压在一定时间内不消失，而按与 50Hz 频率相接近的频率衰减，以消除保护安装点正向发生三相短路时，测量元件拒动，反向发生三相短路时，测量元件误动。

记忆回路由电阻 R_{me}、电感 L_{me}及电容 C_{me}组成，其固有振荡频率为 f_0，与 50Hz 相接近。R_{me}为提供抽取极化电压的电阻。极化变压器 TP 有一个一次绕组和两个匝数相同的二次绕组。两个二次绕组分别接入制动回路和动作回路中。电感 L_{me}具有空气隙和一次、二次线圈。二次线圈匝数为一次线圈匝数的 2.5%。二次线圈供调整电感量用，以满足固有振荡频率接近 50Hz。

4）第三相电压引入回路。

第三相电压（不属于元件所在的两相）经一高阻值电阻 R_5 引至记忆回路 L_{me} 和 C_{me} 之间。当保护安装点发生两相金属性短路而记忆作用消失时，用第三相电压引入回路来提供足够的极化电压，使测量元件能正确工作消除死区。

因为保护安装点发生两相金属性短路时，电压互感器二次短路两相之间输出电压为零，而短路相与非短路相之间有较高的电压，在电压互感器的二次所接三相负载及电缆电阻不相等时，电压互感器二次的两短路相导线中，就有电流流过，这两个电流的数值和相位可能不同，因而，在每相电缆上产生不同的电压降，使测量元件端子上出现电位差，当记忆效应消失后，这个电压就成为极化电压，由于其相位不固定，所以可能引起测量元件的不正确动作。第三相电压的作用分析见图 4-6。

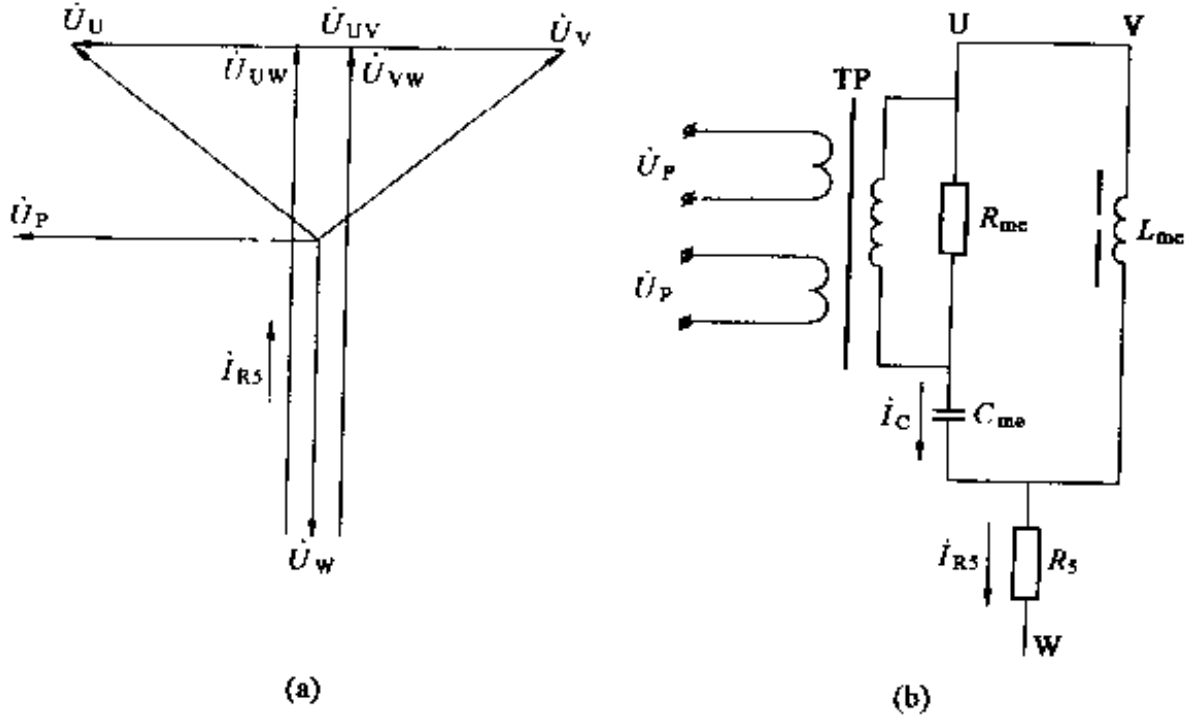


图 4-6　第三相电压作用分析

5）执行继电器。

执行继电器采用三线圈极化继电器，继电器有两个线圈分别正接于动作回路和反接于制动回路整流桥的直流侧，另一线圈是为降低极化继电器动作值，即提高灵敏度，而正接于助磁回路中，其助磁安匝约为动作安匝的 80%。助磁电流为 10mA。

6）整流滤波回路。

整流桥 1U、2U，系由 4 只 2CP4 二极管组成的单相全波整流桥，滤波回路为电阻电容 R_1-C_1-R_2，R_3-C_2-R_4 构成的 T 型电路。

（2）动作特性。

保护的整定阻抗为　$Z_{set} = \dfrac{k_L}{k_V}$。

动作阻抗为　$Z_{op} = \dfrac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}$。

则得阻抗测量元件的特性圆如图 4-7。

图中 $Z_{op} = Z_{set} \times \cos(\varphi_{sen} - \varphi)$，此式为阻抗特性圆的表达式，整定阻抗为圆的直径，

该圆通过原点，故为方向阻抗特性。

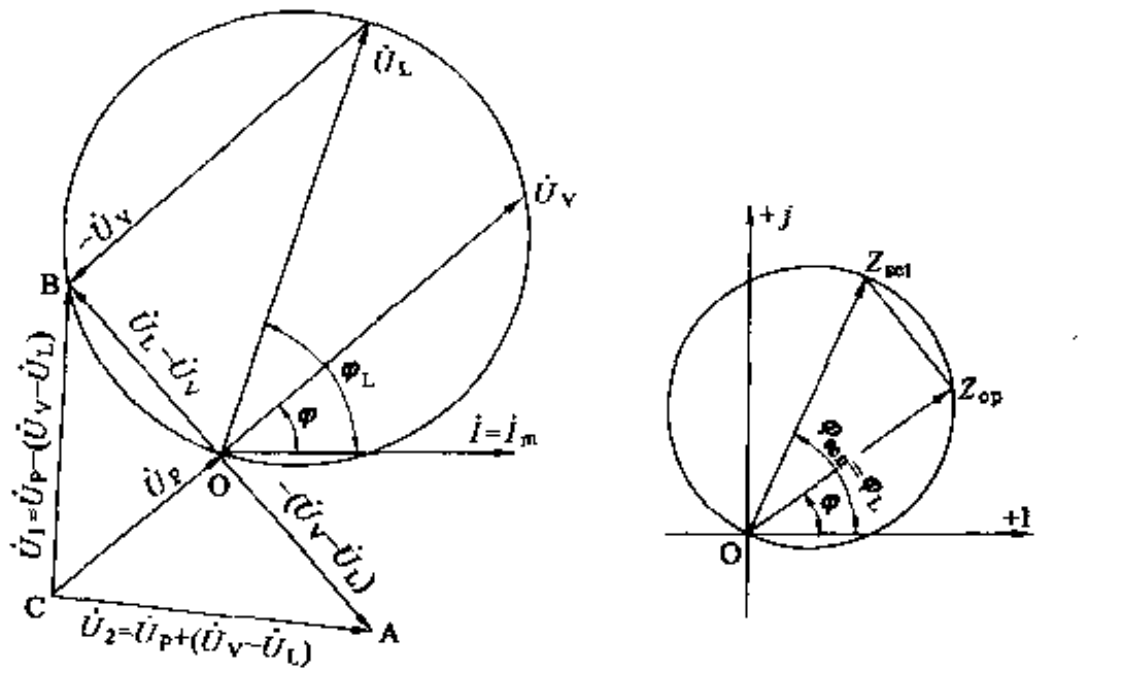


图 4-7　测量元件的特性图

(a) 测量元件的电压特性图；(b) 测量元件的阻抗特性图

3. 起动元件

(1) 起动元件的构成。

起动元件的组成和测量元件相似，有整定变压器 TV、电抗变压器 TL、整流滤波回路以及作为执行元件的极化继电器。但 TV 只有仅供第三段整定动作阻抗用的一组整定板。TL 一次没有抽头，二次 W4 的匝数比 W3 的匝数多，从而得到向第Ⅲ象限偏移的特性圆。

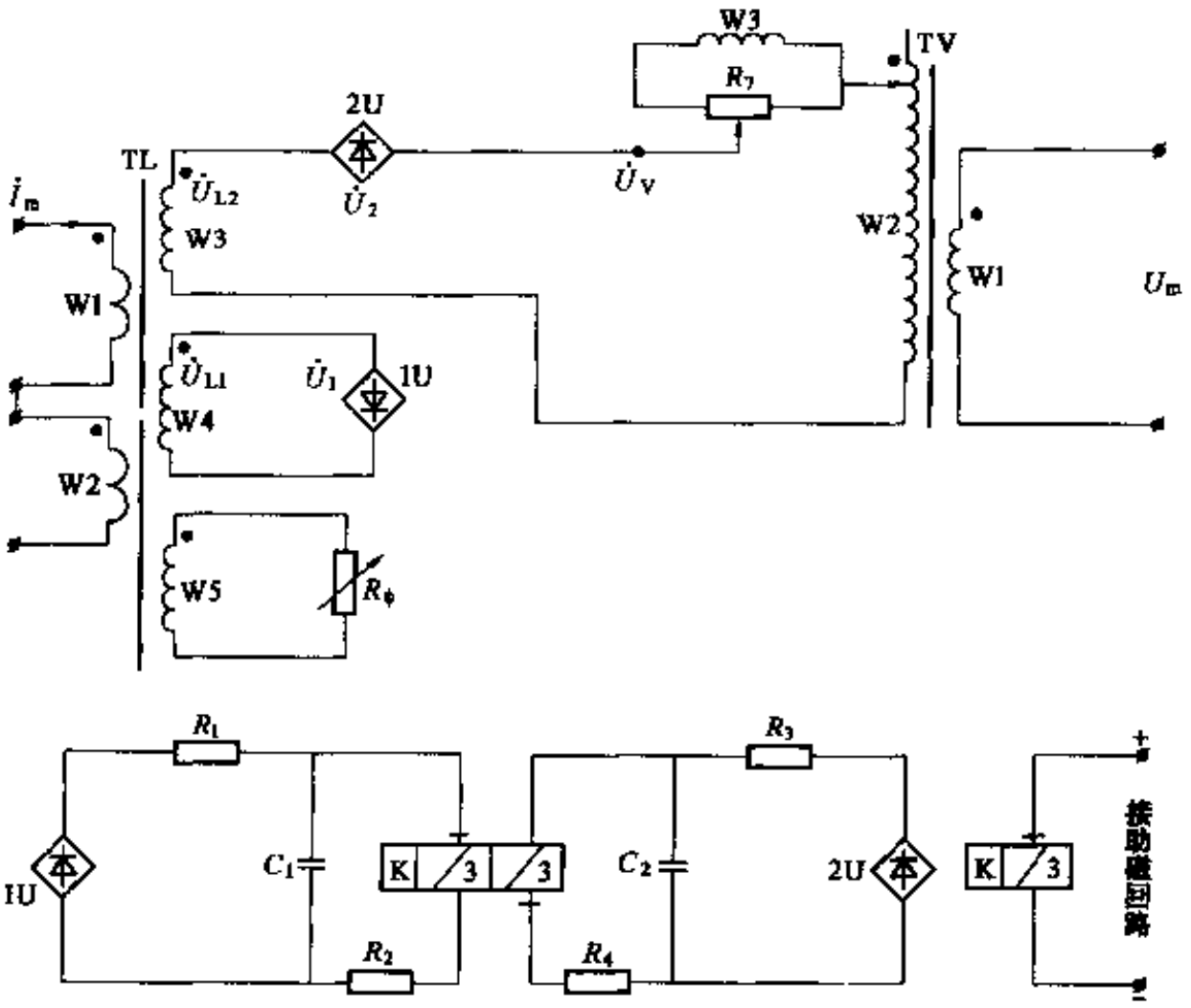


图 4-8　起动元件的原理接线图

接于 W5 上的电阻 R 所对应的灵敏角为 70°。其原理接线见图 4-8。

（2）起动元件的特性圆。

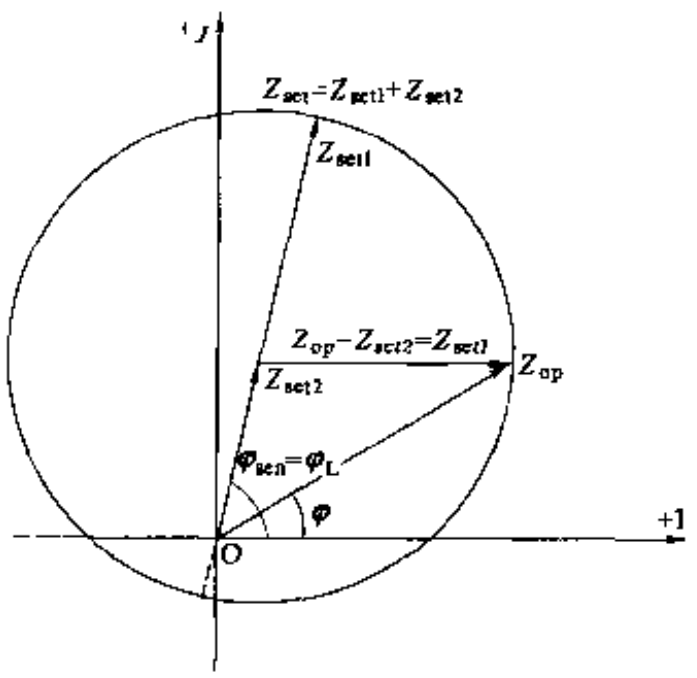


图 4-9　起动元件的阻抗特性

由图 4-8 可知，起动元件的动作回路整流桥 1U 的输入电压为

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{L1}$$

制动回路整流桥 2U 的输入电压为

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_V - \dot{U}_{L2}$$

动作阻抗

则得起动元件在复数平面上的阻抗特性圆如图 4-9。

$Z_{set} = Z_{set1} + Z_{set2}$称整定阻抗。

$\delta = -\dfrac{(Z_{set1} - Z_{set2})}{Z_{set1} + Z_{set2}} \times 100\%$ 为偏移度。δ 是负数，它表示特性圆与 Z_{set}反向偏移，即特性圆向第Ⅲ象限偏移，故正向出口短路无死区，而反向有 10%～20% Z_{set}的后备作用。

4. 负序电流元件

负序电流元件在系统发生不对称短路或由不对称短路转化为对称短路时，用来起动振荡闭锁装置和开放保护的第Ⅰ、Ⅱ段。

（1）负序电流元件组成。

负序电流元件由负序电流滤过器、整流桥和执行继电器等组成。

（2）负序电流元件动作原理。

在负序电流滤过器一次通入负序电流时，滤过器二次侧有输出，在滤过器一次通入正序和零序电流时，其二次无输出。

5. 断线闭锁装置

断线闭锁装置用以监视距离保护装置交流电压回路的完好性。当交流电压回路短路或断线时，断线闭锁动作，闭锁距离保护第Ⅲ段，以防止保护误动作，并发出电压回路断线信号，以便值班人员处理。

断线闭锁是按距离保护交流电压回路断线时，出现零序电压的原理构成的。其原理接线如图 4-10。

断线闭锁装置的执行继电器 KBL 为一具有双线圈 W1、W2 的瞬动电磁式继电器，按磁平衡原理构成。W1 经由 C_U、C_V、C_W 组成的零序电压滤过器接于电压互感器开口三角的输出端，作为平衡线圈。平衡线圈的作用，在于防止一次系统发生接地短路时，电压互感器的二次出现零序电压，断线闭锁误动作，将第Ⅲ

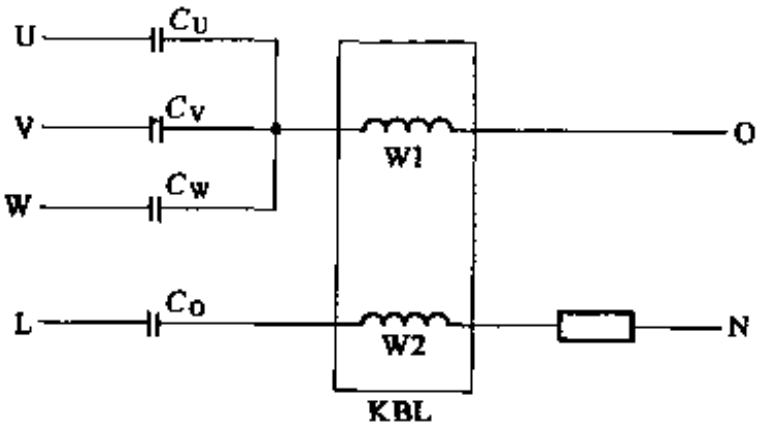


图 4-10　断线闭锁装置的原理结构

段正电源断开，使被保护线路失去后备保护。因此，断线闭锁的电容、电阻及 W1、W2 的匝数比、极性配合等，应保证一次系统发生接地短路时不误动作。

电压互感器一、二次侧均正常时，其二次和开口三角两端均无电压输出，断线闭锁不动作。但当电压互感器一次侧正常，距离保护装置的交流电压回路发生单相、两相断线时，由于零序电压滤过器有输出，而电压互感器开口三角无输出，断线闭锁动作；当电压互感器二次回路发生接地短路时，在熔断器或自动空气开关未断开以前，因二次回路有零序电压，零序滤过器有输出，而开口三角无输出，断线闭锁动作。至于电压互感器二次回路发生相间短路或三相短路时，则当熔断器或自动空气开关断开后，才有零序电压出现，故相间短路或三相短路要待熔断器或自动空气开关断开后断线闭锁才动作。保护的第Ⅲ段一般整定时间较长，所以，断线闭锁虽不能迅速动作，但仍能起到闭锁保护的作用。

三、问题分析

保护的故障现象是重合闸动作，零序后加速信号发出时，零序 I 段动作信号继电器自动复归，可以判定问题在后加速回路及信号回路上。对保护屏接线分析，其后加速电路与零序 I 段复归电路唯一有电的联系的地方是 $1KS_0$ 与 $5KS_0$ 信号继电器的动作线圈及复归线圈。

将零序插件抽出，再进行零序保护的整组试验，同时监视 $1KS_0$、$5KS_0$ 的动作行为，结果发现在后加速信号继电器 $5KS_0$ 动作时，零序 I 段信号继电器 $1KS_0$ 复归。

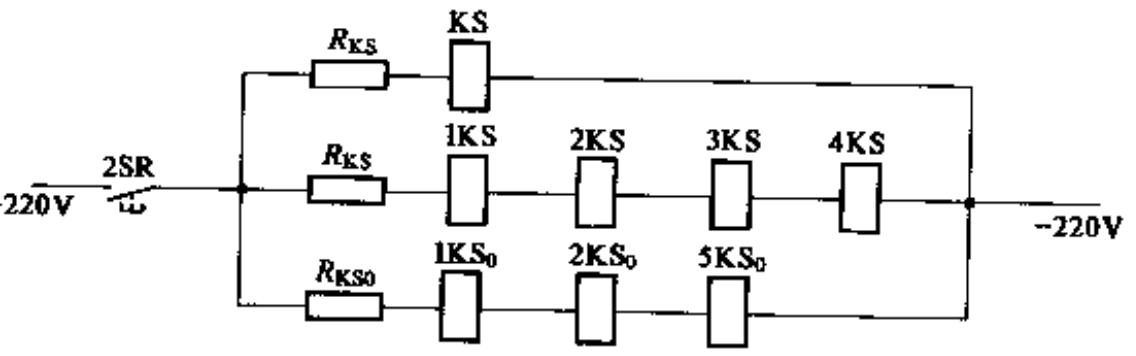


图 4-11　复归电路原理接线

复归回路的原理接线见图 4-11。

零序后加速信号继电器的原理电路见图 4-12。

信号继电器的动作线圈、复归线圈的极性见图 4-13。

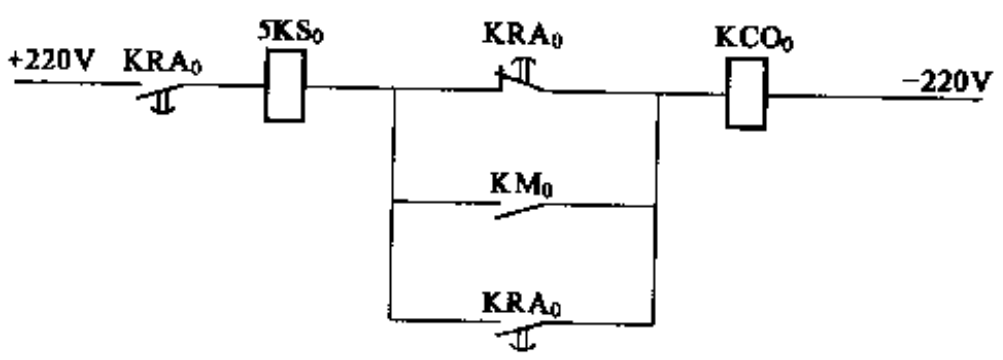


图 4-12　后加速信号起动原理图

图 4-13　信号继电器的极性标示

测量表明，在整组试验过程中，后加速继电器 KRA_0 触点返回时，$5KS_0$ 动作线圈的两端感应出“1”正，“4”负的电动势，同样在复归线圈感应出“2”正，“3”负的电动势，从复归回路图中可以看出，$5KS_0$ 中的感应电动势产生环路电流，电流 i 对 $1KS_0$ 的复归线圈起复归作用。

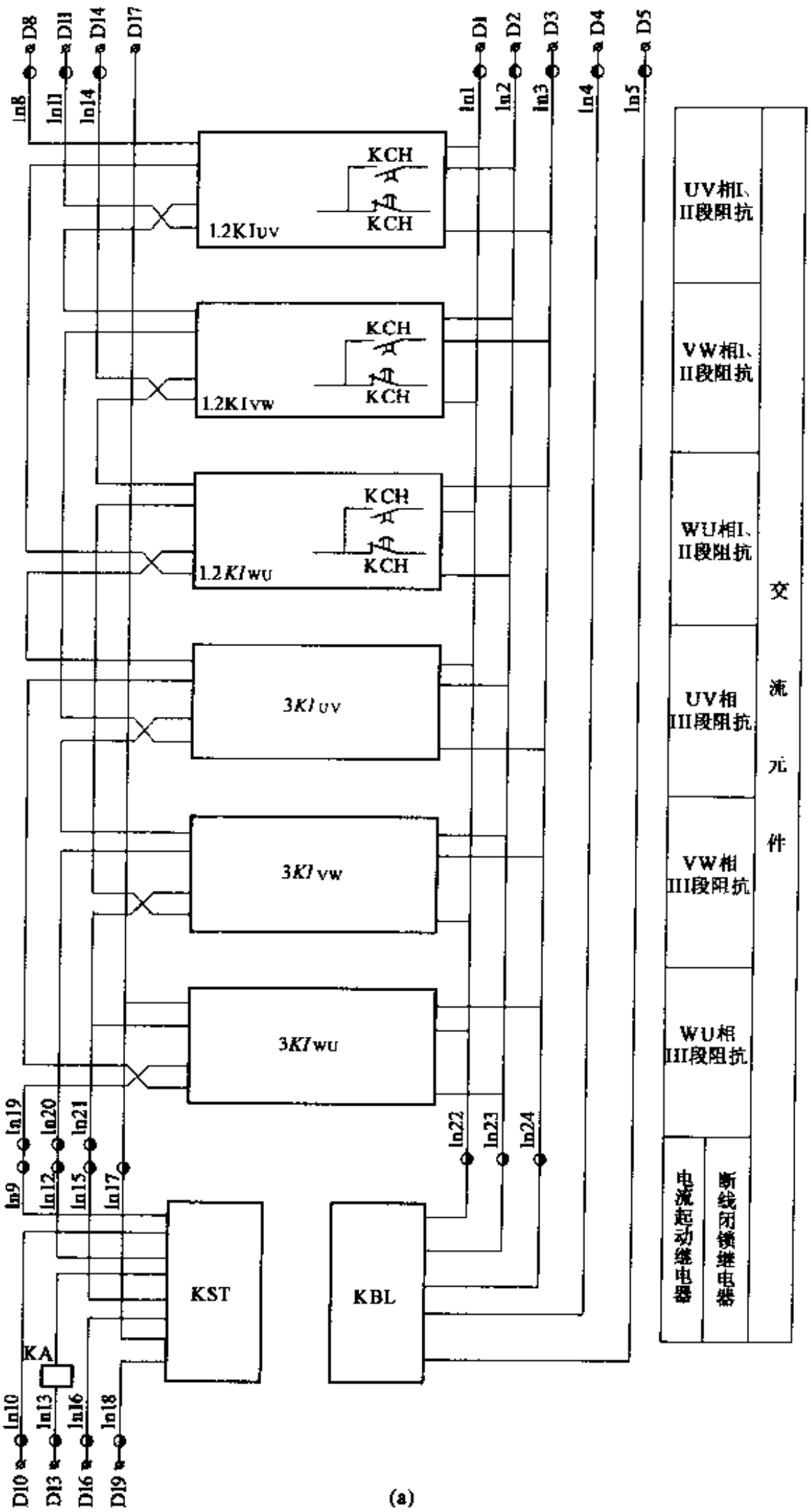
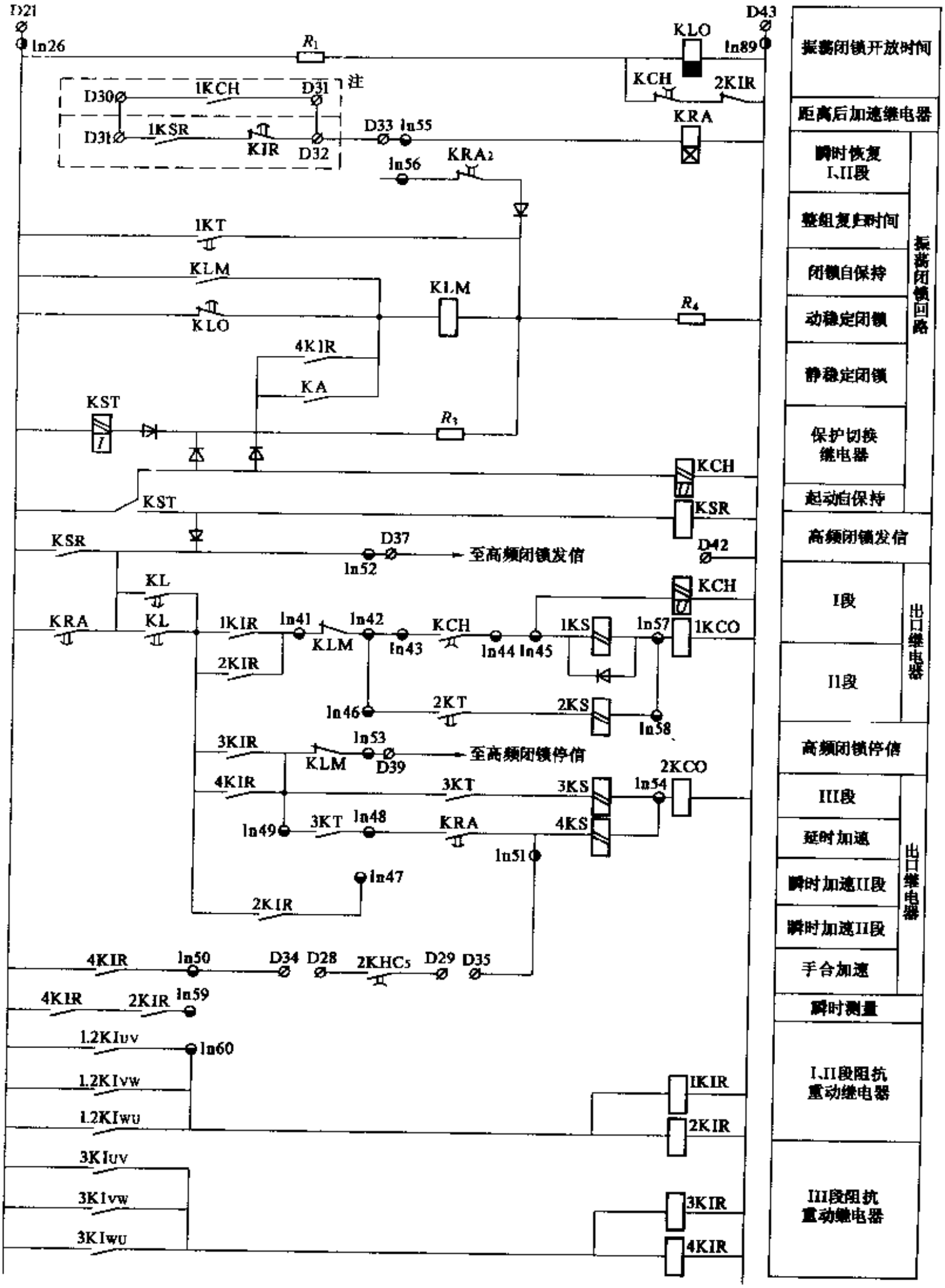


图 4-14　整流型

(a) 交流回路;



(b)

保护的回路图（一）

(b) 直流回路一

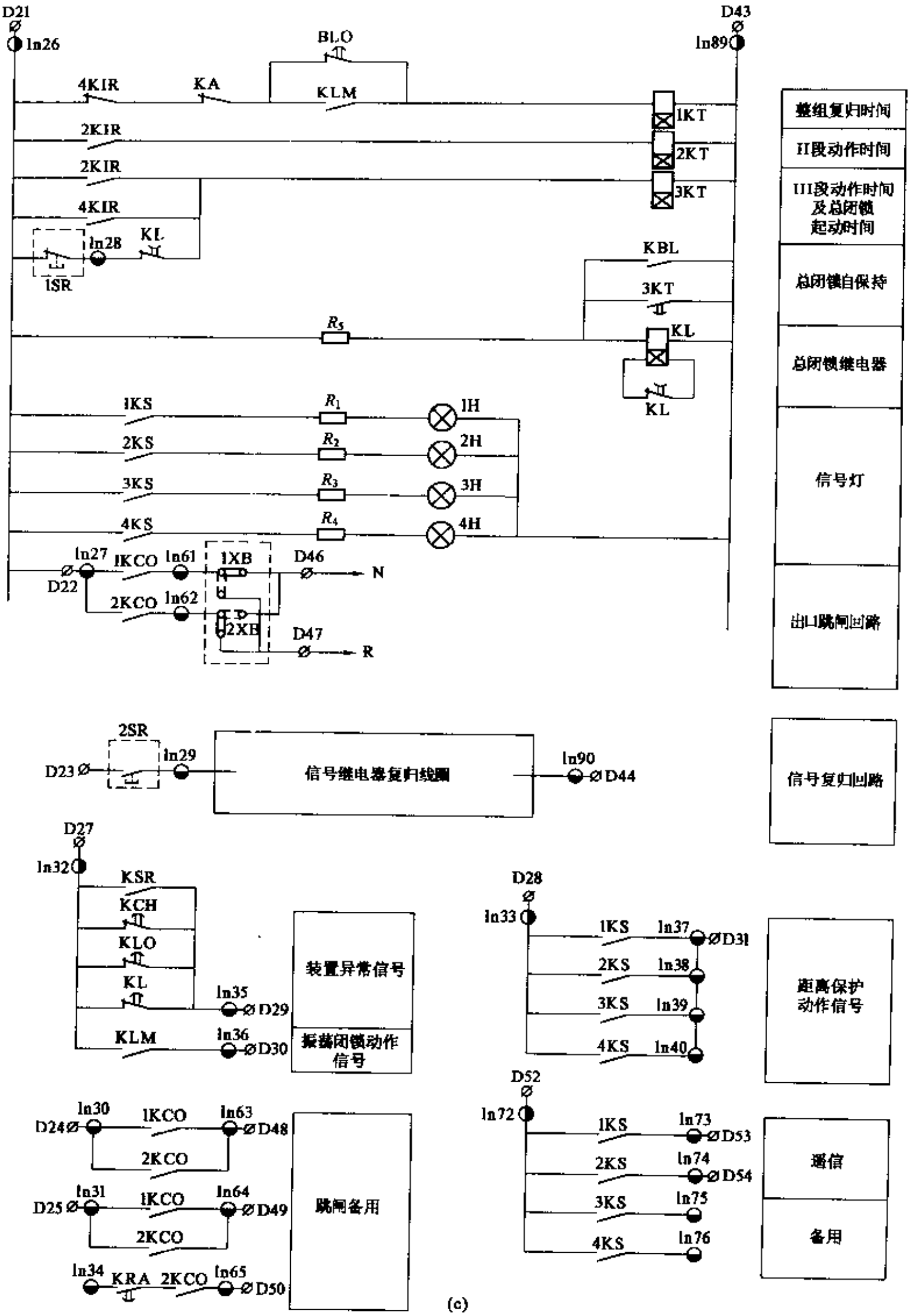


图 4-14　整流型保护的回路图（二）

（c）直流回路二

四、查找过程

PLH 型保护的电路见图 4-14。

1. 根据指示信号确定故障范围

根据指示信号初步确定故障点在后加速及信号复归电路中。

2. 做模拟试验

模拟后加速动作，观察零序Ⅰ段信号继电器的动作行为。

3. 确定因果关系

从继电器的动作顺序可以看出后加速信号继电器动作以后则零序Ⅰ段信号返回。

4. 用示波器观察 $5KS_0$ 的感应电动势

用示波器观察 $5KS_0$ 的感应电动势，发现当 KRA_0 触点返回时，$5KS_0$ 的线圈两端有反电动势出现。

五、解决办法

通过分析认为产生复归的原因是继电器 $5KS_0$ 的动作，线圈两端产生较高的感应电动势，把此感应电动势削去就会消除这种现象。因此，在 $5KS_0$ 的动作线圈两端并一只放电二极管，其反向耐压 1000V，见图4-15。

在 KRA_0 返回时，$5KS_0$ 两端的感应电动势为二极管所吸收，此时压降约为 0.7V 左右。

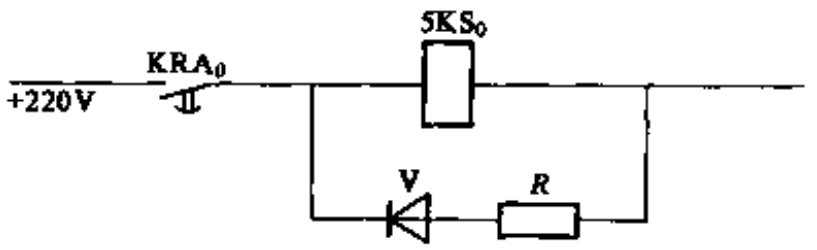


图 4-15　在 $5KS_0$ 起动线圈上所并联的二极管电路

第三节　WL发电厂线路距离保护Ⅰ段拒动

一、故障现象

WL 发电厂 110kV 线路装有 PLH—11 型线路保护，1994 年 5 月 6 日在线路Ⅰ段范围内发生相间故障，保护Ⅰ段没有动作，Ⅱ段出口跳闸，在检验保护的性能时模拟Ⅰ段定值下的故障，同样发现该保护的Ⅰ段不动作，Ⅱ段动作。保护Ⅰ段不动作是不正确的，应予以处理。

二、保护的结构与原理

PLH—11 型距离保护的结构与原理见本章第二节，但具体电路有所差别。

三、故障发生以后进行的检查工作

1. 有关元件的定值核对

Ⅰ段距离动作阻抗整定值 0.75Ω，实测值：UV 相 0.76Ω

VW 相 0.75Ω

WU 相 0.74Ω

Ⅰ段距离动作时间实测值：UV 相　50ms

VW 相　51ms

WU 相　52ms

Ⅱ段距离动作阻抗整定值 2.50Ω，实测值：UV 相 2.51Ω

VW 相 2.51Ω

WU 相 2.50Ω

Ⅱ段距离动作时间整定值：1.50s 实测值：UV 相　1.52s

VW 相　1.51s

WU 相　1.51s

经检验证明距离保护Ⅰ段、Ⅱ段的动作值正常。

2. 做Ⅰ段故障下的整组试验

用手动按下切换继电器 KCH 的办法，模拟 KCH 动作，再加入Ⅰ段定值对应的故障量后，保护Ⅰ段动作正常；松开 KCH 切换继电器后，再加入上述故障量，保护又出现Ⅰ段不再动作，Ⅱ段动作的现象。

四、故障原因分析

根据上述检查结果，可以作出下列判断。

1. 切换继电器返回快

切换继电器 KCH 返回时间短，在起动元件重动继电器 2KIR 尚未动作之前已经返回。

2. 阻抗元件动作慢

阻抗元件 KI 动作慢，在 KCH 延时返回前还没有动作。

以上两种情况，都能导致保护Ⅰ段不动作，Ⅱ段动作的故障发生。与Ⅰ、Ⅱ段有关的电路见图 4-16。

因此，对切换继电器 KCH 延时返回的时间进行了检验，测试结果正常，更换距离测

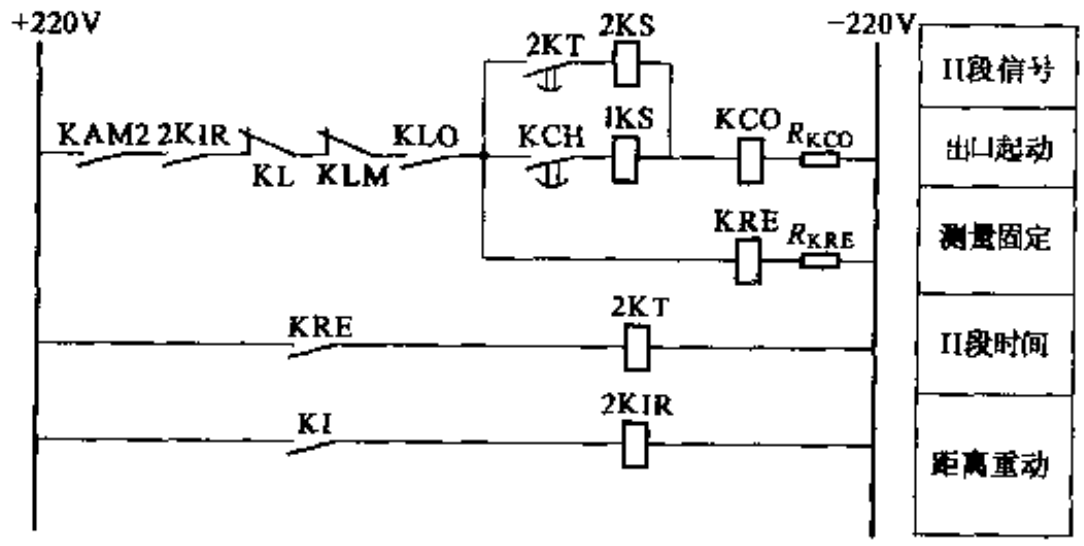


图 4-16　与Ⅰ、Ⅱ段出口相关的回路

KCO—出口继电器；2KIR—距离Ⅰ、Ⅱ段重动继电器；KCH—距离Ⅰ、Ⅱ段切换继电器，延时返回 0.15s；KI—相间距离测量元件

量元件 KI 的执行继电器一极化继电器，重做整组试验时，Ⅰ段动作正常。

由此可见，保护Ⅰ段的拒动是因为极化继电器的动作时间慢而引起的。

五、故障的查找过程

保护故障的查找过程总结如下。

(1) 检查Ⅰ、Ⅱ段元件的定值，测动作时间。

(2) 模拟切换继电器动作后，检查Ⅰ段的动作行为。

(3) 检验切换继电器的返回时间。

(4) 距离测量元件的极化继电器试验，测量动作时间。

经试验后，确定极化继电器的动作时间长是造成距离保护Ⅰ段拒动的原因。更换试验合格的极化继电器。

六、采取的措施

更换了距离测量元件的极化继电器以后，距离保护存在的缺陷得以消除。由此可见，在设备定检时应严格进行以下的检验工作。

(1) 检验所有极化继电器的动作、返回电流值，对不合格者进行更换。

(2) 检验测量元件的动作时间值，若动作时间长时应分析其原因。

(3) 检验保护逻辑关系，确保逻辑关系的正确性。

新设备投运或保护定期检验均应严格对极化继电器进行全部项目的检验，这是保护装置正确动作的前提。

第四节　XQ变电站 110 kV线路零序保护Ⅱ段误动作

一、故障现象

XQ 变电站 110kV 线路装有 PLH—11 型距离保护屏，1994 年 2 月 25 日，保护屏的零序保护Ⅱ段动作跳闸，重合闸动作重合不成功。根据记录及表记指示结果可知，保护动作时一次系统无故障，零序保护Ⅱ段动作属于误动作，下面对保护误动作的原因检查与分析作以介绍。

二、保护的结构与原理

PLH—11 型距离保护的结构与原理详见本章第二节。

三、故障的原因检查与分析

1. 外观检查

外观检查表明，零序功率继电器 KP_0 底座受损，零序保护Ⅱ段时间继电器 $1KT_0$ 触点的胶木损坏。

2. 绝缘检查

（1）用 1000V 兆欧表测量零序功率继电器 KP_0 的底座处的绝缘电阻为零。

（2）用 1000V 兆欧表测量零序保护Ⅱ段时间继电器 $1KT_0$ 触点间的绝缘电阻为零。

（3）用 1000V 兆欧表检查其他交直流回路的绝缘均属正常。

3. 故障分析

关于零序功率元件及零序Ⅱ段时间元件的接线见图 4-17。

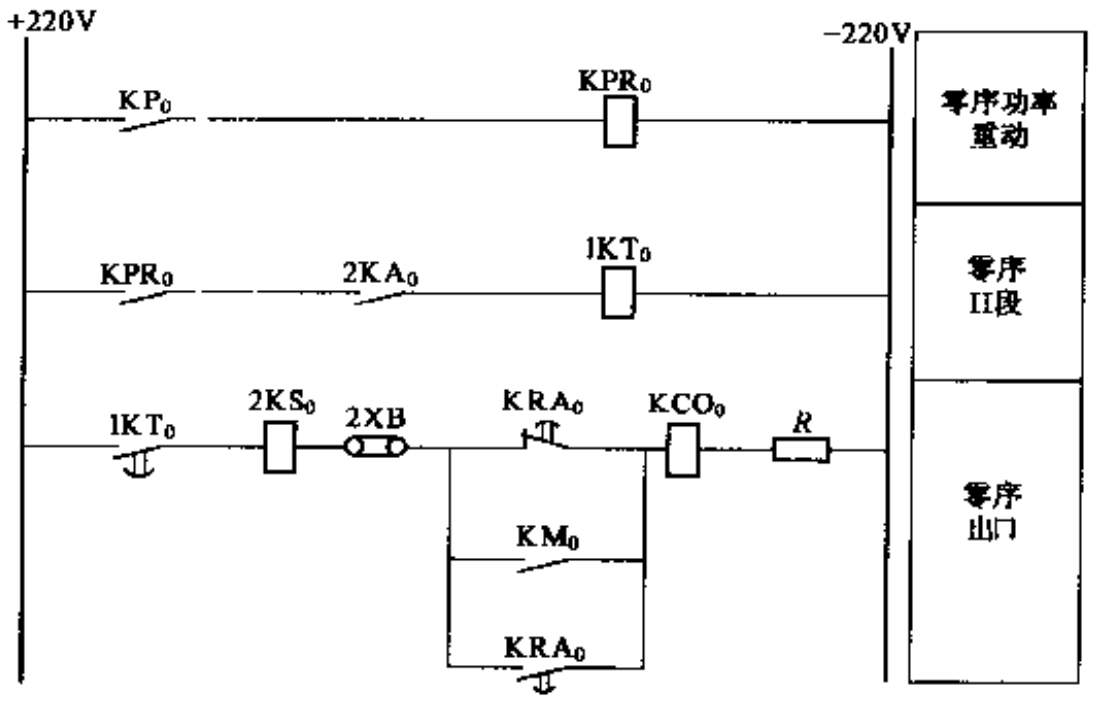


图 4-17　零序功率及零序Ⅱ段接线图

KP_0—零序功率元件；KPR_0—零序功率重动元件；KCO_0—零序保护出口元件

（1）KP_0 触点故障不会导致保护动作。零序功率继电器 KP_0 底座的绝缘击穿，存在 KP_0 触点的导通问题，从图 4-17 中可以看出，KP_0 动作以后，其重动继电器 KPR_0 起动，此时系统没有故障，Ⅱ段零序电流 $2KA_0$ 继电器不动作，所以，零序Ⅱ段时间继电器 $1KT_0$ 没有起动。

（2）时间继电器 $1KT_0$ 的触点击穿是造成线路跳闸的根源。零序保护Ⅱ段时间继电器 $1KT_0$ 的触点的击穿，使正电源经 $1KT_0$ 触点，信号继电器 $2KS_0$，后加速触点直接起动出口继电器 KCO_0，KCO_0 动作后将线路跳闸。

（3）$1KT_0$ 永久性的击穿，使重合闸不可能成功。因为 $1KT_0$ 触点的击穿是永久性的，所以开始击穿后，将线路开关跳掉，此时重合闸由于开关位置不对应而起动，将开关再合上，$1KT_0$ 永久击穿，再将开关跳开。

4. 引起绝缘击穿的原因分析

由于变电站地处矿区附近，有害气体侵入到控制室的内部，使电器设备的绝缘受到不同程度的损害，这是故障发生的主要根源。继电器的质量问题是引起绝缘击穿的另一因素。

四、采取的措施

1. 更换继电器

将上述两只继电器 KP_0、$1KT_0$ 更换后，保护的性能恢复正常，保护投入运行。

2. 在保护屏后加防护罩

为了避免矿区有害气体及潮湿气体的直接侵入，在保护屏的屏后附加防护罩。

3. 加强定期检验的力度

保护的绝缘受到损伤，后果非常严重，因此运行人员应经常注意保证控制室的密封问题．检修人员在定期检验时，应把绝缘检查作为重要项目。

4. 在 $1KT_0$ 延时闭合触点回路中串接 $1KT_0$ 瞬时闭合的常开触点

第五节　YH热电厂线路Ⅰ段距离保护在区外故障时误动作

一、故障现象

YH热电厂升压站110kV系统的基本结构见图4-18，HL变电站的进线Ⅰ出口处发生相间故障时，该线路保护的Ⅰ段正常动作，跳开QF3故障被切除。热电厂的出线YLI线JJ—11型距离保护随之将QF1断路器跳开。QF1断路器此时的动作属于越级跳闸，JJ—11型距离保护的动作是误动作。

二、JJ—11型距离保护简介

1. 装置概述

JJ—11型相间距离保护装置是第Ⅰ、Ⅱ段切换，第Ⅲ段独立的三段式距离保护，用于110—220kV大电流接地系统输电线路的相间短路保护。

装置由三相负序电流元件及零序电流元件组成起动元件，利用起动元件与阻抗元件、相电流元件的动作时间差的配合构成振荡闭锁，装置设有跨线端子以实现对第Ⅰ段或第Ⅱ段经振荡闭锁或不经振荡闭锁的控制。三相式负序电流起动元件在对称性故障或不对称性故障下均能可靠起动。

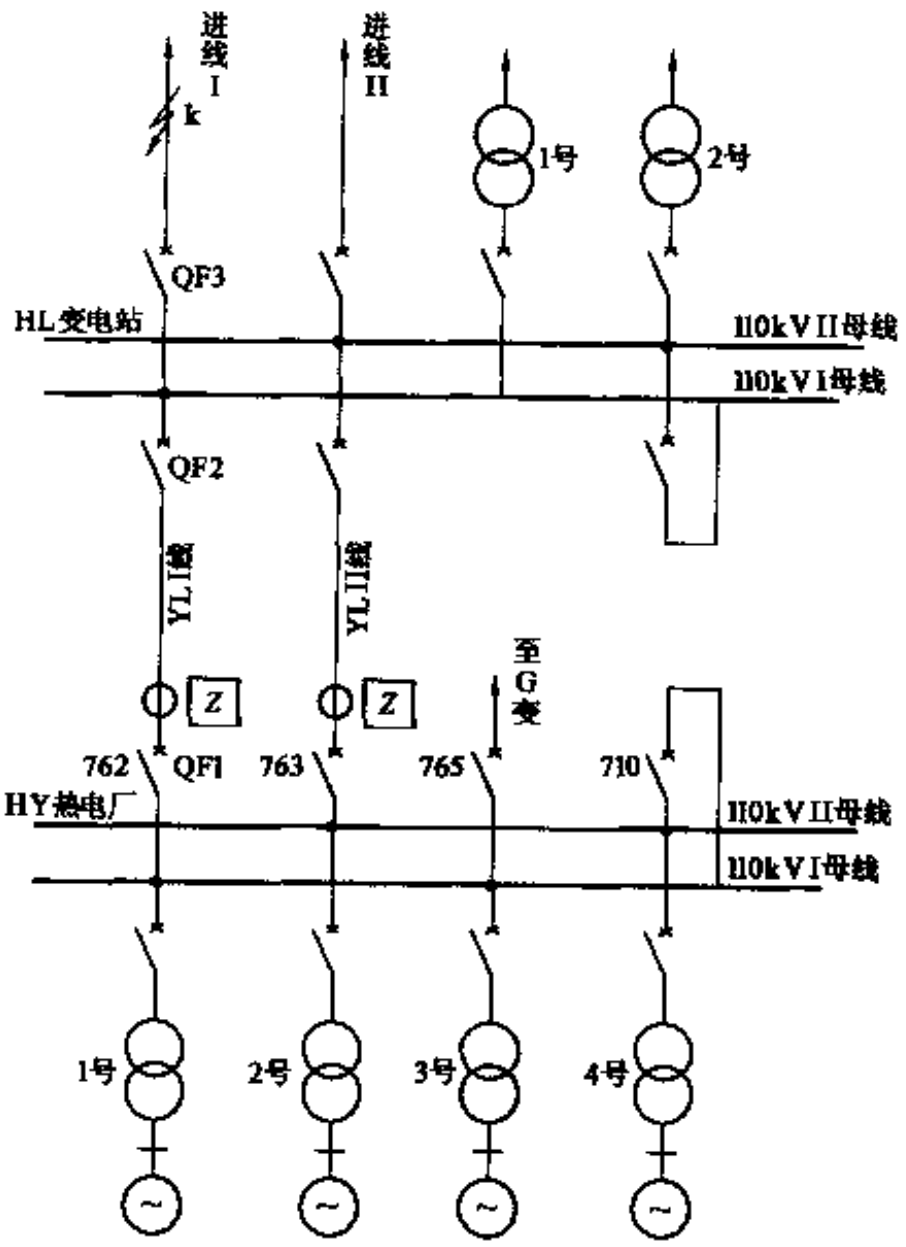


图4-18　110kV故障时的系统结构

测量元件是6个线电压和相电流之差的方向阻抗继电器，第Ⅰ、Ⅱ段定值靠继电器切换来实现，第Ⅲ段阻抗元件独立工作。

当第Ⅲ段阻抗元件采用方向特性时，可与高频收发信机配合构成高频闭锁距离保护；若不用高频闭锁，则可根据需要改为偏移特性。保护装置设有加速方式跨线

端子，以实现瞬时加速第Ⅱ段或第Ⅲ段，延时加速第Ⅲ段。手合于故障线路时加速第Ⅲ段（同时加速第Ⅱ段），瞬时恢复第Ⅰ、Ⅱ段。考虑到运行中选用瞬时加速第Ⅱ段，TV 又在线路上时，为了保证出口三相故障可靠实现后加速，各段的 UV 相阻抗元件在手合或重合后自动切换到偏移特性。根据实际需要还有跨线端子留作瞬时测定。

装置设有能反映各种逻辑电路异常、交流电压回路失压、系统过负荷等内部及外部回路不正常的总闭锁继电器 KL。KL 动作后一方面对各段保护进行闭锁，另一方面起动报警回路、延时发出报警信号。为了提高装置动作的可靠性，用 KL 的触点直接控制跳闸出口继电器及停信继电器的正电源。当交流电压回路断线时，经短延时将保护闭锁并发出信号。总闭锁回路只能用手动复归。

保护装置与其他设备的配合及出口、信号输出全部采用有触点的形式。中间继电器为耐压 2kV 的小密封继电器。装置还设有整组试验按钮 SE。

装置的信号回路采用磁保持继电器及发光二极管。磁保持继电器当直流电源消失后仍能记忆其动作信号。

2. 技术数据

（1）额定参数。

交流电压：100V、50Hz。

交流电流：5A 或 1A、50Hz。

直流电压：220V 或 110V。

（2）保护装置功率消耗。

额定电压下，交流电压回路不大于 20VA/ph。

额定电流下，交流电流回路不大于 6VA/ph。

直流回路正常运行时不大于 15W，保护动作时不大于 25W。

（3）阻抗元件。

整定范围：$I_N = 5A$ 时，Ⅰ、Ⅱ段 0.2 ~ 2Ω/ph、0.4 ~ 4Ω/ph、1 ~ 10Ω/ph，Ⅲ段 0.5 ~ 5Ω/ph、1 ~ 10Ω/ph、2 ~ 20Ω/ph；$I_N = 1A$ 时，Ⅰ、Ⅱ段 1 ~ 10Ω/ph、2 ~ 20Ω/ph、、5 ~ 50Ω/ph，Ⅲ段 2.5 ~ 25Ω/ph、5 ~ 50Ω/ph、10 ~ 100Ω/ph。

阻抗角：70°、75°、80°。

最小精工电压：≤1V；最大精工电流：≥25A。

最小动作电压：0.5 ~ 0.8V。

出口三相短路记忆时间，>80ms。

暂态超越：≤5%。

（4）起动元件。

负序电流整定值：$I_N = 5A$ 时，0.5A、1A。$I_N = 1A$ 时，0.1A，0.2A。

零序电流整定值：$I_N = 5A$ 时，0.5A、1A。$I_N = 1A$ 时，0.1A，0.2A。

相电流元件整定值：$I_N = 5A$ 时，2.5 ~ 10A，级差 0.5A。$I_N = 1A$ 时，0.5 ~ 2A，级差 0.1A。

电压回路断线闭锁元件整定值：12V。

$3U_0$ 电压闭锁元件整定值：7V。

(5) 时间元件。

整组复归时间 t_1：6.5s。

保护Ⅱ段整定时间 t_2：0.25～2.9s，级差 0.05s。

保护Ⅲ段整定时间 t_3：0.5～8.5s，级差 0.1s。

延时加速第Ⅲ段时间 t_4：1.5s。

阻抗元件Ⅰ、Ⅱ段切换时间 t_5：75ms。

相电流元件动作延时 t_6：15ms。

振荡闭锁开放时间：220ms。

总闭锁动作延时：10s。

重合闸起动后加速的延时：250ms。

(6) 整组动作时间。

$Z_{op}=0.7Z_{set}$，电流为额定值时，整组动作时间不大于 30ms，电流为两倍精工电流，时间不大于 40ms。

高频闭锁距离整组动作时间不大于 35ms。

3. 原理框图说明

装置方框图见图 4-19。

KST：装置起动继电器。

KPD：相电流微分继电器。

KCH1：Ⅰ、Ⅱ段定值切换继电器。

KCH2：将 UV 相Ⅲ段方向阻抗切换成偏移特性。

E：禁止门。

Z_{UV}、Z_{VW}、Z_{WU}：相间阻抗测量元件。

KHCR：手动合闸重动继电器。

KAR：加速重动继电器。

KPS：保护装置监视继电器。

1KCO、2KCO：保护出口继电器。

KL：闭锁继电器。

1KS：保护Ⅰ段动作信号继电器。

2KS：保护Ⅱ段动作信号继电器。

3KS：保护Ⅲ段动作信号继电器。

4KS：保护后加速动作信号继电器。

KBL：断线闭锁继电器。

A：与门。

O：或门。

t：时间元件。

(1) 起动及振荡闭锁控制回路。

起动及振荡闭锁控制回路包括 IS、KPD 起动元件，O1、O5、O6、O7、O8 或门，E1、

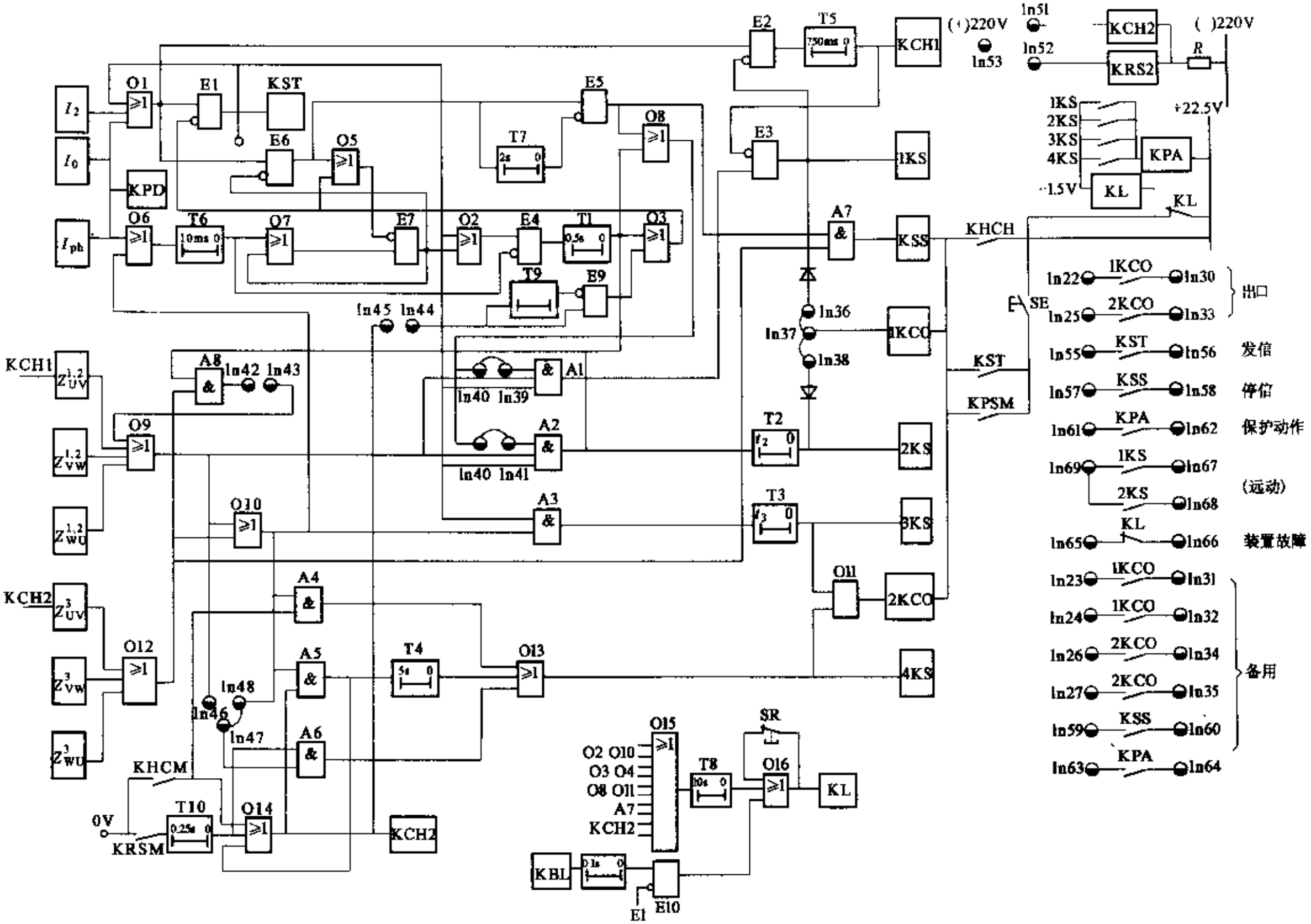


图 4-19　保护的原理框图

E5、E6、E7 禁止门，t6、t7 时间电路以及 KST 闭锁继电器等。KPD 为相电流微分继电器，作为辅助起动元件。

振荡闭锁包括静态稳定破坏闭锁和动态稳定破坏闭锁两部分。

1）静态稳定破坏闭锁。系统由于某种原因引起静态稳定破坏时，只要 I_{ph} 及 $Z_{UV\text{Ⅲ}}$（$Z_{VW\text{Ⅲ}}$、$Z_{WU\text{Ⅲ}}$）中任一元件动作，动作信号经 O6、t6、O7 到 E7，因开始阶段 IS 尚未动作，E7 没收到禁止信号，即有信号输出，一方面经 O7 自保持，另一方面给 E6 禁止信号，禁止振荡闭锁开放，将会发生误动的Ⅰ、Ⅱ段保护及停信出口闭锁。

2）动态稳定破坏闭锁。当线路发生故障时，电流起动元件 IS 动作，经 O1、E7 输出脉冲。经 O1 自保持，起动继电器 KST，并开放各段保护，给 E6 动作信号后振荡闭锁开放 t7（220ms）的时间，即 E5 严格受 t7 的控制。当 t7 延时一到，E5 便收到禁止信号，振荡闭锁就将可能误动的保护进行闭锁。

故障时阻抗或相电流元件也会动作，这些元件经 O6、t6 使动作信号延时 15ms 到达 O7 及 E7。此时 IS 早已动作，E6 的输出经 O5 给 E7 一个禁止信号，所以 E7 无信号输出，E6 也收不到禁止信号，使振荡闭锁开放。

振荡闭锁允许保护Ⅰ、Ⅱ段开放的时间可根据系统具体情况决定，一般是 220ms。为了提高装置的可靠性，用阻抗元件与相电流元件共同起动振荡闭锁，以增强对静态稳定破坏系统开始振荡时的动作灵敏度。

距离第Ⅲ段由于整定时限可以躲开系统的振荡周期，故不经振荡闭锁；第Ⅰ段，第Ⅱ段可根据保护定值确定是否经振荡闭锁。

（2）阻抗定值切换及Ⅰ段跳闸回路。

阻抗定值切换继电器 KCH1 受 E2 及 t5 控制。当系统发生故障时，起动元件动作，O1 有输出信号，经延时 t5（75ms）后由 E2 起动 KCH1。若故障发生在第Ⅰ段范围内，则Ⅰ段阻抗继电器动作由 A1 输出经 E3、O4 起动出口 1KCO 跳闸；同时 E3 给 E2 禁止信号，闭锁切换继电器 KCH1。若故障发生在第Ⅱ段内，起动元件动作后经 t5 延时由 E2 起动 KCH1，将阻抗定值由Ⅰ段切到Ⅱ段；同时 E3 收到 E2 的禁止信号使Ⅰ段不能跳闸。

（3）保护各段跳闸回路。

保护跳闸回路包括 3 个第Ⅰ、Ⅱ段切换的距离元件 $Z^{1,2}_{UV}$、$Z^{1,2}_{VW}$、$Z^{1,2}_{WU}$，3 个第Ⅲ段距离元件 Z^{3}_{UV}、Z^{3}_{VW}、Z^{3}_{WU}，O4、O9、O10、O11 或门，A1、A2、A3 与门，E3 禁止门，t2、t3 时间电路，1KS、2KS、3KS 信号继电器及 1KCO、2KCO 出口继电器。出口跳闸回路由总闭锁 KL 常闭触点和保护起动继电器 KST 常开触点控制。

（4）后加速回路。

后加速回路包括 O11、O13、O14 或门，A4、A5、A6 与门，t4、t10 时间电路，4KS 信号继电器，2KCO 出口继电器及 KCH2 切换继电器。

手动合闸及重合闸后加速脉冲分别由手合起动继电器 KHSM 及重合闸起动继电器 KRSM 触点控制。手合或重合于出口三相短路时，为了可靠加速跳闸，将 KCH2 的触点引入阻抗元件 UV 相的平衡回路，使方向特性短时改变为偏移特性，从而消除因电压死区所造成的拒动。

1）手合后加速。由 KHSM 起动发出手动合闸信号，若合于相间短路，则瞬时加速第Ⅲ段，由 A4 输出，通过 O11、O13 起动 2KCO 跳闸并由 4KS 发出后加速动作信号。一般手动合闸均在同期方式下进行，因此手合加速可不带时限。为了提高保护在手合于对称三相故障时动作的可靠性，此时不再经电流起动元件、振荡闭锁及总闭锁触点的控制。手合加速第Ⅲ段的同时，用 O10 输出也起到了加速第Ⅱ段的作用。

2）重合闸后加速。重合闸后加速按下列 4 种方式考虑：瞬时加速保护第Ⅱ段；瞬时加速保护第Ⅲ段；第Ⅲ段带可以躲振荡的短延时；瞬时恢复Ⅰ、Ⅱ段。

重合闸后加速由 KRSM 起动发出重合闸起动信号，用切换端子 XB2（ln46、ln47、ln48）选择加速第Ⅱ段或第Ⅲ段。若重合于线路相间故障，则由 A6 输出，经 O11、O13 起动 2KCO 跳闸，4KS 发出后加速信号。KRSM 起动后，经 t10 的 2.5s 发出后加速脉冲，即后加速脉冲是在非全相运行中发出，这样可快速切除在非全相运行中再次发生的相间故障，以减少对系统稳定运行的影响。

若非全相过程中距离元件不会误动作时，重合闸后允许采用瞬时加速第Ⅱ段或第Ⅲ段、若距离元件会发生误动时则不允许采用瞬时加速的方式，可选用带短延时加速方式。

当保护与重合闸配合，考虑到重合闸成功两侧电源摆角不大，不足以使第Ⅰ段阻抗元件误动作及第Ⅱ段阻抗虽可能误动但在振荡闭锁时间内不会误动作时，采用瞬时恢复保护Ⅰ、Ⅱ段的方式。短接 XB3 的 ln44、ln45 就能实现这种方式。当起动元件用非增量起动时，单相重合闸不能用瞬时恢复Ⅰ、Ⅱ段的方式。

手合及重合闸后加速均有延时后加速段，由 A5 输出经 O14 自保持，确保后备加速段可靠动作。

（5）整组复归回路。

整组复归回路包括 O2、O3 或门，E4、E9 禁止门，t1、t9 时间电路。

整组复归回路分快速复归和延时复归两部分。快速复归由 KHSM 或 KRSM 经 t10、O14、E9、O3 输出。脉冲起作用的时间由 t9 控制。延时复归受 t1 控制，带自保持的保护起动信号通过 E4、t1、O3 输出整组复归信号；因系统振荡（I_{ph}、Z^3_{UV}、Z^3_{VW}、Z^3_{WU}动作）时除使 E4 被禁止外，同时通过 O7、E7 将信号自保持。待振荡平息后此保持信号通过 E4 起动 t1，经 O3 输出整组复归信号给 E1、E7 将保护复归。

（6）高频闭锁距离保护的构成。

该装置可与高频收发信机配合构成高频闭锁距离保护，作为全线速断的主保护。保护与高频的配合主要是起信和停信。

起信：由电流起动元件起动。当 IS 动作后，通过 O1、E1 起动 KST，并经 O1 自保持。KST 触点闭合后起动高频收发信机发出高频信号。

停信：由振荡闭锁及阻抗第Ⅲ段经 A7 输出，受 KST 及 KL 的控制后起动停信继电器 KSS，KSS 触点闭合使高频收发信机停信。

高频闭锁保护与距离第Ⅲ段配合后，距离Ⅰ、Ⅱ段能独立工作，对本线 80% 范围内的故障均有两套速动保护，具有双重化的优点。

（7）总闭锁及告警回路。

总闭锁由 KBL 构成，实现对 1KCO、2KCO、KSS、KCH2、IS、O3、O4、O7、O8、O11、A2 等元件监视。

为区别系统故障和装置异常动作，告警回路带 t8 的 10s 延时起动 KL。

当电压回路断线时 KBL 动作，因电流起动元件 IS 不动作，E1 无输出，系统无零序电压也无闭锁信号，所以 KBL 动作后经 E10、O16 起动总闭锁 KL。

当系统故障时，IS 起动，通过 E1 向 E10 送一禁止信号，使总闭锁回路可靠不起动。

为了防止 TV 在线路侧非全相过程中瞬时复归Ⅰ、Ⅱ段时误闭锁整套保护，KBL 另设接 TV 开口三角 $3U_0$ 的电压闭锁回路。又因 KBL 在系统故障时可能动作，若动作比 IS 快就会造成总闭锁误起动。因此 KBL 必须带延时。

(8) 信号及出口跳闸回路。

信号继电器 1KS～4KS 均为磁保持继电器，1KS、2KS 触点分别供动作跳闸的遥信用。装置本身用发光二极管作为 KST、I_{ph}、KBL、$Z^{1,2}$、Z^3、保护Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段、后加速、装置故障及电源的指示信号灯。

出口 1KCO、2KCO 分别经重合闸 N 端或 R 端跳闸，由屏上的切换片选择之。出口继电器不带电流保持。

(9) 方框图的动作说明。

1) 线路瞬时故障。

线路发生各种相间故障，IS 动作，经 O1、E1 起动 KST，接通跳闸电源，同时由 E6、E5、O8 开放保护。

若故障在Ⅰ段范围内，则 $Z^{1,2}_{UV}$ 动作，经 O9、A1、E3、O4 起动出口 1KCO，并由 1KS 发Ⅰ段动作信号。

若故障在Ⅱ段范围内，保护Ⅰ段开放 75ms，此时由于测量元件不动作，所以出口不动作，经 75ms 因 E3 收到 E2 的禁止信号，出口回路被闭锁。

t5 动作后 KCH1 起动，触点闭合将测量元件的定值切到Ⅱ段，$Z^{1,2}_{UV}$ 动作，由 O9、A2 输出经Ⅱ段时间 t2 及 O4 起动 1KCO，同时 2KS 发Ⅱ段动作信号。

若故障发生在Ⅲ段范围内，起动元件及 Z^3_{UV} 动作，经 O10、A3、t3 起动出口 2KCO，作为后备保护。3KS 发Ⅲ段保护动作信号。

由于故障是瞬时性的，切除故障后阻抗元件 $Z^{1,2}_{UV}$ 或 Z^3_{UV} 返回，相电流元件 IS 返回。电流起动继电器 KST 动作后呈自保持状态，经 t1 延时后 O3 有输出，使 E1 及 A5、E7 收到复归信号，将所有自保持回路解除，装置整组复归。

2) 线路永久性故障。

线路故障的跳闸过程同上，无论是保护经重合闸跳闸，还是断路器位置不对应起动重合闸均使 KRS 起动，KRSM 励磁，经 t10、O14、A6 瞬时加速阻抗Ⅲ段或Ⅱ段，由 O13、O11 起动 2KCO 跳三相，另一路 t4、O14、A5 也起动 2KCO。4KS 发出后加速动作信号。

若保护接线路 TV，在发出加速脉冲的同时经 O14 起动 KCH2，使各段 UV 相方向特性改为偏移特性，以消除出口三相短路的电压死区。

手合于故障线路时，在加速Ⅲ段的同时，经 O10 加速第Ⅱ段，由 A4、O13、O11 直接

起动 2KCO 跳闸。

3）转换性故障。

当线路发生单相故障，接地保护动作后尚未跳闸又发展成为相间故障时，若故障发展较快，在振荡闭锁开放的时间内，只要阻抗元件能够动作，保护仍可经 A1 或 A2 输出，接Ⅰ段或Ⅱ段的方式跳闸；若故障发展较慢，超过了振荡闭锁开放时间，A1、A2 无输出，即使 Z_{UV}^{2}动作也不能跳闸，故障的切除只能由 Z_{UV}^{3}、A3 经 t3、O11 起动 2KCO 跳闸，故障切除时间较长。

4）经过渡电阻短路。

为防止短路后过渡电阻发生变化，可用瞬时固定的方法。瞬时固定电路由阻抗元件 Z_{UV}^{2}、Z_{VW}^{2}、Z_{WU}^{2}、Z_{UV}^{3}、Z_{VW}^{3}、Z_{WU}^{3}，或门 O9、O12，与门 A2、A8 组成。A8 输出对Ⅱ段信号进行保持，即使阻抗元件因过渡电阻的影响而返回，仍能保证可靠动作跳闸。

三、故障的查找过程

1. 保护故障的原因分析

从原理上讲，导致 1QF 断路器越级跳闸的原因是距离保护 JJ—11 误动作，在区外故障的情况下，距离保护误动作的可能的原因有以下几种。

（1）定值问题。

关于 HY 热电厂 YLI 线路保护的定值范围见图 4-20，距离Ⅰ段为 $80\%L_1$，距离Ⅱ段为 $120\%L_1$。距离保护的整定时限：Ⅰ段 0s；Ⅱ段 0.5s。导致距离保护误动作的可能的定值原因分析如下。

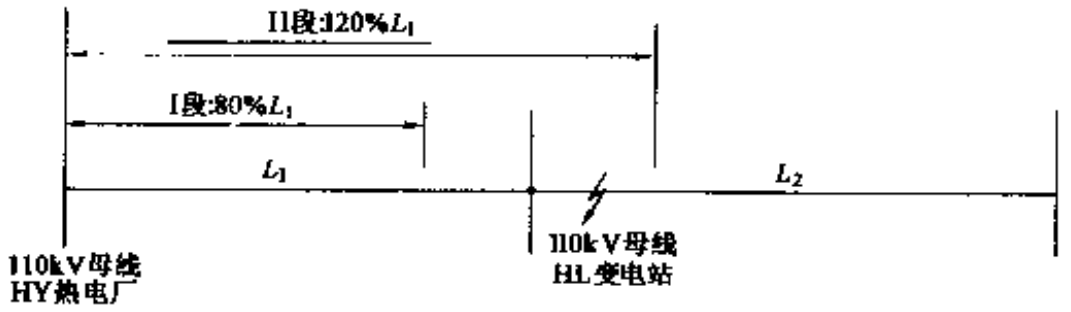


图 4-20　距离保护Ⅰ、Ⅱ段的整定范围

1）阻抗Ⅰ段出现范围超越。

在下一线路出口短路的条件下，YLI 线距离保护Ⅰ段如果整定范围错误，出现超越，则会导致越级跳闸的后果。

实际上，YLI 线的距离较短，距离超范围的问题容易发生。

2）距离Ⅱ段时限缩短。

由于距离Ⅱ段的整定范围已经延伸到了下一线路，这次故障点就出在Ⅱ段的内部，如果Ⅱ段的时限 t_2 由 0.5s 缩短到小于下一线路距离保护Ⅰ段的动作时间及开关跳闸时间之和（约 0.2s），则距离Ⅱ段肯定会动作跳闸。

JJ—11 型晶体管保护的Ⅱ段时间电路见图 4-21。由于整定时出错未被发现或元件损坏方面的问题导致时间的缩小。

同理，距离Ⅲ段时间的缩短也会导致越级跳闸。

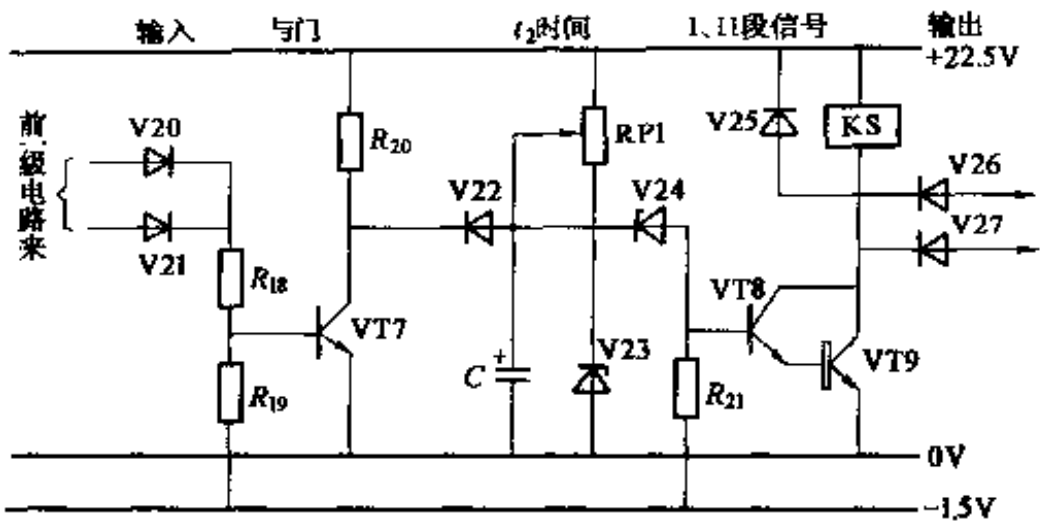


图 4-21　距离保护Ⅱ段时间电路

(2) 电压问题。

相间距离的接线方式采用阻抗继电器的 0°接线方式，即

$$Z_{UV}=\frac{\dot{U}_{UV}}{\dot{I}_U-\dot{I}_V}$$

$$Z_{VW}=\frac{\dot{U}_{VW}}{\dot{I}_V-\dot{I}_W}$$

$$Z_{WU}=\frac{\dot{U}_{WU}}{\dot{I}_W-\dot{I}_U}$$

短路后，使上式中的电压减小，则测量阻抗变小，测点进入动作区，导致保护动作。

2. 故障的检查过程

对保护的定值以及电压回路进行了检查，结果表明保护的定值正常，距离Ⅰ、Ⅱ段定值切换继电器出现问题，即切换继电器动作后其常开触点不能闭合，区外故障Ⅰ、Ⅱ段定值切换后，测量元件失去大部分电压而动作跳闸。

四、故障的原理分析

本次故障的焦点在于下一线路是Ⅰ段动作切除故障，YLI 线是Ⅱ段动作跳闸，而Ⅱ段带有 0.5s 的延时，保护的测量元件此时应该返回。下面从原理上分析Ⅱ段保护的动作原因。

1. 测量元件的特性

(1) 方向阻抗的特性。

保护装置采用绝对值比较的方向特性，其阻抗圆和电压圆图形见图4-22。

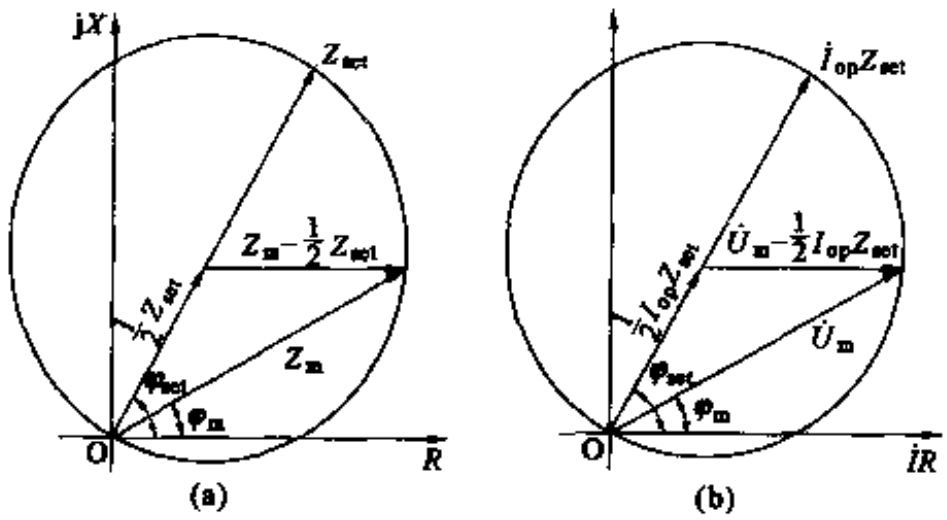


图 4-22　方向阻抗的特性圆

(a) 阻抗圆；(b) 电压圆

图 4-22 中，U_m 为继电器的测量电压；I_{op}为继电器的动作电流；Z_{set}为继电器的整定阻抗；Z_m 为继电器的测量阻抗；Φ_{set}为继电器的整定阻抗角；Φ_m为继电器的测量阻抗角。

阻抗圆特性的动作方程式为

$$\left| Z_m - \frac{1}{2} Z_{set} \right| \leqslant \left| \frac{1}{2} Z_{set} \right|$$

电压圆特性的动作方程式为

$$\left| \dot{U}_m - \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} \right| \leqslant \left| \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} \right| 。$$

Z_m 或 U_m 相量的末端落于圆内，则上述关系式成立，保护动作。

（2）极化电压的引入。

上述特性在线路出口发生相间短路时，测量阻抗 $Z_m = 0$，上述关系式成为恒等式，此时继电器的动作量等于制动量。继电器处于临界动作状态，为了提高保护动作的可靠性，引入一附加电压，即极化电压，对极化电压的要求有两点：继电器测量电压为零时，极化电压不为零。

与测量电压同相位，同时加于工作量和制动量的两侧，不致引起特性性质的变化。

引入极化量后的动作方程 $\left| \dot{U}_m - \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} + \dot{U}_p \right| \leqslant \left| \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} + \dot{U}_p \right|$。

2. 测量元件的电路结构

（1）交流回路。

交流回路如图 4-23 所示，图中 TV 为一、二段阻抗元件的电压互感器（第三段阻抗元件的 TV 无 W5、W6 线圈）。其一次侧接于相间电压，其二次侧有五个线圈，W2 为一、二段公用粗调节，每档 10%，W3、W5 匝数相等，分别为一、二段中调节，每档 2%，W4、W6 匝数相等，分别为一、二段细调节，每档 0.5%，利用这 5 个线圈分别组成一、二段电压调整，改变阻抗整定值。TV 二次侧串有 17 个电阻，作补偿回路阻抗平衡用。

TVR 为谐振变压器，利用一次绕组电感与电容组成串联谐振回路。谐振频率 50Hz。取其二次反极性电压作方向阻抗元件的极化电压 U_p，一次侧接第三相电压。当保护安装处发生相间故障时，保证方向阻抗元件可靠动作。当保护安装处发生三相短路时，母线电压突然降为零，极化电压 U_p 因记忆作用不会突变为零，按谐振频率 50Hz 衰减振荡，并保持故障前的相位，对第三相电压记忆一段时间，保证方向阻抗元件可靠动作，消除动作死区。

TVR 的二次侧两个绕组匝数相等，保证了二次输出两个电压幅值相等，使加入方程两边的 U_p 完全相同。

TL 电抗互感器，一次侧分别在 20%、40%处没有出线，它与电压互感器的引出线相配合，可以得到整定阻抗有两种规格供选用。第一种 0.2 ~ 2Ω/相，0.4 ~ 4Ω/相，1 ~ 10Ω/相范围内任意变化；第二种为：0.5 ~ 5Ω/相，1 ~ 10Ω/相，2 ~ 20Ω/相。当交流额定值为 1A 制时，其阻抗整定范围为上述阻抗值的 5 倍。整定值与抽头关系为 $Z_{set} = \frac{Z_{TL}}{K_{TV}}$。

式中 Z_{TL}——TL 转移阻抗值；

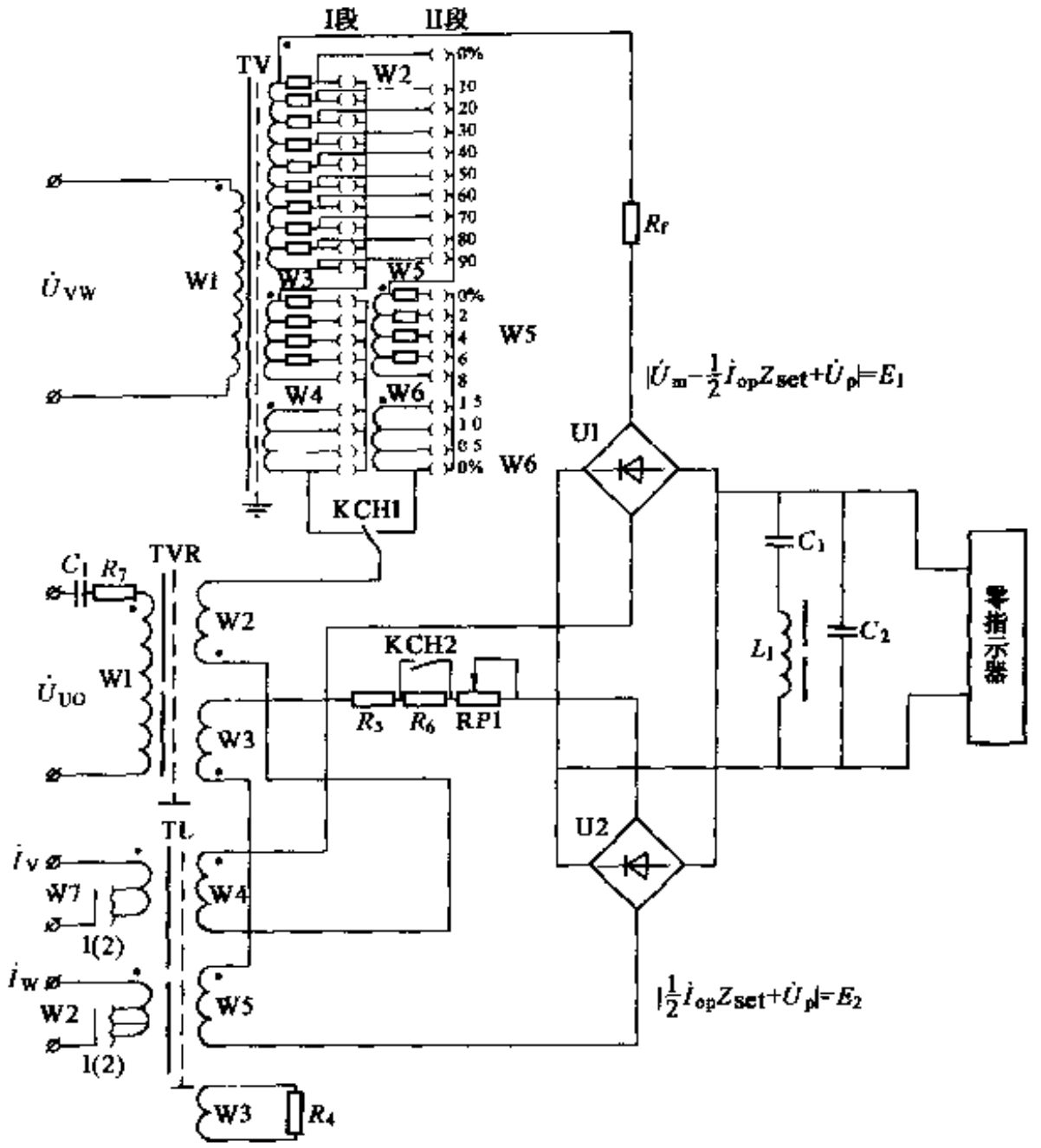


图 4-23　测量元件电路

K_{TV}——TV 的抽头百分数。

方向阻抗的内角调整是通过改变 TL 二次侧 W3 的负荷电阻来实现的，分别设 70°、75°、80°三档。用户可根据实际需要自行调整。

方向阻抗元件互感器有接地屏蔽层，用以提高抗干扰能力。

(2) 比较回路。

整流桥 U1 的输出量是制动回路整流后的电气量

$$E_1 = \left| \dot{U}_m - \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} + \dot{U}_p \right|$$

整流桥 U2 的输出量是工作回路整流后的电气量 $E_2 = \left| \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} + \dot{U}_p \right|$。

制动回路中电阻 R_1 和工作回路中电阻 R_5、R_6、RP1 分别为两回路的限流电阻，主要保证循环电流不超过整流桥二极管正向电流的允许值。工作回路中电位器 RP1 用于平衡调节，以保证方向阻抗继电器的方向性。

两组整流桥构成循环电流方式的比较回路，一组整流桥是另一组整流桥的负载，因此无论输入信号电压多高，直流输出均受两个二极管正向特性限制，具有限幅作用，输出平滑，对滤波要求简单，其缺点是效率低，损耗大。在临界状态，制动回路与工作回路电气

量接近相等时，比较回路的输出，除直流分量外，还含有偶次谐波分量，因此加装了二次谐波滤过器及滤高次谐波的电容器。

当 $E_1 > E_2$ 时，制动量大，继电器不动作。

当 $E_1 = E_2$ 时，临界状态，继电器处于临界状态。

当 $E_1 < E_2$ 时，动作量大，继电器动作。

C_1、L_1 构成二次谐波滤过器；C_2 为滤高频谐波电容，比较电路输出，送至零指示器电路，推动零指示器工作。

(3) 零指示器。

零指示器主要由三极管 VT1、VT2 等电子元器件组成，如图 4-24 所示。正常情况下三极管 VT1 处于导通状态，VT2 截止。因分压回路由 R_1、V1、R_2 组成，a 和 b 两点间的电压接近于零，使触发电路具有较高的灵敏度。在系统正常情况下，阻抗元件比较回路输出的是制动电压，并不影响零指示器的可靠性。

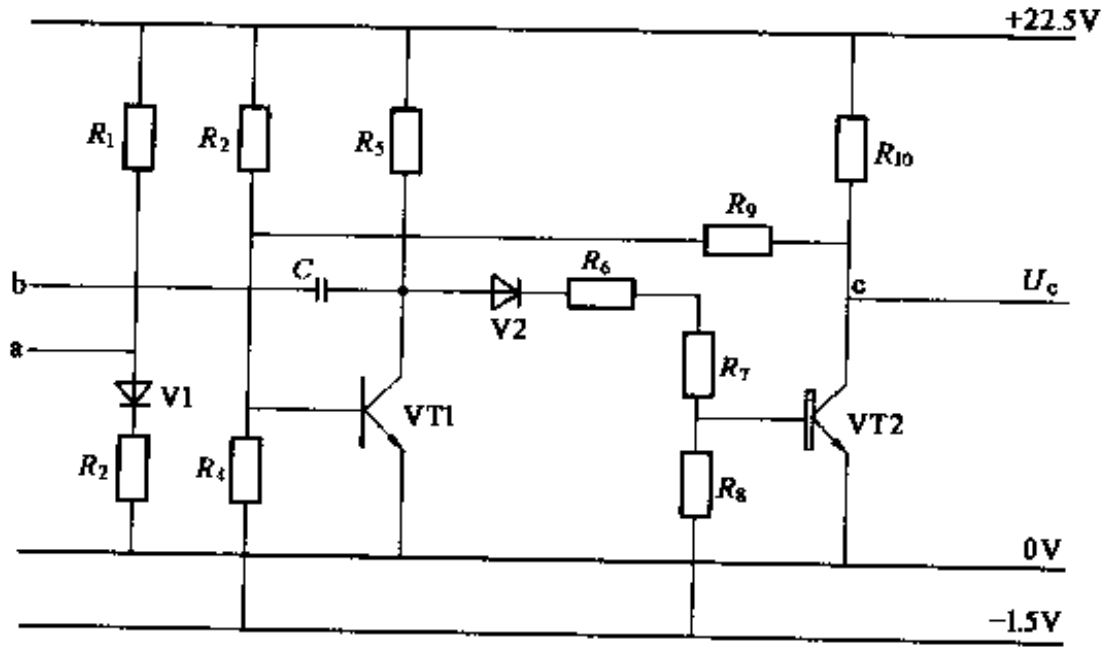


图 4-24 零指示器的电路结构

保护区内故障时，阻抗元件输出动作量，a 点为负，b 点为正，三极管 VT1 截止，VT2 导通。U_c由高电平变成 0V，零指示器输出为动作信号。

当 TV 断线时，零指示器也动作，但是起动回路此时不动作，所以不会出口跳闸。

3. 保护Ⅱ段的误动分析

故障现象为下一线路的出口处短路，下一线路的Ⅰ段动作已将故障切除，本线路保护测量元件应该返回却没有返回，直到出口动作跳闸。问题在于切换继电器触点不闭合。整个过程分析如下。

从故障到本保护Ⅱ段动作的过程见图 4-25。

(1) 从故障开始到 KCH1 继电器动作的间隔 (75ms)。

在故障开始到 KCH1 切换继电器动作这一阶段中，起动元件动作保护Ⅰ段测量元件因为定值不够而不动作，整套保护动作正常。

(2) 从定值切至Ⅱ段到故障切除间隔 (130ms)。

由于 KCH1 动作其常开触点不闭合，常闭触点却不断开，此时制动量

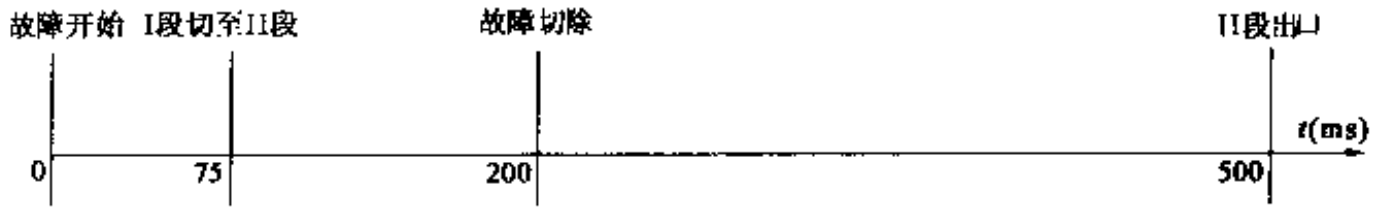


图 4-25　保护动作过程的示意图

$$E_1 = \left| \dot{U}_m - \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} + \dot{U}_p \right| \text{ 中}$$

制动量 $E_1 = \left| -\frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} \right|$

工作量 $E_2 = \left| \frac{1}{2} \dot{I}_{op} Z_{set} + \dot{U}_p \right|$

工作量大于制动量，保护的测量元件 $Z_{UV}^{1,2}$误动作。

（3）故障切除以后。

故障切除以后，故障的电流成为负荷电流，即 $\dot{I}_{op} = \dot{I}_{load}$，此时

制动量 $E_1 = \left| -\frac{1}{2} \dot{I}_{load} Z_{set} \right|$

工作量 $E_2 = \left| \frac{1}{2} \dot{I}_{load} Z_{set} + \dot{U}_p \right|$

有 $E_1 < E_2$，所以 $Z_{UV}^{1,2}$继续保持误动作状态，不返回，直到Ⅱ段出口动作跳闸。

（4）保护的复归。

从起动元件动作，输出经 O1、E1 自保持，并由 O2、E4 起动整组复归时间 t_1，6.5s 后 O3 复为 O1、E1，此时故障已经切除，保护整组复归。

五、采取的措施

JJ—11 型保护采用的是小密封继电器，此类继电器由于质量原因而经常出故障，可采取的措施如下。

1. 检修时注意检查 KCH 的性能

在保护检修时应注意检查 KCH 的触点情况，发现问题立即更换。

2. 有条件的可更换高质量的继电器

KCH 出问题则会造成保护的误动作，因此有必要更换高质量的继电器。

第六节　HY发电厂主变压器冲击时 110 kV线路距离保护误动作

一、故障现象

1 号主变压器冲击试验时的系统方式见图 4-26。1 号主变压器做冲击试验时的操作步骤如下。

（1）断开断路器 3QF。

(2) 断开断路器 4QF。

(3) 合上断路器 1QF。

(4) 合上断路器 2QF。

(5) 合上断路器 5QF。

当合上断路器 5QF 对 1 号主变压器进行冲击试验时，出线 I 断路器 2QF 跳闸。经检查发现出线 I 断路器 2QF 跳闸的原因是线路保护动作，此时的线路保护动作显然是失去了方向性，属于反方向故障的误动作，下面简单的分析保护误动作原因。

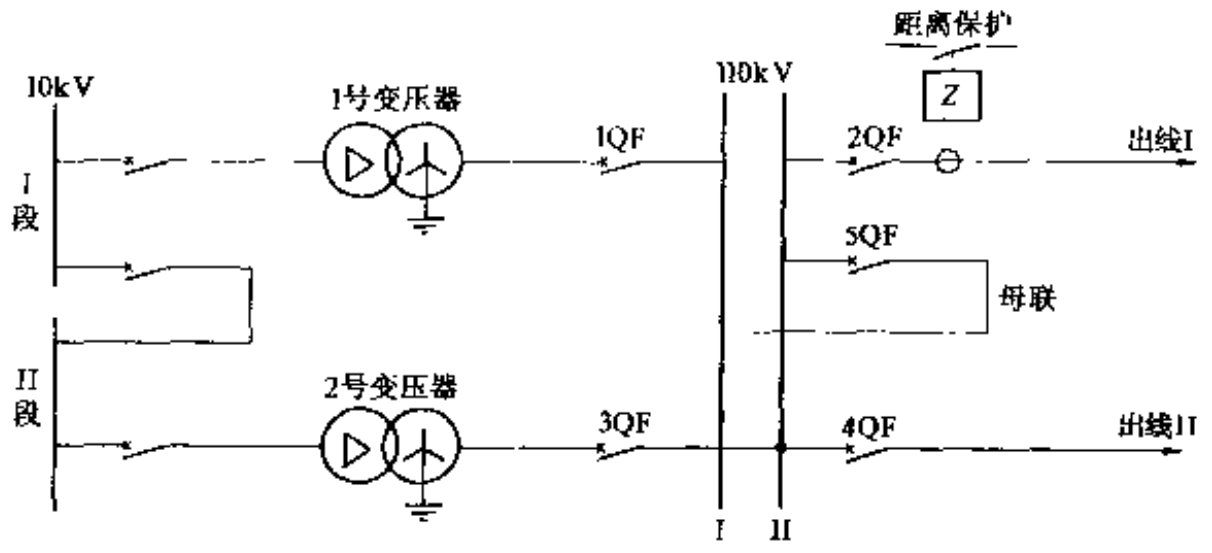


图 4-26 1 号主变压器冲击试验时的系统结构图

二、距离保护简介

在出线 I 装设了 JJ—11 型晶体管型距离保护，有关该保护的说明参见本章第五节晶体管 JJ—11 型保护简介。

三、原因分析

1 号主变压器做冲击试验时，出线 I 断路器跳闸的原因是距离保护动作。经检查发现距离 II 段电压整定插销有一只没有插入，即 II 段距离电压回路断开。做主变压器冲击试验时，由于涌流的出现，导致了系统电流的不平衡，因此在系统中有负序分量，距离保护起动。保护起动以后经过 0.2s 延时后将第 I 段切至第 II 段。第 II 段由于失压，致使测量阻

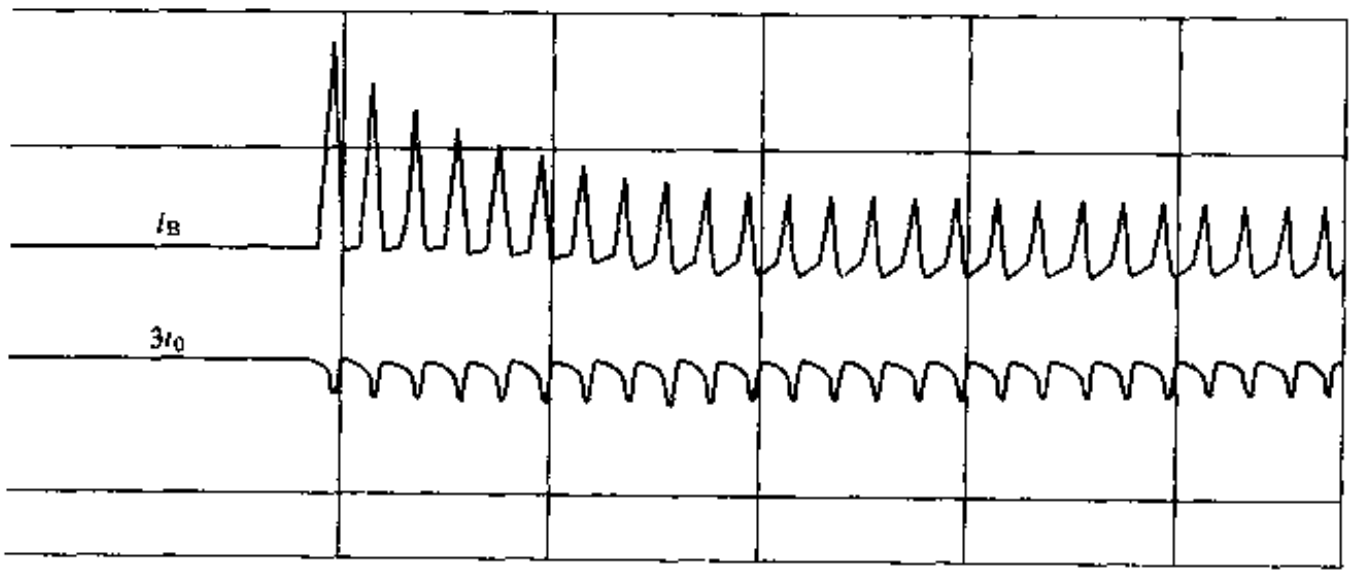


图 4-27 1 号主变压器冲击时的励磁涌流波形图

抗进入了动作区而动作。这种因插销没投入导致距离保护误动作与切换继电器切换时不能闭合的分析是一致的。参见本章第五节，1 号主变压器做冲击试验时测得的励磁涌流波形见图 4-27。

四、采取的措施

（1）投入整定插销。

（2）为防止类似故障的发生，在保护投入前应做全面检查。

第七节　AT 变电站 220 kV 线路距离保护装置故障

一、故障现象

1992 年 9 月 10 日 ATR 供电局 220kV 变电站 AT 1 号线路空载运行，系统也无故障发生，变电站一次设备运行正常。但是 JJ—11 型相间距离保护装置的装置故障灯、相电流起动灯亮。这是装置故障的典型事例，即装置本身的故障导致了误发灯光信号，下面结合实际的电路介绍其故障的查找过程，并分析其误动的原因。

二、JJ — 11 型相间距离保护的简介

JJ—11 型相间距离保护的原理性能的介绍见本章第五节。

三、故障的查找过程及原理分析

根据保护的逻辑关系图可知，相电流元件动作后，能够引起装置故障灯亮，首先分清装置故障信号是否是相电流元件故障所致，为此按以下步骤检查。

1. 断开保护装置的直流电源，确定故障的起因

断开保护装置的直流电源，再重新送上后相电流元件动作指示灯亮，再过 10s 装置故障灯亮。因此基本上可以断定装置故障信号是由相电流元件的动作引起的。

2. 相电流元件的电位测试

用转插板将 10 号插件转出，测量相电流触发器及后续电路三极管的电位，发现 10VT4、10VT5、10VT9 的状态均已反转。相电流元件的有关电路见图 4-28。

3. 相电流元件触发器的检查

将相电流触发器的输入回路的 10V27 焊开，则触发器恢复正常，说明故障是由触发器的前边电路故障引起的。

4. 相电流元件的定值检查

将上述断开的 10V27 恢复，改变其相电流元件的整定值，保护故障现象依然存在，说明保护的故障与整定位置无关。

5. 故障点的进一步查找

断开 $10R_{18}$后故障现象存在。拔出 10K1 继电器后，一切恢复正常。用酒精清洗继电器

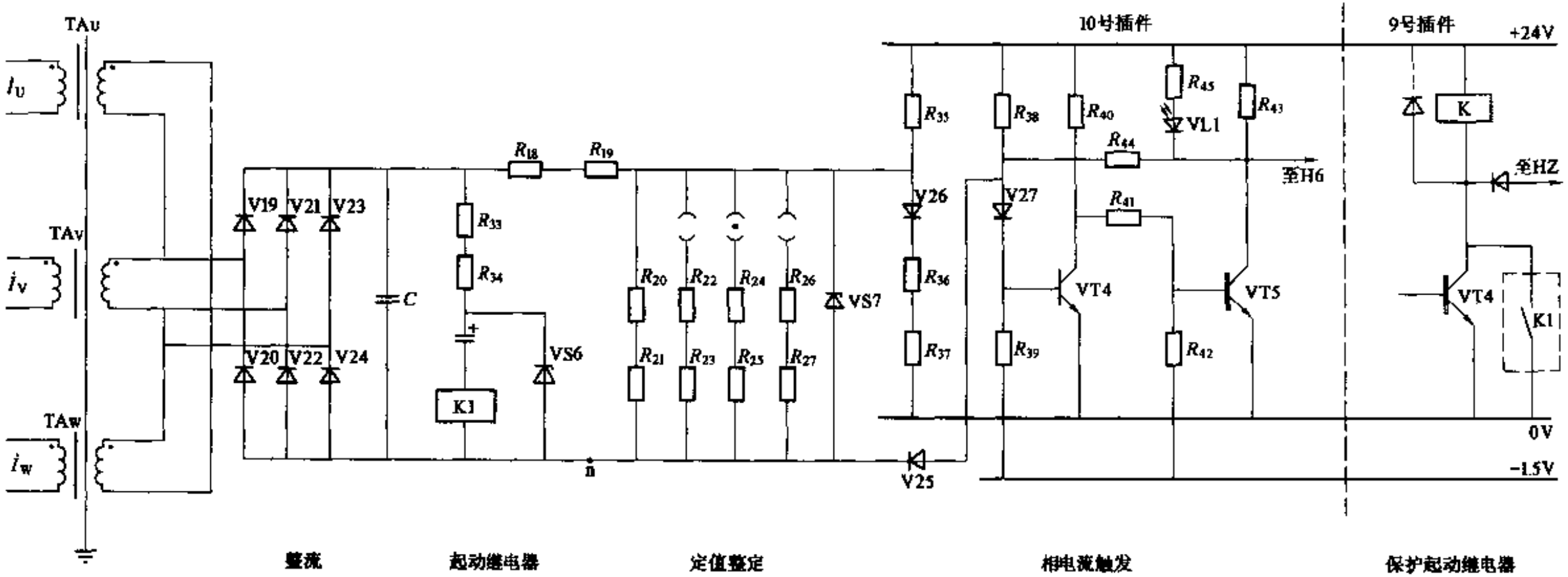


图 4-28　相电流元件电路图

10K1，并烤干后安装好，再将装置送电，不再有故障信号发出。说明故障的原因是由继电器 10K1 引起的。

6. 继电器 10K1 导致故障的原因分析

如上所述，10K1 继电器清洗后再投人，其故障现象消失。故障的根源就在于 10K1 触点与线圈引线间的绝缘由于长年的尘灰积累而降低，由此将触点的电位引人相电流测量回路中，使其动作。

从图 4-28 中可以看出，触点上的电位 0V 加到 n 点后，+22.5V 经 $10R_{38}$到 10V25 与 0V 构成通道，此时 VT4 的基极不能有足够的电位而被迫截止，同时推动 10VT5 反转，发出灯光信号。

四、采取的措施

1. 对保护屏进行密封处理

对保护屏密封后，防止灰尘及湿气的侵入，以减少继电器引线积尘的可能性。

2. 定期清理继电器的引线

在定检时应注意清洗继电器的引线，使之处于良好的状况下。

3. 检查密封继电器的绝缘垫

在用密封继电器时，应注意检查引出线根部的绝缘垫。

第八节　SG变电站220 kV线路相差高频保护误动作

一、故障现象

在一次系统完全正常的情况下，线路一侧的 JGX—11C 型相差保护动作跳闸装置上“跳闸”、“不灵敏”、“启动”、“装置故障”灯均亮，线路另一侧的保护未动作。

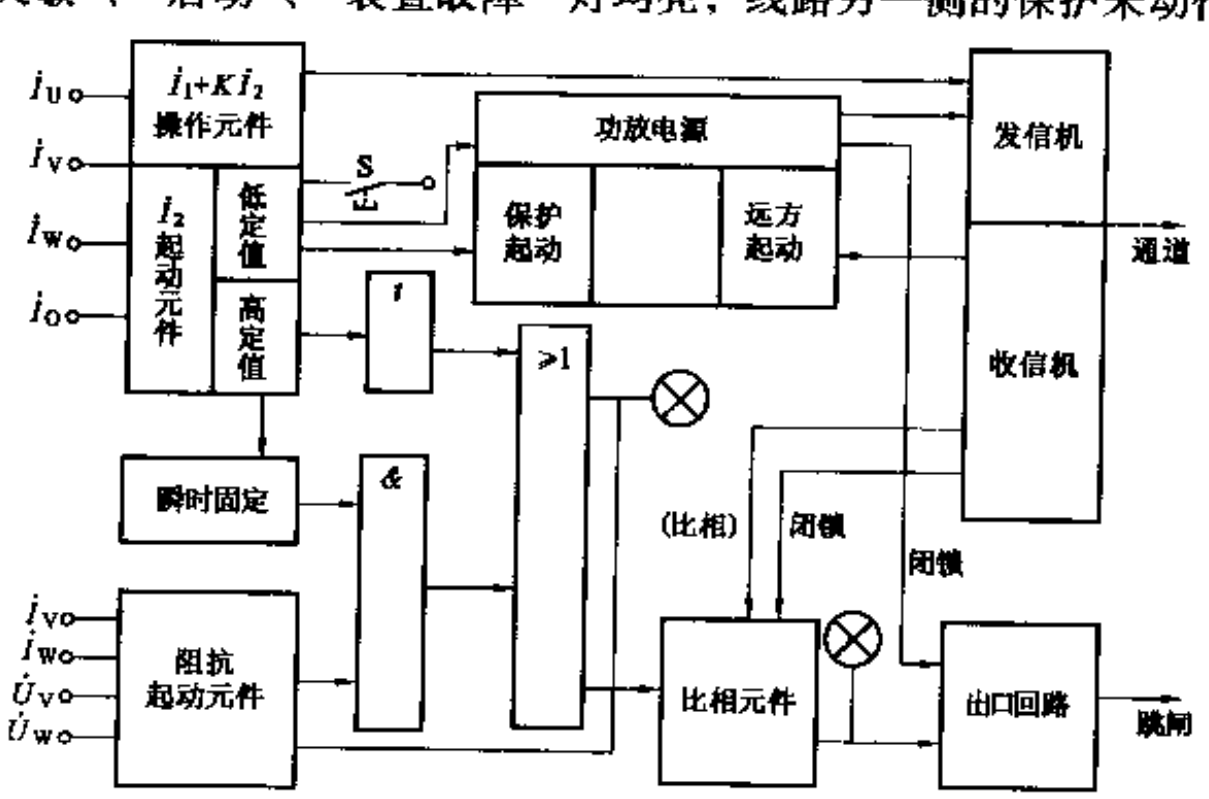


图 4-29　保护装置方块图

二、保护的原理说明

线路发生区外故障时，两侧电流的相位相差 180°；发生区内故障时，两侧电流的相位差为 0°。相差高频保护就是根据这种差别，利用相位比较的原理制成的。

保护装置的方框图如图 4-29 所示，由起动元件、操作元件、相位比较元件、延时回路、发信机功放控制回路、出口回路、信号回路及收发信机等主要部分组成。图 4-30 是保护动作原理图。

从图 4-29 及图 4-30 可知，系统发生故障时，保护低定值起动，发信机按 $I_1 + kI_2$ 操作

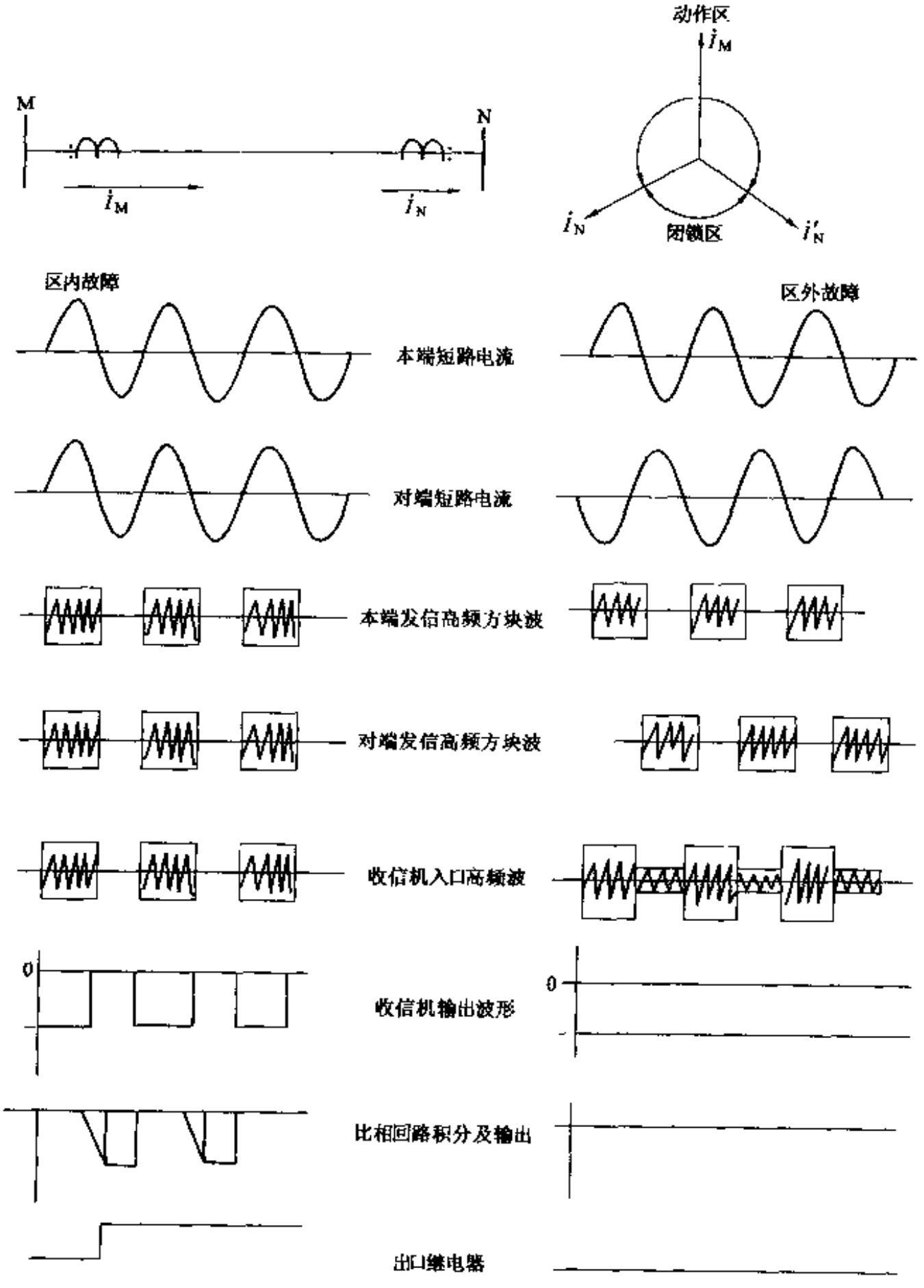


图 4-30　相差保护的工作原理

在正半周时发信，不对称短路高定值经过延时或对称短路起动元件，使比相元件工作。区外故障时，收信机自通道取得的是按 50Hz 断续的高频波，比相元件此时无输出，保护装置不动作。区内故障时，收信机自通道取得的是按 50Hz 断续的高频波，比相元件此时有输出，保护装置跳闸。

检查通道，原为人工起动功放电源来发信，现改为用图中按钮 S 人工起动低定值，这样可扩大监视范围，在检查通道时使低定值、功放电源、发信机、收信机得到检查。

功放电源，正常 5～7s 复归，当长期出现 I_2 时，由低定值保持功放电源不复归。

为提高装置可靠性，收信机收不到信号（或故障）将闭锁比相元件。当无功放电源时，出口不能跳闸，这样可防止高定值回路因元件损坏而误动作。

三、故障的原因分析

因为系统完全正常，既无区外故障，又无操作，不存在可以起动保护装置的故障量，所以跳闸的保护装置误动是因为内部元器件故障。

四、故障的查找过程

第一次检测装置各触发器电路工作点电位，未发现异常，跳闸出口继电器触点也没有问题，做装置整组试验，结果一切正常。将线路两侧装置改投信号运行，作进一步观察。

投信号运行后，发现装置启动灯有时动作，但当装置停运后（装置有停电源的过程），检查起动回路的电位时，未发现异常，故障现象消失，因此断定元器件存在软故障。

用示波器对装置的开放继电器 KOP 起动回路进行连续监视，在装置运行数小时后，发现 VT5 三极管基极（正常低电位）电位没有变化，而集电极电位却由 15.6V 降到 14.5V，随后又出现尖峰波形并跳跃，先是针状尖峰波，幅值很小，随着时间推移，尖峰波幅值越来越大，集电极电位下降到 4V 左右时，KOP 继电器动作，启动灯亮，装置比相回路开放。

分析当时装置误动的过程：装置起动，比相回路开放，装置发信，开始时对侧装置被远方起信，两侧合成为连续波，装置不会出口，待 10s 后，对侧装置停信，对侧装置的远方起信要再次动作，需要一个“恢复”时间（可极据实际电路分析），“恢复”时间期间，高频通道上只剩下本侧保护的方块波，装置出口跳闸。

五、采取的措施

更换软击穿的三极管。当装置出现异常情况时，运行值班人员一般情况下不要退出装置的电源，以便专业人员在查找故障时快速而准确地找到故障点。

第九节　GJ变电站 220 kV线路保护误发装置故障信号

一、故障现象

GJ 变电站 220kV 线路装设了 JJL—21 型接地距离保护装置，该装置在运行中出现“装

置故障”信号指示灯时亮时灭的现象。

根据设计要求，装置正常时“装置故障”指示灯处于熄灭状态；装置内部的某一环节发生故障时，其电位翻转，该灯点亮。时亮时灭的现象说明装置内部有不稳定的故障或装置输入量有异常情况存在。

二、保护装置的原理简介

1. 概述

JJL—21 型接地距离保护装置由三段式接地距离保护和三段式零序方向电流保护两部分构成，适应于大电流接地系统各种不同结构的高压线路，该装置具有如下特点。

采用多相补偿的接地距离继电器作为测量元件，可以容许很大的接地电阻，且不会超范围误动作；距离元件动作速度快、暂态超越小、振荡时不误动作；测量元件的整定范围是 0.05～20Ω/ph，精工电压很小，适于超短线路；相位比较式多相补偿接地距离继电器特性分析比较复杂，但调试简单，有利于运行维护；装置设有反应相补偿电压相位变化的断线闭锁元件，当电压回路和补偿电压回路出现异常时经延时闭锁整套保护，并发出信号；P_0 接入的零序电压，可由相电压组成的零序电压滤过器产生，也可取自 TV 的开口三角线圈，以满足不同的需要；零序电流继电器能抑制直流和谐波分量，其动作快、返回快速、暂态超越小；保护能同高频收发讯机配合构成高频闭锁接地距离和高频闭锁零序方向电流保护，发、停信采用大干簧作为接口，可直接与强电电路相连；保护设两只大干簧出口，各有三对触点，可实现经重合闸跳闸或直接跳闸；保护可用母线 TV 或线路 TV，当手合或重合于接地故障时均能快速切除故障。

2. 技术数据

（1）额定参数。

交流相间电压：100V、50Hz。

交流电流：5A（1A）、50Hz。

直流电源电压：220V（110V）。

（2）距离元件。

整定阻抗：整定变压器变比为 99.5%，电抗变压器一次绕组为全匝数，当改变电抗器的二次抽头时各段整定阻抗为：$I_N = 5A$ 时，$Z_{0\,I\,II} = 0.05$、0.1、0.2、0.6、2Ω/ph，$Z_{0III} = 0.1$、0.4、2Ω/ph；$I_N = 1A$ 时，$Z_{0\,I\,II} = 0.25$、0.5、1、3、10Ω/ph，$Z_{0III} = 0.5$、2、10Ω/ph。

当电抗器一次绕组为一半匝数时，$Z_{0\,I\,II}$ 及 Z_{0III} 均相应缩小 1/2，整定阻抗 Z_{set} 与 TL、TV 之间的关系由下式决定，整定阻抗 = 电抗变压器阻抗/整定变压器抽头百分数。

动作值误差：当 TV > 50%时，≤ ±4%；TV < 50%时，不超出 ±8%。

阻抗角：70°、75°、80°。

最小精工电压：≤0.5V。

最大精工电流：$\geqslant 20I_N$。

零序补偿系数：$k = (Z_0 - Z_1) / (3Z_1)$ 可在 0.4～0.8 范围内分 9 档调整。

阻抗特性下倾角 δ：6°、8°、10°。

动作、返回时间：在整定阻抗角下，2 倍最小精工电流，动作阻抗为 $0.9Z_{set}$时的动作时间 30ms，返回时间 30ms。

返回系数：在整定阻抗角下不大于 1.1。

暂态超越：≤5%。

Ⅰ、Ⅱ段切换时间：50～60ms。

(3) 电流元件。

整定范围：$I_N = 5A$ 时，$I_{0Ⅰ} = 1 \sim 97A$，级差 0.1A；$I_{0Ⅱ} = 0.5 \sim 96.5A$，级差 0.1A；$I_{0Ⅲ} = 0.25 \sim 48.3A$，级差 0.05A；$I_N = 1A$ 时，$I_{0Ⅰ} = 0.2 \sim 1.94A$，级差 0.02A；$I_{0Ⅱ} = 0.1 \sim 19.3A$，级差 0.02A；$I_{0Ⅲ} = 0.05 \sim 9.6A$，级差 0.01A。定值刻度误差 $< \pm 5\%$。

动作时间：1.2 倍动作电流时间不大于 20ms，2 倍动作电流时间不大于 10ms。

返回时间：20 倍动作电流返回时间≤35ms。

返回系数：>0.9。

暂态超越：各电流元件在不同合闸角下因直流分量影响的暂态超越小于 4%。

谐波动作电流：>工频动作电流。

(4) 零序功率方向元件。

最大灵敏角：80° ± 10°。

动作范围：160°～180°，角度特性不灵敏区≤5°。

最小动作电压：≤2V。

最小额定电流：≤5% I_N。

动作时间：1.5 倍灵敏度下≤15ms。

返回时间：≤25ms。

返回系数：最大灵敏度下 >0.9。

(5) 时间元件。

整定范围：距离Ⅱ段为 0.1～2.7s，距离Ⅲ段为 0.5～8.5s，电流Ⅰ段为 0s，0.1～1.8s，电流Ⅱ段为 0.1～2.7s，电流Ⅲ段为 0.5～8.5s。

调整级差：上述各时间元件均为 0.1s。

刻度误差：≤5%。

(6) 保护起动元件复归时间。

1.5～2.5s，出厂按 2s 调整。

(7) 保护装置故障告警。

经 4～9s 发预告信号，同时闭锁保护装置。

(8) 电压断线元件。

按三相补偿电压中任何两相同极性时间 4～4.4ms 整定。

(9) 距离部分的动作时间及返回时间。

动作时间：在 2 倍动作电流及整定阻抗角下，$0.9Z_{set}$时为 30ms。

返回时间：断路器跳闸后 30ms。

（10）保护装置功耗。

在额定电压下，交流电压回路≤3VA/ph。

在额定电流下，交流电流回路≤1.5VA/ph。

在额定电流下，零序电流回路≤4.5VA。

直流回路，正常运行时≤20W，保护动作时≤50W。

3. 原理框图说明

装置方框图见图 4-31，

图中符号的意义如下

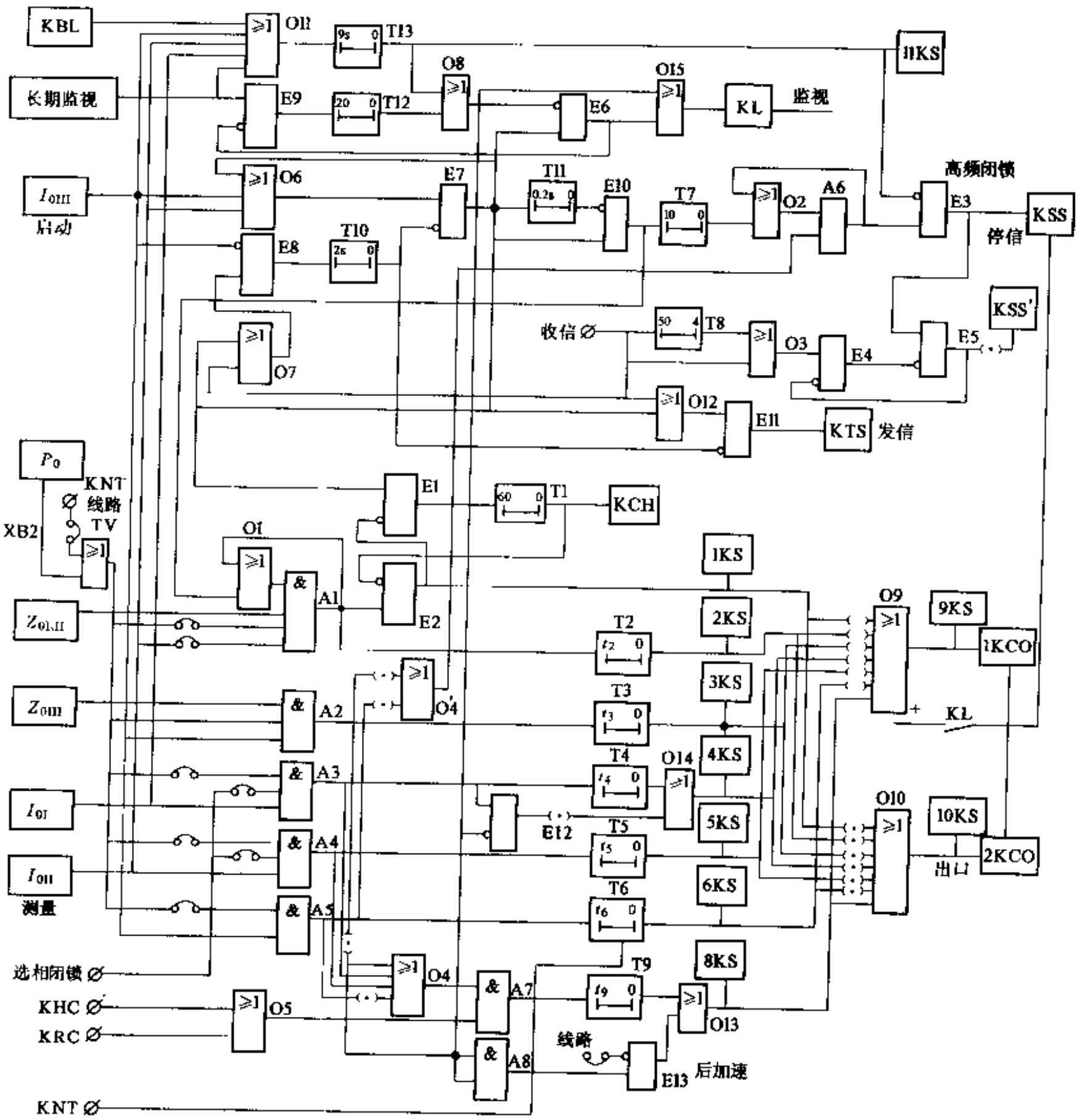


图 4-31　线路保护的原理框图

$Z_{0\,I\,II}$：由切换构成的第Ⅰ、Ⅱ段多相补偿距离元件。

Z_{0III}：第Ⅰ段多相补偿距离元件。

$I_{0\,I}$：第Ⅰ段零序电流元件，可按无延时或带时限零序电流速断整定。

I_{0II}：第Ⅱ段零序电流元件。

I_{0III}：第Ⅲ段零序电流元件。

P_0：零序功率方向元件。

KBL：电压回路断线失压元件，TV 断线或保护的补偿电压回路故障时动作。

O：或门。

A：与门。

E：禁止门。

t/0：时间元件，延时动作瞬时返回。

0/t：时间元件，瞬时动作延时返回。

t_1/t_2：时间元件，延时动作延时返回。

长期监视：监视装置重要环节的电位，出现异常时闭锁保护出口。

KS：信号继电器。

KL：闭锁继电器。

KCH：距离Ⅰ、Ⅱ段切换继电器。

1KCO、2KCO：出口继电器。

KTS：高频闭锁发信继电器。

KSS：高频闭锁停信继电器。

KNT（KNTM）：非全相闭锁继电器。

选相闭锁：各选相元件常开触点相并联。

KHC：由手动合闸继电器常开触点来。

KRC：由重合闸后加速常开触点来。

收信：由高频闭锁收发信机的收信继电器常开触点来。

保护各部分构成原理如下。

（1）起动。

由 I_{0II}、I_{0III}零序电流元件，O6、O7、O15 或门，E6、E7、E8、E10 禁止门，t_{10}、t_{11}时间电路及 KL 闭锁继电器等组成。

系统接地故障时，I_{0II}、I_{0III}动作，经 O6、E7 自保持。

由 E6、O15 起动闭锁继电器 KL，从而接通 1KCO、2KCO 出口继电器及 KSS 停信继电器的电源。

经 E11、O12 起动发信继电器。

由 t_{11}、E10仅将多相补偿接地距离保护Ⅰ、Ⅱ段 $Z_{0\,I\,II}$ 及高频闭锁停信回路投入 200ms，以防动态稳定破坏时，区外重合于故障线路而引起本线路保护超越误动作。

经 E1 起动切换时间 t_{10}。起动部分经 O6、E7 自保持用以起动时间元件 t_{10}及 t_{11}。自保

持回路在零序电流 $I_{0Ⅲ}$ 消失 E8 返回后，经 2s 左右，大于相邻线重合闸周期复归。O7 还经 E8、t_{10}、E11 复归高频闭锁的远方起动回路。

（2）测量。

由 $Z_{0Ⅰ Ⅱ}$、$Z_{0Ⅲ}$ 距离元件，$I_{0Ⅰ}$、$I_{0Ⅱ}$、$I_{0Ⅲ}$ 零序电流元件，P0 零序功率元件，O1、O14 或门，A1、A2、A3、A4、A5 与门，E1、E2、E12 禁止门，t_1、t_2、t_3、t_4、t_5、t_6 时间电路，1～6KS 信号继电器，KCH 切换继电器等组成三段式接地距离及三段式零序电流方向保护。

接地距离Ⅰ、Ⅱ段由 $Z_{0Ⅰ Ⅱ}$、P_0、O1、A1、E1、E2、t_1、t_2、KCH、1KS、2KS 等组成。若第Ⅰ段保护范围故障，起动部分、$Z_{0Ⅰ}$、P_0、$I_{0Ⅱ}$ 等动作，经 A1、O1 保持起动部分来的 200ms 信号，再经 E2 距离Ⅰ段信号 1KS 起动出口，切换继电器 KCH 被 E2 禁止不动作。若第Ⅱ段保护范围故障，起动部分、P_0、$I_{0Ⅱ}$ 等动作，经 E1、t_1、F2 禁止Ⅰ段回路，同时起动 KCH 使距离元件切换到Ⅱ段定值，$Z_{0Ⅱ}$ 动作并由 A1、O1 保持 200ms 信号，经Ⅱ段时间 t_2 起动 2KS 及出口，2KS 为距离Ⅱ段动作信号。$I_{0Ⅱ}$ 控制 $Z_{0Ⅰ Ⅱ}$ 段的与门 A_1 是用来解决单侧电源背后接地故障时可能引起 $Z_{0Ⅰ Ⅱ}$ 及 P_0 失去方向性的问题。

接地距离Ⅲ段由 $Z_{0Ⅲ}$、P_0、$I_{0Ⅲ}$、A2、t_3、3KS 等组成。第Ⅲ段距离引入 P_0 用于高频闭锁无时限停信。

零序电流方向Ⅰ段由 P_0、$I_{0Ⅰ}$、O14、E12、A3、t_4、4KS 等组成。Ⅰ段也作为无时限速断，此时当重合或手合时经 O5、E12 解除无时限速断以防开关三相不同时合闸引起的误动作。

零序电流方向Ⅱ段由 P_0、$I_{0Ⅱ}$、A4、t_5、5KS 等组成。

零序电流方向Ⅲ段由 P_0、$I_{0Ⅲ}$、A5、t_6、6KS 等组成。

当重合闸的 KNT 接通时，t_6 缩短 0.5s 以保证选择性。

若装置接线路 TV，需接通 XB2 用 KNTM 代替 P_0 以保证可靠性。

（3）后加速。

由 O4、O5、O13 或门，A7、A8 与门，E13 禁止门，t_9 时间，8KS 信号继电器等组成。对线路末端故障有灵敏度的 $Z_{0Ⅲ}$、$I_{0Ⅲ}$ 及 $I_{0Ⅰ}$、$I_{0Ⅱ}$ 进行后加速。若保护接线路 TV，线路三相跳闸后进行三相重合，用 t_9 的 100ms 延时来防止方波失控和开关三相不同时合闸、$Z_{0Ⅲ}$ 瞬时动作所引起的后加速误动作。对 $I_{0Ⅰ}$、$I_{0Ⅱ}$、$I_{0Ⅲ}$ 用 t_9 的 100ms 延时以躲过开关三相不同时合闸时间。

（4）高频闭锁。

由 KTS 发信继电器，O2、O3、O4、O12 或门，A6 与门，E3、E4、E5、E11 禁止门，t_7、t_8 时间，KSS 停信继电器，7KS 信号继电器等元件，配合外部高频收发信机组成。

系统故障 $I_{0Ⅲ}$ 动作，O6、E7 自保持，并经 O12、E11 起动 KTS 发信，若为内部故障，两侧的 $Z_{0Ⅲ}$ 或 $I_{0Ⅲ}$ 均动作，经 O4、A6（由 O2 自保持部分来的 200ms 信号），E3 起动 KSS 停信；再经 E5 至出口跳闸，7KS 发出高频闭锁动作信号。E5 输出信号禁止 E4 用来保持出口动作，此时即使收到闭锁信号，本侧也能可靠跳闸。停信回路只投 t_{11} 的 200ms 时间，当重合于永久性故障时由后加速跳闸。若为外部故障，两侧均能收到离故障点近的一侧发

出的闭锁信号，经 O3、E4、E5 闭锁出口回路。

高频闭锁设远方起信回路，收到对侧信号后经 O12、E11 自保持，同时起动 KTS 发信。并经 O7、E8、t_{10}、E11 解除自保持，发信也随即停止，当两侧均停止发信后，回路恢复正常。

时间 t_8 的作用：时间 t_8 延时 50ms 动作，延时 40ms 返回，当保护用于双回线或环网系统时，相邻线故障，一侧先跳开，非故障线因功率倒向，一侧由发信改为停信，另一侧由停信改为发信，若一侧停信比发信来的快，则可能引起非故障线误动作，此时经 t_8 时间，若一侧收到闭锁信号时间大于 50ms，则判为外部故障，需延时 40ms 后才能解除闭锁以免误动。若为内部故障，则必定在 50ms 内已经停信，故可快速跳闸。

时间 t_7（延时 10ms）用于远方起动回路，待对侧被远方起动，本侧收到闭锁信号后才允许停信。因发信灵敏度较高，动作快速，故 t_7 不增加跳闸时间。

由监视部分来经 E3 禁止停信回路，用于本侧装置故障还未处理时发生外部故障，仍可通过远方起动发闭锁信号回到对侧，以防误动。

（5）监视。

由长期监视，O8、O11 或门，E9 禁止门，t_{12}、t_{13}时间，11KS 信号继电器等组成。

长期监视电路动作后，经 t_{12}（20ms）时间，若零序电流元件尚未动作，E9 还未由 E6、O15 禁止，则判为装置故障，由 E6 闭锁继电器 KL，并经 O11、t_{13}后起动 11KS 发出装置故障信号。

断线失压元件 KBL 和零序电流元件 I_{0I}、I_{0II}、I_{0III}以及长期监视回路等动作，经 O11、t_{13}后由 O8、E6 闭锁继电器 KL，同时 11KS 发装置故障信号。

（6）出口。

由 O9、O10 或门，1KCO、2KCO 出口继电器，9KCO、10KCO 信号继电器及 KL 闭锁继电器的常开触点组成。1KCO、2KCO 和 KSS 的直流电源由 KL 的常开触点控制以防正常运行时保护误动。1KCO、2KCO 均有 3 对触点供跳闸和起动重合闸用。高频闭锁出口固定起动 1KCO，后加速出口 1KCO、2KCO 均起动。其余各段可由插头选择 1KCO 和 2KCO。

三、故障的原因分析及检查过程

根据保护的逻辑关系图可以看出，引起装置故障灯时亮时灭的可能的原因有如下环节：零序电流元件、电压断线失压元件、长期监视单元以及装置故障监视信号本身。这些环节涉及到的插件及电路如图 4-32。由于监视信号的逻辑关系非常复杂，所以采用逆序检查法进行检查。

1.6 号插件的检查

插入电源插件及 6 号插件，其他插件全部退出。

（1）6 号插件的电位检查。

检查 6 号插件各三极管翻转前后的电位，见表 4-1。

上述结果与装置检验规程相比较可知，三极管的电位正常。

（2）6 号插件的监视指示灯检查。

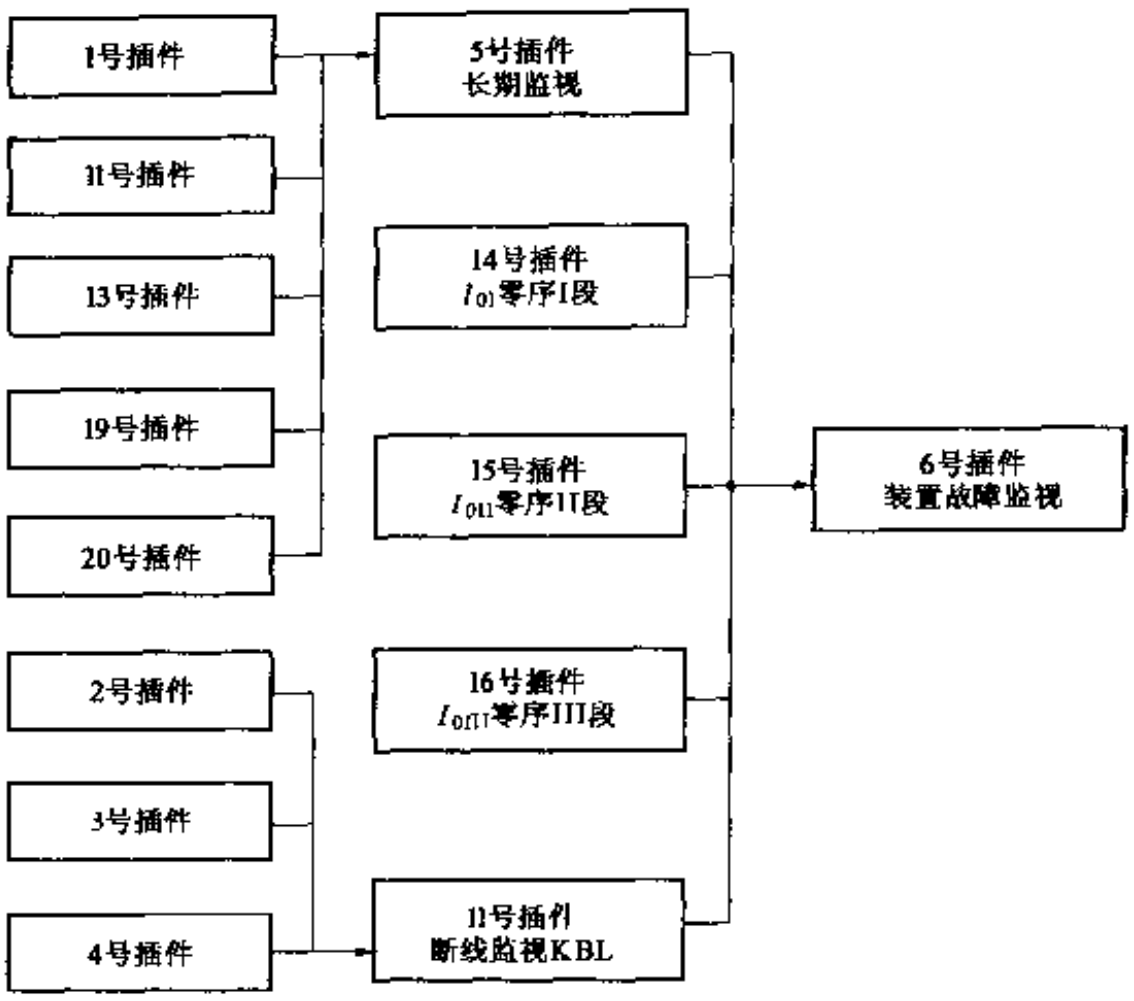


图 4-32　与故障信号相关的环节

表 4-1　　6 号插件各三极管翻转前后的电位

三　极　管	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5
正常状态	18.00	0.03	14.30	0.10	22.40
翻　转　后	0.05	7.80	0.07	9.40	0.06

此时的故障监视指示灯熄灭。

以上两项检查皆正常，说明 6 号插件没有故障存在。

2.5 号插件的检查

将 5 号插件插入，作如下检查。

（1）5 号插件的电位检查。

在该插件中，与装置监视有关的只有 VT1 管，其动作前的电位 0.05V，翻转电位 16.50V，属于正常。

（2）5 号插件的逻辑关系检查。

在 5 号插件短接 5VT1 的基极使其翻转后观察 6 号插件装置监视灯亮，返回灯熄灭，所以此插件功能正常。

（3）与 5 号插件功能相关的电路功能检查。

从图 4-32 可以看出推动 5 号插件工作的有 1 号、11 号、13 号、19 号、20 号插件，因为 11 号插件中还有 TV 断线监视部分直接与 6 号插件相连，留到以后进行统一检查，只看其他插件的状态是否正常。

分别再插入 1 号、13 号、19 号、20 号插件，其装置监视灯依然正常，因此排除了上

述插件故障的可能性。

3. 零序逻辑元件 14 号、15 号、16 号插件的检查

分别插入 14 号、15 号、16 号插件以后，在逻辑上没有引起装置故障指示灯的时亮时灭，其各点的电位也正常。结果见表 4-2。

表 4-2　　三极管各点的电位

插件 \ 三极管		VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6	VT7
14 号	正常状态	1.26	0.05	9.00	0.08	14.20	0.08	22.40
	翻转后	-0.30	15.03	0.08	16.60	0.09	9.70	0.07
15 号	正常状态	1.28	0.05	11.70	0.04	14.40	0.10	22.40
	翻转后	-0.30	15.30	0.07	16.50	0.06	9.40	0.05
16 号	正常状态	1.26	0.05	11.60	0.04	14.20	0.08	22.40
	翻转后	-0.30	15.40	0.07	14.30	0.03	9.40	0.07

4.11 号插件的检查

（1）11 号插件的电位及逻辑检查。

将 11 号插件投入，其电位的检查结果正常，逻辑检查也正常。

（2）与 11 号插件相关的电路检查。

与 11 号插件相关的有 2 号、3 号、4 号插件，在 3 号插件插入并送电后，装置监视灯故障现象再次出现。

1）2 号、3 号、4 号插件电压检查。

用万用表测量 2 号、3 号、4 号插件的 TP1、TP2 之间的交流电压（此时线路带电），2 号、4 号插件为交流电压 50V，3 号插件交流电压时而 30V 时而 50V 不定。

2）3 号插件切换继电器的检查。

退出 3 号插件用兆欧表测量切换继电器线圈与触点之间的绝缘，结果为零，更换此继电器后一切正常。

5. 结论

引起装置故障监视灯时亮时灭的根本原因是切换继电器绝缘击穿，由于切换继电器的触点线圈之间的绝缘击穿，导致了交流测量电路与直流电源电路之间的混联，从而将直流 +22.50V 加到了交流回路中，又因为线圈与触点之间的绝缘电阻的不稳定，造成了交流电压在 30V 与 50V 之间不断变化。

四、采取的措施

由于小继电器的问题导致保护故障的现象比较常见采取的措施在本书的其他章节中也有专门的叙述，在此不再重复。

第十节　LSH发电厂220 kV 1号出线接地时相邻线路保护误动跳闸

一、故障现象

1999年10月3日17时6分LSH发电厂220kV1号出线发生A相单相接地故障，相临线路（2号出线）发电厂侧JJL—21型保护的接地距离、零序误动作，高频保护跳闸。相临线路故障时保护动作于跳闸是误动作。系统结构及录波参数介绍如下。

主系统的结构见图4-33，故障时的录波图见图4-34。

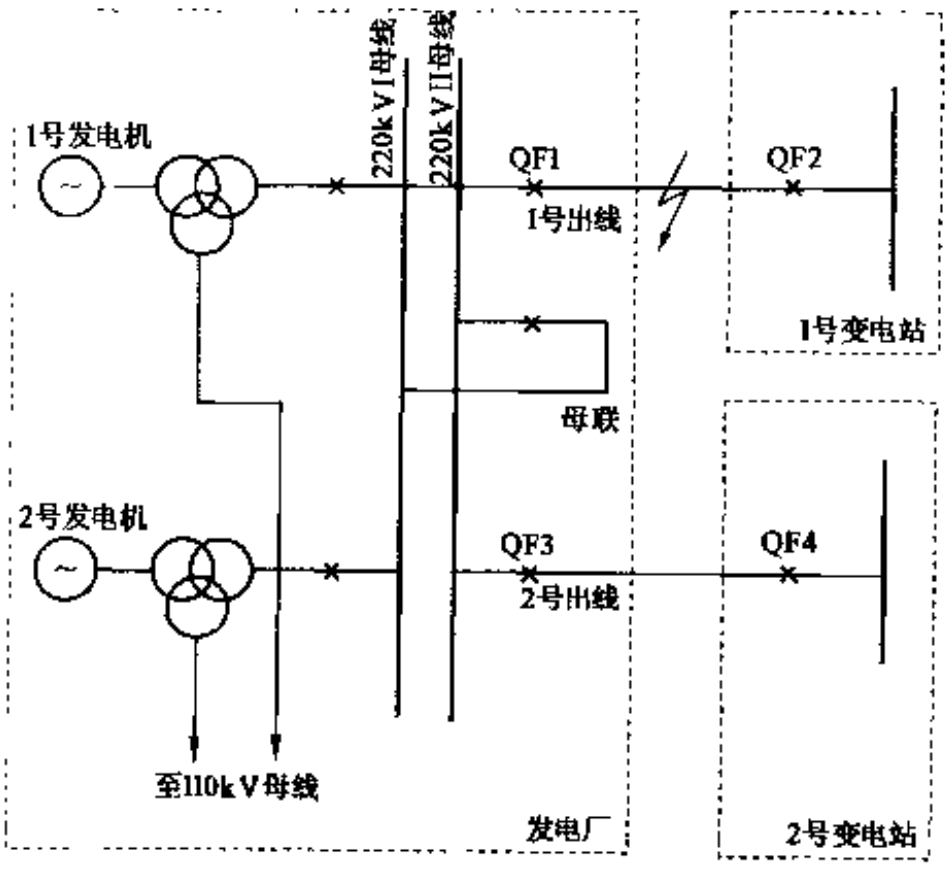


图4-33　主系统的结构图

故障时的参数：

故障类型：A相接地。

故障切除：70ms。

故障距离：7km。

母线电压：故障前 U相　65.0V
　　V相 65.3V
　　W相 64.7V
　　N相 1.7V
　　故障后　U相　25.6V
　　V相　69.0V
　　W相　51.3V
　　N相　49.3V

2号线电流：故障前　U相　0.00kA
　　V相　0.00kA
　　W相　0.00kA
　　N相　0.00kA
　　故障后　U相　5.64kA
　　V相　0.00kA
　　W相　0.00kA
　　N相　5.64kA

二、保护误动的原因分析

导致保护误动的根本原因乃是接入保护的TV中性线多点接地，由于系统单相接地短路时地电位的作用，TV多点接地，使保护感受到的电压严重偏离TV的实际电压，满足了

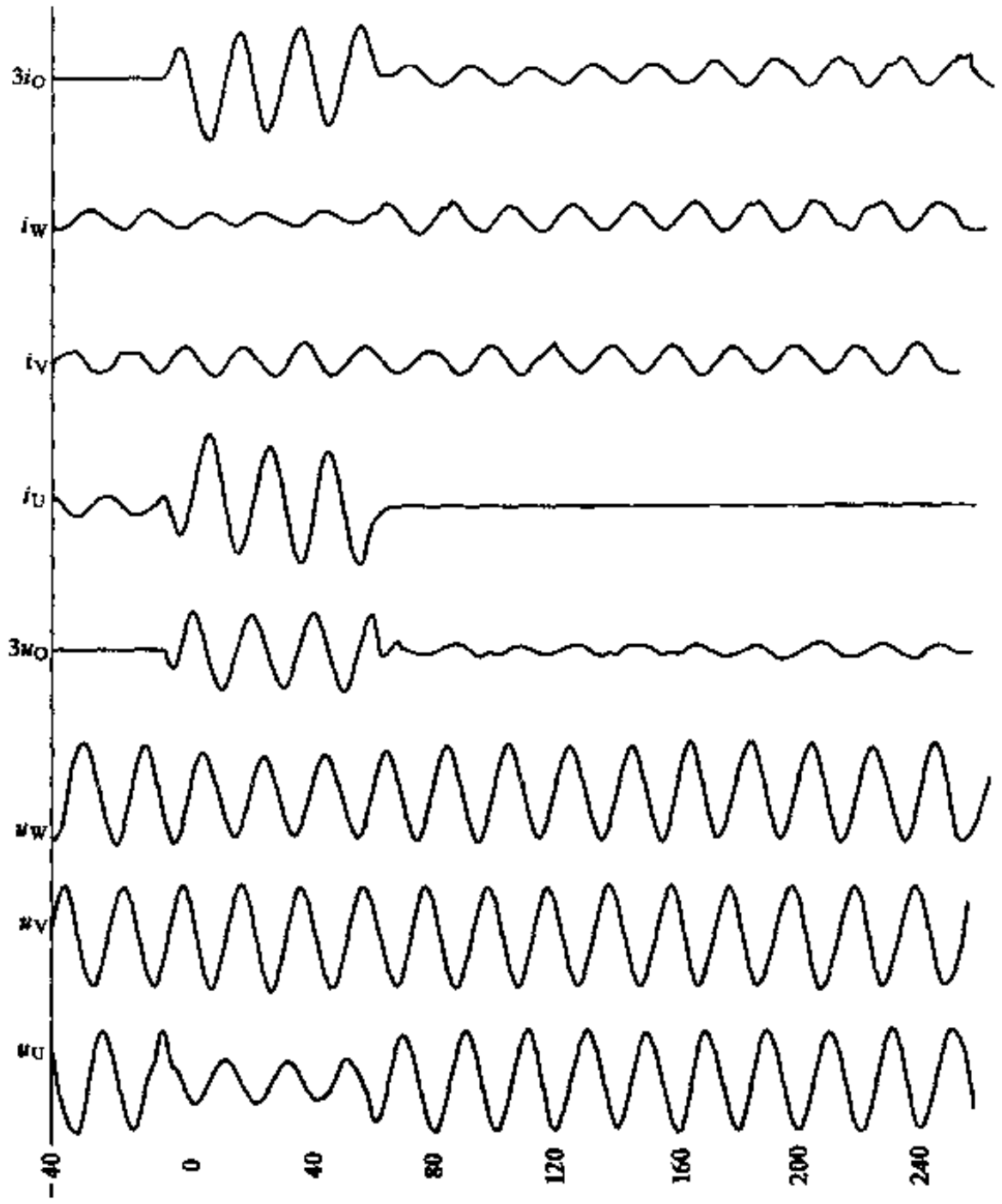


图 4-34　1 号出线故障时 2 号线路录波图

动作条件。

三、采取的措施

解决 TV 多点接地的问题，可根据 TV 二次回路反事故措施的要求，只保留一个接地点，其余接地点均解除。

第十一节　WLR发电厂 220 kV线路重合闸故障

一、故障现象

HL 线装设的重合闸为 JZC—11D 型晶体管综合重合闸装置，线路保护做整组试验时，重合闸动作，其一次合闸脉冲电容充电指示灯经数秒钟延时变亮。根据要求，电容器的充电时间需要 20s 左右，充电时间太快，应进行处理。

二、重合闸装置的原理简介

1. 装置概述

JZC—11D 型综合重合闸装置是根据综合重合闸装置统一接线设计性能要求设计的，其概况如下。

装置适用于 220kV 大电流接地系统的输电线路。

利用重合闸屏上的切换开关 ST，装置能实现 4 种重合闸方式，即：综合重合闸方式、单相重合闸方式、三相重合闸方式、停用重合闸方式。

装置包括选相元件、相电流元件、相电流判别元件、接地判别元件、同期及无压检定

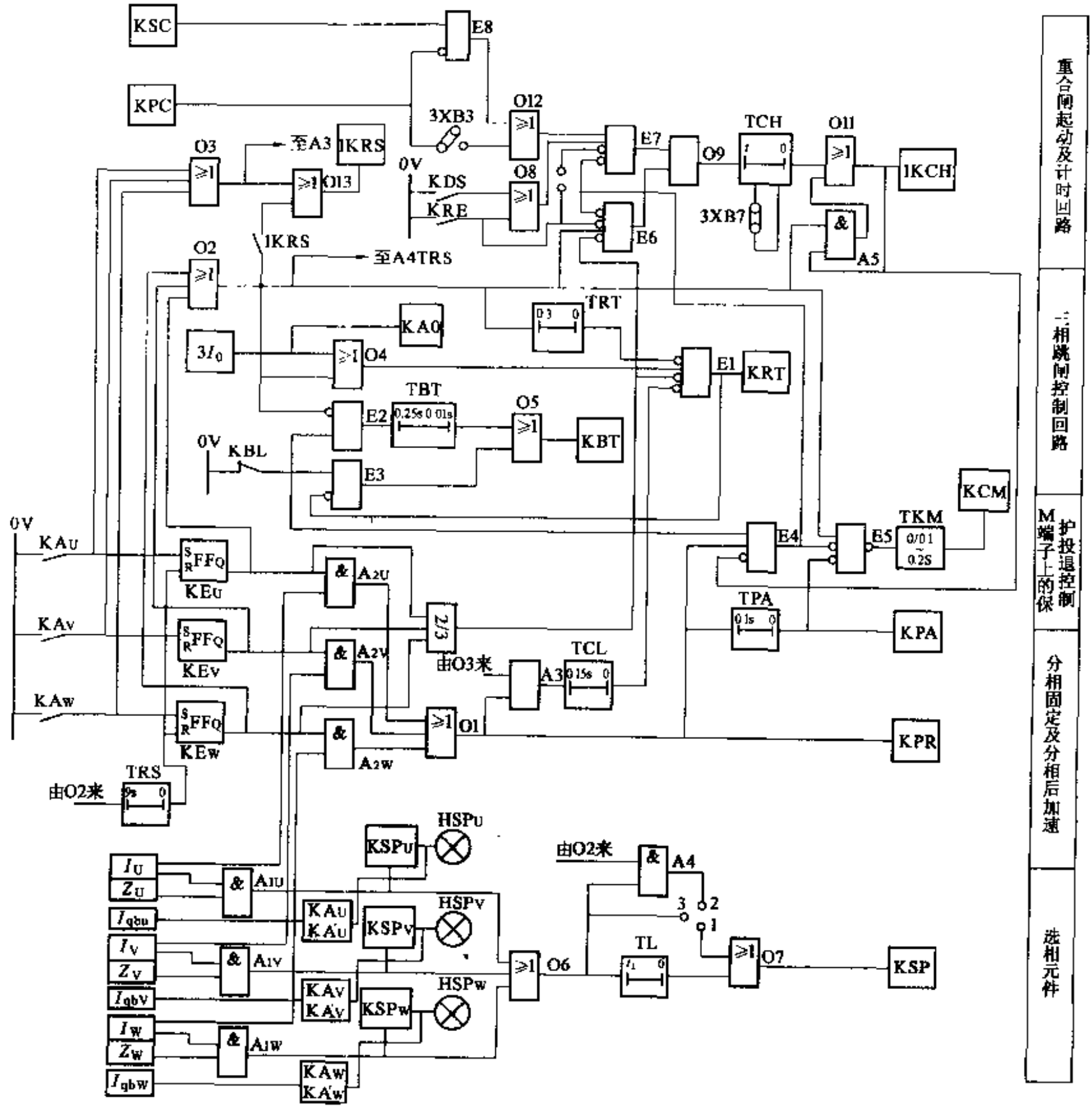


图 4-35　重合闸的原理框图

元件、直流逻辑回路、信号及跳闸出口回路等，另外防止多次重合闸的一次脉冲回路及重合闸出口继电器均配置在分相操作箱内。

装置可由保护起动，也可采用不对应起动。

装置采用方向阻抗元件作选相元件。

装置可实现两个不同的重合闸整定时间。

重合闸的原理电路见图 4-35。

2. 技术指标

(1) 额定数据。

直流电压：220V 或 110V。

交流电压：$100/\sqrt{3}$V，50Hz。

交流电流：5A 或 1A，50Hz。

(2) 功率消耗。

直流回路：装置动作时不大于 100W。

交流电压回路：在额定电压时≤6VA/相。

交流电流回路：在额定电流时≤8VA/相。

(3) 阻抗选相元件。

整定阻抗：$I_N = 5$A 时为 0.5 ~ 10Ω/相或 1 ~ 20Ω/相；

$I_N = 1$A 时为 2.5 ~ 50Ω/相或 5 ~ 100Ω/相。

精确工作电压：≤1V。

动作时间：≤20ms（在额定电流下，$0.7Z_{set}$时）。

灵敏角：78° ~ 85°。

(4) 相电流速断元件。

整定范围：$I_N = 5$A 时为 2.5 ~ 50A，级差 0.1A。

$I_N = 1$A 时为 0.5 ~ 10A，级差 0.02A。

返回系数：≥0.85。

动作时间：≤20ms（1.2 倍动作电流时）。

返回时间：≤30ms。

暂态超越：≤5%（2 倍额定电流时）。

(5) 非全相判别电流元件。

整定范围：$I_N = 5$A 时为 0.5 ~ 12.5A，级差 0.1A。

$I_N = 1$A 时为 0.1 ~ 2.5A，级差 0.02A。

返回系数：≥0.85。

(6) 零序电流元件。

整定范围：$I_N = 5$A 时为 0.5 ~ 12.5A，级差 0.1A。

$I_N = 1$A 时为 0.1 ~ 2.5A，级差 0.02A。

返回系数：≥0.85。

动作时间：≤10ms（1.5 倍动作电流时）。

（7）低电压辅助选相元件。

整定范围：10～40V，级差 5V。

返回系数：小于 1.2。

动作时间：不大于 30ms（0.7 倍动作值时）。

（8）无压检定元件。

整定范围为 30V、35V、40V、45V、50V。

（9）同期检定元件。

整定范围为 20°、25°、30°、35°、40°。

（10）时间元件。

重合闸延时时间：$t_C = \Delta t + t_{SY}$（s）、$\Delta t = 0.5 + \Sigma t$（s）、$\Sigma t = 0 \sim 1.6$s、级差 0.2s。$t_{SY} = 0.5 + \Sigma t$（s）、$\Sigma t = 0 \sim 2.6$s、级差 0.1s。

重合闸装置整组复归时间 t_R：6～9s。

选相元件拒动后备三跳时间 t_{BT}：250 ± 25ms。

准备三跳时间 t_{RT}：300 ± 30ms。

分相跳闸继电器拒动起动三跳时间 t_{CL}：0.15～0.2s。

非全相转入全相运行躲暂态电容电流时间 t_{PA}：100 ± 10ms。

选相元件闭锁开放延时时间 t_L：500 ± 25ms。

监视报警时间 t_s：10 ± 1s。

（11）直流电压在 80%～110%额定值之间变化时，装置能正确动作。

3. 原理框图说明

重合闸的原理框图见图 4-33，有关继电器的说明如下。

$Z_{U,V,W}$：U、V、W 相阻抗选相元件。

$KSP_{U,V,W}$：U、V、W 相选相继电器。

KSP：选相元件动作继电器。

$KA_{U,V,W}$：U、V、W 相电流执行继电器。

$KA'_{U,V,W}$：U、V、W 相电流执行继电器。

$I_{U,V,W}$：相电流判别元件。

KSC：同期检查继电器。

KV：电压继电器（接于线路电压互感器）。

$3I_0$：零序电流元件。

KA_0：零序电流元件执行继电器。

1KST、2KST：重合闸装置起动继电器。

1KCS、2KCS：重合闸起动继电器。

KRT：准备三相跳闸继电器。

KBT：后备三相跳闸继电器。

KCM：解除 M 端子保护的继电器。

KPA：分相加速继电器。

KP：分相动作继电器。

$KT_{U,V,W}$：U、V、W 相分相跳闸继电器。

KT：三相跳闸继电器。

KRE：三相固定继电器。

KA：加速继电器。

KDS：不对应启动继电器。

$KS_{U,V,W}$：U、V、W 相分相跳闸信号继电器。

1KS：一相跳闸信号继电器。

2KS：相电流速断动作信号继电器。

3KS：重合闸启动信号继电器。

4KS：选相元件独立工作跳闸信号继电器。

（1）保护接入回路。

起动重合闸的保护，分别由下列端子接入。

N 端子：接本线和相邻线非全相运行时不会误动的保护。

M 端子：接本线非全相运行时会误动的保护（相邻线非全相运行时不会误动）。

P 端子：接相邻线非全相运行时会误动的保护。

Q 端子：接起动三相重合闸的保护。

（2）分相跳闸回路。

发生单相接地故障时，零序电流元件首先使准备三跳继电器 KRT 的常闭触点断开，闭锁三跳回路，以免误跳三相。直流正电源经保护和选相元件的触点，起动该相的跳闸继电器。

（3）选相元件或分相出口拒动的后备三跳回路。

线路发生单相故障时，零序电流元件已经使准备三跳继电器 KRT 的常闭触点断开，这时如选相元件或分相出口继电器拒动，则保护重动继电器 KBL 的触点闭合，延时起动后备保护继电器 KBT，KBT 的触点将三跳回路接通，使线路三相跳闸。

（4）分相固定回路和两相故障联跳三相回路。

分相固定回路 KE_U、KE_V、KE_W 的作用如下。

为两相同时接地和两相先后接地故障跳开三相创造条件。

为分相后加速和起动断路器失灵保护创造条件。

保持重合闸起动回路。

两相故障联跳三相回路由三个分相固定信号起动，只要其中两个分相固定信号动作，该回路就有输出。经 E1 使准备三跳继电器 KRT 返回，然后由 KRT 的常闭触点接通三跳回路。

（5）重合闸回路。

当任何一相发出跳闸命令时，则跳闸信号经 O3、O10 起动重合闸起动继电器 KRS，并通过 *R* 自保持，直至装置整组复归。

(6) 重合闸计时起动回路。

重合闸计时起动回路包括单相重合闸和三相重合闸计时起动两部分，其动作条件均为：重合闸装置起动回路动作，故障相的分相判别电流元件已返回，三相重合闸起动必须经同期或无压检定。还设有不对应起动回路，如断路器偷跳，可使偷跳的断路器重合一次。

三、故障的原因分析

一次合闸脉冲电路位于操作箱的内部，其电路结构见图 4-36，造成电容器充电时间短的可能的原因可以利用电工原理中电容器的充电过渡过程的公式进行分析。电容上的充电电压与充电电流以及回路参数 R、C，满足下列关系

$$U_C = Ee^{-\frac{t}{\tau}} \tag{4-3}$$

其中 $\tau = RC$。

由此可知，使充电时间变短有两方面可能的因素。

1. 充电回路元件的参数变化

根据电容充电的式（4-3）可知，若在充电的电路中，回路电阻 R 或电容 C 的参数值

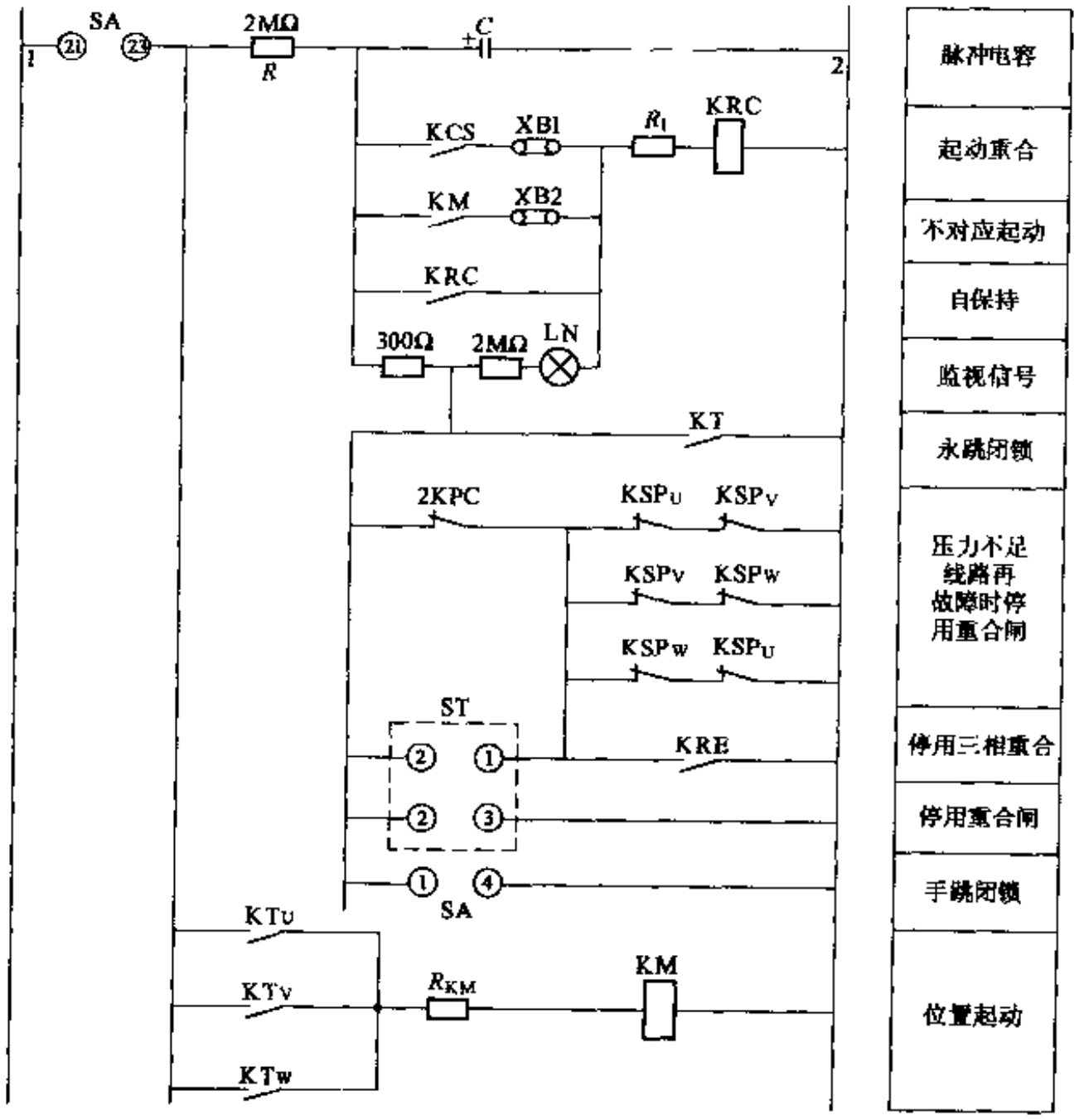


图 4-36　一次合闸脉冲电路

SA—控制开关；KRE—三相固定继电器；ST—重合闸方式切换开关；

2KPC—压力监视继电器

随着设备运行时间的增加，由于某种原因发生了变化，则充电的时间常数 τ 也会发生变化。因此充电时间 t 也随之而变，道理就在其中，显然如果 R 或 C 减小，充电时间随之缩减。

2. 寄生的充电回路的存在

在充电回路中，如果有其他寄生的充电回路存在且串入电容器之前，电容器充电的回路电阻就会减少，即式（4-3）中的 R 成为等效的电阻，则充电的时间也会缩短。

四、故障的查找过程

根据上述分析对充电时间缩短的逐项可能的原因分别进行查找。

1. 电容器的检查

用表计测量电容器 C 的数值，与标称值基本一致，所以该疑点被排除。

2. 充电电阻的检查

用万用表测量充电电阻值约为 2MΩ，与设计值相符合，所以该疑点不存在。

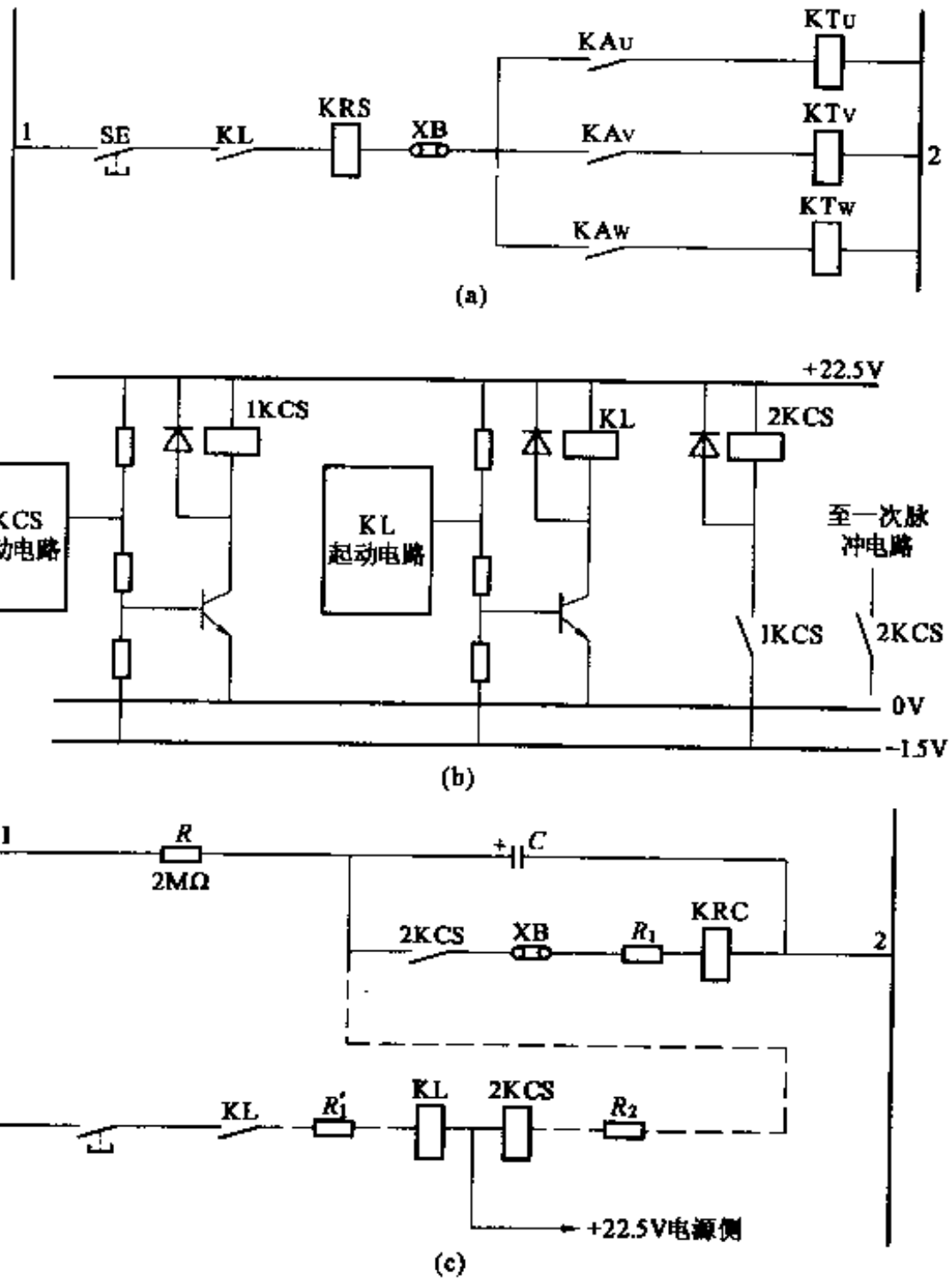


图 4-37　寄生充电电路的形成

（a）KL 触点的位置；（b）KCS、KL 线圈的位置；（c）寄生的充电电路示意

3. 电容充电回路的检查与分析

用万用表测量重合闸 + 22.5V 电源线的电位，发现其数值高达 + 110V，可能有电位串入，按照这一线索进行了一系列查找工作：

（1）对 KCS 继电器的检查。根据图 4-36，电容器与外回路有联系并能引起此现象的只有从综合重合闸来的合闸触点 KCS，将 KCS 继电器抽出，检查触点与线圈的绝缘，结果为零。

（2）对其他插件的检查：上述的 KCS 线圈在 + 22.5V 回路中，电容器放电后不能快速由 + 22.5V 冲至 + 110V，回路还存在其他方面的问题，用拔插件逐一排除的方法，作进一步的检查。

13 号插件拔出后 + 22.5V 电源线的 + 110V 电位消失，而 13 号插件与 + 110V 接触的元件只有 KL。

（3）对 KL 继电器的检查。怀疑 KL 继电器损坏的可能性较大，因此将 SE 整组试验按钮切至试验位置，故障现象消失，因此断定 KL 闭锁继电器绝缘损坏。用 500V 兆欧表检查发现 KL 的线圈与触点之间的绝缘不良。

（4）结论。由于 KL 继电器线圈与触点的绝缘不良，使 + 110V 电位 KL 的触点串入线圈，见图 4-37，其线圈又与 KCS 继电器的线圈联到一起，KCS 线圈又带到了触点，触点与电容器相连接，因此使电容放电后又快速充电。充电的电路由 R 变成了两路，所以充电时间由原来的 1min 变成了数 s。图 4-37 中 R_1'、R_2' 为绝缘破坏后的线圈与接点之间的等值电阻。

五、采取的措施

由于继电器 KL 以及 KCS 的绝缘问题造成了强电串入弱电的事故发生，为杜绝类似的问题的出现，应采取以下的措施。

1. 继电器制造厂应把好出厂验收关

继电器制造厂在出厂前应严格检验制度，把好质量的第一关，严禁劣质产品流入市场。

2. 保护生产厂应选用高质量的继电器

保护生产厂在设备安装前应认真筛选，把不合格的元件彻底淘汰。

3. 在现场应作好定检时的绝缘检查

在现场应注意定检时的绝缘检查，发现不合格的元器件应及时处理。

第十二节　LFR 变电站进线 I 集成电路保护的故障

LFR 变电站进线采用 CKJ—3 型集成电路保护，该保护自从投入运行后，陆续出现过一些问题，本节结合保护的原理，介绍比较典型故障的分析与处理。

一、故障现象

1998 年 9 月 12 日，在 LFR 变电站 220kV 线路 I 更换保护过程中，对新安装的 CKJ—3A 保护装置进行检查时，发现保护存在如下问题。

在模拟 U 相故障联动时，断路器处于合闸位置，将试验插件 M5、M6 短接，发现保护 U 相跳闸不出口，信号板上 TU 灯不亮。更换信号板后动作正常。

在做相间（UV、VW、WU）Ⅰ段故障起动重合闸试验时，断路器处于合闸位置，将试验插件 M5、'M6 短接，断路器跳两相，重合闸无检定两相重合，CKJ—3A 装置 TU、TV（TV、TW，TW、TU）T3 灯亮。更换跳闸Ⅰ板后动作正常。

二、集成电路保护的原理简介

1. 保护的应用

CKJ—1、2、3 型距离保护是一种集成电路、三段式不切换相间、接地距离保护，可用作 110kV 至 500kV 高压、超高压输电线路的主保护及后备保护。

CKJ—1 适用于各种长短输电线路的主保护及后备保护，用作主保护时与收发信机的连接方式为干簧触点；CKJ—2 型与 CKJ—1 型的不同点是装置内部直接带有光端机；CKJ—3 适用于同杆并架双回线。

2. 保护性能结构

（1）三段式距离保护是一组模块化的系列保护，三段相间和三段接地距离继电器的基本特性见图 4-38。其中图 4-38（a）为正向不对称故障时的暂态和稳态特性以及正向对称故障时的暂态特性，图 4-38（b）是三相故障时的稳态特性。

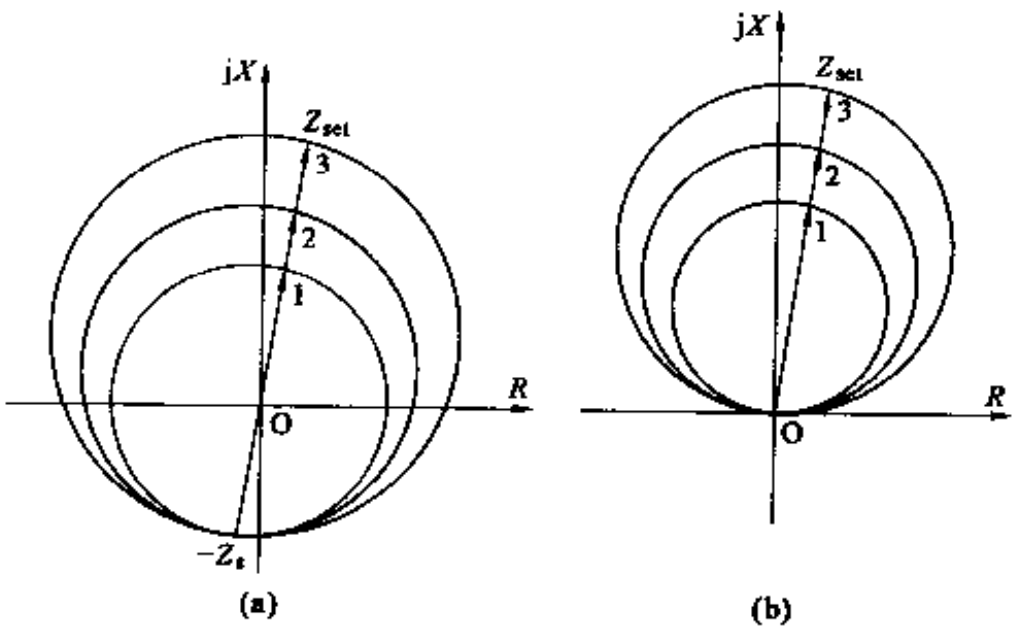


图 4-38　阻抗继电器特性

（a）正向不对称故障暂、稳态特性，正向对称故障暂态特性；

（b）对称故障稳态特性

装置中设有零序方向过流插件，可根据需要选择一个带二个延时段的零序方向过流插件或一个反时限零序方向过流插件。

（2）CKJ—1 型快速距离保护的主要特征。近处故障时，由工频变化量距离继电器快速切除故障。装置中Ⅰ、Ⅱ段接地和相间距离继电器有很好的选相性，动作后即可有选择地切除故障，不需要另经选相回路而带来的延时，特别是相间距离元件，仅在对应的两相有故障时才动作，因此，动作可立即进行三相跳闸。

（3）CKJ—2 型快速距离保护仅在 CKJ—1 的基础上增加了光纤接口，可直接与光缆连接，一般用于短线路上。

（4）CKJ—3 型快速距离保护适用于同杆并架的双回线。相间和接地距离Ⅰ、Ⅱ段都有选相能力。因此，在跨线故障时能有选择地切除故障相，在Ⅰ段范围内时有选择地瞬时切除，Ⅱ段范围内时有选择地延时切除，即单相故障时切除故障的单相，两相故障时切除故障的两相。与通道配合时，可实现全线路快速切除故障，当每条线路仅有一路通道时，线路末端故障时待对侧工频变化量距离元件首先动作切除。如果每条线路设置三路分相通道时，可实现全线路快速有选择地切除。

（5）采用新的振荡闭锁原理，在振荡及振荡又区外故障时可靠闭锁。在先振荡后区内不对称故障时，能有选择地瞬时跳闸切除故障线路。在先振荡后区内三相对称故障时可经短延时切除故障，克服了传统距离保护由起动元件动作短时开放后闭锁保护的缺陷，特别是在有电气化铁路等不对称冲击波负荷的系统，不会因起动元件的频繁起动而使距离保护继电器经常被闭锁。

（6）设有一个反应电流综合量的工频变化量及零序电流的独立起动元件，其弱电回路与其他元件分开，动作后装置起动并开放出口继电器正电源，以提高装置的安全性。

（7）装置配有带三相振荡电源的模拟插件，可进行定值校验和正确性检查。

3. 保护技术数据

（1）额定数据。

直流电压：220V 或 110V，允许偏差 +15%，-20%。

交流电流：1A/5A。

交流电压：100V。

（2）电源。

弱电回路电源：±12V，允许偏差 ±0.2V。

继电器电源：+24V，允许偏差 +4V，-2V。

（3）主要技术指标。

1）保护整组动作时间。

工频变化量距离：4～10ms。

接地距离Ⅰ段：<20ms。

相间距离Ⅰ段：<20ms。

2）阻抗继电器。$I_n = 5A$ 时的整定阻抗（$I_n = 1A$ 时阻抗值扩大 5 倍）为：

2～20Ω，级差 0.2Ω。

1～10Ω，级差 0.1Ω。

0.5～5Ω，级差 0.05Ω。

0.25～2.5Ω，级差 0.025Ω。

0.1～1Ω，级差 0.01Ω。

0.05～0.5Ω，级差 0.005Ω。

0.025～0.25Ω，级差 0.0025Ω。

0.0125～0.125Ω，级差0.00125Ω。

灵敏角整定：65°+2.5X，（X=1，…，8可整定）。

接地距离零序补偿系数整定：0.02～1.98，级差0.02。

刻度误差：＜±5%。

适用的最大系统/线路阻抗比：100/1。

允许极限短路电流：30I_n。

3）过流元件。

高定值整定范围：0.1～9.9A，级差0.1A（I_n=5A）；

0.02～1.98A级差0.02A（I_n=1A）

允许误差：＜5%。

低定值可以整定为高定值的X/5，X=1，2，3，4。

4）零序电流继电器。

整定范围：0.5～49.95A，级差0.05A（I_n=5A）。

0.1A～9.99，级差0.01A（I_n=1A）。

允许误差：＜5%。

5）工频变化量距离元件。

I_n=5A，定值整定范围（I_n=1A时，阻抗值扩大5倍）

0.1～9.9Ω，级差0.1Ω。

0.05～4.95Ω，级差0.05Ω。

动作离散值：＜－10%，无正误差。

2倍以上动作值时动作时间：＜10ms。

6）综合变化量电流元件。

定值范围：0.5A，1A（I_n=5A）。

0.1A，0.2A（I_n=1A）。

7）电压断线元件。

无特殊要求时按单相电压5V动作调整。

8）反时限零序方向过流元件。

定值范围：基值X=0.02（1+Σn）　（n=0、1、2、4）。

面板整定：0～99X，级差X。

定值误差：＜5%。

反时限电流定值：0.02～1.98I_n，级差0.02I_n。

定值误差：＜5%。

反时限时间定值

$t=t_s/n-1$，t_s整定值：1″～10″，级差1″。

当n>2时，定值误差：＜5%。

当n<2时，定值误差：＜10%。

（4）允许的环境温度。

正常工作温度：0～40℃。

极限工作温度：－10～＋50℃。

4. 保护装置整体简介

1 号插件 CK1-JSR1 是交流输入插件，共 8 个互感器，分别由 4 个电压互感器和 4 个电流互感器构成，电压回路分别引入三相电压和一个零序电压，电流回路分别引入三相电流和零序电流回路，在同杆并架双回线时引入相邻线零序电流回路。

2 号插件 CK2-LB 是滤波插件，滤波器 A 是以滤除三次谐波为主的低通型滤波器，滤波器 B 是带通滤波器，对阻抗继电器，可通过分别选择接入滤波器 A 或滤波器 B，在系统实际使用时，由于本装置的比相回路本身有 50Hz 带通滤波的性能，通常选用滤波器 A，并将 1—3 连接；对于短线路和串补电容的线路，则可选用 B 滤波器，将 2—3 连接。

3 号插件 CK3-LMJ 插件包括灵敏角调整，插件中有小开关可以整定灵敏角 $\phi 1$、$\phi 0$，还有相邻线补偿时补偿系数整定，插件内包括电压、电流的形成回路。

4 号插件 CK4B-I_2.I_0 中包括Ⅰ、Ⅱ段相间和接地距离继电器的第 2、第 3 极化电压的方波形成回路。

5 号插件 CK5A-U_1 是第 1 极化电压形成回路，其中包括正序电压形成、记忆、以及 1、2 段阻抗特性偏移角 θ_0，θ_ϕ 的整定，方波形成，接地和相间距离继电器采用同一块模板。

6 号插件 CK6A-ΔZ 是工频变化量距离元件，ΔZ 元件的输入端接在 B 滤波器输出端，ΔZ 元件动作后与相应的高定值电流继电器构成与门输出。

7 号插件 CK7-Z 是阻抗继电器插件，所有接地相间阻抗继电器用同一插件，仅改变输入量和整定值可得到不同的阻抗继电器，每块插件包括三个阻抗继电器，阻抗定值整定在电流回路实现的。经比相后与电流继电器低定值元件构成与门，作为阻抗继电器动作的必要条件，阻抗继电器有二个输出端，一个为不经振荡闭锁直接输出端 Z_φ 或 $Z_{\varphi\varphi}$，另一个为可选择经或不经振荡闭锁的输出端 Z'_φ 或 $Z'_{\varphi\varphi}$，其选择是通过切换连线实现的。不经振荡闭锁的回路 Z_φ，$Z_{\varphi\varphi}$用于合闸加速、选相、第 3 段距离等回路，Z'_φ、$Z'_{\varphi\varphi}$回路根据实际系统的情况而定，用于 1、2 段距离、方向比较回路。

9 号插件 CK9-ZB 是振荡闭锁回路，KF 输出至 1 段逻辑回路。

10 号插件 CK10-LJ 为过流继电器，设有高、低定值，下标 L 为低定值，下标 H 为高定值。

11 号插件 CK11A-I_0 是两段零序方向过流插件。

12 号插件 CK12A-ΔLΣ 是起动元件，其输入电流直接接在电抗变压器二次侧，弱电回路与其他插件分开。

其他还有电压互感器二次回路断线闭锁元件 DX，设在装置故障检测插件上。

三、检查过程与分析

针对保护出现的上述问题分别进行了详细的检查，其检查的过程与结果分析如下。

1.33 号信号板的检查

检查发现装置 33 号信号板上三极管 VT1 的特性不好，在Ⅰ段短脉冲推动下其集电极

状态不能翻转，装置的出口继电器以及信号继电器均不能动作，如此具备做模拟 U 相故障检查时跳闸不能出口，信号插件板上的指示灯 TU 不亮的条件。

2.35 号跳闸板的检查

经检查发现，35 号插件板用于实现三跳的出口 VT4 损坏，基极与集电极之间被击穿，三极管不能正常工作，VT4 无法导通，三相跳闸回路不能出口，所以在模拟相间故障时，只跳两相。

重合闸动作的原因是由于保护单相跳后起动重合闸所致，此时重合闸可以实现无检定重合。

以上两个插件板存在的问题，运行中保护装置自动检测功能检查不出来，在这种状况下如果 U 相 I 段范围内故障或是相间故障保护则会拒绝动作。该保护曾于 1998 年 5 月改动定值时做过整组试验，其逻辑关系正确，出口动作正常，因此保护投运前应进行检查工作，为了防止类似事故的再次发生，应该采取相应的措施，当时又进行了下列内容的检查。

3. 电源电压的检查

（1）保护电源输入的检查。对保护电源的输入电压进行波形检查，结果正常。直流输入电源的波纹系数为 0.5%，电源电压的数值 220V，稳压特性良好。

（2）保护电源输出的检查。保护电源的输出电压 ± 12V 正常，各级输出的波纹系数小于 0.5%，电源的稳压性能良好。

由此可以排除因为电源问题导致元件损坏的可能性。

4. 检查环境的温度

用温度计测量机箱内部的温度，结果最高不超过 40℃，满足正常允许温度 0 ~ 40℃的要求。

四、采取的措施

1. 更换三极管

在近期内三极管损坏了两只，说明这一批三极管的质量有问题，因此将 33 号、35 号出口板的三极管更换。

2. 加强定期检验、检查工作

保护投入后，在 2 个月内安排一次小修，检查保护整组特性以及三极管的性能是否正常，以后如此的检查每年应保证至少三次。确保设备存在故障后能够及时查出。

第十三节　LFR 变电站线路Ⅱ集成电路保护的故障

一、故障现象

1997 年 1 月 26 日，LFR 变电站Ⅱ线快速距离保护 CKJ—3 发出“直流电源消失”光字牌信号，保护电源指示灯熄灭，输出为 0。当时全站直流 220V 系统运行正常，该距离保护的输入直流电压正常。

这种故障现象在此以前的10天内曾出现过几次，每次将逆变电源重新起动后保护电源都能恢复正常。电源的各级输出也满足设计的要求，故障的原因没有找到。

二、保护的原理简介

保护的原理介绍见本章第十二节。

三、故障的查找过程及原因分析

1. 重新起动逆变电源失败

故障发生以后，起动逆变电源，但是直流电源开关送上以后，其逆变电源指示灯闪烁了一下又熄灭了。因此判定保护装置中存在有短路现象，是由于电源回路中的短路促使逆变电源上的保护动作，将输入电源断开而失电。

2. 拔出所有插件后的进一步检查

将所有插件全部拔出，投入逆变电源开关，电源工作正常，然后再断开电源逐个插件依次投入，投一个插件送一次逆变电源，当16号插件投入后，逆变电源再起动时失败，逆变电源就象“故障现象”中描述的一样。经检查发现16号插件中的一个元件被击穿，造成了+12V电源短路，更换16号插件以后保护恢复了正常。

3. 故障的分析

前几次电源消失以后又能送电成功，说明保护元件的击穿是“软击穿”，在电源断开以后又能恢复正常，这种软击穿给故障的查找带来了困难。

在保护电源第一次故障以后，将保护电源插件拔出，然后用万用表检查各级电压回路的电阻值，用插件逐个投入的方法来监视回路电阻的变化情况，则发现问题会更及时，基于这种做法的原因有两点：

（1）电源灯不会无故熄灭。

试验表明逆变电源指示灯熄灭，并发出“逆变电源故障信号”只有在电源回路中存在短路故障时或者电源本身元件损坏后才可能发生。但是电源本身的元件损坏后，单独的电源不可能再运行。这次单独的电源运行却很正常，由此可见，只要单独的电源运行没有问题，则证明保护回路中存在着短路现象。

（2）“软击穿”后元件的电阻值会有明显的减少。

元件中存在着软击穿故障时，其回路电阻不会象正常元件一样，而是有比较明显的电阻减少。

四、采取的措施

1. 更换16号插件

将16号插件的备品调试合格后投入运行，装置恢复了正常。

2. 掌握故障处理的规律

作好类似的故障处理工作的记录，并认真总结保护故障处理的经验，掌握故障处理的规律，从而在以后的故障分析过程中，把握住问题存在的主要矛盾，以便及时排除故障。

3. 管理好备品备件

注意管理好各种备品备件，保证备品的完好性。在保护的新安装检验时应调试好备品，并做好记录，当需要时再做必须的检查、测试，合格后方可投人。

第十四节　WJ变电站进线集成电路保护误动跳闸

一、故障现象

1998年8月22日8时50分，当SL县的负荷由110kV ZS线向220kV WS线转移时，WS线211开关CKJ—1型距离保护动作跳闸，控制盘“高频方向保护动作及保护动作”、“高频距离保护动作”、“高频距离、重合闸装置故障及TV断线”、“YBX—1装置动作及异常”光字牌亮；保护距离屏“Ⅰ段”、“相间”、“TU”、“TV”、“TW”灯亮；方向屏操作箱U、W相跳闸灯亮；220kV WL线故障录波器起动。

当时电网的运行方式：1998年11月21日，WJ变电站通过110kV WZ线、ZS线供SL县负荷，21日20时36分，调度下令220kV WS线211断路器由冷备用转运行，线路空载运行，22日8时许开始110kV WZ线、ZS线与其220kV WS线并环操作合212断路器。线路倒负荷时，系统没有故障，此时保护动作实属误动。负荷切换时的系统情况见图4-39。

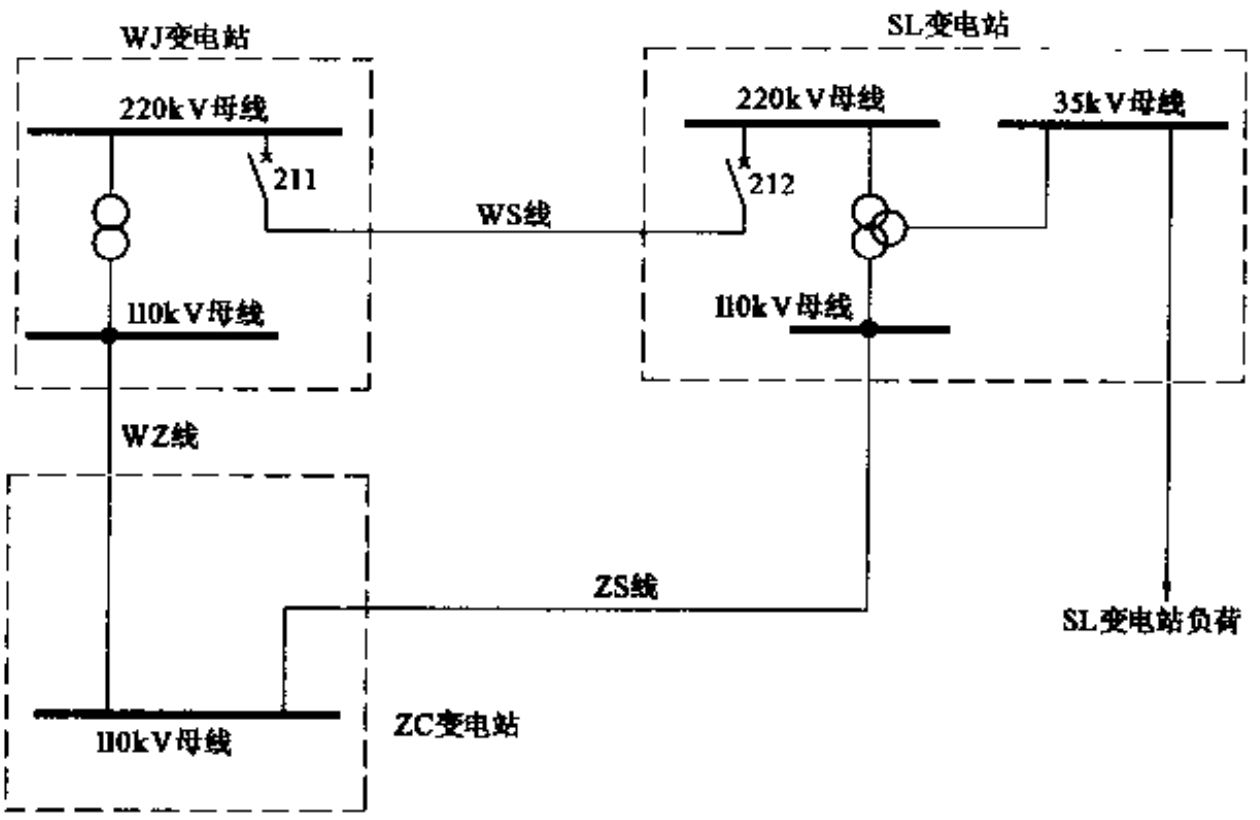


图4-39　负荷切换时的系统图

二、保护的原理简介

保护的原理简介见本章第十二节。

三、故障的检查过程

WS线开关跳闸以后，运行部门、生产厂家以及监督部门联合对WS线路保护装置进

行了全面、细致的检查，发现 CKJ—1 保护装置的相间距离Ⅰ段 UV 相插件底座的 10 号和 11 号接线柱有搭联现象，而 10 号和 11 号接线柱虚接产生的后果是当遇到区外故障或潮流变化时，起动元件动作，造成振荡闭锁元件开放 160ms，通过 10 号和 11 号线柱的短接，使其不经距离Ⅰ段测量回路而直接出口动作跳闸。

四、故障的原因分析

从现场更换的插件底座看，11 号线柱焊点过大，而套在该线柱上的绝缘套管管径较小，在装套管时较困难，强行套上后，套管承受的拉力较大，随着运行时间的延长和套管老化，套管破裂，造成 10 号和 11 号线柱短接，在这种情况下，遇到起动元件动作，通过振荡闭锁开放 160ms，跨过距离Ⅰ段测量回路，直接引起保护动作跳闸。当时在 SL 县负荷由 110kV ZS 线向 220kV WS 线转移时，起动元件动作，引起保护跳闸。

五、处理措施

基于以上原因，更换了相间距离保护Ⅰ段的插件底座，对装置进行了整组试验，试验结果良好，投入运行后保护装置运行正常。

六、设备情况简介

211 开关 WS 线路保护是 CKJ—1 集成电路保护，保护装置于 1993 年 8 月出厂，1994 年 8 月底投入运行，自运行以来未发现任何异常。1995 年和 1998 年进行两次定检，1998 年 6 月保护更改定值，现场装置检查试验，也未发现异常现象。

第十五节　ZJ变电站线路微机重合闸误充电

一、故障现象

ZJ 变电站新上线路 110kV MJR-Ⅰ线接线完毕，直流通电正确无误，通过控制开关跳合断路器时，发现用控制开关跳开断路器后，经 15s 综重插件 CPU4 的充电指示灯点亮。

常规的保护在断路器手动跳闸时，控制开关的触点 6—7 接通，断路器跳开，断路器跳开后，控制开关的触点 21—23 断开，重合闸失去正电源，不能再动作于合闸。控制开关的触点 2—4 接通，使电容 C 经放电电阻放电，电容器 C 上的电压迅速下降，这就保证了手动跳闸时不重合，跳动后也不再充电。WXB—11 型微机线路保护继承了上述特点。

因此，线路断路器手动跳闸后，经 15s 再次充电，使断路器具备重合的条件是不允许的，必须查清问题的原因，并予以处理。

二、WXB—11 型微机保护简介

WXB—11 型微机线路保护已有多年运行经验，这种保护在现场运行的数量较多。现将其基本构成与原理作如下介绍。

1. 装置概述

WXB—11 系列保护包括 WXB—11（A）型、WXB—11C（D）型、WXB—15（A）型，WXB—11（A）型装置为本系列的基本类型。WXB—11C（D）、15（A）型为硬件改进型，与 11（A）相比增加液晶显示器，键盘简化，菜单操作，并且有远传功能。WXB—11 为成套的微机高压线路保护装置，适用于 110～500kV 各电压等级的输电线路。WXB—11（A）、11C（D）型主保护为高频距离和高频零序。WXB—15（A）型为突变量快速保护。

WXB—11 型保护具有如下功能：相间距离保护、接地距离保护、零序保护、综合重合闸、高频负序保护、高频零序保护及高频距离保护。

2. 主要技术数据

（1）精确工作范围。

距离元件：精确工作电压：0.5V。

精确工作电流：$0.1 \sim 20 I_N$ 或 $0.2 \sim 40 I_N$。

零序方向元件：最小动作电压：2V。

最小动作电流：$< 0.1 I_N$。

突变量方向元件：最小动作电压：4V。

最小动作电流：$0.3 I_N$。

（2）精度。

突变量元件：　　±15%。

距离Ⅰ段暂态超越：<5%。

零序Ⅰ段暂态超越：<5%。

测距元件误差：　　<2.5%。

（3）整组动作时间。

距离Ⅰ段：$Z_m / Z_{set} < 30\%$，动作时间 10～13ms。

$Z_m / Z_{set} < 70\%$，动作时间 <20ms。

零序Ⅰ段：（$I_m = 1.2 I_{set}$时）<18ms。

高频距离和高频零序保护：<30ms。

3. 硬件说明

（1）交流输入插件（AC）。

本插件将系统电压互感器和电流互感器二次侧的电信号变换成保护装置所需的弱电信号，同时起强弱电隔离和抗干扰作用。

（2）模数转换插件（VFC）。

本插件共有 9 路电路结构完全相同的电压频率变换器，分别将交流插件输出的 5 路电压量和 4 路电流量变换成随其幅值的大小而变化的频率量。每个通道主要包括两个

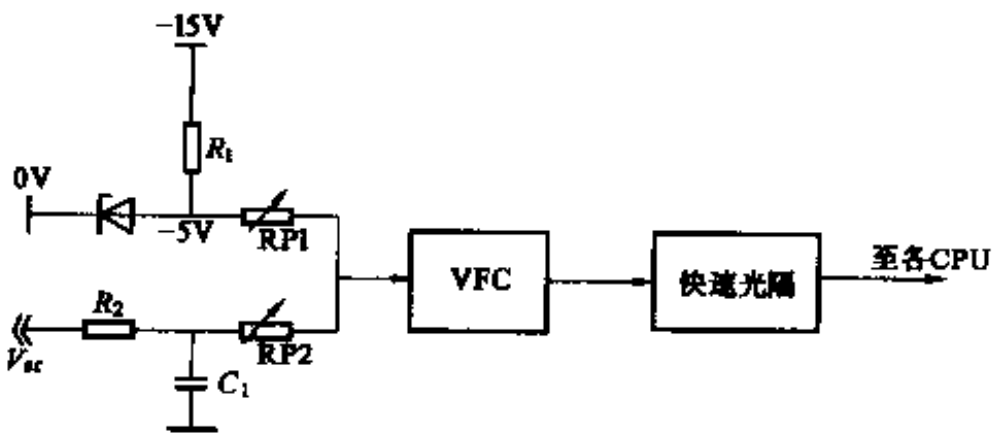


图 4-40　VFC 电路原理示意图

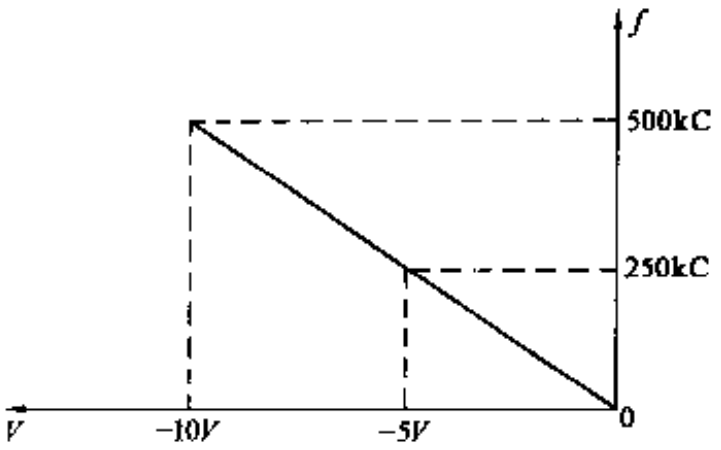


图 4-41　VFC 的变换关系图

芯片：VFC 及快速光耦。其每路简化的原理电路如图 4-40 所示。

1）VFC 的作用。VFC 芯片的功用是将输入电压变换成一串频率正比于输入电压瞬时值的等幅脉冲，本装置采用负极性接线，V—F 变换关系见图 4-41，由于 VFC 不能直接反映双极性信号，图中设置了一个 -5V 偏置电源，可用电位器 RP1 微调偏置量，从而使输入电压的测量范围控制在 ±5V 峰值以内。各通道的平衡度及刻度比例可用电位器 RP2 微调，图 4-40 中 R_2 和 C_1 为浪涌吸收电路。

2）快速光隔作用。快速光隔作用是使 VFC 的 ±15V 电源和 CPU 系统的 +5V 电源在电气上隔离，从而进一步抑制共模干扰，提高 CPU 系统工作的可靠性。

（3）CPU 插件。

CPU 插件为装置的核心部分，四块相同的 CPU 插件完成各种保护功能，本插件的硬件框图如图 4-42。

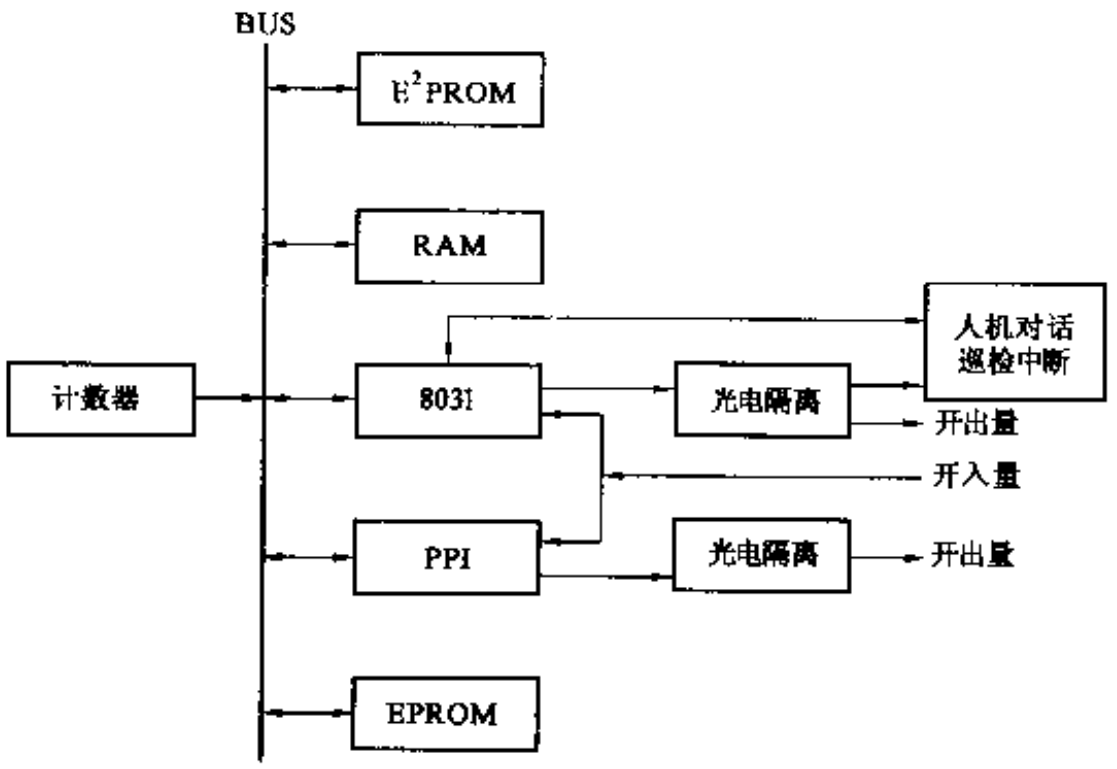


图 4-42　CPU 插件硬件图

CPU 插件面板上装有如下器件：复位按钮、定值选择拨轮、EEPROM 允许和禁止固化开关、工作方式开关（运行和调试）、运行监视发光二极管（LED）和报告 LED。

单片机内部有一个双向通信串行口，引至人机对话插件，以便各保护公用该人机对话插件。

（4）人机对话插件（MONITOR）。

人机对话插件的结构见图 4-43，该插件具有以下功能：对各 CPU 进行巡检、收集各种 CPU 信息、硬件时钟、液晶显示和打印、串行通信和键盘输入。

（5）开关量输入插件（DI）。

保护装置设有两个完全相同的开入插件，各有16路开入光隔回路，如图4-44所示。

图中+E和-E为开入量专用电源，装置采用24V电源，但为了抗干扰原因，不使用装置内部的24V电源，而是单独用一个外部逆变电源装设在屏上，每一路的-E端连在一起后从装置外接端子引出。

（6）跳闸出口插件（TRIP）。

该插件装设了跳闸出口继电器KCO，起动继电器KST及停信继电器KSS。

起动继电器同时兼作总开放继电器，由其常开触点接通其他继电器线至负电源的回路。为防止4个CPU之一出故障而误动，插件起动回路采用互相闭锁方式。各CPU分别驱动各自的KST，除综重KST之外的3个KST接成三取二方式。只有CPU1～CPU3中有2个以上同时发起动令，才能开放跳闸回路。

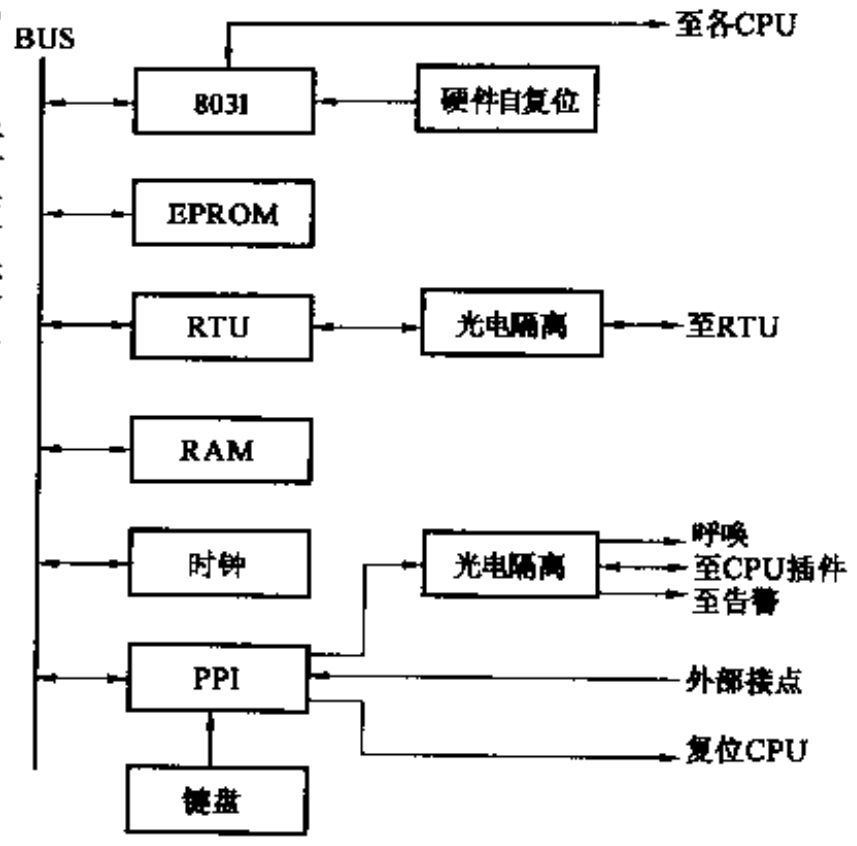


图4-43　人机对话插件框图

（7）信号插件（SIGNAL）。

信号插件设有下列继电器：跳闸重动继电器KTR、三跳重动继电器3KTR、跳闸固定继电器KTRE、三跳固定继电器3KTRE以及重合闸后加速继电器KRE。

（8）告警插件（ALARM）。

装置设置了下列告警继电器：4个CPU插件告警继电器、巡检中断告警继电器、总告警继电器、失电报警继电器和三跳继电器。所有告警继电器均能自保持，自保持功能由手动复归。

（9）电源插件（POWER）。

插件为逆变电源，直流220V或110V电压首先通过滤波回路，滤除高频干扰分量再接入该插件，利用逆变原理输出本装置所需的三组电压即24V、5V及15V，三组电压均不共地，采用浮空方式，同外壳不相连。

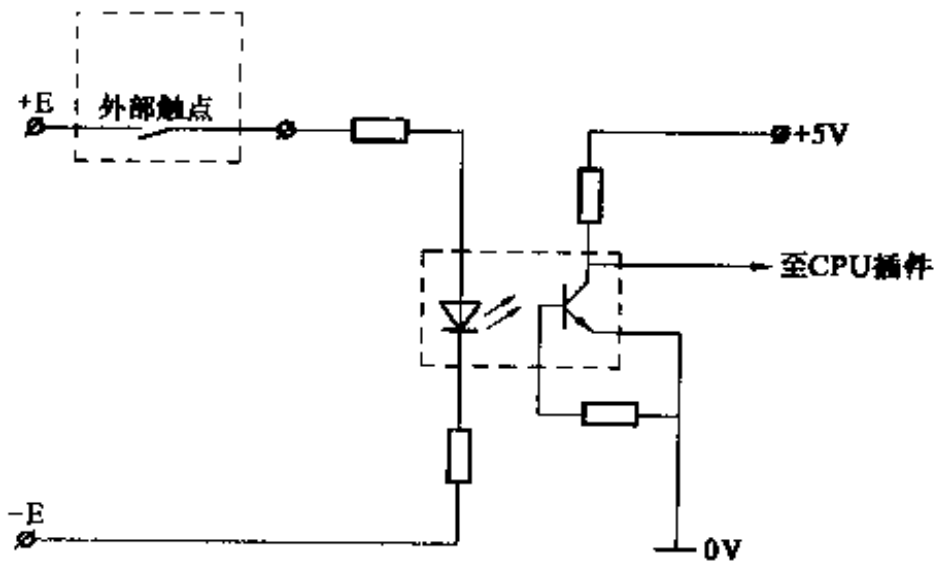


图4-44　开关量输入回路接线图

4. 保护的原理及构成

（1）起动元件。

装置中零序高频保护、距离保护和零序保护设置了原理相同的相电流差突变量起动元件DI1和按零序Ⅳ段整定的零序辅助起动元件I04，综重只设有相电流差突变量起动元件。

1）相电流差突变量起动元件具有的特点。能够反映各种故障，不受负荷电流的影响，不反映故障电流的直

流分量，具有较强的抗干扰能力。

2）零序辅助起动元件带 0.2s 延时的作用。保证经大电阻接地时，保护可靠起动，以解决突变量起动元件整定时灵敏度可能造成的困难；该元件连续 4.5s 不动作作为整组复归的一个判据，以防止零序Ⅳ段时间定值 > 4.5s 时，因保护整组复归而使得零序Ⅳ段拒动。高频、距离和零序保护的起动元件可以接成三取二表决的方式来开放保护的跳闸回路以提高装置的可靠性。当采用这种表决方式时，如某一保护退出运行时，只需将保护屏上对应的连接片退出，该保护的起动元件仍在工作，以完成三取二表决功能。

（2）距离零序方向高频保护。

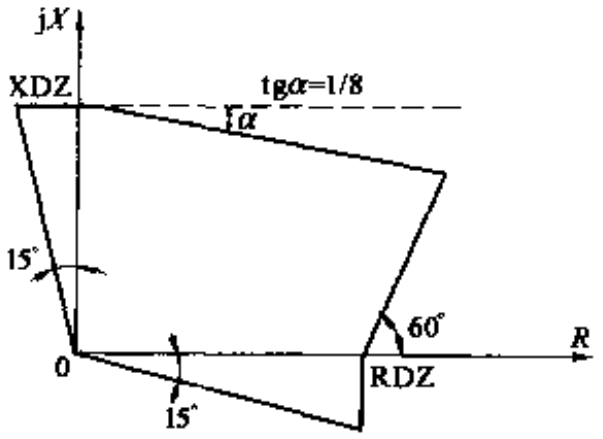


图 4-45　距离元件动作特性

该保护在相间故障时为高频距离，单相接地故障时为高频零序方向保护。高频保护本身设有独立的阻抗元件和零序方向元件，同装置内的距离保护和零序保护无依赖关系。当保护起动后，首先执行选相程序，当判断为相间故障时执行高频距离逻辑；当判断为单相故障时，执行高频零序方向逻辑。

1）高频距离逻辑。高频距离阻抗特性采用带记忆的多边形方向阻抗特性，见图 4-45。计算阻抗在正向停信范围内时，阻抗元件动作驱动停信继电器 KSS 停信，并等待对侧信息，对侧亦停信后，出口跳三相，如果经 60ms 保护不动则立即进入振荡闭锁逻辑，闭锁高频距离。

2）高频零序方向逻辑。在正常运行状态下，零序方向元件采用自产 $3U_0$，TV 断线时则改用开口三角引来的 $3U_0$，该元件的动作电流可以整定，电压固定为 2V。故障为单相对地时，由零序方向元件判别方向，两侧均为正方向时，停信后跳闸，如在 60ms 内动作则立即出口。如在 60ms 后动作，则延时 60ms 出口，以防止环网中，区外故障切除后，零序功率倒向时误动作。此时，保护作用于三跳而不选相。

3）非全相逻辑。在被保护线路非全相过程中高频零序退出工作，此时高频保护不再利用通道，但设有二个健全相的电流差突变量元件 DI2，如 DI2 动作，二个健全相分别对地及二个健全相间三种阻抗值中任一种阻抗值在高频距离控制 KSS 用的阻抗动作特性区内时，判断为本线路健全相又发生故障，立即动作于三跳，为保证可靠切除出口转换性故障，此时阻抗特性带偏移。

4）手合逻辑。在手动合闸于故障线或重合到永久性故障时，高频方向保护也设置了按阻抗原理的瞬时加速切除三相的逻辑，此时本保护不受对侧高频信号的闭锁。所用阻抗特性也同于高频距离的阻抗判别元件，但为了可靠切除出口故障，特性略带偏移。

5）停信。该装置没有考虑其他保护动作停信和断路器位置停信，应当将这些触点直接连至收发信机的相应停信接口。

6）交流电压断线和电流回路自检。在 TV 断线情况下，高频距离自动退出，但高频零序仍保留工作，只是将自产 $3U_0$ 自动切换为外接 $3U_0$。

（3）距离保护。

本保护包括三段式相间距离和三段式接地距离，分别用以切除相间故障和单相接地故障。阻抗算法采用微分方程算法，阻抗特性采用多边形特性。保护起动后，首先执行选相程序，当判断为相间故障时，执行相间距离逻辑；当判断为单相故障时，执行接地距离逻辑。

保护具有方向判别、手动合闸判别、非全相判别以及震荡闭锁等功能。

(4) 零序保护。

零序保护设置了四段全相运行时的零序保护，两段非全相运行时不灵敏段零序保护，全相运行时各段零序保护的方向元件均可由控制字整定投入或退出。重合闸后加速Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ段，也可由控制字整定投入或退出，后加速时间均固定为0.2s，另外零序Ⅰ段在重合闸后带0.1s延时。

1）起动元件。本装置零序保护由相电流差突变量元件起动，为防止TA断线引起零序保护误动作，设置了$3U_0$突变量元件闭锁，此功能可由控制字整定投入或退出。

2）$3U_0$切换。零序保护元件的$3U_0$正常情况下均取用自产$3U_0$，即软件根据$\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W=3\dot{U}_0$获得，若故障前发现上述等式不成立，而此时$\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W=0$仍成立，则故障时仍取用自产$3U_0$。若$\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W\neq 0$，则取实际接入$3U_0$，不考虑$U_U$、$U_V$、$U_W$与$3U_0$同时断线的情况，TV断线时零序保护不退出工作，也不报警。

(5) 综合重合闸。

重合闸装置综重软件包括两部分：重合闸部分及外部不能选相的保护经本综重选跳出口部分。

综重也设有突变量起动元件，起动元件不动作时综重的各种功能均不投入，仅保留了轻载下断路器偷跳的重合闸回路，如果偷跳时由于负荷电流小不足以使起动元件起动，可由不对应起动重合闸，此时不检查同期，在突变量起动元件起动后才投入全部功能。

1）重合闸起动回路。

如本装置内任一种保护（包括其他保护经本综重选相跳闸）发出跳闸令时，可由逻辑插件中的三跳或单跳固定继电器触点经光隔来起动重合闸，插件的电流元件判别故障切除时刻并开始计时。单跳时不检查同期，三跳则按控制字整定要求，分别以下列方式之一检查同期。

不检查同期。

检查同期（先检查电路必须有电压）。

检查线路无电压或在线路有电压时检查同期。

为可靠防止非预期的非同期合闸，在单跳起动重合闸时仍通过开入量检查断路器是否在三跳位置，则是按三跳处理。

如装置未发三跳令，而由其他保护发出跳闸命令，可由不对应起动重合闸并由断路器三跳位置开入量判别是三跳还是单跳，三跳要检查同期。综重还设有偷跳判别回路，在突变量选相判断为单相故障，而故障相无电流时认为是一相偷跳，重合后不发后加速令。

2）计时回路。

如前所述，本装置综重设有电流判别元件，以保证在故障切除后才开始计时。对于转

换性故障，在单跳后又三跳时，由软件保证重新计时。重合整定时间分长延时和短延时，可由“重合时间选择”开入端经屏上连接片控制，以便在无全线速动保护时采用长延时。

3）一次合闸脉冲元件。

本装置由软件设计一个计数器，以模拟重合闸充电电容，每次上电及重合后都带 15s 的充电准备时间，以防止多次重合。并由插件面板上的运行 LED 指示充电是否准备好，如保护发出单跳令，但综重充电未准备好，此时将由综重发出三跳命令，以防止线路长期非全相运行。

重合闸选相部分为了与不能选相的外部保护配合，本装置设有 M、N、P 三个开入端，分别接至非全相不误动的保护（N），本线路非全相要误动的保护（M）及相邻线非全相可能误动因而要用综重阻抗选相元件闭锁的保护（P），不考虑同其他保护配合时，用控制字退出这部分功能。

选相部分的软件主要功能是选相。本装置采用相电流差突变量选相和阻抗选相两种原理兼用。

三、故障的检查过程及原因分析

常规的重合闸为了防止两次重合，都采用电容器组成一个合闸脉冲元件，利用电容器 15s 左右的充电延时，以避免两次重合。

该微机保护在采样中断服务程序中设置了一个计数器，每次中断计数器加 1，以此模拟一个合闸脉冲元件的电容器，为了说明上的方便，仍然使用“充电”和“放电”来描述计数器的计数和清零，综重插件 CPU4 面板上的发光二极管用于指示预充电是否已满。

下面结合对综重采样中断服务程序框图的分析，来看手跳断路器以后，综重插件仍然充电这种现象是否正确。出现充电现象时的实际框图的走向见图 4-46。

在图 4-46 中，起动标志 QDB 和振荡闭锁标志 ZDB 是系统状态标志，当保护处于不同状态时赋以不同的值，用以切换软件的流程，QDB、ZDB 两者是在开放中断前置 1。在刚开放采样中断时不能立即投入突变量起动元件，因为起动元件需要一周前及两周前的电流采样值，而刚上电复位时采样区是空的，立即投入突变量起动元件会导致误动作。

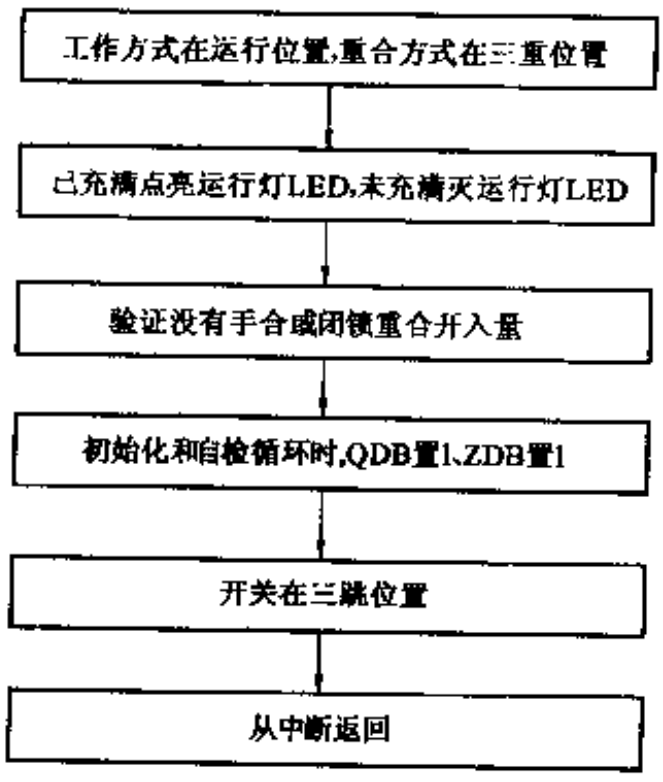


图 4-46　充电时的中断程序

这样从框图的走向上可以看出，在开关跳开以后直接从三跳位置到从中断返回，旁路了 15s 充电计数器，不会再对重合闸充电，运行灯 LED 也不会点亮。不存在电已充满，运行灯 LED 已亮，无须计数器加 1 的情况，因为在手跳断路器时 KHT 继电器的一对常开触点是接通放电的。

重合闸电容充电的监视程序见图 4-47。

经上述分析可知，手动跳断路器后不会再充电。产生充电现象的原因从框图上看主要是“三跳位置”，即综重插件 CPU4 是否真正的收到了三跳位置

的信息。根据这种思路查起，首先排除插件内部的故障，否则会打出故障信息，从综重插件CPU4向外面检查，在查到三相操作箱时，发现内部连线4N3和4N4断线。

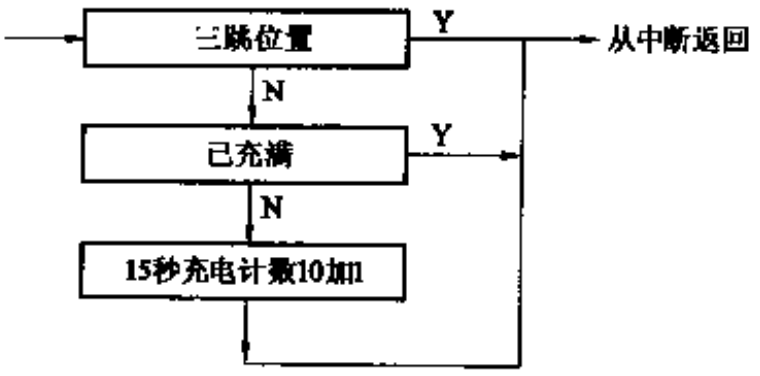


图4-47　充电时的指示程序图

保护引入的外部触点电路见图4-48。

当断路器处于分闸位置时，KTP的常开触点闭合，但由于4n3和4n4断线，不能使光耦导通，见图4-48，CPU4收不到三跳位置的信息，手跳断路器15s后，综重插件CPU4的充电指示灯点亮。

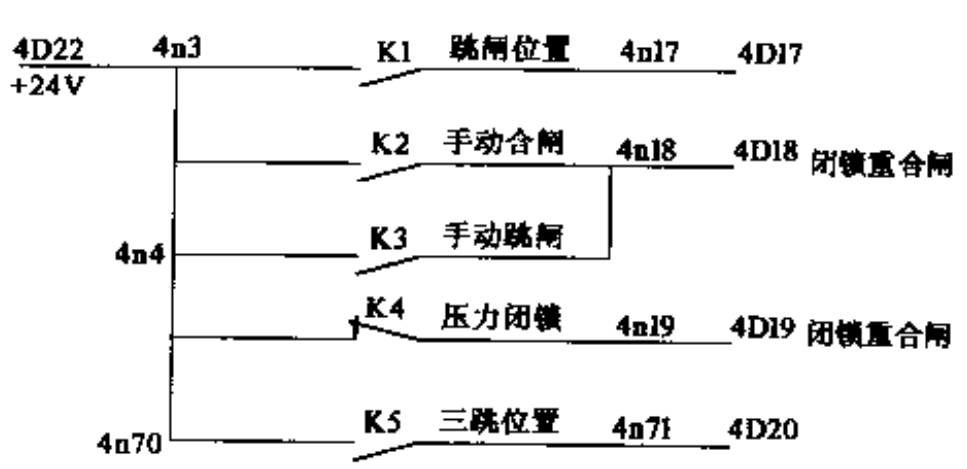


图4-48　重合闸部分引入的外部触点

四、采取的措施

恢复4N3和4N4的正常接线，重合闸的充电问题被消除，即开关手动跳闸，经15s的延时后，重合闸的充电指示灯不再点亮。

第十六节　FW变电站线路微机保护出现的故障

一、故障现象

在FW变电站运行的WXB—11型微机线路保护在运行中有过几次故障，其中曾经出现过通道的参数数值过高，导致保护误发信号的问题，此处只对M通道参数过高这一种问题的解决情况作以叙述。

二、微机保护的简介

WXB—11型微机保护的介绍详见本章第十五节。

三、故障的原因及处理

1. 保护TV、TA的输入值检查

虽然线路保护出现故障后，已将该保护退出运行，但是交流电流、电压的输入并未断

开、用电压表及钳形电流表测量 TV、TA 的输入值，结果表明 TV、TA 的输入正常，其三相对称性良好，相位关系正确，因此可以断定微机测到的 M 路通道参数高的原因是采样回路发生了问题。

2. 保护的采样回路检查

断开保护电源，退出压频转换插件，对压频转换插件 VFC 进行了外观检查，未发现故障点，更换了故障通道的光耦元件 6N137 后整机的工作恢复正常。

四、评述

通过此类故障的处理可以看到，微机保护与晶体管保护、集成电路保护一样，存在着元件特性变坏或元件损坏的问题，因此在微机保护的事故处理时，一方面要充分利用微机所提供的信息进行分析、检查、对比，以找出与故障有关的线索。另一方面要借助常规的检测手段来确定故障有关的根源。元器件的损坏是常见的，运行单位应备足备品备件，以便有问题时及时更换，其他比较严重的故障，例如程序丢失或定值丢失、定值出错等，应重写程序、重写定值，此类工作在现场不一定能够做到，可以请生产厂家帮助解决。

近几年来，由于生产厂家加强了售后服务的力度，加大了设备事故跟踪的投入，积极参与现场新设备的安装调试、定检调试以及事故处理等工作。这种管理方式，无疑对生产部门及时了解设备运行状况，改进生产工艺，以及对设备质量的进一步提高是有积极意义的，但是容易造成现场工作者的依赖思想。

第十七节　XZ变电站220 kV线路微机保护误动跳闸

一、故障现象

1998 年 7 月 11 日 17 时 36 分，220kV XZ 变电站 TZH 线 214 断路器三相跳闸，同时失去变电站用电。TZH 线 WXB—11C 型微机线路保护跳 U、跳 V、跳 W 灯亮，三相操作箱的分相跳闸灯亮。

17 时 40 分，运行人员检查 TZH 线线路仍带电，合上 214 断路器，合环成功。

室外设备检查未发现异常，检查低压配电室时发现 3 号配电屏内硅整流器电源开关烧损严重，主控室照明开关有烧损现象。

7 月 13 日将 TZH 线倒旁路后，对 WXB—11C 型微机保护进行了全面检查，检查的结果表明，微机保护的故障就是因为保护受短路电流的干扰而误动作的。

二、保护的原理简介

WXB—11 型保护的原理简介见本章第十五节。

三、故障的检查过程及原因分析

故障发生以后有关人员对二次回路以及保护装置进行了全面的检查，现将检查内容与

结果分析如下。

1. 装置的外部检查

根据保护装置外观检查的一般要求，对保护的元器件、接线、焊接点、元件的插接状况进行仔细检查，结果未发现有异常现象存在。

2. 保护接地的检查

按规程要求检查接地线，检查结果表明系统接地可靠，打印机通信电缆的地线与保护装置本身的地线连接可靠。

3. 二次回路绝缘检查

（1）出口触点与线圈间的绝缘检查。保护出口继电器触点与线圈之间的绝缘电阻值 $>1M\Omega$。

（2）装置直流回路检查。装置的直流回路之间的绝缘检查 $>10M\Omega$。

（3）交流回路的绝缘检查。交流电流、电压三相分别对地绝缘 $>40M\Omega$。

（4）交、直流回路之间的绝缘检查。交流回路对直流回路绝缘检查结果：交流回路 U、V、W、N 对 101、102 的绝缘电阻值 $>20M\Omega$；交流回路 U、V、W、N 对 201、202 的绝缘电阻值 $>15M\Omega$；交流回路 U、V、W、N 对 701、702 的绝缘电阻值 $>10M\Omega$。

4. 直流电源检查

快速拉合直流电源，保护无误动现象出现。

直流电源的电压变动 ±20%，保护无误动现象存在。

装置的内部 ±15V、+24V、+5V 电源，装置外部 ±24V 电源稳压性能良好，偏差值满足出厂要求。

5. 装置的静态特性检查

装置采样回路的零点漂移在设计的范围以内；交流采样值的极性检查正确，采样的精度满足要求。

各 CPU 的 CRC 校验码正确无误。

6. 保护的定值及逻辑检查

接地距离保护定值及逻辑检验正确。

相间距离保护定值及逻辑检验正确。

零序保护定值及逻辑检验正确。

7. 保护误动的原因分析

通过上述检查表明，保护装置的静态性能处于良好状态，214 开关的跳闸，是由于硅整流电源开关绝缘击穿导致 400V V、W 相短路造成的，其短路产生的弧光瞬间的干扰信号通过电缆作用到保护装置的内部，使保护误动作，从而出口跳闸。这也是数字电路保护抗干扰性能不强的具体表现。

故障发生时，变电站的另外三条 220kV 线路保护均为 WXB—11C 型和 15 型保护，都起动但未出口，而 110kV 线路微机型保护和微机故障录波器都未起动。

据统计在集成电路保护安装处附近使用对讲机等无线通信工具时，保护有误动作的记载，因此很多发电厂、变电站的保护室门上挂有“室内禁止使用无线通讯工具”的警告

牌。

400V 短路时的瞬间放电产生的高频干扰与无线通信有相似之处，都能影响保护的动作行为。高频信号还能沿线路传播影响电子产品的正常工作。

四、采取的措施

为保证保护的可靠运行，特采取以下措施。

(1) 更换 TZH 线 WXB—C 型保护的 4 个 CPU 程序芯片及 8255 开关量输入输出芯片。

(2) 更换 VFC 模数转换插件。

(3) 更换配电屏内绝缘降低的交流出线开关。

(4) 改善配电室的设备运行环境，增加通风装置。

第十八节　CL热电厂线路保护跳闸触点闭合时间太短的原因分析

一、故障现象

在做 35kV 线路保护的传动试验时，模拟相间故障，保护有动作信号输出，但是断路器不跳闸。

在用短接端子排跳闸端子的方法时，断路器跳闸无误，这样可以将故障的范围缩小到保护屏内逻辑部分以后的环节。

二、原因分析

经检查发现保护的出口继电器自保持存在问题。根据继电器在跳闸回路中的接线，对自保持功能做了进一步试验。出口继电器及其试验接线见图 4-49，电流线圈为自保持线圈，电压线圈为动作线圈。

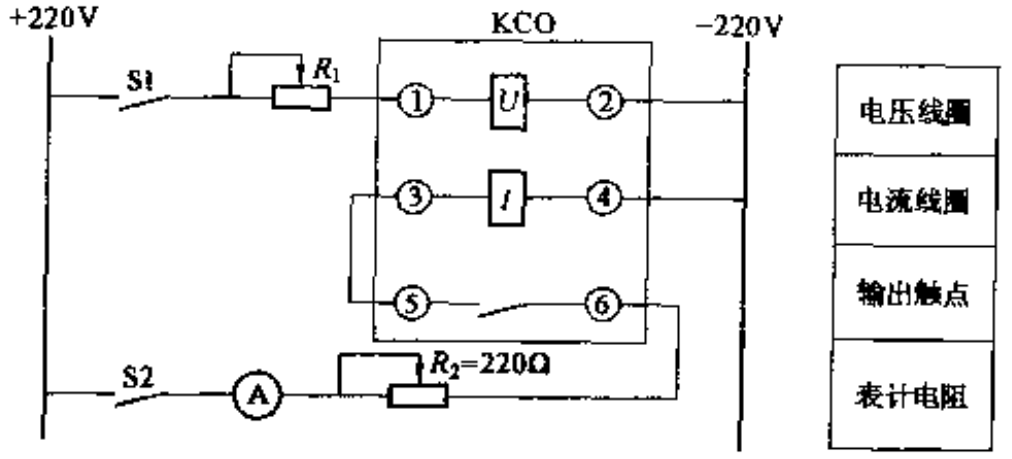


图 4-49　出口继电器自保持功能的试验接线

对出口继电器的试验分两步：第一步做电压线圈的动作情况试验，合上隔离开关 S1。调节滑线电阻 R_1，测得电压动作值为 142V，数据正确，触点闭合正常。第二步是将先合上 S1 隔离开关，由 R_1 起动电压线圈，再合上隔离开关 S2，做电流线圈的自保持试验，结果是继电器返回，也就是说继电器不能自保持。

经分析，问题的原因在于继电器线圈的极性错误，因为电流、电压线圈产生的磁场是带有极性的，单独的电压线圈加上电压后，触点输出正常。但是继电器的电压线圈加上电压后其电流线圈再通入电流，继电器却返回，这说明电流线圈所产生的磁场与电压线圈产生的磁场有一部分抵消，或者全部抵消，致使磁场的作用力不能维持继电器的动作而返回。

三、采取的措施

将电流线圈的极性反接后再进行试验继电器动作正常，再用保护装置进行带断路器的传动试验也正常。由此可以看出，是出口继电器线圈极性错误，导致了保护不能跳闸的后果。

第十九节　GS变电站220 kV线路远方信号传输装置故障

一、故障现象

GS变电站的SG线路装设了YBX—1型远方保护信号传输装置，装置在运行中出现晶振合成指示灯一亮一暗的闪烁故障，装置的其他信号均正常。下面结合保护的原理对问题的原因进行分析。

二、YBX—1型远方信号传输装置原理简介

YBX—1型远方信号传输装置原理电路见图4-50，晶振合成部分见图4-51。

YBX—1型装置为单频调幅键控（on/off）制，传送闭锁信号，可构成闭锁式距离、闭锁式方向比较、相位比较等保护方式。

1. 技术数据

工作频率范围：40～400kHz。

中心工作频率：（42 + n）kHz，n = 0，1，2，……，356。

带宽：占用传输带宽4kHz，中频接受带宽2kHz、1kHz两种。

发信输出电平：43dBm/20W（交货状态：40dBm/10W）。

停信时外线残余电平：< －10dBm。

满功率发信时输出谐波电平：< －26dBm。

频率误差：< ±10Hz。

灵敏收信电平：＋4dBm。

允许并机间隔：同相$\geqslant 3B$，

邻相$\geqslant 0B$（其中 B = 4kHz）。

并机分流衰减：$\leqslant$1dB。

输出阻抗：75Ω，回波衰减$\geqslant$10dB。

传输时间（起动时间/返回时间）：带宽为2kHz时：< 3ms/3ms，

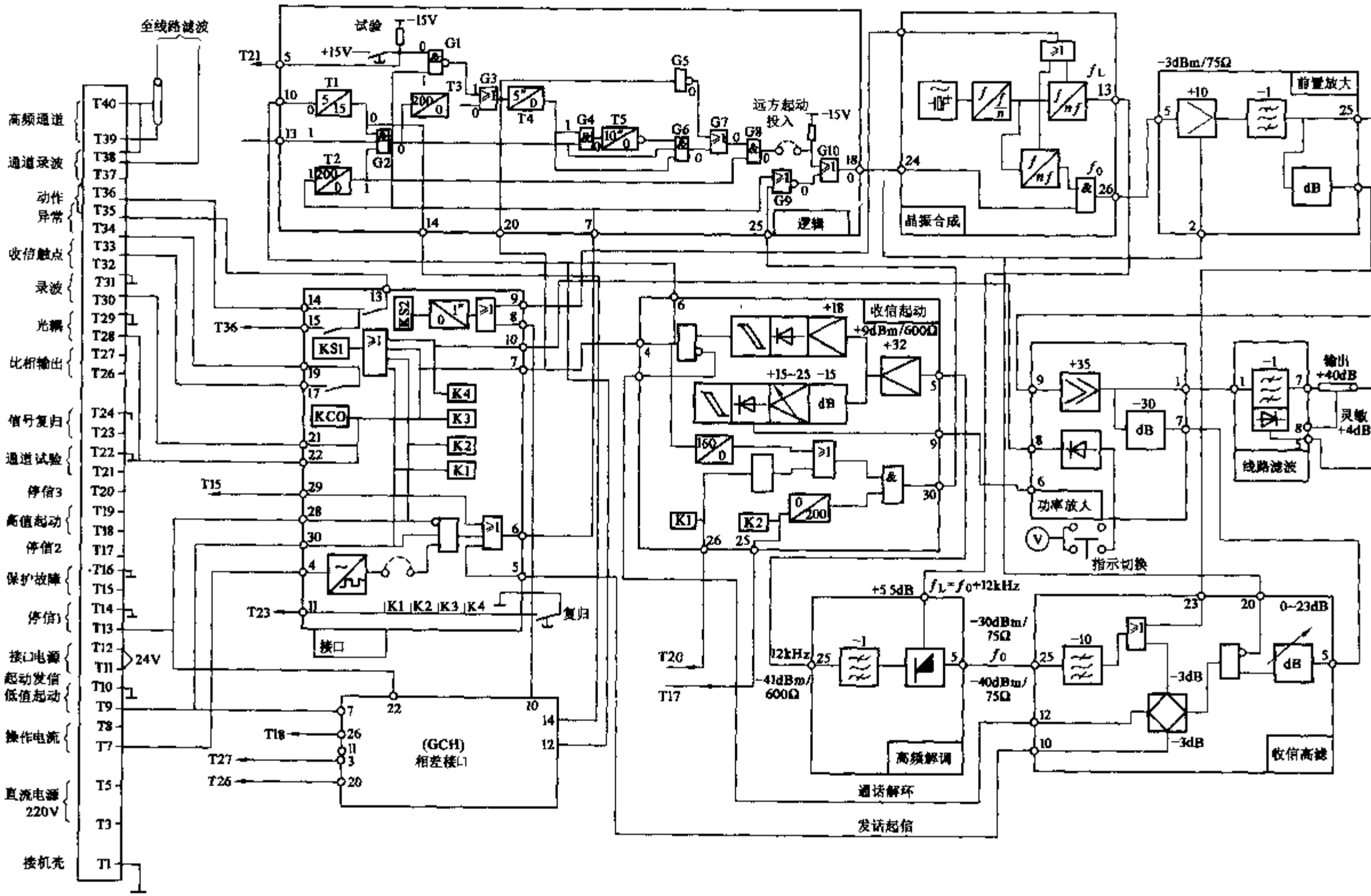


图 4-50　远方信号传输装置方框图

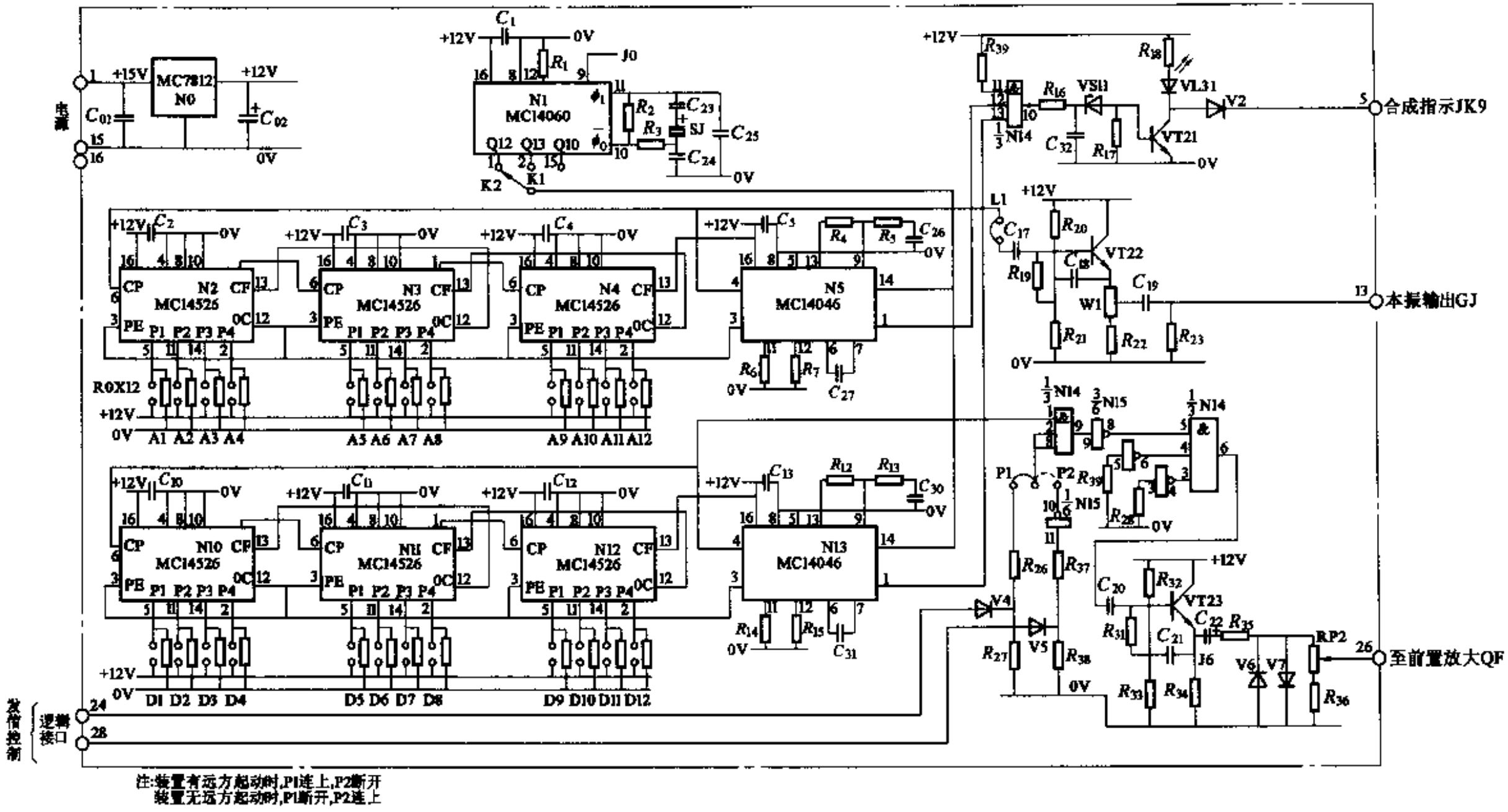


图 4-51　晶振合成盘接线图

带宽为 1kHz 时：＜5ms/5ms。

传送相差方波信号时，收信输出方波宽度：

收信裕度为　3dB：≥170°；

收信裕度为　15dB：≤195°，

收信裕度为　18dB：≥195°。

直流功耗：发信时≤140W。

2. 工作原理

YBX—1 型装置，正常时不向通道传送任何信号；故障时由保护继电器起动或停止发信，该装置收信频率和发信频率相同，为自发自收工作方式。

信号传输装置的原理框图见图 4-52，该装置由“逆变电源”等 10 个分盘插件所组成。

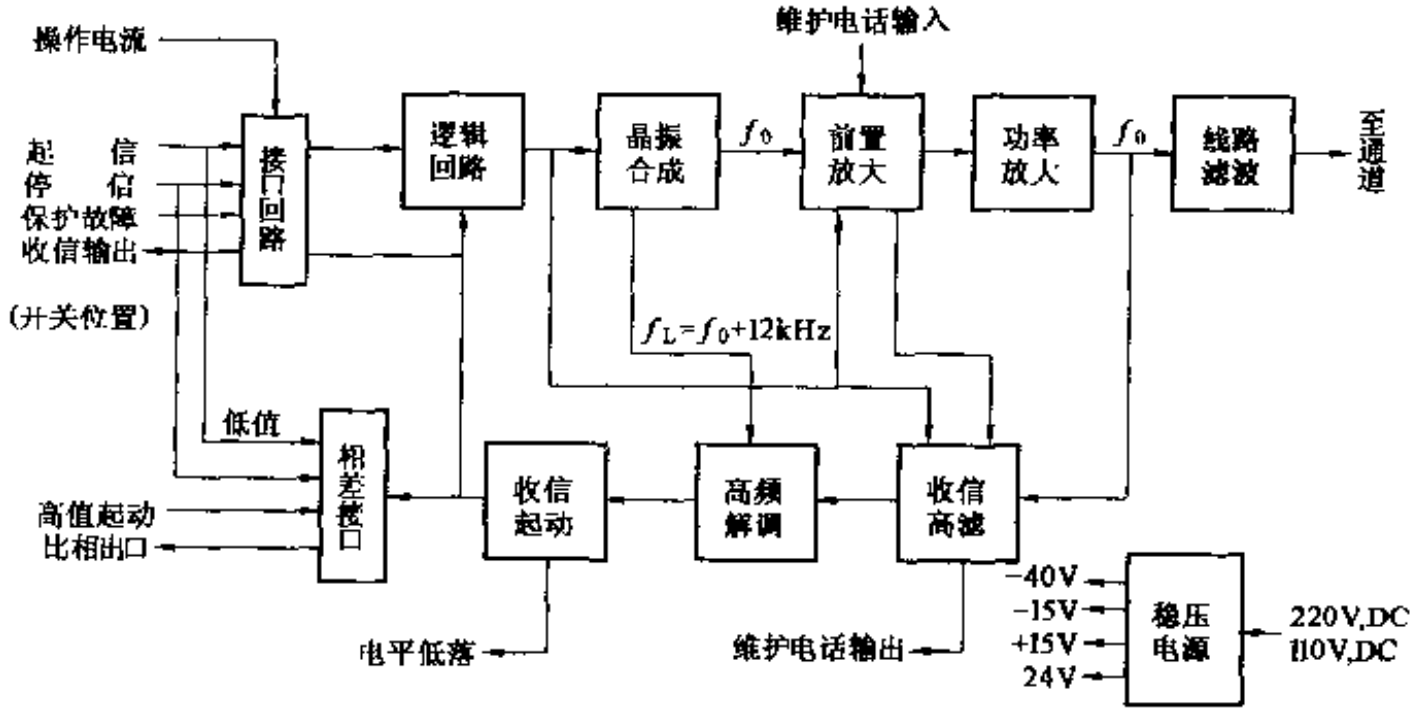


图 4-52　远方保护信号传输装置原理图

正常运行时，没有保护命令输入，装置不向通道发送高频信号；当线路发生故障时，保护继电器“起信”触点闭合，经“接口回路”，“逻辑回路”去控制“晶振合成”发出 f_0 高频信号。该信号经“前置放大”、“功率放大”放大后，通过“线路滤波”送往通道，当保护继电器的“起信”触点返回或送来“停信”信号时发信回路由“接口电路”控制立即停止发 f_0 高频信号。在传送相差保护的操作方波信号时，保护继电器送出 50Hz 工频方波至“起信”接口，发信回路发出被调制的高频方波信号。

收信回路是按时分制的方式工作的，发信回路发信时有逻辑回路送出一直流电位控制“收信高滤”中的开关门，使其关闭，拒绝接收功率放大器来的高频大功率信号以及对侧传送来的高频信号。而本侧的高频信号直接从“前置放大”引入小功率信号至“收信高滤”。本侧停信时，开关门打开，以接收对侧传来的高频信号，这样可以有效地解决收发讯同频而产生的拍频问题。收信回路采用外差接收方式，被接收的信号经过高频解调，被解调成 12kHz 的中频信号，再经中频滤波和放大后输出两路信号，一路经“接口回路”作为收信输出信号送至保护继电器，另一路作为通道衰减增加超过 3dB 的告警指示信号。

“保护故障”是保护设备发生故障时送出的触点信号，该触点闭合后经“接口回路”

起动发信回路发高频信号，闭锁两侧的保护设备，防止开关误跳闸。

在与 GCH 型相差保护配合使用时，要增加“相差接口”分盘。其起动发信信号为保护的“低值起动”触点，而停止信号为“开关位置”触点。比相操作信号直接由“操作电流”输入经方波形成器输出方波去键控发信回路发出被调制的高频方波信号。

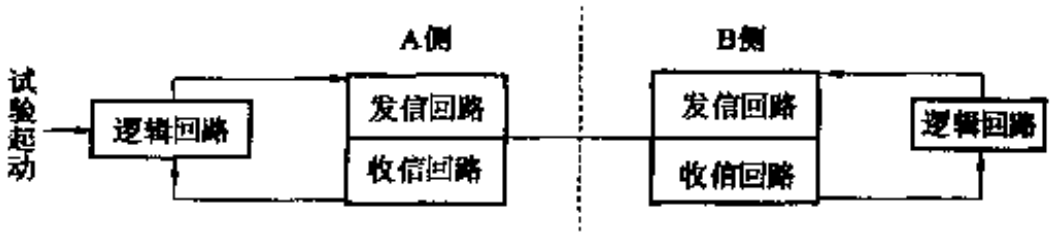


图 4-53　远方起动试验框图

装置具有远方起动功能，见图 4-53。当按下 A 侧“逻辑回路”面板上的试验按钮，发信回路瞬时起信将高频信号送至 B 侧，起动 B 侧发信以实现远方起信，B 侧被起动后发信 10s，A 侧起动 200ms 后，被收到的来自 B 侧的信号闭锁，同时起动 5s 记时回路，并使 A 侧停止 5s 发信，在此 5s 内 A 侧收信回路只收 B 侧发来的信号。5s 之后，A 侧重新起动发信 10s，然后自动停止发信，两侧解环，试验完毕。试验工作状态流程见图 4-54。

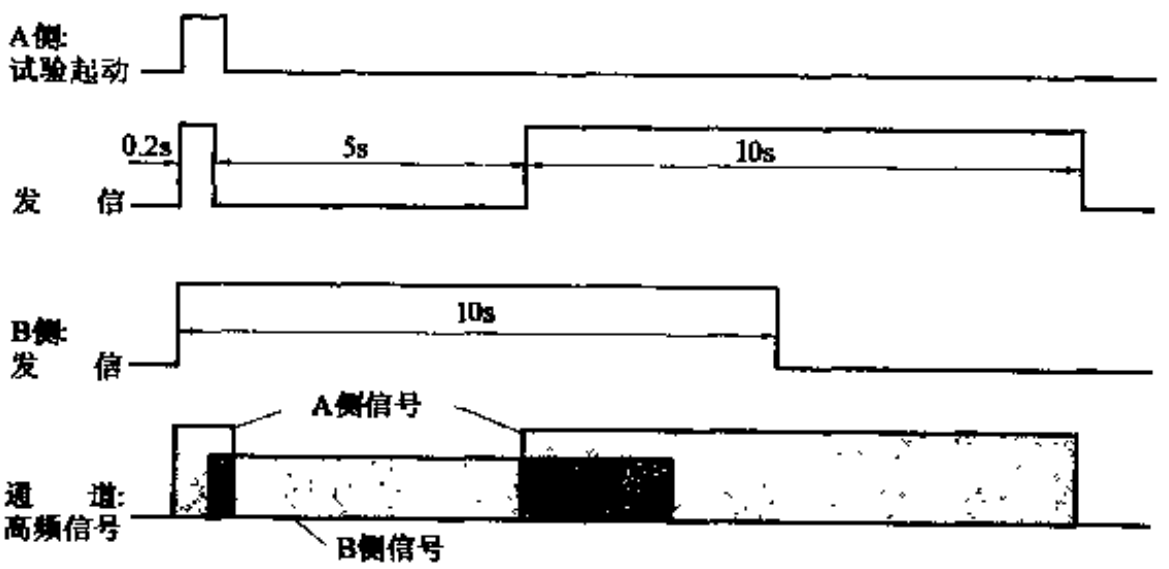


图 4-54　远方起动试验状态

在此试验过程中可以检测到只收对侧、两侧同时发信以及本侧发信三种工作状态下的信号状况。

3. 分盘电路工作原理简介

（1）N-逆变电源。

逆变电源盘向整机提供各种直流稳压电源，由逆变、变压、整流、稳压等部分组成，工作电压为直流 220V，亦可通过更换 T2 变压器使之适应 100V 直流电压。人口端采用桥式输人电路，故直流电源输人可以不分正负极性。

电压输出共分 4 组；－40V 稳压输出供装置功率放大器专用：24V 为外部设备相连的接口电压；±15V 为装置其余电路电源。

24V、±15V 稳压回路分别采用三端集成稳压器构成；稳压器的内部有限流保护功能，短时间短路不致烧坏；为防止电压偏高或偏低影响 CMOS 电路的正常工作，±15V 电路中设有电压偏高或偏低自动切断电源，并提供报警触点。

装置在正常运行中，电源的起动与关闭应有适当的间隔时间，一般不应 < 10s，否则

连续开闭，可能会造成逆变次序错乱，致使换流失败而烧坏逆变管。

本盘备有外接告警电路，通过 K3 继电器静触点，由本盘 A5、B5 引至背板端子 T35、T36。

（2）JK-接口回路。

本盘是将保护设备的起动发信，停止发信，保护故障信号转化成相应的直流电位信号或工频方波信号去控制发信或停信，在与 GCH 型相差保护配合使用时，可将其操作电流信号变成方波去键控发信。同时，将收发信机的收信输出信号送至保护设备，并提供收发信机有关动作信号或异常监视信号，并能送出中央信号触点。

当收信回路接收到高频信号时，一方面通过光耦输出电位信号；同时起动 KCO 继电器输出触点信号，其信号自保持，同时面板上的相应发光二极管亮，并起动 KS 中央信号继电器。

在发信时，由于功率放大器的输出发信监视信号动作，使面板的发光二极管亮并自保持，同时经 G3 起动 KS 送出中央信号。

当晶振合成回路的锁相环有相差出口回路误动时，经 G4 和 T 回路的 1s 延时，再经 G3 起动 KS 继电器送出中央信号。

（3）LJ—逻辑回路。

逻辑回路盘主要将接口回路送来的控制信号转换成相应的直流电位信号，控制发信和停信。

收到对侧信号能执行远方起动功能，并发信 10s。任何一侧均能单独地起动对方，进行通道交换信号试验，并能检测出本侧发信、对侧发信及两侧同时发信的通道工作状况。在通道试验时，如果线路恰在此时发生短路故障、而保护需要传送命令时，本试验回路能立即退出试验，以保证保护命令信号的优先传送。

（4）JZ—晶振盘。

信号合成由两个锁相环频率合成器执行，分别产生工作频率 f_0 信号和用于收信解调的本振频率 $f_L = f_0 + 12\text{kHz}$ 信号，两个锁相环使用同一晶体振荡器产生的基准频率信号。

本盘电路中的发信信号频率和收信本振频率由锁相式频率合成器产生，频率合成器见图 4-55。该合成器利用一个 $f_C = 1024\text{kHz}$ 的石英晶体振荡器作为基准频率振荡源，经 $M = 2^{12}$ 次分频得 $f_R = 1024/2^{12} = 0.25\text{kHz}$ 的基准频率；再经锁相环倍频。其倍频数 N 由 12 位二进制可预置计数器实现。

根据确定的载波频率，用跳线任意整定，其整定范围 N = 1 ~ 4095。锁相环的工作原理如下。

锁定时因为

$$f_S = f_R$$

所以

$$f_0 = Nf_S = Nf_R = N \times \frac{1024\text{kHz}}{2^{12}} = (1 \sim 4095) \times 0.25\text{kHz}$$

合成器输出频率覆盖范围为 $f_0 = 0.25 \sim 1023.75\text{kHz}$。$f_0$ 的频率稳定度为振荡源 f_c 频率稳定度的 $\frac{N}{M}$ 倍。在 40 ~ 400kHz 的频率范围内，最大频率误差产生在 $f_0 = 400\text{kHz}$ 时，其倍

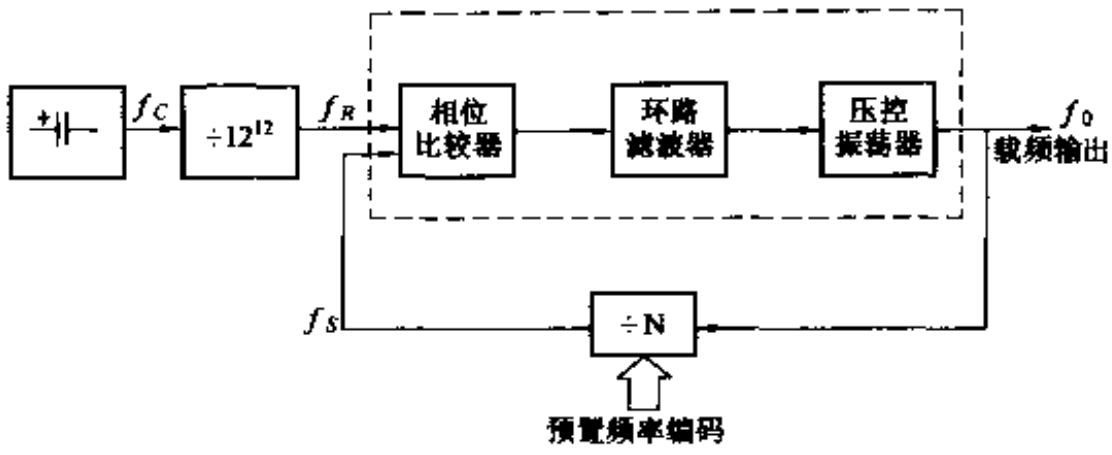


图 4-55　锁相式频率合成器

频值 N = 1600，则$\frac{N}{M}=\frac{1600}{2^{12}}\approx 0.39$.

信号合成盘的原理图见图 4-56，由一个主振分频和两个独立的锁相环回路组成。其中，1024kHz 晶振源和 2^{12}分频器由 SJ 石英晶体和 N1 振荡分频器集成片组成；N5 锁相环 CMOS 片和外接电阻 R_4、R_5 和电容 C_{26}构成相位比较器 PD_L 和环路滤波器 LPF_L 以及压控振荡器 VCO_L。可预置分频器由 N2、N3、N4 三个二进制减法计数器 CMOS 片组成；PD_0 和 VCO_0 由 N13 锁相环 CMOS 片组成；LPF_0 由 R_{12}、R_{13}、R_{30}组成；可预置分频器 ÷ N_0 由 N10、N11、N12 三个二进制减法计数器 CMOS 片组成；门 G1 由 N14-2、N14-3、N15 组成。A0 由 VT23 构成，AL 由 VT22 构成；门 G2 及输出由 N14-1 和 VT21 构成，N5 的“1”端和 N13 的“1”端分别为两个锁相环的失锁指示状态电平输出端。

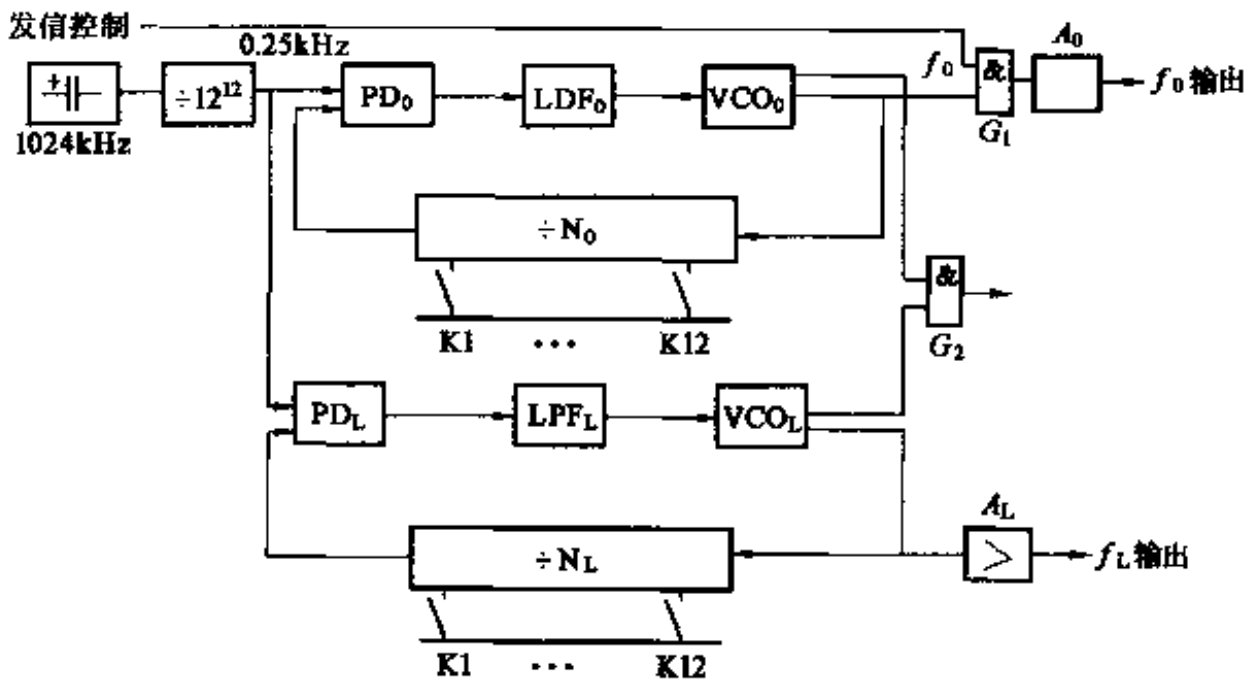


图 4-56　信号合成原理图

合成频率可按 0.25kHz 的级差整定，其整定数由 K1 ~ K12 的编码跳线实现，每个跳线位置和对应的输出频率之间的关系见表 4-3，所要整定的频率为连接线所对应的频率之和。

表 4-3　　跳线位置和对应的输出频率之间的关系

跳线	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
频率 kHz	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512

例如，设所需整定的频率为 356kHz，则其相应的跳线编码为 K5、K8、K9、K11，只要将跳线 K5、K8、K9、K11 连上，就可在锁相环的输出得到 356kHz 的频率信号。

f_0 信号的输出受门 G1 的控制，逻辑回路送来“1”电位时，G1 开放，f_0 信号输出，否则，停送 f_0 信号。

VCO_0 和 VCO_1 的失锁指示信号连至 G2，若任一锁相环输出频率失锁，其对应报警输出为“1”，盘面上指示灯熄灭，并送至接口电路，经延时起动中央信号。

（5）QF—前置放大器。

本盘由前置放大器、发信高频带通滤波器组成。前放用以放大高频弱信号，推动功率放大器正常工作；发高滤的设置有两个目的：其一滤除前放信号中的谐波成分，使其由方波变为正弦波，以减小功率放大器的谐波失真；其二使前放与功放隔离，以防止躁声信号增益过高可能引起的自激。

本盘有维护电话输入插孔 TP，使用维护电话时，将维护电话插头插入前放面板上的插孔，按动维护电话的“发话”按钮，起动发信，前放输出信号即为发话载频，经话音调幅后的调幅波再送入发信高滤，经功放、线滤，发往对方，由于维护电话为载频不抑制双边带，故起动发信后输出的载频幅度较正常起动发信低 6dB 左右。

（6）C—功率放大器盘。

本功率放大器位于前置放大器与线路滤波器之间，用以放大信号功率，提供外线端 20W 的功率输出。本功率放大器由预放级、功率级，以及过激励保护电路组成。

功率放大级由两个平衡工作于甲乙类状态的准互补型放大器组成的桥型电路，共同采用一组 -40V 电源供电，由推动级提供的两个幅度相等、相位相反的信号电压所推动。

（7）X—线路滤波器盘

该盘位于功率放大器与高频电缆之间，用以滤除功率放大器的谐波，提供装置输出输入特性阻抗为 75Ω，满足装置 3B（B = 4kHz）同相并机要求。

该盘由线路滤波、平衡变量器、压敏电阻及通道录波 4 部分组成。

线路滤波由少电感式Ⅲ元件带通基本节组成，网络采用了等效变换，可保证滤波电路特性阻抗 = 75Ω。

（8）SL—收信高滤盘。

该盘由可变衰减器、收信门控、高频差接网络，收信高频带通滤波器 4 部分组成。可变衰减器用于整定收信裕度电平。收信门控受发信机控制，当发信机发信时收信门控关闭不接收对方信号；高频差接网络用于提供维护电话输出接口。收信高频带通滤波器提供一定邻相紧邻并机防卫度。

（9）CJ—高频解调盘。

该盘由高频解调、12kHz 中频带通滤波器两部分组成。高频解调用于将高频信号反调为中频信号；中频带通滤波器用于选取 12kHz 中频信号，提供一定的并机防卫度，抑制载漏及无用边带等非线性信号。

（10）SQ—收信起动盘。

本盘是将“高频解调”后的 12kHz 中频信号进行放大，然后分两路进行检波触发，一

路作为接收高频收信输出信号，另一路作为电平正常监视的指示信号。

三、故障的查找过程

1. 用示波器检查发信频率

根据判断故障应该出在晶振合成部分，通过示波器观察时，其 f_0 的频率降低，f_1 的频率正常，通过初步判断，故障可能出现在 N10～N13（MC14526、MC14046）集成片上，但是在更换了 N10～N13 集成芯片后，故障现象仍然存在，这说明故障的起因不是在芯片内部。

2. 测量有关元器件的好坏

由于故障的根源不在 N10～N13 芯片上，因此有可能是外围元件参数发生了变化。经测量电容器 C_{30}绝缘降低，电容容量减少。更换 C_{30}电容器后，故障现象消除，装置处于正常状态。

四、故障的原因分析

C_{30}电容器损坏后，使 N13（MC14046）芯片组成的相位比较器的输出信号，经过低通滤波器以后的电位发生变化，引起压控振荡器的输入变化，压控振荡器的输出变化。集成芯片 N13 第 4 脚的信号经过和预置的分频器 N10～N13 分频后，送到 N13 的第 3 脚进行相位比较。由于震荡回路的工作正常，N13 第 14 脚输入正常的信号，其相位、频率都没有变化。因此锁相环失锁，N13 第 1 脚输出相位相同时为高电平，相位不同时为低电平。由于 N13 第 3 脚的输入频率是变化的，N13 第 1 脚输出电位一会儿为高电平，一会儿为低电平。当输出为高电平时，与门 N14 的输入全部为高电平，与门 N14 的输出为高电平，稳压管 VS11 击穿导通，三极管 VT21 导通，发光二极管 VL31 点亮，指示为晶振合成器正常。三极管 VT21 导通输出为低电平，报警继电器 KS2 不动作，没有报警输出。

当输出为低电平时，与门 N14 的输入第 13 脚为低电平，与门 N14 的输出低电平，稳压管 VS11 不能导通，三极管 VT21 截止，发光二极管 VL31 不亮，三极管 VT21 输出为高电平，报警继电器 KS2 经 1s 延时后动作，发出报警信号。

由于 N13 第 1 脚输出为低电平的时间远小于 1s，延时回路返回，报警继电器 KS2 不动作，不能发出报警。

在上述情况下，如果值班人员不能及时发现装置故障，当系统发生故障时，尤其是在保护的背后发生区外故障时，高频装置起动发信，对侧保护检测为正方向，高频保护装置停信，本侧发往对侧的高频信号的频率错误，对侧收不到高频闭锁信号，会导致高频保护的误动作。

五、采取的措施

鉴于上述情况，运行人员应加强巡视，尽早发现设备所存在的问题，以免高频保护发生误动。

第二十节　DW变电站220 kV线路高频通道的故障

DW变电站220kV线路装设了YBX—1型高频信号传输装置，即高频保护的收发信机，关于YBX—1型高频信号传输装置的说明见本章第十九节，现将几次有代表性的故障现象、检查的过程以及原因分析分别作以叙述。

一、1996年9月的故障

1. 故障现象

DW变电站线路3架通后进行高频通道试验，U相高频出现收信电平低故障告警信号，在线路对侧发信机发信时，本侧收到的高频信号低于－13dB，本侧发信机发信时对侧的收信电平也不超过－13dB；还表现在两侧的远方起信功能起不到作用。

由于在该高频保护启用之前线路已经投入运行，在这种情况下对通道故障进行了一系列的检查分析工作。由于线路带电运行，这给故障的查找工作带来困难。

2. 线路带电进行的检查

线路高频载波通道的原理结构见图4-57。在线路正常运行的情况下，进行了以下检查工作。

1）断开B侧的发信机电源，A侧发信时的检查。

断开另一侧发信机的电源，目的是为了用选频电平表进行测量时有足够的时间间隔，在各点测得数据如下。

A侧端子排 m_1 处，32dB。

A侧结合滤波器一次侧 m_2 处，20dB。

A侧结合滤波器二次侧 m_3 处，28dB。

B侧端子排处，m'_1 处，< -13dB。

2）断开A侧的发信机电源，B侧发信时的检查。

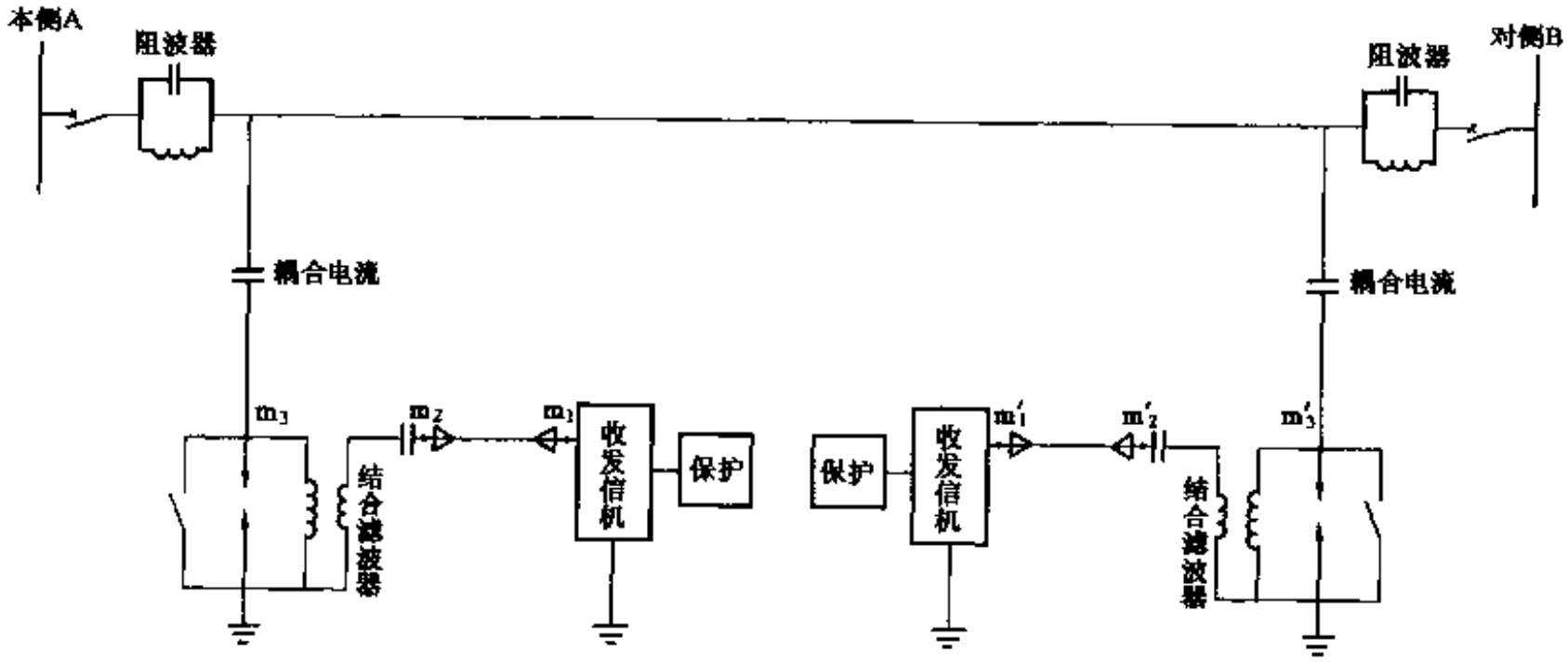


图4-57　高频通道的原理接线

在这种情况下，用选频电平表测得的数据如下。

B 侧端子排 m'_1 处，32dB。

B 侧结合滤波器一次侧 m'_2 处，20dB。

B 侧结合滤波器二次侧 m'_3 处，28dB。

A 侧端子排处 m_1 处 < -13dB。

3）断开 A 侧结合滤波器二次侧进行的检查。

在 A 侧断开结合滤波器到耦合电容的接线，用一只 6000pF 的电容和一只 400Ω 的电阻串联模拟耦合电容与线路波阻抗的结构，起动 A 侧发信机，则 m_2 点电平为 32dB。

4）断开 B 侧结合滤波器二次侧进行的检查。

接线方式同上，此时 m'_2 点电平亦为 32dB。

经过上述的检查表明，两侧收发信机到耦合电容之间的通道是正常的，因此有可能是阻波器存在问题。

3. 关于两侧跨越衰耗的检查

当 A 侧发信时，在 A 侧相邻线路上测得的收信电平 < -27dB。

当 B 侧发信时，在 B 侧相邻线路上测得的收信电平 < -26dB。

以上两跨越衰耗均可不计其影响。

4. 线路停电时的检查

1）断开 A 侧断路器，断开 A 侧隔离开关后的检查。分别断开 A 侧断路器和隔离开关后，通道接通后，高频通道故障还未消除，A 侧发信时 A 侧 m_2 点电平为 20dB，m_3 点电平为 27dB。

2）断开 B 侧断路器，断开 B 侧隔离开关后的检查。分别断开 B 侧断路器和 B 侧隔离开关后，高频通道故障仍未解除。由此可见，高频通道故障不是阻波器本身引起的，可以排除阻波器有故障。

3）用 U 相的高频取道 W 相的架空线检查。在结合滤波器的二次侧，同时由 U 相移到 W 相后，让 U 相的高频信号取道 W 相的高压线路，结果远方起信仍然不起作用。

4）用 W 相的高频取道 U 相的架空线检查。将 W 相的高频收发信机改取道 U 相的高压架空线路，通信正常。通过高频通道的更换，证明 U 相的高频频率不适用于该线路参数，为了改变线路的参数曾试图改变高频电缆的长度，但未能奏效。

5. 采取的措施

在改变线路参数有困难的情况下，请更换其频率。将原来的 270kHz 改成 90kHz，远方起信功能工作正常，此时的两侧交换频率信号如图 4-54 所示。

二、1996 年 11 月故障

1. 故障现象

1996 年 11 月 27 日在进行线路 1 高频通道对调时，高频收发信机工作正常。但对调几分钟之后，高频收发信机的收信无输出。

2. 故障的检查与分析

1）变电站直流系统的检查。出现故障后，对其变电站的直流系统进行检查，所测的

电压结果正常无误。

2）收发信机电源的检查。对收发信机逆变电源的检查结果正确无误。

3）装置发信时的逐级检查。装置常发信，按照收发信机的原理方框图所示的关系顺序逐级检查，至“高滤盘”输出已无信号，因此判定故障就在“高滤盘”之内，用接插件将此盘转出，检查 R_{13}两端的高频信号正常，而三极管 VT3 的集电极对地则无高频信号，说明三极管 VT2 已被击穿。将此三极管更换后，一切正常。

三、1997 年 4 月故障(一)

1. 故障现象

1997 年 4 月 DW 变电站线路 2 的 YBX—1 型高频收发信机的熔丝熔断，重新更换后又再熔断。

2. 检查过程与采取的措施

退出除电源以外的插件后，再送电源，熔丝仍然熔断，因此可以判定故障点就在电源插件内部。经检查发现三极管 VT12、VT13 被击穿，将其更换后，电源工作正常，此时的电源输出如下。

标称值：+15.0V，-15.0V，24.0V，-40.0V。

实测值：+15.1V，-15.2V，24.4V，-40.1V。

将收发信机的全部插件投入，装置恢复正常。

四、1997 年 4 月故障(二)

1. 故障现象

DW 变电站线路 2 高频通道 W 相为复用通道，1997 年 4 月 5 日进行通道试验时，发现两侧的收发信机发信电平降低。

2. 查找过程

现场用电平表测收信电平为 4dB，发信电平为 21dB，两者降低非常严重。把收发信机置于本机 75Ω 电阻上，发信电平正常为 32dB。考虑 W 相为保护与通信复用通道，首先检查分频滤波器。在分频滤波器处把通信用高频电缆解开，线路两侧收发信电平恢复正常。经过查实，原因是载波回路增加了一个桥式电路造成的。

3. 采取的措施

对通信与保护复用的通道，两个专业的工作必须考虑相间之间的影响，以免故障的发生。

第二十一节　220 kV GS线路高频保护误动作

一、故障现象

1998 年 5 月 2 日 0 时 39 分，220kV GS 线 G 变电站侧方向高频保护跳闸，重合成功，

引起 S 侧变电站瞬时停电，35kV 1 号、3 号、4 号电容器组掉闸。由于 S 侧变电站部分负荷低压释放，电机需重新手动起动，所以 S 侧变电站损失部分负荷。

G 侧变电站运行记录：警铃、喇叭响，中央信号屏“220kV 微机录波器起动”，GS 线控制屏“保护动作”、“重合闸动作”、“高频收信信号”、“压力异常”，220kV 母旁控制屏“高频发信”光字牌亮。GS 线方向高频操作箱柜“T_U、T_V、T_W、T_S”、“控制”、“合闸”信号灯亮。ZG 线突变量方向高频保护屏、距离零序方向高频保护屏、220kV 母旁保护屏“呼唤”信号灯亮，220kV 微机故障录波器“故障起动”、“有记录”信号灯亮。经检查室外 GS 线 1723 断路器间隔无异常。

S 侧变电站运行记录：警铃、喇叭响，电容器 708、710、711 断路器绿灯闪光，“掉闸未复归”光字牌亮，110kV 各线路“电压回路断线”光字牌瞬间亮，220kV、110kV 零序监视光字牌熄灭后又复亮，GS 线 23 断路器“距离高频发信”、“方向高频发信”光字牌亮，各交流表计瞬间无指示，冷却器全停，主变压器瞬间无音响，控制室灯瞬间灭，1 号电容器组速断、零差保护和 3 号、4 号电容器低电压信号继电器掉牌。

二、检查过程

1. 一次系统检查

事故发生后，G 侧、S 侧变电站值班人员检查 GS 线线路无异常，S 侧变电站 1 号电容器组 B 相有 2 只、C 相有 1 只熔丝熔断。

2.G 侧变电站保护的检查

检查 GS 线方向高频保护高频通道正常。模拟正方向区外故障，收发信机接收不到对侧信号，保护不能闭锁，测量收发信机发信电平为 33dB，此值偏高，正常为 31dB。220kV 故障录波器记录线路掉闸时三相电流不平衡。

3.S 侧变电站保护的检查

变电站的 220kV 微机故障录波器不正常运行已半年多，本次事故的数据未记录下来。检查 GS 线方向高频保护高频通道正常，本侧发信，对侧收不到，测量收发信电平为 15～19dB，数值偏低，对侧发信时本侧收信正常。进一步检查发现收发信机功率放大器一对功放管工作不正常，插件存在虚焊现象。

4.S 侧变电站进行的模拟试验

在 S 侧变电站模拟电容器熔丝熔断，在投切电容器组的过程中，GS 线方向保护高频发信机发信；在 1 号电容器组熔断 3 只熔丝情况下，投 1 号电容器断路器零差、速断保护动作，GS 线方向高频保护发信，证明零差保护动作停用电容器组能引起 GS 线高频发信、保护掉闸。因此 1 号电容器保护动作是该事故的直接原因。

三、原因分析

1. 高频起动的原因

S 侧变电站 35kV 电容器组一次接线为 2 串 7 并，但由于电容器先期已有多只损坏，没有得到及时补充，又断了 3 只后，不平衡电流增大，导致 1 号电容器组零差、速断保护

动作，同时导致 GS 线三相电流不平衡增大，引起方向高频保护发信机发信。

2. 高频闭锁失灵导致保护动作跳闸

S 侧变电站 GS 线方向高频保护收发信机工作不正常。发信功率偏低，不能闭锁对侧保护，致使 GS 线掉闸。又因为 GS 线区外临时性故障，所以重合成功。

3. 低电压释放导致负荷损失

GS 线重合成功后，因部分负荷设有低压释放保护，保护动作后切除了这些负荷。

4. 暴露的问题

在定检时，没有发现高频保护存在的问题是保护误动的主要原因，在运行检测时，也没有发现高频信号偏低的故障现象，说明检修人员、运行人员的业务素质还需要进一步地提高。

四、采取的措施

1. 加强收发信机的管理

GS 线高频保护使用的 GSF—3A 收发信机在运行当中多次发现逆变电源故障，收发信异常等故障，建议加强维护该线路的收发信机工作。

2. 加强电容器的维护

S 侧变电站加强对电容器的检修维护工作，发现问题及时处理，并建议补充电容器，以提高整组电容器的容量。

3. 加强录波器的维护

S 侧变电站应加强录波器的维护，以保证其正常工作。

第二十二节　HS发电厂 220 kV PS线路高频通道的故障

HS 发电厂，运行中的 GE 高频通道及高频收发信机曾经出现过一些问题，下面首先介绍高频收发信机及高频通道的构成与原理，然后介绍故障的分析与处理。

一、故障现象

PS 线采用的 GE 公司生产的 CS26C 型高频收发信机。运行中发现 HS 侧发信电平偏低，由原来的近 70V 降到了 50V，高频保护无法投人运行。保护退出运行后，进行了全面的检查工作，最终找到了故障的根源。

二、CS26C 型高频收发信机及高频通道简介

该设备是 GE 公司的产品，配有语音及自动通道检测等功能，主要控制回路是收信机插件上的晶体控制振荡器，它向收、发信机的频率合成器提供基准信号。发信机和收信机上的频率合成器有一个十进制的电子开关，可以将频率在 31 ~ 535kHz 范围内人工调整。发信机的频率合成器每一级为 250Hz 面收信机每一级为 500Hz，两者可以构成 1000 种频率组合方式。该设备利用带宽限幅器、滤波器，幅度调制回路，单边带调制器，减少了频

谱。通常两侧的收发信机中心频率一致，经调制——解调可产生输出，收信机的频率都整定到通道的中心频率，发信机频率为 $f_c \pm 0.5$kHz 或 $f_c \pm 0.25$kHz。收信机能从收到的信号中解调出上面任意一种信号，该信号被检测出以后，就能起动相应的保护设备。CS26C 收发信机由以下几块插件组成：电源、发信机、收信机、高频转换、语音、功率放大器。

为了保证线路故障时，两侧保护能可靠交换信号，每台发信机出口都配置了 100W 功率放大器，用以提升功率。

高频收发信机的原理电路见图 4-58，现将各部分的原理作如下介绍。

1. 电源“PWR SUPP”

电源插件给 CS26C 设备提供正常工作电压，该插件输入电压 48VDC 输出电压 12VDC，并且装有低电压报警继电器。输入电压通过一双向开关加到电源插件上，输出经保险同时加至 CS26C 设备上。输入滤波器可降低电流过来的噪声。DC-DC 转换器为 20kHz 可变脉冲宽度的调节器。

正常工作参数：

输入电压：42～56VDC。

输出电压：+12VDC ± 1VDC。

2. 发信机“XMTR”

CS26C 发信机用于高压线路静态保护和监控设备的载波信号。其工作频率可在 30～535kHz 范围内以每级 250Hz 的方式进行调整。G2 型发信机通道的空间为 4kHz。输入控制极为：START（发信），STOP（停信），SUPERVISORY（监视），REDUCED POWER（降功）。

CS26C 控制极优先权顺序。

（1）START 输入。

（2）除了 START 外，STOP 输入。

（3）REDUCED POWER 输入。

注：START 指示灯在满发时亮；除了 START 外，STOP 信号禁止所有输入；当 STOP 灯不亮时，SUP 指示灯在满发时亮；当 STOP 灯不亮时，降功发信时 REDUCED POWER 灯亮。

若 START 灯或 SUPERVISORY 灯亮，发信机将满功发信。

发信机的工作原理如下：按逻辑框图，频率合成器元件 $PLLU_2$，计数器 U3、U4、U5 组成以选择发信机工作频率。发信机按 $f_c \pm 0.25$kHz，或 $f_c \pm 0.5$kHz 频率工作。从收信机发出的 500Hz 基准频率信号送到 PLL 相比较器的电压控制振荡器（VCO）的 U3、U4、U5。相比较器的输出经滤波器滤波。滤波器的输出控制 VCO 的频率。PLL 决定了 500Hz 的基准频率。而 VCO 的输出频率是基准频率的 N 倍。N 由开关 S1、跨线 L、M 决定。

当发信机键控时，计数器 U8 的载波信号加到调制器 U9 上。变压器 T1 和门 U7A 是用来耦合调制器的输出电平的，U7A 和 U7D 则通过语音插件中的音频回路实现控制的。当信号中断时，U7A 闭合，U7D 打开；当信号接通后，U7A 断，U7D 闭合，以此阻止声音进入输出的缓冲级。跨线 H 向输出放大器（Q3、Q4）中提供 6dB 的衰耗。可变电阻 R90 也可调整 6dB 的衰耗。

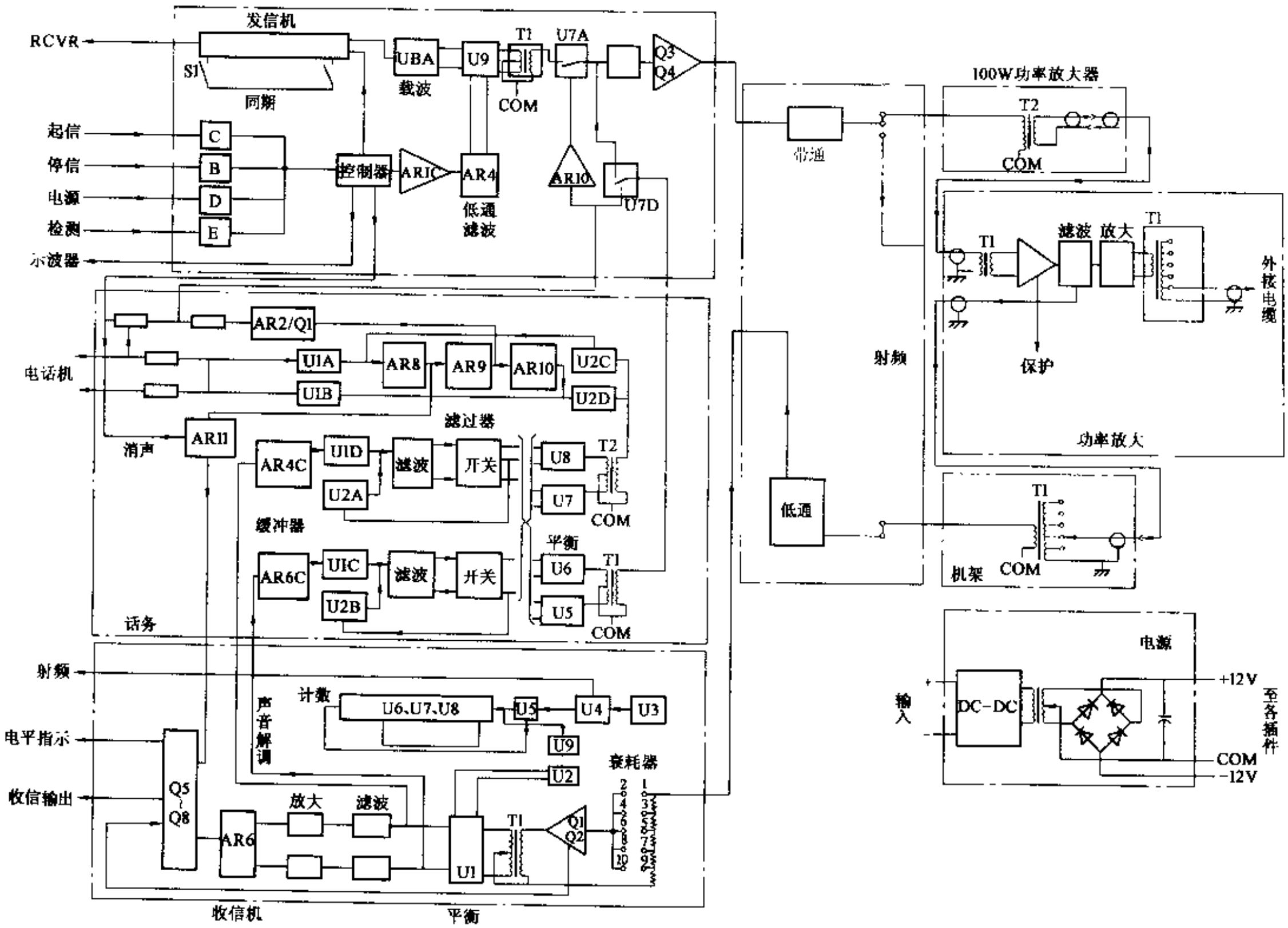


图 4-58　高频收发信机原理电路

按照上述的控制极优先权，START，STOP，SUEPERVISORY，REDUCED POWER 控制着 AR2A。降功回路 AR2C 和 U7C 受降功输入控制而 START，SUPERVISORY 输入比之更有优先权。可变电阻 R63 是用来整定降功电平的。

所有输入接口回路是相同的。以 COM（公共点）为参考点，输入信号进入接口回路是 0VDC 和 +5VDC，翻转跨线 B、C、D 及 E 可决定输入是 0V 或 5V 以关断工作回路。若该回路处于工作状态，发光二极管将亮。若 STOP、START、或 SRPERVISORY 任一回路工作，将产生一输出信号经 PIN10 禁止语音及自动检测回路工作。

晶体管 Q1 和 Q2 从 START 回路中产生一示波信号送到收信机以示观察。

正常工作输出如下：

1）发信机输出，若为 150Ω 负载电平可从 +2dB— -8dB 调整。

2）禁止语音及自检回路。

有输出 +4VDC。

无输出 0VDC。

3）示波输出量。

有信号，若负载为 4kΩ，为 8VDC。

无信号，为 0V DC。

3. 收信机“RCVR”

CS26C 的收信机用来接收高压输电线路上的载波信号，提供给保护或监控装置。收信机的工作频率是由载波机本振频率决定的，该频率的组合由本插件上的频率合成器决定。其工作频率可在 30 ~ 535kHz 范围内以 500Hz 的级差进行调整。对 G4 型插件，通道空间为 4kHz。

收信机的工作原理如下：根据逻辑图，接收到的信号通过电容和衰耗器耦合进入收信机。在输入和匹配调制器 U1 之间，由缓冲放大器 Q1、Q2 进行隔离。分频器将收信机本身的载波信号 4 分频后，加至调制器 U1，U1 的输出相位差 90°，各输出分别加到两个有源低通滤波器上。低通滤波器的输出送到全波整波器 AR3A、B 及 AR3C、D，这两个整流器的输出送到一综合放大器 AR6，其输出由 AR7B 检测。反相放大器 AR7A 与 AR7B 的输出相连接，晶体管 Q5、Q6 提供 5V、20mA 的输出，跨线 B 提供一个反相输出，Q7、Q8 提供一个高压继电器的驱动输出，跨线 C 用于连接电源的“正”极或“负”极。发光二极管 CR19 在检测到载波信号时变亮。放大器 AR7D 向信号电平表和 15dB 裕度检测器 AR7C 提供一输出，当信号电平到达或超过 15dB 门坎电平时，相应的发光二极管亮。当本侧发信机键控时 AR8C 和 AR8D 能禁止收信机的输入，也能使收信机工作。

频率合成器由振荡器 U3、计数器 U4、相位比较器 U5、程序控制器 U6 ~ U8 和“异或门”U9 组成。计数器 U4 提供振荡器频率从 1 ~ 2048kHz 的信号，1kHz 的参考频率信号送到 PLL 比较回路上。相比较器的输出通过 RC 构成的滤波器，该滤波器的输出控制着电压控制振荡器（VCO）的频率，PLL 参考频率固定在 1kHz，而 VCO 输出的频率为 N × 1kHz，倍数 N 可通过程控开关 S1 和跨线 H 组合而成。异或门 U9 将 VCO 的输出频率加倍，计数器 U4 也提供了一个 500Hz 的基准频率信号给发信机的频率合成器。

4. 语音插件“VOICE”

语音插件含有一个单边带（SSB）调制/解调回路，传输路径的所有电路都在（“VOICE”）插件上，只是高频 RF 输出放大部分在发信机插件上。在传送和接收路径中，音频滤波器和第二次解调都通过传送和接收方式之间的传输门来控制。发送和接收的终端回路都在一个手持的“按下讲”的电话机上。音频调制发生器用于传输信息。

5. 射频接口插件“RFINTERFACE”

RF 接口插件包括线路和发信机，放大器和收信机之间的接口系统。该接口在（30～535kHz）频率范围内共有 10 种带宽可供选择，每种带宽提供谐波滤波器和线路侧保护。

该插件包含有滤波器和混频调制插件，线路侧保护由一个放电间隙和金属膜氧化压敏电阻构成（MOV）。该插件的前部有 4 个测试点，以便检测。

该插件的两个主要功能为 CS26C 和 100W 功放之间提供一个两线接口，另外 10W 和 100W 之间的 4 线系统也可以接入。

低耗带通滤波器 FC1 通常被用作发信机输出的滤波器，该信号是从混频器中接出且包含各种奇次谐波，必须在进入功率放大器之前将其滤除，FL1 设计成局部衰减二次谐波和全部衰减三次及以上谐波。由于工作频率 30～535kHz 范围内可组成 10 组带通滤波器，同样频宽可用于 FL1、FL2 和 FL3，射频信号是从该插件的 18 号头输入的，通过 FL1 滤波，输出到“C”跨线（2 号头）上。测试点 TP3 用来检查发信机的输出是否为一正弦波。若为 10W 系统，B 跨线在 2—3 位置将信号传至 10W 放大器（通过 11 号头），若为 100W 系统，B 跨线在 1—2 位置，信号通过 12 号头及变压器 T2 连到端子（J14）上，接线端子在框架的背后。

6.100W 功率放大器

100W 功率放大器为晶体管化（部分采用集成电路）、宽频带、AB 级放大器。放大器将 100W 的信号接入 50Ω 负载电阻中，放大器的最后一级作为放大输出级，最后一级为功率场效应管（FET 管），用来提升设备信号的功率。放大器可直接从站用直流源引入工作电源而不需转换器。整个频宽为 30～535kHz，接输出保护滤波器 FL80 的频率，整个频宽可以再分 10 个档次。在其下部有控制开关，如电源开关、保险、测试点、电源电压、射频输出及指示信号灯，放大器背后即为所有的连接端子（射频输入 RF、表计和接收）。其电源插件监视信号用 RF-ON 继电器。

功率放大器为一只大的印刷电路板，装有 4 个功放管及其他元件。功率放大器是一个完整的单元，装于框架的背面，用导线连接于控制和电压回路，在框架内部为电源插件、保护滤波器及可供选用的匹配变压器。

G—1 型适用于站用电源为 48VDC 的装置。G—2 型适用于站用电源为 125VDC 的装置。

阻抗匹配变压器：对 CS26C/27C 的 S009 有以下输出阻抗抽头，50Ω，75Ω，100Ω，125Ω 或 150Ω。

正常工作参数。

（1）直流输入。

电站电源电压：50VDC。

电流增益：正常，0.3A。

满功发信，3.8A。

（2）高频输入。

输入阻抗：低电平 150Ω。

J1 在大输入电平：6V RMS（+4dB）。

（3）高频输出。

阻抗：50Ω。

输出功率：100W（71V RMS）。

频率范围：30～－535kHz。

收信混频器：

阻抗：50Ω。

内部衰耗：14dB。

传输衰耗：30dB（最小）。

（4）选择。

1）RF-ON 报警/显示触点容量 100VA。

2）匹配变压器。

输入阻抗：50Ω。

输入功率：100W（最大）。

输出阻抗：50、75、100、125、150Ω。

7. 高频通道的构成

高频通道的构成见图 4-59，与国产设备相比较通道中的“线路调谐器”相当与国产的结合滤波器。线路调谐器由阻抗匹配变压器、电感以及保护三部分组成，结构见图 4-60。其中阻抗匹配器的功能主要是放大高频信号；电感的主要作用是同耦合电容器一起构成串联谐振回路，传输高频信号：保护部分的主要作用是防止高电压串入线路载波设备，阻止高频强电流进入弱电侧。

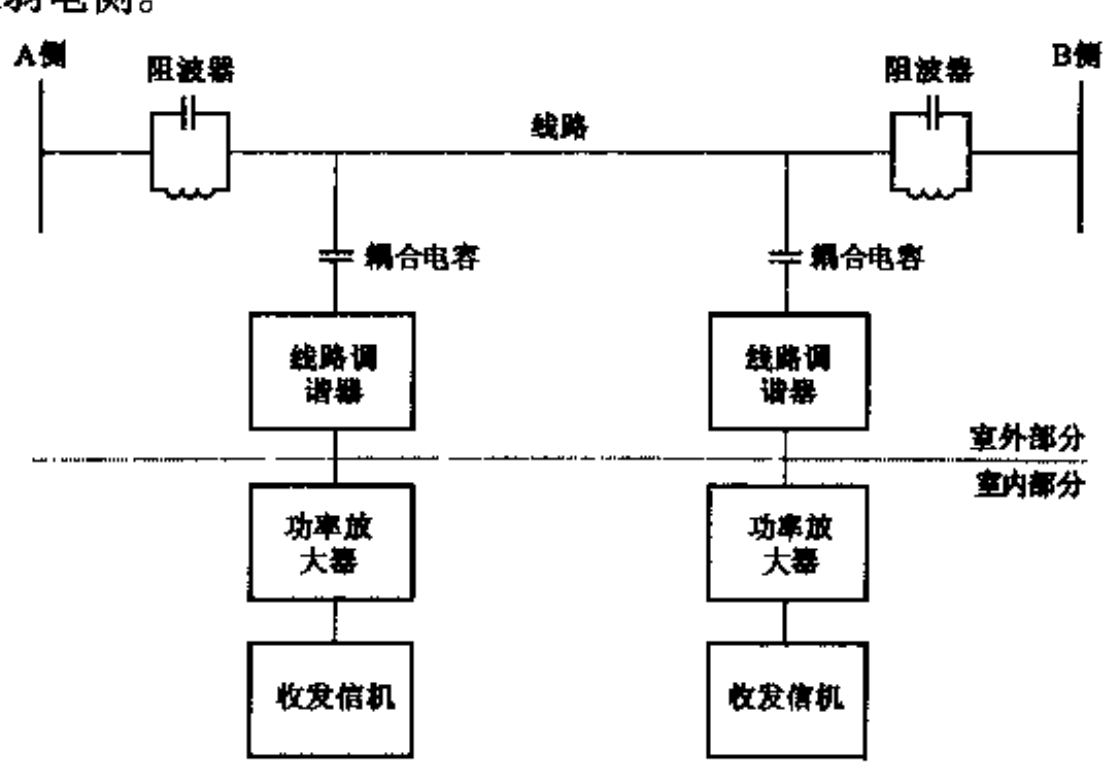


图 4-59　高频通道的基本构成

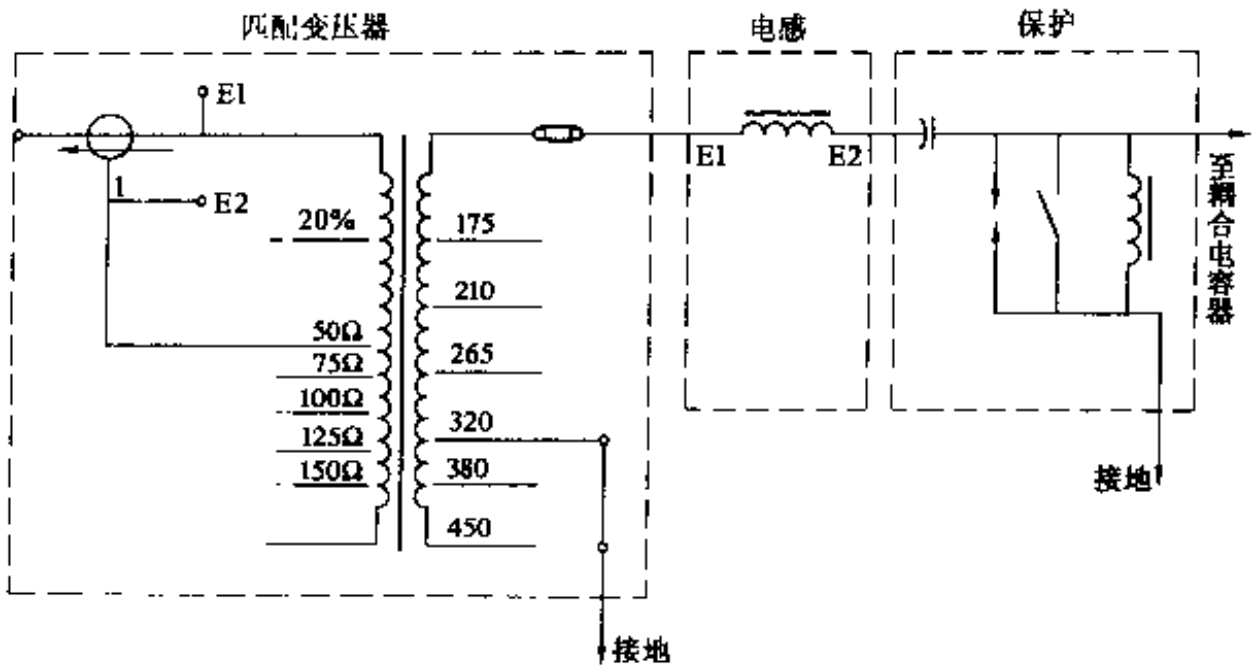


图 4-60　线路谐调器的结构图

三、故障检查的步骤及原因分析

1. 断开功率放大器的滤波器进行的检查

在收发信机屏将功率放大器的滤波器断开，再测量发信机的发信功率，数值恢复正常，可能是滤波器有问题，决定检查滤波器。

（1）检查滤波器的各元件的特性。经检查滤波器各元件的参数正常无疑。

（2）用备品代替后再作测试。用备用插件插入工作滤波器的位置，再作发信检查，结果与没换前一致，这就排除了滤波器故障的可能性。

2. 断开高频输出电缆后的检查

在收发信机屏，断开到线路调谐器去的高频电缆再进行高频发信值的检测，结果正常，由此可以断定故障点在高频收发信机屏以外。

3. 投入高频电缆，断开线路调谐器后的检查

投入高频电缆，断开线路调谐器的检查结果仍然正常，还需继续作进一步的检查。

4. 合上线路调谐器的接地开关进行的检查

接通高频通道在线路 TV W 相，合上高频接地开关，再次测量发信机处的发信电平，结果与不合隔离开关相一致。这证明高频接地开关失去了作用，亦即与高频接地开关相连接的原件还有接地点存在。

5. 断开放电间隙以后发信电平正常

将放电间隙断开，同时将接地开关断开，再作发信电平测试，结果正常，用兆欧表测量放电保护间隙，其电阻值为零。这说明保护放电间隙在运行中由于雷电压或其他电压的作用将其损坏。

四、采取的措施及注意事项

1. 更换放电保护器

更换放电保护器以后，发信通道恢复了正常。

2. 注意事项

设备在运行中进行检查时的注意事项：在一步一步的拆线检查时，应注意接地点不能拆除，否则会出现 TV 一次开路现象造成过压放电的问题。详见第六章的第五节。

第二十三节　YJ变电站220 kV JS线路高频通道的故障

一、故障现象

YJ 变电站为新安装变电站，JS 线路装设有 GE 高频保护，高频收发信机为 CS26 型，线路架通以后，对侧发信时本侧收到了 3V 左右，本侧发信时对侧收到不足 3V，而两侧的发信机发信均正常，本侧发 70V 对侧发 69V，都在允许的数值范围内。因此高频电压衰耗太大的原因是在发信输出及通道设备上存在有故障。

二、高频通道的结构与原理

YJ 变电站 220kV JS 线路的高频保护采用 GE 公司生产的高频收发信机，有关高频通道的结构与原理见本章第二十二节。

三、故障的查找过程及原因分析

1. 让对侧发信，逐级检查本侧收信电平值

（1）在收发信机屏前的测试。让对侧满功发信，本侧在收发信机的屏前测孔 RF、GND 之间，用真空管毫伏表进行测试，测试结果 < 3V。

（2）在耦合电容下的测试。在耦合电容下的线路调谐器处，测得 E1、E2 的对方发信电压为 47V。远远大于在收发信机屏前的数值。47V 为正常值。此电压值证明对侧到本侧的耦合电容一段通信并没有故障存在。

2. 本侧发信时检查本侧的电平值

（1）本侧收发信机屏前的测试。当本侧满功发信时，在收发信机屏前测孔 RF、GND 之间，用真空管毫伏表进行测试，其高频电压为 70V，数据正常。

（2）在耦合电容处的测试。当本侧满功发信时，在耦合电容下的线路调谐器处测得 E1、E2 之间的电压仅有 5V。数值太低。

断开保护部分的 Line 插头到耦合电容的连线，再测 E1、E2 之间的电压为 14V。Line 对 GND 的电压为 42V，其值依然偏低。

3. 本侧发信机到线路调谐器之间一段高频电缆的测试

（1）高频电缆的绝缘测试。将本侧发信机及线路调谐器全部与电缆断开用数字万用表测试高频电缆芯对屏蔽层的绝缘电阻，结果正常。

（2）高频电缆的直流电阻测试。将收发信机侧电缆线芯对屏蔽层短接，在线路调谐器侧测量电缆的直流电阻 $R = 3\Omega$，其结果也属于正常。

4. 本侧发信机输出电缆接口处的电平测试

到此为止，发信机工作正常，电缆状况良好，没有检查到功放输出 RF 测点到电缆接口的连接部分。为此，断开输出电缆的连接，在接口处测量发信时的电压值，结果为 14V，与在耦合电容处测量数值一致。

作进一步的检查发现盘内配线出错。本应将功率放大部分的输出 EXT 连到收发信机屏的背后，但此线空出。误将功率放大至收信机的接口 REC 接在屏后高频电缆的接口上了，这样经功率放大的高频信号根本就没有送出，收信信号不能在测点 RF、GND 处正确反应。

四、采取的措施

1. 将屏内部的配线改正

按照发信机原理的要求，将功率放大后的信号送入高频通道。

2. 检查收发信电平的数值

完成改线以后，重新进行收发信电平的测试，以考察整个系统的完好性。系统正常后，测到的一组数据如下：本侧发 70V，对侧收 48V；对侧发 69V，本侧收 47V。

第二十四节　高频通道故障处理的思路

一、掌握高频通道故障处理的特点

对 220kV 及以上线路高频保护的运行状况以及高频问题的处理情况分析统计表明，高频通道的故障类型并不复杂，故障的处理过程却存在困难，主要有以下几方面的障碍。

1. 两侧通信不畅

尽管变电站、发电厂的调度通信联系比较密切，但是在跨地区之间的线路高频通道调试时，通信仍然是工作顺利进行的关键问题，尤其在试验过程中遇到故障的情况下，通信联系更加频繁，矛盾更为突出，在高频通道的耦合电容处进行工作时，正常的通信就更困难了。

通信联系是关键问题，通信工具的先进程度直接影响到高频通道事故处理的进展速度。

2. 高频测试不易

在控制室进行的各种测试工作，由于试验电源的接线比较方便，试验工作容易开展。在结合滤波器进行高频测试时，因为选频电平表、真空管毫伏表、示波器等测试仪器均需要工作电源，所以测试前必须找到合适的电源，并辅设临时线到测试点，准备工作非常繁琐。

3. 检查条件不足

例如线路带电的情况下，不开断耦合电容器的接地线，测试发信机带结合滤波器而不带加工设备的空载电平时，需要断开耦合电容器至带结合滤波器的连线（见图 4-57）。拆线时必须保证耦合电容的可靠接地不开路，工作有一定的难度。如果在停电的情况下测试，则无需考虑安全问题，工作容易开展。还有其他类似的情况，都需要创造条件工作。

二、掌握高频通道的参数

进行高频通道的检查、分析工作离不开有关参数，掌握高频通道的结构、运行参数是顺利工作的前提。

1. 高频通道的结构参数

阻波器阻抗：$f = 50\text{Hz}$ 时，$Z = 0.04\Omega$

$f =$ 高频时，$Z = 1000\Omega$

线路阻抗：$Z = 400\Omega$

电缆阻抗：$Z = 100\Omega$

结合滤波器变比：1.5/1

2. 高频通道的运行参数

其运行参数与设备的生产厂家有关，现将线路的 A 侧发信 B 侧收信时一组常用的参数参考值介绍如下（参见图 4-57）：

A 侧发信机输出电平：40dB

A 侧结合滤波器电缆侧电平：36dB

A 侧结合滤波器线路侧电平：54dB

B 侧结合滤波器线路侧电平：34dB

B 侧结合滤波器电缆侧电平：23dB

B 侧收信机收信电平：19dB

当线路的 B 侧发信 A 侧收信时的参数与上述值对称。

三、掌握高频通道的故障类型

对高频通道可能出现的故障类型分析如下：

（1）短路。导致短路的故障有元器件绝缘击穿短路，例如击穿保险击穿造成短路故障，电缆线短路等。

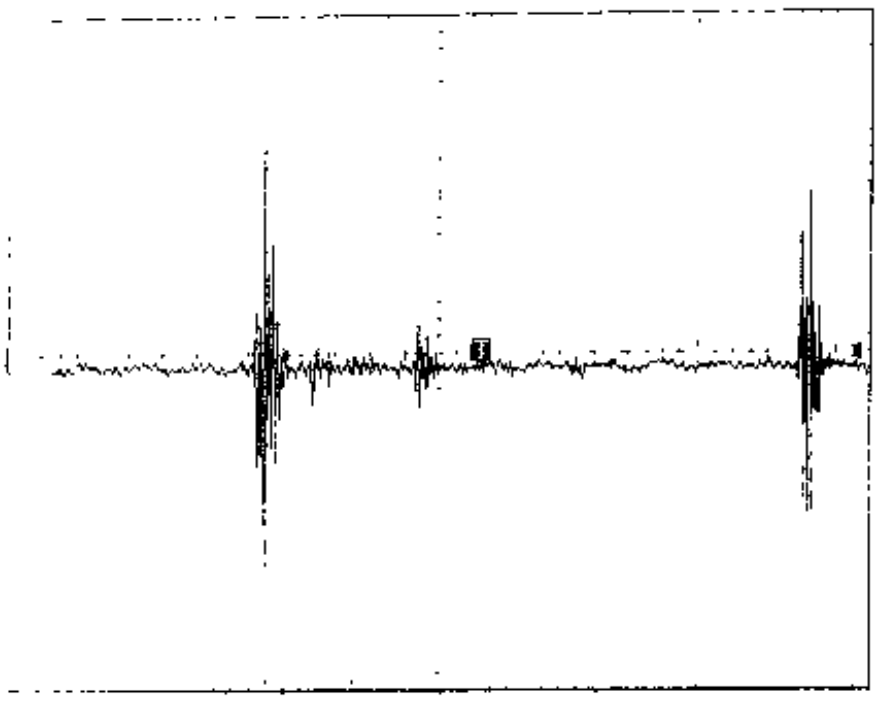
（2）断线。可能的断线故障是元器件损坏，电缆线开断等。

（3）参数不匹配。参数不匹配故障的主要类形是电缆长度为 $\lambda/4$ 时高频信号的传输受阻。

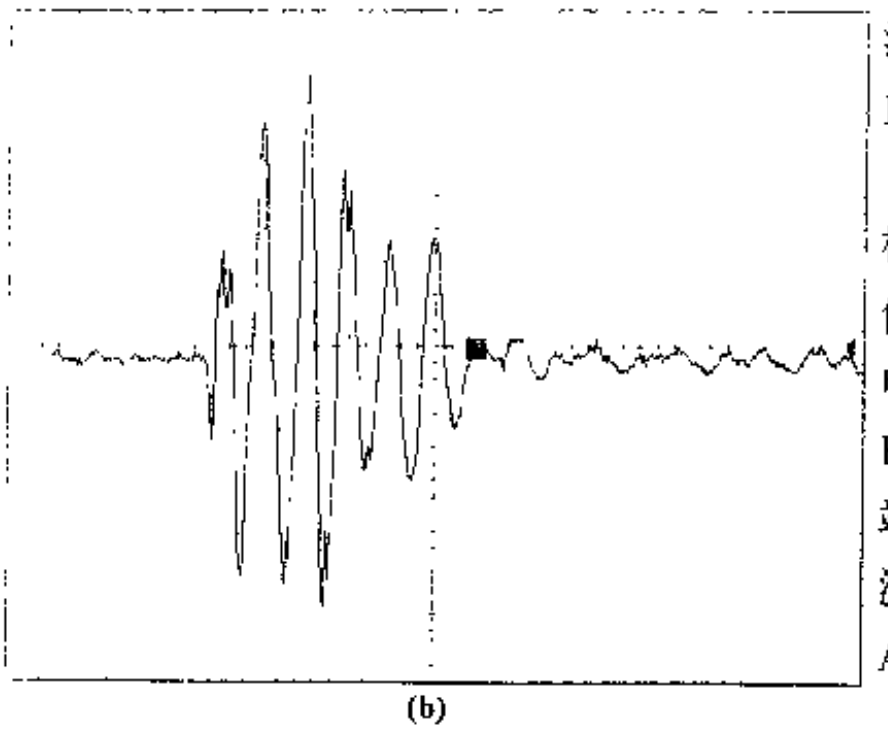
（4）衰耗超标、3dB 告警。引起衰耗超标、3dB 告警的原因很多，必须对各个环节进行检查，例如阻波器的损坏，耦合电容的问题，高频电缆的故障，天气的影响等都可能造成衰耗超标、3dB 告警。

（5）高频干扰。阻波器易受雷电的侵入，使调谐元件损坏，分流衰耗增大，高频保护被迫停用。架空地线的间隙放电干扰，经常使发信机因远方起信而误发信，例如 220kV FR 输电线路架空地线的间隙放电时的干扰波形见图 4-61，图 4-61 中的电压峰峰值为 20V。

（6）出现拍频。在高频通道中，两侧高频信号的幅值相近，频率相等，相位相反时，结果相互抵消。为了避免拍频现象的发生，收、发信机中采取了措施，目前严重的拍频现象得到了控制。但是在现场仍然存在拍频引起高频信号间断的问题，高频信号的间断会导



(a)



(b)

图 4-61　220kV FR 输电线路架空地线的间隙放电时的干扰波形

(a) 频繁出现的干扰波；(b) 展宽后的干扰波

致区外故障时高频闭锁保护误动作。

四、掌握通道故障处理的方法

高频通道出现故障以后，首先退出高频保护，然后进行通道的检查与处理。

1. 线路带电时的检查

(1) A 侧发信，B 侧收信。将 B 侧发信机的功率放大电源停掉，使 A 侧发信机发信，用选频电平表测量通道的每一个环节的电平，应满足设计的指标。具体的测点有：A 侧发信出口处，A 侧结合滤波器的输入端，A 侧结合滤波器的输出端，B 侧结合滤波器的输出端，B 侧结合滤波器的输入端，B 侧收信机出口处。

(2) B 侧发信，A 侧收信。将 A 侧发信机的功率放大电源停掉，使 B 侧发信机发信，用选频电平表测量通道的每一个环节的电平，应满足设计的指标。具体的测点有：B 侧发信出口处，B 侧结合滤波器的输入端，B 侧结合滤波器的输出端，A 侧结合滤波器的输出端，A 侧结合滤波器的输入端，A 侧收信机出口处。

(3) 测量跨越衰耗。使 A 侧发信，用选频电平表测量 A 侧的相临线路的电平，数值应小于 - 13dB。

使 B 侧发信，用选频电平表测量 B 侧的相临线路的电平，数值应小于 - 13dB。

(4) 更换通道检查。更换另外的正常通道检验其收、发信的结果是否正常。如果结果正常，则排除了收、发信机的问题；如果结果仍不正常，则故障就发生在收、发信机以外的通道上，对外部的通道逐步进行检查即可。

(5) 用模拟线路参数仪器的检查。用模拟线路参数仪可以检查 A、B 两侧发信机的情况。

(6) 高频干扰检查。分析产生高频干扰的原因，并根据具体的情况进行检查。检查过程中应考虑天气因素的影响，例如雷、雨、雪、雾等的影响。

2. 线路停电的检查

如果线路带电时检查发信机出口到线路两侧结合滤波器的输出端的数据结果无误，则必须将线路停电作进一步的检查。

（1）线路停电过程中的检查。断开 A 侧的断路器及隔离开关，使 A、B 侧两发信机分别发信，进行收信检查，如果结果已经恢复了正常，则可以判定通道的故障位于 A 侧的阻波器上，这时对阻波器进行处理即可。如果结果仍然不正常，则必须进行如下的检查。

断开 B 侧的断路器及隔离开关，使 A、B 侧两发信机分别发信，进行收信检查，如果结果已经恢复了正常，则可以判定通道的故障处于 B 侧的阻波器上，这时对阻波器进行处理即可。

（2）线路停电后的检查。上述检查工作完成后结果仍然不正常时，必须根据具体的情况进行另外的检查。

3. 注意事项

（1）线路停电的检查，必须是线路的一侧停电后立即进行检查，一侧检查完成，再进行另一侧的停电与检查。

（2）线路停电的检查，必须将线路的隔离开关断开，否则只断开断路器并不能阻止高频信号的传输。

（3）用选频电平表的选频档测试各点的电平。

第五章　母线及母线设备保护的事故处理

在发电厂和变电站中的母线设备与其他设备相比，虽然故障的概率比较低，但是，母线是电能集中分配的重要环节，母线设备的安全运行对不间断发、供电具有更重要的意义。

母线故障是发电厂和变电站中电气设备最为严重的故障之一。母线故障时，可能破坏整个电力系统的正常工作。同样，母线设备保护的事故也会影响到系统的正常运行。保证母线保护的可靠性是非常关键的。

母线保护接线的特点有三个方面：第一、输入的电流回路多，第二、输出的跳闸回路多、第三、与其他保护的接口回路多，因此，保证其接线的正确性乃是减少继电保护故障的重要环节。根据统计，母线保护的若干故障是由于 TA 接线的错误，或者是由于辅助变流器的非线性的特性，或者是由于 TA 的 10% 的误差曲线不满足要求等原因而引起的

母线及母线设备保护的基本类型有：

1）支线固定连接的母线完全差动保护；

2）母线完全差动保护；

3）电流相位比较式差动保护；

4）低电压保护；

5）母线后备保护——母线供电元件的保护；

6）母联开关的充电保护。

第一节　RZH发电厂 220 kV母线保护误动作

一、故障现象

××年 12 月 RZH 电厂在施工过程中、由于升降机的操作机构存在问题，升降机只升不降，造成 220kV 母线接地故障，两段母线全部跳闸的事故。

220kV 系统接线见图 5-1，当时的运行方式是：Ⅰ母线带 201、213、216 断路器，Ⅱ母线带 202、212、215 断路器，200 母联断路器在运行状态。

故障发生在Ⅰ母线，Ⅱ母线的断路器也全部跳闸是误动行为，因此对母线保护进行了一系列的检查与分析工作。

二、保护的接线与原理简介

RZH 发电厂 220kV 母线保护为 PLM 整流型保护，下面介绍保护的接线与工作原理。

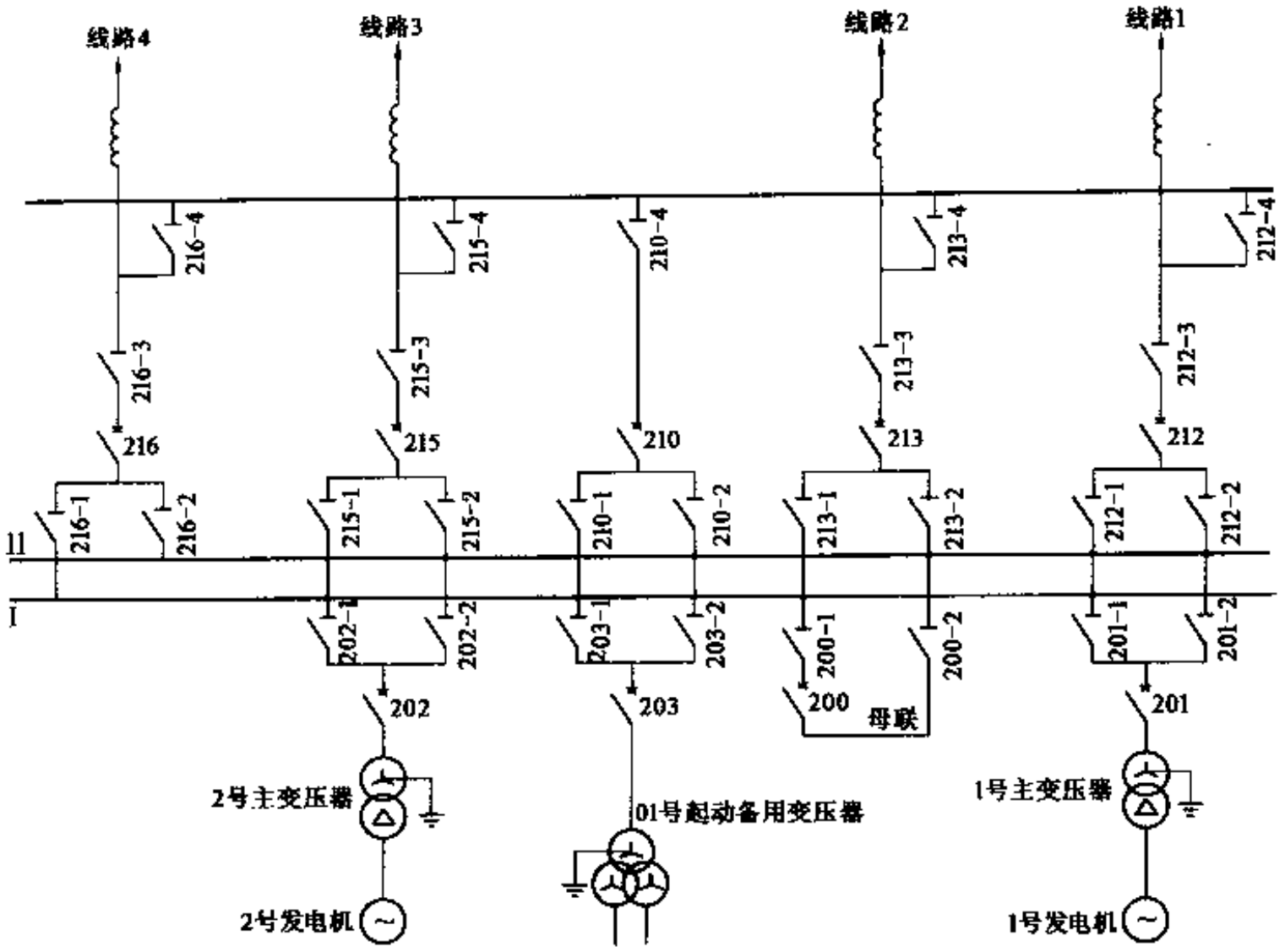


图 5-1　220kV 主系统接线图

1. 保护的接线

保护的接线见图 5-2，保护中各元件的作用介绍如下。

$KD_{U,V,W}$：电流差动元件。用于判别母线的运行状态，当母线故障时该元件动作，一方面开放比相元件，另一方面，为跳闸做准备。当母线正常运行或外部发生故障时，该元件不动作，所以也称为故障起动元件。

$KPC_{U,V,W}$：电流相位比较继电器。用于比较母线 TA 与母联 TA 二次电流的相位，以区别故障母线及非故障母线。为了提高选择元件的可靠性，在 KPC 型继电器线圈上接入同名相起动元件 KD 的常闭触点，在正常运行及区外故障时，继电器不会因不平衡电流而动作，仅当母线故障时才按相投入电流相位比较元件。

$KV_{UV,VW,WU}$：相间低电压继电器，用于监视母线的电压。

KV_2：负序电压继电器，用于反应母线的不对称故障。

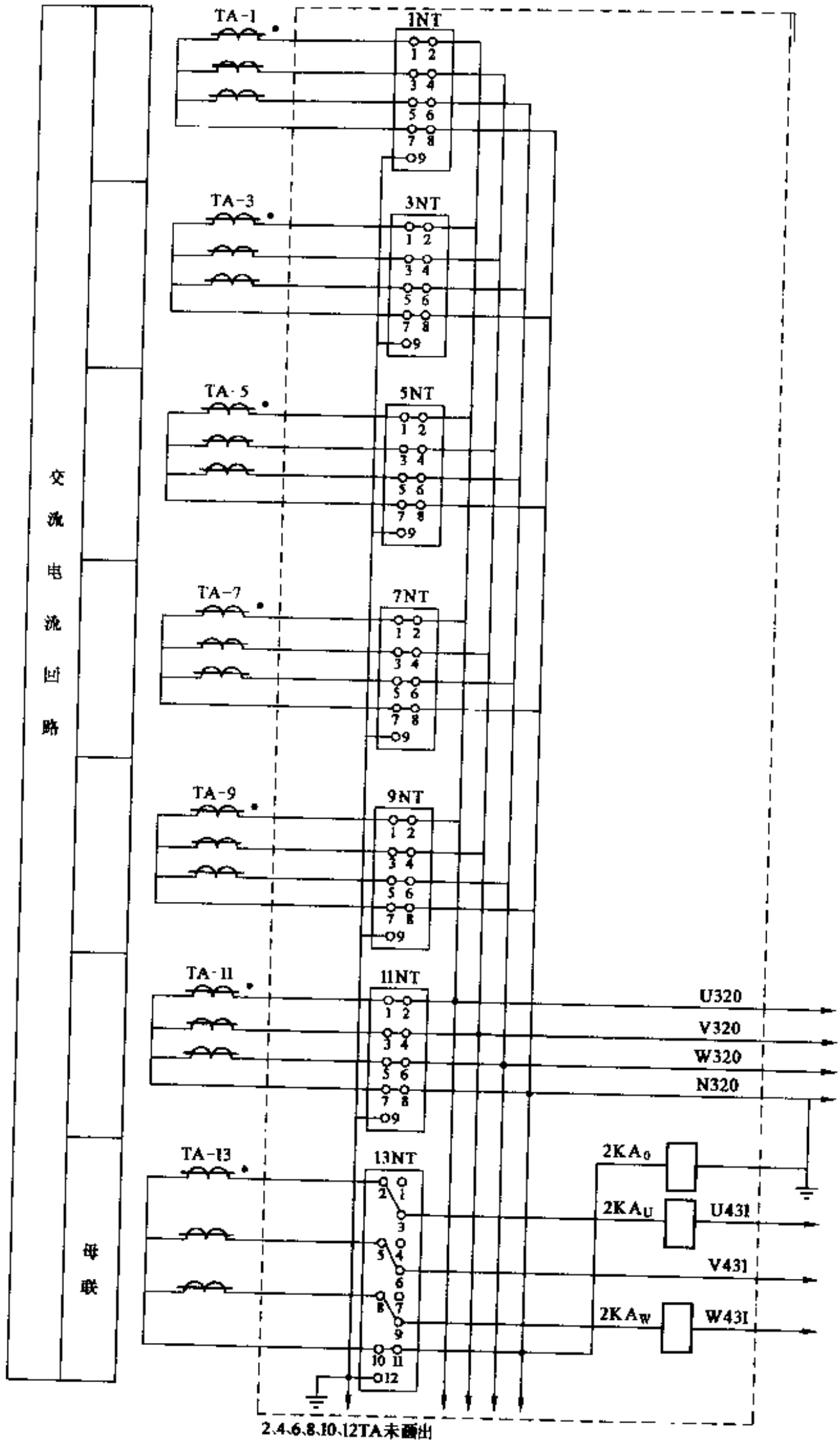
KV_0：零序电压继电器，用于反应母线的接地故障。

相间低电压继电器、负序电压继电器、零序电压继电器构成保护的复合电压闭锁单元，根据系统的要求可以灵活的选用。

$2KA_U$、$2KA_W$、$2KA_0$：电流继电器，用于母线或线路的充电保护。如果在充电过程中设备故障，则能实现快速跳闸，同时闭锁正常运行的母线保护回路。

1KCP：充电保护出口继电器。

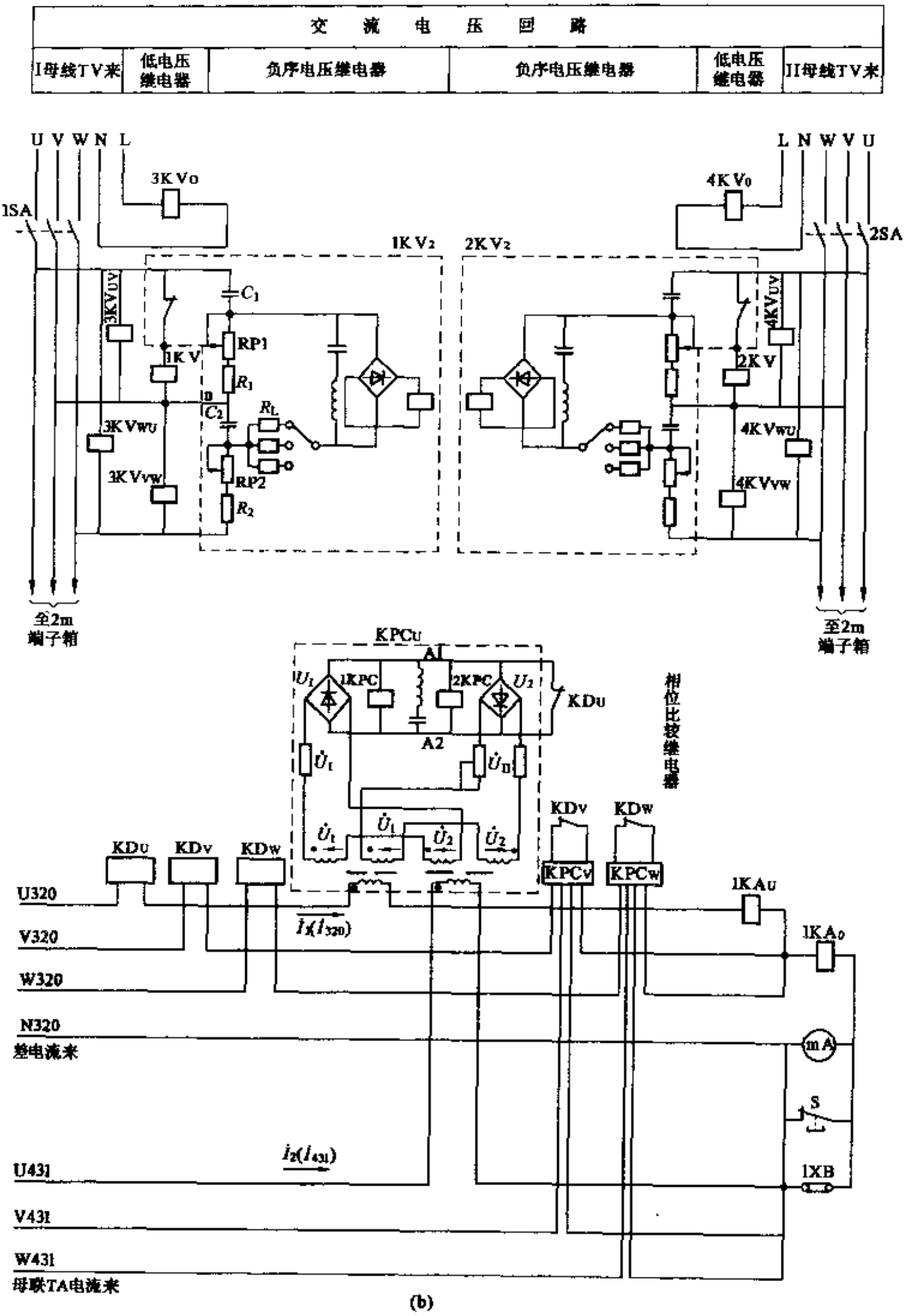
$1KA_U$、$1KA_0$：电流继电器，用于差动 TA 二次回路的断线闭锁起动。



(a)

图 5-2　母线保护接线图（一）

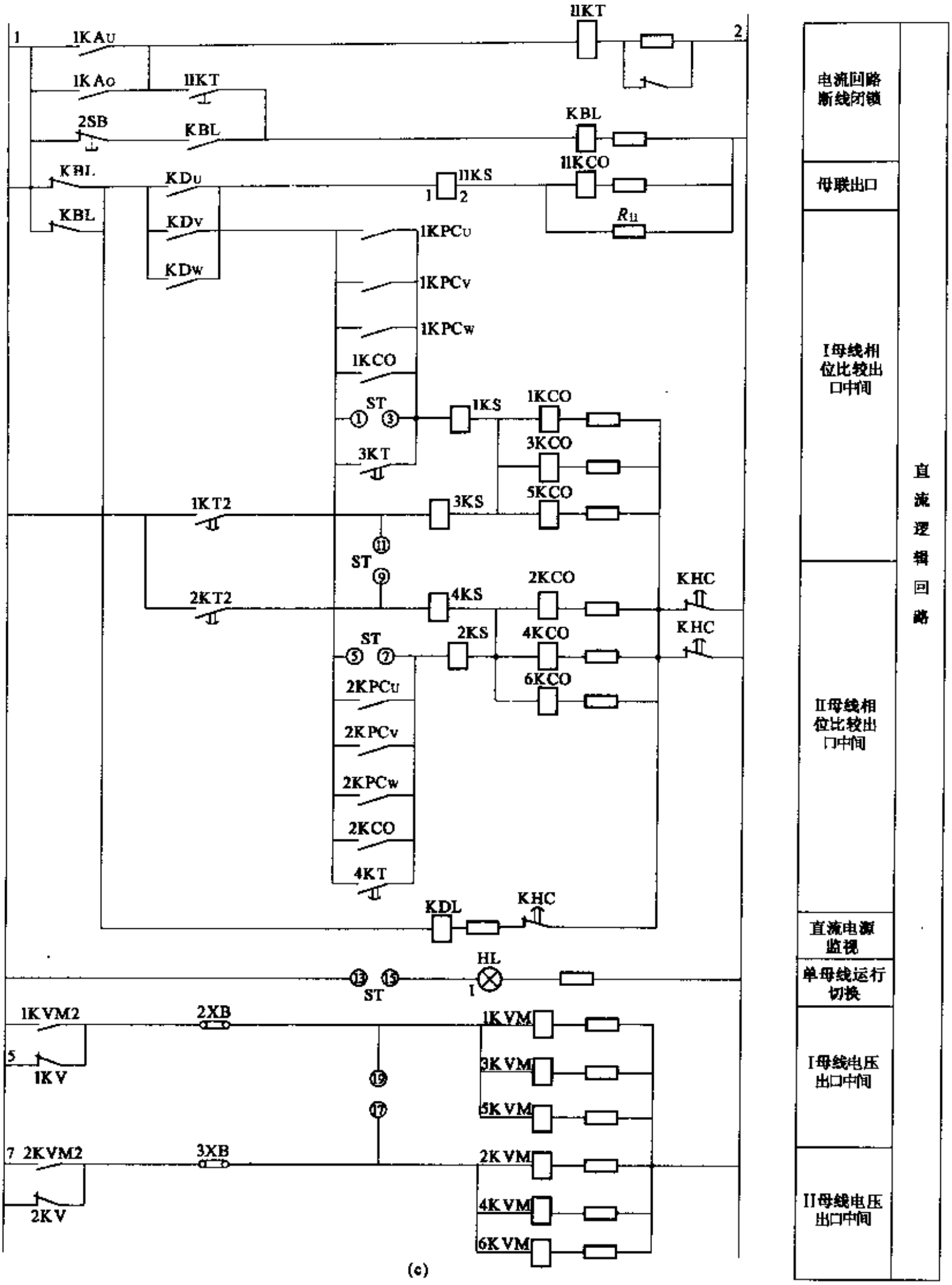
（a）交流电流回路



(b)

图 5-2 母线保护接线图（二）

（b）交流电压与相位比较



(c)

图 5-2　母线保护接线图（三）

（c）逻辑回路 1

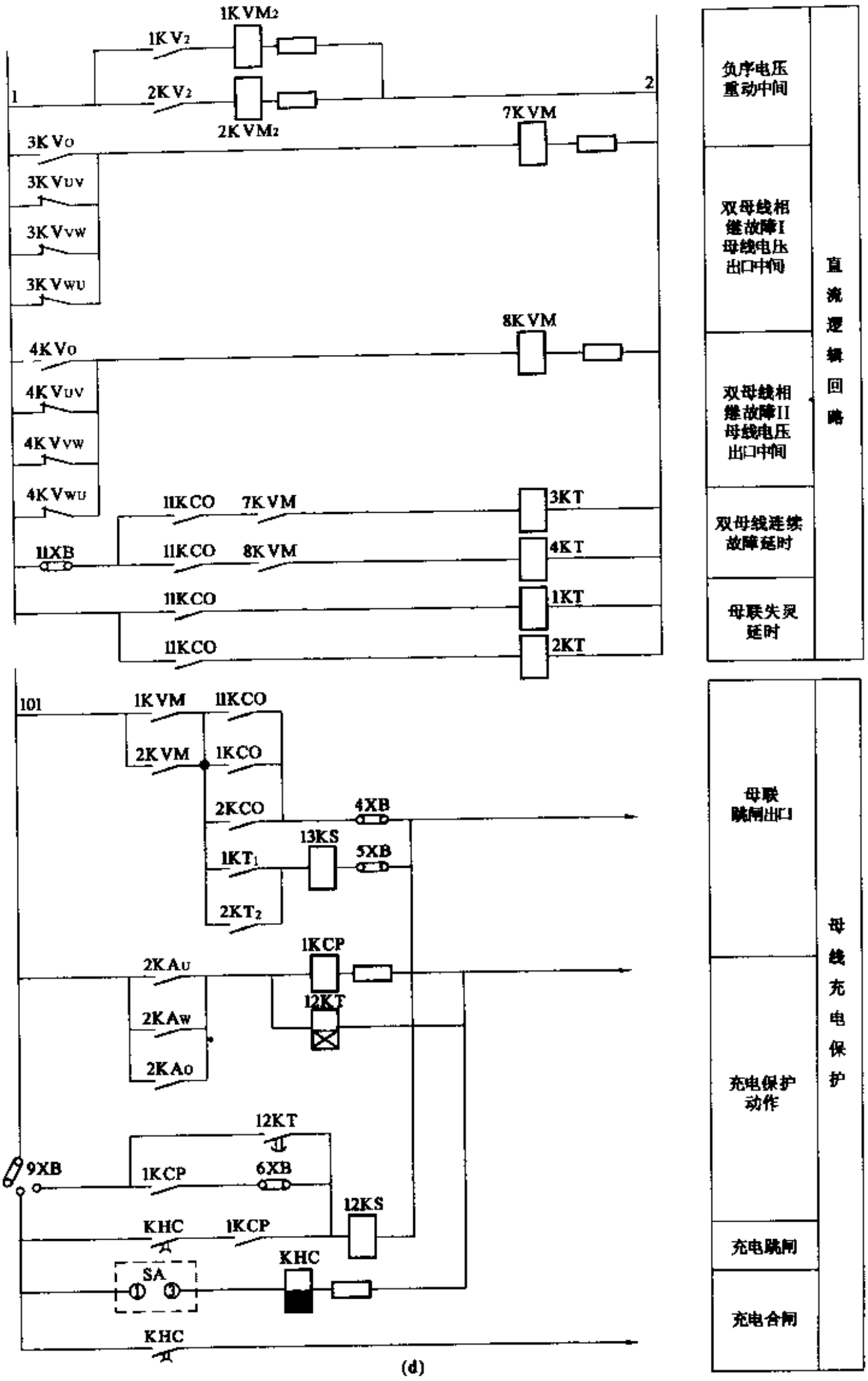


图 5-2　母线保护接线图（四）

(d) 逻辑回路 2

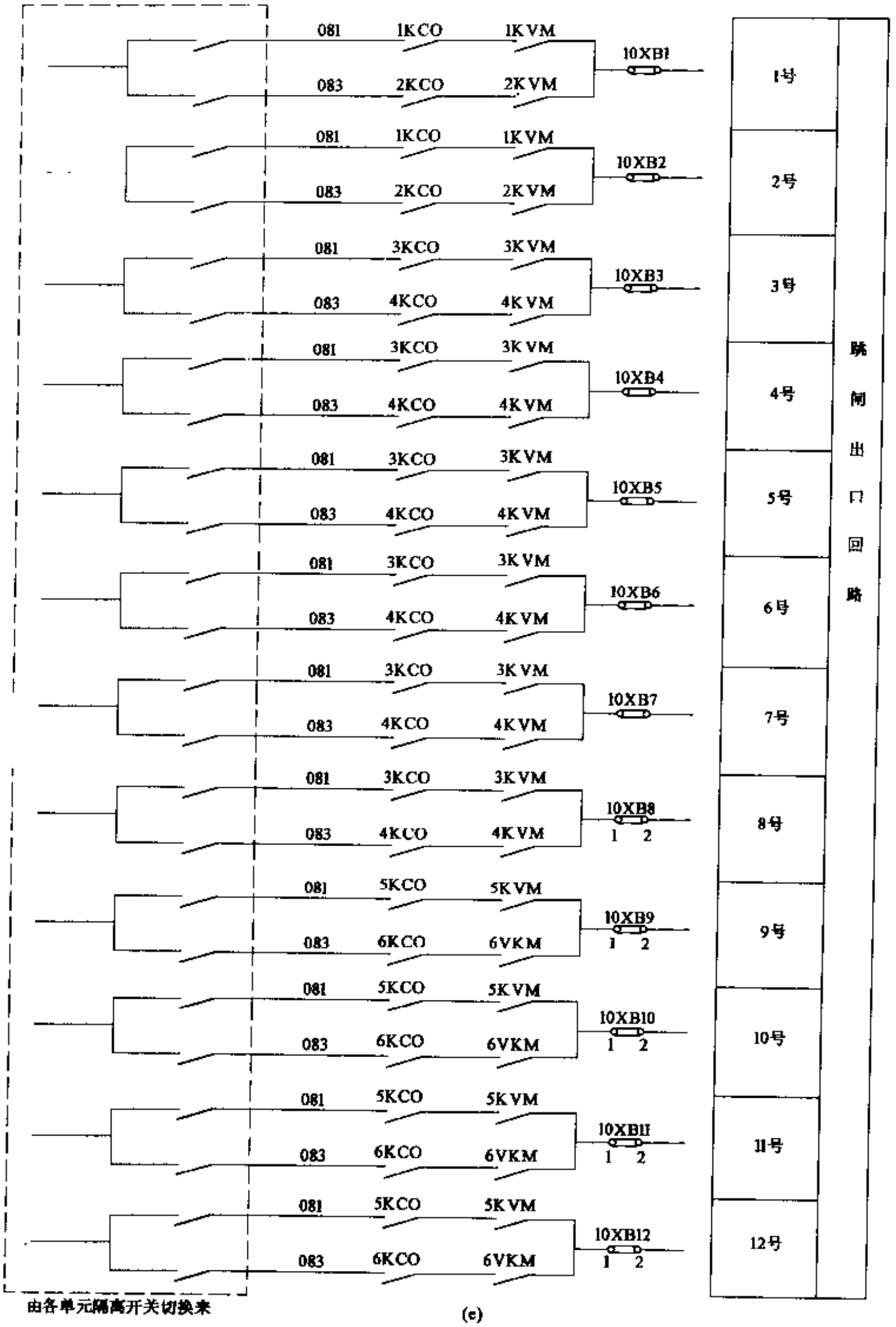


图 5-2　母线保护接线图（五）

(e) 触点输出回路

KBL：TA 二次回路断线闭锁继电器，上述 $1KA_U$、$1KA_0$ 电流继电器动作后，经 11KT 延时将出口元件闭锁，同时发出断线信号。

1、3、5KCO：Ⅰ母线出口跳闸继电器。

2、4、6KCO：Ⅱ母线出口跳闸继电器。

11KCO：母联出口跳闸继电器。

考虑到母联开关与母联电流互感器之间故障的严重性，设置了带时限后备切除另一组母线的回路。

2. 主要元件的工作原理

(1) 差动元件 $KD_{U,V,W}$。

差动元件 $KD_{U,V,W}$采用 BCH—2 型差动继电器的原理，见图 5-3，只是在结构上做以调整，把 $W_{BI} + W_W$ 作为工作绕组，W_{BII}空出不用。

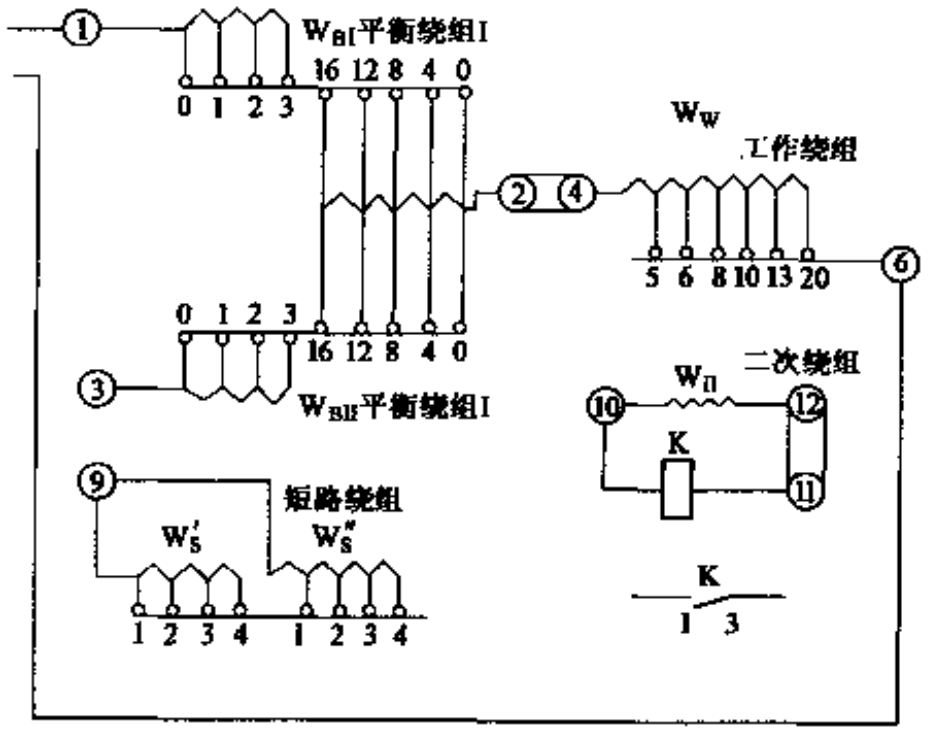


图 5-3　差动元件的原理电路图

KD 差动继电器的原理结构图见图 5-4。

执行元件 K 接至右边柱的二次线圈 W_{II} 上，穿过的磁通为 ϕ_{II}。工作绕组 $W_{BI} + W_W$ 产生的磁通为 ϕ_W，ϕ_W在短路绕组中的感应电流为 I_S，I_S 在 W'_S 中产生磁通为 ϕ'_S，I_S 在 W''_S 中产生磁通为 ϕ''_S。

中间柱磁通为 $\phi_m = \phi_W - \phi'_S$。

右边柱磁通为 $\phi_{II} = \phi_m + \phi''_S$。

在铁芯未饱和时，短路线圈在中间柱使工作绕组产生的磁通减少，正好把左边柱 W''_S 产生的磁通补偿，结果在右边柱产生的磁通 ϕ_{II} 和没有短路绕组时产生的磁通基本相等，继电器动作电流不变。

在一次侧流过含有非周期分量的励磁涌流或不平衡电流时，非周期分量电流实际上传变不到短路线圈 W'_S 和二次线圈 W''_S，而励磁电流使铁芯迅速饱和，因此在一次侧流过同样大小的周期分量电流时，由中间柱进入右边柱二次线圈磁通减少了，由左边柱进入二次线圈的磁通更少，这是因为由左边柱进入二次线圈的磁通需要通过由一次线圈到短路线

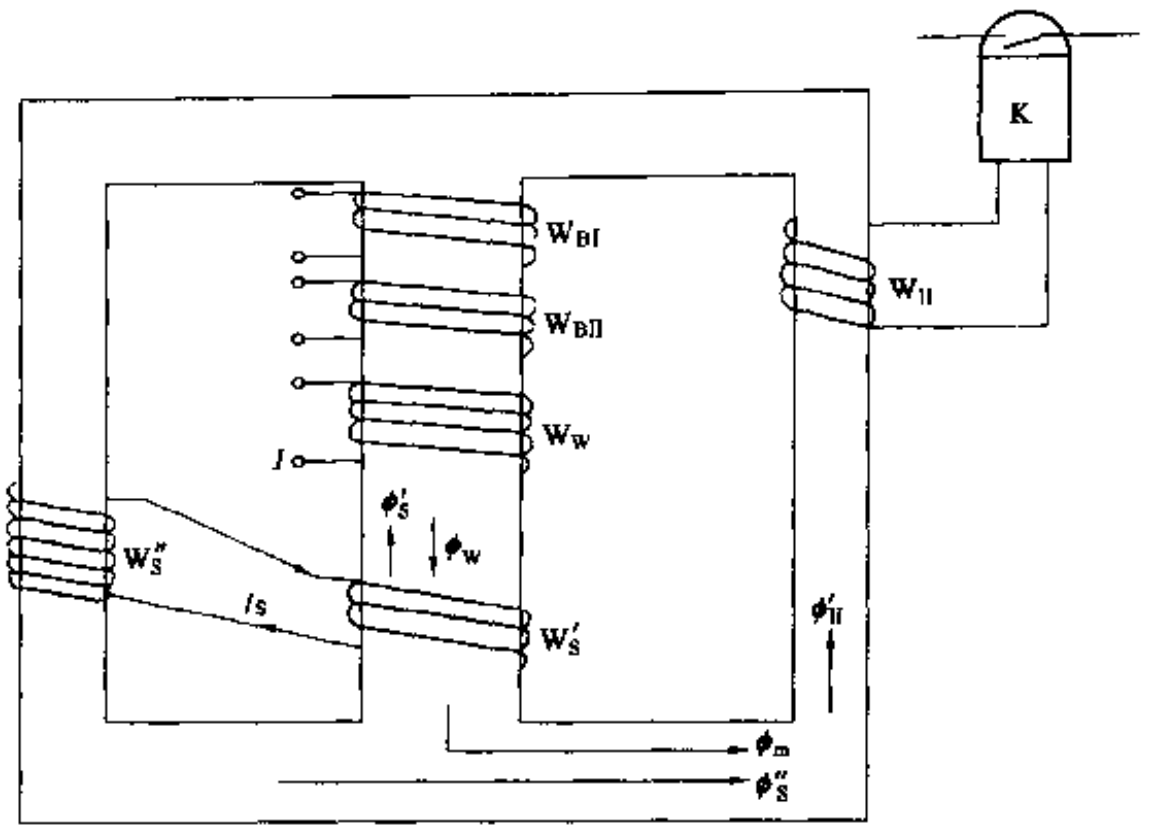


图 5-4　工作原理结构图

圈，再由短路线圈到二次线圈的双重传变作用的缘故。在短路线圈匝数按比例增大时，由于左边柱磁通占通过二次线圈总磁通的比例增大，因此，非周期分量电流使动作电流增大的作用就更加显著。

由此可知，短路线圈的作用就是使起动元件的一次动作电流随着非周期分量的增加而增大，从而达到躲越变压器励磁涌流和保护区外故障时的不平衡电流的目的，从而提高起动元件可靠性。

(2) 相位比较元件 KPC。

选择元件按相位比较原理构成，采用整流型的相灵敏接线，比较回路采用环流式接线方式，执行元件采用灵敏的极化继电器。以 U 相为例，相位比较电路的原理接线如图5-2。

电流 $\dot{I}_1$ 经电抗变换器 TL_1，电流 $\dot{I}_2$ 经电抗变换器 TL_2 变换成电压量 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{U}_2$，按相灵敏接线方式分别接到两组整流桥 U_1 和 U_2 上。

$$\dot{U}_{\mathrm{I}} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$$

$$\dot{U}_{\mathrm{II}} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

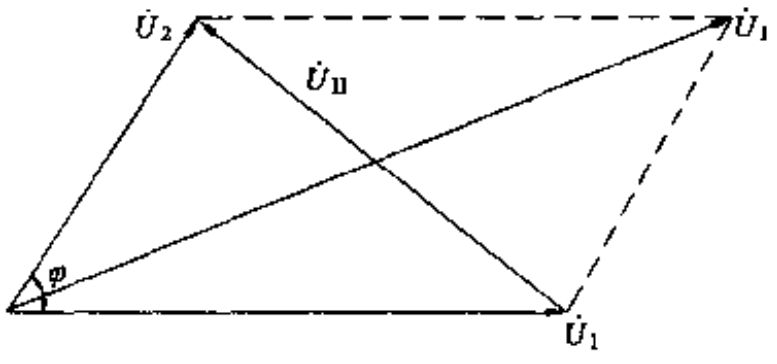


图 5-5　$\dot{U}_{\mathrm{I}}$、$\dot{U}_{\mathrm{II}}$ 的相量关系

假设电流 $\dot{I}_1$ 领先电流 $\dot{I}_2$ 的相角为 ϕ，则 $\dot{U}_1$ 的相角也领先 $\dot{U}_2$ 相角为 ϕ，则 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{U}_2$ 相量如图 5-5。

由图可知

$$U_{\mathrm{I}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2\cos\varphi}$$

$$U_{\mathrm{II}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2\cos\varphi}$$

$\dot{U}_{\mathrm{I}}$ 和 $\dot{U}_{\mathrm{II}}$ 两个电压量进行绝对值的比较后接到继电器的执行回路中，而电流相位比较继电器执行元件采用两只极性完全相同的极化继电器 1KPC 和 2KPC，其继电器的绕组反极性并联。比较回路输出电压即为极化继电器绕组所得电压，根据继电器的极性关系，当两个电压量的绝对值 $U_{\mathrm{I}} > U_{\mathrm{II}}$ 时，1KPC 动作，当 $U_{\mathrm{II}} > U_{\mathrm{I}}$ 时，2KPC 动作，所以电流相位比较元件具有双方向动作特性。

1KPC 动作条件为：$U_{\mathrm{I}} > U_{\mathrm{II}}$，其动作范围，$-90° < \phi < 90°$。

2KPC 动作条件为：$U_{\mathrm{II}} > U_{\mathrm{I}}$，其动作范围，$90° < \phi < 270°$。

因此当母线 U320 的电流与母联 U431 的电流同极性时，$U_{\mathrm{I}} > U_{\mathrm{II}}$，整流器输出母线 A1 上的电位高于 A2，执行元件 1KPC 动作；当母线 U320 的电流与母联 U431 的电流反极性时，$U_{\mathrm{II}} > U_{\mathrm{I}}$，整流器输出母线 A2 上的电位高于 A1，执行元件 2KPC 动作，由此选择出故障母线。

为了消除二次谐波分量对继电器的影响，避免继电器在动作边界条件下抖动，设置了电感电容组成的二次谐波滤波器。

3. 复合电压元件

复合电压元件 $\mathrm{KV_m}$ 由低电压元件、负序电压元件及零序电压元件组成，见图 5-2。

（1）低电压元件 KV。

接在母线电压互感器二次侧 UV 相间电压上，主要用来反应三相对称短路。

（2）负序电压元件 $\mathrm{KV_2}$。

包括负序电压滤过器、五次谐波滤波器及其整流执行回路，其定值改变可切换 R_{L} 来实现。

负序滤过器采用阻容接线，其参数设计为

$$X_{\mathrm{C1}} = X_{\mathrm{C2}} = \sqrt{3}(R_2 + RP_2) = \frac{1}{\sqrt{3}}(R_1 + RP_1)$$

滤过器输出 $\dot{U}_{\mathrm{mn}} = \dot{I}_{\mathrm{UV}}(R_1 + RP_1) - j\dot{I}_{\mathrm{VW}}X_{\mathrm{C2}}$

通过正序电压时的相量见图 5-6。

通过负序电压时的相量见图 5-7。

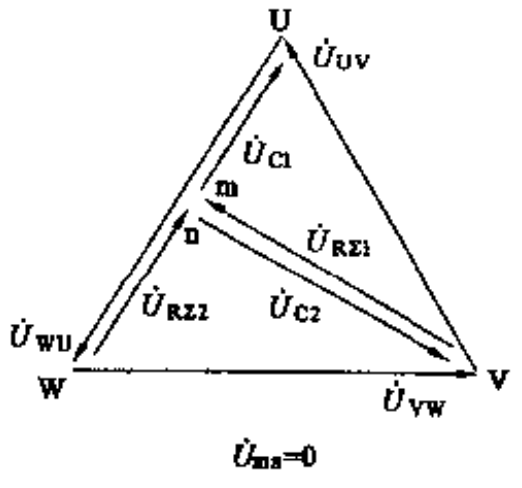


图 5-6　通过正序电压时的相量图

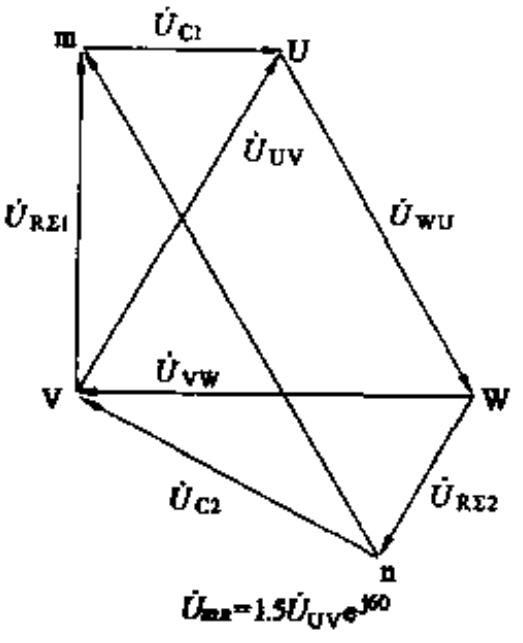


图 5-7　通过负序电压时的相量图

(3) 零序电压元件 KV_0。

零序电压元件用来反应接地故障时出现的零序电压分量，故在小电流接地系统时不设置.

4.KBL 断线闭锁

母线任一连接元件发生一相或三相断线。$1KA_0$ 或 $1KA_V$ 动作，经 11KT 时限后，KBL 动作，其常闭触点经 KDL 断开母差保护的直流回路，常开触点发出断线信号。断线闭锁原理电路见图 5-2。

KDL 是直流电源监视。

5. 充电保护

充电保护原理电路见母线保护图 5-2。

母联断路器向母线充电时，先投入 9XB，手动操作 SA 以后，手动合闸继电器 KHC 励磁，其常开触点起动母联断路器，KHC 常闭解除母线分差动保护回路，但保留总差动起动跳闸母联断路器的回路。

如被充母线故障，则由充电保护 $2KA_U$、$2KA_W$、$2KA_0$ 起动，$2KA_U$、$2KA_W$、$2KA_0$ 触点闭合，使 1KCP 动作，切除母联断路器，12KS 的动作线圈受电，发出充电保护动作信号。

6. 保护的动作过程说明

(1) 母线正常运行及外部故障。在外部发生故障时，母线差动回路中仅有不平衡电流，不能起动 $KD_{U、V、W}$，因此母线差动保护不动作。

(2) 母线故障。当母线发生故障，母线差动电流回路反应故障点的总电流，此时起动元件 $KD_{U、V、W}$按故障类型分别起动，其常开触点起动继电器 11KCO，其常闭触点投入电流相位比较元件工作。继电器 11KCO 动作后，其常开触点给出母联断路器跳闸脉冲。

1) 双母线运行时。

当Ⅰ组母线故障时，由于差动回路电流与母联回路电流相位差接近 0°，相应相别电流相位比较继电器 $1KPC_{U、V、W}$动作，而 2KPC 则处于制动状态。

当Ⅱ组母线故障时，$2KPC_{U、V、W}$起动。

当起动元件、电流相位比较元件和复合电压闭锁元件动作后，按故障地点不同，分别起动 1、3、5（或 2、4、6）KCO 进行跳闸。

2) 当母联断路器代线路或母联断路器断开运行时。

此时母线以单母线或两组独立母线运行，电流相位比较元件失去作用，应将 ST 切换开关合上，短接比相元件，让母差保护起动元件直接起动两组母线的出口继电器。

(3) 母联断路器向母线充电时。先投入 9XB，掀动按钮 SA 起动 KHC 继电器，如被充电母线故障，则由充电保护 $2KA_{U、W、0}$起动 1KCP，切除母联断路器。为了避免母线差动保护误动，由 KHC 常闭触点解除母线差动保护回路，但保留差动起动母联跳闸。

(4) 母线任一连接元件发生一相或三相断线时。断线闭锁元件 $1KA_0$ 或 $1KA_U$ 动作，经 11KT 时限后，KBL 继电器励磁，其常闭触点断开母差保护回路发出断线信号。

(5) 母线故障母联断路器拒动时。如果母线断路器拒动由 11KCO 出口继电器起动母联失灵时间元件 1KT、2KT，以较小的时限切除相邻母线的其他元件，以缩小故障范围。

三、故障的检查过程与分析

由于Ⅰ母线故障以后，220kV 运行的所有断路器包括母线联络断路器全部跳闸，从故障切除的范围来看，母线联络断路器跳闸属于正常，但是Ⅱ母线的断路器也全部跳闸是不应该的。

根据母线保护的原理可知，当Ⅰ母线故障时，Ⅱ母线断路器跳闸的可能的原因有几点：第一是Ⅰ母线有断路器拒绝动作，故障电流持续没有切断，超过 0.5s 后起动Ⅱ母线的跳闸继电器，将Ⅱ母线的断路器切除。第二是接线错误，接线错误会使故障的切除范围扩大。第三是整定问题，Ⅰ段母线故障以后母线保护 0s 断开Ⅰ段母线的断路器，如果保护没有返回，则延时 0.5s 切除Ⅱ母线的设备。若 0.5s 的延时时间存在问题也有可能提前动作跳闸。根据这些分析进行了如下检查工作。

1. 整定时间的检查

对 0.5s 的时间继电器的动作时间进行了测试，结果为 0.49s，数据正常。

2. Ⅰ母线断路器传动试验

对Ⅰ母线断路器进行了传动试验，结果也正常。

3. 接线检查

对 220kV 母线保护的接线检查发现母联 TA 的极性接反，因此存在着比相元件不能正确反应故障母线的问题，即存在着当Ⅰ母线故障时跳Ⅱ母线断路器，当Ⅱ母线故障时跳Ⅰ母线断路器，而故障并未切除，延时 0.5s 后跳开另一条母线上的所有断路器，使事故扩大的隐患 。

四、保护接线错误的分析

1. 差动 TA 及母联 TA 二次回路极性的问题

差动 TA 及母联 TA 输入比相元件的原理接线见图 5-8。

（1）当Ⅰ母线故障时。当Ⅰ母线故障时，$\dot{I}_{320}$ 与 $\dot{I}_{431}$ 反极性，比相元件 2KPC 动作。

（2）当Ⅱ母线故障时。当Ⅱ母线故障时，$\dot{I}_{320}$ 与 $\dot{I}_{431}$ 同极性，比相元件 1KPC 动作。

2. 比相元件与出口继电器的对应关系

由图 5-2 可知，当比相元件 2KPC 动作以后应起动 2、4、6KCO，跳开Ⅱ母线上的所有断路器，当比相元件 1KPC 动作以后应起动 1、3、5KCO，跳开Ⅰ母线上的所有断路器。

3. 结论

根据以上分析得出以下结论。

（1）当Ⅰ母线故障时，比相元件 2KPC 动作，起动 2、4、6KCO，跳开Ⅱ母线上的所有断路器。

（2）当Ⅱ母线故障时，比相元件 1KPC 动作，起动 1、3、5KCO，跳开Ⅰ母线上的所有断路器。

这种对应关系是矛盾的，也是保护误动的根本原因。

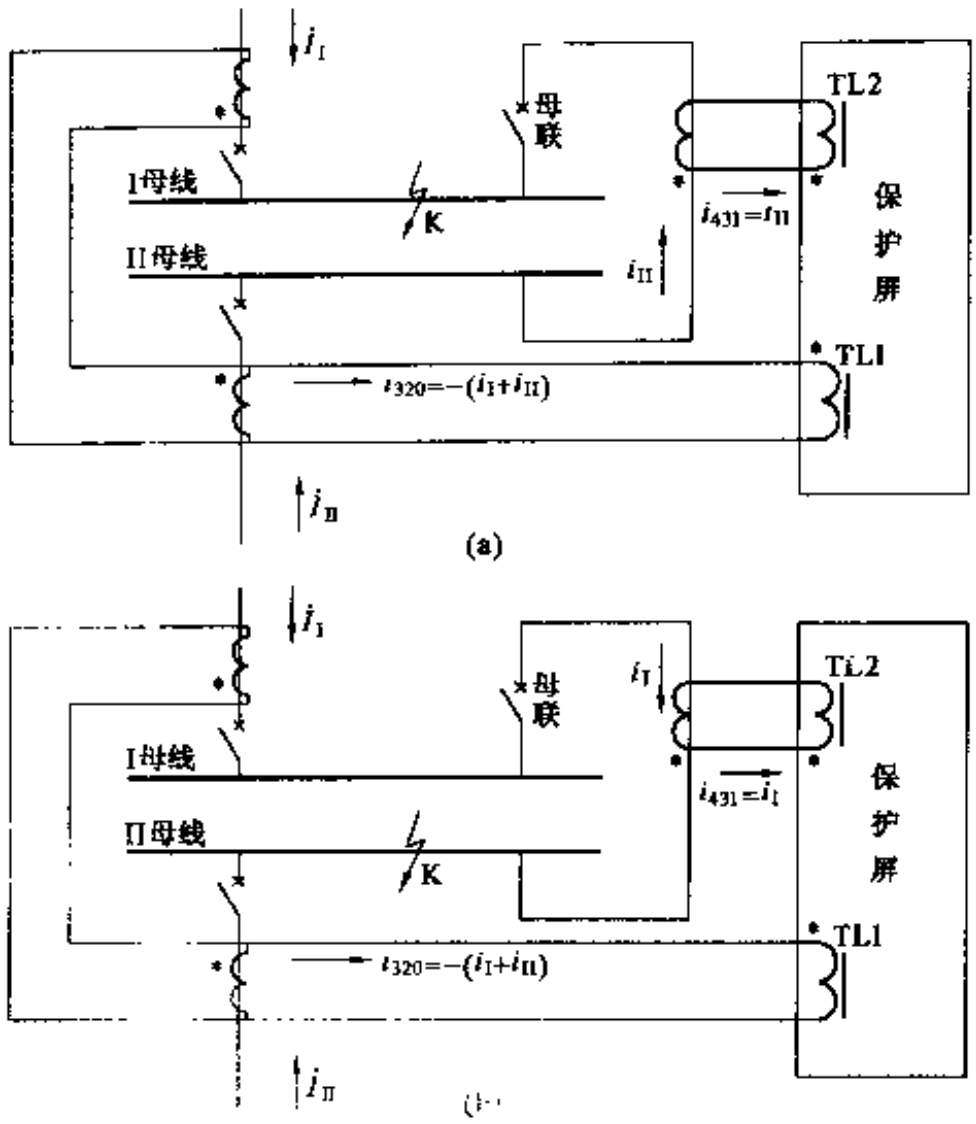


图 5-8　母线故障时电流的相位分析

(a) Ⅰ母线故障时 $\dot{I}_{320}$ 与 $\dot{I}_{431}$ 反相位；(b) Ⅱ母线故障时 $\dot{I}_{320}$ 与 $\dot{I}_{431}$ 同相位

五、解决的办法

对于这种问题可采取的措施有几种。

1. 改变 TA 的极性

从原理上讲，改变差动 TA 的极性或改变母联 TA 的极性效果一样，但是由于差动 TA 回路多，只有每相首尾全部对调才行，所以应该调整母联 TA 的极性。

2. 改变出口继电器的起动回路

将出口继电器 1、3、5KCO 和 2、4、6KCO 的起动关系相对调，即将 39 端子和 40 端子的输入线相对调。

第二节　XZ发电厂三相不一致保护中零序电流的分析

一、问题的提出

XZ 发电厂 500kV 系统为一个半断路器的接线方式，在断路器并串运行前三相电流的对称良好，但当有两串或更多串并列后，其三相电流不再对称，断路器的三相不一致零序

电流保护中有零序电流流过，测量时最高的零序值达到0.04A（TA二次电流为1A制）。

二、系统接线及保护的原理简介

XZ发电厂500kV系统结构见图5-9，目前有4串设备投入了运行，第一串联变的低压侧220kV，与电厂的1号、2号机组相连接，第三串尚未安装，作为设计预留，3号、4号机组发电容量为300MW，5号、6号机组发电容量为600MW。

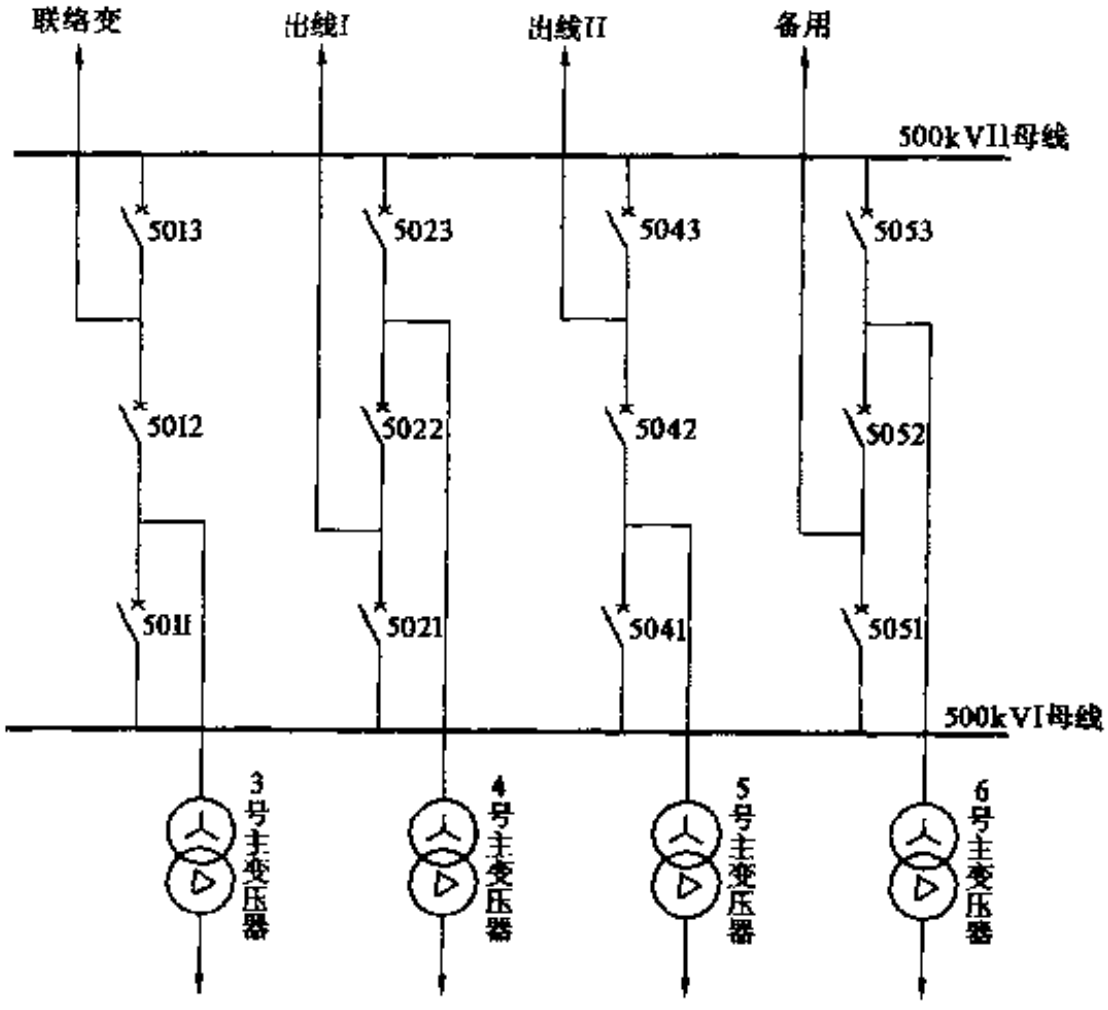


图5-9　XZ发电厂500kV升压站系统结构简图

500kV断路器三相不一致保护以第5串5053断路器为例说明如下，5053断路器的三相不一致保护的原理电路如图5-10。三相不一致保护以零序电流作为判据，零序电流是以三相电流互感器构成的零序电流滤过器获得，保护在断路器三相正常运行时被闭锁，只要其中的一相断开后开放，此时如果零序电流达到其定值则出口动作发出跳闸命令。

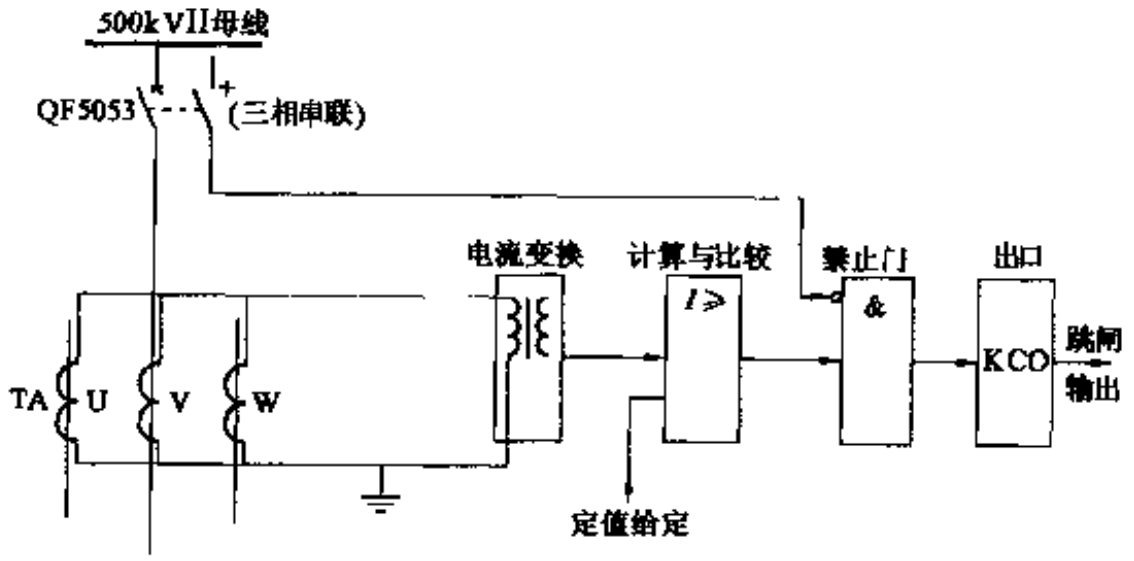


图5-10　5053断路器三相不一致保护逻辑图

从保护的原理可见，如果正常运行中零序电流达到保护定值，那么当断路器辅助触点有问题时保护会误动，即失去了保护中零序电流的闭锁作用。

三、并串后出现零序电流的原因分析

这一问题是在5号机并网之前发现的，当时要将第4串合环运行以便校验5041断路器TA和5042断路器TA二次之间的相对极性，测得的每组之间的三相TA的电流不对称，6号机组并网前再次遇到类似情况，当时将第5串合环校验5052断路器TA和5053断路器TA之间的二次电流的极性，在升压站测到的一组参数见表5-1。

表5-1　　实测的5053断路器TA二次电流的数值

项　　目	U　相	V　相	W　相	N　相
电流（mA）	39	42	62	22
相位（°）	参考点	112	277	—

TA的变比为1250/1A，换算到一次侧的电流分别为：U相36A，V相40A，W相65A。三相电流的数值相差很大，在二次中性线上也有较大的零序电流出现。二次零序电流与TA二次侧三相电流的不平衡而产生的不平衡电流概念不同，其实质是一次系统中的不平衡产生的零序电流分量，正常时三相不一致保护即零序保护有指示。造成不平衡的原因主要是隔离开关接触电阻的差别所致，由于升压站内部的各串接线的长度有限，所以在并联串的电流的分布系数中，隔离开关的接触电阻不能忽略。虽然各串之间的互阻抗的不对称对不平衡也会有影响，但是升压站的三相元件的排列较为对称，再加上连线较短，所以此处可以忽略不计。

另外这种分流的不平衡，从整体的影响上看不会有多大，因为发电机输出的三相电流是平衡的，线路送出的三相电流也是平衡的，都有 $i = i_1 + i_2$，见图5-11。不平衡只不过是站内现象，对系统、用户和通信的影响可以忽略不计

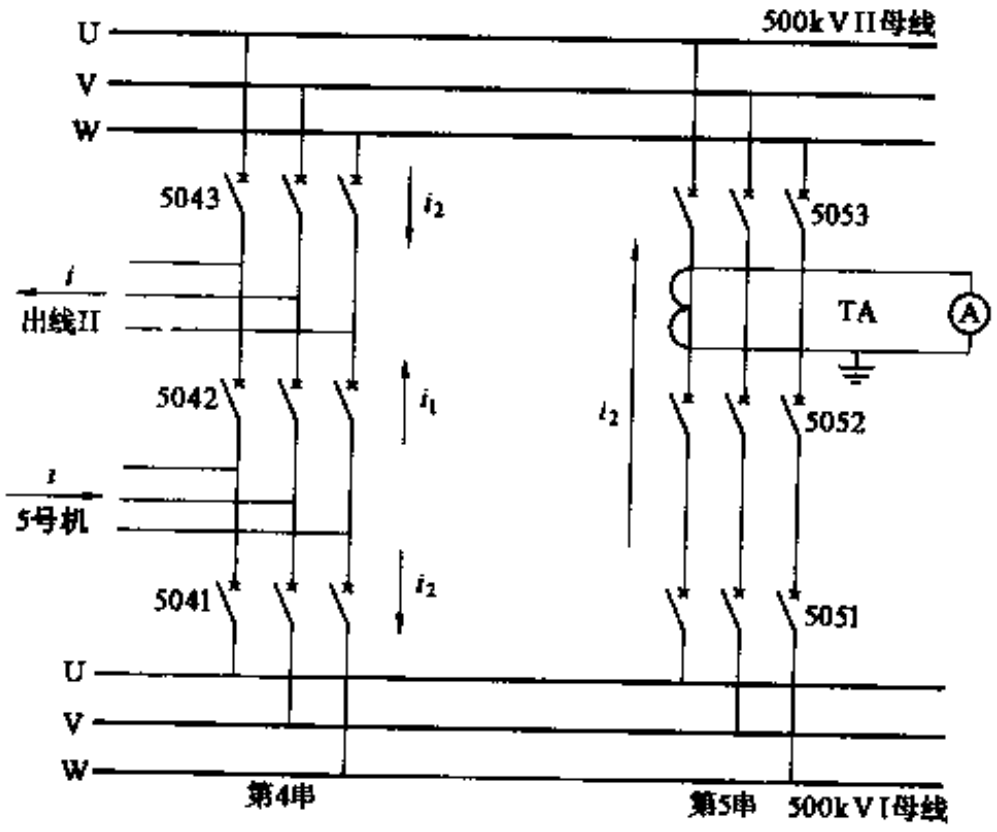


图5-11　第5串不平衡电流分布情况

四、解决办法

有两种途径可以使电流不平衡的程度减轻。

1. 隔离开关触头定期清擦

所有隔离开关都能接触良好，接触面没有污物是各相连线之间参数平衡、电流平衡的重要条件。

2. 导线接头规范化

由于每一串上的隔离开关很多，所以接头的规范问题不可忽视，统一规格、统一接线标准则是三相平衡的又一关键因素。

第三节　ABR热电厂210断路器误动跳闸的原因分析

一、故障现象

××年10月8日16时50分，220kV母联断路器三相210跳闸，根据记录，当时系统运行正常，发电厂内部运行正常且无任何操作，关于210断路器的运行方式见图5-12。210断路器为正常的联络方式运行，基本上没有负荷联系，断路器跳闸后也没有任何信号发出。如此判断210断路器跳闸是误动作，误动现象已经发生过2次。故障时的运行方式如下。

接Ⅰ母线的设备：201、202、212、213断路器。

接Ⅱ母线的设备：204、211断路器。

母联断路器在运行状态。

二、系统及保护状况简介

1. 220kV系统状况

ABR热电厂220kV配电系统为引进的整体式GIS结构，母线、断路器、隔离开关、TV、TA等设备都是SF_6绝缘，并装在套筒的内部，设备的布置相当紧凑，制造的工艺也很先进。这套设备有如下特点。

（1）免维护。由于电气配电的设备都密封在金属套筒内，SF_6的绝缘水平也相当不错。按生产厂的规定，正常的设备可以20年免维护。

（2）室内安装。配电设备的结构紧凑体积小，与同样的220kV配电站相比的体积要小得多，装到室内对设备的运行可靠性提供了保障。

（3）母联断路器带旁路时，被带断路器不能退出。从220kV配电系统的结构上可以看出，210断路器为母联断路器，不兼旁路。考虑到负荷开关的免维护性，而设计成这种结构。当母联断路器带旁路时，被带的断路器无法退出运行，有关带路的外围设备，例如继电保护设备等，可以退出进行检修、检查或调试等。

（4）运行可靠。自从这套母线设备投入运行至今已接近10年，曾出现过母线TV击穿事故和210母联断路器误动跳闸问题。

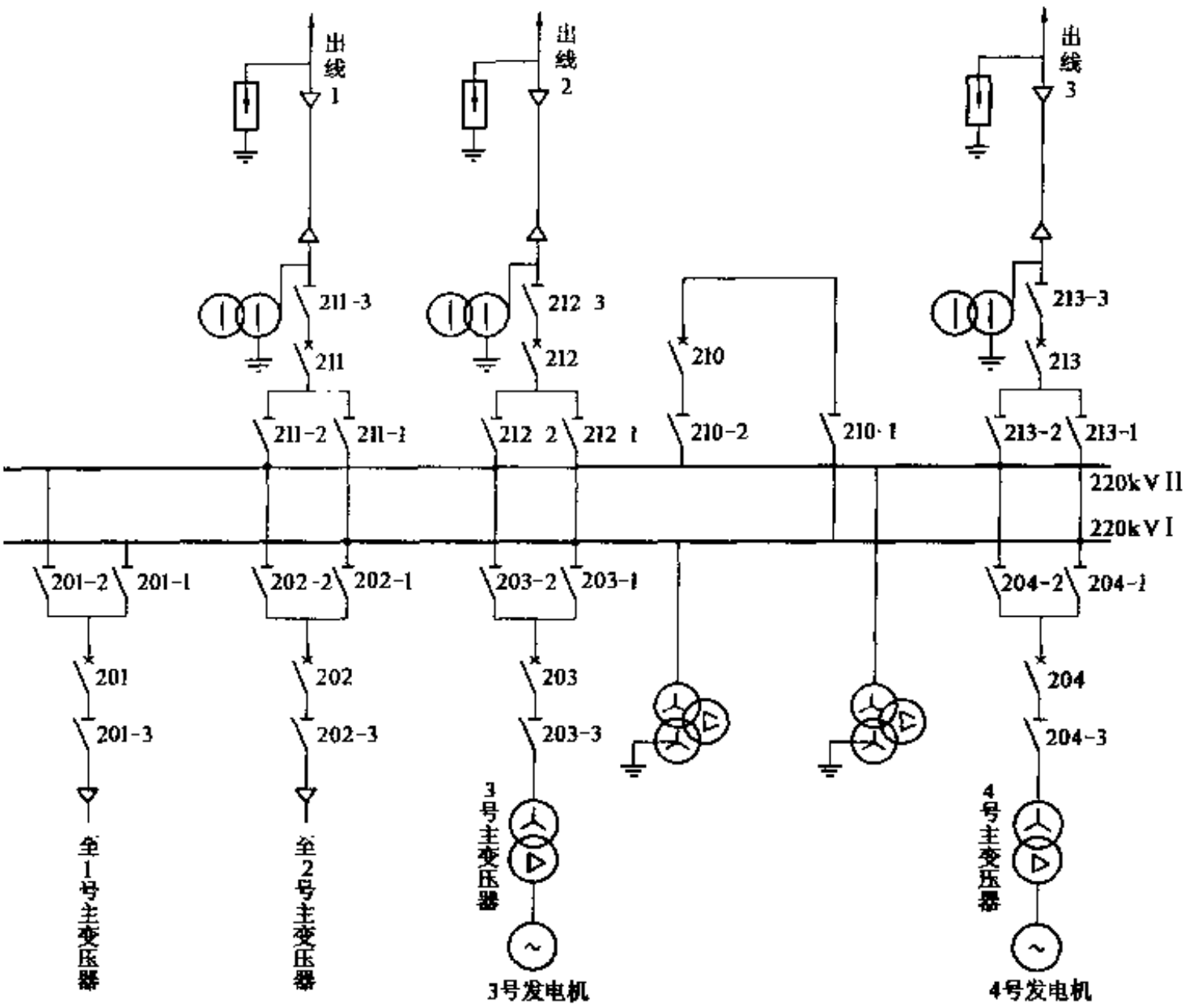


图 5-12　电气主系统简图

(5) 运行方式稳定。根据统计，正常运行时Ⅰ母线带 1 号机、2 号机、2 号出线、3 号出线，Ⅱ母线带 3 号机、4 号机及 1 号出线，母联断路器投入运行。非正常的方式即母联带线路的方式，一年只有十几天，正常的运行方式占绝大多数比例，因此这种运行方式是稳定的。

2. 保护简介

母联断路器的保护有专门的线路微机型保护，有作为带路时用三套高频保护配专用的收发信机，另外还有发变组保护、母联保护、各断路器的失灵保护与母联相关，分别说明如下。

(1) 微机型保护。微机保护装置，采用了多单片机并行工作的硬件结构，设置了 4 个硬件完全相同的 CPU 插件，每个 CPU 插件独立完成一种保护的功能。这种结构提高了硬件的可靠性，4 个插件中如有一个损坏，不会影响其他 3 种保护的工作；单片机插件上包括了所有电子器件，易受干扰的部分均不引出插件，提高了抗干扰能力；每只单片机只承担一种保护功能，保护的动作速度水平有所提高；CPU 的巡检功能，可方便的查询到各部位电子器件的故障，从而缩短了故障处理的时间。保护的出口开放回路采用了三取二逻辑，提高了装置的可靠性。

保护的出口插件简介：由于 210 断路器误动跳闸时微机保护的工作电源没有投入，只

有出口的触点在跳闸回路中，因此对保护的出口插件作一介绍。保护的出口回路见图 5-13。出口继电器是干簧式继电器，保护的跳闸连接片的位置在出口继电器的起动回路中，而其触点不再受连接片的控制。跳闸触点的接线见图 5-14。这种接线方式下，退出保护的操作仍分为两步。第一，退出保护的连接片；第二，断开保护的工作电源。但是保护退出以后，其跳闸回路仍然在投入状态，即保护触点的闭合仍然能起动跳闸。

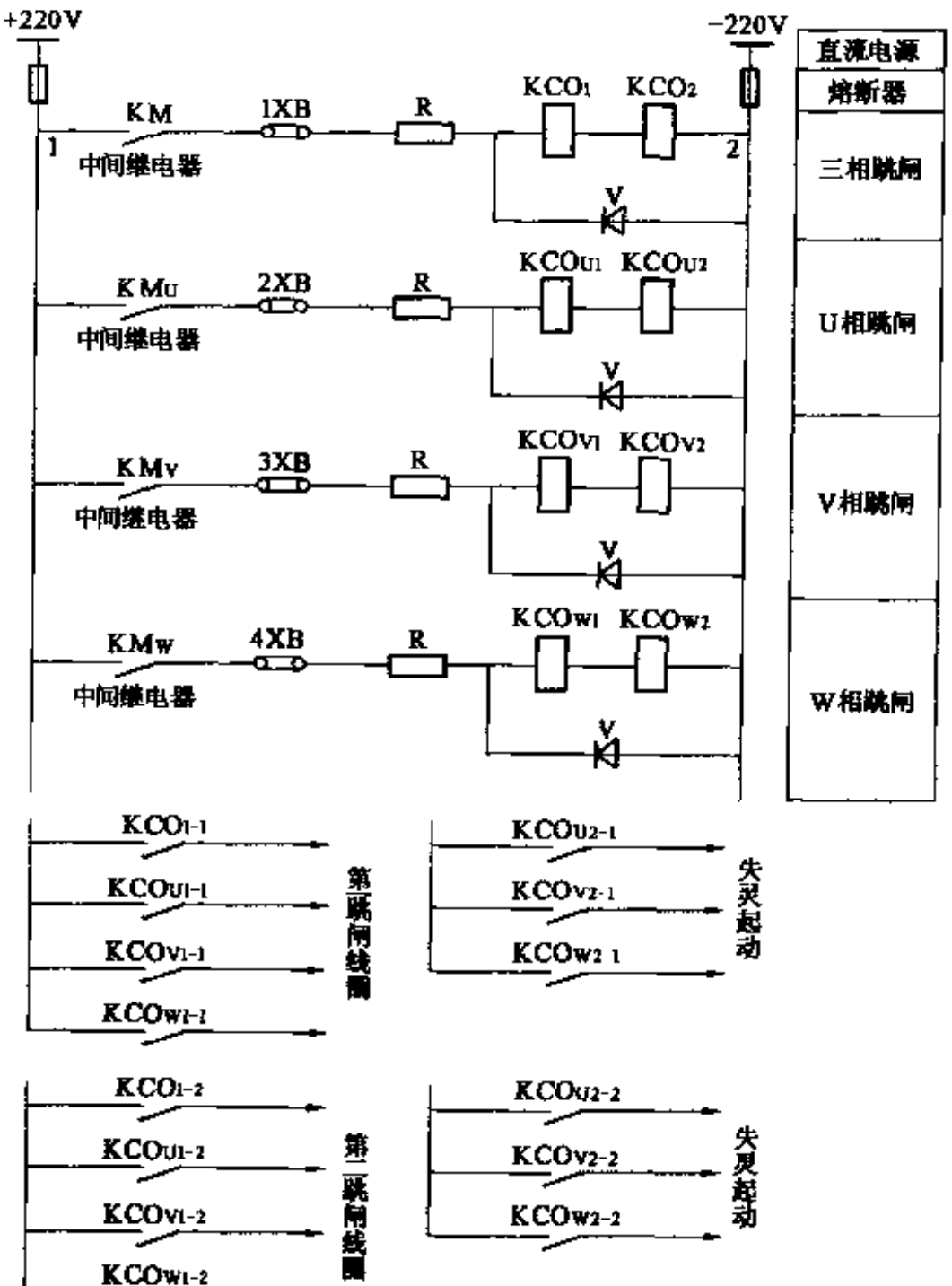


图 5-13　出口跳闸继电器接线

（2）其他保护简介。母联开关在运行过程中，有下列保护起动跳闸：220kV 母线保护，1 号变压器保护，2 号变压器保护，3 号变压器保护，4 号变压器保护，所有的断路器失灵保护。为了便于分析，将上述跳闸触点回路示于图 5-15。

三、故障的检查过程及分析

1. 断路器偷跳的可能性

SF_6 断路器合闸后是靠气体压力实现机械闭锁的，这种闭锁的措施也称为防偷跳措施，要使断路器跳开至少需要 20kg 左右的外力来克服气体闭锁的作用力。跳闸线圈的跳

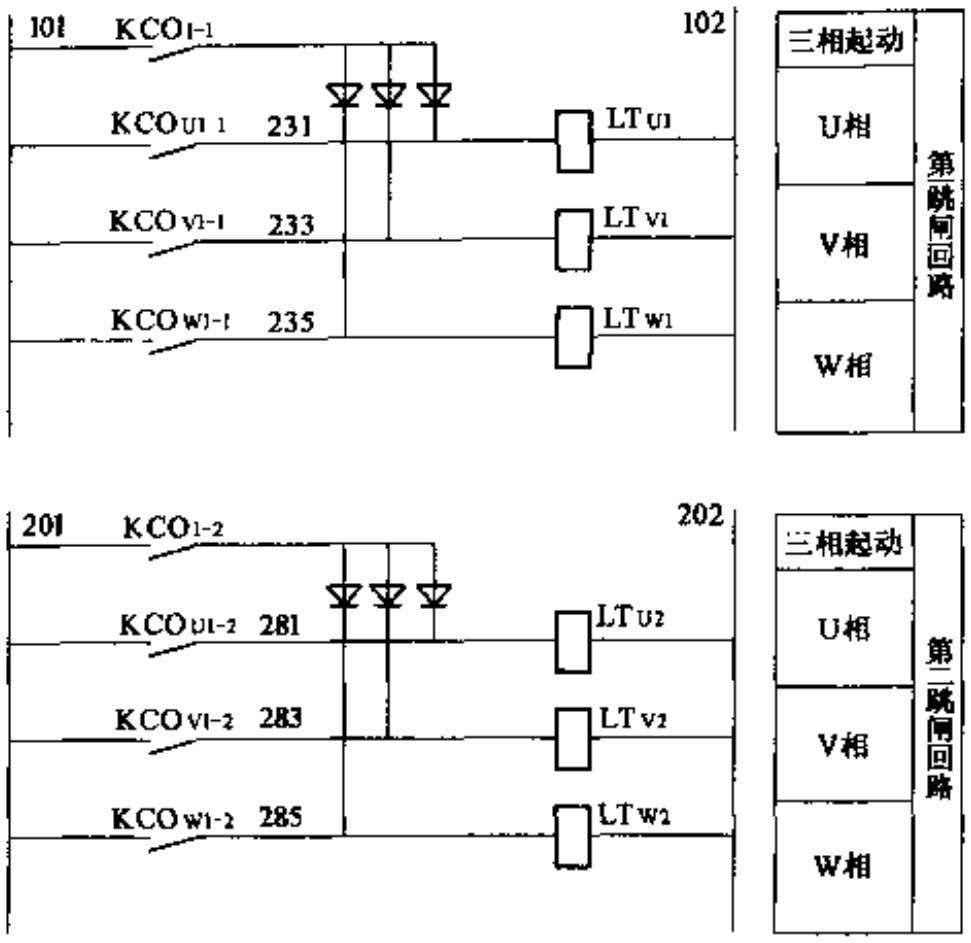


图 5-14　210 断路器的跳闸回路

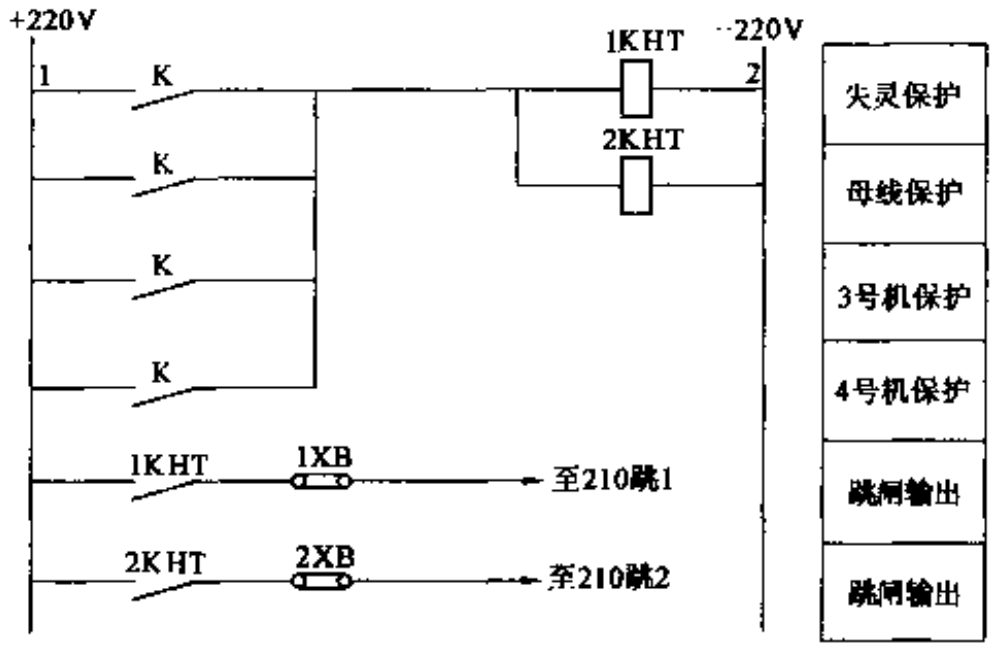


图 5-15　220kV 操作继电器屏的手动跳闸继电器接线

闸就是使其动作后产生的外力使断路器跳开，即断路器偷跳的可能性是不存在，因此排除了偷跳的可能性。

2. 绝缘击穿的可能性

断路器的操作电源电压为 220V，在 220V 的作用下保护的触点能够击穿吗？为排除这种因素用 1000V 的兆欧表做了大量的绝缘检查工作，结果如下。

（1）WXB—11 保护屏插件检查。

8 号插件	两触点之间	> 100MΩ。
	触点对外壳	> 100MΩ。
9 号插件	两触点之间	> 100MΩ。

	触点对外壳	> 100MΩ。
10 号插件	两触点之间	> 100MΩ。
	触点对外壳	> 100MΩ。
11 号插件	两触点之间	> 100MΩ。
	触点对外壳	> 100MΩ。

(2) 跳闸回路的绝缘检查。

第一跳闸回路	231	对地	100MΩ。
	233	对地	100MΩ。
	235	对地	100MΩ。
第二跳闸回路	281	对地	100MΩ。
	283	对地	100MΩ。
	285	对地	100MΩ。

(3) 母联断路器操作继电器屏的绝缘。

失灵保护起动触点 1-11　　1000MΩ。

3 号机保护起动触点 1-11　　500MΩ。

4 号机保护起动触点 1-11　　400MΩ。

母差保护起动触点 1-11　　1500MΩ。

(4) 开关柜跳闸线圈的绝缘。

均大于 250MΩ。

从上述的结果来看，回路绝缘均正常，无击穿现象。

3. 人为误碰的可能性

据介绍在 220kV 配电盘，微机保护屏以及 210 断路器操作继电器屏附近虽然有人工作，但是没有人误碰其他设备。

4. 保护误动的可能性

由保护跳闸回路的接线可知，能导致 210 断路器三相跳闸的因素有两个：即微机保护动作或操作继电器动作。

(1) 操作继电器误动作。操作继电器是 DZB 型的大型继电器，7 年的运行经验证明这种继电器不会误动作。

(2) 微机保护出口触点的闭合。要使微机保护的出口触点闭合，即出口动作有几种可能。

1) 由前级保护起动。该保护已经退出，保护的连接片在断开位置，所以由保护起动出口的疑点不成立。

2) 感应电压等使保护出口误动作。对出口的三相跳闸继电器的动作电压做试验，结果为两只串联的干簧继电器的动作电压为 50V。要使该继电器误动作必须有 50V 以上的感应电压，对回路的检查没有 50V 电压也没有寄生的回路存在。

3) 其他原因。经过大量的分析检查及试验，最后证实是振动使得出口继电器 KCO1 触点抖动而闭合跳闸。

四、采取的措施

为了避免上述问题再次出现，采取如下措施。

1. 更换出口继电器

更换一只性能良好的出口继电器。

2. 起动备用连接片

210 断路器保护的出口跳闸连接片设在干簧继电器之前，在保护退出时其跳闸回路没有退出来，为此将母联保护屏的 6 只备用连接片起用，分别串入两路跳闸回路的 U、V、W 相。在母联断路器不带路时将连接片断开，达到微机保护彻底与其他运行回路分开的目的。

3. 加信号继电器

在 220kV 操作继电器屏，装设一只信号继电器串入 1KHT、2KHT 的起动回路中，这样就可以在以后的事故分析中得到更多的有用的信息。

第四节　YH热电厂 110 kV母线保护不平衡电流超标

一、现象

YH 热电厂的 110kV 母线保护投入运行以后，差动回路的不平衡电流远远超过了规程规定的 50mA，最大的一相电流差达 1.1A，因此保护不能继续运行，决定全部停电检查。

二、110kV 母差保护的接线与 TA 配置

YH 热电厂 110kV 的母线设备及 TA 的配置情况介绍如下。

1.110kV 母线设备

YH 热电厂 110kV 的母线设备情况见图 5-16。

2.TA 的配置情况

110kV 母线保护 TA 的配置有 2 种。

（1）LRD—110 型。出线 3，出线 4，1 号主变压器，2 号主变压器，高压备用变压器元件配 LRD—110 型 TA，变比为 600/5A。

（2）$LCWD_2$—110 型。出线 1、出线 2 以及母联断路器配 LCWD2—110 型 TA，变比为 600/5A。

三、造成母差保护不平衡电流的原因查找及分析

1. 母线保护 TA 的数据检查

在 TA 进入安装施工现场以前，曾完成了全部的试验项目，其实验数据均正常，各 TA 的变比也与标称值相吻合。

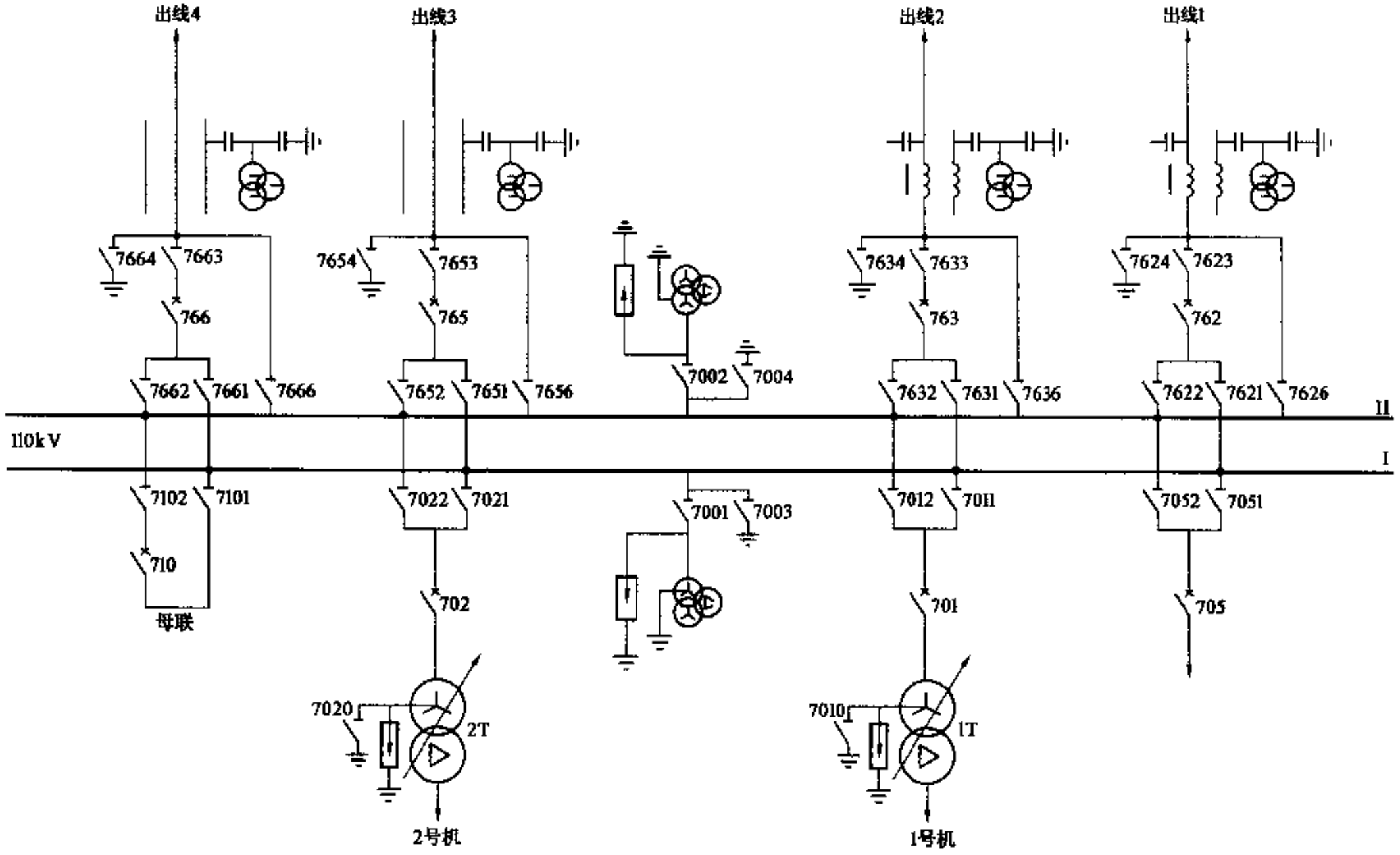


图 5-16　YH 热电厂 110kV 主系统图

2. 安装就位情况下 TA 的伏安特性检查

在 TA 各就其位的状况下，进行了其伏安特性的测试，有关的实验数据见表 5-2。

表 5-2　　TA 的伏安特性实验

	I（A）	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1	2	3	4	5
U（V）	出线 1TA	25	91	235	352	384	392	401	408	412	416
	出线 3TA	80	104	146	160	168	171	174	177	178	179
	1 号主变 TA	26	86	239	341	393	403	415	422	427	430

3. 安装就位情况下 TA 的变比试验

对 LCWD2—110 型 TA 以及 LRD—110 型 TA 的变比分别做了试验，测试数据见表 5-3。

表 5-3　　两种 TA 在安装位置下的 TA 变比试验

项　　目	一次电流（A）	二次电流（A）		
		U 相	V 相	W 相
LCWD2—110	180	1.5	1.5	1.5
LRD—110	180	1.2	1.2	1.2

4. 系统送电后测试检查

对 110kV 送电后的测试数据见表 5-4。

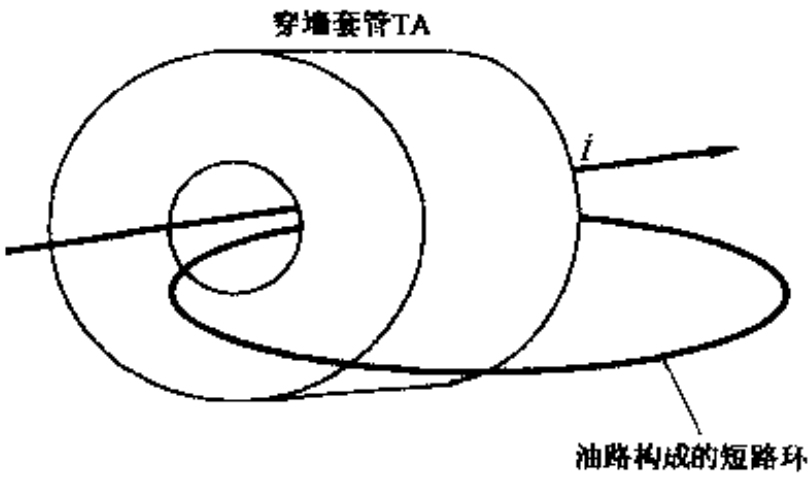


图 5-17　油路构成的短路环示意图

表 5-4　　母线送电后的结果检查

项　　目	一次电流（A）	二次电流（A）		
		U 相	V 相	W 相
出线 1（LCWD2—110）	340	2.8	2.8	2.8
高备变（LRD—110）	340	1.8	1.8	1.8
母联（LCWD2—110）	340	2.8	2.8	2.8

以上数据表明，LRD—110 型互感器的变比误差大，其伏安特性不稳定，将该型号 TA 的充油管路拿去后，一切正常。因此充油管路是造成 TA 误差的根本原因。由于充油管路、墙壁、导体构成了磁路的短路环使 TA 的磁路结构发生了变化，其特性与安装前差别很大。充油管路构成的短路环见图 5-17。

四、解决方法

用绝缘垫将油箱垫起来，使磁路环被阻断，问题得以解决，数据恢复到设计范围内，母线投入运行以后母差保护的不平衡电流值小于 10mA，属于正常。

第五节　YB发电厂 110 kV母线保护误动作

一、故障现象

1990 年 10 月 25 日 10 时 55 分，YB 发电厂 644 断路器出线线路发生 W 相永久性故障，故障点在厂外 1km 处，故障是由于外部工程使用吊车，长臂碰到高压线引起的。

故障发生后 644 断路器跳闸，故障电流为 6240A，持续 0.2s，断路器重合后又加速跳闸，故障电流为 7200A，由于故障点离厂很近，故障电流较大，造成了 644 断路器 W 相严重喷油，U、V 两相少量漏油，W 相外触头和消弧室触头烧坏，外触头拉弧时接地短路（桶内下侧有电弧烧伤痕迹），母差保护动作，跳开 640、642、645 断路器，600、641 断路器未动作，运行人员立即手动拉开了 600、641 断路器。

母差保护动作，600、641 断路器却没有跳闸，是非常严重的问题，应该彻底查清原因并进行处理。

二、110kV 系统及其母线保护简介

110kV 的系统结构如图 5-18，当时的运行方式是 640、642、644、645、600、641 断路器在合闸状态，其他断路器在断开状态。110kV 母线保护如图 5-19。在图 5-19 中，1～3KP 为相位比较继电器，1～3KD 为差动起动继电器，1～3KA 为电流继电器，保护的动作过程

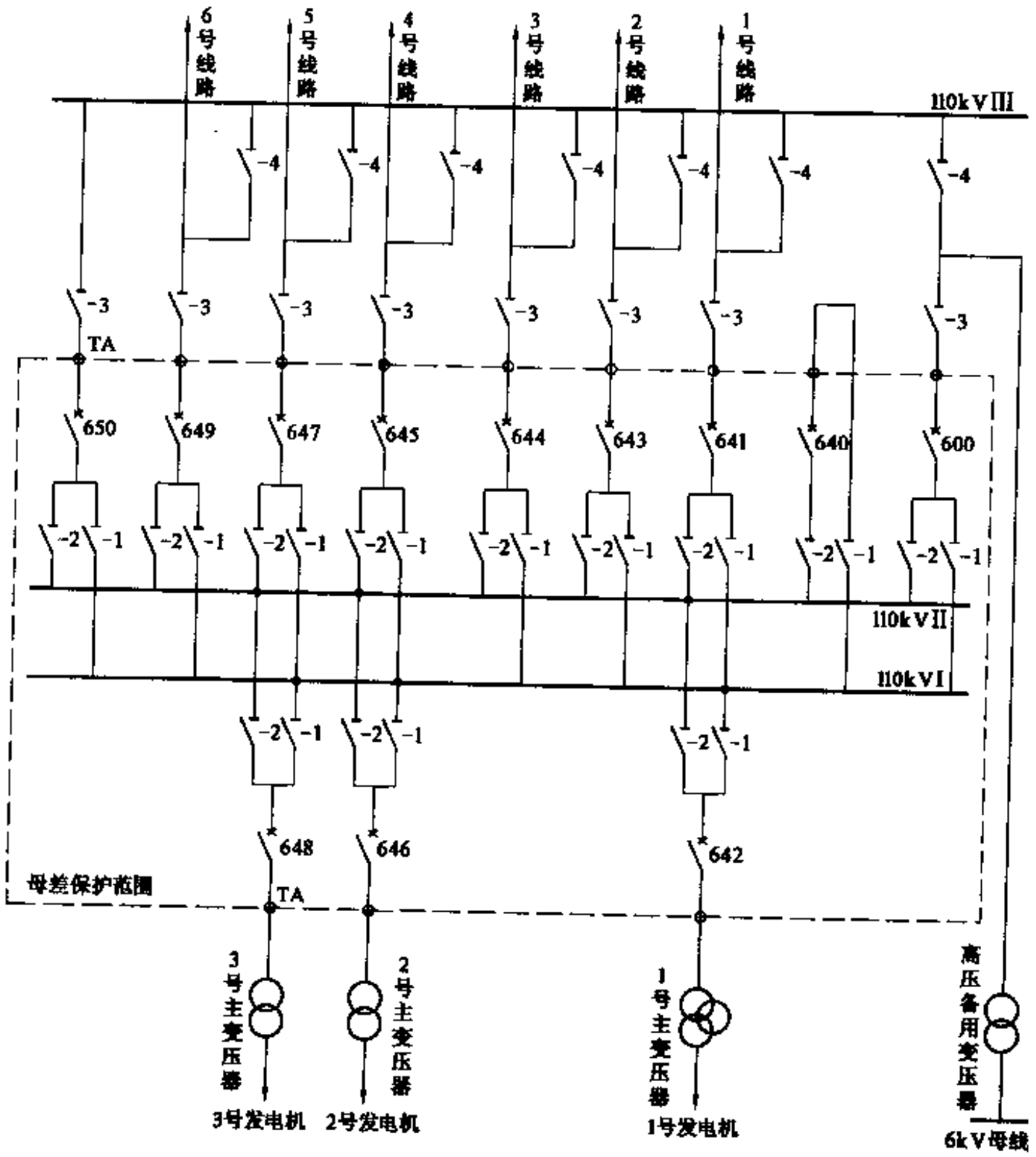


图 5-18　YB 发电厂 110kV 系统的结构图

分析如下。

1. 外部故障时

母线外部发生故障时，由于保护差动回路流过的是不平衡电流，起动元件 1～3KD 不动作，所以不会起动出口继电器 2～11KM，灵敏的电流继电器 1～3KA 因为定值很低，不平衡电流有可能达到其定值，而发出动作信号。

2. 内部故障时

当Ⅰ母线发生故障时，接于Ⅰ母线上的电压继电器 1～4KV 动作，起动 12KM，起动元件 1～3KD 流过故障电流而动作，相位比较元件 1～3KP 因感受到Ⅰ母线故障其 $1KP_1$、$2KP_1$、$3KP_1$ 触点闭合，所以正电源经过 1KM 常闭触点、1～3KD 常开触点、12KM 触点加到Ⅰ母线信号继电器 1KS，及出口中间继电器 2KM、3KM、4KM、8KM、11KM，并使其动作，跳开了母联及Ⅰ母线上的所有断路器。

当Ⅱ母线上发生故障时，其分析过程如上。

另外保护还设有 TA 回路断线闭锁功能以及充电保护功能。

三、600、641 断路器未跳闸的原因查找与分析

根据保护的原理接线可知，当母线保护动作以后，600、641 断路器应该跳闸，实际没有跳开，对此进行了以下检查。

1. 保护跳闸实验

将 600、641 断路器合闸后，用保护出口跳闸正常。

2. 出口中间的动作时间测试

对跳 600、641 断路器的中间继电器 9KM、11KM 进行动作时间测试，结果为 145ms，而其他出口的动作时间要小得多。

3. 断路器 600、641 未跳闸的原因分析

由以上实验结果可知，当母线发生故障时，母差保护动作，跳开 640、642、644、645 断路器，此时供短路点的故障电流已经消失，差动继电器返回，而 9KM、11KM 尚未到动作时间，因此 600、641 断路器在母线故障保护动作后没有跳闸。

四、采取的措施

为了防止上述事故的重演，可采取以下措施。

1. 将 9KM、11KM 改为快速中间继电器

将 9KM、11KM 改为快速中间继电器，其延时时间在 10ms 左右，可以解决上述问题。

2. 将跳 640 母联断路器与跳 641 断路器的中间继电器对换

（1）将 2KM、5KM 由跳 640 断路器改为跳 641 断路器。原来 2KM、5KM 出口中间继电器跳 640 断路器，2KM、5KM 的动作时间短，现改为 2KM（Ⅰ母线）5KM（Ⅱ母线）跳 641 断路器。

（2）将 9KM、11KM 由跳 641 改为跳 640 断路器。即 640、641 的跳闸出口回路对换，接线如图 5-20。

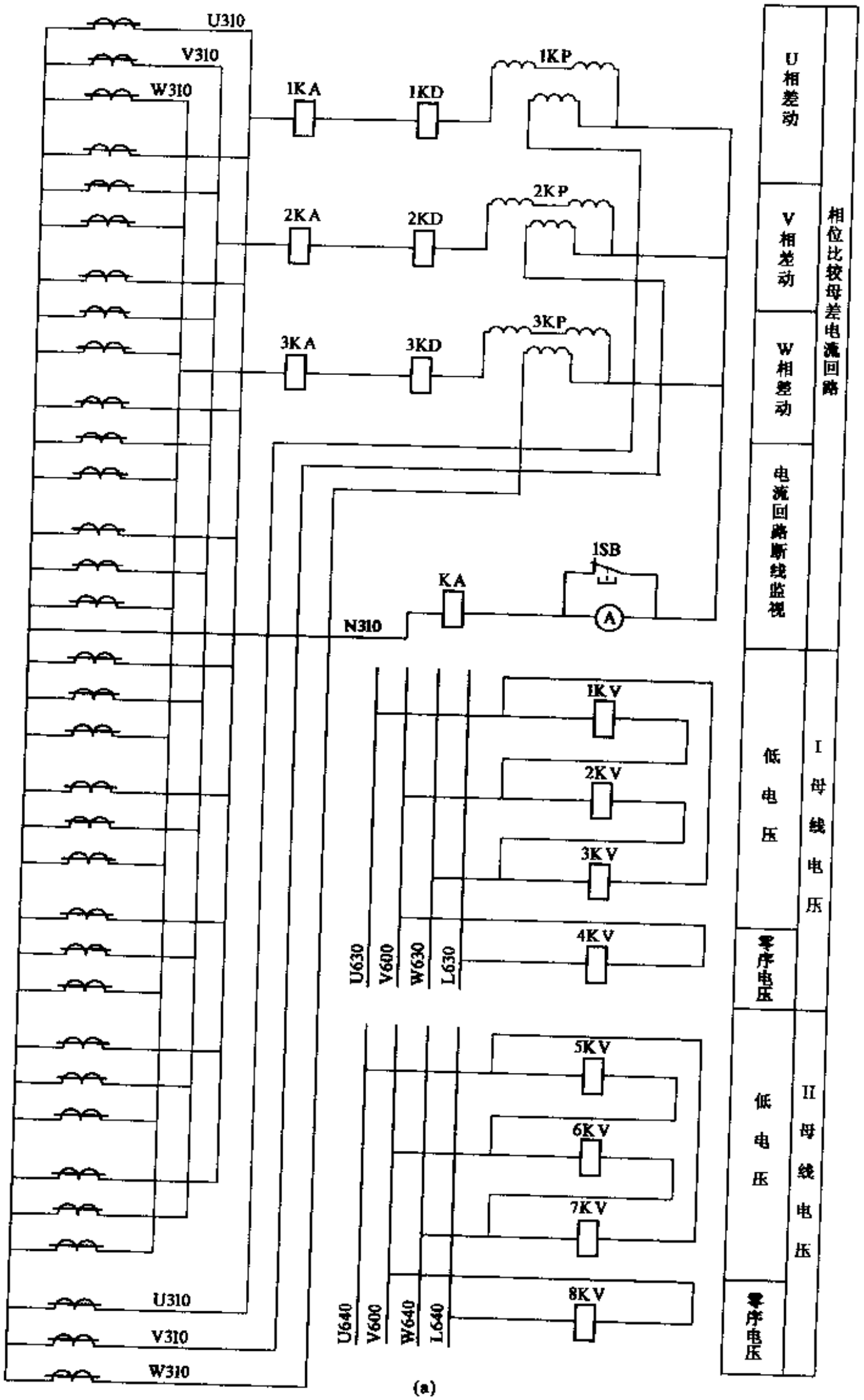
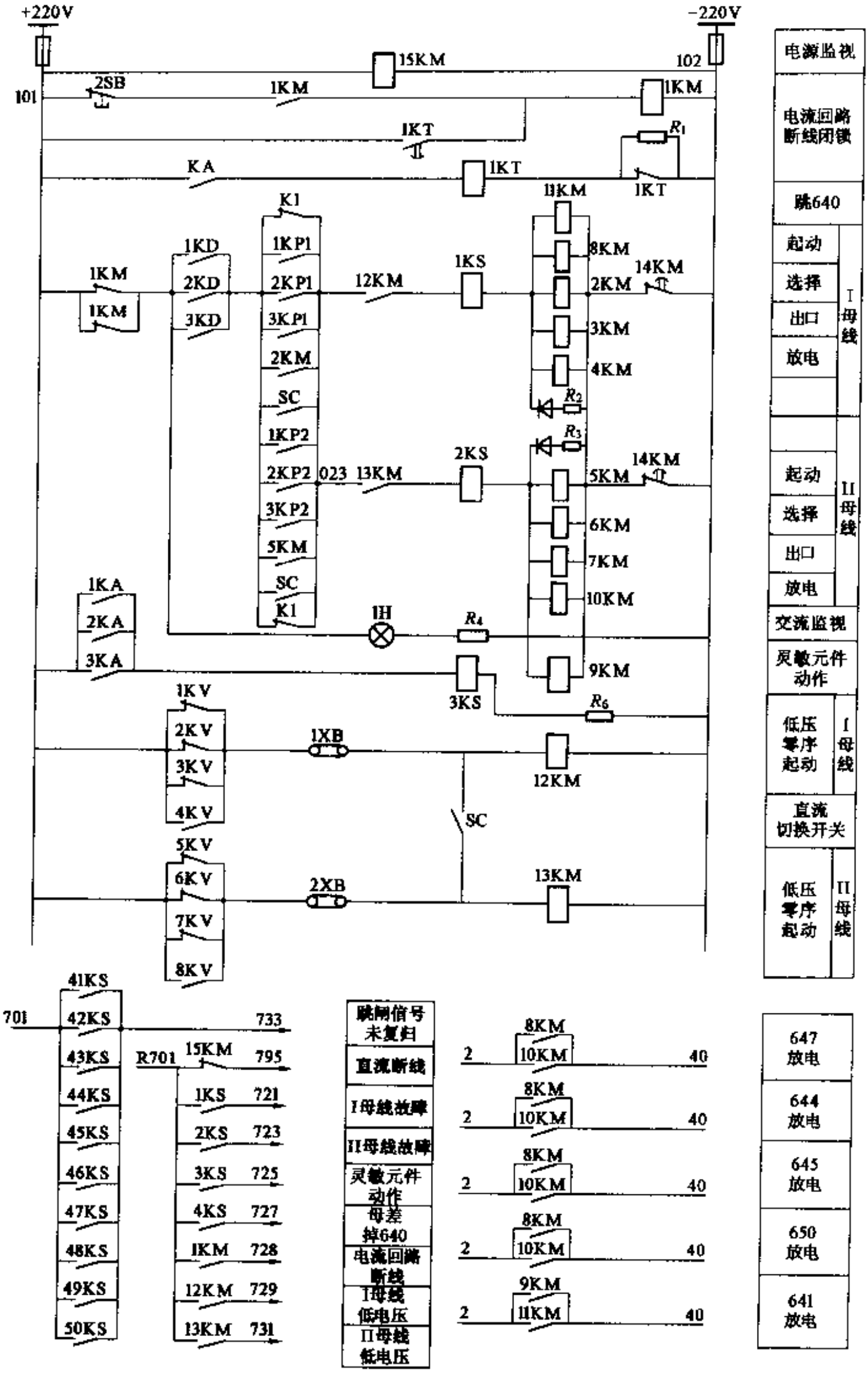


图 5-19　110kV 母线保护图（一）

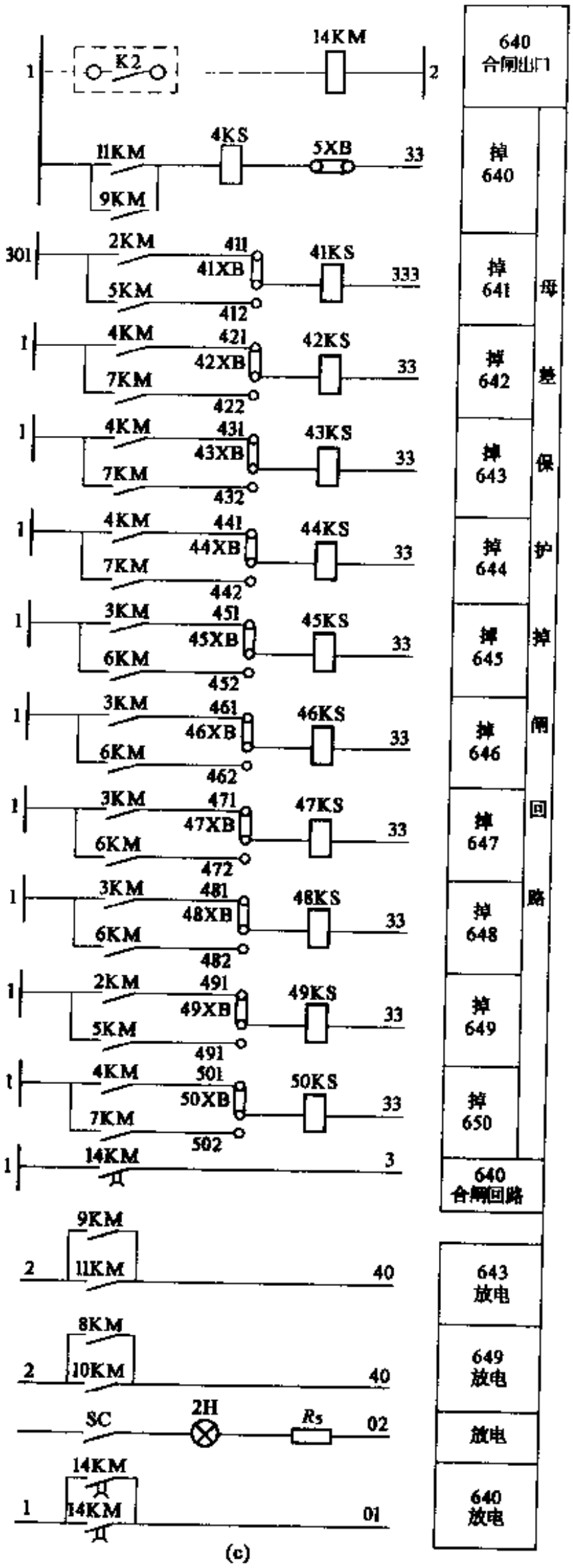
（a）交流部分



(b)

图 5-19　110kV 母线保护图（二）

（b）逻辑部分



(c)

图 5-19　110kV 母线保护图（三）

（c）触点信号部分

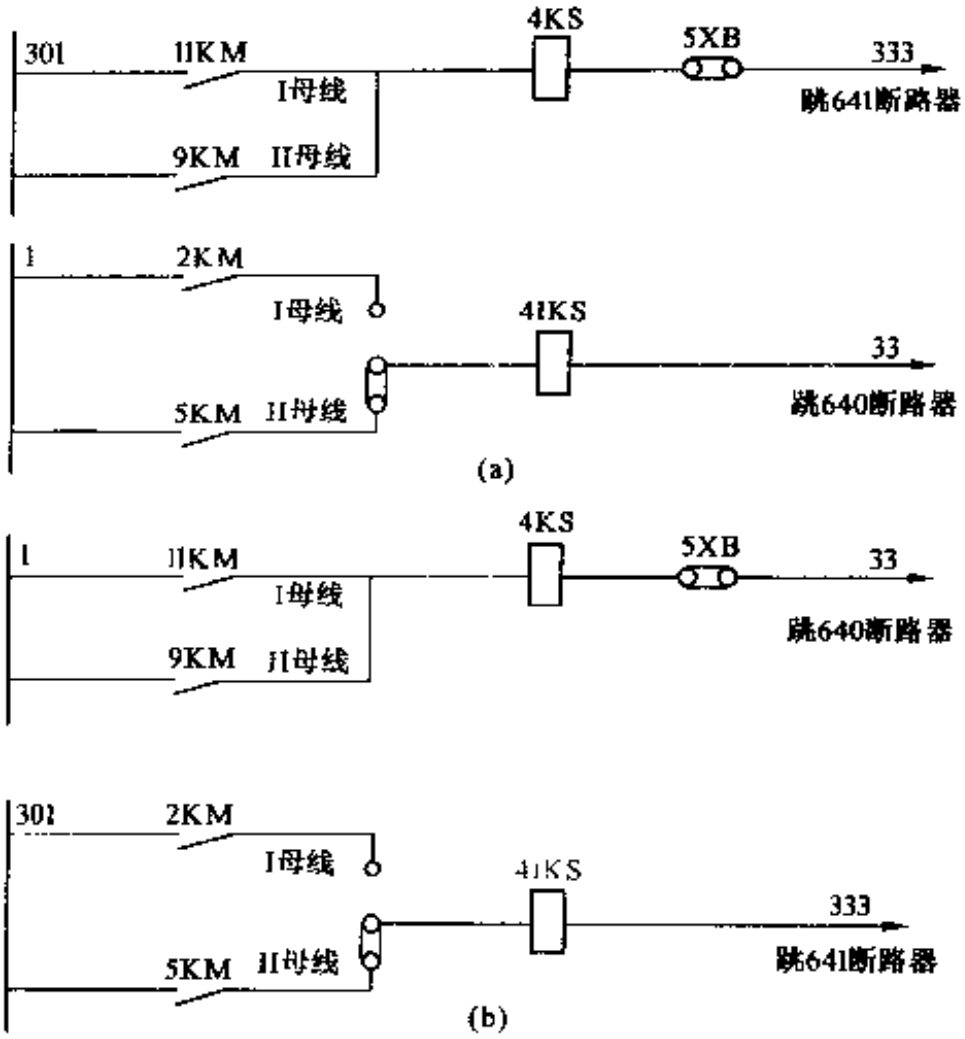


图 5-20　640、641 断路器跳闸回路改动情况

（a）原来的跳闸回路；（b）改后的跳闸回路

最后采取了第二方案。

3. 评价

（1）采用第一方案。采用快速中间继电器是最为理想的方案，对解决问题、排除故障最为彻底。

（2）采用第二方案。采用第二方案虽然能解决电源线 641 断路器不能跳闸的问题，但是，644 断路器 TA 外侧故障，641 断路器不跳闸是没有关系的，因为 644 断路器跳开，其故障实际上已经被切除；对于母线上发生的故障，640 断路器的跳闸中间继电器的动作时间慢，延长了故障的切除时间，对系统稳定不利。因此应该使用第一方案。

4. 结论

根据上述分析，采用第二方案仅是在无快速中间继电器备品的情况下的暂时方法，根本的方法是将母线保护所有的出口继电器全部更换为快速中间继电器，以消除隐患。

第六节　HYR热电厂干簧继电器误动作

一、故障现象

HYR 热电厂 4 台机相继投产以后，在 10kV 系统中就存在着拉一台断路器其相邻断路器也跟着跳闸的现象（例如：拉 110 断路器时 150 断路器也会跳闸），类似的事情发生过几次，没有找出原因。

二、系统情况简介

HYR 热电厂是为涤纶纤维厂直接供电的自备电厂，发电机出口电压为 10kV。10kV 母线各段经过电抗器相互连结，同时经过电抗器供给用户，见图 5-21。

三、故障的检查过程

由于该系统的结构紧凑，保护的配置以及二次回路接线较为特殊，作了大量的分析和试验工作，证实在一个干簧继电器的两副触点分别带两台断路器的接线中，当操作其中的一台断路器时，另一台断路器的跳闸回路中有时会有跳闸脉冲发出，概率大于 5%。那么

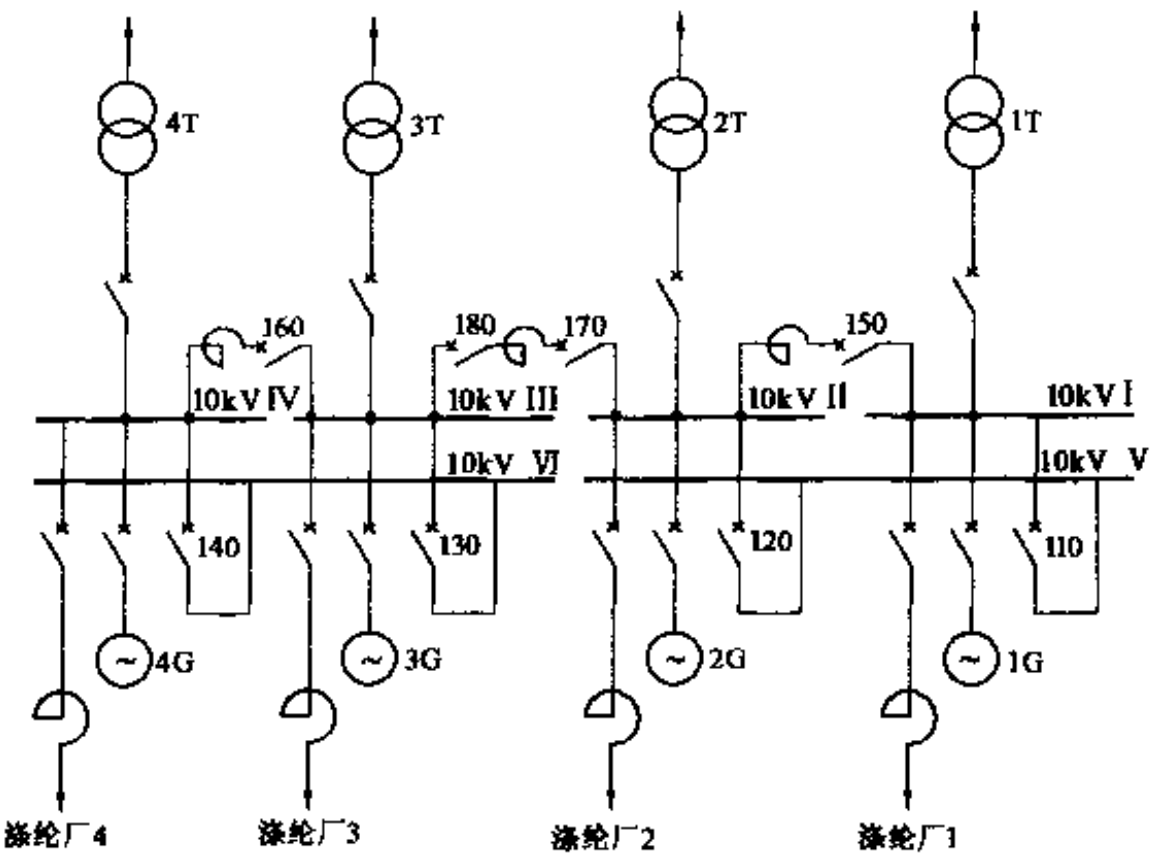


图 5-21　10kV 系统结构

干簧继电器是怎样误动的呢？下面从寻找故障点入手，对有关的试验内容作一介绍。

由于问题出在跳闸回路中，因此这里以 110、150 断路器为例，从电路结构上作如下分析。

1. 故障起源于干簧继电器触点的闭合

110 断路器为 10kV Ⅰ、Ⅴ段母联断路器，150 断路器为Ⅰ、Ⅱ段分段断路器，其跳闸回路原理电路分别见图 5-22、图 5-23。

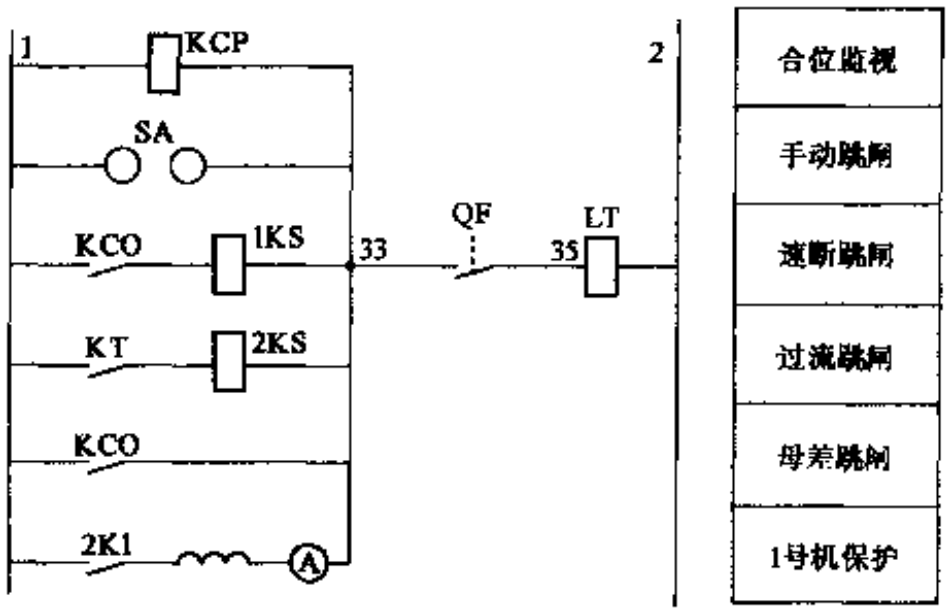


图 5-22　110 母联开关跳闸回路

操作 110 断路器时，150 断路器可能的跳闸原因有三种。

（1）绝缘问题。如果 110 断路器跳闸回路 33 对 150 断路器跳闸回路 133 之间的绝缘遭到破坏，则误动是有可能的，但是二者之间的绝缘电阻值大于 10MΩ，而且断路器之间误跳的概率不大，因此否定了这一点。

（2）感应问题。在操作 110 断路器时，150 断路器的 133 与 102 之间有感应电压出现，根据录波曲线得知峰值电压 18V，此值不可能使断路器跳闸，所以这种感应也可以忽略不计。

（3）保护误动的问题。为监视保护在断路器操作跳闸时的动作行为，在 150 断路器跳闸回路中串接一只电流表（见图 5-24），然后对 110 断路器进行手动操作跳合闸，模拟断路器的跳闸过程。从电流表的指示发现，150 断路器有跳闸脉冲发出，该脉冲是由于 1 号机保护出口插件 JCX—21 的 2K2 触点闭合所致，为此对出口插件进行了以下试验。

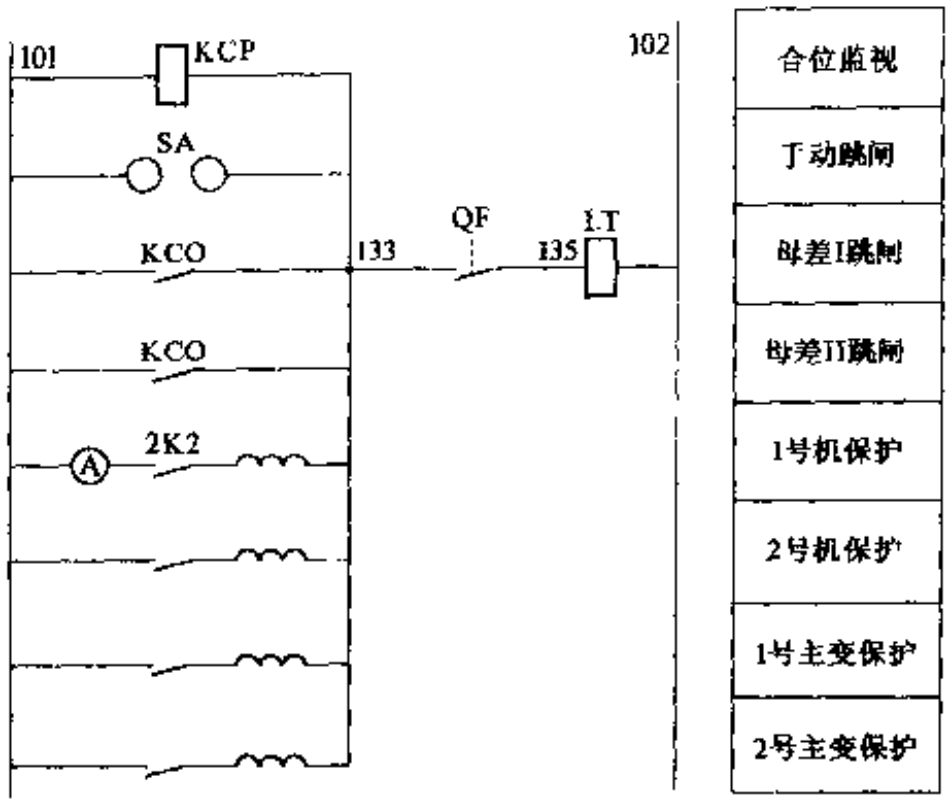


图 5-23　150 分段断路器跳闸回路

2. 出口插件的有关试验

（1）出口插件 JCX—21 的结构简介。JCX—21 型出口中间继电器原理电路见图 5-24。在 JCX—21 插件中，1K、3K 是信号继电器，当起动时间继电器 KT 动作后，1K、3K 继电器动作并能自保持，发光二极管 V_6、V_{12}指示其动作情况；2K、4K 是干簧继电器，每个干簧继电器中有两副触点分别带不同的开关，另外干簧跳闸触点带有电流自保持线圈，当触点闭合后也能自保持。

（2）继电器的静态试验。信号及干簧继电器的静态试验数据见表 5-5。

表 5-5　　继电器的静态试验内容及数据

项　　目		动作电压 (V)	返回电压 (V)	动作时间 (ms)
信号继电器	1K	17.0	8.0	15.0
	3K	15.0	7.5	11.0
干簧继电器	2K	16.0	13.3	2.0
	4K	17.7	14.0	2.1

（3）继电器的冲击试验。信号继电器的冲击动作电压小于静态动作值，干簧继电器的冲击动作电压与静态动作值基本一致。

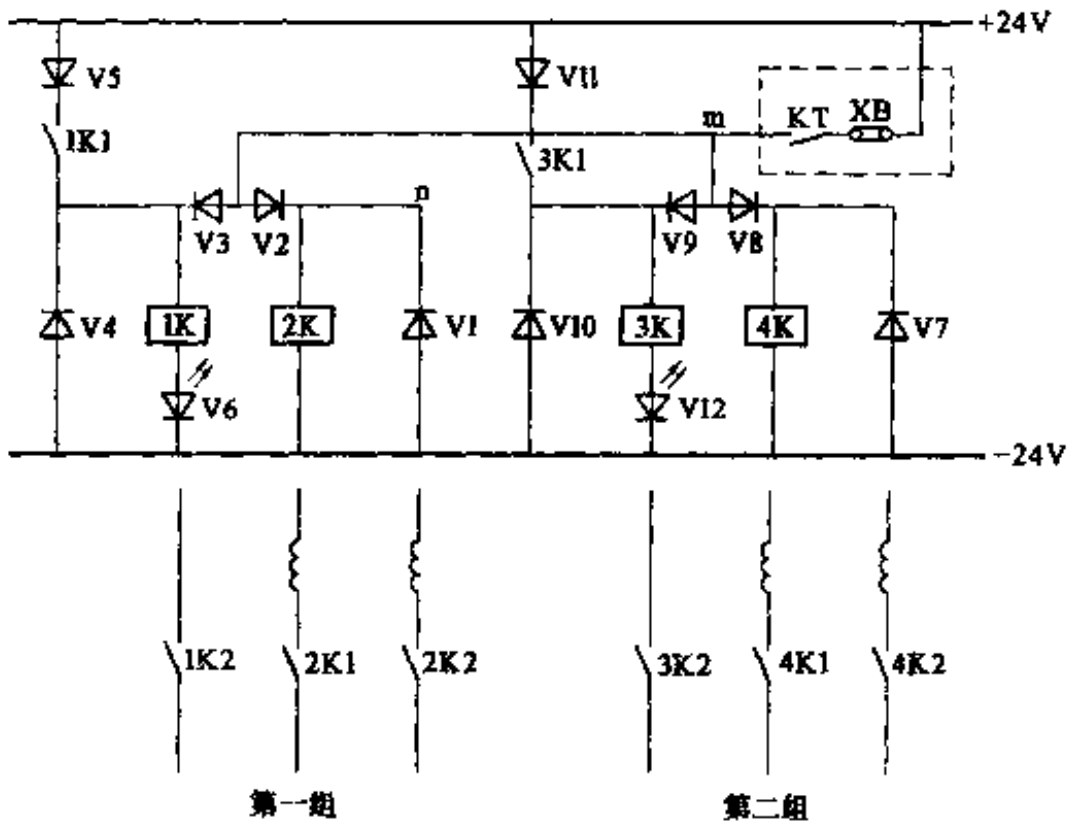


图 5-24　JCX—21 出口的电路结构

(4) 干簧继电器的自保持问题。干簧继电器的自保持电流 < 0.8A，自保持电流线圈动作值为 2A，即当电流线圈的电流 > 2A 时，继电器也会动作。

四、故障的分析

故障的分析涉及两方面的问题，即干簧继电器的误动问题与产生使干簧继电器误动的因素问题。

1. 干簧继电器误动问题的分析

使 2K 动作的条件有两个，第一是电压作用于电压线圈，并且其脉冲的幅度与宽度都满足动作条件；第二是感应电压直接作用于触点使之击穿导通。

为了明确引起误动的因素，测出 110 断路器手动拉闸时，110、150 断路器跳闸出口继电器 JCX—21 的 m、n 点对 24V 电源的感应电压波形，幅值 < 2V，这与表 5-5 中的有关值相差较远，不会使继电器误动作。因为备用继电器 4K 在 110 断路器操作时不误动，所以可以判定保护出口跳闸的原因是第二种，即 110 断路器操作时感应电压使本身干簧触点 2K1 击穿，同时自保持，此时电流线圈的电流

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{220V}{88\Omega} = 2.5A$$

大于电流线圈的动作值 2.0A，使 2K 动作，另一触点 2K2 闭合，150 断路器跳闸。

干簧继电器 2K 正常的动作行为是电压起动，2K1、2K2 触点电流保持，但是实际上是 2K1 电流起动，2K2 电流保持，与设计思想相违背，也是引起断路器之间误跳的根本原因。

2. 产生干扰电压的因素分析

根据断路器跳闸回路的结构，现将产生各种干扰电压的情况作如下分析。

(1) 合闸位置继电器产生的干扰电压。

在操作电路中，当手动控制开关 SA 闭合后先断开，断路器 QF 辅助触点后断开时，存在合闸位置继电器 KCP 感性电流被切断的现象，此时的等值电路见图 5-25。

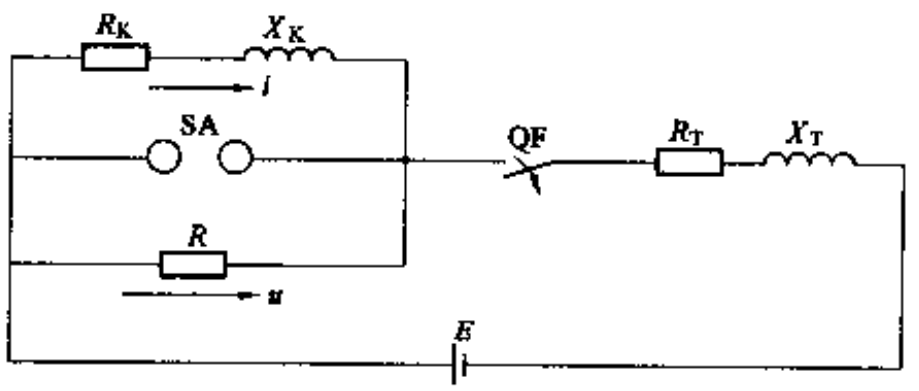


图 5-25　KCP 产生干扰电压的计算电路

在图 5-25 中，E 是直流电源 220V，R 是干簧触点断开状态下外回路的电阻，实测值 500000Ω，R_T 是跳闸线圈直流电阻 88Ω，R_K 是 KCP 的直流电阻 11000Ω，Z_K 是 KCP 的阻抗 14082Ω，电路的过渡过程计算如下。

KCP 感抗　　$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{14082^2 - 11000^2} = 8792\Omega$

KCP 电感　　$L_K = \frac{X_K}{2\pi f} = \frac{8792}{2 \times 3.14 \times 50} \approx 28(H)$

QF 断开后 R_K、X_K、R 电路的时间常数为

$$\tau = \frac{L_K}{R_K + R} = \frac{28}{11000 + 500000} \approx 55 \times 10^{-6}(\mathrm{s})$$

L_K 的放电电流 $i = I_{(0)}e^{-\frac{t}{\tau}}$

式中 $I_{(0)}$为 SA 断开后，QF 断开前电路的稳态值

$$I_{(0)} \approx \frac{E}{R_K + R_T}$$

接点上的电压 $U = Ri \approx \frac{RE}{R_K + R_T}e^{-\frac{t}{\tau}}$

代入数值得 $$U \approx \frac{500000 \times 220}{11000 + 88}e^{-\frac{t}{55\times10^{-6}}} \approx 9920e^{-18\times10^3 t}(\mathrm{V}) \tag{5-1}$$

电阻 R 上的能量计算

$$W = \int_0^\infty \frac{U^2}{R}\mathrm{d}t = \frac{9920^2}{500000}\int_0^\infty e^{-18\times2\times10^3 t}\mathrm{d}t \approx 0.005(\mathrm{J})$$

由式（5-1）可以看出电压 U 随时间的变化关系，当时间 $t = 0$ 时 $U = 9920\mathrm{V}$；$t = 0.5\mathrm{ms}$ 时放电过程基本结束，存储的能量 $W = 0.005\mathrm{J}$。若考虑到 R 两端的杂散电容的影响等因素，则实际的脉冲小于计算值。这一脉冲不会使 2K 动作，试验证明了这一点，但由于峰值很高（计算值 9920V），所以必须采取措施。

（2）跳闸线圈所产生的干扰电压。

在断路器控制回路中，当手动操作跳闸时，如果 SA 先断开，断路器 QF 的辅助触点未断开，就存在保护触点上出现干扰电压的问题，计算电路见图 5-26。

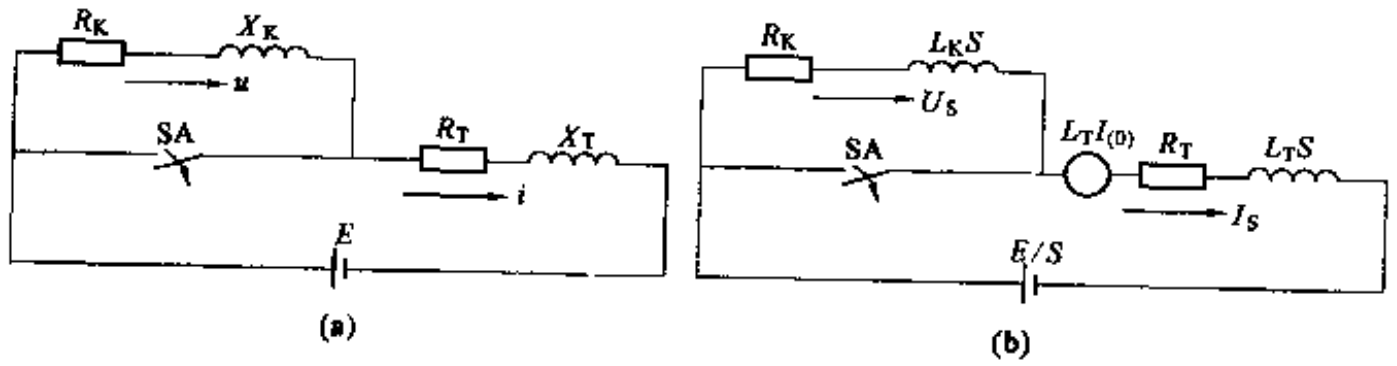


图 5-26　KK 先断开时 TQ 产生干扰的计算电路

（a）时域电路；（b）频域电路

根据拉普拉斯变换由时域电路（a）得频域电路（b），初始电流 $I_{(0)} = \frac{E}{R_K + R_T}$，跳闸线圈电抗 $X_T = 1256\Omega, L_T = 4\mathrm{H}$，分析如下。

在复频电路中电流为

$$I_S = \frac{\frac{E}{S} + L_T I_{(0)}}{R_K + R_T + S(L_K + L_T)} = \frac{\frac{E}{R_K + R_T}}{S} + \frac{\frac{L_T I_{(0)}}{L_K + L_T} - \frac{E}{R_K + R_T}}{S + \frac{R_K + R_T}{L_K + L_T}}$$

从而得到时域电路电流

$$i = \frac{E}{R_K + R_T} + \left(\frac{L_T I_{(0)}}{L_K + L_T} - \frac{E}{R_K + R_T} \right) e^{-\frac{R_K + R_T}{L_K + L_T} t}$$

触点上的电压为

$$U = R_K i + L_K \frac{di}{dt} = \frac{R_K E}{R_K + R_T} + R_K \left(\frac{L_T I_{(0)}}{L_K + L_T} - \frac{E}{R_K + R_T} \right) \times$$

$$\left[R_K - \frac{L_K (R_K + R_T)}{L_K + L_T} \right] e^{-\frac{R_K + R_T}{L_K + L_T} t}$$

代入数值得

$$U \approx 218 + 380e^{-345t} \tag{2}$$

表 5-6 是由（2）式得到的电压随时间 t 变化的特性，当 U 的数值高于干簧继电器触点的击穿电压（>400V 不定）时，干簧继电器误动作。实际的电压值与计算值是有差别的，例如 $I_{(0)}$的数值有时达不到 2.5A，此时 U 也小于表中值。

表 5-6　　电压随时间的变化情况

t（ms）	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
U（V）	598	538	487	444	418	353	314	285	266	252	242	235

（3）其他干扰源。

由于 110、150 断路器之间存在着共用一个干簧继电器、控制电缆走向一致、位置继电器相距很近等问题，因此互感是存在的，正如前边所分析的，在一个断路器的操作过程中就会产生干扰电压，加强或削弱上述信号。

3. 结论

（1）110、150 断路器误跳的原因。操作 110 断路器时，150 断路器误跳的原因是由于 1 号发电机保护出口继电器 JCX—21 误动引起的，见图 5-27，而 110 和 150 断路器的这种关系是互逆的，即 150 断路器操作时，110 断路器也会误跳。

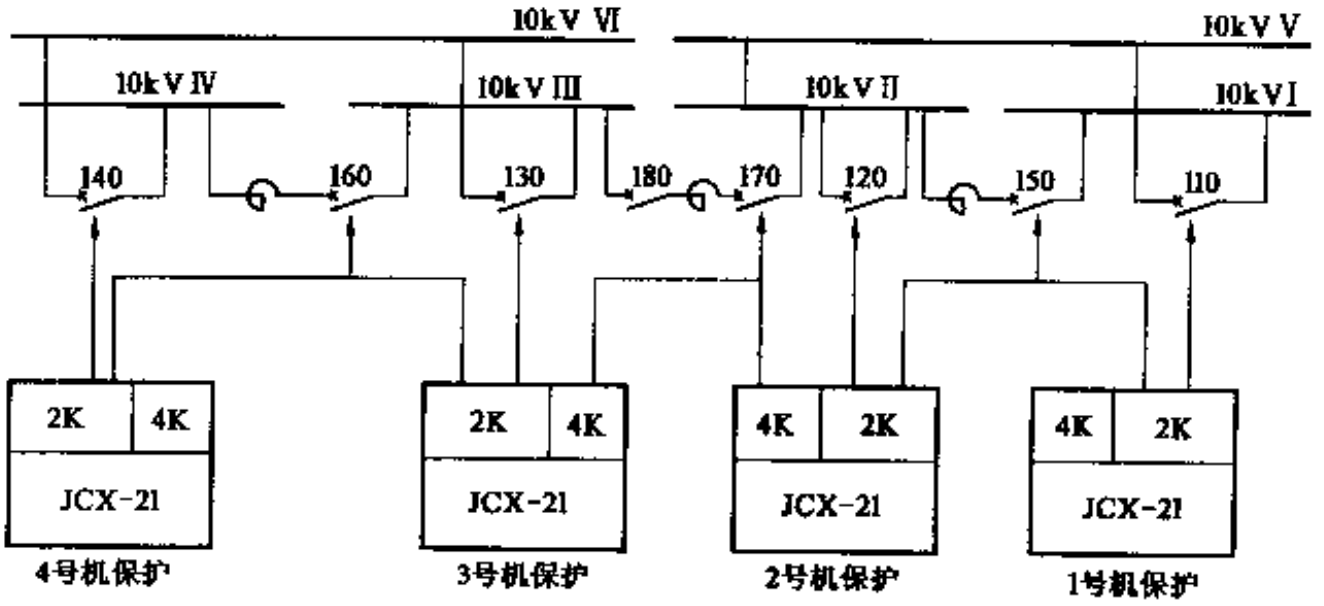


图 5-27　保护出口插件与断路器的配置

（2）其他断路器误跳的原因。可以推断，凡存在一个干簧出口继电器带两个断路器接线方式，就会有互相误跳的可能，即 120 与 150 之间、130 与 160 之间、140 与 160 之间都存在着操作误跳的隐患。

五、解决办法

解决误动问题有以下两种有效途径。

1. 启用备用继电器

试验证明，进行 110 断路器操作时 1 号机保护的 JCX—21 出口备用继电器 4K 不动作，因此可以用该继电器带 150 断路器，使两个断路器各用一个干簧出口。4 号机同理解决误动问题。对于 2 号、3 号机保护则必须另加一只出口插件，将干簧的出口分开。

只要将一个干簧继电器（不是一个干簧管）带一台断路器就可避免事故。电路设计应遵守这一原则。

2. 消除干扰

在 LT、KCP 等具有电感的线圈上并联续流二极管，消除由断流产生的过电压。试验如下。

（1）只在 110 断路器的合闸线圈 KCP 上并联二极管后，再进行 110 断路器的跳闸试验 100 次，则跳闸回路 1～33 之间录波显示的尖脉冲消失，证明 KCP 产生的感应电压已消除，但误动仍存在，误动的概率与不并二极管一样。

（2）只在 110 断路器跳闸线圈 LT 上并联续流二极管后，再做 110 断路器的跳闸试验 200 次，150 断路器不再有跳闸的记录，并且 110 断路器带续流管运行两年，实际操作 30 余次，150 断路器运行正常。这也证明了 LT 是引起误动的根本原因。

实际运行证明，并联续流二极管后，虽然能解决误动问题，但是又带来其他弊病：若合闸位置继电器 KCP 的并联二极管被击穿则有可能导致断路器误跳；若跳闸线圈 LT 的并联二极管被击穿短路，断路器就会拒绝跳闸，因此理想的解决办法是“启用备用继电器”。

第七节　ZHR发电厂 220 kV母线保护接线错误

一、故障现象

1995 年 5 月 9 日 17 时 27 分，ZHR 发电厂 220kV225 线路断路器做传动试验时，运行中的母联 220 断路器跳闸，运行人员检查无异常后，将 220 断路器合闸后投入运行。当再做 225 断路器的传动试验时，220 断路器又一次误动跳闸。两次传动 225 线路断路器，引起 220 断路器两次误动跳闸，是需要解决的关键问题。

二、断路器的操作系统简介

在进行 225 断路器操作试验时，导致母联 220 断路器跳闸的问题属于 220kV 系统投入运行以后才发生的异常现象。因为 225、220 等 220kV 系统的断路器在投入运行以前曾做过多次传动试验，没有发现这种问题，在 220kV 系统投入运行以后，225 断路器进行传动试验，也不曾发现 220 断路器动作跳闸。因此这种现象不是安装施工时接线错误所导致的。

现将有关的跳闸回路作以简述。

1.220kV 主系统简介

220kV 主系统的结构见图 5-28，220 断路器与 225 断路器的位置关系从图中看相隔 226 断路器，安装位置却是相临的。

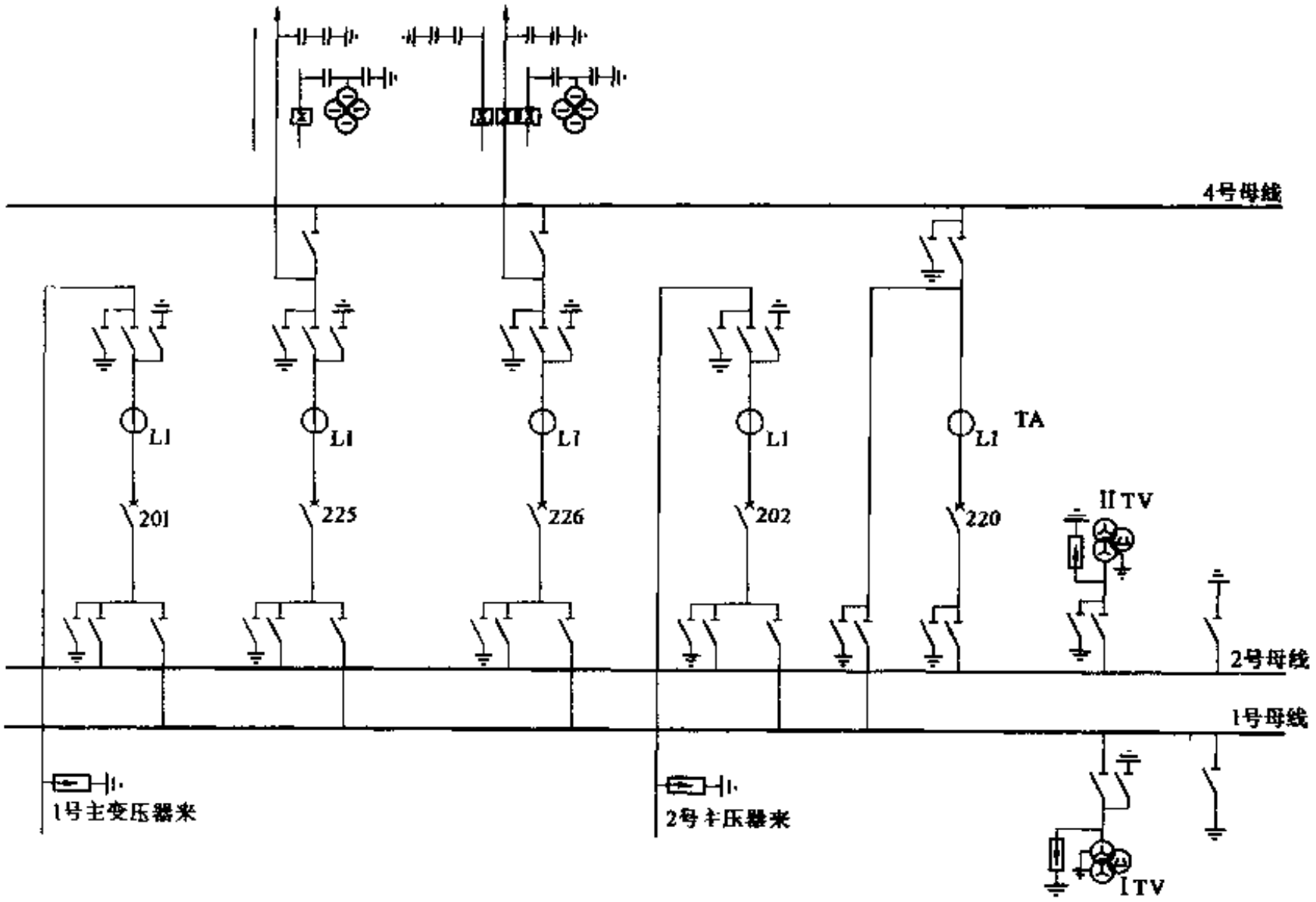


图 5-28　220kV 系统结构图

2.225 断路器的跳闸回路

225 断路器的跳闸回路见图 5-29，继电器功能如下。

KHT：手动跳闸继电器，用来实现手动跳闸以及非全相跳闸功能。

$LT_{U,V,W}$：U、V、W 相分相跳闸线圈，用来实现断路器的分相跳闸。

$KCP_{U,V,W}$：U、V、W 相合闸位置指示继电器。

$KTS_{U,V,W}$：U、V、W 相跳闸信号继电器。

3.220 断路器的跳闸回路

220 断路器的跳闸回路与 225 断路器基本相同，见图 5-29。

三、故障的检查过程与原因分析

1. 直流母线电压检查

两次 225 断路器传动试验都造成了 220 断路器的跳闸，所以首先怀疑直流系统有无接地问题。在检查直流母线的电压时，发现其负极接地。

2.225 断路器与 220 断路器控制回路之间的绝缘检查

断开 225 断路器及 220 断路器的控制保险器，用 1000V 的电压表检查 225 断路器及 220 断路器之间的绝缘，发现 225 断路器及 220 断路器负极之间绝缘电阻近于零。

3. 用拉路的方法寻找接地点

单纯的控制回路的负极接地不会造成断路器误动跳闸，为了分析清楚断路器误动跳闸的原因必须先找到接地点，并查清 225 及 220 断路器负极之间绝缘降低的问题。

（1）寻找接地点。用拉路的办法发现 225 及 220 断路器的控制回路之间均有接地点，这就解释清楚了 225 及 220 断路器控制回路之间的绝缘降低的问题。用拆端子断回路的方

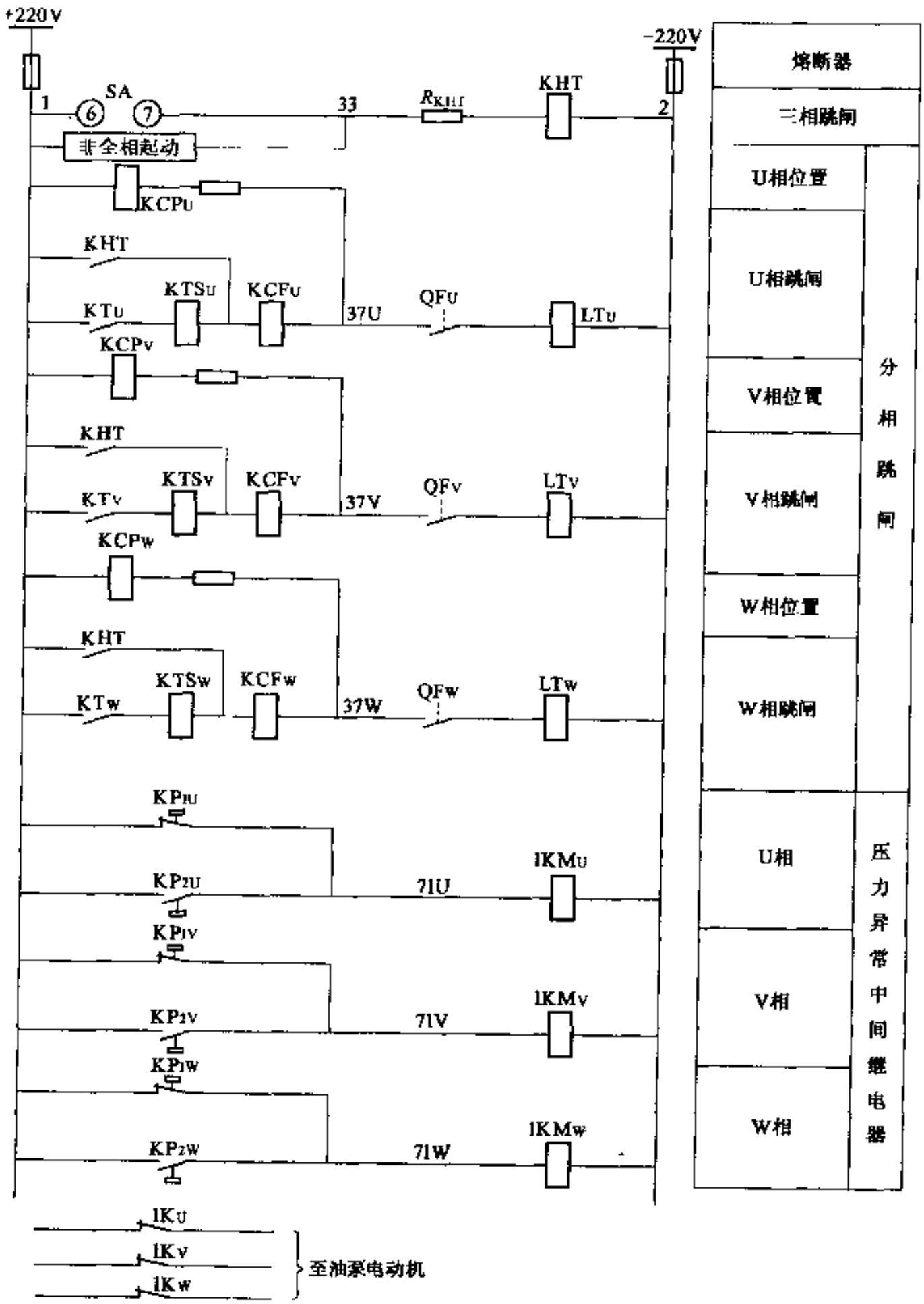


图 5-29　225 断路器部分控制回路

法检查到 225 断路器控制回路的接地点在 W 相压力表内部的 71W 芯线上，见图 5-30。220 断路器控制回路的接地点在手控跳闸线 33 回路上，见图 5-31。

（2）消除接地点后跳闸关系。将两只断路器控制回路的接地点消除后，再做传动试验，线路恢复正常，即做 225 断路器的传动试验时，220 断路器不再跳闸。

4. 原因分析

上述检查到的两个接地点，在 225 断路器做传动试验时，造成断路器的油压降低，使触点短时闭合，从而沟通了 220 断路器的跳闸回路，使 220 断路器跳闸。

四、采取的措施

这次事故是典型的两点直流接地造成断路器误跳闸的例子，它告诉人们当发现直流接地时，不管是正极还是负极，均应及时消除，以免后患。

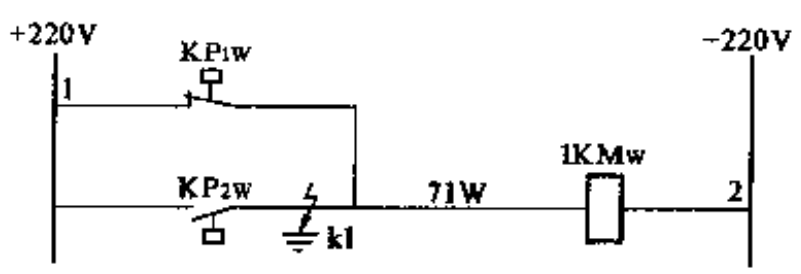


图 5-30　225 断路器控制回路的接地位置示意图

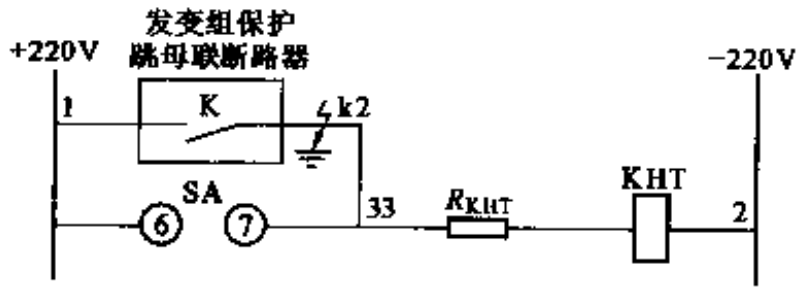


图 5-31　220 断路器控制回路的接地位置示意图

第八节　相位比较式母线差动保护误动作

一、故障现象

WL 发电厂 220kV 母线保护是国产 JMC—2 型晶体管保护。在 220kV 母线停电时，曾出现过两次保护的比相元件误动的问题。但是该保护自投入运行 10 多年来，在运行中却从未出现过故障的现象。

二、保护的工作原理简介

该保护的逻辑关系比较简单，电路由三部分构成：即电流比相元件、低电压闭锁元件、负序电压闭锁元件。这里就比相的原理作以下介绍。

1. 电流比相式母线保护的基本原理

电流比相式母线保护的基本原理是根据母线在内部故障和外部故障时各连接元件电流相位的变化来实现的。为简单说明保护工作的基本特点，假设母线上只有两个连接元件，如图 5-32 所示。当母线正常运行及外部故障时（如 K1 点），按规定的电流正方向来看，i_{I} 和 i_{II} 大小相等相位相差 180°。而当母线内部故障时（K2 点），i_{I} 和 i_{II} 都流

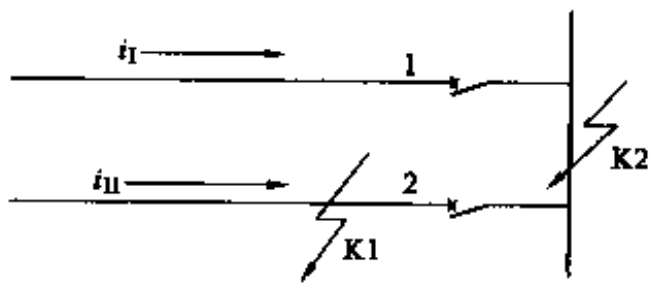


图 5-32　网络接线示意图

向母线，在理想情况下两者相位相同。

电流比相式母线保护的方框结构原理图如图 5-33 所示。图中的切换装置是在用于双母线时切换保护二次回路之用。被比较电压形成回路的原理接线如图 5-34 所示。

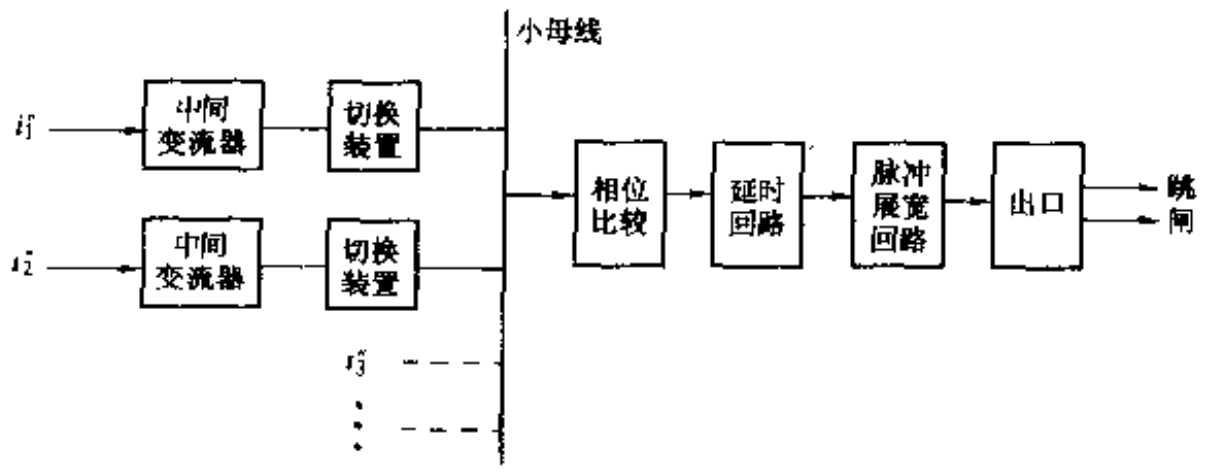


图 5-33　电流相位比较母线保护方框图

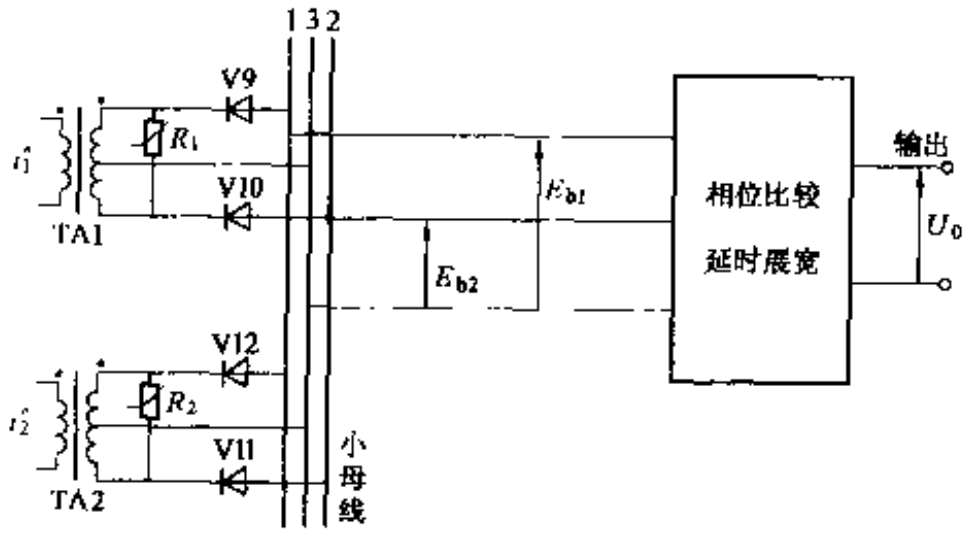


图 5-34　相位比较回路的原理接线图

由各电流互感器二次输出的电流 i'_2、i''_2… 分别接入中间变流器 TA1、TA2…的一次线圈，其二次输出电压分为两组，经半波整流后分别接在小母线 1、2、3 上；R_{x1}、R_{x2}为非线性电阻，当电流互感器二次电流 I_2 很大时，用以防止 TA1、TA2 的二次侧产生危险的高电压。小母线的输出接到相位比较、延时、脉冲展宽回路，其工作情况如下。

（1）母线不带电的情况。母线不带电时，小母线上无电压，相位比较、延时、展宽回路无输出。

（2）母线处于正常运行或外部故障情况。母线处于正常运行或外部故障情况时，按规定的正方向电流相位相差为 180°，中间变流器一次侧及二次侧经检波后的波形如图 5-35 所示，由于接于小母线 1 的 V9、V12 及接于小母线 2 的 V10、V11 检波后波形相加的结果，在小母线 1、2 上都呈现出连续的负电位，在此情况下比相回路无输出，不起动延时回路，整个回路无输出。

（3）母线内部故障情况。母线内部故障时各连接元件的电流都流向母线，各中间变流器的一次电流基本上同相位，小母线 1、2 的波形如图 5-36 所示。由于 $-E_1$、$-E_2$ 相位相同，两者叠加后，在小母线 1 和小母线 2 上呈现出相间的断续负电位。在负电位的间断期间，比相回路输出一脉冲，起动延时回路。如果此脉冲延续时间大于 3.3ms（即 60°），则延时回路起动脉冲展宽回路，后者输出一连续脉冲使断路器跳闸。

（4）延时 60°回路的作用和保护的闭锁角。在基本原理的分析中，认为内部故障是电流的相位差为 0°，外部故障时为 180°，这只是一个理想的情况。实际上当外部故障时，由于电流互感器以及中间变流器 TA 误差等因素的影响，各电流之间的相位差可能是 180° ±

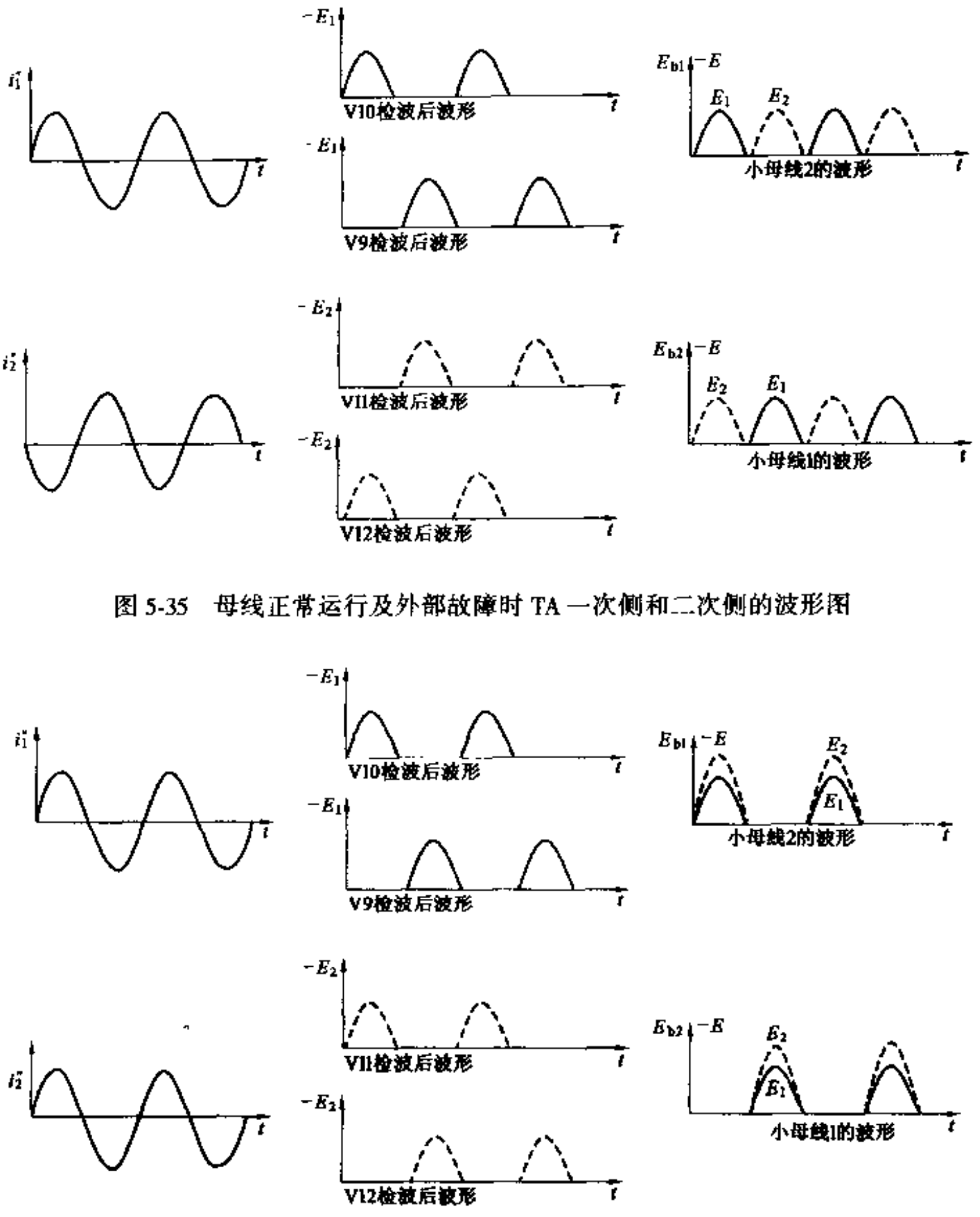


图 5-35　母线正常运行及外部故障时 TA 一次侧和二次侧的波形图

图 5-36　母线内部故障时 TA 一次侧和二次侧的波形图

ϕ，ϕ 值最大可达 60°左右，这就有可能导致保护装置的不正确动作。这是因为当两个电流存在相位差 $180° \pm \phi$ 时，如图 5-37 所示，在小母线上的电位波形就将出现间断的情况，延时回路就要起动，为了防止这种情况下发生误动作，就需要选择延时回路的时间 $\geqslant \phi$ 角所对应的时间，即从时间上躲开外部故障时可能出现的电流相位误差。一般采用 $\phi = 60°$，即 3.3ms。当电流之间的相位差 $180° - \phi \leqslant \theta \leqslant 180° + \phi$ 时，保护装置是不会动作的，因此 ϕ 角又称为保护的闭锁角。当保护的闭锁角确定以后，则内部故障时，必须当电流之间的相位差 $< 180° - \phi$ 或 $> 180° + \phi$ 时，保护装置才能够动作，实际上这是容易满足的。

2. 晶体管比相元件的电路原理

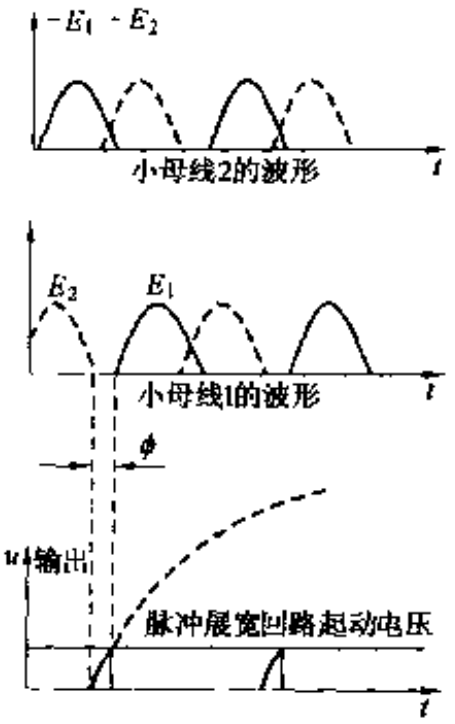


图 5-37　当两个电流有相位差 ϕ 时的波形

晶体管比相元件的原理电路见图 5-38，实际的比相元件的电路见图 5-39。三相比相电路共用一个展宽比较元件及执行元件，在此仅画出 U 相比相电路及展宽比较、执行元件。

（1）正常运行及外部短路时。当系统正常运行及外部短路时，根据上述分析，在小母线 1、2 上有不间断的负半波出现。所以比相电路的三极管 VT1 截止，VT2 导通，VT3 截止，延时电容 C_1 被短接，不能充电，VT4 截止，VT13 导通，输出三极管 VT14 处于截止状态，出口继电器 1K 不动作。

（2）母线内部故障时。根据上述的分析，当母线发生内部故障时，在小母线上会出现间断的负电位。

1）波形的间断点出现在 2 号小母线。如果波形的间断点首先出现在小母线 2 上，则此时小母线 1 为负半波，三极管 VT1 导通，VT2 截止，VT3 截止。+16V 电源经 R_7 对 C_1 充电。当充电时间达到 3.3ms 时，VT4 导通，输出变为低电平，使展宽电路起动，VT13 截止，VT14 翻转，继电器起动 1K 动作，一方面使断路器跳闸，另一方面起动信号继电器。到下一个半波，小母线 2 变为负半波，小母线 1 上出现间断点，此时三极管 VT1 截止，VT2 导通，C_1 被短接，VT4 重新由导通变为截止，C_4 经过 R_{11} 充电，但由于 C_4 的充电时间比较长（30ms），所以在下一个半波到来之前充不满，继电器一直保持动作状态。

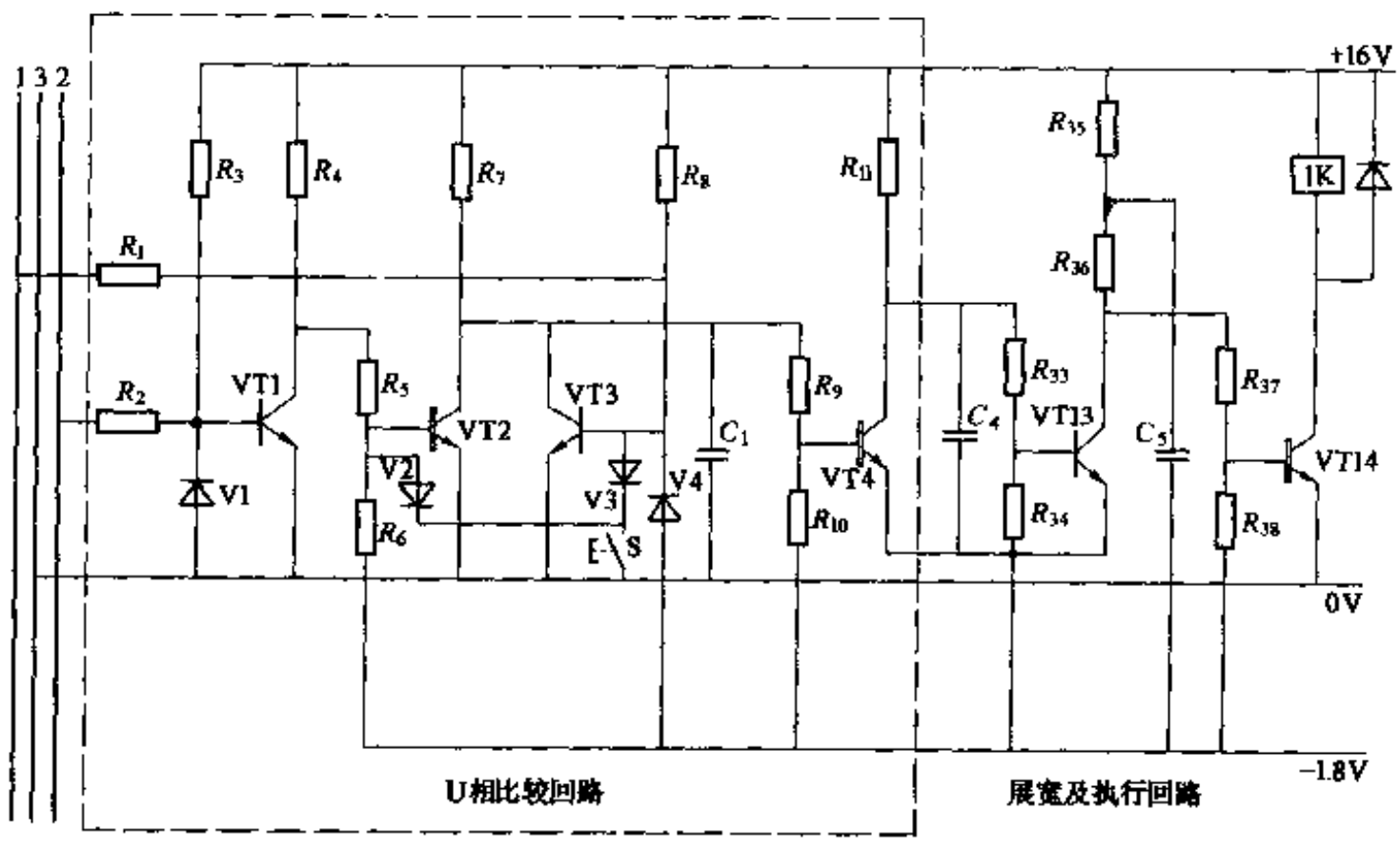


图 5-38　比相元件原理图

2）波形间断点首先出现在 1 号小母线。如果波形的间断点首先出现在小母线 1，小母线 2 为负半波，则三极管 VT1 截止，VT2 导通，VT3 导通，C_1 不能充电，所以延时电

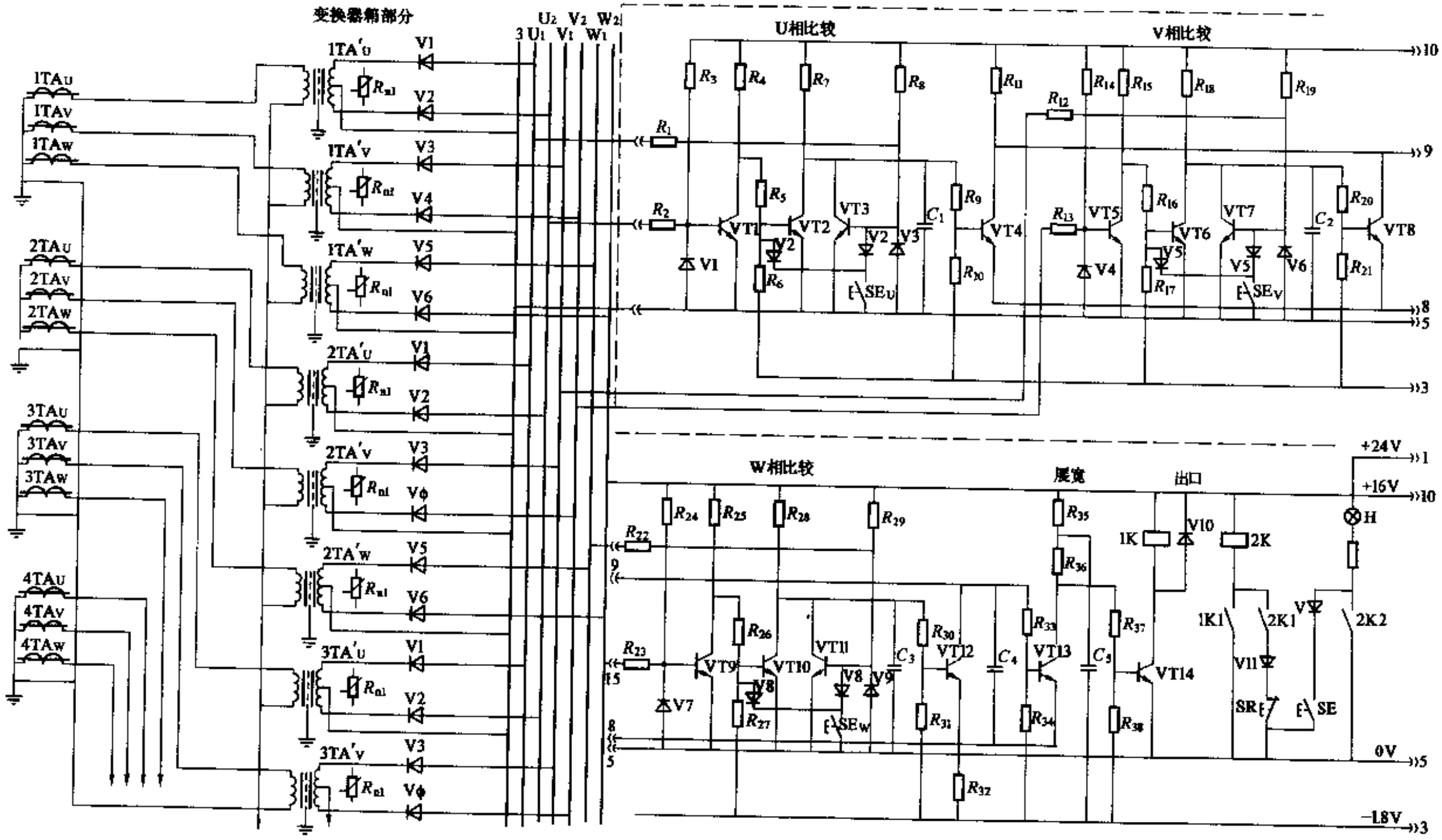


图 5-39　实际比相电路图

路不能计时，展宽电路不起动，继电器不动作。到下一个半波，小母线 2 上出现间断点，小母线 1 为负半波，此时各点的动作状况同 1)。由此可见该保护从原理上讲，若第一个间断出现在 2 号小母线则动作时间延长，最长延时半个周期（10ms)。这是原理上的缺陷，就不必多做分析了。

三、保护误动问题的分析

保护误动后曾经做了大量的工作，经分析认为，保护误动是由于装置的抗干扰能力差，外部干扰使保护误动。如果有一干扰脉冲，脉宽时间大于 3.3ms，那么这一脉冲出现在小母线上时，有时相当于母线内部故障，使比相元件动作，分析如下：

1. 母线一次设备停电后干扰信号会使保护误动作

在母线一次设备停电后，在一定的条件下，干扰信号会使比相回路误动，分析如下。

（1）只有一个正脉冲感应到辅助变流器 TA1 上。如果只有一个正脉冲感应到辅助变流器 TA1，此时小母线 2 上出现负电位，使三极管 VT1 截止 VT2 导通，VT3 因小母线 1 上无负电位而依然导通，C_1 不能充电，继电器不可能动作。

（2）只有一个负脉冲感应到辅助变流器 TA1 上。如果只有一个负脉冲感应到辅助变流器 TA1，则小母线 1 上出现负电位，小母线 2 上无电位，小母线 1 上的负电位使三极管 VT3 截止，VT2 因 2 小母线上无电位而依然截止，所以 C_1 充电，只要充电时间大于 3.3ms，相当于内部短路的情形，使保护的出口动作。即比相元件误动作。

（3）TA1、TA2 上均感应了干扰脉冲时。如果 TA1、TA2 上均感应了干扰脉冲时，有时也相当于母线区内故障的情况，在此就不作具体分析了。

由于原理上的比相电路其灵敏度极高，所以受干扰容易误动作。

2. 母线正常运行干扰信号一般不能使保护误动作

根据上述的分析，各种干扰信号感应到 TA 回路上以后，都会变为小母线上的负电位，但是在正常运行状况下，小母线 1、2 上呈现有连续的负的交流整流波形，而且这个信号很强，因此干扰信号一般只能改变原来负电位的幅度，不会在小母线上产生间断，况且只有间断的时间大于 3.3ms 保护才会动作，所以比相元件在正常运行时不易误动作。

3. 现场存在的干扰源分析

在现场存在着许多干扰源，例如操作干扰、冲击负荷干扰、变压器励磁涌流产生的干扰、电焊产生的干扰及直流系统接地干扰等，这些干扰都有使继电保护误动作的记录，其具体的分析见第三章第一节。

4. 对保护的检查情况

（1）保护静态试验。对母线保护的电源电压、静态工作点的电位、比相小母线波形以及整组动作情况进行了检查，结果正常。

（2）二次设备检查情况。对现场的设备检查后发现，由于设备出厂较早，制造上尚未考虑抗干扰的如下问题。

1）辅助变流器一次、二次中间没有设置屏蔽层。

2）TA、TV 输入保护屏后，没有采取抗干扰措施。

(3) 试验电源关机，保护误动作。当试验电源关机后，保护出现误动行为，用示波器检查表明，当试验电源关机后，产生一个脉冲信号，正好相当于上述分析的干扰脉冲，所以此时误动是试验仪器所致。

四、采取的措施

1. 执行反措精神

在 TV、TA 的输入端增加抗干扰电容，同时更换带屏蔽层的辅助变流器。

2. 保护电源增加滤波电容

由于保护的电源输出波形的交流脉冲比较明显，因此增加高频电容，吸收上述脉冲。

3. 将保护投入运行

由以上分析知：母差保护在一次设备停电时误动是外部干扰所致，运行实践也证明此保护在母线正常运行时不易误动，并且装置又增加了抗干扰措施，所以可将保护继续投入运行。

第九节　JNR热电厂35 kV母线保护误动作

一、故障现象

JNR 热电厂在试运期间，35kV 母线 TV 二次断线，造成发电厂与系统解列。随后，用出线Ⅰ的断路器及 1 号主变压器高压侧的断路器进行发电厂与系统的同期并列均遭失败，最后用 1 号机出口断路器并网成功。在用出线断路器和变压器断路器并网时不但本身合闸失败，而且 35kV 断路器全部跳闸，所有这些问题的原因都不明确。

热电厂的电气主接线图见图 5-40。这是一个比较特殊的系统，发电厂没有设直接与 35kV 母线连接的起备变压器。当 1 号机起动时，用 2 号主变压器或者用 2 号机供给厂用电，因为当时 2 号机系统尚未安装完毕，只有用 2 号主变压器作为起动变压器。在事故发生前的运行方式如下。

1 号发电机、1 号主变压器、35kV 母联在运行，35kV 出线Ⅱ与系统联网，10kV 母联断路器、公用变压器在运行。

2 号发电机、2 号主变压器、35kV 出线Ⅰ在备用状态。

根据运行的要求，热电厂的出线上加装了低频低压解列装置。当系统的频率或电压降低时，将热电厂与系统解列。当时故障的起因是 35kVⅡ母线 TV 二次保险熔断，TV 二次电压降低后，低电压解列装置起动跳闸，将出线断路器 3QF 跳开，1 号机与系统解列。运行人员将 TV 保险更换后再用 3QF、4QF 并网时均失败，用 8QF 并网时合闸成功。

由于发电厂尚处在试运行阶段，二次接线不完善，发电机并网合闸不成功没有信号发出，给问题的分析带来了困难。用 3QF、4QF 相继并网合闸虽然不能成功，但是 3QF、4QF 断路器的空载跳合闸试验确是正常的。最后有一条线索提醒了人们：2QF、3QF、4QF 都与 35kV 母线相连接，是否与 35kV 母线保护有关呢？根据这一线索，对 35kV 母线保护

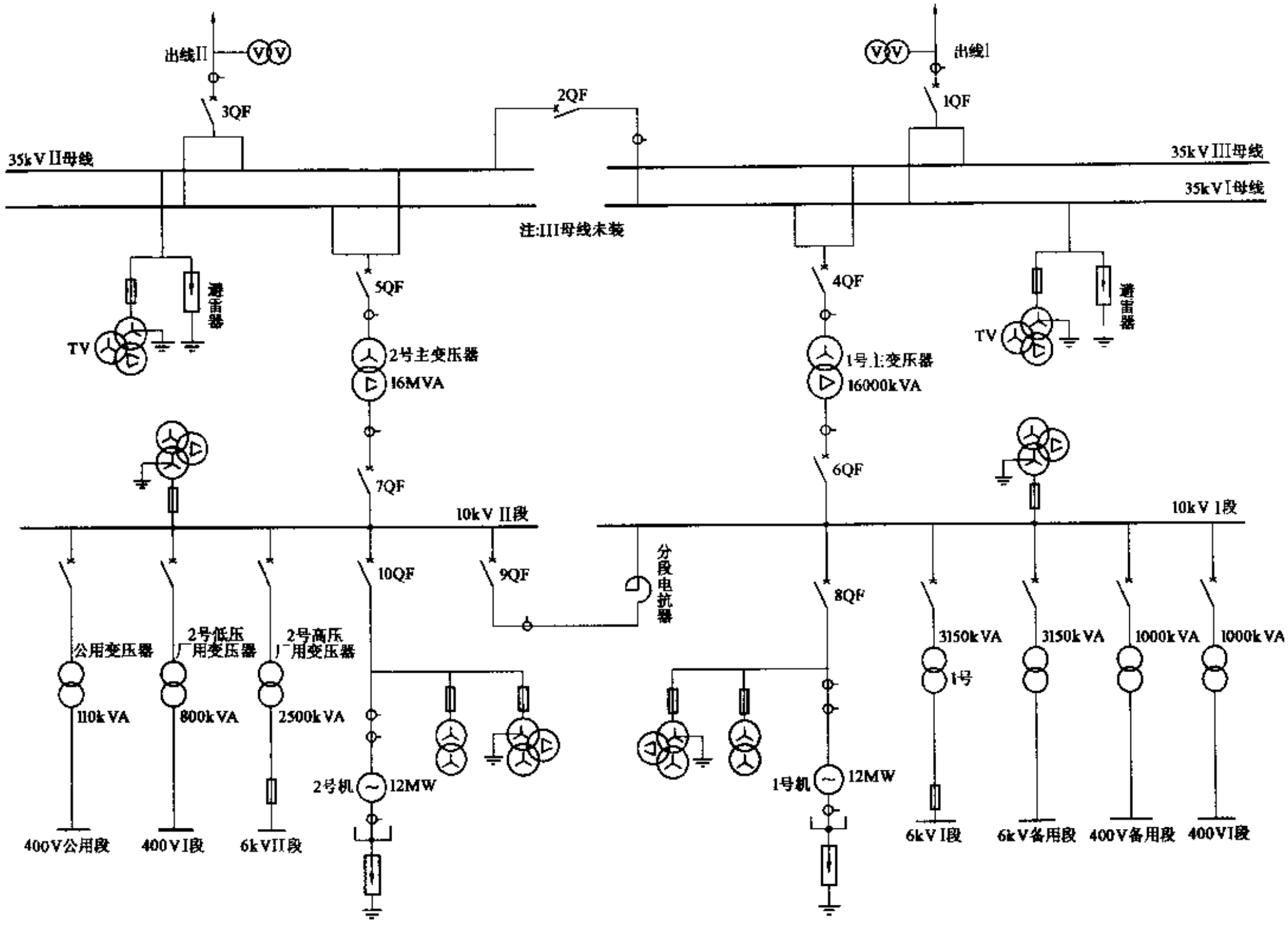


图 5-40　JNR 热电厂主系统图

作了详细的检查与分析工作。

二、母线保护的原理

母线保护的交流回路接线见图 5-41，直流逻辑关系见图 5-42。由图可知，差动回路中有两块 BCH—2 型差动继电器 1KPS、2KPS，作为保护的起动元件，其整定值按照躲过外部故障时的最大不平衡电流来整定。保护的选择元件 1KWC、2KWC、3KWC 及 4KWC 也是 4 只 BCH—2 型差动继电器。当故障发生在Ⅰ母线上时，1KWC、2KWC 动作，当故障发生在Ⅱ母线上时，3KWC、4KWC 动作。其整套保护动作过程如下。

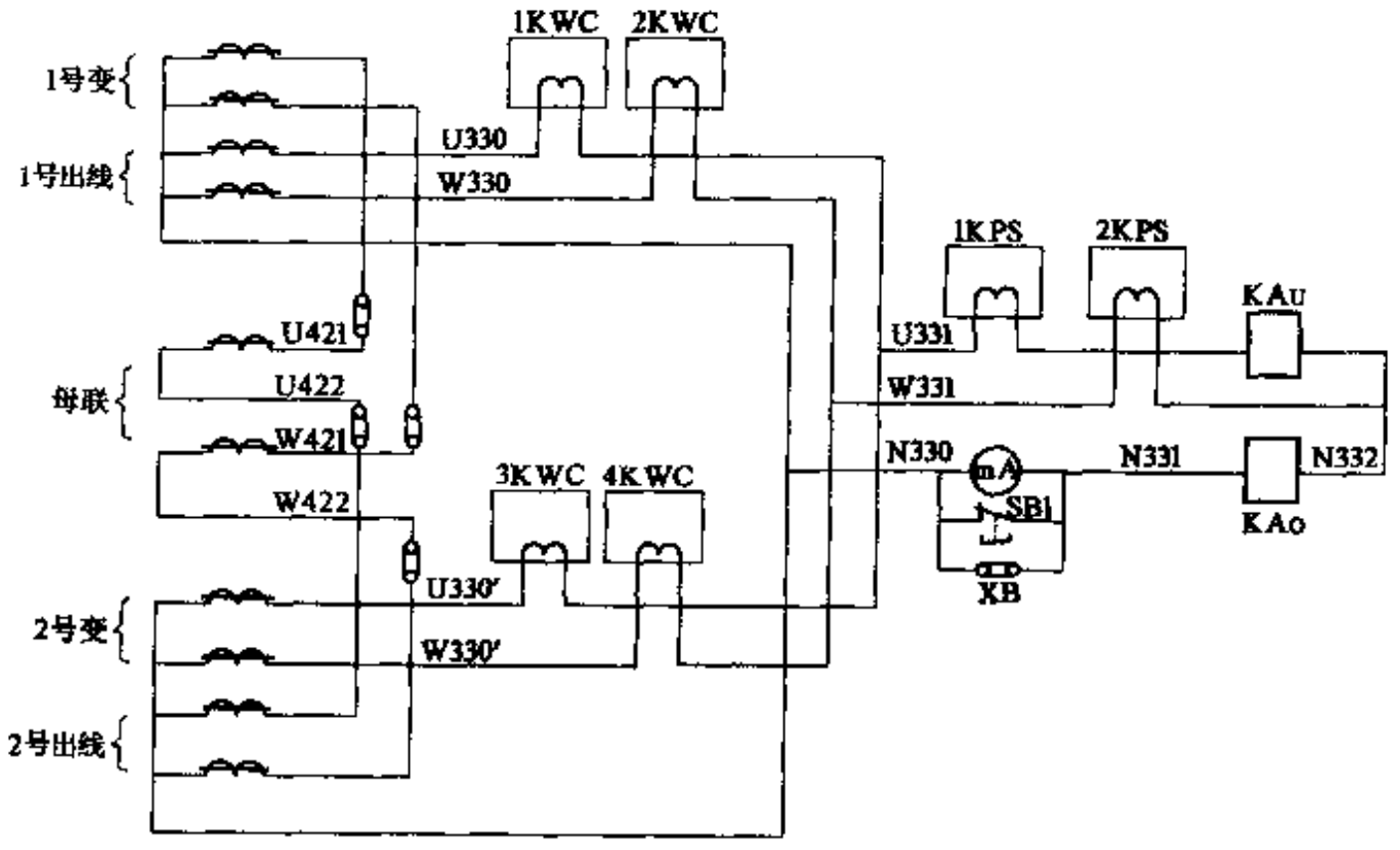


图 5-41　35kV 母线保护交流回路接线图

1. 正常运行及外部短路时

系统正常运行或发生外部故障时，由于保护起动元件 1KPS、2KPS 流过的是不平衡电流，所以不动作，同样母线选择元件 1～4KWC 也只流过不平衡电流，也不动作，因此出口继电器 1～5KCO 不会起动，输出触点没有信号发生。

2. Ⅰ母线发生故障时

当Ⅰ母线发生故障时。根据故障的相别，起动元件 1KPS、2KPS 中相应的元件起动，触点闭合；与此同时，1KWC、2KWC 中的相应的元件，因为流过各侧的和电流而起动，触点闭合，3KWC、4KWC 相应的元件因为流过不平衡电流而不起动，其触点不闭合。这样正电源经过 1KBL 的常闭触点、1KPS 或 2KPS 中闭合了的触点、KS1 加到 1KCO 的线圈上，使 KCO 动作。另一路，正电源经 1KBL 常闭触点、1KPS 或 2KPS 中闭合了的常开触点，1KHC 常闭触点、1KWC（2KWC）中闭合了的常开触点及 KS2 加到出口继电器 2KCO、4KCO 的线圈上，于是 2KCO、4KCO 动作，由 1KCO 跳开母联断路器 2QF，由 2KCO 跳开出线断路器 1QF，由 4KCO 跳开 1 号主变压器断路器 4QF。

3. 当母线发生在Ⅱ母线上时

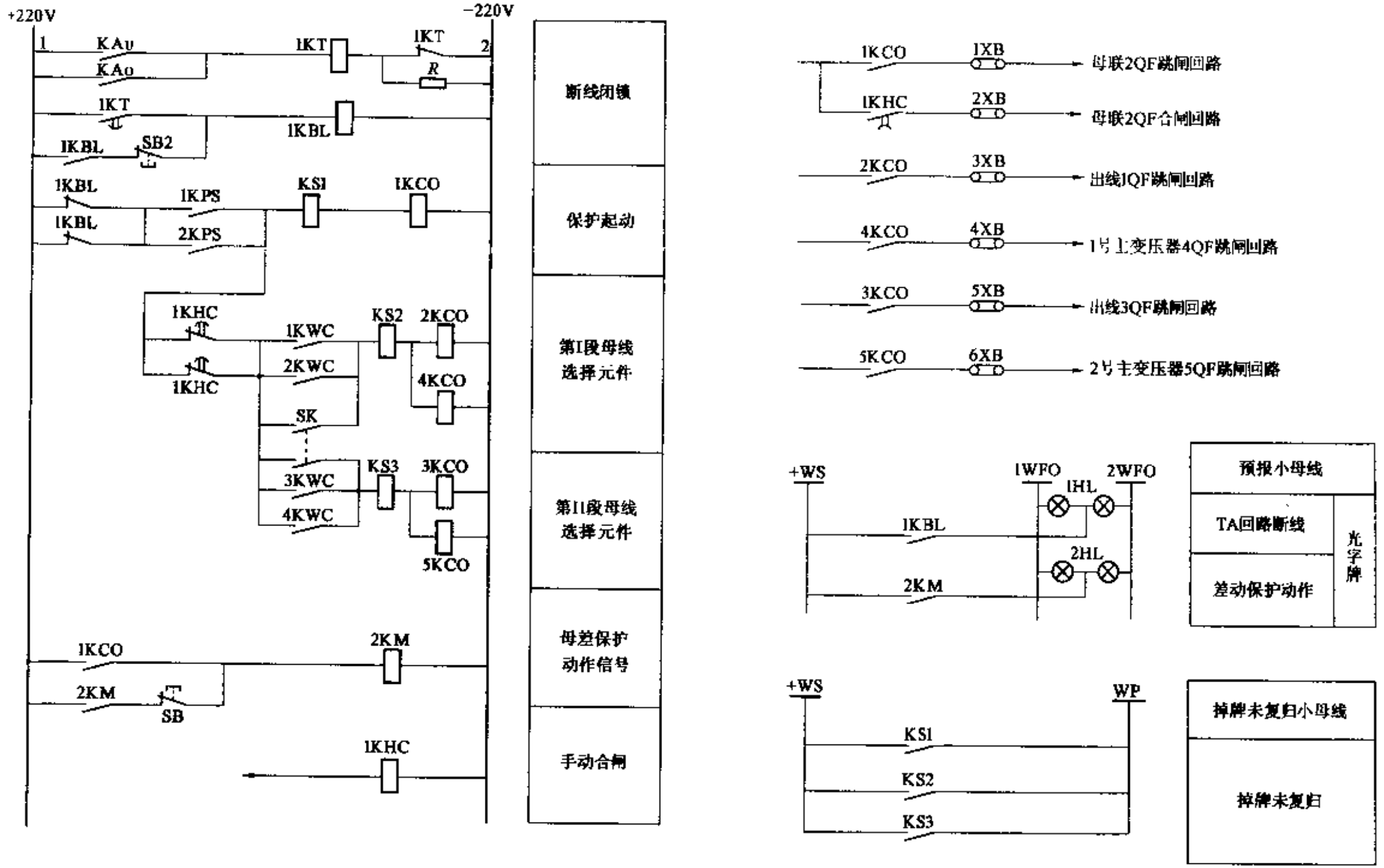


图 5-42　母线保护直流图

当Ⅱ母线发生故障时，除故障相的 KPS 动作外，反应Ⅱ母线故障相应的元件 3KWC 或 4KWC 动作，于是跳开与Ⅱ母线相连的元件的断路器 2QF、3QF、5QF。

4. 开关 SK 合上时

当开关 SK 合上时，其选择元件退出工作，任一条母线故障时，切除母线上的所有元件。

5. 当用母联开关向一组母线充电时

先合上开关 SK，此时为了防止合到故障母线上，使差动保护错误跳开工作母线上的元件，利用母联合闸继电器 1KHC 的延时闭合常开触点短时断开正电源，使母线上的出口元件 2～5KCO 不能励磁，这时若差动保护动作，仅使 1KCO 励磁，跳开母线断路器 2QF。

6. 当 TA 回路断线时

如果 TA 回路发生断线，则 KA_0 有电流通过，KA_0 动作，起动时间继电器 1KT，经 1KT 延时后触点闭合，起动中间继电器 1KBL，1KBL 的常闭触点断开正电源，防止保护出口误动作。1KBL 的常开触点闭合后，发出光字牌信号，告诉运行人员 TA 有断线故障发生。

三、故障的检查过程及原因分析

根据上述分析及故障的现象，对母线保护同期回路等进行了详细的检查，并对每一现象作出了正确的分析。

1. 母线保护 TA 交流回路的检查

在母线保护的交流回路中发现，母联 TA 断线即在保护端子处，电流回路中与 U421、U422、W421、W422 相连接的连接片没有投入。另外，出线Ⅱ的 TA 二次电流回路也没有接入差动回路。

2. 母线保护信号回路的检查

并网失败后，保护并没有信号发出，因此怀疑信号回路存在问题。检查的结果是信号电源的保险丝熔断，所以光字牌信号、掉牌信号都不可能发出。

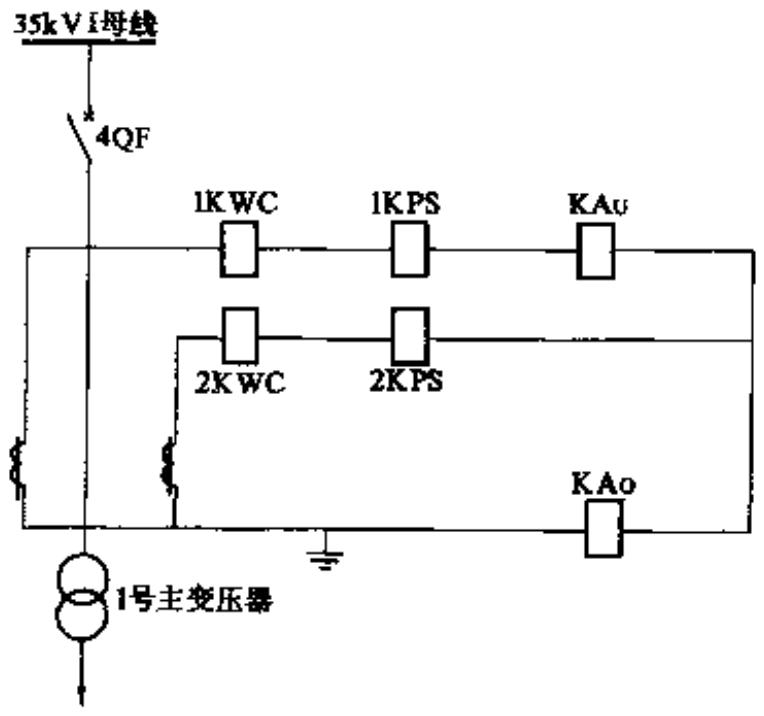


图 5-43　4QF 并网时母线保护的实际接线

3. 同期回路的检查

在同期回路中，检查转角变压器的接线正确，这就排除了因为转角变压器错误使变压器与系统并网时产生冲击电流的可能性。

4. 3QF、4QF 并网失败的原因

由于 35kV 母差保护接线上的问题，母线保护的起动元件 1KPS、2KPS，故障母线选择元件 1KWC、2KWC 实际上成了速断型式的单端接线，见图 5-43。并网时，要求发电机的电压与系统的电压相近、频率相近、相位差小于 30°，这种偏差所产生的冲击电流很容易满足接线错误的母线保护的动作条件。故障母线选

择元件及起动元件的定值为 5A，此值仅比发电机额定负荷时的二次电流略大一点，加上母差保护没有延时，所以只要选择元件、起动元件同时动作，就能导致出口跳闸，将 35kV 母线上所有运行元件跳开。

5. 用 8QF 并网成功的原因

并网时发电机电压、频率如果与系统偏差很小，合闸瞬间正好在滑差电压最低处，则产生的冲击电流很小，不至于引起母线保护的误动作。若发电机并网的冲击电流较大时，同样也可以使 35kV 母线保护误动作。

四、采取的措施

35kV 母线保护在 1 号机并网时的误动作乃是由于母线保护的接线错误所致，将 TA 回路的接线恢复正常后，问题也就不存在了。

保护误动时信号电源消失，属于二次设备的复故障，复故障的原因分析是困难的，运行部门应按时巡视检查直流电源的工作状况，避免类似复故障的发生。

由于母线保护所涉及到的设备较多，在接线、查找、传动试验、验收等环节上，必须引起足够的重视。

第十节　NJ变电站隔离开关操作时相邻断路器误动跳闸

一、故障现象

500kV NJ 变电站 500kV 主系统为 3/2 接线，系统结构见图 5-44。在进行Ⅱ母线停电操作，当拉开 50131 隔离开关时，C 出线保护中远跳保护装置动作跳开 5041，造成 C 出线停电。在拉 50131 隔离开关以前 5013、5042 已拉开。

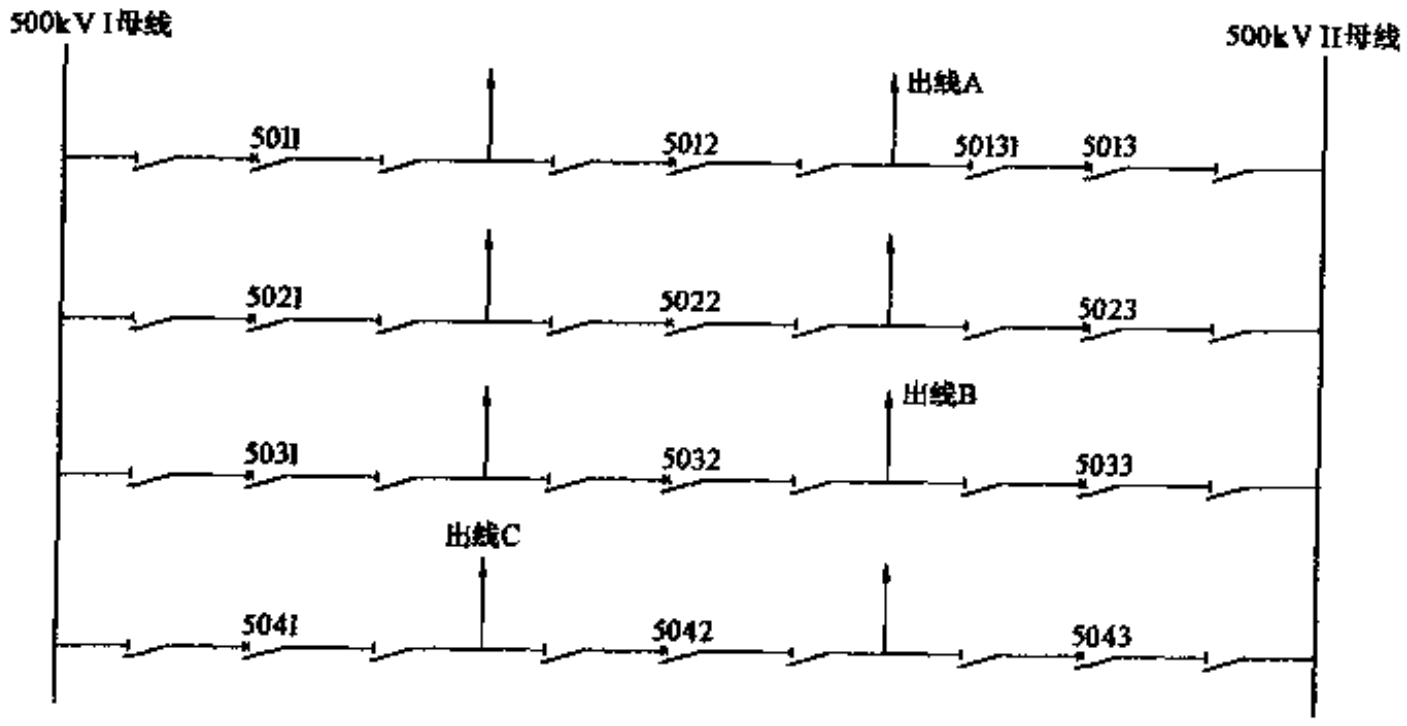


图 5-44　500kV 变电站主系统接线图

二、原因分析

用隔离开关投切空载短线，由于回路参数小，燃弧时间长，且整个燃弧过程中出现重燃，因此将在设备上产生高频振荡过电压。过电压的频率及幅值与很多因素有关，如电源侧是否带有出线，短线的电感、电容参数，隔离开关的性能等。由于这种过电压的频率较高，且多次重燃而持续时间较长，对一、二次设备都将产生一定的影响。在国内已有多处发现，在用隔离开关投切空载母线时，发生避雷器频繁动作，TA 套管闪络放电，保护回路击穿等现象。

隔离开关投切空载短线，属于变电站正常的操作，所以对由此而产生的干扰电压应做深入的研究。但由于干扰电压的频率较高，燃弧时间长，重燃次数多，目前还没有比较完善的测量方法。根据变电站投产前用隔离开关投切空载母线时所测量的数据及波形，对本次事故即可做出总结。

1. 拉合空载母线的试验接线

投切空载母线所产生的暂态过电压，其振荡频率很高，一般为上百或数百 kHz，更高者可达 MHz，而且燃弧时间以 s 计。本次试验所采用的仪器为 VP—5703A 型记忆示波器，其频响最高为 100MHz，记忆状态下为 20MHz。波形测量时的接线如图 5-45 所示。

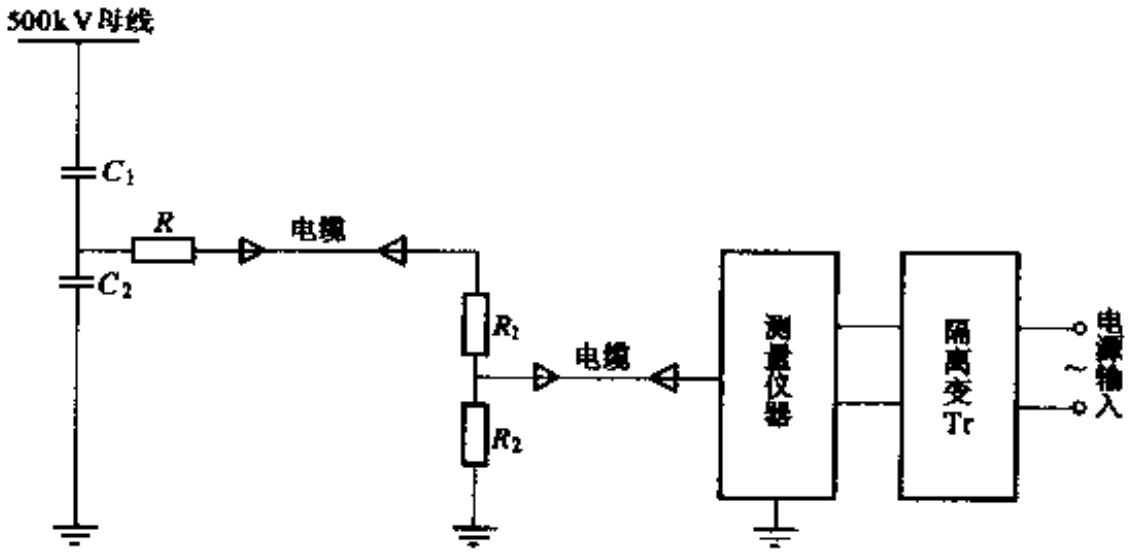


图 5-45　测量接线图

（单芯双屏蔽测量电缆波阻抗为 50Ω）

C_1—母线 TA 或线路 TA 的主屏电容，电容量为 1500pF；

C_2—TA 末屏小套管处人工配接的电容，电容量为 8μF；

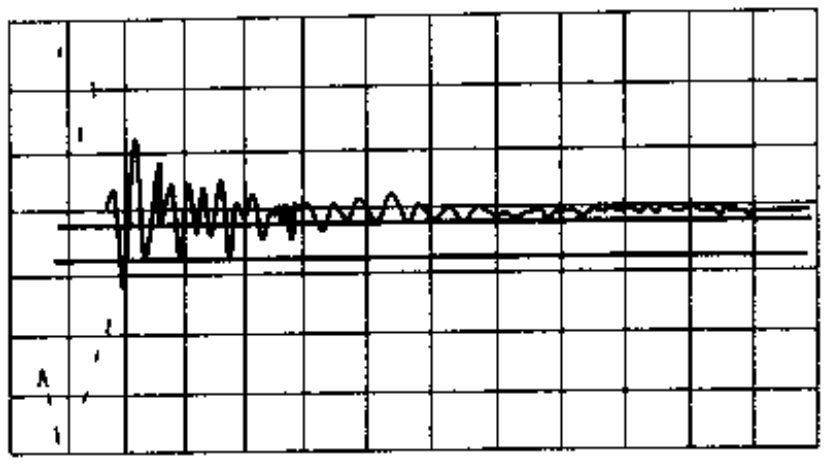
R—匹配电阻（阻值为 50Ω，与 C_2 装于一屏蔽盒内）；

R_1、R_2—分压电阻；Tr—电源隔离变压器

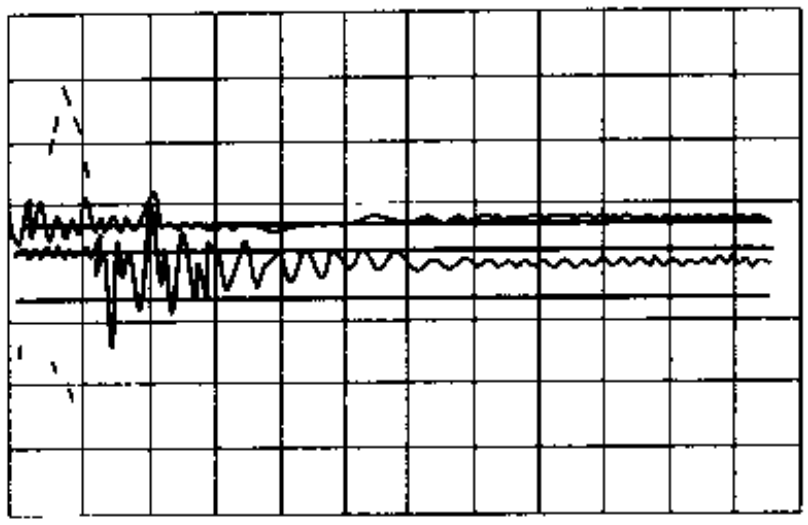
测量仪器本体与地绝缘，其接地端子与电源隔离变压器的二次线圈的一端相联，使试验测试系统有一点接地。

2. 拉合空载母线时的试验结果及分析

试验的操作内容为：三相分别投切各两次，测得的较为典型的图形见图 5-46。图 5-46(a)为某次切空载母线时被切母线侧电压快速扫描示波图，它表示电弧重燃时迭加于工频电压上的为高频振荡波。由图可见，其振荡存在有二种频率，高频为 500kHz，持续时间



(a)



(b)

图 5-46　投切空载母线时的波形图

（a）被切母线侧电压快速扫描图；

（b）电源侧电压快速扫描图

15μs，低频为 250kHz，持续时间为 60 ~ 70μs。图 5-46（b）为切母线时电源侧电压快速扫描示波图，也存在二种频率，高频为 500kHz，低频为 150kHz。

应该指出的是，高频电流是从 TA 套管电容及 CVT 电容入地的，由母线对地电容流回，由此而构成回路。这些高频信号会对保护等产生不良的影响。

因此，这次事故发生的原因可能是保护装置或是复用载波机的抗干扰能力差引起的。

三、查找过程

利用Ⅱ母线送电操作的机会，反复拉合 50131 隔离开关，模拟故障时的情况，观察复用载波机的收、发信计数的动作情况。共做 6 次拉合隔离开关试验，每次拉与合时，载波机的收信计数器均动作，说明抗干扰的能力差。

四、采取的措施

更换复用载波机，并在收、发信回路加抗干扰电容。在更换载波机之前，遇有隔离开关操作时暂时退出远方跳闸装置。

第六章　二次回路及其他设备保护的事故处理

本章收集了电动机保护、断路器失灵保护、备用电源自投等设备及二次回路出现的一些事故处理的典型实例，供大家参考。

在其他章节的事例中，曾经涉及到了因为二次回路的缺陷而造成的故障。值得说明的是本章所提到的二次回路与保护装置的内容，从原则上区分二次回路与装置的故障是非常明确的，但是本书中并没有严格地去划分回路与装置的问题，而是粗略地将一套保护看作一个整体，在这个概念下的“保护故障”及“二次回路故障”的含义也就比较容易理解了。

二次回路中出现故障是最为常见的，由于二次回路的接线复杂以及运行环境恶劣，二次线的短路、断线以及绝缘的破坏等故障占整个继电保护故障的一半以上。因为二次回路的故障而导致的有关保护的误动或拒动，给电力系统带来了重大损失，这是不可忽视的问题。

第一节　微机型继电保护试验仪器的故障分析

一、故障现象

在用 ART—B 微机型保护试验仪做 220kV 晶体管型线路保护带断路器的整组试验时，重合闸在综合重合闸方式下，模拟接地距离 I 段范围内故障，断路器三相跳闸正常，但重合到永久性故障上时，断路器却不再跳闸。

二、故障的原因分析与检查过程

ART—B 型微机试验仪与线路保护的联接示意见图 6-1。试验采用“自动”试验程序进行，试验程序如下。

人工控制第一次模拟故障量加入—保护单相跳闸信号控制模拟故障量断开—重合闸信号控制模拟故障量重新加入—三相永跳信号 KTR 控制模拟故障量再次断开。

从外附表计监视试验仪器的输出电压、电流得知，两次故障量信号确实有了输出，工作过程也正确无误。保护的第一次跳闸正确，说明故障量输入的接线正确。

分析产生故障现象的原因可能有两个，一是 KTR 永跳继电器用于跳闸的一对触点不好；二是试验仪器与保护的配合上有问题。

故障查找过程如下：监视 KTR 永跳继电器跳闸触点输出正常，则是试验方法有不当

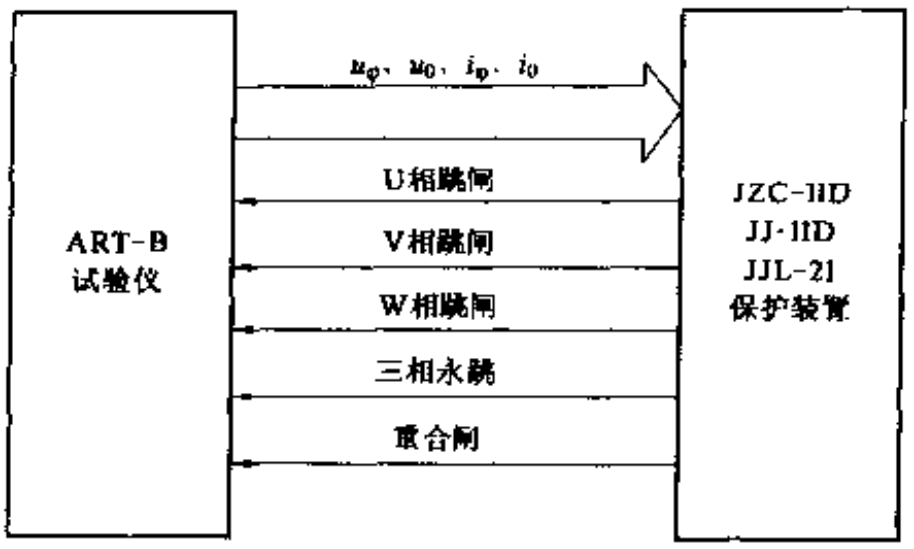


图 6-1　试验仪器与保护装置的连接

之处。检查试验接线与试验过程，并与系统实际故障时保护动作过程作比较，发现在第二次模拟故障量加入（模拟重合到故障线路上）时，虽然保护跳闸命令已发出，但是断路器却不跳开，其原因是跳闸命令存在时间过短，即模拟故障量存在的时间过短。第二次模拟故障量的加入是由重合闸装置的合闸信号控制的，断路器刚刚接到合闸命令，距断路器合到位尚需要一个断路器合闸时间（100ms 以上），而只有断路器合闸到位以后，其合位辅助触点才能闭合，从而沟通断路器的跳闸回路。在这之前，尽管跳闸命令已发出，但跳闸回路不通，断路器不能跳闸。

第二次模拟故障量的断开是由保护的三相永久跳闸命令控制的，即只要保护跳闸触点一闭合，故障量就被断开，跳闸命令的存在时间只有保护的返回时间，这个时间一般不大于 40ms，而此时因断路器未合到位，跳闸回路不通，跳闸命令无法自保持。从以上的过程可以看出，对于这样的试验控制接线，只要保护动作时间（不大于 30ms）加上保护返回时间小于断路器的合闸时间，就会造成第二次模拟故障时断路器跳不开的现象。

试验控制接线能模拟的故障过程与系统实际故障过程是有所不同的。系统在重合到故障线路上时，故障量是靠断路器来切除的，只要断路器不跳开，故障量不会消失。因此，用保护的跳闸信号来断开模拟故障量方法不当。

三、采取的措施

根据以上的分析，把试验控制接线改为图 6-2 之后，试验即可顺利进行。

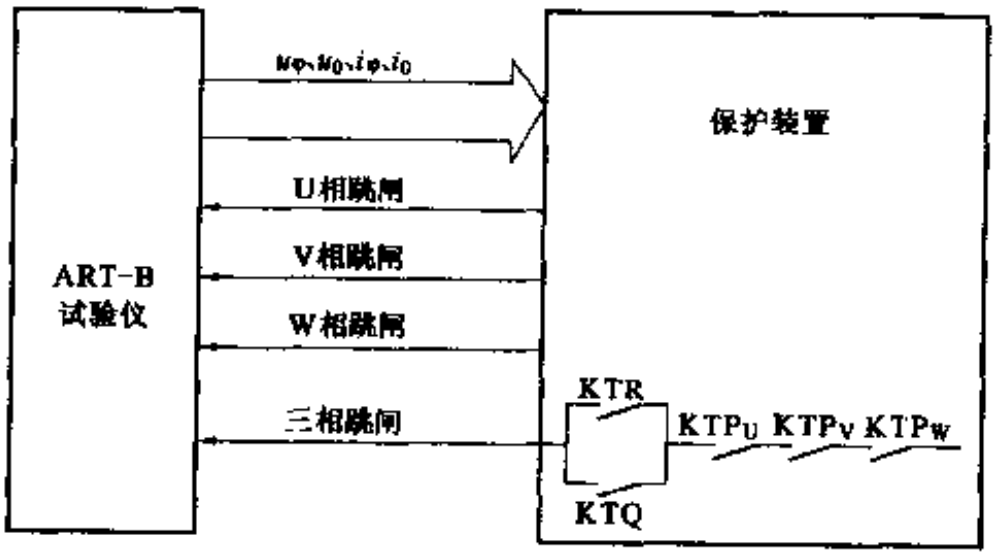


图 6-2　试验控制线的改后图

根据现场的工作经验，试验过程中出现不正常现象时，应该首先检查试验接线和试验方法是否真正模拟了实际系统的故障现象，对于多相补偿原理、突变量原理构成的保护和

微机保护更要注意这个问题。保护装置的最终动作行为受许多条件的制约，试验者只要真实模拟了保护设备在实际系统故障时所能感受到的外部条件，保护设备的动作行为就应该是正确的。

第二节　YB发电厂风机电动机保护误动作

一、故障现象

YB发电厂风机电动机曾多次发生过负荷的现象，每当电动机过负荷时间太长时，保护不能起动，直到电动机被烧坏，造成三相短路后过流保护才起动跳闸将电动机切除，继电保护没有起到应有的保护作用。

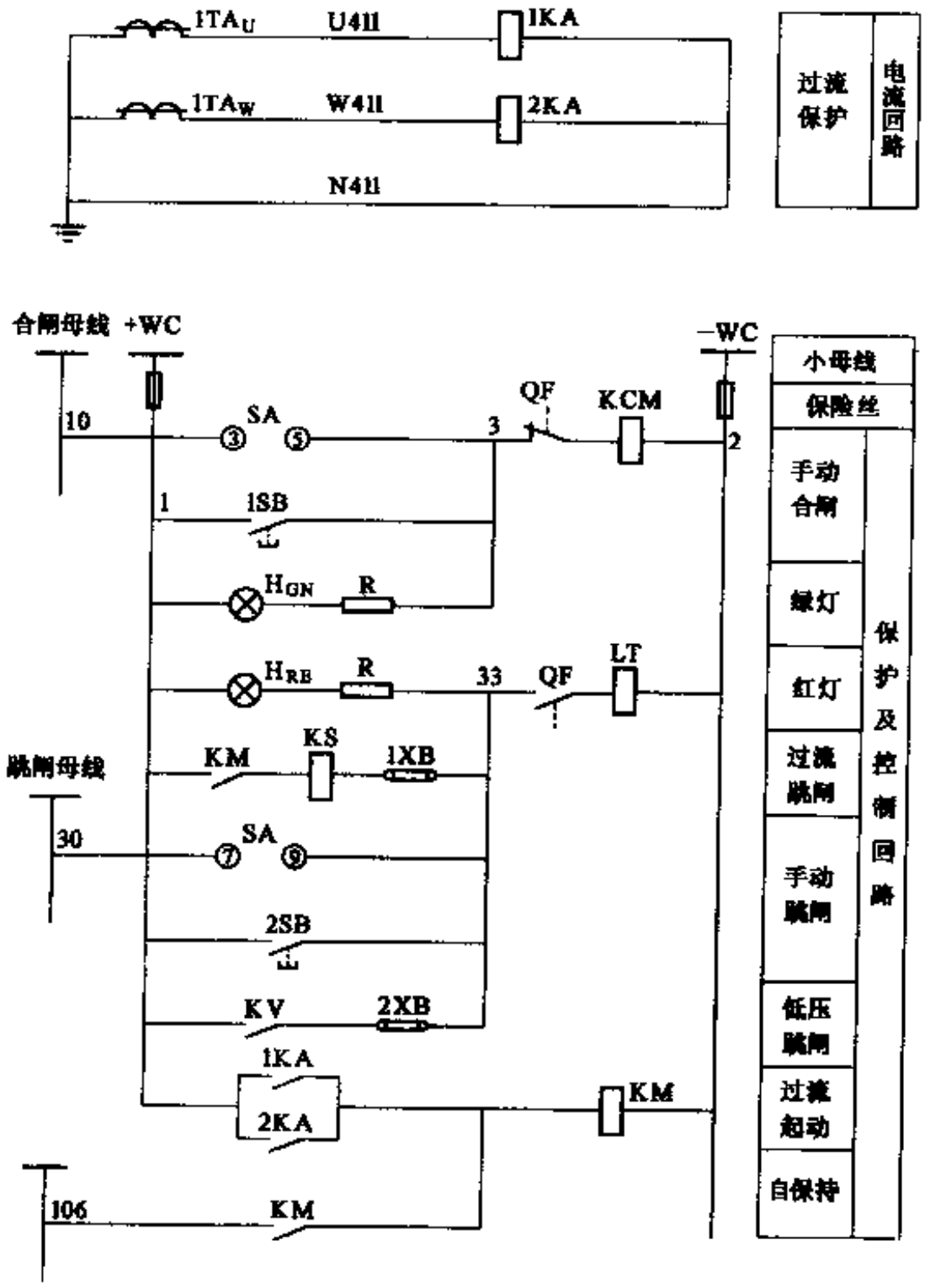


图 6-3　原设计的电动机保护及控制回路图

二、故障的原因分析

由于风机电动机在过负荷时的电流达不到过电流保护的整定值，电动机没有设置专门的过负荷保护，过负荷的电动机得不到保护。电动机过负荷的时间不太长时，不会造成故障。但当过负荷比较严重，持续的时间又较长时，其本体及铁芯的热量散发不出去，使绝缘遭到破坏，造成电动机的短路。这是一种保护在设计上考虑不全的典型事例。原设计的过流保护原理电路见图 6-3。

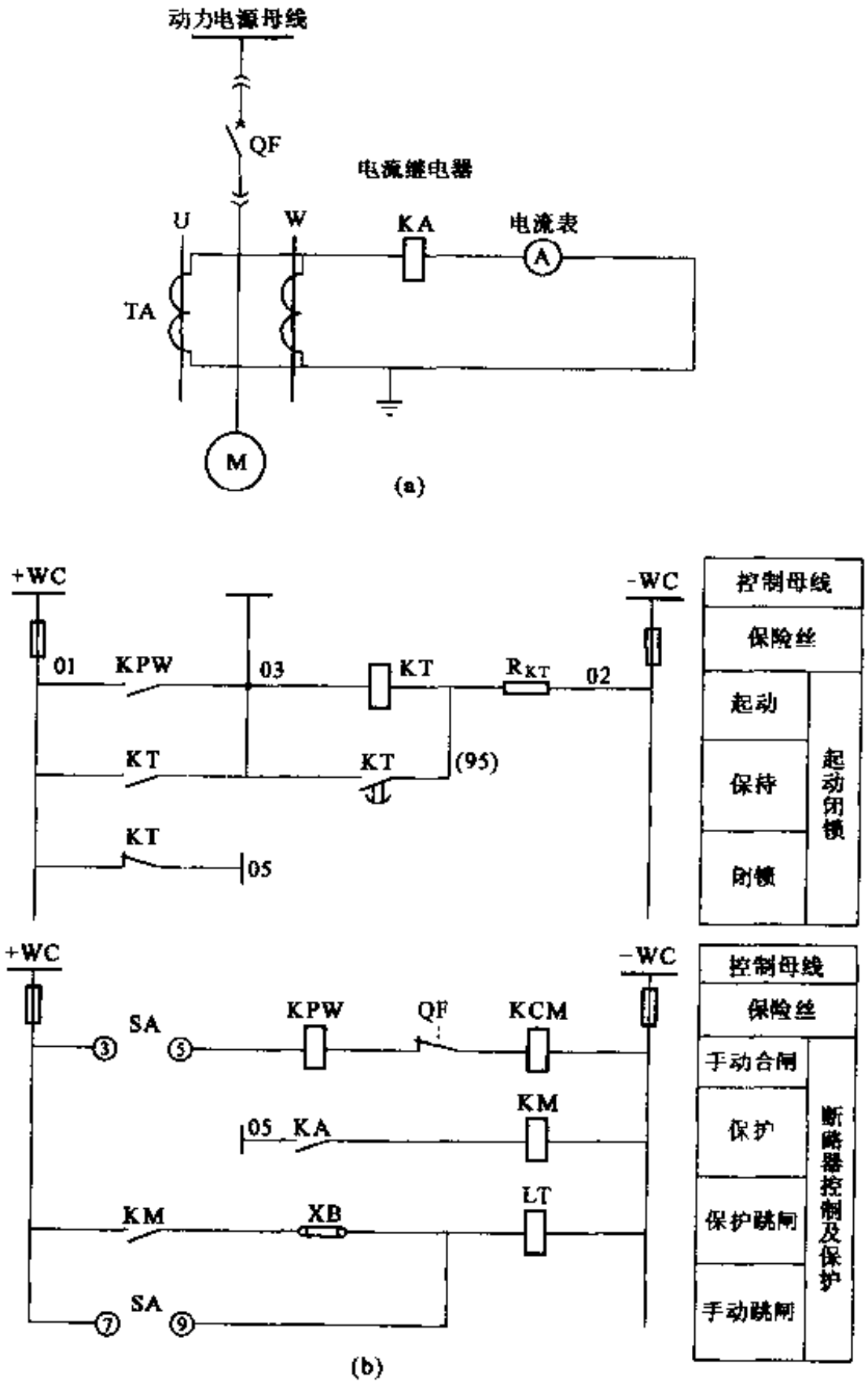


图 6-4　外加的过负荷保护接线图

（a）保护测量回路接线图；（b）保护的闭锁回路接线图

三、采取的措施

在风机电动机的保护中增加一套过负荷保护。过负荷保护的原理接线见图 6-4，新增加的过负荷保护设置了一套起动闭锁回路，供 4 台风机电动机公用，以躲过电动机起动时的起动电流。公用的闭锁电路用一只时间继电器通过小母线 01、02、03、05 进行连接。

整个过负荷保护动作过程如下。

1. 风机电动机起动时

当一台风机电动机起动时，控制开关 SA 触点闭合，合闸回路中的干簧继电器 KPW 接点闭合，控制回路的电源加到 03 小母线上，起动时间继电器 KT，KT 常开触点自保持，常闭触点打开，切断了 05 小母线的电源，将过负荷保护退出，经 9s 延时后 KT 的延时触点闭合，短接 KT 的线圈，使 KT 失压而返回，此时 KPW 也早因 SA 的返回而返回，所以整个闭锁电路返回，过负荷保护自动投入。

2. 风机电动机出现过负荷时

在运行过程中，当有一台风机电动机出现过负荷时，其电流继电器 KA 起动，KA 触点闭合，控制回路的正电源通过 KT 常闭触点、05 小母线、KA 常开触点加到中间继电器 KM，KM 的触点闭合跳开风机电动机断路器。

过负荷保护按躲过最大负荷电流进行整定，$I_{set} = 1.1I_N$。事实证明风机加装过负荷保护后运行正常，没有再出现因过负荷而烧坏电机的事故，其收效是令人满意的。

第三节　HS发电厂 6 kV 电动机起动时零序保护误动作

一、故障现象

HS 发电厂 5 号、6 号机组自投运以来，其 6kV 辅机电动机在起动过程中存在有零序保护误动的现象。其中误动问题比较突出的有引风机、送风机、磨煤机、一次风机、给水泵等电动机的零序保护。

针对这一问题，专业人员做了大量的查找与分析工作，并在磨煤机起动时进行二次电流测量与录波，结果发现此时零序回路中流过的不平衡电流高达 16.8A。但引起电流不平衡的原因尚未查明，使得零序保护一直无法整定，只有采取在电动机起动过程中暂时将保护退出的措施，才得以维持运行至今。

二、电动机零序保护原理与接线简介

HS 发电厂 5 号、6 号机组 6kV 厂用系统接线、有关 TA、二次回路及保护概况如下。

(1) 高压厂用变压器 6kV 侧中性点经过中阻接地，目的在于限制接地故障电流，因此零序保护的定值不能整定太高。

(2) 6kV 辅机电动机的 TA 是西门子公司的产品，其中磨煤机电动机一组 TA 的铭牌参数为：

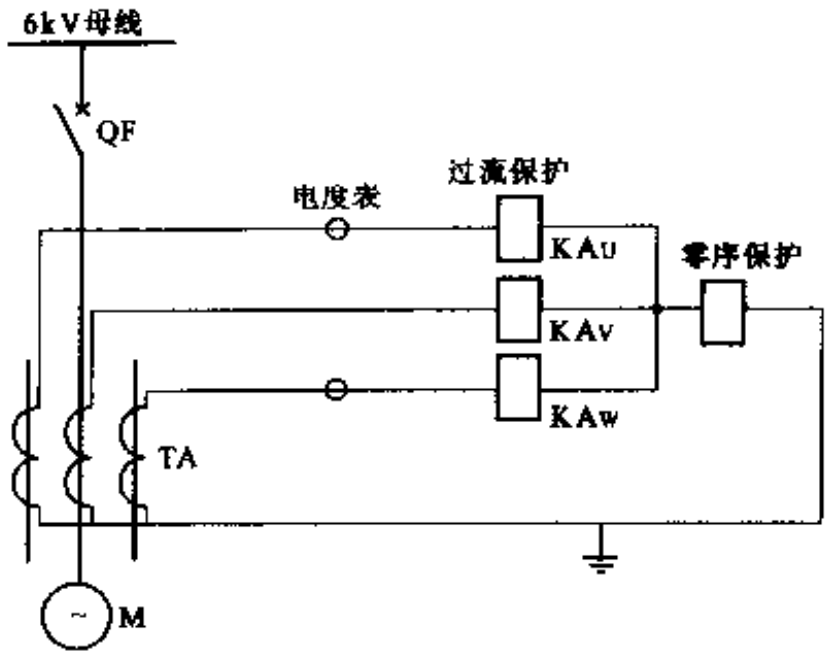


图 6-5　电动机 TA 二次回路设备原理接线

变比—100/5A，绝缘—E 级，热稳定电流—15kA，动稳定电流—15kA，额定负载—15VA，级别—10P，一次额定电流倍数—10。

(3) 6kV 电动机的零序保护装置也是西门子公司产品，安装在保护柜内。TA 二次回路设备的原理接线见图 6-5。

三、故障的检查过程与分析

问题出在 TA 及其二次回路上，因此要以 TA 及其二次回路作为分析研究的主要对象。下面结合在 2 号机组 2E 磨煤机电动机上进行的有关试验对 TA 的特性作以分析，找出故障的根源所在。

1.TA 负载能力的确定

TA 的负载能力应满足各种短路情况下推动二次负载的需要，因此对各种故障下的二次负载作以比较，以便找出最大值用于分析。

(1) 电动机各种短路情况下 TA 二次负载的分析与比较。

6kV 电动机 TA 二次接线的等值电路见图 6-6。

图中 Z_c 为 TA 二次引线阻抗，Z_{LU}、Z_{LV}、Z_{LW}为二次各相负载，Z_{L0}为零序保护阻抗。

1) 对称短路时 TA 的二次负载。

当一次系统发生对称短路时，TA 二次侧的三相电流也是对称的，这时

$$\dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = 0$$

$$\dot{U}_U = \dot{I}_U(Z_C + Z_{LU})$$

$$\dot{U}_V = \dot{I}_V(Z_C + Z_{LV})$$

$$\dot{U}_W = \dot{I}_W(Z_C + Z_{LW})$$

各相 TA 二次阻抗分别为

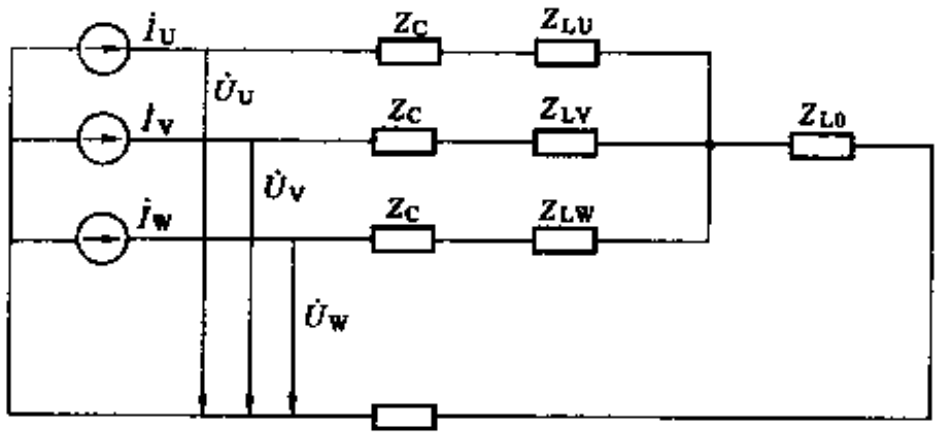


图 6-6　电动机 TA 二次接线的等值电路

$$Z_{2U} = \dot{U}_U/\dot{I}_U = Z_C + Z_{LU}$$

$$Z_{2V} = \dot{U}_V/\dot{I}_V = Z_C + Z_{LV}$$

$$Z_{2W} = \dot{U}_W/\dot{I}_W = Z_C + Z_{LW}$$

若 TA 二次的各相负载或阻抗相等，即 $Z_{LU} = Z_{LV} = Z_{LW} = Z_L$，则上述各式写成普通表达式

$$Z_2 = Z_C + Z_L$$

2) 相间短路时 TA 的二次负载。

设一次系统发生 U、V 相间短路，则三相 TA 的二次侧也不对称，这时

$$\dot{I}_U = -\dot{I}_V, \dot{I}_W = 0, \dot{I}_0 = 0$$

$$\dot{U}_U = \dot{I}_U(Z_C + Z_{LU})$$

$$\dot{U}_V = \dot{I}_V(Z_C + Z_{LV})$$

两相 TA 二次阻抗分别为

$$Z_{2U} = \dot{U}_U/\dot{I}_U = Z_C + Z_{LU}$$

$$Z_{2V} = \dot{U}_V/\dot{I}_V = Z_C + Z_{LV}$$

若 TA 二次的各相负载阻抗相等，即 $Z_{LU} = Z_{LV} = Z_L$，则上述各式写成普通的表达式

$$Z_2 = Z_C + Z_L$$

3）单相接地短路时的二次负载。

设 U 相发生接地短路，三相 TA 的二次只有单相电流，这时

$$\dot{I}_U = \dot{I}_0, \dot{I}_V = 0, \dot{I}_W = 0$$

$$\dot{U}_U = \dot{I}_U(Z_C + Z_{LU}) + \dot{I}_0(Z_C + Z_{L0}) = \dot{I}_U(2Z_C + Z_{LU} + Z_{L0})$$

U 相 TA 二次阻抗为

$$Z_{2U} = \dot{U}_U/\dot{I}_U = 2Z_C + Z_{LU} + Z_{L0}$$

若 TA 二次的各相负载阻抗相等，即 $Z_{LU} = Z_L$，则上式写成普通的表达式

$$Z_2 = 2Z_C + Z_L + Z_{L0}$$

由此可见当单相短路故障时，TA 的二次负载阻抗为最大。因此，TA 负载能力的确定应以满足单相短路时的要求为依据。

（2）实测的 TA 二次负载。

根据上述分析，试验时只测单相短路下 TA 的二次阻抗值。现将实测的 6 号机 2E 磨煤电动机单相短路情况下 TA 的二次负载阻抗列入表 6-1。

表 6-1　　实测的 TA 二次负载

I（A）		5.00	10.00	30.00
U 相	U（V）	4.00	8.30	26.70
	Z（Ω）	0.80	0.83	0.89
V 相	U（V）	1.80	3.70	12.30
	Z（Ω）	0.36	0.37	0.41
W 相	U（V）	4.00	8.40	27.00
	Z（Ω）	0.80	0.84	0.90

（3）数据分析。

1）从表 6-1 可知，6 号机 2E 磨煤电动机 U、W 相二次侧的额定电流 5A 时，实际伏安值是 4V × 5A = 20VA，大于 TA 的标准值 15VA。因此电动机所配置的 TA 容量不满足额定

负载时的要求。

2）从表 6-1 还可得到 TA 二次最大的阻抗值为 0.9Ω。

2. TA 的 10%误差特性分析

分析 TA 二次负载为 0.9Ω 时能否满足 10%误差特性的要求。为此，必须先找出 TA 实际的 10%误差曲线，从中确定一次不饱和电流倍数。

（1）10%误差曲线的做法。

采用 TA 的励磁特性曲线法可得到 10%误差曲线，做法如下。

1）TA 的励磁阻抗特性曲线。

TA 的等值电路见图 6-7。

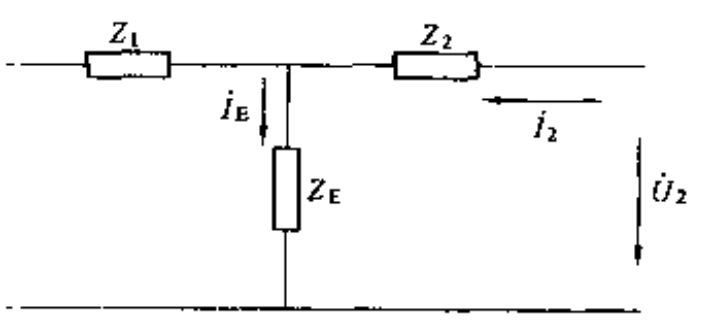


图 6-7　TA 的等值电路

图中，Z_1 为一次绕组阻抗，Z_2 为二次绕组阻抗，Z_E 为励磁阻抗，I_E 为励磁电流。将 TA 的一次侧开路，二次电流、电压之间的关系为

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_E(Z_E + Z_2)$$

上式可以写成

$$Z_E + Z_2 = \dot{U} / \dot{I}_E$$

相对 Z_E 来说，Z_2 可以忽略不计，所以 TA 二次的伏安特性近似为励磁阻抗特性，即 $Z_E = f(I) \approx U/I$，而伏安特性又极易从试验中获得。

2）做 10%误差曲线。

用励磁特性曲线的纵坐标乘以 0.1 作为 10%误差曲线的横坐标，即二次允许阻抗

$$Z_{EN} = 0.1Z_E \approx 0.1U/I_E$$

用励磁特性曲线的横坐标乘以 2 作为 10%误差曲线的纵坐标，即一次电流倍数

$$m_{10} = 2I_E$$

（2）实测的 10%误差曲线。

对 6 号机 2E 磨煤电动机 TA 的二次伏安特性进行了实测，有关数据列入表 6-2，因三相数据基本一致，故只列一相。

表 6-2　　电动机 TA 二次伏安特性实测表

I（A）	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0	15.0	20.0	30.0
U（V）	30.3	31.2	31.9	32.4	32.7	33.0	33.9	34.5	35.1	36.3
Z（Ω）	6.06	3.12	1.60	1.08	0.82	0.66	0.34	0.23	0.18	0.12
m_{10}	1	2	4	6	8	10	20	30	40	60

根据表 6-2 的数据可以做出 10%的误差曲线，见图 6-8。

（3）TA 的误差分析。

从图 6-8 可以看出，横坐标为 0.9Ω 时所允许的一次额定电流倍数为 7。根据 TA 的励磁饱和特性，当一次电流大于该值时，其二次电流的波形就出现畸变现象，误差将超过 10%，而 6 号机 2E 磨煤电动机的起动电流高达 7.5 倍的额定值，此时两相 TA 已处于饱和

状态，所以二次传变不再维持线性关系，从而产生了不平衡电流，使零序电流保护无法躲过。

3. 电动机起动时 TA 的二次波形分析

在 6 号机 2E 磨煤电动机起动时进行 TA 二次的录波检验，波形见图 6-9。从图中可见，二次电流畸变的尖顶波。零序电流的波形也离正弦波相差甚远，且数值大于 5A。

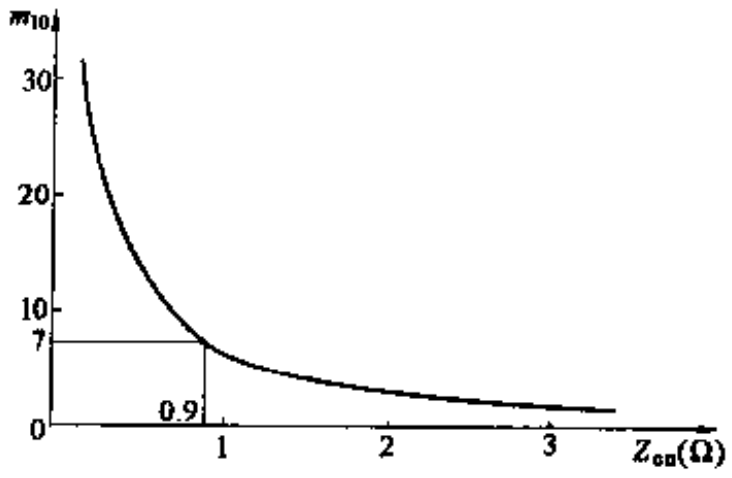


图 6-8　10%的误差曲线

该波形充分证明了前面理论分析及试验结果的正确性。

另外，在电动机起动录波的同时还测出了工作变压器中性线上的一次电流值为 0.8A，此值对二次的影响可以忽略不计。

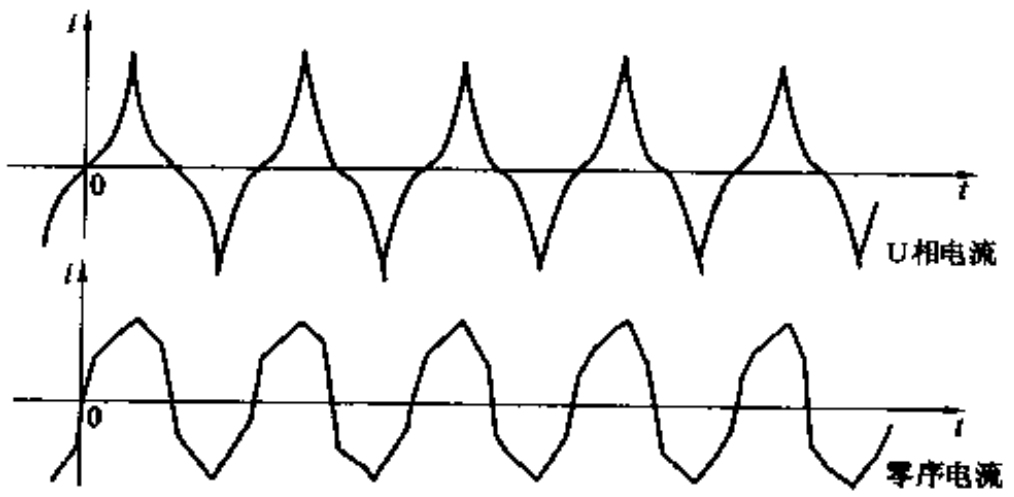


图 6-9　实测的电流波形图

4. 结论

通过上述分析于试验得出如下结论。

（1）零序保护误动作的原因在于 TA 饱和。

HS 发电厂 6 号机 2E 磨煤电动机在起动过程中零序保护误动作的原因在于 TA 饱和，其二次电流波形处在畸变的状况下，三相的和电流即不平衡电流也就不再为零，致使零序保护误动作，定值无法整定。

（2）二次回路的设计缺陷造成了 TA 饱和

TA 饱和的原因是由于二次接线的缘故，若零序保护专设单独的 TA，可减轻现有 TA 的二次负担，电动机起动过程中也就不存在波形畸变，保护误动的问题了。这属二次回路设计上的缺陷。

（3）由上述分析可以断定，HS 发电厂 5、6 号机的 6kV 辅机，诸如引风机、送风机、磨煤机、一次风机及给水泵等电动机再起动时零序保护误动作的原因是一致的，都是由于二次回路设计不合理使 TA 饱和所致。从根本上排除了一次系统其他方面的因素。

四、采取的措施

1. 在电动机侧另装一组零序 TA

在电动机侧另装一组零序 TA，即可解决零序保护起动过程中误动的问题。

2. 更换 TA

更换 TA，改选具有两组二次绕组的 TA，用于保护的一组应满足在短路情况下二次电流的误差小于 10%的要求

3. 在原 TA 的下部另加一组 TA

在原 TA 的下部另加一组 TA 用于保护，将测量表计和保护分开接线，以减小 TA 的二次回路阻抗，提高一次不饱和电流的倍数。

4. 零序保护加装连接片

零序保护加装连接片，在起动过程中暂时将零序保护退出运行，等起动完毕再投入。

5. 加装一时间继电器

加装一时间继电器，起动过程中利用操作开关的触点或开关辅助触点起动时间，将零序保护延时投入，可躲过起动过程。正常运行时该继电器不起作用。

以上五种方案各有利弊，可根据情况选取。

第四节　HSR发电厂2号联络变压器TV断线保护误动作

一、故障现象

HSR 发电厂 2 号联络变压器做冲击试验时，其集成电路保护的 DXB—2 型断线闭锁继电器发断线信号，经检查发现零序电压输入通道有 57V 电压输入，其他电压的输入也正常，因此变压器 TV 发出的信号，是其内部存在故障引起的。下边对保护的原理以及故障产生的原因进行分析。

二、断线闭锁继电器简介

1. 用途

断线闭锁继电器主要用来闭锁电压互感器 TV 二次侧断线时会出现误动作的保护装置。

2. 主要性能

断线闭锁继电器能反应三相电压互感器二次侧各相线路断相故障，当继电器动作后，其常闭触点闭锁保护，常开触点发出信号，以提醒运行人员注意。

3. 技术数据

（1）交流额定值，电压：100V，57V。

（2）功率消耗。

交流电压回路在额定电压 100V 时，每相小于 0.5VA。

直流电压回路 + 12V 回路小于 0.5W；

－12V 回路小于 0.5W；

24V 回路小于 1W。

（3）动作时间。

断线闭锁继电器的动作时间小于 20ms。

4. 工作原理

断线闭锁继电器的方框图如图 6-10 所示。

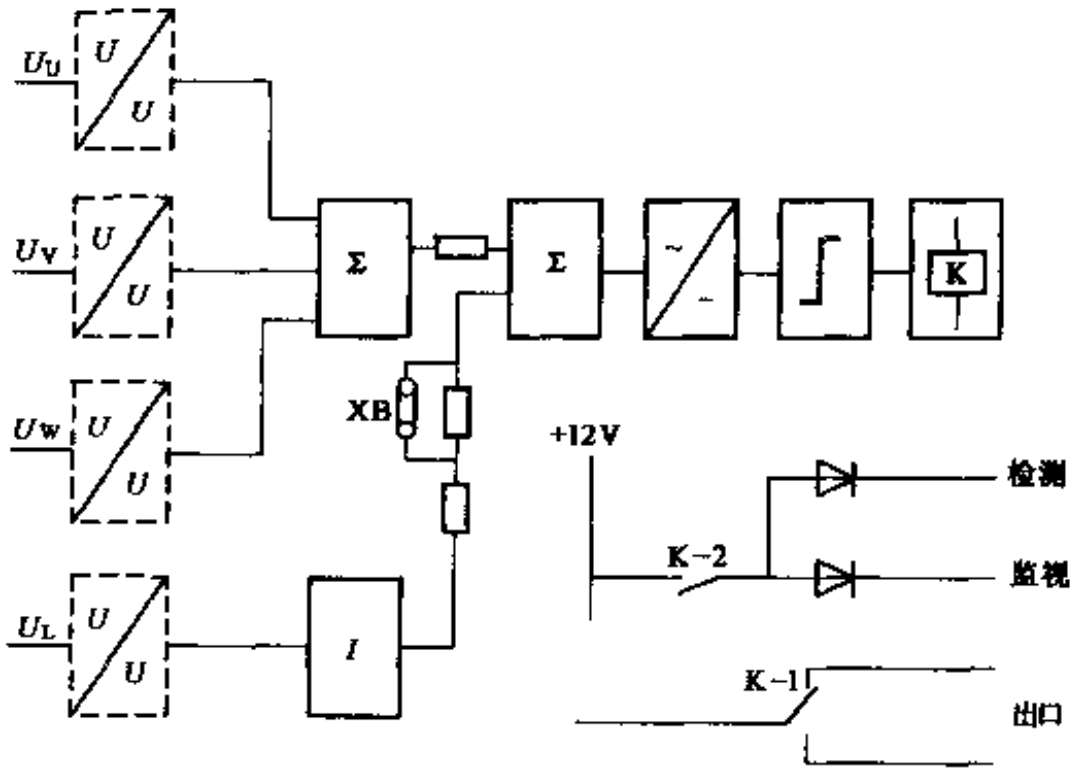


图 6-10　DXB—2 型断线闭锁继电器方框图

U_U、U_V、U_W——相电压；

U_L——开口三角形的零序电压。

用于小电流接地系统的电压互感器的变比为（$U_N\sqrt{3}$）/（100/$\sqrt{3}$）/（100/$\sqrt{3}$），用于大电流接地系统的电压互感器的变比为（$U_N/\sqrt{3}$）/（100/$\sqrt{3}$）/100。对于小电流接地系统，当系统零序电压为 U_0 时，二次电压为

$$|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W| = \frac{3U_0}{\frac{U_N/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}}} = 300\frac{U_0}{U_N},$$

$$U_L = \frac{3U_0}{\frac{U_N/\sqrt{3}}{100/3}} = 100\sqrt{3}\frac{U_0}{U_N}$$

所以 $|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W|$ 之和与 U_L 之比为

$$\frac{|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W|}{U_L} = \sqrt{3}$$

同理，对于大电流接地系统，当系统零序电压为 U_0 时，二次电压

$$|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W| = \frac{3U_0}{\frac{U_N/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}}} = 300\frac{U_0}{U_N},$$

$$U_L = \frac{3U_0}{\frac{U_N/\sqrt{3}}{100}} = 300\frac{U_0}{U_N/\sqrt{3}} = 300\sqrt{3}\frac{U_0}{U_N}$$

所以 $\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W$ 之和与 U_L 之比为

$$\frac{|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W|}{U_L} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

由上述推导可知，当系统出现零序电压时，为保证继电器的两个零序电压保持平衡的条件，对于小电流接地系统是 $|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W - \sqrt{3}\dot{U}_L| = 0$，对于大电流接地系统是 $|\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W - \frac{1}{\sqrt{3}}\dot{U}_L| = 0$。

在电压互感器二次侧断线，如 U 相断线时，向量图如图 6-11 所示。由图 6-11 可知 $\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W = -\dot{U}_U$，$\dot{U}_L = 0$，继电器动作。

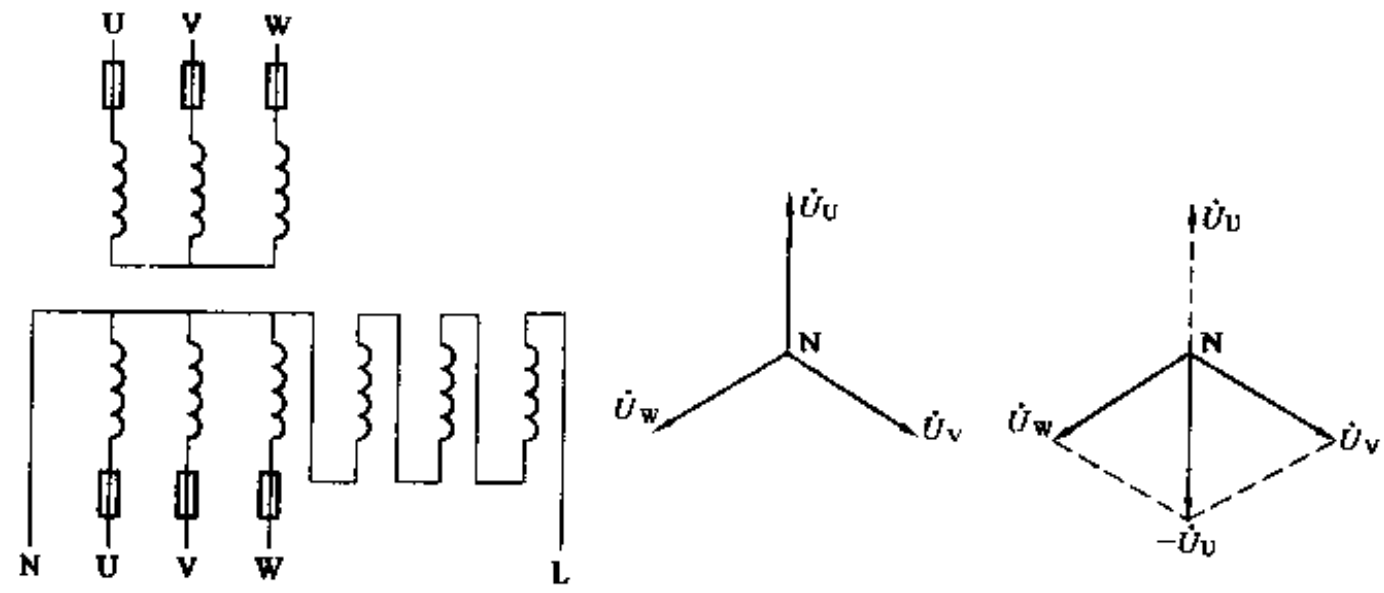


图 6-11　电压互感器二次侧断线相量图

在电压互感器一次侧，如 U 相熔丝熔断时，向量图如图 6-12 所示。

可知 $\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W = -\dot{U}_U$，$\dot{U}_L = -\dot{U}_U$。

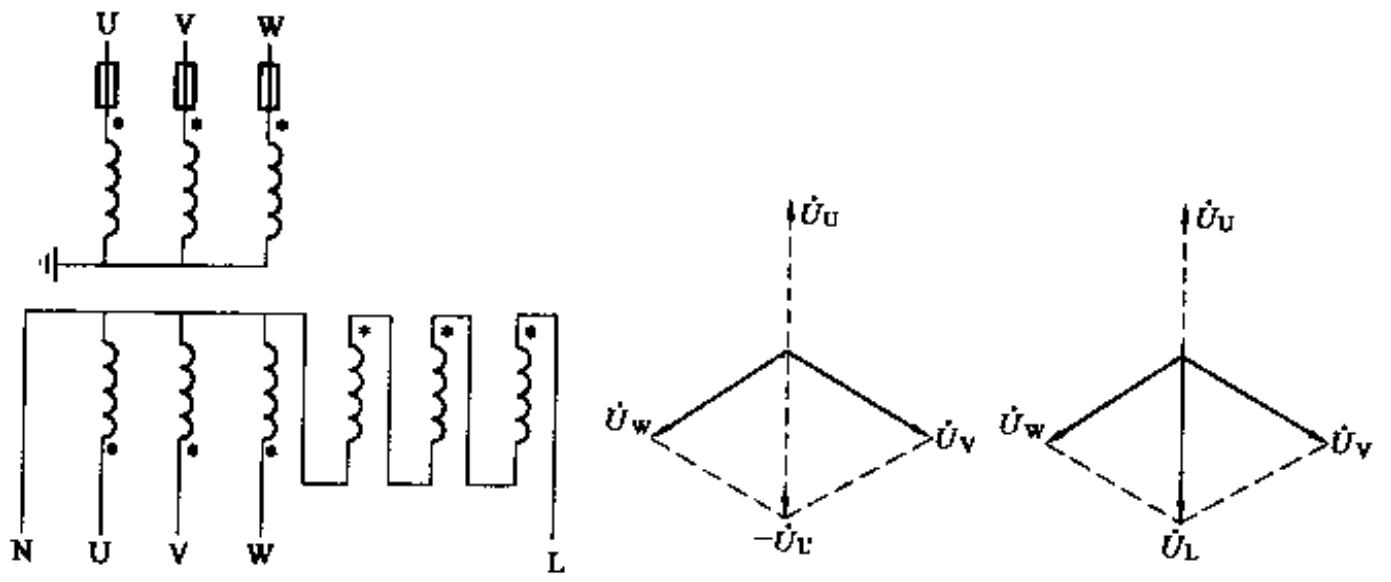


图 6-12　电压互感器一次侧断线相量图

在小电流接地系统中，$\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W=\sqrt{3}\dot{U}_1$，满足$|\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W-\sqrt{3}\dot{U}_1|=0$的关系式，继电器不动作。

在大电流接地系统中，$\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W=\frac{1}{\sqrt{3}}\dot{U}_1$，满足$|\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W-\frac{1}{\sqrt{3}}\dot{U}_1|=0$的关系式，继电器不动作。

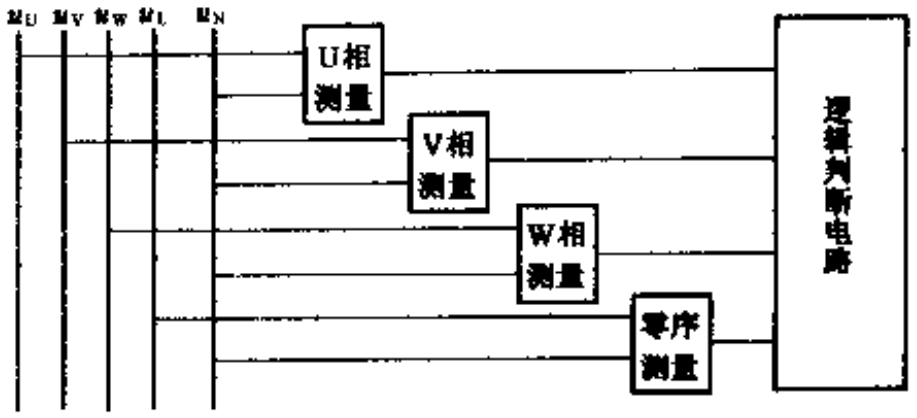


图 6-13　中性点 *N* 接地的断线闭锁保护接线

断线闭锁继电器用于大电流接地系统时内部连片 XB 断开，用于小电流接地系统时内部连片接通。

继电器的电压变换部分在相应的交流插件中。断线闭锁继电器的原理电路见图6-13。

三、故障的检查过程及原理分析

从保护的原理接线可以看出，其电压输入为三个单相电压：U_{UN}、U_{VN}、U_{WN}及零序电压 U_{LD}，生产厂的设计接线是按照 TV 中性点接地处理的，此时 $U_{LD}=U_{LN}$，见图 6-14，但在现场 TV 二次是 V 相接地，见本章第五节“联络Ⅱ线 TV 间隙放电问题的分析与处

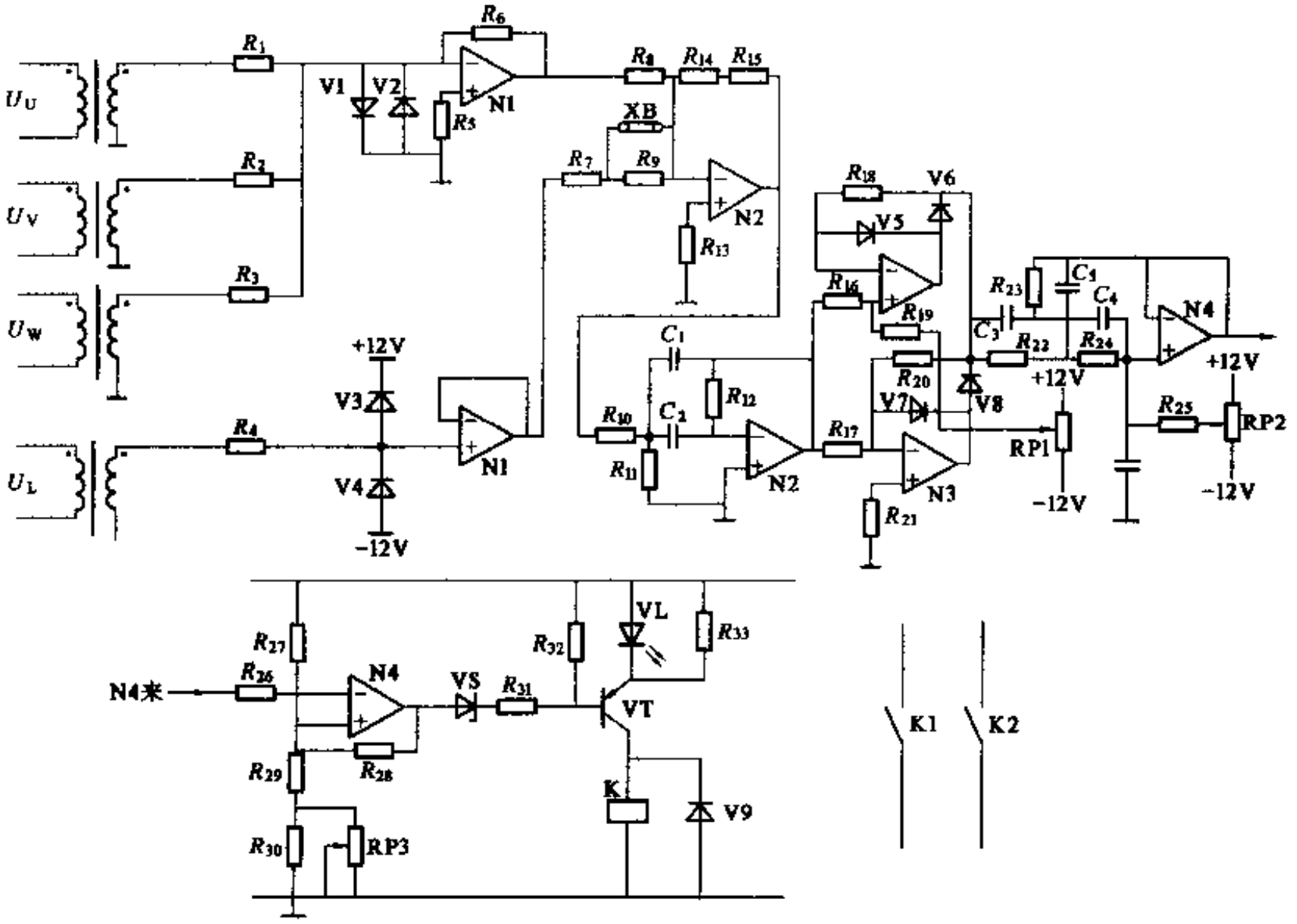


图 6-14　断线闭锁保护原理电路

理”，V 相接地的接线正常时 U_{LN}有 V 相电压 57V 输入，$\dot{U}_{LN}=\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W+\dot{U}_V=\dot{U}_V$。

在断线闭锁逻辑电路中，U_{LD}信号输入，经过射极跟随器 N1 送到加法器 N2，在加法器的两路输入中，R_8 一路为 0，R_7 不为 0，此信号经过整流滤波送到比较器比较后，使继电器动作，发出断线信号。

将 U_{LD}改到 L630 及 V600 之间，则继电器输入为开口三角形电压。正常时 $3\dot{U}_0=0$，$\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W=0$，所以继电器不动作。

四、注意事项

在改线时应该注意，U 相、V 相、W 相三相测量元件采用的是相电压，所以接线时不可简单地将 U_N 输入线 N630 移到 V600，否则会导致接线的错误。另外，继电器的背板有三根线为同一输入点，改线时必须将三根线同时移过去。

第五节　HSR发电厂联络Ⅱ线TV间隙放电的分析

一、故障现象

LS 联络Ⅱ线是 HSR 发电厂内部 A 站到 B 站新上的联络线，电压等级 220kV，线路结构见图 6-15。

线路的送电方案规定，其送电步骤是断开 292 断路器，由 B 站向线路充电，当线路 1TV 带电后，有下列异常现象。

1.1TV 接线盒内有放电的声音

1TV 接线盒内有比较严重的放电声音，有青烟从电缆孔内冒出，三相情况基本一致。

2. 二次电压指示表记有摆动现象

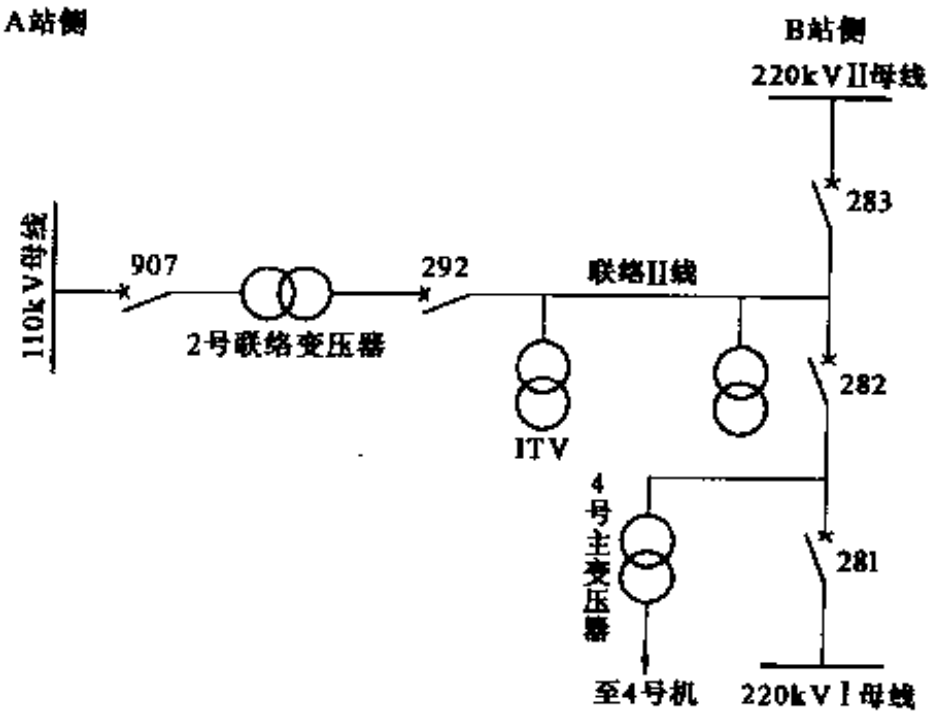


图 6-15　联络Ⅱ线系统结构情况

网控室测量 TV 二次电压指示表记有摆动现象，摆动停止后表记读数趋于稳定，U_{UV} = 230kV，U_{VW} = 230kV，U_{WU} = 230kV。

3. 控制室内有零序电压信号发出

线路停电后，表记仍有电压指示，U_{UV} = 70kV，U_{VW} = 50kV，U_{WU} = 28kV。将线路接地刀合闸，上述电压消失，经检查发现 TV 接线盒内部的放电间隙有明显的放电痕迹，其中 V 相的放电间隙之间的环氧树脂板烧

去 3mm。

二、TV 的原理接线简介

1.TV 的一次接线

TV 一次的设计接线见图 6-16，TV 的变比是$\frac{220\text{kV}}{\sqrt{3}}/\frac{100\text{V}}{\sqrt{3}}/\frac{100\text{V}}{\sqrt{3}}/100\text{V}$

载波装置在 TV 回路中的接线见图 6-17，TV 接线端子的布置见图 6-18。

在图 6-17 所示的系统中，C_1、C_2 作为高频信号的耦合电容，同时载波器又作为 C_2 接地的连接线，载波器接入后，C_1、C_2 分压电路完整。

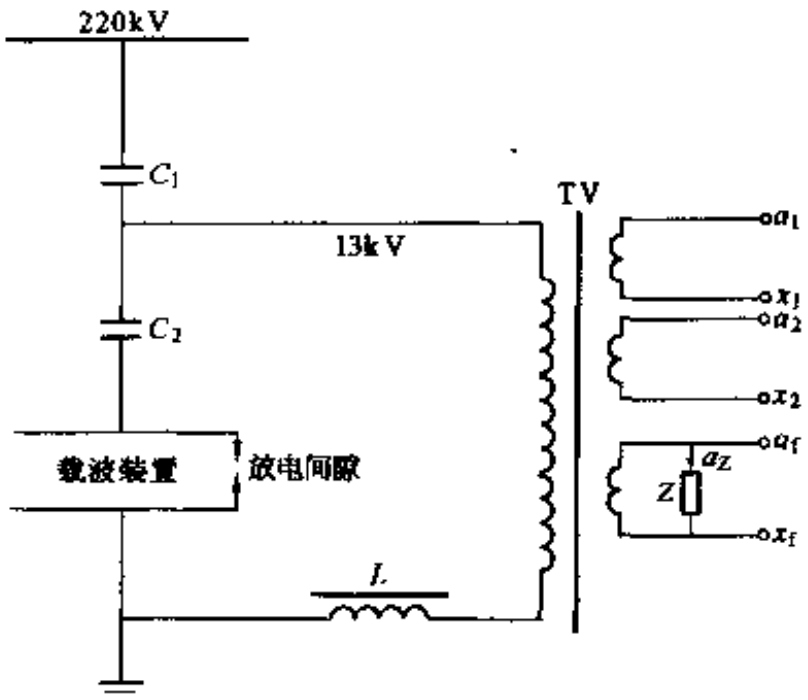


图 6-16　TV 一次侧的设计接线

L—补偿电抗器；Z—阻尼电阻

2.TV 的二次接线

TV 的二次接线见图 6-19，在二次接线中，采用 V 相接地的方式，中性点经击穿保险接地。

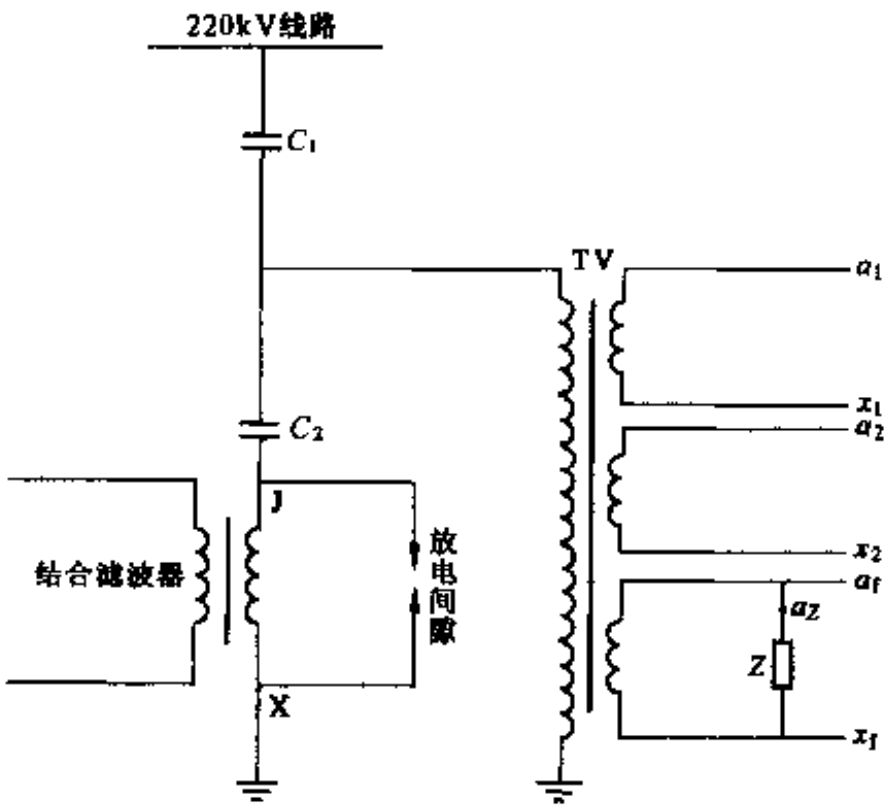


图 6-17　TV 的结构及结合滤波器的位置

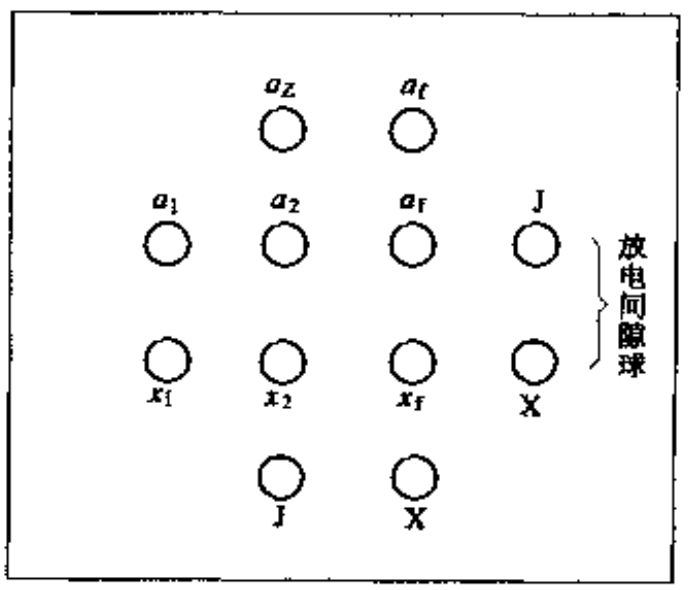


图 6-18　TV 端子的接线标志

三、故障的原理分析及查找过程

1. 回路接线不完善改变了分压比

在 TV 的设计接线中，有载波装置的位置，但是线路采用了光纤通信的 LFP—931A 型电流差动保护、LFP—902A 型距离保护。光纤通信的方式是将两侧同型号的设备用光缆相联结，省去了常规的高频收发信机、结合滤波器、阻波器等通信设备，在这种情况下，应将 TV 端子箱内的载波装置的连接点 JX 短接，以保证电压回路的正常通道，但在实际的

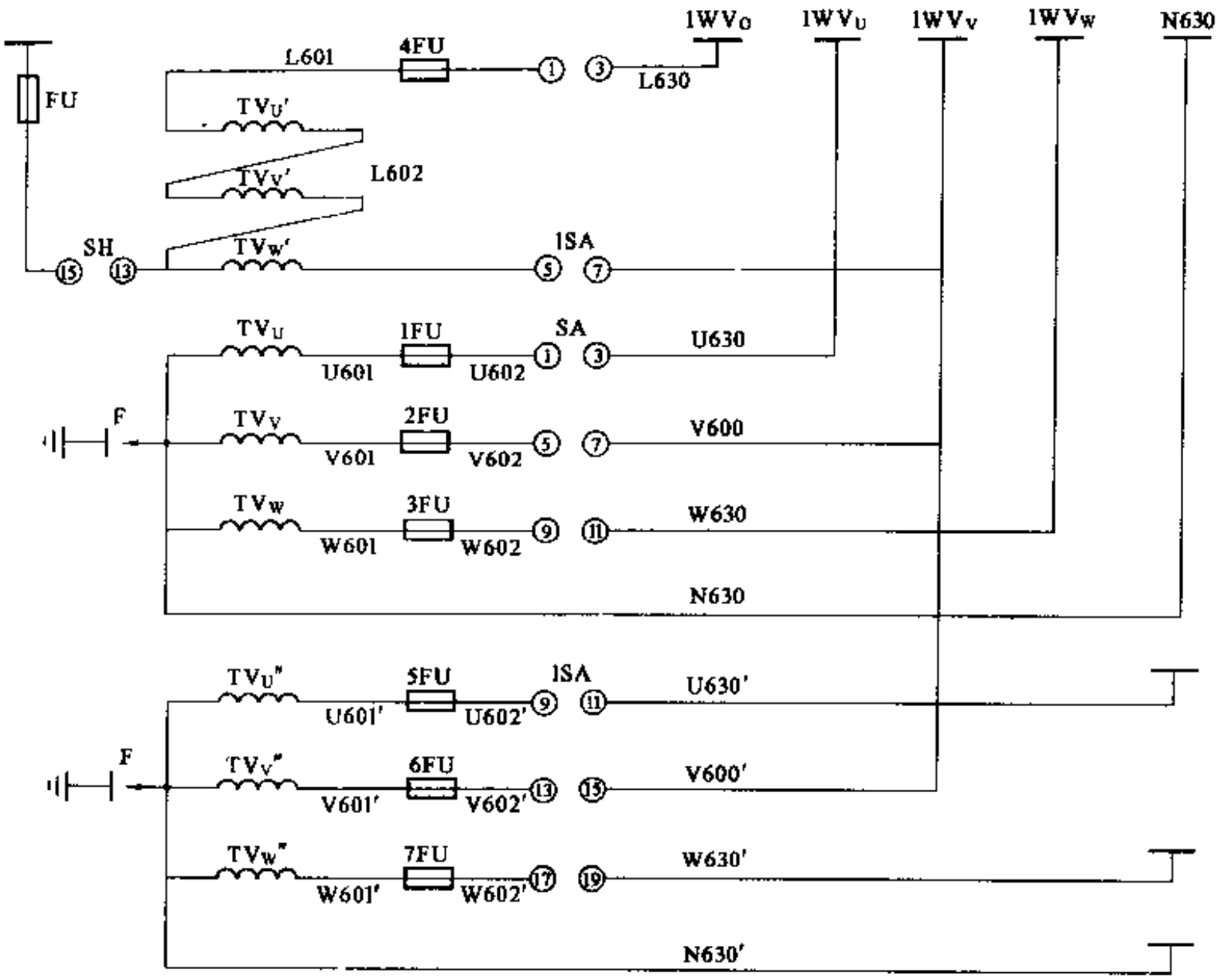


图 6-19　电压互感器二次接线图

接线中却忽略了这一点，使接线端子 JX 开路，如此 TV 测得的电压不是 C_1、C_2 的分压，而是 C_1 与 TV 一次绕组分压的结果。由于 TV 一次绕组的阻抗非常高，所以一次绕组的分压远远超过了 C_1 与 C_2 串联时 C_2 的分压（约 13kV）。高频通道的放电间隙的放电电压约为 300V，TV 送电以后，放电间隙上分得的高电压使放电间隙放电，放电击穿空气气隙，产生了青烟。

TV 的 V 相，由于环氧树脂的表面油污灰尘痕迹比较严重，为放电提供了导通的通道，也是其环氧树脂表面烧伤的根本原因。

2. 放电间隙的击穿使分压比趋于正常

放电间隙击穿以后，C_1、C_2 的分压比趋于正常，但是放电间隙击穿的过程中，通道上的电阻不会稳定，数值也不会是零，因此反应到二次上就是电压摆动，当气隙击穿稳定以后，二次电压稳定。

3. 三相电压不平衡产生了零序电压

从 TV 的二次接线中可以看到 $3\dot{U}_0 = |\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W|$，也是因为各相放电间隙不均衡，使得三相电压 $\dot{U}_U$、$\dot{U}_V$、$\dot{U}_W$ 不可能对称，在二次出现了 4.6V 的零序值，整定值为 4.5V，所以发出零序动作信号。

4. 线路停电后的感应电压

LS 联络Ⅱ线与Ⅰ线同杆架设，Ⅱ线停电后，其Ⅰ线仍然带电运行，Ⅰ线在Ⅱ线上的感应电压比较高，但是二次测得 UV 相 31V、VW 相 22V、WU 相 12V，其值显然是不正常的。

问题仍然从 C_1 与 TV 的一次线圈分压方面来解释。在 JX 之间的放电间隙没有击穿的情况下，LS 联络Ⅱ线上的感应电压值基本上都加到 TV 一次的绕组上了，而 TV 的变比是 13000/57.7V，二次值显得很高。

将接线柱 JX 短接后，上述现象消失，实际测到的 LS 联络Ⅱ线感应电压为 2000V。

四、采取的措施

在光缆技术应用逐步推广的情况下，类似的 TV 端子 JX 处问题越来越多，此事应引起设计、安装、调试及运行部门的高度重视，认真对待空出端子的处理问题，有两个原则必须掌握。

1. TV 端子箱不应有端子空出

正常的设计中，TV 的端子盒内的端子有各自的作用，因此在检查时，若发现存在空端子时，应查明原因，及时处理，避免出现气隙被击穿的问题。

2. 线路的感应电压不应太高

线路的感应电压不应该太高，根据以往的统计规律，其感应电压都在 10000V 以内，即使同杆架设的长距离输电线路，其运行线对停用线的感应也不会过高。所以当发现有比较高的“感应”电压的数值，应首先考虑 TV 的变比问题，或是接线问题。

第六节　ZH发电厂出线控制回路接地的处理

一、故障现象

ZH 发电厂 110kV 系统 114 断路器的控制电源熔丝投入后，有直流负极接地信号发出，但是将直流控制开关断开后，正、负极对地绝缘都大于 2MΩ，属于正常范围以内。这种现象带有一定的隐蔽性，那么直流接地点隐藏在何处呢？直流接地信号又是怎样发出来的呢？面对这些问题现从电路结构上作以分析，并将当时的查找过程列出，供读者参考。

二、114 断路器控制电源主回路简介

114 断路器主控制电源的供电主回路图见图 6-20。

三、故障的检查过程及原理分析

1. 带电测量两极的对地电压

合上控制电源开关 SK，测量两条控制电源线的对地电压，结果是：

正极对地电压：220V；

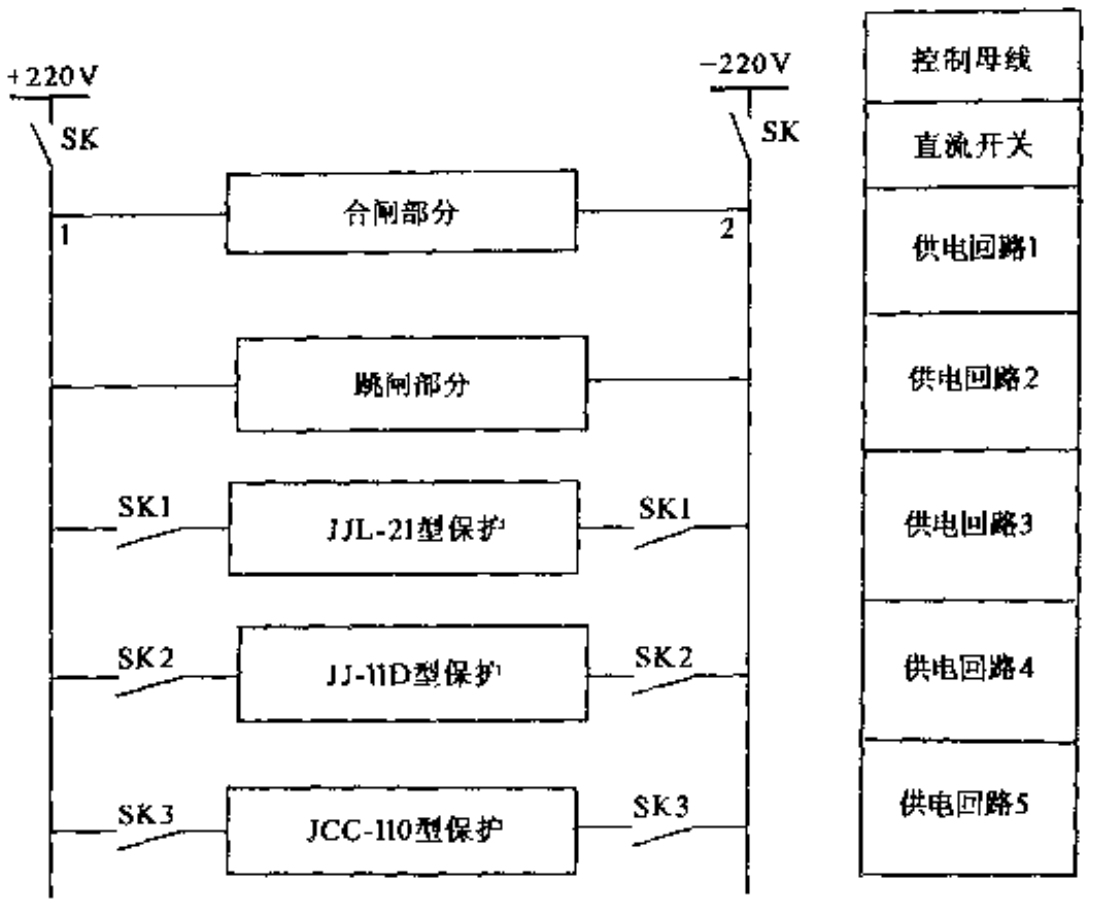


图 6-20　控制电源的供电回路

负极对地电压：0V。

以上结果非常明显地表现为负极接地。

2. 测量两极的绝缘电阻

断开控制电源开关，用 1000V 兆欧表测量到的正、负电源线的对地绝缘电阻为

正极对地：$>2M\Omega$；

负极对地：$>2M\Omega$。

上述数值表明对地的绝缘状况良好，但是当再次投入直流电源开关后，其负极接地信号重新发出，负极对地的电位指示为 0V，正极对地的电位又上升到 220V。

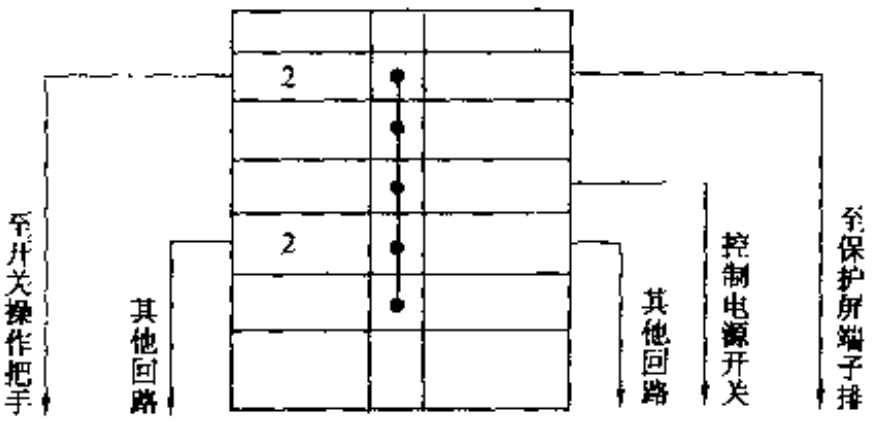


图 6-21　控制屏端子排接线图

3. 断开端子的接线寻找接地点

退出电源开关后绝缘良好，投入开关后则表现为接地故障，故障现象带有一定的隐蔽性，可用开断端子排除法，一边拆，一边进行测量。控制屏上有关的端子接线见图 6-21。

（1）断开控制屏端子测量。当拆掉控制屏至保护屏的电缆线以后，正负极的对地电压恢复到了正常值 ±110V，因此断定接地点就在通向保护屏的回路中。

（2）断开保护屏的开关测量。投入控制电源开关，在设备带电的情况下，依次断开保护屏 JJL—21、JJ—110、JCC—11D 保护装置的电源开关进行测量。当断开 JCC—11D 的电源开关 SK_3 时，接地消失，这说明故障点隐藏在与 JCC—11D 装置有关的回路中。

4. 接地问题分析

由于断开电源开关后，正、负极的对地绝缘良好，投入电源后接地故障出现。可以断定，接地点不与正、负极直接相连，也不是经过线圈或者电阻接地，而是经过触点相连，只有这样其电源投入后，继电器起动，触点闭合，才接通接地点；断开电源后，继电器的触点返回，电源线与接地点又断开。经检查确认在电路中确有这样的触点存在，见图 6-22。断路器跳闸压力监视继电器的 1KPL 触点在停电时断开，送电时闭合，因此怀疑故障点在此回路中。

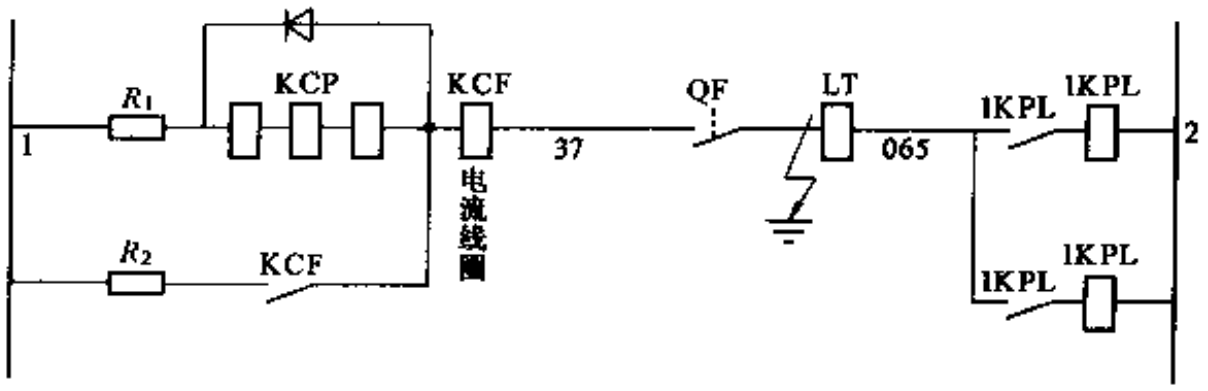


图 6-22　与触点有关的接地点

KCF—跳闸闭锁继电器；1KPL—开关压力监视继电器

5. 接地点的进一步检查

（1）对 1KPL 继电器插件的检查。拔出 1KPL 继电器插件后，检测到接地故障消失，这说明接地点确实在和 1KPL 有关的回路中，但检查 1KPL 的绝缘正常，证明接地点不在本插件上。

（2）对开关本体机构箱的检查。在保护屏处断开 065 回路，检查保护屏至开关本体的回路绝缘，其对地电阻为零，因此接地点就在与 LT 线圈相关的范围内（检查时 114 断路器处于断开状态）再到开关机构箱处断开 065 回路，测其内部的绝缘电阻，数值为零。测量机构箱外部的绝缘正常。如此已经把范围缩小到了机构箱之内。

更换跳闸线圈后，一切恢复了正常。

四、采取的措施

运行中应注意监视周围环境的条件，在检修时应注意检查跳合闸线圈的状况，以便发现问题后的及时处理。

第七节　HYR热电厂 10 kV出线控制回路接地时误动跳闸

一、故障现象

施工单位在 HYR 热电厂 10kV 出线断路器的控制回路上工作时，误将跳闸线 33 接地，造成了此断路器的跳闸。问题发生后，对直流系统的绝缘进行了检查，检查的结果正常，直流母线正极对地电压以及负极对地电压的对称性良好，因此排除了母线接地在先，33 接地后导致断路器跳闸的可能，最后判明导致断路器跳闸的原因是电容电流。现在将检查

内容、试验结果及原理分析作以介绍。

二、10kV 出线断路器控制回路简介

1. 直流供电回路的特点

在 YHR 热电厂选用了大量的晶体管保护，除了 10kV 线路以外，高压设备诸如发电机、主变压器、高压厂用变压器、低压厂用变压器、高压输电线路等设备的保护装置全部是晶体管型的。由于晶体管保护工作电源的需要，有三种电源投入系统，即：逆变稳压电源、断路器稳压电源以及电阻分压的稳压电源，在其直流系统中并联了大量电容器，为了便于分析现将这三种电源的电路结构作简单说明

（1）逆变稳压电源及断路器稳压电源。逆变稳压电源及断路器稳压电源的输入回路相同，见图 6-23。图 6-23 中 C_1、C_2 分别接于控制电源的正极与负极。

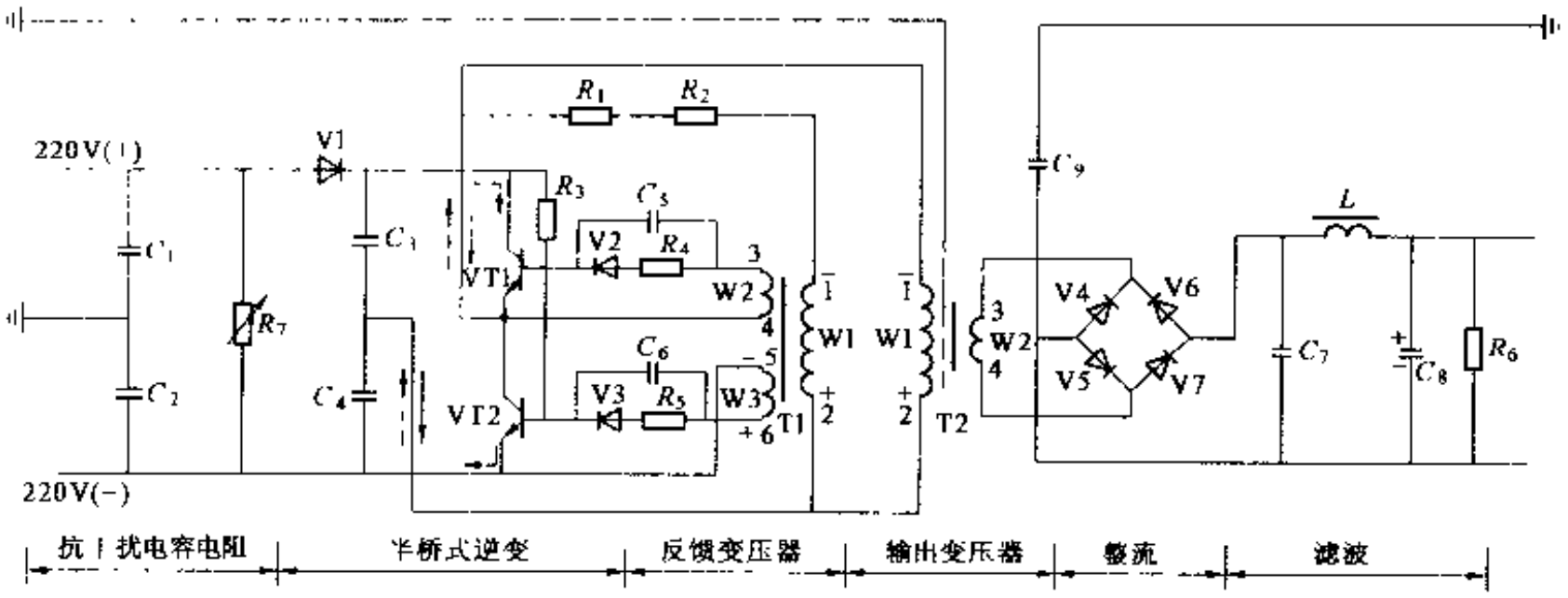


图 6-23　逆变稳压及断路器稳压电源的输入回路

（2）分压稳压电源。分压稳压电源的电路结构见图 6-24。图 6-24 中 C_1、C_2 分别接于控制电源的正极与负极。

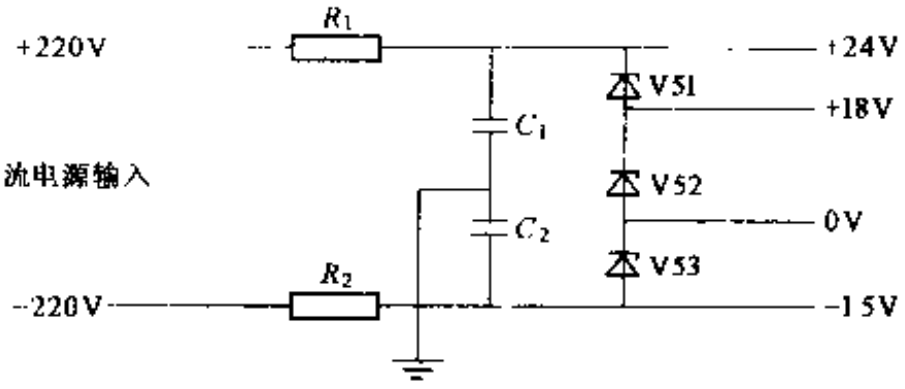


图 6-24　电阻分压的稳压回路

据测量，上述直流电源的输入回路中所接的电容器总值达 33μF，所以在相关的回路中发生接地以后，其充放电的过程非常明显。

2. 10kV 出线断路器控制回路原理接线

10kV 出线断路器控制回路的原理接线见图 6-25。在图 6-25 的跳闸回路中，跳闸线圈的跳闸电流为 2.5A，跳跃闭锁继电器的电流线圈为自保持线圈，其自保持电流小于 1.0A，该线圈电流加到 2.0A 时，产生的磁力能够使继电器动作、触点闭合导致断路器跳闸。

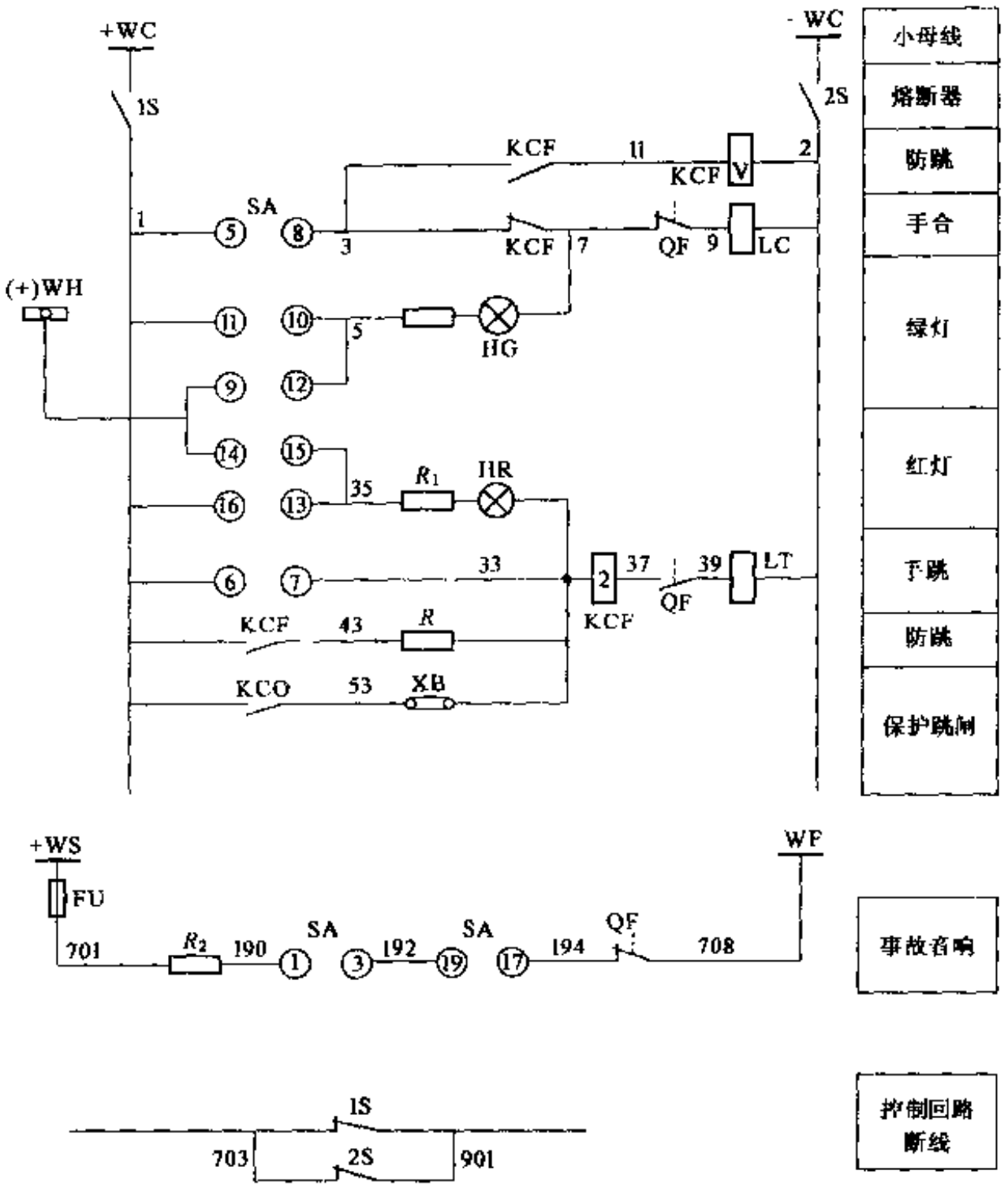


图 6-25　10kV 线路控制回路图

三、跳闸线 33 接地的有关试验及跳闸原因分析

1. 有关跳闸回路接地试验

在跳闸回路中设置了几处测点，并分别接地检查其电流，接地点的设置见图 6-26。

（1）负极接地时的电流波形。

直流电源负极接地后，测得的波形见图 6-27，测点 q。

（2）跳闸线 33 接地时接地电流的波形。

跳闸线 33 接地时接地电流的波形见图 6-28，测试点 n。

（3）跳闸线 33 接地时跳闸回路的电流波形。

跳闸线 33 接地时跳闸回路的电流波形见图 6-29，测点 m。

（4）跳闸线 37 接地时，跳闸回路的电流波形。

跳闸线 37 接地时，跳闸回路的电流波形见图 6-30，测点 r。

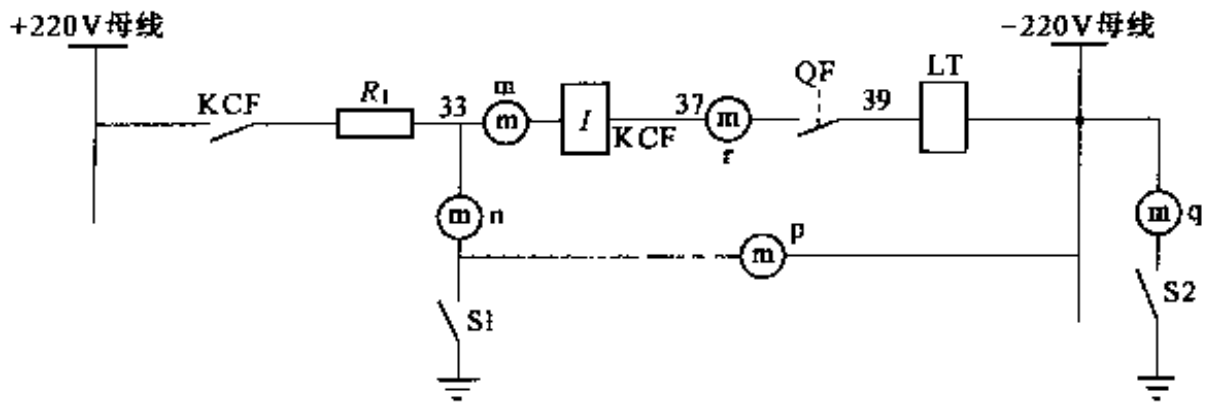


图 6-26　接地点及测试点的设置

m—跳闸回路电流波形测试点；n—33 跳闸线接地电流波形测试点；p—33 跳闸线接地后电压波形测试点；q—直流电源负极接地的电流波形测试点；r—37 接地时跳闸电流的波形测试点

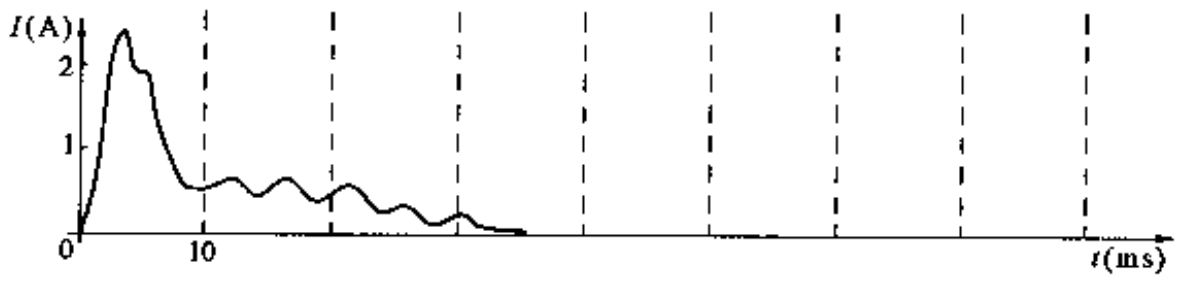


图 6-27　控制电源负极接地时的电流波形

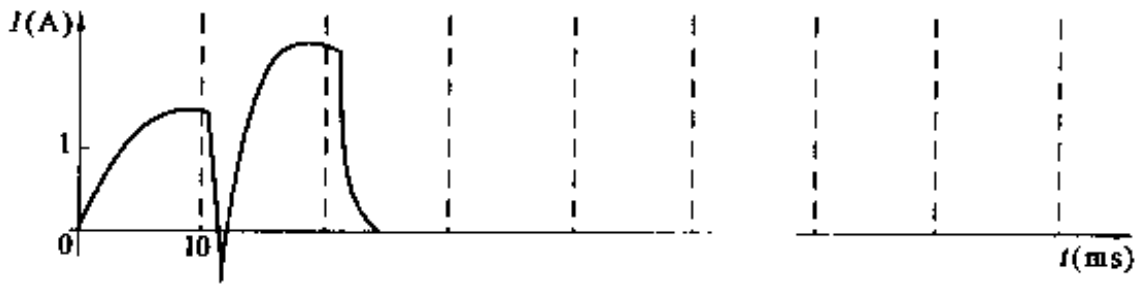


图 6-28　跳闸线接地时的接地电流波形

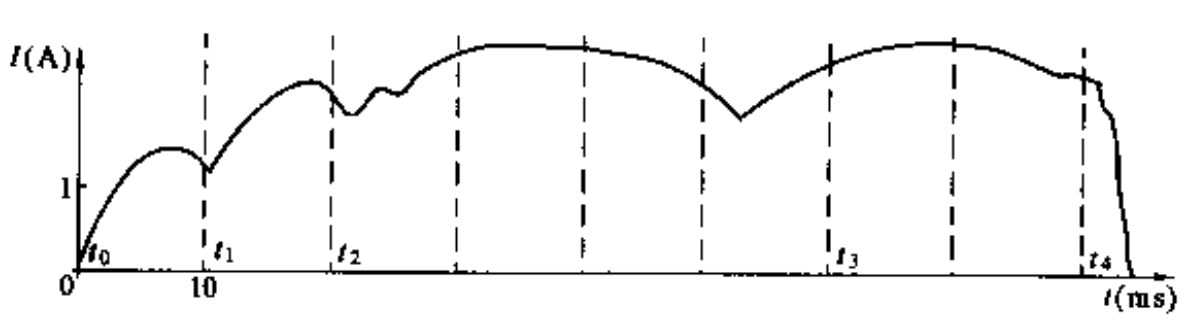


图 6-29　33 接地后跳闸回路的电流波形

2．33 接地时断路器跳闸的原因分析

从上述实测的图形可知，当 33 接地时，跳闸回路有跳闸电流通过，导致断路器跳闸的原因从以下两个方面来分析。

（1）33 接地时的接地电流起动了防跳闭锁继电器。

当 33 接地时，因为接地电流的数值大于 2.0A，使跳跃闭锁继电器 KCF 起动。33 接地后电容的放电回路见图 6-31，在图 6-31 中 i_1 是 33 接地后 $C_{\Sigma-}$ 放电及 $C_{\Sigma+}$ 充电的合成电

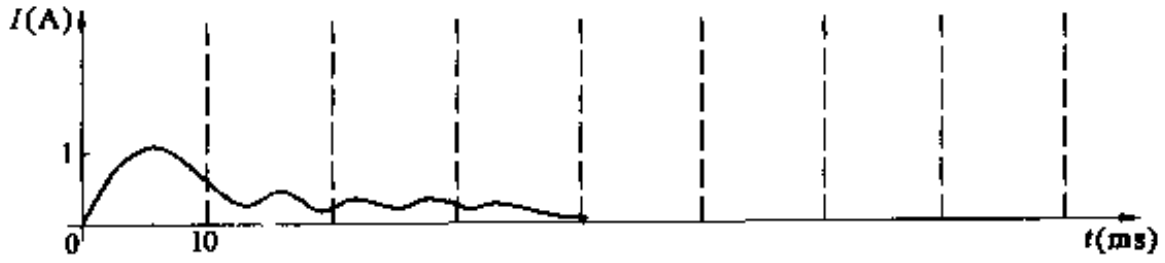


图 6-30　跳闸线 37 接地时跳闸回路的电流波形

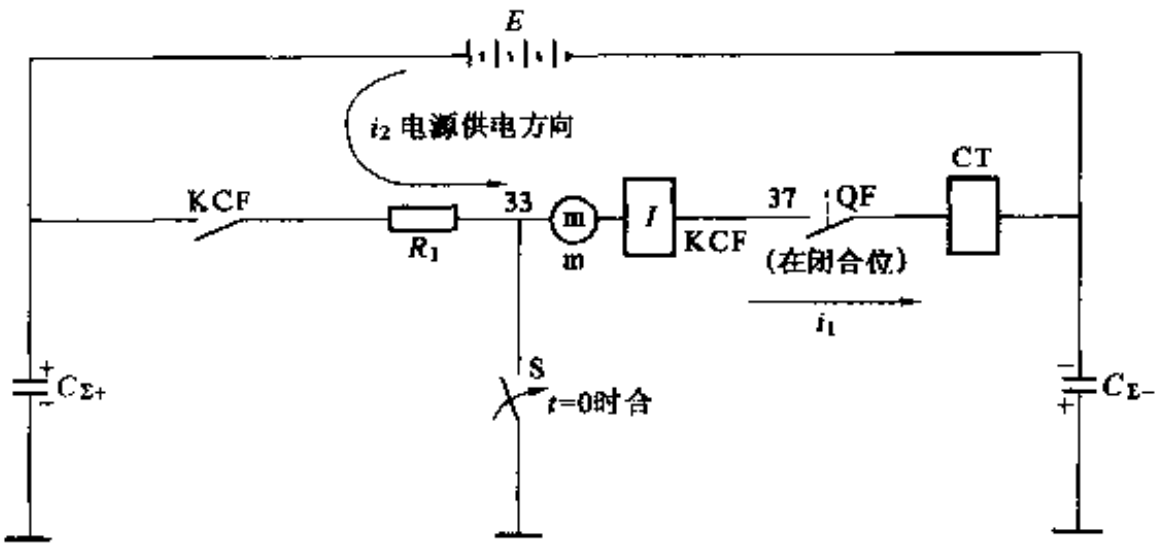


图 6-31　33 接地时的放电回路

$C_{\Sigma+}$—直流母线正极对地等值电容；$C_{\Sigma-}$—直流母线负极对地等值电容；

E—蓄电池电动势

流，i_2 是 KCF 触点闭合后电源的供电电流。

(2) KCF 触点的闭合沟通了跳闸回路。

由于 KCF 触点的闭合，沟通了跳闸回路，使断路器误动跳闸，这与设计的原则相违背，因为 KCF 的电流线圈是用作保持 KCF 的动作行为，并非由 KCF 电流线圈起动该继电器。

KCF 触点的闭合是造成断路器误动跳闸的根本原因。37 接地时没有经过 KCF 的电流线圈，而是通过断路器的辅助触点，跳闸线圈到了电源的负极，沟通了电容的放电回路，单纯的电流放电很快就结束了，达不到断路器跳闸所需能量，断路器没有跳闸。

在图 6-29 中，t_0 时接地开始，t_1 时 KCF 触点闭合，t_2 时刻 $C_{\Sigma-}$ 放电结束，t_3 时刻跳闸线圈动作，t_4 时刻辅助触点断开，从而切断了跳闸回路。$t_0 \sim t_1$ 阶段以 $C_{\Sigma-}$ 放电 $C_{\Sigma+}$ 充电为主，$t_1 \sim t_2$ 阶段 $C_{\Sigma+}$ 放电为主，$t_2 \sim t_3$ 阶段直流电源供电，因为跳闸线圈及跳跃闭锁继电器电感线圈的存在，所以波形中有振荡过程出现。

四、采取的措施

更换 KCF 的型号，提高其电流保持线圈的动作电流值，使其大于 2.5×1.2A，则能解决 33 接地时断路器误跳闸的问题。

第八节　DNR发电厂厂用电缆线差动保护误动作

一、故障现象

1996年9月27日12时，DNR发电厂14号炉乙磨煤机电流速断保护动作跳开657断路器，同时7号机厂用线路差动保护动作跳开634、637断路器，7号、8号机备用电源自投动作合323、659断路器。系统情况见图6-32。

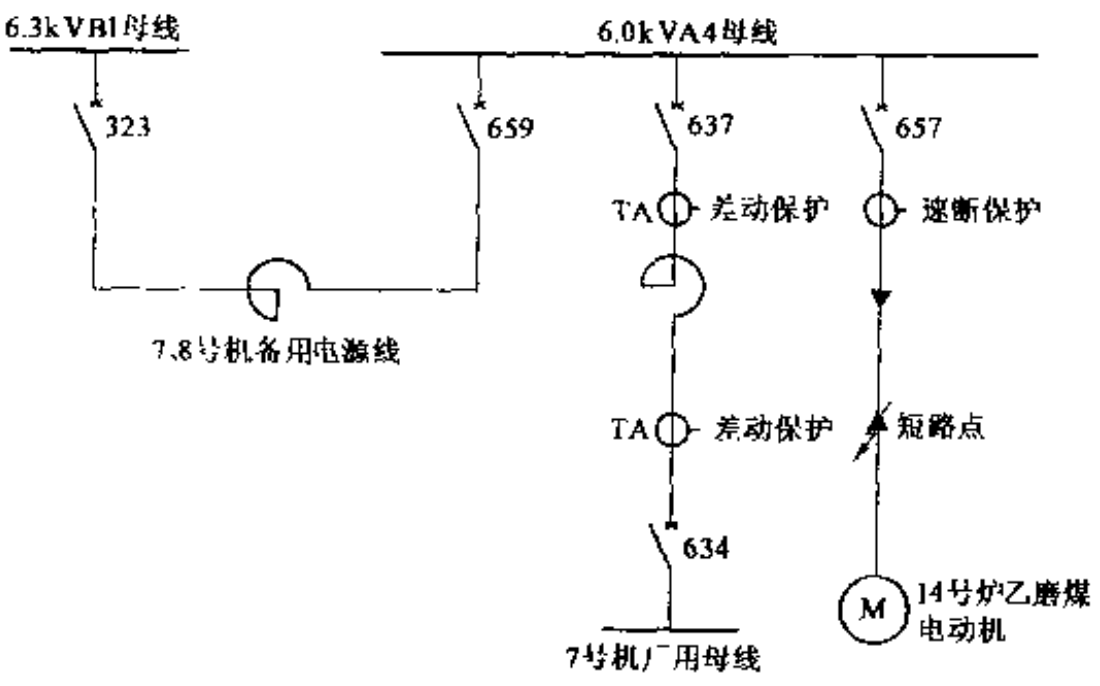


图6-32　一次系统接线图

二、有关保护的简介

1. 断路器657电流速断保护

断路器657设有电流速断保护，电流整定值11A，无延时元件，其电流触点直接带动中间继电器，由中间继电器的触点跳闸。

2. 7号机厂用线路差动保护

7号机厂用线路差动保护的原理接线图见图6-33，差动保护的整定值为3.5A、0s跳闸。差动继电器中，线圈W1、W2为补偿绕组，W为差动绕组。

三、故障的检查过程与分析

1. 电缆头短路爆炸

保护动作跳闸以后，到现场检查发现，14号炉磨煤机的电动机动力电缆头短路爆炸，所以657断路器电流速断保护的动作属正常，而7号机厂用线路差动保护的动作则属于误动作。

2. 差动保护误动问题的查找与分析

（1）差动继电器的检查

1）差动继电器的外部检查。对差动继电器的外部检查结果正常。

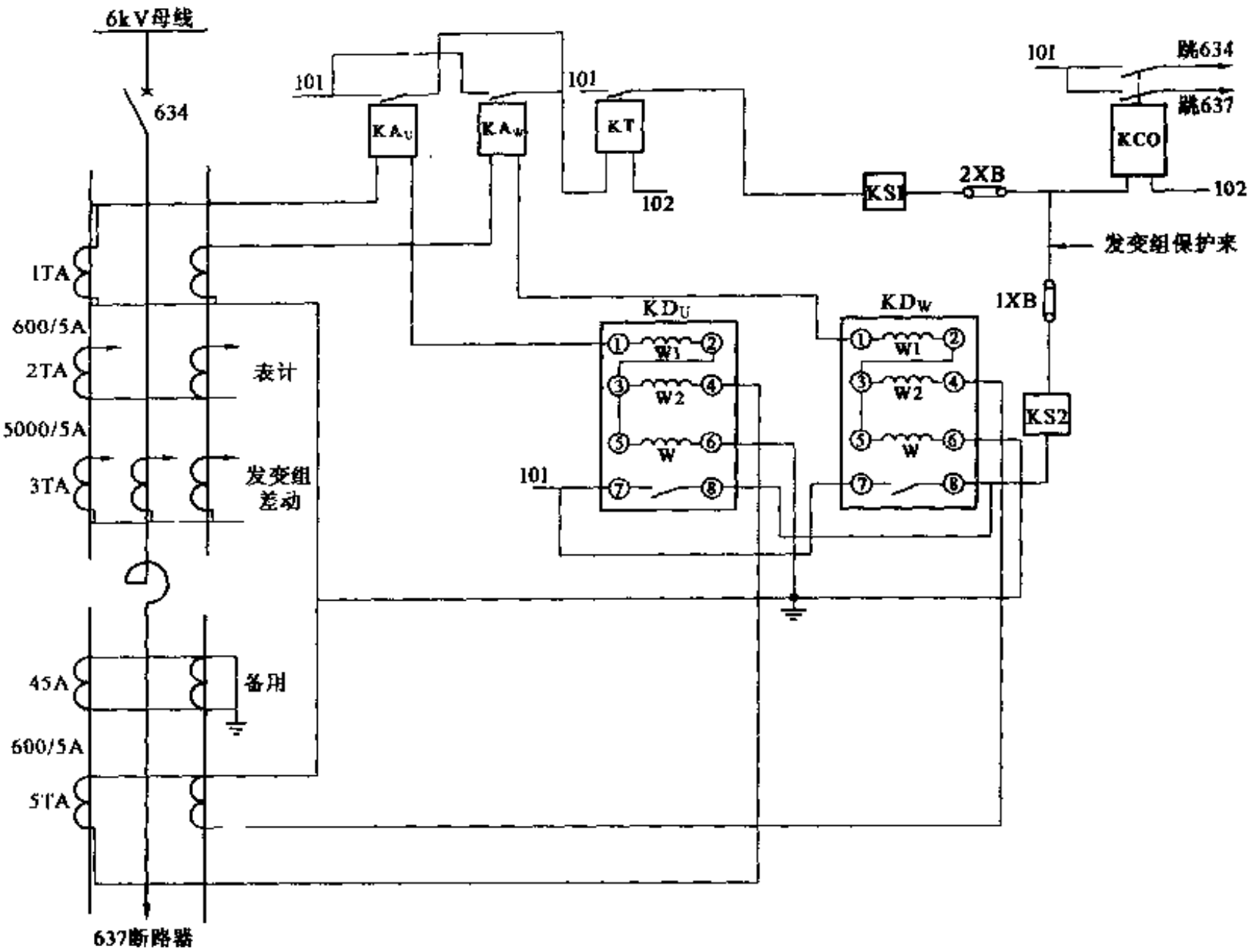


图 6-33　厂用线路差动保护原理接线

2）差动继电器动作值的检查。差动继电器的动作 3.5A，与整定值相符合。

（2）二次回路的检查。

1）二次回路接线检查。对二次回路通电检查表明接线正常。

2）二次回路的绝缘检查。对 TA 二次回路用 1000V 的兆欧表测其对地绝缘电阻，阻值为 5MΩ，属正常。

（3）TA 的特性检查。

对两侧 TA 的一次分别加入 129A 的电流时发现，U 相二次电流误差为 33%，W 相二次电流的误差是 10%，由此可以断定，差动保护误动作的原因是 TA 变比的误差太大所致。

四、采取的措施

更换 TA，使线路两侧 TA 的型号相同，实际变比、特性均一致，问题便得到解决。

五、评述

区外故障，电缆线差动保护动作的事故，暴露出了两个方面的问题。

1. 设计选型把关不严格

在电缆两侧 TA 选型时，没有选择同型号的，给电流误差的产生及差动保护的误动作留下了隐患。

2. 安装调试检查不仔细

两只 TA 的误差超过允许值，重大技术问题没有在安装前的检验调试中检查出来，使保护在发生区外故障时误动

第九节　FW发电厂1号机组起动试验时TV回路等故障

一、做发变组空载升压试验时零序电压问题的分析与处理

1. 故障现象

做发电机变压器组空载升压试验时，发电机出口 1TV 开口三角形处的零序电压、中性点处的电压值太大，消弧线圈的电流非常明显。当发电机电压 $U_{UV}=0.9U_N=18kV$ 时，出口 TV 零序电压为 17V，中性点 TV 的二次电压为 18V，消弧线圈的电流为 1A。此时定子接地保护已经动作，但是由于该保护连接片已退出，未造成停机事故。

2. 检查过程及原因分析

在发电机的电压上升过程中，1TV 开口三角形中出现电压，中性点 TV 出现电压，消弧线圈中存在电流。这些现象表明电气系统中有不对称因素，只有一次系统对地参数的不平衡才会导致零序分量。经检查发现，2TV 的 W 相熔断器没有压紧，将该相保险压好后再做升压试验，上述不正常现象消失。

二、做发电机空载试验时 2TV 出现零序电压的分析与处理

1. 故障现象

在做发电机空载试验时，当上述 2TV 的 W 相引起接地不对称被消除后，2TV 开口三角形仍然出现零序电压，最高时达到 17V。将一只 220V、500W 的灯泡接入后，零序电压被吸收，接线见图 6-34。

2. 原因分析

从故障现象来看，并联灯泡以后零序电压被吸收，此零序电压是并联谐振引起的，因为谐振电压往往不需要并联 500W 的灯泡就能解决问题，灯泡在谐振回路中所起到的阻尼作用非常明显。500W、220V 的灯泡的灯丝电阻是 $220^2/500=8.8\Omega$，此值基本上将开口三角形短接，所以零序电压被吸收。根据这一分析认为 2TV 的三相电压仍然不对称。检查 2TV 接线时发现 2TV 中性点的接地线并路，而 3TV 多出一条中性线。由于 2TV 中性点没有接上，所以中性点对地的电位不为零，即中性点出现了“漂移”。因此，2TV 一次的三相电压就是发电机出口处电压平衡时难以保证平衡，导致开口三角形有零序电压出现。

3. 处理措施

将发电机电压降至最低，在发电机出口 2TV 高压侧挂好接地线，更正 2TV 及 3TV 的

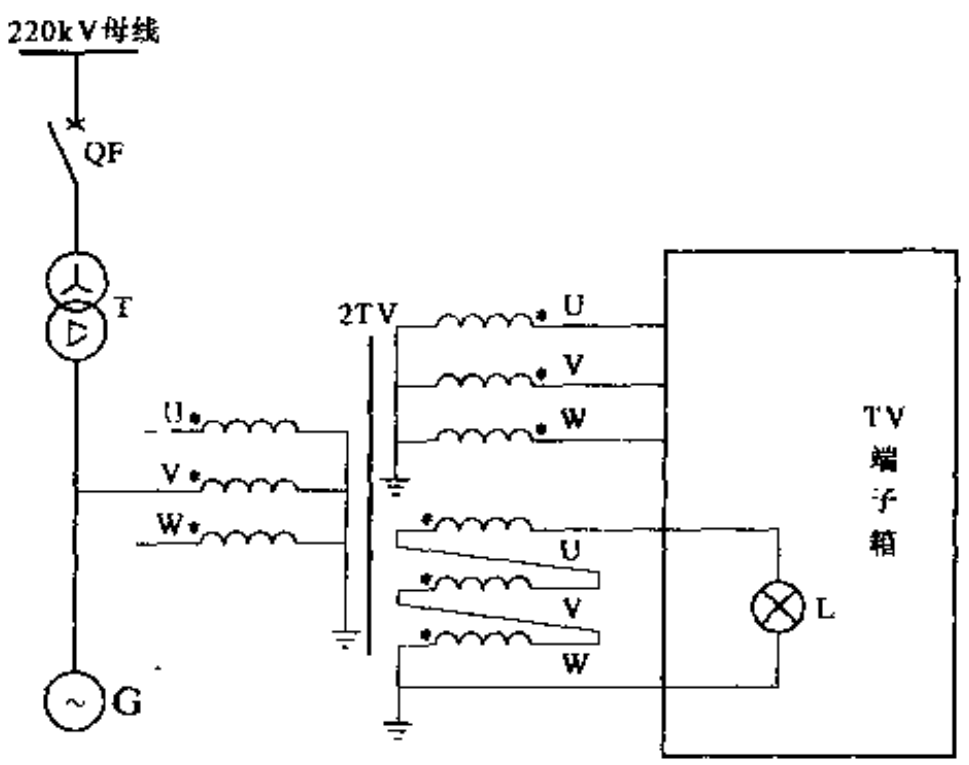


图 6-34　灯泡在二次回路中的位置

中性点接地线。

注：以上几次事故需检查很长时间，但是由于判断的正确，及时的处理了故障，从而减少了试验过程中的停机次数。

三、TV 二次核相极性出现问题的分析与处理

1. 故障现象

发电机、变压器及 220KV Ⅰ母线的核相系统见图 6-35，发电机带主变压器及 220kV Ⅰ母线升到额定值后进行 TV 的二次核相，测得数据如下。

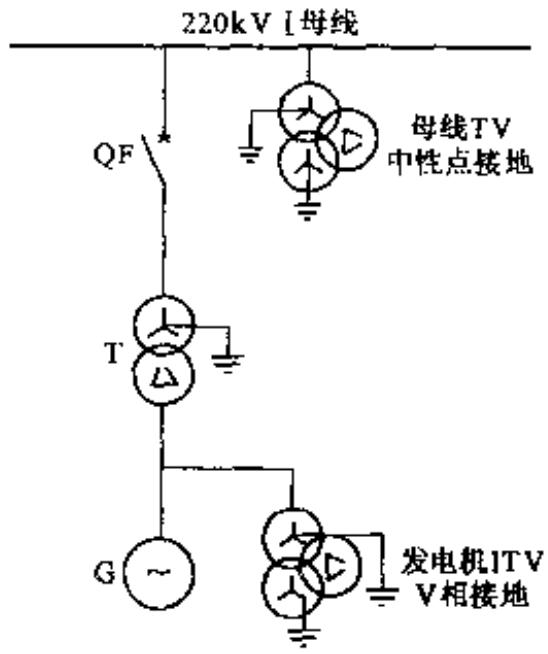


图 6-35　核相系统图

220kV 母线 TV：$U_{UV} = 100V$　参考点。

$U_{VW} = 100V$　$-120°$。

$U_{WU} = 100V$　$-240°$。

发电机出口　TV：$U_{Uv} = 100V$　$-150°$。

$U_{vw} = 100V$　$-270°$。

$U_{wU} = 100V$　$-30°$

同名相电压：$U_{U-u} = 65V$。

$U_{V-v} = 57V$。

$U_{W-w} = 157V$。

根据上述测试结果可以得到两组 TV 之间的相量图，见图 6-36（a）。其点数为“5 点”，但是主变压器接线为 11 点，所以接线存在严重问题。

2. 原因分析

发电机出口 TV 采用 V 相接地的方式，而 220kV 侧是中性点接地。对上述相位关系中出现的差错分析如下：220kV 的 1TV 为电厂倒送电时已经核相的设备，相位正确无误。主

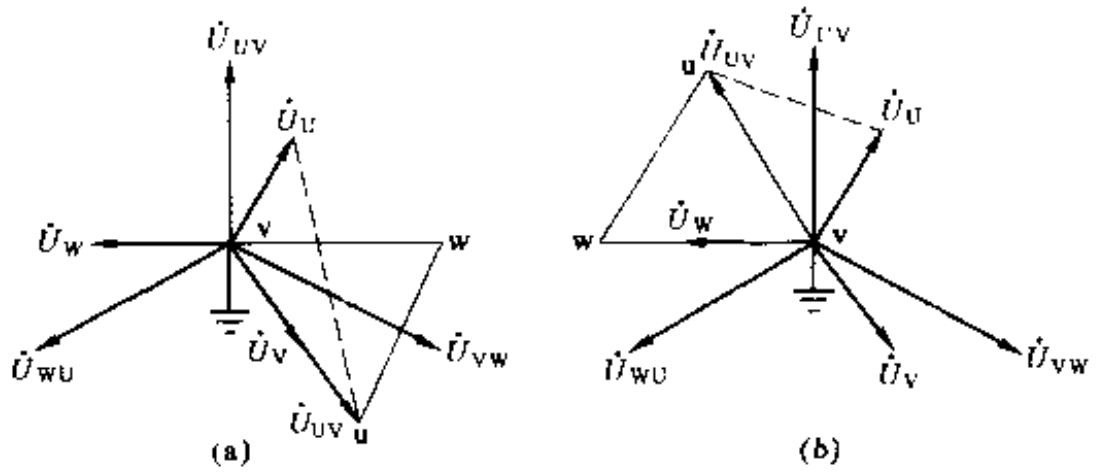


图 6-36　核相测试结果

(a) 错误的相量图；(b) 正确的相量图

变压器的接线组别在变压器送电前已进行了试验，结果为 11 点。因此问题就出在发电机出口 1TV 的极性上。将 1TV 的极性每相首尾更换后，再进行试验测得数据如下。

220kV 母线 TV：U_{UV}　参考点。

U_{VW}　$-120°$。

U_{WU}　$-240°$。

发电机出口 TV：U_{UV}　$-330°$。

U_{VW}　$-90°$。

U_{WU}　$-210°$。

同名相电压：$U_{U-u}=86\text{V}$。

$U_{V-v}=57\text{V}$。

$U_{W-w}=33\text{V}$。

从以上结果可知，倒相后的极性关系正确。正确的相量图见图 6-36（b）。

四、同期假并列时开关合闸失败

1. 故障现象

在进行发变组同期假并列时，根据同步表的指示，发电机电压与系统电压相接近，发电机频率与系统频率相差很小，同步表指示在同步点时进行合闸操作，但是断路器没有合上。

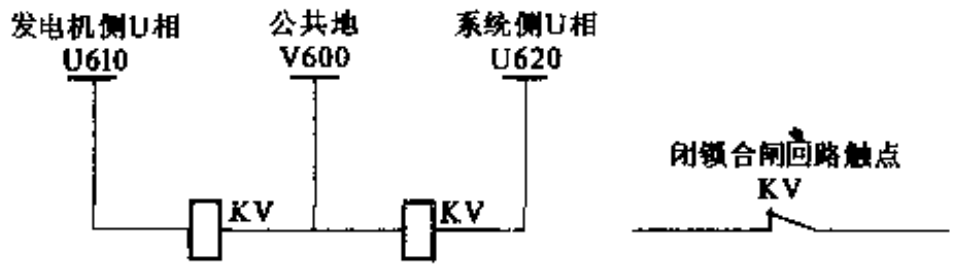


图 6-37　同期闭锁继电器的接线图

2. 原因分析

同期闭锁继电器是一种低电压类型的继电器，该继电器反应的是滑差电压。当发电机与系统接近同步点时，继电器动作，触点闭合，允许发合闸命令；否则，如果滑差电压太大，则证明发电机与系统不同步，继电器不应动作，触点不闭合，不允许发出合闸脉冲。但是生产厂配线时误将闭锁继电器的常闭触点接成常开触点。因此，合闸回路不通。同期闭锁继电器的接线示意图见图 6-37。

第十节　CL热电厂3号机组TV振荡等故障

一、发电机出口 TV 振荡

1. 故障现象

在开机试验过程中，发电机电压升到 50%左右时，定子接地保护零序电压部分动作，发出“定子接地”信号。检查开口三角形的输出在 30～50V 之间变动，根据运行参数以及停机检查结果表明，该信号误发，必须查明误发信号的原因。

2. 故障的检查过程及处理

发电机定子接地保护的电压部分接线见图 6-38。

由定子接地保护电压部分可知，产生 $3U_0$ 电压信号可能因素一般有以下几种。

1）发电机系统电压出现不平衡。

2）TV 一次保险熔断。

3）TV 一次中性点接地不良。

4）TV 一、二次接线错误。

5）其他原因。

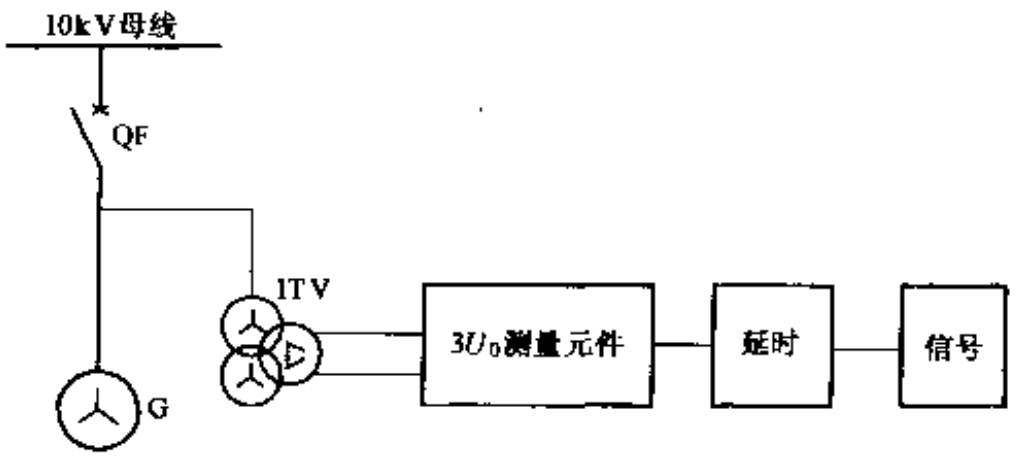


图 6-38　TV 及定子接地保护接线

当时，TV 二次三相电压平衡良好，因此排除了第一、第二种因素的可能性。对 TV 一、二次接线检查结果正确无误，所以也排除了第三、第四种可能的因素，最后检查发现固定 TV 的螺丝松动。TV 机体随着机房的振动。将固定螺丝紧好后，零序电压消失；再松开螺丝，零序电压再次出现，所以导致定子接地保护动作信号的原因是机械电磁振荡所产生的零序电压。

对于 TV 的振荡以及振荡的消除，人们已经有了足够的重视，而且有关部门、有关人员也做了不懈的努力来研究它，其中因为固定问题导致的振荡也在考虑的范围之内。

二、测量 TV 与开口三角形 TV 线圈接反

1. 故障现象

在做发电机升压试验时，按要求发电机的电压应升到 $1.3U_N$。但是当发电机电压升到 $1.1U_N$ 时，发电机已经表现为饱和。再增加励磁电流，发电机的出口电压也不再上升，而且励磁电流升到一定数值后发电机振动非常明显，最严重时，整个机房表现为同期性、有规律的震动，故此被迫停机检查。

2. 故障的原因检查与分析

（1）检查励磁系统正常。

发电机的电压升不到应有的数值，首先检查励磁系统，检查结果在设计值的范围内。

（2）测量表计准确无误。

表计指示为检查的第二个对象，对测量用的表计进行了核对，也未发现异常现象。

(3) TV 内部接线出差错

将发电机断路器合上，10kV 母线 TV 投入，励磁电流升至空载额定值后，测量母线 TV 二次电压的数值正确，且已到额定值，因此判定发电机出口 TV 出了差错。用发电机的电压对出口 TV 的数值进行了核对，发现接成开口三角形的线圈每相为 57V；测量 TV 的线圈每相为 33V，因此 TV 线圈的标记错误。将测量 TV 及开口三角形 TV 二次线圈在内部引线时接错，现场试验时没有引起试验人员的重视，造成了严重的问题。

出口 TV 的变比是（10500/$\sqrt{3}$）/（100/$\sqrt{3}$）/（100/3），由于线圈的错接造成了变比的错误。正常的接线是 100/$\sqrt{3}$组用于测量，100/3 组用于开口三角形。后者与前者相比不到其 0.6 倍，因此只有将发电机电压升到 3.9U_N 时，从 100/3 TV 组输出的才是 130V；但是不等到 1.8U_N，发电机特性曲线已经处于饱和，不再上升。如此励磁电流增加较大，造成了磁场的严重饱和，电磁感应的力矩不平衡，导致发电机振动。这次升压过程对发电机来讲是耐压试验的过程

三、转角变压器的接线错误

1. 故障现象

在做发变组与电网系统的核相检查时，用发电机带主变压器以及高压母线升压到额定

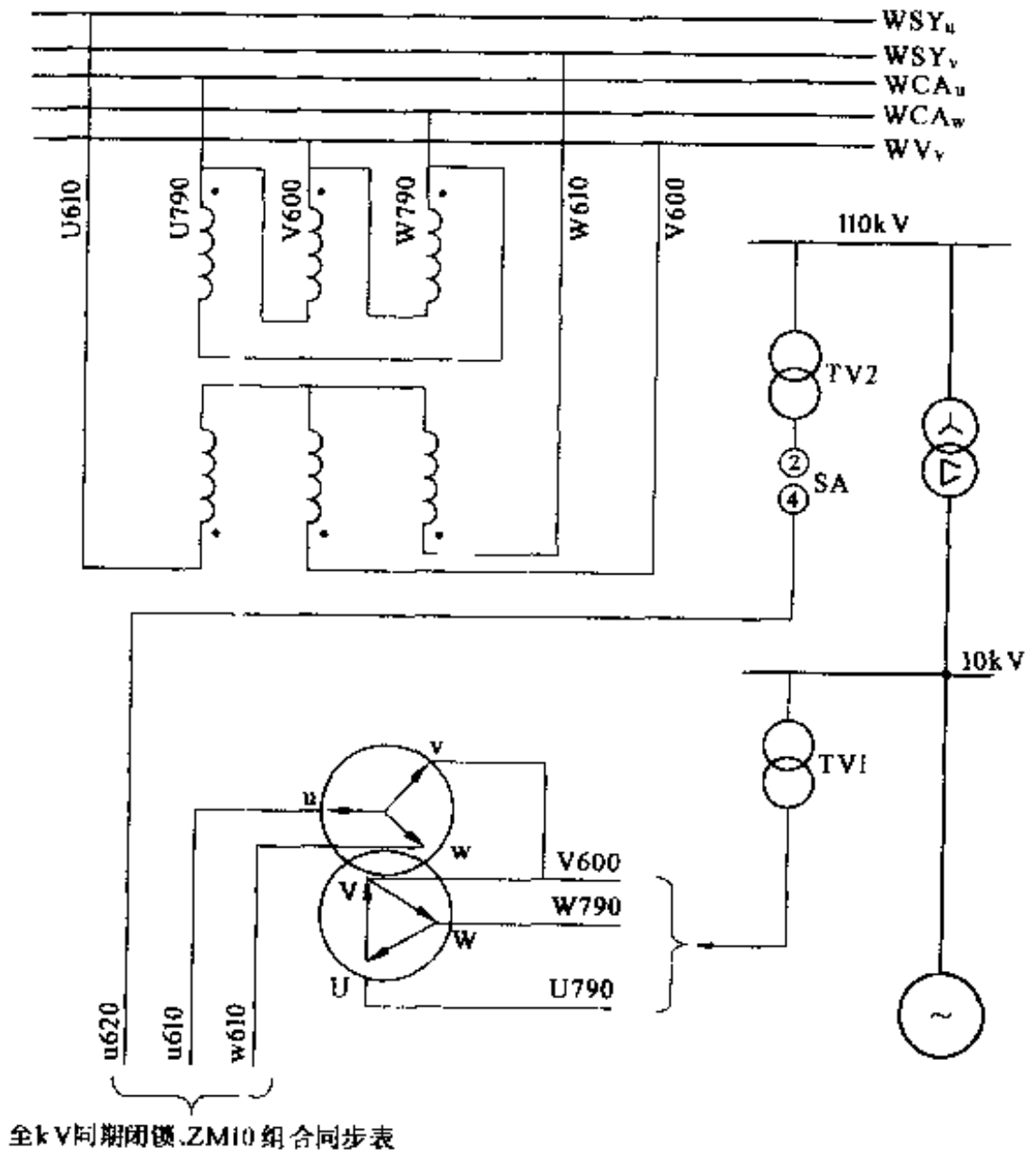


图 6-39　转角变压器的接线

值，测量 TV1 及 TV2 之间的相位正确后，用同期断路器 SY、1SSY 及同步指示表指示来检查主变压器高压侧断路器同步情况时，发现同步表指示 60°，即主变压器高压侧 TV2、低压侧 TV1 到同期表后相差 60°，正确的结果是两侧相位差接近 0°。

2. 原因分析

如上所述，TV1 对 TV2 二次核相的结果正确，说明主系统及 TV 二次接线正常，问题出在同期回路。由于主变压器高、低压侧相位相差 30°，所以在同期回路中加入转角变压器，将上述 30°相位差抵消，使两侧系统同步时相位差为 0°。

实际的接线中两侧相差 60°，证明接线错误，把转角变压器星形侧与三角形侧接线互换后结果正常。转角变压器的正确接线见图 6-39。

第十一节　XZ发电厂6号机组试运时失灵保护误动等

一、电动给水泵带负荷起动失败

1. 故障现象

1997 年 10 月 28 日，6 号机组热工保护误动作，导致机组全停，备用电源自投成功。将厂用电负荷切到了备用变压器上，电动给水泵在带负荷的情况下自起动时，电动机差动保护动作跳闸，此泵退出运行。

2. 原因分析

电动给水泵的差动保护是在由工作厂用变压器供电方式切到备用变压器供电方式下动作跳闸的，其中存在电动机自起动的过程，而差动保护的动作问题在于电流互感器 TA 的饱和。由于备用电源自投延时为 200ms，在此间隔内带负荷的电动机转速下降了许多。备用电源自投送电后自起动电流很大，超过了线性工作区，所以差动保护的回路中有不平衡电流出现，使保护动作。该电动机在带负荷起动时也曾出现过差动误动的现象，而空载起动时一切正常。

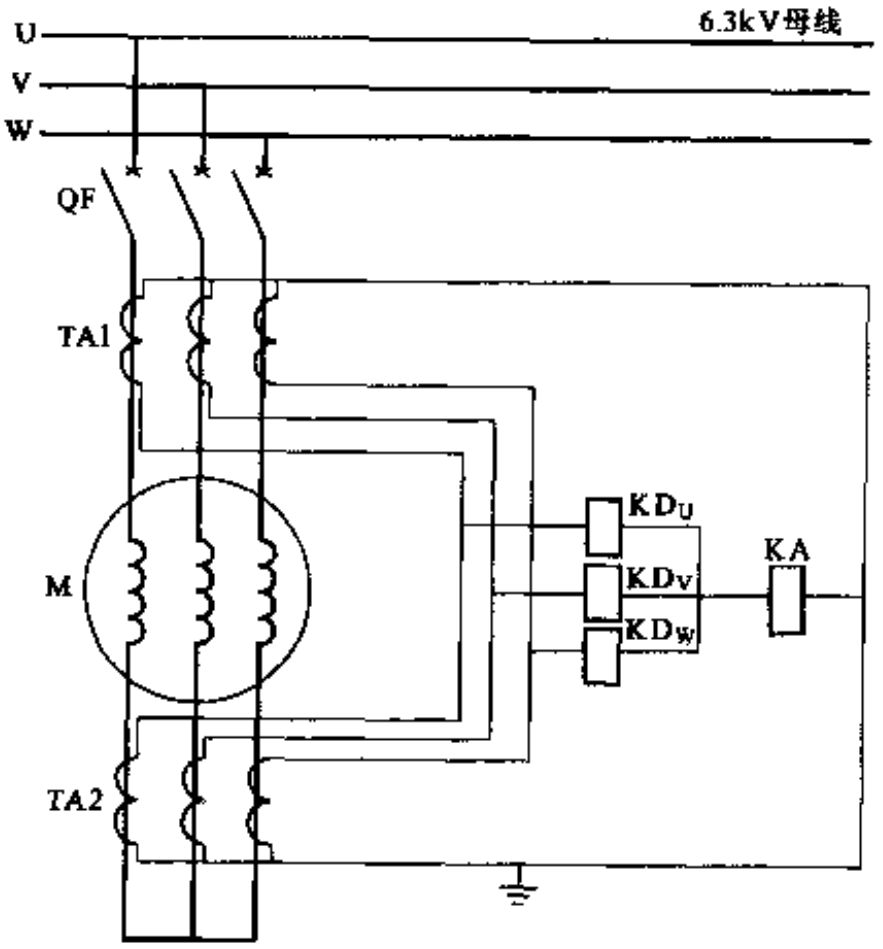


图 6-40　电动机的差动保护原理接线

实测的电动给水泵在带负荷自起动过程中的起动电流大于 $10I_N$。当时曾试图将定值提高到能够躲过自起动时的不平衡电流，但是定值的提高使灵敏度大大降低。最后决定电动给水泵只能空载起动，起动稳定后，再送上负荷。

关于电动机起动时 TA 饱和的详细

分析参见本章第三节。在发电厂中，尤其是引进设备的发电厂中，TA 饱和的问题比较突出；电动机的容量越大，问题就越明显。电动给水泵差动保护的接线见图 6-40。

二、甩负荷试验时断路器失灵保护误动作

1. 动作现象

发电机带负荷 168h 结束后，进行了发电机的甩负荷试验。试验分两步，先做 50% P_N 的甩负荷试验，再做 100% P_N 的甩负荷试验。甩 50% P_N 的负荷时各保护正常，甩 100% P_N 的负荷时 5053 断路器失灵保护误动作。失灵保护误动作的结果是跳相邻断路器，导致相邻断路器误跳闸。

2. 断路器失灵保护的原理简介

断路器失灵保护的构成比较简单，采用保护出口跳闸继电器及电流元件两个判据。当保护出口继电器动作，电流元件不能返回时，失灵保护出口动作，起动相临断路器跳闸。电流元件按三个相电流接线，三相电流的输出构成“或”关系。方框图见图 6-41。

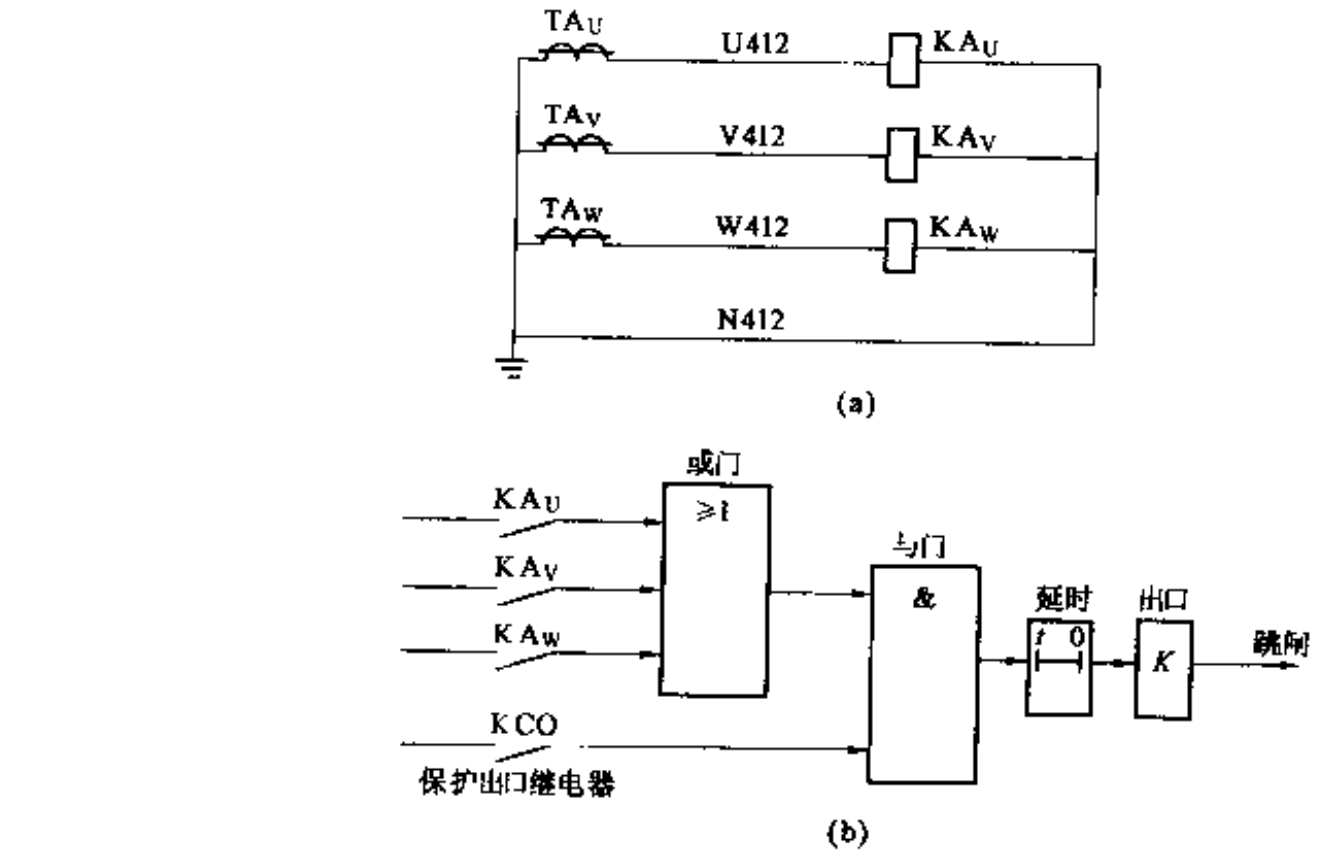


图 6-41　断路器失灵保护的构成简图

(a) 交流电路图；(b) 逻辑电路图

3. 原因分析

如上所述，5053 断路器失灵保护起动的条件有两个：其一是电流达到整定值，其二是保护输出触点闭合。逻辑关系见图 6-42。

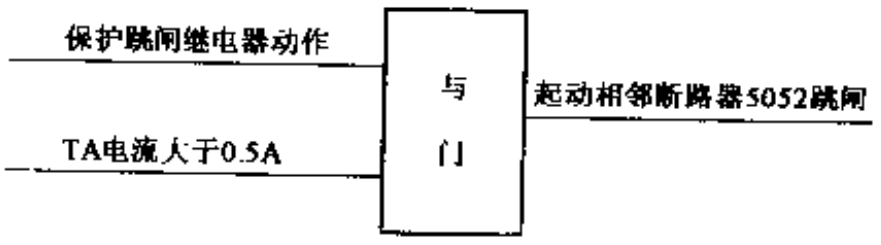


图 6-42　断路器失灵保护起动逻辑

甩负荷试验时的步骤是：手动断开 5052 断路器，手动停磨煤机、停炉，再用试验刀闸短接 5053 断路器的跳闸回路，实现 5053 断路器解列、磁场断路器

41QF 跳闸灭磁，同时起动录波仪器进行录波。操作接线见图 6-43。

由于甩负荷时有功功率 $P = 650$MW，无功功率 $Q = 150$MVar，发电机定子电流 $I = 17000$A，5053 断路器 TA 二次电流达到 0.7A，此信号动作后再返回要有一定的延时，所以 5053 断路器拉开后，热工起动发变组保护动作，上述的与门就满足了其动作的条件，输出动作于信号。时序关系见图 6-44。

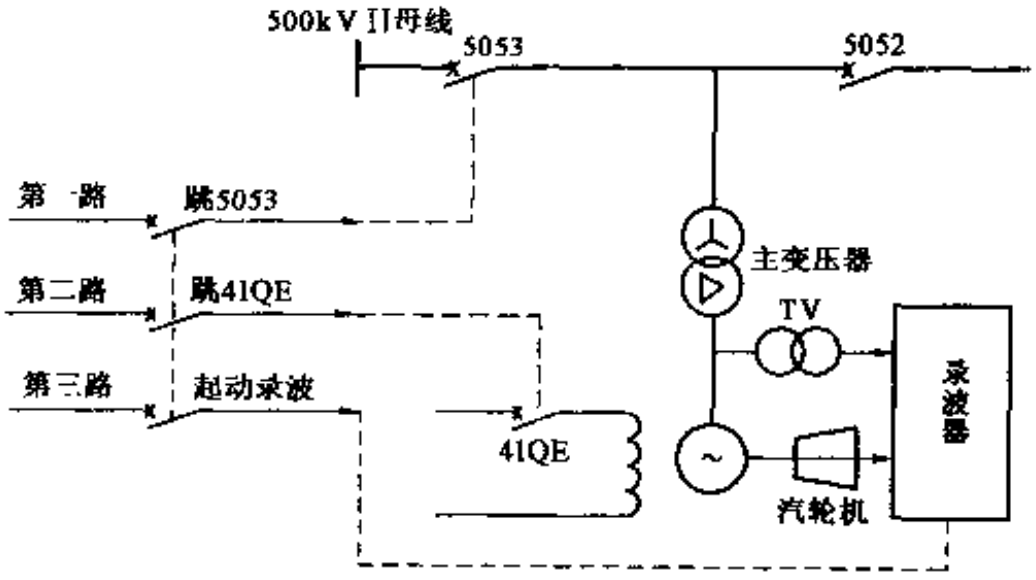


图 6-43　甩负荷试验的操作接线

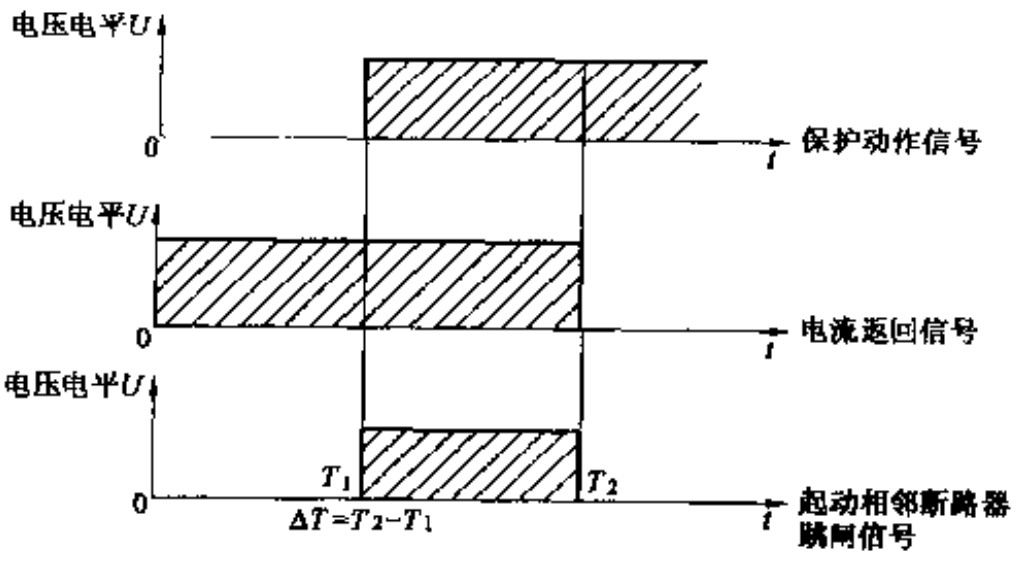


图 6-44　失灵保护动作时序

第十二节　ZHR发电厂113断路器误动跳闸

一、故障现象

1995 年 7 月 24 日晚 10 时 30 分，113 断路器自行跳闸，重合闸动作合闸成功。第二天早 4 时 45 分，113 断路器又一次跳开并且又重合成功。现场无其他信号指示，根据表计指示等反映系统运行正常，各电气参数均在要求的范围以内，所以判定 113 断路器的跳闸行为是误动作，即 113 断路器误动跳闸，其跳闸的原因尚不明确，需要进一步检查。

发电厂的系统情况见图 6-45。

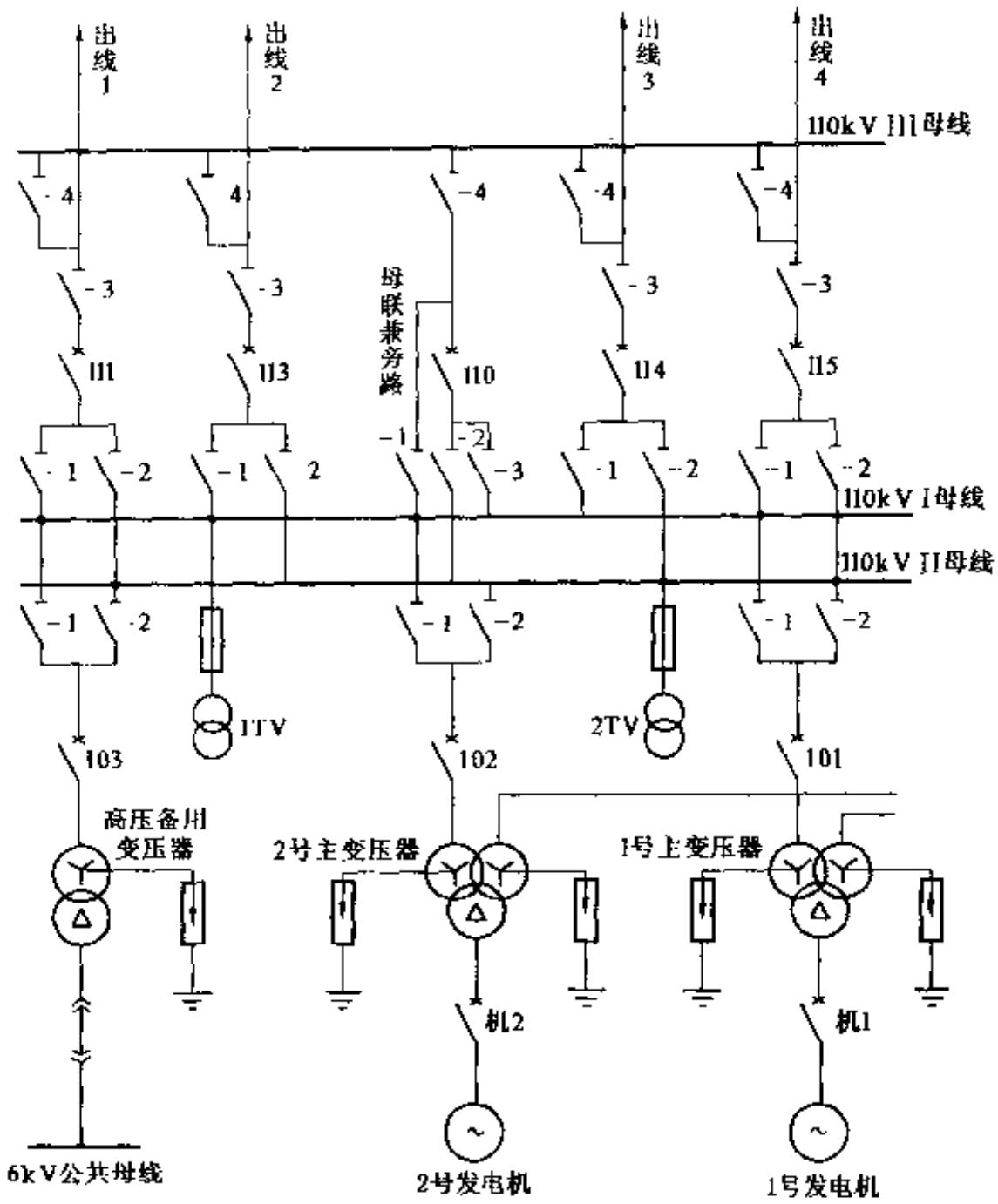


图 6-45　ZHR 发电厂 110kV 系统结构

二、有关操作电路简介

113 断路器的跳闸、合闸控制回路见图 6-46，控制回路的主要元器件包括：手合继电器 KHC、重合闸起动继电器 KRS、一次合闸脉冲电路、断路器跳跃闭锁继电器 KCF、跳闸位置继电器 KTP、合闸位置继电器 KCP、跳闸压力闭锁继电器 1KPL、合闸压力闭锁继电器 2KPL、后加速继电器 KRA、中间继电器 KM。

跳、合闸继电器的自保持电流为 2A，延时返回的时间为 300ms。三相操箱的构成原理详见图 6-47。

三、故障的查找过程及原因分析

1. 可能的跳闸原因分析

断路器跳闸又没有任何信号发出，原因有以下几点。

（1）断路器偷跳。

（2）控制回路绝缘下降或者两点接地。

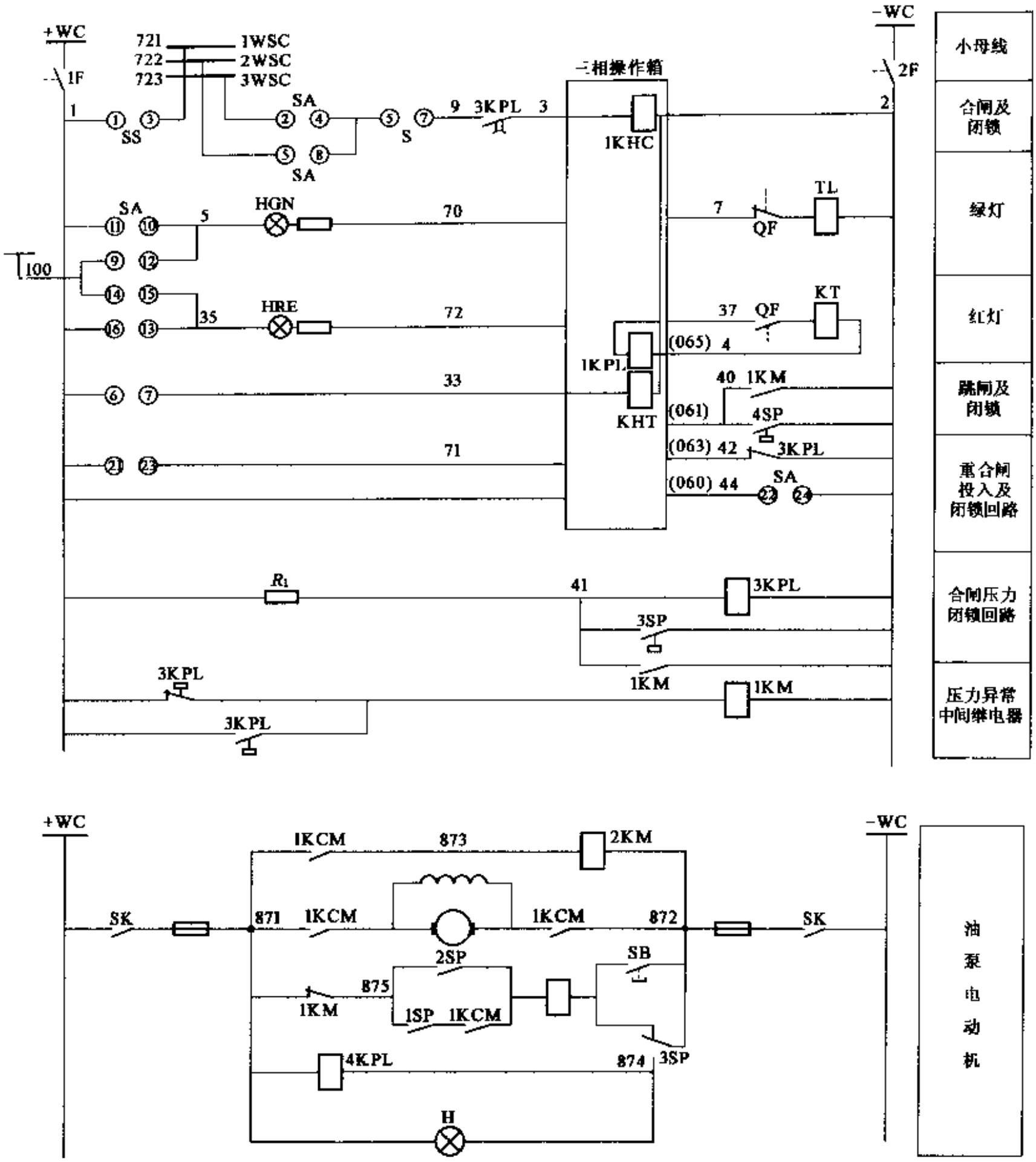


图 6-46　断路器控制略图

例如 1 ~ 33 回路之间绝缘下降到一定程度使回路的电流 $I = E/R_{\Sigma}$ 升高到跳闸线圈的动作值，则断路器立即跳闸。

(3) 人为的因素。

2. 有关的绝缘检查

113 断路器的控制电源、保护电源以及信号电源停电后，用 1000V 摇表进行绝缘检查，结果如下。

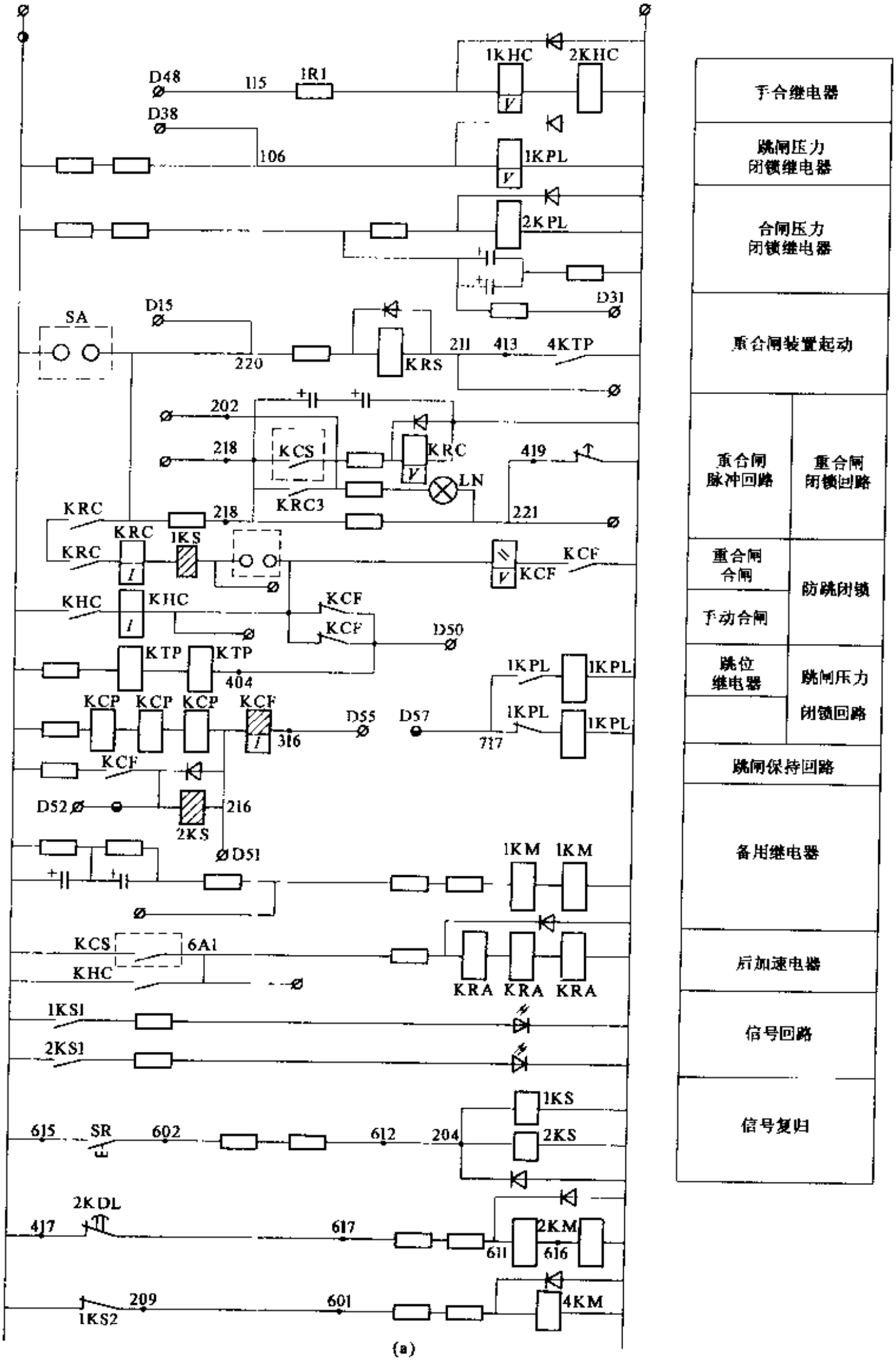
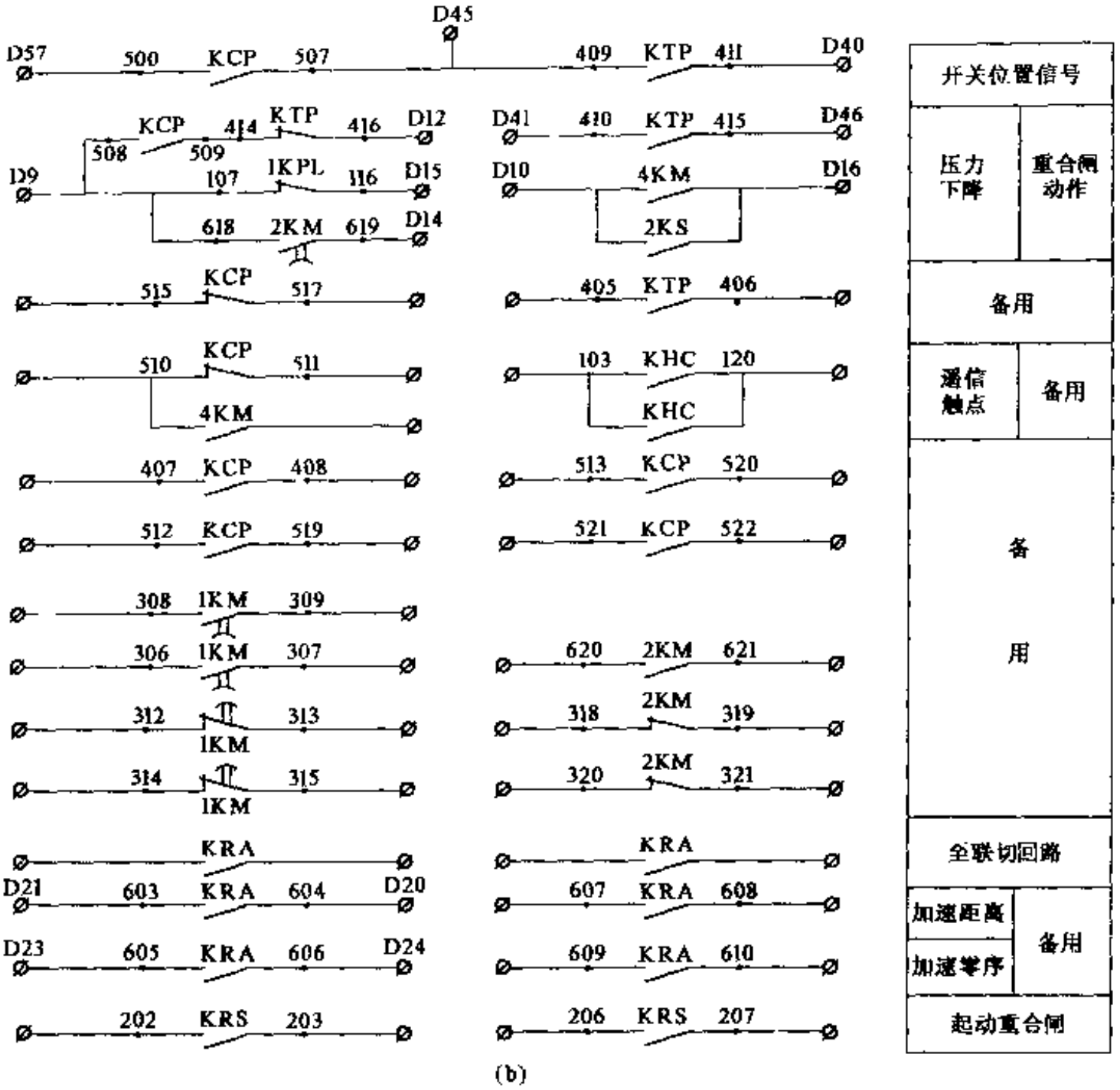


图 6-47　三相操作箱原理图（一）

（a）逻辑部分



(b)

图 6-47　三相操作箱原理图（二）

(b) 触点输出部分

(1) 在网控室的测试。

1) + WC 对地；> 2MΩ。

2) - WC 对地；> 2MΩ。

3) 33 对地；> 2MΩ。

4) + WC 对 33 之间：合闸位置继电器的线圈电阻。

上述结果均正常。

(2) 在断路器端子箱进行的绝缘检查。

在 113 断路器端子箱检查时发现，有一根电缆线的电缆头处有明显的放电烧黑的痕迹，并且电缆线的绝缘层被烧烂，电缆中有 1、37、065 跳闸线；有 871、872、873、874、875 各油泵电动机的控制线，其余芯线没有明显的损坏点，回路之间的绝缘结果为。

1) 37 与 872 绝缘损坏。

回路 37 与 872 之间的绝缘电阻为 0。

2) 其他回路正常。

其他回路之间的绝缘电阻大于 2MΩ。

3. 原因分析

根据上述结果，作出如下分析。

（1）电缆损坏是断路器跳闸的原因之一。

在被损坏的回路中有 1、37、065 跳闸线，编号的位置见图 6-46。

从图 6-46 中可见，正电源与 065 之间的绝缘损坏不会造成跳闸线圈动作跳闸，065 与负电源之间的绝缘损坏同样不能使跳闸线圈跳闸，只有正电源对 063 绝缘损坏，甚至短路，才会造成跳闸线圈带电。但实测的结果表明 37 与 872 绝缘损坏，872 是电动机的负极，因此 37 对负电源短路，不会使断路器跳闸。电动机的控制回路见图 6-47。

（2）接错线是断路器跳闸的第二因素。

在上述情况下，只有 872 变负极为正极，才会造成断路器跳闸，同时电动机也不会因极性问题静止不转，分析认为很可能 871 与 872 接反，为了证实这一判断的正确性，投入油泵的小刀闸 SK，使电动机回路带电，测量 872 的极性，发现 872 为“+”极性，证实是油泵电源接反了。

造成 113 断路器跳闸的原因已查明，油泵电动机的控制电源线和断路器跳闸线 37 之间的绝缘损坏以及 871、872 电源接反造成了断路器的误跳闸。通路为：“+”（872）→37→QF 触点→KT→065 →压力继电器→“-”（871），使跳闸线圈带电动作，并不发任何信号。

断路器跳闸经 3.0s 后重合闸动作重合成功，说明绝缘的损坏带有间歇性。

电缆头放电烧黑是因为 871、872 等放电所致。

四、采取的措施

1. 更换 871、872 电源极性

将 871、872 之间的电源极性更换，解决了极性的问题。

2. 重做电缆头

将所损坏的电缆进行处理恢复，同时封好端子箱，防止类似事情的发生。

第十三节　YH热电厂备用电源自投成功率太低的分析

一、概述

YH 电厂在投产以后的几年中，6kV 厂用电系统的母线设备曾发生过几次短路故障，其工作电源进线断路器跳闸后，备用电源自投装置 AAT 动作合备用电源断路器，故障是永久性的，所以自投没有成功。本节主要讨论如何解决备用电源自投成功率的问题以及提高厂用系统供电可靠性问题。

二、厂用电系统结构与备用电源自投装置简介

1. 厂用电系统的结构

YH 热电厂 6kV Ⅰ段母线的工作电源来自 10kV Ⅱ段母线，备用电源取自 110kV 系统。由于 10kV 系统的结构紧凑，所以无论 1 号机停机与否，10kV Ⅰ段的供电不受影响。厂用电系统的结构见图 6-48。

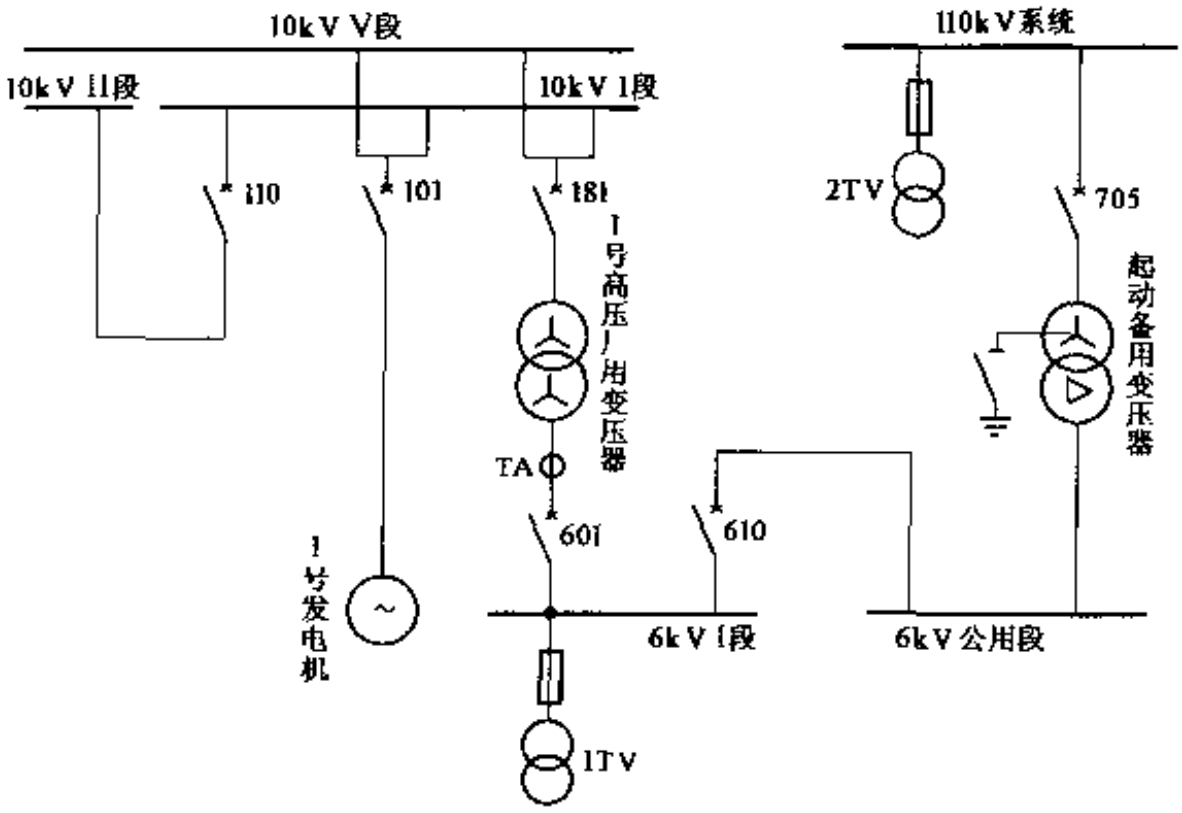


图 6-48　1 号发电机组厂用电系统的结构

2. 备用电源自投装置的原理框图简介

备用电源自投装置（AAT）的原理电路见图 6-49，逻辑关系见图 6-50。

（1）各元件的名称与作用。

SA：AAT 投入开关，SA 置投入位后，AAT 功能才起作用。

电压测量元件 1～3：低电压继电器，用于监视 6kV 母线的电压，当母线电压降低到 $U_{set} = 60\% U_N$ 时，继电器动作。

电压测量元件 4：过电压继电器，用于监视 110kV 母线的电压，只要电压大于 $U_{set} = 90\% U_N$ 时，继电器动作。

延时元件 t_1：601 断路器跳闸延时时间，0～0.5s。

延时元件 t_2：601 断路器合闸延时时间，0～1s。

出口 1KCO：601 断路器跳闸出口继电器。

出口 2KCO：601 断路器合闸出口继电器。

记忆元件 1：实现 AAT 的跳闸脉冲只发一次，待 AAT 复位以后，该元件复位。

记忆元件 2：实现 AAT 的合闸脉冲只发一次，待 AAT 复位以后，该元件复位。

（2）601 断路器跳闸逻辑说明。

当 6kV Ⅰ段母线的电压由于某种原因降到 $60\% U_N$ 时，601 断路器跳闸逻辑起动，实行对 601 断路器跳闸。如果 601 断路器先已跳开，而引起的母线电压降低，则跳闸逻辑无效。

（3）610、701 开关合闸逻辑。

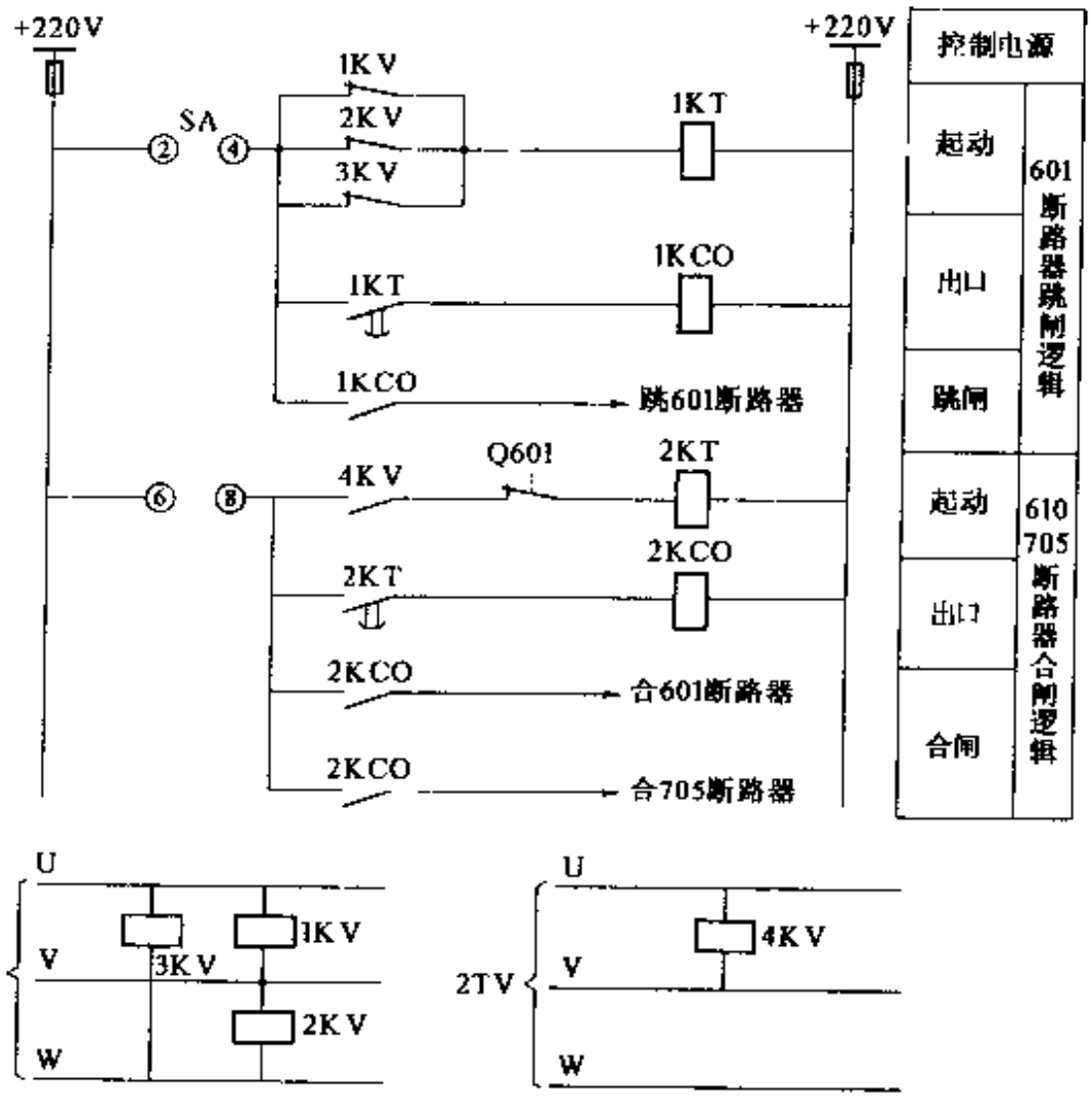


图 6-49　备用电源自投的起动原理电路

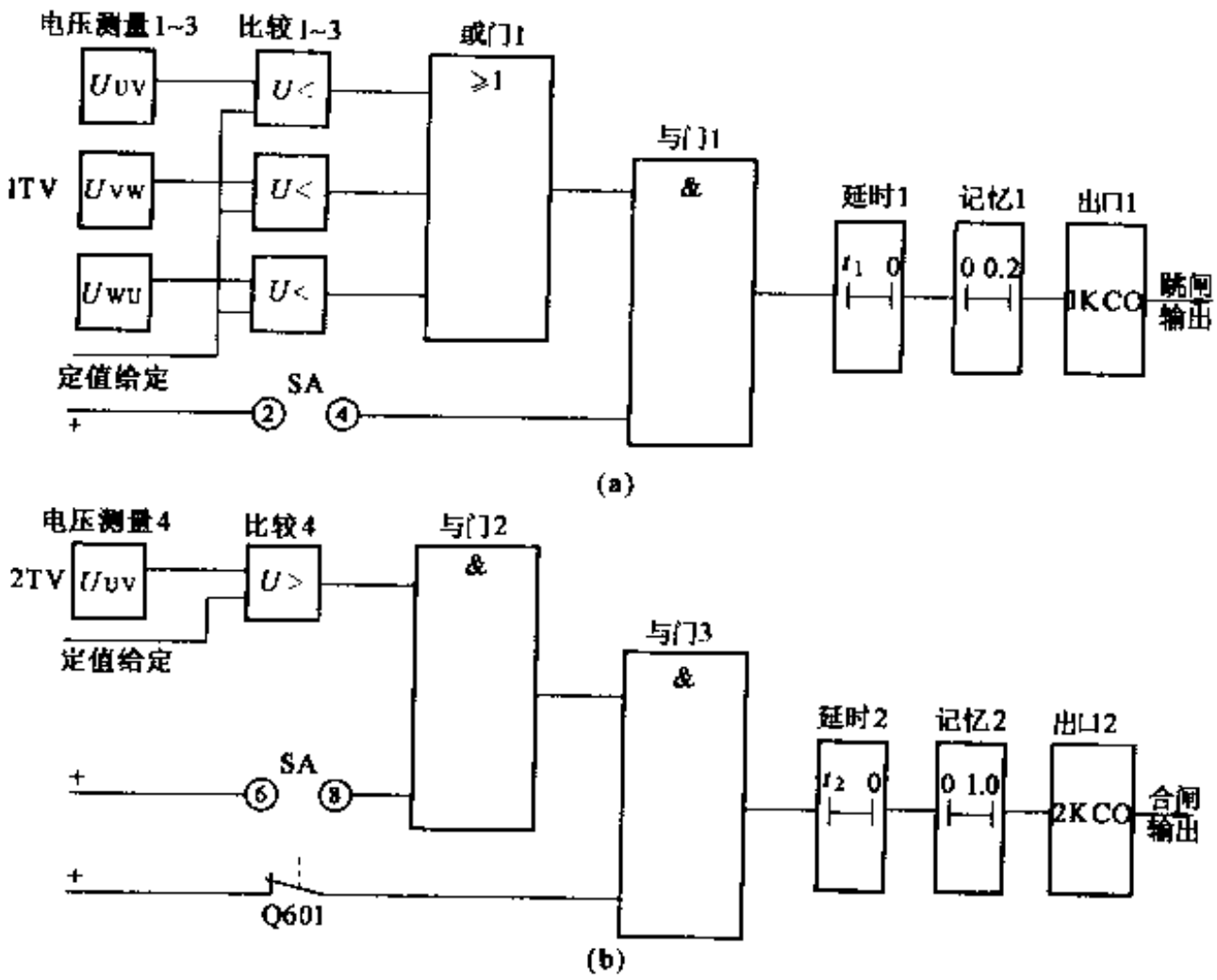


图 6-50　备用电源自投的跳、合闸逻辑

在正常运行方式下，701 断路器处于断开位置。当 601 断路器断开后，经合闸逻辑，

起动合闸出口继电器 KCO2，对 610、701 断路器合闸。如果 AAT 首先感受到 6kV Ⅰ段母线电压降低，则跳闸回路先去跳 601 断路器，再由 601 的辅助触点起动合闸回路。

三、备用电源自投成功率问题的分析

备用电源自投装置的作用是当厂用工作电源故障跳闸后，及时将备用电源自动投入，迅速恢复厂用供电，维持发电机组的继续运行。实际上这种自投的成功率较低，最严重的是将备用变压器投于故障母线，使配电装置受到严重损伤。备用电源自投的故障必须认真分析，并制订出彻底解决问题的方案。

1. 备用电源自投不能区别故障的性质

(1) 断路器柜故障的特点。

6kV 变压配电装置是断路器柜式结构。该结构的特点是对地距离小，安装紧凑，这就决定了断路器柜故障后绝缘的不可恢复性。

断路器柜配电装置发生的故障是由于绝缘材料不好、表面积污、受潮、绝缘性能下降击穿短路所致。故障点在电弧的灼烧之下受到损伤，绝缘表面烧坏，绝缘子破裂，绝缘损坏所产生的大量烟雾充满柜内，无处散去，使表面完好的部位的绝缘状况大大下降。短路时电弧燃烧引起断路器爆炸，或是断路器切断容量不够引起爆炸，一台爆炸引起火烧连营，导致多台断路器受损。

断路器柜的故障发生后进行备用电源自投是有害的，对这一类的故障类型应加以区分，避免备用电源自投在 6kV 配电装置故障后进行自投的行为发生。

(2) 厂用变压器故障的特点。

从备用电源自投的角度分析，高压厂用工作变压器安装在室外，对该变压器来说，无论发生了永久性故障还是临时性故障，保护动作就将变压器切除。只要故障点远离 6kV 配电装置，并且故障对其没有产生影响时，备用电源投入后，厂用系统能够恢复正常供电。所以，厂用变压器因故障切除后，进行备用电源自投的设计是合理的。

(3) 电动机等负荷设备故障的特点。

电动机的接线见图 6-51，电动机常见的故障有相间短路、单相接地、断相、匝间短路等。一般配置有速断保护、过流保护、零序保护、断相保护，对大型电动机还装设差动保护。

当断路器柜以内发生故障时，电动机保护不能正确反应，相当于母线故障。

当电动机的电缆线发生故障时，如果电动机保护能正确的反应故障的类型，并顺利切除故障，则不会威胁到 6kV 其他负荷的供电。如果保护不能正确的反应故障或是电动机断路器拒动时，由厂用分支过流保护作为其后备将分支断路器 601 跳开，也不应进行自投。

但是，现有的 AAT 无法区别母线故障、厂用变压器故障以及厂用负荷故障，所以自动投入率不高。

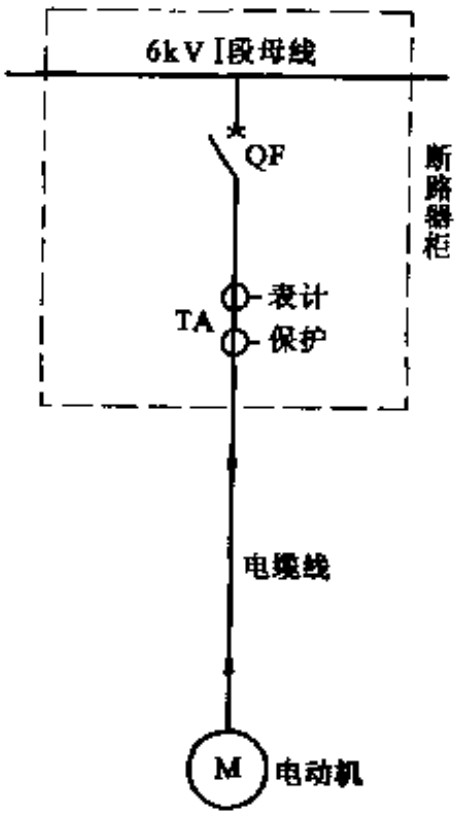


图 6-51　电动机接线简图

2. 分支过流保护的行为分析

（1）厂用工作变压器故障。

在厂用工作变压器发生故障时，厂用电动机的能量经厂用分支保护 TA 注入故障点，但电流的幅度小，时间常数也小，衰减很快，不会造成厂用分支过流保护的误动作。

（2）厂用母线故障。

6kV 厂用母线故障时，系统经 6kV 厂用工作分支注入很大的短路电流，分支保护能正确的反应。例如三相经弧光短路或是相间金属性短路时，母线的残压很低，短路电流很大，故障的特征非常明显。

（3）大型电动机起动。

厂用工作变压器运行期间，大型电动机起动时与母线故障不同，此时厂用母线的电压大于 85% I_N，对大型电动机的起动电流保护可以躲避。

（4）电动机故障保护拒动或断路器拒动。

此时分支保护的行为前边已有分析。厂用分支过流的延时时间为 2s。

3. 改变 AAT 的起动条件

将厂用分支保护与备用电源自投有机的结合起来，以提高 AAT 的动作成功率。

四、提高备用电源自投成功率及厂用电系统可靠性的措施

1. 提高备用电源自投成功率的措施

备用电源自投装置的起动条件非常简单，即工作电源进线开关跳开，在备用电源电压正常的情况下实现自投，做以下改进则能提高 AAT 的成功率。

（1）增加“工作电源分支过流闭锁 AAT”环节。

6kV 母线的故障为永久性的不可逆转的故障，应禁止 AAT 动作，以防止备用变压器投到故障母线上。对于 6kV 电动机负荷的故障因保护拒动或断路器拒动导致作为后备的分支过流保护动作，同样不允许 AAT 动作。

特点分析。

1）接线简单。

2）提高了 AAT 的成功率。

（2）增加“主保护起动 AAT”环节。

厂用变压器主保护动作后一方面跳开 10kV 断路器、高压厂用分支断路器，另一方面起动 AAT，实现快速自投。此方案须区分主保护动作与后备保护动作。对于发变组式接线的 AAT，采用此方案时，应把发变组的主保护动作作为起动 AAT 的条件，同时注意主汽门关闭联跳信号在停机后一直动作的现象。

特点分析：

1）能实现快速自投的功能。

2）接线比较复杂。

采用新的起动判据以后的接线如图 6-52。

2. 提高厂用供电可靠性的措施

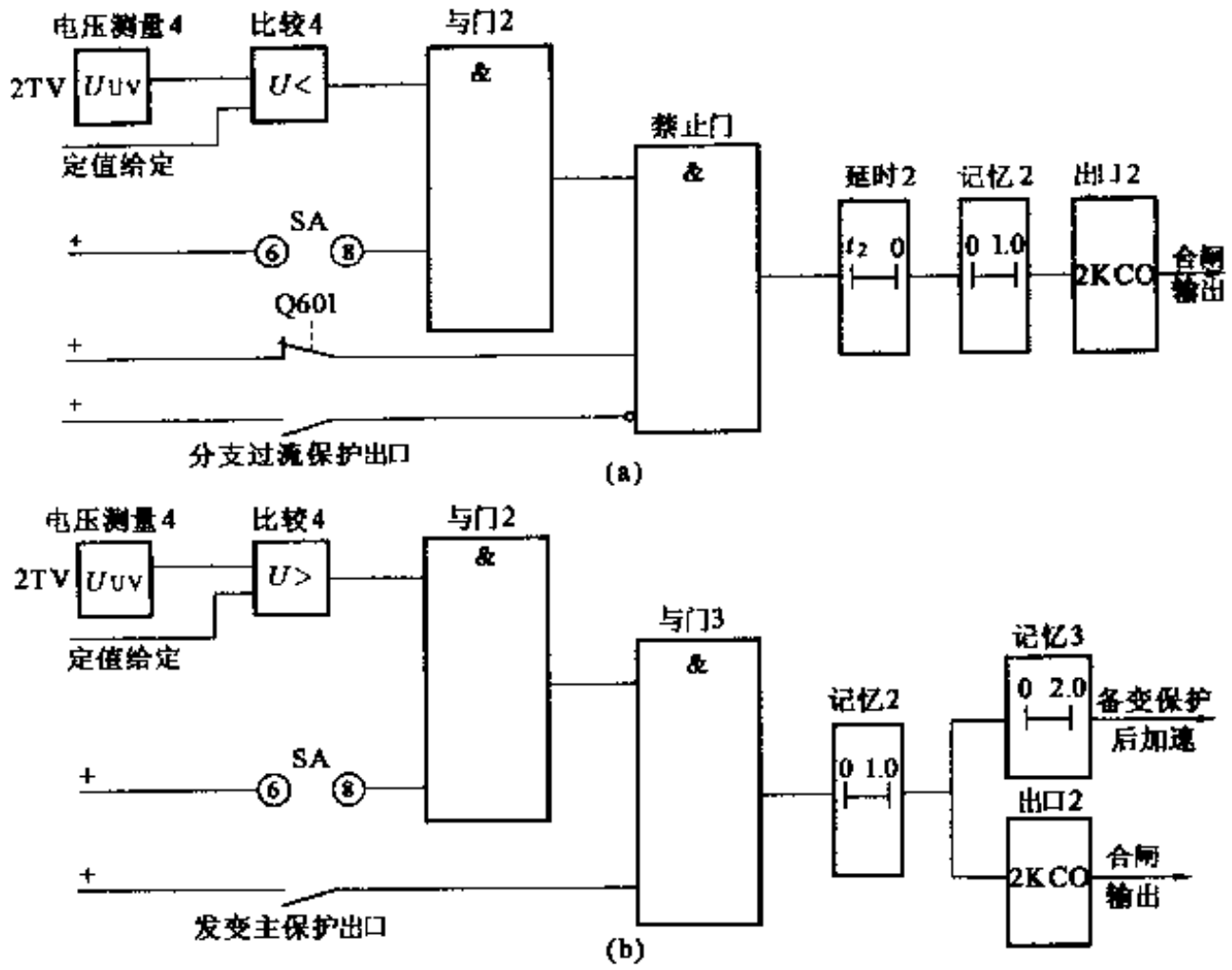


图 6-52　采用新判据后的备用电源自投逻辑

(a) 分支过流保护闭锁的备用电源自投合闸逻辑；

(b) 主保护起动的备用电源自投合闸逻辑

根据厂用系统故障的特点，以及所造成的危害情况表明，要进一步提高厂用电系统运行的可靠性，在二次设备方面必须采取一些措施。现做如下分析。

解决分支过流保护延时过长的问题。

在厂用变压器的技术指标中，动态稳定时间为 0.5s，热稳定时间为 2s。但是分支保护的动作时间为了与以下各级保护时间上的配合，往往在 2.0s 左右才出口，否则不能满足选择性的要求。这就带来了 6kV 母线故障切除时限过长的问题，致使厂用变压器烧坏的可能性太大。为解决此矛盾，有以下两种方案可以考虑。

(1) 将现行的分支保护时限整定到 0.5s 之内。

此方案不需要增加任何设备，只考虑按厂用变压器动态稳定时间 0.5s 的时限进行整定过流延时时间 T，即：过流延时时间 T = 厂用变压器动稳定时间（0.5s）－断路器跳闸时间（0.1s～0.4s）

前面曾提到，这种方案只能与下一级主保护（差动、速断）相配合，但是如果故障属于下一级过流保护的动作范围，则会失去选择性，存在厂用分支与下一级设备同时跳闸的可能，造成停电范围扩大，甚至停机。

特点分析：

1）满足厂用变压器稳定要求，能减少 6kV 母线故障烧坏变压器的概率。

2）增加了末端设备故障而停机的概率。

3）不增加设备，实施简单。

(2) 高压厂用变压器增加“分支过流闭锁的低电压速断保护”。

“分支过流闭锁的低电压速断保护”可以实现 6kV 母线的故障快速跳闸，解决了动稳定时间不满足要求的问题，但是越级跳闸的可能性依然存在，比第一种方案更为严重。例如：低电压整定 $U_{set}=25V$，母线故障虽然动作，但是在母线的负荷开关以下出现故障时，只要母线的测量电压 $U_m<25V$ 时，就会越级跳闸。如电缆上的故障，在Ⅰ段范围时满足上述条件。

特点分析。

1) 实现了 6kV 母线故障快速跳闸，极大限度的减少了母线故障烧坏变压器的概率。

2) 越级跳闸的概率较方案 1 大。

3) 需要增加设备。

(3) 装设微机型 6kV 母线保护。

6kV 母线装设微机型保护可以不增加 TA，只将每个元件原来的 TA 分别串入微机保护的变流器。

特点分析。

1) 彻底解决母线故障延时跳闸的问题，效果同方案 2 的 1)。

2) 不存在越级跳闸的缺陷。

3) 须增加设备，接线复杂。

这是最理想的方案，但到目前为止尚无厂用 6kV 母线保护实行的先例。

第七章　减少继电保护事故的思路

编写本书的目的在于使广大读者能够全面了解现场继电保护故障的主要类型，掌握事故分析、查找的方法，在生产中遇到具体问题时能够灵活地运用事故处理的基本原则，以最短的时间、最快的速度和最高的效率处理好设备存在的缺陷。学习电力系统知识、研究继电保护、掌握故障的特点、运用问题分析的技巧，其根本的目的在于减少或杜绝事故的发生。虽然在现场运行的保护有环境条件的恶劣、元器件的老化、保护特性的变坏以及人员工作中的疏忽等许多不利因素的存在，但是只要加强继电保护的管理，做到设计合理、安装无误、调试正确、验收严格、监督到位，就能够提高继电保护的正确动作率。

以下几节从管理的角度简要的介绍减少继电保护事故，提高继电保护正确动作率的做法。

第一节　把好设计审查关

一个工程项目的设计是否优秀有它的衡量标准，把好设计审查关十分重要，工程设计中出现的错误如果不能及时查处，则很难保证在以后的环节中将缺陷处理完善。现举例说明重视设计审查的意义。

一、设计不完善导致故障的实例

HSR 电业局在一起改造工程中、设计问题导致了两次保护误动断路器跳闸事故，分析如下。

1. 母差保护多余接线没剪除

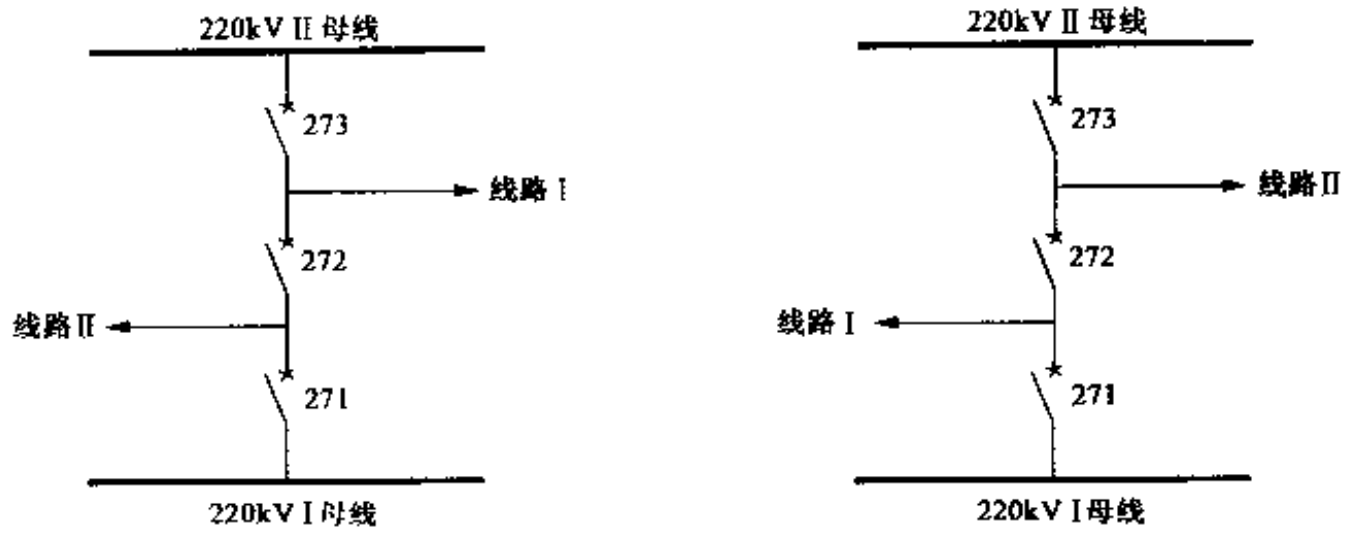
（1）事故经过。

8 月 24 日 HSR 电业局在 HS 变电站进行 283 断路器的传动试验，当 16 时 10 分进行 283 开关的失灵起动Ⅱ母线差动保护试验时，271 断路器跳闸。

为了进行Ⅱ母线保护动作的传动试验，已经将Ⅱ母线退出运行。关于 HS 变电站有关部分的一次系统结构见图 7-1，原来线路Ⅰ走 272、273 间隔，后来设计改成线路Ⅱ走该间隔，线路Ⅰ改用 271、272 间隔。改造工程竣工投产 3 个月后，在进行第 8 串有关试验时，出现上述故障。

（2）原因分析。

220kV HS 变电站为一个半断路器接线，原Ⅱ母线主保护起动 273 断路器跳闸回路设计用了两对触点 PP1—PP2 和 DD1—DD2，后备保护及其他断路器只用了一对触点。出线Ⅰ



(a) 线路改动前的结构　　(b) 线路改动后的结构

图 7-1　HS 变电站一次系统的结构（第 7 串）

改造时，将 273 断路器所有控制、保护接线全部改至新上的 271 断路器位置，对 II 母线差动上保护只改动了 PP1—PP2 一对触点，而另一对触点没有发现，即 II 母线跳 271 断路器的另一对触点 DD1—DD2 没有除去，造成了本次 271 断路器跳闸。实际上出线 II 送电在前，出线 I 送电在后，事出之前未发现任何问题。

2. 断路器失灵保护误动作

（1）事故经过。

1998 年 8 月 11 日 20 时 15 分，合 271 断路器时出现非全相运行，20 时 30 分运行值班员接到操作命令：停用联络 I 线重合闸。在操作过程中，发现 272 断路器跳闸。

（2）原因分析。

原电力设计院图纸设计存在问题，在断路器失灵保护盘上重合闸故障、重合闸停电等情况下都会起动 272 断路器的重跳回路，从而造成 272 断路器跳闸，这是本次跳闸的根本原因。

3. 原理错误的断线闭锁功能

BZ 变电站调试中发现 1 号主变压器阻抗继电器断线闭锁的原理存在严重的问题，其接线见图 7-2。

上述断线闭锁是用电压继电器组成的，这种设计在电压回路的某一相出现断线时能起到闭锁作用，但是当被保护设备发生故障时，闭锁继电器 KV 返回，将阻抗继电器同样闭锁，此时保护将会拒绝动作。最后更换了功能完善的断线闭锁继电器。

二、把好设计审查关的意义

继电保护出现的问题，既有设计的问题，也有调试和运行管理的问题。追求继电保护的高正确动作率，是广大继电保护工作者及运行人员努力的方向，为了避免保护误动拒动问题的出现，必须重视设计审查工作。

保护在设计上存在的问题如果不能及时发现，在投入运行以后，迟早会出现故障。因此工程改造项目、基建项目的设计审查工作必须从严把关，对每一个环节、每一个功能都

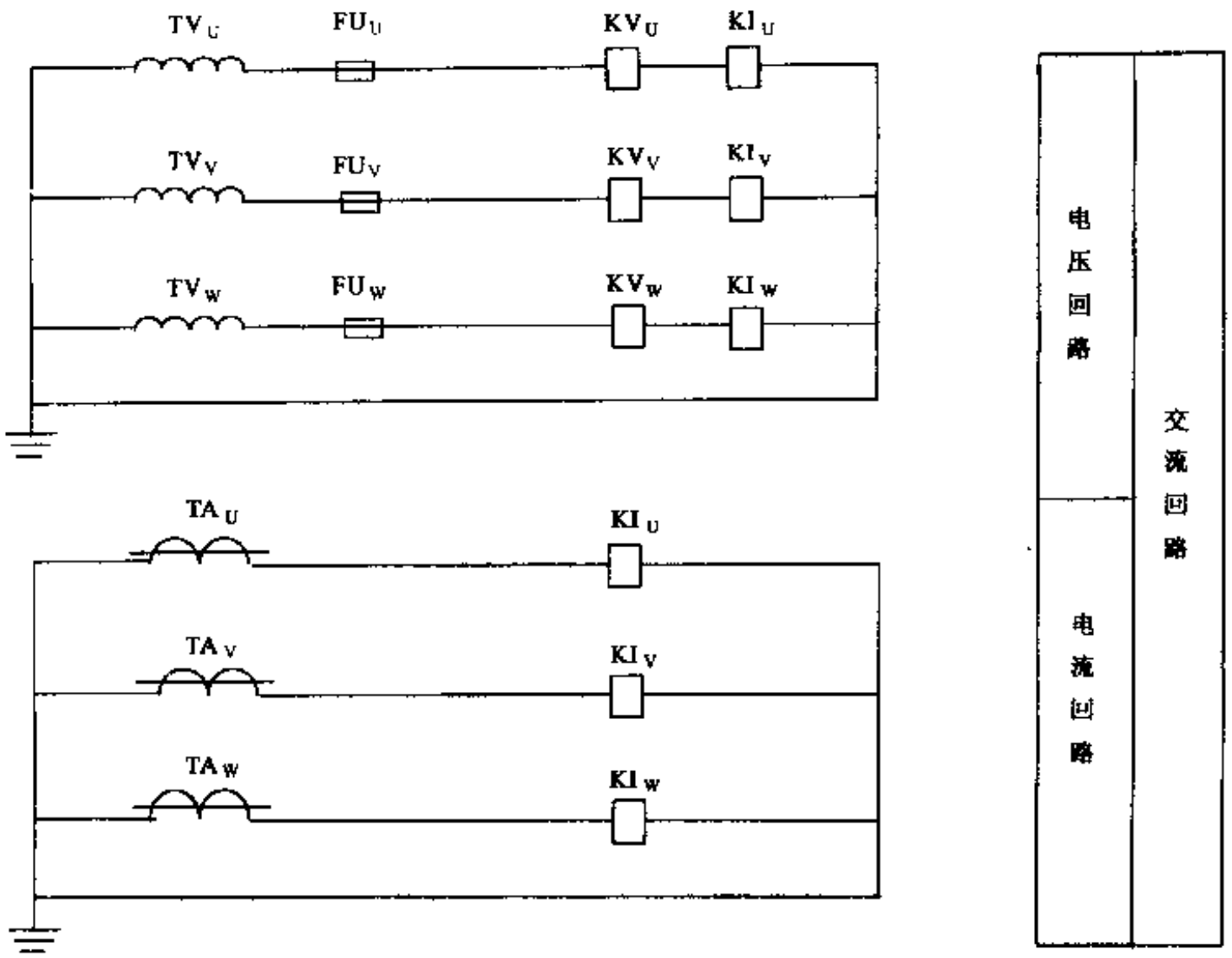


图 7-2 错误的阻抗断线闭锁回路

要认真检查、仔细核对。

另外，在以往关于继电保护出现的故障中，有关二次回路故障的比例较大，因此二次

回路设计的检查工作更为重要，应该引起足够的重视。

第二节 把好调试关

继电保护的调试与其他设备调试环节一样，是设备送电前的一道最重要的工序。搞好保护的新安装调试以及大、小修期间的定检调试，是减少事故，使设备以良好的状态投入系统的关键环节。

保护以良好的状态投入系统以后，不仅可以避免误动或拒动事故的发生，在有故障出现时，因为有完善正确的信息，使问题的查找分析变得简单明了。

要把好调试关，应做好二方面的工作：即编制统一的现场检验规程，明确调试的注意事项，解决存在的遗留问题。

一、编制统一的现场检验规程

为了加强现场继电保护的调试检验管理，统一检验标准、提高检验质量，应该编写有关继电保护的现场检验规程。

已运行的继电保护为数不少，但其现场的调试有的仍然沿用保护的出厂调试大纲。出厂调试大纲根据出厂的验收条例详细的规定了必做的所有项目，规定了需要调节的参数的误差范围，明确了需要调节的具体元件，这些对出厂调试来说是不可缺少的。但是现场的检验不同于出厂调试，一方面出厂调试中的元件参数的选配以及某些元件的特性测试等在现场无须重复，另一方面由于在现场环境状况的差别等应该考虑的问题，在出厂调试中却没有列全，因此编写一种适合现场的继电保护检验规程是很有必要的。

对于不同的保护因其结构形式的不同、原理的不同、元件组成的不同以及软件程序等的不同，其具体的调试方法也不同。从总体来说，在所有继电保护调试的检验规程中，新安装检验或定期全部检验的一般性检验内容是相同的。现以微机型保护为例介绍一般性检验的基本内容。

1. 外部检查

（1）箱体检查。

1）装置外壳应清洁无灰尘。

2）箱体安装牢固、端正，各部件完好无损；罩门开关灵活、封闭良好；所有标志齐全、正确。

3）轨道应完整无变形现象，插件插拔灵活，接触良好。大电流端子插头插入后，其短路机构应明显断开，且插入深度适当。

（2）插件外观检查。

1）拔出所有插件，检查插头，应清洁干净。

2）各插件应符合相应的装配图纸。磁性元件、二极管、电解电容等有极性的元件焊接应正确无误。

3）焊点应无虚焊、漏焊现象。

4）所有固定支架的螺丝及电流端子螺丝应拧紧。元件排列整齐、互相之间无接触及过热损坏现象。带电部位距边框金属件大于 3mm。

5）插件板上各元件及导线的高度不超过框架的厚度。

6）整定开关操作灵活，接触良好。

（3）端子排及背板接线检查。

1）保护各层端子排及屏总端子排连接牢固，标记明确，符合运行的要求。

2）背板接线正确无误。

3）所有导线无过分受力、压伤及断头现象。

（4）连接片操作开关等检查。

1）所有跳闸连接片、合闸连接片及其他功能的切换片应逐一试验，确保连接片退出回路断开，连接片投入回路接通。对那些环境潮湿的场所，上述部件应注意防止生锈、接触不良的现象发生。

2）有关的操作开关、键盘及按钮等，在做相应回路的检验时一并进行检查。

2. 绝缘检查

试验以前应做好如下准备工作。

将保护装置的所有 CPU 插件退出。

将打印机与微机保护装置断开。

将逆变电源开关置“ON”位置。

将保护屏上各连接片置“投入”位置。

（1）绝缘电阻测试。

将装置的交流电流、电压回路，直流控制回路，信号回路等所有端子分别用导线连到一起，焊开有关线头、拆除接地点。

交流电流、电压回路、强电直流回路，可以整屏运行检验。

1）强电回路用 1000V 摇表测试，要求绝缘电阻大于 10MΩ；定检时带全部回路，要求绝缘电阻大于 1MΩ。

2）弱电回路用不大于 500V 摇表测试，绝缘电阻大于 10MΩ。

注意，定检时带回路测绝缘，必须将被保护设备的断路器、电流互感器全部停电，且电压回路已在切换箱处与其他元件断开后才允许进行。

（2）介质强度检测。

介质强度试验要求每隔 6 年进行 1 次，每次进行该项试验时必须在所规定的绝缘检验合格后才允许进行。

在保护屏端子排处将所有电流、电压及直流回路的端子连接在一起，并将电流回路的接地点拆开。整个回路对地施加工频电压为 1000V、历时为 1min 的介质强度试验。

试验前必须做好安全措施。试验区域应装设安全围栏，并有专人监护。正式加压试验前，应先进行空载试升压检查，在证明试验回路接线正确后，方可进行试验。

试验过程中应无击穿或闪络现象。试验结束后，再复测整个二次回路的绝缘电阻，其数值应无显著变化。

当现场试验设备有困难时，介质强度的测试允许用2500V摇表历时1min测试绝缘电阻的方法代替。

3. 逆变电源的检验

断开保护装置跳闸出口连接片，投入保护的直流电源。

（1）检验逆变电源的自起动性能。

保护装置仅插入逆变电源插件。

拉合直流电源时的自起动性能：将直流电源电压调至80%的额定值，断开、合上逆变电源的输入开关，逆变电源指示灯应亮，输出电压应在允许范围以内。

（2）检测逆变电源的输出电压及稳定性。

1）空载状态下检测。保护装置仅投入逆变电源插件，分别在直流电压80%、100%、115%的额定电压值时检测逆变电源的空载输出电压。用万用表测量逆变电源插件面板上的各级输出电压。其电压允许范围见表7-1。

表7-1　　逆变电源输出电压允许范围

项　目	上　限	下　限
+5V电源	+5.05V	+4.95V
+15V电源	+15.5V	+12.0V
-15V电源	-12.0V	-15.5V
+24V电源	+25.0V	+22.0V

2）工作状态下检测。投入保护装置的所有插件，加直流额定电压，保护装置处于正常工作状态。测试各级电压值，其电压允许范围见表7-1。

4. 保护通电检验

（1）通电自检。

投入装置的直流电源，如果用户已将EPROM芯片安放完毕，在正常情况下，显示器上显示的“调试/运行”开关在两种方式下的显示内容应不相同。

1）调试位置：装置进入调试状态。

2）运行位置：装置进入运行状态。

如果通电检查发现异常，装置将显示或输出错误信息。

（2）键盘检查。

在调试状态或运行状态下，分别操作“←”、“→”、“+”、“-”、“↑”、“↓”、“确认”、“复位”、“返回”键，以检验这些键功能的正确性。

（3）打印机的联机试验。

进行试验前，打印机应进行通电自检。

按打印功能键，在一定时间内，打印机即把整定值按表格形式打印出来，表明打印机与微机保护装置联机成功。

（4）程序检验码检查。

按程序检查键，显示程序校验码，核对其正确性。再按返回键结束该功能。

（5）时钟的整定与校对。

1）时钟的整定。在DOS状态下，直接由外部PC机键入date或time后，直接键入当前日期或时钟。也可在运行或调试状态下，利用功能键进行整定。

2）时钟的失电保护功能检验。时钟及日期整定好后，通过断、合逆变电源开关的方

法，检验在直流或时失电的情况下，仍能准确走时。

5. 定值的整定

（1）整定值核对。

在调试状态下，用命令将主保护和后备保护的定值输入。然后按功能键打印出整定值并核对。

（2）失电保护功能检查。

用断、合逆变电源开关的方法检验整定的失电保护功能。保护的整定值在直流电源失电后不应丢失或改变。

6. 开关输入量检验

在端子排上短接或断开每一开关量，在调试状态下用有关命令进行操作，显示器上可以显示该开关量对应的合、断状态。调试状态下用相关命令，可显示或打印各开关量的状态。要求打印的开关量的状态与外部开关量的实际状态一致。

7. 模数变换系统检验

进行该项试验的目的在于检查同一 CPU 的各个通道对同一模拟量的采样结果是否一致，并检查外部输入与采样显示结果是否一致。

（1）零漂调试。

断开交流输入量，操作采样命令键，打印机将输出各通道的采样值。采样值超出范围时调整 A/D 板上的有关元件。

（2）通道一致性及互感器线性度检查。

1）电流回路。将所有电流通道相应的电流端子顺极性串联通入一定的交流电流，在电流互感器既有 5A 又有 1A 的情况下，电流互感器为 1A 的加 1A 电流，电流互感器为 5A 的由同一电流经升流后获得。

2）电压回路。将所有电压通道相应的端子同极性并联加入交流电压。

分别加 0.2、1、8 倍的额定电流；分别加 0.2、1 倍的额定电压，操作采样命令键，打印机将印出各通道的采样值，并给出相量表；分析采样值，对加同一电流或电压的通道，采样值变化趋势应一致，最大一点的各通道采样误差应≤5%，在加额定电流、额定电压时，幅值误差应≤2%，相位误差应≤2°。

在不同的试验电流电压下，各互感器应具有良好的线性性能，相对误差 > 2%则应更换互感器或调整有关元件的参数。

8. 保护起动功能检查

保护有几种起动方式，调试时应分别检查。

1）电流突变量起动方式。电流起动元件调试接线见图 7-3，先合开关 S，调节调压器 TV 得到所需加的电流值，然后断开电源开关 S，再瞬时合 S 突加冲击电流。

2）差电流起动方式。合上电源开关 S，调节调压器 TV 使电流缓缓上升致保护动作，读表得保护动作值。

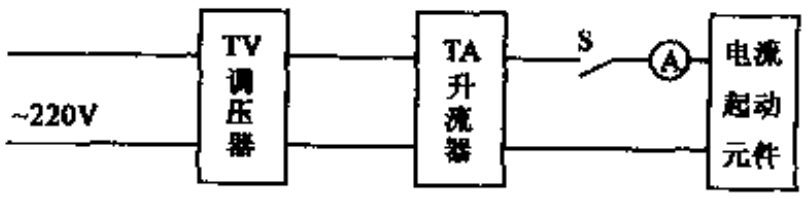


图 7-3　电流起动元件调试接线

3）负序、零序电流起动方式。合上电源

开关S，调节调压器TV使电流缓缓上升致保护动作，读表得保护动作值。

电流突变量起动方式类似于故障模拟，可检验出保护动作边界点的精度。试验时，先突加0.95倍或1.05倍动作值冲击装置，装置应正确反应，然后可缓加电流、电压测量保护动作特性或动作值；最后加1.3倍以上动作值进行冲击试验，测量所得相应保护动作时间及动作状况应符合设计的要求。

9. 保护特性检查

（1）与定值有关的特性试验。

1）新安装检验时，要求先按出厂规程的数值做，以便取得统一标准下的结果，鉴定设备的完好性；再做定值单整定位置下的特性检验，但项目可以从简。

2）定期检验时，只要求做定值下的特性。

3）装置整组试验时，无论新安装检验或是定期检验均可在定值单规定位置下进行。

（2）需要调整的电路调试。

对这些电路应先做规定项目的特性试验，若特性满足要求，则无需调整，更换元件要慎重。

（3）注意事项。

现场调试过程中，如果有的特性、参数相差很远时，应仔细检查试验接线、电流电压的极性、试验方法等是否存在问题。

对于不同的保护，有不同的特性，作为一般性检验的内容，在此不做说明。

10. 出口信号检查

在调试状态下用正确的操作，先给出起动信号，某出口信号动作后，面板上的发光二极管有指示，并且输出触点有效，对照设计图检查其动作或信号逻辑的正确性。

注意：进行此项试验时，开关跳闸连接片务必断开。

11. 逆变电源带满负荷时的检验

将直流电源调至80%的额定值。

在保护屏上投入保护连接片，分别模拟故障使主保护和后备保护动作（对于非电量保护，可短接一个跳闸的开关量），分别测量保护的逆变电源。

逆变电源输出的各级电压满足规定要求，用只能测量交流分量的高内阻电压表测量逆变电源各级输出的交流电压分量，其有效值应在规定范围内，+5V输出端小于30mV，24V输出端小于500mV。

12. 整组试验

（1）模拟试验。

在保护屏上投入主保护、后备保护连接片，退出出口跳闸连接片。在端子排上加故障量模拟某种故障，使主保护和后备保护动作，可用短触点的方式使非电量保护动作。在试验过程中应注意保护装置信号、显示信息、打印报告、中央信号及远动装置信息是否一致、正确，还应注意模拟装置异常和报警，以观察中央信号与保护装置信号是否一致、正确

（2）与失灵保护等其他装置配合的试验。

模拟各种故障，检验起动断路器失灵保护回路的性能。所加故障电流应大于失灵保护电流整定值，模拟故障的时间应与失灵保护的动作时间配合。

与重合闸配合的试验应按重合闸的方式进行。

13. 断路器传动试验

保护装置调试完以后应进行联合试验及带断路器的操作试验，试验内容如下。

断路器传动试验前，控制室及变压器各侧断路器均应有专人监视，并备好通信联络工具，以便观察断路器动作情况及保护动作的行为，同时监视中央信号装置的动作及声、光信号指示。如果发生异常情况，应立即停止试验，在查明原因并采取措施后再继续进行。

在试验前后编制详细的可操作的措施，以便试验工作有条不紊地进行。保护的检验应注意检查跳闸出口连接片，保护跳闸逻辑及跳闸回路的正确性。

模拟故障应从保护屏端子排加交流量。

1）断路器手动跳、合闸试验。断路器手动跳闸、合闸操作试验应正常，灯光指示应正确无误。

2）保护跳闸试验。将线路装设的所有保护及重合闸互相配合做联合试验，要求每一直接带断路器的跳闸出口继电器进行跳闸一次，以检验出口回路到断路器操作回路之间接线的正确性及中间继电器动作的可靠性。对并列起动上述出口继电器的各路信号，要求每路分别检验，保证能起动出口即可。

3）信号系统的检验。在断路器跳、合闸试验及保护联合试验的过程中，应对事故音响信号、预告音响信号、闪光信号以及光字牌信号作全面检查，要求各信号应准确无误。

14. 带负荷试验

（1）交流电压的相别核对。

用万用表交流电压档及相位表测量保护屏端子排上的相电压和线电压，并校对保护屏上的三相电压与已确认正确的电压小母线三相电压的相别。

（2）差动保护的差流检查。

当主设备带负荷后其保护显示的最大相差流应小于0.02A，如差流较大，应打印出采样报告，分析其原因。

（3）交流电流电压检验。

按下有关功能键执行打印采样值功能。打印出各通道的电压、电流，并与控制盘表相对照，电流、电压的幅值及相位角，应正确无误。

15. 打印定值及开关量状态的检查

按有关功能键执行打印定值清单，校对其正确性，按开关量打印功能键执行打印当前开关量状态表，检查其正确性。

二、明确调试的注意事项

1. 做好检验前的准备工作

在进行检验之前，工作人员认真学习保护的检验调试规程，理解、熟悉检验内容和要求。

2. 明确试验设备及试验接线的基本要求

1）为了保证检验质量，试验时应使用性能良好的继电保护试验装置，其技术性能应符合规程的规定。

2）试验仪表应经检验合格，其精度应不低于0.5级。

3）试验的接线原则，应使加入保护装置的电气量与实际情况相符合。模拟故障的试验回路，应具备对保护装置进行整组试验的条件。

3. 熟悉试验条件

1）交、直流试验电源及接线方式的要求参照部颁《继电保护及电网安全自动装置检验条例》有关规定执行。

2）试验时所加直流电源应为额定值。

3）加入装置的试验电流和电压，应从保护屏端子上加入。

4）为了保证检验质量，对所有特性中的每一点，应重复试验三次，其中每次试验的数值与整定值的误差应满足规定的要求。

4. 明确调试的注意事项

1）断开直流电源后才允许插、拔插件，插、拔交流插件时应防止交流电流回路开路。

2）存放程序的EPROM芯片的窗口要用防紫外线的不干胶封死。

3）打印机及每块插件应保持清洁，注意防尘。

4）调试过程中发现有问题时，不要轻易更换芯片，应先查明原因，当证实确需更换芯片时，则必须更换经筛选合格的芯片，芯片插入的方向应正确，并保证接触可靠。

5）试验人员接触、更换芯片时，应采取人体防静电接地措施，以确保不会因人体静电作用而损坏芯片。

6）原则上在现场不能使用电烙铁，试验过程中如需使用电烙铁进行焊接时，应采用带接地线的电烙铁或采用电烙铁断电后再焊接的方法。

7）插件不能插错位置。

8）因检验需要临时短接或断开的端子，应逐个记录，并在试验结束后及时恢复。

9）使用交流电源的电子仪器进行电路参数测量时，仪器外壳应与保护屏在同一点接地。

10）禁止用一般保护装置的出口继电器断弧。

三、解决存在的遗留问题

良好的调试至少可以解决如下问题。

1. 清除设备的隐患

在各种类型的继电保护设备中，都设计了完善的装置监视功能，计算机保护产品的监视手段更令人满意，元件的监视、保护的闭锁、装置的告警等一系列措施功能齐全，但是由各种特性的元器件构成的整套保护中，总会有一些“死角”，不是自检功能、监视功能力所能及的。例如晶体管距离保护中的切换继电器的触点就没有监视手段，结果在现场出现过起动元件动作，整套保护误动跳闸的问题。类似的隐患可以列举很多，都能在正常的

检验调试中得到解决。

2. 检验保护的功能

正常的保护调试，可以检验出保护设计的各种功能是否已经工作正常，例如电压保护的断线闭锁功能由于选型方面的错误，则不能起到应有的闭锁作用等问题，调试人员根据调试及检验规程很容易就能检查出来，从而达到功能设置的各种要求。

3. 检验保护的特性

由于保护元件的参数变化或者元器件的损坏会导致保护特性的变化，有的特性曲线的变动不会导致保护性能改变，但有的则不行。例如第一章曾经提到的距离保护的方向特性圆应该包括 R 坐标，由于元件损坏，运行一段时间后，特性圆不再经横坐标，见图 7-4。变化后的特性曲线使保护在出口处失去保护区，问题是严重的。

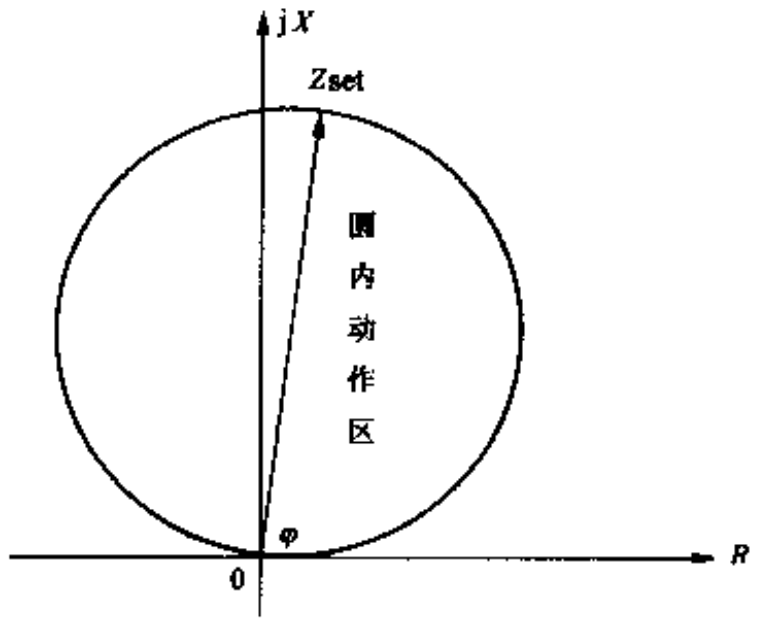


图 7-4　偏离 R 轴的方向阻抗特性

再如，发电机的负序反时限特性 $t = A/I_{2*}^2$，其中 A 为发电机允许过热的时间常数，I_{2*} 为发电机流过的负序电流标幺值 $I_{2*} = I_2/I_N$。发电机的负序反时限特性曲线见图 7-5，由图 7-5 中曲线 3 可知，保护偏离整定值以后引起动作时间的很大偏差，同一电流 I 下的动作时间 $t_2 = 2t_1$，容易引起保护的误动作。

调试中类似情况并不少见，必须将其恢复到设计定值要求的范围内。

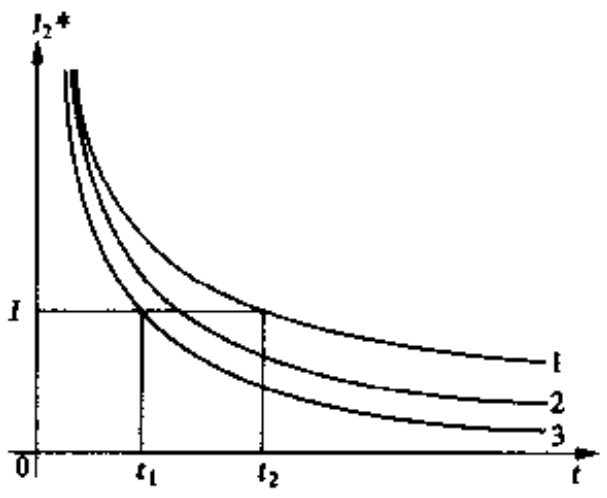


图 7-5　发电机的负序反时限特性曲线

曲线 1—负序反时限保护整定值下的特性；曲线 2、3—负序反时限保护偏离整定值下的特性

4. 解决保护制造的遗留问题

新安装调试中经常遇到的问题是配线错误或工作漏项。例如保护因为极性接错而误动作，屏蔽接地的设置不完善导致保护的抗干扰能力下降等遗留问题，在调试阶段或运行阶段都会很容易地得到解决。

5. 解决保护安装的遗留问题

在现场应该按照检验规程规定的项目进行检验工作，对于能够引起特性变化或有容易损坏的器件环节，不能省略其检验项目。

值得注意的是在调试中应重视二次回路的工作，分析以往二次回路故障的情况可知，有许多问题是出在对工作认真的程度不够，特别是涉及到已运行设备的接口，必须创造条件完成所有项目的检查工作，不可为了省事而马虎过关。对重要的回路，应采取通电的方法检查。

总之，通过保护装置的正确调试，使其特性参数、定值数据等达到最理想的水平。使装置的各种功能处于良好的状态，因此各部门必须重视调试环节，加强调试工作的管理，努力把好调试验收关，发挥调试环节应有的功效。

第三节　把好检验验收关

验收是保证继电保护正常运行的有力的组织措施，是保证继电保护少出事故的有力的把关措施。验收的目的在于从管理的角度解决由于个人的疏忽而造成的遗留问题。

验收对新设备来讲，有出厂验收、到货验收、交接验收；对已运行设备的定检调试来说，也有检验验收的问题。下面介绍在现场新安装的交接验收以及定检验收的有关工作。

一、把好新安装保护的交接验收关

在设备的调试任务完成以后，应该由生技科、车间、班组三级人员参加交接验收工作，其主要内容如下。

1. 检查有关的技术资料

技术资料的检查的内容：第一检查竣工资料是否齐全，尤其是检查设计变更的内容，是否已经在竣工图纸上标注清楚；第二检查试验内容、试验项目是否齐全；第三是试验数据、试验特性是否满足设计的要求，保证图纸准确地反映设备的实际状态，数据准确地反应设备的特性，即软件准确地反应硬件。

2. 检查专用的仪器及备品备件

为了便于继电保护运行以后的管理工作，必须点清专用仪器及备品备件，另外还要检验专用仪器的完好性。对于备品备件，要求进行调试检查，使备品的特性、数据等满足出厂要求，满足现场的要求，以便在运行器件出现问题以后进行更换。

3. 检查“反措”条款的执行情况

近几年来电力部门以及设备的生产厂家根据设备在现场运行中出现的共同性的问题，进行了分析研究，提出了针对性很强的相应措施，即“反事故措施”，由电力主管部门统一下发文件，统一执行。

根据“反措”精神的要求，在新建项目的设计过程中应该加入有关的条款，但是设计部门并没有引起足够的重视，有的设计根本就没有考虑“反措”的要求，因此“反措”的问题在设计审查时要注意，交接验收时也要注意，一定要记住以往的教训，并且使以后不再重新出现类似的问题，以免重蹈覆辙。

4. 核对继电保护的定值

保护定值的核对，应重点检查继电保护装置的投入开关、整定拨位开关、拨轮开关以及旋钮的位置是否与所整定的位置相一致，特别是集成电路保护，此类开关较多，更要认真核对。对于微机型保护来讲，定值检查工作比较容易，从显示屏幕上就能方便地检查到已写入的定值情况。

如果对所整定位置下的定值仍然有疑虑，尤其是调试工作已经完成的时间比较久了，则再进行通电核对定值的检查工序是有必要的。

5. 检查高频保护的通道

对线路保护的高频通道元件调试完成以后，在送电前要进行高频通道的检查工作，以

保证通道投入后的完好性。通道检查的具体项目应参照调试大纲而定，最主要的项目是发信机发信时本侧以及对侧的电平测试，保证其通道的裕量满足要求。

线路送电以后还要进行通道的复查工作，将其测试数据与送电前作以比较，看送电后对通道的影响程度如何。如果数值相差不大，即可将高频保护投入运行，若数值差别较大时，则应查明原因、采取措施并消除影响后才能投入。

6. 检查带负荷后的相量

为了保证输入保护的 TV、TA 的二次电压、电流信号的正确性，必须进行送电后的相量检查工作，带负荷的多少以所用表计能准确反应电流的数值以及相位的数值为准。测点原则上在保护屏端子排进行，其测试结果要与保护静态调试时加入电压、电流的相位相吻合.

有的方向保护电压、电流的相位关系不易确定，例如，变压器的零序方向保护，其零序 TA 取自中性点侧，因为正常运行时没有零序电流输出，对这种情况应保证接线的正确性

二、把好继电保护定检的验收关

在以往的工作中对继电保护定检验收的重视程度远远不及新安装的交接验收，从原则上讲继电保护定检验收的项目与交接验收相比可以缩减，但定检验收有其侧重的一面，有它自己的特点，不能忽视。继电保护的定检任务完成以后，必须进行以下验收工作。

1. 检查继电保护的特性

保护运行一个时期以后，由于温度的影响、元件老化等原因，使元器件的特性发生变化，最终表现在整套保护上。因此应该对保护的特性曲线（例如距离保护的圆特性）进行检查，如果数据与新安装调试相差比较大时，须查明原因，若相差不大，说明保护状况良好。

2. 检查继电保护的定值

由于元件特性的变化或是元件的损坏会使定值发生变化，因此定检中定值的检验不可忽视。定值的检验必须作通电检查，并比较其偏差。

3. 检查高频保护的通道

在日常的运行中，保护通道的检查是一个规定的项目，在定检后也不例外，应进行检查工作，以保证高频通道正常运行。

4. 检查带负荷后的相量

在定检中，如果 TV、TA 的二次回路因为有工作而断开过，则带负荷以后，必须进行相量的检查，否则无需进行此项工作。

第四节 把好运行管理关

加强继电保护的运行管理，是保证继电保护设备、继电保护工作不出或少出问题及故障的又一重要环节，多年的运行经验已经证明了这一点。

继电保护运行管理中存在不少的弊端，从事继电保护管理的人员应充分认识到这些问题，以便理顺继电保护的工作关系，发挥监督体系的作用，提高继电保护的管理水平，达到减少事故的目的。

一、目前继电保护管理中存在的问题

1. 继电保护队伍的水平急待提高

继电保护人员的水平问题有两方面的内容。首先，大量的新设备投入系统运行，需要人们去学习、去掌握。新投产的变电站其线路保护一般选用了微机型的产品，发电厂则除少数集成电路保护以外多数也以微机继电保护为主要形式，这些新型保护有的运行经验比较充足，有的尚需进一步考验。必须学习新保护的原理、性能及运行技术，保证新投产的设备能够稳定、正常地运行。其次，继电保护的队伍中有许多新参加工作的人员，由于专业涉及的范围比较广泛，设备的结构复杂而且不容易掌握，培养一只优秀的继电保护队伍需要比较长的时间。

还要充分考虑到继电保护工作的特殊性。继电保护工作的责任重大，工作人员长期处于高度紧张状态，学习的条件受到很大的限制，运行管理部门必须作出努力，保证继电保护工作队伍的相对稳定性，为继电保护人员的学习创造一个良好的外部环境。

在专业培训方面有过不少成熟的经验值得推广，例如各地曾经组织过各种各样的培训班，继电保护技术比赛等，收到了很好的效果。

2. 运行人员的水平不容乐观

电力系统继电保护的许多事故，是由于运行人员对继电保护装置以及二次回路熟悉的程度不够人为造成的。运行人员是设备的直接操作者，运行人员的水平直接影响到设备的安全，因此在注重继电保护人员培训的同时，做好运行人员的培训工作。

3. 运行规程的制定工作严重滞后

随着电网的飞速发展，新型保护不断投入系统，但是有关的运行操作规程的制定工作严重滞后。有的运行操作只是根据调试人员或生产厂家的材料进行，有的则沿用了过时的规程、标准，管理工作异常混乱。有关部门应健全继电保护的管理规章制度，使工作标准化、规范化，做到有章可循，有据可依。

4. 设备改造的任务艰巨

从目前电网的现状看，系统保护中的电磁型保护、整流型保护及晶体管型保护存在的普遍问题是：元件严重老化，备品、备件短缺，有的保护存在原理缺陷，若不能解决这些问题，电网的安全运行难以保证。早期投产的部分集成电路型线路保护、整流型母差保护及进口的系统保护在运行中出现许多问题，对这些保护应该制定计划，逐步更换。

5. 清查已暴露故障的力度不够

有的继电保护设备出现故障以后，没有查清其根本原因，分析如下。

（1）技术的问题。例如录波设备配置不齐全或是录波波形没有正确反映出系统的状况，或者工作人员的技术水平不够，使保护动作行为的分析受到限制。

（2）人为的问题。由于考核办法的实施，有的保护动作的因素明知不报或是报告带有

水分，对正确原因的分析，动作行为的评价设置了障碍。

（3）故障没有清除。保护动作后没有查清原因就又投入了运行，为保护的再次故障留下了祸根。

可见，继电保护人员必须统一思想，统一认识，统一步调，彻底摆脱继电保护管理的陈旧模式，严格其管理标准，科学地统计分析，杜绝同类事故的再次出现，为此在保护出现故障以后，必须彻底查清其真正原因，并且采取有效的防范措施。

上述五种问题是目前电网中继电保护管理方面存在的最为突出的矛盾，如果这些矛盾都得到了解决，继电保护的管理水平也就跟上去了。

二、充分发挥继电保护技术监督的作用

为了加强继电保护及自动装置的监督工作，提高继电保护运行的可靠性，电力部在1997年颁发了《电力系统继电保护技术监督规定》，继电保护技术监督工作在全国陆续地正式展开，各省市成立了继电保护技术监督体系，具体负责继电保护的技术监督管理事务。继电保护的技术监督是专业发展的必然要求，我们可以用技术监督条例来促进继电保护的运行管理工作。

1. 继电保护技术监督工作的基本原则

继电保护技术监督遵循行业归口、依法监督、分级监督、专业监督和群众监督相结合、及时反馈的原则。

继电保护技术监督工作执行监督报告、签字验收和事故处理制度。

继电保护技术监督机构的职责分工：省级监督部门具体负责全网继电保护技术监督的各项工作，各发、供电单位和基建、设计部门均设立继电保护技术监督小组，形成辐射全网的继电保护技术监督网络。

省监督部门负责贯彻执行电力部、电力局制定的有关技术监督方针、标准、规程、规定和制度，监督继电保护的反事故措施，重大技术措施、反事故措施及技术改造方案的制定；监督继电保护运行规程，继电保护装置检验规程的修编与实施；评价新装置的运行状况，提出处理事故的意见；组织研究推广新技术，开展信息交流。

发、供电单位继电保护技术监督小组负责制定本单位年度工作计划；参加本单位按有关规定进行继电保护不正确动作事件的调查分析；对本单位的新上项目从工程设计、选型、安装、调试到运行维护、动作评价、统计分析等环节实行全过程监督，建立本单位的技术监督档案；掌握本单位继电保护的运行状况，对存在的问题提出改进意见并监督实施。

设计部门的技术监督小组负责系统保护、元件保护、自动装置等设计的全过程技术监督。

基建部门的技术监督小组负责系统保护、元件保护、自动装置等施工的全过程技术监督。

2. 明确各监督单位的分工

根据分工，省级技术监督部门应着重抓好技术监督的管理工作。

（1）做好继电保护反事故措施，重大技术措施与技术改造方案的制定和实施工作，监督继电保护装置检验规程等有关方案的修编与实施。

（2）做好各发、供电单位继电保护技术监督小组的考核工作。

（3）组织研究和推广新技术。

（4）组织修改继电保护技术监督条例，使之符合电网的需要。

（5）组织重大事故处理，研究现场存在的重大技术难题。

各发、供电单位监督专工应做好基础工作。按照继电保护的监督规定，各个发、供电单位都成立了以生产厂、局长为核心的继电保护技术监督小组。小组中设有三名监督专工，一名在生产部，一名在车间，一名在继电保护班。各发、供电单位继电保护技术监督小组是一个坚强的实体，应该充分发挥监督小组的作用，充分发挥监督专工的作用，使其在生产管理、交接验收、异常分析、事故处理的环节中做好基础工作。

3. 协调好各监督单位的工作关系

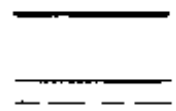
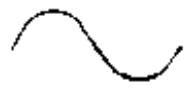
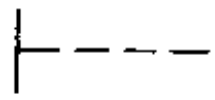
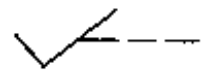
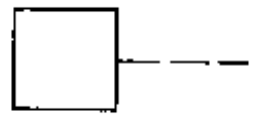
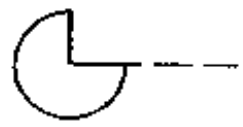
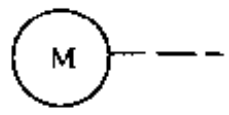
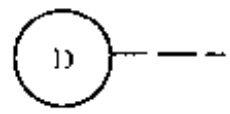
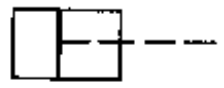
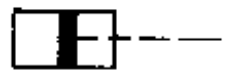
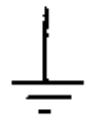
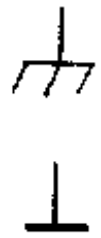
虽然各监督单位都在一个系统内部，由于各单位的处境不同、工作范围不同、管理工作内容不同，所以必须统一工作的认识，将各部门的行动都统一到继电保护监督条例的规定上来，做到分工明确、压力到位、统筹一盘棋，使继电保护监督工作步入正常运转轨道。

三、提高运行管理水平

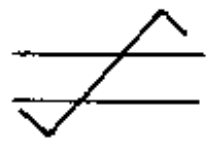
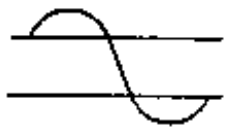
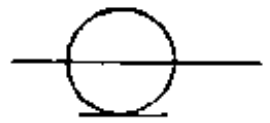
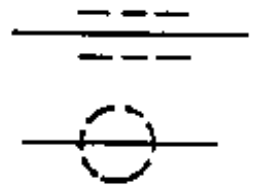
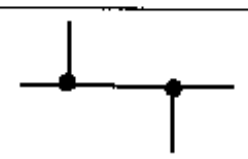
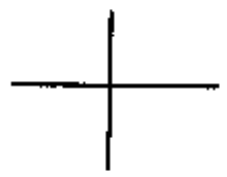
继电保护的运行管理工作与调试定检等工作一样，目标是提高继电保护的正确动作率，为此，管理工作者同样需要具备必要的理论知识与实践知识。既要熟悉一次系统，又要熟悉二次系统；既要掌握保护的基本原理，又要掌握实际运行状况。

只要继电保护的各级管理人员以及继电保护专业人员尽职尽责，在具体工作中努力把好设计审查关，把好调试关，把好验收关，把好运行管理关，那么继电保护的运行水平是会令人满意的。

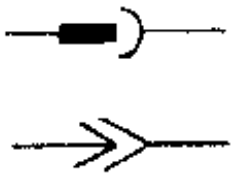
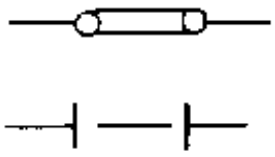
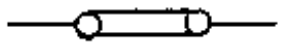
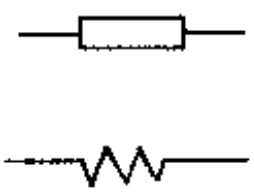
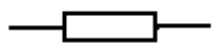
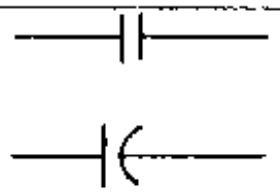
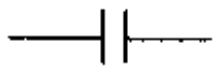
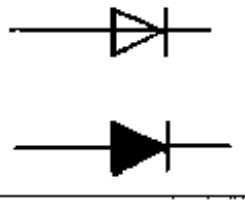
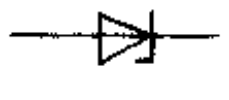
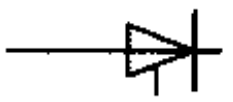
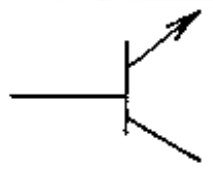
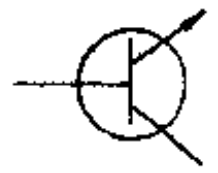
附录 A　常用电气图用图形符号及新旧符号对照

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
1	直　流		
2	交　流		=
3	交直流		=
4	手动控制		=
5	脚踏操作		
6	贮存机械能操作		
7	凸轮操作		
8	电动机操作		
9	气动或液压操作		
10	接　地		=
11	接机壳		

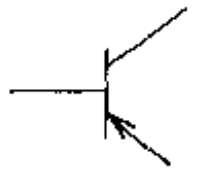
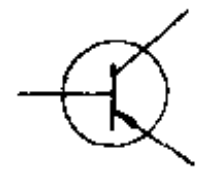
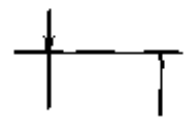
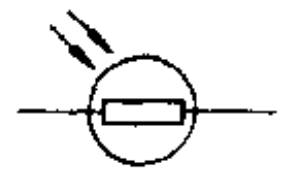
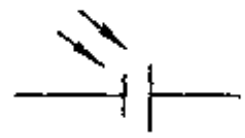
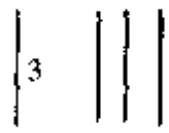
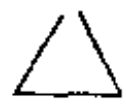
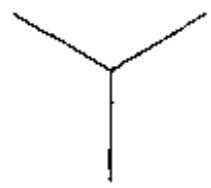
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
12	变换器		
13	永久磁铁		=
14	导线、电缆和母线的一般符号		=
15	柔软导线		=
16	二股绞合导线		
17	同轴电缆		=
18	屏蔽电缆		
19	导线的连接		
20	导线的不连接		=
21	端　子		=

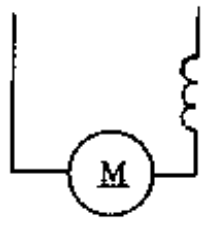
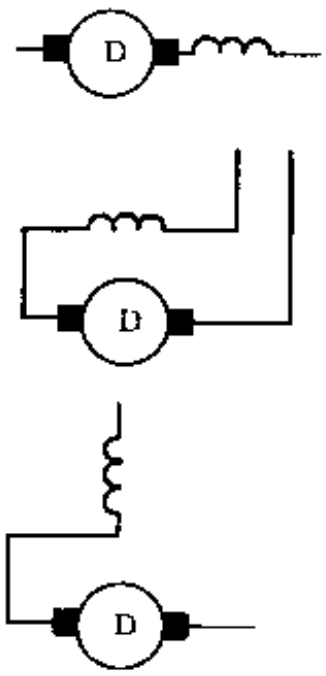
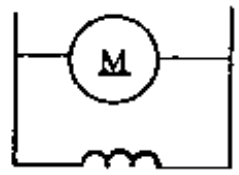
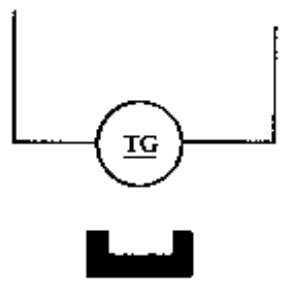
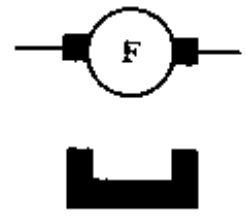
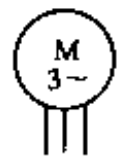
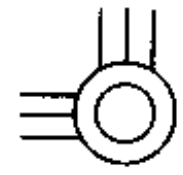
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
22	插头和插座		=
23	连接片		
24	电阻的一般符号		
25	两个固定抽头的电阻器		=
26	电感器		=
27	有两个抽头的电感器		=
28	电容器的一般符号		
29	半导体二极管一般符号		
30	单向击穿二极管		
31	双向击穿二极管		
32	三极晶体闸流管		
33	NPN 型半导体管		

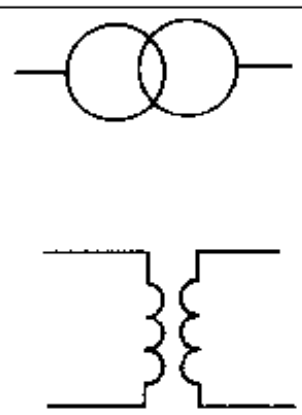
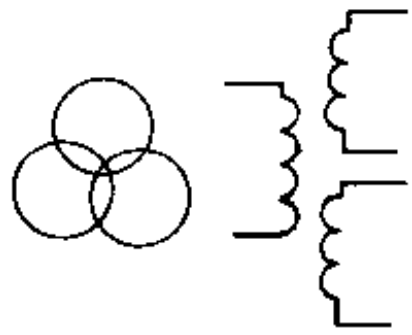
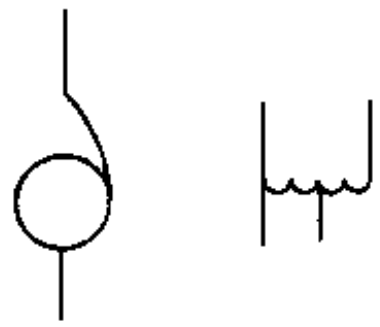
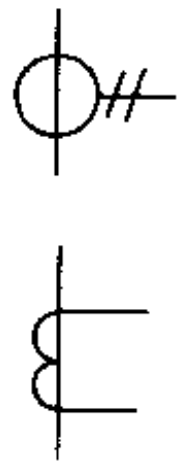
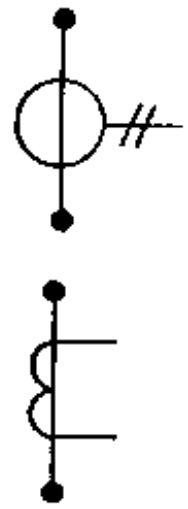
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
34	PNP 型半导体管		
35	N 型沟道结型场效应管		
36	P 型沟道结型场效应管		
37	光敏电阻		
38	光电池		
39	两相绕组		
40	三个独立绕组		=
41	三角形连接的三相绕组		=
42	开口三角形连接的三相绕组		=
43	星形连接三相绕组		=
44	中性点引出的星形连接的三相绕组		=
45	两个绕组 V 形（60°）连接的三相绕组		=

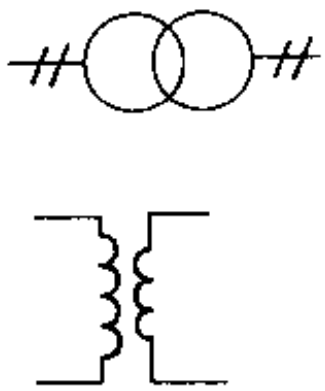
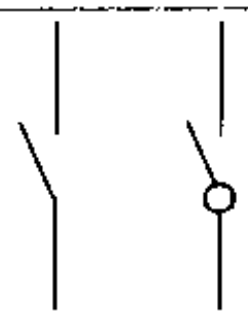
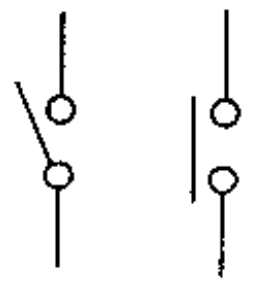
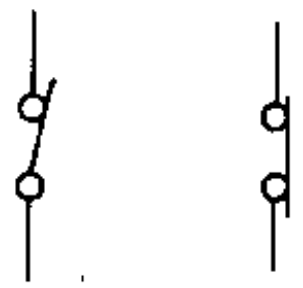
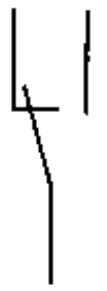
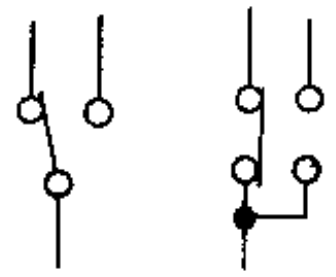
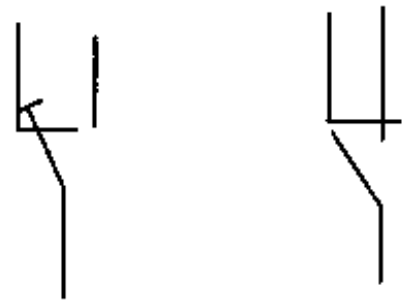
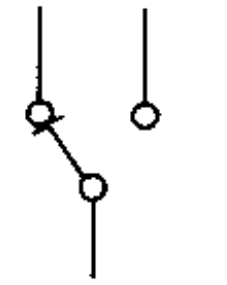
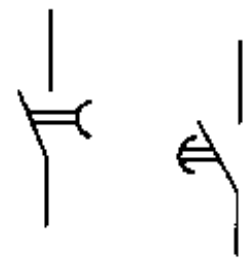
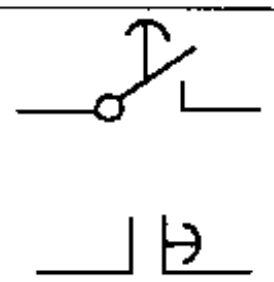
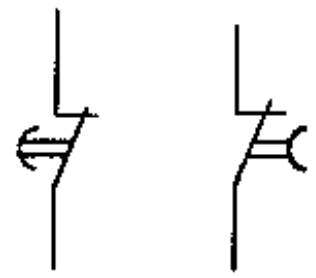
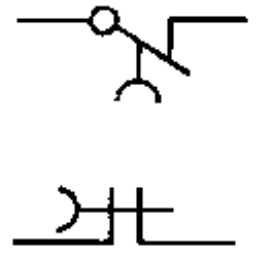
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
46	6个独立绕组		
47	串励直流电动机		
48	并励直流电动机		
49	永磁直流发电机		
50	单相永磁同步发电机		
51	三相笼型异步电动机		
52	三相绕线转子异步电动机		

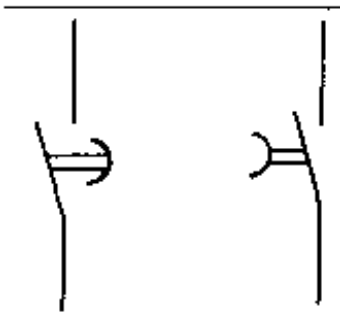
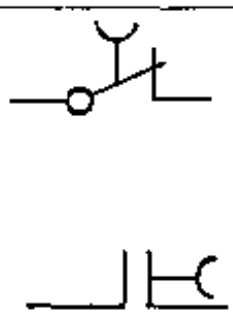
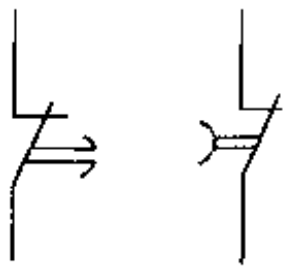
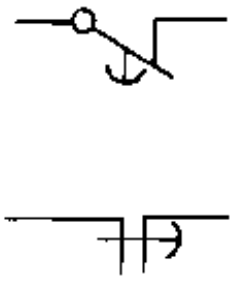
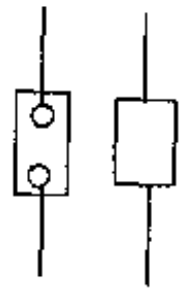
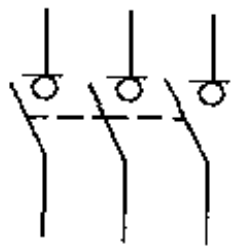
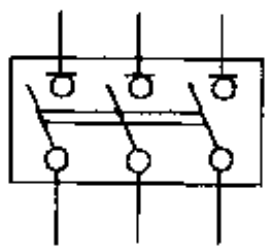
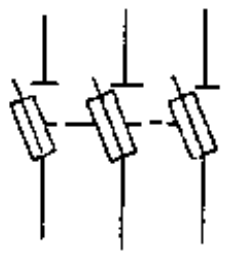
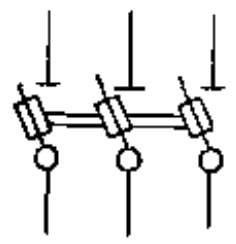
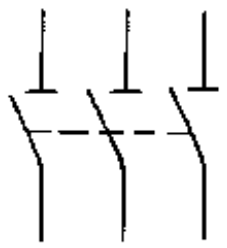
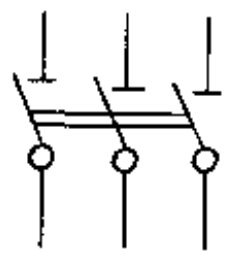
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
53	双绕组变压器		=
54	三绕组变压器		=
55	自耦变压器		=
56	电抗器		
57	电流互感器		

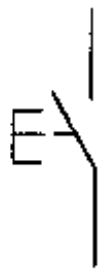
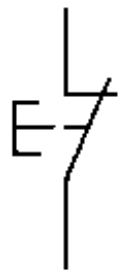
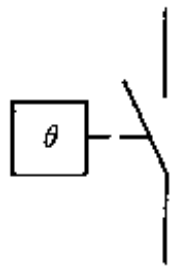
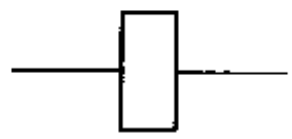
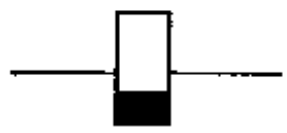
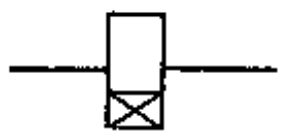
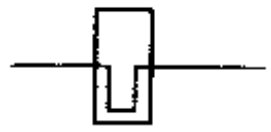
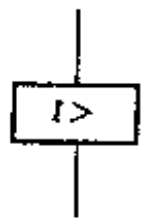
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
58	电压互感器		=
59	动合（常开）触点		
60	动断（常闭）触点		
61	先断后合的转换触点		
62	先合后断的转换触点		
63	延时闭合的动合（常开）触点		
64	延时断开的动断（常闭）触点		

续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
65	延时断开的动合（常开）触点		
66	延时闭合的动断（常闭）触点		
67	高压负荷开关		
68	高压断路器		
69	三极高压负荷开关		
70	三极熔断器式隔离开关		
71	三极高压隔离开关		

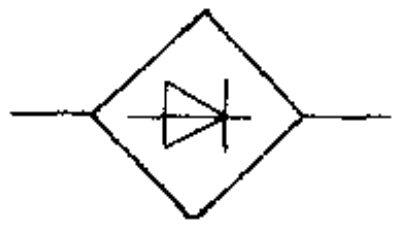
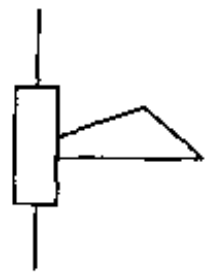
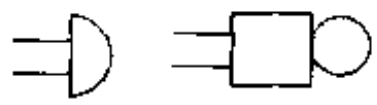
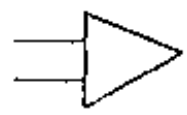
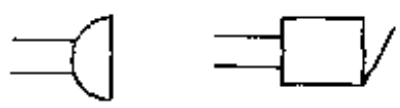
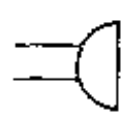
续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
72	动合（常开）按钮		
73	动断（常闭）按钮		
74	热敏开关		
75	继电器线圈的一般符号		=
76	缓放继电器线圈		=
77	缓吸继电器线圈		=
78	热继电器驱动器件		
79	过流继电器		=

续表

序　号	名　称	新 符 号	旧 符 号
80	欠压继电器	U<	=
81	熔断器		=
82	火花间隙		=
83	避雷器		=
84	热电偶		
85	电　钟		
86	电流表	A	=
87	电压表	V	=
88	电度表	kWh	=
89	放大器		

续表

序　号	名　　称	新 符 号	旧 符 号
90	桥式全波整流器		
91	电喇叭		=
92	电　　铃		
93	电警笛		=
94	蜂鸣器		

注："="表示旧符号与新符号相同；空栏表示旧标准无此符号。

附录B 电平的概念

电平（绝对电平）有电压电平和功率电平两种。

功率电平的定义

$$L_{PX} = 10\lg \frac{P_X}{P_o} \text{ 分贝(dBm)}$$

式中 P_o——指定参考的标准功率 1mW。

电压电平的定义

$$L_{UX} = 20\lg \frac{U_X}{U_o} \text{ 分贝(dB)}$$

式中 U_o——指定参考的标准电压 0.775V（1mW 的功率在 600Ω 负载上的电压为 0.775V）。

功率电平与电压电平之间的换算关系为

$$L_{PX} = 10\lg \frac{P_X}{P_o} = 10\lg \frac{U_Z^2/Z}{0.775^2/600} = 20\lg \frac{U_X}{0.775} + 10\lg \frac{600}{Z}$$

$$= L_{UX} + 10\lg \frac{600}{Z}$$

式中 Z——被测处的阻抗值。

当 $Z = 600\Omega$ 时，该处的功率电平等于电压电平；当 $Z = 75\Omega$ 时，$L_{PX} = L_{UX} + 9\text{dB}$ 另一种电平的定义是取功率或电压比值的自然对数即：

$$L_{PX} = \frac{1}{2}\ln \frac{P_X}{P_o} \quad L_{UX} = \ln \frac{U_X}{U_o} \text{ 奈(培)(Nep)}$$

dB 与 Nep 之间换算关系为

1Nep = 8.686dB，1dB = 0.115Nep

附录C 常用字母符号

表 C-1　　单字母符号

字母符号	种　　类	举　　例
A	组　　件 部　　件	分离元件放大器、磁放大器、激光器、微波激射器、印制电路板 本表其他地方未提及的组件、部件
B	交换器 （从非电量到电量或相反）	热电传感器、热电池、光电池、测功计、晶体换能器、送话器、拾音器、扬声器、耳机、自整角机、旋转变压器
C	电容器	
D	二进制单元 延迟器件 存储器件	数字集成电路和器件、延迟线、双稳态元件、单稳态元件、磁芯存储器、寄存器、磁带记录机、盘式记录机
E	杂　　项	光器件、热器件 本表其他地方未提及的元件
F	保护器件	熔断器、过电压放电器件、避雷器
G	发电机电源	旋转发电机、旋转变频机、电池、振荡器、石英晶体振荡器
H	信号器件	光指示器、声指示器
J	—	—
K	继电器、接触器	—
L	电感器 电抗器	感应线圈、线路陷波器 电抗器（并联和串联）
M	电动机	
N	模拟集成电路	运算放大器、模拟/数字混合器件
P	测量设备 试验设备	指示、记录、积算、测量设备 信号发生器、时钟
Q	电力电路的开关	断路器、隔离开关
R	电阻器	可变电阻器、电位器、变阻器、分流器、热敏电阻
S	控制电路的开关选择器	控制开关、按钮、限制开关、选择开关、选择器、拨号接触器、连接器
T	变压器	电压互感器、电流互感器
U	调制器 变换器	鉴频器、解调器、变频器、编码器、逆变器、变流器、电报译码器
V	电真空器件 半导体器件	电子管、气体放电管、晶体管、晶闸管、二极管
W	传输通道 波导、天线	导线、电缆、母线、波导、波导定向耦合器、偶极天线、抛物面天线
X	端　　子 插　　头 插　　座	插头和插座、测试塞孔、端子板、焊接端子片、连接片、电缆封端和接头
Y	电气操作的机械装置	制动器、离合器、气阀
Z	终端设备 混合变压器 滤波器、均衡器 限幅器	电缆平衡网络 压缩扩展器 晶体滤波器 网络

表 C-2　　常用双字母符号

类别	名　称	符　号
A	电桥	AB
	晶体管放大器	AD
	集成电路放大器	AJ
	磁放大器	AM
	电子管放大器	AV
	印制电路板	AP
	抽屉柜	AT
	支架盘	AR
B	压力变换器	BP
	位置变换器	BQ
	旋转变换器（测速发电机）	BR
	温度变换器	BT
	速度变换器	BV
C	—	—
D	—	—
E	发热器件	EH
	照明灯	EL
	空气调节器	EV
F	具有瞬时动作的限流保护器件	FA
	具有延时动作的限流保护器件	FR
	具有延时和瞬时动作的限流保护器件	FS
	熔断器	FU
	限压保护器件	FV
G	同步发电机、发生器	GS
	异步发电机	GA
	蓄电池	GB
	变频机	GF
H	声响指示器	HA
	光指示器	HL
	指示灯	HL
K	瞬时接触继电器	KA
	交流接触器	KA
	闭锁接触继电器	KL
	双稳态继电器	KL
	接触器	KM
	极化继电器	KP
	簧片继电器	KR
	延时有或无继电器	KT
	逆流继电器	KR
L	—	—

类别	名　称	符　号
M	同步电动机	MS
	可作为发电机或电动机用的电机	MG
	力距电动机	MT
N	—	—
P	电流表	PA
	（脉冲）计数器	PC
	电度表	PJ
	记录仪器	PS
	时钟、操作时间表	PT
	电压表	PV
Q	断路器	QF
	电动机保护开关	
	隔离开关	
R	电位器	RP
	测量分路表	RS
	热敏电阻器	RT
	压敏电阻器	RV
S	控制开关	SA
	选择开关	SA
	按钮开关	SB
	液体标高传感器	SL
	压力传感器	SP
	位置传感器	SQ
	转数传感器	SR
	温度传感器	ST
T	电流互感器	TA
	控制电路电源用变压器	TC
	电力变压器	TM
	磁稳压器	TS
	电压互感器	TV
U	—	—
V	电子管	VE
	控制电路用电源的整流器	VC
W	—	—
X	连接片	XB
	测试插孔	XJ
	插头	XP
	插座	XS
	端子板	XT
Y	电磁铁	YA
	电磁制动器	YB
	电磁离合器	YC
	电磁吸盘	YH
	电动阀	YM
	电磁阀	YV
Z	—	—

表 C-3　　常用辅助文字符号

序号	名　称	文字符号	英文名称	序号	名　称	文字符号	英文名称
1	电　流	A	Current	37	主	M	Main
2	模　拟	A	Analog	38	中	M	Medium
3	交　流	AC	Alternating current	39	中间线	M	Mid-Wire
4	自　动	A AUT	Automatic	40	手　动	M	Manual
5	加　速	ACC	Accelerating	41	中性线	MAN N	Neutral
6	附　加	ADD	Add	42	断　开	OFF	Open，off
7	可　调	ADJ	Adjustability	43	闭　合	ON	Close，on
8	辅　助	AUX	Auxiliary	44	输　出	OUT	Output
9	异　步	ASY	Asynchronizing	45	压　力	P	Pressure
10	制　动	B BRK	Braking	46	保　护	P	Protection
				47	保护接地	PE	Protective earthing
11	黑	BK	Black	48	保护接地与中性线共用	PEN	Protective earthing neutral
12	蓝	BL	Blue	49	不接地保护	PU	Protective unearthing
13	向　后	BW	Backward	50	记　录	R	Recording
14	控　制	C	Control	51	右	R	Right
15	顺时针	CW	Clockwise	52	反	R	Reverse
16	逆时针	CCW	Counter clockwise	53	红	RD R	Red
17	延时（延迟）	D	Delay				
18	差　动	D	Differential	54	复　位	RST	Reset
19	数　字	D	Digital	55	备　用	RES	Reservation
20	降	D	Down，Lower	56	运　转	RUN	Run
21	直　流	DC	Direct current	57	信　号	S	Signal
22	减	DEC	Decrease	58	起　动	ST	Start
23	接　地	E	Earthing	59	置位，定位	S SET	Setting
24	紧　急	EM	Emergency				
25	快　速	F	Fast	60	饱　和	SAT	Saturate
26	反　馈	FB	Feedback	61	步　进	STE	Stepping
27	正，向前	FW	Forward	62	停　止	STP	Stop
28	绿	GN	Green	63	同　步	SYN	Synchronizing
29	高	H	High	64	温　度	T	Temperature
30	输　入	IN	Input	65	时　间	T	Time
31	增	INC	Increase	66	无噪声（防干扰）接地	TE	Noiseless earthing
32	感　应	IND	Induction	67	真　空	V	Vacuum
33	左	L	Left	68	速　度	V	Velocity
34	限　制	L	Limiting	69	电　压	V	Voltage
35	低	L	Low	70	白	WH	White
36	闭　锁	LA	Latching	71	黄	YE	Yellow

附录 D　本书采用的新旧电气符号对照表

第 1 章	原图符号	标准符号
自动空气开关	ZKK	SAG
信号继电器	XJ	KS
失磁继电器	SCJ	KLE
负序电压继电器	FJ	KV_2
信号小母线	± XM	± WS
预报小母线	1、2YBM	1、2WFO
跳闸线圈	TQ	LT
二极管	D	V
发光管	D	VL
三极管	T	VT
跳闸出口继电器	TJ	KCO
第 2 章		
2-2		
励磁电压	U_L	U_E
	U'_L	U'_F
分流器	RQ	IB
非线性电阻	$FR'_{1,2}$	$R'_{1,2}$
熔断器	$RD_{0,1,2}$	$FU_{0,1,2}$
灭磁电阻	RZ	RE
光耦	OC_1	U
三极管	T_1	VT_1
继电器	2、3J	2、3K
过压继电器	GY	KV
时间继电器	SJ	KT
中间继电器	ZJ	KM
接触器	ZC	KCM
2-4		
失步保护	SB	KOS
熔断器	RD	FU
自动空气开关	ZKK	SAG
功率继电器	GJ	KW
过流继电器	GL	KA
功率方向继电器	GF	KWD
负序电流继电器	FGL	KA_2
信号中间继电器	XZ	KM
过激磁继电器	SX	KE
击穿保险	J	F
2-5		
磁场断路器	MK	QE
发电机磁场断路器	41MK	41QE
励磁机磁场断路器	LMK	QEE
自动空气开关	2ZKK	2SAG
2-6		
失磁继电器	SCJ	KLE

第 2 章	原图符号	标准符号
发电机低压继电器	DYJ	KVG
母线低压继电器	MYJ	KVW
励磁电压继电器	ZYJ	KVE
励磁低电压保护	ZJL	KVE
中间继电器	ZJ	KM
时间继电器	SJ	KT
磁场断路器	MK	QE
	41MK	41QE
励磁机磁场断路器	LMK	QEE
隔离变压器	GB	TS
调压变压器	GT	TR
三相隔离开关	41SK	41ST
自动空气开关	ZKK	SAG
隔离开关	DK	SE
接触器	ZC	KCM
自动励磁接触器	ZLC	KCM_E
励磁电压传感器	LYT	TVE
励磁电流传感器	LAT	TAE
分流器	FLQ	IB
三极管	T	VT
二极管	D	V
连接片	LP	XB
发电机同步电势	E	E_G
发电机出口电压	U	U_G
第 3 章		
3-2		
电流互感器	CT	TA
电流变换器	LH	TA'
差动电流	I_C	I_D
最小动作电流	$I_{dz.min}$	$I_{op.min}$
比例制动系数	K_{zd}	K_{brk}
比例制动拐点	K_{zd0}	K_{brk0}
差动速断电流	I_{sd}	I_{qb}
二相电流闭锁	I_θ	I_1
发电机磁场断路器	FMK	QE
返回电阻	R_f	R_{re}
3-3		
差动绕组	W_c	W_d
3-4		
气体继电器	WSJ	KG
出口继电器	BCJ	KCO
第 4 章		
4-1		
电流互感器	CT	TA

续表

第4章	原图符号	标准符号	第4章	原图符号	标准符号
电压互感器	PT	TV	固定继电器	GDJ	KER
电压互感器	CVT	CVT	时间继电器	SJ	KT
电压变换器	$YH_{a1,a2}$	$TV_{a1,a2}$	出口继电器	CKJ	KCO
	$YH_{b1,b2}$	$TV_{b1,b2}$	信号继电器	XJ	KS
	$YH_{c1,c2}$	$TV_{w1,w2}$	4-4		
转换开关	ZK	SA	零序功率继电器	GJ_0	KP_0
	ZK_2	SA_2	零功重动继电器	GZ_0	KPR_0
自动空气开关	1、2ZKK	1、2SAG	零序电流继电器	LJ_0	KA_0
电压中间继电器	YZJ	KVM	零序时间继电器	SJ_0	KT_0
试验母线	Sa601	Tu601	零序加速继电器	JSJ_0	KRA_0
4-2			出口中间继电器	CKJ	KCO
信号继电器	XJ	KS	零序中间继电器	ZJ_0	KM_0
出口继电器	CKJ	KCO	连接片	LP	XB
时间继电器	SJ	KT	4-5		
后加速继电器	JSJ	KRA	固定继电器	QDJ	KST
闭锁中间继电器	BZJ	KLM	电流微分继电器	LWJ	KPD
切换继电器	QHJ	KCH	切换继电器	QHJ	KCH
闭锁继电器	BSJ	KL	出口继电器	1~3CKJ	1~3KCO
闭锁开放继电器	BKJ	KLO	手合继电器	SHJ	KHC
断线闭锁继电器	DBJ	KBL		SHJ_1	KHC_1
电流继电器	LJ	KA	手合中间继电器	SHJZ	KHAM
起动继电器	QDJ	KST	闭锁继电器	BSJ	KL
起动重动继电器	QCJ	KSR	保护监视继电器	BCJ	KPS
阻抗继电器	ZKJ	KI	停信继电器	TXJ	KSS
阻抗重动继电器	ZCJ	KIR	信号继电器	1~5XJ	1~5KS
电抗变压器	DKB	TL	保护动作继电器	XZJ	KPA
电压变换器	YB	TV	断线闭锁继电器	DBJ	KBL
断线失压继电器	DX	KB	重合起动继电器	CQJ	KRS
极化变压器	JYB	TP	重合起动中间继电器	CQJZ	KRSM
灵敏角	φ_{LM}	φ_{sen}	电流起动元件	LQ	IS
三极管	T	VT	整组试验按钮	ZSAN	SE
二极管	D	V	复归按钮	FAN	SR
动作阻抗	Z_{dz}	Z_{act}	二极管	D	V
整定阻抗	Z_{zd}	Z_{op}	三极管	T	VT
测量电流	I_{cl}	I_m	电位器	RW	RP
测量电压	U_{cl}	U_m	测量阻抗	Z_c	Z_m
电抗系数	K_k	K_j	测量电压	U_c	U_m
电抗变换角	φ_k	φ_j	测量相位	φ_c	φ_m
电压系数	K_y	K_v	整定阻抗	Z_c	Z_{set}
整流桥	Z	U	整定阻抗角	φ_s	φ_{set}
4-3			电压谐振变换器	YHJ	TVR
阻抗继电器	ZKJ	KI	与门	Y	A
阻抗中间继电器	2ZKZ	2KIR	或门	H	O
负序中间继电器	FLZ	KAM_2	禁止门	J	E
闭锁继电器	BSJ	KL	整流桥	BZ	U
闭锁中间继电器	BZJ	KLR	4-9		
闭锁开放继电器	BKJ	KLO	与门	Y	A
切换继电器	QHJ	KCH	或门	H	O
			禁止门	J	E

续表

第4章	原图符号	标准符号	第4章	原图符号	标准符号
非门	F	N	4-12		
整流桥	BZ	U	低	D	L
闭锁继电器	BSJ	KL	高	G	H
出口继电器	CKJ	KCO	方向	F	D
切换继电器	QHJ	KCH	相别	A、B、C、N	U、V、W、N
高频停信继电器	DJ	KSS	跳闸继电器	TJ	KT
高频发信继电器	FJ	KTS	跳闸位置继电器	TWJ	KTP
停信信号继电器	TXJ	KSS'	零序电流	I_0	I_0
断线闭锁继电器	DX	KBL	电流继电器	IJ	KA
信号继电器	XJ	KS	断线闭锁继电器	DX	KBL
直流闭锁继电器	QJ	KL	震荡闭锁元件	ZB	SL
手动合闸继电器	SHJ	KHC	解除闭锁元件	JB	L
综重合闸继电器	ZHJ	KRC	开关	K	S
非全相继电器	FQJ	KNT	与门	Y	A
连接片	LP	XB	或门	H	O
4-11			非门	F	N
电流继电器	LJ	KA	禁止门	J	E
跳闸继电器	TJ	KT（R）	与非门	Y-F	A-N
合闸继电器	HJ	KC（R）	或非门	H-F	O-N
闭锁继电器	BSJ	KL	4-15		
综重切换继电器	ZHJ	KRC	出口继电器	CKJ	KCO
综重起动继电器	HQJ	KCH	起动继电器	QDJ	KST
综重信号继电器	ZXJ	KRS	停信继电器	TXJ	KSS
合闸位置继电器	HWJ	KCP	加速继电器	JSJ	KRA
跳闸继电器	TWJ	KTP	跳闸重动继电器	TZDJ	KTR
固定继电器	GDJ	KRE		3TZDJ	3KTR
中间继电器	ZJ	KM	跳闸固定继电器	TGDJ	KTRE
压力检查继电器	YJJ	KPC		3TGDJ	3KTRE
选相继电器	XXJ	KSP	手动跳闸继电器	STJ	KHT
准备三相跳闸继电器	ZSJ	KRT	跳闸位置继电器	TWJ	KTP
重合起动继电器	CQJ	KRS	4-19		
加速M选投继电器	JMJ	KCM	集成块	JC	N
分相加速继电器	FJJ	KPA	继电器	J	K
分相固定继电器	FDJ	KPR	端子	T	N
后备跳闸继电器	HBJ	KBT	逻辑门	M	G
不对应起动继电器	BYJ	KDS	连接片	LP	XB
加速继电器	JJ	KA	三极管	BG	VT
断线闭锁继电器	BDJ	KBL	第5章		
同期检查继电器	TJJ	KSC	5-1		
整组试验按钮	ZSAN	SE	按钮	AN	SB
控制开关	KK	SA		2、3AN	2、3SB
转换开关	ZK	ST	指示灯	12XD	12HL
氖灯	ND	LN	断路器	DL	Q
选相监视灯	XXD	HSP	刀闸	D	S
阻抗元件	ZK	KI	接地刀闸	JD	ES
电流元件	I	KA	控制开关	KK	SA
速断元件	I_{sd}	I_{qb}	切换开关	QK	ST
			自动空气开关	ZKK	SAG

续表

第5章	原图符号	标准符号	第5章	原图符号	标准符号
电压互感器	PT	TV	中间继电器	ZJ	KM
电流互感器	CT	TA	时间继电器	SJ	KT
电抗变压器	DKB	TL	合闸位置继电器	HWJ	KCP
继电器	J	K	跳闸位置继电器	TWJ	KTP
电流继电器	LJ	KA	合闸继电器	HJ	KC
	$1LJ_{A,C,0}$	$KA_{U,W,0}$	跳闸继电器	TJ	KT
中间继电器	ZJ	KM	按钮	1、2AN	1、2SB
直流监视继电器	ZJJ	KDL	红灯	HD	HR
电压中间继电器	YZJ	KVM	绿灯	LD	HG
出口继电器	CKJ	KCO	连接片	LP	XB
充电继电器	BCJ	KCP	熔断器	RD	FU
电压继电器	YJ	KV	控制开关	KK	SA
负序电压继电器	FYJ	KV_2	直流切换开关	QK	SC
零序电压继电器	YJ_0	KV_0	5-6		
复合电压继电器	FHJ	KV_M	发电机	F	G
手合继电器	SHJ	KHC	变压器	B	T
信号继电器	XJ	KS	继电器	$2J_1$	$2K_1$
闭锁继电器	BSJ	KL	信号继电器	XJ	KS
差动继电器	CJ	KD	合闸位置继电器	HWJ	KCP
断线闭锁电流继电器	$1LJ_{A,D}$	$1KA_{U,B}$	保护出口继电器	BCJ	KCO
断线闭锁继电器	DBJ	KBL	合闸位置继电器电阻	R_H	R_K
时间继电器	1ISJ	1IKT	合闸位置继电器电感	L_H	L_K
电流执行继电器	DL	K	合闸位置继电器电抗	X_H	X_K
相位比较继电器	XBJ	KPC	控制开关	KK	SA
	1、2XBJ	1、2KPC	断路器	DL	Q
电位器	RW	RP	跳闸线圈	TQ	LT
整流器	BZ	U	跳闸线圈电阻	R_T	R_T
平衡绕组	WP	WB	跳闸线圈电感	L_T	L_T
工作绕组	WG	WW	跳闸线圈电抗	X_1	X_1
短路绕组	WD	WS	5-7		
连接片	LP	XB	手动跳闸继电器	STJ	KHT
	3MP	3XB	手动合闸继电器	SHJ	KHC
5-3			压力继电器	$YX_{1C,2C}$	$KP_{1W,2W}$
手动跳闸继电器	1STJ	1KHT	中间继电器	1ZJ	1KM
出口继电器	CKJ	KCO	跳闸继电器	$TJ_{a,b,c}$	$KT_{U,V,W}$
保护出口继电器	BCJ	KCO′	合闸位置继电器	HWJ	KCP
三相跳闸继电器	$CKJ_{B1,B2}$	$KCO_{B1,B2}$	跳跃闭锁继电器	TBJ	KCF
U相跳闸继电器	CKJ_{A1}	KCO_{U1}	跳闸信号继电器	TXJ	KTS
连接片	LP	XB	跳闸线圈	$FQ_{A,B,C}$	$LT_{U,V,W}$
二极管	D	V	控制开关	KK	SA
三极管	T	TV	接地开关	D	E
跳闸线圈	TQ	LT	5-8		
5-5			二极管	D	V
电流继电器	1～3LJ	1～3KA	三极管	S	VT
差动继电器	1～3CJ	1～3KD	继电器	J	K
相位比较继电器	1～3PM	1～3KP	短路点	D	K
零序电流继电器	LDJ	KA_0	信号灯	XD	H
电压继电器	YJ	KV	试灯	SDA	HT

续表

第5章	原图符号	标准符号
试验按钮	SA	SE
	$SA_{a,b,c}$	$SE_{U,V,W}$
复归按钮	FA	$SR_{\ }$
可调电阻	RF	RP
电流互感器	DL	TA
	$1DL_a$	$1TA_D$
电流变换器	LH	TA'
非线性电阻	RW	R_{nl}
中间变流器	ZLH	TA'
5-9		
出口继电器	BCJ	KCO
电流继电器	LJ	KA
零序电流继电器	LJ_0	KA_0
断线闭锁继电器	BZJ	KBL
保护起动继电器	CQJ	KPS
母线选择继电器	XZJ	KWC
时间继电器	SJ	KT
信号继电器	XJ	KS
合闸继电器	HJ	KC
中间继电器	ZJ	KM
信号小母线	± XM	± WS
掉牌未复归小母线	PM	WP
预报信号小母线	1、2YBM	1、2WFO
按钮	AN	SB
刀闸	D	S
光字牌	GP	HL
第6章		
6-2		
公用母线继电器	GMJ	KPW
电流继电器	LJ	KA
时间继电器	SJ	KT
中间继电器	ZJ	KM
合闸接触器	HC	KCM
合闸线圈	KH	LC
跳闸线圈	KT	LT
控制开关	KB	SA
控制母线	± KM	± WC
熔断器	RD	FU
连接片	LP	XB
按钮	AN	SB
6-3		
相别	A、B、C、N	U、V、W、N
断路器	DL	Q
电动机	D	M
电流变换器	CT	TA
电压变换器	PT	TV
励磁阻抗	Z_{LC}	Z_E
励磁电流	I_{LC}	I_k

第6章	原图符号	标准符号
负载阻抗	Z_F	Z_L
线路阻抗	Z_X	Z_L
6-4		
二极管	D	V
三极管	T	VT
稳压管	WY	VS
发光管	D	VL
集成电路	N	N
6-5		
电压小母线	$1YM_{a,b,c}$	$1WV_{U,V,W}$
	$1YM_L$	$1WV_L$
控制开关	FK	SA
	1FK	1SA
交流电压回路	A、B、C630	U、V、W630
	L630	L630
熔断器	RD	FU
击穿熔丝	JB	F
6-6		
跳闸位置继电器	TWJ	KTP
闸位置继电器	HWJ	KCP
跳跃闭锁继电器	TBJ	KCF
压力监视继电器	YJJ	KPL
跳闸线圈	TQ	LT
刀开关	K	SK
6-7		
断路器	DL	Q
熔断器	RD	FU
稳压管	D	VS
绿灯	LD	HG
红灯	HD	HR
跳闸线圈	TQ	LT
合闸线圈	HQ	LC
控制开关	KK	SA
控制母线	± MK	± WC
自动开关	1、2ZK	1、2SA
闪光小母线	SM	WH
事故音响小母线	SYM	WF
跳跃闭锁继电器	TBJ	KCF
6-8		
差动继电器	$CJ_{A,C}$	$KD_{U,W}$
6-10		
三极管	T	VT
电位器	W	RP
继电器	J	K
发光管	D	VL
同期开关	TK	SY
	1STK	1SSY
电抗变压器	KH	TL

续表

第6章	原图符号	标准符号	第6章	原图符号	标准符号
同期小母线	$TQM_{a,b}$	$WSC_{U,v}$	同期继电器	TQJ	KS
	$ZM_{a,b}$	$WCA_{U,v}$	同期开关	STK	SHS
同期小母线	YM_b	WV_v		1STK	1SHS
同期检查继电器	TJJ	KSC	刀开关	K	SK
6-12			同期检查继电器	TJJ	KSC
红灯	HD	H_R	跳跃闭锁继电器	TBJ	KCF
绿灯	LD	H_G	合闸起动继电器	HQJ	KCS
接触器	1CJ	1KCM	重合闸继电器	ZHJ	KRC
控制开关	KK	SA	起动按钮	QA	SS
同期开关	TK	SS	6-13		
手动开关	K	SA	控制开关	BK	SA
位置接点	W	SP		1、2BK	1、2SA
中间继电器	ZJ	KM	电压继电器	YJ	KV
压力信号继电器	YX	KP	时间继电器	SJ	KT
压力监视继电器	YJJ	KPL	出口继电器	BCJ	KCO
手动跳闸继电器	STJ	KHT	电压变换器	YH	TV
手动合闸继电器	SHJ	KHC	电流变换器	CT	TA
报警熔断器	1、2K	1、2F	备用电源自投	BZT	AAT
温度触点	1、2XU	1、2KT	与门	Y	A
热继电器	RJ	KR	或门	H	O
电合闸起动继电器	CQJ	KRS	非门	F	N
加速继电器	JSJ	KRA	禁止门	J	E

后记

经过近两年的写作与修改，《继电保护事故处理技术与实例》终于脱稿了，陡然间感到压力减轻了许多，因为完成全书的资料收集、编写与修改工作所付出的劳动是不容易想象的。在前言中曾经提到，出版该书的目的是为广大读者、为继电保护事故的分析与处理提供一份具有使用价值的参考资料，能否实现这种愿望，只有读者来评价了。

写作中最大的难点莫过于电路符号与国际标准的统一。书中采用了较多的图形与电路符号，由于习惯上的原因使绘图工作占用了工作量的三分之一，看来要改变习惯的用法还需要作出相当大的努力。

随着时间的推移，人们对于继电保护故障的认识以及事故处理的观点发生了很大的变化，集中表现在以下几方面。

第一，关于继电保护误动与拒动造成危害的认识。在电力系统比较薄弱的年代，继电保护的误动会导致设备的停电，那时工作的出发点是宁愿保护拒动也不允许误动，事实证明保护拒动造成的危害远远超过误动。

第二，关于继电保护事故处理需要停电的认识。当前电力系统的备用容量充足，当继电保护故障处理需要一次设备停电时，负荷的调配、运行方式的调整等并不存在困难，因此为了配合继电保护的事故处理，应该合理地安排一次设备的起停工作。

第三，关于事故处理中整套保护观念的认识。继电保护的事故处理必须树立整套保护的观念、整体系统的观念，而不是某一部分或某一装置的局部观念，处于这种考虑，书中在介绍有关系统的结构以及有关系统的运行情况方面花了不少的笔墨，以帮助读者理解、分析事故的处理过程。

第四，关于事故处理中复故障的认识。在故障处理时往往存在许多假相掩盖了真相，例如当保护动作跳闸时，很难区别一次系统出现的故障与继电保护的故障，此时有些基本的原则可以遵循，一次系统出现故障时必定有若干的信息反映出来；反之，若只有一种信号出现，则是继电保护误动作。在系统出现复故障或者在相临设备上出现故障保护又动作时，会有若干的信息出现，作出准确的判断是比较困难的，此时应当注意抓住主要矛盾。

继电保护的事故处理的新的观点必将为以后的工作产生重大的影响，在该书中已经渗透了继电保护的事故处理的新思路。

非常感谢出版社的同志所给予的指导与帮助，由于他们的倡导与努力使《继电保护事故处理技术与实例》得以顺利出版。

2000 年 10 月