

《工厂供电》实验教材

易晓郑 牛志民 编

焦作工学院电力实验室

一九九五年五月

目 录

实验须知.....	1
第一章 电力系统中性点运行方式及研究.....	3
第一节 概述.....	3
第二节 实验内容.....	7
第二章 继电保护及实验.....	10
第一节 概述.....	10
第二节 实验内容.....	14
第三章 自动重合闸装置及实验.....	59
第一节 概述.....	59
第二节 实验内容.....	61
第四章 接地电阻及测定方法.....	64
第一节 概述.....	64
第二节 测定方法.....	67

实 验 须 知

一、《工厂供电》实验的目的和要求

实验课是《工厂供电》学习中的实践环节，通过实验能使学生对理论知识有一个感性认识，并对学生的实验技能有所提高，实验的目的和要求是：

1、学会常用电工仪表和电子仪器的使用方法，并掌握实验中一般常用工具的使用。

2、学会一般电路参数的测量方法。

3、通过对实验结果的分析，培养学生分析、解决问题的独立工作能力。

4、验证所学的理论实验的一致性，使学生初步体会到《工厂供电》的理论是以实践为基础的，实践能加深对理论的理解和促进理论的发展。

二、《工厂供电》实验的基本训练

1、合理安排仪器、仪表和元件的位置，达到操作方便，避免干扰、短路和故障的目的。

2、接线应牢固可靠，清楚易查。

3、线路按要求接好后，应进行预操作，其目的在于：

(1)查看电路是否正常，检查仪表的工作情况。

(2)了解所测参数的变化趋势，以作到实验时的心中有数，以便计划取点。

(3)找出变化的特殊点，作为取点的重要点。

4、准确读取电表的指示数据

(1)合理选择仪表的量程

(2)仪表量程与表盘分度一致时,可以直读,不一致则应乘以换算比例。

5、通过合理的取点,应使绘出的曲线或表格能真实地反映客观情况,但应指出,取点不宜过少,也不可过多。

6、能对实验结果作出分析和提出改进措施。

三、注意事项

1、实验前应对实验内容进行预习,弄清所需仪器设备的性能和使用方法,仪器设备不得随意进行调整、拆开,要爱护公物。

2、按实验接线图接线,接线要整齐清晰,线路和接好后必须经指导教师检查,方可接通电源进行实验。

3、按实验步骤逐项进行实验,每项实验完毕,应将数据交指导教师检查,然后拆除接线,再进行下一项实验。

4、实验过程中要严肃认真,不许高声喧闹,要保持实验室的整洁、卫生。

5、实验过程中改变接线必须接开电源,如遇异常事故,首先切除电源。事故损坏仪器设备,按学校规定处理。

6、实验完毕,应将全部数据交指导教师审阅后再拆除接线,将仪器设备放回原处。

7、实验报告按规定内容,按期写成,交指导教师批阅。报告内容如下:

(1)实验目的

(2)实验线路

(3)原始数据记录

(4)根据原始数据进行计算或绘制曲线

(5)分析讨论问题

第一章 电力系统中性点运行方式及研究

第一节 概 述

一、意义、分类、要求

1、意义:这里所说的中性点是指电力系统中,发电机和变压器的中性点。由于电力系统中性点的运动方式,对电力系统的运行特别是在发生单相接地时有明显的影响,而且影响到电力系统二次侧的保护装置及监察测量系统的选择与运行,因此,有必要予以研究。

2、分类:在三相交流电力系统中,作为供电电源的发电机和变压器的中性点有三种运动方式:一种是电源中性点不接地,一种是电源中性点经消弧线圈接地,一种是电源中性点直接接地。前两种也可称为中性点非有效接地,或小电流接地,后一种中性点直接接地称为中性点有效接地,或大电流接地。

3、要求:我国3—63kV系统,大多采取电源中性点不接地的运行方式。只有当接地电流大于一定数值时(3~10kV电网中接地电流大于30A、20kV及以上电网中接地电流大于10A时),则按规定应采取电源中性点经消弧线圈接地的运行方式。110kV及以上的系统及220/280V的低压配电系统,则一般采取电源中性点直接接地的运行方式。

二、中性点运行方式分析

1、中性点接地系统:如图1—1所示。

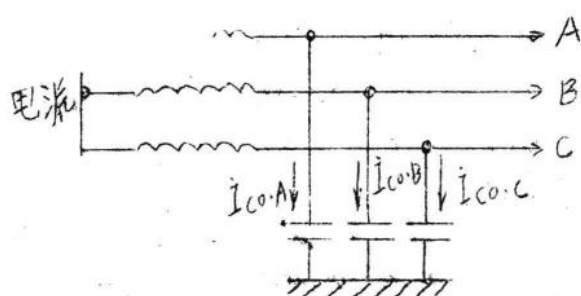


图1-1

由于任意两个导体中间有绝缘介质时，就形成电容，因此，在三相电网中，相与相，相与地之间都存在着一定的电容，为讨论问题方便，将这些分布电容均用集中电容 C 来表示，而相与相的电容对我们讨论问题无影响，故将其略去。

当系统正常运行时， U_A 、 U_B 、 U_C 、 I_{C0} 均对称，相量和为零，地中无电流，每相电压为相电压。

当发生一相接地时：如C相接地，如图1-2所示。

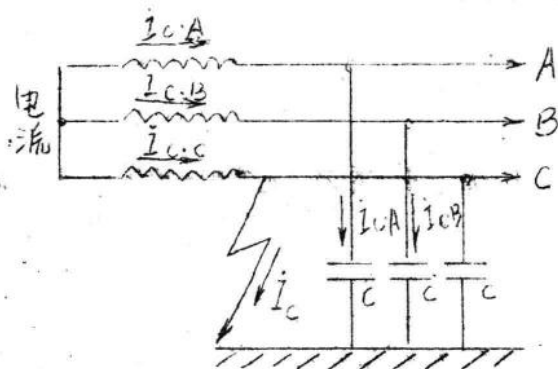
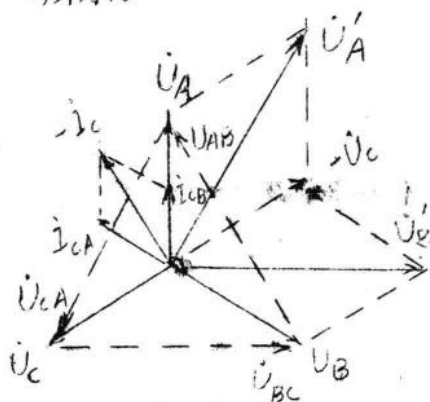


图1-2

这时， $U_C = 0$ ， $U'_A = U_A + (-U_C) = U_{AC}$ ， $U'_B = U_B + (-U_C) = U_{BC}$ ，见A、B两相对地电压升高到原来的 $\sqrt{3}$ 倍，即由相电压升为线电压，而电流 $I_C = -(I_{C.A} + I_{C.B})$ ，其相位正好超前 $U_C 90^\circ$ ，上 $I_C = \sqrt{3}I_{CA}$ ，因为 $I_{CA} = U_U/X_C = \sqrt{3}I_{C0}$ ，故 $I_C = 3I_{C0}$ ，是平时的3倍。



由于C不好计算，所以 I_{c0} 和 I_c 也不能通过C来求出，故一般采用经验公式计算：

$$I_c = \frac{U_N (L_{oh} + 35L_{cab})}{350}$$

式中： U_N ——线路的额定线电压

L_{oh} ——与这一电压 U_N 有联系的架空线总长(km)；

L_{cab} ——与这一电压 U_N 有联系的电缆线总长(km)；

I_c ——系统的单相接地电流。

必须指出：不接地系统中，发生单相接地时，对三相用电设备的正常工作并不受影响，因为线电压不变，但不允许超过2个小时。

2、中性点经消弧线圈接地系统：如图1—3所示。

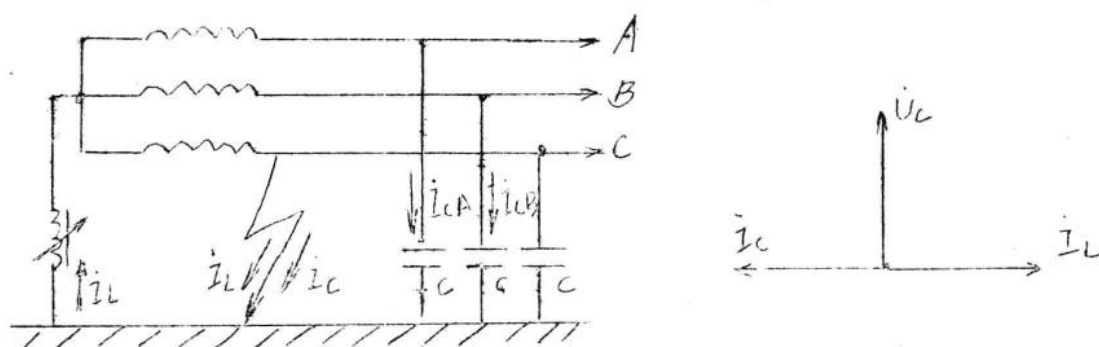


图1—3

上述的不接地，有一种情况很危险。当一相接地时，如果接地电流较大，就会出现断续电弧，而并不易熄灭，又由于线路中存在有电阻、电感、电容，因此很容易发生R—L—C串联谐振，产生高电压($2.5 \sim 3U_N$)，使绝缘击穿，造成更大的事故。为了防止这种情况的发生，对单相接地电流大于一定值时，必须采用中

性点经消弧线圈接地方式，消弧线圈实际是一种电阻很小，感抗很大的元件，用它来产生感性电流。

当发生单相接地时，流过接地点的电流 $I_k^0 = I_c + I_c$ ，而 I_c 和 I_L 的相位相反，故互相补偿，使接地电流 I_k^0 的值小于发生电弧的最小电流，使电弧不能产生。

这种方式与不接地相同，电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，对三相用电设备工作无影响。

3、中性点直接接地运行方式：如图1—4所示。

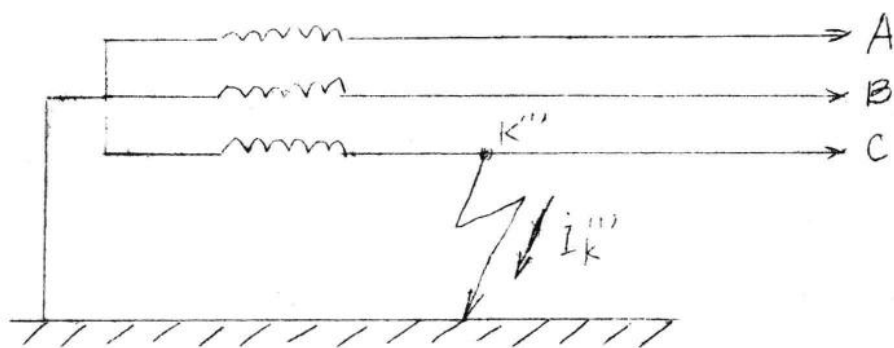


图1—4

当发生一相接地时，其它两相电压不会升高，接地电流很大，我们利用这两个特点，一方面可以使保护很快跳闸，切除故障，另一方面不用考虑那么高的电压，使成本大大降低，这是因为在110kV以上的系统中，电压要升高一级时，其成本将有很大的提高，所以110kV以上都采用这种运行方式。

对于低压220/380V系统来说，中性点接地和不接地，对人身安全是有差别的。对不接地，当人触一相时，由于没有回路，故是安全的，但这时又触到另一相时，又是非常危险的，因为这时人体承受的是线电压。对直接接地，当人触一相时，由于中性点接地，故构成回路是很危险的，这对人身承受的是相电压，无论

如何触电，人体总是承受着相电压，所以比不接地稍为安全一些，这只是相对的，所以220/380V系统均采用直接接地运行方式。

由上述三种方式的分析可知，不接地和经消弧线圈接地的单相接地电压较小，故称为小接地系统，而直接接地的单相接地电流很大，故称为大接地系统。

第二节 实验内容

实验一 变压器中性点接地方式的研究

一、实验目的

- 1、掌握变压器的中性点接地，不接地系统中，人触击电网一相或单相接地时，接地电流的测定方法。
- 2、观察人触击一相或单相接地时，接地电流的大小。
- 3、了解电网参数改变对人体触电电流的影响。

二、实验设备及仪器

- | | |
|-----------|---|
| 1、电源板 | 1 |
| 2、变压器 | 1 |
| 3、负荷板 | 1 |
| 4、单相刀开关 | 2 |
| 5、人身模拟电阻 | 1 |
| 6、电流表 10A | 1 |
| 7、熔断体 | 1 |
| 8、电阻箱 | 3 |
| 9、电容器箱 | 3 |

三、实验内容及步骤

1、如图1—5所示，为变压器中性点直接接地系统，图中B为变压器， R_h 为人体模拟电阻， r 为电网绝缘电阻， C 为电网分布电容， R_d 为熔断体。

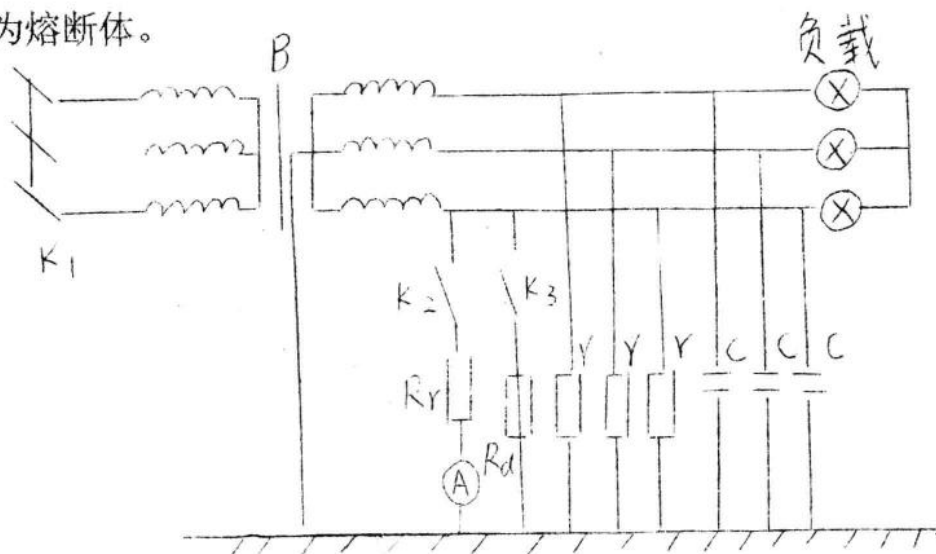


图1—5

按上图接线，经指导教师检查后方可送电，合上 K_1 、 K_2 ，测量并记录当人（人体模拟电阻 R_h ）触击电网一相时，通过人体的电流，然后将电网对地绝缘电阻 r 和分布电容 C 去掉，再观察人体的触击电网一相时，通过人体的电流是否变化。

断开 K_2 、合上 K_3 ，观察电网单相直接接地时，接地电流产生电火花的情况。

2、如图1—5所示，将中性线去掉，为变压器中性点不接地系统实验接线图。

当不考虑电网分布电容时（ C 不接入电网），合上 K_1 、 K_2 ，观察并记录当人触击电网一相时，通过人体的电流，然后改变电网对地绝缘电阻 r ，观察并记录通过人体电流的变化情况，再断开 K_2 ，合上 K_1 ，观察并记录电网单相直接接地时，接地电流随电网对地绝缘电阻 r 改变的情况，并观察一下电网单相直接接地时的火花大

小，与中性点接地时比较一下。

当考虑电网分布电容时(将C接入电网)，重复上述步骤并与其比较。

三、实验报告

1、列出各种情况下的记录数据及观察的现象。

2、用计算的方法算出变压器中性点接地，人触击电网一相时的人体电流，并与实测值进行比较。

3、对于变压器中性点不接地系统，当电网对地分布电容不可忽略时，人触击电网一相是否有危险？欲达到安全，请你提出几项措施。

第二章 继电保护

第一节 概 述

一、继电保护的任務

工厂供电系统在运行中，有可能发生一些故障和不正常运行状态。常见的主要故障是相间和接地短路，以及变压器、电动机和电力电容等可能发生的匝间或层间局部短路故障。不正常运行状态主要指过负荷，一相断线，一相接地及漏电等不正常工作情况。

短路故障往往造成严重的后果，影响供电系统正常运行，并伴随着强烈的电弧和电动力，使故障回路设备遭受损害。

长期过负荷将使设备绝缘老化；一相断线易于引起电动过负荷；对中性点不接地系统，一相接地易造成电弧接地过电压，并使其他两相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，两种过电压都可能引起相间短路。尤其在煤矿井下，接地电弧能引起火灾或瓦斯煤尘爆炸。漏电除易造成触电事故外，也能引起瓦斯、煤尘的爆炸。因此，当故障或不正常运行状态发生时，如不及时消除，不仅影响工厂正常生产，而且可能危及矿井和人身的安全。

为了保证供电安全可靠，供电系统的主要电气设备及线路都要装设继电保护装置，其任务是：

- 1、当被保护设备或线路发生故障时，保护装置迅速动作，有选择地将故障元件断开，以减轻故障危害，防止事故蔓延。

- 2、当设备出现不正常运行状态时，保护装置一般作用于信号，以便及时采取措施，防止事故发生。在煤矿井下，一般作用

于跳闸。

在供电系统中，为了提高可靠性，除装设继电保护装置外，还设有各种自动装置。如：自动重合闸、备用电源自动投入装置等。

二、继电保护装置的种类

工厂供电系统中应用着各式各样的继电保护装置。尽管它们在结构上各不相同，但基本上都是由以下三种功能元件组成。测量元件→逻辑元件→执行元件。其中测量元件用来反应和转换被保护对象的种种电气参数，经过它综合和变换后，送给逻辑元件，与给定值进行比较，作出逻辑判断，当区别出被保护对象有故障时，起动执行元件，发出操作指令，使断路器跳闸。

继电器根据其反应物理量的不同，分为：电流、电压、功率方向、阻抗等继电器。

按作用原理分有：电磁型、感应型、半导体型等几种。半导体型又分为整流型和晶体管型两类。

根据测量元件与主回路连接方式不同，分为一次作用式（直接与主回路连接）和二次作用式（经互感器连接）。按执行元件作用于跳闸的方法不同分为直接动作式（由执行元件的电磁机构直接动作于跳闸）与间接动作式（经继电器接通跳闸线圈）后者的操作电源有直流与交流两种。

三、对继电保护装置的基本要求

为了使继电保护装置能及时、正确地完成上述任务，必须满足以下四个基本要求。即选择性、快速性、灵敏性、可靠性。对作用于跳闸的保护装置，这四个要求一般应同时满足，而对反应不正常运行状态，并作用于信号的保护装置，部分要求可略为降

低。

1、选择性:是指当系统发生故障时,继电保护装置应使离故障点最近的断路器先跳闸,使停电范围尽量缩小,从而保证非故障部分继续运行。

2、快速性:快速切除故障,可以减轻故障的危害程度,可以加速系统电压的恢复,为电动机自起动创造条件。

3、灵敏性:是指保护装置对故障的反应能力。一般是用灵敏系数来衡量。对主要保护装置的灵敏系数,要求不小于1.5~2。

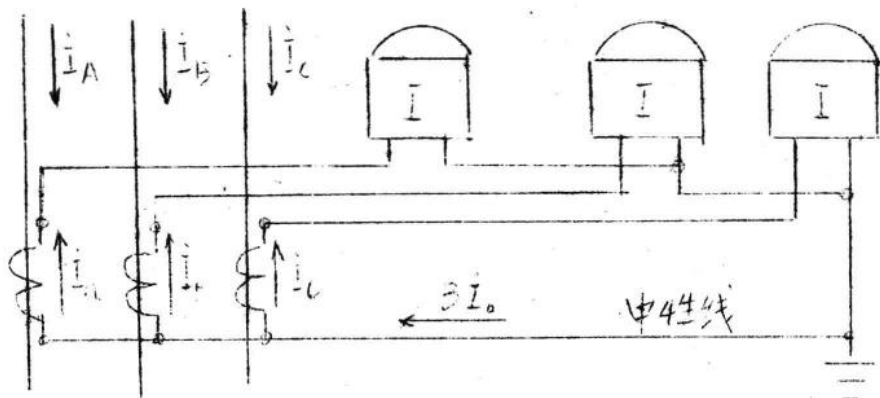
4、可靠性:是指在保护范围内发生的故障,保护装置应正确动作,不应拒动。而在不该它动作的时候,则不应误动作。保护装置的可靠性是非常重要的,任何拒动或误动,都将使事故扩大,造成严重后果。

以上四项是对继电保护的基本要求,是选择设计继电保护装置的依据。从分析可知,四个基本要求是互相联系而有时又互相矛盾的。

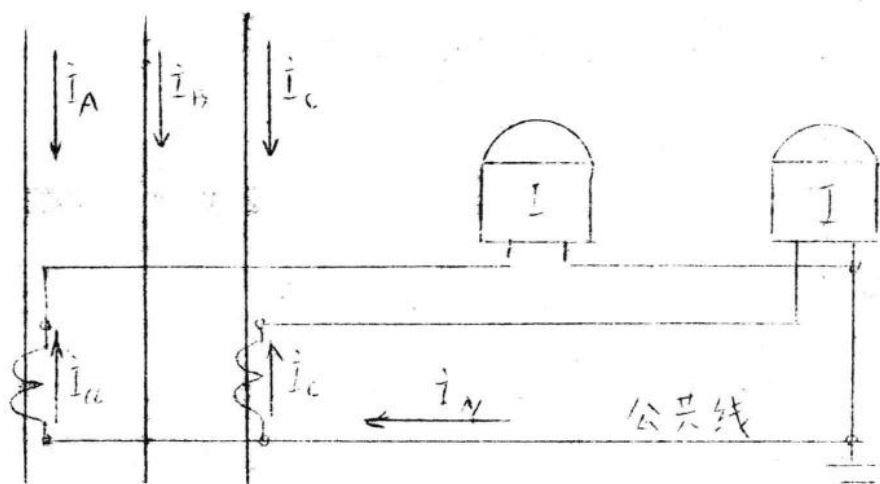
四、保护装置的接线方式

保护装置的接线方式的作用与互感器二次接线方式有直接关系,根据保护的要求用不同数目的互感器和继电器可以组成很多种保护接线方式。这里仅讨论不同数目的电流互感器与电流继电器组成的基本保护接线方式。

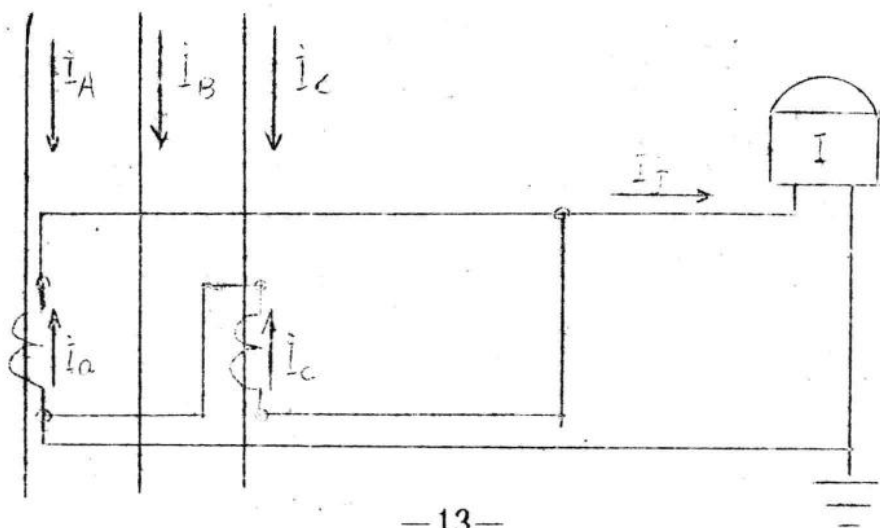
1、三相三继电器的完全星形接线(保护三相)



2、两相两继电器的不完全星形接线: (保护二相)



3、两相一继电器的两相电流差接线: (保护二相)



第二节 实验内容

实验一 电磁式继电器性能实验

一、实验目的

1、观察电磁式电流、时间继电器的构造及动作原理，了解其内部接线。

2、掌握测量与校验电磁式电流继电器的起动电流，返回电流的方法及其整定方法。

3、掌握校验电磁式时间继电器的动作时间，了解其动作时间与电源电压波动无关的原因。

4、掌握电秒表的使用方法及其接线。

二、实验设备及仪器

1、电源盘	1个
2、单相调压器	1个
3、滑线电阻器	1个
4、电流表	1个
5、KL-11/2型电流继电器	1个
6、指示灯	2个
7、电压表	1个
8、电秒表	1个
9、DS-122型时间继电器	1个
10、单刀单投闸刀	1个

三、继电器和仪器的工作原理及使用方法

1、DL/11/2型电流继电器的原理

如图 2-1所示，为DL-11/2型电流继电器的结构图。它

是由线圈、铁芯、Z型街铁、作用弹簧、接点系统等组成。

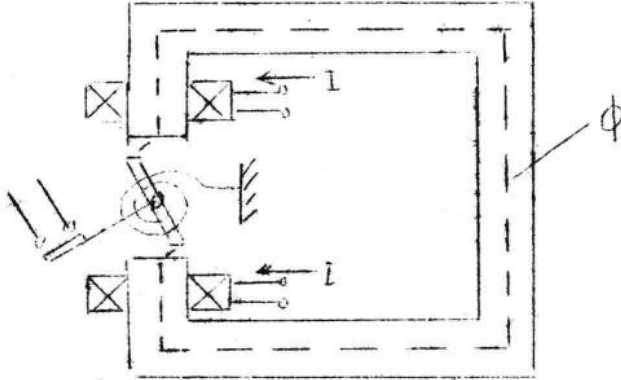


图 2-1

当继电器的线圈中，通过电流 I 时，在磁路内产生磁通 ϕ ，根据电磁理论，作用在街铁上的电磁力矩 M 与磁通 ϕ 的平方成正比，当电磁力矩 M 大于弹簧反作用力矩 M_s 和可动系统摩擦力矩 M_f 之和的条件下继电器动作，即街铁转动，接点闭合。

电磁式继电器的动作电流，可用以下方法调整：

- (1)改变继电器线圈的匝数；
- (2)改变弹簧反作用力矩；
- (3)改变磁阻，即调节空气隙。

使继电器动作的最小电流称继电器的动作电流。继电器动作后，当电流减小时，在弹簧力的作用下，街铁将返回，这时的最大的电流值，称为返回电流。一般用返回系数来表示，返回系数为动作电流与返回电流之比。一般电流继电器的返回系数不低于0.85。

如图 2-2所示，为DL-11/2型电流继电器接线端子图。

2、DS-122型时间继电器原理：

DS-122型时间继电器是由线圈、铁芯、钟表机构，接点系统等组成。