继电特性及线路保护

实验指导书

集美大学诚毅学院

2012

目 录

EPL-I 型继电特性及线路保护实验装置常用字符表 1
电源操作与安全 2
继电特性及线路保护实验装置使用说明 4
实验一　电磁型电流继电器和电压继电器实验 6
实验二　电磁型时间继电器实验 12
实验三　信号继电器实验 16
实验四　中间继电器的实验 19
实验五　ZC-23 型晶体管冲击继电器实验 23
实验六　功率方向继电器实验 27
实验七　差动继电器实验 35
实验八　三相一次重合闸实验 43
实验九　LZ-21 方向阻抗继电器特性实验 48
实验十　反时限过流继电器特性实验 62
实验十一　6-10KV 线路过流保护实验 69
实验十二　低电压闭锁过电流保护实验 73
实验十三　单辐射式输电线路阶段式电流保护实验 77
实验十四　电流闭锁电压速断保护实验 87
实验十五　发电机过电压保护实验 91
实验十六　功率方向电流保护实验 94
实验十七　自动重合闸前加速保护实验 98
实验十八　自动重合闸后加速保护实验 101
实验十九　距离保护及方向距离保护整定实验 104
实验二十　具有灯光监视的断路器控制回路实验 112
实验二十一　模拟系统正常、最大、最小运行方式实验 114
实验二十二　模拟系统短路实验 115
实验二十三　重复动作手动复归中央复归式信号装置实验 117
实验二十四　重复动作自动复归中央复归式信号装置实验 119
实验二十五　闪光继电器构成的闪光装置实验 121
实验二十六　装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路实验 123
实验二十六　过流保护与三相自动重合闸实验与考核（由学生自行设计） 129
实验二十七　低电压启动过电流保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计） 129
实验二十八　电流闭锁电压速断保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计） 129
实验二十九　过电压保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

..... 129
实验三十　三段式电流保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计）
..... 129
实验三十一　过电流保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）
..... 129
实验三十二　低电压启动过电流保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计） 129
实验三十三　电流闭锁电压速断保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计） 130
实验三十四　过电压保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）
..... 130
实验三十五　三段式电流保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）
..... 130

EPL-I 型继电特性及线路保护实验装置常用字符表

序号	中文含义	文字符	旧符号
1	自动重合闸装置	ARD	ZCH
2	电容；电容器	C	C
3	熔断器	FU	RD
4	电流继电器	KA	LJ
5	热继电器	KH	RJ
6	冲击继电器	KI	CJJ
7	中间继电器	KM	ZJ
8	信号继电器	KS	XJ
9	时间继电器	KT	SJ
10	电压继电器	KV	YJ
11	电感、电抗器	L	L
12	断路器	QF	DL
13	电位器	RP	W
14	按钮	SB	AN
15	电流互感器	TA	LH
16	电压互感器	TV	YH
17	合闸线圈	YO	HQ
18	跳闸线圈	YR	YR

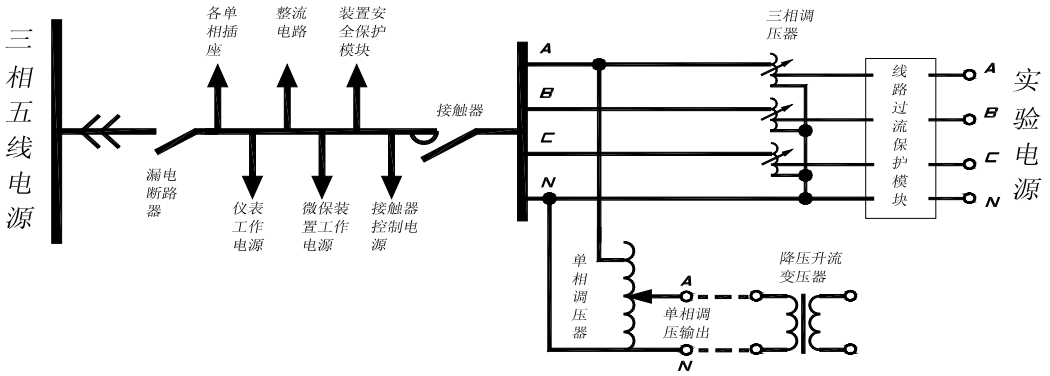
电源操作与安全

一．开启实验装置的步骤：

1）开启电源前，要检查控制屏下面“直流高压电源”必须置“关”断的位置。控制屏左侧面上安装的自耦调压器必须调在零位，即必须将调节手柄沿逆时针方向旋转到底。

2）检查无误后开启漏电断路器“电源总开关”“，停止”按钮指示灯、电源分相指示灯亮，表示实验装置的进线已接通电源，但还不能输出电压。此时在电源输出端进行实验电路接线操作是安全的。

3）按下“启动”按钮，“启动”按钮指示灯亮，只要调节自耦调压器的手柄，在输出口 U、V、W 处可得到 0～450V 的线电压输出，由于本实验装置线路额定工作电压为 100V，所以该实验装置采用了限压装置，可调电压为 0～120V，并由控制屏上交流电压表指示。电压表指示三相电网进线的线电压值。



装置电源简图

4） 按下“启动”按钮后，可打开直流操作电源，向微机保护装置控制回路和信号回路或向电磁继电器提供直流电源。

5）实验中如果需要改接线路，必须按下“停止”按钮以切断交流电源，保证实验操作的安全。实验完毕，须将自耦调压器调回到零位，将“直流电源”的电源开关置于“关”断位置，最后，需关断“电源总开关”。

二．实验的基本要求

线路保护及继电特性实验装置的目的在于培养学生掌握基本的实验方法与操作技能。培养学生根据实验目的、实验内容及实验设备拟定实验线路，确定实验步骤，测取所需数据，进行电路工作状态分析研究的能力，并得出必要结论，完成相应的实验报告。增强对微机保护装置的认识，掌握线路保护的基本原理。在整个实验过程中，必须集中精力，及时认真做好实验。现按实验过程提出下列基本要求。

1．实验前的准备

实验前应复习教科书中有关章节的内容，认真阅读实验指导书，了解实验目的、项目、方法与步骤，明确实验过程中应注意的问题。

实验前应写好预习报告，经教师检查认可后，方能开始实验。

认真作好实验前的准备工作，对于培养学生独立工作能力，提高实验质量和保护实验设备、人身的安全等都具有相当重要的作用。

2．实验的进行

2.1．建立小组，合理分工

每次实验都以小组为单位进行，每组由 2～3 人组成，实验进行中的接线、负载、电压或电流调节、记录数据等工作每人应有明确的分工，以保证实验操作的协调，使记录的数据准确可靠。

2.2．按图接线

根据实验线路图及所选组件、仪表，按图接线，接线要简单明了，接线原则应先接串联主回路，再接并联支路。为方便检查线路的正确性，实验线路图中的直流回路、交流回路、控制回路等应分别用不同颜色的导线连接。

2.3．试运行

在正式实验开始之前，先按一定规范起动保护电路，观察所有仪表是否正常。如果出现异常，应立即切断电源，并排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验。

2.4．测取数据

预习时对继电器及其保护装置的试验方法及所测数据的大小做到心中有数。正式实验时，根据实验步骤逐次测取数据。

2.5．认真负责，实验有始有终

实验完毕，须将数据交指导老师审阅。经指导老师认可后，才允许拆线，并把实验所用的组件、导线及仪器等物品整理好，放至原位。

三．实验报告

实验报告是根据实测数据和在实验中观察发现的问题，经过自己分析研究或分析讨论后写出的实验总结和心得体会。

实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。

实验报告包括以下内容：

1．实验名称、专业班级、学号、姓名、实验日期、室温℃。

2．列出实验中所用器件的名称及编号，继电器铭牌数据等。

3．列出实验项目并绘出实验时所用的线路图，并注明仪表量程，电阻器阻值。

4．数据的整理和计算

5．解答各个实验的思考题，部分思考题在实验前要进行抽查提问，作为学生实验预习成绩的一部分。

6．根据数据说明实验结果与理论是否符合，可对某些问题提出一些自己的见解并最后写出结论。实验报告应写在一定规格的报告纸上，保持整洁。

7．每次实验每人独立完成一份报告，按时送交指导老师批阅。

四．安全操作规程

为了按时完成电力自动化及继电保护实验，确保实验时人身与设备的安全，必须严格遵守如下规定的安全操作规程：

1．实验时，人体不可接触带电线路。

2．接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行。

3．学生独立完成接线或改接线路后必须经指导老师检查和允许，并使组内其它同学引起注意后方可接通电源。实验中如发生事故，应立即切断电源，经查清问题和妥善处理故障后，才能继续进行实验。

4．通电前应先检查是否有短路回路存在，以免损坏仪表或电源。

5．实验室总电源或实验台控制屏上的电源应由实验指导教师来控制，其他人员只能经指导教师允许后方可操作，不得自行合闸。

继电特性及线路保护实验装置使用说明

继电特性及线路保护实验装置是专门为电力、电气类专业继电保护、电力系统自动化、工厂供电等课程设计的，具有器件真实可观、安全可靠、针对性强、技术先进、方便学生使用等特点，也可作为毕业设计和教师科研的硬件开发平台。

本实验装置由调压器、移相器、多种继电器及测量表计等组成，可以用来进行电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、信号继电器、功率方向继电器、差动继电器、自动重合闸继电器等继电特性实验。

（一）电源操作说明如下：

1．当漏电保护器开关关上时，所有指示灯都不亮，实验台上各元件、接线柱、移相器、调压器均不带电，三相调压器和单相调压器必须调在零位，即必须将调节手柄逆时针方向旋转到底。

2．当漏电保护器合上时，“断开”红色按钮灯亮，表示实验装置的进线已接通电源，但还不能输出电压。此时在电源输出端进行实验电路接线操作是安全的。

3．当按下“闭合”按钮时，“闭合”按钮指示绿灯亮，调节调压器手柄，可以三相输出端得到 0～150V 的线电压，在单相调压输出端得到 0～220V 的交流电压。

4．实验时若需改接线路，请勿带电操作，必须按下“断开”按钮，以切断交流电源，保证实验操作的安全。实验完成，须将三相调压器、单相调压器两手柄都逆时针调到底，最后断开漏电保护器。

5．本实验装置台还可提供直流不可调 220V 稳压电源，若需得到可调 0～220V 直流电源，可用可调变阻器分压接法获得。

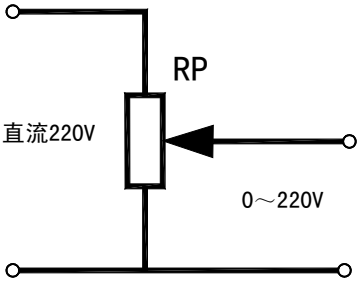


图1　变压器分压示意图

（二）使用方法

本实验装置测量表即（直流电压表、直流电流表、电秒表和相位仪），测量前必须接上 220V 交流电源，交流电压、电流表不必外接电源。

1．相位仪测量相位方法

（1）在 EPL-15 电秒表、相位仪的测量单元的电压输入端口端接入电压信号，在电流输入端口端接入电流信号。

（2）显示屏显示的数据即为引入的电压信号与引入的电流信号之间的相位差值。

（3）在进行相位测量时，电压信号与电流输入信号不要接错了位置，且电压信号是并联接入的，电流信号是串联在回路中的。

（4）要注意电压、电流输入信号的极性，极性不对，显示的相位差也不对。

（5）电压输入信号在（0～150V）之间，电流输入信号在（0～1A）之间。

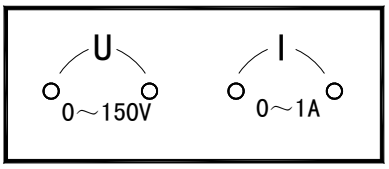


图2　相位仪单元布置图

2．时间测量方法

图 3 所示的 EPL-15 电秒表测试单元的平面布置图。

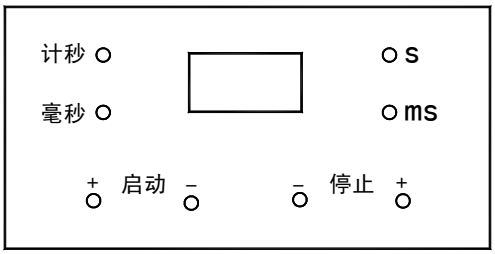


图3　电秒表单元布置图

本测试装置可测得 0ms～999s 的时间，当给出了时间测量的启动信号（启动“+”“-”端“短接”）后，显示屏开始计量时间的大小，直到发出停止计数的控制信号计数才停止，不管启动信号是否消失，显示屏都不会停止计数。每次开始计数前，先选择秒量程还是毫秒量程，再按下相应按键，相位仪开始等待计数。

（三）注意事项

为了按时完成电力自动化及继电保护实验，确保实验时人身安全与设备安全，必须严格遵守以下操作规定。

1．接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行。

2．完成接线后，务必请指导老师或同学检查之后方可接通电源，实验中如发生事故，应立即切断总电源，再检查和处理故障，不可独立带电检查。

3．实验前，先检查和选择好测量仪表仪器的量程和最大负荷值，严禁长时间运行在过量程、过负荷状态。

实验一　电磁型电流继电器和电压继电器实验

一．实验目的

1．熟悉 DL 型电流继电器和 DY 型电压继电器的实际结构，工作原理、基本特性。

2．掌握动作电流、动作电压参数的整定。

二．预习与思考

1．电流继电器的返回系数为什么恒小于 1？

2．动作电流（压），返回电流（压）和返回系数的定义是什么？

3．实验结果如返回系数不符合要求，你能正确地进行调整吗？

4．返回系数在设计继电保护装置中有何重要用途？

三．原理说明

DL-20C 系列电流继电器和 DY-20C 系列电压继电器为电磁式继电器。由电磁系统、整定装置、接触点系统组成。当线圈导通时，衔铁克服游丝的反作用力矩而动作，使动合触点闭合。转动刻度盘上的指针，可改变游丝的力矩，从而改变继电器的动作值。改变线圈的串联或并联，可获得不同的额定值。

DL-20C 系列电流继电器铭牌刻度值，为线圈并联时的额定值。继电器用于反映发电机，变压器及输电线短路和过负荷的继电保护装置中 。

DY-20C 系列电压继电器铭牌刻度值，为线圈串联时的额定值。继电器用于反映发电机、变压器及输电线路的电压升高（过压保护）或电压降低（低电压起动）的继电保护装置中。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1
3	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
4	EPL-05	继电器（二）—DY-28C 电压继电器	1
5	EPL-11	交流电压表	1
6	EPL-11	交流电流表	1
7	EPL-11	直流电源及母线	1
8	EPL-12B	光示牌	1

五．实验内容

1. 整定点的动作值、返回值及返回系数测试

实验接线图 1-2、图 1-4 分别为过流继电器及低压继电器的实验接线。

（1）电流继电器的动作电流和返回电流测试：

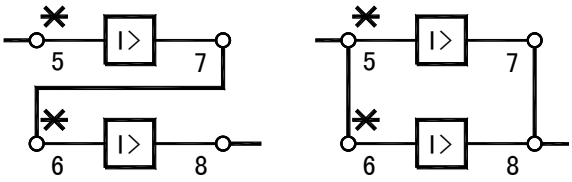
a .选择 EPL-04 组件的 DL-21C 过流继电器（额定电流为 6A），确定动作值并进行整定。本实验整定值为 2.7A 及 5.4A 两种工作状态。

注意：本继电器在出厂时已把转动刻度盘上的指针调整到 2.7A，学生也可以拆下玻璃罩子自行调整电流整定值。

b .根据整定值要求对继电器线圈确定接线方式；

注意：

（1）过流继电器线圈可采用串联或并联接法，如右图所示。其中串联接法电流动作值可由转动刻度盘上的指针所对应的电流值读出，并联接法电流动作值则为串联接法的 2 倍。



（a）串联　　(b)并联

图1-1 过流继电器线圈接法

（2）串并联接线时需注意线圈的极性，应按照要求接线，否则得不到预期的动作电流值。

c .按图 1-2 接线（采用串联接法），调压器 T、变压器 T_2 和电阻 R 均位于 EPL-20A，220V 直流电源位于 EPL-11，交流电流表位于 EPL-11，量程为 10 A。并把调压器旋钮逆时针调到底。

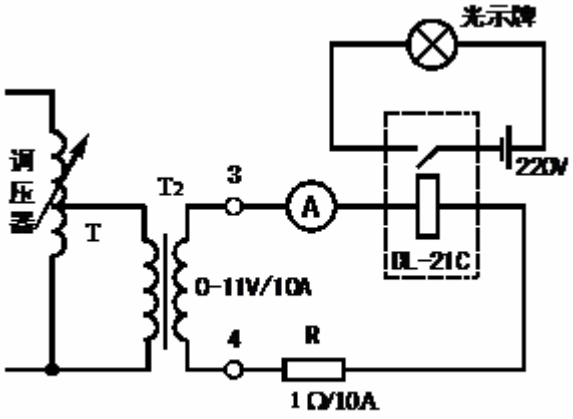


图1-2 过流继电器实验接线图

d．检查无误后，合上主电路电源开关和 220V 直流电源船型开关，顺时针调节自耦调压器，增大输出电流，并同时观察交流电流表的读数和光示牌的动作情况。注意：当电流表的读数接近电流整定值时，应缓慢对自耦调压器进行调节，以免电流变化太快。

当光示牌由灭变亮时，说明继电器动作，观察交流电流表并读取电流值。记入表 1-2，用起动电流 I_{dj} 表示（能使继电器动作的最小电流值）。

e．继电器动作后，反向缓慢调节调压器降低输出电流，当光示牌由亮变灭时，说明继电器返回。记录此时的电流值称为返回电流 ，用 I_{fj} 表示（能使继电器返回的最大电流值），记入表 1-2，并计算返回系数：

继电器的返回系数是返回与动作电流的比值，用 K_f 表示。

过流继电器的返回系数在 0.8-0.9 之间。当小于 0.8 或大于 0.9 时，应进行调整，调整方式见附。

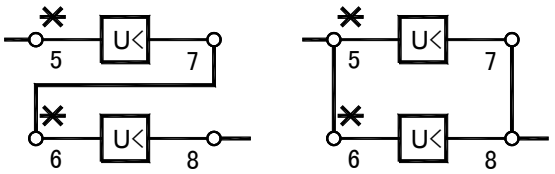
f．改变继电器线圈接线方式（采用并联接法），重复以上步骤。

表 1-2　过流继电器实验结果记录表

整定电流 I（安）	2.7A			线圈接线方式为：	5.4A			线圈接线方式为：
测试序号	1	2	3		1	2	3	
实测起动电流 I_{dj}								
实测返回电流 I_{fj}								
返回系数 K_f								
起动电流与整定电流误差%								

（2）低压继电器的动作电压和返回电压测试

a. 选 EPL-05 中的 DY-28C 型低压继电器（额定电压为 30V），确定动作值并进行初步整定。本实验整定值为 24V 及 48V 两种工作状态。



（a）串联　　(b)并联

图1-3 低压继电器线圈接法

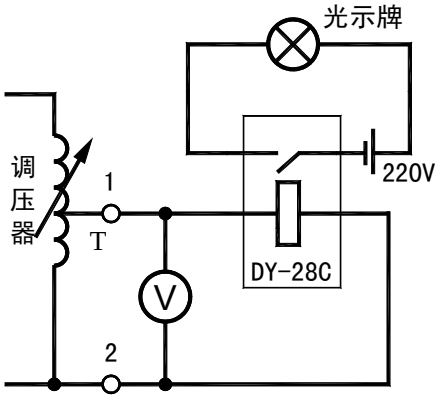


图1-4 低压继电器实验接线图

注意：本继电器在出厂时已把转动刻度盘上的指针调整到 24V，学生也可以拆下玻璃罩子自行调整电压整定值。

b．根据整定值需求确定继电器接线方式。

注意：

（1）低压继电器线圈可采用串联或并联接法，如右图所示。其中并联接法电压动作值可由转动刻度盘上的指针所对应的电压值读出，串联接法电压动作值则为并联接法的 2 倍。

（2）串并联接线时需注意线圈的极性，应按照要求接线，否则得不到预期的动作电压值。

c. 按图 1-3 接线（采用串联接法），调压器 T 位于 EPL-20A，220V 直流电源位于 EPL-11，交流电压表位于 EPL-11，量程为 200V。并把调压器旋钮逆时针调到底。

d．顺时针调节自耦变压器，增大输出电压，并同时观察交流电压表的读数和光示牌的动作情况。当光示牌由灭变亮后，再逆时针调节自耦变压器逐步降低电压，并观察光示牌的动作情况。注意：当电压表的读数接近电压整定值时，应缓慢对自耦调压器进行调节，以免电压变化太快。当光示牌由亮变灭时，说明继电器舌片开始跌落。记录此时的电压称为动作电压U_{dj}。

e．再缓慢调节自耦变压器升高电压，当光示牌由灭变亮时，说明继电器舌片开始被吸上。记录此时的电压称为返回电压U_{fj}，将所取得的数值记入表 1-3 并计算返回系数。返回系数k_f为

$$K_f = \frac{U_{fj}}{U_{dj}}$$

低压继电器的返回系数不大于 1.25。将所得结果记入表 1-3。

f. 改变继电器线圈接线方式（采用并联接法），重复以上步骤。

表 1-3 低压继电器实验结果记录表

整定电压 U（伏）	24V			线圈接线方式为：	48V			线圈接线方式为：
测试序号	1	2	3		1	2	3	
实测起动电压 U_{dj}								
实测返回电压 U_{fj}								
返回系数 K_f								
起动电压与整定电压误差%								

六．实验报告

实验结束后，针对过电流，低压继电器实验要求及相应动作返回值、返回系数的具体整定方法，按实验报告编写的格式和要求写出过流继电器，低压继电器实验报告和实验体会，并书面解答本实验思考题。

附 1：返回系数和动作值的调整

1．返回系数的调整

返回系数不满足要求时应予以调整。影响返回系数的因素较多，如轴间的光洁度、轴承清洁情况、静触点位置等。但影响较显著的是舌片端部与磁极间的间隙和舌片的位置。

返回系数的调整方法有：

a 、调整舌片的起始角和终止角：

调节继电器右下方起始位置限制螺杆，以改变舌片起始位置角，此时只能改变动作电流，而对返回电流几乎没有影响。故可用改变舌片的起始角来调整动作电流和返回系数。舌片起始位置离开磁极的距离愈大，返回系数愈小，反之，返回系数愈大。

调节继电器右上方的舌片终止位置限制螺杆，以改变舌片终止位置角，此时只能改变返回电流而对动作电流则无影响。故可用改变舌片的终止角来调整返回电流和返回系数。舌片终止角与磁极的间隙愈大，返回系数愈大；反之，返回系数愈小。

b、不调整舌片的起始角和终止角位置，而变更舌片两端的弯曲程度以改变舌片与磁极间的距离，也能达到调整返回系数的目的。该距离越大返回系数也越大；反之返回系数越小。

c、适当调整触点压力也能改变返回系数，但应注意触点压力不宜过小。

2．动作值的调整

a、继电器的整定指示器在最大刻度值附近时，主要调整舌片的起始位置，以改变动作值。为此可调整右下放的舌片起始位置的限制螺杆。当动作值偏小时，调节限制螺杆使舌片起始位置远离磁极；反之则靠近磁极。

b、继电器的整定指示器在最小刻度附近时，主要调整弹簧，以改变动作值。

c、适当调整触点压力也能改变动作值，但应注意触点压力不宜过小。

附 2：DL-20C 系列电流继电器

1．规格型号

1.1 继电器额定值与整定值范围如下：

型号	最大整定电流（A）	额定电流（A）		长期允许电流（A）		电流整定范围（A）	动作电流（A）		最小整值时的功率消耗（VA）
		线圈串联	线圈并联	线圈串联	线圈并联		线圈串联	线圈并联	
DL-21C	6	6	12	6	12	1.5～6	1.5～3	3～6	0.55
	2	3	6	4	8	0.5～2	0.5～1	1～2	0.5
	0.6	1	2	1	2	0.15～0.6	0.15～0.3	0.3～0.6	0.5

1.2 接触系统的组合形式如下：

型号	触点数量	
	动合	动断
DL-21C	1	

2．技术数据

2.1 整定值的动作误差不超过±6%。

2.2 动作时间：过电流继电器在施加 1.1 倍整定值电流时，动作时间不大于 0.12s；在施加 2 倍整定值电流时，动作时间不大于 0.04s。

2.3 返回系数：不小于 0.8。

2.4 触点断开容量：在电压不超过 250V 及电流不超过 2A，时间常数为 $5\times6\text{-}^{3}$s 的直流有感负荷电路中为 50W，在交流电路中为 250VA。

2.5 继电器能耐受交流电压 2kV，50Hz 历时 1min 的介质强度试验。

2.6 继电器重量：约为 0.5kg。

附 3：DY-20C 系列电压继电器

1．规格型号

1.1 继电器额定值与整定值范围如下：

型号	最大整定电压（V）	额定电压（V）		长期允许电压（V）		电压整定范围（V）	动作电压（V）		最小整定值时的功率消耗（VA）
		线圈并联	线圈串联	线圈并联	线圈串联		线圈并联	线圈串联	
DY-28C	48	30	60	35	70	12～48	12～24	24～48	1

1.2 接触系统的组合形式如下：

型号	触点数量	
	动合	动断
DY-28C	1	1

2．技术数据

2.1 整定值的动作误差不超过±6%。

2.2 动作时间：低压继电器在施加 0.5 倍整定值电压时，动作时间不大于 0.15s。

2.3 返回系数：不大于 1.25。

2.4 触点断开容量：在电压不超过 250V 及电流不超过 2A，时间常数为 5×10^{-3}s 的直流有感负荷电路中为 50W，在交流电路中为 250VA。

2.5 继电器能耐受交流电压 2kV，50Hz 历时 1min 的介质强度试验。

实验二　电磁型时间继电器实验

一．实验目的

熟悉 DS-20C 系列时间继电器的实际结构，工作原理，基本特性，掌握时限的整定和试验调整方法，

二．预习与思考

1．影响起动电压、返回电压的因素是什么？

2．在某一整定点的动作时间测定，所测得数值大于或（小于）该点的整定时间，并超出允许误差时，将用什么方法进行调整？

3．根据你所学的知识说明时间继电器常用在那些继电保护装置电路？

三．原理说明

DS-20 系列时间继电器为带有延时机构的吸入式电磁继电器。继电器具有一付瞬时转换触点，一付滑动延时动合主触点和一付终止延时动合主触点。

当电压加在继电器线圈两端时，唧子（铁芯）被吸入，瞬时动合触点闭合，瞬时动断触点断开，同时延时机构开始起动。在延时机构拉力弹簧作用下，经过整定时间后，滑动触点闭合。再经过一定时间后，终止触点闭合。从电压加到线圈的瞬间起，到延时动合触点闭合止的这一段时间，可借移动静触点的位置以调整之，并由指针直接在继电器的标度盘上指明。当线圈断电时，唧子和延时机构在塔形反力弹簧的作用下，瞬时返回到原来的位置。

DS-20 系列时间继电器用于各种继电保护和自动控制线路中，使被控制元件按时限控制进行动作。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-05	继电器（二）DS-21 时间继电器	1
3	EPL-14	按钮及电阻盘	1
4	EPL-12B	电秒表、相位仪	1
5	EPL-11	直流电源及母线	1
6	EPL-11	直流仪表	1

五．实验内容

1．内部结构检查

（1）观察继电器内部结构，检查各零件是否完好，各螺丝固定是否牢固，焊接质量及线头压接应保持良好。

（2）衔铁部分检查

手按衔铁使其缓慢动作应无明显摩擦，放手后塔形弹簧返回应灵活自如，否则应检查衔铁在黄铜套管内的活动情况，塔形弹簧在任何位置不许有重叠现象。

（3）时间机构检查

当衔铁压入时，时间机构开始走动，在到达刻度盘终止位置，即触点闭合为止的整个动作过程中应走动均匀，不得有忽快忽慢，跳动或中途卡住现象，如发现上述不正常现象，应先调整钟摆轴螺丝，若无效可在老师指导下将钟表机构解体检查。

（4）接点检查

a．当用手压入衔铁时，瞬时转换触点中的常闭触点应断开，常开触点应闭合。

b．时间整定螺丝整定在刻度盘上的任一位置，用手压入衔铁后经过所整定的时间，动触点应在距离静触点首端的 1/3 处开始接触静触点，并在其上滑行到 1/2 处，即中心点停止。可靠地闭合静触点，释放衔铁时，应无卡涩现象，动触点也应返回原位。

c．动触点和静触点应清洁无变形或烧损，否则应打磨修理。

2. 动作电压、返回电压测试

实验接线见图 2-1，选用 EPL-05 挂箱的 DS-21 型继电器，整定范围（0.25-1.25s）。

Rp 采用 EPL-14 的 900Ω电阻盘（分压器接法），注意图 2-1 中 Rp 的引出端（A_3. A_2. A_1）接线方式，不要接错，并把电阻盘调节旋钮逆时针调到底。

开关 S 采用 EPL-14 的按钮开关 SB1，处于弹出位置，即断开状态。直流电压表位于 EPL-11。

数字电秒表的使用方法：“启动”两接线柱接通，开始计时，“停止”两接线柱接通，结束计时。

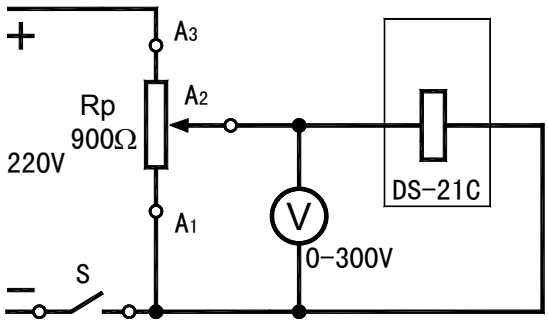


图2-1 时间继电器动作电压、返回电压实验

（1）动作电压 U_d 的测试

合上 220V 直流电源船型开关和按钮开关 SB1，顺时针调节可变电阻 Rp 使输出电压从最小位置慢慢升高，并观察直流电压表的读数。

当电压超过 70V 左右时，注意观察时间继电器的动作情况，直到时间继电器衔铁完全吸入为止。然后弹出开关 S，再瞬时按下开关 S，看继电器能否动作。如不能动作，调节可变电阻 R 加大输出电压。在给继电器突然加入电压时，使衔铁完全被吸入的最低电压值，即为最低动作电压 U_d。

弹出 S，将动作电压 U_d 填入表 2-1 内。

（2）返回电压 U_f 的测试

按下 S，加大电压到额定值 220V，然后渐渐调节可变电阻 Rp 降低输出电压，使电压降低到触点开启，即继电器的衔铁返回到原来位置的最高电压即为 U_f，断开 S，将 U_f 填入表 2-1 内。

表 2-1　时间继电器动作电压、返回电压测试

	测量值	为额定电压的%
动作电压 U_d（V）		
返回电压 U_f（V）		

3．动作时间测定

动作时间测定的目的是检查时间继电器的控制延时动作的准确程度。测定是在额定电压下，取所试验继电器允许时限整定范围内的大、中、小三点的整定时间值（见表 2-2），在 每点测三次。

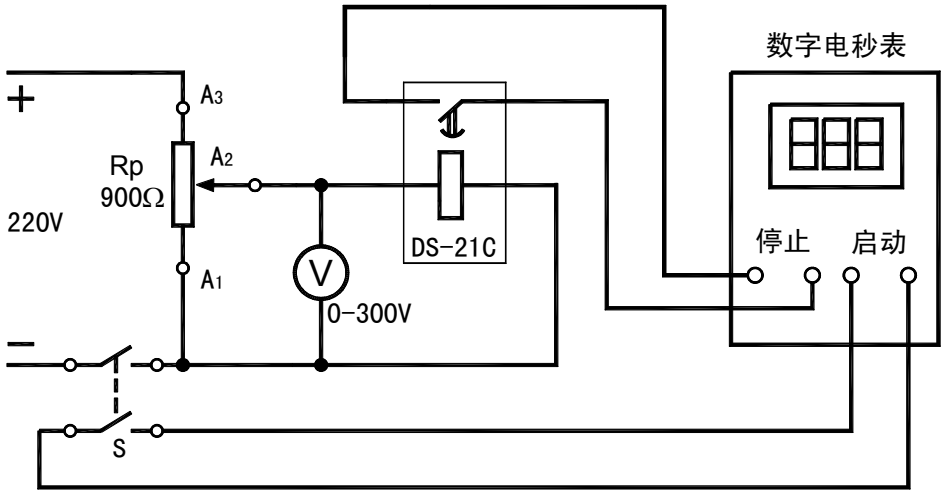


图2-2 时间继电器动作时间实验接线图

用秒表测定动作时间的实验接线图见图 2-2。

开关 S 采用 EPL-14 的按钮开关 SB1，处于断开状态。电秒表位于 EPL-12。其余同图 2-1。

（1）合上 220V 直流电源船型开关和电秒表船型开关，按下按钮开关 SB1，顺时针调节可变电阻 Rp 使直流电压表的读数到 220V。然后断开开关 S（再按一下按钮开关 SB1）和 220V 直流电源船型开关。

（2）拆下有机玻璃罩子对延时时间进行调整，使刻度盘上的指针指向 0.25s。

（3）对数字电秒表进行复位并把量程置于 ms 档(按下电秒表的毫秒按钮开关)。

（4）合上 220V 直流电源船型开关，按下按钮开关 SB1，观察电秒表的读数变化，并记录最后的稳定读数填入表 2-2。然后断开开关 S（再按一下按钮开关 SB1）。

（5）两次重复步骤 3．4，分别把电秒表的读数填入表 2-2。

（6）把延时时间分别调整到 0.75s、1.25s，重复以上步骤。注意：当延时时间为 1.25s 时，数字电秒表量程置于 s 档

表 2-2　时间继电器动作时间测定

测量值	1	2	3

整定值 t(s)			
0.25			
0.75			
1.25			

六．实验报告

实验报告结束后，结合时间继电器的各项测试内容及时限整定的具体方法，写出时间继电器实验报告和本次实验体会，并书面解答本实验的思考题。

附：DS-20 系列时间继电器

1．型号规格

型号	时间整定范围（S）	直流额定电压（V）	交流额定电压（V）
DS-21，DS-21/C	0.2～1.5	24，48，110，220	

注：C 为长期带电型

2．技术参数

2.1 继电器的动作值：对于交流继电器不大于 70%额定电压，对于长期带电的直流继电器不大于 75%额定电压。

2.2 继电器的返回值：不小于 5%额定电压。

2.3 继电器主触点的延时一致性，不大于下表中的规定

延时整定范围（S）	延时一致性（S）
0.2～1.5	0.07

注：1）延时一致性系指在同一时间整定点上，测量 10 次中最大和最小动作时间之差。

2）1．2．3 条中规定的参数系环境温度为+20℃±2℃的条件下测试。

2.4 继电器主触点延时整定值平均误差应符合下列规定：平均误差不超过±5%。

2.5 热稳定性：当周围介质温度为+40℃时，对于直流继电器的线圈耐受 110%额定电压历时 1min，线圈温升不超过 65K；对于长期带电直流继电器的线圈长期耐受 110%额定电压，线圈温升不超过 65K。

2.6 额定电压下的功率消耗：对于直流继电器不大于 10W，对于长期带电直流继电器不大于 7.5W。

2.7 触点断开容量：在电压不大于 250V、电流不大于 1A、时间常数不超过 0.005s 的直流有感负荷电路中，主触点和瞬动触点的断开容量为 50W。

2.8 延时主触点长期允许通过电流为 5A。

2.9 介质强度：继电器导电部分与非导电部分之间，以及线圈电路与触点电路之间的绝缘应耐受交流 50Hz、电压 2kV 历时 1min 试验而无击穿或闪络现象。

实验三　信号继电器实验

一．实验目的

熟悉和掌握 DX-8 型继电器的工作原理，实际结构，基本特性及工作参数。

二．预习和思考

1．DX-8 型信号继电器具有那些特点？

2．DX-8 型信号继电器为什么要有自锁结构？

三．原理说明

DX-8 型信号继电器，适用于直流操作的继电保护和自动控制线路中远距离复归的动作指示。

信号继电器由工作绕组，接触触点，机械自锁机构，指示红牌，手动复位按钮等组成。

当继电器工作绕组加入电流时，簧片吸合，带动机械自锁机构动作，使告警指示作用的红牌翻落，同时触点锁紧闭合。只有在绕组释放电压后，人工手动按压复位按钮，触点才能够释放断开。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-07B	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
3	EPL-12B	光示牌	1
4	EPL-14	按钮及电阻盘	1
5	EPL-11	直流电源及母线	1
6	EPL-11	直流仪表	1

五．实验内容

1．观察 DX-8 型信号继电器的结构和内部接线，列举它所具有的特点。

2．动作电流的测试

实验接线见图 3-1，直流电流表位于 EPL-11，$R_{P1.}$ R_{P2} 采用 EPL-14 的 900Ω电阻盘，注意接线端的符号(A3．A2．A1．B2．B1)，不要接错，否则容易过流造成熔断器烧断。

检查电阻盘的旋钮是否在逆时针到底位置，确认无误后，合上漏电断路器和 EPL-11 的 220V 直流电源，慢慢顺时针调整电阻盘的旋钮，并同时观察直流电流表的读数和光示牌的动作情况。加大输出电压直至继电器动作，光示牌亮。此时直流电流表的指示值即为继电器的动作值。填入表 3-1。同时观察告警红牌的翻落情况。断开 220V 直流电源船形开关，继

电器触点应保持在动作位置。

用手按复位按钮，继电器触点断开，红牌翻起，光示牌熄灭。

重复以上步骤，多次测量动作电压，记入表3-1，并求取平均值。

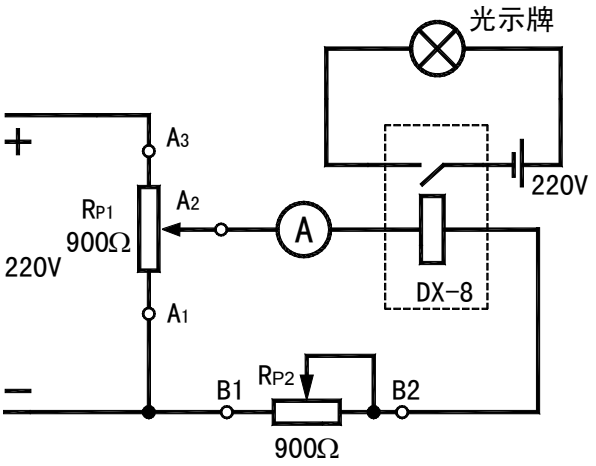


图3-1 信号继电器实验接线图

表3-1 信号继电器实验记录表

	1	2	3	平均值
动作电流测量（mA）				

六．实验报告

写出具体测试信号继电器的方法。写出信号继电器的动作电压值、并书面解答本实验的思考题。

附：DX-8型信号继电器

1．型号规格

1.1 继电器额定值有下列各种规格

电压型	220V、110V、48V、24V、12V
电流型	0.01A、0.015A、0.025A、0.05A、1.075A、0.1A、0.15A、0.25A、0.5A、0.75A、1A、2A、4A

1.2 触点形式及数量：皆为3付动合触点。

2．技术数据

2.1 动作值

电压型：不大于额定电压的70%；

电流型：不大于额定电流的90%。

2.2 动作时间

电压型继电器施加额定电压时，电流型继电器施加120%的额定电流时，继电器的动作时间不大于30ms

2.3 信号显示时间

当施加1.1倍额定值时，信号指示器应在0.05s时显示。

2.4 继电器动作时，其信号指示器应立即到达最终位置，动作前后有明显的信号变化。

当线圈激励量消失后，其信号指示器，应保留其动作后达到的位置。

2.5 触点容量

在电压不超过 250V、电流不大于 2A 时间常数为 5×10^{-3}s 的直流有感负荷电路中，触点接通与断开容量为 50W。在电压不超过 250V 电流不大于 2A、功率因数为 0.4±0.1 的交流电路中，触点接通与断开容量为 250VA。

2.6 功率消耗

电压型继电器在额定电压下，其功率消耗不大于 3W。电流型继电器在额定电流下，其功率消耗不大于 0.3W。

2.7 电寿命：1000 次。

2.8 继电器能耐受交流电压 2kV、50Hz 历时 1min 的介质强度试验。

2.9 继电器重量：约为 0.4kg。

实验四　中间继电器的实验

一．实验目的

中间继电器种类很多，目前国内生产的就有二十多个系列，数百种产品。本实验只选用上海继电器厂的 DZ-31B 型中间继电器和 DZS-12B 型延时中间继电器，希望能通过本实验熟悉中间继电器的实际结构，工作原理、基本特性，掌握对中间继电器的测试和调整方法。

二．预习和思考

1．为什么目前在一些保护屏上广泛采用 DZ-30B 系列中间继电器，它与 DZ-10 系列中间继电器比较有那些特点？

2．使用中间继电器一般依据哪几个指标进行选择？

3．发电厂、变电所的继电器保护及自动装置中常用哪几种中间继电器？

三．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-06	继电器（四）	1
3	EPL-12B	光示牌	1
4	EPL-14	按钮及电阻盘	1
5	EPL-12B	电秒表、相位仪	
6	EPL-11	直流电源及母线	1
	EPL-11	直流仪表	1

四．实验内容

1．按图 4-1 接线

2．继电器动作值与返回值检验（DZ-31B）

Rp 采用 EPL-14 的 900Ω电阻盘（分压器接法），注意引出端（A_3. A_2. A_1）接线方式，不要接错，并把电阻盘调节旋钮逆时针调到底。

开关 S 采用 EPL-14 的按钮开关 SB1，处于弹出位置，即断开状态。直流电压表位于 EPL-11。

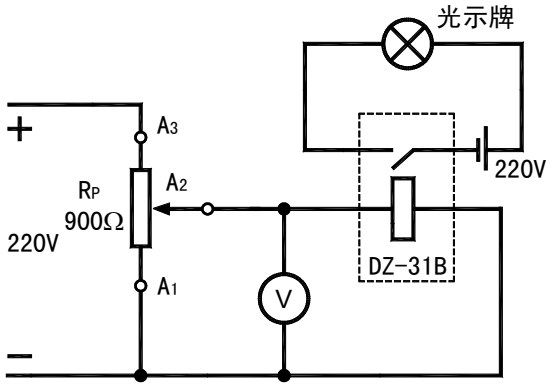


图4-1 中间继电器实验接线图

（1）动作电压 U_d 的测试

合上 220V 直流电源船型开关和按钮开关 SB1，顺时针调节可变电阻 Rp 使输出电压从最小位置慢慢升高，并同时观察直流电压表的读数和光示牌的动作情况。

当光示牌由灭变亮时，说明继电器动作，然后打开开关 S，再瞬时合上开关 S，看继电器能否动作。如不能动作，调节可变电阻 R 加大输出电压。在给继电器突然加入电压时，使衔铁完全被吸入的最低电压值，即为动作电压值 U_{dj}=　　V

（2）返回电压 U_{fj} 的测试

渐渐调节可变电阻 Rp 降低输出电压，使电压降低到触点开启，即继电器的衔铁返回到原来位置的最高电压即为 U_{fj}=　　V。

3．．继电器动作值与返回值检验（DZS-12B）

按图 4-1 接线，继电器为 DZS-12B，重复上述步骤，分别测出 DZS-12B 的动作电压值 U_{dj}=　　V 和返回值 U_{fj}=　　V。

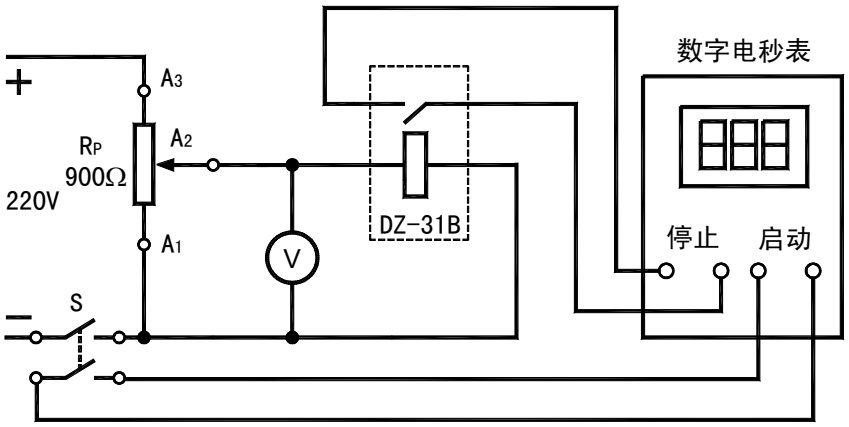


图4-2 中间继电器动作时间测量实验

3．中间继电器动作时间的测量（DZ-31B）

中间继电器的动作时间即为中间继电器得电到它刚动作的时间。

实验接线为图 4-2。

要求在测试时操作开关应保证触点同时接触与断开，以减少测量误差，SB1 为 EPL-14 上的操作按钮。

按图 4-2 接好线后，合上 220V 直流电源船型开关和按钮开关 SB1，顺时针调节可变电阻 Rp 使输出电压从最小位置慢慢升高到 220V，然后打开开关 S。在以下的实验中，Rp 的位置保持不变。

对数字电秒表进行复位并把量程置于 ms 档(按下电秒表的毫秒按钮开关)。

合上开关 SB_1，这时电秒表开始记时，当 DZ-31B 动作时，其常开触点闭合，电秒表停止记数，电秒表所指示的时间即为继电器的动作时间，将所测得的数据记入表 4-1 中。

表 4-1　中间继电器动作时间实验记录表

继电器铭牌		制造厂		动作时间 t（ms）
型号		出厂编号		

额定值		电源性质		

4．中间继电器动作时间的测量（DZS-12B）

按图 4-2 接线，继电器为 DZS-12B，重复上述步骤，测出 DZS-12B 的动作时间。

表 4-2　中间继电器延时返回时间实验记录表

继电器铭牌		制造厂		动作时间 t（ms）
型号		出厂编号		
额定值		电源性质		

5．中间继电器返回时间得测量

中间继电器的返回时间即为中间继电器从其失电到其触点完全动作为止的时间。其接线图如图 4-3 所示。

S 为 EPL-14 上的操作按钮 SB3。

按图 4-3 接线，合上开关 SB3，中间继电器 DZS-12B 得电，

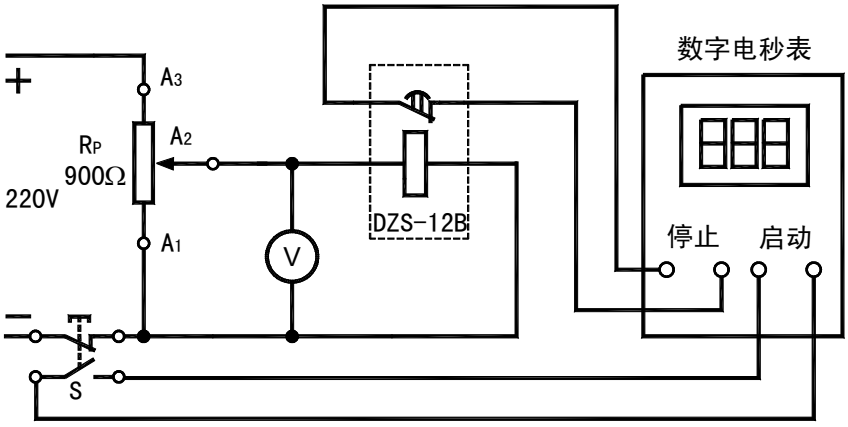


图4-3 中间继电器返回时间测量实验

合上 220V 直流电源船型开关，DZS-12B 的常闭触点瞬时断开，电秒表不计时，按下复位按钮使电秒表清零。按下开关 SB3 并保持，继电器失电，电秒表开始记时，经过一定延时后，DZS-12B 的常闭触点闭合，数字电秒表停止计时。电秒表所指示的时间就是继电器的返回时间，将所测得的时间值记入表 4-3。

表 4-3　中间继电器返回时间实验记录表

继电器铭牌		制造厂		返回时间 t（ms）
型号		出厂编号		
额定值		电源性质		

五．实验报告

写出中间继电器实验报告和本次实验体会，并书面解答本实验的思考题。

附：DZ-30B 系列中间继电器

1．工作原理

继电器为电磁式继电器，当电压加在线圈两端时，衔铁向闭合位置运动，动合触点闭合，动断触点短开。断开电源时，衔铁在接触片的压力作用下，返回到原始状态，动合触点断开，动断触点闭合。

2．型号规格如下：

型号	额定值（V）	触点形式及对数	
		动合	转换
DZ-32B	12，24，48，110，220	3	3

3．技术参数

3.1 动作电压：为额定电压的 30%～70%。

3.2 返回电压：不小于额定电压的 5%。

3.3 动作时间：在额定电压时不大于 0.045s。

3.4 功率消耗：在额定电压时不大于 5W。

3.5 电寿命：5000 次。

3.6 触点断开容量：在电压不超过 250V，电流不大于 1A 的直流有感负荷电路（时间常数为 5×10^{-3}s）中，断开容量为 50W；在电压不超过 250V，电流不大于 3A 的交流电路（功率因数为 0.4）中，断开容量为 250VA。

3.7 触点长期允许通过电流为 5A。

3.8 介质强度：继电器导电部分与非导电部分之间，以及线圈电路与触点电路之间，能耐受交流 50Hz，电压 2kV，历时 1min 试验无击穿和闪络现象。

实验五　ZC-23 型晶体管冲击继电器实验

一．实验目的

1．掌握 ZC－23 型冲击继电器的内部结构，电路原理和使用方法。

2．了解冲击继电器的功用和特性，掌握其电路接线和实验操作方法。

二．预习与思考

1．认真阅读指导书，你能根据实验要求绘制出实验数据记录表吗？

2．ZC－23 冲击继电器具有哪些特点？

3．当 BL 一次侧信号回路的信号电流消失时，ZC－23 冲击继电器发生动作是什么原因？

4．图 6－1 中端子 3、11 间的电容 C、二极管 D_2 并联在微分脉冲变流器一次侧起什么作用？

5．冲击继电器最低动作电流如何测得？它的数值过高或过低对灵敏度和可靠性有何影响？对实验运行有无影响？为什么？

6．信号动作为什么要有自保持？图 5-1 中哪个触点起了自保持作用？

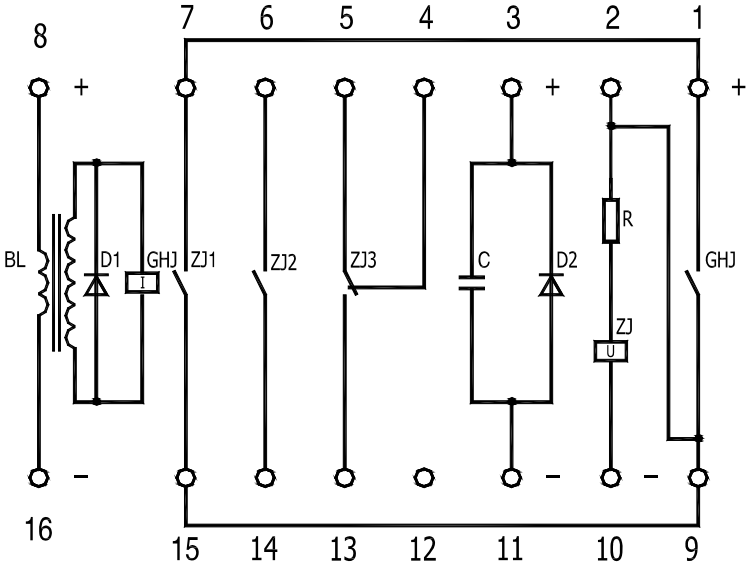


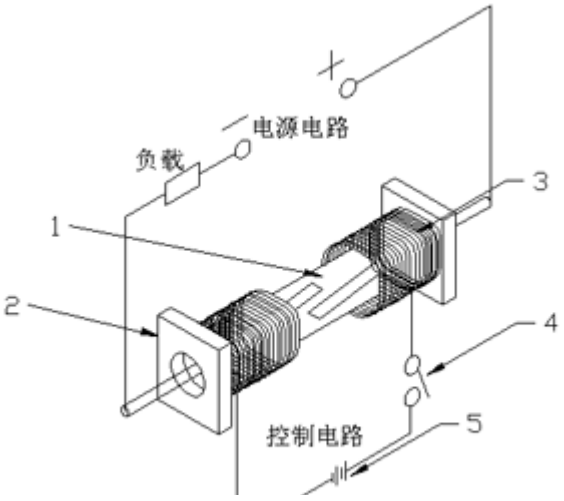
图 6-1　ZC-23 型冲击继电器内部接线图

三．原理说明

ZC－23 型冲击继电器是一种具有干簧密封触点的冲击继电器，并带有电容、二极管、滤波器，它可用于直流继电器保护及自动装置电路中作为音响集中控制元件。

图 6－1 为 ZC－23 型冲击继电器的内部接线图，它由微分脉冲变流器 BL、单触点干簧继电器 GHL、多触点干簧继电器 ZJ 及滤波元件等组成。单触点干簧继电器 GHJ 如图 6-2 所示，由线圈和干簧管组成，干簧管是个密封的玻璃管，里面有一对常开的舌簧触点，管内充以惰性气体，用以减少触点的污染与电腐蚀。舌簧片由铁镍合金做成，触点接触面镀有金、钯等，它具有良好的导磁性能、又富有弹性，并具有良好的导电性能和较高的切断容量。

当套在干簧管外部的线圈中通以电



1.干簧管　2.骨架　3.线圈
4.控制开关　5.控制电源

图 6-2　干簧继电器的结构原理图

流时，线圈内部有磁通通过，使舌簧片磁化，片的自由端所产生的磁极正好相反性。当通过的电流达到继电器的启动值时干簧片由于磁的“异性相吸”而闭合，将外电路接通：当线圈中的电流降到继电器的返回值时，舌簧片靠本身的弹性返回，使触点断开。干簧继电器和电磁型继电器一样，不论通过电流线圈的电流极性如何，继电器都同样动作，因而动作没有方向性。

干簧继电器具有灵敏度高，消耗功率小，动作迅速（约为几毫秒）、使用寿命长和不需要调整等优点。缺点是抗干扰性能欠佳，当直流波纹系数较大时易发生误动作。

冲击继电器的基本工作原理是：利用串联于直流信号回路中的微分脉冲变流器 BL，将直流信号回路中每一个变化幅值不大于 0.16A 的（矩形的）电流脉冲，变成短暂的（尖顶的）电流脉冲去启动灵敏执行元件 GHJ，再由 GHJ 去启动出口中间继电器 ZJ，再由 ZJ 常开接点去启动电铃或电笛发出音响信号。当 BL 一次侧信号电流到达稳态时，GHL 线圈上的尖顶脉冲消失，GHL 接点空载返回，（即自动复归），ZJ 靠本身的触点 ZJ_1 进行自保持。ZJ 的复归只需瞬时端来 ZJ_1 的自保持回路。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-12B	光示牌	1
3	EPL-14	按钮及电阻盘	1
4	EPL-11	直流电源及母线	1
5	EPL-11	直流仪表	1
6	EPL-27	继电器(九) 冲击继电器	1
7	EPL-42	电阻盘 II	1

五．实验步骤和操作方法

1．内部各元器件外观质量检查

根据图 6-1 内部接线图对继电器内各元器件及接线情况进行外观质量检查，装置的接线及焊线应无松动和断损现象。同时弄清楚继电器各接线端子的用途。

2．绝缘检查

首先将直流回路进、出线端子用导线短接起来，以免在检验时损坏有关元件，然后用 1000V 兆欧标测量回路之间、各回路及接点对金属框架、各引出接点对直流回路的绝缘电阻（是否进行此项目由指导老师决定）。

3．根据冲击继电器的额定工作电压、选择相应的直流操作电源。

4．根据冲击继电器的冲击电流、最大稳定电流等技术参数，选择起始稳态电流值和冲击电流值。

5．按图 6-3 进行接线，并将开关 SB_3 断开，将 R 调在输出电压最小的位置。

6．检查上述接线的正确性，确定无误后，接入直流操作电源。

7．中间继电器 ZJ 的动作电压和返回电压测定。

试验接线见图 6-3，用一导线连接端子1、9，调节变阻器 R，增大输出电压使中间继电器动作，读取动作电压值，此值不应大于起额定电压的 70%。然后再调节变阻器 R 降低输出电压直到继电器 ZJ 返回，读取返回电压值，此值不应小于其额定电压的 5%。记录下实验数据，然后，拆除端1、9之间的连接线。

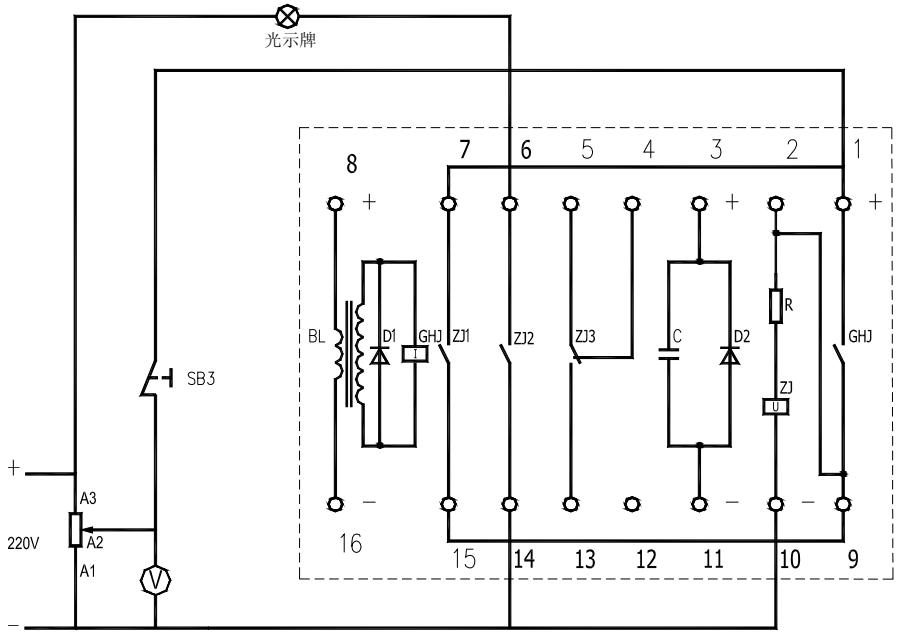


图 6-3　中间继电器 ZJ 动作及返回电压测试接线图

8．继电器最小冲击动作电流测试

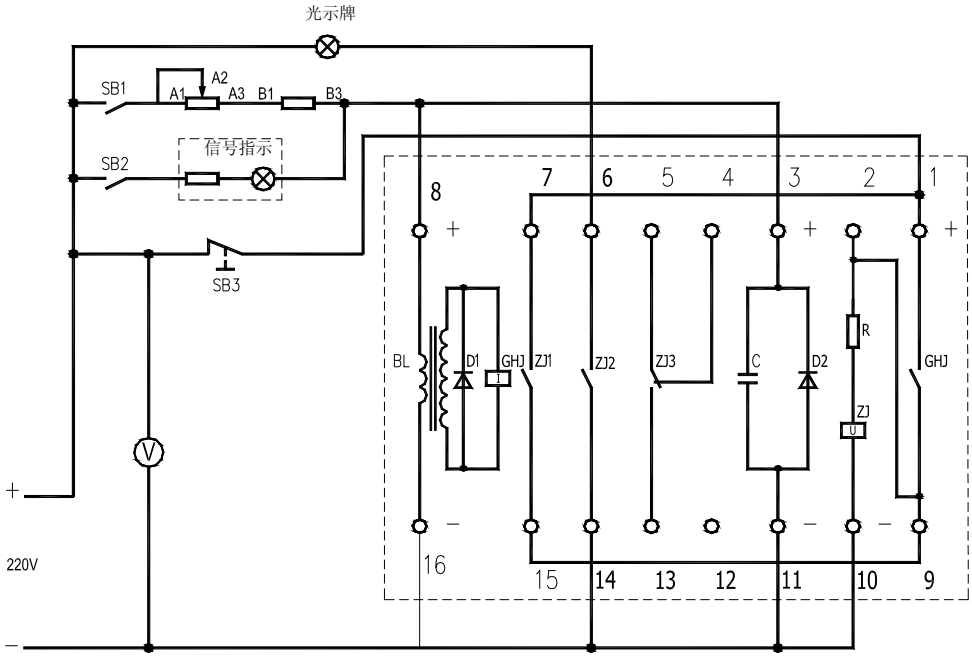


图 6-4　冲击继电器实验接线图

实验接线见图 6-4，合上开关 SB_1，调节变阻器 R_1 增大电流值，使 A_1 毫安表读数等于略小于 0.16A，然后断开 SB_1，并多次合上和断开 SB_1，观察继电器是否动作，若已动作（或不动作）可将电流减小（或增大）。反复按上述方法操作，直至找出最小冲击动作电流，要

求比值应不大于 0.16A。图 6-4 中 SB_3 是复归按钮，按 SB_3 可消除自保持。

9．继电器的重复动作实验

合上 SB_1. SB_2，R_2 阻值不变，保持上述最小冲击电流值，调节 R_1，观察 A_1 电流标，按 0.16AX（1＋X）分档选取稳态电流值（式中：X＝1～19），在选定的各档稳定电流下（在此实验中，我们只需侧三个固定值，0.16A、0.32A、0.48A），合上和断开 SB_1，观察继电器动作情况，要求在任一点定值电流时继电器都可靠动作。在重复动作实验中要及时消除自保持（在选取电流固定值时，应注意直流电源和限流变阻器等设备是否过载）。

10．旁路二极管 D_1 的作用检查

当继电器动作后（接点回路监视灯亮），按下按钮 SB_3 消除自保持，然后断开 SB_1 观察继电器是否动作，要求在产生反向脉冲时继电器不动作，否则 D_1 没有起到作用。

六．技术数据

1．额定电压：220V

2．最小冲击动作电流不大于 0.16A；

3．最大稳定电流 3.2A；

4．出口中间元件 ZJ，当环境温度为＋20℃，线圈处于冷态时在 70％额定电压下应可靠动作。在不低于 5％ 的额定电压下应可靠返回。

5．在极限温度（＋50℃-20℃）下继电器冲击动作电流不大于 0.2A。

6．断开容量：电压不超过 220V，电流不超过 0.2A（出口中间元件 ZJ 触点），断开容量在直流有感负荷（$T=5\times10^{-3}$ 秒）电路中为 40W，在电压不超过 220V，电流不超过 0.3A 的交流电路中为 50V/A。

7．功率消耗

a. 在变流器 BL 一次绕组通过 3.2A 电流时，其功率消耗不大于 7W；

b. 出口中间元件 ZJ，在额定电压下，其功率消耗不大于 10W。

七．注意事项

注意事项详见操作规程，按要求加入各档试验电流。接线中要特别注意分清电流回路、电压回路、触点回路，要确保每个操作环节的正确性和安全性。

八．实验报告

实验过程中要把各项数据完整、准确、无误地记录下来，实验结束后，针对冲击继电器重复冲击起动的具体测试方法，按要求及时写出实验报告，并书面解答本实验思考题。

表 5-1

名　称		额定冲击动作电流	
型　号		额定最大稳定电源	
测试数据	测试项目	实测参数	备注
	XMJ 最小冲击动作电流		
	ZJ 最小起动电压		
	ZJ 最高返回电压		

实验六　功率方向继电器实验

一．实验目的

1．学会运用相位测试仪测量电流和电压之间相角的方法。

2．掌握功率方向继电器的动作特性，接线方式及动作特性的试验方法。

3．研究接入功率方向继电器的电流、电压的极性对功率方向继电器的动作特性的影响。

二．LG-11 型功率方向继电器简介

1．LG-11 整流型功率方向继电器的工作原理

LG-11 型功率方向继电器是目前广泛应用的整流型功率方向继电器，其比较幅值的两电气量动作方程为：

$$\left|\dot{K}_K \dot{I}_m + \dot{K}_y \dot{U}_m\right| \geq \left|\dot{K}_K \dot{I}_m - \dot{K}_y \dot{U}_m\right|$$

继电器的接线图如图 7-1 所示，其中图（a）为继电器的交流回路图，也就是比较电气量的电压形成回路，加入继电器的电流为$\dot{I}_m$，电压为$\dot{U}_m$。电流$\dot{I}_m$通过电抗变压器 DKB 的一次绕组 W1，二次绕组 W2 和 W3 端钮获得电压分量$K_K I_m$，它超前电流$\dot{I}_m$的相角就是转移阻抗K_R的阻抗角 $_k$，绕组 W4 用来调整 $_k$的数值，以得到继电器的最大灵敏角。电压$\dot{U}_m$经电容 C1 接入中间变压器 YB 的一次绕组 W1，由两个二次绕组 W2 和 W3 获得电压分量$\dot{K}_K \dot{U}_m$，$\dot{K}y\dot{U}_m$超前$\dot{U}_m$的相角为 90 度。DKB 和 YB 标有 W2 的两个二次绕组的联接方式如图所示，得到动作电压$\dot{K}_K \dot{I}_m + \dot{K}_y \dot{U}_m$，加于整流桥 BZ1 输入端；DKB 和 YB 标有 W3 的二次绕组的联接方式如图所示，得到制动电压$\dot{K}_K \dot{I}_m - \dot{K}_y \dot{U}_m$，加于整流桥 BZ2 输入端。图（b）为幅值比较回路， 它按循环电流式接线，执行元件采用极化继电器 JJ。

继电器最大灵敏度的调整是利用改变变压器 DKB 第三个二次绕组 W4 所接的电阻值来实现的。继电器的内角 $=90^0-$ $_k$，当接入电阻 R3 时，阻抗角 $_k=60^0$，　$=30^0$；当接入电阻 R4 时，　$_k=45^0$，　$=45^0$。因此，继电器的最大灵敏度$\varphi_{res}=-\alpha$，并可以调整为两个数值，一个为-30^0，另一个为-45^0。

当在保护安装处于正向出口发生相间短路时，相间电压几乎将降为零值，这时功率方向继电器的输入电压$\dot{U}_m \approx 0$，动作方程为$\left|\dot{K}_K \dot{I}_m\right| = \left|\dot{K}_K \dot{I}_m\right|$，即$\left|\dot{U}_A\right| = \left|\dot{U}_B\right|$。由于整流型功率方向继电器的动作需克服执行继电器的机械反作用力矩，也就是说必须消耗一定功率（尽管这一功率的数值不大）。因此，要使继电器动作，必须满足$\left|\dot{U}_A\right| > \left|\dot{U}_B\right|$的条件。所以在$\dot{U}_m \approx 0$的情况下，功率方向继电器动作不了。因而产生了电压死区。

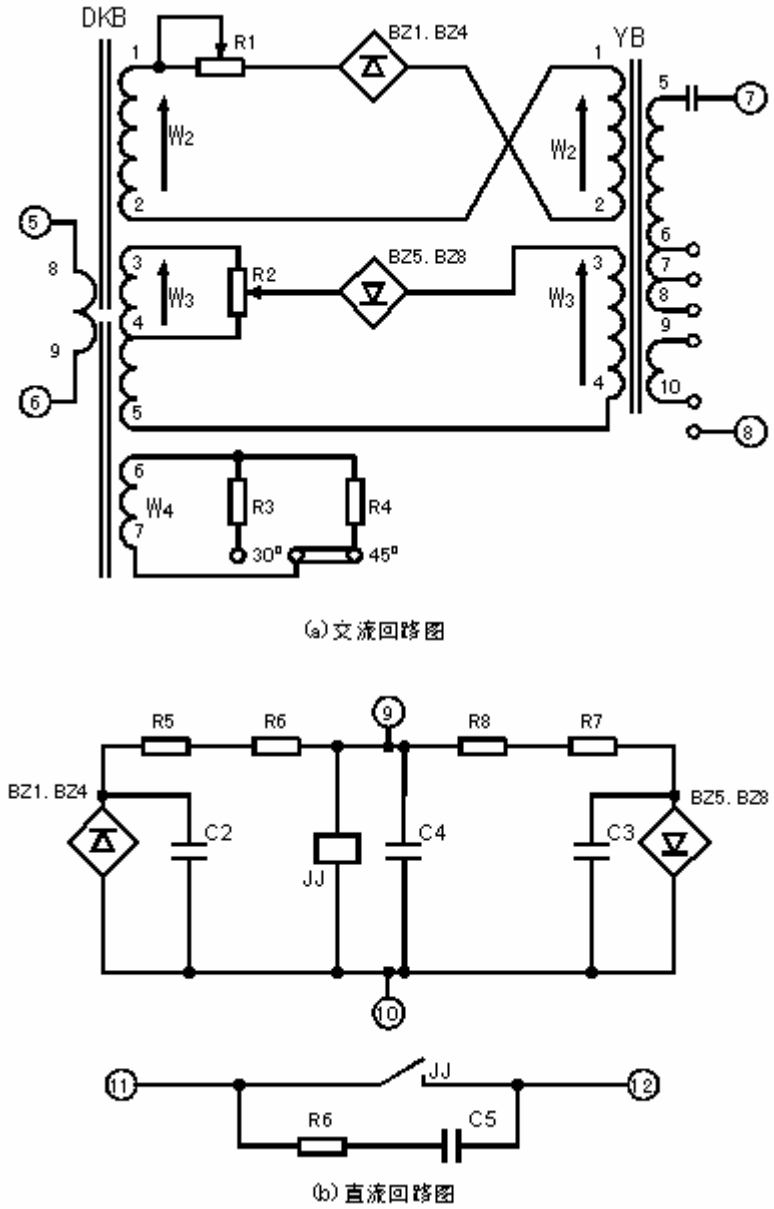


图 7-1　LG-11 功率方向继电器原理接线图

为了消除电压死区，功率方向继电器的电压回路需加设“记忆回路”，就是需要电容 C1 与中间变压器 YB 的绕组电感构成对 50Hz 串联谐振回路。这样当电压 U_m 突然降低为零时，该回路中电流 I_m 并不立即消失，而是按 50Hz 谐振频率，经过几个周波后，逐渐衰减为零。而这个电流与故障前电压 U_m 同相，并且在谐振衰减过程中维持相位不变。因此，相当于“记住了”短路前的电压的相位，故称为“记忆回路”。

由于电压回路有了“记忆回路”的存在，当加于继电器的电压 $\dot{U}_m \approx 0$ 时，在一定的时间内 YB 的二次绕组端钮有电压分量 $\dot{K}_y \dot{U}_m$ 存在，就可以继续进行幅值的比较，因而消除了在正方向出口短路时继电器的电压死区。

在整流比较回路中，电容 C2 和 C3 主要是滤除二次谐波，C4 用来滤除高次谐波。

2．功率方向继电器的动作特性

继电器的动作特性如图 7-2 所示，临界动作条件为垂直于最大灵敏线通过原点的一条直线，动作区为带有阴影线的半平面范围。最大灵敏线是超前$\dot{U}_m$为　角的一条直线。电流$\dot{I}_m$的相位可以改变，当$\dot{I}_m$与最大灵敏线重合时，即处于灵敏角$\varphi_{sen}=-\alpha$情况下，电压分量

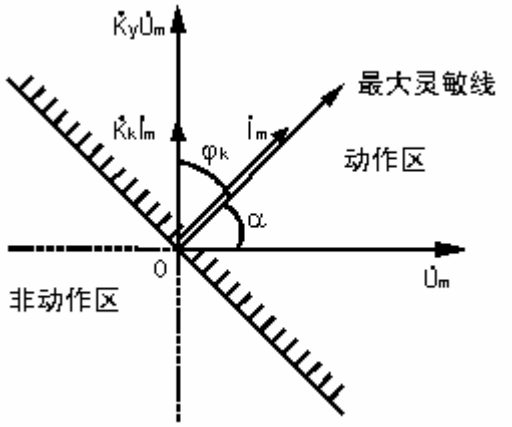


图 7-2 功率方向继电器动作特性

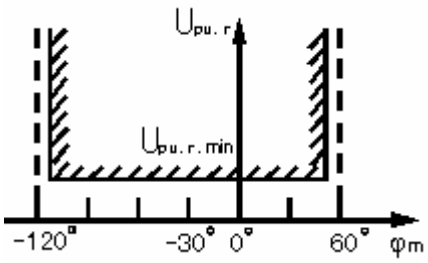


图 7-3 功率方向继电器的角度特性(φ=30°)

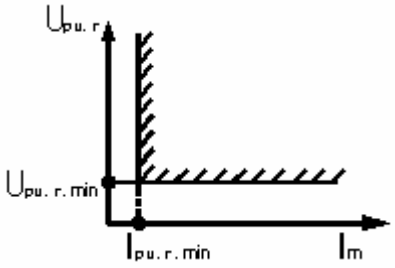


图 7-4 功率方向继电器的伏安特性

$\dot{K}_K\dot{I}_m$与超前U_m为90^0相角的电压分量$\dot{K}_y\dot{U}_m$相重合。

通常功率方向继电器的动作特性还有下面两种表示方法：

（1）角度特性：表示 Im 固定不变时，继电器起动电压$U_{pu..r}=f(\varphi_m)$的关系曲线。理论上此特性可用图 7-3 表示，其最大灵敏度为$\varphi_{sen}=-\alpha$。当　k =60^0时，φ_{sen}=-30^0，理想情况下动作范围位于以φ_{sen}为中心的±90^0以内。在此动作范围内，继电器的最小起动电压$U_{pu..r.\min}$基本上与　r 无关，当加入继电器的电压$U_r<U_{pur.\min}$时，继电器将不能起动，这就是出现“电压死区”原因。

（2）伏安特性：表示当$\varphi_m=\varphi_{sen}$固定不变时，继电器起动$U_{pu...r}=f(I_m)$的关系曲线。在理想情况下，该曲线平行于两个坐标轴，如图 7-4 所示，只要加入继电器的电流和电压分别大于最小起动电流$I_{pu..r.\min}$和最小起动电压$U_{pu..r.\min}$继电器就可以动作。其中$I_{pu.r.\min}$之值主要取决于在电流回路中形成方波时所需加入的最小电流。

在分析功率方向继电器的动作特性时，还要考虑继电器的“潜动”问题。功率方向继电器可能出现电流潜动或电压潜动两种。

所谓电压潜动，就是功率方向继电器仅加入电压$\dot{U}_m$时产生的动作。产生电压潜动的原因是由于中间变压器 YB 的两个二次绕组 W3．W2 的输出电压不等，当动作回路 YB 的 W2

端电压分量$\dot{K}_y\dot{U}_m$大于制动回 YB 的 W3 端电压分量$\dot{K}_y\dot{U}_m$时，就会产生电压潜动现象。为了消除电压潜动，可调整制动回路中的电阻 R3，是 I_m =0 时，加于两个整流输入端的电压相等，因而消除了电压潜动。

所谓电流潜动，就是功率方向继电器仅通过电流$\dot{I}_m$ 产生的动作。产生电流潜动的原因是由于电抗变压器 DKB 两个二次绕组 W2．W3 的电压分量$\dot{K}_K\dot{I}_m$不等，当 W2 电压分量$\dot{K}_K\dot{I}_m$大于 W3 端电压分量$\dot{K}_K\dot{I}_m$（也就是动作电压大于制动电压）时，就会产生电流潜动现象。为了消除电流潜动，可调整动作回路中的电阻 R1，使U_m=0 时，加于两个整流桥输入端的电压相等，因而消除了电流潜动。

发生潜动的最大危害是在反方向出口处三相短路时，此时$U_m \approx 0$，而 I_m 很大，方向继电器本应将保护装置闭锁，如果此时出现了潜动，就可能使保护装置失去方向性而误动作。

3．相间短路功率方向继电器的接线方式

由于功率方向继电器的主要任务是判断短路功率的方向，因此，对其接线方式应提出如下要求。

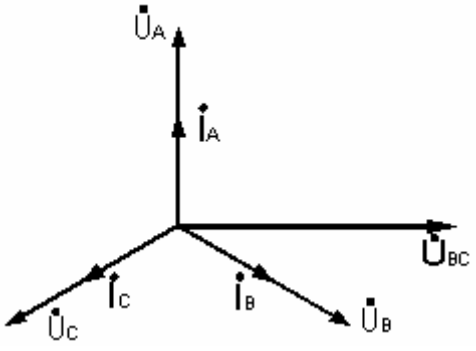


图 7-5　cosφ=1时 I_A、U_{BC}的向量图

（1）正方向任何形式的故障都能动作，而当反方向故障时则不动作。

（2）故障以后加入继电器的电流$\dot{I}_r$和电压$\dot{U}_r$应尽可能地大一些，并尽可能使φ_r接近于最灵敏角φ_{sen}，以便消除和减小方向继电器的死区。

为了满足以上要求，功率方向继电器广泛采用的是 90°接线方式，所谓 90°接线方式是指在三相对称情况下，当$\cos\varphi=1$时，加入继电器的电流如$\dot{I}_A$和电压$\dot{U}_{BC}$相位差 90°。如图 7-5 所示，这个定义仅仅是为了称呼的方便，没有什么物理意义。

采用这种接线方式时，三个继电器分别接于$\dot{I}_A$、$\dot{U}_{BC}$、，$\dot{I}_B$、$\dot{U}_{CA}$和$\dot{I}_C$、$\dot{U}_{AB}$而构成三相式方向过电流保护接线图。在此顺便指出，对功率方向继电器的接线，必须十分注意继电器电流线圈和电压线圈的极性问题，如果有一个线圈的极性接错就会出现正方向拒动，反方向误动的现象。

三．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-09	继电器（七）功率方向继电器	1
3	EPL-11	交流电压表	1
4	EPL-11	交流电流表	1
5	EPL-12B	电秒表、相位仪	1
6	EPL-17A	三相电源	1
7	EPL-11	直流电源及母线	1
8	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1

四．实验内容

本实验所采用的实验原理接线如图 7-6 所示。图中，380V 交流电源经调压器和移相器调整后，由 BC 相分别输入功率方向继电器的电压线圈，A 相电流输入至继电器的电流线圈，注意同名端方向。

1.熟悉 LG-11 功率方向继电器的原理接线和相位仪的操作接线及试验原理。

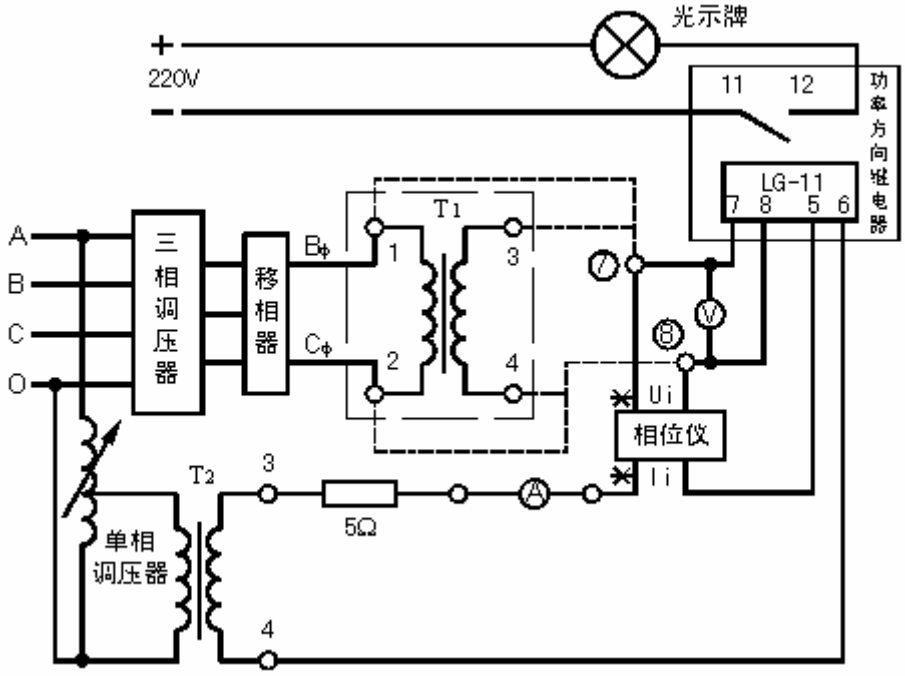


图 7-6 实验原理接线图

移相器的输出信号从 EPL-17A 面板的移相输出端 Bϕ、Cϕ引出，送至相位仪和功率方向继电器的电流信号从 EPL-20A 面板下部的单相调压器 3．4 端引出，电压信号则根据电压的大小或直接从 Bϕ、Cϕ引出，或经过 EPL-20A 的 T_1 降压变压器引出。图中用虚线特别标明。

2．按实验线路接线，图中⑦、⑧分别和 T_1 变压器的 1．2 端连，和 T_1 变压器的 3．4 端断开。并检查确认两个调压器的旋钮处于逆时针到底位置。

(1) 检查功率继电器是否有潜动现象

电压潜动测量：将电流回路开路，可通过断开 5Ω电阻和变压器 T_2 的 3 端连接实现。调节桌面上的三相调压器对电压回路加入 110V 电压 ，用万用表测量极化继电器 KP 两端之间电压（EPL-10 面板的 9．10 端），若小于 0.1V，则说明无电压潜动。

3．用实验法测 LG-11 整流型功率方向继电器角度特性 *Upu=f( )*,并找出继电器的最大灵敏度角和最小动作电压。

按实验线路接线，图中⑦、⑧分别和 T_1 变压器的 1．2 端连，和 T_1 变压器的 3．4 端断开。并检查确认两个调压器的旋钮处于逆时针到底位置。

(1) 顺时针调节 EPL-20A 的单相调压器，使电流表的读数为 1A，并在以后的实验中保持不变。

(2) 顺时针调节桌面上的三相调压器旋钮，使交流电压表的读数为 100V，观察光示牌的动作情况：

(a) 若光示牌亮，则顺时针摇动移相器手柄，同时观察相位仪的读数，读出当光示牌从亮到灭时，相位仪的角度（临界角度φ_1）并填入表 7-1，然后继续逆时针摇动手柄，直至光示牌重新亮，再反方向缓慢摇动手柄，读出当光示牌再次灭时相位仪的读数（临界角度φ_2）。

(b) 若光示牌灭，可参考上述方法，分别读出两个临界角度φ_1 和φ_2。

(3) 逆时针调节桌面上的三相调压器旋钮，当电压分别为 80V、50V、30V、20V，按照前述方法，摇动移相器手柄，观察相位仪和光示牌的动作情况，读出两个临界角度φ_1 和φ_2，填入表 5-1 中。

(4) 改变接线方式，断开⑦、⑧和 T_1 变压器 1．2 端的连接，分别将⑦、⑧和 T_1 变压器 3．4 端的连接。然后调节三相调压器，当电压表读数分别为 10V、5V、2.5V、2V 时，继电器动作的临界角度φ_1 和φ_2。

注意：①由于电压低时，改变电压对临界角度φ_1 和φ_2 的影响较大，所以要求尽可能在摇动移相器手柄时，同时调节三相调压器旋钮，使输出电压保持不变。②由于相位仪要求一定的输入电压（当电压信号太低时，会对相位仪的稳定性产生影响）。

(5) 保持电流为 1A 不变，通过移相器改变φ角，测量不同φ角情况下，使继电器动作（光示牌由不亮变亮）的最小动作电压，并填入表 7-2 中。

注意：当移相角调到φ角后，调节三相调压器改变输出电压会对φ角产生影响，所以须对移相器和调压器进行同时调节以确保数据准确。

表 7-1　　角度特性 *Upu =f(φ)*实验数据

U(V)	100	80	50	30	20	10	5	2.5	2
φ_1									
φ_2									

表 7-2　　角度特性 *=f(U_{min})*实验数据

	φ_1								φ_2
U_{min} (V)									

(4) 绘出功率方向继电器的角度特性；

(5) 计算继电器的最大灵敏度角 $\varphi_{sen}=(\varphi_{1i}+\varphi_2)/2$,绘制角度特性曲线，并标明动作区。

4．用实验法作出功率方向继电器的伏安特性 *Upu=f(Ir)*和最小动作电压。

(1) 摇动移相器的手柄，使 φ_{sen} =(φ_{1i}+φ_2)/2， 并保持不变。

(2) 调节三相调压器的电压至 100V 并保持不变。

(3) 调节 EPL-20A 的单相调压器，改变输出电流，记下使继电器动作（指示灯由不亮变亮）的电流表的读数填入 7-3 中。

(4) 参考步骤三，分别调节三相调压器的电压至 80V、50V、30V、20V、10V、5V、2.5V、2V,，改变输入电流使继电器动作，记下此时的电流值；

(5) 注意找出使继电器动作的最小电压和电流；

(6) 绘出 *Upu=f(Ir)*特性曲线。

五．思考题

1．功率方向继电器为什么会有死区？应如何消除死区？

2．用相量图分析加入功率方向继电器的电压、电流极性发生变化对动作特性的影响？

3．LG-11 整流型功率方向继电器的动作是否等于 180°？为什么？

4．整流型功率方向继电器的角度特性与感应型功率方向继电器角度特性有什么差异？

5．功率方向继电器为什么要采用 90°接线？用 0°接线行不行？

6．改变内角 对保护动作性能有何影响？它有何实质意义？

7．角度特性及伏安特性有什么用途？

附：LG-11/12 型功率方向继电器

一．技术数据

1．额定数据

额定电流：5A 或 1A。

额定电压：100V。

额定频率：50Hz。

2．继电器的灵敏角：LG-11 型，-30^0 或-45^0，LG-12 型$+70^0$；灵敏角的误差$\pm5^0$。

3．在灵敏度下通入额定电流时继电器的动作电压不大于 2V。

4．返回系数：继电器的返回电压和动作电压之比不小于 0.45。

5．动作时间：对于 LG-11 型，在灵敏角下，电压由额定突然降 4 倍最小动作电压，电流同时由 0 升至额定电流时，动作时间不大于 30ms；对于 LG -12 型，在灵敏角下，同时突然加入额定电流和 4 倍最小动作电压时，动作时间不大于 40ms。

6．记忆时间，对于 LG-11 型，当模拟保护出口处短路在灵敏角下，突然如额定电流及 10 倍额定电流，电压自 100V 同时突然降到 0 的情况下，继电器应可靠动作，其极化继电器动作保持时间不小于 50ms。

7．功率消耗：电流回路不大于 6VA，电压回路不大于 20VA。

8．继电器可以长期耐受 1.1 倍的额定电压及额定电流。

9．当电压不大于 220V 电流不大于 1A 时，触点能断开直流有感负荷（时间常数不大

于 5×10^{-3}S）20W。

10．继电器电路与外壳间的绝缘电阻在温度+40℃及相对湿度为 85%时不小于 10MΩ。

11．继电器的绝缘强度应耐受交流 50Hz 电压 2kV 历时 1min 的耐压试验而无击穿或闪络现象。

二．使用与维护

继电器在使用前应首先检查运输中是否发生损坏，先进行机械检查各螺钉是否紧固，各焊点是否牢固可靠，然后检查极化继电器，将极化继电器（2）-（3）短接，（1）和（4）加电流，（4）为正极性，要求动作电流不大于 1mA，返回系数不小于 0.5，触点间隙不小于 0.2mm。如发现不符合要求时，可以调整左止挡螺钉，以改变动作电流值，调整右止挡螺钉，以改变返回电流值。如调整止挡螺钉达不到要求时，允许移动瓷座位置来调整，直到满足要求为止。

调好极化继电器后将极化继电器插上，进行电气性能检查，先进行潜动检查，电压回路经 20Ω 短路，电流回路通入额定电流，测量极化继电器线圈上，即（9）（10）端子上的电压调整 R1 使电压为零，然后在电压回路加电压 100V，电流回路开路测量极化继电器线圈电压，调整 R2 使为零，反复调整电压电流潜动，使极化继电器线圈线圈电压为零，然后在上述条件下突然加入及切除 10 倍额定电流或 100V 电压，继电器触点不应有鸟啄现象。如发现在切除大电流或 100V 电压时触点有鸟啄现象，可更换比较回路电阻或电容使制动回路电容放电时间常数不小于工作回路电容放电时间常数。更换后应重新进行潜动调整，潜动调整完毕后，将电位器制动螺母锁紧，然后再检查继电器的灵敏角和灵敏度及返回系数，应满足技术要求。对于 LG-11 型发现灵敏角超差，应检查电压谐振回路是否失调，加电压 100V 时应满足 $U_C-U_L=10-15V$ 可通过改变电感抽头及增减一小绕组来达到，同时进行记忆特性试验，当模拟出口处短路，电压自 100V 突然降到零，电流不大于 0.2 倍额定电流的情况下继电器应可靠动作，然后再作瞬变检查，在最大灵敏角反向处突然加 10 倍额定电流同时 100V 电压突然降到零时继电器应无鸟啄现象。

实验七　差动继电器实验

一．实验目的

掌握具有磁力制动特性的 DCD-5 差动继电器的工作原理，结构特点及实验方法，了解其调试方法。

二．DCD-5 型差动继电器简介

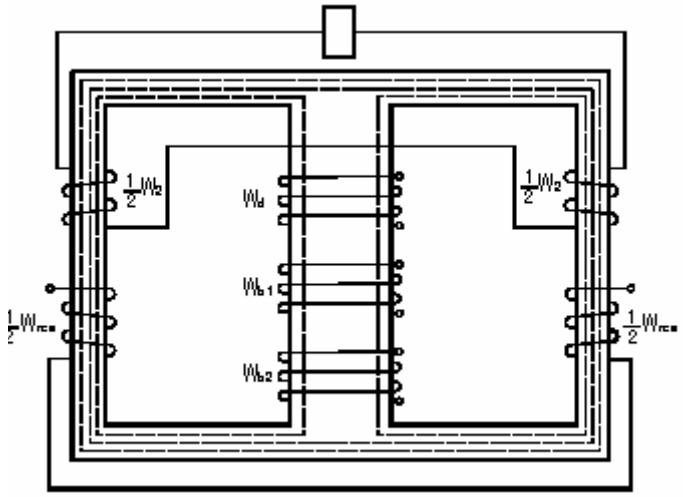


图 8-1 绕组在导磁体上的分布示意图

DCD-5 型差动继电器用于电力变压器的差动保护。由于继电器带有一个制动绕组，当被保护变压器外部故障不平衡电流较大时，能产生制动作用。

这两部分磁通分别在 W2 的两部分绕组中感应出电势，该电势达一定值时（视执行元件的动作电压而定），执行元件就动作。制动绕组 W_{res} 的作用是加速两侧边柱的饱和，从而使得 W2 与 Wd、Wb1．Wb2 间的相互作用减弱。从图 8-1 中可以看出，在一侧边柱内，差动绕组中电流 $\dot{I}_d$ 产生的磁通 $\dot{\phi}_d$ 和制动绕组中电流 $\dot{I}_{res}$ 产生的磁通 $\dot{\phi}_{res}$ 相加，而在另一侧边柱内，$\dot{\phi}_d$ 和 $\dot{\phi}_{res}$ 相减，因而每侧边柱内的合成磁通等于着两个磁通的向量和。令　表示工作电流和制动电流间的相位角，当　=0°或 180°时，两边柱内的合成磁通分别为 $\dot{\phi}_d$ 、$\dot{\phi}_{res}$ 绝对值的和或差；而在　=90°或 270°时，两边柱内的合成磁通相等。由此看出，继电器的动作电流（即 Wd 内的电流）不仅与 W_{res} 内的大小有关，而且还与二者之间的相位有关。当二者间的相位一定时，继电器的动作电流随 W_{res} 内电流的增减而增减，继电器具有制动特性的概念。

Wb1，Wb2 和 Wd 的绕向一致，所以平衡绕组产生的磁通起着增强或削弱差动绕组产生的磁通作用（两绕组内电流方向相同时起增强作用，方向相反时起削弱作用）。由于变压器各侧电流互感器的变化不能完全配合，在变压器正常运行时，Wd 中有不平衡电流 I_{unb} 流过。当平衡绕组接入后，如果平衡绕组的匝数选得适当，就能完全或几乎完全使 I_{unb} 得到补偿使得变压器在正常运行时，W2 内完全或几乎完全没有 I_{unb} 感应电势，从而提高了保护装

置的可靠性。当保护区内部发生故障时，流过平衡绕组内的电流所产生的磁通与差动绕组内电流所产生的磁通方向一致，于是就增加了使继电器动作的安匝数，从而提高了保护装置的灵敏度，此时即 Wd、Wb1．Wb2 三个绕组绕向一致的原因。

除 W2 外，其余的绕组都有一定数量的抽头，抽头的引出线都接在饱和变流器前面的面板上。面板上有插孔，孔下有标号。除制动绕组插孔下的标号是指一侧边柱的匝数外，其它各绕组插孔下的标号均系实际匝数。利用螺丝插头插在不同的孔中，就能得到相应的匝数。应特别注意：每个平衡绕组具有两组抽头（0、1．2．3）和（0、4．8．12．16），两个螺丝插头必须分别插入（0、1．2．3）或（0、4．8．12．16）的孔中。若螺丝插头同时都插入（0、1．2．3）或（0、4．8．12．16）的两孔中，将在平衡绕组中造成短路和开路现象，这将会引起保护装置误动作和使电流互感器开路。这一点在图 6-2 中看得很清楚。继电器引出端子名称匝数选择见表 8-1。

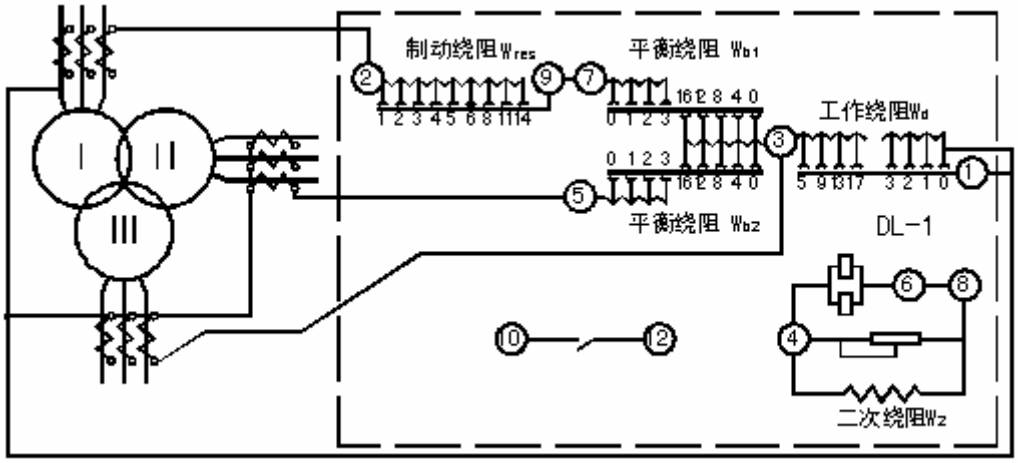


图 8-2 继电器内部原理及接线

表 8-1

线圈代表符号	线圈名称	总匝数
Wd	差动线圈	20
Wb1	平衡线圈 I	19
Wb2	平衡线圈 II	19
W2	二次线圈	
W_{res}	制动线圈	14

三．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-09	继电器（六）—DCD-5 型差动继电器	1
3	EPL-11	交流电压表	1
4	EPL-11	交流电流表	1

5	EPL-17A	三相电源	1
6	EPL-11	直流电源及母线	1
7	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1

四．实验内容

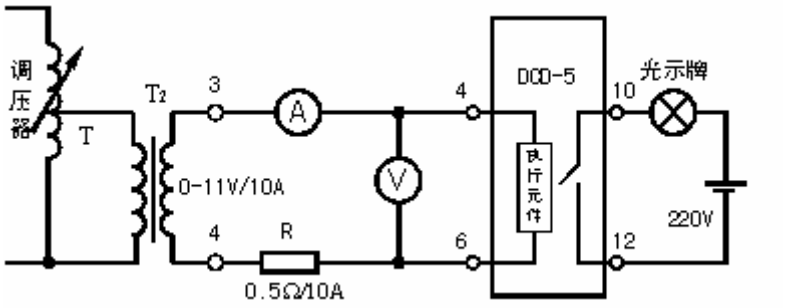


图 8-3 执行元件实验接线图

1．熟悉 DCD-5 差动继电器的结构原理和内部接线图

2．执行元件的检验：

（1）实验接线如图 8-3 所示：调压器 T 和变压器 T_2 及电阻位于 EPL-20A，交流电流表（EPL-11）量程为 2 A，交流电压表（EPL-11）量程为 20 V。

（2）实验说明

本实验是对执行元件单独进行实验。应特别注意，执行元件的动作电压是指执行元件起动后再用非磁性物体把舌片卡在动作位置的电压值。动作电压应满足 1.5～1.8V，动作电流满足 220～230mA，返回系数为 0.7～0.85。

（3）实验方法与步骤

确认调压器 T 的调节旋钮处于逆时针位置，检查无误后，合上主电路电源开关和 220V 直流电源船型开关，顺时针调节自耦调压器，增大输出电压，并同时观察交流电流表和交流电压表的读数及光示牌的动作情况。

注意：由于电压较低，需对调压器进行缓慢调节，特别当电压接近 1.5V 时，更应小心操作。

当光示牌由灭变亮时，说明继电器动作，分别读取执行元件的动作电压和动作电流值。然后，逆时针调节自耦变压器，当光示牌由亮变灭时，读取执行元件的返回电流值。

测量应重复三次，填入表 8-2 中，其离散值不大于±3%，否则应检查原因。

表 8-2

动作电流 I_{pu}(mA)	返回电流 I_f (mA)	返回系数 K_f	动作电压 U_{pu} (V)

如果实验时电源频率不是 $50H_Z$，应按每偏差±$1H_Z$ 电压值改变±2%进行修正。

3．动作安匝检验（无制动时起始动作安匝）

（1）实验接线如图 8-4 所示，交流电流表（EPL-11）量程为 10A。

（2）实验说明

平衡绕组 W_{b1}. W_{b2} 的两个整定螺钉分别都插入 0 匝，工作绕组的整定螺钉插入 20 匝，制动绕组的整定螺钉插入 14 匝。

（3）实验方法与步骤

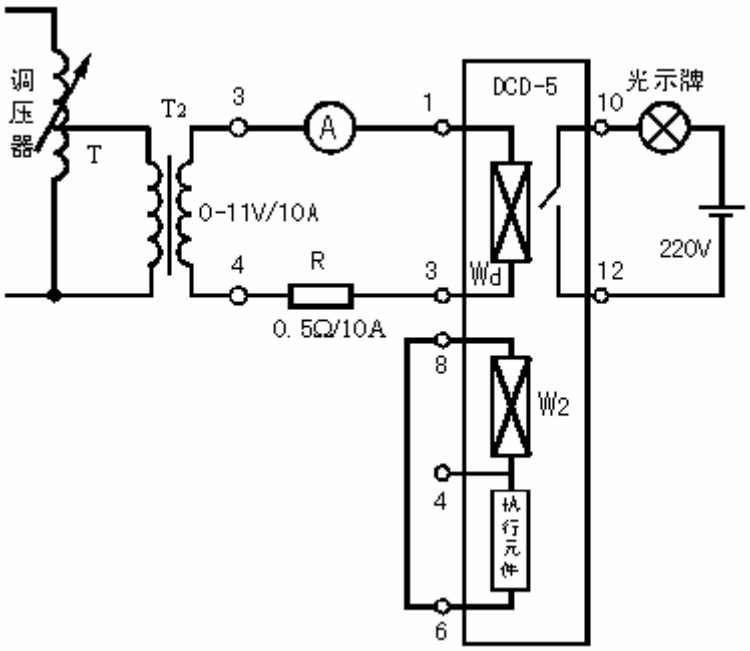


图 8-4 动作安匝实验接线图

a．拆下玻璃罩子，按要求把各个绕组的整定螺钉插入对应的孔位。

b.确认调压器 T 的调节旋钮处于逆时针位置,检查无误后,合上主电路电源开关和 220V 直流电源船型开关，顺时针调节自耦调压器，增大输出电压，并同时观察交流电流表及光示牌的动作情况。

注意：当电流接近 3A 时，应小心操作,对调压器进行缓慢调节。

当光示牌由灭变亮时，说明继电器动作，读取动作电流值记下此时电流即为动作电流，动作电流乘以使用的绕组匝数即为动作安匝 A.W_d 。动作安匝符合 60±4，以此值为基准.

c. 分别改变工作绕组 W_d 为 13 匝、10 匝，用上述实验方法测动作电流，填入表 6-3 中。

表 8-3

W_d（匝）	20	13	10
$I_{PU}(A)$			
$W_d \times I_{PU}$			

如果动作安匝距离要求相差不大时,可采用将执行元件动作值适当增减(在要求范围内）的办法和稍许改变速饱和变流器铁芯正紧螺丝松紧程度的办法使之符合要求。如果相差较大，则必须用改变变流器铁芯组合方式的方法进行调整。

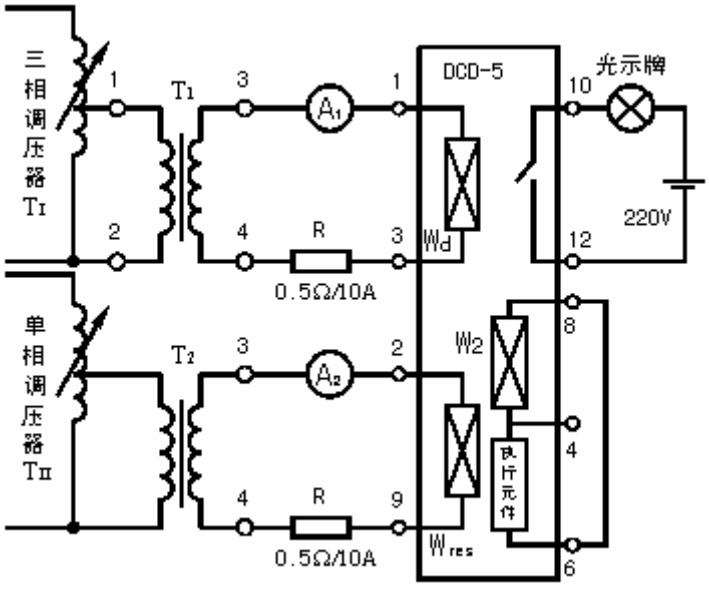


图 8-5 制动特性实验接线图

4．制动特性实验

（1）实验接线如图 8-5 所示，W_d =20 匝，W_{res} =14 匝。调压器 T_I 为三相调压器，引出端位于 EPL-17A，调压器 T_{II} 为 EPL-20A 的单相调压器，内部已接 a 相。降压变压器 T_1 位于 EPL-20A 上部。

（2）实验步骤

（I）绘制当 ψ=0^0 时的制动曲线 $W_d I_{puj} = f(W_{RES} \cdot I_{RES})$

a．按图 8-5 接线，其中工作绕组 W_d 接三相调压器的 A 相，和制动绕组 W_{res} 同相，即变压器 T_1 的“1”端接 EPL-17A 的 A 端，“2”端接 EPL-17A 的 N 端。

b．检查无误后，先将调压器 T_I 和 T_{II} 逆时针回零，即差动继电器的工作电流和制动电流均为零。合上主电路电源开关和 220V 直流电源船型开关。

c．顺时针调节桌面上的三相自耦调压器，增大工作绕组 W_d 的电流，并同时观察交流电流表及光示牌的动作情况。

d．当光示牌由灭变亮时，说明继电器动作，记录此时动作电流，填入表 8-4.1 中；

e．逆时针调节桌面上的三相自耦调压器回零。

f．调节 EPL-20A 的单相调压器，逐渐增加制动回路电流，并同时调节桌面上的三相自耦调压器，并同时观察交流电流表 A_1. A_2 及光示牌的动作情况。

g．记录当 A_2 的读数为 1A 且光示牌动作时的 A_1 读数并填入表 8-4.1 中。

h．重复步骤 e、f、g，分别记录当 A_2 的读数为 2A、4A、6A、8A、10A 且光示牌动作时的 A_1 读数并填入表 8-4.1 中。

i．绘制出制动曲线 $W_d I_{puj} = f(W_{RES} \cdot I_{RES})$。

注意：由于改变工作绕组 W_d 的电流时，制动绕组 W_{res} 的电流也跟着改变，所以需同时调节三相调压器和单相调压器的调节旋钮，并观察两个电流表的读数和光示牌的动作情况。当 I_{res} 的读数接近要求的值时，应小心调节。此实验必须尽可能地读数准确，否则会引起较大的误差。

表 8-4.1　W_d =20 匝，W_{res} =14 匝，ψ=0^0

I_{res} (A)	0	1	2	4	6	8
I_{pu} (A)						

（II）绘制当 ψ=30^0 时的制动曲线 $W_d I_{puj} = f(W_{RES} \cdot I_{RES})$

改变三相调压器接线，使差动线圈 W_d 接在三相调压器的 A、C 端上，造成两个线圈的电流有 30^0 相位差，这里是指动作电流超前于制动电流的角度 ψ。重复上述方法测出起动电流填入表 8-4.2 中并作出制动特性曲线,。并分析 ψ 角度的不同制动特性的变化。

表 8-4.2　W_d =20 匝，W_{res} =14 匝，ψ=30^0

I_{res} (A)	0	1	2	4	6	8
I_{pu} (A)						

（III）绘制当 ψ=60^0 时的制动曲线 $W_d I_{puj} = f(W_{RES} \cdot I_{RES})$

改变三相调压器接线，使差动线圈 W_d 接在三相调压器的 N、C 端上，使动作电流超前于制动电流的角度 ψ 为 60^0，重复上述方法测出起动电流填入表 8-4.3 并作出制动特性曲线。并分析 ψ 角度的不同制动特性的变化。

表 8-4.3　W_d =20 匝，W_{res} =14 匝，ψ=60^0

I_{res} (A)	0	1	2	4	6	8
I_{pu} (A)						

（IV）绘制当 ψ=90^0 时的制动曲线 $W_d I_{puj} = f(W_{RES} \cdot I_{RES})$

改变三相调压器接线，使差动线圈 W_d 接在三相调压器的 B、C 端上，使动作电流超前于制动电流的角度 ψ 为 90^0，重复上述方法测出起动电流填入表 8-4.4 并作出制动特性曲线。并分析 ψ 角度的不同制动特性的变化。

表 8-4.4　W_d =20 匝，W_{res} =14 匝，ψ=90^0

I_{res} (A)	0	1	2	4	6	8
I_{pu} (A)						

附：DCD-5A 型差动继电器

一．　主要技术性能及参数

1．额定值

额定电流 5A，额定周率 50Hz。

2．无直流分量时，继电器起始动作安匝 AW_0=60±4。

3．当用于保护三绕组变压器时继电器的动作电流可在 3-12A 的范围内进行整定（AW_0=50），对于动作电流的最小整定值，其最大平衡系数接近于 2。

当用于保护两绕组变压器时，动作电流可以在 1.55～12A（AW_0=60）这样更细的范围内调整。

4．制动系数

继电器在工作绕组中的动作电流对制动绕组中的电流（当 AW_T=280）时的比值可以改变。

a.对于最大整定动作电流为 0.18 以上；

b.对于 3A 的整定动作电流为 0.63 以下；

图 3 为制动电流与工作电流间有不同的移相角时 AWp=f(AWr)的关系曲线。由图 3 可以看出制动系数与工作电流和制动电流间移相角的关系不能超过这两条特性曲线。

5．可靠系数

继电器的可靠系数应不小于 1.35。

当差动继电器动作时，其动作电流为 Icp，执行元件的正弦动作电流为 i_{cp}，然后转动指针拧紧游丝，使得继电器的动作电流为 5Icp，并测量执行元件相应的正弦动作电流 i_{cp5}，按下式算出可靠系数。

$$K_H=\frac{I_{cp1}}{I_{cp5}}$$

在相同情况下，当差动继电器的动作电流为 2Icp 时，上述比便不小于 1.2。

6．3 倍动作电流时，差动继电器的动作时间不大于 0.035s。

7．功率消耗

在额定电流时，继电器的单相功率消耗不应大于如下规定。

a.在正常情况下，当变流器的制动和平衡绕组的匝数全部接入时，不大于 8.5VA；

b.在区内故障时，变流器的制动、平衡和工作绕组的匝数全部接入时，不大于 20VA 。

8．在正常情况下，继电器的工作绕组，制动绕组，平衡绕组能长期通过 10A 的电流。

9．触点性能

继电器触点应能断开电压不超过 250V 及直流不超过 2A，容量为 50W 的有感负荷（时间常数为 5±0.75ms）的直流回路，触点在此规定负荷的条件上，继电器应可靠动作 1000 次。

10．机械寿命

继电器的机械寿命为 10^4 次。

11．继电器各导电电路连在一起对地（或绝缘外壳的外露非导电金属部分）以及在电气上无联系的各导电电路之间应能承受 2KV（有效值）50Hz 的交流试验电压，历时 1min 试验而不绝缘击穿或闪络现象。

12．继电器能耐受幅值 5KV 的冲击电压，此后无绝缘损坏现象。

13．继电器的重量约 5kg。

14．继电器的绕组数据见下表。

绕组	绕组数据	铁芯截面积	备注
工作	Wp=20 匝 1.81 一双纱包铜线	S=1.25 cm^2（边柱）	各绕组抽头见图 6.2
平衡 I、II	W_{Y1}= W_{Y2}=19 匝 1.81 一双纱包铜线		
二次	2×W_2=48 匝 1.45 一双纱包铜线		
制动	2×W_Z=2×14 匝 1.81 一双纱包铜线		
执行元件	2×W=2×280 匝 QQ-0.5 漆包铜线	S=2.64 cm^2	两只线圈并联

二．使用与维护

1．工作绕组、平衡绕组及制动绕组的整定

打开壳罩，即可进行工作绕组，平衡绕组及制动绕组的整定。工作绕组、平衡绕组及制动绕组均有抽头可以满足多种整定值的要求。继电器整定板下方的数字即表示相应的绕组匝数。平衡绕组及工作绕组各分成两段整定，这种设计可以用较少的抽头，获得较多的匝数组合，从而使整定范围广泛而又不失精细，每块整定板上有两个整定螺钉，每个整定螺钉可在各自的一段范围内整定，两个螺丝整定位置下所标示的数字之和即为绕组的整定匝数。（需注意的是，当同一整定板上的两个整定螺钉没整定在各自的范围内或者不接入时，绕组是断开的。）

2．当断电器用于保护三绕电力变压器时，应用两个平衡绕组，并将它们分别接在环流回路的两个臂上，这样就能平衡三个环流回路里不平衡电流的效应。当用于保护两绕组电力变压器时，只要应用一个平衡绕组。在不平衡电流较大的情况下，平衡绕组接入环流回路，当不平衡电流较小，或用于保护交流发电机时，平衡绕组可以接入工作回路，以扩大整定值的范围，平衡绕组的作用可以用两个电流互感器二次电流的比值所决定的平衡系数来表示，实际的平衡系数应用绕组接入的匝数计算。按图 4 的线路设 I_1. I_2 分别表示两个电流互感器的二次电流，且 I_1 大于 I_2，平衡绕组通常接在电流较小的环流臂上。当工作回路的合成磁化力为零时，不平衡电流的效应便被全部消除，因而得到下列方程式：

（I_1-I_2）Wp- I_2 W_Y=0 （1）或 I_1Wp= I_2（Wp+ W_Y） （2）

平衡系数 K_Y 为：

$$K_Y=\frac{I_1}{I_2}=\frac{W_p+W_y}{W_p}$$

3．继电器的起始动作安匝可借电位器 W 在不大于的范围内调整。调整时应先松开紧固螺帽，然后用“一”字型螺刀调节电位器旋柄即可。

4．在继电器的工作过程中，应注意不能改变名牌上指针的位置。

实验八　三相一次重合闸实验

一．实验目的

1．熟悉三相一次重合闸装置的电气结构和工作原理。

2．理解三相一次重合闸内部器件的功能和特性，掌握其实验操作及调整方法。

二．原理说明

DH-1 型三相一次重合闸装置用于输电线路上实现三相一次自动重合闸，它是重要的保护设备。重合闸装置内部接线见图 7-1。装置由一只时间继电器(作为时间元件)、一只电码继电器(作为中间元件)及一些电阻、电容元件组成。

装置内部的元件及其主要功用如下：

1．时间元件 KT：该元件由 DS-32 时间继电器构成，其延时调整范围为 1.2-5S，用以调整从重合闸装置起动到接通断路器合闸线圈实现断路器重合的延时，时间元件有一对延时常开触点和一对延时滑动触点及两对瞬时切换触点。

2．中间元件 KM：该元件由电码继电器构成，是装置的出口元件，用以接通断路器的合闸线圈。继电器线圈由两个绕组组成：电压绕组 KM（V），用于中间元件的起动；电流绕组 KM（I），用于在中间元件起动后使衔铁继续保持在合闸装置。

3．电容器 C：用于保证装置只动作一次

4．充电电阻 R_4：用于限制电容器的充电速度。

5．附加电阻 R_5：用于保证时间元件 DS 的线圈热稳定性。

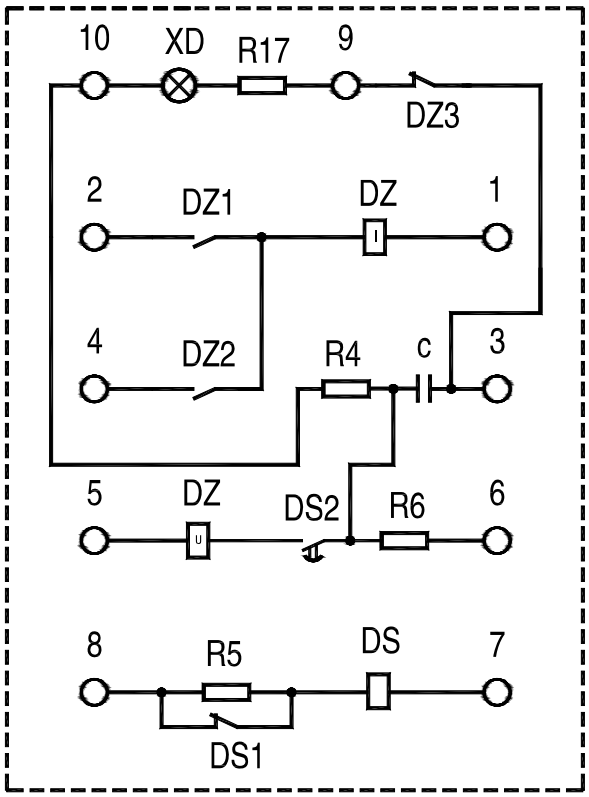


图5-1 自动重合闸装置内部接线图

6．放电电阻 R_6：在需要实现分闸，但不允许重合闸动作（禁止重合闸）时，电容器上储存的电能经过它放电。

7．信号灯 HL：在装置的接线中，监视中间元件的触点 ZJ1．ZJ2．和控制按钮的辅助触点是否正常，故障发生时信号灯应熄灭，当直流电源发生中断时，信号灯也应熄灭。

8．附加电阻 R_7：用于降低信号灯 HL 上的电压。

在输电线路正常工作的情况下，重合闸装置中的电容器 C 经电阻 R_4 已经充足电，整个装置处于准备动作状态。当断路由于保护动作或其它原因而跳闸时，断路器的辅助接点起动

重合闸装置的时间元件 KT，经过延时后触点 KT 闭合，电容器 C 通过 KT 对 KM（V）放电，KT 起动后接通了 KT（I）回路并自保持到断路器完成合闸。如果线路上发生的是暂时性故障，则合闸成功后，电容器自形充电，装置重新处于准备动作的状态。如线路上存在永久性故障，此时重合闸不成功，断路器第二次跳闸，但这一段时间远远小于电容器充电到使 KT（V）起动所必须时间（15-25S），因而保证装置只动作一次。

三．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-08A	自动重合闸	1
3	EPL-12	光示牌	1
4	EPL-14	按钮及电阻盘	1
5	EPL-12	电秒表、相位仪	1
6	EPL-11	直流电源及母线	1
	EPL-11	直流仪表	1

四．实验内容

1．DH-1 型自动重合闸装置实验接线见图 7-2，按图接线完毕后首先进行自检，然后请指导教师检查。(注意：接线时注意各接线端端口号)

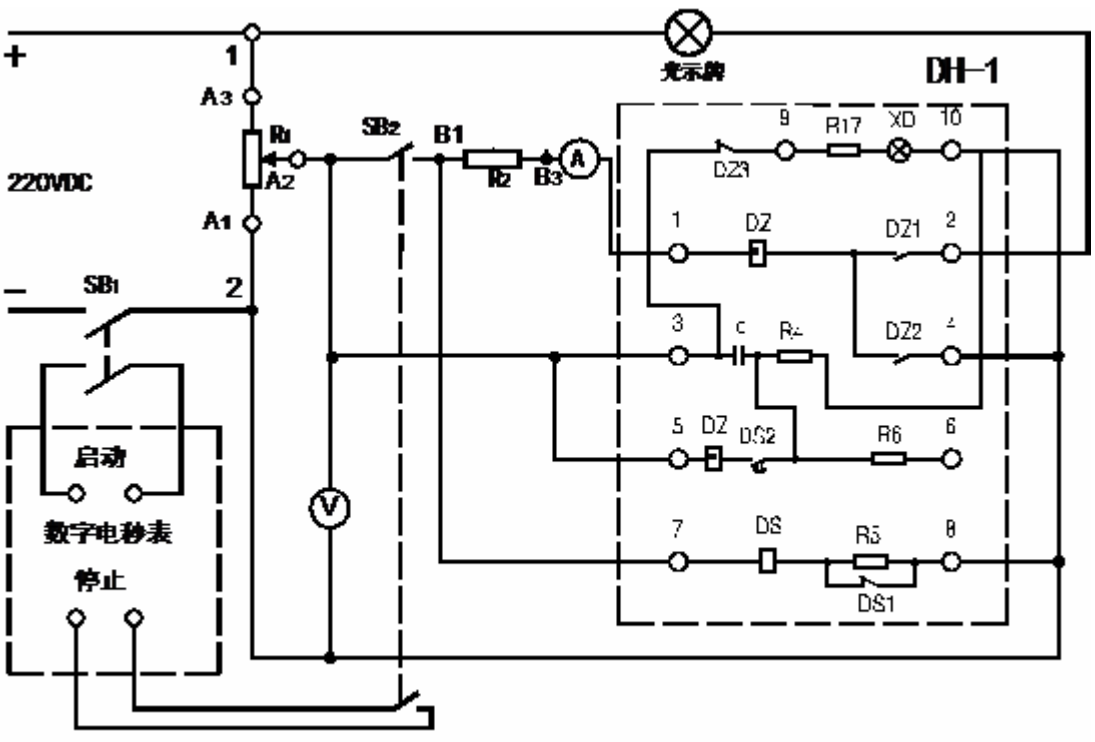


图7-2 自动重合闸装置实验接线图

电位器 R_1. R_2 采用 EPL-14 的双联电阻盘，注意接线必须按照图示，否则容易引起保护

动作。SB_1. SB_2 采用 EPL-14 的按扭开关。

2．时间继电器动作电压、返回电压的测定

（1）断开开关 SB_2，合上开关 SB_1，调节 R_1 使直流电压表的读数为 220V（装置的额定值），信号灯应发光，检查元件有无异常现象。

（2）调节 R_1 逐步降低输入电压至最小，合上开关 SB_2，再反方向调节 R_1 逐步提高输入电压至 KT 铁心可靠吸合。读取此时的电压值 U_{dj} 填入表 5-1。

（3）上述 KT 动作后，向反方向调节 R_1，逐步降低输入电压，读取 KT 返回的最高电压 U_{fj}（以时间继电器在弹簧作用下返回起始位置为准），并断开开关 SB_1 和 SB_2。

表 7-1 时间继电器动作电压、返回电压的测定

动作电压 U_{dj}	返回电压 U_{fj}

3． 保证只动作一次测定

（1）闭合 220V 电源船形开关和 SB_1 按钮开关，调节可变电阻 R_1 使直流电压表的读数为 220V。

（2）断开 SB_1 按钮开关，使自动重合闸电容器 C 放电，并对电秒表进行复位，量程置于秒档。

（3）合上 SB_1，对电容器 C 进行充电，同时电秒表开始记时，当到 30 秒后，合上 SB_2，时间元件动作，经过整定时间过后，重合闸发出重合信号，光示牌亮。

（4）接着断开 SB_2，断开之后再合上 SB_2，重合闸时间元件动作，但中间元件不应动作。

4．充电时间的测定

在额定电压下合上 SB_1 对 C 充电，经 T（12-25）秒后再投入 SB_2，中间元件 DS 应能可靠地动作并自保持。这时电秒表所记录的时间即为 T。

重复测定充电时间时，应先断开 SB_1，后断开 SB_2，以保证电容器的放电状态。并将电秒表回零，减小投入 SB_2 的时间 T 重复以上操作，进行第二次试验，直至测出中间元件 DS 刚好能可靠地动作的最小时间 T。则最小充电时间 T_{min} 等于 T 加上时间元件的整定值，若时间元件整定值小于 0.5S，则可忽略。

如充电时间不符合要求，因检查充电电阻、电容器是否良好，是否参数变值，若变值需更换 C 或 R_4 使之达到所需的充电时间。调整完毕，应再次测量中间元件的动作电压和自保持电流。

表 7-2 充电时间的测定

投入时间 T（S）				
可靠动作				

五．思考题

1．电容式重合闸装置主要组成元件是什么？各起什么作用？

2．电容式重合闸装置为什么只能重合一次？

3．重合闸装置 ZJ 两个触点为什么串联使用？

4．重合闸装置中充电电阻能否任意更换？为什么？

5．重合闸装置不动作的内部原因是什么？

6．电秒表使用应该注意什么？

六．实验报告

对重合闸继电器的动作特性，起动条件，实验操作进行总结，总结上述思考题，写出实验报告。

附：DH-1 型一次重合闸继电器

1 主要技术数据

1.1 直流额定电压：110V、220V。

1.2 中间元件电流绕组 KM(I)的额定保持电流为直流 0.25A；0.5A；1A；2.5A。

1.3 在额定电压下，电容器充电到使中间元件动作所必需的时间(装置准备下一次动作的时间)在 15～25s 范围内(时间元件的延时终止触点整定在 0.5s 时)。

1.4 在 70%额定电压下，装置应保证可靠动作，此时电容器充电到使中间元件动作所必需的时间允许增长到 2min。

1.5 当中间元件吸合后，在电流绕组流过额定电流时，断开电压绕组电压，衔铁应保持在吸合位置。

1.6 中间元件的电流绕组 KM(I)允许流过 3 倍额定电流历时 1min。

1.7 中间元件触点 KM 串联后，在额定电压下应能接通不小于 8A 的电流，历时 5s。

1.8 在额定电压下，中间元件电流绕组 KM(I)的功耗应不大于 1W。

1.9 时间元件的延时调整范围为 0.5～5s。

2 装置的元件及其作用

2.1 时间元件 KT

DS-32C／2 型时间继电器，它延时调整范围为 0.5～5s，它被用来调整从装置启动到发出接通断路器合闸线圈电路脉冲为止的延时。时间元件有延时滑动触点和延时终止触点以及两付瞬动转换触点。

2.2 中间元件 KT

DZK-2 型中间继电器，它是装置的出口元件，用于发出接通断路器合闸线圈电路的脉冲。继电器电压绕组 KM(V)用于中间元件的启动，电流绕组 KM(I)用于中间元件启动使衔铁继续保持在合闸位置。

2.3 电容器 C

用于保证装置只动作一次。

2.4 充电电阻 R4

用于限制电容器的充电速度。

2.5 附加电阻 R5

用于保证时间元件 SJ 的线圈热稳定性。

2.6 放电电阻 R6

在保护动作，但重合闸不应当动作(禁止重合闸)时，电容器经过它放电。

2.7 信号灯 HL

在装置接线中，监视装置中充放电电阻和电容器以及中间元件电压线圈是否正常。

2.8 附加电阻 R7

用于限制流过信号灯 HL 的电流。

3 装置简单动作原理

当输电线路在正常情况下，重合闸装置中的电容器 C 经电阻 R4 已经充满电，整个装置准备着动作。在断路器由于保护动作或其它原因而跳闸时，断路器的辅助触点启动重合闸装置的时间元件 KT，经过延时终止触点 KT 闭合，电容器 C 通过 KT 对 KM(V)放电，KM(V)启动后接通 KM(I)回路并自保持到断路器完成合闸。如果线路上发生的是暂时性故障，则合闸成功后，电容器自行充电，装置重新处于准备动作状态。如线路上存在永久性故障，此时重合闸不成功，断路器第二次跳闸，但这一段时间远远小于电容器充电到使 KM(V)启动所必需的时间(15～25s)因而保证只动作一次。

4 使用与维护

4.1 在装置使用前，应检查壳罩和里面的元器件有无在运输过程中发生的损坏。

4.2 时间元件的机械检查

用手按下唧子，钟表机构的动触点应开始不停的动作，直到延时终止触点闭合为止，此时瞬动动断触点应当断开。当放开唧子时，动触点应迅速的返回到原来位置，而瞬动动断触点可靠闭合。

4.3 时间元件的动作电压不大于 75%的额定电压，返回电压不小于 5%的额定电压。在额定电压下测试动作时间应符合技术要求。

4.4 中间元件的检查

按下衔铁后，检查动合触点应闭合，动断触点应断开。当衔铁被释放后，动合触点应断开，动断触点应闭合，触点在工作时应保证足够的触点间隙和超行程。

4.5 装置准备动作的时间应在 15～25s 范围内，主要靠调整串在 KM(V)的电位器来达到。

4.6 装置在投运前建议应复查，充电时间 15～25s，时间元件和中间元件工作的可靠性。

实验九　LZ-21 方向阻抗继电器特性实验

一．实验目的

1. 熟悉整流型 LZ-21 型方向阻抗继电器的原理接线图，了解其动作特性。
2. 测量方向阻抗继电器的静态特性 $Z_{pu}=f(\varphi)$，求取最大灵敏角。
3. 测量方向阻抗继电器的静态特性 $Z_{pu}=f(I_r)$，求取最小精工电流。
4. 研究方向阻抗继电器记忆回路和引入第三相电压的作用。

二．LZ-21 型方向继电器简介

1．距离（阻抗）保护的作用

在电力系统日益扩大，电压水平越来越高，以及系统运行方式多变的情况下，电流、电压保护难于满足电网对保护的要求。例如，高压长距离重负荷线路，由于负荷电流大，线路末端短路时，短路电流的数值与负荷电流相差不大，电流保护往往不能满足灵敏度的要求。另外，电流、电压的灵敏度（保护范围）随系统运行方式的变化而变化，在某些运行方式下，无时限速断或带时限速断保护范围将变的很小，甚至没有保护区。因此，在高电压电网中，需要有适用于容量大，电压高，结构复杂，运行方式多变电网的保护装置，距离（阻抗）保护就是适用此要求的一种。

所谓距离保护，就是指反应保护安装处至短路故障点的距离，并根据这一距离的远近而确定是否动作的保护装置。与电流、电压保护一样，距离保护也有一个保护范围，短路发生在这一范围以内，保护动作，否则不动作。这个保护范围通常是用给定阻抗值的大小来实现的，这个给定阻抗成为整定阻抗（用 Z_{set} 表示），当线路发生短路时，若距离保护测量到的阻抗（用 Z_m 表示），小于整定阻抗 Z_{set}，即 $Z_m< Z_{set}$。则保护动作,若 $Z_m>Z_{set}$，则保护不动作。因此，距离保护实际上是一种低动作量的阻抗保护。

2．阻抗保护继电器的基本构成原理

LZ-21 型整流型方向阻抗继电器，就是构成距离保护的主要设备，它既能测量阻抗又能判别方向，广泛应用于电力系统的大电流或小电流接地系统的距离保护中作为测量元件。

（1）LZ-21 型方向阻抗继电器构成原理及整定方法

距离保护能否正确动作，取决于保护能否正确的测量从短路点到保护安装处的阻抗，并使该阻抗与整定阻抗比较，这个任务由阻抗继电器来完成。

阻抗继电器的构成原理可以用图 10-1 来说明。图中，若 *K* 点三相短路，短路电流为 I_k，由 TV 回路和 TA 回路引至比较电路的电压分别为测量电压 U'_m 和整定电压 U'_{set}，那么

$$U'_m=\frac{1}{n_{TV}n_T}I_KZ_K=\frac{1}{n_{TV}n_T}I_mZ_m \qquad (10\text{-}1)$$

式中： n_{TV}、n_T —电压互感器和电压变换器的变比

Z_k —母线至短路点的短路阻抗

当认为比较电路的阻抗无穷大时，则：

$$U'_{set}=\frac{1}{n_{TA}}I_K Z_I=\frac{1}{n_{TA}}I_m Z_I \qquad (10\text{-}2)$$

式中：Z_I —人为给定的模拟阻抗

比较式（10-1）和式（10-2）可见，若假设 $n_{TV}n_T=n_{TA}$，则短路时，由于线路流过同一电流 I_k，因此在比较电路上比较 U'_{set} 和 U'_m 的大小，就等于比较 Z_I 和 Z_m 的大小。如果 $U'_m > U'_{set}$，则表示 $Z_m > Z_I$，保护不应该动作；如果 $U'_m < U'_{set}$，则表示 $Z_m < Z_I$，保护应动作。阻抗继电器就是根据这一原理工作的。

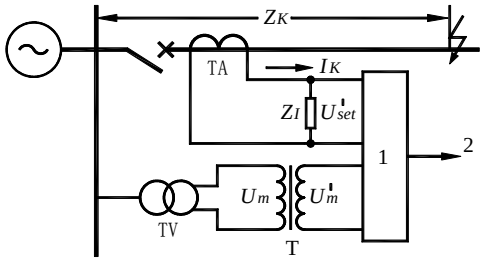


图 10-1 阻抗继电器的构成原理说明图

1—比较电路　　2—输出

我们知道电抗变压器的 DKB 的副方电势 $\dot{E}_2$ 与原方电流 $\dot{I}_1$ 成线形关系，即 $\dot{E}_2=\dot{K}_I\dot{I}_1$。$\dot{K}_I$ 在此是一个具有阻抗量纲的量，当改变DKB原方绕组的匝数或其他参数时，可以改变 $\dot{K}_I$ 的大小。电抗变压器的 $\dot{K}_I$ 值即为模拟阻抗 Z_I。

在图 10-1 中，若在保护范围的末端发生短路，即 $Z_k=Z_{set}$，那么比较电路将处于临界动作状态，即 $U'_m=U'_{set}$，这时由式（10-1）和式（10-2）可得

$$\frac{1}{n_{TV}n_T}I_K Z_{set}=\frac{1}{n_{TA}}I_K Z_I$$

所以 $$Z_{set}=\frac{n_{TV}n_T}{n_{TA}}Z_I=K'_u Z_I=\frac{Z_I}{K_u} \qquad (10\text{-}3)$$

式中 $K_u=\frac{1}{K'_u}=\frac{n_{TA}}{n_{TV}n_T}$。

式（10-3）表明，整定阻抗 Z_{set} 是一个与 DKM 的模拟阻抗 Z_I 和电压变换器 T 的变比有关的阻抗，当适当调节 DKM 原方绕组的匝数和调节 n_T 的大小时，可以得到不同的整定阻抗值。例如：当 $n_{TA}=1$，$n_{TV}=1$，$Z_I=2\Omega$ 时，若要整定阻抗为 $Z_{set}=20\Omega$，则 YB 抽头可选 10 匝。

（2）LZ-21 型方向继电器原理图分析

图 10-2 为其原理图。由 TA 引入的电流接于电抗变压器 DKB 的原方端子 21.22.23.24。在它副方，得到正比于原方电流的电压，DKB 的原方有几个抽头，当改变抽头位置时可改变 Z_I 值。由 TV 引入的电压接于电压变换器 YB 的原方端子 27．29．31，用于引入电压 U_A、U_B、U_C，YB 副方每一定匝数就有一定抽头，改变抽头的位置即可改变 n_{YB}，也可改变 Z_{set} 的大小。JJ 为具有方向性的直流继电器（又称极化继电器）。端子 32．30、28 为极化继电器接点桥的输出。端子 34．36．38 为继电器 I、II 段切换的接点。当 34．36 连通时，I 段通，当 34．38 连通时，II 段通。

LZ-21 型方向阻抗继电器面板上有压板 Y 用于调整最大灵敏角。

继电器是按比较两个电气量的绝对值大小而构成的动作方程式：

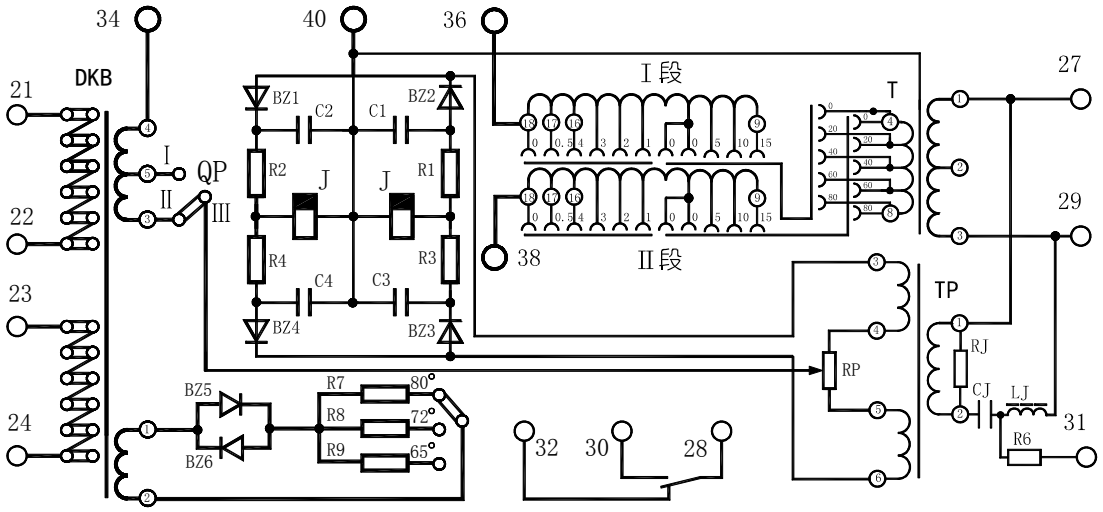


图 10-2 LZ-21 阻抗继电器原理接线图

$$|\dot{U}_K-\dot{U}_Y+\dot{U}_J| \geq |\dot{U}_K-\dot{U}_Y-\dot{U}_J| \qquad (10\text{-}4)$$

不等式左边一项称为工作电压，右边一项为制动电压，当动作电压大于制动电压时，继电器动作。上式中：U_k 为电抗变压器 DKB 的补偿电压，U_Y、U_J 分别为整定变压器 T，极化变压器 TP 的二次电压。

$U_k=K_kI_{cL}$ 与测量电流成一定比例关系（转动一定角度）的电压，K_k 具有阻抗量纲，为电抗变压器的转移阻抗。

$U_Y=K_JU_{cL}$ 与残压 U_{CL} 成一定比例关系的被测电压，K_Y 为一实数，即整定板所表示的百分数。

$U_J=K_JU_{cL}$ 与测量电压 U_{CL} 成一定比例关系的电压，作为参考向量的极化电压，K_J 为一实数。

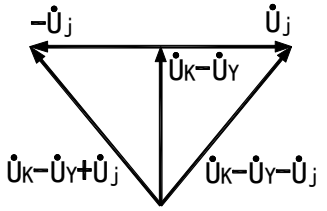


图 10-3 边界条件下矢量图

当（$\dot{U}_K$-$\dot{U}_Y$）与（$\dot{U}_J$）夹角为 90 度时方程式变为：

$$|\dot{U}_K-\dot{U}_Y+\dot{U}_J| = |\dot{U}_K-\dot{U}_Y-\dot{U}_J| \qquad (10\text{-}5)$$

此时继电器处于平衡状态，为动作边界条件，矢量关系如图 10-3。

在 R、X 坐标轴上的矢量图见图 10-4。

由图 10-4 可见，方程（10-4）式轨迹为一过坐标轴原点的圆，圆内动作。圆外制动、边界条件下，方程式两边相等。

方向阻抗继电器具体由以下几部分组成（交流形成，整流比相及执行回路）。

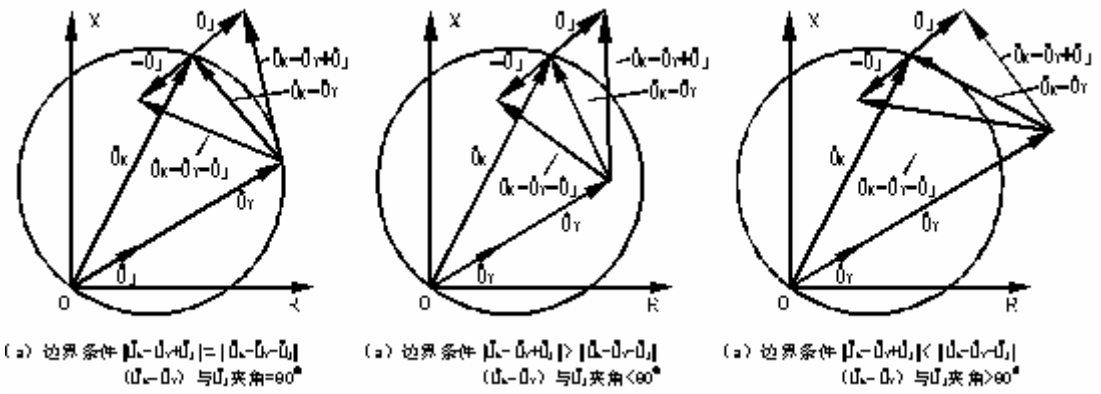


图 10-4 LZ-21 阻继电器的特性图

交流形成回路：

1） 极化电压 $U_J=K_JU_{CL}$ 取自电感 L_J 和电容 C_J 组成的谐振回路中电阻 R_J 上的压降。这个回路绝大部分电阻都集中在 R_J 上，所以 R_J 上的电压的相位接近于测量元件端子上所加的电压 U_{CL}，极化电压幅值大小，对短路阻抗的测量并无影响。它的作用只是判定短路的方向。上述谐振回路，在本保护装置中称为记忆回路，当保护装置安装点发生三相金属性短路时，元件端子电压突然降到零，但由于谐振回路中抗，电流是按 50Hz 频率逐渐衰减，故在两故障相导线中仍有电流流过，这两个电流可能在相位上和数值上不一样，因而在联结电缆中产生不同的电压降，使接在故障相上的继电器端子上出现电位差，这个电位差便成为极化电压，在记忆作用消失后，可能使继电器误动作，为了克服这种可能性，故在谐振回路的电感与电容之间经一高电阻 R_6 接至第三相电压，极化电压电压经极化变压器 TP，分成两个相同的次级电压，分别施加到两个比较臂的交流测。

2）电压 $U_Y=K_YU_{CL}$ 经变压器 T 与继电器端子电压准确地保持一定比例关系，并且相位一致，变压器 T 的次级有若干抽头，用来改变变比，以获得不同的整定值，T 整定板有两组，可独立地选取不同的整定值。一组为第 I 段整定板，另一组为第 II 段整定板，正常时第 I 段经切换继电器触点接通，故障时如短路阻抗超过第 I 段整定范围，经切换继电器切换至 II 段。

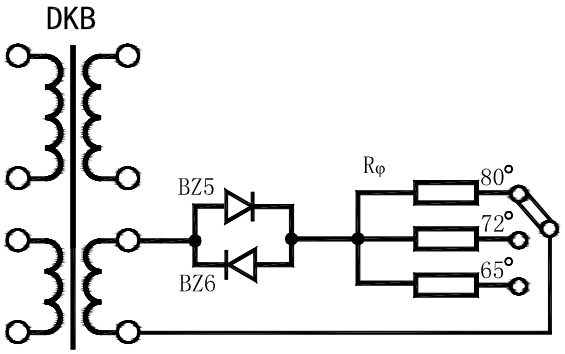
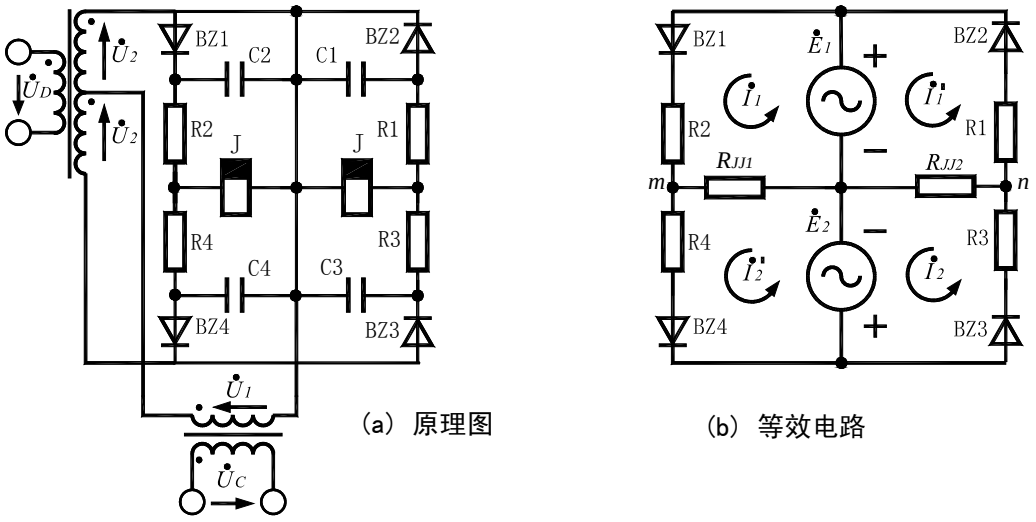


图 10-5 阻抗继电器 DKB 移相接线图

3）电压 U_K 是由一个有气隙的电抗变压器 DKB 获得的，若它次级有电阻负载，超前的角度就要减少，改变负载电阻值，故称其最大灵敏角 $\varphi_{sen.\max}$，改变 DKB 移相绕组所接 R_φ 的阻值即可进行灵敏角的调节，DKB 移相绕组回路中还串入两个反向并联二极管，如图 20-5。其作用是使不同最大灵敏角下，精确工作电流一致，即在电流较小的情况下，实际上的最大灵敏角已变小，此时移相绕组二次电压低，二极管不能导通，移相电阻 R_φ 相当未接入一样（提高了最大灵敏角）。

在电流大时二极管导通，相当于二极管未接入一样，所以正常情况下最大灵敏角不受影响。而使最小精确工作电流在各种灵敏角下，都趋于一致。DKB 的初级有两个绕组按相电流之差接入电流。每个绕阻由三个小绕组构成，由联接片串联而成。当 YB 保持不变，改变联接片的位置可使动作阻抗减小，最小可减至基础阻抗的十分之一，次级绕组中点有抽头（改变 QP 片位置）可成倍减小整定阻抗。

（3）LZ-21 阻抗继电器比相电路分析



（a）原理图　　（b）等效电路

图 10-6 用极化继电器做执行元件的环形整流比相回路

LZ-21 阻抗继电器执行元件的环形整形比相电路，如图 10-6（a）所示，它实际上是一相敏整流电流，其输入端分别接入比相的两电气量 U_C、U_D，输出电压 U_{mn} 平均值的大小和极性与输入端电压 U_C、U_D 的相位有关。为了提高比相电路的输出电压，在二极管支路中串入相同的电阻 R_1~R_4，适当选取它们的阻值，有利于提高继电器的动作速度。滤波电容 C_1~C_4，是为了滤除交流分量，以防止执行元件抖动，保证阻抗继电器动作特性圆的边界明确，同时提高了继电器的灵敏度，电容 C 的数值，也要适当选取。这一电路的等效电路如图（b），图中 $\dot{E}_1=\dot{U}_1+\dot{U}_2$ ，$\dot{E}_2=\dot{U}_1-\dot{U}_2$

正半周时，$\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 分别产生电流 $\dot{I}_1$ 和 $\dot{I}_2$，并分别通过电阻 R_{JJ1} 和 R_{JJ2}；负半周时，$\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ 分别产生电流 $\dot{I}_1'$ 和 $\dot{I}_2'$，并分别通过电阻 R_{JJ1} 和 R_{JJ2}；输出电压为:

$$u_{mn}=R_{JJ1}(i_1-i_2')+R_{JJ2}(i_1'-i_2)$$

相敏整流电路输出电压 U_{mn} 平均值的大小和极性与输入端电压 $\dot{U}_C$ 、$\dot{U}_D$ 的相位有关。图中 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{U}_C$ 同相，$\dot{U}_D$ 与 $\dot{U}_2$ 同相，$\dot{U}_C$ 和 $\dot{U}_D$ 之间的相位θ变化时，输出电压 U_{mn} 平均值的大小和极性变化情况的分析，可参阅有关资料。

由分析可知，环形整流比相回路 U_{mn} 与两比相电气量相位角θ之间的关系如图 10-7 所示，由图可见，当 $\theta=0^0$ 时，$U_{mn.pj}$ 为正最大值；当 $\theta=\pm90^0$ 时，$U_{mn.pj}$=0；当 $\theta=\pm180^0$ 时，

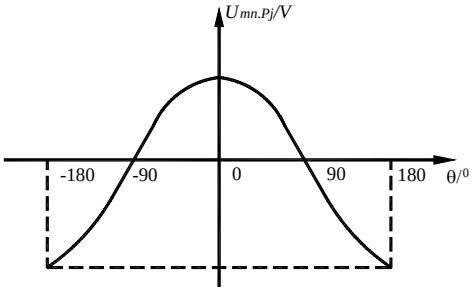


图 10-7 环形整流比相电路输出电压平均值与比相叫的关系曲线

$U_{mn.pj}$为负最大。显然，输出电压平均值为正值的比相角的范围是：

$$-90^0 \le \theta \le 90^0$$

此式满足 LZ-21 型方向阻抗继电器对比相回路动作条件的要求。

（4）LZ-21 型方向阻抗继电器的死区及消除办法

方向阻抗继电器在保护安装处正向正向出口发生金属性短路时，其测量电压$\dot{U}_m$值小于继电器的最小动作电压，继电器将拒绝动作，这一不动作区通常称之为方向阻抗继电器的死区，方向阻抗继电器必须消除死区才能正确工作。

LZ-21 型方向阻抗继电器为消除死区，在继电器的相位比较电气量中引入与测量电压$\dot{U}_m$同相位的带有记忆作用的极化电压$\dot{U}_J$，引入了极化电压后，方向阻抗继电器的动作方程为：

$$-90^0 \le \arg\frac{Z_{set}\dot{I}_m - \dot{U}_m}{\dot{U}_J} \le 90^0$$

当保护安装处正向出口发生金属性短路时，$\dot{U}_m = 0$，于是，这时方向阻抗继电器的动作方程为：

$$-90^0 \le \arg\frac{Z_{set}\dot{I}_m}{\dot{U}_J} \le 90^0$$

方向阻抗继电器仍正确动作，因而消除了正向出口短路时的拒动现象。

总之，极化电压$\dot{U}_J$对于消除方向阻抗继电器正向出口金属性短路时的死区，可靠避免反向出口短路时保护的误动是不可少的

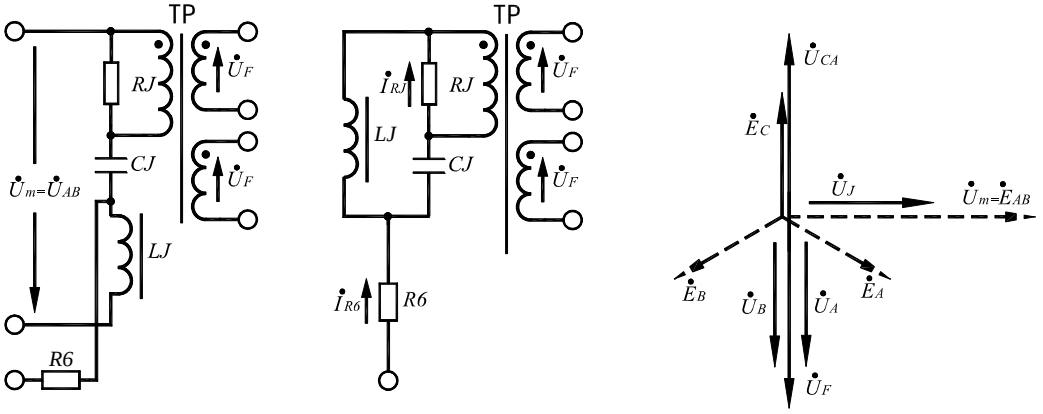
但是，如何引入极化电压呢？其要求是：

（a）无论保护安装处正向。反向出口短路，$\dot{U}_J$都应该存在；

（b）$\dot{U}_J$的相位应与测量电压一致并保持一定的数值。

LZ-21 方向阻抗继电器引入的电路如图 10-8 所示：

图 10-8（a）为 AB 相阻抗继电器通过高值电阻 R6 接于第三相电压$\dot{U}_C$获取极化电压的原理接线图。图中 RJ 、CJ 和 LJ 构成谐振记忆回路，辅助电压变换器 TP 的一次绕组接



（a）原理接线图　　（b）AB两相短路的等效电路　　（c）向量图

图 10-8　通过高值电阻接于第三相电压的原理接线图和向量图

于 RJ 两端，由 TP 二次侧两个相同的绕组获得极化电压$\dot{U}_J$。由于谐振回路中电抗和感抗相等，即$X_{LJ}=X_{CJ}$，故$\dot{U}_J$与测量电压$\dot{U}_m$相同。

当保护安装处正、反相出口发生三相短路时，$\dot{U}_m=0$,记忆回路以f_0为谐振频率自由振荡。若电网频率f与谐振频率f_0相等，$\dot{U}_J$的相位维持不变，使阻抗继电器动作。

当保护安装处正、反相出口 AB 两相短路时，测量电压$U_{AB}=0$，这时极化电压回路如图 10-8（b）所示，各电压的相量图如图 12-8（c）所示。通过电阻 RJ 的电流为：

$$\dot{I}_{RJ}=\frac{\dot{U}_{AC}}{R_6+\dfrac{jX_{LJ}(R_J-jX_{CJ})}{R_j+(X_{LJ}-X_{CJ})}}\times\frac{jX_{LJ}}{R_J+j(X_{LJ}-X_{CJ})}$$

由于$x_{LJ}=x_{CJ}$，$R_6>>(R_J-jX_{CJ})//jX_{LJ}$，则上式可以写为：

$$\dot{I}_{RJ}=\frac{\dot{U}_{CA}}{R_6}\times\frac{jX_{LJ}}{R_J}=j\frac{X_{LJ}}{R_6R_J}U_{AC}$$

$$\dot{U}_J=\dot{U}_{RJ}=j\frac{X_{LJ}}{R_6}U_{AC}$$

由上式可见，$\dot{U}_J$超前于$\dot{U}_{AC}$ 90^0，也就是和故障前的$\dot{U}_m$同相位，如图 10-8（c）所示。 极化电压的数值可由选择适当的参数 *CJ*、*LJ*、*RJ* 和变比来获得，以使方向阻抗继电器正确动作，消除正向出口短路时可能的误动作。

3．LZ-21 方向阻抗继电器的特性

（1）LZ-21 阻抗继电器的$Z_{PU}=f(\varphi)$特性

前述分析可知 LZ-21 型方向阻抗继电器的动作特性方程为：

$$-90^0\le\theta\le90^0$$

其中：　$\theta=\arg\dfrac{\dot{U}_C}{\dot{U}_D}$

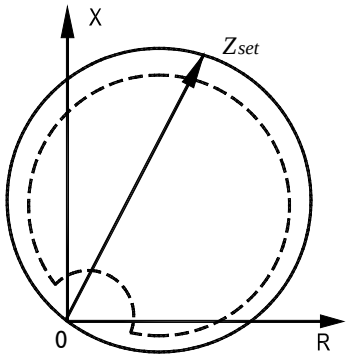


图 10-9 阻抗继电器的特性图

此为过原点的圆方程如图 10-9 实线所示，由图可见方向阻抗继电器的动作特性圆点的圆经过原点，由于特性圆的圆内是动作区，圆外是不动作区。圆周上是临界动作区，就意味着在保护正方向出口处短路时（母线残压近似为 0）阻抗继电器将出现死区，因此 LZ-21 型方向阻抗继电器在静态情况下显示出来的特性如图 10-9 中虚线所示，在原点 O 附近有一个凸区，这表示在静态情况下，方向阻抗继电器在原点附近（短路在母线出口处时）不会动作，但是，由于 LZ-21 引入了极化电压， 故在动态及第三相电压的作用下能够消除凸区使继电器正确动作。

（2）LZ-21 型方向阻抗继电器的 $Z_{pu.r} = f(I_m)$ 特性

阻抗继电器的几种主要指标的概念

任一个阻抗继电器做好之后。可以通过实验作出在给定整定阻抗 Zset 条件下，动作阻抗 $Z_{pu.r}$ 与测量电流 I_m 的关系曲线：$Z_{pu.r} = f(I_m)$ ，图 10-10 示出全阻抗继电器的特性。 从这一关系曲线可以说明表征阻抗继电器的几个主要技术指标。

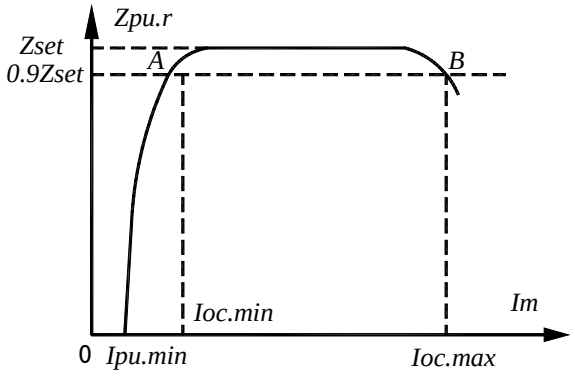


图 10-10 方向阻抗与测量电流的关系曲线

a．最小动作电流

当阻抗继电器的测量电压 $\dot{U}_m = 0$ 时，使继电器动作的最小测量电流称为最小动作电流，如图 10-10 中所示 $I_{pu.\min}$，这是因为继电器动作需要克服执行元件和比较回路电压降之和的电压 U_0 的缘故。

b.最小精确工作电流

所谓“精确工作电流”，就是指当 $\varphi_m = \varphi_{sen}$ 时继电器的起动阻抗等于 0.9 倍整定阻抗，即 $Z_{pu.r} = 0.9Z_{set}$ 时所对应的测量电流，这时起动阻抗的误差为 10%。显然由图 10-10 可看出精确工作电流有两个数值，当测量电流较大时， $0.9Z_{set}$ （曲线上的 B 点）对应的测量电流称为最大精确工作电流 $I_{ac.\max}$。考虑到在保护范围末端短路时，流经保护的最大短路电流一

般小于 $I_{ac.\max}$ 以及在被保护线路始端短路时，流经保护的短路电流值较大，虽然阻抗继电器的起动阻抗减小，但总是可以动作的。所以最大精确工作电流一般没有实际意义，而最小的精确工作电流 $I_{ac.\min}$（曲线上 A 点对应的测量电流）则必须考虑，因此在被保护范围末端短路时，流经保护的短路电流可能不大，为使动作阻抗的误差不超过 10%，这时短路电流应等于或大于最小精确工作电流。

最小精确工作电流是衡量阻抗继电器灵敏度的一个重要的指标，其值越小越好。由于 $I_{ac.\min}$ 与 U_0 成正比，所以提高执行元件的灵敏度，减小 U_0 便可以使 $I_{ac.\min}$ 减小。$I_{ac.\min}$ 还与电抗变压器的转移阻抗值 Z_I 成反比，因此，在实际工作中，如果测量阻抗继电器的精确工作电流大于指标要求，则可以适当增加 DKB 铁心磁路空气隙的坡莫合金片，增加补偿租用，提高 Z_I 值，使精确工作电流指标合格。

c．最小精确工作电压

最小精确工作电压是最小精确工作电流与整定阻抗的乘积，即

$$U_{ac.\min} = I_{ac.\min} Z_{set}$$

$U_{ac.\min}$ 与 Z_I 无关，$U_{ac.\min}$ 不随 DKB 的 Z_I 的改变而改变，而是一个常数，因为当 DKB 的一次抽头减小时，Z_{set} 减小而 I_{ac} 却增加。$U_{ac.\min}$ 是衡量阻抗继电器质量的一个指标

四．实验设备

序号	型号	名称及说明	数量	备注
1		控制屏及控制柜	1	
2	EPL-11	直流电源、交流仪表	1	
3	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1	
4	EPL-12B	相位仪、光示牌	1	
5	EPL-30	继电器组件（十）	1	
6	EPL-14	按钮及电阻盘	1	
7	EPL-17A	三相电源	1	

五．实验内容

1．测量最大灵敏度角 φ_{sen}。测量方向阻抗继电器的静态特性 $Zpu = f(\varphi)$，

继电器的整定阻抗 $Z_{set} = 10\Omega$，整定灵敏角 $\varphi = 72^0$，不接第三相电压。

（1）短接继电器端子 34．36 使方向阻抗继电器切换在距离 I 段，整定变压器选 I 段粗调整定在 40%。

（2）按图 10-11 接线。

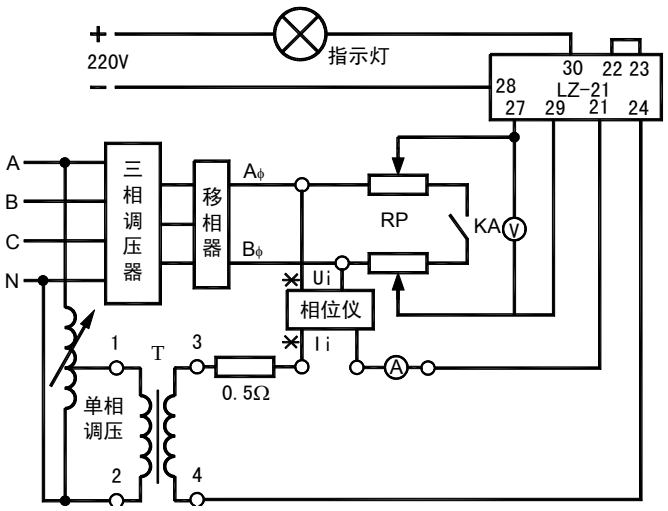


图 10-11　LZ-21 阻抗继电器静态特性实验接线图

RP 选用 EPL-14 的双联可调电阻，中间引出端接交流电压表，量程为 20V 档；KA 采用 EPL-14 的自锁按钮 SB1，并置 SB1 于闭合位置；交流电流表的量程为 2A，T 位于 ETP-28；

（3）检查无误后，再请指导老师检查，方可进行下一步操作。

（4）合上漏电断路器和线路电源绿色按钮开关。

缓慢调节三相调压器旋钮，注意观察 EPL-11 交流电压表的读数至 100V；

缓慢调节自偶调压器旋钮，使交流电流表的读数为 1A；

（5）缓慢调节 EPL-14 的双联可调电阻，改变输入阻抗继电器的电压值，使 EPL-11 交流电压表的读数为 10V；

（6）调节移相器改变电流和电压的相位角，使 Φ 自 0^0 向 -90^0 方向增大，读取使继电器动作（由灯不亮到灯亮）的角度 Φ_1。注意：在实验过程中，需保持 ETP-28 的电压表读数不变。

（7）继续调节移相器。增大 Φ 角，此时，继电器一直处于动作状态，当继电器返回时，再慢慢减小 Φ 角，使继电器再次动作记录动作角 Φ_2，并由下式计算最大灵敏角。

$$\Phi_{sen} = (\Phi_1 + \Phi_2)/2$$

2．测量方向阻抗继电器的静态特性 $Zpu = f(\varphi)$，（接第三相电压）

（1）．保持上述接线及阻抗继电器的整定值不变，调节单相调压器，使继电器加入的电流为 1A 并维持不变，再调节三相调压器，使相位仪的工作电压为 100V。

（2）.调节移相器改变相角 Φ，分别按表 10-1 中所列的各值，使继电器的电流与电压间的相位角从 Φ_1 到 Φ_2 之间开始逐次改变，在各相位角下缓慢调节电阻 R，将电压由高向底调节至使方向阻抗继电器从不动作状态转为动作状态，记录动作电压 $U_{\max}$，继续减小电压，当继电器返回时在增大电压，是继电器再次动作，记录动作电压 $U_{\min}$，记录每一角度下的动作电压，填入表 10-1 中。

（3）计算各相位角下的阻抗 $Z_{pu}=\frac{U}{2I_m}$，并在复平面上绘制出 $Zpu=f(\varphi)$ 的动作特性圆。

3．方向阻抗继电器的静态特性 $Z_{pu}=f(I_m)$，求最小精工电流（不接第三相电压）

（1）保持上述接线及阻抗继电器的整定值不变，调整输入电压和电流的相角差为-72度并保持不变；

（2）将电流回路的输入电流，调到某一值；

（3）调节三相调压器电压，，使相位仪电压为 100V，调节电阻 R，使继电器电压由高至低调节至方向阻抗继电器动作，记录相应的动作电压值 U。

（4）改变输入电流，重复上述操作，测量结果填入表 10-2 中；

（5）绘制方向阻抗继电器静态特性的曲线；

（6）在特性曲线上确定最小精工电流和最小动作电流

表 10-1　　方向阻抗继电器的静态特测试 $Z_{pu}=f(I_m)$ 测试

$I_m(A)$	1.5	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.16	0.1	0.06
$U(V)$									
$Z_{pu}=\frac{U}{2I_m}$									

3．记忆作用检验

（1）按图 10-12 接线。接入电秒表和移相器输出电压 C_Φ

（2） 合上漏电断路器和线路电源绿色按钮开关及仪表电源开关。

（3）缓慢调节三相调压器旋钮，注意观察交流电压表的读数至 100V；

缓慢调节自偶调压器旋钮，使交流电流表的读数为 1A；

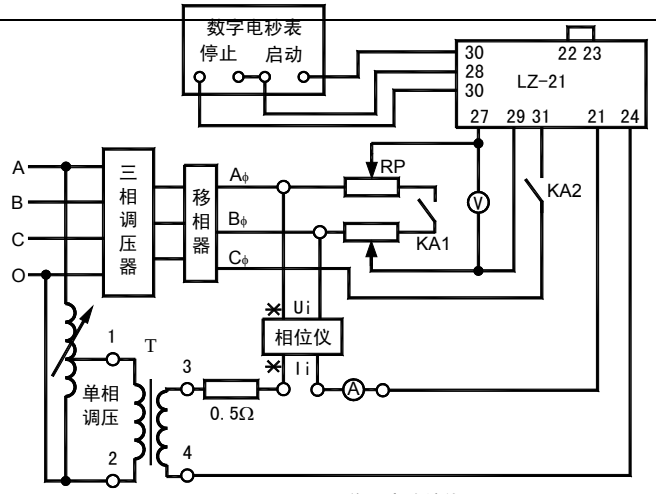
用移相器改变电流和电压的相位角，使电流与电压间的相位角为最大灵敏角。

（4）闭合 KA1，缓慢调节 EPL-14 的双联可调电阻，使交流电压表的读数为 0V；

（5）分别断开 KA1 和 KA2，并对电秒表进行复位清零。

（6）迅速合上 KA1，使加到方向阻抗继电器的电压突然降到零，记录电秒表的读数即为继电器触点接通时间 t=　　。

（7）加入第三相电压，即合上 KA2，重复上述试验。当电压突然降到零，阻抗继电器触点应能可靠闭合并自保持在闭合状态。



4．方向性检查

（1）将电流极性反接，使电流滞后电压的相位角 $\varphi_j = 180^0 + (-72^0)$（反方向）。

（2）使电压突然降到零，继电器应可靠不动作。

5．方向阻抗继电器返回系数测定

在最大灵敏角 $\varphi = \varphi_{sen} = 72^0$ 处测量方向阻抗继电器的返回电压值，计算其返回系数。

$K_f=Z_{f.j}/Z_{dzj}=U_{fj}/U_{dzj}$

六．思考题

1．分析实验所的 $Zpu = f(\varphi)$ 和 $Z_{pu} = f(I_m)$ 特性曲线，找出有关的动作区、死区、不动作区。

2．讨论电压回路和电流回路所接的滑线变阻器的作用。

3．研究记忆回路和引入电三相电压的作用。

4．按图 10-11 的实验原理图接线，对应阻抗继电器的哪种接线方式？其对应的特性 $Zpu = f(\varphi)$ 有什么特点。

5．如果 LZ-21 继电器的模拟阻抗 $Z_I = 2\Omega$，$n_{TV} = 100$，$n_{TA} = 20$，若整定阻抗 $Z_{set} = 45\Omega$，请问 n_T 的抽头放在什么位置？

附：LZ-21 方向阻抗继电器技术要求

注：此技术要求按 5A 规格给出，当为 1A 规格时，其工作电流精工电流值减小 5 倍，阻抗值增大 5 倍。

1．额定值：

（1）交流额定电压：100V（相间）

（2）交流额定电流：5A，1A（相）

（3）额定频率：50Hz

2．功率消耗：额定电流及电压下

（1）电流回路：电抗变压器 DKB 整定在 20 匝时，每相不大于 5VA。

（2）电压回路：变压器 T 整定在 110%（95%），每相不大于 25VA。

3．整定值：

（1）最大灵敏角为 65 度、72 度、80 度三种，允许±5 度偏差。

（2）DKB 的三个绕组，改变 DKB 联接片位置及 T 整定端子，可实现下列几组整定值：

DKB 原边的匝数	对应 5A 型阻抗继电器参数	对应 1A 型阻抗继电器参数
2 匝	0.2Ω/φ　　0.2—2Ω/φ	1Ω/φ　　1—10Ω/φ
4 匝	0.4Ω/φ　　0.4—4Ω/φ	2Ω/φ　　2—20Ω/φ
2+4 匝	0.6Ω/φ　　0.6—6Ω/φ	3Ω/φ　　3—30Ω/φ
14 匝	1.4Ω/φ　　1.4—14Ω/φ	7Ω/φ　　7—70Ω/φ
2+4+14 匝	2Ω/φ　　2—20Ω/φ	10Ω/φ　　10—100Ω/φ
允许偏差为±10%		

4．精确工作电流：

当 DKB=20 匝，T=100%（95.5%）两相短路情况下精确工作电流，不大于 0.4A。

5．动作时间：

（1）额定电流下 $0.7Z_{ZD}$ 动作时间不大于 45ms。

6．在额定电流下，（最大灵敏角方向）三相电压由额定值突然降到 0 时，记忆作用使阻抗继电器接点闭合时间不小于 50ms。

7．当电流不小于两倍精确工作电流，在最大灵敏角下，电压由额定值突然降到相当于 $1.1Z_{ZD}$ 的电压值，继电器无动作现象。

8．当电流 $I_{c1}=0$，电压由额定值突然降到零，继电器无动作现象（包括有无第三相电压两种情况）。

9．继电器在反向短路时，应保证不动作。

10．继电器电压端子经 20Ω 电阻短接，电流由零增加到 25A，其常开接点保证不闭合，电流大于 25A，其常开接点可靠动作。

11．返回系数

T 整定是在 10%—20%范围内返回系数不大于 1.2，20%以上，不大于 1.15。

12．继电器能承受 110%额定电压和 120%额定电流的长期运行。

13．绝缘要求：

（1）各部分绕组之间（极化继电器除外）及一次侧绕组对铁芯的绝缘强度在正常气温条件下，应能承受 50Hz 的交流电压 2000V 历时 1 分钟的试验，不发生击穿和闪络现象。

（2）所有不相连的回路间及外壳的绝缘电阻在正常气温条件下不小于 10MΩ。

（3）交流回路与外壳间在正常气温下能承受 50Hz 交流电压 2000V 耐压试验而不发生击穿和闪络现象。

14．热稳定性：

本保护装置在环境温度为 40℃时长时间通入额定电流，额定电压其温升不超过 60℃。

15．为了用负荷电流检查阻抗继电器接线的正确性，设有端子 37，连接端子 37.34（断开端子 34，35 及 34，36）继电器即成为功率方向元件，可方便的进行检查。

实验十　反时限过流继电器特性实验

一．实验目的

1．掌握反时限过流继电器的工作原理、基本参数、反时限特性、速断特性及其实验整定方法。

2．学会如何扩大反时限过流继电器的整定范围。

二．预习与思考

1．何为反时限过流继电器的始动电流？为何要检测始动电流？

2．反时限过流继电器集成了常规过流保护中哪几种继电器的功能？

3．反时限过流继电器的动作值，返回值与普通电流继电器同名值有何区别？

4．反时限的具体概念是什么？为什么该继电器具有反时限功能？

三．原理说明

在工厂供电系统中，广泛采用感应式电流继电器来作为电流保护兼电流速断保护，因为感应式电流继电器兼有上述电磁式电流继电器、时间继电器、信号继电器和中间继电器的功能，从而可大大简化继电保护装置。而且采用感应式电流继电器组成的保护装置采用交流操作，可进一步简化二次系统，减少投资，因此它在中小变配电所中应用非常普遍。

1．基本结构

工厂供电系统常用的GL-10．20系列感应式电流继电器的内部结构如图7-1所示。这种电流继电器有两组元件构成，一组为感应元件，另一组为电磁元件。感应元件主要包括线圈1．带短路环3的电磁铁2及装在可偏转框架6上的转动铝盘4。电磁元件主要包括线圈1．电磁铁2和衔铁15。线圈1

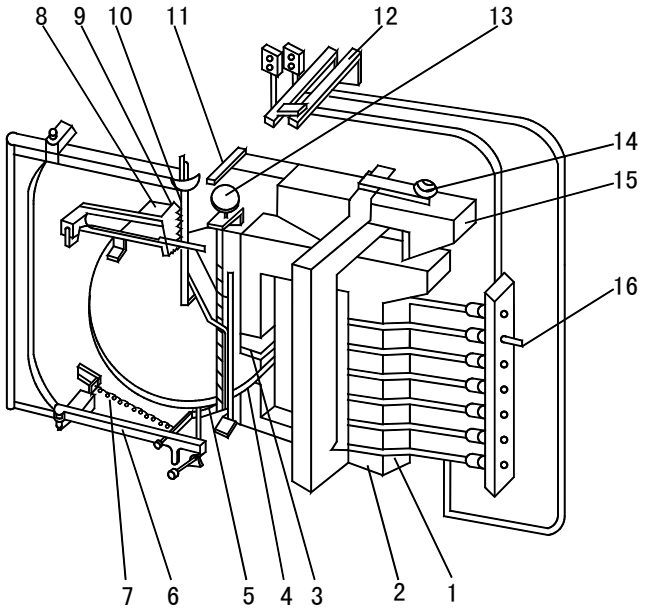


图7-1 感应式电流继电器的内部结构

1-线圈　2-电磁铁　3-短路环　4-铝盘　5-钢片　6-铝框架　7-调节弹簧　8-制动永久磁铁　9-扇形齿轮　10-蜗杆　12-继电器触点　13-时限调节螺杆　14-速断电流调节螺钉　15-衔铁　16-动作电流调节插销

和电磁铁 2 是两组元件共用的。

2．工作原理和特性

感应式电流继电器的工作原理可用图 7-2 来说明。当线圈 1 有电流 I_{KA} 通过时，电磁铁 2 在短路环 3 的作用下，产生相位一前一后的两个磁通 Φ1 和 Φ2，穿过铝盘 4。这时作用于铝盘上的转矩为

$$M_1 \infty \Phi_1 \Phi_2 \sin\psi$$

式中，ψ 是 Φ1 和 Φ2 之间的相位差。上式通常称为感应是机构的基本转矩方程。由于 $\Phi_1 \infty I_{KA}$，$\Phi_2 \infty I_{KA}$，而 ψ 为常数，因此

$$M_1 \infty I_{KA}^2$$

铝盘在转矩 M_1 作用下转动，同时切割永久磁铁 8 的磁通，在铝盘上感应出涡流。涡流又与永久磁铁的磁通作用，产生一个与 M_1 反向的制动方向力矩 M_2。制动力矩 M_2 与铝盘转速 n 成正比，即

$$M_2 \infty n$$

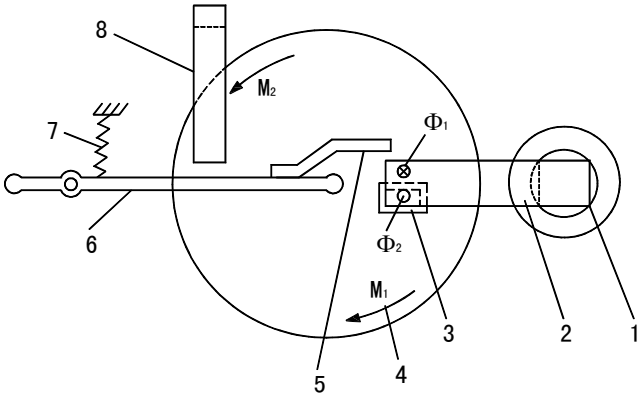


图7-2 感应式电流继电器的转矩M_1和制动力矩M_2

1-线圈 2-电磁铁 3-短路环 4-铝盘 5-钢片 6-铝框架 7-调节弹簧 8-制动永久磁铁

当铝盘转速 n 增大到某一定值时，$M_1 = M_2$，这时铝盘匀速转动。

继电器的铝盘在上述 M_1 和 M_2 的共同作用下，铝盘受力有使框架绕轴顺时针方向偏转的趋势，但受到弹簧 7 的阻力。

当继电器线圈电流增大到继电器的动作电流值 Iop 时，铝盘受到的力也增大到可克服弹簧的阻力，使铝盘带动框架前偏，使蜗杆 10 与扇行齿轮 9 啮合，使扇行齿轮沿着蜗杆上升，最后使触点 12 切换，同时使信号牌（图 7-1 上未示出）掉下，使观察孔可看到红色或白色的信号指示，表示继电器已经动作。

继电器线圈中的电流越大，铝盘转得越快，扇行齿轮沿蜗杆上升的速度也越快，因此动作时间越短，这也就是感应式电流继电器的“反时限（即反比延时）特性”，如图 7-3 所示的曲线 abc，这一特性时其感应元件所产生的。

当继电器线圈电流进一步增大到整定的速断电流 I_{qb} 时，电磁铁瞬时将衔铁吸下，使触点 12 瞬时切换，同时也使信号牌掉下。电磁元件“电流速断特性”，如图 7-3 所示曲线 bb'd。因此该电磁元件又称电流速断元件。

速断电流 I_{qb} 与感应元件动作电流 I_{op} 的比值，称为速断电流倍数，即

$$n_{qb} \overset{def}{=} \frac{I_{qb}}{I_{op}}$$

GL－10．20 系列电流继电器的速断电流倍数 n_{qb} ＝2～8。速断电流 I_{qb} 的含义，是指继电器线圈中使电

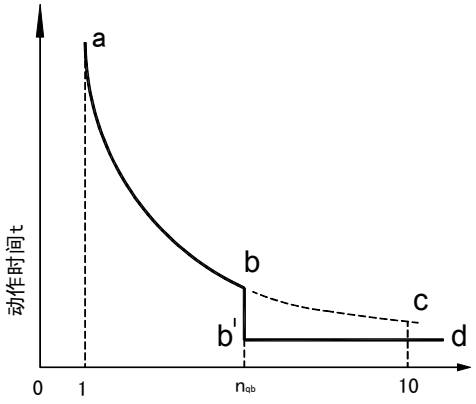


图7-3 感应式电流继电器的动作特性曲线

流速断元件动作的最小电流。

感应式电流继电器的上述有一定限度的反时限特性，称为“有限反时限特性”。

3．动作电流和时限的调节

继电器的动作电流（整定电流）I_{op}，可利用插销 16（参看图 7-1）以改变线圈匝数来进行级进调节，也可利用调节弹簧 7 的拉力来进行平滑的细调。

继电器的速断电流倍数 n_{qb}，可利用螺钉 14 来改变衔铁 15 与电磁铁之间的气隙来调节。气隙越大，nqb 越大。

继电器感应元件的动作时限，可利用时限调节螺杆 13 来改变扇行齿轮顶杆行程所起点，以使动作的特性曲线上下移动。不过注意，继电器的动作时限调节螺杆的标度尺，是以 10 倍动作电流的动作时间来标度的。因此继电器实际的动作时间，与实际通过继电器线圈的电流大小有关，需从相应的动作特性曲线上去查得。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-11	交流电流表	1
3	EPL-14	按钮及电阻盘	1
4	EPL-17A	三相电源	1
5	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1
6	EPL-29	反时限过流继电器	1

五．实验内容与步骤

1．反时限继电器机械部分的检查与调整

(1) 将继电器的外壳取下（实际工程实验时，在取下外壳之前必须用干净的擦布将继电器擦干净，取下外壳后要清除继电器内聚集的灰尘，特别要注意清除圆盘与磁极间隙中的灰尘和铁屑）。

(2) 检查继电器各部螺钉、螺帽的松紧程度，弹簧接点的可靠性，应特别注意检查接点的固定情况、接线螺杆接触情况及弹簧的弹性是否良好。

(3) 检查轴承眼（方框与圆盘的轴承眼）是否清洁，但检查过程中特别要注意眼内滚珠有否脱落，轴承应光滑无磨损，轴尖在轴承内的活动范围约 0.2 毫米左右，无论哪个轴承和轴尖均不允许涂润滑油（若继电器无异常现象，可不必作此检查）。

(4) 检查圆盘转动情况，要确保使圆盘在一周及连续转动过程中与电磁铁、永久磁铁间无磨损，圆盘在任何位置其间隙都不小于 0.2 毫米，圆盘在水平转动过程中应保持与电磁铁垂直。

(5) 扇形齿轮的顶杆应接触于瞬动铁心顶板的中心。在最上位置时，动铁心右端按下，扇形齿轮的顶杆与瞬动铁心的顶板之间的距离应不小于 2 毫米。

2．动作电流与返回电流的试验

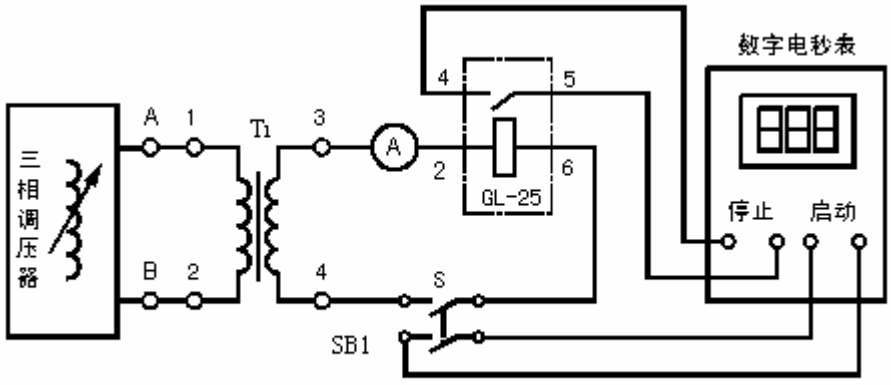


图7-4　反时限电流继电器实验接线图

试验接线如图7-4所示。在实验过程中应注意信号牌，每次均恢复正常位置，速断部分放在最大位置，铭牌不能拆下，开始可将电阻放在最大位置。

A、B为三相调压器的A相、B相输出，位于EPL-17A，变压器T_1位于EPL-20A，交流电流表的量程为20A，开关S选用EPL-14的SB1。

(1) 始动电流检测

a. 将继电器电流整定端子放在标度2A插孔内，时间刻度置于2s位置，速断标度为2倍处。

b. 按图7-4接线，将桌面上的三相调压器旋钮逆时针旋到底，并检查接线确保正确无误。

c. 按下线路电源控制“闭合”开关和开关SB1，同时顺时针缓慢调节桌面上的三相调压器，观察交流电流表的读数和过流继电器的圆盘，记录使圆盘不间断转动时的最小电流称为始动电流，计算始动电流与整定电流的比值，将数据记录于表7-2中。

(2) 启动电流与返回电流试验

在试验时间应检测各个标度电流插头位置的启动返回电流。对于运行使用的反时限继电器进行定期检测，可只试验整定位置的启动电流，返回电流值，本实验可选整定电流标度2A插孔。

合上电源开关SB1，调节桌面上的三相调压器，均匀地增加继电器的电流，直至使扇形齿轮与螺旋杆吻合，并一直均匀上升，使接点动作的电流称为感应元件的启动电流或动作电流。一般在继电器动作后扇形齿轮即应一直均匀上升，如有中途停止则证明尚有摩擦等问题存在。动作电流与整定值的误差不应超过25%，否则应调整弹簧5。拉紧弹簧则增加电流，放松则减小电流。

返回电流测试应在扇形齿轮与螺旋杆吻合上升快接触可动铁心10时开始减小加入继电器的电流。当电流减小只于扇形出论与螺旋杆离开时的电流即使为返回电流，此时应注意可动铁心应未动作，否则，将受磁路变更而影响感应元件的返回电流测试值。

返回电流与启动电流之比值称为返回系数，此系数为检查继电器的质量之一，GL-25型返回系数应为0.70~0.95，如低于此数应按下列方法之一或结合几种方法进行调整。

a. 变更舌形弹簧片与电磁铁的距离，距离小返回系数低，反之则高。

b. 调整扇形齿轮与螺旋杆的吻合深度，深度大返回系数低，反之则高。但容易造成圆盘中途停滞不转及不复归的可能。因此在调整后反应反复试验，观察有无上述情况发生。

c. 调整永久磁铁磁极间隙，减小间隙时，返回系数增高，反之降低。

d. 检查轴承是否良好。

在用 a 调整返回系数时，将影响启动电流，故每次调整后均应复校启动电流。

启动电流与返回电流校验后，若在运行中需要改变定值，应对所有标度电流整定端子进行校验，否则只需进行某个使用的整定端子的启动电流，返回电流校验。

在运行中带电改变定值时，为了避免变流器开路，必须首先将备用螺钉（位于界限座无标号的插孔中）拧入所需插孔中，而后拧出另外的螺钉，并且把它插入插孔中。不允许两个调整螺钉同时留在标号插孔中，以免继电器拒绝动作。

3．感应元件时间特性试验

(1) 反时限特性曲线测试：

校验时间特性时，速断部分置于最大位置、信号牌等其他要求都应与前面的 2 项相同。

反时限过流保护如在运行中，不改变时间定值可以只校验整定端子的时间特性曲线（如需运行中改变时间定值时，对所有整定点均应进行校验）。

a. 将继电器的动作时间分别整定为 2 秒和 4 秒，整定电流置于 2A 插孔，在时限的最大和最小位置分别通入不同倍数的动作电流，录取反时限特性曲线，实验接线见图 7-4。

b. 按图接线，分别加入 2，2.5，3.0，3.5，4，4.5，5A 标度整定电流（本实验为 2A），分别测试对应电流的时间记录于表 7-2 中，并绘制出二条反时限特性曲线。

表 7-2

<table>
<tr><td colspan="2">动作电流整定范围</td><td></td><td colspan="2">动作时间整定范围</td><td></td><td colspan="2">速断倍数整定范围</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">动作电流整定值</td><td>A</td><td colspan="2">动作时间整定值</td><td>秒</td><td colspan="2">速断倍数整定值</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">感应元件始动电流</td><td colspan="3">A</td><td colspan="3">始动电流/整定电流</td><td colspan="2">%</td></tr>
<tr><td>启动电流</td><td colspan="2">A</td><td>返回电流</td><td colspan="2">A</td><td>返回系数</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">试验时速断元件整定于最大值</td><td colspan="9">感应元件反时限特性记录表（实验电流=整定电流×倍数）</td></tr>
<tr><td>实验电流值（A）</td><td>2.4</td><td>2.6</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr>
<tr><td>2 秒时的动作时间（s）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4 秒时的动作时间（s）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">试验时将框架塞住</td><td colspan="8">速断元件检测记录表（实验时速断标度倍数可选择 2 倍）</td></tr>
<tr><td>电流整定标度</td><td>2A</td><td>2.5A</td><td>3A</td><td>3.5A</td><td>4A</td><td>4.5A</td><td>5A</td></tr>
<tr><td>速断电流标度</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>计算值（A）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>实测值（A）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>误差（%）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

时间特性的调整可通过调节阻尼磁铁位置来实现，当时间特性前半段（动作电流小）动作时间太长，则将阻尼永久磁铁向内移，反之向外移，不过阻尼磁铁向外移动时，有一定的限度即整个磁铁仍在圆盘面积以内，若越过转盘面积以外时，将阻尼磁铁向外移动则反使前

段时间缩短。另外还可调整时间刻度盘，适当改变时间特性.

4. 速断元件刻度盘的检测

实验时速断元件的动作电流应用冲击电流的方式试验，返回电流则用逐渐减小的方式测的。

(1) 将继电器电流整定端子放在标度某个定值的插孔内（见表 7-2），时间刻度放在 2 秒处，速断标度在 2 倍处，桌面上的三相调压器旋钮置于逆时针到底位置。

(2) 合上开关 SB1，调节三相调压器旋钮使继电器电流到电磁元件动作，然后稍稍减小电流打开 SB1。

(3) 将框架塞住，然后冲击地合上开关 SB1，重复几次找出瞬动元件的动作电流。

(4) 冲击地加入 0.8 倍速断启动值的电流，看看速断元件动作不动作。

(5) 通入 1.1 倍的继电器速断起动值的电流。再打开 SB1，然后冲击地加上 1.1 倍速动起动电流（实验接线见图 7-4）。

5. 重复检查并假封印

继电器检测整定后，应重复检查所有的螺钉、螺帽是否已拧紧，磁极间有没有杂物等，然后将外壳盖好并加封印。

继电器需搬运时，应将感应元件可动部分扎住，用纸将速断元件可动衔铁卡住，运输到现场后在由现场负责人将扎线及纸去掉，检查机械部分后重新封印访可投入运行。

六. 技术数据及说明

1. 继电器的额定数值与调整范围列于表 7-4 中

表 7-4

<table>
<tr><td rowspan="2">型号规格</td><td rowspan="2">额定电流(A)</td><td colspan="3">整定值</td></tr>
<tr><td>动作电流(A)</td><td>10 倍整定动作电流下动作时间(s)</td><td>瞬动电流倍数</td></tr>
<tr><td>GL-21/10</td><td rowspan="2">10</td><td rowspan="2">4,5,6,7,8,9,10</td><td rowspan="4">0.5,1,2,3,4</td><td rowspan="10">2,4,6,8</td></tr>
<tr><td>GL-25/10</td></tr>
<tr><td>GL-21/5</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">2,2.5,3,3.5,4,4.5,5</td></tr>
<tr><td>GL-25/5</td></tr>
<tr><td>GL-22/10</td><td>10</td><td>4,5,6,7,8,9,10</td><td rowspan="2">2,4,8,12,16</td></tr>
<tr><td>GL-22/5</td><td>5</td><td>2,2.5,3,3.5,4,4.5,5</td></tr>
<tr><td>GL-23/10</td><td>10</td><td>4,5,6,7,8,9,10</td><td rowspan="2">2,3,4</td></tr>
<tr><td>GL-23/5</td><td>5</td><td>2,2.5,3,3.5,4,4.5,5</td></tr>
<tr><td>GL-24/10</td><td rowspan="2">10</td><td rowspan="2">4,5,6,7,8,9,10</td><td rowspan="4">8,12,16</td></tr>
<tr><td>GL-26/10</td></tr>
<tr><td>GL-24/5</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">2,2.5,3,3.5,4,4.5,5</td></tr>
<tr><td>GL-26/5</td></tr>
</table>

2．继电器线圈的长期允许电流为 110%额定电流。

3．继电器的返回系数，对于 GL-21．22 型应不小于 0.85，对于 GL-23．24．25．26 型应不小于 0.8。

4．当电流为继电器的整定电流时，继电器的功率消耗不大于 15VA。

5．触点性能

5.1．动合主触点性能

动合主触点在电压不大于 250V 时，能接通直流或交流 5A，但是断开它所接通的电路，应当由其它触点担任(例如：油开关的辅助触点)。

5.2．动断主触点性能

动断主触点在电压不大于 250V，电流不大于 0.5A 的直流有感负荷电路(电路的时间常数为 5±0.75ms)中，断开功率为 50W；在电压不大于 250V，电流不大于 2A 的交流电路(电路的功率因数为 0.4±0.1)中，断开功率为 250VA。

如果被控电路系由变流器供电并与继电器主触点并联，且当电流为 4A 时，其总阻抗不大于 4Ω，则继电器的主触点在电流不大于 50A 情况下能够将这个电路分流接通与分流断开。

5.3．继电器的过渡转换主触点控制电路由变流器供电，且其阻抗值在电流为 3.5A 时不大于 4.5Ω，当电流增至 150A 时，继电器主触点能够将这个电路分流接通与分流断开。

5.4．辅助触点性能

继电器的动合辅助触点，在电压不大于 250V 时能接通或断开电流不大于 0.2A 的直流无感电路或电流不大于 0.5A 的交流电路。

6．继电器重量约为 5kg。

实验十一　6-10KV 线路过流保护实验

一．实验目的

1．掌握过流保护的电路原理，深入认识继电器保护自动装置的二次原理接线图和展开接线图。

2．进行实际接线操作，掌握过流保护的整定调试和动作试验方法。

二．预习与思考

1．为什么要选定主要继电器的动作值，并且进行整定？

2．过电流保护中哪一种继电器属于测量元件？

三．原理说明

电力自动化与继电保护设备称为二次设备，二次设备经导线或控制电缆以一定的方式与其他电气设备相连接的电路称为二次回路，或叫二次接线。二次电路图中的原理接线图和展开接线图是广泛应用的两种二次接线图。它是以两种不同的型式表示同一套继电保护电路。

1.原理接线图

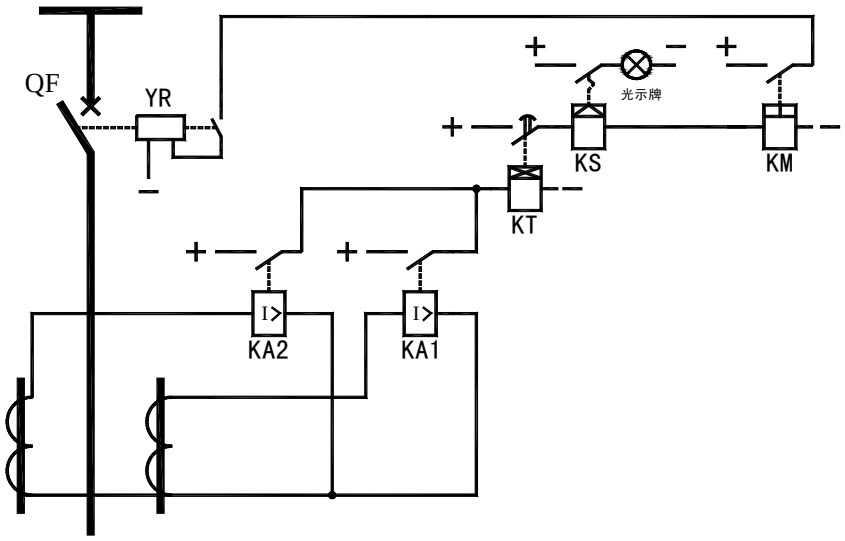


图 11-1 6～10KV 线路的过电流保护原理接线图

原理接线图用来表示继电保护和自动装置的工作原理。所有的电器都以整体的形式绘在一张图上，相互联系的流回路、电压电路和直流回路都综合在一起，为了表明这种回路对一次回路的作用，将一次回路的有关部分也画在原理接线图里，这样就能对这个回路有一个明确的整体概念。图 11-1 表示 6～10KV 线路的过电流保护原理接线图，这也是最基本的继电保护电路。

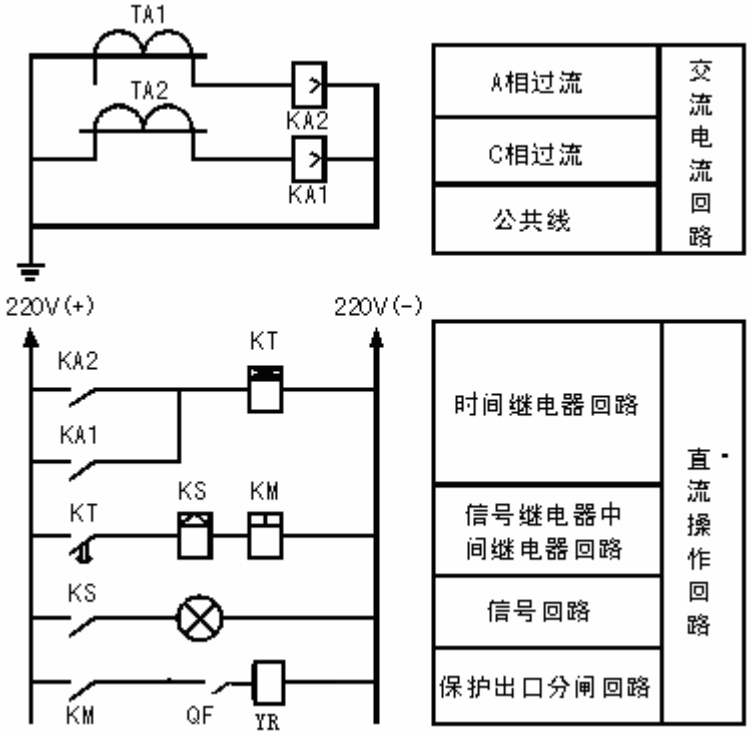


图 11-2 线路过电流保护展开图

从图 11-1 中可以看出，整套保护装置由五只继电器组成，电流继电器 KA2．KA1 的线圈接于 A、C 两相电流互感器的二次线圈回路中，即两相两继电器式接线。当发生三相短路或任意两相短路时，流过继电器的电流超过整定值，其常开触点闭合，接通了时间继电器 KT 的线圈回路，直流电源电压加在时间继电器 KT 的线圈上，使其起动，经过一定时限后其延时触点闭合，接通信号继电器 KS 和保护出口中间继电器 KM 的线圈回路、二继电器同时起动，信号继电器 KS 触点闭合，发出 6～10KV 过流保护动作信号并自保持，中间继电器 KM 起动后把断路器的辅助触点和跳闸线圈 YR 二者串联接到直流电源中，跳闸线圈 YR 通电，跳闸电铁磁励磁，脱扣机构动作，使断路器跳闸，切断故障电路，断路器 QF 跳闸后，辅助触点分开，切断跳闸回路。

原理接线图主要用来表示继电保护和自动装置的工作原理和构成这套装置所需要的设备，它可作为二次回路设计的原始依据。由于原理接线图上各元件之间的联系是用整体连接表示的，没有画出它们的

内部接线和引出端子的编号、回路的编号；直流仅标明电源的极性，没有标出从何熔断器下引出；信号部分在图中仅标出“至信号”，无具体接线。因此，只有原理接线图是不能进行二次回路施工的，还有其他一些二次图纸配合才可，而展开接线图就是其中的一种。

2.展开接线图

展开接线图是将整个电路图按交流电流回路、交流电压回路和直流回路分别画成几个彼此独立的部分，仪表和电器的电流线圈、电压线圈和触点要分开画在不同的回路里，为了避免混淆，属于同一元件的线圈和触点采用相同的文字符号。

展开接线图一般是分成交流电流回路、交流电压回路、直流操作回路和信号回路等几个主要组成部分。每一部分又分成若干行，交流回路按 a、b、c 的相序，直流回路按继电器

的动作顺序各行从上至下排列。每一行中各元件的线圈和触点按实际连接顺序排列，每一回路的右侧标有文字说明。

展开接线图中的图形符号和文字符号是按国家统一规定的图形符号和文字符号来表示的。

二次接线图中所有开关电器和继电器的触点都按照它们的正常状态来表示，即指开关电器在非动作状态和继电器线圈断电的状态。因此，所谓的常开（动合）触点就是继电器线圈不通电时，该触点断开，常闭（动断）触点则相反。

图 11-2 是根据 11-1 所示的原理接线图而绘制的展开接线图。左侧是保护回路展开图，右侧是示意图。从中可看出，展开接线图由交流电流回路、直流操作回路和信号回路三部分组成。交流电流回路由电流互感器 TA 的二次绕组供电，电流互感器又装在 A、C 两相上，其二次绕组各接入一个电流继电器线圈，然后用一根公共线引回构成不完全星形接线。

直流操作回路中，画在两侧的竖线表示正、负电源。横线条中上面两行为时间继电器起动回路，第三行为信号继电器和中间继电器起动回路，第四行为信号指示回路，第五行为跳闸回路。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-01C	断路器及触点控制回路	1
3	EPL-41	电阻盘 I	1
4	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
5	EPL-05	继电器（二）—DS-21 时间继电器	1
6	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器	1
7	EPL-07	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
8	EPL-12B	光示牌	1
9	EPL-17A	三相电源	1
10	EPL-11	直流电源及母线	1
11	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1

五．实验内容

1．选择电流继电器的动作值（确定线圈接线方式）和时间继电器的动作时限。

2．对电流继电器和时间继电器进行元件参数整定调试。电流继电器整定成 1.75A，时间继电器整定成 1.2S。

3．按图 11-3 过流保护实验接线图接线。

KA 分别采用 EPL-04 的 DL-21C 电流继电器，KM 采用 DZ-31B 中间继电器，

4．接通电源，电压从 0V 增大，直至保护动作，并认真观察动作过程，做好记录，深入理解多个继电器在保护电路中的作用和动作次序。

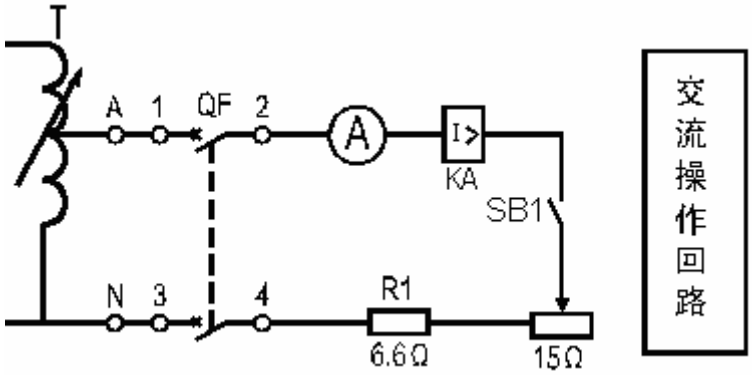


图 11-3a 线路过电流保护交流回路接线图

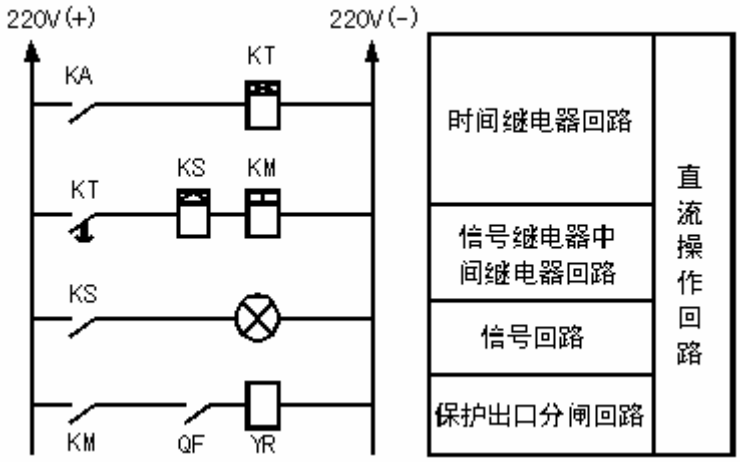


图 11-3b 线路过电流保护直流回路接线图

六．实验报告

1．试验结束后要认真进行分析总结，按实验报告要求及时写出过电流保护的实验报告。

2．叙述过电流保护整定试验的操作步骤。

3．分析说明过电流保护装置的实际应用和保护范围。

4．书面解答本实验的思考题。

表 12-1

序号	代号	型号规格	实验整定值	线圈接法	整定范围	过电流时的工作状态
1	KA					
2	KT					
3	KS					
4	KM					

实验十二　低电压闭锁过电流保护实验

一．实验目的

1．掌握低电压闭锁过电流保护的电路原理，保护范围和整定原则。

2．理解保护电路中各继电器的功用和整定方法。

二．预习与思考

1．图 13-1 保护装置中的电压继电器，电流继电器、中间继电器、信号继电器等在电路中各起到什么作用？

2．电路中各个继电器的参数是根据什么原则整定的？

3．假如电流继电器的线圈接入了交流电压会出现什么严重后果？误接入直流操作电压是否也会出现严重后果？

三．原理说明

在线路过电流保护的电流继电器 KA 的常开触点回路中，串入低电压继电器 KV 的常闭触点，而 KV 经过电压互感器 TV 接至被保护线路的母线上。

当供电系统正常运行时，母线电压接近于额定电压，因此电压继电器 KV 的常闭触点是断开的。因此这时的电流继电器 KA 即使由于过负荷而误动作，使其触点闭合，断路器 QF 也不致误跳闸。正因为如此，凡装有低电压闭锁的过电流保护动作电流（也包括返回电流）不必按躲过线路的最大负荷电流 $I_{L.min}$ 来整定，而只需按躲过线路的计算电流 I_{30} 来整定，即

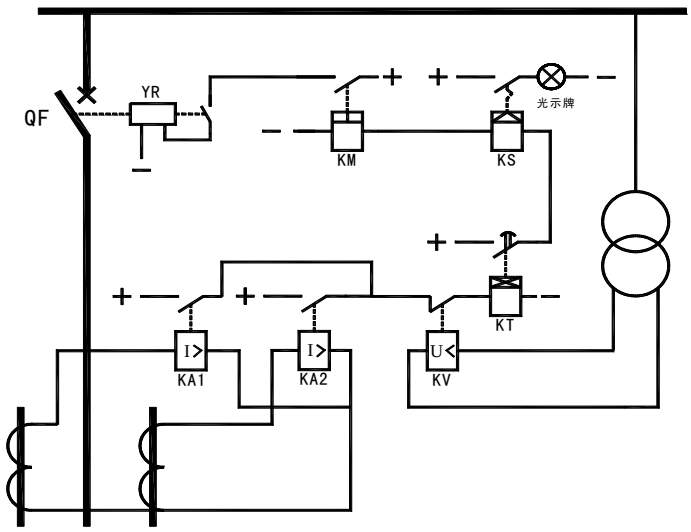


图 13-1 低电压闭锁过电流保护装置

$$I_{op}=\frac{K_{rel}K_w}{K_{re}K_i}I_{30} \qquad (13\text{-}1)$$

式中，K_{rel} 为保护装置电流整定的可靠系数，对 DL 型继电器，取 K_{rel}=1.2；K_w 为保护装置的接地系数，对两相两继电器接线为 1，对两相一继电器接线为 $\sqrt{3}$；K_i 为电流互感器

的变流比，保护装置的返回系数为 K_{re}，一般为 0.8。

由于其 I_{op} 的减小，能有效地提高过电流保护的灵敏度。

上述低电压继电器 KV 的动作电压按躲过母线正常最低工作电压 U_{min} 来整定，同时返回电压也应躲过 U_{min}。因此低电压继电器动作电压的整定计算公式为

$$Uop=\frac{U_{\min}}{K_{rel}K_{re}K_u}\approx 0.6\frac{U_n}{K_u} \qquad (13\text{-}2)$$

式中，U_{min} 为母线最低工作电压，取(0.85～0.95)U_N；U_N 为线路额定电压；K_{rel} 为保护装置的可靠系数，可取 1.2；K_{re} 为低电压继电器的返回系数，一般取 1.25；K_u 为电压互感器的变压比。

低电压闭锁过电流的动作过程：

在图 13-1 所示低电压闭锁过电流保护装置中，按正常运行时母线电压为额定值，所以给低电压继电器加入额定交流电压，此时低电压继电器 KV 的 常闭触点是打开的，电流继电器 KA1．KA2 触点也处于断开位置。在保护范围内相间短路时，交流电压回路的电压降低至整定值，交流电流回路的电流升高至动作值，相应的低电压继电器与电流继电器均动作，接点闭合，由相应的低电压继电器起动时间继电器 KT 触点，KT 触点连通 KS 线圈和 KM 线圈所组成的回路，使后者动作，发出跳闸脉冲使断路器跳闸。当其他线路故障时，母线电压下降，使电压继电器动作，但因电流继电器 KA1．KA2 均未动作，故不会起动 KM。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-01C	断路器及触点控制回路	1
3	EPL-41	电阻盘 I	1
4	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
5	EPL-05	继电器（二）—DS-21 时间继电器 —DY-28C 电压继电器	1
6	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器	1
7	EPL-07	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
8	EPL-11	交流电压表	1
9	EPL-11	交流电流表	1
10	EPL-12B	光示牌	1
11	EPL-17A	三相电源	1
12	EPL-11	直流电源及母线	1
13	EPL-20A	变压器及单相可调电源	1

五．实验内容

1．根据教学要求确定低电压继电器的速断动作电压和过电流继电器的闭锁动作电流。

在本实验中，可设定 U_N=28V，I_{30}=1.75A；

2．根据中间继电器和信号继电器的技术参数选择操作电源电压（本实验装置选用直流220V）。

3．按图 13-2a 和图 13-2b 实验接线图进行安装接线。

电压继电器采用 EPL-05 的 DY-28C，同时接一交流电压表（量程为 200V 档）

把各按钮、开关的初始位置设定如下：

三相调压器旋钮置于逆时针到底位置。

4．检查上述接线的正确性，确定无误后，合上漏电断路器和线路电源绿色按钮开关及直流电源船形开关。

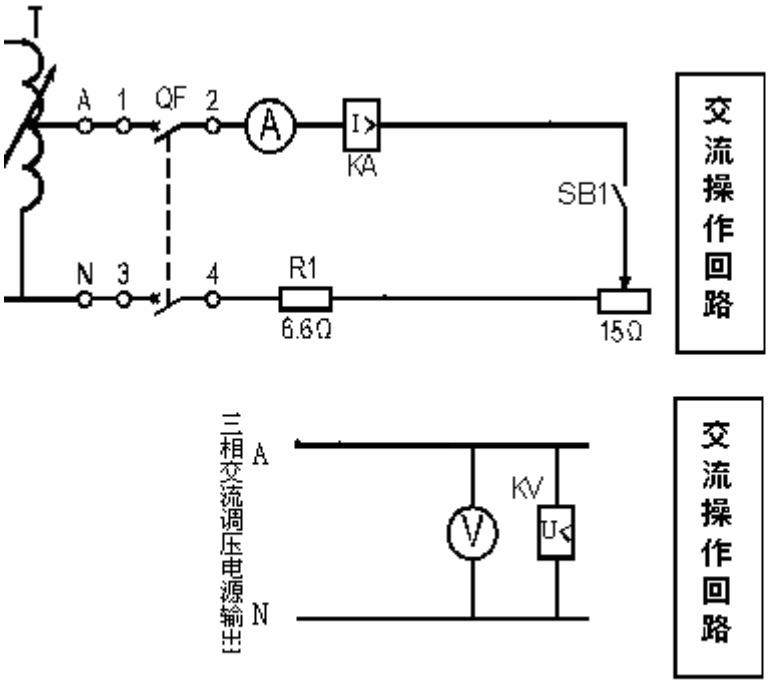


图 13-2a 低电压闭锁过电流保护交流回路接线图

用EPL-20A模拟过电流,用EPL-17的AN相电压模拟低电压.缓慢调节三相调压器旋钮，注意观察交流电压表的读数至 28V 时,低电压继电器的动作情况；合上 SB1 按纽，逆时针调节故障点设置旋钮，注意观察过电流继电器的动作情况。

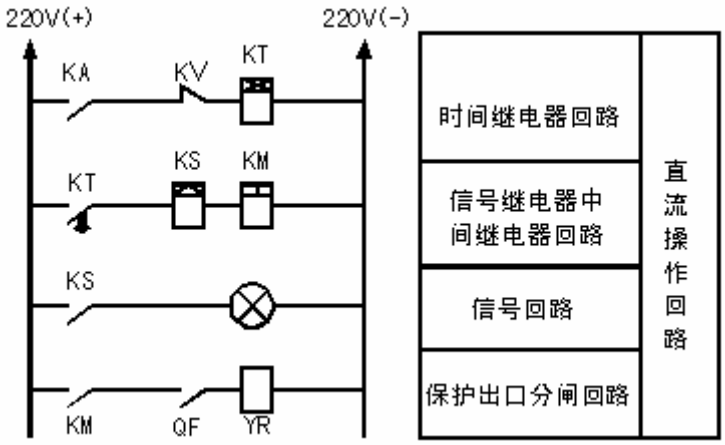


图 13-2b 低电压闭锁过电流保护直流回路接线图

六．实验报告

根据低电压闭锁过电流保护的工作特性，详述保护装置的具体动作过程，分析在最大和最小运行方式下，为什么均能满足保护动作的选择性，结合思考题写出实验报告。

表 13-1

序号	代号	型号规格	实验整定值或额定工作值	线圈接法	整定范围	过电流时的工作状态	交流电路断开时
1	KV						
2	KA1						
3	KA2						
4	KT						
5	KS						
6	KM						

七．实验思考

如果设定 U_N=40V，试根据已知实验现象分析低电压继电

实验十三　单辐射式输电线路阶段式电流保护实验

一．实验目的

1．掌握无时限电流速断保护、带时限电流速断保护及过电流保护的电路原理，工作特性及整定原则。

2．理解输电线路阶段式电流保护的原理图及保护装置中各继电器的功用。

3．掌握阶段式电流保护的电气接线和操作实验技术。

二．预习思考

1．阶段式电流保护为什么要使各段的保护范围和时限特性相配合？

2．由指导老师提供有关技术参数，对阶段式电流保护参数进行计算与整定。

3．为什么在实验中，采用两相一继接法阶段式保护能满足教学要求？并指出其优缺点。

4．阶段式保护动作之前是否必须对每个继电器进行参数整定？为什么？

5．写出控制回路前后的过程和原理。

三．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-02A	A 站保护， B 站保护	1
3	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
4	EPL-05	继电器（二）—DS-21 时间继电器	1
5	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器	1
6	EPL-07B	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
7	EPL-11	交流电压表	1
8	EPL-11	交流电流表	1
9	EPL-12	光示牌	1
10	EPL-17A	三相交流电源	
11	EPL-11	直流电源及母线	1

四．阶段式电流保护实验原理及接线图

无时限电流速断保护、带时限电流速断保护和定时限过电流保护都是反应于电流升高而动作的保护装置。他们之间的区别主要在于按照不同的原则来来选择起动电流。即速断是按照躲开某一点的最大短路电流来整定，限时速断是按照躲过前方各相邻元件电流速断保护的动作电流整定，而过电流保护则是按照躲过最大负荷电流来整定。由于电流速断不能保护线

路全长，限时电流速断又不能作为相邻元件的后备保护，因此，为保证迅速而有选择性的切除故障，常常将电流速断、限时电流速断和过电流保护组合在一起，构成阶段式过流保护。具体应用时，可以只采用速断加过流保护，或限时速断加过流保护，及构成两段式过流保护，也可以三者同时使用，及构成三段湿过流保护。

1．无时限电流速断保护

阶段式电流保护通常用于 3—66kV 电力线路的相间短路保护。在被保护线路上发生短路时，流过保护安装点的短路电流值，随短路点的位置不同而变化。在线路的始端短路时，短路电流值最大；短路点向后移动时，短路电流将随线路阻抗的增大而减小，直至线路末端短路时短路回路的阻抗最大，短路电流最小。短路电流值还与系统运行方式及短路的类型有关。图 11-1 曲线 1 表示在最大运行方式下发生三相短路时，线路各点短路电流变化的曲线；曲线 2 则为最小运行方式下两相短路时，短路电流变化的曲线。

由于本线路末端 f1 点短路和下一线路始端的 f2 点短路时，其短路电流几乎是相等的（因 f1 离 f2 很近，两点间的阻抗约为零）。如果要求在被保护线路的末端短路时，保护装置能够动作，那么，在下一线路始端短路时，保护装置不可避免地也将动作。这样，就不能保证应有的选择性。为了保证保护动作的选择性，将保护范围严格地限制在本线路以内，就应使保护的动作电流 $I_{op1.1}$（为保护 1 的动作电流折算到一次电路的值）大于最大运行方式下线路末端发生三相短路时的短路电流 $I_{f.B.max}$，即

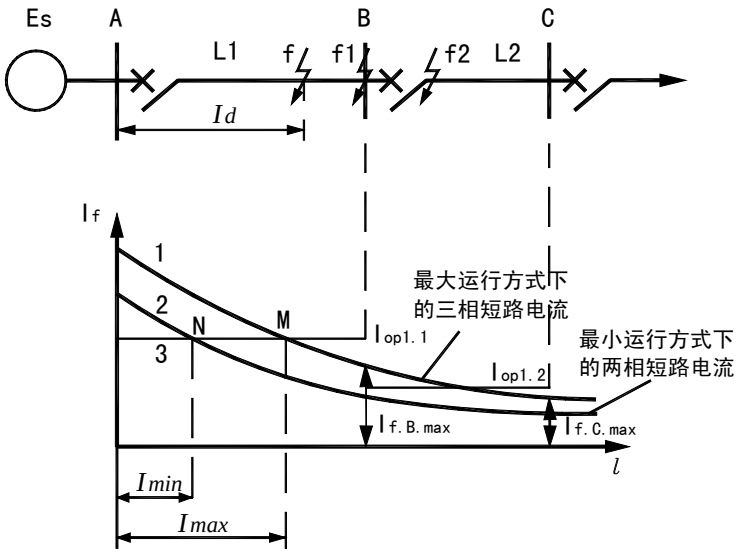


图11-1 瞬时电流速断保护的整定及动作范围

$$I_{op1.1}>I_{f.b.max},\quad I_{op1.1}=K_{rel}I_{f.b.max}$$

式中，K_{rel}—可靠系数，当采用电磁型电流继电器时，取 K_{rel}=1.2~1.3。

显然，保护的动作电流是按躲过线路末端最大短路电流来整定，可保证在其他各种运行方式和短路类型下，其保护范围均不至于超出本线路范围。但是，按照以上公式整定的结果（如图 11-1 中的直线 3）。保护范围就必然不能包括被保护线路的全长。因为只有当短路电流大于保护的动作电流时，保护才能动作。从图 11-1 中能够得出保护装置的保护范围。还可以看出，这种保护的缺点是不能保护线路的全长，而且随着运行方式及故障类型的不同，其保护范围也要发生的相应变化。图 11-1 中在最大运行方式下三相短路时，其保护范围为 l_{max}；而在最小运行方式下两相短路时，其保护范围则缩小至 l_{min}。无时限电流速断保护的优点是：因为不反应下一线路的故障，所以动作时限将不受下一线路保护时限的牵制，可以瞬时动作。

无时限电流速断保护的灵敏度可用其保护范围占线路全长的百分数来表示。通常，在最大运行方式下保护区达到线路全长的 50%、在最小运行方式下发生两相短路时能保护线路

全长的 15%—20%时，即可装设瞬时电流速断。所以在线路始端一定范围内短路时，无时限电流速断保护可以做到快速地切除附近故障。

2．带时限电流速断保护

无时限电流速断保护（也称第 I 段保护）虽然能实现快速动作，但却不能保护线路的全长。因此，必须装设第 II 段保护，即带时限电流速断保护，用以反应无时限电流速断保护区外的故障。对第 II 段保护的要求是能保护线路的全长，还要有尽可能短的动作时限。

（1）带时限电流速断保护的保护范围分析

带时限电流速断保护要求保护线路的全长，那么保护区必然会延伸至下一线路，因为本线路末端短路时流过保护装置的短路电流与下一线路始端短路时的短路电流相等，再加上还有运行方式对短路电流的影响，如若较小运行方式下保护范围达到线路末端，则较大运行方式下保护范围必然延伸到下一线路。为尽量缩短保护的动作时限，通常要求带时限电流速断延伸至下一线路的保护范围不能超出下一线路无时限电流速断的保护范围，因此线路 L1 带时限电流速断保护的动作电流 $I_{op1.1}^{II}$ 应大于下一线路无时限电流速断保护的动作电流 $I_{op1.2}^{I}$，即

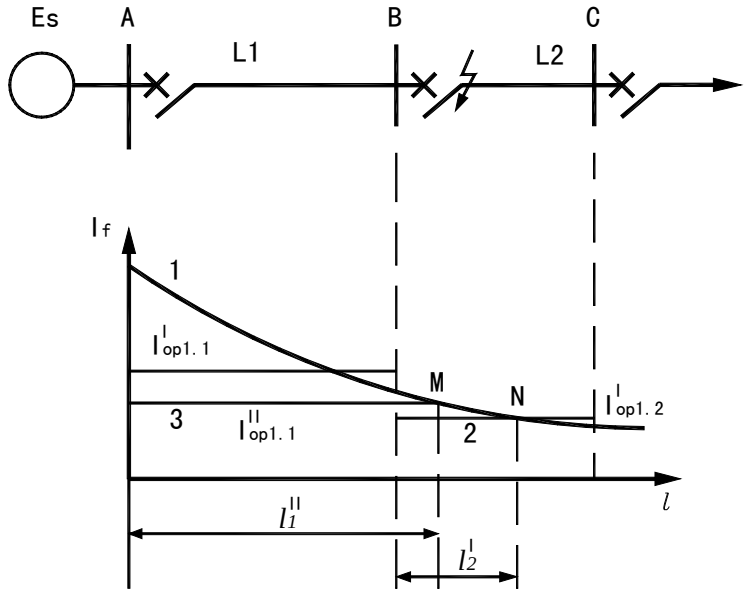


图11-2 限时电流速断保护的保护范围分析

$$I_{op1.1}^{II} > I_{op1.2}^{I}$$

$$I_{op1.1}^{II} = K_{rel} I_{op1.2}^{I}$$

式中，K_{rel}—可靠系数，考虑到非周期分量的衰减一般取 K_{rel}=1.1~1.2。

该保护的保护范围分析见图 11-2。由图可知，为保证保护动作的选择性，带时限电流速断保护的动作时限需要与下一线路的无时限电流速断保护相配合，即应比后者的时限大一个时限级差 Δt。

时限级差，从快速性的角度要求，应愈短愈好，但太短了保证不了选择性。其时限配合如图 11-3 所示。当在下一线路首端 f 点发生短路故障时，本线路 L1 的带时限电流速断保护和下一线路 L2 的无时限电流速断保护同时启动，但本线路 L1 的带时限电流速断保护需经过延时后才能跳闸，而下一线路 L2 的无时限电流速断保护瞬时跳闸将故障切除，这就保证了选择性。要做到这一点 Δt 应在 0.3-0.6s 间，一般取 0.5s。

（2）灵敏度校验

为了使带时限电流速断能够保护线路的全长，应以本线路的末端作为灵敏度的校验点，以最小运行方式下的两相短路作为计算条件，来校验保护的灵敏度。其灵敏度为

$$K_{sen}=\frac{I_{f.B.\min}}{I_{op1}^{II}}$$

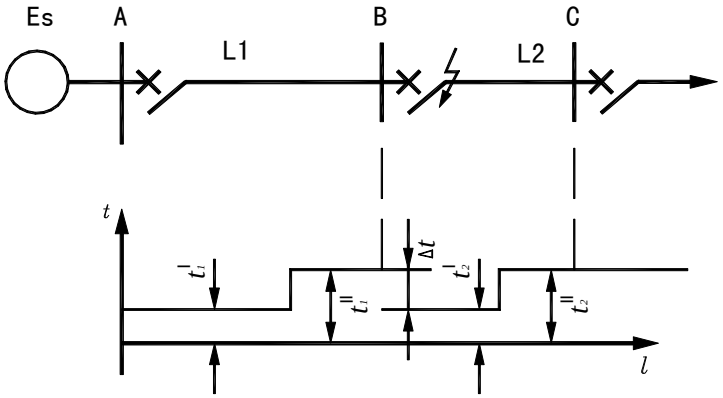


图11-3 限时电流速断保护与瞬时电流速断的时限配合

式中，$I_{f.B.min}$—在线路 L1 末端短路时流过保护装置的最小短路电流；

I_{op1}^{II}—线路 L1 带时限电流速断保护的动作电流值折算到一次电路的值。

根据规程要求，灵敏度系数应不小于 1.3。如果保护的灵敏度不能满足要求，有时还采用降低动作电流的方法来提高其灵敏度。为此，应使线路 L1 上的带时限电流速断保护范围与线路 L2 上的带时限电流速断保护相配合，即

$$I_{op1.1}^{II}=K_{rel}I_{op1.2}^{II}$$

$$t_1^{II}=t_2^{II}+\Delta t$$

式中，$I_{op1.2}^{II}$——L2 上的带时限电流速断保护的一次动作电流值。

t_2^{II}——L2 上的带时限电流速断保护的动作时间。

显然，动作时限增大了，但灵敏度却提高了，而且仍保证了动作的选择性。

3．定时限过电流保护

无时限电流速断保护和带时限电流速断保护能保护线路全长，可作为线路的主保护用。为防止本线路的主保护发生拒动，必须给线路装设后备保护，以作为本线路的近后备和下一线路的远后备。这种后备保护通常采用定时限过电流保护（又称为第 III 段保护），其动作电流按躲过最大负荷电流整定，动作时限按保证选择性的阶梯时限来整定。其原理接线图与带时限电流速断保护相同，但由于保护范围和保护的作用不同，其动作电流和动作时限则不同。

（1）定时限过电流保护的工作原理和动作电流

过电流保护工作原理：

正常运行时，线路流过负荷电流，保护不动。当线路发生短路故障时，保护启动，经过保证选择性的延时动作，将故障切除。

过电流保护动作电流：

过电流保护动作电流的整定，要考虑可靠性原则，即只有在线路存在短路故障的情况下，才允许保护装置动作。

过电流保护应按躲过最大的负荷电流计算保护的动作电流，根据可靠性要求，过电流保

护的动作电流必须满足以下两个条件。

1） 在被保护线路通过最大负荷电流的情况下，保护装置不应该动作，即

$I_{op1}^{III} > I_{L\max}$。

式中，I_{op1}^{III}——保护的一次动作电流值

$I_{L\max}$——被保护线路的最大负荷电流

最大负荷电流要考虑电动机自启动时的电流。由于短路时电压下降，变电所母线上所接负荷中的电动机被制动，在故障切除后电压恢复时，电动机有一个自启动过程，电动机自启动电流大于正常运行时的额定电流 $I_{N.M}$，则线路的最大负荷电流 I_{Lmax} 也大于其正常值 I_R，即

$I_{L\max} = K_{ast} I_R$。

式中，K_{ast}——自启动系数，一般取 1.5~3。

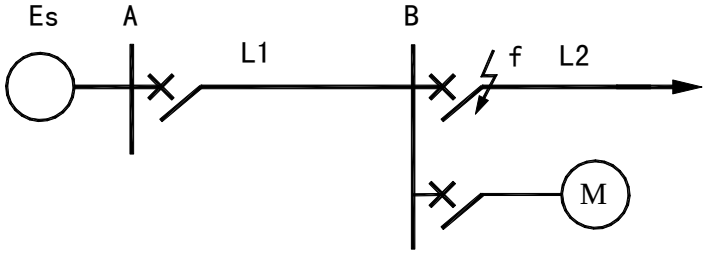


图11-4 过电流保护动作电流

2）对于已经启动的保护装置，故障切除后，在被保护线路通过最大负荷电流的情况下应能可靠地返回。如图 11-4 所示，在线路 L1．L2 分别装有过电流保护 1 和保护 2，当在 f 点短路时，短路电流流过保护 1 也流过保护 2，它们都启动。按选择性的要求，应该由保护 2 动作将 QF2 跳开切除故障。但由于变电所 B 仍有其他负荷，并且因电动机自启动，线路 L1 可能出最大负荷电流，为使保护 1 的电流继电器可靠返回，它的返回电流 I_{rel}（继电器的返回电流折算到一次电路的值），应大于故障切除后线路 L1 最大负荷电流 I_{Lmax}。

$$I_{rel} > K_{ast} I_R$$

$$I_{rel} = K_{rel} K_{ast} I_R$$

式中，I_{rel}——保护 1 的返回电流

由于 $K_{re} = \dfrac{I_{re}}{I_{op}}$，即

$$I_{op1} = \frac{I_{rel}}{K_{re}}$$

$$I_{op1}^{III} = \frac{K_{rel} K_{ast}}{K_{re}} I_R$$

式中，K_{rel}——可靠系数，取 1. 2 ~1.25。

K_{re}——电流继电器的返回系数，取 0.85~0.95。

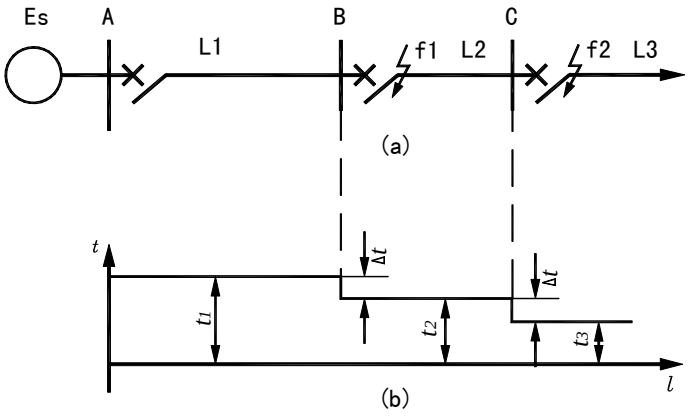


图11-5 定时限过电流保护的动作时限

（2）动作时限的整定

定时限过电流保护的动作时限，应根据选择性的要求加以确定。例如，在图 11-5 所示的辐射形电网中，线路 L1 上装设有过电流保护 1，线路 L2 和线路 L3 上也都分别装设有过电流保护 2 和 3。那么当线路 L3 上的 f2 点发生短路故障时，短路电流将从电源经线路 L1. 线路 L2 和线路 L3 而流向短路点。这样，过电流保护 1．2 及 3 均启动。但是，根据选择性的要求，应该只由保护 3 动作使 QF3 跳闸。为此，就应使保护 2 的动作时限 t2 大于保护 2 的延时 t2。由此可见，装于辐射形电网中的各定时限过电流保护装置，其动作时限必须按选择性的要求互相配合。配合的原则是：离电源较近的上一级保护的动作时限，应比相邻的、离电源较远的下一级保护的动作时限要长（注意：是过电流保护之间的配合）。在图 11-5 中将各级保护的整定时限特性画于图 11-5b）中，好似一个阶梯，这就是通常所说的阶梯形时限特性。

若线路 L3 有几条并行的出线，那么保护 2 的时限应与其中最大的时限配合。由此可见，每条电力线路过电流保护的动作时限，不能脱离整个电网保护配置的实际情况及时限的配合要求，不能孤立地加以整定。处于电网终端的保护，其动作时限是无时限的或只带一个很短的时限，因为它没有下一线路保护需要配合。在这种情况下，过电流保护常可作为主保护，而无需再装设无时限动作的其他保护。

按照时限配合的要求，保护装设地点离电源愈近，其动作时限将愈长，而故障点离电源愈近，短路电流却愈大，对系统的影响也愈严重。所以，定时限过电流保护虽可满足选择性的要求，却不能满足快速性的要求。故障点离电源近，其动作时间反而长。这是它的缺点。正因为如此，定时限过电流保护在电网中一般用作其他快速保护的后备保护。

这种过电流保护的动作时限是由时间继电器建立的，整定后其定值与短路电流的大小无关，故称为定时限过电流保护。

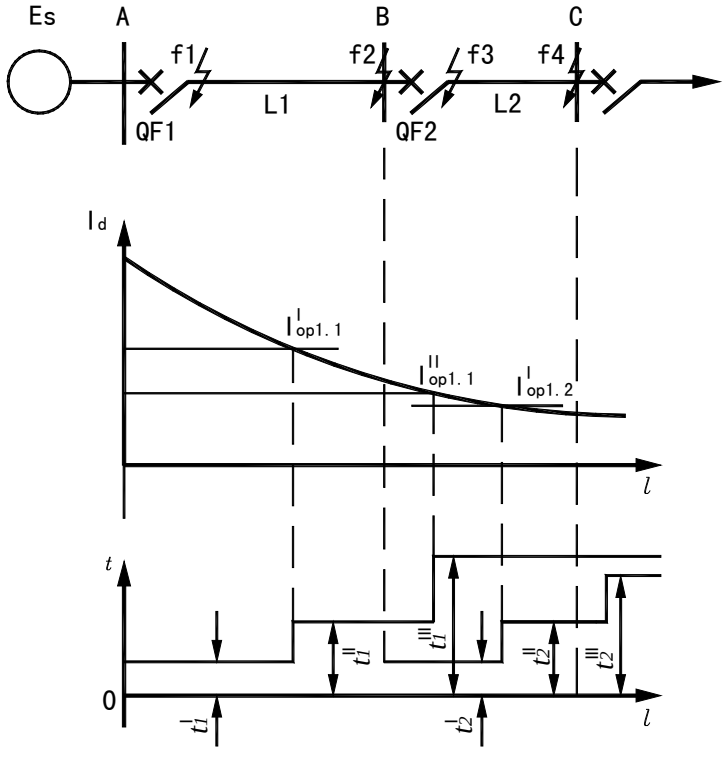


图11-6 三段式电流保护各段保护范围及时限配合

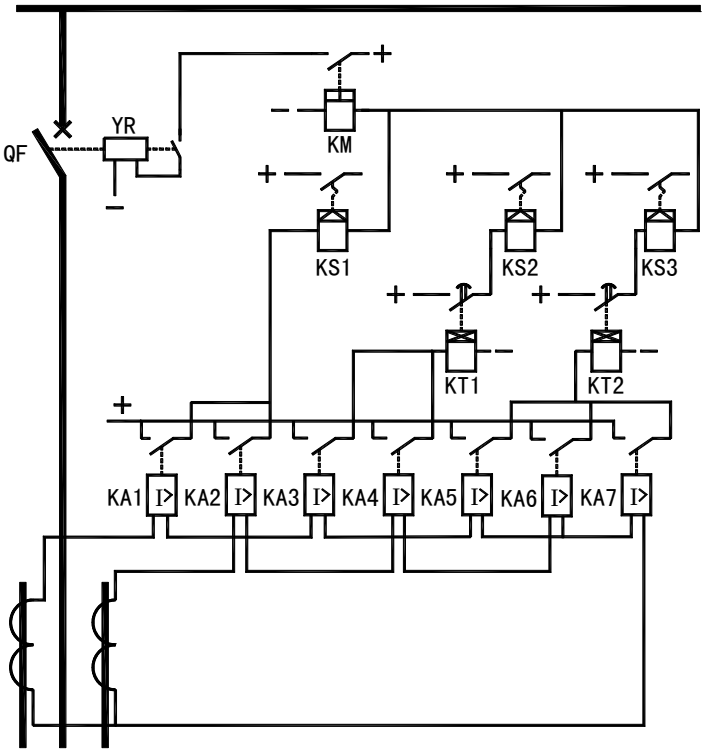
（3）灵敏度校验

为了使保护达到预期的保护效果，还应进行灵敏度的校验，即在保护区内发生短路时，验算保护的灵敏系数是否满足要求。显然，这种验算应针对最不利的条件，亦即在短路电流的计算值为最小的条件下进行。因为只有在这种情况下的灵敏系数满足要求时，才能保证在其他任何情况下的灵敏系数都能满足要求。

电流保护的灵敏系数 K_{sen}，等于保护区末端金属性短路时，短路电流的最小计算值 I_{fmin}

与保护动作电流 I_{op1}^{III} 之比，即

$$K_{sen}=\frac{I_{f\min}}{I_{op1}^{III}}。$$



作为本线路近后备保护时，I_{fmin} 为本线路末端短路时流过保护的最小短路电流，要求灵敏系数 K_{sen}≥1.3-1.5；作为下一线路远后备保护时，最小计算值为下一线路末端短路时流过保护的最小短路电流，要求灵敏系数 K_{sen}≥1.2。

4．线路相同短路的阶段式电流保护装置

由无时限电流速断保护、带时限电流速断保护、定时限过电流保护相配合而构成阶段式电流保护装置。这三部分保护分别叫作 I、II、III 段，其中 I 段无时限电流速断保护、II 段带时限电流速断保护是主保护，III 段定时限过电流保护是后备保护。

（1）阶段式电流保护的保护范围及时限配合

如图 11-6 所示，当在 L1 线路首端 f1 点短路时，保护 1 的 I、II、III 段均启动，由 I 段将故障瞬时切除，II 段和 III 段返回；在线路末端 f2 点短路时，保护 II 段和 III 段启动，II 段以 0.5s 时限切除故障，III 段返回。若 I、II 段拒动，则过电流保护以较长时限将 QF1 跳开，此为过电流保护的近后备作用。当在线路 L2 上 f3 点发生故障时，应由保护 2 动作跳开 QF2，但若 QF2 拒动，则由保护 1 的过电流保护动作将 QF1 跳开，这是过电流保护的远后备作用。

（2）阶段式电流保护的原理图

阶段式电流保护的原理图如图 11-7 所示，图中各元件均以完整的图形符号表示，有交流回路和直流回路，图中所示的接线方式是广泛应用于小接地电流系统电力线路的两相不完全是星形接线。接于 A 相的阶段式电流保护，由继电器 KA1. KS1 组成 I 段；KA3. KT1. KS2 组成 II 段；KA5．KT2．KS3 组成 III 段。接于 C 相的阶段式电流保护，由继电器 KA2．KS1 组成 I 段；KA4．KT1．KS2 组成 I 段，KA4．KT1．KS2 组成 II 段；KA6．KT2．KS3 组成 III 段。KA7 反映 A 相和 C 相的电流和，它与 KT2．KS3 组成 III 段，可提高保护的灵敏性。为使保护接线简单，节省继电器，A 相与 C 相共用其中的中间继电器、信号继电器及时间继电器。

四．阶段式电流保护实验参数整定计算

如图 11-6 所示，单侧电源辐射式线路，L1 的继电保护方案拟定为阶段式电流保护，保护采用二相二继电器接线，其接线系数 $k_{con}=1$，电流互感器采用 1:1，在最大运行方式下及最小

运行方式下 f1．f2．f3．f4 点三相短路电流值见下表：

表 11-1

短路点	f1	f2	f3	f4	正常最大工作电流
最大运行方式下三相短路电流（A）	6.71	1.56	1.32	0.65	0.20
最小运行方式下三相短路电流（A）	4.97	1.44	1.23	0.62	

阶段式保护的动作值的整定计算

1．线路 L1 的无时限电流速断保护

电流速断保护的动作电流 I_{op1-1} 按大于本线路末端 f2 点在最大运行方式下发生三相短路时流过的短路电流 $I^{(3)}_{f.B.\max}$ 来整定，即保护的一次动作电流为：

$$I^{I}_{op1.1} = K_{rel} I^{(3)}_{f.B.\max} = 1.3 \times 1.56 = 2.028A$$

继电保护的动作电流为： $I^{I}_{dj.1} = K_{con} I^{I}_{op1.1} = 2.028A$

选用 DL－21C/6 型电流继电器，其动作电流的整定范围为 1.5～6A，本段保护整定 2A，线圈采用串联接法。

2．线路 L1 的带时限电流速断保护

（1）要计算线路 L_1 的限时电流速断保护的动作电流，必须首先算出线路 L2 无时限电流速断保护的动作电流 $I_{op1.2}$，按大于本线路末端 f4 点在最大运行方式下发生三相短路时流过的短路电流 $I^{(3)}_{f.C.\max}$ 来整定。

$$I^{I}_{op1.2} = K_{rel} I^{(3)}_{f.C.\max} = 1.3 \times 0.65 = 0.845A$$

线路 L1 的带时限电流速断保护的一次动作电流为：

$$I^{II}_{op1.1} = K_{rel} I^{I}_{op1.2} = 1.1 \times 0.845 = 0.93A$$

继电器的动作电流为： $I^{II}_{dj.1} = K_{con} I^{II}_{op1-1} = 0.93A$

选用 DL－21C/3 型电流继电器，其动作电流的整定范围为 0.5～2A，本保护整定为 0.93A，线圈采用串联接法。

动作时限应与线路 L2 的瞬时电流速断保护配合，即：

$$t^{II}_{.1} = t^{I}_{.2} + \Delta t = 0 + 0.5 = 0.5s$$

选用 DS－21 型时间继电器，其时限调整范围为 0.25～1.25s，为了便于学生在操作中观察本保护整定为 1 秒。

（2）灵敏度校验

带时限电流速断保护应保证在本线路末端短路时可靠动作，为此以 f2 点最小短路电流来校验灵敏度，最小运行方式下的二相短路电流为：

$$I^{(2)}_{f.B.\min} = \frac{\sqrt{3}}{2} I^{(3)}_{f.B.\min} = 0.866 \times 1.44 = 1.247A$$

则在线路末端短路时，灵敏系数为 $K_{sen}=\frac{I^{(2)}_{f.B.\min}}{I^{II}_{op1.1}}=\frac{1.247}{0.93}=1.34>1.3$

3．线路 L1 的定时限过流保护

（1）过电流保护的一次动作电流为：

$$I^{III}_{op1}=\frac{K_{rel}K_{ast}}{K_{re}}I_R=\frac{1.2\times1.5}{0.85}\times0.2=0.423A$$

继电器动作电流为

$$I^{III}_{dj1}=K_{con}I^{III}_{op1}=0.423A$$

选用 DL－21C/1 型电流继电器，其动作电流的整定范围为 0.15～0.6A，本保护整定为 0.43A，线圈采用并联接法。

（2）过电流保护动作时限的整定

为了保证选择性，过电流保护的动作时限按阶梯原则整定，这个原则是从用户到电源的各保护装置的动作时限逐级增加一个△t，所以动作时限 t^{III}_1 应与电路 L2 过电流保护动作时限 t^{III}_2 相配合。如：L2 过电流保护动作时间为 2 秒，L1 过电流保护动作时间为:

$$t^{III}_1=t^{III}_2+\Delta t=2+0.5=2.5$$

选用 DS－22 型时间继电器，其时限调整范围为 1.2～5s，为了便于学生在操作中观察本保护整定为 5 秒。

（3）灵敏度校验：

保护作为近后备时，对本线路 L1 末端 f2 点短路校验，灵敏系数为：

$$K_{sen}=\frac{I^{(2)}_{f.B.\min}{}_{f.B.\min}}{I^{III}_{op1.1}}=\frac{0.866\times1.44}{0.43}=2.9>1.5$$

作线路 L2 的远后备时，校验下一线路末端 f4 点短路，灵敏系数为：。

$$K_{sen}=\frac{I^{(2)}_{f.C.\min}{}_{f.B.\min}}{I^{III}_{op1.1}}=\frac{0.866\times0.62}{0.43}=1.248>1.2$$

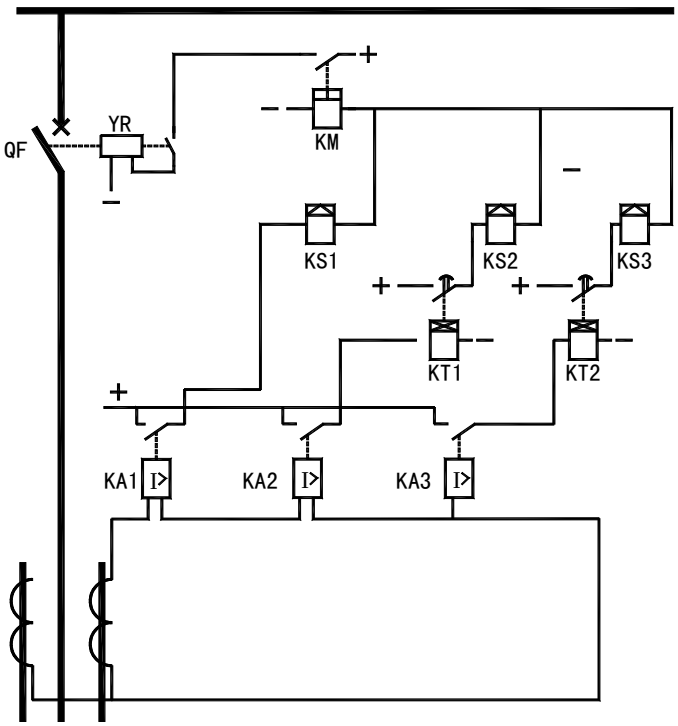
4．阶段式保护选用的继电器规格及整定值列表

序号	用途	型号规格	整定范围	实验整定值	线圈接法
1	无时限电流速断保护	DL－21C/6	1.5～6A	2 A	串联
2	带时限电流速断保护	DL－21C/3	0.5～2A	0.93A	串联
3	定时限过电流保护	DL－21C/1	0.15～0.6A	0.43A	并联
4	带时限电流速断时间	DS－21	0.25～1.25s	1 s	
5	定时限过电流保护时间	DS－22	1.2～5s	5 s	

五．实验内容及步骤

1．根据预习准备，将计算获得的动作参数整定值（电源线电压为100V），对各段保护的每个继电器进行整定。

2．按右图接线，检查无误后，再请指导老师检查，方可进行下一步操作。



3．把各按钮、开关的初始位置设定如下：

系统运行方式切换开关置于“最小”，A、B 站实验内容切换开关置于“正常工作”，A 相短路、B 相短路、C 相短路按钮处于弹出位置，并分别把桌面上的线路故障点设置旋钮置于顺时针到底位置，三相调压器旋钮置于逆时针到底位置。

4．合上漏电断路器和线路电源绿色按钮开关及直流电源船形开关，按下合闸按钮。

缓慢调节三相调压器旋钮，注意观察交流电压表的读数至 100V；

5．把实验内容切换开关置于 A 站保护，模拟 AB 线路末端短路，观察各继电器动作情况，作好动作记录；

6．逆时针调节桌面上的线路故障点设置旋钮，分别模拟 AB 线路中间和始端短路，观察各继电器动作情况，作好动作记录；

六．实验报告

实验前认真阅读实验指导书和相关教材，进行预习准备；实验结束后要认真总结，将相关参数及数据写入表 11-3 中。针对 I 段、II 段、III 段的具体整定方法，按要求并及时写出实验报告，并解答预习思考题。

表 11-3

序号	代号	型号规格	额定工作值	实验整定值	线圈接法
1	KA1				
2	KA2				
3	KA3				
4	KT1				
5	KT2				
6	KM				

实验十四　电流闭锁电压速断保护实验

一．实验目的

1．掌握电流闭锁电压速断保护的电路原理，保护范围和整定原则。

2．理解保护电路中各继电器的功用和整定方法。

二．预习与思考

1．图 16-1 保护装置中的电压继电器，电流继电器、中间继电器、信号继电器等在电路中各起到什么作用？

2．电路中各个继电器的参数是根据什么原则整定的？

3．假如电流继电器的线圈接入了交流电压会出现什么严重后果？误接入直流操作电压是否也会出现严重后果？

4．为什么电流继电器在电路中即可借以判断线路故障，同时在电压回路断线时到闭锁作用？

三．原理说明

电流闭锁电压速断保护是由电压速断保护和电流闭锁装置两部分组成。

当线路发生短路故障时，母线电压剧烈下降。利用这一特征，当电压下降至预先整定的数值时，低压继电器（图 16-1 中的 TV）接点闭合而作用于跳闸，瞬时切除故障，这就构成了电压速断保护。

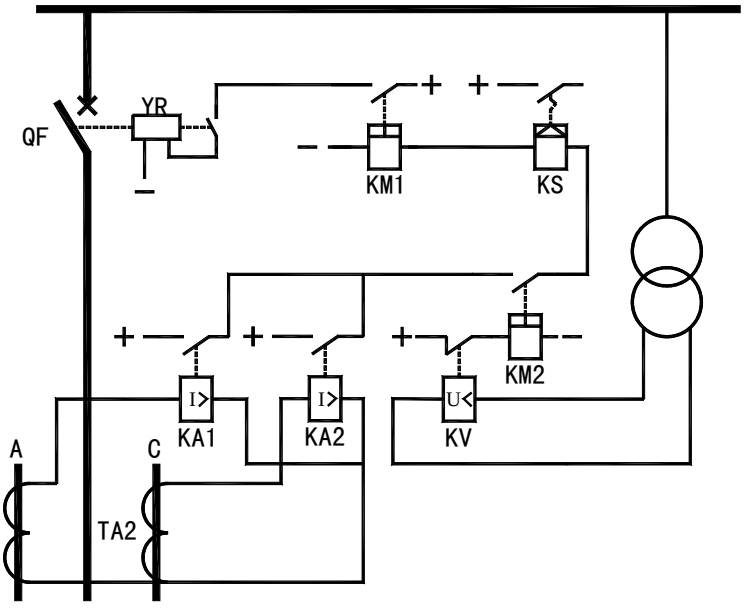


图16-1 电流闭锁电压速断保护电路

图 16-2 所示线路 X 装设瞬时动作的电压速断保护。由于保护瞬时动作，为了满足选择性要求，它的保护范围必须限制在本线路 X 以内。为此，低压继电器的动作电压必须低于线路末端短路时母线上的最小残余电压。图中曲线 1 为最小运行方式下线路各点短路时母线上的残余电压。由图可见短路点距电源端越近，母线残余越低。在系统运行方式变化时，线路同一地点短路时母线上的残压是不同的。在最小运行方式下短路时，母线残压较低；在最大运行方式下短路时，母线残压较高。图中曲线 2 即为最大运行方式下线路各点短路时母线残压曲线。为了保证选择性，低电压继电器的动作电压 Udz 应小于最小运行方式下线路 X 末端短路时母线上的残压 Uc,min，即：

$$U_{dc} < U_{c.min} \qquad (16\text{-}1)$$

写成等式：

$$U_{dz}=\frac{U_{c.\min}}{K_k} \qquad (16\text{-}2)$$

式中 $U_{c.min}$——最小运行方式下，线路 X 末端短路时，母线上的最小残压；

K_k——可靠系数，取 Kk=1.2～1.3

图 16-2 中直线 3 即为电压速断装置的动作电压值，它与曲线 2．1 的交点 N、M 给出了在最大与最小方式下电压速断装置的保护范围 L_{II} 与 L_I。可见，电压速断的保护范围也受运行方式的影响，与电流速断不同的是电压速断在最大运行方式下保护范围最小。而且，无论处于何种运行方式，在保护安装处附近短路时，母线残压总要降为零，电压速断总能动作，即它的保护范围不可能下降为零。

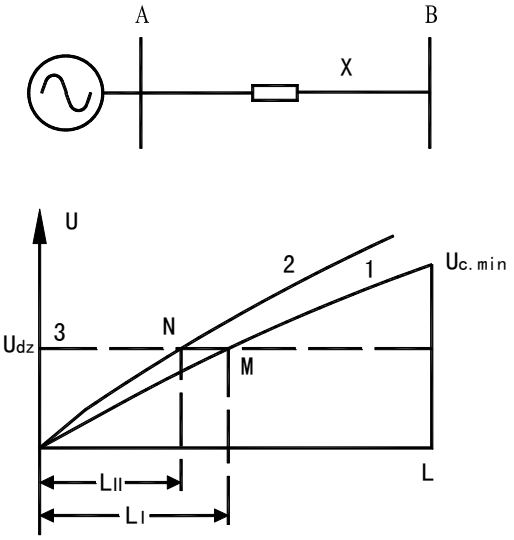


图16-2 电压速断装置工作原理

因为母线及母线相连的任一线路发生短路故障时母线电压都要下降，各线路电压速断装置的低电压继电器均起动。为保证选择性，各线路电压速断保护均加装了电流继电器（如图 16-1 中的 KA1．KA2）来判断哪条线路发生故障。同时，电流继电器也在电压回路断线时起闭锁作用。只有被保护线路发生故障，在电流作用下电流元件动作；同时因母线电压大大下降，电压元件也动作时，保护装置才发出跳闸脉冲。。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-01	A 站保护	1
3	EPL-03A	故障点设置	
4	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
5	EPL-05	继电器（二）—DY-28C 电压继电器	1
6	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器	1
7	EPL-07	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
8	EPL-11	交流电压表	1
9	EPL-12	交流电流表	1
10	EPL-13	光示牌	1
11	EPL-17	三相交流电源	1
	EPL-18	直流电源及母线	1

五．实验内容

1．根据教学要求确定低电压继电器的速断动作电压和过电流继电器的闭锁动作电流。

2．根据中间继电器和信号继电器的技术参数选择操作电源电压（本实验装置选用直流

220V）。

3．按图 16-1 电流闭锁电压速断保护实验接线图进行安装接线。

4．检查上述接线的正确性，确定无误后，接通交流电压回路、交流电流回路、直流操作电源回路。

5．首先按中间继电器的额定工作参数调整操作电源电压至额定值。然后调整交流电压及交流电流回路进行操作试验。观察保护电路中各元器件接点的变化情况。

6．电流闭锁电压速断保护的动作过程：

在图 16-1 所示电流闭锁电压速断保护装置中，按正常运行时母线电压为额定值，所以给低电压继电器加入额定交流电压，此时低电压 TV 的 常闭触点是打开的，电流继电器 KA1．KA2 触点也处于断开位置。在保护范围内相间短路时，交流电压回路的电压降低至整定值，交流电流回路的电流升高至动作值，相应的低电压继电器与电流继电器均动作，接点闭合，由相应的低电压继电器起动中间继电器 KM2 触点，KA 触点连通 KS 线圈和 KM1 线圈所组成的回路，使后者动作，发出跳闸脉冲使断路器跳闸。当其他线路故障时，母线电压下降，使电压继电器动作，但因电流继电器 KA1．KA2 均未动作，故不会起动 KM1。

7．保护整定值与保护性质的关系

电流元件的动作电流有两种整定方法。第一种，电流元件动作电流按躲过最大负荷电流整定，要求在线路末端短路时有一定的灵敏度，电压元件按最小运行方式考虑，所以受运行方式影响较大。按这种方法整定的保护，一般称为电压速断保护。第二种，按躲过线路末端短路时流过保护装置的短路电流来整定。因为构成保护装置的电流元件与电压元件是互相闭锁的，仅其中一个元件动作保护装置不会动作，只有两元件都动作，保护装置才动作。利用这一特点，在决定保护装置的动作电流与动作电压时，可不按最大运行方式及最小运行方式这种极端情况考虑，而是按经常出现的某一主要运行方式来计算，并且使保护装置的电流元件和电压元件在该运行方式下具有相同的保护范围。如图 16-3 所示。图中曲线 1 为选定运行方式下，线路各点短路时母线残压曲线，曲线 2 为该运行方式下线路各点短路时流经保护装置的短路电流曲线。假定在这种选定的运行方式下电流元件和电压元件的保护范围相同（为 Lbh），其对应的线路阻抗则为

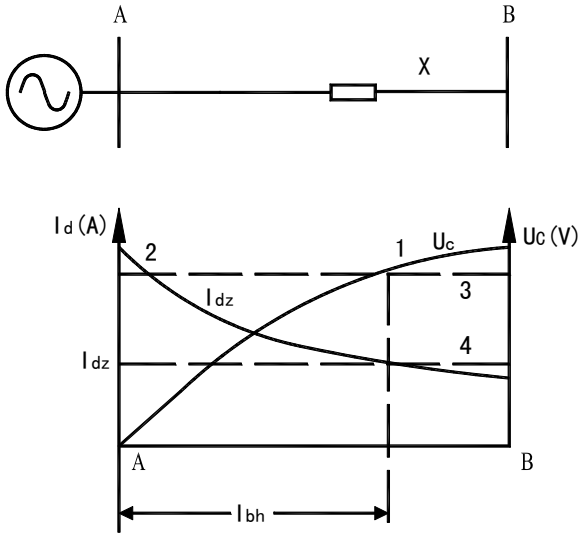


图16-3 电流闭锁电压速断装置动作电压和动作电流的确定

$$Z_{bh}=\frac{Z_{xL}}{K_k} \qquad (16\text{-}3)$$

式中：K_k——可靠系数，取值 1.2～1.3（例：取 1.25）；

Z_{xL}——被保护线路的总阻抗（例：取 110Ω）。

一般 $Z_{bh}\approx 0.8Z_{xL}$，即保护范围 $L_{bh}\approx 0.8_{xL}$。

电流元件的动作电压为：

$$I_{dz}=\frac{E}{Z_{xt}+Z_{bh}} \qquad (16\text{-}4)$$

式中：E——系数折算到二次测的线电势（例：取 110V）；

Z_{xt}——在选定运行方式下，系统至保护安装处的等效阻抗（例：取 40Ω）。

电压元件的动作电压为：

$$U_{dz}=I_{dz}\,Z_{bh}=I_{dz}\frac{Z_{xL}}{K_k} \qquad (16\text{-}5)$$

这样算得的动作电压 Udz 也就是在选定运行方式下，保护范围末端短路时母线上的残压值。

按式（16-4）及式（16-5）选定动作电流与动作电压后，在选定的运行方式下，电流元件与电压元件具有相同的保护范围。按这种方法整定的保护常称为电流闭锁电压速断保护装置。

在运行方式改变时，如在最大运行方式下，在下一线路首端短路时，电路元件可能动作，但保护安装处母线残压比电压元件动作电压高，电压元件不会动作，保护不发出跳闸脉冲，保证了选择性。反之，在最小运行方式下，在下一线路首端短路时，电压元件可能动作，但电流元件不会动作，因这时短路电流小于动作电流，同样能保证保护装置的选择性。

8．电流闭锁电压速断保护的特点：

由于按选定的主要运行方式技术动作电压和动作电流，不按最大或最小运行方式这种极端情况考虑，使保护装置能具有较大的保护范围。

与电流速断装置相比，电流闭锁电压速断装置接线较复杂，元件较多，但可以得到较高的灵敏度和较大的保护范围。当运行方式变化较大，电流速断装置保护区很短甚至难以实现时，可采用电流闭锁电压速断保护装置。

六．实验报告

根据电流闭锁电压速断保护的工作特性，详述保护装置的具体动作过程，分析在最大和最小运行方式下，为什么均能满足保护动作的选择性，结合思考题写出实验报告。

表 16-1

序号	代号	型号规格	实验整定值或额定工作值	线圈接法	整定范围	过电流时的工作状态	交流电路断开时
1	KV						
2	KA1						
3	KA2						
4	KM1						
5	KM2						
6	KS						

实验十五　发电机过电压保护实验

一．实验目的

1．掌握发电机过电压保护的电路原理，工作特性、使用及整定原则。

2．通过安装调试理解过电压保护中各继电器的功用和整定调试方法。

3．掌握发电机过电压保护的电路接线和实验操作技术。

二．预习与思考

1．图 17-1 的过电压保护电路中，每一个继电器承担着什么任务？能否少用几个？

2．图 17-1 电路中各个继电器的参数是根据什么原则整定的？

3．假如图 17-1 中信号继电器的电流线圈误接入电压回路会出现什么后果？

4．为什么安装调试时只要断开电压继电器与电压互感器的连接，在电压继电器线圈上加调试电压就可进行调试整定？

5．为什么四个继电器中只有 YJ 是测量元件？

三．原理说明

发电机过电压保护是一套防止输出端电压升高而使发电机绝缘受到损害的继电保护装置。

当运行中的发电机突然甩掉负荷或者带时限切除距发电机较近的外部故障时，由于转子旋转速度的增加以及强行励磁装置动作等原因，发电机的端电压将升高。

对于水轮发电机，由于调速系统惯性较大，使制动过程缓慢，因此在突然失去负荷时，转速将超过额定值，这时发电机输出端电压有可能高达额定值的 1.8～2 倍，为了防止发电机的绝缘受到损坏，在水轮发电机上一般应装设过电压保护。

对于汽轮发电机，由于它装有快速动作的调速器，当转速超过额定值的 10%以后，汽轮机的危急保安器会立即动作，关闭主汽门，能有效地防止由于机组转速升高而引起的过电压，因此，对汽轮发电机一般不考虑装设过电压保护。但为了确保大型汽轮发电机的安全，对中间再热式的大型机组，由于其功频调节器调节过程比较迟缓，励磁系统反应的速度也比较缓慢，因此，在大型汽轮发电机中也有必要装设过电压保护装置。

（一）　保护装置原理接线图

过电压保护装置的原理接线如图 17-1 所示，由于过电压是三相对称出现的，故只需装一只电压继电器作为测量元件。保护由接在发电机输出端电压互感器上的一个过电压继电器 YJ 以及时间继电器 SJ、信号继电器 XJ、保护出口中间继电器 BCJ 等组成。保护动作后跳开发电机断路器和灭磁开关，对大型发电机-变压器组则跳开变压器高压侧断路器及灭磁开关。

（二）　保护装置动作值的整定

保护的动作电压可按下式进行计算：

$$Udb = （1.2～1.5）U_{F.e} \qquad （17\text{-}1）$$

式中 $U_{F.e}$ ——发电机额定相间电压。

继电器的动作电压则为：

$$Ud.j = \frac{Ud.b}{nY} \qquad （17\text{-}2）$$

保护的动作时限，一般取 0.5 秒。

式中：nY——电压互感器变比。

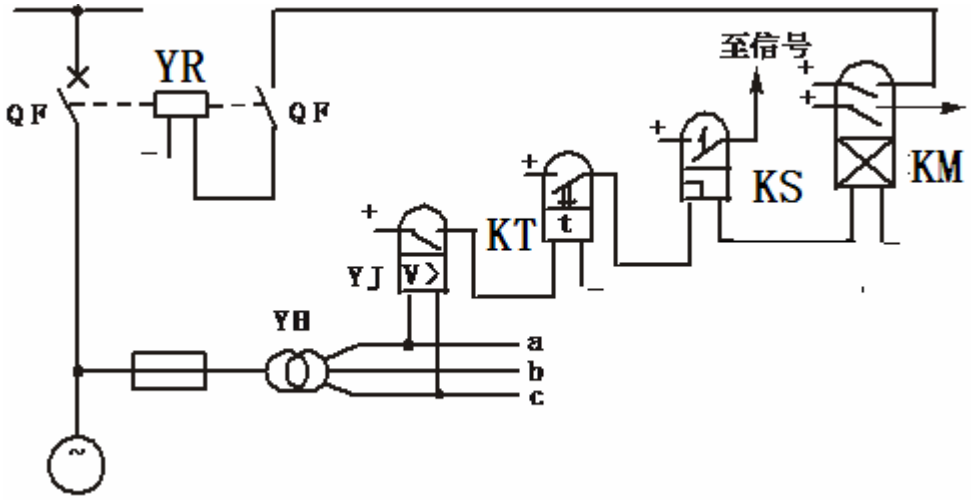


图 17-1　发电机过电压保护原理接线图

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
3	EPL-05	继电器（二）—DY-28C 电压继电器	1
4	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器	1
5	EPL-07	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
6	EPL-11	交流电压表	1
7	EPL-12	交流电流表	1
8	EPL-13	光示牌	1
9	EPL-17	三相交流电源	1
10	EPL-18	直流电源及母线	1

五．实验步骤和使用分析

1．根据教学要求确定过电压继电器的动作电压和时间继电器的动作时限。

2．根据中间继电器、时间继电器和信号继电器的技术参数，选择操作电源电压，本实

验装置选用直流电源 220V。

3．按图 17-1 过电压保护实验接线图进行安装接线。

4．检查上述接线的正确性，确定无误后，过电压继电器的线圈接入交流电压回路，按要求把时间继电器、信号继电器、保护出口继电器接入直流操作电源回路。

5．首先按时间继电器和中间继电器的额定工作参数调整操作电源电压至额定值。然后调整交流电压进行操作试验。观察保护电路中各元器件触点的动作情况。

6．外界因素及设备条件对保护出口方式和整定值的影响：

例：对于大型汽轮发电机，过电压保护使用有以下两种情况：

第一、如果大型机组与电网联系较强时，正常运行过程中即使线路跳闸或励磁系统故障也不可能引起过电压。只在发电机并列时，因运行人员操作不当或自动调整励磁装置失灵而造成过电压。这时过电压保护仅在试验或开、停机以及发电机绝缘状况不良时才投入跳闸，一般情况保护只动作于信号。即图 17-1 中将 LP 连接片打开，动作电压取 Udz =1.2Ue，动作时限取 2S。

第二、大型汽轮发电机与电网联系较弱时，当一回路甩负荷或半导体励磁系统故障时，会引起过电压。为防止发电机绝缘损坏，正常运行时过电压保护要接通出口继电器 BCJ 投入跳闸。即图 17-1 中将 LP 连接片接通出口继电器，其动作电压取 Udz =1.3Ue，动作时限取 0.5S。

六．注意事项

注意事项详见操作规程，接线中要特别注意信号继电器的电流线圈回路，绝对不能误接入电压回路。否则会损坏信号继电器。

七．实验报告

对过电压保护的整定调试，保护电路中继电器的作用，起动条件，动作顺序及参数选择进行认真总结，结合上述思考题及时写出实验报告。

表17—1

序号	编号	型号规格	整宝范围	实验整定值或额定工作值	线圈接法	过电压时	用途
1	KV						
2	KT						
3	KS						
4	KM						
5	YR						

实验十六　功率方向电流保护实验

一．实验目的

1．熟悉相间短路功率方向电流保护的基本工作原理。

2．进一步了解功率方向继电器的结构及工作原理。

3．掌握功率方向电流保护的基本特性和整定实验方法。

二．预习和思考

1．为什么在多电源形式电网或单电源环形电网中，功率方向电流保护才能确保切除故障网络功率的选择性和可靠性。

2．功率方向电流保护在多电源网络中什么情况下称为正方向？什么情况下称为反方向？为什么它可以按正方向保证选择性的条件选择动作电流？

3．方向电流保护是否存在死区？死区可能在什么位置发生？如何从功率方向继电器特性实验的参数结合本实验进行分析？

4．方向电流保护为什么采用按相启动接线？

三．原理说明

（1）方向电流保护的基本原理

随着电力系统的发展及用户对供电可靠性要求的提高，出现了两侧电源或单电源环网的输电线路。在这样的电网中，为切除线路上的故障，线路两侧都装有断路器和相应的保护，如装设前面讲过的电流保护，将不能保证动作的选择性性。下面以图 23-1 两侧电源辐射形电网为例分析如下：

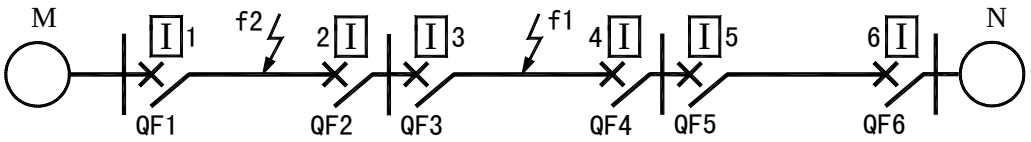


图 23-1 两侧电源辐射电网

在图 23-1 中，以 3 号断路器 QF3 的电流保护为分析对象。在 f1 点短路时流过 3 号断路器 QF3 的电流从母线到线路；在 f2 点短路时流过 3 号断路器 QF3 的电流从线路到母线 ，f1 点短路和 f2 点短路流过 3 号断路器的短路电流数值有可能达到保护的动作值。因为电流保护并不能判别电流的方向，所以在 f1 点和 f2 点短路，PQ 线路的电流保护都有可能动作。但在 f2 点短路时，根据选择性的要求 3 号断路器的保护不应该动作，如若动作，这是无选择性的动作（图中其他断路器 QF2．QF4．QF5 存在同样的问题）。

要解决选择性问题，可在原来电流保护的基础上装设方向元件（功率方向继电器）。首先分析不同点短路时短路功率的方向。规定功率的方向。规定功率的方向由母线流向线路的为正，功率的方向由线路流向母线的为负，并由功率方向继电器加以判断，当功率方向为正时动作，反之不动作。在 f1 点短路时，流过保护 3．4 的功率方向是由母线流向线路的，方向为正，保护 3．4 动作，断开断路器 QF3．QF4。在 f2 点短路时，流过断路器 1．2 的功率方向也是由母线流向线路的，方向为正，保护 1．2 动作，，断开断路器 QF1．QF2，而 f1 点短路流过断路器 QF3 的功率是由线路流向母线，方向为负，保护 3 不动。这保证了选择性。借助功率方向继电器，就可以很好的解决继电保护用于双侧电源和单侧电源环网输电线路时的选择性问题。

从图 23-1 中不难看出，在 f1 短路通过断路器 QF1 的功率方向也是由母线指向线路；f1 点故障断路器 1 的保护也满足动作条件。保护 1 是保护 3 的上级，保护 1 能反应 f1 点故障的保护是带延时的保护，当 f1 点发生故障时，断路器 QF3 在断路器 QF1 之前动作切除故障，故障切除后，断路器 1 的保护就返回，可保证供电的持续性，根据以上分析，判别短路功率的方向，是解决电流保护用于双侧电源或单电源环网输电线路选择性问题的有效方法。这种附加判功率方向的电流保护，称为方向电流保护。其触点连接图如图 23-2 所示。

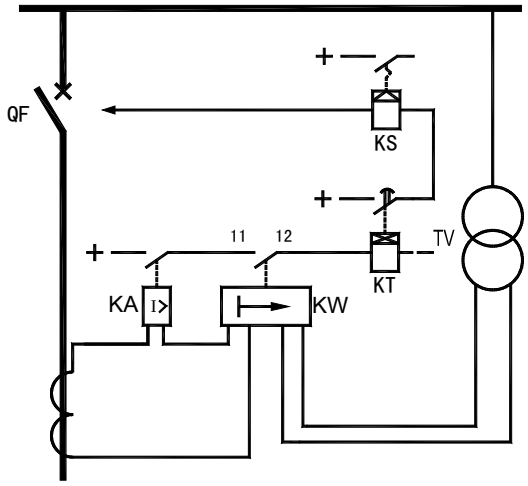


图 23-2 方向电流保护原理图

在图中 KW 为功率方向继电器。由 KW 判别功率的方向，KA 判别电流的大小。只有在正向范围内发生了短路故障，KW、KA 均动作，断路器才断开切除故障。

（2）方向电流保护的整定计算

当线路上某一点发生故障时，对任一断路器的保护装置，流过的短路电流都是单一方向的，所以，两端电流线路上电流保护的整定计算方法，与前面所讲的三段式电流保护的整

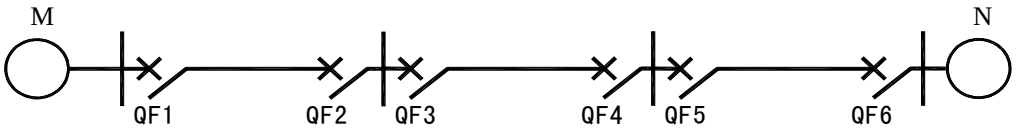


图 23-3 方向电流保护的整定计算网络图

定计算方法基本相同。所不同的是方向电流保护要注意正向电流，即方向电流保护的动作电流要按正向电流计算。在图 23-3 中，计算断路器 QF1．QF3．QF5 速断保护的动作电流时，可将 QF6 断开计算各自线路末端的短路电流，再根据短路电流计算速断保护的动作电流；过电流保护的动作电流应根据正常运行时的正负电流计算。同理，可将 QF1 断开计算另一方向的动作电流值。

对于方向过电流保护的时间整定，同方向的保护应按阶梯时限整定，在图 18-3 所示系

统中，应满足

$t_1 > t_3 > t_5; t_6 > t_4 > t_2$

$t_1 = t_3 + \Delta t; t_3 = t_5 + \Delta t$及$t_6 = t_4 + \Delta t; t_4 = t_2 + \Delta t$

四．实验设备

序号	型号	名称及说明	数量	备注
1		控制屏及控制柜	1	
2	EPL-11	直流电源及母线、交流仪表	1	
3	EPL-01C	断路器及触点控制回路	1	
4	EPL-17A	三相电源	1	
5	EPL-20A	变压器和单相可调电源	1	
6	EPL-12B	光示牌	1	
7	EPL-12B	相位仪	1	
8	EPL-04	继电器(一)	1	
9	EPL-05	继电器(二)	1	
10	EPL-10	继电器(七)-功率方向继电器	1	
11	EPL-07B	继电器(五)	1	
12	EPL-06	继电器(四)	1	
13	EPL-41	电阻盘 I		

五．实验内容

1．功率方向保护各继电器的调试整定及控相

（1）．按图 23-4 接线，检查无误后，再请指导老师检查，方可进行下一步操作。

（2）根据继电器的调试整定要求将电流继电器动作值整定为 1.5A（电流继电器采用 DL－21C/3，整定范围为 0.5～2A），时间继电器动作时间整定为 1 秒（时间继电器采用 DS－21），整定范围为 0.25～1.25S），功率方向继电器取-45°灵敏度。功率方向继电器的电压信号取自 EPL-17A 的三相交流可调电源输出，功率方向继电器的电流信号取自 EPL-20A 的单相可调电源输出.

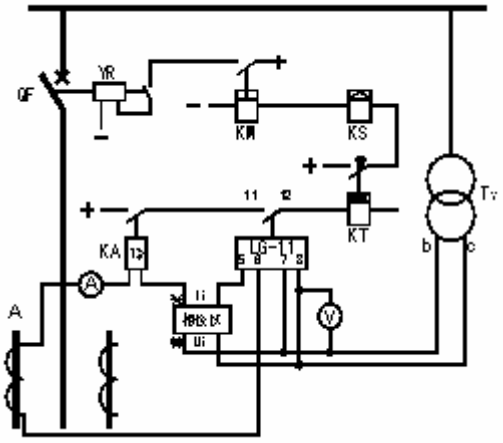


图 23-4 功率方向保护实验接线图

2．正方向动作功率实验图 23-4 功率方向保护,按照图接线

（1）合上漏电断路器和线路电源绿色按钮开关，按下合闸按钮。

缓慢调节三相调压器旋钮，注意观察交流电压表的读数至 100V；

（2），模拟 A 相线路末端短路,调节桌面上的电阻盘，使电流表的读数为 1.3A，观察各继电器动作情况，作好动作记录，记入表 23-1；

（4）继续调节桌面上的电阻盘，使电流表的读数为 1.6A，观察各继电器动作情况，作好动作记录，记入表 23-1；

3．反方向动作功率实验

将变压器输出端接至电流继电器和功率方向继电器电流回路的接线方式改变为模拟反方向动作功率方式，其余步骤同“正方向动作功率实验”，记入表 23-1；。

表 23-1

序号	名称	实验整定值	正方向功率		反方向功率	
			0.8A	1.0A	0.8A	1.0A
1	电流继电器					
2	功率方向继电					
3	时间继电器					
4	信号继电器					
5	中间继电器					
6	光字牌					
7	电流表					
8	电压表					
9	相位表					

六．实验报告

（1）根据实验要求结合思考题内容写出实验报告，重点分析；

（2）简述 90°接线原理的三相功率方向保护标准接线要求。

实验十七　自动重合闸前加速保护实验

一．实验目的

1．熟悉自动重合闸前加速保护的原理接线。

2．理解自动重合闸前加速的组成形式，技术特性，掌握其实验操作方法。

二．预习和思考

1．图 12-2 中各个继电器的功用是什么？

2．在重合闸动作前是由哪几个继电器及其触点共同作用，实现前加速保护。

3．重合于永久性故障，保护再次起动，此时由哪几个继电器及其触点共同作用，恢复有选择地再次切除故障的？

4．为什么加速继电器要具有延时返回的特点？

5．在前加速保护电路中，重合闸装置动作后，为什么 KM2 继电器要通过 KA1 的常开触点，KM2 自身延时返回常开触点进行自保持？

6．在输电线路重合闸电路中，采用前加速时，KM2 是由于什么触点起动的？

7．请分析自动重合闸前加速保护的优缺点。

8．分析自动重合闸合闸前加速度保护实验的原理和判断动作过程，并完成预习报告。

三．实验原理

如图 12-1 所示的网络接线，假定在每条线路上均装设过电流保护，其动作时限按阶梯型原则来配合。因而，在靠近电源端保护 3 处的时限就很长。为了能加速故障的切除，可在保护 3 处采用前加速的方式，即当任何一条线路上发生故障时，第一次都由保护 3 瞬时动作予以切除。如果故障是在线路 A-B 以外（如 d_1 点），则保护 3 的动作都是无选择性的。但断路器 3 跳闸后，即起动重合闸重新恢复供电，从而纠正了上述无选择性的动作。如果此时的故障是瞬时性的，则在重合闸以后就恢复了供电。如果故障是永久性的，则故障由保护 1 或 2 切除，当保护 2 拒动时，则保护 3 第二次就按有选择性的时限 t_3 动作与跳闸。为了使无选择性的动作范围不扩展的太长，一般规定当变压器低压侧短路时保护 3 不应动作。因此，其起动电流还应按照躲开相邻变压器低压侧的短路（d_2 点）来整定。

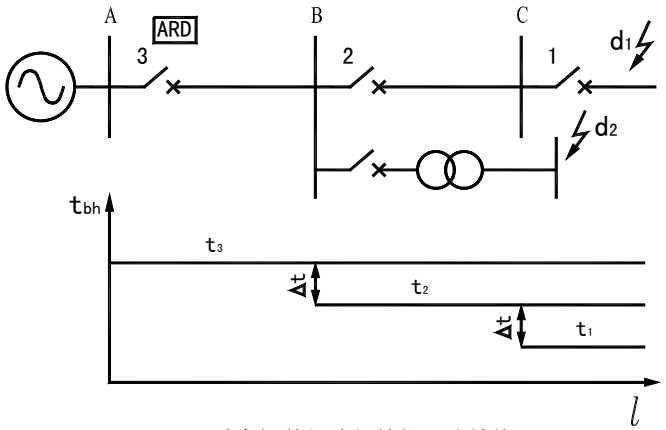


图12-1 重合闸前加速保护的网络接线图

图 12-2 示出了自动重合闸前加速保护的原理接线图。其中 KA 是过流保护。从该图可清楚地看出，线路故障时，首选继电器 KA1 动作，其触点闭合，经 KM2 的常闭触点不带时限地动作于断路器使其跳闸，随后断路器辅助触点起动重合闸继电器，将断路器重合。重合闸动作的同时，起动继电器 KM2，其常闭触点打开。若此时线路故障还存在，但因KM2的常闭接点已打开，只能由过流保护继电器 KA2 和时间继电器 KT 带时限有选择性地动作于断路器跳闸，再次切除故障。

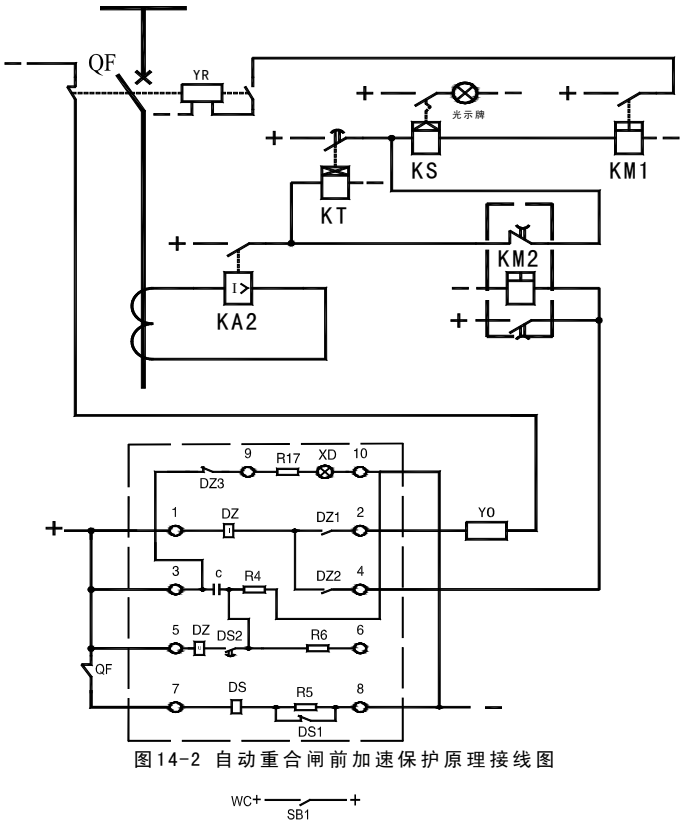


图14-2 自动重合闸前加速保护原理接线图

图14-3 工作电源控制图

注：图14-2中的+220V电源均来自于图14-3中的+220V。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-01	A 站保护	1
3	EPL-03A	故障点设置	
4	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
5	EPL-05	继电器（二）—DS-21 时间继电器	1
6	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器 —DZS-12B 中间继电器	1
7	EPL-07	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1
8	EPL-08A	自动重合闸	1
9	EPL-11	交流电压表	1
10	EPL-11	交流电流表	1
11	EPL-12	光示牌	1
12	EPL-14	按钮及电阻盘	1
13	EPL-17A	三相交流电源	1
14	EPL-11	直流电源及母线	1

五．实验内容

1．根据过电流保护的要求整定 KA2 的动作电流值，和 KT 的动作时限

2．根据时间继电器 、加速继电器、保护出口继电器的技术参数选择相应的操作电源。

3．按图 14-2 及图 14-3 进行安装接线，认真仔细检查后，再请指导老师检查。

4．按下 EPL-14 里的 SB1，将工作电源投入启动。

5．等重合闸电容充满电后，在 A 站线路上短路点接入故障，观察前加速动作情况，加速跳闸后重合启动， ZCH 出口接点，DZ 的闭合来起动 KM2，KM2 常闭触点打开。

6．模拟故障继续存在，但由于 KM2 常闭触点已经打开，所以只能由过流保护 KM2 和 KT 带时限有选择性地进行跳闸，切除故障。

7.再次按下 SB1，退出工作电源。

六．实验报告

分析前加速保护动作特性，综合上述思考题写出报告。

表 12-1

序号	代号	型号规格	实验整定值或额定工作值	线圈接法	SB 按下时	SB 断开时	用途
1	KA1						
2	KT						
3	KS						
4	KM1						
5	KM2						
6	YR						
7	YO						

实验十八　自动重合闸后加速保护实验

一．实验目的

1．熟悉自动重合闸后加速保护的接线原理。

2．理解自动重合闸后加速的组成形式，技术特性，掌握其实验操作方法。

二．预习与思考

1．图 13-2 中各个继电器的功用是什么？

2．当线路发生故障时，由哪几个继电器及其触点，首先按正常的继电保护动作时限有选择性地作用于继电器跳闸？

3．重合于持续故障时，保护再次起动，此时由哪几个继电器及其触点共同作用，实现后加速？

4．在输电线路重合闸电路中，采用后加速时，加速回路中接入了 KM2 的什么触点？为什么？

5．请分析自动重合闸后加速保护的优缺点？

6．分析自动重合闸后加速保护实验的原理和整个动作过程，完成预习报告。

三．实验原理

重合闸后加速保护一般又简称为“后加速”，所谓后加速就是当线路第一次故障时，保护有选择性动作，然后，进行重合。如果重合于永久性故障上，则在断路器合闸后，再加速保

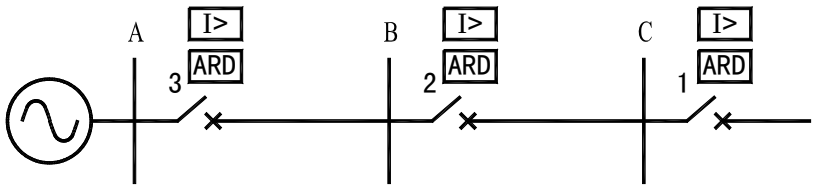


图13-1 重合闸后加速保护的网络接线图

护动作，瞬时切除故障，而与第一次动作是否带有时限无关。

“后加速”的配合方式广泛应用于 35kV 以上的网络及对重要负荷供电的送电线路上。因为，在这些线路上一般都装有性能比较完善的保护装置，例如，阶段式电流保护、距离保护等，因此，第一次有选择性地切除故障的时间（瞬时动作或具有 0.5s 的延时）均为系统运行所允许，而在重合闸以后加速保护的动作（一般是加速第 II 段的动作，有时也可以加速第 III 段的动作），就可以更快地切除永久性故障。

图 13-2 示出了自动重合闸后加速保护原理接线图。线路故障时，由于延时返回继电器 KM2 尚未动作，其常开触点仍断开，电流继电器 KA 动作后，起动时间继电器 KT，经一定延时后，其接点闭合，起动出口中间继电器 KM1，使 QF 跳闸。QF 跳闸后，ARD 动作发

出合闸脉冲。在发生合闸脉冲的同时，ARD 起动继电器 KM2，使其触点闭合。若故障为持续性故障，则保护第二次动作，经 KM2 的触点直接起动 KM1 而使断路器 QF 瞬时跳闸

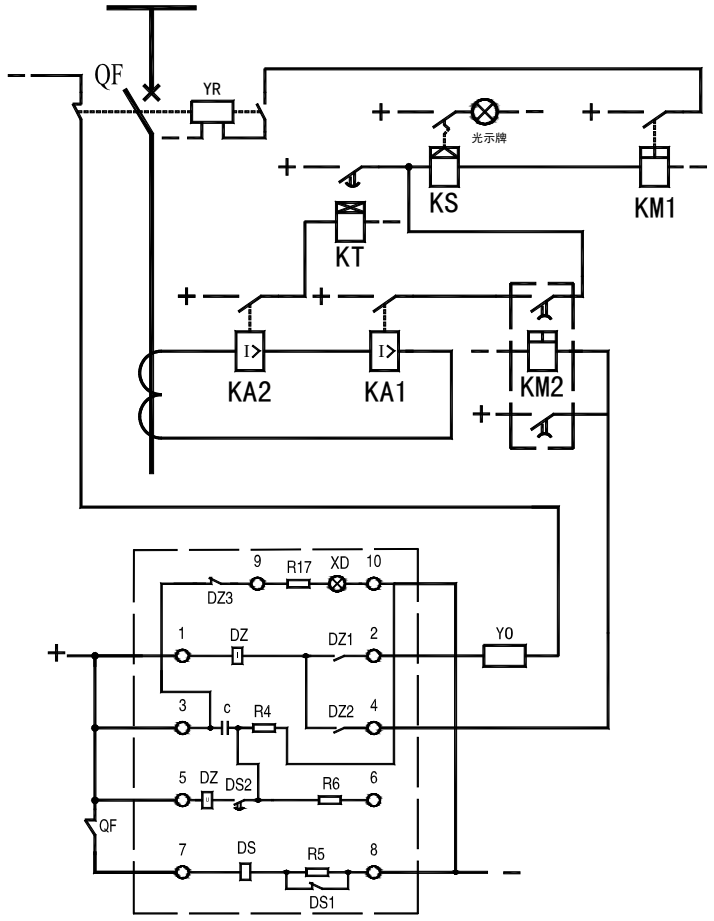


图15-2 自动重合闸后加速保护原理接线图

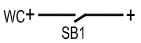


图15-3 工作电源控制图

注：图15-2中的+220V电源均来自于图15-3中的+220V。

四．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-01	A 站保护	1
3	EPL-03A	故障点设置	
4	EPL-04	继电器（一）—DL-21C 电流继电器	1
5	EPL-05	继电器（二）—DS-21 时间继电器	1
6	EPL-06	继电器（四）—DZ-31B 中间继电器 —DZS-12B 中间继电器	1
7	EPL-07	继电器（五）—DX-8 信号继电器	1

8	EPL-08A	自动重合闸	1
9	EPL-11	交流电压表	1
10	EPL-11	交流电流表	1
11	EPL-12	光示牌	1
12	EPL-14	按钮及电阻盘	1
13	EPL-17A	三相交流电源	1
14	EPL-11	直流电源及母线	1

五．实验内容

1．根据过流保护的要求整定 KA 的动作电流和 KT 的动作时限。

2．由加速继电器，保护出口继电器和时间继电器的参数选择相应的操作电源。

3．按图 15-2 及图 15-3 自动重合闸后加速保护实验接线图进行安装接线。认真仔细检查后，再请指导老师检查。

4．检查接线无误后，按下 SB1，加入直流电源。

5．等自动重合闸电容充满电后，用 A 站模拟线路故障，把万能转换开关打在电流保护处，再进行短路调节，电流继电器 KA 加入一个大于整定值的电流，此时加速继电器 KMZ 未起动，因此 KA 起动 KT，KT 经过一定时限起动 KM1，使断路器跳闸，同时经 KS 发信号。

6．断路器跳闸后，重合闸发出合闸脉冲的同时，由 ZCH 出口触点 DZ 起动 KM2，KM2 动作后其延时断开的常开触点闭合，实现后加速。

7．模拟持续性故障，观察后加速动作情况。此时 KM2 触点已经闭合，KA 动作信号不经过 KT，直接由 KM2 的延时追回触点传给 KS 和 KM1。

8.完成实验后，再次按下 SB1，退出工作电源，为下次实验做好准备。

六．实验报告

分析后加速保护的动作特性，结合上述思考题写出实验报告。

表 13-1

序号	代号	型号规格	实验整定值或额定工作值	线圈接法	SB 按下时	SB 断开时	用途
1	KA						
2	KT						
3	KS						
4	KM1						
5	KM2						

实验十九　距离保护及方向距离保护整定实验

一．实验目的

1．熟悉阶段式距离保护及方向距离保护的工作原理和基本特性。

2．掌握时限配合、保护动作阻抗(距离)和对 DKB、YB 的实际整定调试方法。

二．预习与思考

1．什么是距离保护?距离保护的特点是什么?

2．什么是距离保护的时限特性?

3．什么是方向距离保护?方向距离保护的特点是什么?

4．方向距离保护的 I 段和 II 段为什么在单电源或多电源任何形状的电网中都能够保证有选择性地切除故障线路?

5．阶段式距离保护中各段保护是如何进行相关性配合的?

6．在整定距离保护动作阻抗时，是否要考虑返回系数。

三．原理说明

1．距离保护的作用和原理

电力系统的迅速发展，使系统的运行方式变化增大，长距离重负荷线路增多，网络结构复杂化。在这些情况下，电流、电压保护的灵敏度、快速性、选择性往往不能满足要求。

电流、电压保护是依据保护安装处测量电流、电压的大小及相应的动作时间来判断故障是否发生以及是否属于内部故障，因而受系统的运行方式及电网的接线形式影响较大。

如果在输电线路一端装设一种保护，能测量出故障点至保护安装处的距离并与保护范围对应的距离比较，即可判断出故障点的位置从而决定其行为。这样构成的保护就是距离保护，这种方式显然不受运行方式和接线的影响。

如图，9-I 所示。图中线路 A 侧装设着距离保护，由故障点到保护安装处之间的距离为 l，按该保护的保护范围整定的距离为 l_{zd}，如上所述，距离保护的动作原理可由方程表示：

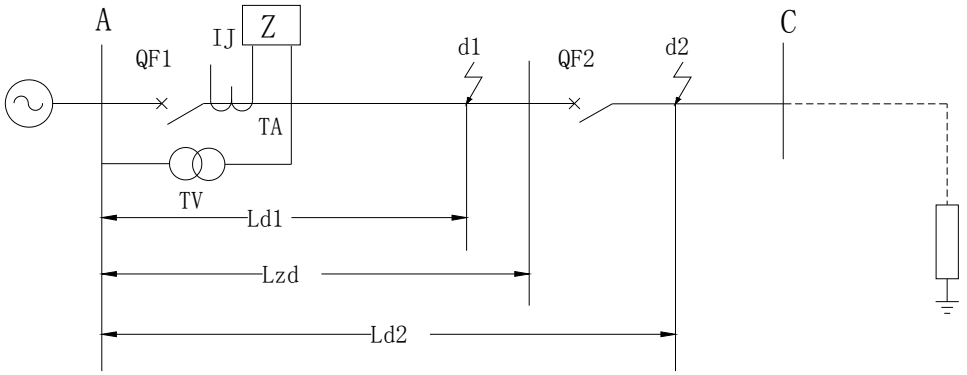


图 22-1 距离保护原理说明

Z—表示距离保护装置

$l \le l_{zd}$ 满足此方程时表示故障点在保护范围内，保护动作：反之，则不应动作。

如果距离比较的方程两端同乘以输电线每千米的正序阻抗值 Z_1，得到阻抗比较方程式：

$$Z_d = Z_1 l \le Z_1 l_{zd} \qquad (22\text{-}1)$$

式(9-1)称为动作方程或动作条件判别式。表明距离保护是反应故障点保护安装处之间的阻抗并与规定的保护范围阻抗进行比较，从而决定是否动作的一种保护装置。当 $Z_d < Z_1 l_{zd}$，时，表明故障发生在保护菏围内，保护应动作；当 $Z_d > Z_1 l_{zd}$ 时，表明故障发生在保护范围外，保护不应动作；当 $Z_d = Z_1 l_{zd}$ 时，表明故障发生在保护范围末端，保护刚好动作。区此，距离保护是通过测量阻抗值的大小实现保护功能的。

设故障点 d(或 d1 等)发生令属性三相短路，此时保护安装处的母线电压为 $\dot{U} = \dot{I} Z_d$ 自母线流向线路的电流为 $\dot{I}$，则 $\dot{U}/\dot{I} = Z_d$；再与 $Z_1 l_{zd}$ 取得比较。按式 22-1 即可实现距离保护。

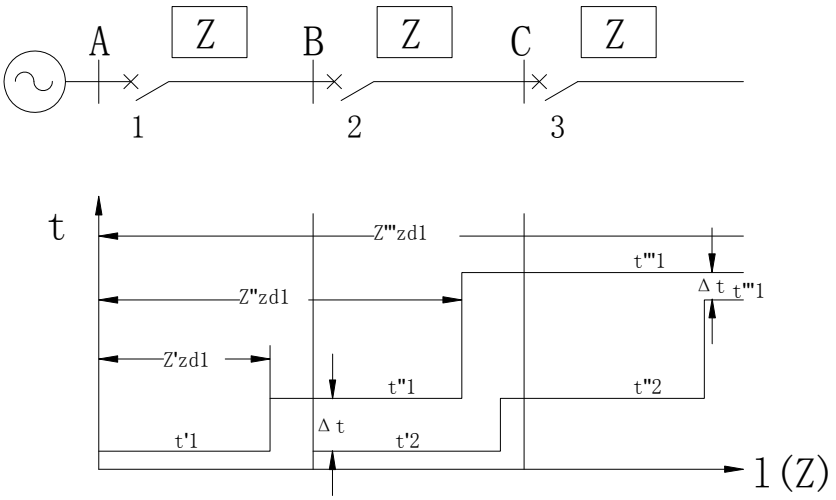


图 22-2 距离保护的时限特性

在高电压、大电流的电力系统中，母线电压与线路电流必须经过互感器后送入距离保护的测量元件(阻抗继电器)，其二次值称为 U_J 和 I_J，如图 9-1 所示。假设保护所用的电压互感器和电流互感器的变比均为 1，则测量元件感受到的测量阻抗 $Z_J = \dfrac{\dot{U}_J}{\dot{I}_J} = \dfrac{\dot{U}}{\dot{I}} = Z_d$。又因变比为 1，在阻抗继电器上设置的整定阻抗等于线路阻抗即 $Z_{Zd} = Z_1 l_{zd}$。故得出阻抗继电器(也即距离保护)

的动作方程：$Z_J = \dfrac{\dot{U}_J}{\dot{I}_J} = \dfrac{\dot{U}}{\dot{I}} = Z_d \le Z_{Zd}$ (22-2)

从式(9-2)可知，距离保护是通过阻抗继电器实现阻抗(即距离)的测量，当满足式(22-2)时，说明故障在内部，实现保护功能。

2．保护时限特性及距离各段间的配合关系

距离保护也构成两段式或三段式，其目的为了满足对保护的基本要求。距离保护的动作时限 t 与故障点至保护安装点间的距离 l 的关系益线称为距离保护的时限特性。三段式阶梯时限特性如图 22-2 所示。

距离 I 段，为保证选择性，其保护范围应限制在本线路内。以保护 t 为例，它的整定阻抗 $Z'_{Zd\cdot1}$ 应小于 ZAB。通常整定为(0.8~0.85) Z_{AB} 。因为它不必和其他线路的保护配合，故第 I 段动作不需带时限，t' 仅由继电器的固有动作时间决定。

距离 II 段，用以弥补第 1 段之不足，尽快切除本线路末端 15％～20％范围内的故障，保护范围为被保护线路的全长及下一条线路首端部分 30％～40％区域。为了缩短动作时限，II 段距离保护的动作时限应与相邻下一线路 I 段的时限配合，即 $t_1'' = t_2' + \Delta t$ 。距离 I 段和距离 II 段共同作为本线路的主保护。

距离Ⅲ段，作为本线路的近后备及相邻线路的远后备。其时限可按 $t_1''' = t_2''' + \Delta t$ 或 $t_1''' = t_2'' + \Delta t$ 之一来配合。

在超高压网络中，为简化距离保护的接线，也可采用只有 I、II 段或 II、Ⅲ段的两段式简化距离保护。

3．距离保护及二次回路的主要组成元件

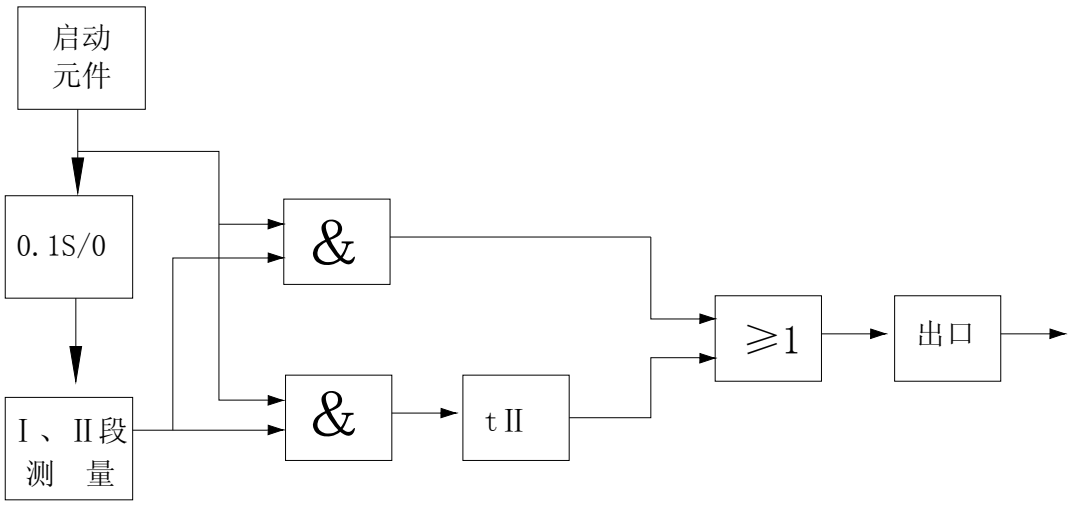


图 22-3 相间距离保护装置的原理方框图

距离保护一般由起动元件、闭锁元件、测量元件、逻辑元件及执行元件等几大部分组成(如图 22-3)，分述于下：

1)起动元件　其主要作用是故障时才起动保护，即为保护的各段准备好跳闸回路；起动切换回路以切换 I、II 段共用阻抗继电器的电压回路。

2)闭锁元件　其主要作用是实施振荡闭锁和电压回路断线闭锁，防止距离保护误动作。

3)测量元件　测量故障的远近从而以相应的时限跳闸。一般 I、II 段共用一个方向距离元件构成，本实验为由 I、II 段组成的两段式方向距离保护。

4)逻辑元件　由 II 段时间元件及若干与、或、与非门、延时电路构成。其作用是实现 II 段的延时及组成一系列条件的判断以决定保护的行为。

5)执行元件　包括出口、信号、切换等其他功能。

测量元件阻抗继电器是距离保护韵核心，它能测量出故障点至保护安装处的阻抗并与保护范围对应的阻抗进行比较，决定保护是否动作。带方向的测量元件，在测量阻抗的同时还

能测量线路阻抗角。当二个条件同时满足在保护范围内时于能起动保护。虽然它能实现距离保护功能，但在实际工程运用时为了满足Ⅰ、Ⅱ段自动切换，各段保护的动作指示信号复归，振荡闭锁及重动等要求，一般与电气二次控制回路组合使用。

四．实验设备

序号	型号	名称及说明	数量	备注
1		控制屏及控制柜	1	
2	ETP-01	电力系统供配电线路	1	
3	ETP-11	电源板	1	
4	ETP-12	系统故障设置Ⅰ	1	
5	ETP-13	系统故障设置Ⅱ	1	
6	ETP-21	光示牌组件		
7	ETP-22	故障管理系统	1	
8	ETP-23	控制开关组件	1	
9	ETP-24	继电器组件（一）	1	
10	ETP-25	继电器组件（二）	1	
11	ETP-26	压板组件	1	
12	ETP-27	继电器组件（三）	1	
13	ETP-28	仪表及接口组件	1	
14	ETP-29	继电器组件（四）	1	
15	ETP-30	继电器组件（五）	1	
16	ETP-31	继电器组件（六）	1	

五．实验内容与步骤

（一） 相间距离保护实验调试整定值的设置（计算）

电力系统中的距离保护多采用两段式阶梯时限特性，其整定原则与阶段式电流保护相似。现以图 22-4 所以网络为例，说明两段式距离保护的整定计算原则。

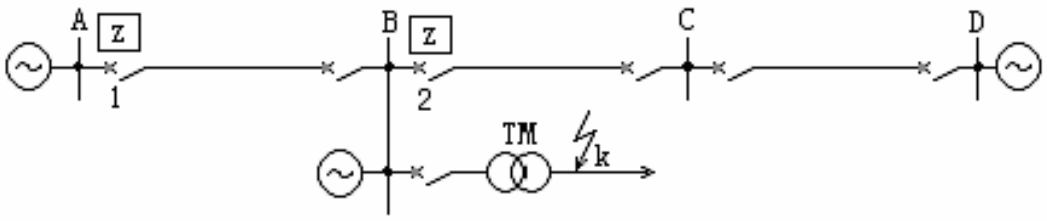


图 22-4 选择整定阻抗的网络接线图

1、距离保护Ⅰ段的整定

与电流Ⅰ段相似，距离Ⅰ段也是按躲开下一线路出口短路的原则来整定的，即其启动阻抗应躲过下一线路始端短路时的测量阻抗。例如图 22-4 中 AB 线路 A 侧的距离保护 1，其Ⅰ段的起动阻抗（一次值）整定为

$$Z_{oper.1}^{I} = K_{rel} Z_{AB} \qquad (22\text{-}3)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数，在计及各种误差的影响后，一般取 K_{rel}=0.8~0.85；

Z_{AB} ——线路 AB 的正序阻抗。

继电器的动作阻抗（二次值）为

$$Z_{set.1}^{I} = Z_{oper.1}^{I} \frac{n_{TA}}{n_{TV}} \qquad (22\text{-}4)$$

其中，n_{TA}、n_{TV} 为电流互感器、电压互感器的变比。继电器的整定阻抗角等于保护线路的阻抗角，距离 I 段的动作时间等于保护装置的固有动作时间，一般小于 0.12s。

2、距离保护 II 段的整定、灵敏度校验及动作时间设置

（1）起动阻抗

距离保护 II 段的起动阻抗应按以下两个原则来整定：

① 与相邻线路的距离 I 段相配合，并考虑分支系数对测量阻抗的影响

$$Z_{oper.1}^{II} = K_{rel}(Z_{AB} + K_b Z_{oper.2}^{I}) \qquad (22\text{-}5)$$

式中 $Z_{oper.2}^{I}$ ——相邻线路 BC 的 B 侧保护 2 的 I 段启动阻抗

K_b ——分支系数，为保证保护在任何情况下的选择性，K_b 应当选用实际可能的较小值。

K_{rel} ——可靠系数，一般取 0.8

② 躲开线路末端变电所变压器低压侧出口处（图 22-4 中 k 点）短路时的测量阻抗。

$$Z_{oper.1}^{II} = K_{rel}(Z_{AB} + K_b Z_T) \qquad (22\text{-}6)$$

式中 K_{rel} ——可靠系数，考虑到变压器阻抗的误差较大，所以一般取 K_{rel} =0.7。

按上述两原则计算后，应取数值较小的一贯。然后边可确定继电器的整定阻抗为

$$Z_{set.1}^{II} = Z_{oper.1}^{II} \frac{n_{TA}}{n_{TV}} \qquad (22\text{-}7)$$

（2）灵敏度校验

确定了距离保护 II 段的起动阻抗后，按本线路末端金属性短路来校验灵敏度。因为距离保护是反应数值下降而动作的，所以其灵敏度系数为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护装置的起动阻抗}}{\text{保护范围末端发生金属性短路时故障阻抗的计算值}} \qquad (22\text{-}8)$$

对于保护 1 来说，在本线路末端短路时，其测量阻抗即为 Z_{AB}，因此其灵敏系数为

$$K_{sen} = \frac{Z_{oper.1}^{II}}{Z_{AB}} \qquad (22\text{-}9)$$

一般要求 $K_{sen} \geq 1.25$。

当灵敏度校验不能满足要求时，应进一步延伸保护范围，使之与下一条线路的距离保护 II 段相配合。例如对于图 22-4 中的保护 1，其启动阻抗为

$$Z_{oper.1}^{II} = K_{rel}(Z_{AB} + K_b Z_{oper.2}^{II}) \qquad (22\text{-}10)$$

其中 $Z_{oper.2}^{II}$ ——相邻线路 II 段启动阻抗，当有多条出线时，应取较小值。

（3）动作时间

保护的动作时限 t_1^{II} 应该比下一线路距离 I 段的动作时限大一个时间级差，一般取为 0.5S。

当然，此时距离保护 II 段的动作时限也应该参与下一条线路的 II 段的动作时间配合，即比下一线路 II 段的动作时限 t_2^{II} 大一个时间级差，取为

$$t_1^{II} = t_2^{II} + \Delta t \qquad (22\text{-}11)$$

（二） 相间距离保护的整定调试方法

整定调试接线见图 22-5 所示。

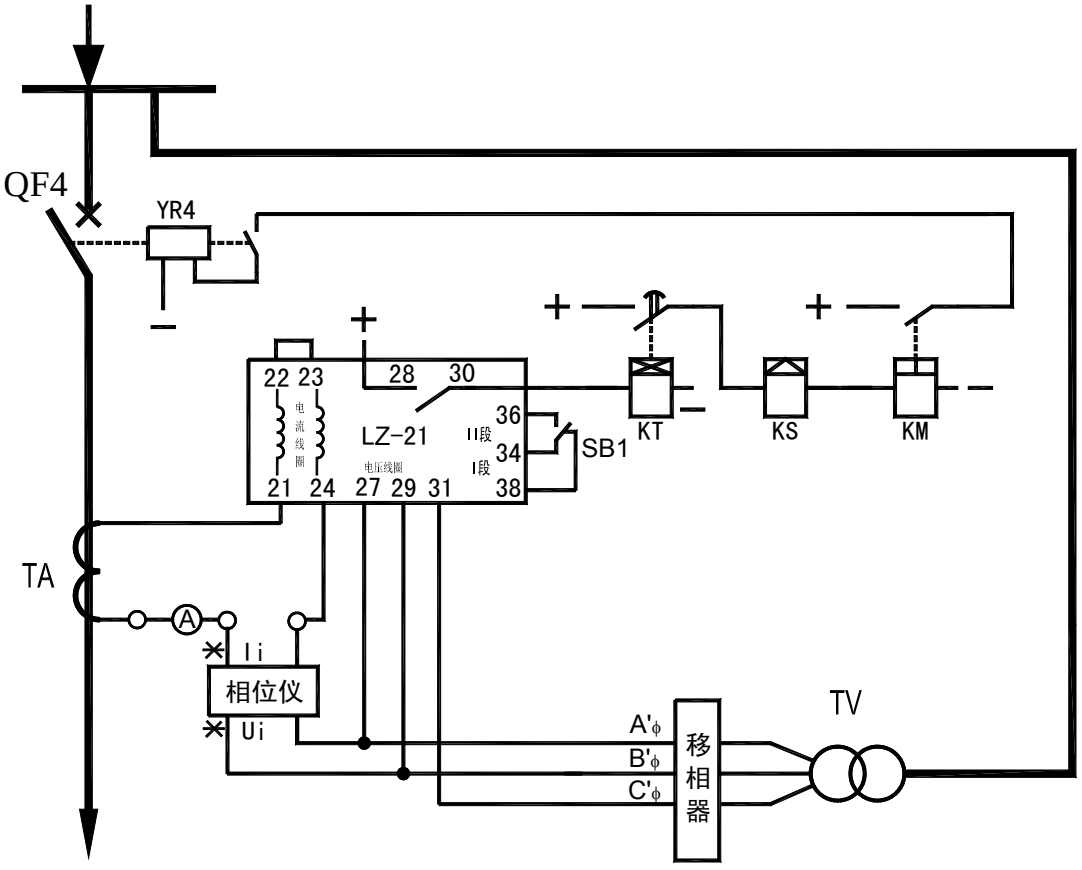


图 22-5 相间距离保护整定实验接线图

1．φ_{lm} 值整定：方向距离保护应根据线路阻抗角度 φ_l 值，将阻抗继电器面板上的最大灵敏角整定等于线路阻抗角值，本实验线路阻抗角为 65。，因此置于 $\varphi_{lm} = \varphi_l = 65°$ 位置。

2．K_I 值整定：根据上述距离保护二次起动阻抗值在 DKB 的 K_I 整定端子板上从满足 $Z_{set.1}$ 值的几个位置中整定在 K_I 值较大的那一档。在本实验中Ⅰ段和Ⅱ段的 K_I 分别整定如下：

Ⅰ段　$Z_{set.1}^{I}=8.345\Omega$　　K_I 整定在 2Ω；

Ⅱ段　$Z_{set.1}^{II}=16.21\Omega$　　K_I 整定在 2Ω；

在电抗变压器 DKB 上选定 20 匝绕组，改变联接片位置并确认联接正确无误，此时对于 5A 型阻抗继电器绕阻匝数 20 匝，最小动作阻抗为 2 欧姆的整定位置。

DKB 对应整定参数如下

DKB 原边的匝数	对应 5A 型阻抗继电器参数		对应 1A 型阻抗继电器参数	
2 匝	0.2Ω/φ 0.2—2Ω/φ		1Ω/φ	1—10Ω/φ
4 匝	0.4Ω/φ	0.4—4Ω/φ	2Ω/φ	2—20Ω/φ
2+4 匝	0.6Ω/φ	0.6—6Ω/φ	3Ω/φ	3—30Ω/φ
14 匝	1.4Ω/φ	1.4—14Ω/φ	7Ω/φ	7—70Ω/φ
2+4+14 匝	2Ω/φ	2—20Ω/φ	10Ω/φ	10—100Ω/φ

3．K_U 值整定：整定 K_I 后根据 $K_U=\dfrac{K_I}{Z_{set}}\times 100\%$ 计算各段 K_U 值：

Ⅰ段　$K_U=\dfrac{2}{Z_{set}}=$

Ⅰ段　$K_U=\dfrac{2}{Z_{set}}=$

4．距离保护Ⅰ段、Ⅱ段电气动作实验与调整

根据上述 K_U 值在阻抗继电器 YB 整定板上对距离保护Ⅰ、Ⅱ段分别进行整定、试验与调整：

1)将Ⅰ段测量元件 YB 的粗调整定螺钉置于 80％位置，微调初步整定在 4％位置，按图 22-5 进行实验接线，将Ⅰ、Ⅱ段切换开关 SB1 置于上端，联接阻抗继电器 34 与 36 的接线端子，使距离保护工作于Ⅰ段，然后检查确认接线正确无误后进行试验调整。

2)在阻抗继电器的电流回路通入 1A 额定电流，调节移相器移相使电压和电流之间的相位差固定在 65。，然后将加在阻抗继电器电压回路的电压调至对应于 8.3Ω 的相应电压值，记下阻抗继电器实际动作时的电压，并计算动作阻抗是否符合要求，如不满足可改变 K_U 值微调整定螺钉后再进行测试，直至满足要求为止。调试结束后将电流、电压回路调至零位并关闭电源。

3)将 I、II 段切换开关 SB1 从上端切至下端，即断开阻抗继电器 34 与 36 之间的联接，将端子 34 与 38 接通，使距离保护工作方式置于 II 段。

4)将 II 段测量元件 YB 粗调整定螺钉置 40％的位置，微调整定螺钉分别置于 3％、0.5％位置，电压与电流之间的相位角仍固定在 65。位置，实验接线同前。

5)在阻抗继电器的电流回路通入 1A 额定电流，调节移相器保持电压和电流之间的相位角为 65。，然后将加入阻抗继电器电压回路的输入电压调至对应于 16.2Ω 的相应电压值，记录下实际动作电压并计算 II 段阻抗是否符合要求，如有差异应改变 Ku 微调整定值后再进行试验。

六．实验报告

1．阻抗保护与电流保护相比有何优点?

2．方向阻抗继电器为什么存在死区，如何消除?阻抗保护有死区吗?为什么?其特性曲线有何不同?哪一个更具科学性?

3．本试验台上阻抗保护要用到移相器，该移相器有何作用?能不能换到别的位置?为什么电流保护不需要使用移相器?

4．阻抗继电器与微机阻抗保护同时投入，实验效果如何，在给定的条件下阻抗模值的理论计算值与微机显示阻抗模值相比有无差别?为什么?

5．为什么采用多边形阻抗保护特性可以提高躲过度电阻和躲负荷电流的能力?

6．LZ-21 型方向阻抗继电器为什么既要加记忆回路，又要引入第三相电压?

实验二十　具有灯光监视的断路器控制回路实验

一．实验目的

1．掌握具有灯光监视的断路器控制回路的工作原理，电路的功能特点。

2．理解为使断路器控制回路能安全可靠地工作,必须满足对合闸与分闸监视的基本要求与重要性。

3.加深对控制回路的理解和实验操作方法。

二.预习与思考

1.为什么控制回路能监视回路本身的完整性和操作电源的情况?上述电路中如何实现断路器在分闸位置时能监视跳闸回路的完整性,断路器在跳闸位置时也能监视合闸回路的完整性？

2.断路器的分合闸时间很短(分闸时间不大于 0.1s;合闸时间不大于 0.6s),操作机构的分、合闸线圈都按短时通电设计，若通电时间过长，就可能烧毁。请分析上述控制电路中，在分、合闸动作时是如何实现短时接通的？当实验完成后，分、合闸线圈回路是如何自动断开的？

3．上述控制回路中，GN、KD 指示灯分别表示断路器在什么状态？

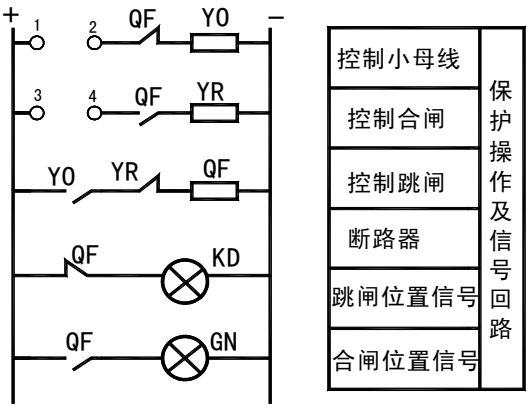
三．实验设备

序号	设备名称	使用仪器名称	数量
1	控制屏		1
2	EPL-01	A 站保护	1
3	EPL-02	B 站保护	1
4	EPL-12	光示牌	1
5	EPL-11	直流稳压电源	1

四．原理说明及接线图

断路器及控制回路工作情况的监视及操作控制过程如下：

当断路器处于跳闸状态时,其常闭辅助触点 QF 闭合，跳闸位置指示灯 KD 亮，当开关 1-2 通时，合闸线圈 YO 得电，其常开辅助触点 YO 闭合，QF 得电，断路器合闸，常开触点 QF 断开，常闭触点 QF 闭合，合闸位置信号 GN 亮，跳闸位置信号 KD 灭。此时，跳闸线圈 YR 待工作，当开关 3-4



监视的断路器控制回路原理图

通时，跳闸线圈 YR 得电，其常闭触点 YR 断开，断路器 QF 失电，断路器跳闸，其常闭触点合上，常开触点断开，跳闸位置信号灯 KD 亮，合闸位置信号灯 G、N 灭。

这种断路器控制回路比较简单，操作方便，在机组容量较小，断路器数量较小的小型水电站、小型变电所及一般工矿企业中，使用比较广泛。

五．实验内容及步骤

1．按图 9-1 灯光监视的断路器控制回路进行安装接线。

2．仔细认真检查完后，再请指导老师检查，之后方可进行下一步操作。

3．投入直流 220V 稳压电源，通过操作与观察，深入理解灯光监视的断路器控制回路中各个元件及接点的作用，将动作情况记入表 9-1 中。

六．实验报告

在安装接线及动作实验结束后，要认真分析控制电路的动作过程，结合电路原理，针对上述思考题，完成实验报告

表 9-1

序号	名称	控制开关（1-2 通）	控制开关（3-4 通）
1	合闸线圈 YO		
2	跳闸线圈 YR		
3	断路器 QF		
4	跳闸位置信号 KD		
5	合闸位置信号 GN		

实验二十一　模拟系统正常、最大、最小运行方式实验

一．实验目的

理解电力系统的运行方式以及运行方式对继电保护的影响。

二．实验说明

在电力系统分析课程中，已学过电力系统等值网络的相关内容。可知输电线路长短、电压级数、网络结构等，都会影响网络等值参数。在实际中，由于不同时刻投入系统的发电机变压器数有可能发生改变，高压线路检修等情况，网络参数也在发生变化。在继电保护课程中规定：通过保护安装处的短路电流最大时的运行方式称为系统最大运行方式，此时系统阻抗为最小。反之， 当流过保护安装处的短路电流为最小时的运行方式称为系统最小运行方式，此时系统阻抗最大。由此可见，可将电力系统等效成一个电压源，最大最小运行方式是它在两个极端阻抗参数下的工况。

作为保护装置，应该保证被保护对象在任何工况下发生任何情况的故障，保护装置都能可靠动作。对于线路的电流电压保护，可以认为保护设计与整定中考虑了两种极端情况后，其它情况下都能可靠动作。

三．实验内容与步骤

1．断开微机保护装置跳闸压板，按前述开机过程开启实验设备。

2．运行方式设置为最大，AB 段短路点位置调至末端。

3．调节自耦调压器，将系统电势升至 100V。

4．合上 QF1，在 AB 段进行三相短路。记录此时的短路电流和 A 母线残余电压。

5．解除短路故障，将运行方式切换至正常。合上 QF1，在 AB 段末端进行第二次短路，记录短路电流和 A 母线残余电压。

6．解除短路故障，将运行方式切换至最小，重复步骤 5，记录短路电流和 A 母线残余电压。

7．将实验数据填入表 16-1。

四．实验报告

1．根据前面的计算模型，计算各种运行方式下，三相短路时母线残压和短路电流的理论值。

2．将计算数据和实验中的记录数据填如入下表。

表 16-1　AB 段线路末端三相短路电流电压值

项目	实　　测　　值			计　　算　　值		
	最大方式	正常方式	最小方式	最大方式	正常方式	最小方式
残余电压						
短路电流						

3．分析数据，说明运行方式将如何影响残余电压和短路电流。

4．思考运行方式对电流电压保护的影响。

实验二十二　模拟系统短路实验

一．实验目的

1．掌握输电线路相间短路电流和残余电压的计算。

2．了解输电线路短路的各种形式。

3．了解中性点运行方式对继电保护的影响。

4．比较各种形式短路的危害。

二．实验说明

输电线路的短路故障可分为两大类：接地故障和相间故障。在这里我们只对相间短路的情况进行研究，因为理解了相间故障的保护原理后，再学习接地保护就变得较简单。大家知道中性点运行方式是一个综合性问题，它与电压等级、单相接地电流、过电压水平等有关。它直接影响输电线路的接地保护形式。另外，即使知道接地故障发生在哪一点，也很难精确计算其短路电流；因为这还涉及短路接地处的接地电阻、中性点运行方式等问题，所以基本上没有通过测量对地电流或对地电压，来设计接地保护的。一般以零序电流、零序电压、接地阻抗或装设绝缘监察装置等来判断故障。在装置整定方法上与相间短路有相通之处，只是判断故障的依据不同。这一点希望大家能理解到。

三．实验内容与步骤

1．开启实验设备，运行方式设置为最小，断开两微机保护装置跳闸压板。

2．将系统电势调至 100V，各段短路点调至线路末端，闭合 QF1、QF2。

3．在 AB 段末段进行任意两相短路实验，记录短路电流和各线电压，应记录保护装置中的测量值。

4．解除所有故障后，在 AB 段末端进行三相短路，记录保护装置中的测量值。

5．解除所有故障，将 BC 段电流互感器、电压互感器出口端与保护装置相连。

6．在 BC 段末端进行三相短路，记录各次的短路电流和母线残余电压。

7．在 AB 段首端和线路其他点进行任意两相短路和三相短路,观察短路电流和母线残余电压。认真体会短路点位置和短路形式不同，造成危害的程度差别。

四．实验报告

1．计算两相短路和三相短路时的短路电流和母线残余电压。

计算公式：

三相短路时：$$I_K^{(3)} = \frac{E_\varphi}{X_X + x_1 l}$$

$$U_{cy} = \sqrt{3} I_k^{(3)} x_1 l$$

两相短路时：

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{E_\varphi}{X_X + x_1 l}$$

$$U_{cy}^{(2)} = 2 \cdot I_K^{(2)} \cdot X_L = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)} \cdot x_1 l = \sqrt{3} \cdot I_K^{(3)} \cdot x_1 l$$

E_φ——系统次暂态相电势；

X_X——系统电抗；

x_1——被保护线路每公里电抗；

l ——被保护线路的全长。

注：$x_1 l$ 在实验计算中，直接用模拟线路电阻值代入。

2．将计算值和实测值填入下表

表 18-1

项目	AB 段末端		BC 段末端	
	计 算 值	实 测 值	计 算 值	实 测 值
两相短路				
三相短路				
短路残压				

实验二十三　重复动作手动复归中央复归式信号装置实验

一．实验目的

1．理解重复动作中央信号装置的工作原理。

2．理解冲击继电器在能重复动作中央信号装置的工作过程，掌握其实验操作方法。

二．预习与思考

1．为什么在接线时要注意冲击继电器的极性与电源极性相对应，不能接错?

2．在实际线路中，万能转换开关是如何和断路器的辅助触点相连的?你能画出接线图吗?

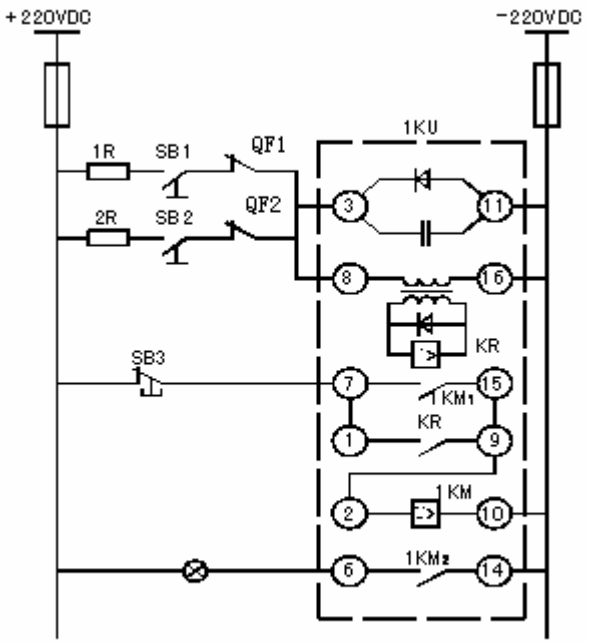


图 18-1 重复动作手动复归中央复归式信号装置

三．实验原理

1．手动复归中央复归重复动作的事故灯光信号

图 18-1 所示为手动复归中央复归重复动作的事故灯光信号回路图。图中所示 KU 为 ZC-23 型冲击继电器，利用了该冲击继电器使事故灯光信号能够重复动作。

ZC-23 型冲击继电器由脉冲变流器 TA、多触点电压型干簧继电器 1KM 和单触点电流型干簧继电器 KR 组成。脉冲变流器 TA 一次侧并联的二极管 1V 和电容 C，用于抗干扰；二次侧并联的二极管 2V，起单向旁路作用。单触点电流型干簧继电器 KR，用作 1KU 内部的执行元件；多触点电压型干簧继电器 1KM，用作 1KU 出口中间元件。干簧继电器和电磁型继电器的动作原理一样，无论通过线圈的电流极性如何，继电器都同样动作，动作没有方向性。

当某台断路器（如 QF1）自动跳闸后，其辅助触点 QF1 闭合，万能转换控制开关处于“合闸后”位置，即 SB1 闭合，启动事故灯光信号回路。脉冲变流器 TA 一次侧电流增大，其二次侧感应脉冲电动势使干簧继电器 KR 动作，KR 动合触点闭合，使干簧继电器 1KM 动作。这时，$1KM_1$ 闭合，自保持；$1KM_2$ 闭合，接通指示灯事故灯光信号；按下复归按钮 SB3，可手动复归事故灯光信号。当另一台断路器（如 QF2）又自动跳闸时，同样会使指示灯事故灯光信号。所以，这种装置称为能重复动作的中央手动复归式事故灯光信号装置。

四．实验设备

序号	型号	名称及说明	数量	备注
1		控制屏及控制柜	1	
2	EPL-11	直流电源及母线	1	
3	EPL-01A	断路器及控制回路	1	
4	EPL-14	按钮及电阻盘	1	
5	EPL-06	继电器(四)	1	
6	EPL-12B	光示牌	1	
7	EPL-27	继电器(九)	1	

五．实验步骤

重复动作的手动复归中央复归式事故灯光信号实验

（1)按图 18-1 接线：电阻 1R、2R 分别用 EPL-14 的双联可调电阻替代（分别接 A1．A3 和 B1．B3，电阻值不可调)。QF1．QF2 分别为 QF1．QF2 的断路器辅助触点，位于 EPL-01A 上，指示灯为光示牌

（2）确认 EPL-14 的按钮开关 SB1．SB2 处于断开位置，并对接线进行检查。

（3）分别合上漏电断路器、主电源控制按钮开关，并按下 QF1 和 QF2 的合闸控制按钮，使 QF1 和 QF2 的断路器闭合，其辅助动闭触点 QF1．QF27 断开，然后按下 EPL-14 的按钮开关 SB1．SB2。

（4）按下 QF1 分闸控制按钮，注意指示灯是否点亮。

（5）按下 QF2 分闸控制按钮，注意指示灯是否点亮。

六．实验报告

认真分析控制电路的动作过程，结合电路原理，写出实验报告。

重复动作的手动中央复归式事故灯光信号实验

序号	断路器工作状	指示灯	1KU 工作状
1	1QF 跳闸		
2	2QF 跳闸		

实验二十四　重复动作自动复归中央复归式信号装置实验

一．实验目的

1．理解重复动作中央信号装置的工作原理。

2．理解冲击继电器在能重复动作中央信号装置的工作过程，掌握其实验操作方法。

二．预习与思考

1．为什么在接线时要注意冲击继电器的极性与电源极性相对应，不能接错?

2．在实际线路中，万能转换开关是如何和断路器的辅助触点相连的?你能画出接线图吗?

三．实验原理

图 19-1 所示为中央复归重复动作的事故灯光信号回路图。图中所示 KU 为 ZC-23 型冲击继电器，利用了该冲击继电器使事故灯光信号能够重复动作。

ZC-23 型冲击继电器由脉冲变流器 TA、多触点电压型干簧继电器 1KM 和单触点电流型干簧继电器 KR 组成。脉冲变流器 TA 一次侧并联的二极管 1V 和电容 C，用于抗干扰；二次侧并联的二极管 2V，起单向旁路作用。单触点电流型干簧继电器 KR，用作 1KU 内部的执行元件；多触点电压型干簧继电器 1KM，用作 1KU 出口中间元件。干簧继电器和电磁型继电器的动作原理一样，无论通过线圈的电流极性如何，继电器都同样动作，动作没有方向性。

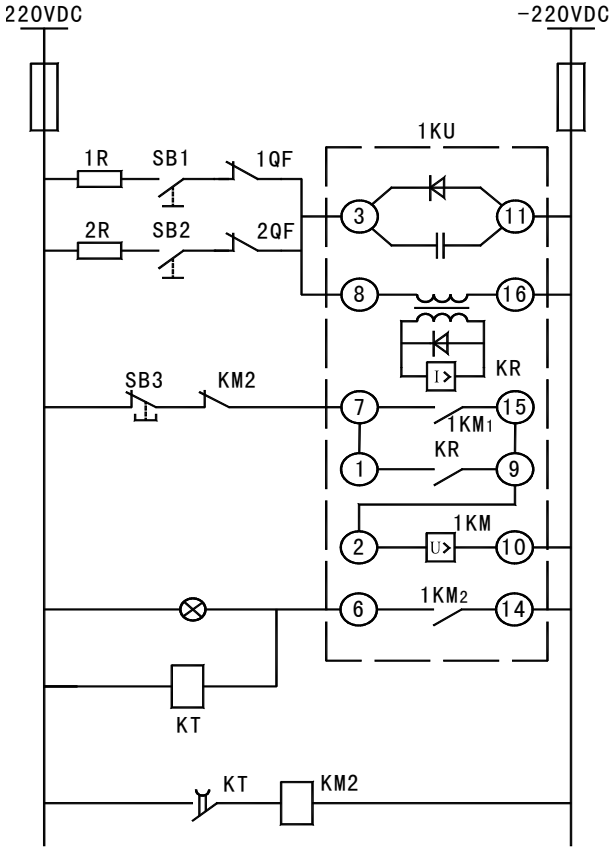


图 19-1 重复动作的中央复归信号装置接线图

当某台断路器（如 1QF）自动跳闸后，其辅助触点 1QF 闭合，万能转换控制开关处于“合闸后”位置，即 SB1 闭合，启动事故灯光信号回路。脉冲变流器 TA 一次侧电流增大，其二次侧感应脉冲电动势使干簧继电器 KR 动作，KR 动合触点闭合，使干簧继电器 1KM 动作。这时，$1KM_1$ 闭合，自保持；$1KM_2$ 闭合，接通指示灯事故灯光信号，接通时间继电器 KT，经整定的延时时限后，KT 动合触点闭合，使中间继电器 KM2 动

作，其动断触点 KM2 断开，1KM 自保持回路，1KM 返回，事故灯光信号自动解除（自动复归），所以，这种装置称为能重复动作的中央自动复归式事故灯光信号装置。

四．实验设备

序号	型号	名称及说明	数量	备注
1		控制屏及控制柜	1	
2	EPL-11	直流电源及母线	1	
3	EPL-01A	断路器及控制回路	1	
4	EPL-14	按钮及电阻盘	1	
5	EPL-06	继电器(四)	1	
6	EPL-12B	光示牌	1	
7	EPL-27	继电器(九)	1	
8	EPL-32	继电器(三)	1	

五．实验步骤

重复动作的自动复归中央复归式事故灯光信号实验

（1）按图 19-1 接线：电阻 1R、2R 分别用 EPL-14 的双联可调电阻替代（分别接 A1．A3 和 B1．B3，电阻值不可调），时间继电器采用 EPL-32 的 DS-21C 时间继电器。QF1．QF2 分别为 QF1．QF2 的断路器辅助触点，位于 EPL-01A 上，指示灯为光示牌。

（2）确认 EPL-14 的按钮开关 SB1．SB2 处于断开位置，并对接线进行检查。

（3）分别合上漏电断路器、主电源控制按钮开关，并按下 QF1 和 QF2 的合闸控制按钮，使 QF1 和 QF2 的断路器闭合，其辅助动闭触点 QF1．QF2 断开，然后按下 EPL-14 的按钮开关 SB1．SB2。

（4）按下 QF1 分闸控制按钮，注意指示灯是否点亮。

（5）经过整定时间延时后，指示灯熄灭。

（6）按下 QF2 分闸控制按钮，注意指示灯是否点亮。

六．实验报告

认真分析控制电路的动作过程，结合电路原理，写出实验报告。

（2）重复动作的自动复归中央复归式事故灯光信号实验

序号	断路器工作状	指示灯	1KU 工作状	KM2 工作状	KT 整定时间
1	1QF 跳闸				
2	2QF 跳闸				

实验二十五　闪光继电器构成的闪光装置实验

一．实验目的

1．掌握具有灯光监视的断路器控制回路的工作原理，电路的功能特点。

2．理解为使断路器控制回路能安全可靠地工作，所必须满足对合闸及分闸监视的基本要求及其重要性。

3．结合万能转换控制开关的触点图表，学会开关的使用、控制回路的接线和动作试验方法。

4．理解闪光继电器的使用。

二．预习和思考

1．为什么控制回路能监视回路本身的完整性和操作电源的情况？上述电路中如何实现断路器在合闸位置时能监视跳闸回路的完整性;断路器在跳闸位置时也能监视合闸回路的？

2．断路器的分、合闸时间都很短（分闸时间不大于 0.1s；合闸时间不大于 0.6s），操作机构的分、合闸线圈都按短时通电设计，若通电时间过长，就可能烧毁。请分析上述控制电路中，在分、合闸动作时是如何实现短时接通的，当动作完成后，分、合闸回路是如何自动断开的？

3．上述控制电路中红灯、绿灯的平光以及闪光分别表示断路器在什么状态？

三．实验原理

闪光信号装置用于给闪光小母线提供脉动电压。当断路器事故跳闸或者自动投入时，绿灯 GN 或红灯 RD 通过接上闪光小母线 WF 而闪光。

图 5-1 是由闪光继电器 DX-3 构成的一种直流闪光装置电路。当断路器事故跳闸或者自动投入时，断路器的控制回路使指示灯接通控制小母线，闪光继电器通电动作，同时指示灯亮。但继电器线圈通电动作后，其常闭触点断开，使控制小母线的正电源消失，从而使指示灯灭。继电器线圈断电后，其常闭触点返回闭合，又使小母线获得正电源，从而使指示灯又亮。……由于闪光继电器交替动作，使闪光小母线获得脉动的正电源，从而使指示灯闪光。

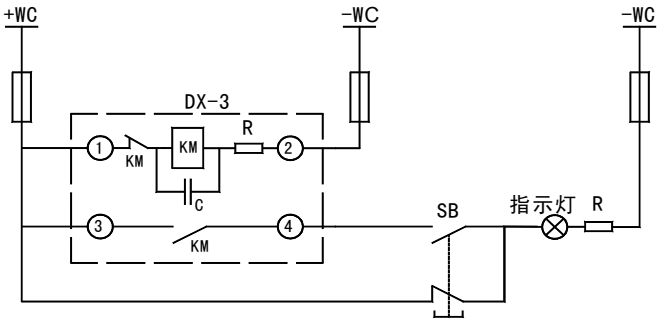


图 5-1 采用 DX-3 型闪光继电器构成的闪光装置图

四．实验设备

序号	型号	名称及说明	数量	备注
1		主控制屏	1	
2	EPL-11	直流电源	1	
3	EPL-30	继电器十一（闪光继电器）	1	
4	EPL-12B	光示牌和相位仪等	1	
5	EPL-14	按钮及电阻盘	1	

五．实验步骤

1．闪光继电器构成的闪光装置实验

（1）按图 5-1 接线：DX-3 闪光继电器位于 EPL-30，SB 按钮开关采用 EPL-14 的 SB3，指示灯采用 EPL-12B 的 GN 指示灯，控制小母线位于 ETP-11。

（2）检查上述接线正确无误后，合上漏电断路器，控制小母线得电，指示灯应亮。

（3）按下试验按钮，闪光继电器开始工作。

（4）通过操作与观察，深入理解闪光继电器的工作原理和使用方法。

六．实验报告

实验二十六　装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路实验

一．实验目的

1．掌握装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路的防跳原理、电路的功能和特性。

2．理解装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路，为实现安全可靠地工作，该电路满足了哪些基本要求？

3．掌握电路中所用控制开关的触点图表，学会装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路的接线和实验操作方法。

二．原理说明

所谓“跳跃”是指断路器合闸回路中，控制开关的触点在合闸结束后来不及返回而人为地闭合，或自动装置继电器的触点由于某种原因在动作时被卡住不能复归，此时断路器合闸在有持续故障的线路上，造成断路器多次跳闸－合闸的现象。断路器如果多次“跳跃”，可能导致设备损坏并使事故扩大。因此必须采取“防跳”措施。

装设“跳跃”闭锁继电器的断路器控制回路见图 15-1，图中的中间继电器 TBJ，称为跳跃闭锁继电器。它有两个线圈：一个是电流启动线圈，串联于跳闸回路中，这个线圈的额定电流应根据跳闸线圈的动作电流来选择，并要求有较高的灵敏度，以保证在跳闸操作时能可靠地启动；另一个线圈为电压自保持线圈，经过自身的常开触点并联于合闸接触器线圈 YO 回路中。另外，在合闸回路中还串接入一个 TBJ 的常闭触点。控制回路的工作原理如下：当利用控制开关 KK 手动合闸或自动装置触点 1ZJ 进行自动重合闸时，如遇到故障，继电保护装置动作，其触点 BCJ 闭合，将跳闸回路接通，使断路器跳闸。同时跳闸电流也流过跳跃闭锁继电器 TBJ 的电流启动线圈，使 TBJ 动作，其常开触点接通 TBJ 的电压线圈常闭触点断开合闸线圈回路。此时，如控制开关 KK 的触点 5-8 或自动装置的触点 1ZJ 因故未断开，则 TBJ 的电压线圈始终带电，与 YO 线圈串联的 TBJ 常闭触点就始终分开，实现“闭锁”，YO 线圈就始终无电，断路器就不能进行多次合闸。只有当合闸命令解除后，（也就是 KK 触点或 1ZJ 触点断开），TBJ 的电压线圈失电，控制回路才恢复到正常的状态，解除闭锁。

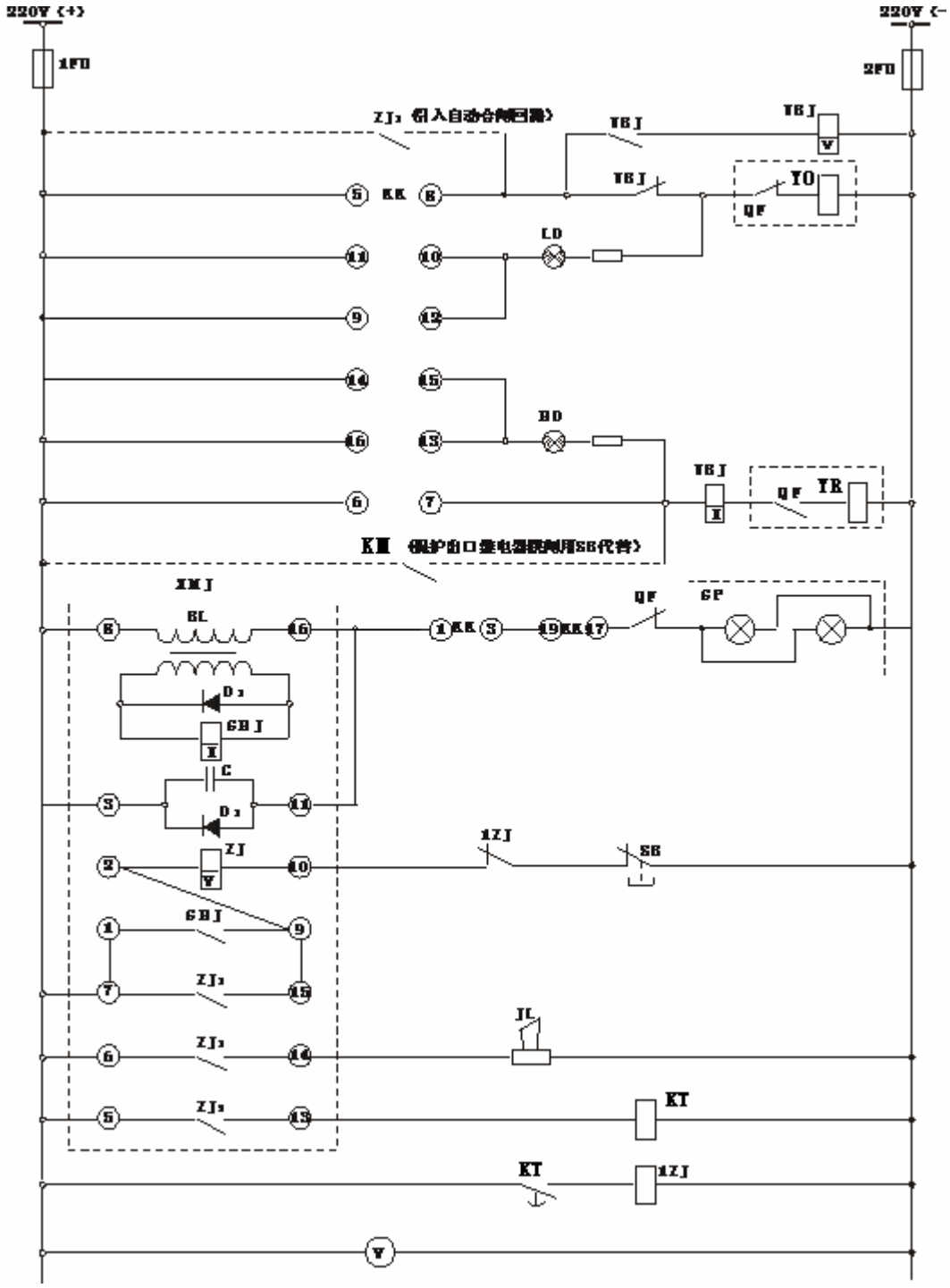


图 15-1　装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路接线图

控制开关

以 LW2-Z 型为例作简单说明。图 27-1 为 LW2-Z-1a、4．6a、40、20、20/F8 型控制开关的外形及触点位置图表。LW2-Z 型控制开关有六个操作位置，即“预备合闸”、“合闸”、“合闸后”、“预备跳闸”、“跳闸”、“跳闸后”，其中，“合闸后”和“跳闸后”为两个固定位置，即手柄在垂直位置和水平位置。“预备合闸”和“预备跳闸”为两个预备位置，手柄在垂直位置或水平位置，暂时停留，仅作为一种过渡位置。“合闸”和“跳闸”为两个自动复归位置，即操作手柄

从垂直位置或水平位置顺时针或反时针旋转 45 度，当操作人员松开手柄时，手柄在弹簧的作用下，又自动反方向复归 45 度回到固定位置。断路器合闸时，按照“预备合闸”、“合闸”、“合闸后”的顺序顺时针操作手柄；断路器跳闸时，按照“预备跳闸”、“跳闸”、“跳闸后”的顺序逆时针操作手柄。具体操作顺序如下：合闸操作时，操作手柄从水平位置（“跳闸后”位置）顺时针旋转 90 度至垂直位置（固定位置），即为“预备合闸”位置，再顺时针旋转 45 度时（复归位置），即为“合闸”位置；松开手柄时，又自动反方向（逆时针）复归 45 度回到垂直位置，即为“合闸后”位置；跳闸操作时，操作手柄从垂直位置（“合闸后”位置）逆时针旋转 90 度，其他过程类似，叙述从略。图表中“X”表示触点为接通状态，“-”表示触点为断开状态。

下表　LW2-Z-1a、4．6a、40、20、20/F8 型控制开关触点位置图

手柄和触点盒型式		F8	1a		4		6a			40			20			20		
触点号			1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20	21-23	21-22	22-24
位置	分闸后	←	—	X	—	—	—	—	X	—	X	—	—	—	X	—	—	X
	预备合闸	↑	X	—	—	—	X	—	—	X	—	—	—	X	—	—	X	—
	合闸	↑	—	—	X	—	—	X	—	—	—	X	X	—	—	X	—	—
	合闸后	←	X	—	—	—	X	—	—	—	—	X	X	—	—	X	—	—
	预备合闸	↙	—	X	—	—	—	—	X	X	—	—	—	X	—	—	X	—
	分闸		—	—	—	X	—	—	X	—	X	—	—	—	X	—	—	X

控制开关触点通断情况除了用触点位置图表表示外，另一种表示方法是直接在断路器的控制电路中标出，即在控制开关的触点图形符号上画出四条或六条垂直虚线，分别表示控制开关的位置状态，而在触点图形符号下方的位置竖线上画黑点，表示控制开关 SA 左右两侧标有 OFF 和 ON，分别表示跳闸操作和合闸操作；而两侧虚线上标出的箭头（左边位置标为“←”和右边位置标为“→”）方向表示控制开关 SA 手柄自动返回的方向，六条垂直线代表控制开关手柄六种位置状态，从左至右分别为“跳闸后”、“跳闸”、“预备跳闸”，“预备合闸”、“合闸”、“合闸后”。利用虚线和黑点表示各对触点对应控制开关手柄在不同位置时的状态，这种方法看图具有直观、简单、方便、明了的特点，在电气设备控制电路图中，完全可以省去控制开关触点位置图表。

三．实验设备

序号	设备名称	使 用 仪 器 名 称	数量
1		主控屏	1
2	EPL-12	LD，HD 信号灯	各 1 只
3	EPL-11C	直流操作电源	1 路
4	EPL-12	光字牌	4 个
5	EPL-05	时间继电器	1 只
6	EPL-34	跳跃闭锁继电器	1 只
7	EPL-07	信号继电器	1 只
8	EPL-27	ZC－23 冲击继电器	1 只
9	EPL-31	万能转换开关 LW_2—Z—1a、4．6a、40、20/F8	1 只
10	EPL-14	按钮及电阻盘	1 只

四．实验步骤和操作过程

1．根据跳跃闭锁继电器、信号指示灯、跳闸线圈合闸线圈、直流接触器的工作技术参数选择操作电源电压（本实验装置选用直流 220V 操作电源）。

2．按图 15-1“装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路”进行安装接线。

3．检查上述接线的正确性，确定无误后，接入电源进行控制回路操作试验，通过操作与观察，深入理解装设跳跃闭锁继电器同时具有灯光监视的断路器控制回路的工作原理、电路中各元器件及接点的作用。

4．断路器的控制操作过程

① 合闸状态

断路器处于合闸状态时控制开关 KK 手柄在“合闸后”位置。断路器常开触点 QF 闭合，KK 的 16-13 触点接通，于是该触点和红灯 HD 及其附加电阻、跳跃闭锁继电器 TBJ 电流线圈和 QF 常开触点和跳闸线圈 YR 形成通路。由于 YR 及 TBJ 电流线圈的电阻远小于 HD 和附加电阻的电阻，回路中的电压大部分降落在 HD 和附加电阻上，使红灯 HD 发出平光。YR 线圈中虽有电流流过，但电流很小，电磁力不足以将操作机构脱扣，断路器不会跳闸。同理 TBJ 也不会动作。红灯 HD 发出平光，一方面指示断路器在合闸位置，另一方面表示跳闸线圈回路完好。运行中如果红灯熄灭，就表明跳闸线圈回路断线，必须检查修复，否则影响断路器的跳闸。红灯 HD 的附加电阻的作用是防止红灯灯泡两端短接，造成断路器误跳闸。

② 跳闸操作

断路器进行跳闸操作时，把 KK 手柄先转到“预备跳闸”位置再转到“跳闸”位置，这时 KK 触点 6-7 接通，把红灯 HD 和附加电阻短接，回路全部电压降在 YR 上，YR 电流增大，电磁力使跳闸铁芯向上吸引，使操作机构脱扣，断路器跳闸。同时跳闸电流也流过 TBJ 的电流起动线圈，使 TBJ 动作，其常开触点闭合，接通电压线圈实现自保；其常闭触点断开，对合闸回路实现“闭锁”。断路器跳闸后，与其联动的常开触点 QF 断开，使 YR 线圈及 TBJ 电流线圈断电。常闭触点 QF 闭合，使合闸接触器线圈 YO、绿灯 LD 及其附加电阻、控制

开关 KK 的触点 11-10（在“跳闸”和“跳闸后”位置时都接通）等组成的回路接通。由于 YO 线圈电阻远小于 LD 及附加电阻的电阻，所以绿灯 LD 发出平光，YO 线圈虽通电而电流很小，不能动作，不会造成断路器合闸。绿灯 LD 发出平光，一方面指示断路器在跳闸位置，另一方面表明合闸回路完好。当 KK 手柄松开弹回到“跳闸后”位置时，触点 6-7 断开。与红灯附加电阻一样，绿灯附加电阻的作用是防止绿灯灯泡两端短接，造成断路器误合闸。

③ 合闸操作

断路器进行合闸操作时，把 KK 手柄先转到“预备合闸”位置，再转到“合闸”位置，此时 KK 触点 5-8 接通，将绿灯 LD 和附加电阻短接，回路电压全降在 YO 线圈上，则 YO 动作，接通合闸线圈 HQ 回路，将断路器合闸。断路器合闸后，其常闭触点 QF 断开，使 YO 线圈断电，因而 HQ 回路也断电；常开触点 QF 闭合，使 YR 线圈、TBJ 电流线圈、HD 及其附加电阻、KK 触点 16-13（此时已接通）等组成的回路接通，红灯 HD 发平光。随后，将 KK 手柄放开使其弹回到“合闸后”位置，触点 5-8 断开，16-13 仍接通，红灯继续发出平光。

合闸线圈 YO 不象跳闸线圈 YR 那样直接启动，其原因是 YO 电阻极小，合闸电流很大，若用 KK 触点直接启动将烧坏触点。所以把 KK 的 5-8 触点先接通作为中间接触器的 YO 线圈，再通过容量较大 YO 触点来接通 YO 回路。

④ 事故跳闸

当断路器所在电气一次回路发生事故时，继电保护动作，保护出口继电器的常开触点 KM 闭合，把 HD 及其附加电阻短接，使断路器跳闸。

断路器事故跳闸时，必须发出事故信号，以引起操作人员的注意。事故信号有事故音响信号和绿灯闪光信号，两者同时作用。事故音响信号的动作过程如下：当断路器事故跳闸时，KK 的手柄仍处于“合闸后”的位置，因此其触点 1-3．19-17 闭合，但 QF 常闭触点也因断路器跳闸而闭合，所以接通了冲击继电器回路，BL 线圈中有冲击电流流过，GHJ 线圈得电励磁，ZJ 线圈得电并自保持，这样就启动了音响装置，使电笛发声，从而引起操作人员的注意。音响装置一般全厂共用一组，为使每台断路器跳闸时电笛都能发声，在事故信号回路里串联入一个附加电阻 R，以后的中央音响信号装置实验中会得到进一步了解和认识。在发出事故音响信号的同时，还必须直观地表明何台断路器跳闸，绿灯闪光信号就起到了这个作用，当 KK 手柄在“合闸后”位置时，其触点 9-10 接通，若断路器跳闸，其常闭触点 QF 闭合，于是把绿灯右边接到负电源，左边接到闪光继电器⑤，这样绿灯就在闪光电源作用下一闪闪地发光。

闪光既有指示断路器事故跳闸的作用，又有监视断路器操作的作用。如将 KK 手柄转到“预备合闸”位置，其触点 9-10 也接通，断路器常闭触点 DL 闭合，因此绿灯也闪光。这种闪光是为了引起操作者的注意，即所操作的断路器是否有误。若无误，可把 KK 手柄继续转到“合闸”位置，断路器就合闸。同样，当 KK 手柄转到“预备跳闸”位置时，触点 13-14 接通，红灯闪光，同样起到监视的作用。

操作人员在处理事故时，应先停止音响信号，但保留闪光信号，这样能清楚地知道事故断路器所在位置。事故处理完毕后，将 KK 手柄转到“跳闸后”位置，触点 9-10 断开，闪光解除。同时 KK 的触点 1-3．19-17 断开，事故信号回路也断开。

五．注意事项

注意事项详见操作规程，在操作接线中要特别注意跳跃闭锁继电器的电流线圈的正确接入，如接入电压线圈回路，将会烧毁电流线圈。因此必须核对接线正确无误，方可通电试验。

六．预习与思考

1．上述装设跳跃闭锁继电器同时具有灯光监视的断路器控制回路中，是否具有监视控制回路本身的完整性和操作电源正常性的功能？

2．为什么图 15-1 控制电路中没有装设合闸位置继电器和跳闸位置继电器？

3．在图 15-1 的控制电路中，是否满足确保断路器分合闸线圈短时通电的要求？为什么？

4．跳跃闭锁继电器为什么需要一个电流线圈和一个电压线圈？接入时应注意什么？

5．图 15-1 的控制电路，是否可用继电保护和自动装置进行分合闸操作？为什么？

6．图 15-1 控制电路的操作过程中，出现“红灯平光”“红灯闪光”“绿灯平光”“绿灯闪光”各表示什么状态？

七．实验报告

总结分析防跳原理和断路器控制操作过程中电路的动作过程及其闪光装置、音响装置的起动原理，详细说明各个工作状态的实际意义，结合上述思考题写出实验报告和新的体会。

实验二十六　过流保护与三相自动重合闸实验与考核（由学生自行设计）

实验二十七　低电压启动过电流保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验二十八　电流闭锁电压速断保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验二十九　过电压保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验三十　三段式电流保护与自动重合闸（后加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验三十一　过电流保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验三十二　低电压启动过电流保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验三十三　电流闭锁电压速断保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验三十四　过电压保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）

实验三十五　三段式电流保护与自动重合闸（前加速）综合实验与考核（由学生自行设计）