
第一章

电力系统基础知识

继电保护、自动装置对电力系统起到保护和安全控制的作用，因此首先应明确所要保护和控制对象的相关情况，涉及的内容包括：电力系统的构成，电力系统中性点接地方式及其特点，电力系统短路电流计算及其相关概念。这是学习继电保护、自动装置等本书内容的基础。

>>第一节 电力系统基本概念

一、电力系统构成

电力系统是由发电厂、变电站(所)、送电线路、配电线路、电力用户组成的整体。其中，联系发电厂与用户的中间环节称为电力网，主要由送电线路、变电所、配电所和配电线路组成，如图 1-1 中的虚框所示。电力系统和动力设备组成了动力系统，动力设备包括锅炉、汽轮机、水轮机等。

间的关系示意图如图 1-1 所示。



图 1-1 动力系统、电力系统及电网示意图

保护、自动装置、计量装置、通信和电网调度自动化设施等。

电力系统主要组成部分和电气设备的作用如下。

能源,例如煤炭、石油、天然气、水力、风力、太阳能等,根据发电厂使用的一次能

源不同，发电厂分为火力发电厂(一次能源为煤炭、石油或天然气)、水力发电厂、风力发电厂等。

(2)变电站(所)。变电站是电力系统中联系发电厂与用户的中间环节，具有汇集电能和分配电能、变换电压和交换功率等功能，是一个装有多种电气设备的场所。根据在电力系统中所起的作用，可分为升压变电站和降压变电站；根据设备安装位置，可分为户外变电站、户内变电站、半户外变电站和地下变电站。

变电站内一次电气设备主要有变压器、断路器、隔离开关、避雷器、电流互感器、电压互感器、高压熔断器、负荷开关等。变电站内还配备有继电保护和自动装置、测量仪表、自动控制系统及远动通信装置等。

(3)输电网。输电网是通过高压、超高压输电线将发电厂与变电站、变电站与变电站连接起来，完成电能传输的电力网络，又称为电力网中的主网架。

(4)配电网。配电网是从输电网或地区发电厂接受电能，通过配电设施将电能分配给用户的电力网。配电设施包括配电线路、配电变压器、配电设备等。配电网按照电压等级，可分为高压配电网、中压配电网和低压配电网；按照地域服务对象，可分为城市配电网和农村配电网；按照配电线路类型，可分为架空配电网和电缆

配电网。

我国配电网电压等级划分为 , 高压配电网电压 :35kV、66kV、110kV ; 中压配电网电压 : 10(20)kV ; 低压配电网电压 : 380 / 220V。

(5)负荷。电力负荷是用户的用电设备或用电单位总体所消耗的功率 , 可以表示为功率(kW)、容量(kVA)或电流(A)。发电厂对外供电所承担的负荷的总和称为供电负荷 , 包括这一时刻用电负荷(用户在某一时刻对电力系统的功率需求)以及能量在传输过程中的功率损失(网损)。

(6)变压器。变压器利用电磁感应原理 , 把一种交流电压和电流转换成相同频率的另一种或几种交流电压和电流。在电力系统中 , 由于传输电能和用户用电的需要 , 无论是发电厂还是变电站 , 都可以看到各种型式和不同容量的电力变压器。

(7)断路器。断路器是一种开关设备 , 既能关合、承载、开断运行回路的负荷电流又能关合、承载、开断短路等异常电流。断路器的形式较多 , 结构也不尽相同 , 但从原理上看 , 均由动触头、静触头、灭弧装置、操动机构、绝缘支架等构成。

(8)隔离开关。隔离开关是将电气设备与电源进行电气隔离或连接的设备 , 因为没有特殊的灭弧装置 , 一般只能在无负荷电流的情况下进行分、合操作 , 与断路器

配合使用。隔离开关由导电回路、绝缘支架、操作系统及底座支架等组成。

(9)负荷开关。负荷开关是另一种开关设备,既能关合、承载、开断运行线路的正常电流(包括规定的过载电流),并能关合、承载短路等异常电流,但不能开断短路故障电流。负荷开关可以看成是断路器功能的简化,或隔离开关功能的延伸。负荷开关由灭弧装置、操动机构和绝缘支架等组成。

(10)主接线。主接线是以电源和引出线为基本环节,以母线为中间环节构成的电能通路。变电站主接线将变压器、断路器、隔离开关、互感器、母线等一次电气设备,按照一定的顺序连接,实现汇集和分配电能,按有无汇流母线分为有母线接线和无母线接线两大类。变电站主接线图一般用单线图表示。

(11)互感器。互感器有电流互感器(TA)和电压互感器(TV)。电流互感器是一种变流设备,将交流一次侧大电流转换成二次电流,供给测量、保护等二次设备使用,一般二次额定电流为 5A 或 1A;电压互感器是一种变压设备,将交流一次侧高电压转换成二次电压,供给控制、测量、保护等二次设备使用,一般二次额定的相电压为 $100/\sqrt{3}$ V。

二、电力系统中性点运行方式

电力系统中性点运行方式即中性点接地方式，是指电力系统中发电机或变压器的中性点的接地方式，是一种工作接地。目前，我国电力系统中性点接地方式分为中性点直接接地与非直接接地两大类，具体有；**中性点不接地**、经电阻接地、经电抗接地、**经消弧线圈接地**和**直接接地**等。

1．中性点直接接地方式

中性点直接接地是指电力系统中至少有一个中性点直接与接地设施相连接，如图 1-2 中的 N 点接地，通常应用于 500kV、330kV、220kV、110kV 电网。

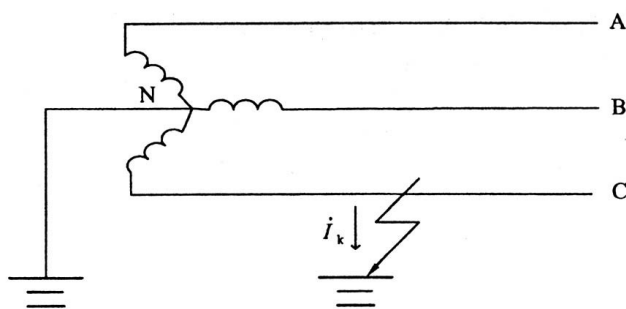


图 1-2 中性点直接接地系统单相接地故障

中性点直接接地系统保持接地中性点零电位，发生单相接地故障时如图 1-2 所示，非故障相对地电压数值变化较小。由于高压、尤其是超高压电力变压器中性点的绝缘水平、电气设备的绝缘水平都相对较低，采用中性点直接接地方式，对保证变压器及其电气设备的安全尤其重要。但由于中性点直接接地，与短路点构成直

接短路通路，故障相电流很大，造成接于故障相的电气设备过电流。为此，需要通过继电保护和断路器动作，切断短路电流。

2. 中性点不接地方式

中性点不接地系统指电力系统中性点不接地。中性点不接地系统发生单相接地故障时如图 1-3 所示，中性点电压发生位移，但是三相之间的线电压仍然对称，且数值不变；由于没有直接的短路通路，接地故障电流由线路和设备对地分布电容回路提供，是容性电流，通常数值不大，一般不需要立即停电，可以带故障运行一段时间(一般不超过 2h)；但非故障相对地电压升高，数值最大为额定相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，因此用电设备的绝缘水平需要按线电压考虑。中性点不接地方式具有跳闸次数少的优点，因此普遍应用于接地电容电流不大的系统，例如 66kV、35kV 电网。

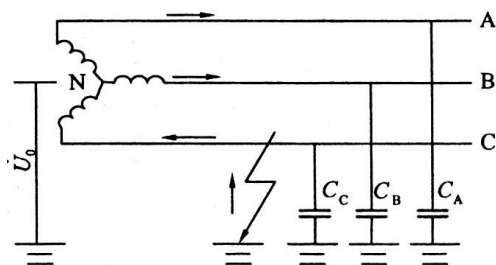


图 1-3 中性点不接地系统单相接地故障

“一低两高三不变”

当中性点不接地系统发生一相接地情况时,该相的对地电压变低,甚至为零,此为一低;此时其它两相的对地电压升高,最大可为系统线电压.此为两高;由于中性点没有接地,此时接地相没有形成电流通路,接地时三相对地电流基本不变(先前有每相的对地电容电流,一般很小)当为三不变了.正因如此,线电压是肯定不变的了。

3 . 中性点经消弧线圈接地方式

当电网的电容电流不大时,单相接地故障点的电弧可以自行熄灭;如果电容电流较大,接地故障点的电弧不会自行熄灭,并且产生间歇性电弧,引起过电压,可能导致绝缘损坏,使故障扩大。因目前,10kV 电网采用的中性点接地低值电阻一般为 10Ω 。

对于 6kV 和 10kV 主要由架空线构成的系统,单相接地故障电流较小时(接地故障电流小于 10A),为了防止谐振、间歇性电弧接地过电压等对设备的损害,可以采用中性点经高值电阻接地。此时发生单相接地故障时,不立即跳闸,可运行一段时间。

>> 第二节 电力系统短路故障

一、短路的一般概念

电力系统应该正常不间断地供电，保证用户生产和生活的正常进行。但是当发生短路故障时，可能破坏电力系统正常运行，从而影响用户的生产和生活。

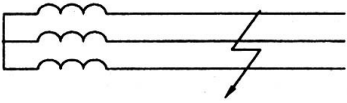
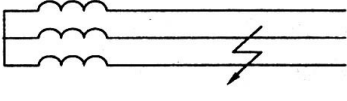
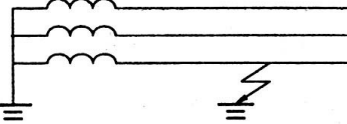
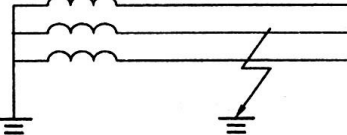
“短路”是指电力系统中相与相之间或相与地之间，通过电弧或其他较小阻抗形成的一种非正常连接。电力系统中发生短路的原因有多种，归纳如下：

1)电气设备绝缘损坏。其原因有设计不合理、安装不合格、维护不当等，还有外界原因如架空线断线、倒杆及挖沟时损坏电缆、雷击或过电压等。

2)运行人员误操作。如带负荷拉合隔离开关(刀闸)、带地线合闸、误将带地线的设备投入等。

3)其他原因。如鸟兽跨接导体造成短路等。

电力系统短路的基本类型有：三相短路、两相短路、单相接地短路、两相接地短路等。各种短路故障示意图和代表符号如表 1-1 所示，其中三相短路为对称短路，其他为不对称短路。

表 1-1 各种短路故障示意图和代表符号		
短路类型	示 意 图	代表符号
三相 短路		$k^{(3)}$
两相 短路		$k^{(2)}$
单相 短路		$k^{(1)}$
两相 接地 短路		$k^{(1,1)}$

运行经验和统计数据表明，电力系统中各种短路故障发生的几率是不同的，其中发生三相短路的几率最少，发生单相接地短路的几率最大。

在实际工程问题中，经常需要计算短路电流，计算中涉及到如下概念：

(1)无限大容量系统。无限大容量电力系统指，容量相对于被供电系统容量大得多的电力系统，其特征是，当被供电系统中负荷变动甚至发生短路故障，电力系统母线电压及频率基本维持不变。一般，电力系统等值电源阻抗不超过短路电路阻抗的 5% ~ 10%，或电力系统容量超过被供电系统容量 50 倍时，可视为无限大容量电力系统，简称无限大系统或无穷大系统。实际应用中对 110kV 配电网，可将供电变压器看作无穷大系统对 110kV 配电网供电。

(2)短路电流周期分量。电力系统发生短路故障时，与正常负荷状态相比，供电回路的阻抗大为减小，因此出现数值很大的短路电流。显然，短路电流的大小由电源电压和短路回路阻抗决定，电源电压是正弦周期分量，与之对应，产生的是短路电流中的周期分量。在计算中，通常求取的就是这个短路电流周期分量，即在非周期分量衰减完毕后的稳态短路电流。

(3)短路电流非周期分量。电力系统正常运行时，线路和设备上流过负荷电流，当发生短路时，在短路回路中将流过短路电流。由于短路回路存在电感，导致电流不能突变，因此，在电流变化的过渡过程中，将出现一个随时间衰减的非周期分量电流，即短路电流中的非周期分量。

(4)短路冲击电流。短路全电流中的最大瞬时值称为短路冲击电流，其数值约为短路电流周期分量的 $1.8\sqrt{2}$ 倍。

二、三相对称短路

在电力系统的各种短路故障中，虽然三相短路发生的几率最小，但其对电力系统的影响和危害最大。无穷大系统发生三相短路示意图如图 1-9 所示。

三相短路时，三相仍然对称，三相的短路回路完全相同，短路电流相等，相位互

差 120° 因此只计算一相即可。根据电路计算原理 , 采用有名值计算三相短路电流

周期分量如下 :

$$I_k^{(3)} = \frac{E_s / \sqrt{3}}{X_\Sigma} \quad (1-1)$$

式中 $I_k^{(3)}$ ——三相短路电流周期分量有效值 ;

E_s ——等值电源线电动势 , 实际计算时可采用平均额定电压 ;

X_Σ ——短路回路总电抗 , 通常计算时不考虑回路的电阻。

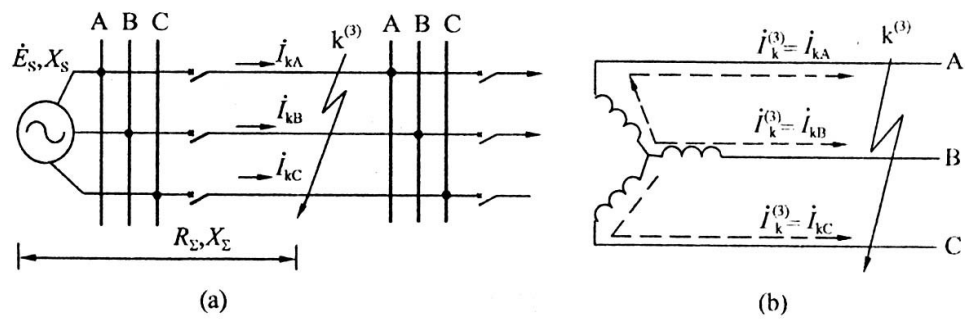


图 1-9 无穷大系统供电发生三相短路示意图
(a) 一次系统; (b) 短路电流路径

例 1-1 某电力系统如图 1-10 所示 , 在母线 B 和母线 C 分别发生三相短路 , 试

求短路点的短路电流周期分量。(等值电源电抗为 $X_s = 0.22\Omega$, 线路单位电抗为

$x_1 = 0.38\Omega / km$, 变压器 T1、T2 的额定容量为 1000kVA、短路电压为 $U_k \% = 4.5$

)

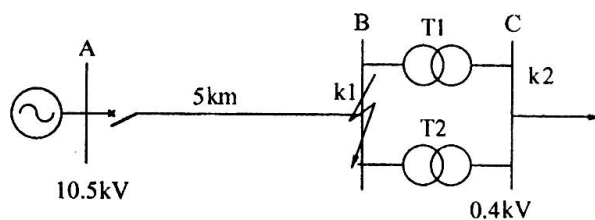


图 1-10 电力系统接线示意图

解：(1) 母线 B 三相短路。

$$X_{AB} = x_1 L_{AB} = 0.38 \times 5 = 1.9 \Omega$$

$$X_{\Sigma(k1)} = X_s + X_{AB} = 0.22 + 1.9 = 2.12 \Omega$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{U_A}{\sqrt{3} X_{\Sigma(k1)}} = \frac{10.5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 2.12 \Omega} = 2.86 \text{ kA}$$

(2) 母线 C 三相短路。计算时需要将等值电源电抗和线路电抗折算到 0.4kV 侧，

并计算变压器电抗（详细论述请参考电力系统故障分析计算的有关书籍）。

$$X'_s = X_s \left(\frac{U_C}{U_A} \right)^2 = 0.22 \times \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 3.2 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X'_{AB} = X_{AB} \left(\frac{U_C}{U_A} \right)^2 = 1.9 \times \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 2.76 \times 10^{-3} \Omega$$

$$X_{T1} = X_{T2} \approx \frac{U_k \%}{100} \frac{U_C^2}{S_{N.T}} = \frac{4.5}{100} \times \frac{(0.4)^2}{1000} = 7.2 \times 10^{-3} \Omega$$

$$X_{\Sigma(k2)} = X'_s + X'_{AB} + X_{T1} // X_{T2}$$

$$= 3.2 \times 10^{-4} + 2.76 \times 10^{-3} + 7.2 \times 10^{-3} / 2$$

$$= 6.68 \times 10^{-3} \Omega$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{U_C}{\sqrt{3} X_{\Sigma(k2)}} = \frac{0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 6.68 \times 10^{-3} \Omega} = 34.57 \text{ kA}$$

三、不对称短路

电力系统不对称短路包括两相短路、两相接地短路和单相接地短路。

(一) 序分量的概念

当电力系统发生不对称短路时,三相不再对称,三相的电流和电压数值也不再相等。如果将此不对称的电流或电压进行分解,可以分解出正序分量、负序分量,对于接地短路还有零序分量,分别用下标 1、2 和 0 表示。以电流为例,各序分量电流相量图如图 1-11 所示,对于工频 50Hz,正序电流三相对称,即大小相等,相位互差 120° ;负序电流三相对称,即大小相等,相位互差 120° ;但相序与正序电流相反;零序电流三相大小相等,相位相同。三相短路电流为

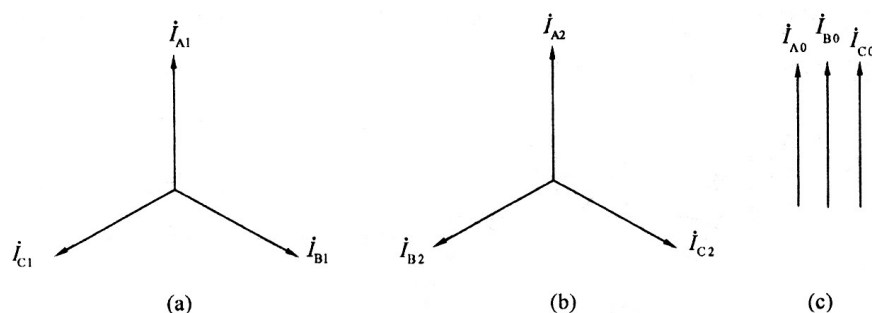


图 1-11 电流序分量相量图

(a) 正序分量; (b) 负序分量; (c) 零序分量

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{kA} &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_0 \\ \dot{I}_{kB} &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_0 \\ \dot{I}_{kC} &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_0 \end{aligned} \right\}$$

(1-2)

可得零序电流为

$$\dot{I}_0 = \frac{1}{3}(\dot{I}_{kA} + \dot{I}_{kB} + \dot{I}_{kC})$$

用瞬时值表示为

$$i_0(t) = \frac{1}{3}[i_{kA}(t) + i_{kB}(t) + i_{kC}(t)]$$

显然，电力系统正常运行时仅有正序分量。

(二) 短路电流

1、两相短路

无穷大系统供电发生 BC 两相短路示意图如图 1-12 所示。电力系统发生两相短路，经故障相和短路点构成短路回路，由故障相电源的线电动势产生短路电流，流过故障线路，非故障线路没有短路电流，因此出现三相不对称。不在计负荷电流的情况下，三相的短路电流分别为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{kA} &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 0 \\ \dot{I}_{kB} &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} \\ \dot{I}_{kC} &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} = -\dot{I}_{kB} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

可见两相短路时的特点是，三相不对称，出现负序电流；只有故障相存在短路电流，且两相的短路电流数值相等，相位相反。

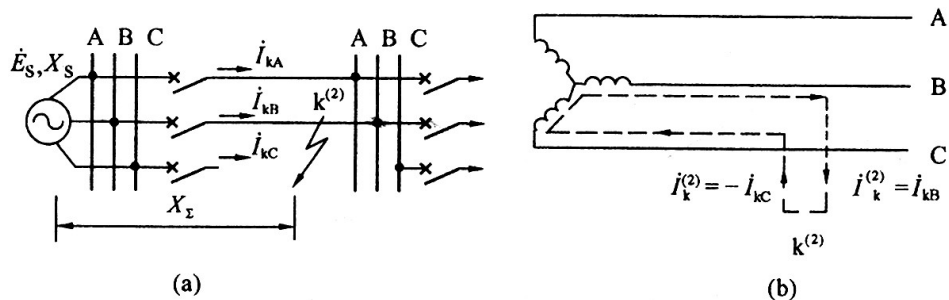


图 1-12 无穷大系统供电发生 BC 两相短路示意图

(a) 一次系统；(b) 短路电流路径

根据图 1-12，短路电流数值可计算如上：

$$I_k^{(2)} = \frac{E_s}{2X_\Sigma} \quad (1-5)$$

式中 $I_k^{(2)}$ ——两相短路电流周期分量有效值。

E_s ——等值电源电动势，实际计算进可以采用平均额定电压；

X_Σ ——一相短路回路总电抗。

将式 (1-5) 与式 (1-1) 比较可得

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} = 0.866 I_k^{(3)} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 说明，两相短路电流数值为同一地点三相短路电流的 0.866 倍，在实际

计算中，常常求出三相短路电流后，直接用以上关系得到两相短路电流。

2、单相接地短路

(1) 中性点直接接地系统。

中性点直接接地的无穷大系统供电，发生 A 相单相接地短路示意图如图 1-

13 所示。

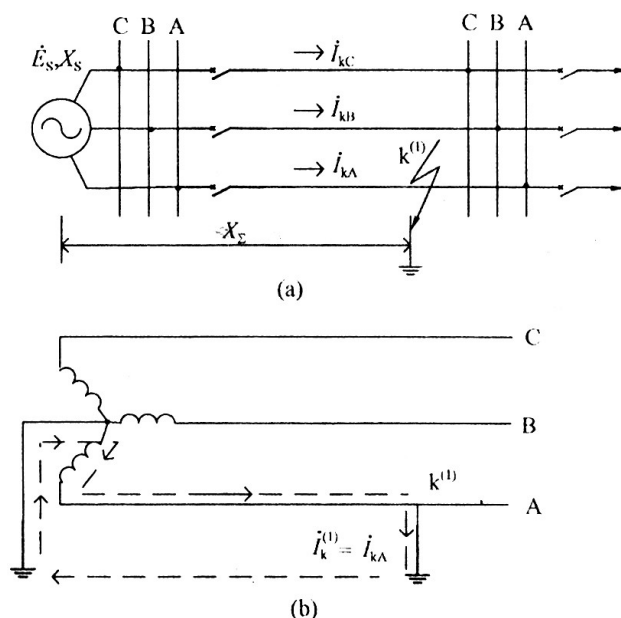


图 1-13 中性点直接接地的无穷大系统供电
发生 A 相单相接地短路示意图
(a) 一次系统；(b) 短路电流路径

中性点直接接地电力系统发生单相接地时，经直接接地的中性点、故障相和短路

点构成短路回路，由故障相电源电动势产生短路电流，流过故障线路，非故障线路

没有短路电流，因此出现三相不对称，在不计负荷电流的情况下，三相的短路电流

分别为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{kA} &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} = 3\dot{I}_0 \\ \dot{I}_{kB} &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0} = 0 \\ \dot{I}_{kC} &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

可见单相接地短路时的特点是 ,三相不对称 ,出现负序电流和零序电流 ;故障相存在短路电流 ,在图 1-13 (b) 中的数值为 $3I_0$ 。

关于单相接地短路电流计算及两相接地短路问题需要用到复合序网等概念 ,在此不作介绍。

(2) 中性点不接地系统。

中性点不接地的无穷大系统供电 ,发生单相接地短路时的特点和短路电流分布见第三章的第三节。

(三) 短路特征

根据以上分析 ,归纳不对称短路的部分特征如表 1-2。

表 1-2 不对称短路部分特征

短路类型	两相短路	单相接地短路 (中性点直接接地系统)	两相接地短路
对称性	三相不对称	三相不对称	三相不对称
负序电流	有负序电流	有负序电流	有负序电流
零序电流	无零序电流	有零序电流	有零序电流

第二章

电力二次系统概述

本章介绍电力系统继电保护、安全自动装置(以下简称自动装置)、二次回路的相关概念，使读者掌握其作用和三者之间的关系；介绍电力系统对继电保护和自动装置的四个基本要求、继电保护和自动装置的基本组成，为读者学习和分析继电保护、自动装置的具体问题打下基础。

>> 第一节 继电保护、自动装置、二次回路

一、继电保护

电力系统在运行中会发生故障，最常见的故障是各种类型的短路。当短路故障发生时，将伴随出现很大的短路电流和部分地区电压降低，对电力系统可能产生以下后果：

- (1)破坏电力系统并联运行的稳定性，引发电力系统振荡，甚至造成系统瓦解、崩溃；
- (2)故障点通过很大的短路电流和燃烧电弧，损坏或烧毁故障设备；
- (3)在电源到短路点之间，短路电流流过非故障设备，产生发热和电动力，造成非故障设备损坏或缩短使用寿命；
- (4)故障点附近部分区域电压大幅度下降，用户的正常工作遭到破坏或影响产品质量。

电力系统运行中还可能出现异常运行状态，使电力系统的正常工作受到干扰，运行参数偏离正常值。最常见的电力系统异常状态是过负荷，过负荷使电力系统元件或设备温度升高，加速绝缘老化，甚至发展成故障。另外，电力系统异常状态还有电力系统振荡、频率降低、过电压等。

故障和异常运行如果得不到及时处理，都可能在电力系统中引起事故。电力系

统事故是指整个系统或部分的正常运行遭到破坏，造成对用户少送电或电能质量

严重恶化，甚至造成人身伤亡、电气设备损坏或大面积停电等事故。

针对电力系统可能发生的故障和异常运行状态，需要装设继电保护装置。继电保护装置是在电力系统故障或异常运行情况下动作的一种自动装置，与其他辅助设备相应的二次回路一起构成继电保护系统。因此，继电保护系统是保证电力系统和电气设备的安全运行，迅速检出故障或异常情况，并发出信号或向断路器发跳闸命令，将故障设备从电力系统切除或终止异常运行的一整套设备。

继电保护的任务是：

1)反映电力系统元件和电气设备故障,自动、有选择性、迅速地将故障元件或设备切除，保证非故障部分继续运行，将故障影响限制在最小范围。

2)反映电力系统的异常运行状态，根据运行维护条件和设备的承受能力，自动发出信号，减负荷或延时跳闸。

二、自动装置

保障电力系统安全经济运行、提高供电可靠性和保证电能质量，电力系统自动装置是必不可少的。电力系统自动装置可分为自动调节装置和自动操作装置。

自动调节装置一般是为了保证电能质量、消除系统异常运行状态等对某些电

量实施自动地调节 ,例如同步发电机励磁自动调节、电力系统频率自动调节等。自动操作装置的作用对象往往是某些断路器 ,自动操作的目的是提高电力系统的供电可靠性和保证安全运行 ,例如备用电源自动投入装置、线路自动重合闸装置、低频减载装置等 ;还有某些自动操作装置用来提高电力系统的自动化程度 ,例如发电机自动并列装置等。

三、二次回路

发电厂、变电站的电气系统 ,按其作用分为一次系统和二次系统。一次系统是直接生产、传输和分配电能的设备及相互连接的电路。在电能生产和使用的过程中 ,对一次电力系统的发电、输配电以及用电的全过程进行监视、控制、调节、调度以及必要时的保护等作用的设备称为二次设备 ,二次设备及其相互间的连接电路称为二次系统或二次回路。可见 ,二次回路也是电力系统正常、安全运行的必不可少的部分。

二次系统或二次回路主要包括继电保护、自动装置、测量仪表、控制、信号和操作电源等子系统。

(1)继电保护和自动装置系统。由互感器、变换器 ,各种继电保护装置和自动装

置、选择开关及其回路接线构成,实现电力系统故障和异常运行时的自动处理。

(2)控制系统。由各种控制开关和控制对象(断路器、隔离开关)的操动机构组成,实现对开关设备的就地 and 远方跳、合闸操作,满足改变一次系统运行方式和故障处理的需要。

(3)测量及监测系统。由各种电气测量仪表、监测装置、切换开关及其回路接线构成,实现指示或记录一次系统和设备的运行状态和参数。

(4)信号系统。由信号发送机构、接收显示元件及其回路接线构成,实现准确、及时显示一次系统和设备的工作状态。

(5)调节系统。由测量机构、传送设备、执行元件及其回路接线构成,实现对某些设备工作参数的调节。

(6)操作电源系统。由直流电源设备和供电网络构成,实现供给以上二次系统工作电源。

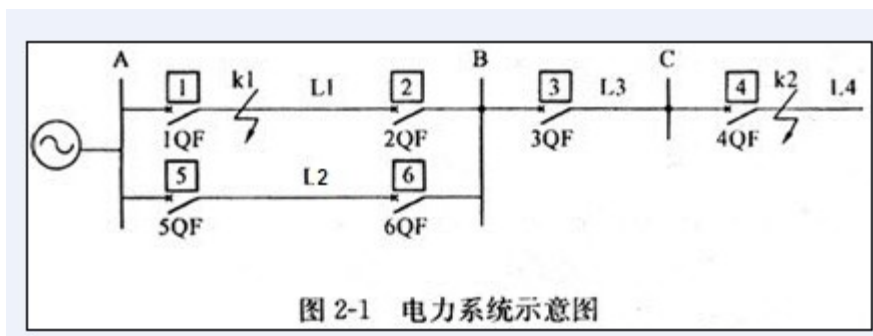
>> 第二节 对继电保护自动装置的基本要求

电力系统对反映故障、动作于跳闸的继电保护有选择性、快速性、灵敏性、可靠性四个基本要求。对反映异常运行状态、作用于信号的继电保护,则不要求同时满足这四个基本要求,例如快速性要求可以降低。

一、选择性

选择性是指继电保护装置动作时,仅将故障元件或设备切除,使非故障部分继续运行,停电范围尽可能小。

继电保护动作具有选择性,要求首先由故障元件或设备本身的保护切除故障,即最靠近故障点的保护和断路器动作;当故障元件或设备本身的保护或断路器拒动时,才允许由相邻元件或设备的保护动作(通常称为后备保护)。所以,选择性有两个含义:第一,应由装设在故障元件或设备上的继电保护动作切除故障,第二,考虑继电保护或断路器存在拒动的可能,由后备保护切除故障时,也应保证停电范围尽可能小。因此,选择性要求系统中的继电保护之间,在动作时必须满足一定的配合关系。以图 2-1 为例,说明继电保护的选择性。



当 k1 点发生故障时，应该由保护 1 和保护 2 动作使断路器 1QF 和 2QF 跳闸，切除故障线路 L1，保证系统其他部分继续运行；k2 点发生故障时，应该由保护 4 动作使断路器 4QF 跳闸切除故障线路 L4，保证系统其他部分继续运行。这种按照电力系统安全性要求，故障发生后首先动作的继电保护是主保护。故障元件的主保护正确动作的结果，将故障范围限制在最小，甚至可以保证所有母线都不停电(例如上述 k1 点故障的情况)，这是选择性的第一个含义。

如果线路 L4 在 k2 点故障时，其主保护拒动，则应由线路 L4 的另一套具有后备作用的保护动作，使断路器 4QF 跳闸切除故障，这就是近后备保护}如果线路 L4 的主保护和近后备保护都拒动或断路器 4QF 拒动，则应由上一级线路 L3 的后备保护动作，使断路器 3QF 跳闸切除故障，实现保护 3 对线路 L4 的远后备保护作用。这种当故障时主保护拒动或断路器拒动，由后备保护动作切除故障，也是具有选择性的，即选择性的第二个含义。

综上所述继电保护根据所承担的任务分为主保护和后备保护。电力系统故障时主保护按照电力系统的安全性要求·以最短的时限和最小的停电范围动作切除故障,保证电力系统和设备的安全;后备保护一般动作延时较长,是当主保护拒动或断路器拒动时,以大于主保护的動作时限動作切除故障。近后备保护是在主保护拒动时。由本设备的另一保护实现的后备保护;远后备保护是在保护拒动或断路器拒动时,由上一级设备或线路保护实现的后备保护。

可见,继电保护动作的选择性是为了提高供电的可靠性,而继电保护无选择性动作,必将扩大停电范围,带来不应有的损失。

二、快速性

快速性是指继电保护装置应以尽可能快的速度动作切除故障元件或设备。

继电保护快速动作切除故障,可以控制故障影响程度,减少设备损伤,避免造成设备无法修复的损坏;减小故障影响时间,减少用户在低电压情况下的工作时间,避免用户电动机转速严重下降、甚至自启动失败;防止系统稳定性破坏,提高电力系统运行的稳定性。

故障切除时间等于保护装置动作时间和断路器动作时间之和。实际中,应根据

具体电网对故障切除时间的不同要求，设计继电保护的動作延时。

三、灵敏性

灵敏性是指继电保护装置对保护范围内故障的反应能力,通常用灵敏系数 K_{sen}

来衡量,也称为灵敏度。

衡量继电保护的灵敏度，需考虑继电保护在保护范围内，应该反映的各种故障类型,即保证在最不利于保护动作的条件下仍能够可靠动作。在被保护元件或设备故障时，保护的灵敏度用保护装置反应的故障参数(例如短路电流)与保护装置的动作参数(例如动作电流)之比表示。

对于反应故障参数上升而动作的过量保护装置，如过流保护、过压保护等

灵敏系数计算式为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护范围未发生金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置的动作参数}} \quad (2-1)$$

例如反应故障时电流增大动作的过电流保护，要使保护动作，流过保护的短路电流必须大于保护的动作电流，即灵敏系数必须大于 1。

对于反应故障参数降低而动作的欠量保护装置，如电动机的欠压保护

灵敏系数计算式为

$$k_{sen} = \frac{\text{保护装置的动作参数}}{\text{保护范围未发生金属性短路时故障参数的最大计算值}} \quad (2-2)$$

例如反应故障时电压降低动作的低电压保护，要使保护动作，保护安装处的母线残压必须小于保护的動作电压，同样灵敏系数必须大于 1。

式(2-1)和式(2-2)中，故障参数计算值根据保护类型和保护范围，采用最不利于保护动作的系统运行方式、短路类型和短路点，计算实际可能的最小灵敏度，故式(2-1)用故障参数的最小计算值，式(2-2)用故障参数的最大计算值。在继电保护的相关规程中，对各类保护的灵敏系数都作了具体的规定。

另外,对上、下级保护之间的灵敏性和动作时限还有配合的要求，一般用在后备保护(例如过电流保护)，指下一级保护的灵敏度应高于上一级保护的灵敏度，下一级保护的动作延时应小于上一级保护的动作延时，如图 2-2 所示。各保护的灵敏度之间应满足关系 $K_{sen.1} > K_{sen.2} > K_{sen.3}$ ；动作时限之间应满足关系 $t_1 < t_2 < t_3$ 。

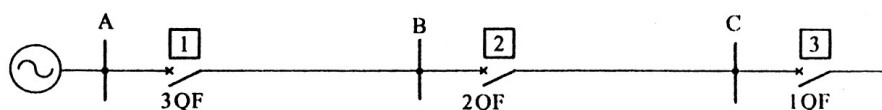


图 2-2 电力系统示意图

继电保护的选择性要求，首先由故障元件或设备本身的保护切除故障。当故障

元件或设备本身的保护或断路器拒动时，才允许由上一级相邻元件或设备的保护动作。可见，后备保护灵敏度和动作时限的配合要求是防止上一级相邻元件或设备的保护越级动作跳闸的措施之一，也是保证选择性的条件之一。

四、可靠性

可靠性是指继电保护装置在需要它动作时可靠动作(不拒动)，不需要它动作时可靠不动作(不误动)。将继电保护装置应该动作时不拒动也称为继电保护的可靠性，不应该动作时不误动也称为继电保护的安全性。

继电保护的可靠性是对继电保护最根本的要求。当电力系统中故障或异常运行状态出现时，继电保护必须具有迅速且正确的判断能力，按照预定方案动作；而当电力系统正常时，不能做出错误判断，产生误动作。电力系统常用继电保护的可靠动作率衡量其可靠性，表示如下：

$$\text{保护正确动作率} = \frac{\text{保护正确动作次数}}{\text{保护实际动作次数} + \text{保护拒动次数}} \times 100\%$$

式中，保护实际动作次数包括保护正确动作次数和误动作次数。

继电保护的可靠性主要由配置合理、质量和性能优良的继电保护装置，以及运行维护和管理来保证。为了提高继电保护的可靠性，选择保护装置时，在满足

电力系统要求的前提下,尽可能选择简单保护,应力求接线简单、元件性能可靠、回路触点尽可能少。

需要指出的是,电力系统对继电保护的四个基本要求,是分析研究继电保护的基础,是设计评价继电保护的依据。四个基本要求既相互依赖又存在矛盾,例如灵敏性是实现保护可靠动作的前提,保护之间灵敏度和动作时限的配合又是选择性的基础,而在某些情况下又不得不牺牲快速性来保证保护的选择性。所以,针对实际问题,需要具体处理基本要求之间的关系,取得合理统一。

电力系统对自动装置的要求,参照以上基本要求。

>> 第三节 继电保护和自动装置的基本构成及发展

一、继电保护和自动装置的基本构成

继电保护和自动装置的形式虽然多样,而且具有不同功能,但就一般情况而言整套装置总是由测量部分、逻辑部分和执行部分构成。继电保护原理结构框图如

图 2-3 所示。

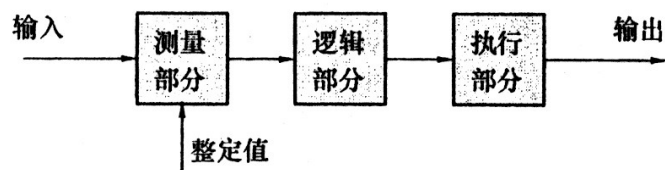


图 2-3 继电保护原理结构框图

(1)测量部分。继电保护的原理，是利用电力系统正常运行与故障(包括异常状态)时，各运行参数的差别判断故障(或异常运行)，因此需要将输入量与鉴别系统运行状态的基准量比较，这个基准量即继电保护动作整定值。

测量部分的作用是测量被保护对象的各类运行参数，在故障情况下测得的是故障参数，与给定的整定值进行比较，将比较结果(即对系统运行状态的判断结果)输出给逻辑部分。根据继电保护的实现原理，作为输入量的各类运行参数可能是单一的，如电流、电压等或者包括多个运行参数，如电流和电压。

(2)逻辑部分。电力系统发生故障时，不是所有测量到故障的继电保护都动作使断路器跳闸，而是按照选择性要求有选择地切除故障。

逻辑部分的作用是根据测量部分的输出(可能有不止一个输出)，按照继电保护预先设置的逻辑关系进行判断，确定保护是否应该使断路器跳闸或者发出信号，并将判断结果输出给执行部分。继电保护常用的逻辑包括“或”、“与”、“否”、“延时”、

“记忆”等。

(3)执行部分。执行部分的作用是根据逻辑部分的输出,完成继电保护发出断路器跳闸命令或信号。例如,针对保护区内的故障,保护发出跳闸命令;针对异常状态,保护发出告警信号。

二、继电保护和自动装置的发展

继电保护和自动装置是随着电力系统的发展和科学技术的进步而发展起来的。电力系统电压等级的提高和容量的扩大,不断对继电保护和自动装置提出更高的要求,科学技术的进步为继电保护、自动装置的改进及性能提高创造了条件。就继电保护技术而言,其发展过程经历了机电型、整流型、晶体管型、集成电路型和微机型等阶段,目前在电力系统中运行着大量的微机型继电保护。与以往各类继电保护相比,微机型继电保护在构成原理上有很大的灵活性。由于采用了微处理器和超大规模集成电路以及数字计算技术,微机型保护的性能更加完善,能够实现复杂原理保护,并且除常规的保护功能外,还能同时实现故障录波、故障测距和通信等功能。

第三章

线路保护

本章介绍应用于 110kV 及以下电网、反应输电线路各种短路故障的主要继电保护，包括反应相间短路的三段式电流保护、中性点直接接地系统阶段式零序电流保护、距离保护和纵差动保护。其中三段式电流保护是最简单、最基础的线路保护，其分析问题的方法和思路同样适用于其他类型的保护。在讲述继电保护之前，首先介绍几种常用的电磁型继电器。

>> 第一节 常用继电器

一、电流继电器

电流继电器在继电保护装置中作为测量和起动元件，反应电流增大超过某一整定数值叫动作。电流继电器接在电流互感器的二次侧，因此可以反应电力系统故障或异常运行时的电流异常增大。

电流继电器反应电流增大而动作，能够使继电器开始动作的最小电流称为电流继电器的动作电流；继电器动作后，再减小电流，使继电器返回到原始状态的最大电流称为电流继电器的返回电流；返回电流与动作电流之比称为电流继电器的返回系数，即

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{act}} \quad (3-1)$$

式中 I_{act} —— 电流继电器的动作电流；

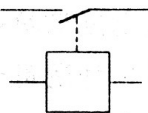
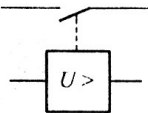
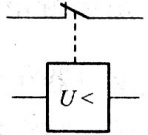
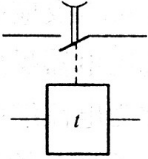
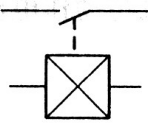
I_{re} —— 电流继电器的返回电流；

K_{re} —— 电流继电器的返回系数。

由电流继电器的动作原理可知，电流继电器的动作电流恒大于返回电流，显然电流继电器的返回系数恒小于 1，一般不小于 0.85。

电流继电器的文字符号和图形符号如表 3-1 所示。当通入电流继电器线圈的

电流增大到继电器的动作电流时 ,继电器动作 ,动合触点闭合 ;当电流减小达到继电器的返回电流时 ,继电器返回 ,动合触点打开。

表 3-1 继电器的文字符号和图形		
继电器名称	文字符号	图形符号
电流继电器	KA	
过电压继电器	KV	
低电压继电器	KV	
时间继电器	KT	
中间继电器	KM	

二、电压继电器

电压继电器反应电压变化而动作 ,分过电压继电器和低电压继电器两种。电压继电器接在电压互感器的二次侧 ,医此可以反应电力系统故障或异常运行时的电压异常变化。

过电压继电器反映电压增大而动作，动作电压、返回电压和返回系数的概念与电流继电器类似。即能够使继电器开始动作的最小电压称为过电压继电器的动作电压；继电器动作后减小电压，使继电器返回到原始状态的最大电压称为过电压继电器的返回电压；返回电压与动作电压之比称为过电压继电器的返回系数，显然其返回系数也恒小于 1。

低电压继电器反映电压降低而动作，能够使继电器开始动作的最大电压称为低电压继电器的动作电压；继电器动作后升高电压，使继电器返回到原始状态的最小电压称为低电压继电器的返回电压；同样返回电压与动作电压之比称为返回系数，即

$$K_{re} = \frac{U_{re}}{U_{act}} \quad (3-2)$$

式中 U_{act} ——低电压继电器的动作电压；

U_{re} ——低电压继电器的返回电压；

K_{re} ——低电压继电器的返回系数。

由低电压继电器的动作原理可知，其动作电压恒小于返回电压，显然低电压继电器的返回系数恒大于 1。

电压继电器的文字符号和图形符号如表 3-1 所示。对于低电压继电器，当加入继电器线圈的电压降低到继电器的动作电压时，继电器动作，动断触点闭合；当电压升高达到继电器的返回电压时，继电器返回，动断触点打开。可见，低电压继电器的动作、返回过程与电流继电器或过电压继电器正好相反。

三、时间继电器

时间继电器在继电保护中用作时间元件，用于建立继电保护需要的动作延时。因此对时间继电器的要求是动作时间必须准确。

时间继电器的文字符号和图形符号如表 3-1 所示。时间继电器一般是直流电源操作的，当继电器线圈接通直流电源，继电器起动，但只有达到预先整定的时间延时其延时动合触点才闭合，接通后续电路。

四、中间继电器和信号继电器

在继电保护中中间继电器用于增加触点数量和触点容量，所以中间继电器一般带有多付触点，可能同时具有动合触点和动断触点，其触点容量较大。

有的中间继电器具有触点延时闭合或延时打开的功能，可以用于建立继电保护需要的短的延时；有的中间继电器具有自保持功能，可以实现电流自保持或电压

自保持。中间继电器的文字符号和带有动合触点的中间继电器图形符号如表 3-1

所示。

信号继电器用于发出继电保护动作信号，便于值班人员发现事故和统计继电保护动作次数。信号继电器的文字符号是 KS。根据需要将信号继电器串联或并联接入二次回路，分别应选择串联电流型信号继电器、并联电压型信号继电器。

在微机保护中，电流、电压继电器由软件算法实现，触点可理解为逻辑电平；时间继电器由计数器实现，通过对计数脉冲进行计数获得需要的延时。

>> 第二节 相间短路的阶段式电流保护

相间短路通常仅考虑两相短路和三相短路的情况。电力系统发生相间短路的主要特征是电流明显增大，利用这一特点可以构成反应电流增大的阶段式电流保护。

一、瞬时电流速断保护

1、瞬时电流速断保护的工作原理

从故障切除时间考虑，原则上继电保护的動作时间越短越好，即在被保护元件或设备上装设快速保护，瞬时电流速断保护就是这样的快速保护。下面用如图 3-1 所示单电源线路，说明瞬时电流速断保护的工作原理。

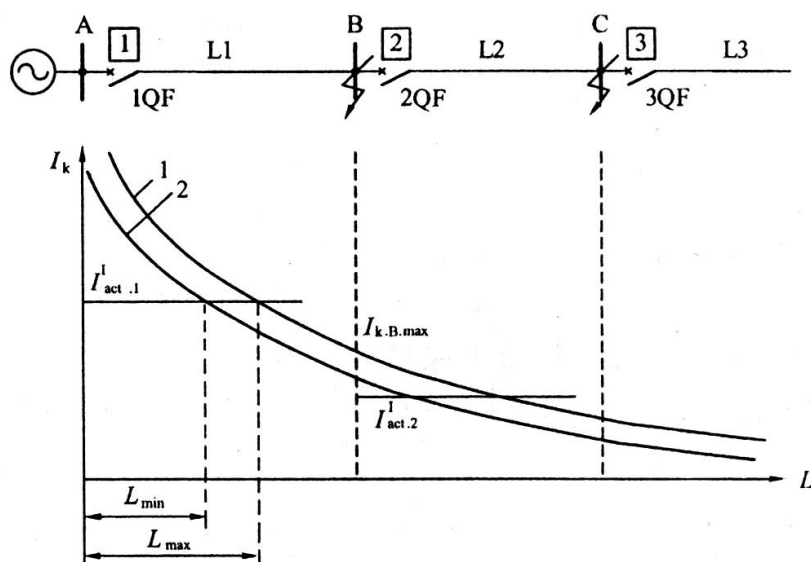


图 3-1 瞬时电流速断保护工作原理示意图

对于图 3-1 所示单侧有电源的辐射形电网，电流保护装设在线路始端，当线路发生三相短路时，短路电流计算如下

$$I_k^{(3)} = \frac{E_\varphi}{X_s + X_k} \quad (3-3)$$

式中 E_φ ——系统等效电源的相电动势；

X_s ——系统电源到保护安装点的电抗；

X_k ——短路电抗（保护安装点到短路点的电抗）。

则 $X_s + X_k$ 为系统电源至短路点之间的总电抗。显然,当短路点距离保护安装点越远时, X_k 越大,短路电流越小;当系统电抗越大时,短路电流越小;而且短路电流与短路类型有关,同一点 $I_k^{(3)} > I_k^{(2)}$ 。短路电流与短路点的关系如图 3-1 的 $I_k = f(L)$ 曲线,曲线 1 为最大运行方式(系统电抗为 $X_{s.min}$,短路时出现最大短路电流)下三相短路故障时的 $I_k = f(L)$,曲线 2 为最小运行方式(系统电抗为 $X_{s.max}$,短路时出现最小短路电流)下两相短路故障时的 $I_k = f(L)$ 。

瞬时电流速断保护反应线路故障时电流增大动作,并且没有动作延时,所以必须保证只有在被保护线路上发生短路时才动作,例如图 3-1 的保护 1 必须只反应线路 L1 上的短路,而对 L1 以外的短路故障均不应动作。这就是保护的选择性要求,瞬时电流速断保护是通过动作电流的合理整定来保证选择性的。

2. 整定计算

一般把对继电保护装置动作值、动作时间的计算和灵敏度的校验称为继电保护整定计算,将计算条件称为整定原则。

按照选择性要求,图 3-1 保护 1 的动作电流,应该大于线路 L2 始端短路时的最大短路电流。实际上,线路 L2 始端短路与线路 L1 末端短路时反应到保护 1 的

短路电流几乎没有区别,因此,线路 L1 的瞬时电流速断保护动作电流的整定原则

为:躲过本线路末端短路的可能出现的最大短路电流,计算如下:

$$I_{act.1}^I = K_{rel}^I I_{k.B.max}^{(3)} \quad (3-4)$$

式中 $I_{act.1}^I$ ——线路 L1 的瞬时电流速断保护一次动作电流;

K_{rel}^I ——瞬时电流速断保护的可靠系数,考虑短路电流的计算误差、测量误

差、短路电流非周期分量等因素对保护的影响,一般取 $K_{rel}^I =$

1.2~1.3;

$I_{k.B.max}^{(3)}$ ——系统最大运行方式下,在线路 L1 末端(母线)发生三相短路时流

过保护 1(即线路 U)的短路电流。

按照式(3-4)计算出保护 I 的动作电流与短路电流的关系如图 3-1 所示,动作

电流与短路电流曲线的交点确定了保护能够反应故障的范围,即保护范围。可见,

由于短路电流与系统的运行方式—和短路类型有关,在系统运行方式变化或短路

类型不同时,保护范围随之发生变化,因此有最小保护范围 L_{min} 和最大保护范围

L_{max}

瞬时电流速断保护的灵敏度用最小保护范围衡量。规程规定:瞬时电流速断保

护的最小保护范围 $L_{\min}$ 不小于本线路全长的 15% ~ 20%。

在某些特殊情况下,瞬时电流速断保护可以保护线路的全长,即保护范围可以延伸到本线路以外。例如图 3-2 所示,通过线路—变压器组接线直接向负荷供电,不论故障发生在线路还是变压器,都应该使断路器 QP 跳闸,将线路和变压器同时切除。因此,保护 I 瞬时电流速断保护动作电流的整定原则,可以按照躲过变压器低压侧母线短路时,流过保护的最大短路电流整定,结果其保护范围必然延伸到变压器内部,即可以保护线路 L 的全长。

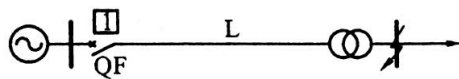


图 3-2 线路—变压器组接线

3. 原理接线图

电磁继电器构成的瞬时电流速断保护的原理接线如图 3-3 所示。图中电流继电器 KA1 和 KA2 是保护的测量元件,保护范围内相间短路故障时动作,动合触点闭合,起动中间继电器 KM,中间继电器是保护的执行元件(也称为保护的出口继电器),动作后动合触点闭合,经信号继电器 KS 线圈和断路器 QP 的辅助触点,使断路器跳闸线圈 YT 带电,断路器 QP 跳闸切除故障,同时信号继电器发出保护动

作信号。图中 XB 是保护出口连接片(或称为压板),用于投入或退出保护时,接通或断开保护的出口回路。

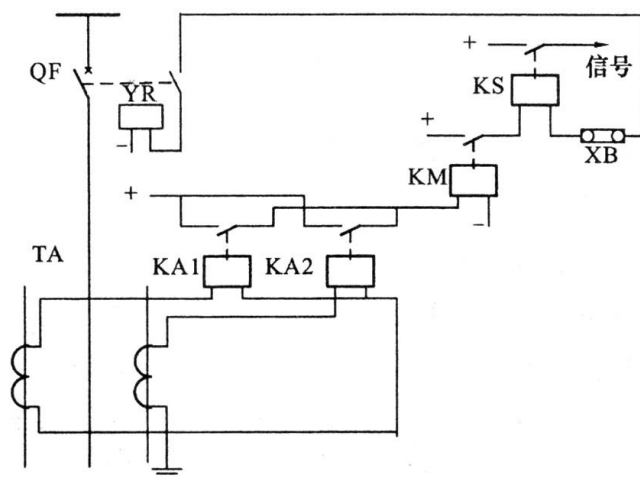


图 3-3 瞬时电流速断保护的原理接线

图中中间继电器的作用有二,其一,增加触点容量、接通断路器的跳闸回路;其二,增大保护的固有动作时间,避免避雷器放电造成保护误动。

图中断路器 QF 的辅助触点的状态与断路器 QF 主触头状态相同。在保护动作断路器 QF 跳闸后,辅助触点打开,断开跳闸回路,避免跳闸线圈 YT 长时间通电而烧坏;同时避免用中间继电器 KM 触点断开跳闸回路,起到保护中间继电器 KM 触点的作用。

瞬时电流速断保护的主要优点是动作迅速、简单可靠,缺点是不能保护线路的全长,并且保护范围受系统运行方式影响。在最小运行方式下,其保护范围可能很

小，严重时可能没有保护区。

二、限时电流速断保护

1. 限时电流速断保护的工作原理

瞬时电流速断保护的保护区不能达到线路的全长，在本线路末端附近发生短路时不会动作，因此需要增设另一套保护，用于反应本线路瞬时电流速断保护区以外的故障，同时作为瞬时电流速断保护的后备，这就是限时电流速断保护。对限时电流速断保护的要求是，其保护区在任何情况下必须包括本线路的全长，并具有规定的灵敏度；同时，在保证选择性的前提下，动作时间最短。

如图 3-4 所示，说明限时电流速断保护的工作原理。以线路 L1 的保护 1 为例，限时电流速断保护的保护区需包括本线路 L1 的全长，则必然延伸到相邻线路 L2，但不应超出保护 2 的瞬时电流速断保护的保护区，即 $I_{act.1}^{II} > I_{act.2}^I$ ，显然，保护 1 的限时电流速断保护的保护区，与保护 2 的瞬时电流速断保护的保护区出现重叠区。为了保证保护的选择性，即在线路 L2 始端短路时，仍然由保护 2 动作使断路器 QF2 跳闸，保护 1 的限时电流速断保护必须增加动作延时，即 $t_{act.1}^{II} >$

$t_{act.2}^I$ 。

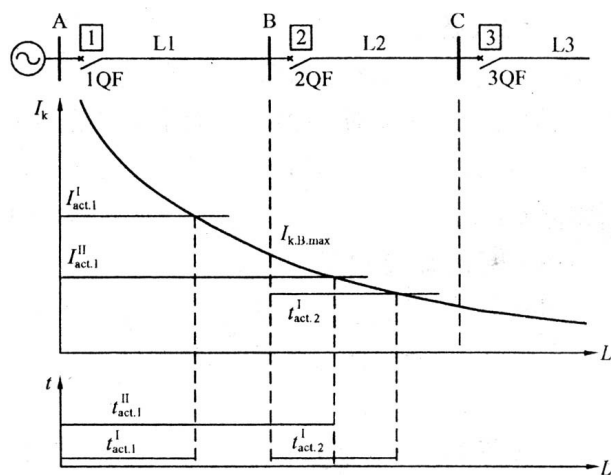


图 3-4 限时电流速断保护的工作原理示意图

2、整定计算

(1)动作电流。线路 L1 的限时电流速断保护动作电流的整定原则为 :与相邻

线路瞬时电流速断保护配合，计算如下：

$$I_{act.1}^{II} = K_{rel}^{II} I_{act.2}^I \quad (3-5)$$

式中 $I_{act.1}^{II}$ ——线路 L1 的限时电流速断保护的一次动作电流；

K_{rel}^{II} ——限时电流速断保护的可靠系数，考虑短路电流的计算误差、测量误差

等因素对保护的影响，一般取 $K_{rel}^{II} = 1.1 \sim 1.2$ ；

$I_{act.2}^I$ ——相邻线路 L2 瞬时电流速断保护的一次动作电流。

按照式(3-5)计算出保护 1 的限时电流速断保护的動作電流、保護 2 的瞬時

電流速斷保護的動作電流，關係如圖 3-4 所示。

(2) 动作时间。线路 L1 的限时电流速断保护动作时间, 应与线路 L2 的瞬时

电流速断保护动作时间配合, 整定如下:

$$t_{act.1}^{II} = t_{act.2}^I + \Delta t \quad (3-6)$$

式中 $t_{act.1}^{II}$ ——线路 L1 的限时电流速断保护的動作时间;

$t_{act.2}^I$ ——线路 L2 的瞬时电流速断保护的動作时间;

Δt ——时限级差。

图 3-4 可见, 线路 L2 始端一定范围内发生故障时, 短路电流同时大于 $I_{act.1}^{II}$ 和 $I_{act.2}^I$, 能够使保护 1 限时电流速断保护起动、保护 2 瞬时电流速断保护动作。而此时应由保护 2 的瞬时电流速断保护动作, 断路器 QP2 跳闸, 当其拒动时, 才允许保护 1 的限时电流速断保护动作。断路器 QF2 跳闸后, 保护 1 限时电流速断保护应可靠返回。因此, 时限级差 Δt 具体应该包括瞬时电流速断保护固有动作时间、断路器分闸时间、保护动作时间误差等, 再考虑一定的时间裕度, 一般取 $\Delta t=0.5s$ 。

$t_{act.1}^{II}$ 与 $t_{act.2}^I$ 关系如图 3-4 所示, 一般 $t_{act.2}^I = 0s$, 所以 $t_{act.1}^{II} = \Delta t = 0.5s$ 。

(3) 灵敏度。限时电流速断保护的保護范围是本线路的全长, 则灵敏度应该考

考虑系统的各种运行方式下，保护对全线路范围内各种故障的反应能力，选择对保护动作最不利的情况进行校验。

限时电流速断保护的灵敏度校验条件为，以本线路末端两相短路时，流过保护的最小短路电流进行校验。图 3-4 保护 I 限时电流速断保护的灵敏系数计算如下：

$$K_{sen}^{II} = \frac{I_{k.B.min}^{(2)}}{I_{act.1}^{II}} \quad (3-7)$$

式中 K_{sen}^{II} ——限时电流速断保护的灵敏系数，规程要求 $K_{sen}^{II} > 1.3 \sim 1.5$ ；

$I_{act.1}^{II}$ ——限时电流速断保护的一次动作电流；

$I_{k.B.min}^{(2)}$ ——系统最小运行方式下，本线路末端母线(对保护 I 即 B 母线)两相

短路时，流过保护的短路电流。

如果按式(3-7)校验灵敏度不满足规程要求，则限时电流速断保护达不到保护线路全长的目的。由式(3-7)可知，减小保护的動作電流可以提高灵敏度，所以通常解决灵敏度不足的方法是，限时电流速断保护的動作電流及動作時間與相鄰线路的限时电流速断保护配合，例如图 3-4 中保护 I 具体整定如下：

$$I_{act.1}^{II} = K_{rel}^{II} I_{act.2}^{II} \quad (3-8)$$

$$t_{act.1}^{II} = t_{act.2}^{II} + \Delta t \quad (3-9)$$

式中 $I_{act.1}^{II}$ ——线路 L1 的限时电流速断保护的一次动作电流；

K_{rel}^{II} ——限时电流速断保护的可靠系数，一般取 $K_{rel}^{II} = 1.1 \sim 1.2$ ；

$I_{act.2}^{II}$ ——相邻线路 L2 限时电流速断保护的一次动作电流；

$t_{act.1}^{II}$ ——线路 L1 的限时电流速断保护的動作时间；

$t_{act.2}^{II}$ ——线路 L2 的限时电流速断保护的動作时间；

Δt ——时限级差。

显然，按式(3-8)、式(3-9)整定，动作电流降低、灵敏度提高、保护范围增长

但動作时间延长了。

3、原理接线圈

电磁继电器构成的限时电流速断保护的原理接线如图 3-5 所示(与图 3-3 相比较，相当于用 KT 代替了 KM)。图中电流继电器 KA1 和 KA2 是保护的测量元件，保护范围内相间短路故障时動作，动合触点闭合起动时间继电器 KT，时间继电器是保护的逻辑及执行元件，起动后动合触点延时闭合，经信号继电器 KS 线圈和断路器 QF 的辅助触点，使断路器跳闸线圈 YT 带电，断路器 QF 跳闸切除故障，同时信号继电器发出保护動作信号。

显然当电流继电器 KAl 或 KA2 动作起动时间继电器 KT 后 ,如果在其整定时间内故障被其他保护动作切除 ,那么 ,在时间继电器延时动合触点闭合之前 ,电流继电器 KAl 或 KA2 由于故障电流消失而返回 ,时间继电器也随之失去电源返回 ,则整套保护不会动作出口。这就是在相邻线路始端发生故障的情况。

限时电流速断保护的特点是能够保护线路的全长 ,简单可靠 ,一般只有 0.5s 延时(有时为 1s) ,但保护范围受系统运行方式影响。

三、定时限过电流保护

1 . 定时限过电流保护的工作原理

综合瞬时电流速断保护和限时电流速断保护的作用 ,可以对全线路范围内的任何故障实现瞬时或较短延时地切除故障。为了防止由于继电保护拒动或断路器拒动无法切除故障的情况 ,还需要装设具有近后备和远后备作用的后备保护 ,定时限过电流保护就是这样的后备保护。

如图 3-6 所示 ,在保护 1 瞬时电流速断保护和限时电流速断保护拒动时 ,线路 L1 的定时限过电流保护作为本线路的近后备保护 ,动作于跳闸 ;同时作为线路 12 的远后备保护 ,在保护 2 拒动或断路器 QF2 拒动时动作。显然 ,线路 L1 的定

时限过电流保护的保护区应该包括线路 L1 和 L2 的全部，必然延伸到线路 L3。保护区长，动作电流必然较小，但必须保证在系统正常运行最大负荷电流下不动作，而在 L1 或 L2 发生短路时保护起动，实现后备作用。

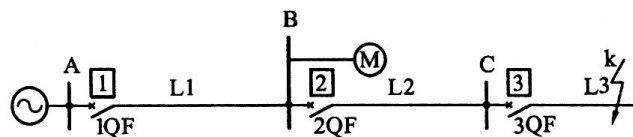


图 3-6 定时限过电流保护原理示意图

2. 整定计算

(1)动作电流。定时限过电流保护的动作用电流应满足以下两个条件：

1)在系统正常运行时不动作，动作电流应该大于该线路的最大负荷电流，即

$$I_{act}^{III} > I_{1.max} \quad (3-10)$$

2)外部故障切除后，应能够可靠返回。例如图 3-6 中，线路 L2 或 L3 上故障时，线路 L1 定时限过电流保护会起动，按照选择性要求，应由线路 L2 或 L3 的保护动作，在 2QF 或 3QF 跳闸后，故障电流消失，线路 L1 定时限过电流保护应立即返回。注意，此时需要考虑可能存在负荷中电动机自起动过程造成的负荷电流增大，所以应满足关系

$$I_{re}^{III} > K_{ss} I_{1.max} \quad (3-11)$$

式中 K_{ss} ——电动机的自起动系数，一般为 1.5~3。

综合考虑式(3-10)和式(3-11)，定时限过电流保护的动作电流整定为

$$I_{act}^{III} = \frac{K_{rel}^{III}}{K_{re}} K_{ss} I_{l.max} \quad (3-12)$$

式中 I_{act}^{III} ——定时限过电流保护的一次动作电流；

K_{rel}^{III} ——定时限过电流保护的可靠系数，一般取 $K_{rel}^{III} = 1.15 \sim 1.25$ ；

K_{re} ——电流继电器的返回系数，一般取 0.85；

$I_{l.max}$ ——流过被保护线路的最大负荷电流。

确定最大负荷电流，需要根据具体电网的实际情况，考虑最严重情况下，可能出现的最大负荷电流。

考虑到上、下级过电流保护灵敏度配合要求，图 3-6 所示定时限过电流保护的動作电流，应满足关系 $I_{act.1}^{III} > I_{act.2}^{III} > I_{act.3}^{III}$ 。

(2)动作时间。如图 3-7 的定时限过电流保护动作时间整定示意图所示，当 k1 点发生故障时，保护 1 和保护 2 的定时限过电流继电器同时起动，按照继电保护选择性要求，此时应该由保护 2 动作，使断路器 2QF 跳闸，在保护 2 或断路器 2QP 拒动时，才允许保护 1 动作，使断路器 1QP 跳闸，即保护 1 和保护 2 定时限

过电流保护的動作時間應該滿足關係 $t_{act,1}^{II} > t_{act,2}^{II}$ 。同理,當 k2 點發生故障時,應由保護 3 動作,使斷路器 3QF 跳閘,在保護 3 或斷路器 3QF 拒動時,才允許保護 2 動作,使斷路器 2QF 跳閘,即按照繼電保護選擇性要求,保護 2 和保護 3 定時限過電流保護的動作時間應該滿足關係 $t_{act,2}^{II} > t_{act,3}^{II}$ 。

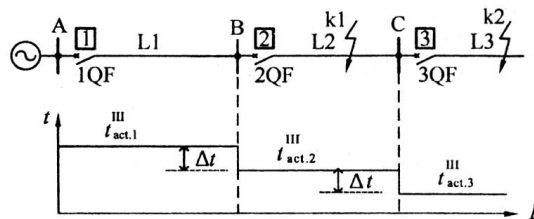


圖 3-7 定時限過電流保護
動作時間整定示意圖

線路 L1、L2 和 L3 的定時限過電流保護動作時間整定如下：

$$t_{act,1}^{II} = t_{act,2}^{II} + \Delta t$$

$$t_{act,2}^{II} = t_{act,3}^{II} + \Delta t$$

式中 $t_{act,1}^{II}$ 、 $t_{act,2}^{II}$ 、 $t_{act,3}^{II}$ ——分別為線路 L1、L2 和 L3 的定時限過電流保護的動作時間；

Δt ——時限級差。

以上整定原則可見,定時限過電流保護越靠近電源處,動作時間越長;越靠近負荷端,動作時間越短;並且相鄰線路動作時間相差一個時限級差。一般將定時限

过电流保护动作时间整定原则称为阶梯时限原则。显然，定时限过电流保护是通
过动作电流间的灵敏度配合、时限阶梯特性保证动作选择性的。

实际中，电流保护的動作时限有定时限和反时限两种实现方法。以上电流保护的動作时间一经整定，则不随通入保护的电流变化，保护起动后按照预先整定值延时动作，因此称为定时限过电流保护。如果电流保护的動作时间与通入保护的电流有关，保护起动后，当电流大时動作时间短，电流小时動作时间长，则称为反时限电流保护。即定时限过电流保护的動作时限一经整定则固定不再变化，而反时限过电流保护的動作时间则随通入保护的电流呈反时限变化。

(3)灵敏度。定时限过电流保护的灵敏度校验需考虑近后备和远后备两种情况

灵敏系数计算如下：

$$K_{act}^{III} = \frac{I_{k.min}^{(2)}}{I_{act}^{III}} \quad (3-13)$$

式中 I_{act}^{III} ——定时限过电流保护的一次動作电流；

$I_{k.min}^{(2)}$ ——系统最小运行方式下，保护范围末端两相短路流过保护的短路

电流，作为近后备保护，故障点为本线路末端母线短路，作为远后备保护，故障点为最长相邻线路末端母线短路；

K_{act}^{III} ——定时限过电流保护的灵敏系数。

规程要求：作为近后备保护， $K_{sen}^{III} \geq 1.3 \sim 1.5$ ；作为远后备保护， $K_{sen}^{III} \geq 1.2$ 。

如果灵敏系数不满足规程要求，可以考虑采用其他保护。

3. 原理接线图

由定时限过电流保护原理可知，保护的构成元件与限时电流速断保护相同，所以接线图与图 3-5 相同。

定时限过电流保护的主要优点是灵敏度高，简单可靠，但由于按照阶梯时限原则整定动作时限，动作时间长，尤其是靠近电源端动作时间更长，因此一般作为后备保护。

四、三段式电流保护

如前所述，瞬时电流速断保护无动作延时，通过动作电流的整定保证选择性，只能保护本线路始端一部分；限时电流速断保护带有短延时（一般为 0.5s），通过动作电流的整定和短延时保证选择性，可以保护本线路的全长；定时限过电流保护带有较长的延时，通过动作电流间的灵敏度配合、动作时限的配合保证选择性，能够保护本线路的全长和相邻线路的全长。

通常，将瞬时电流速断保护、限时电流速断保护和定时限过电流保护组合在

一起 ,构成三段式电流保护。瞬时电流速断保护称为工段保护 ,或电流保护 I 段 ;限时电流速断保护称为 II 段保护 ,或电流保护 II 段 ;定时限过电流保护称为 III 段保护 ,或电流保护 III 段。其中 ,电流保护工段和电流保护 II 段组成线路的主保护 ,电流保护 III 段作为本线路的近后备保护和相邻线路的远后备保护。

三段式电流保护的原理逻辑框图如图 3-8 所示。用于反应相间故障的电流保护通常可以有选择地接入两相电流 ,一般接入 A 相和 C 相电流 ,则任何相间短路至少有一相的电流元件可以反应。但需要注意 ,在同一电压等级中 ,两相电流应取自同名相。图 3-8 中 I、II、III 分别为电流保护 I 段、II 段、III 段的电流测量元件(可以采用电流继电器) ,T1、T2 分别为电流保护 II 段、III 段的时间元件(可以采用时间继电器)。图中 H1、H2、H3、H4 是或门。

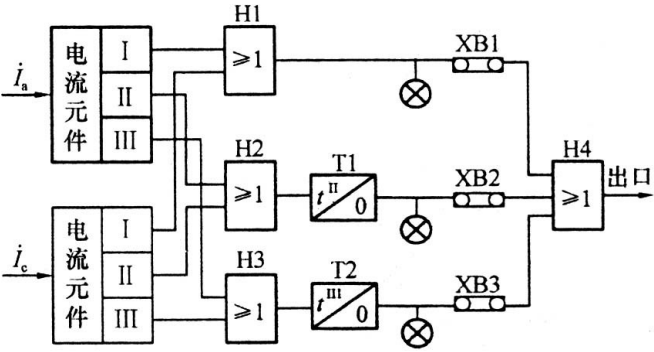


图 3-8 三段式电流保护的逻辑框图

在工程应用中 ,三段式电流保护不一定三段全部投入。例如 ,当系统运行方式

变化很大,Ⅰ段保护范围太小或没有保护区时,则不投入Ⅰ段;对于线路—变压器接线,Ⅱ段可以保护线路全长时,则可以不投入Ⅱ段;在末端线路,可能Ⅱ段和Ⅲ段的动作时间相同,则也可以不投入Ⅱ段。

五、方向电流保护

上述三段式电流保护的选择性是通过动作电流、动作时间整定来保证的,对于双侧有电源的线路或环网线路,在有些情况下通过动作电流、动作时限整定不能保证保护的选择性。如图 3-9 所示双侧电源线路,当 k1 点发生故障时,要使断路器 5QF 跳闸、4QF 不跳闸,则应该满足 $t_4 > t_5$ 当 k2 发生故障时,要使断路器 4QF 跳闸、5QF 不跳闸,则应该满足 $t_4 < t_5$ 。显然上述时限是无法整定的。

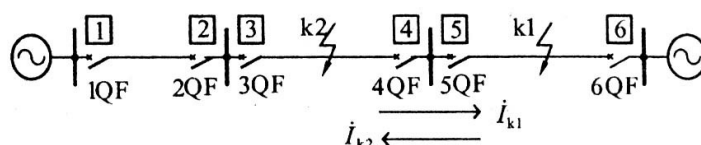


图 3-9 双侧电源线路方向电流保护说明图

分析 k1 和 k2 点发生故障时,流过保护 4 和保护 5 的功率方向是不同的。k1 点故障时,流过保护 5 的功率方向是母线到线路(称为正功率),流过保护 4 的功率方向是线路到母线(称为负功率);k2 点故障时,流过保护 4 的功率方向是母线到线路(正功率),流过保护 5 的功率方向是线路到母线(负功率)。因此,利用短路时

功率方向的这一特征，在电流保护的基础上加装功率方向元件，反应短路功率的方向，使保护只有在短路功率从母线流向被保护线路时动作，由此构成方向电流保护，则保护 4 和保护 5 无须时限配合，解决以上问题。

对图 3-8 所示三段式电流保护加装功率方向元件后，即可构成三段式方向电流保护。方向电流保护的单相原理逻辑框图如图 3-10 所示，图中 Y1、Y2 和 Y3 是双输入与门，保护必须在电流元件和功率方向元件同时满足动作条件时才能使本段保护起动。可见，加装功率方向元件后，双电源线路的保护问题被转化为单电源问题。

需要指出的是，三段式方向电流保护的应用中需要考虑克服功率方向继电器死区并遵循按相起动接线。功率方向元件反应保护安装处的功率方向而动作，当保护安装处发生三相短路时，电压为零，功率方向继电器无法判断故障方向，无法动作，出现电压死区，因此，功率方向继电器对电压应有“记忆”作用，从而消除电压死区。按相起动接线指各相电流元件应与该相方向元件串联(即相“与”)后再起动该段时间元件，如图 3-10，以防止非故障相方向电流保护误动作。

>> 第三节 接地保护

一、中性点直接接地系统的零序电流保护

中性点直接接地系统发生接地短路时产生很大的短路电流，要求继电保护必须及时动作切除故障，保证设备和系统的安全。

(一)接地短路特点及零序电流测量

1. 接地短路特点

电力系统发生接地故障，包括单相接地故障和两相接地故障，在三相中出现大小相等、相位相同的零序电压和零序电流。对于中

性点直接接地系统，零序电流具有以下特点：

(1)零序电流通过系统接地中性点和短路故障点形成短路通路，因此零序电流通过变压器接地中性点构成回路；

(2)零序电流的大小不仅与中性点接地变压器的多少、分布有关，而且与系统运行方式有关；

(3)线路零序电流的大小与短路故障位置有关，短路点越靠近保护安装地点，

零序电流数值越大，零序电流的大小与短路故障位置的关系如图 3-14 所示。

另外注意，接地故障点的零序电压最高。

根据以上零序电流的特点，可以构成中性点直接接地系统的线路零序电流保护。

2. 变压器中性点接地考虑

考虑变压器中性点接地的多少、分布时，应使电网中对应零序电流的网络尽可能保持不变或变化较小，以保证零序电流保护有较稳定的保护区和灵敏度，同时防止单相接地故障时非故障相出现危险过电压。

3. 零序电压和零序电流测量

接地短路时三相的零序电压大小相等、相位相同，根据序分量的概念有 $3\dot{U}_0 = \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C$ 。通常采用三个单相式电压互感器或三相五柱式电压互感器取

得零序电压，如 3-11 所示。图中 m、n 端子输出为零序电压

$$\dot{U}_{mm} = \frac{1}{n_{TV}} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) = \frac{3\dot{U}_0}{n_{TV}} \quad (3-14)$$

式中 n_{TV} ——电压互感器一相变比。

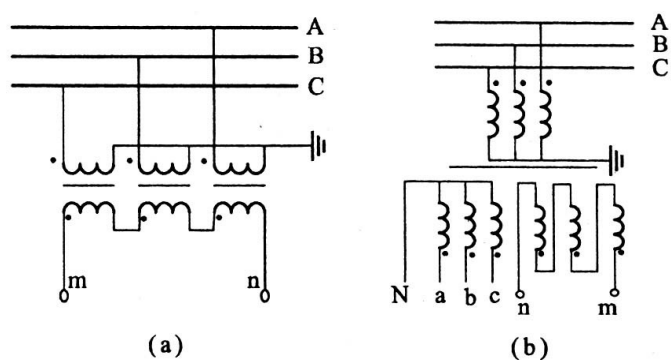


图 3-11 取得零序电压方法示意图

接地短路时三相的零序电流大小相等、相位相同，根据序分量的概念有

$3\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ 。通常通过零序电流滤过器测量零序电流，如图 3-12(a)所示。流

入电流继电器的电流为

$$\dot{I}_m = \frac{1}{n_{TA}} (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = \frac{3\dot{I}_0}{n_{TA}} \quad (3-15)$$

式中 n_{TA} —— 电流互感器变比。

对于采用电缆的线路，零序电流还可以通过零序电流互感器获得，如图 3-12

(b) 所示。TA0 为零序电流互感器。

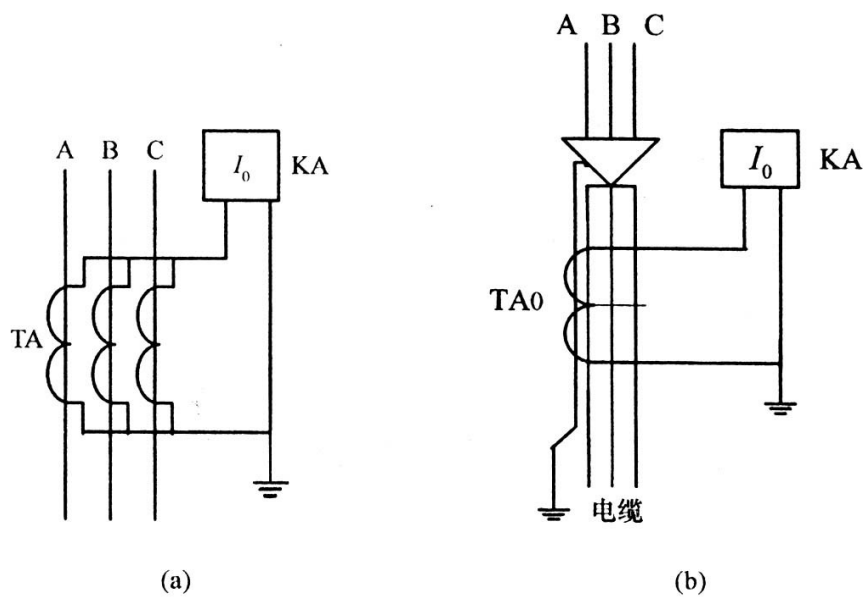


图 3-12 取得零序电流方法示意图
(a) 零序电流滤过器；(b) 零序电流互感器

(二) 阶段式零序电流保护

根据接地短路故障出现零序电流的特点，构成反应零序电流增大的零序电流保护。零序电流保护通常也是采用阶段式，从原理上看，与相间短路的阶段式电流保护相同，区别是反应的电流不同，因此在原理接线图上表现为测量元件的输入量不同，三段式零序电流保护的原理框图如图 3-13 所示。

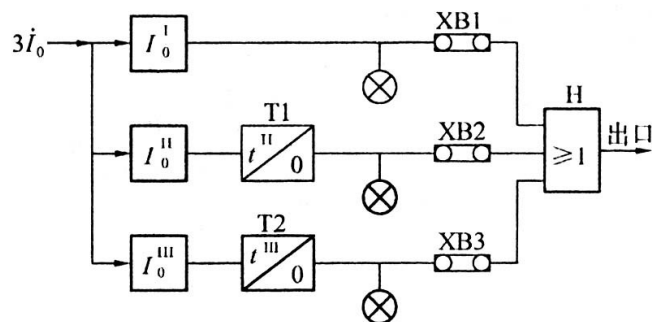


图 3-13 三段式零序电流保护的原理框图

三段式零序电流保护的组成包括，零序电流Ⅰ段，即瞬时零序电流速断保护；

零序电流Ⅱ段，即限时零序电流速断保护；零序电流Ⅲ段，即零序过电流保护。图

3-13 中 I_0^I 、 I_0^{II} 、 I_0^{III} 分别为零序电流Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段测量元件，反应输入零序电流；

t_0^{II} 、 t_0^{III} 分别为零序电流Ⅱ段、Ⅲ段时间元件，建立保护的動作延时；保护通过或门 H

出口使断路器跳闸。

1. 瞬时零序电流速断保护(零序电流Ⅰ段)

零序电流Ⅰ段为无延时动作，因此，为了保证选择性，保护范围不能超过本线

路的末端母线，只能保护本线路的一部分，其动作电流 $I_{0,act}^I$ 、保护范围 L^I 与接地

短路零序电流 $3I_0$ 的关系如图 3-14 所示，图中 $3I_{0,max}^I$ 是保护线路末端母线接地

短路时流过保护的最大零序电流。计算 $3I_{0,max}^I$ 时按系统最大运行方式，并需要考

虑短路类型，计算单相接地短路和两相接地短路的零序电流，取大者。

2. 限时零序电流速断保护(零序电流II段)

零序电流II应保护本线路的全长,保护范围必然延伸到相邻线路,但不超出相邻线路的零序电流I段的保护范围,因此在动作电流和动作时限上,需要与相邻线路的零序电流I段配合,一般有0.5s的动作延时。

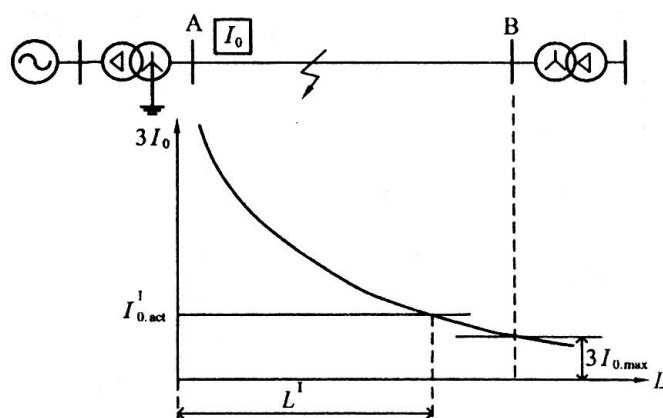


图 3-14 零序电流 I 段保护原理示意图

需要指出的是,在整定零序电流II段动作电流时,为了保证保护范围不超出相邻线路的零序电流I段的保护范围,必须考虑分支电路的影响。分支电路对流过保护的零序电流的影响,以及与动作电流、保护范围的关系如图 3-15 所示。图中

$I_{0,act,1}^I$ 和 $I_{0,act,1}^{II}$ 分别为保护 1 零序电流 I 段动作电流和零序电流 II 段动作电流;

$I_{0,act,2}^I$ 为保护 2 零序电流 I 段动作电流; L_1^I 和 L_1^{II} 分别为保护 1 零序电流 I 段保护

范围和零序电流 II 段保护范围; L_2^I 为保护 2 零序电流 I 段保护范围。显然,由于变

压器 T2 中性点接地 , 构成零序分支电路 , 当 k 点发生接地短路时 , 流过保护 1 (线路 L1) 与流过保护 2 (线路 L2) 的零序电流不相等 , 即 $3I_{0.L1} \neq 3I_{0.L2}$, 所以在保护 I 零序电流 II 段与保护 2 零序电流 I 段配合时 , 不可忽略这一影响。

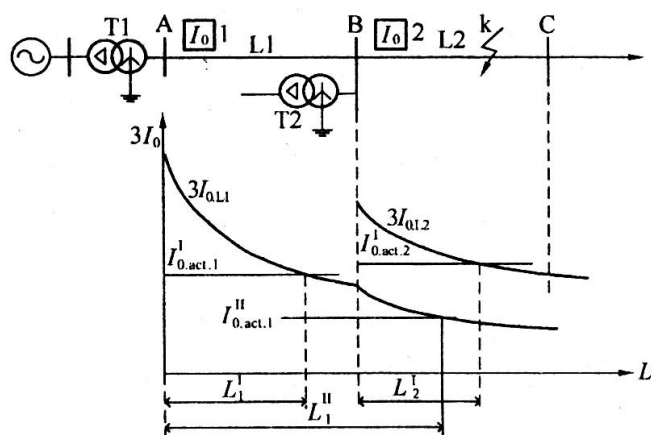


图 3-15 零序电流 II 段保护原理示意图

零序电流 I 段和零序电流 II 段共同构成线路接地短路的主保护。

3. 零序过电流保护(零序电流 III 段)

零序过电流保护作为线路接地故障时的近后备保护和远后备保护 , 应该在系统正常运行和相间短路时不动作。系统正常运行时三相对称 , $3I_0=0$; 相间短路时 , 短路电流只含有正序分量和负序分量 , 同样有 $3I_0=0$, 根据零序电流的测量方法 (参见图 3-12) , 此时流入电流元件的电流只是不平衡电流。因此 , 零序电流 III 段的动作电流只需躲过最大不平衡电流即可 , 一般数值不大 , 保护的灵敏度较高。

零序过电流保护的動作时限同样是按照阶梯时限原则整定。由于接地短路的

零序电流以变压器接地中性点构成回路，所以动作时限无须与中性点不接地变压器的另一侧配合，如图 3-16 所示。图中分别为保护 1、保护 2、保护 3 零序过电流保护的動作时限。同时图中画出相应的反应相间短路的定时限过电流保护动作时限，可见，同一处的零序过电流保护动作时限小于相间过电流保护动作时限。

在图 3-16 中，为保证零序过电流保护的选择性，保护 1、2、3 之间的零序动作电流，还应满足灵敏度配合要求，即 $I_{0.act.1}^{III} > I_{0.act.2}^{III} > I_{0.act.3}^{III}$ 。

综上所述，阶段式零序电流保护灵敏度高，延时小，保护范围受系统运行方式影响小，用于中性点直接接地系统的接地短路的专门保护，具有明显的优越性。

在多电源系统，要求电流侧至少有一台变压器中性点接地运行。当线路两侧都有中性点接地运行变压器时，发生接地短路的情况与双侧电源线路电流保护的情况类似，为了保证加装零序功率方向元件后，构成三段式零序方向电流保护。零序功率方向元件接入零序电压和零序电流的取得如图 3-11 和图 3-12 所示。需要指出的是，由于接地短路时，故障点零序电压最高，零序功率方向元件不存在电压死区问题。

二、中性点非直接接地系统的零序保护

(一) 中性点不接地系统的零序保护

1、单相接地故障的特点

中性点不接地系统,正常运行时三相对称,中性点对地电压等于零,全系统没有零序电压和零序电流。当系统发生单相接地时,系统各处故障相的对地电压等于零。三相对地电压不平衡,出现零序电压;系统电流分布如图 3-17 所示。图示为三条线路 L1、L2 和 L3,假设均未带负荷,在线路 L3 上发生 A 相单相接地故障,由于系统中性点不接地,发生单相接地短路时,系统没有其他的直接接地点,短路电流只能通过单相接地故障点和各条线路非故障相对地分布电容构成通路,根据图示电流分布,中性点不接地系统发生单相接地故障时有如下特点:

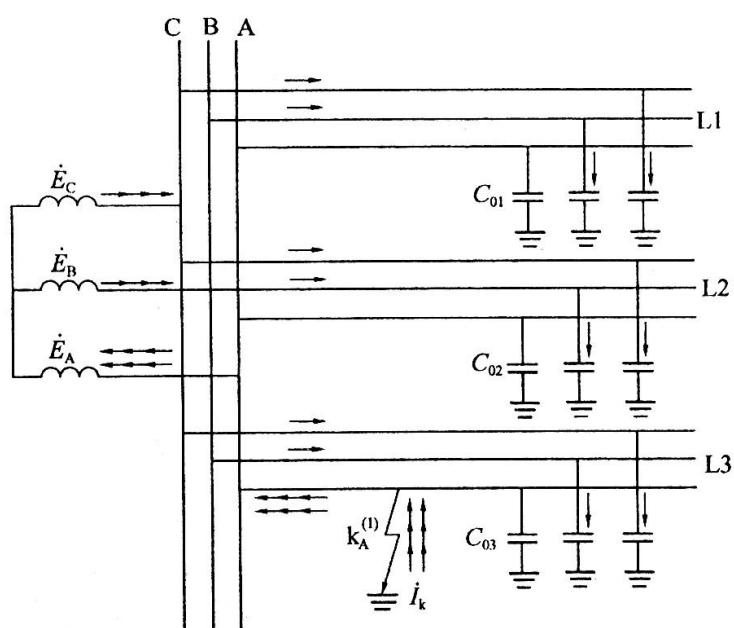


图 3-17 中性点不接地系统发生单相接地故障时的电流分布

1)故障相对地电压等于零，系统出现零序电压；

2)所有线路出现接地电流(零序电流),接地电流为容性电流 ;故障点接地电流等于所有线路的对地电容电流之和；

3)故障线路的零序电流等于所有非故障线路的电容电流之和，方向由线路流向母线；

4)非故障线路的零序电流等于本身线路非故障相的对地电容电流，方向由母线流向线路。

可见，中性点不接地系统发生单相接地故障时的零序电流数值不大，三相电压之间的线电压仍然对称，能够对负荷供电，因此不必立即跳闸，可以连续运行1~2h。为了防止故障发展扩大，要求此时继电保护动作发出信号。

2．单相接地保护

目前，对于中性点不接地系统，通常采用绝缘监视和接地选线的方式实现单相接地保护。

(1)绝缘监视装置。

绝缘监视装置反应中性点不接地系统发生单相接地故障时，系统出现零序电压而动作发出信号，也称为零序电压保护，原理接线图如图 3-18 所示。电压互感

器二次有两组绕组，其中一组接成星形，接三个电压表，用于测量各相对地电压；

另一组接成开口三角形，用于测量零序电压，用过电压继电器 KV 反应零序电压。

系统正常运行时，三相对称，无零序电压，过电压继电器 KV 不动作，三个电压表指示相同，为相电压；发生单相接地，系统出现零序电压，过电压继电器 KV 动作后接通信号回路，发出接地故障信号，此时接地相电压降低，根据电压表 PV 的读数可判断接地相。

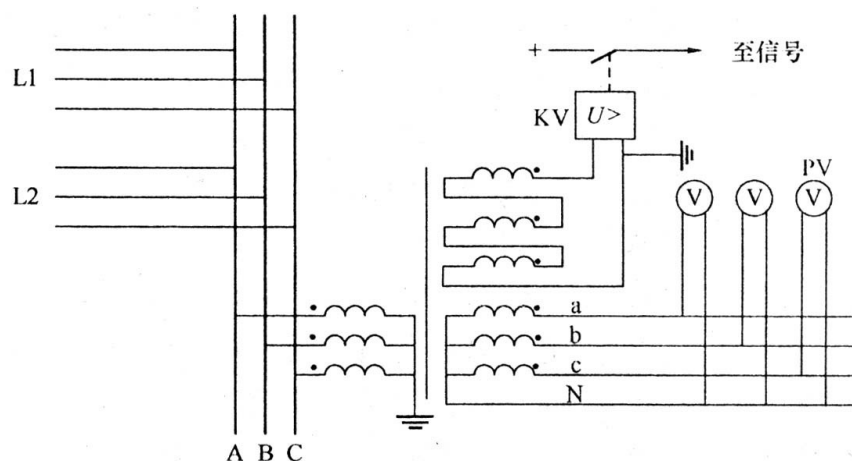


图 3-18 绝缘监视装置

绝缘监视装置无法判断故障线路，因此也称为非选择性保护。如果需要选择接地线路，可以通过故障选线按钮，依次断开线路，随之自动重新合闸投入断开线路。当断开某一条线路时接地故障信号消失，则说明是该线路发生了接地故障。

(2)接地选线装置。

接地选线装置检测中性点不接地系统发生单相接地故障，并选择故障线路。

根据系统发生单相接地故障时的电流大小及方向特征，可以实现的故障检测原理

有：基于零序电流大小选出故障线路、基于零序功率选出故障线路等。

利用故障线路的零序电流等于所有非故障线路的电容电流之和的特征，实现

基于零序电流大小选出故障线路，其零序电流元件的动作电流应该躲过本线路对

地电容形成的零序电流。系统正常运行时，三相对称，无零序电流，装置不动作；发

生单相接地，系统出现零序电流，且故障线路的零序电流大于非故障线路的零序

电流，接地选线装置动作，输出选线结果。显然，当母线出线多时，故障线路与非故

障线路电流差别大，更有利于故障选线。

对母线出线较少的中性点不接地系统，发生单相接地故障时，故障线路的零

序电流与非故障线路的零序电流相差不大，利用零序电流无法选出故障线路。因

此，利用故障线路的零序功率与非故障线路方向相反的特征，可以实现基于零序

功率选出故障线路。

随着微机保护的发展，目前国内已经生产出多种型号的接地选线装置，实现

的原理也不只以上两种。在系统发生接地故障时，接地选线装置正确选择出故障

线路，为检修提供了方便。

(二)中性点经电阻接地系统的零序保护

中性点经电阻接地系统的零序保护可参照中性点直接接地系统考虑，并在进行接地短路电流计算时，零序网络按接入 3 倍中性点电阻计算。

>> 第四节 其他保护

以下简单介绍线路距离保护和纵差动保护作用原理。

一、距离保护

反应短路故障时电流增大的电流保护，具有简单、经济、可靠等突出的优点，在结构简单的电网中得到广泛应用。但是电流保护的保护区受系统运行方式和短路故障类型的变化影响，在重负荷线路以及长、短线路保护配合时，保护的灵敏度可能无法满足规程要求。为此，应当采用性能更加完善的继电保护，距离保护就是一种性能良好的继电保护。

距离保护反应保护安装处至故障点之间的阻抗(距离)，以下说明距离保护的

动作原理。

如图 3-19(a)所示 ,假设电流互感器和电压互感器的变比等于 1 ,则距离保护

感受电压和电流为 $\dot{U}$ 和 $\dot{I}$, $Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$ 称为距离保护的测量阻抗。系统正常运行时 ,保护

安装处母线电压接近额定电压 ,线路电流为负荷电流 ,故保护装置测量阻抗为负

荷阻抗

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{\dot{U}_N}{\dot{I}_1} = Z_1 \quad (3-16)$$

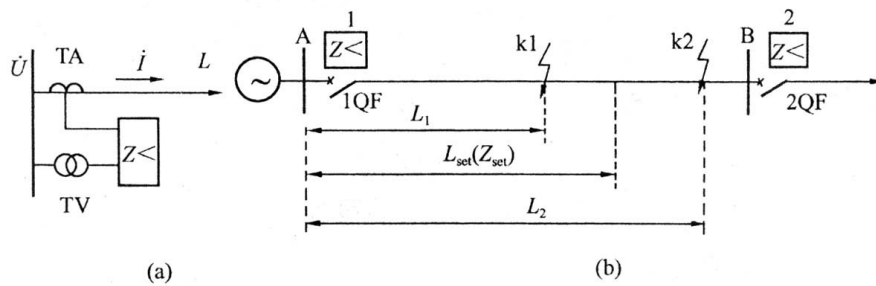


图 3-19 距离保护的動作原理示意图

(a) 接线示意图; (b) 動作原理示意图

图 3-19(b)中 ,设线路单位长度阻抗为 z_1 ,整定保护 1 的保护范围为 L_{set} ,对

应整定阻抗为 Z_{set} ,即 $Z_{set} = z_1 L_{set}$ 当线路上 k1 点和 k2 点分别发生短路故障时 ,保

护 1 的测量阻抗分别为

$$Z_{k1} = z_1 L_1 < Z_{set} \quad (3-17)$$

$$Z_{k2} = z_1 L_2 > Z_{set} \quad (3-18)$$

以上公式中，假设 Z_{k1} 、 Z_{k2} 与 Z_{set} 的方向相同。显然保护装置测量阻抗与保护安装处至短路点距离成正比。k1 点短路故障时，式(3-17)表示保护 1 的测量阻抗小于整定阻抗，说明短路点在保护区内，保护动作；而 k2 点短路故障时，式(3-18)表示保护 1 的测量阻抗大于整定阻抗，说明短路点在保护区外，保护不动作。

距离保护是反应感受阻抗降低而动作，当保护安装处母线电压降低或线路电流增大时，保护的感受阻抗都将减小，因此能够更灵敏地反应故障。同时，只要采用合理的接线方式，保护的感受阻抗只与保护安装处至短路点距离成正比，保护范围不受系统运行方式影响，从而克服了电流保护受运行方式影响的缺点。

通常距离保护也采用三段式，并有相间距离保护和接地距离保护之分，分别反映相间故障和接地故障。距离保护的测量元件即阻抗测量元件，能够实现带方向的测量特性和无方向的测量特性。

二、线路纵差动保护

本章介绍的电流保护和距离保护有一个共同的特点，保护安装在线路一侧，只能从线路一端的电气量变化反应该线路的运行情况，因此保护的测量元件无法

区别本线路末端故障与相邻线路始端故障。为了保证保护的选择性，不得不缩短保护范围(如电流Ⅰ段)或增加保护动作时限(如电流Ⅱ段、Ⅲ段)，因此不能快速切除全线的短路故障。

解决以上问题的方法之一是，保护装置同时测量线路两端的电气量。图 3-20 所示为反应线路两端电气量变化的线路纵差动保护。图中被保护线路两端装有同型号同变比的电流互感器，用于测量线路两端的电流，电流互感器二次回路采用差动接线，在差动回路接入电流元件 KD(差动继电器)。

系统正常运行或区外短路时，线路上流经两个电流互感器的电流如图 3-20(a)， $\dot{I}_{1M} = \dot{I}_{1N}$ ，因此，流入电流元件的电流 $\dot{I}_{KD} = \dot{I}_{2M} - \dot{I}_{2N} \approx 0$ ，保护不会动作。

线路上发生短路，线路上流经两个电流互感器的电流如图 3-20(b)，此时短路点电流为 $\dot{I}_K = \dot{I}_{1M} + \dot{I}_{1N}$ ，流入电流元件的电流 $\dot{I}_{KD} = \dot{I}_{2M} + \dot{I}_{2N} = \frac{1}{n_{TA}}(\dot{I}_{1M} + \dot{I}_{1N}) = \frac{\dot{I}_K}{n_{TA}}$

数值很大，使保护动作切除故障。

可见，线路纵差动保护从原理上能够反应线路两侧电流互感器之间任何地点发生的故障，而不反应两侧电流互感器外侧任何地点发生的故障，不需要与其他保护配合，本身就可以保证选择性，因此无需动作延时，可以实现对全线路无

延时切除故障。

在线路纵差动保护的接线时，应注意电流互感器的极性，从图 3-20 可知，如果电流互感器接线发生极性错误，将造成保护的不正确动作。

第四章

变压器保护

由于变压器的结构、运行、故障类型等与输电线路均有区别，故不能将线路保护直接应用于变压器。为此，根据针对故障设置继电保护的原则，首先介绍变压器故障及特点、异常运行状态，引出相应配置的继电保护装置，然后介绍具体保护的构成、实现原理、特点等。

>> 第一节 变压器故障和异常运行状态及保护

一、变压器故障和异常运行状态

电力变压器是电力系统中的重要设备，变压器发生故障将对供电可靠性和系统正常运行产生严重影响，并且故障后修复困难。

变压器故障分为油箱内故障和油箱外故障。变压器油箱内故障包括绕组之间发生的相间短路、一相绕组中发生的匝间短路、绕组与铁芯或外壳之间发生的单相接地短路等；变压器油箱外故障包括引出线上发生的各种相间短路、引出线套

管闪络或破碎时通过外壳发生的单相接地短路等。由于变压器本身结构的特点，油箱内部发生故障是十分危险的，故障产生电弧将引起绝缘物质的剧烈气化，可能导致变压器外壳局部变形、甚至引起爆炸。因此，变压器发生故障时，必须尽快将变压器从电力系统切除。

变压器异常运行包括过负荷、油箱漏油造成的油面降低、外部短路引起的过电流等。变压器处于异常运行时，应发出信号。

二、变压器保护配置

为了保证电力系统的安全运行，将故障和异常运行的影响限制在最小范围，根据继电保护有关规定，变压器应装设以下保护。

1、变压器主保护

变压器主保护包括气体保护、纵差动保护或电流速断保护等。

(1)瓦斯保护(气体保护)。变压器瓦斯保护也称为气体保护，用于反应变压器油箱内部的各种故障，以及变压器漏油造成的油面降低。

规程规定，对于容量在 800kVA 及以上的油浸式变压器、400kVA 及以上的车间内油浸式变压器，应装设瓦斯保护。

(2)纵差动保护或电流速断保护。用于反应变压器绕组、套管及引出线上的短

路故障 ,根据变压器的容量大小 ,装设纵差动保护或电流速断保护 ,动作跳开变压器各侧断路器。

规程规定 ,对于容量在 10000kVA 以上单独运行变压器、容量在 6300kVA 以上并列运行变压器或企业中的重要变压器、容量在 2000kVA 以上且电流速断保护灵敏度不满足要求的变压器 ,应装设纵差动保护 ;对于容量在 10000kVA 以下的变压器 ,当过电流保护动作时间大于 0.5s 时 ,应装设电流速断保护。

2 . 变压器后备保护及过负荷保护

(1)过电流保护。用于反应外部相间故障引起的变压器过电流 ,并作为变压器主保护的后备保护。

(2)零序保护。用于反应中性点直接接地变压器高压侧绕组接地短路故障 ,以及高压侧系统的接地短路故障 ,作为变压器主保护及相邻元件接地故障的后备保护。

(3)过负荷保护。用于反应 400kVA 及以上变压器的三相对称过负荷。过负荷保护只需要取一相电流 ,延时动作于信号。

>> 第二节 瓦斯保护(气体保护)

当变压器油箱内部发生故障时，短路电流产生电弧使变压器油和绝缘介质分解、产生大量气体，而且故障越严重，产生的气体越多，反应这种气体而动作的保护称为气体保护，也称为瓦斯保护。变压器的气体保护是油浸式变压器的主保护，能够有效地反应变压器油箱内部的各种故障(包括绕组断线)，另外当变压器发生严重漏油时气体保护也能动作。

变压器气体保护包括轻瓦斯保护和重瓦斯保护两部分。轻瓦斯保护动作时，只发信号；重瓦斯保护动作时，瞬时切除变压器。

一、气体继电器

气体保护的主要元件是气体继电器，也称瓦斯继电器，安装在变压器油箱与油枕之间的连接管道中，如图 4-1 所示。在变压器油箱内故障产生气体时，气体从油箱流向油枕，气流及带动的油流冲击气体继电器，使其动作。我国电力系统中采用的气体继电器多是复合式气体继电器，例如开口杯挡板式气体继电器，内部结构如图 4-2 所示。

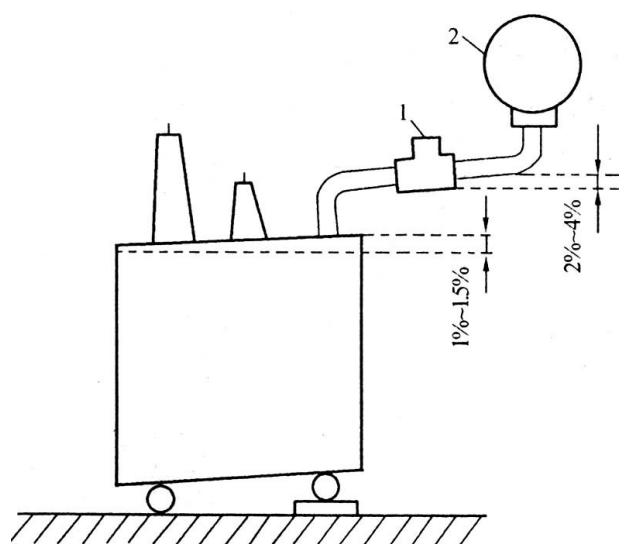


图 4-1 气体继电器安装示意图

1—气体继电器；2—油枕

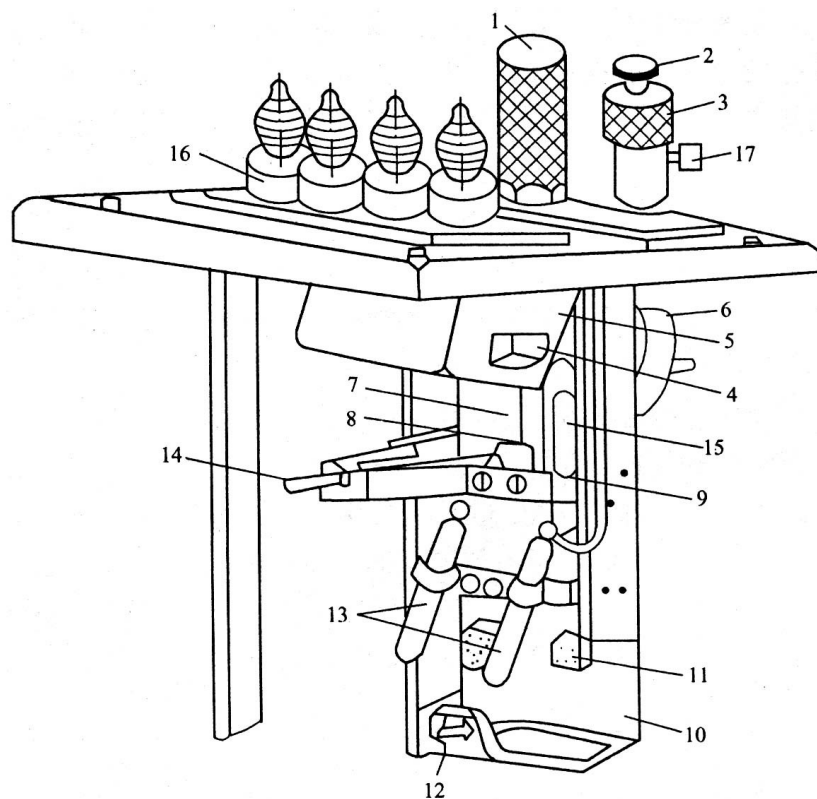


图 4-2 开口杯挡板式气体继电器内部结构图

1—罩 ;2—顶针 ;3—气塞 ;4—磁铁 ;5—开口杯 ;6—重锤 ;7—探针 ;8—开口销 ;9—弹簧 ;10—挡板 ;11—磁铁 ;12—螺杆 ;13—干簧触点(重瓦斯) ;14—调节杆 ;15—干簧触点(轻瓦斯) ;16—套管 ;17—排气孔

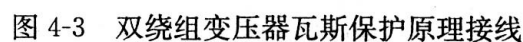
变压器正常运行时，继电器内充满油，开口杯在油的浮力和重锤的作用下上翘，磁铁 4 处于干簧触点 15 上方(图示状态)，干簧触点 15 在断开位置；挡板在弹簧作用下处于正常静止位置，磁铁 11 远离干簧触点 13，干簧触点 13 在断开位置。

当变压器内发生轻微故障时，产生少量气体流向油枕，气体汇集在气体继电器的上部，使继电器内部油面下降，开口杯露出油面。由于开口杯失去油的浮力，在重锤的作用下而下沉，磁铁 4 靠近干簧触点 15，干簧触点 15 闭合，发出轻瓦斯动作信号。同理，当变压器漏油时油面下降，同样发出轻瓦斯动作信号。

当变压器内发生严重故障时，例如相间短路、匝间短路等，油箱内产生大量气体，强大的气流及带动的油流冲击挡板，挡板克服弹簧作用力，向干簧触点 13 方向晃动，磁铁 II 靠近簧触点 13，干簧触点 13 闭合，接通重瓦斯动作跳闸回路，断开变压器各侧断路器，切除变压器。

二、保护原理接线及运行

双绕组变压器瓦斯保护原理接线如图 4-3。KG 为瓦斯继电器，上触点是轻瓦斯，闭合时发出轻瓦斯动作信号；下触点是重瓦斯，闭合时经信号继电器 KS 瞬时起动中间继电器 KM，跳开变压器两侧断路器。中间继电器 KM 具有自保持功能，在重瓦斯动作期间，防止由于气流及油流不稳定造成触点接触不可靠时，影响断路器可靠跳闸；同时，为缩短切出故障时间，中间继电器 KM 应是快速动作的继电器。



变压器气体保护的保护区为变压器油箱内部，反应变压器油箱内部的任何短路故障，以及铁芯过热烧伤、油面降低等，但不能反应变压器绕组引出线的故障。

>> 第三节 差动保护

一、差动保护原理

变压器差动保护的動作原理与线路纵差动保护相同，通过比较变压器两侧电流的大小和相位决定保护是否动作，单相原理接线图如图 4-4 所示。三绕组变压器的差动保护，其原理与图 4-4 相类似，只是将三侧的“和电流”接入差动继电器 KD，这里不再赘述。

电力系统中，变压器通常采用 Y，d11 接线方式，两侧线电流的相位相差 30° 。如果将变压器两侧同名相的线电流经过电流互感器变换后，直接接入保护的差动回路，即使两个电流互感器的变比选择合适，使其二次电流数值相等，即 $I'_1 = I'_2$ ，流入差动继电器的电流也不等于零，因此在电流互感器二次采用相位补偿接线和幅值调整。具体为变压器星形侧的三个电流互感器二次绕组采用三角形接线(自然消除了零序电流的影响)，变压器三角侧的三个电流互感器二次绕组采用星形接线，将引入差动继电器的电流校正为同相位；同时，二次绕组采用三角形接线的电流互感器变比调整为原来的 $\sqrt{3}$ 倍。微型机变压器差动保护，可以通过软件计算实现相位校正。

1. 变压器正常运行或外部故障

根据图 4-4(a)所示电流分布,此时流入差动继电器 KD 的电流是变压器两侧电流的二次值相量之差,适当选择电流互感器 1TA 和 2TA 的变比,再经过相位补偿接线和幅值调整,实际流入差动继电器的电流为不平衡电流,继电器不会动作,差动保护不动作。此时流入差动继电器的电流为

$$I_{KD} = \left| \dot{I}'_1 - \dot{I}'_2 \right| = \left| \frac{\dot{I}_1}{n_{1TA}} - \frac{\dot{I}_2}{n_{2TA}} \right| = I_{unb} \quad (4-1)$$

式中 n_{1TA} —— 电流互感器 1TA、2TA 的变比;

I_{unb} —— 流入差动继电器的不平衡电流。

2. 变压器内部故障

根据图 4-4(b)所示电流分布,此时流入差动继电器 KD 的电流是变压器两侧电流的二次值相量之和,使继电器动作,差动保护动作。此时流入差动继电器的电流为

$$I_{KD} = \left| \dot{I}'_1 + \dot{I}'_2 \right| = \left| \frac{\dot{I}_1}{n_{1TA}} + \frac{\dot{I}_2}{n_{2TA}} \right| \quad (4-2)$$

如果变压器只有一侧电源,则只有该侧的电流互感器二次电流流入差动继电器;如果变压器两侧有电源,则两侧的电流互感器二次电流都流入差动继电器,且

数值相加。

变压器差动保护从原理上能够保证选择性，即实现内部故障时动作、外部故障时不动作，所以动作时间整定为 0s。

二、变压器励磁涌流及识别措施

变压器正常运行时励磁电流数值很小，一般仅为变压器额定电流的 3% ~ 5% ;外部短路时 ,由于电压降低 ,励磁电流减小 ;当变压器空载投入或外部短路故障切除电压恢复时，励磁电流可达到额定电流的 6-8 倍，称为励磁涌流。

变压器励磁电流仅存在于变压器的电源侧，全部流入保护差动回路。在变压器正常运行和外部短路时 ,励磁电流数值很小 ,不会引起差动保护误动作 ;当出现励磁涌流时，如果不采取措施，将造成差动保护误动作。

变压器励磁涌流产生的根本原因，是变压器铁芯中磁通不能突变。励磁涌流与合闸时电源电压相角、电源容量大小、变压器接线方式、铁芯结构、铁芯剩磁及饱和程度等有关。在三相变压器中，至少两相存在励磁涌流。分析表明，变压器励磁涌流具有以下特点：

1)励磁涌流数值很大，随时间衰减，衰减速度与变压器容量有关，变压器容量

大则衰减慢；

2)励磁涌流中含有明显的非周期分量，波形偏向时间轴的一侧；

3)励磁涌流中含有明显的高次谐波分量，其中二次谐波分量比例最大；

4)励磁涌流波形呈非正弦特性，波形不连续，出现间断角。

根据变压器励磁涌流的特点，能够鉴别出是故障电流还是励磁涌流。如果是励磁涌流，则制动(闭锁)保护，即不开放保护；如果不是励磁涌流，则开放保护。通常

采用防止励磁涌流引起变压器差动保护误动的措施有：

1)采用带有速饱和变流器的差动继电器构成变压器差动保护。

利用励磁涌流中含有明显的非周期分量的特征，用非周期分量电流破坏周期分量电流变换。

2)采用**二次谐波制动原理**构成变压器差动保护。利用励磁涌流中含有明显二次谐波分量而短路电流中不含有二次谐波分量的特征，应用二次谐波制动原理，使出现励磁涌流时制动保护，出现短路电流时不制动(开放)保护。

3)采用**鉴别波形间断原理**构成变压器差动保护。利用励磁涌流波形间断而短路电流波形连续的特征，当保护差动回路电流波形间断角超过整定值时闭锁保护，

间断角小于整定值时开放保护。

目前，已经有了一些识别励磁涌流的新技术，例如较为实用的有半波叠加制动、检测波形对称识别励磁涌流、检测波形前后半周波形的相似程度识别励磁涌流等。

三、变压器差动保护的不平衡电流

当变压器通过穿越电流(正常运行或外部故障)时，流入差动继电器的电流是不平衡电流，此时差动保护不应动作。因此，需要克服或减小差动回路不平衡电流对保护的影响。造成变压器差动保护不平衡电流的因素可以归纳为以下几个方面。

1. 电流互感器变比标准化

以上讨论假设 $\dot{I}'_1 + \dot{I}'_2$ ，即假设变压器两侧电流互感器的变比选择是理想的，

满足关系

$$\dot{I}'_1 = \frac{I_1}{n_{1TA}} = \dot{I}'_2 = \frac{I_2}{n_{2TA}} \quad (4-3)$$

实际电流互感器是定型产品，变比是标准化的。变压器两侧电流互感器变比的计算希望值通常与标准变比不同，因此实际选择的电流互感器标准变比无法满足式(4-3)，在变压器保护差动回路产生不平衡电流。

针对这部分不平衡电流，可以通过电流变换器对电流互感器二次电流数值进一步变换，使最终引入差动继电器的两个电流数值尽量接近，并在整定计算时给予考虑。

在微机保护中采用的措施是电流平衡调整。

2. 两侧电流互感器二次阻抗不完全匹配

变压器两侧电压等级不同，额定电流数值不同，因而实际选用的电流互感器型号不同，他们的饱和特性、励磁电流、剩磁不同，两侧电流互感器二次阻抗不完全匹配，使电流变换出现相对误差。因此在外部短路故障时，并计及非周期分量电流后，差动回路有较大的不平衡电流。

针对这部分不平衡电流，在整定计算时引入电流互感器同型系数、电流互感器变比误差系数、非周期分量系数加以考虑。

3. 变压器分接头调整

变压器分接头调整是维持系统电压的一种有效方法。当变压器分接头调整时，改变了变压器的变比，造成变压器两侧电流关系改变，因此破坏了电流互感器二次电流的平衡关系，在差动回路产生不平衡电流。

针对这部分不平衡电流，在整定计算加以考虑。

综合以上分析，变压器纵差动保护的不平衡电流包括以上三部分，而且在变压器流过最大外部短路电流时，出现最大不平衡电流。为保证外部短路故障时差动保护不动作，动作电流应按照躲过最大不平衡电流整定；而为保证内部短路故障时差动保护的灵敏度，动作特性应采用比率制动特性。保护灵敏度校验按照保护范围内最小短路电流校验，规程要求 $K_{sen} \geq 2$ 。

实际中减小差动回路不平衡电流的主要措施是，两侧电流互感器要匹配，减小电流互感器二次负载阻抗等。

四、保护逻辑框图

采用二次谐波制动原理构成变压器差动保护由差动元件、二次谐波制动、差动速断元件、TA 断线检测等部分构成，逻辑框图如图 4-5 所示。

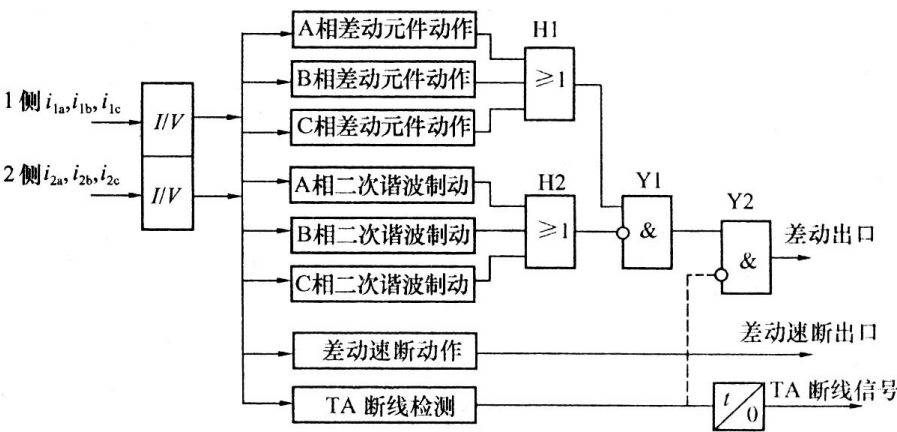


图 4-5 二次谐波制动原理变压器差动保护逻辑框图

1 . 差动元件

通常采用比率制动特性 ,引入外部短路电流作为制动量(制动电流) ,使差动保护的動作电流随外部短路电流增大而增大 ,如图 4-6 所示 ,图中 I_{brk} 为制动电流。在外部短路时 ,虽然不平衡电流随短路电流增大 ,但制动量也增大 ,動作电流增大 ,差动保护不动作 ;内部短路时制动量很小 ,保护灵敏動作。图 4-5 中采用分相差动 ,其中任一差动元件動作 ,即可通过或门 HI 去跳闸。

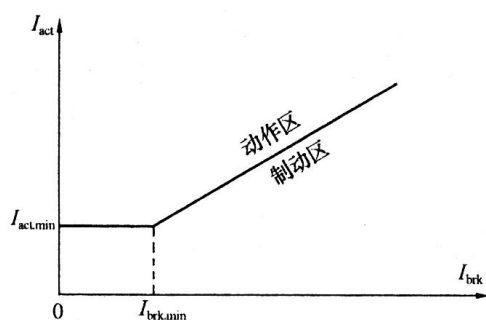


图 4-6 比率制动特性

2 . 二次谐波制动

二次谐波制动是识别励磁涌流最为常用的一种方法。检测保护差动回路电流的二次谐波电流判别励磁涌流 ,判别式为

$$I_{KD2} > K_2 I_{KD} \quad (4-4)$$

式中 I_{KD2} ——差动电流中的二次谐波电流 ;

K_2 ——二次谐波制动系数；

I_{KD} ——差动电流。

满足式(4-4)时，判别为励磁涌流，闭锁差动保护；不满足式(4-4)时，开放差动保护。

制动方式有最大相制动和分相制动，图 4-5 为最大相制动方式。当任一相差动回路电流的二次谐波分量满足制动判据时，经过或门 H2 闭锁与门 Y1，即使有差动元件动作保护也不会出口；如果是发生短路，无二次谐波制动，允许保护由差动元件决定保护的動作。

3. 差动速断元件

当变压器内部发生严重故障时，短路电流很大，应该快速切出故障。但是，当短路电流很大时，由于电流互感器饱和影响，造成二次电流波形畸变，将出现二次谐波电流，影响保护的正确动作。因此，当短路电流数值达到差动速断动作值时，通过差动电流速断元件直接出口切除变压器，不再经过任何其他条件的判断。通常差动速断元件的动作电流大于变压器励磁涌流数值。

4. TA 断线检测

在电流互感器二次断线时发出信号。

变压器差动保护的保护范围为保护用电流互感器之间的一次系统，包括变压器绕组和变压器绕组的引出线，反应各种短路故障，但不能反应变压器发生少数匝数的匝间短路、铁芯过热烧伤、油面降低等。变压器气体保护的保护范围为变压器油箱内部，反应变压器油箱内部的任何短路故障，以及铁芯过热烧伤、油面降低等，但不能反应变压器绕组引出线的故障。可见不论是差动保护还是气体保护，都不能同时反应以上各种故障，所以不能互相取代，变压器需要同时装设差动保护和瓦斯保护共同作为变压器的主保护。

>> 第四节 电流速断保护及跌落式熔断器

一、电流速断保护

对于中、小容量的变压器，可以装设单独的电流速断保护，与瓦斯保护配合构成变压器的主保护。

变压器电流速断保护单相原理接线示意图如图 4-7 所示，保护接在变压器的

电源侧，动作时跳开变压器两侧断路器。

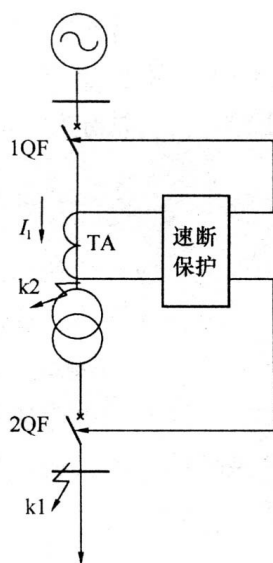


图 4-7 变压器电流速断保护单相原理接线示意图

电流速断保护与线路电流保护Ⅰ段原理相同，作为变压器主保护，动作无延时。只有利用动作电流保证保护的选择性，因此，动作电流整定按躲过变压器负荷侧母线短路时流过保护的最大短路电流，并躲过变压器空载投入时励磁涌流。显然，电流速断保护动作电流数值较大，只能保护变压器一部分绕组(高压侧)的相间短路故障。

变压器电流速断保护灵敏度按照保护安装处短路时的最小短路电流校验，规程要求 $K_{sen} \geq 2$ 。当灵敏度不满足要求时，可以改用差动保护。

二、跌落式熔断器

跌落式熔断器在短路电流通过后,装有熔丝的管子自由下落,是一种短路和过负荷保护装置。跌落式熔断器的关键部件是一只熔丝管,熔丝组件安装在熔丝管内,正常时依靠作用在熔体的拉力使熔丝管保持在合闸位置;当熔丝在短路电流作用下熔断时,熔丝管在重力作用下跌落,断开一次系统。目前跌落式熔断器安装有消弧栅,允许切断一定大小的负荷电流。

跌落式熔断器主要用作配电变压器、电容器组、短段电缆线路、架空线路分段或分支线路的短路故障保护。图 4-8 所示跌落式熔断器作为 10kV 变压器保护。

FU 为熔断器。

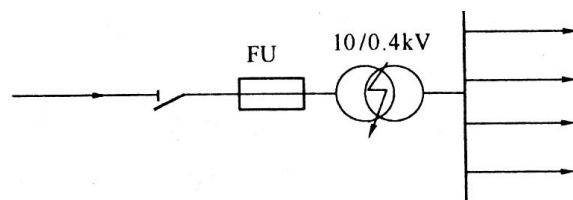


图 4-8 跌落式熔断器作为
10kV 变压器保护示意图

在使用跌落式熔断器时,应按照额定电压、额定电流和额定开断电流选择,并特别注意熔断器的下限开断电流。跌落式熔断器的下限开断电流相当于保护功能的整定值,应保证在熔断器安装处出现需要保护的最小短路电流时,熔断器能够可靠跌落,实现可靠切除短路故障的功能。

>> 第五节 后备保护及过负荷保护

一、变压器相间短路的后备保护

变压器相间短路的后备保护，反应变压器区外故障引起的变压器过电流，并作为变压器差动保护或电流速断保护和气体保护的后备保护。作为后备保护，其动作时限与相邻元件后备保护配合，按阶梯原则整定；其灵敏度按近后备和远后备两种情况校验。

根据变压器容量及短路电流水平，常用的变压器相间短路的后备保护有过电流保护、低电压起动的过电流保护、复合电压起动的过电流保护、负序过电流保护、阻抗保护等。

1、过电流保护

变压器过电流保护与线路定时限过电流保护原理相同，装设在变压器电源侧，由电流元件和时间元件构成，保护动作后切除变压器。电流元件的动作电流按躲过变压器可能出现的最大负荷电流整定。

2. 低电压起动的过电流保护

低电压起动的过电流保护由电流元件、电压元件、时间元件等构成,变压器低电压起动的过电流保护原理框图如图 4-9 所示。电流元件接在变压器电源侧电流互感器 TA 二次侧,分别反应三相电流增大时动作;电压元件接在降压变压器低压侧母线电压互感器 TV 二次侧线电压,分别反应三相线电压降低时动作。当同时有电流元件和电压元件动作时,经过与门 Y 起动时间电路 T1,延时跳开变压器两侧断路器 1QP 和 2QF。

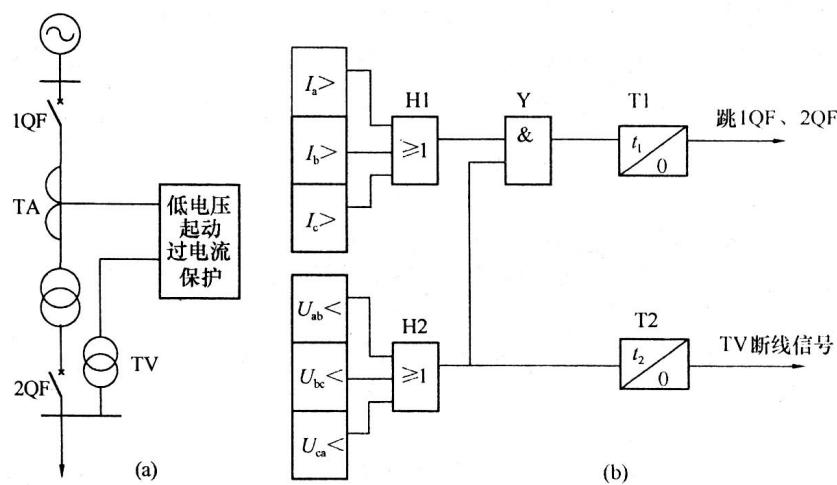


图 4-9 低电压起动的过电流保护原理框图
(a) 接线示意图; (b) 原理框图

低电压起动的过电流保护,是在定时限过电流保护的基础上增加了低电压起动条件。由于采用了低电压元件,可以保证最大负荷时保护不动作,电流元件动作电流整定可以按照躲过变压器额定电流,显然数值比定时限过电流保护的動作电流

小,因此提高了保护的灵敏度。低电压元件动作电压整定,按照躲过正常运行母线可能出现的最低工作电压,并在外部故障切除后电动机自启动过程中必须返回。

需要指出的是,如果一次主接线采用母线分段接线,作为变压器相间短路的后备保护,应该带有两段时限,以较短时限跳开分段断路器,缩小故障影响范围;以较长时限跳开变压器各侧断路器。

3.复合电压起动的过电流保护

如果将图 4-9 所示保护的三个低电压元件,改为负序电压元件和单个低电压元件,可构成复合电压起动的过电流保护。复合电压起动的过电流保护与低电压起动的过电流保护比较,可以简化保护接线,并提高不对称短路时保护的灵敏度。

二、变压器接地(零序)保护

变压器接地保护也称为变压器零序保护,用于中性点直接接地系统中,作为变压器高压侧绕组及引出线接地短路、变压器相邻元件接地短路的后备保护。根据变压器中性点接地运行方式不同,接地保护设置也有区别。

1.中性点直接接地运行的变压器接地保护

中性点直接接地运行的变压器,接地保护通常采用两段式零序电流保护,保护

原理框图如图 4-10 所示。变压器中性点通过接地刀闸 QS 接地，当变压器星形侧绕组以及连接元件发生接地短路时，零序电流流过变压器中性点，保护零序电流取自变压器中性点电流互感器二次侧。

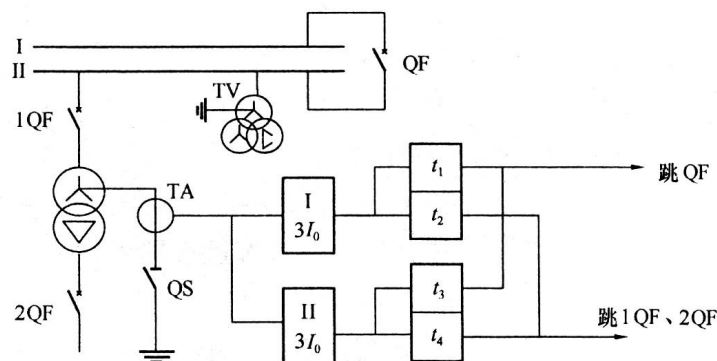


图 4-10 变压器两段式零序电流保护原理框图

两段式零序电流保护包括零序电流 I 段和零序电流 II 段，其中零序电流 I 段与相邻元件零序电流 I 段或 II 段配合整定；零序电流 II 段与相邻元件零序电流后备段配合整定。保护的每一段均设置两个时限，其中以较短时限 t_1 或 t_3 跳开母联断路器 QF，以缩小故障影响范围；以较长时限 t_2 或 t_4 跳开变压器两侧断路器 1QF 和 2QF。例如，如果接地故障发生在母线 I 连接的元件上，当 QF 跳闸后，故障已经被隔离，保护返回，不再切除变压器，母线 II 连接部分可以继续运行。显然保护动作时限的配合关系应该是 $t_1 = t_{II \cdot \max} + \Delta t$ ， $t_2 = t_1 + \Delta t$ ， $t_3 = t_{III \cdot \max} + \Delta t$ ， $t_4 = t_3 + \Delta t$ 其中 $t_{II \cdot \max}$ 是相邻元件零序电流 II 段的最大动作时限， $t_{III \cdot \max}$ 一是相邻元件零序电流后

备段的最大动作时限。

在微机保护中，零序电流还可以自产获得，即利用输入装置的三相电流求和得到 $3\dot{I}_0$ 。

2．中性点可能接地或不接地运行的变压器接地保护

中性点可能接地或不接地运行的变压器接地保护由零序过电流保护和零序过电压保护构成。其中零序过电流保护仍然设置为两段式零序电流保护，作为当变压器中性点接地运行时的保护方式，零序过电压保护作为变压器中性点不接地运行时的保护方式。例如，中性点有放电间隙的分级绝缘变压器接地保护原理框图如图 4-11 所示，两段式零序电流保护部分可参见图 4-10。

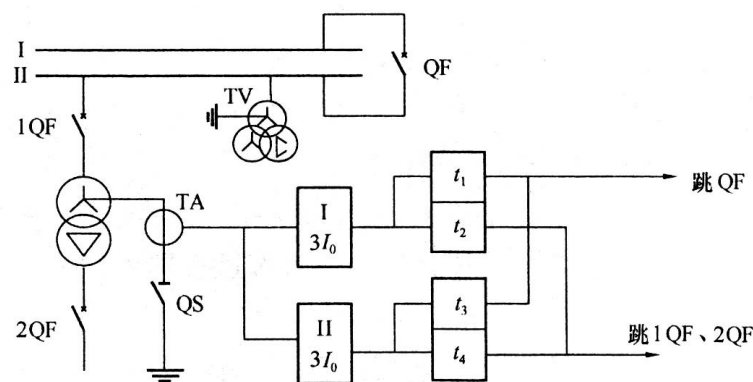


图 4-10 变压器两段式零序电流保护原理框图

图中零序过电压保护由零序电压元件和时间元件组成，其动作电压整定原则为躲过系统中有接地中性点情况下发生单相接地短路时，保护安装处可能出现的最

大零序电压。其动作时限不需与其他保护配合，只考虑躲过接地故障的暂态过程即可，一般整定为 $0.3 \sim 0.5\text{s}$ 。

如果变压器中性点接地运行，QS 合闸，发生单相接地短路时，中性点出现零序电流，两段式零序电流保护起动，动作情况如图 4-10。如果变压器中性点不接地运行，QS 打开，当发生单相接地短路时，若放电间隙击穿，则间隙零序电流保护动作，瞬时经或门出口；若放电间隙未击穿，当系统内所有中性点接地运行的变压器都退出后，零序过电压保护动作，经或门出口。

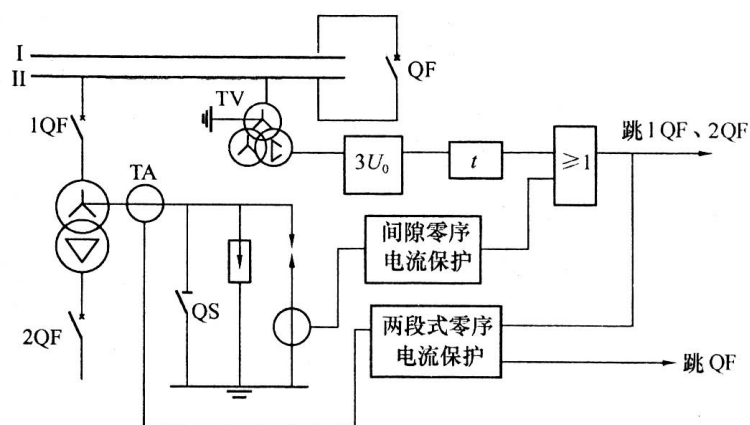


图 4-11 中性点有放电间隙的分级绝缘变压器接地保护原理框图

三、过负荷保护

变压器过负荷通常是三相对称的，所以过负荷保护只接一相电流，经过延时发出信号。对于双绕组变压器，过负荷保护装在电源侧。对于单侧电源三绕组降压变

压器，如果三侧容量相同，过负荷保护装在电源侧；如果三侧容量不相同，过负荷保护分别装在电源侧和容量较小一侧。对于双侧电源三绕组降压变压器或联络变压器，过负荷保护分别装在三侧。

第五章

高 压 电 动 机 保 护

高压电动机指异步电动机，本章仅涉及高压异步电动机保护的相关内容。首先介绍高压电动机故障及特点、异常运行状态，引出相应配置的继电保护装置，然后介绍具体保护的构成、实现原理、特点等。

第六章

微 机 保 护 及 变 电 站 自 动 化

本章简单介绍微机保护和变电站自动化的基本知识，目的是使读者对微机保护

变电站自动化建立一个初步的概念，掌握微机保护的特点构成及软硬件结构和关

系，了解变电站自动化的概念和基本功能、特点和类型。

>> 第一节 微机保护

微机保护是指将微型机、微控制器等器件作为核心部件构成的继电保护。

一、微机保护的特点及构成

1. 微机保护的特点

(1)维护调试方便。在微机保护应用之前，布线逻辑的保护装置，调试工作量很大，尤其是一些复杂保护，调试一套保护常常需要一周，甚至更长时间。因为布线逻辑保护的所有功能，都是由相应的元件和连线实现的，为了确认保护装置的完好，需要通过模拟试验校核所有功能。而微机保护的各种复杂功能是由软件(程序)实现的，如果经检查，程序与设计时完全一样，就相当于布线逻辑的保护装置的各种功能已被检查完毕。

(2)可靠性高。微型机、微控制器等在程序指挥下，具有极强的综合分析和综合

判断能力。所以,微机保护可以实现常规保护很难办到的自动纠错,实现自动识别和排除干扰,防止由于干扰造成的误动作。同时,微机保护的自诊断功能,能够自动检测出本身硬件的异常,配合多重化有效防止拒动,因此可靠性很高。目前,国内设计与制造的微机保护,均按照国际标准的电磁兼容试验考核,进一步保证了装置的可靠性。

(3)易于获得附加功能。采用微机保护,如果配置一台打印机,或者其他显示设备,或通过网络连接到后台计算机监控系统,可以在电力系统发生故障后提供多种信息。例如,保护动作时间和各部分的动作顺序记录、故障类型和相别及故障前后的电压和电流波形记录等,对于线路保护,还可以提供故障点的位置(测距功能)这有助于运行部门对事故的分析 and 处理。

(4)灵活性大。由于微机保护的特性和功能主要由软件决定,而不同原理的保护可以采用通用硬件。因此,只要改变软件就可以改变保护的特性和功能,从而可以灵活地适应电力系统运行方式的变化和其他要求。

(5)保护性能得到很好改善。由于微型机、微控制器的应用,很多原有型式的继电保护中存在的技术问题,可以找到新的解决办法。例如,变压器差动保护如何鉴

别励磁涌流与内部故障等问题 ,都已提出了许多新的原理和解决办法。可以说 ,只要找出正常与故障的区别特征 ,微机保护基本上都能予以实现。

2 . 微机保护的基本构成

微机保护需要有信号测量、逻辑判断、出口执行等布线逻辑保护具有的功能 ,并应具备友好的人机接口功能 ,这些功能是通过硬件装置和执行程序完成的。因此微机保护的基本构成包括硬件和软件(程序)。

二、微机保护的硬件结构

典型的微机保护硬件结构示意框图如图 6-1 所示 ,由数据采集(模拟量输入)系统、开关量(数字量)输入 / 输出系统、微机主系统组成。

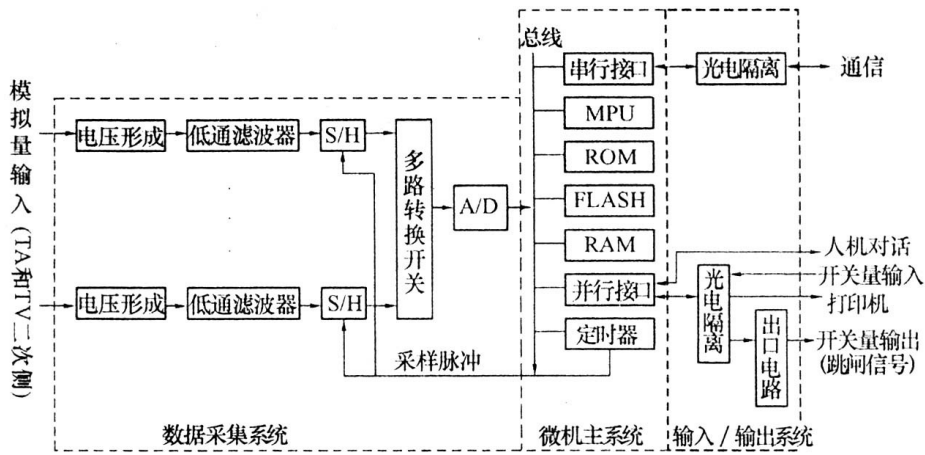


图 6-1 典型的微机保护硬件结构示意框图

(1)数据采集(模拟量输入)系统。数据采集系统(或称模拟量输入系统)包括电压形成、模拟低通滤波、采样保持(S / H)、多路转换(MPX)、模数转换(A / D)等功能

模块，完成将模拟量准确地转换为微型机能够识别的数字量。

同布线逻辑保护相同，微机保护输入反应电力系统运行的模拟量电流和电压信号，而微机主系统只能处理数字信号，因此需要将模拟量转换成数字量，即通常所说的模数变换(A / D)。

(2)开关量(数字量)输入/输出系统。在保护工作过程中，需要检测大量的开关量例如断路器和隔离开关的辅助触点、外部闭锁信号、断路器气压继电器触点等，这些触点的位置反应被保护对象的运行状态，参与实现保护功能；保护动作命令(跳闸、信号)是通过开关量输出接口的送出，实现对断路器、信号灯、音响等的控制。

开关量输入/输出系统由微型机的并行接口、光电隔离器件、有触点的中间继电器等组成，完成各种保护的出口跳闸、信号、外部触点输入、人机对话、通信等功能

在微机保护运行中，有时需要接受工作人员的干预，例如，整定值的输入和修改、对微机主系统的检查等，这些工作通过人机对话实现。

(3)微机主系统。微机主系统是微机保护的核心，包括微处理器(MPU)、只读存储器(ROM)或闪存内存单元(FLASH)、随机存取存储器(RAM)、定时器 / 计数器、并行接口和串行接口等。微机执行编制好的程序，对数据采集系统输入到 RAM 区

的原始数据进行分析、处理，完成各种继电保护的测量、逻辑和控制功能。

微机主系统通过 A/D 获得输入电压、电流的模拟量的过程称为采样，完成输入量到离散量的转换。采样通过采样中断完成，即在保护中设置一个定时器中断，中断时间到时，微处理器执行采样过程，启动 A/D 转换、读取 A/D 转换结果。采样中断的时间间隔

称为采样间隔 T_s ，则 $f_s = 1/T_s$ 为采样频率。采样频率的选择是微机保护硬件设计中的关键问题之一，采样频率越高，越能真实反映被采样信号，但要求微处理器的计算速度越高；相反，采样频率过低，将不能真实地反映被测信号。因此，要真实反映被采样信号，采样频率必须满足采样定理要求，即 $f_s > 2f_{\max}$ ($f_{\max}$ 为被采样信号中所含最高频率成分的频率)，工程一般取 $f_s = (2.5 \sim 3)f_{\max}$ 。

另外，微机保护工作还需要电源，电源工作的可靠性直接影响保护装置的可靠性。微机保护的电源要求多电压等级、且具有良好的抗干扰能力。

根据微机保护发展和应用情况分析，微机保护可以采用通用硬件平台方式。通用硬件平台应满足以下基本要求；

1)高可靠性。可靠性和抗干扰能力一直是微机保护研究的重要内容之一，涉及

硬件和软件多个方面。

2)开放性。硬件平台对于未来硬件的升级应具有开放性 ,随着硬件技术的发展 ,能够容易地对硬件进行局部或整体升级。而不影响保护对外接口 ,从而始终保证微机保护硬件性能的先进性。

3)通用性。不同类型的保护装置应尽可能具有相同的硬件平台 ,减少备品备件数量 ,减少现场调试时间 ,缩短产品开发周期和减少开发工作量。

4)灵活性和可扩展性。硬件平台应适应不同保护装置的需求 ,对于现场的不同保护应用和对资源的不同需求 ,可以方便地增减相应模块 ,完全不必对硬件重新设计。

5)模块化。模块化硬件结构能够充分满足上述硬件平台的要求和特点 ,装置的硬件数量总体上减少 ,相互通用。

6)与新型互感器接口。硬件平台设计应考虑与新型光学互感器和电子式互感器的方便连接。

三、微机保护的软件功能

各种不同功能、不同原理的微机保护 ,主要区别体现在软件上。因此 ,实现保护功能的关键 ,是将微机保护的算法与程序结合并合理安排程序结构 ,形成微机保护

软件。

1.保护算法

微机保护装置根据 A / D 转换提供的输入模拟量的采样数据进行分析、计算和判断，以实现各种继电保护功能的方法称为算法。按照算法的目标可以分为两大类：

(1)根据输入模拟量的采样值，通过一定的数学式或方程式计算出保护所反映的量值，然后与定值比较。这个过程相当于电磁式继电保护的某些复杂功能的继电器，例如为实现距离保护，可以根据电压、电流的采样值计算出阻抗，然后同给定的阻抗动作区比较。这类算法利用了微机能够进行数值计算的特点，实际中能够实现许多布线逻辑保护无法实现的功能。

(2)直接模仿继电保护的实现原理，根据保护的动作原理直接判断故障是否发生在保护区内，而不计算出实际模拟量的具体数值。这个过程相当于电磁式继电保护的一套保护。同样以距离保护为例，可以直接模仿距离保护的实现方法，根据动作方程判断故障是否在动作区内，而不计算出具体的阻抗值。这类算法计算工作量略有减小，通过计算机特有的数字处理和逻辑运算功能，使某些保护的性能

明显提高。

2.保护软件构成及功能

在各种类型的继电保护中，电流保护是最简单的一种保护，也最容易理解。因

此，以下三段式电流保护为例，说明保护软件构成及功能。

三段式电流保护流程图如衅 6-2 所示，其中不包括人机接口等功能。

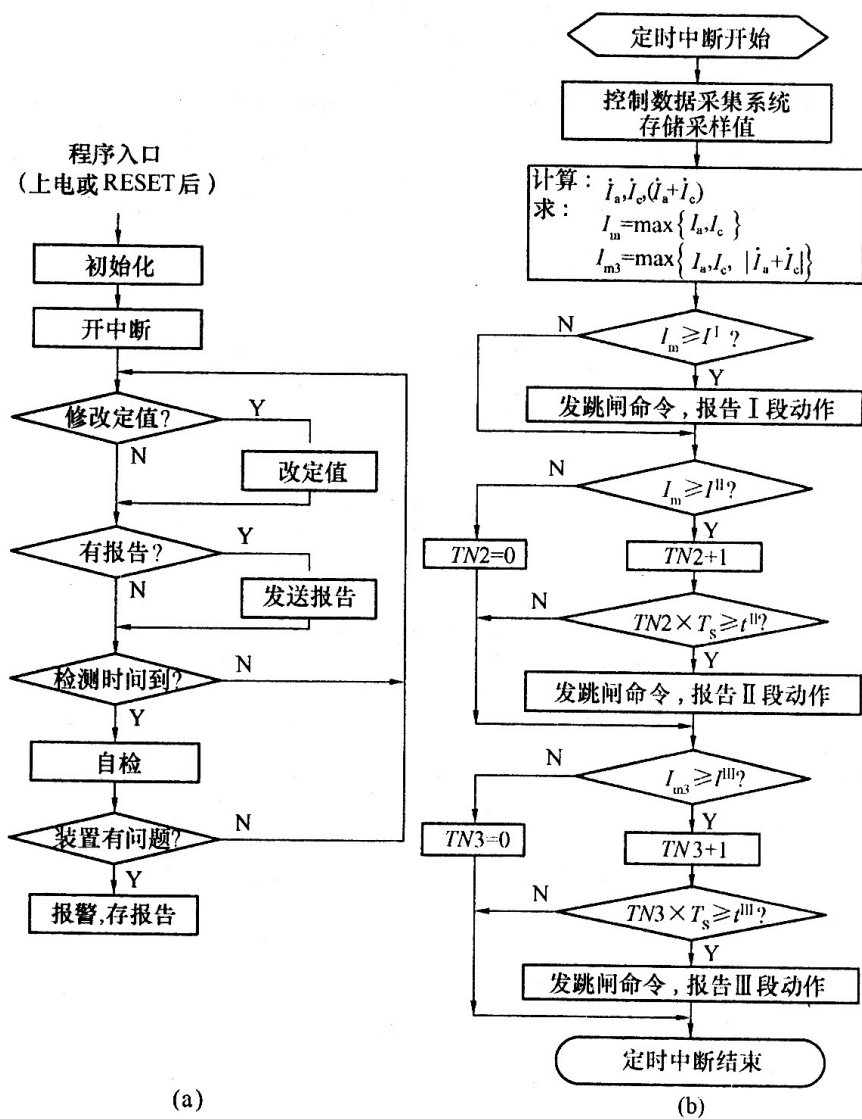


图 6-2 三段式电流保护流程图
(a) 系统程序; (b) 定时中断服务程序

(1)系统程序，程序入口执行初始化模块，包括并行接口初始化、开关量状态保存、软硬件全面自检、标志清零、数据采集系统初始化(数据存储指针设置、采样间隔设计等)，

在开中断后，每间隔一个 TS(数据采集系统的采样插隔)，定时器发出一个采样

脉冲,产生中断请求,于是,微型机暂停系统程序流程,转入执行一次中断服务程序,以保证对输入模拟量的采集,并执行一次保护的相关功能,计算判断保护是否应该动作。

(2)定时中断服务程序。定时中断服务程序的功能包括,控制数据采集系统完成数据采集、计算保护功能中用到的测量值、将计算值与整定值比较判断、时钟计时并实现保护动作时限、保护逻辑判断发出保护出口命令。

可见,实际上微型机是交替执行系统程序和中断服务程序,从而实现保护功能以及微机保护装置本身的自检、人机联系功能。

>> 第二节 变电站自动化

一、变电站自动化系统的基本功能

变电站自动化是将变电站中的二次设备。包括测量仪表、信号系统、继电保护、自动装置和远动装置等,经过功能的组合和优化设计,利用先进的计算机技术、现

代电子技术、通信技术和信号处理技术 ,集成为一体化的自动化系统 ,实现对全变电站的主要设备和输配电线路的自动监视和测量、自动控制和微机保护 , 以及与调度通信等综合的自动化功能。

变电站自动化是多专业性技术的综合应用 ,国际大电网会议 WG 工作组在研究变电站的数据流时 ,分析了变电站自动化需要完成的功能大概有 63 种 ,归纳可分为以下几个功能组 :

- 1)控制、监视功能;
- 2)自动控制功能 ;
- 3)测量表计功能 ;
- 4)继电保护功能 ;
- 5)与继电保护有关的功能;
- 6)接口功能 ;
- 7)系统功能。

结合我国情况 , 变电站自动化系统的基本功能体现如下。

1.监控子系统功能

在变电站自动化系统中 , 监控子系统完成常规的测量和控制系统的任务 , 取

代指针仪表显示}取代常规的告警、报警、中央信号、光字牌等信号 ;取代控制屏操

作 ; 取代常规的远动装置等。其主要功能应有 :

(1)数据采集 , 包括模拟量、开关量、电能量的采集 ;

(2)事件顺序记录(SOE) , 包括断路器跳合闸、保护动作顺序记录 ;

(3)故障记录、故障录波和测距 ;

(4)操作控制 , 包括对断路器和隔离开关(如果允许电动操作)、变压器分接头位置、电容器投切等的就地和远方操作控制 ;

(5)安全监视 , 例如电流、电压、频率、主变压器温度等的越限监视和越限报警 , 越限时间和越限值显示 , 装置工作正常监视 ;

(6)人机联系、打印 , 包括显示运行状态信息、参数、记录等 , 打印记录。

2 微机保护子系统功能

在变电站自动化系统中 , 微机保护子系统应包括全变电站主要设备和连接线路的全套保护 :

1)线路的主保护和后备保护;

2)主变压器的主保护和后备保护 ;

3)无功补偿电容器组的保护 ;

4)母线保护；

5)非直接接地系统的单相接地选线。

微机保护是变电站自动化系统的关键环节，其功能和可靠性在很大程度上影响了整个自动化系统的性能。因此，要求微机保护子系统各保护单元，除了具有独立完整的保护功能外，还必须具备某些附加功能，例如：保护功能模块独立，工作不受监控系统和其他子系统影响；故障记录功能；统一时钟对时功能；储存多种保护定值，并能够当地显示、多处观察和授权修改定值；保护管理与通信功能；故障自诊断、闭锁和恢复功能。

3.自动装置子系统功能

自动装置对变电站的安全、可靠运行起着重要作用。是其他子系统无法取代的。

在变电站自动化系统中，微机型自动装置取代常规自动装置，就地实现控制。重要的自动装置有备用电源自动投入控制(其他自动装置设在系统综合功能中)，其作用和工作原理在下一章介绍。

4.系统综合功能

在变电站自动化系统中，系统综合功能指综合利用监控系统的监测功能，通过

信息共享实现的功能。例如电压一无功综合控制、按频率降低自动减负荷、按电压降低自动减负荷、变压器经济运行控制等。

- (1) 电压一无功综合控制。电压质量是衡量电能的主要质量指标之一。电压质量对电网稳定、电力设备安全运行以及工农业生产具有重大影响。无功是影响电压质量的一个重要因素，而实现无功的分层、分区就地平衡是降低网损的重要手段。VQC装置主要的功能就是保证稳定的电压品质和较大的功率因数。它通过调节变压器的档位以及电容器的投切状态来实现。

电压一无功综合控制的目的是保证系统安全运行、提高供电电压质量。对电压和无功的合理调节，不仅可以提高供电电压质量，保证电压合格率，而且还可以降低网损，提高电网运行的经济性。

运行经验和研究结果表明，造成系统电压下降的主要原因是系统的无功功率不足或无功功率分配不合理，因此，变电站的主要调压手段是调节有载调压变压器分接头位置和控制无功功率补偿电容器。有载调压变压器可以在带负荷情况下切换分接头位置，可以改变变压器变比，起到调节二次侧电压的作用；控制无功补偿电容器的投切，可以改变电网中无功功率的数值和分布，减少网损和电压损耗，改善用户侧电压质量。变电站有载调压变压器和补偿电容器示意图如图 6-3 所示

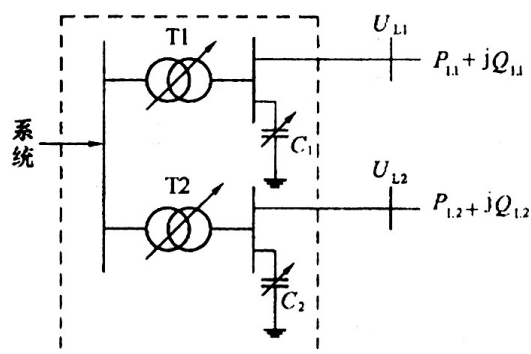


图 6-3 变电站有载调压变压器和补偿电容器示意图

(2)按频率降低自动减负荷和按电压降低自动减负荷。

按频率降低自动减负荷、按电压降低自动减负荷的目的是保证系统安全运行，

作用和工作原理在下一章介绍。

(3)变压器经济运行控制(略)。

5.远动和通信功能

变电站自动化系统包含若干子系统，在实现变电站自动化时，必须将各个子系

统以及单元控制装置集成为一体，同时变电站自动化系统还应实现与上级调度部

门的通信。因此，需要远动和通信功能，通信方式包括变电站自动化系统内部的现

场级通信、变电站自动化系统与上级调度通信。

变电站自动化系统内部的现场级通信，主要解决监控主机(上位机)与各子系统、

各子系统之间的数据通信和信息交换。可以采用并行通信、串行通信、局域网、现

场总线等多种通信方式。

变电站自动化系统与上级调度通信，主要解决变电站自动化系统将各种信息和记录等远传到调度，同时接收调度下达的各种操作、控制、修改定值等命令。常用有问答、循环等通信方式。

二、变电站自动化的特点

变电站自动化综合应用了计算机硬件和软件技术、数字通信技术，根据以上变电站自动化系统的基本功能，可概括变电站自动化的特点如下。

1.功能综合化

变电站自动化将传统变电站的监控、保护、自动控制等功能集成，综合了变电站内除一次设备和交、直流电源以外的全部二次系统，统，并通过信息交换和共享实现了某些综合控制功能，使变电站的监控监控、保护和控制整体功能明显提高。

2.系统结构微机化、网络化

变电站自动化系统内各子系统及各功能模块，均由不同配置的单片单片机或微型机系统构成，通过网络、总线将各子系统连接起来，实现实现变电站全部二次系统功能的微机化以及结构的网络化。

3.测量显示数字化

变电站自动化系统的微机化，使反应一次系统运行状态的信息全部数字化，彻底改变了原有的测量、显示手段。以数据采集系统代替传统的测量仪表和仪器，显示器代替传统的指针表盘，因而克服了模拟测量装置和显示的误差，提高了准确度，并且数字显示直观、明了，同时打印机代替了传统的人工抄表记录、报表。

4.操作监视屏幕化

变电站自动化系统，用彩色屏幕显示器代替了传统的庞大的模拟屏和诸多操作屏。操作人员通过显示器可以监视全变电站的实时运行情况；操作人员面对显示器，利用鼠标或键盘就可以完成断路器的跳合闸操作，中央信号全部为屏幕画面闪烁及文字或语音提示。

5.运行营理智能化

变电站运行管理智能化是通过一系列软件实现的，即通过计算机程序运行实现变电站的管理功能。例如实现变电运行班组管理、继电保护和自动装置定值管理、变电站故障诊断及故障恢复、变电站安全运行管理、变电站运行设备管理、变电站运行方式管理等。另外通过变电站仿真培训系统，操作人员可进行日常操作和事故处理等模拟训练。以上对提高变电站的运行管理水平和安全水平都有十分重要

的意义。

三、变电站自动化的类型

目前运行的变电站自动化按系统结构可分为集中式、分布式和分散分布式三种类型。

1.集中式变电站自动化系统结构

集中式指，集中采集信息、集中运算处理，微机保护与微机监控集成一体，实现对整个变电站设备的保护和监控。集中式变电站自动化系统结构框图如图 6-4 所示。

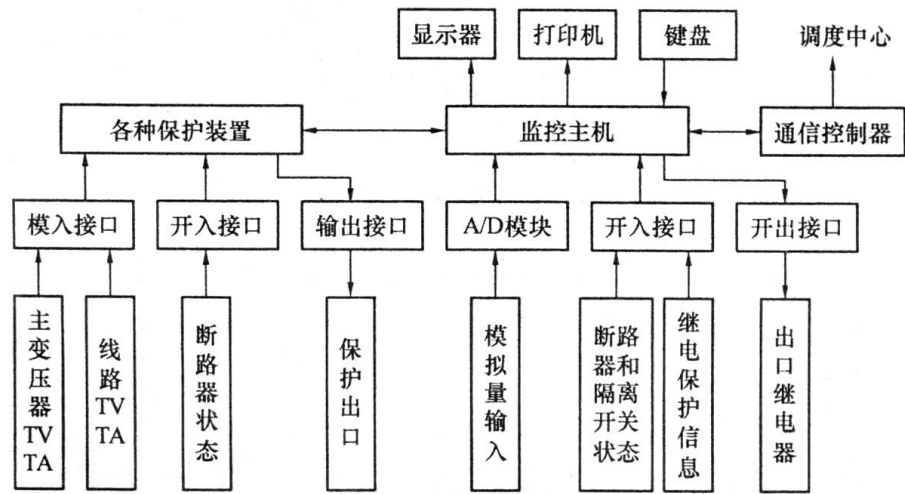


图 6-4 集中式变电站自动化系统结构框图

集中式变电站自动化系统通常为以监控主机为中心的放射形网络结构，但多数微机保护功能、微机监控与调度通信两部分由分别的微机系统完成。特点是结

构简单、价格低 ,但容易产生数据传输的瓶颈问题 ,扩展性和维护性较差 ,一般用于小型变电站。

2.分布式变电站自动化系统结构

分布式指 ,按功能模块设计 ,采用主从 CPU 协同工作方式 ,各功能模块之间无通信 ,而是监控主机与各功能子系统通信。集中组屏的分布式变电站自动化系统结构框图如图 6-5 所示 ,图中“总控”为通信控制器或通信扩展装置 ,总控 A 与总控 B 互为备用 ,切换使用。

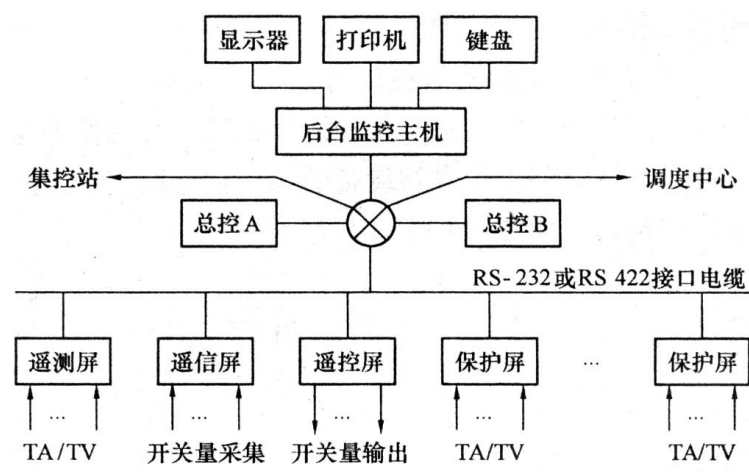


图 6-5 集中组屏的分布式变电站自动化系统结构框图

分布式结构的优点是系统扩展方便 ,局部故障不影响其他功能模块工作 ,数据传输的瓶颈问题得到解决 ,提高了系统实时性。但由于按功能组屏 ,屏内有不同间隔的装置 ,给维护带来不便 ,且连接电缆繁杂。

3.分散分布式变电站自动化系统

分散分布式变电站自动化系统，根据现场设备的分散地点分别安装现场单元，现场单元可以是微机保护和监控功能二合一的装置，也可以是微机保护和监控部分各自独立。分散分布式变电站自动化系统结构框图如图 6-6 所示，在各间隔(开关柜)按功能面向对象一体化组屏，独立完成保护和监控功能；在控制室或保护室按功能分别组屏。

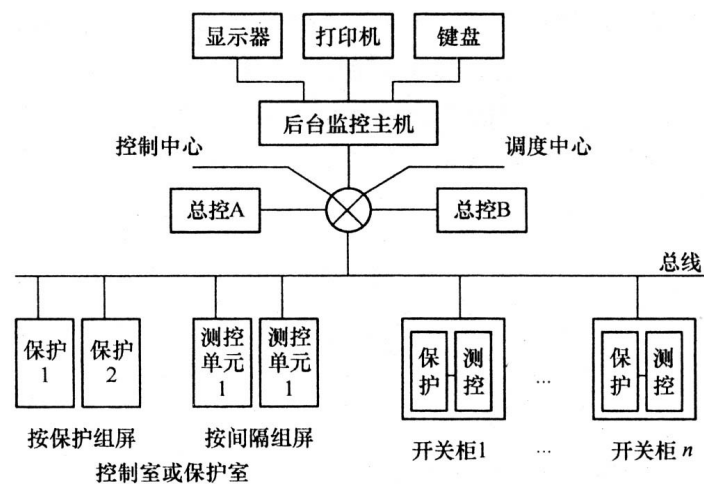


图 6-6 分散分布式变电站自动化系统结构框图

分散分布式结构的优点是明显压缩了二次设备及繁杂的二次电缆、节省占地，系统配置灵活、容易扩展，检修维护方便，经济效益好。适用于各种电压等级的变电站。

第七章

自动装置

本章介绍的自动装置都对电力系统的安全运行起重要作用，但是各装置之间相互独立，在不同的情况下发挥作用。主要介绍备用电源自动投入装置及自动重合闸装置等。

>> 第一节 备用电源自动投入装置

一、备用电源自动投入的作用

备用电源自动投入装置，是当工作电源因故障自动跳闸后，自动迅速地将备用电源投入的一种自动装置，简称备自投装置。备用电源自动投入装置动作时，通过合备用线路断路器或备用变压器断路器实现备用电源的投入。

在变电站，备用电源自动投入装置保证在工作电源故障退出后能够继续获得电

源，使变电站的所用电正常供电，显然有效地提高了供电的可靠性。

二、对备用电源自动投入装置的基本要求

针对一次系统的接线，备自投的一次接线方案不同，但都必须满足一些基本要求。参照有关规程，对备自投装置的基本要求可归纳如下。

(1)应保证工作电源断开后，备用电源才能投入。这一要求的目的是防止将备用电源投入到故障上，造成备自投装置动作失败，甚至扩大故障，加重设备损坏。

(2)工作母线不论任何原因电压消失，备用电源均应投入。工作母线失压的原因包括供电电源故障、供电变压器故障、母线故障、出线故障没有断开、断路器误跳闸等，这些情况造成工作母线失压时，备自投装置均应动作。但当备用电源无电压时备自投装置不应动作。

(3)备用电源只舶投入一次。备自投装置动作，如果合闸于持续性故障，则备用电源或备用设备的继电保护会加速将备用电源或备用设备断开。此时若再投入备用电源，不但不会成功，而且使备用电源或备用设备、系统再次遭受故障冲击，可能造成扩大事故、损坏设备等严重后果。

(4)备用电源投于故障时，继电保护应加速动作。

(5)电压互感器二次断线时装置不应动作。工作母线失压时备自投装置均应动

作,而备自投装置是通过电压互感器测量母线电压的。当电压互感器二次断线时,备自投装置感受为母线失压,但此时实际母线电压正常,因此备自投装置不应动作。

另外,备自投装置动作时间应该以负荷停电时间尽可能短为原则,以减少电动机的自启动时间。但故障点应有一定的去游离和恢复绝缘时间,以保证装置的动作成功。

三、备用电源自动投入的一次接线方案

备用电源自动投入的一次接线方案型式多样,按照备用方式可以分为明备用和暗备用。明备用指正常情况下有明显断开的备用电源或备用设备或备用线路;暗备用指正常情况下没有断开的备用电源或备用设备,而是工作在分段母线状态,靠分段断路器取得相互备用。

根据我国变电站一次主接线情况,备用电源自动投入的主要一次接线方案有如下几种。

1. 低压母线分段备自投接线

低压母线分段备自投一次接线如图 7-1 所示。正常运行时,母联断路器 3QF

断开,断路器 1QF、2QF 闭合,母线分段运行,1 号电源和 2 号电源互为备用,是暗备用方式。可以称 1 号电源为 I 段母线的主供电源、II 段母线的备用电源;2 号电源为 II 段母线的主供电源、I 段母线的备用电源。因此,备自投装置的动作过程可以描述为:主供电源失电或供电变压器故障跳闸时,跳开主供电源断路器,在确认断路器跳开后,判断备用电源正常运行,闭合分段断路器。具体可以分为以下两种情况;

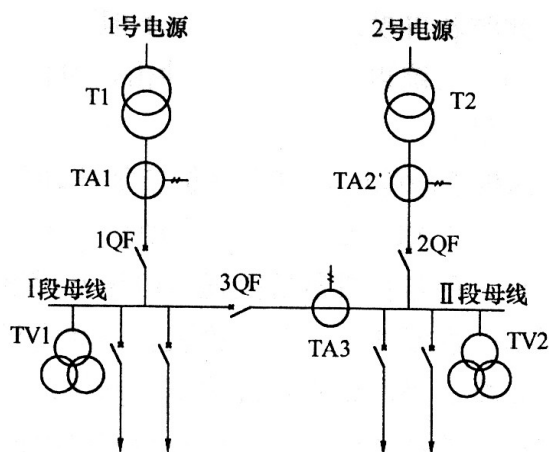


图 7-1 低压母线分段备自投一次接线

工段母线任何原因失电(如 1 号电源失电或变压器 T1 故障)时,跳开 1QF,确认进线无电流,再判断 II 段母线正常运行时闭合 3QF。

II 段母线任何原因失电(如 2 号电源失电或变压器 T2 故障)时,跳开 2QF,确认进线无电流,再判断 I 段母线正常运行时闭合 3QF。

2.变压器备自投接线

变压器备自投一次接线如图 7-2 所示。

图 7-2(a)中 T1 和 T2 为工作变压器、T0 为备用变压器，是明备用方式。正常运行时，I 段母线和 II 段母线分别通过变压器 T1 和 T2 获得电源，即 1QF 和 2QF 合闸，3QF 和 4QF 合闸，5QF、6QF 和 7QF 断开；当 I 段(或 II 段)母线任何原因失电时，断路器 2QF 和 1QF(或 4QF 和 3QF)跳闸，若母线进线无流、备用母线有电压，5QF、6QF(或 5QF、7QF)合闸，投入备用变压器 T0，恢复对 I 段母线(或 II 段母线)负荷的供电。

图 7-2(b)中 T1 为工作变压器、T2 为备用变压器，是明备用方式。正常运行时，通过工作变压器 T1 给负荷母线供电；当 T1 故障退出后，投入备用变压器 T2。

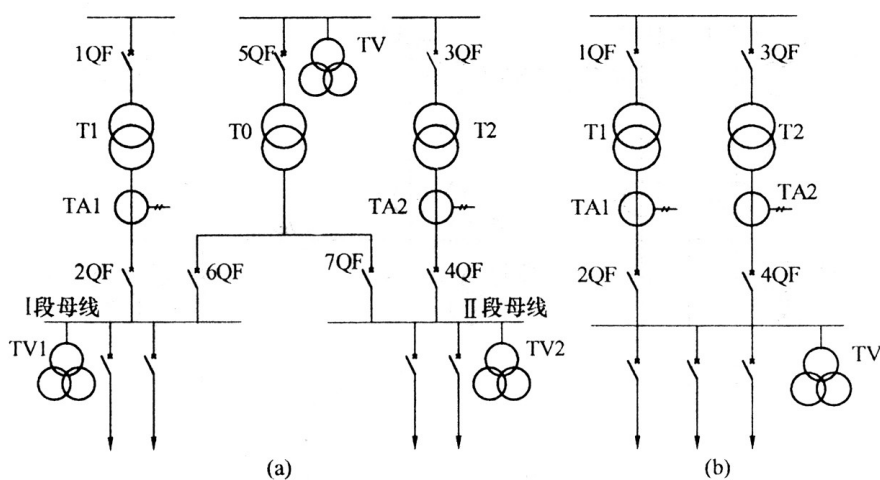


图 7-2 变压器备自投一次接线

(a) T0 同时为 T1 和 T2 的备用；(b) T2 为 T1 的备用

3. 进线备自投接线

进线备自投一次接线如图 7-3 所示。

图 7-3(a)为单母线不分段接线，断路器 1QF 和 2QF 一个合闸(作为工作线路)，另一个断开(作为备用线路)，显然是明备用方式。例如线路 1 工作、线路 2 备用时，则 1QF 处于合闸状态、2QF 处于断开状态。当母线因各种原因失压时，1QF 跳开，检测工作线路无电流、备用线路有电压，则合闸 2QF，恢复对母线连接负荷供电。

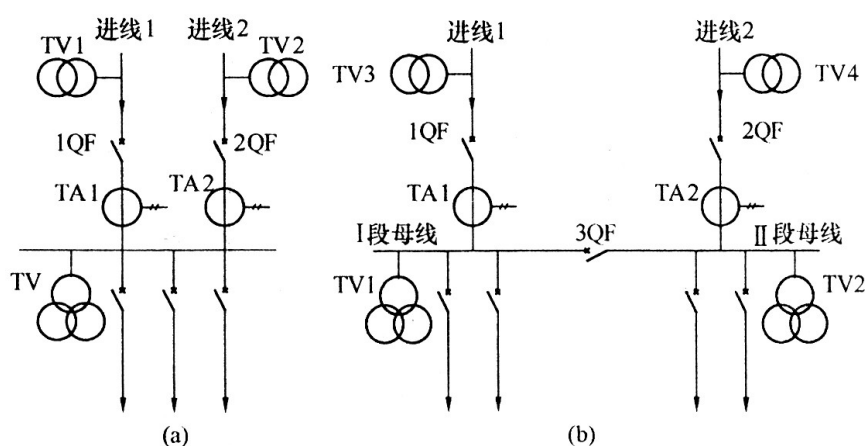


图 7-3 进线备自投一次接线
(a) 单母线不分段；(b) 母线分段

图 7-3(b)为母线分段接线，有三种运行方式。方式一，线路 I 工作带 I 段和 II 段母线负荷，1QF 和 3QF 合闸状态，线路 2 备用、2QF 断开状态，是明备用方式；方式二，线路 2 工作带 I 段和 II 段母线负荷，2QF 和 3QF 合闸状态，线路 1 备用、

1QF 断开状态 ,是明备用方式 ;方式三 ,线路 1 和线路 2 都工作 ,分别带 I 段和II段
母线负荷 ,IQF 和 2QF 合闸状态、3QF 断开状态 ,即母线工作在分段状态 ,是暗
备用方式 ,当任一母线失去电源时 ,通过合闸分段断路器从另一供电线路取得电
源。

四、备用电源自动投入逻辑

以图 7-3(b)母线分段进线备自投一次接线为例 ,针对方式三说明微机型备用电源自动投入部分逻辑。

如图 7-4 所示 ,图(a)为备自投就绪逻辑 ,“备自投充电标志”表示装置就绪 ,允许
起动自投 ;图(b)为闭锁逻辑 ,当“清备自投充电标志”后则不允许起动自投 ;图(c)
为失去进线 1(进线 2)电源 ,由进线 2(进线 1)带全部负荷的自动投入逻辑。

对于其他一次系统接线和运行方式的备用电源自动投入逻辑 ,可参照实现。

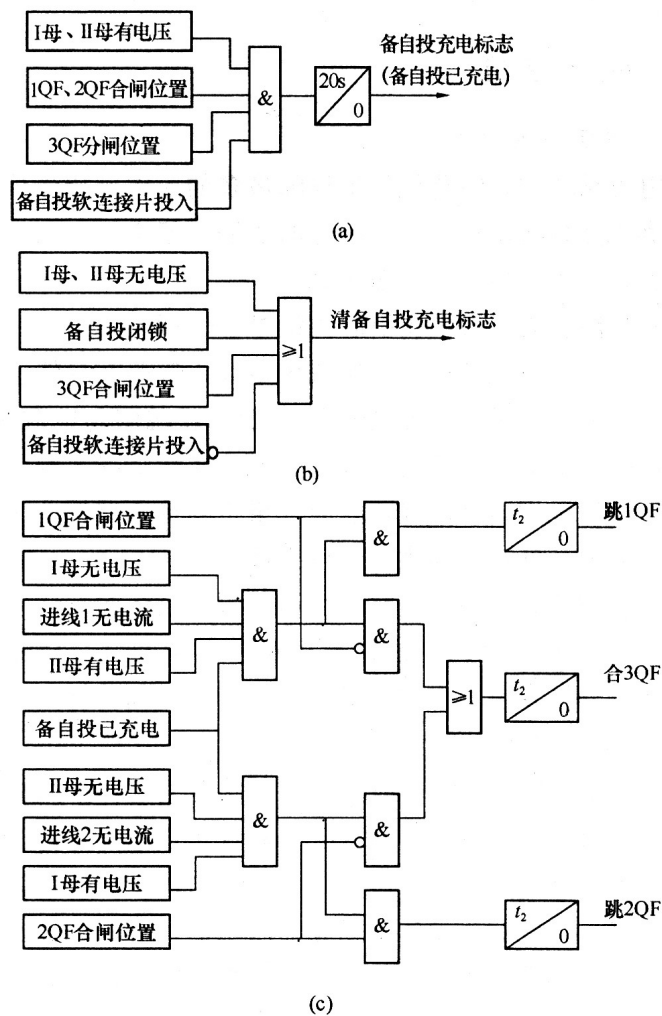


图 7-4 备用电源自动投入逻辑
(a) 备自投就绪；(b) 备自投闭锁；(c) 进线退出投 3QF

>> 第二节 自动重合闸及其他自动装置

一、自动重合闸

1. 自动重合闸的作用

在电力系统中，线路是发生故障最多的元件，故障分为瞬时性故障和永久性故障两种。运行经验表明，架空线路故障大多数为瞬时性的，永久性故障一般不到

10%。

瞬时故障有雷击过电压引起的绝缘子表面闪络、大风引起短时碰线、线路对树枝放电、鸟害或风筝线索等落在导线上引起短路等。对瞬时性故障,当故障线路由断路器跳闸与电源断开后,故障点经过去游离,电弧可以熄灭,绝大多数情况下绝缘可以自动恢复,故障随即自动消除,这时如果重新使断路器合闸,往往能够恢复供电,从而提高供电的可靠性。

永久性故障有绝缘子击穿或损坏、线路倒杆或断线等引起的故障。对永久性故障,即使故障线路与电源断开,故障仍然存在,如果重新使断路器合闸,继电保护会再次动作将已合闸的断路器再次跳开,供电不能得到恢复。

线路上发生瞬时性故障时,重合断路器的工作如果由运行人员手动操作进行,则停电时间太长,降低了供电的可靠性和重合闸的成功率,因此在电力系统中广泛采用自动重合闸装置。线路上发生故障,继电保护动作使断路器跳闸后,使断路器自动合闸的装置称为自动重合闸装置,实际上,自动重合闸装置是将非正常操作断开的断路器按需要自动重新合闸的一种自动装置。

自动重合闸成功次数除以重合闸应该动作的总次数的百分数为重合闸成功率。

运行统计资料表明，线路重合闸成功率很高，约在 60%~90%。

线路采用自动重合闸装置后，其作用可归纳如下：

- 1)发生瞬时故障时自动恢复正常供电，提高供电可靠性；
- 2)弥补继电保护选择性不足，纠正各种情况造成的断路器的误跳闸；
- 3)与继电保护配合，在很多情况下能够加速切除故障；
- 4)对双侧电源供电的线路，提高并列运行的稳定性。

但是，当断路器重合闸于永久性故障时，故障电流再次出现，继电保护再次动作

跳开断路器切除故障，这一过程会带来一些不良影响，主要有：

- 1)使电力系统以及一些电气设备再次受到故障冲击；
- 2)断路器负担加重，在很短时间内两次切断短路电流。

2. 对自动重合闸装置的基本要求

为了使自动重合闸装置有效地发挥作用，必须满足一定的基本要求。参照有关规程，自动重合闸装置必须满足如下基本要求。

- (1)自动重合闸按照控制开关位置与断路器位置不对应的原理起动，即控制开关在合闸后位置，而断路器实际在断开位置时起动自动重合闸，并以继电保护动作起动为辅。此时，断路器是非正常操作断开。
-

(2)用控制开关或通过遥控装置将断路器操作跳闸时,自动重合闸不应动作;用控制开关或通过遥控装置将断路器操作合闸于故障线路,随即继电保护动作使断路器跳闸时,自动重合闸不应动作。后者的故障在合闸前就已经存在,一般是永久性故障,故都不应该重合闸。

(3)在任何情况下,自动重合闸的动作次数应符合预先规定的次数,不允许任意多次重合断路器。电力系统以及电气设备的选择都是与自动重合闸动作次数相对应的,如果自动重合闸的动作次数不符合预先规定,即断路器多次重合到故障,并需要切断短路电流,则电力系统多次受到冲击,断路器的灭弧能力下降,设备可能遭到破坏,引起故障扩大。

(4)自动重合闸动作后应能够自动复归,准备好再次动作。

(5)自动重合闸应具有接收外来闭锁信号的功能。不允许实现重合闸时,应自动将重合闸功能闭锁,例如,断路器处于不正常状态(如气压或液压过低)、某些继电保护(如母线保护)和自动装置(如按频率降低自动减负荷装置)动作,不需要自动重合闸。

(6)自动重合闸装置应能与继电保护配合,实现重合闸后加速继电保护,或重合

闸前加速继电保护。

(7)在双侧电源线路上实现自动重合闸，应考虑合闸时两侧电源间的同步问题。

自动重合闸装置按照不同特征有多种分类方法，例如，按照重合闸作用断路器的方式，可以分为三相重合闸、单相重合闸和综合重合闸；按照重合闸的动作次数，可以分为一次重合闸、二次(多次)重合闸；按照一次系统情况，可以分为单侧电源重合闸、双侧电源重合闸等。

自动重合闸实质上是通过将非正常跳开的断路器试探性合闸，实现线路上发生瞬时性故障时自动恢复运行。而变压器、母线故障多是永久性故障，因此，母线和变压器保护动作后，一般不采用自动重合闸装置。

二、按频率降低自动减负荷

频率是电力系统运行的一个重要质量指标，反映电力系统有功功率供需平衡的状态，并且全系统各点基本上是统一频率。在系统正常运行时，系统的总发电功率随时满足负荷总需求，系统频率保持额定值。在电力系统事故情况下，可能出现较大的有功功率缺额，造成整个电力系统的频率较大幅度下降。这种事故性频率降低将对电力系统产生不良后果，使频率质量下降，发电厂汽轮机叶片受损和出力

降低，严重情况下造成电力系统频率崩溃，破坏系统的稳定运行。

为了保证电力系统安全运行，保证电网频率质量，在电力系统中，有功功率必须留有足够的运行备用容量，并且在发生大的功率缺额时采用按频率降低自动减负荷装置，也称自动低频减载装置。自动低频减载装置按照频率下降的不同程度，自动分级(按轮)断开相应的非重要负荷，阻止频率下降，以便频率迅速恢复。

有关规程规定，在电力系统中，应装设足够数量的自动低频减载装置。当电力系统出现最严重的功率缺额时，自动低频减载装置能够有计划地按照频率下降情况自动减去足够量的次要负荷，使频率恢复到一定数值，从而保证电力系统的安全运行和向重要负荷的不间断供电。因此，自动低频减载装置的作用有：

- 1)保证电力系统安全稳定运行；
- 2)保证重要负荷用电。

三、按电压降低自动减负荷

电力系统的电压与无功功率密切相关，由于无功功率不能远距离输送，所以无功电源与无功负荷基本就地平衡，电压具有区域性或地区性质，这与电网频率完全不同。

为了保证电力系统安全运行 ,保证电网电压质量 ,在电力系统中 ,无功功率必须留有足够的运行备用容量 , 并且当电力系统发生大的无功功率缺额时 , 在有可能发生电压崩溃的负荷中心区域 , 采用按电压降低自动减负荷装置。按电压降低自动减负荷装置同样是分级(按轮)动作 ,阻止电压下降 ,避免发生电压崩溃而造成大停电事故。

按电压降低自动减负荷装置的低电压元件的整定值应高于电压崩溃的临界电压 , 并留有一定的裕度。

第八章

电气二次回路

本章内容 ,包括互感器、二次接线图、断路器和隔离开关的控制、信号回路、操作电源以及测量回路等 , 它们与前述继电保护和自动装置组成二次系统。

>> 第一节 互感器二次回路

一、电流互感器二次回路

电流互感器是将交流一次侧大电流转换成可供测量、保护等二次设备使用的二次侧电流的变流设备,还可以使二次设备与一次高压隔离,保证工作人员的安全。

电流互感器是单相的,一次侧流过电力系统的一次电流,二次侧接负载 Z_L (表计、继电器线圈等),一般二次侧额定电流为 5A 或 1A。

1. 电流互感器的极性和相量图

电流互感器一次绕组和二次绕组都是两个端子引出,如图 8-1 所示,绕组 L1-L2 为一次绕组,绕组 K1-K2 为二次绕组。在使用电流互感器时,需要考虑绕组的极性。电流互感器一次绕组和二次绕组的极性通常采用减极性原则标注,即当一次和二次电流同时从互感器一次绕组和二次绕组的同极性端子流入时,它们在铁芯中产生的磁通方向相同。在图 8-1 中,L1 与 K1 是同极性端子,同样 L2 与 K2 也是同极性端子。同极性端子还可以用“*”、“.”等符号标注。

电流互感器采用减极性原则标注时,当一次电流从 L1(或 L2)流入互感器一

次绕组时 ,二次感应电流的规定正方向从K1(或 K2)流出互感器二次绕组(这也是

二次电流的实际方向) ,如图 8-2(a)所示。如果忽略电流互感器的励磁电流 ,其

铁芯中合成磁通为 :

$$\dot{I}_1 N_1 - \dot{I}_2 N_2 = 0 \tag{8-1}$$

$$\text{则 } \dot{I}_1 = \frac{\dot{I}_2}{N_2 / N_1} = \frac{\dot{I}_2}{n_{TA}} \tag{8-2}$$

式中 $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ ——电流互感器一次电流、二次电流 ;

N_1 、 N_2 ——电流互感器一次绕组匝数、二次绕组匝数 ;

n_{TA} ——电流互感器变化。

可见 ,此时电流互感器一次电流、二次电流相位相同 ,如图 8-2(b)所示。

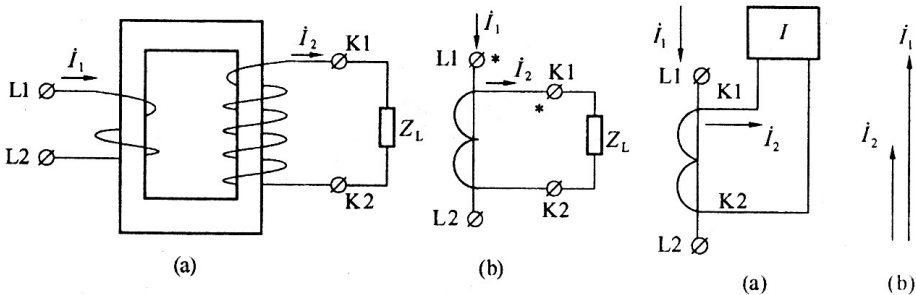


图 8-1 电流互感器的极性标注
(a) 绕组示意图; (b) 接线示意图

图 8-2 电流互感器一、二次电流
(a) 电流方向;
(b) 电流相量图

2. 电流互感器的接线方式

电流互感器的接线方式指电流互感器二次绕组与电流元件线圈之间的线接

方式。常用的接线方式有三相完全星形接线、两相不完全星形接线、两相电流差接线

线方式等。例如用于电流保护的常用接线方式如图 8-3 所示。

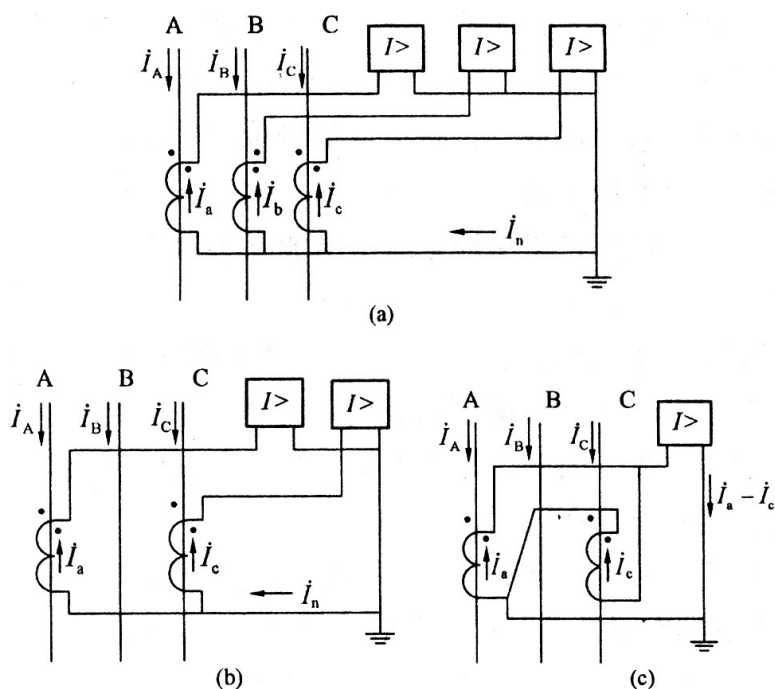


图 8-3 常用的接线方式

(a) 三相完全星形接线；(b) 两相不完全星形接线；

(c) 两相电流差接线

图 8-3(a)三相完全星形接线，三相都装有电流互感器以及相应的电流元件，能够反应三相的电流，正常情况下中性线电流为 $\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$ ；图 8-3(b)两相不完全星形接线，只有两相（一般是 A、C 相）装有电流互感器以及相应的电流元件，只能反应两相的电流，正常情况下中性线电流为 $\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_c = -\dot{I}_b$ 。在中性点不直接接地的电网中，常采用三元件的不完全星形接线，如图 8-4 所示，显然第三个

电流元件流过电流即 $\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_c$; 图 8-3 (c) 两相电流差接线, 只有两相 (一般是

A、C 相) 装有电流互感器和一个电流元件, 电流互感器二次差接线, 流入电流元

件的电流为 $\dot{I}_a - \dot{I}_c$ 。

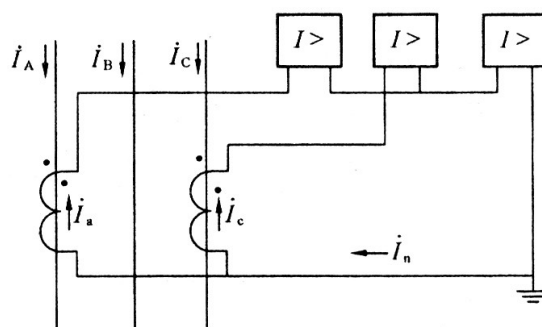


图 8-4 三元件的不完全星形接线

对于电流互感器接线需要注意以下问题：

(1) 电流互感器二次应该有一个保安接地点。防止互感器一、二次绕组绝缘击穿

时危及设备和人身安全,并且只能有一个接地点,如果设置了两个接地点,将造成

地电位差电流：由多组电流互感器连接构成继电保护电流回路时，其二次电流回

路应在保护屏上设有一个公共接地点，避免地电流与电流互感器二次回路电流耦

合引起保护误动作。

(2)通常不允许继电保护与测量仪表共用同一电流互感器。测量仪表一般用于

反映正常状态的电流,而继电保护要求正确反应故障状态下的大电流。因此,继电

保护与测量仪表反应的电流范围不同，测量精度要求也有区别。

(3) 电流互感器在运行中，应严防二次侧开路。由式(8-1)可知，电流互感器在正常运行时，由于二次电流的去磁作用，铁芯中合成磁通很小，铁芯磁密很低；如果二次侧开路，二次电流等于零，去磁作用消失，一次电流全部流入励磁支路，铁芯中磁通骤增，铁芯严重饱和，则一次电流过零瞬间，在二次绕组两端产生很高的脉冲电压(甚至可能达几千伏)，造成二次绕组绝缘损坏，并威胁人身和设备安全。因此电流互感器二次回路不能装设熔断器，不设置切换回路，如果需要切换，须有防止电流互感器二次回路开路的措施。

3. 电流互感器的误差及二次负载

式(8-1)和式(8-2)是理想电流互感器的 i_1 与 i_2 的关系式，即认为励磁电流等于零。实际电流互感器等值电路如图 8-5 所示。

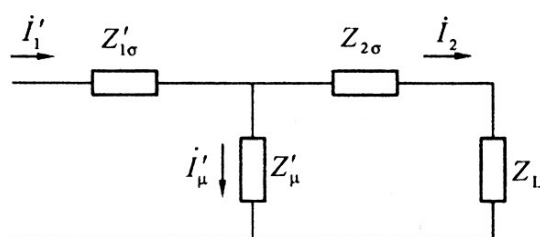


图 8-5 电流互感器等值电路

$Z'_{1\sigma}$ —一次绕组漏阻抗； $Z_{2\sigma}$ —二次绕组漏阻抗； Z'_μ —励磁回路阻抗； Z_L —负载阻抗

由于存在励磁回路，使实际电流互感器的一次电流与二次电流之比并不等于其

变比,相位也不相同,即电流互感器在电流变换过程中存在误差。前者称为变比误差,后者称为相角误差。

测量仪表需要在正常运行状态下准确测量,而继电保护则要求在短路故障情况下,有一定的准确度能够反应故障即可。通常继电保护对电流互感器的误差要求是:综合误差不超过10%,即励磁电流不超过一次电流的10%。在这种情况下,相角误差不超过 7° 。图8-6示出了综合误差为10%时的曲线,通常称为10%误差曲线。

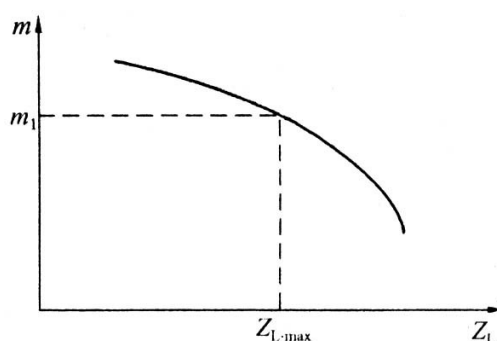


图 8-6 电流互感器的 10%
误差曲线

图中纵坐标 $m = \frac{I_1}{I_{1N}}$ 是一次电流倍数,指电流互感器一次电流 I_1 与一次额定电流 I_{1N} 之比;横坐标 Z_L 是电流互感器二次负载阻抗。如果一次电流倍数与二次负载阻抗的关系在曲线下方,例如一次电流倍数为 m_1 时,二次负载阻抗 $Z_L < Z_{L,max}$,表示电

流互感器综合误差满足小于 10% 的要求。即当一次系统电流确定的情况下，互感器二次负载阻抗就不能超过一定数值，所以在确定接入的保护装置时，需要限制互感器二次负载阻抗。

需要指出，差动保护中差动回路电流与电流互感器的综合误差大小密切相关；一般电流保护中的测量精度与变比误差有关。

二、电压互感器二次回路

电压互感器是将交流一次侧高电压转换成可供控制、测量、保护等二次设备使用的二次侧电压的变压设备，还可以使二次设备与一次高压隔离，保证工作人员的安全。电压互感器有单相式和三相式，一次侧接在电力系统的一次母线，二次侧接负载(表计、继电器线圈等)，一般二次侧额定相电压为 $100/\sqrt{3}V$ 。

1. 电压互感器的极性和相量图

电压互感器一次绕组和二次绕组都是两个端子引出，如图 8-7 所示，绕组 L1—L2 为一次绕组，绕组 K1—K2 为二次绕组。在使用电压互感器时，同样需要考虑绕组的极性。电压互感器一次绕组和二次绕组的极性通常采用减极性原则标注，即当互感器一次绕组和二次绕组同时有电流从同极性端子流入时，它们在铁芯中

产生的磁通方向相同。在图 8-7 中 ,L1 与 K1 是同极性端子 ,同样 L2 与 K2 也是同极性端子。同极性端子还可以用“*”、“.”等符号标注。

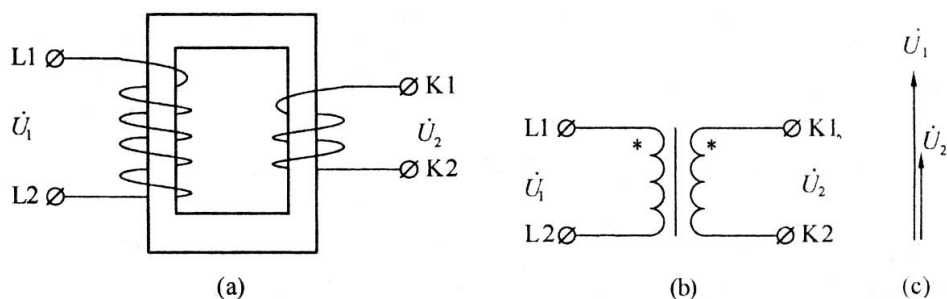


图 8-7 单相电压互感器的极性标注
(a) 绕组示意图；(b) 接线示意图；(c) 相量图

如果不计一次、二次绕组电阻、漏抗上压降 ,则一次电压、二次电压相位相同 ,

如图 8-7(c)所示。电压互感器的变比为：

$$n_{TV} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \quad (8-3)$$

式中 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ ——电压互感器一次电压、二次电压；

N_1 、 N_2 ——电压互感器一次绕组匝数、二次绕组匝数；

n_{TV} ——电压互感器变比。

三相电压互感器的一、二次电压和极性标注如图 8-8 所示。

2 . 电压互感器的接线

电压互感器二次负载是继电保护或测量仪表的电压输入回路，需要接入相电压

或者线电压，有时还需要零序电压，因此电压互感器接线必须根据二次负载的要求能够提供相应的电压。常用的电压互感器接线有星形接线、V-V 接线、开口三角接线等，如图 8-9 所示。

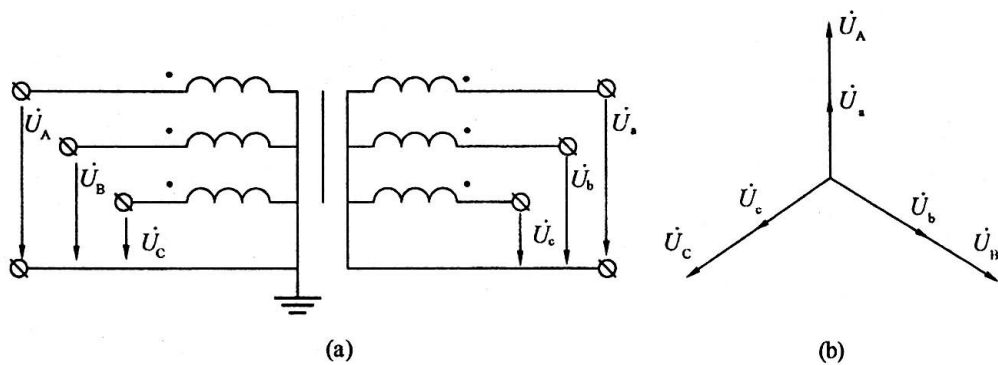


图 8-8 三相电压互感器一、二次电压
(a) 绕组接线；(b) 电压相量图

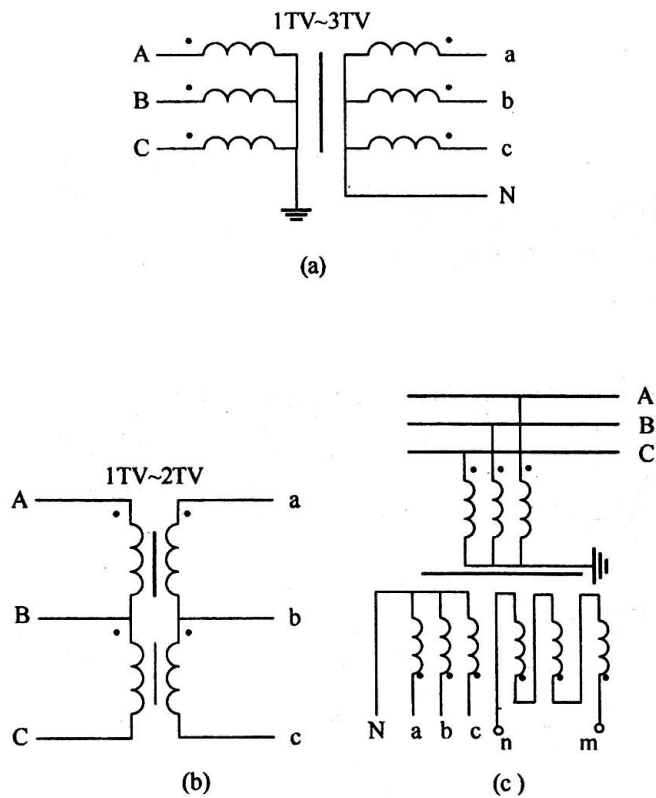


图 8-9 电压互感器的接线
(a) 三个电压互感器的 Y_0/Y_0 接线；(b) 两个电压互感器的 V—V 接线；
(c) 三相五柱电压互感器的 $Y_0/Y_0/\Delta$ 接线

图 8-9(a)三个电压互感器的 Y_0/Y_0 接线 ,中性点接地 ,可用于测量相电压和线电压 ;图 8-9(b)两个电压互感器的 V-V 接线 ,二次侧 b 相接地(屏内) ,只能用于测量线电压 ; 图 8-9(c)

三相五柱电压互感器的 $Y_0/Y_0/\Delta$ 接线 ,中性点接地 ,且二次有两组绕组 ,其中一组接成星形 ,可用于测量相电压和线电压 ,另一组接成开口三角形 ,用于测量零序电压(见“零序电压保护”部分)。

对于电压互感器接线需要注意以下问题 :

(1)电压互感器二次侧必须有一个保安接地点。防止一、二次绕组之间出现漏电或电击穿时 ,一次侧的高电压进入二次绕组 ,危及人身和设备安全。电压互感器二次侧接地有 b 相接地和中性点接地两种。

(2)电压互感器在运行中严防二次侧短路。电压互感器正常运行时 ,二次负载阻抗很大 ,近似于开路状态 ,负载电流很小。如果电压互感器二次侧短路 ,必将产生数值很大的短路电流 ,威胁设备安全。因此 ,在电压互感器二次回路应装设熔断器或自动开关 ,用于切除二次回路的短路故障。

3 . 电压互感器的误差

式(8-3)是理想电压互感器的 $\dot{U}_1$ 与 $\dot{U}_2$ 的关系式，即一、二次绕组漏抗及电阻均等于零。实际上一、二次绕组的漏抗及电阻不可能为零，使电压互感器在电压变换过程中，同样存在变比误差和相位误差。

测量仪表需要在正常运行状态下准确测量，而继电保护则要求在短路故障情况下，有一定的准确度能够反应故障即可。因此，测量仪表对电压互感器的准确度要求比继电保护的高。

>> 第二节 二次接线及读图方法

分立元件构成的继电保护二次接线图，按照其用途可分为原理接线图和安装接线图两大类，原理接线图又分为归总式原理接线图和展开式原理接线图。微机型继电保护及自动装置无法完全采用归总式原理接线图和展开式原理接线图，可采用逻辑框图表明其工作原理和各组成部分之间的关系，采用交流回路展开图表明电流电压输入回路。

一、归总式原理接线图

归总式原理接线图简称原理图。在原理图上,各种电器以整体形式出现,其相互联系的电流回路、电压回路和直流回路都综合在同一张图,因此清楚、形象地表示继电保护、自动装置和测量仪表等的动作原理和连接关系。

例如,线路过电流保护的原理图如图 8-10 所示。

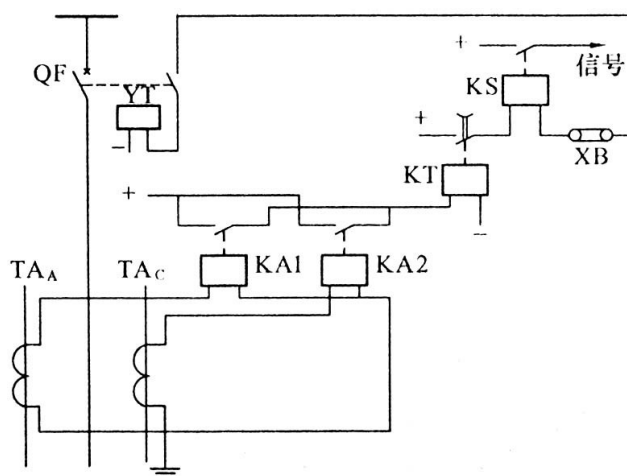


图 8-10 线路过电流保护的原理图

1. 归总式原理图的特点

归纳归总式原理图的特点如下：

- (1)二次接线与一次系统接线的相关部分画在一张图上，电气元件的线圈与触点以整体形式表示，表明各二次设备构成、数量、电气连接关系，直观、形象；
- (2)电气元件采用统一的文字符号，按动作顺序画出；
- (3)缺点是不能表明电气元件的内部接线、二次回路的端子号、导线的实际连接

方式。

2. 归总式原理图的应用

归总式原理图可用来分析保护动作行为。例如，根据线路过电流保护的工作原理，利用图 8-10 分析线路发生短路时保护的動作过程：

①短路电流通过电流互感器 TA_A 和 TA_C ，变换后流入 KAl 和 KA2，当电流大于继电器动作值时，KAl 和 KA2 动作，动合触点闭合；

② KAl 和 KA2 的触点接通时间继电器 KT 的线圈电源，经过整定延时其延时闭合的动合触点闭合；

③ KT 的触点经信号继电器 KS 的线圈、断路器 QF 辅助触点接通跳闸线圈 YT 电源，使 QF 跳闸，同时 KS 发出保护动作信号。

由于原理接线图能够给读者对整体装置和回路的构成一个明确的整体概念，可用于表示继电保护、自动装置的工作原理和构成所需的设备，因此可作为二次回路设计、绘制展开式原理图等其他工程图的原始依据，但不能直接作为施工图纸。

二、展开式原理接线图

展开式原理接线图简称展开图。展开图按供给二次回路的独立电源划分，将交流电流回路、交流电压回路、直流操作回路、信号回路分开表示。同一电气元件的

电流线圈、电压线圈、触点分别画在不同的回路中，采用相同的文字符号。

例如，图 8-10 对应的展开图如图 8-11 所示。

1．展开式原理图的特点

归纳展开接线图的特点如下：

- (1)按不同电源回路划分成多个独立回路，例如交流电流回路、交流电压回路、控制回路、合闸回路、保护回路、测量回路、信号回路等，在这些回路中，交流回路按照 A、B、C 相序，直流回路各电气元件(继电器、装置等)按动作顺序自上而下、从左到右排列；
- (2)在图形上方有统一规定的文字符号；
- (3)各导线、端子有统一规定的回路编号和标号。

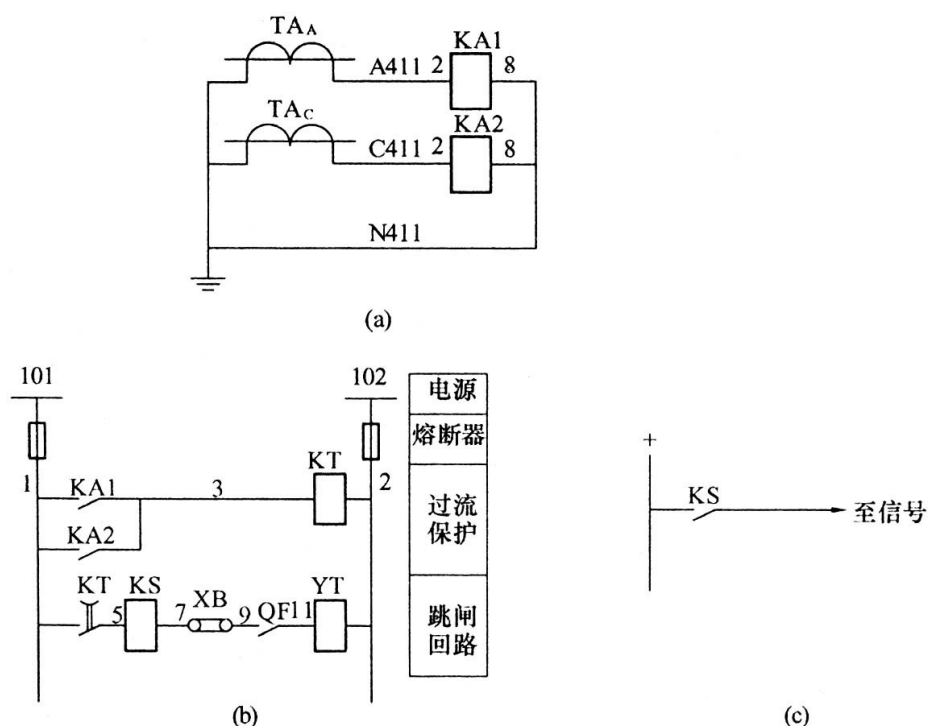


图 8-11 线路过电流保护的展开图

(a) 交流电流回路；(b) 保护直流回路；(c) 信号回路

由于展开接线图按电气元件的实际连接顺序排列，接线清晰、易于阅读和分析、便于分类查线，可用于了解整套装置的动作程序和工作原理，尤其是复杂电路其优点更为突出，是二次回路工作的依据。

2. 展开式原理图的回路标号

为了便于安装、运行维护，在二次回路中设备之间的所有连接线均需要标号，标号采用数字或与文字组合，表明回路的性质和用途。

交流回路进行标号有以下原则：

(1) 交流回路按相别顺序标号，例如图 8-11(a)交流电流回路中的 A411、

C411、N411；

(2)交流回路按照用途不同使用不同的数字组，例如电流回路用 400-599、电压回路用 600 ~ 799；

(3)互感器回路在限定的数字组范围内，自互感器引出端按顺序编号。例如 TAI 用 411 ~ 419、TV2 用 621 ~ 629；

(4)某些特定交流回路采用专用的编号组。

直流回路进行标号有以下原则：

(1)不同用途的直流回路使用不同的数字范围，例如：控制和保护回路用 001 ~ 099 及 1 ~ 599，励磁回路用 601 ~ 699；

(2)控制和保护回路，按照熔断器所属的回路分组，每组按照先正极性回路奇数顺序编号，再由负极性回路偶数顺序编号；

(3)经过回路中的线圈、绕组、电阻等电压元件后，回路的极性发生改变，其编号的奇偶顺序即随之改变，例如图 8-11(b)保护直流回路；

(4)某些特定的回路采用专用编号组，例如：正电源用 101、201 等，负电源用 102、202 等。

三、安装图

安装接线图简称安装图，是二次回路设计的最后阶段，是制造厂加工制造屏(台)和现场施工安装必不可少的图纸，是二次系统运行、调试、检修等的主要参考图纸。安装图中的各种电器和连接线，按照实际图形、位置和连接关系依一定比例绘制。

1 . 安装图的组成

安装接线图包括屏面布置图、屏背面接线图、端子排图。

屏面布置图是从屏正面看，将各安装设备的实际安装位置按比例画出的正视图，是屏背面接线图的依据。

屏背面接线图是从屏背面看，表明屏内安装设备在背面引出端子之间的连接关系，以及与端子排之间的连接关系的图纸。

端子排图是从屏背面看，屏内安装设备接线所需的各类端子排列，表明屏内设备连接与屏顶设备、屏外设备连接关系的图纸。

2 . 安装图的标号

安装接线图也需要回路编号和对设备进行标志，安装接线图对设备的标志内容，安装单位编号和设备顺序编号(与屏面布置图一致)；设备文字符号(与展开

接线图一致)；设备型号。

在安装接线图中,通常采用相对编号表示二次设备之间的连接关系,即,如果甲、乙两个端子(设备端子、端子排等)应该用导线连接,那么在甲端子旁标出乙端子的编号、在乙端子旁标出甲端子的编号,即甲、乙两个端子的编号相对应。采用相对编号法,在屏上的每一个端子都能找到它的连接对象。如果某一个端子旁没有编号,说明其没有连接对象;如果某一个端子旁有两个编号,说明其有两个连接对象。图 8—11(a)交流电流回路对应的安装图如图 8—12 所示。

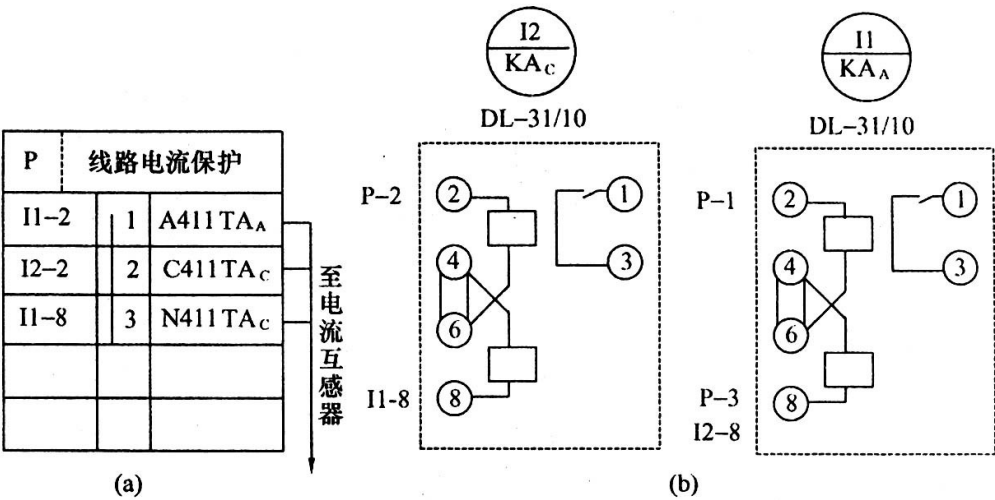


图 8-12 线路过电流保护交流电流回路安装图
(a) 端子排图；(b) 屏背面接线图

四、微机保护及自动装置图

微机保护及自动装置二次回路接线与分立元件继电保护的区别在于,微机型

装置在二次系统中是整体 ,通过装置的外部端子与二次回路连接 ,包括电流回路、电压回路、开关量输入回路、开关量输出(出口)回路、电源等 ;装置的动作逻辑由程序实现 ,没有直流回路展开图。例如 35kV 线路保护的交流回路图如图 8—13 所示。

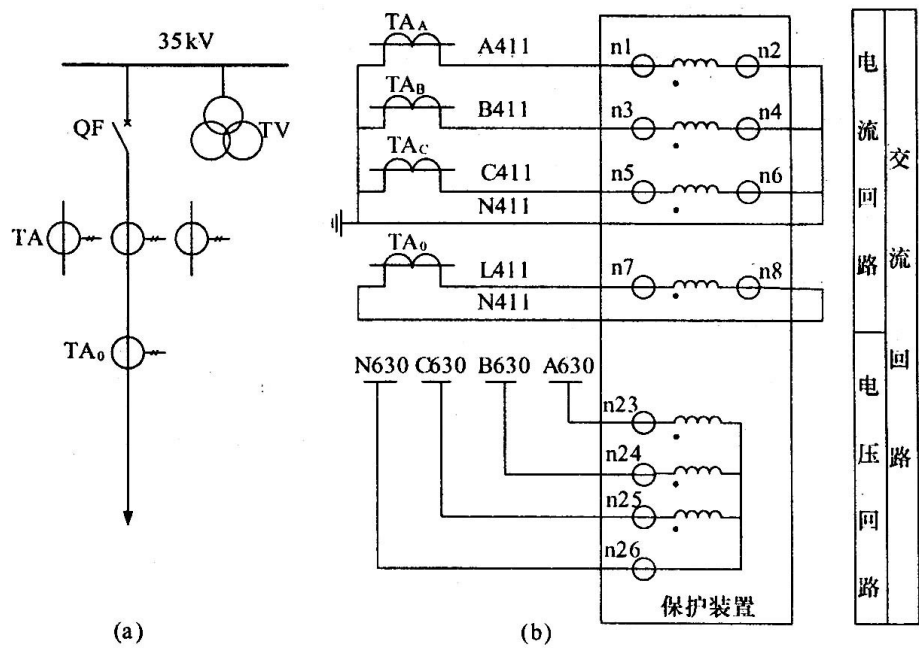


图 8-13 35kV 线路保护的交流回路图
(a) 一次接线；(b) 二次回路

五、二次回路读图基本方法

二次回路图 ,尤其是复杂保护 ,看似复杂 ,但都是遵循一定规律的。因此 ,阅读二次回路接线图 ,在掌握对应的一次接线图的基础上 ,根据继电保护的動作原理 ,以及图纸的绘制规律进行读图。原则如下 :

(1)先读交流回路、后读直流回路。交流回路直接反映——次系统的运行状况

是保护的起动条件；直流回路是交流回路电气量变化的反应。

(2)先找电源、后看回路接线。交流电源以互感器为起点，直流电源以正电源为起点、负电源为终点。

(3)先找线圈、后找相应的触点。继电器或装置的线圈带电后，触点才能动作。

(4)先上后下、先左后右。绘制图纸时，直流回路各电气元件(继电器、装置等)按动作顺序自上而下、从左到右排列。

(5)先设定操作方式、再读图。针对一种操作方式(包括故障类型)，操作前各线圈的带电情况、触点的开闭情况，在操作后将发生变化，达到操作的目的。

>> 第三节 断路器及隔离开关控制回路

一、控制方式及控制设备

1.断路器控制方式

按照控制断路器数量不同，可分为一对一控制和一对 N 控制。前者指利用一个控制开关控制一台断路器；后者指利用一个控制开关选择控制多台断路器。

按照操作电源不同，可分为强电控制和弱点控制。前者指操作电压为 220V 或 110V；后者指操作电压为 48V 及以下。

按照控制地点不同，可分为就地控制和远方控制。前者指控制开关或按钮安装在断路器的开关柜，操作人员就地手动操作；后者指控制开关或按钮安装在距离断路器几十米至几百米的主控室的控制屏(台)上，操作命令通过电缆送至断路器的操作机构，或者控制开关或按钮安装在远方调度室，操作命令通过远动通信设备送至断路器的操作机构。

2．隔离开关控制方式

隔离开关控制方式分为就地控制和远方控制两种。通常 110kV 及以下的隔离开关采用就地控制；220kV 及以上的隔离开关采用就地控制或者远方控制。

3．控制设备

断路器和隔离开关的控制设备包括控制开关、控制按钮和微机测控装置。

控制开关和控制按钮由操作人员直接手动操作，发出合闸、分闸脉冲，使断路

器或隔离开关合闸、分闸。

微机测控装置接收远方合闸、分闸命令,自动启动出口继电器,对断路器发出合闸、分闸脉冲,使其合闸、分闸。

二、断路器控制回路

断路器分为油断路器、真空断路器、 SF_6 断路器、压缩空气断路器等。

1. 断路器操动机构

断路器操动机构指,断路器自身附带的跳、合闸传动装置,用于使断路器跳闸、合闸或维持合闸状态,因此包括跳闸机构、合闸机构、维持机构。主要类型包括电磁操动机构(CD)、弹簧储能操动机构(CT)、液压操动机构(CY)、空气操动机构(CQ)等。不同操动机构的动力来源不同,其中电磁操动机构的合闸线圈需要电流很大,不能通过控制开关和继电器触点直接接通合闸线圈回路,需要中间合闸接触器;弹簧储能操动机构、液压操动机构和空气操动机构的合闸线圈需要电流不大,可以通过控制开关和继电器触点直接接通合闸线圈回路。

2. 对断路器控制回路的基本要求

(1)断路器操作完成后应迅速断开跳、合闸回路,以免烧坏线圈(断路器的跳、

合闸线圈是按照短时通电设计的)；

(2)断路器既能够通过操作开关远方实现手动跳、合闸操作，又能够通过继电保护和自动装置实现自动跳、合闸操作；

(3)具有反映断路器分、合位置状态以及手动、自动操作的明显信号；

(4)具有防止断路器多次分、合动作的“防跳回路”；

(5)具有操作回路、操作电源完好的监视回路；

(6)具有压力正常或弹簧储能等的监视回路和闭锁断路器操作回路；

(7)接线简单、使用设备和电缆最少。

3. 断路器控制回路举例

以弹簧储能操动机构为例，介绍断路器控制电路。弹簧储能操动机构的断路器控制电路如图 8-14 所示，图中符号含义如下：

+、——控制小母线和合闸小母线；

M100(+)——闪光小母线；

SA——断路器 gS 操作的控制开关，有 6 个位置，预备合闸(PC)、合闸

(C)、合闸后(CD)、预备跳闸(PT)、跳闸(T)、跳闸后(丁 D)；

HG、HR——断路器位置信号绿色、红色信号灯；

FU1 ~ FU4——熔断器；

KCF——防跳继电器；

KCO——出口继电器；

YC、YT——断路器合闸线圈、跳闸线圈；

M——弹簧储能电机；

Q1——弹簧储能机构的辅助触点。

(1)跳、合闸控制电路。

手动操作合闸时，控制开关 SA 置于“合闸位置”(C)，触点 5-8 接通，有以下通路： $+ \rightarrow SA_{5-8} \rightarrow KFC \text{ 动断触点} \rightarrow \text{动合触点 } Q1 \rightarrow QF \text{ 辅助动断触点 } QF_2 \rightarrow \text{合闸线圈 } Yc \rightarrow -$ ，使 YC 带电，断路器合闸；合闸之后，QF 辅助动断触点 QF_2 打开，断开合闸回路，QF 辅助动合触点 QF_1 闭合，红灯 HR 发光表示断路器合闸运行状态，同时红灯 HR 具有监视跳闸回路完好的作用，准备下一个操作(跳闸)；

手动操作跳闸时，控制开关 SA 置于“跳闸位置”(T)，触点 6-7 接通，有以下通路： $+ \rightarrow SA_{6-7} \rightarrow KFC \text{ 电流线圈} \rightarrow QF \text{ 辅助动合触点 } QF_1 \rightarrow \text{跳闸线圈 } YT \rightarrow -$ ，使 YT 带电，断路器跳闸；跳闸之后，QF 辅助动合触点 QF_1 打开，断开跳闸回路，QF

辅助动断触点 QF_2 闭合，绿灯 HG 发光表示断路器分闸状态，同时绿灯

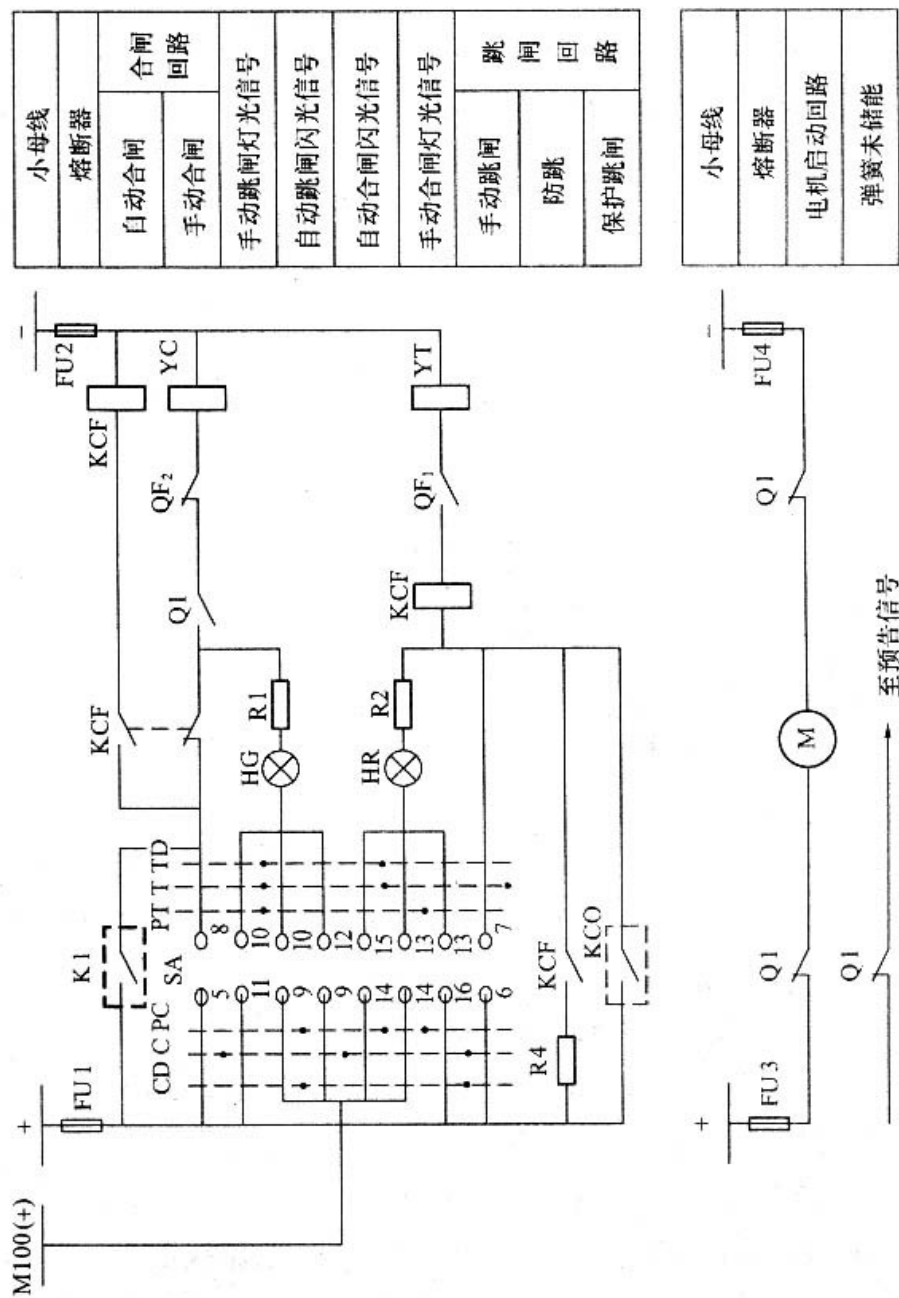


图 8-14 弹簧储能操动机构的断路器控制电路

HG 具有监视合闸回路完好的作用，准备下一个操作(合闸)。

自动合闸时，通过自动装置触点 K1 代替控制开关 SA5—8 触点的作用，完成合闸操作；自动跳闸时，通过继电保护出口继电器触点 KCO 代替控制开关 SA6

—7 触点的作用，完成跳闸操作。

目前在一些厂站采用不带闪光电源、取消闪光信号。

(2)防跳闭锁电路。

当断路器合闸(手动合闸或自动合闸)到线路永久性故障时，如果控制开关 SA5

—8 触点接通时间长，或自动装置触点 K1 卡死或粘住不能断开，则会出现继电保

护动作使断路器跳闸、通过 SA5—8 触点或自动装置触点 K1 使断路器合闸的多

次跳、合重复动作，称为断路器“跳跃”。为防止断路器“跳跃”现象发生，必须有相应

的“防跳”措施。

“防跳”措施有机械防跳和电气防跳两种。机械防跳指操动机构本身具有的防跳

性能，通常 6~10kV 断路器的电磁操动机构带有机防跳措施。电气防跳指在断

路器控制回路设置的防跳闭锁电路，即本书的内容。

图 8-14 中设置了防跳继电器 KCF，有两个线圈，其电流线圈串联于跳闸回路，

是启动线圈，电压线圈通过自身的动合触点与合闸线圈并联，是保持线圈。可以看

出，当断路器合闸到线路永久性故障，且控制开关 SAS—8 触点或自动装置触点

K1 卡死或粘住不能断开时，在断路器跳闸过程中 KCF 启动，并自保持，其动断触

点断开合闸回路 ,从而防止了断路器的“跳跃”。只有在控制开关 SA5—8 触点或自动装置触点 K1 打开后 ,或操作电源退出 ,KCF 才能返回。

为了达到预期防跳越目的 ,要求 KCF 动作快速。

(3)位置信号电路。

图 8-14 中断路器的位置信号采用灯光信号 ,红灯 HR 亮为断路器在合闸位置 ,绿灯 HG 亮为断路器在跳闸位置 ;而灯光为平光或闪光表示断路器的实际位置与控制开关 SA 位置对应或不对应。

手动操作合闸 ,SA 合闸后(CD)位置、16-13 接通 ,断路器合闸状态、QF 动合触点闭合 ,红色信号灯 HR 平光 ;手动操作跳闸 ,SA 跳闸后(TD)位置、11-10 接通 ,断路器跳闸状态、QP 动断触点闭合 ,绿色信号灯 HG 平光。此两种情况的 SA 与

QF 位置都是对应的 ,是平光信号。

自动合闸(K1 闭合启动合闸) ,SA 跳闸后(TD)位置、14-15 接通、获得闪光电源 M100(+),断路器合闸后 QF 动合触点闭合 ,红色信号灯 HR 闪光 ;自动跳闸(KCO 闭合启动跳闸) ,SA 合闸后(CD)位置、9-10 接通、获得闪光电源

M100(+), 断路器跳闸后 QF 动断触点闭合, 绿色信号灯 HG 闪光。此两种情况的

SA 与 QF 位置都是不对应的, 是闪光信号。

三、隔离开关控制及闭锁电路

1. 隔离开关控制电路构成原则

(1) 隔离开关没有灭弧机构, 因此不允许切断和接通负荷电流。控制回路必须受对应的断路器闭锁, 保证在断路器合闸状态下不能操作隔离开关。

(2) 隔离开关带有接地刀闸, 为了防止带接地合闸, 控制回路必须受对应的接地刀闸闭锁, 保证在接地开关合闸状态下不能操作隔离开关。

(3) 操作脉冲应是短时的, 并操作完成后能够自动解除。

2. 隔离开关控制电路构成

隔离开关操动机构通常有气动操作、电动操作和电动液压操作三种形式, 分别有相应的控制电路。以电动操动隔离开关为例, 介绍其控制电路。CJ5 型电动操作隔离开关控制电路如图 8-15 所示, 图中符号含义如下:

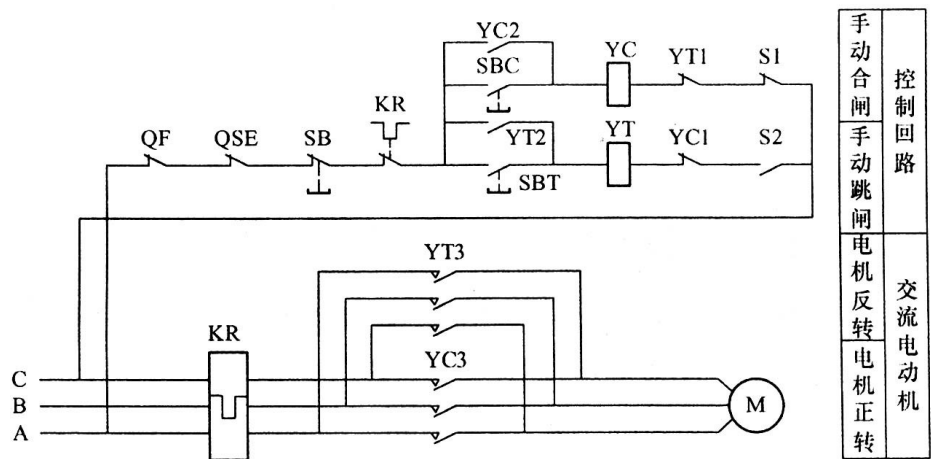


图 8-15 CJ5 型电动操动隔离开关控制电路

YC、YT——隔离开关合闸线圈、跳闸线圈，相应的辅助触点 YC1、YC2、YC3、

YT1、YT2、YT3；

S1、S2——隔离开关合闸、跳闸行程终端开关触点；

SBC、SBT——隔离开关手动合闸按钮、手动跳闸按钮；

QF——断路器；

QSE——接地刀闸；

SB——紧急停止按钮；

KR——热继电器(电动机故障或过载保护)。

可见，隔离开关操作的控制回路，受断路器和接地刀闸辅助触点控制，只有在断路器分闸状态和接地刀闸拉开的情况下，才可能对隔离开关进行操作。

(1)合闸操作。按下合闸按钮 SBC，使合闸线圈 YC 带电，电动机接到正相序电

源,正转合闸隔离开关,当隔离开关合闸行程到位时,触点 SI 打开,断开合闸回路。

(2)跳闸操作。按下跳闸按钮 SBT,使跳闸线圈 YT 带电,电动机接到负相序电源,反转跳闸隔离开关,当隔离开关跳闸行程到位时,触点 S2 打开,断开跳闸回路。

3. 隔离开关电气闭锁

隔离开关操作闭锁目的是避免带负荷拉、合隔离开关,闭锁装置有机械闭锁、电气闭锁和微机防误闭锁。通常 6~10kV 配电装置采用机械闭锁装置,35kV 及以上电压配电装置采用电气闭锁装置或微机防误闭锁装置。闭锁装置保证只有在断路器处于跳闸位置时,才能对隔离开关进行跳、合闸操作,即在断路器处于合闸位置时,闭锁对隔离开关的操作功能。

要求防止电气误操作应达到“五防”,即防止误操作断路器;防止带负荷拉合隔离开关;防止带电挂接地线;防止带地线送电;防止误入带电间隔。

>> 第四节 信号回路

一、信号回路的作用和类型

在变电站，采用各种仪表监视电气设备的运行状态，采用灯光和音响信号反映设备正常和非正常运行状况，运行人员根据信号进行分析、判断和处理。通常对变电站信号系统有如下主要要求：

(1)断路器事故跳闸时，及时发出蜂鸣器音响信号，即事故信号，以及位置指示灯闪光，并有光字牌显示事故性质；

(2)异常运行情况发生时，瞬时或延时发出警铃音响信号，即预告信号，并有光字牌显示异常的类型和区域；

(3)音响信号能够手动和自动复归，并能保留光字牌信号；

(4)能够实现信号回路的监视和试验，进行事故信号、预告信号和光字牌完好性试验，并在接线上能够实现亮屏或暗屏运行；

另外，各种信号应以运行人员能够迅速、准确判断为原则。

信号回路按电源可分为强电信号回路和弱电信号回路，前者指电源为 110V 或 220V；后者指电源为 48V 及以下。根据信号的用途，可分为位置信号、事故信号、预告信号、指挥信号和联系信号。

(1)位置信号。位置信号包括断路器位置信号、隔离开关位置信号、有载调压变

压器调压分接头位置信号。

(2)事故信号。断路器事故跳闸时，启动蜂鸣器音响，断路器位置灯光闪光指示断路器自动跳闸。

(3)预告信号。异常运行时，由继电保护启动警铃音响及其光字牌，指示异常原因，例如，变压器过负荷、变压器轻瓦斯动作、电压互感器二次回路断线、控制回路断线等。

(4)指挥信号和联系信号。指挥信号用于主控制室向其他各控制室发出操作命令，联系信号用于各控制室之间的联系。

通常将事故信号、预告信号及一些其他公用信号集中构成中央信号。

二、位置信号

断路器位置信号已在上一节讲述，以下介绍隔离开关位置信号和有载调压变压器调压分接头位置信号。

1. 隔离开关位置信号

对于不需要经常操作的隔离开关，可装设手动的模拟指示牌，即操作隔离开关后，手动拨动指示牌，使其表示与隔离开关的实际位置一致。

对于经常操作的隔离开关，通常在其控制屏上装设电动式位置指示器。例如

MK—9T 电动式位置指示器示意图如图 8-16 所示。当两个线圈均无电流时，黑色标示条在倾斜 45° 位置；当线圈 WSI(①—③)通过电流时，黑色标示条在垂直位置；当线圈 WS2(①—②)通过电流时，黑色标示条在水平位置。两个线圈的电流由隔离开关的辅助触点控制，使黑色标示条的位置与隔离开关的位置对应。

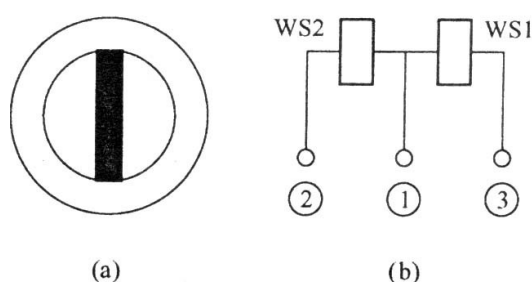


图 8-16 MK-9T 电动式位置指示器示意图

(a) 正面外观；(b) 线圈电路

隔离开关位置信号回路如图 8-17 所示。线路投入运行时，断路器 QF 和隔离开关 QSI、QS2 均在合闸位置，其动合辅助触点闭合，两个位置指示器线圈 WSII(①—③)、WS2I(①—③)有电流通过，黑色标示条均在垂直位置，表示隔离开关在合闸状态；当线路退出运行时，断路器 QF 跳闸后，拉开两侧隔离开关 QSI 和 QS2，其动断辅助触点闭合，两个位置指示器线圈 WSI2(①—②)、WS22(①—②)有电流通过，黑色标示条均在水平位置，表示隔离开关在分闸状态。QSI₁、QSI₂是 QSI 的辅助触点，QS2₁、QS2₂是 QS2 的辅助触点。

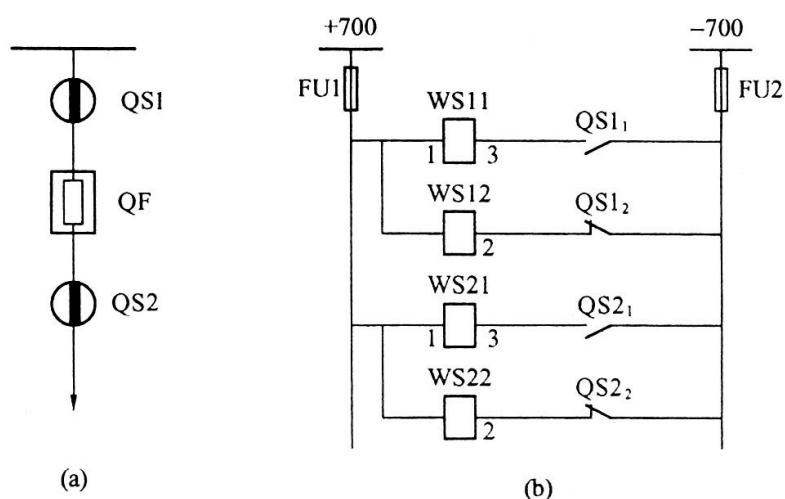


图 8-17 隔离开关位置信号回路

(a) 一次系统；(b) 二次回路

有的隔离开关位置信号，使用由隔离开关辅助触点控制的重动继电器触点，其效果相同。

2. 有载调压变压器调压分接头位置信号

应用比较广泛的有载调压变压器调压分接头位置信号，有灯盘式传送指示器和数码管式位置指示器两种。

灯盘式传送指示器采用灯泡表示变压器分接头位置，每一个灯泡对应变压器的一个分接头位置。当变压器分接头位置变化时，其机械部分联动触头转至接通对应的灯回路，使灯泡点亮。

数码管式位置指示器利用数码管显示数字表示变压器分接头位置。安装在调压机构上有接触盘和刷架，当变压器分接头位置变化时，刷架随分接头调节轴联动，

与接触盘上相应的静触片接通，显示正在运行的分接头编号。

三、中央信号

在大中型变电站，通常装设能够重复动作、集中复归的事故信号和预告信号系统；在小型变电站，通常只装设简单的音响信号系统。

1. 事故音响信号启动回路

事故信号是发生事故断路器跳闸时发出的最紧急信号，通常使用蜂鸣器音响。

中央事故音响信号是利用“不对应”原则启动的，即断路器跳闸、但相应的控制开关在“合闸后”位置时，启动事故音响。中央事故音响信号启动回路如图 8-18 所示，

图中符号含义如下：

+700、—700——信号小母线；

M708——音响小母线；

K——冲击继电器(由信号接受元件脉冲变流器 U 和执行元件组成)；

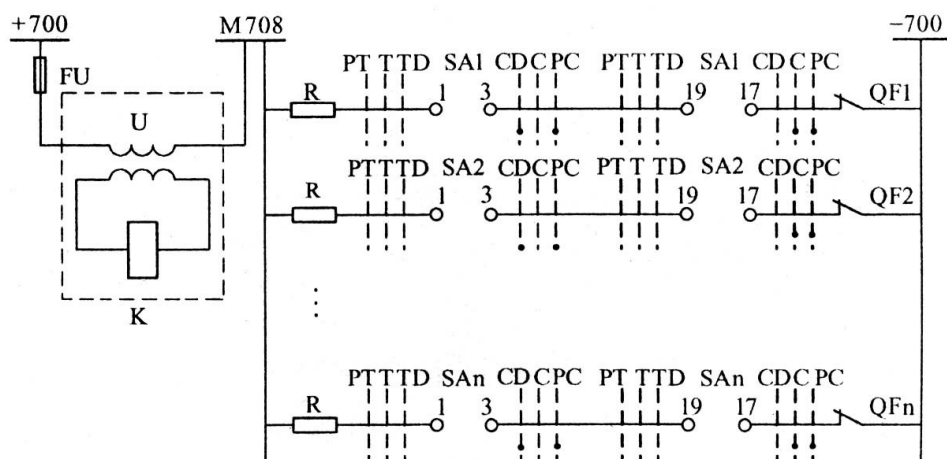


图 8-18 中央事故音响信号启动回路

SA1、SA2、.....SAn——断路器 QF1、QF2、.....QFn 的控制开关。

运行中控制开关在合闸后位置，触点 1-3 和 19-17 在接通状态，此时任何一个断路器事故跳闸时，动断触点闭合，接通 M708 与 -700，即音响小母线带负电，在脉冲变流器 U 一次绕组出现突变电流，使继电器 K 动作，启动后续蜂鸣器音响信号电路。音响信号电路具有自保持功能，直到解除命令使电路复归。

2. 预告信号启动回路

预告信号是发生异常运行时发出的信号，有瞬时预告信号和延时预告信号之分，通常使用警铃音响，并有显示异常原因的光字牌。中央预告信号通常由反应异常运行的继电保护启动。中央预告信号启动回路如图 8-19 所示，图中符号含义如下：

+700、—700——信号小母线；

M709、M710——预告信号小母线；

H——光字牌。

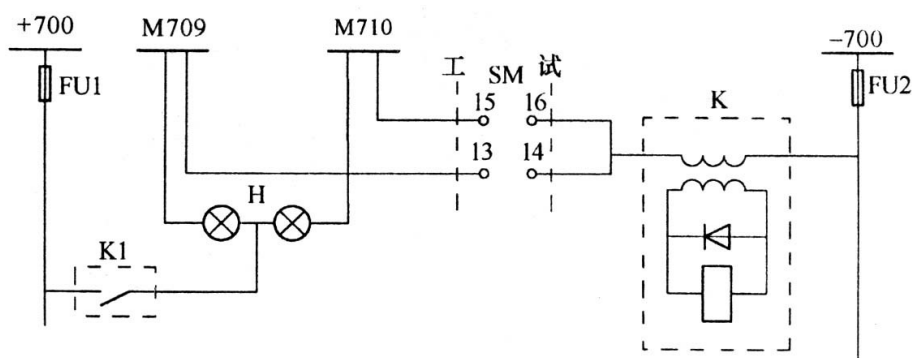


图 8-19 中央预告信号启动回路

作，触点 K1 闭合时，有以下通路：

$$+700 \rightarrow K1 \rightarrow H \rightarrow M709 \rightarrow SM13-14 \rightarrow K \rightarrow -700$$

$$\quad \quad \quad \searrow \quad \quad \quad \nearrow$$

$$\quad \quad \quad M710 \rightarrow SM15-16$$

3. 光字牌查灯电路

光字牌灯泡完好,需要有光字牌查灯电路,如图 8-20 所示。通过转换开关置试验

位置，可以检查光字牌灯光完好性。

由图 8-19 可见，发出预告信号时，通过信号小母线光字牌两灯泡并联，灯光为亮光，若其中有一个灯泡损坏，光字牌仍能点亮；光字牌查灯时，光字牌两灯泡串联，灯光为暗光，若其中有一个灯泡损坏，则光字牌不能点亮。

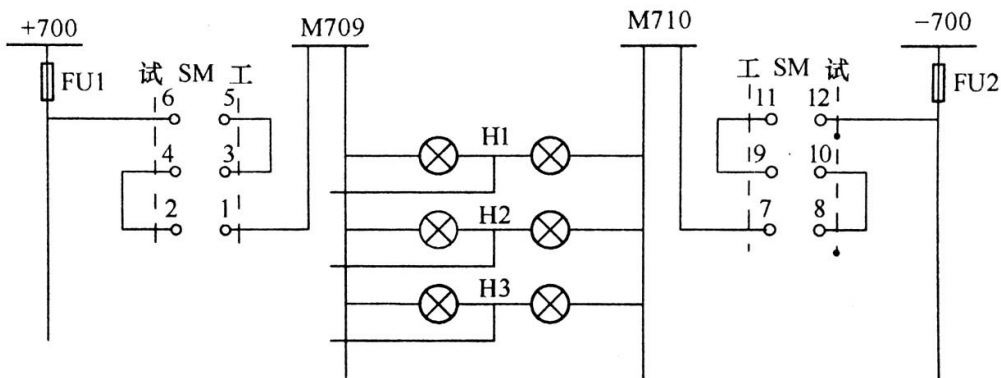


图 8-20 光字牌查灯电路

>> 第五节 测量回路

在电力系统中，运行人员依靠测量仪表了解电力系统的运行状态，监视电气设备的运行参数。通常测量仪表有电流表、电压表、有功功率表、无功功率表、有功电能表、无功电能表和频率表等。如今在变电站自动化系统中，已经采用数字式综合测量控制装置，或智能仪表将传统仪表集成到一个装置，仅通过对电流、电压量的

采集,运用软件计算,即可得到需要的功率、电量等数据,因此大大简化了测量回路。

以下介绍采用分立元件功率测量和电能测量的基本测量回路,电流和电压的测量相对简单,不做介绍。

一、功率测量

1. 有功功率测量

由电工基础知识可知,采用单相有功功率表测量三相电路的有功功率,根据一次系统的接线方式,可以采用不同的测量方法。例如,在三相三线制系统,采用两个单相有功功率表的“两表法”测量三相有功功率;在三相四线制系统,采用三个单相有功功率表的“三表法”测量三相有功功率。

实际三相电路的有功功率测量,是根据以上原理,将两个或三个单相有功功率表组合起来,构成三相功率表。在三相三线制系统,三相两元件式有功功率表的测量回路如图 8-21 所示,图中 PPA 为三相功率表,其中 W1、W2 为有功功率元件。

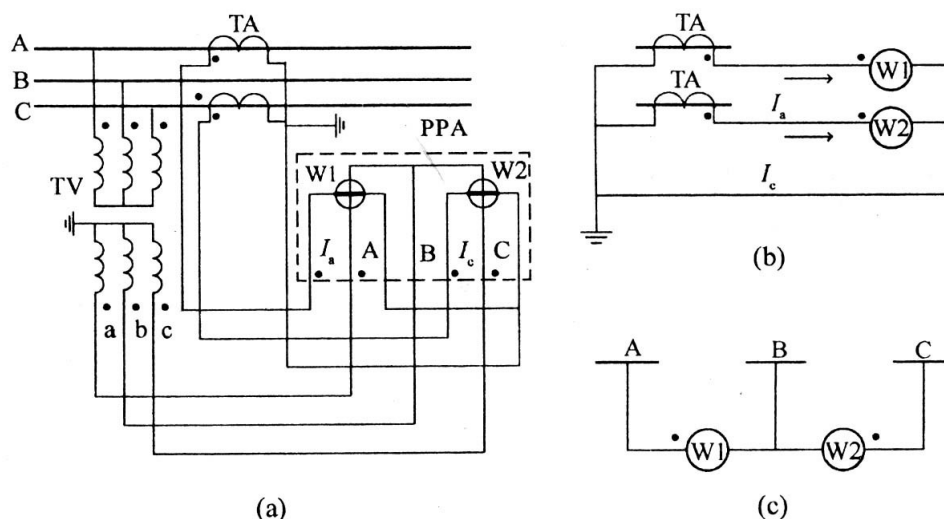


图 8-21 有功功率测量二次回路

(a) 集中表示；(b) 分散表示电流回路；(c) 分散表示电压回路

2 . 无功功率测量

实际三相电路的有功功率测量，同样采用三相无功功率表。三相无功功率表的结构与有功功率表相同，在内部接线通过跨相 90° 的接线方法或带有人工中性点的接线方法，实现对无功功率测量。因此其端子与互感器之间的连接与三相有功功率表相同。

二、电能测量

电能测量基本方法与功率测量相同，例如在三相三线制系统，采用三相两元件有功电能表测量三相电能，其二次回路与如图 8-21 相同，只是将图中的有功功率元件换成有功电能元件 $Wh1$ 、 $Wh2$ 。在三相四线制系统，三相三元件有功电能

表的测量回路如图 8-22 所示。

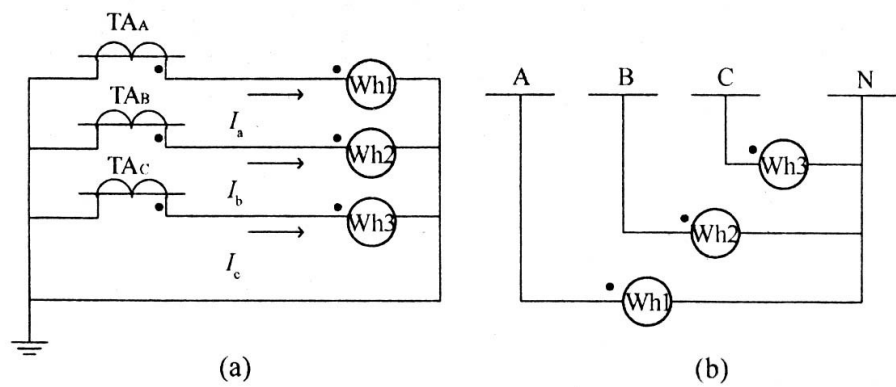


图 8-22 有功电能测量二次回路
(a) 分散表示电流回路；(b) 分散表示电压回路

三、举例

变电站 35kV 双绕组变压器测量仪表电路如图 8-23 所示。变压器测量仪表装在低压侧，电流取自电流互感器 5TA，电压取自低压母线电压互感器。电流表 PA 用于监视负荷，通常采用单相式；有功功率表 PPA 和无功功率表 PPR 用于测量变压器送出的有功功率和无功功率；有功电能表 PJ 和无功电能表 PRJ 用于计量变压器送出的有功电能和无功电能。

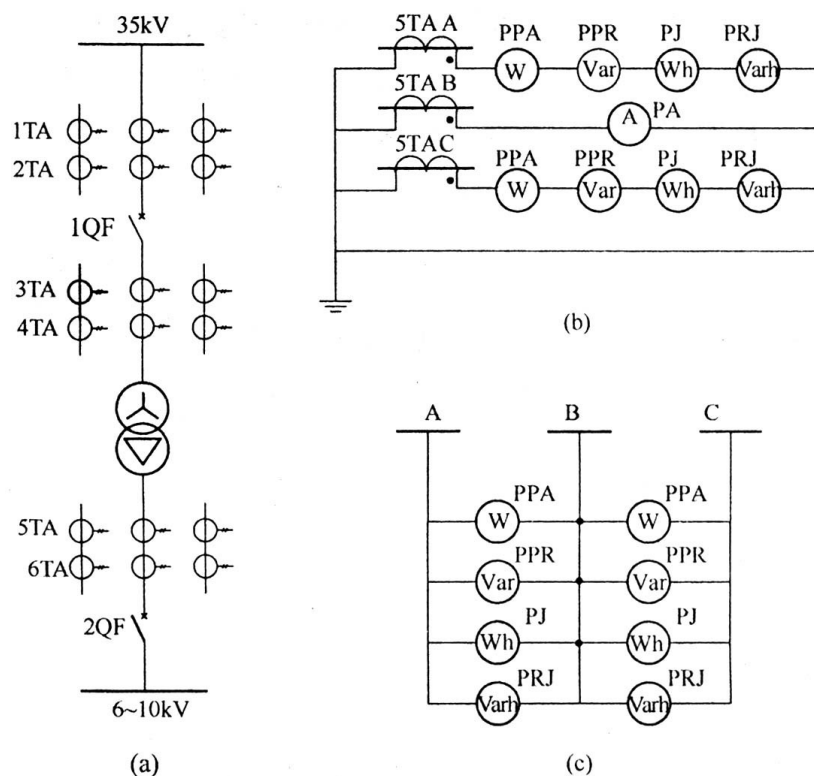


图 8-23 变电站变压器测量仪表电路
(a) 一次电路；(b) 二次交流电流回路；(c) 二次交流电压回路

>> 第六节 操作电源

一、操作电源的作用和类型

变电站的操作电源为断路器控制、继电保护、自动装置和信号设备提供电源，

操作电源直接关系到电力系统的安全、可靠运行。

对操作电源有如下基本要求：

(1)具有高度可靠性。保证在正常运行和事故状态下二次设备正常工作。

(2)具有足够容量。满足各种运行工作状态对电源功率的要求。

(3)具有良好的供电质量。在各种运行工作状态下，电源母线电压变化保持在允许范围，纹波系数 $<5\%$ 。

(4)满足变电站综合自动化要求。

(5)维护方便、安全、经济。

变电站的操作电源分为交流操作电源和直流操作电源。

(一)交流操作电源

交流操作电源有变流器供给操作电源和交流电压供给操作电源。

交流操作电源可以直接从运行的系统取得，不需要增加整流、蓄电池等设备，简单、经济，一般用于接线方式简单的小容量变电站，以及不太重要的辅助系统。但对于需要直流操作的控制、信号、继电保护和自动装置等设备则不能采用，而且当系统故障断电时将失去操作电源。

(二)直流操作电源

直流操作电源又分为独立电源和非独立电源，独立电源指不受外界影响的固定电源，例如蓄电池组直流电源；非独立电源有复式整流和硅整流电容储能直流电源等。

1. 蓄电池组直流电源

蓄电池直流电源系统有充电—放电运行方式和浮充电运行方式：

(1) 充电—放电运行方式。将一组充好电的蓄电池组接在直流母线上作为直流电源给直流负荷供电，同时断开充电装置，当蓄电池组放电到容量的 75% ~ 80% 时，改由另一组充好电的蓄电池组作为直流电源，并给退出的蓄电池组充电。

(2) 浮充电运行方式。将充好电的蓄电池组与浮充电整流器并联运行，正常时由整流器供电给直流负荷用电，并以不大的电流给蓄电池组浮充电，以补充蓄电池组漏电造成的电压降低，使蓄电池组处于充满电状态；当事故状态交流电源消失时，可由蓄电池组供电给直流负荷用电，或承担短时冲击负荷用电。

采用浮充电运行方式，变电站单母线分段的直流系统接线示意图如图 8-24 所示。图中一组蓄电池组可以接到任一段直流母线；充电设备和浮充电设备分别接在两段母线；正常时两段母线并联运行，当查找直流接地点或停电检查时分段隔离开关打开；直流负荷平均分配接在两段母线。

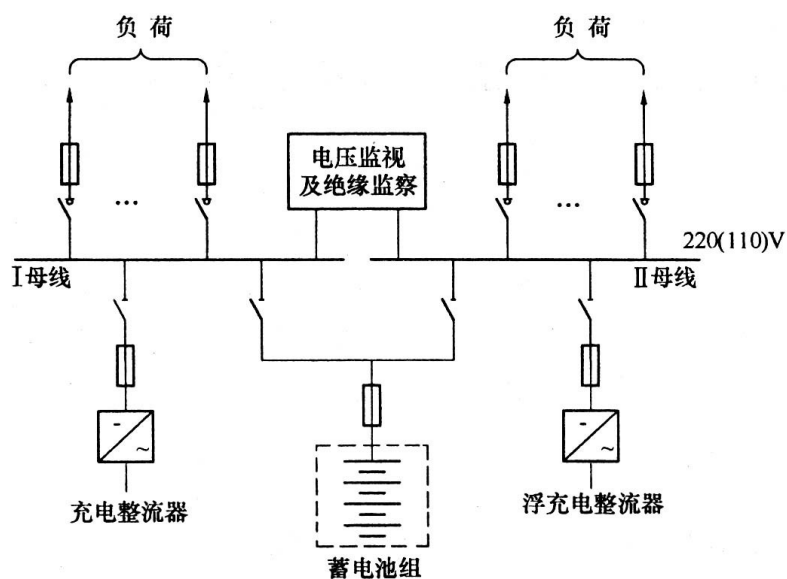


图 8-24 变电站单母线分段的直流系统接线示意图

蓄电池组是一种独立的电源，不受交流系统的影响，当系统故障断电的情况下，仍然能够保证控制、信号、继电保护和自动装置等的连续可靠工作，同时可保证事故照明用电；但其价格昂贵、运行维护复杂。蓄电池组供电的直流操作电源用于重要的、较大容量的变电站。

2. 整流设备的直流电源

硅整流电容储能直流系统电路图如图 8-25 所示。图中 380V、220V 交流电源分别经过隔离变压器 T1、T2 和整流桥 UF1、UF2 向合闸母线 I 和控制母线 II 供电，为所有直流负荷提供电源，并使电容器组 C I 和 C II 处于浮充电状态。其中 UF1 采用三相整流，容量大，接合闸母线 I，作为断路器合闸电源；UF2 采用单相整流，

容量较小 ,接控制母线II ,作为保护、控制、信号及电容器组浮充电的屯源。合闸母
线 I 和控制母线II之间用电阻 R1 和二极管 V3 隔离 ,防止控制母线II向合闸母线 I
供电。M100(+)为闪光小母线。

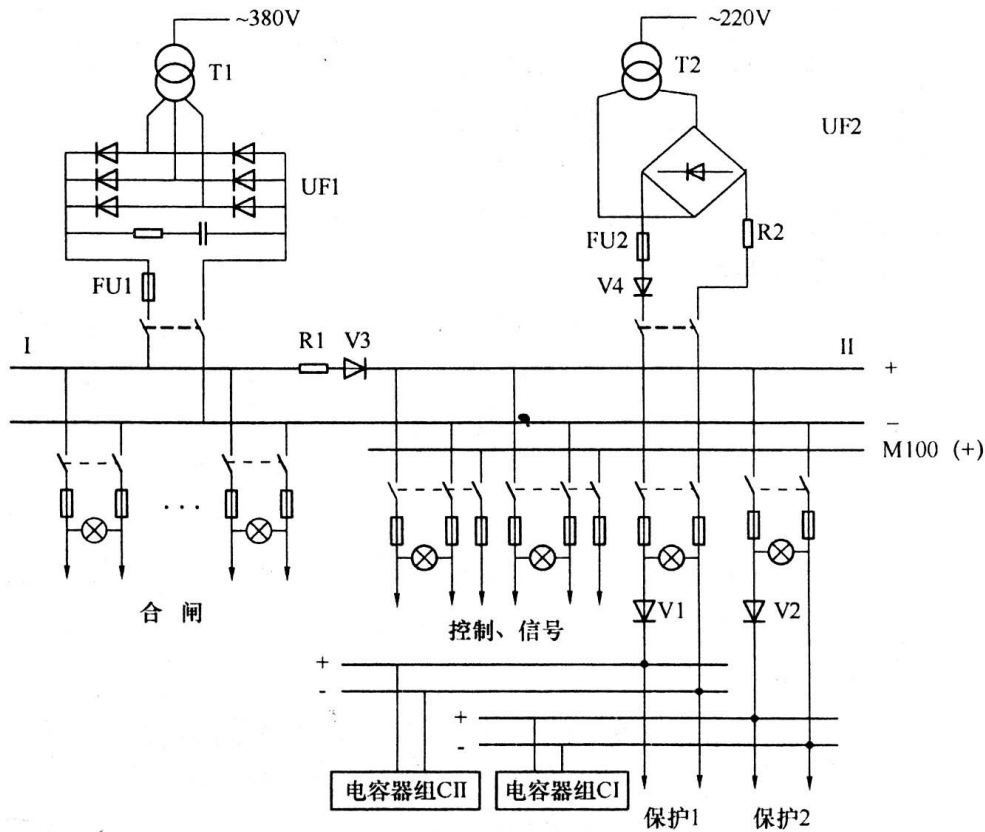


图 8-25 硅整流电容储能直流系统电路图

正常运行时 ,由硅整流设备将所用电交流电源变成直流电源 ,作为操作电源
并向电容器组充电。

在事故情况下 ,所用电交流电源受事故影响电压降低 ,经硅整流设备后的直
流电源常常不能满足二次设备的要求 ,此时利用电容器组储存的电能为继电保

护、自动装置、断路器跳闸回路等重要负荷的操作电源,通过电容器放电保证继电保护、自动装置、断路器跳闸等可靠动作。通常设两组电容器组(图中 C I 和 C II),分别作为线路保护和变压器保护(图中保护 1 和保护 2)的事故电源,保证线路故障时变压器保护的后备作用。

二、直流绝缘检查

(一)直流系统绝缘要求

直流系统的绝缘水平,直接影响变电站的安全运行,乃至电力系统的安全。当变电站的直流系统绝缘降低甚至接地或极间短路,可能导致严重后果。例如,若直流系统正极接地没有得到及时处理,又发生保护出口继电器正端接地,则必然使保护出口继电器动作,断路器误跳闸。

为了防止直流系统绝缘问题影响安全运行,对直流系统有如下要求:

- (1)与直流系统直接连接的二次设备必须满足绝缘水平要求,例如接于 220V 直流电源的设备,其绝缘水平不能低于 500V、试验耐压 2000V / min ;
 - (2)在有条件情况下,将保护及断路器控制用直流与其他设备用直流分开,并尽可能减小保护及断路器控制用直流的延伸范围;尽可能采用交流控制设备;
-

(3)户外端子箱和各种操作机构箱 ,均要采用具有防水、防潮、防尘、密封的结构 ,防止其绝缘受到影响 ;在严重污秽或空气中有腐蚀性气体的地区 ,应采用瓷绝缘端子 ;

(4)户外电缆沟和电缆隧道 ,均要有良好的排水设施 ,防止积水引起电缆绝缘下降和影响环境干燥 ;

(5)主控制室内的控制屏和保护屏 ,采用前后带门的封闭式结构 ,防止灰尘进入 ;对端子排和触点 ,结合停电及时清扫 ,保证绝缘部件表面清洁 ;

(6)在潮湿天气较多的地区 ,直流系统的额定电压宜采用 110V ;

(7)对直流系统的绝缘水平要进行经常性监视 ,发现绝缘下降时应及时处理。

(二)直流系统绝缘监察和电压监视

1 . 直流系统绝缘检查

直流系统的绝缘监察主要是对地绝缘监视。利用电桥原理构成的电磁式直流绝缘监察电路如图 8—26 ,其具有监视绝缘电阻下降发信号和测量绝缘电阻的功能。图中符号的含义如下 :

RD1、RD2——直流正极对地、负极对地的绝缘电阻 ;

R1、R2——电阻 , $R1 = R2$;

R3——电位器；

ISA、2SA——切换开关；

KA——电流继电器；

PVI、PV2——电压表，PVI具有电压、电阻双重刻度。

正常情况下，ISA在0位，R3被短接，由RDI、RD2和R1、R2构成的电桥处于平衡状态，KA中无电流；当直流系统某一极绝缘电阻下降时，破坏了电桥平衡，KA中有电流通过，动作发出预告信号。

通过2SA的切换和PV2，可以判断哪一极接地和估算绝缘电阻值。当2SA₁、2SA₄接通时，PV2=U_m为直流母线电压；当2SA₁、2SA₃接通时，PV2=U₍₊₎为正极对地电压；当2SA₂、2SA₄接通时，PV2=U₍₋₎，为负极对地电压。如果U₍₊₎=0、U₍₋₎=0，则绝缘良好；如果U₍₊₎=0、U₍₋₎=U_m，则正极接地；如果U₍₊₎=U_m、U₍₋₎=0则负极接地。并可利用以下公式估算正、负极对地电阻：

$$\begin{cases} R_{(+)} = R_V \left(\frac{U_m - U_{(-)}}{U_{(-)}} - 1 \right) \\ R_{(-)} = R_V \left(\frac{U_m - U_{(+)}}{U_{(+)}} - 1 \right) \end{cases} \quad (8-4)$$

式中 R_V ——PVI电阻，

$R_{(+)}$ 、 $R_{(-)}$ ——正极对地电阻、负极对地电阻；

U_m ——直流母线电压；

$U_{(+)}$ 、 $U_{(-)}$ ——正极对地电压、负极对地电压。

通过 1SA 的切换和 PVI，可以测量出绝缘电阻。如果正极绝缘下降，将 1SA 切到 1 位置，调节 R3 使 PVI 指示为 0；将 1SA 切到 2 位置，此时 PVI 的电阻刻度即绝缘电阻的数值。

2. 直流系统电压监视

直流系统电压监视典型电路如图 8-27 所示。KV1 为低电压继电器，KV2 为过电压继电器，分别用于反应直流母线电压低于允许值和高于允许值。KV1 或 KV2 动作时，通过光字牌 H1 或 H2 发出预告信号。

通常低电压继电器 KV1 的动作电压整定值为直流母线额定电压的 75%；过电压继电器 KV2 的动作电压整定值为直流母线额定电压的 125%。

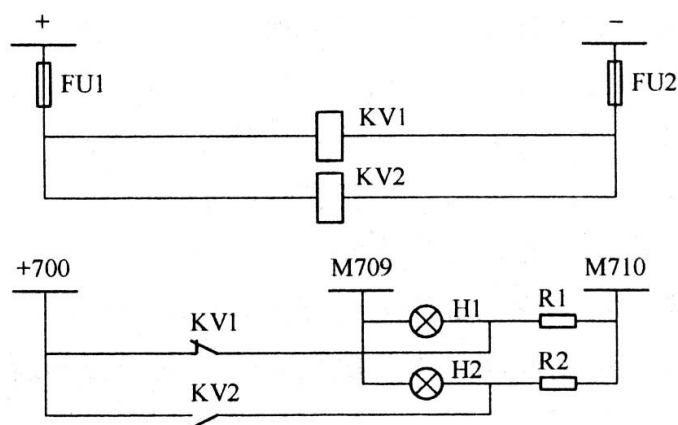


图 8-27 直流系统电压监视典型电路

3 . 开关场到控制室的电缆线

用于集成电路型和微机型保护的电流、电压和信号触点引入线，应采用屏蔽电缆，屏蔽层在开关场与控制室同时接地；各相电流及其中性线、各相电压线及其中性线应分别置于同一电缆内。消除电磁干扰，降低暂态感应电压。

不允许用电缆芯两端同时接地方法作为抗干扰措施。防止变电所开关场地电位与控制室地电位不同，在接地电缆芯中产生环流，造成干扰。

动力线、电热线等强电线路不得与二次弱电回路共用电缆。防止当动力负载三相不对称时，产生零序磁通，干扰弱电设备工作；防止动力负载回路发生严重故障，引发火灾时烧损弱电二次回路。

保护用电缆敷设路径应尽可能离开高压母线及高频暂态电流的人地点，如避雷器和避雷针的接地点，以及并联电容器、电容式电压互感器、结合电容及电容式

套管等设备。

电压互感器二次、三次绕组不能公用电缆引到控制室，必须分开。

4. 互感器及其二次回路的接地点

实际变电所的接地网并非完全等电位面，在不同点间存在电位差。如果一个回路在不同点同时接地，地网上的电位差将产生不应有的分流，在有些情况下，这分流被引入继电保护回路，影响测量的准确性，可能引起保护不正确动作；如果正好在继电器电流线圈的两侧都有接地点，则两接地点与地构成的并联回路，造成电流线圈短路，将使通过继电器线圈的电流，与通入电流互感器二次的故障电流有极大差异，继电器不能正确反应故障。因此要求：

1) 电流互感器及电压互感器的二次回路必须分别有且只能有一点接地，由几组电流互感器二次组合的电流回路，应在有直接电气连接处一点接地；

2) 经控制室零相小母线(N600)连通的几组电压互感器二次回路，只应在控制室将 N600 一点接地，各电压互感器二次中性点在开关场的接地点应断开；

3) 为保证接地可靠，各电压互感器的中性线不得接有可能断开的熔断器(自动开关)或接触器等；

4)独立的、与其他互感器二次回路没有直接电气联系的二次回路，可以在控制室也可以在开关场实现一点接地。

5 . 现场试验

(1)保护停用。在现场试验需要停用继电保护时，确认该保护装置已被停用的原则是，被停用的保护装置，不论怎样通入交直流电流和电压，都不会引起断路器跳闸。以下情况可确认保护停用：

1)必须要有明显的断开点(打开了连接片或接线端子片等)才能确认、并只能确认在断开点以前的保护停用；

2)如果连接片只控制本保护的出口跳闸继电器的线圈回路，则必须断开跳闸触点回路才能认为该保护确已停用。

不允许在未停用的保护装置上进行试验和其他测试工作；也不允许在保护未停用的情况下，用装置的试验按钮(除闭锁式纵联保护的起动发信按钮外)作试验。

(2)仪器、仪表接地。所有试验仪表、测试仪器等，均必须按使用说明书的要求做好相应的接地(在被测保护屏的接地点)后，才能接通电源；注意与引入被测电流电压的接地关系，避免将输入的被测电流或电压短路；只有当所有电源断开后，才

能将接地点断开。

>> 第三节 二次回路接线正确性测试

一、电流互感器极性测试

1. 直流法

电流互感器的同极性端子可用直流法确定 ,试验接线如图 10-2 所示。电流互感器的一次绕组通过开关 S 串接一个直流电池 E , 二次绕组接入直流毫安表 , 直流电池、毫安表极性以及电流互感器的端子连接如图。

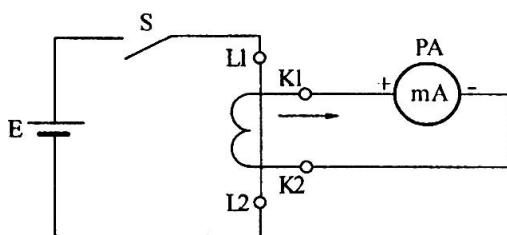


图 10-2 电流互感器极性测试接线示意图

测试时 , 闭合开关 S , 随即快速断开。当闭合开关 S 瞬间 , 如果毫安表指针瞬间正向偏转 , 则电池正极所接端子 L1 与毫安表正极性所接端子 K1 为同极性端子 ; 如果毫安表 PA 瞬间反向偏转 , 则 L1 与 K1 为反极性端子。现场测试视直流电源的

大小，选用不同的直流毫安或微安、直流毫伏表。

2. 带负荷测试法

新安装或经更改的电流回路，可以利用负荷电流检查电流互感器极性接线的正确性。具体方法是，选择一个用于比较的基准电压，通常选择一次元件所连接的母线 A 相电压，然后按照以下步骤进行：

1)通过比较监控系统、计量系统得出潮流方向、功率因数角的数值；

2)对于微机型保护，通过读取保护采样值功能菜单中的各项电流、供比较的基准电压之间的相位差，如果与 1)中计算结果一致，则电流互感器极性接线正确；通过打印瞬时采样值，观察各项电流、供比较的基准电压由正变负(或由负变正)的相位点偏差角度，如果与 1)中计算结果一致，则电流互感器极们；接线正确；

3)利用相位表直接测量二次回路中的电流与供比较的基准电压之间的相位差，如果与 1)中计算结果一致，则电流互感器极性接线正确(这是最通用的方法)。

二、电压互感器极性测试

1. 直流法

电压互感器的同极性端子也可用直流法确定，试验如图 10—3 所示。用 1.5

~3V 电池通过试验开关 S 接电压互感器一次绕组，直流毫伏表 PV 并接于互感器二次绕组，直流电池、直流毫伏表极性以及电压互感器端子连接如图，直流电池正极接互感器一次侧 A 端、负极接于 X 端，直流毫伏表的正极接于二次侧 a 端、负极接于 x 端。

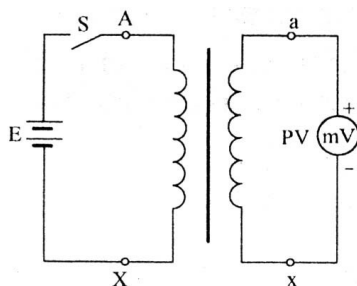


图 10-3 直流法测定电压互感器极性接线示意图

当合上开关 S 的瞬间，毫伏表表针方向偏向正，断开时表针方向偏向负，则该被测互感器 A、a 为同极性端；如表针摆动方向与上述相反，则 A 与 x 为同极性端。

2. 交流法

电压互感器的同极性端子还可用交流法确定，试验如图 10-4 所示。将互感器的一次绕组 A 端与二次绕组 a 端用导线连接，在一次侧加交流电压(如 220V 电源)，同时用两个电压表测量电压，PVI 表测量高压所加的交流电压 U_1 ，PV2 表测量另一同名端 X 与 x 间的电压。如果测得 PVI 表值大于 PV2 表值，则 A 与 a 为同

极性端；反之，则 A 与 x 为同极性端。

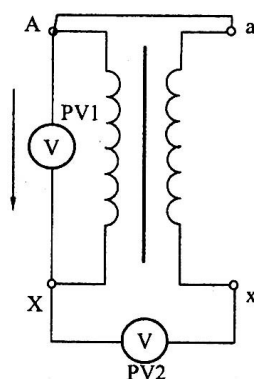


图 10-4 交流法测定电压互感器极性接线示意图

3．带负荷测试法

新安装或经更改的电压回路，应直接利用工作电压检查电压二次回路接线的正确性。对于微机型保护，可以通过读取保护采样值功能菜单中的各项电压之间的相位差来判断电压互感器极性的正确性；也可以通过打印瞬时采样值，观察各项电压由正变负(或由负变正)的相位点偏差角度，来判断电压互感器极性的正确性；更通用的办法是利用相位表直接测量二次接线中的各项电压之间的相位差来判断电压互感器极性的正确性。

三、接线正确性测试

二次接线正确性测试的目的是检查回路的正确性、完整性和可靠性，防止寄

生回路的存在。进行接线正确性测试，基本的方法有导通法和通电法。

1. 导通法

导通法指依据二次回路接线图、端子排图、屏柜接线图等，利用万用表、对灯等查线仪器，对实际的二次回路每一根电缆的连接情况进行检查，确定电缆接线的正确性，确保无寄生回路存在。

测试的顺序是按展开图从上到下、从左到右依次进行，每测试完一根连接线，就在展开图上用铅笔做个记号，以防遗漏。测试时应将连接线两端拆除，保证无其他连接回路存在，否则，导线有可能通过盘内的其他元件的触点、二极管的正向电阻、元件的小电阻线圈等造成指示灯误导通而发亮，造成错误判断。

(1) 电缆查线。

在实际工作中，对于同一工作地点之间的连接电缆，一人可以完成查线。对于不同工作地点之间的连接电缆，需两人配合查线，可通过以接地网为公共端，或选取某一电缆芯为公共端进行查线。以下是利用电路导通原理在不同工作地点之间双人配合查线的常用方法，俗称“对线”，图 10-5 所示为测试示意图。

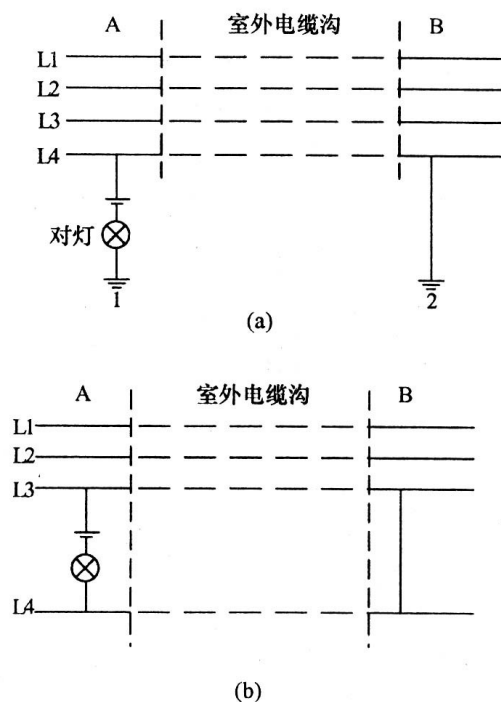


图 10-5 导通法测试二次接线正确性示意图

(a) 步骤 1; (b) 步骤 2

图 10-5 中分为三个部分，分别为工作地点 A、室外电缆沟、工作地点 B，假设被测对象为四芯电缆。为确保对线的正确性，A 地工作人员(简称 A)和 B 地工作人员(简称 B)要建立通信联系，近距离可以采用直接对话，远距离可以通过对讲机、变电站内部通信电话来保证通信联络。在已通过绝缘试验，确保电缆芯对地绝缘良好的情况下，可以采用以下步骤查线：

步骤 1，如图 10-5(a)所示，B 选择其中一根电缆芯(如选择 L4 芯)短接至变电站的接地网上，然后通知 A 利用对灯查找 L4 芯。A 将对灯的一端接地，另外一端在 L1 至 L4 中逐一查找，如果只有一根芯使对灯点亮，则此根芯必为 L4；如果

有两根以上的芯点亮，则说明电缆芯短路，需要进一步查找短路地点。

步骤 2 ,如图 10-5(b)所示 ,B 将 L3 号芯线与 L4 号芯线短接 ,A 将对灯一端连接在 L4 芯线上，另一端在 L1 至线上逐根查找 L3 芯线，如只有一根芯线使对灯点亮，则此芯线即为 L3 芯线；如有两根以上芯线使对灯点亮，则其中有一根芯线为 L3，剩下的芯线与 L3 发生了短路。

以此类推，分别查出芯线 L2、L1。显然，重复步骤 1，同样可以查出 L3、L2、L1。

以上方法是现场常用的一种查线方法，现场还可使用其他方法，基本上都是利用电路导通原理，这里不再赘述。

(2)控制回路查线。

下面以一个典型控制回路图为例，简述如何利用导通法进行查线。弹簧储能操动机构的断路器控制电路》口图 10-6 所示。查线步骤如下：

1)从 FUI 保险下口开始，将对灯一端接在 FUI 保险下口，另一端接到 SA 的触点 5 上，检查这段回路完好性，并在图中做好标记。

2)拆除控制开关 SA5-8 接线端子上的连接线，将对灯两端接在控制开关

SA5-8 触点上 ,通过旋转控制开关 SA 使 SA5-8 触点通断 ,与控制开关 SA 触点图表相比对 , 检查 SA5-8 触点的完好性 , 并在图中做好标记 ; 恢复控制开关 SA5-8 接线端子上的连接线。

3)SA8 触点通过屏内配线连接到控制屏端子排(假设控制屏端子排编号为 D55)上 , SA5-8 断开位置 , 并拆开端子排 D55 与屏内连接 , 利用对灯检查这段配线的完好性 ; 恢复控制开关 SA8 接线端子上的屏内配线。

4)由控制屏至保护屏通过电缆连接 , 假设与控制屏端子排编号 D55 对应的保护屏上端子排编号为 DZ60 , 将电缆芯在 D55 和 DZ60 端子排外侧分别断开 , 通过两人配合查线来检查这段电缆芯的完好性 , 并在图中做好标记 ; 恢复 D55 端子排外侧电缆芯与端子排的连接。

5)保护屏上 DZ60 端子往屏内有两条支路 , 一条通往 KCF 动合触点 KCF_1 , 另一条通往 KCF 的动断触点 KCF_2 。因 KCF_1 和 KCF_2 均属于 KCF 继电器 , 按屏柜的常规设计规则 , KCF_1 和 KCF_2 触点的公共端应设计在 KCF 继电器接线端子上 , DZ60 端子与此公共端通过一根屏内配线连接。因此 , 利用对灯检查这段配线的完好性 , 并在图中做好标记 ; 然后恢复 DZ60 端子排外侧电缆芯与端子排的连接。

6)KCF 的动合触点 KCF_1 后为 KCF 继电器的电压线圈，利用对灯检查这段配线的完好性，并在图中做好标记。

7)KCF 继电器的电压线圈后接 FU2 保险下口。因 FU2 保险在控制屏上，KCF 继电器的电压线圈后实际上要接到保护屏端子排上的负电源公共端上(假设负电源公共端在端子排上编号为 DZI00)，利用对灯检查这段配线的完好性，并在图中做好标记。

8)KCF 继电器动断触点 KCF_2 后为断路器机构中弹簧储能合触点 Q1，在室外，需要两人配合查线来检查这段电缆芯的完好性，方法参考以上叙述。

9)图 IO-6 中其他上文未涉及回路可依照以上方法进行查线。

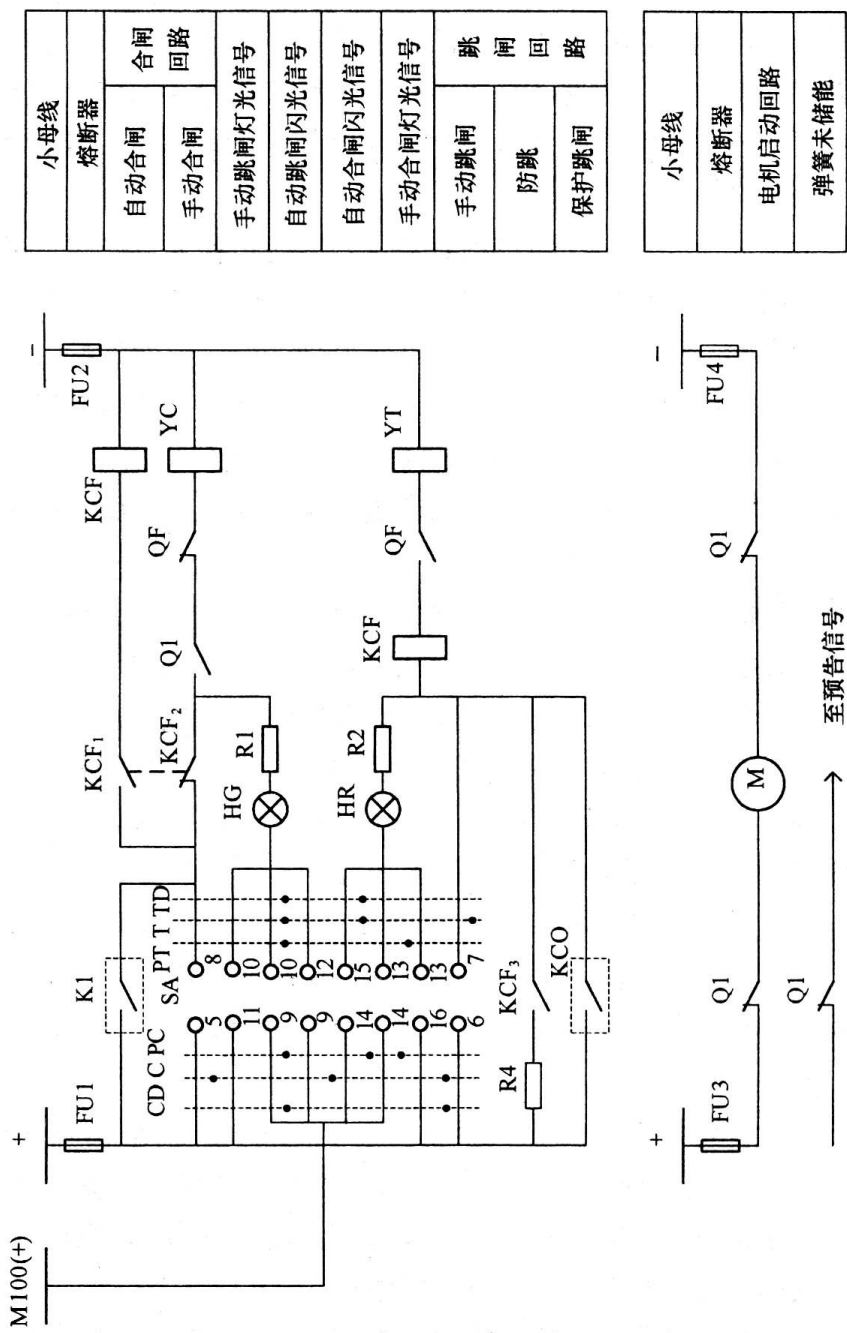


图 10-6 弹簧储能操动机构的断路器控制电路

2. 通电法

通电法指将保护装置交流回路、保护控制回路及信号回路加载相应的交直流电,观察保护装置的运行情况、测试保护装置的有关参数以确保回路的正确性、完整性和可靠性,并发现和消除寄生回路。对于交流二次回路的通电测试,可以分为

基建和改造后的试验测试、投运时的带负荷测试。 ,

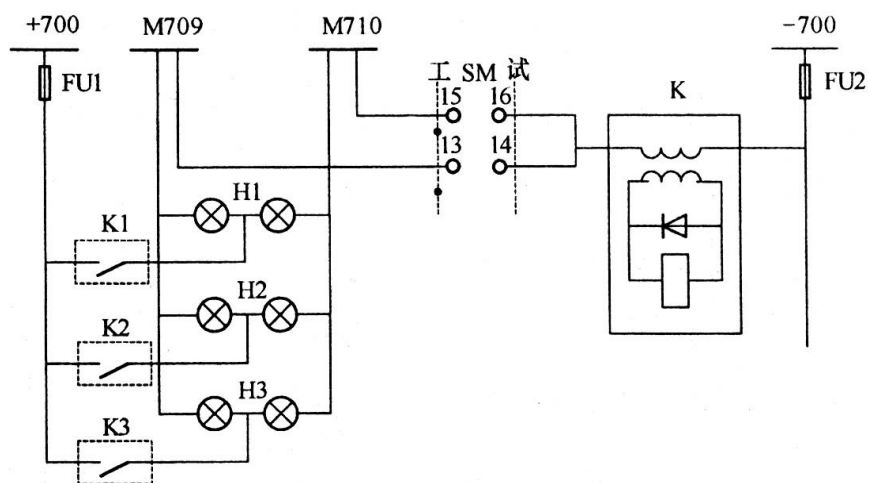
基建完成后交流二次回路没有经过实际运行检验,改造后的设备交流二次回路发生了变动,都需要进行测试。方法是将保护测试仪输出设定的电压、电流,如果是微机保护,通过读取保护装置中的电压、电流的幅值和相位来确定接线的正确性,有些微机保护装置中没有给出电压和电流的相位,需要使用相位表来测定电压、电流的相位。非微机型保护装置只能通过相位表来测定电压、电流的幅值和相位。

投运时的带负荷测试即利用实际运行时的电压、电流进行测试,试验方法同上。

对保护控制回路的测试,可以依据原理图,先分析好各点的电压值应为多少,然后量取各点的电压值是否与分析值相符。重点检查跳合闸回路的电压值是否与分析值一致。例如图 10-6,假设弹簧已储完能量,则其动合触点 QI 闭合;电阻 RI 与手动合闸回路中的 QF 辅助动断触点应处于连通状态;如果此时线路处于合闸状态,QF 辅助动合触点闭合,QF 辅助动断触点打开,跳闸回路接通,合闸回路断开,红灯 HR 亮,绿灯 HG 不亮。假设直流控制系统的电压为 220V,此时正常情

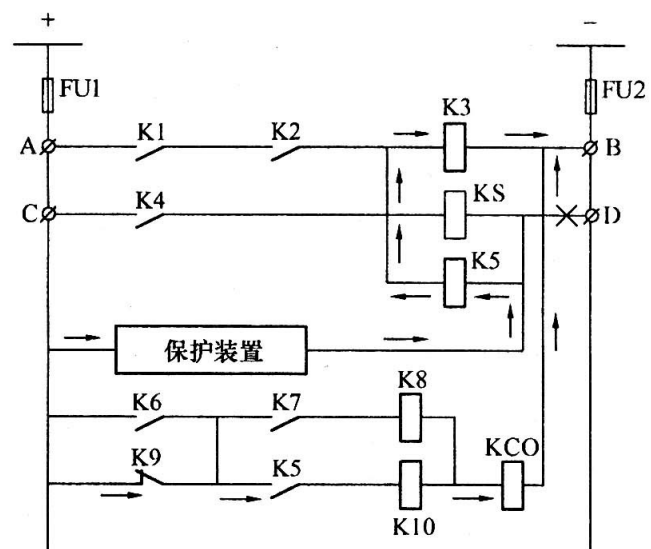
况下合闸回路中动合触点 Q1 左侧电压应为+110V，跳闸回路中防跳继电器 KCF 电流线圈左侧电压应为—110V。如果此时红灯 HR 不亮(说明合闸回路被断开)，利用万用表测量上述两点电压；如果跳闸回路中防跳继电器 KCF 电流线圈左侧电压不为-110V，为+110V 或接近+110V，则说明断路器常开辅助触点不好，需要通知专业人员维护。

对于信号回路的测试，可以依据原理图，先分析好各点的电压值应为多少，然后量取各点的电压值是否与分析值相符；大部分信号回路平时处于断开状态，也可以通过人为短接信号正电源与各信号端子使信号发出，检查信号与设定的是否对应，以判断二次回路的正确性。以图 10-7 为例，正常情况下，M709 与 M710 带负电(经控制开关 SM 和继电器 K 接负电源—700)，因继电器 K1 触点为动合触点，从理论上分析 H1 点为负电，可以用万用表测量 H1 点的电位来判断接线正确性；也可以人为短接+700 号与 H1 点对应的端子，看信号灯是否被点亮，警铃音响是否发出，被点亮的信号是否与设计图纸相符来判断回路正确性；再按照同样的方法检查 H2、H3 点。

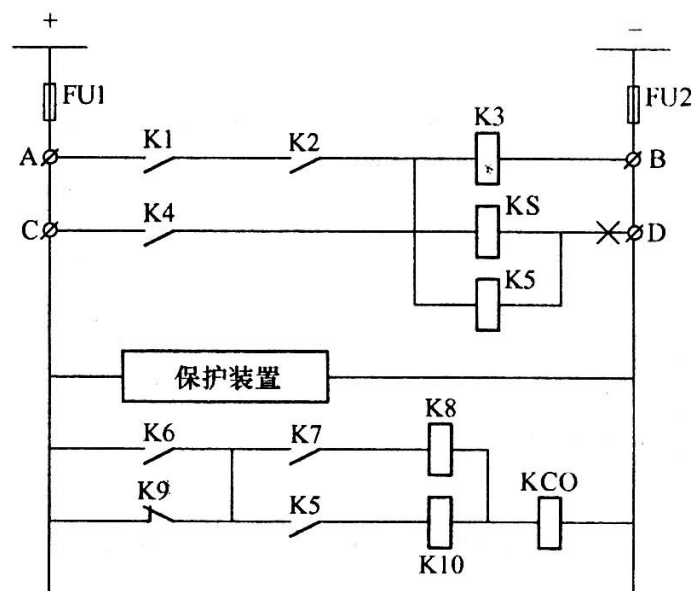


3. 寄生回路查找

寄生回路的存在，破坏了不同类型二次回路和不同装置之间二次回路的接线独立性，容易导致事故的发生，需要予以消除。如图 10-8 所示，图(a)未按反措“按专用端子对接线”要求接线，运行中更换信号继电器 KS，在拆开其负电源线(图中“X”处)时，由于寄生回路作用(图中箭头所示)使保护出口继电器 KCO 动作；图(b)为改正后接线，显然不会发生上述误动作。



(a)



(b)

图 10-8 寄生回路说明图

(a) 产生寄生回路；(b) 消除寄生回路

通电法、导通法和绝缘试验都可以应用于查找寄生回路。

采用通电法查找寄生回路的方法是 ,给交流回路通电 ,而保护控制回路及信号

回路不通电，用万用表在保护控制回路及信号回路选取若干点测量有无交流电，
以判断有无寄生回路；给保护控制回路通电，

而交流回路及信号回路不通电，用万用表在交流回路及信号回路选取若干点
测量有无直流电，以判断有无寄生回路；给信号回路通电，而交流回路及保护控制
回路不通电，用万用表在交流回路及保护控制回路选取若干点测量有无直流电，
以判断有无寄生回路。

采用导通法检查寄生回路，因其逐根查线，故可以有效地检查出寄生回路。

需要指出的是，利用通电法没有发现寄生回路，但并不能确保无寄生回路的存在，有的寄生回路正好被二次回路中的触点所断开，如果此处存在寄生回路，则无法测出电压，导致判断错误。

寄生回路存在还有一种情况，电缆芯间绝缘降低或绝缘损坏导致寄生回路存在，这种情况通过导通法和通电法都无法查出来，通过绝缘试验可以解决此问题。
以上三种方法结合使用，可以有效消除寄生回路。