

电力系统继电保护

下 册

山 东 工 学 院
山东省电力工业局 《电力系统继电保护》编写组

水利电力出版社

电力系统继电保护

下 册

山东工学院《电力系统继电保护》编写组
山东省电力工业局

水利电力出版社

内 容 提 要

本书较全面地讲述了电力系统继电保护的基本原理，并介绍了几种主要保护装置及其调试中有关问题的分析。

全书分上、下两册。第一章至第八章为上册，主要讲述电力系统故障情况的基本分析，继电保护的基础知识，电流、电压互感器和对称分量滤序器，电网的电流电压保护、方向电流保护、零序保护、距离保护的工作原理和整定计算，并结合保护原理介绍了 LH-11 型距离保护等装置。

第九章至第十六章为下册，主要讲述电网的差动保护、高频保护、自动重合闸以及变压器、发电机、母线和电动机等元件保护的工作原理及整定计算，结合保护原理介绍了 BFG-1A 型和 JGX-11A 型高频保护以及 ZZC-4 型综合重合闸等装置。

本书可作为高等工科院校和“七·二一”大学有关专业的教学参考书，也可供从事继电保护工作的专业人员参考。

电力系统继电保护

下 册

山东工学院 山东省电力工业局《电力系统继电保护》编写组

水利电力出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

1979年5月北京第一版

1979年5月北京第一次印刷

印数 00001—70260 册 每册 2.05 元

书号 15143·3437

目 录

第九章 电网的差动保护	351
9-1 差动保护的作用	351
9-2 纵联差动保护的一般原理	351
9-3 ZCD-1型线路纵联差动保护装置	357
9-4 平行线路的横联差动方向保护	361
9-5 平行线路的电流平衡保护	367
第十章 电网的高频保护	371
10-1 高频保护的作用及分类	371
10-2 高频通道	372
10-3 高频闭锁方向保护	384
10-4 高频闭锁距离保护	388
10-5 高频相差动保护	392
10-6 高频收发讯机	405
10-7 BFG-1A型方向比较式高频保护装置	419
10-8 JGX-11A型高频相差动保护装置	436
10-9 分支线对高频保护的影响	448
10-10 输电线路分布电容对高频保护的影响	454
10-11 高频保护调试中的若干问题	460
10-12 高频保护的评价及其应用范围	465
10-13 高频保护的发展	465
附录 BDN-1型直流电源变换装置(简称逆变器)	472
第十一章 自动重合闸	479
11-1 自动重合闸的一般概念	479
11-2 单侧电源输电线路的三相一次自动重合闸	481
11-3 两侧电源输电线路的三相一次自动重合闸	485
11-4 自动重合闸与继电保护的配合	494
11-5 综合重合闸的一般概念	496
11-6 ZZC-4型综合重合闸装置	502
第十二章 电网继电保护的选择原则及实例	516
12-1 概述	516
12-2 选择电网继电保护方式有关的几个问题	516
12-3 主保护、后备保护和辅助保护	519
12-4 各级电压网络保护配置的一般情况	521
12-5 电网继电保护选择举例	524

第十三章 变压器保护	537
13-1 变压器可能发生的故障和它的保护方式	537
13-2 变压器的瓦斯保护	537
13-3 变压器的电流速断保护	539
13-4 变压器差动保护的的特殊问题及保护方式	540
13-5 变压器的差动电流速断保护	546
13-6 采用 BCH-2 型继电器的差动保护	546
13-7 采用带制动特性的差动保护	552
13-8 采用鉴别波形原理的差动保护	559
13-9 利用二次谐波制动的差动保护	567
13-10 变压器差动保护的整定计算	569
13-11 BCH型差动继电器的调试	578
13-12 变压器的过电流保护和过负荷保护	586
13-13 变压器的零序保护	591
13-14 自耦变压器的保护	594
13-15 变压器保护接线全图举例	597
第十四章 发电机保护	599
14-1 发电机可能发生的故障和它的保护方式	599
14-2 发电机的纵联差动保护	600
14-3 发电机的横联差动保护	604
14-4 发电机的过电流及过负荷保护	606
14-5 电流互感器二次回路断线时, 负序电流保护动作行为的分析	613
14-6 发电机定子绕组的接地保护	616
14-7 发电机转子回路的接地保护	623
14-8 发电机的失磁保护	628
14-9 水轮发电机的过电压保护	635
14-10 发电机保护接线全图举例	635
14-11 同步调相机保护	637
14-12 发电机—变压器组保护的特点	640
第十五章 母线保护	644
15-1 母线故障和对母线保护的要求	644
15-2 母线的完全差动电流保护	645
15-3 电流相位比较式母线差动保护	654
15-4 电流比相式的母线保护	661
15-5 断路器失灵保护	666
第十六章 电动机保护	670
16-1 电动机的故障种类和不正常工作状态	670
16-2 电动机的相间保护和单相接地保护	670
16-3 电动机的过负荷保护	673
16-4 电动机的低电压保护	674

第九章 电网的差动保护

9-1 差动保护的作用

前面所讨论的电流电压和距离保护装置，都只反应线路一侧的电量，在保证选择性的前提下，只能瞬时切除被保护线路一部分长度内的各种故障。即使距离保护最多也只能保护线路全长的80%左右。线路其余部分发生短路，都必须由延时保护来切除，这在高压大容量的电力系统中，有时就不能满足系统稳定的要求，同时，在短线路上采用这些保护也会发生困难。例如，距离保护的保护区，要受到过渡电阻等因素的影响。在短线路上距离保护I段的保护区很小，甚至没有保护区。纵联差动保护在原理上不反应相邻线路上发生的短路故障，不需要在时间上与相邻线路的保护相配合，所以可实现全线速动。

在平行线路上，利用比较两回线路中电流的横联差动保护，也不需要与相邻线路的保护配合，所以也可做成瞬时动作。属于这种类型的保护有横联差动电流方向保护和电流平衡保护。

应当着重指出：纵联差动保护在发电机、变压器和母线保护中，比在输电线路中用得更加广泛。本章主要以输电线路的纵联差动保护为例，讨论纵联差动保护的一般原理。

9-2 纵联差动保护的一般原理

一、纵联差动保护的工作原理

用环流法构成的纵联差动保护的单相原理接线如图9-1所示。在线路两侧装有相同变比的电流互感器，两侧电流互感器的同极性端子相连接，电流继电器接在差流回路内。这样，在正常运行和外部（指两电流互感器所包围的范围以外）短路时[如图9-1(a)中 D_1 点]，流入继电器线圈的电流为：

$$\dot{I}_J = \dot{I}_{12} - \dot{I}_{n2} \quad (9-1)$$

如果忽略被保护线路的电容电流，则流经线路两侧的一次电流相等，即 $\dot{I}_{11} = \dot{I}_{n1}$ ，于是两侧电流互感器二次电流 \dot{I}_{12} 及 \dot{I}_{n2} 也相等，并在回路内形成环流，如图9-1(a)所示。这时，流入继电器的电流 $\dot{I}_J = \dot{I}_{12} - \dot{I}_{n2} = 0$ ，继电器不动作。

在内部短路时（如 D_2 点短路）的电流分布，如图9-1(b)所示，两侧电源分别向短路点供给短路电流 \dot{I}_{11} 及 \dot{I}_{n1} ，它们之间的向量关系，决定于两侧电源电势之间的相角及电源至故障点的等值阻抗角。在一般情况下， \dot{I}_{11} 与 \dot{I}_{n1} 之间的相角差不大。这时，由于 \dot{I}_{n1} 的方向已与正常运行时相反，所以流入继电器的电流为：

$$\dot{I}_J = \frac{1}{n_{LH}} (\dot{I}_{11} + \dot{I}_{n1}) = \frac{1}{n_{LH}} \dot{I}_D \quad (9-2)$$

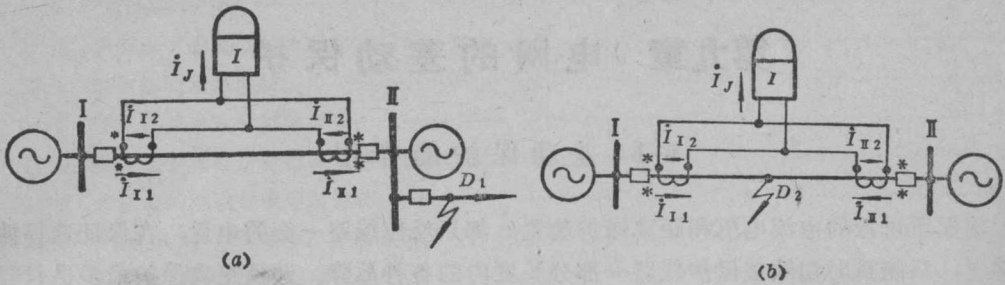


图 9-1 环流法纵联差动保护的原理接线图
(a)外部短路时的电流分布；(b)内部短路时的电流分布

式中 n_{LH} ——电流互感器的变比；
 \dot{I}_D ——故障点的短路电流。

当流入继电器的电流 I_J 大于继电器的动作电流 $I_{dz.J}$ ，即 $I_J > I_{dz.J}$ 时，继电器动作，将故障元件自两侧同时切除（图中未示出跳闸回路）。

由此可见，纵联差动电流保护装置的保护范围，就是两侧电流互感器所包括的范围。在保护范围以外短路时，保护不会动作。因此，不需要与相邻元件的保护在整定值和动作时间上配合，所以可构成无延时的速动保护。

应当指出，纵联差动保护在外部短路时，虽然两侧的一次电流相等，但由于两侧电流互感器的误差和特性不完全一致，在二次差动回路中将出现不平衡电流。因此，为了提高差动保护的灵敏度，必须降低保护的不平衡电流或减小其影响。

二、纵联差动保护的不平衡电流

在环流法接线的纵联差动保护中，不平衡电流是由于两侧电流互感器的误差不一致而引起的。如将电流互感器的电流都归算到二次侧，由等值电路图9-2可写出其二次电流的关系式为：

$$\begin{aligned}\dot{I}_{I2} &= \dot{I}'_{I1} - \dot{I}'_{I1c} \\ \dot{I}_{II2} &= \dot{I}'_{II1} - \dot{I}'_{II1c}\end{aligned}$$

考虑到 $\dot{I}'_{I1} = \dot{I}'_{II1} = \dot{I}'$ ，因此在正常运行及外部短路时，继电器中的电流为：

$$\dot{I}_J = \dot{I}_{I2} - \dot{I}_{II2} = \dot{I}'_{I1c} - \dot{I}'_{II1c} = \dot{I}_{bp} \quad (9-3)$$

式中 \dot{I}_{bp} ——不平衡电流。

由式(9-3)可见，不平衡电流实际上就是电流互感器励磁电流之差。在一般情况下，两侧电流互感器的特性不能完全相同，即 $\dot{Z}'_{I1c} \neq \dot{Z}'_{II1c}$ ，所以 $\dot{I}'_{I1c} \neq \dot{I}'_{II1c}$ 。即使特性一致， $\dot{Z}'_{I1c} = \dot{Z}'_{II1c}$ ，由于它们的二次负载不等，所以 $\dot{I}'_{I1c} \neq \dot{I}'_{II1c}$ 。尤其在短路过程中，一次电流很大，以致铁芯饱和， \dot{I}'_{I1c} 与 \dot{I}'_{II1c} 之间的差异就更显著，因此 I_{bp} 更大，如图9-4所示。

对于只有两组电流互感器的差动保护，其不平衡电流可用图9-2所示的等值电路来分析。图中 $\dot{Z}_{I.dz}$ 和 $\dot{Z}_{II.dz}$ 为差动回路辅助导线的阻抗， \dot{Z}_J 为继电器线圈的阻抗。

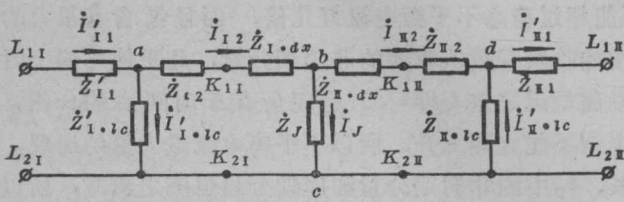


图 9-2 环流接线纵联差动保护的等值电路图

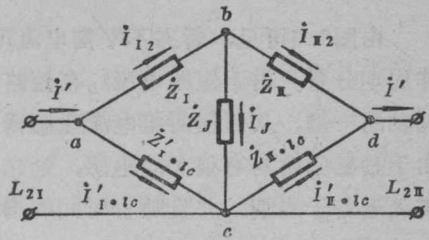


图 9-3 由图9-2求 I_J 的等值电路

为了求继电器线圈中的电流 I_J ，可用图9-3的等值电路代替图9-2。图中 $Z'_r = Z'_{r2} + Z'_{r.d.x}$ ； $Z'_u = Z'_{u2} + Z'_{u.d.x}$ 。考虑到 $I'_{11} = I'_{21} = I'$ ，图9-3是一个电桥电路，对于流入继电器线圈的电流 I_J ，就是电桥的不平衡电流。因两侧电流互感器的一次侧阻抗 Z'_{11} 和 Z'_{21} （都换算到二次侧）在电桥电路以外，与电桥的不平衡电流无关，所以图9-3中没有画出。

由图9-3可见，当满足下列条件：

$$\frac{Z'_{1.c}}{Z'_{2.c}} = \frac{Z'_r}{Z'_u} \quad (9-4)$$

时， $I_J = I_{bp} = 0$ 。式(9-4)即为图9-3电桥的平衡条件。但由于电流互感器的磁化曲线是非线性的，其励磁阻抗 Z'_{1c} 并不是常数。尤其在一次电流很大，铁芯饱和时， Z'_{1c} 显著下降，式(9-4)的关系不能维持，这时实际上仍有较大的不平衡电流出现。

以上所讨论的只是在稳态周期性短路电流下所产生的不平衡电流。由于差动保护是瞬时动作的，因此还需要进一步考虑在外部短路的暂态过程中，差动回路中出现的非平衡电流。这时，在一次侧短路电流中包含有按指数函数衰减的非周期分量，它对时间的变化速度 $\left(\frac{di}{dt}\right)$ 远小于周期分量的变化速度。因非周期分量很难传变到二次侧，而主要是作为电流互感器的励磁电流，该电流将在铁芯中产生非周期分量的磁通，从而使铁芯严重饱和，励磁阻抗急剧下降，二次电流的误差更加增大。

当外部短路时，短路电流和差动回路中不平衡电流的暂态过程，如实验波形图9-5所示。

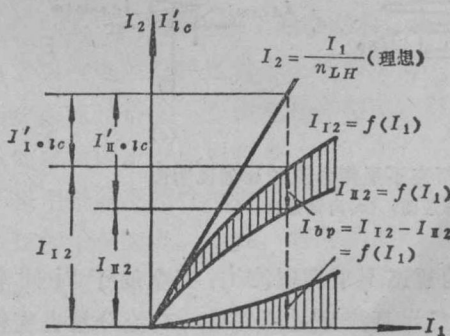


图 9-4 电流互感器的特性曲线和不平衡电流

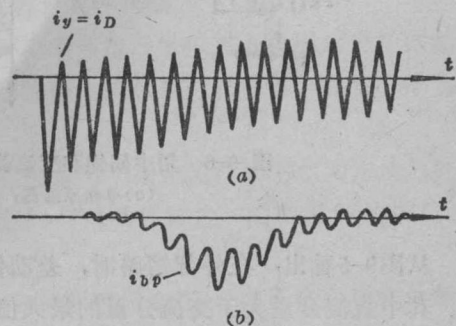


图 9-5 外部短路时短路电流和差动回路中不平衡电流的暂态过程
(a) 短路电流；(b) 不平衡电流

由图9-5可见，暂态不平衡电流可能超过稳态不平衡电流好几倍，而且包含有很大的非周期分量。由于短路电流 i_D 在短路初始阶段有数值较大的非周期分量，几乎使 i_D 偏于时间轴的一侧，从而使两组电流互感器励磁电流之差（即 i_{br} ）也完全偏于时间轴的一侧。由于励磁回路具有很大的电感，励磁电流不能立即上升，所以不平衡电流最大值的出现，将延迟若干周期。并且随着时间的增长， i_D 中的非周期分量和周期分量也随之衰减，所以 i_{br} 也逐渐衰减。

综上所述，在差动保护中总会有不平衡电流出现，特别在暂态过程中，其数值可能很大。因此，设法减小不平衡电流或减小它对保护的影响，是提高差动保护灵敏度的根本措施。

三、减小不平衡电流及避开其影响的方法

第一，采用为差动保护特制的C级电流互感器，并使两侧互感器的负载尽可能平衡，即满足式(9-4)的条件。

第二，减小电流互感器的二次侧的负载，并按10%误差曲线来校验。在计算电流倍数时，应采用外部短路时的最大短路电流。

即使采用上述措施，仍然不可能完全消除差动保护中的不平衡电流。为了进一步减小和限制差动保护中的不平衡电流，通常采用下列方法：

1. 将电流继电器通过一中间饱和变流器(BLH)接入差动回路，如图9-6(a)所示。

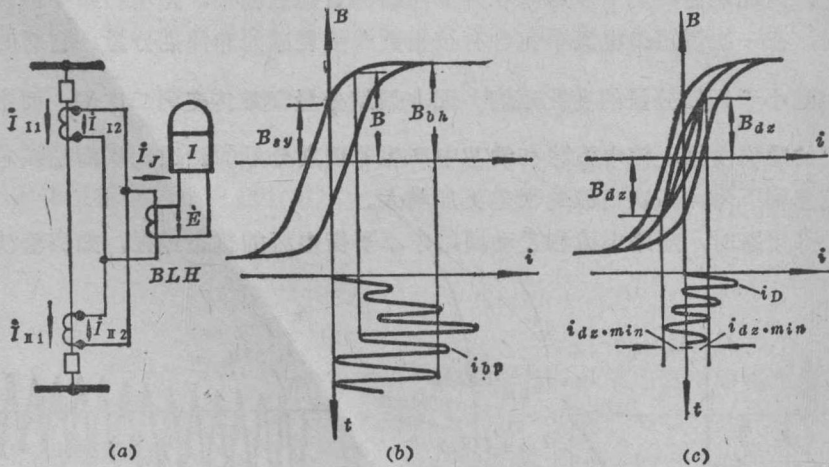


图 9-6 用中间饱和变流器躲过暂态不平衡电流的原理说明图
(a)单相原理图；(b)外部短路；(c)内部短路

从图9-5看出，在外部短路时，差动保护的暂态不平衡电流 i_{br} 完全偏于时间轴的一侧。其中直流分量大于交流分量的最大值，并且当直流分量消失后，交流分量也变得很小（为稳态不平衡电流）。而在内部短路时，差动保护中流过与短路电流 i_D 成正比的电流，则只在最初一两个周期才偏于时间轴的一侧，直流分量衰减以后，就不再偏于时间轴的一侧，也就是直流分量小于交流分量的最大值。根据 i_{br} 与 i_D 的这种差别，就有可能把外部

和内部短路区分开来。

当外部短路时, 流过 BLH 一次侧的是不平衡电流 $i_J = i_{bp}$ 。由于 i_{bp} 完全偏于时间轴的一侧, 如图9-6(b)所示, 故由 i_{bp} 产生的磁感应强度将沿局部磁滞回线而变化。通常每一周期内磁感应强度要在 $(B_{bh} - B)$ 范围内变化两次, 即 $\Delta B = 2(B_{bh} - B)$ 。在特殊情况下, 即使在 i_{bp} 瞬时值降到零的一个周期内, 最大磁感应强度的变化也只有 $\Delta B = 2(B_{bh} - B_{sy})$, 其中 B_{bh} 为饱和磁感应强度, B_{sy} 为剩余磁感应强度。

在内部短路时, 流过 BLH 一次侧的是与短路电流 i_D 成正比的电流, 在非周期分量衰减后, i_D 对时间轴不再有偏移, 如图9-6(c)所示。在 $I_J = I_{dz.min}$ (保护装置动作电流的最小值) 的作用下, BLH 的磁感应强度每一周期内的变化为 $4B_{dz}$ 。如果继电器的动作电压为 $E_{dz.J} \propto 4B_{dz}$, 则当 $I_D \geq I_{dz.min}$ 时, 继电器动作。由于在暂态过程的开始阶段, i_D 中含有非周期分量, 速饱和变流器要短时间饱和, 使保护装置的动作延缓, 但延缓的时间一般不超过30~40毫秒。

为了保证外部短路时, 保护装置能可靠地躲过暂态不平衡电流的影响, 保护装置参数的选择必须使 $\Delta B_{dz.J} > 2(B_{bh} - B_{sy})$ 。而为了保证内部短路时能可靠地动作, 又应使 $\Delta B_{dz.J} < 4B_{bh}$ 。因此, 继电器的动作电压 $E_{dz.J}$ 调整到 $E_{dz.J} \propto \Delta B_{dz.J}$ 后应保持不变。也就是应适当选择饱和变流器的动作磁感应强度 B_{dz} , 才能满足上述两个条件。这一 B_{dz} 称为最佳磁感应强度, 与此相对应的一次动作安匝 $(IN)_{dz.J}$ 叫做最佳动作安匝。通过改变 BLH 一次侧的匝数, 可调节整个差动继电器的动作电流 $I_{dz.J}$ 。

采用了饱和变流器以后, 只要按躲过外部短路时稳态不平衡电流整定保护装置的动作电流, 就可提高保护装置的灵敏度。

2. 在差动回路继电器线圈中串联一个电阻 R , 如图9-7所示, 是躲过暂态不平衡电流的一种简单方法。由图9-5可见, 在外部短路的暂态过程中, 由于不平衡电流 i_{bp} 中含有大量的非周期分量, 使铁芯大大饱和, 励磁阻抗 Z'_{lc} 大大下降。这时, 电阻 R 使继电器中的不平衡电流 $I_J = I_{bp}$ 下降很多。而在内部短路时, 当稳态短路电流较小, 接近于保护的動作电流时, 铁芯未饱和, 励磁阻抗 Z'_{lc} 很大, 比 R 值大很多。这时, 电阻 R 不会使继电器中的电流 I_J 显著下降。当内部短路电流很大时, 虽然 Z'_{lc} 大为下降, 但继电器中的电流还是很大, $I_J > I_{dz.J}$, 继电器仍然会动作。 R 值通常取为5~10欧。

由于引入电阻对躲过暂态不平衡电流的效果并不很理想, 所以加入电阻后保护的動作电流还应按躲过暂态不平衡电流来整定。这种方法的最大的特点是接线简单, 目前在小容量发电机的差动保护中应用较多。

3. 采用带制动特性的差动继电器。差动保护的稳态不平衡电流, 通常仅为电流互感器二次电流的十分之几。因此, 将差动回路中的电流 I_J 与两循环臂之一的电流 (I_{12} 或 I_{22}) 相比较, 就可以区分外部和内部短路。

图9-8所示为采用带制动特性的差动继电器的保护原理示意图。在正常运行和外部短路时, 通过制动线圈 N_{zh} 的电流为 \dot{I}_{12} , 而通过工作线圈 N_g 的电流为 $\dot{I}_J = \dot{I}_{12} - \dot{I}_{22} = \dot{I}_{bp}$,

这时 $\dot{I}_{12} > \dot{I}_{bp}$; 当内部短路时, 通过工作线圈 N_g 的电流为 $\dot{I}_J = \frac{1}{n_{LH}} \Sigma \dot{I} = \dot{I}'_D$, 这时 $\dot{I}'_D \geq$

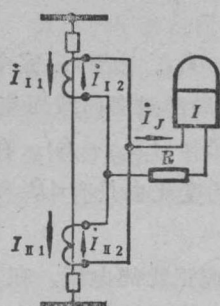


图 9-7 在差动回路接入附加电阻的原理接线图

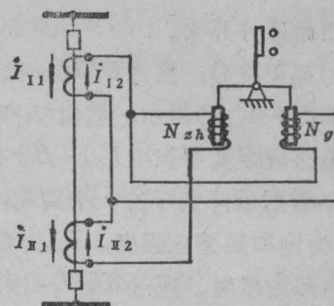


图 9-8 采用带制动特性的差动继电器的保护原理示意图

I_{n2} ，只要适当选择 N_{zh} 和 N_g 的匝数比，使得在外部短路时，由 $N_{zh}I_{n2}$ 产生的制动力矩大于由 N_gI_{bp} 产生的工作力矩，继电器就不会动作。而在内部短路时， $N_gI'_D$ 所产生的工作力矩大于由 $N_{zh}I_{n2}$ 所产生的制动力矩，继电器动作。采用带制动特性的差动继电器，是减小稳态不平衡电流很有效的方法。但在暂态过程中，由于 I_{bp} 很大，所以制动特性对躲过暂态不平衡电流的效果并不理想。目前获得广泛应用的是带有饱和特性和磁制动特性的差动继电器，如 BCH-1 和 BCH-4，见（13-4 节）。

四、纵联差动保护动作电流的选择和灵敏度的校验

一般可按以下两个条件来选择差动继电器的动作电流：

(1) 躲过外部短路的最大不平衡电流

$$I_{dz.J} = K_k K_{fzq} K_{tx} \times 0.1 \frac{I_{D.max}}{n_{LH}} \quad (9-5)$$

式中 K_k ——可靠系数，取为 1.2~1.3；

K_{fzq} ——非周期分量系数。当采用饱和变流器时，取 $K_{fzq} = 1$ ，即只按躲过稳态不平衡电流来整定；当采用串联电阻时，由于它躲过暂态不平衡电流的效果并不理想，取 $K_{fzq} = 1.5 \sim 2$ 。

K_{tx} ——同型系数。在两侧电流互感器型号相同时，取 $K_{tx} = 0.5$ ，其他条件下取为 1。

$I_{D.max}$ ——外部短路时，流过保护装置的最大短路电流。

(2) 躲过最大负荷电流

$$I_{dz.J} = K_k \frac{I_{fh.max}}{n_{LH}} \quad (9-6)$$

式中 K_k ——可靠系数，取为 1.2~1.3。

这样整定是为了防止在正常运行时，由于一侧电流互感器二次回路断线而引起保护装置的误动作。但是，还必须装设断线监视装置，当二次回路断线时发出信号，由值班人员将保护退出工作，或者装设使保护自动退出工作的闭锁装置。否则，在二次回路断线后，如果又发生外部短路，保护装置将无选择地动作。

根据以上两个条件计算的结果，选择其中较大的一个数值作为保护装置的整定值。
保护装置的灵敏度，可按单侧供电情况下保护范围末端的最小短路电流来校验，即

$$K_{lm} = \frac{I_{D.min}}{I_{dz}}$$

一般要求 $K_{lm} \geq 1.5 \sim 2$ 。

只有当按躲过稳态不平衡电流整定不能满足灵敏度要求时，才采用带制动特性的差动继电器。

9-3 ZCD-1型线路纵联差动保护装置

一、ZCD-1型差动保护装置简介

ZCD-1型纵联差动保护装置与ZXJ-1型辅助导线监视装置配合，可用于大接地电流系统及小接地电流系统中，作为短距离（10公里以下）输电线路的主保护。当被保护线路发生相间或接地短路时，能全线快速切除故障线路。该装置的原理接线如图9-9所示，它由电流综合装置、桥型比较电路和补偿电路三部分组成。

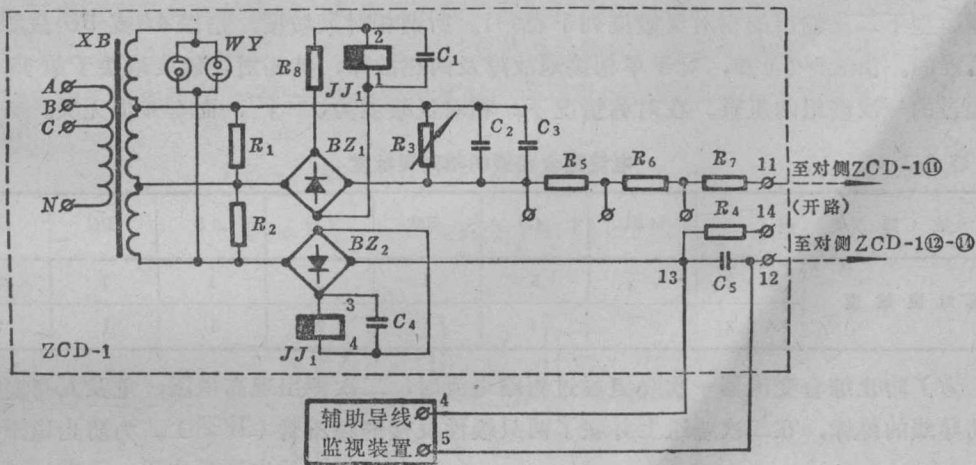


图 9-9 ZCD-1型纵联差动保护装置原理接线图

1. 电流综合装置

电流综合装置的作用是将三相电流变换成单相电流。它包括一个带抽头的一次绕组和一个二次绕组，如图9-10(a)所示。一次绕组共40匝，在8、16、32匝处设有抽头。线路A、B、C三相电流互感器的二次电流，分别接入一次绕组的相应抽头，零线接于N（当 $n = 3$ 时）或 N' （当 $n = 2$ 时）处，根据电流互感器的允许负载来确定接N或 N' 。二次绕组共2500匝，在750和1500匝处设有抽头。

当一次绕组通入对称三相电流时，流经A—B段的电流为 \dot{I}_A ，流经B—C段的电流为 $(\dot{I}_A + \dot{I}_B)$ ，流经C—N（或C— N' ）段的电流为零。因此，三相对称电流在综合变流器铁芯中产生的合成磁势等于流经A—B段和B—C段电流产生的磁势的向量和，用公式表示为：

$$(IN)_\Sigma = \dot{I}_A N_{A-B} + (\dot{I}_A + \dot{I}_B) N_{B-C} = \sqrt{3} \dot{I}_A N_{A-B} e^{-j30^\circ} \quad (9-7)$$

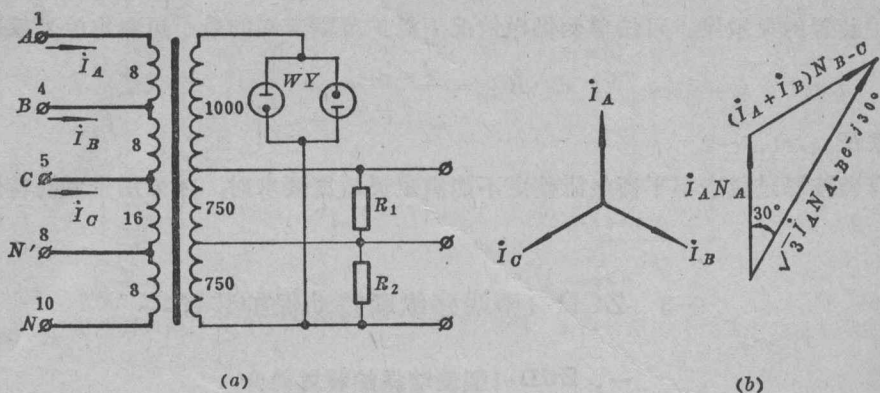


图 9-10 电流综合装置及合成磁势的向量图

式中 $(IN)_Z$ ——三相对称电流在综合变流器铁芯中产生的合成磁势；
 N_{A-B} 、 N_{B-C} ——分别为综合变流器一次绕组A—B段和B—C段的匝数，均为8匝。

磁势向量如图9-10(b)所示。在合成磁势的作用下，二次绕组有感应电势输出。各种故障类型下二次输出的相对灵敏度列于表9-1。所谓相对灵敏度，是以AB或BC故障时作为基准的。由表9-1可知，对于单相接地故障及两相故障，其相对灵敏度取决于故障电流所通过的一次绕组的匝数。在对称情况下，相对灵敏度为 $\sqrt{3}$ ，而与n值无关。

表 9-1 电流综合装置的相对灵敏度

故障类型		ABC	AO	BO	CO	AB	BC	CA
相对灵敏度	$n = 3$	$\sqrt{3}$	5	4	3	1	1	2
	$n = 2$	$\sqrt{3}$	4	3	2	1	1	2

为了防止综合变流器一次绕组通过短路电流时，二次侧出现高电压，危及人身安全和辅助导线的绝缘，在二次绕组上并联了两只极性反接的稳压管(WY)。为防止稳压管一旦损坏后出现高电压，又并联了稳压电阻 R_1 、 R_2 ，它同时也可用来调节保护装置

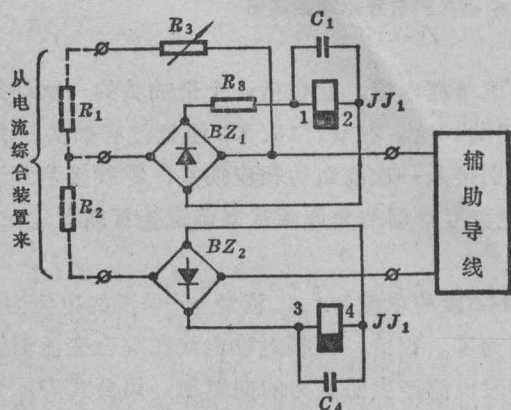


图 9-11 桥型比较电路原理图

保护装置的整定值，因而有固定的引出抽头。

2. 桥型比较电路

桥型比较电路由两个桥型整流器 BZ_1 和 BZ_2 、一个平衡可调电阻 R_3 、极化继电器 JJ_1 、滤波电容 C_1 、 C_4 及附加电阻 R_8 组成，其原理接线如图9-11所示。电桥的四个臂是电流综合装置的两个稳压电阻 R_1 、 R_2 ，平衡电阻 R_3 和辅助导线电阻 R_L 的一半。

极化继电器 JJ_1 有两个线圈分别接入工作回路和制动回路。

3. 补偿电路

在上述桥型比较电路中，辅助导线是作为一个电阻看待的，忽略了辅助导线之间的电容。实际上，辅助导线的线间电容对保护装置有较大的影响。同时，为对辅助导线进行监视，在辅助导线中又串联了隔直电容 C_5 (见图 9-9)，这样就破坏了桥型比较电路在正常状态下的平衡。为此，在电阻 R_3 上并联了电容 C_2 和 C_3 进行补偿， C_2 主要用于补偿隔直电容 C_5 的影响， C_3 用于补偿辅助导线的线间电容。

除了补偿辅助导线线间电容以外，还必须对辅助导线的电阻进行补偿。图 9-9 中的电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 就是这种补偿电阻。当辅助导线电阻不足 1500 欧时，应从线路两侧对等投入电阻，使总电阻接近 1500 欧，以保证回路之间阻抗的匹配。

二、动作原理

该装置的基本原理，在于比较被保护线路两侧电流的大小和相位，从而区别内部故障和外部故障。

1. 正常运行及外部故障时，其电流方向如图 9-12 所示。由于电流综合装置是取中间抽头，所以 $\dot{U}_x = \dot{U}'_1$ ， $\dot{U}_n = \dot{U}'_2$ 。在正常运行及外部故障时，两侧的电流 $\dot{I}_1 = \dot{I}_2$ ，所以电流综合装置的二次电压 $\dot{U}_x = \dot{U}_n$ 。在分析计算时，可以看成是辅助导线中点短路。由图 9-12 可写出：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}'_1 &= \dot{I}_1 R_3 + (\dot{I}_1 - \dot{I}_2) R_g \\ \dot{U}_x &= \dot{I}_2 \left(\frac{1}{2} R_l + R_{zh} \right) - (\dot{I}_1 - \dot{I}_2) R_g \end{aligned} \right\} \quad (9-8)$$

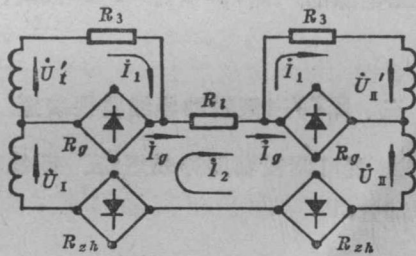


图 9-12 外部故障时两侧比较回路中的电流方向

由于

$$\dot{U}'_1 = \dot{U}_x$$

所以

$$\dot{I}_1 R_3 + (\dot{I}_1 - \dot{I}_2) R_g = \dot{I}_2 \left(\frac{1}{2} R_l + R_{zh} \right) - (\dot{I}_1 - \dot{I}_2) R_g$$

即

$$2(\dot{I}_1 - \dot{I}_2) R_g + \dot{I}_1 R_3 - \dot{I}_2 \left(\frac{1}{2} R_l + R_{zh} \right) = 0 \quad (9-9)$$

如果使

$$R_3 = \frac{1}{2} R_l + R_{zh}, \text{ 代入式 (9-9), 可得:}$$

$$(\dot{I}_1 - \dot{I}_2) \left(2R_g + \frac{1}{2} R_l + R_{zh} \right) = 0$$

所以

$$\dot{I}_1 - \dot{I}_2 = 0, \text{ 即 } \dot{I}_1 = \dot{I}_2$$

工作回路电流 $I_g = |\dot{I}_2 - \dot{I}_1| = 0$ 。

由此可知,在正常运行或外部故障时,工作回路电流 $I_g = 0$, 而制动回路电流 $I_{zh} = I_2$, 且随电流综合装置二次电压 U_I 而增加, 极化继电器 JJ_1 可靠制动。

2. 在两侧电源供电的被保护线路发生内部故障时

(1) 当两侧电源相等, 即两侧电流数值相等, 相位相差 180° 时, 如图9-13所示。由于 $\dot{U}_I = \dot{U}_n$, 相当于辅助导线开路, 所以 $\dot{I}_2 = 0$, 即制动回路电流 $\dot{I}_{zh} = 0$, 而工作回路电流 $\dot{I}_g = \dot{I}_1$, 继电器 JJ_1 能可靠动作。

(2) 当两侧电源不相等时, 则电流的大小和相位都不相同, 其极限情况就是一侧电源为无穷小, 即相当于单侧电源, 这是 $\dot{U}_n = 0$ 。如假定 $R_g \approx 0$, 对于有电源的一侧

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}'_I}{R_3} = \frac{\dot{U}'_I}{\frac{R_1}{2} + R_{zh}}$$

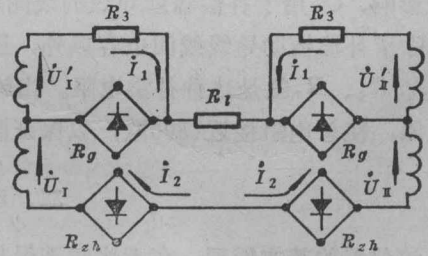


图 9-13 内部故障时两侧比较回路中的电流方向

而

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_I}{R_1 + 2R_{zh}}$$

所以

$$\dot{I}_1 = 2\dot{I}_2$$

因此, 工作电流 $I_g = |\dot{I}_2 - \dot{I}_1| = I_2$, 而制动电流 $I_{zh} = I_2$ 。这样, 工作电流与制动电流相等。由于极化继电器 JJ_1 工作线圈为3500匝, 而制动线圈为550匝, 因此, 虽然 $I_g = I_{zh}$, 但只要 $I_g N_g - I_{zh} N_{zh}$ 达到继电器 JJ_1 的动作安匝值, 仍能使继电器动作。当然灵敏度比两侧电源要稍低一些。对于无电源的一侧 $I_g = I_{zh} = I_2$, 因此, 和有电源的一侧情况一样, 继电器 JJ_1 仍能动作。

三、ZXJ-1型辅助导线监视装置

ZXJ-1 型辅助导线监视装置可监视辅助导线短路、断线和接地故障, 其原理接线如图9-14所示。装置共分三个部分:

1. 电源部分

电源变压器一次侧有两个绕组, 可接110伏或220伏交流单相电源。二次侧也有两个绕组, 一个绕组经 BZ_2 全波整流后, 作监视辅助导线短路和断线的电源。另一个绕组经 BZ_1 半波整流后, 作为监视辅助导线绝缘情况的电源。

2. 监视短路和断线部分

按直流电桥原理构成, 由ZCD-1的 R_4 、 C_5 与辅助导线构成电桥的一臂, 电阻 R_3 、 R_4 、 R_5 为电桥的另外三臂, 正常时用 R_5 将电桥调平衡, 使极化继电器 JJ_2 中无电流流过。

当辅助导线发生短路时, 破坏了电桥的平衡, 36点的电位降低, 电流由41点流向36点, 使 JJ_2 一对接点闭合, 发出辅助导线短路信号。

当辅助导线断线时, 36点电位升高, 电流从36点流向41点, 使 JJ_2 的另一对接点闭合, 发出辅助导线断线信号。

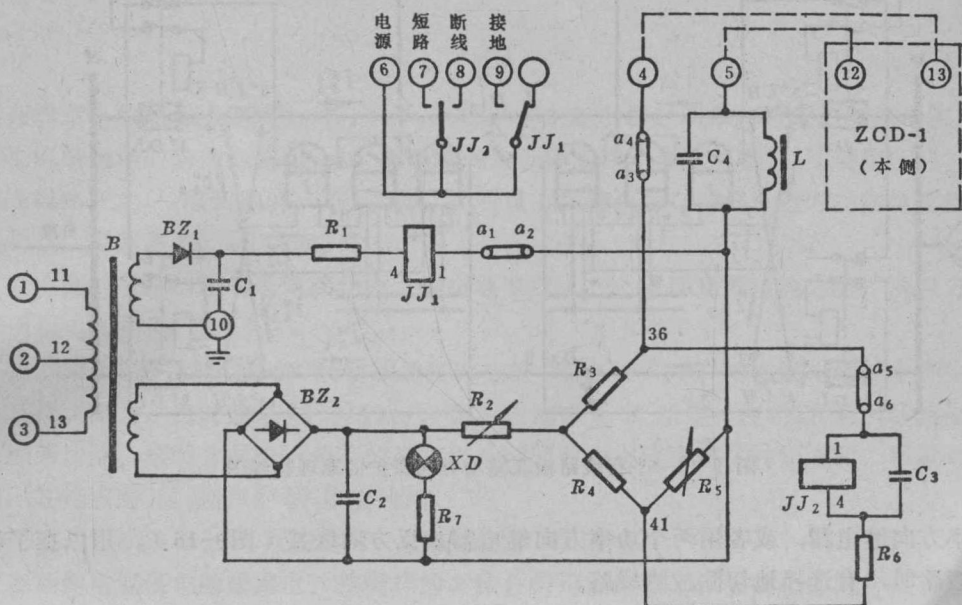


图 9-14 辅助导线监视装置原理接线图

3. 监视辅助导线绝缘情况部分

电源变压器二次绕组的一端经端子⑩接地，另一端经二极管 BZ_1 、电阻 R_1 、极化继电器 JJ_1 和阻波器 (C_4 、 L) 接至辅助导线。

正常运行时，流过 JJ_1 的电流很小， JJ_1 不动作。当辅助导线绝缘降低时，流过 JJ_1 的电流达到动作值， JJ_1 动作，发出接地信号。

为减少50赫交流的影响，装置中辅助导线的短路、断线和绝缘监视电流都经过阻波器而流入辅助导线。

9-4 平行线路的横联差动方向保护

一、横联差动方向保护的動作原理

在平行线路上，如每回线两侧都装有断路器，则当其中任一回线发生故障时，保护装置应当只切除故障线路，以保证另一非故障线路继续运行。这种保护装置就是反应两回线路电流之差的大小及方向的横联差动方向保护。其原理接线如图9-15所示。

横联差动方向保护装设在平行线路的两侧。每一侧的保护都由下列元件组成。

1. 起动元件

通常是电流继电器，反应两回线路电流之差。在平行线外部短路时不动作，在任一回路内部短路时动作，将保护起动。

2. 功率方向元件

通常是功率方向继电器，反应两回线电流之差的方向。它可以是一个具有双方向动作

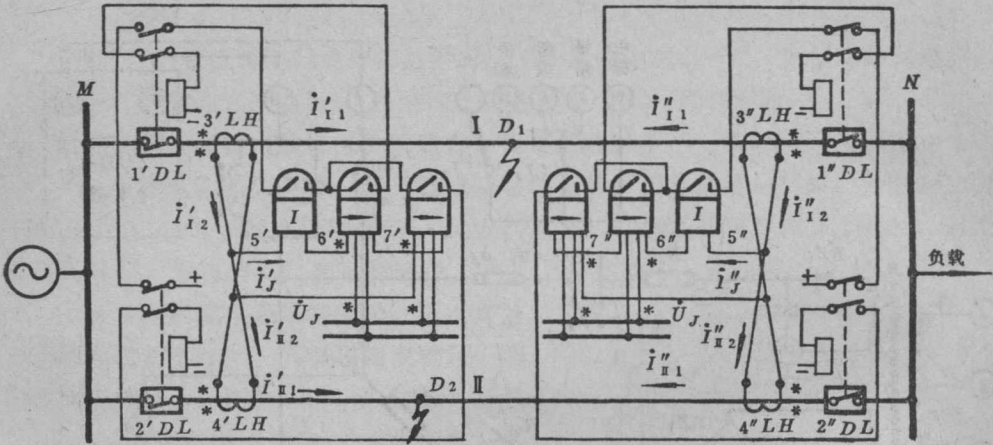


图 9-15 平行线路横联差动方向保护的原理接线图

的功率方向继电器，或者用两个功率方向继电器按反方向联接（图9-15），用以在平行线内部短路时，有选择地切除故障线路。

通常两平行线的参数相同，线路同一侧两回线的电流互感器的变比也相同。保护装置按环流法接线，通过电流继电器和功率方向继电器电流线圈的电流为 $\dot{I}_J = \dot{I}_{I2} - \dot{I}_{II2}$ 。方向继电器的电压线圈由母线电压互感器供电，一般按 90° 接线方式连接。

现以单侧电源供电的线路为例，分析保护装置的动作情况。在正常运行及外部短路时，两回线中的电流相等， $\dot{I}_{I1} = \dot{I}_{II1}$ ，两侧电流继电器5中仅流过不平衡电流， $\dot{I}_J = \dot{I}_{I0}$ ，电流继电器不会动作。这时，功率方向继电器在 \dot{I}_{I0} 作用下接点可能闭合，但整套保护不会动作。

当内部短路时，电源侧继电器的动作情况：如在线路I上 D_1 点短路，则 $\dot{I}'_{I1} > \dot{I}_{II1}$ ， $\dot{I}'_J = \dot{I}'_{I2} - \dot{I}_{II2}$ 。在线路II上 D_2 点短路时， $\dot{I}'_{I1} > \dot{I}_{II1}$ ，这时 $\dot{I}'_J = \dot{I}'_{I2} - \dot{I}_{II2}$ 的矢量与 D_1 点短路时恰好相反。

假设通过方向继电器6'的电流为 $\dot{I}'_{J6'} = \dot{I}'_{I2} - \dot{I}_{II2}$ ，方向继电器7'的电流为 $\dot{I}'_{J7'} = \dot{I}'_{I2} - \dot{I}_{II2}$ ，加到两方向继电器的电压同为 \dot{U}_J 。为分析方便起见，每个方向继电器的转矩可以认为是由两个电流分量产生的。

(1) 由 \dot{I}'_{I2} 产生的转矩为：

$$M_I = K U_J I'_{I2} \cos(\varphi_J + \alpha) \quad (9-10)$$

(2) 由 \dot{I}'_{II2} 产生的转矩为：

$$M_{II} = K U_J I'_{II2} \cos(\varphi_J + \alpha) \quad (9-11)$$

方向继电器按如下方式连接：使线路I从母线流出的电流 \dot{I}_I 在方向继电器6'中产生正转矩，在方向继电器7'中产生负转矩；线路II从母线流出的电流 \dot{I}_{II} 在方向继电器7'中产生正转矩，在方向继电器6'中产生负转矩。于是当两回线的电流均从母线流出时，方向继电器6'动作于接点闭合的转矩为：

$$M_{6'} = M_I - M_{II} \quad (9-12)$$