

继电保护丛书

输电线路高频保护

金建源 编

水利电力出版社

继电保护丛书
输电线路高频保护

金 建 源

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

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

*

787×1092毫米 32开本 13.5印张 298千字

1987年8月第一版 1987年8月北京第一次印刷

印数0001—8600册 定价2.75元

书号 15143·6198

内 容 提 要

本书是《继电保护丛书》之一，较全面地介绍高压输电线路高频保护的工作原理、构成方法、整定原则和运行特性，并扼要介绍定型国产高频保护的装置和接线，其中包括：相差动高频保护、方向高频保护、高频闭锁距离（零序）保护和远方跳闸式高频保护。书中反映了近年来电力运行部门的有关反事故措施、500kV超高压线路保护的新技术和正在进行的四统一接线设计的一些新内容。

本书主要作为从事继电保护工作的专业工人和技术人员的专业读物，也可作为大专院校的教学参考书。

前 言

在我国，对于220kV（包括少数110kV）及以上电压等级的超高压输电线路，普遍采用高频保护作为反应故障的主保护。近年来，随着电力系统的不断发展和500kV超高压输电线路的建成，高频保护的应用和研究得到了进一步发展，多种新型高频保护装置通过鉴定并投入运行（包括引进的国外的高频保护装置）。

输电线路高频保护的类型有多种，国内应用的有：相差动高频保护、方向高频保护、高频闭锁距离（零序）保护和远方跳闸高频保护四种类型。

本书较全面地阐述了上述四类高频保护的基本原理、构成原则、组成元件、动作特性、提高安全性可靠性的措施和整定原则；较系统地分析了非全相运行、分布电容和串补电容对高频保护的影响，并有选择地反映了近年来电力运行部门的一些反事故措施、500kV超高压输电线路高频保护的部分新技术和正在进行的高压线路继电保护统一接线设计的有关新原则。书中重点介绍的国产定型高频保护装置有：GCH-1A、JGX-11A、ZCG-1A和JGX-11C型相差动高频保护装置；BFG-1A和JGBF-500型方向高频保护装置和JYT-80型移频远方跳闸装置。此外，本书还介绍了与定型国产距离、零序保护装置配合使用的高频闭锁接线。

水利电力部电力科学研究院高级工程师谢宝炎同志审阅了全书并提出了许多宝贵意见，南京电力专科学校对于编写

工作给予热情支持和帮助，南京自动化研究所、许昌继电器研究所、南京电力自动化设备厂、阿城继电器和上海继电器厂等单位提供了大量资料，戴学安高级工程师、陈国建工程师帮助撰写了“极性保护原理”一节，在此一并表示谢意。

由于作者水平有限，本书中一定还存在着不少不足和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

1985年12月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 高频保护的作用	1
第二节 高频保护的分类和主要类型	3
第三节 高频通道的工作方式和高频信号	6
第四节 高频保护的特点	10
第二章 相差动高频保护原理	11
第一节 相差动高频保护的基本原理	11
第二节 两侧动作不同时的影响	16
第三节 相差动高频保护的起动元件	24
第四节 远方起动	30
第五节 系统故障时, 线路两侧电量的相位关系	37
第六节 操作电流和操作滤过器	45
第七节 分相相差动高频保护的特点	62
第八节 相差动高频保护的比相元件	66
第九节 相位特性	73
第十节 双频制相差动高频保护	87
第十一节 无电流操作状态	93
第十二节 相差动高频保护的整定原则	101
第三章 国产相差动高频保护装置	114
第一节 GCH-1A型装置概况	114
第二节 GCH-1A型装置的起动元件	115
第三节 GCH-1A型装置的操作元件	122
第四节 GCH-1A型装置的相位比较回路	124

第五节	GCH-1A型装置的直流回路	130
第六节	GCH-1A型装置工作情况分析	138
第七节	JGX-11A型相差动高频保护装置简介	142
第八节	ZCG-1A型相差动高频保护装置简介	152
第九节	JGX-11C型相差动高频保护装置简介	162
第四章	方向高频保护原理	179
第一节	概述	179
第二节	用非方向性起动元件的高频闭锁方向保护原理	181
第三节	非方向性起动元件	187
第四节	具有远方起动的高频闭锁方向保护原理	197
第五节	方向元件起动的高频闭锁方向保护原理	200
第六节	长期发信的方向高频保护原理	202
第七节	方向元件	207
第八节	防止系统振荡时误动的措施	213
第九节	极性保护原理	219
第五章	国产方向高频保护装置	235
第一节	BFG-1A型方向高频保护装置概况	235
第二节	BFG-1A型装置的交流回路	238
第三节	负序方向元件及其特性	250
第四节	BFG-1A型装置动作行为分析	258
第五节	运行使用中的几个问题	263
第六节	JGBF-500型高频闭锁方向保护装置	265
第六章	高频闭锁距离(零序)保护	289
第一节	高频闭锁距离保护的基本原理	289
第二节	高频闭锁距离保护的发信起动	291
第三节	高频闭锁距离保护的停信控制	298
第四节	高频闭锁距离保护的几个问题	303
第五节	高频闭锁零序电流方向保护	308
第六节	高频闭锁接地距离保护	313

第七节 高频闭锁距离(零序)接线实例	316
第七章 远方直跳式和允许跳闸式高频保护	330
第一节 远方直跳式高频保护原理	330
第二节 允许跳闸式高频保护原理	334
第三节 允许跳闸式高频保护接线实例	338
第四节 提高安全性可靠性的措施	343
第五节 编码远方跳闸原理简介	349
第六节 JYT-80型移频式远方跳闸装置简介	354
第八章 非全相运行、分布电容和串补电容对高频 保护的影响	359
第一节 非全相运行对高频保护的影响	359
第二节 双断口两相运行且故障时高频保护的工作情况	372
第三节 单断口两相运行且一相接地时高频保护的 工作情况	381
第四节 线路分布电容对高频保护的影响	387
第五节 串联补偿电容器对高频保护的影响	400
主要参考文献	420

第一章 概 述

第一节 高频保护的作用

输电线路电流保护、方向电流保护和距离保护的动作时限都是阶段式的。在图1-1中，被保护线路XL-1的M侧装设了电流保护（或距离保护），为保证选择性，其瞬动段（I段）一般只能保护线路全长的一部分，如图中虚线所示，即使距离保护，其瞬动段最多也只能保护线路全长的85%，剩下15%线路上的故障，只能由其带时限的II段来切除，也就是说阶段式保护不能瞬时切除被保护线路全线的故障。为此阶段式保护只应用在110kV及以下电压等级的网络中作为主保护。

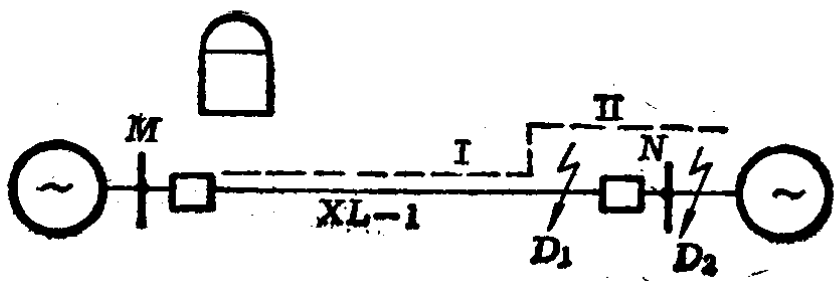


图 1-1 阶段式保护瞬动段动作区

在220kV及以上电压等级的超高压输电线路，经常要求自线路两侧瞬时切除线路上任一点的故障。仅从线路一侧测量电气量的上述阶段式保护已不能满足这一要求。从原理上看，凡是同时测量线路两侧电气量的保护，例如导引线保护、高频保护和微波保护等，都能快速切除被保护线路任一

点的故障。但由于技术和经济上的原因，导引线保护只适用于中、高压电网中的短距离线路，而微波保护在我国尚处于研制和试运行阶段，唯有高频保护既能快速切除被保护线路上任一点故障，又能适用于各种长度的线路，且我国早已能成批生产定型的高频保护装置。因此，目前我国电力系统中，高频保护已被广泛应用在220~500kV不同电压等级的超高压线路上，作为全线速动的主保护。

高频保护的基本工作原理是，应用载波技术，以输电线路本身作为通道，将线路两侧工频电气量（或两侧阶段式保护中测量元件的判别结果）调制在频率为50~400kHz（目前载波通信设备的调制频率已扩展到40~500kHz）的高频电波上，沿通道互相传送，两侧保护收到此高频电波后，再将其还原为工频电气量（或判别结果）并在各自的保护中比较这些量，以判断区内外故障。

高频保护的结构框图如图1-2所示，由继电部分、收发信机和高频通道部分组成。

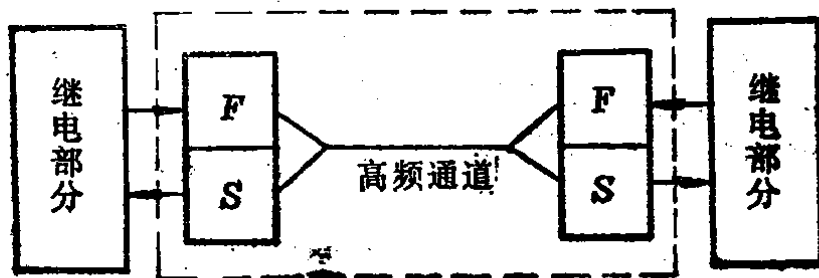


图 1-2 高频保护结构框图

F —发信机； S —收信机

在高压网络中，高频保护的作用是：

1. 保持电力系统稳定运行
2. 根据系统稳定计算，要求全线瞬动切除高压输电线路上

发生的故障，特别是三相短路故障。对大多数线路来说，如果近端故障的切除时间为 0.1s ，远端故障的切除时间为 0.12s ，系统能保持稳定，但若故障切除时间较长，例如在 0.2s 以上，系统就难以保持稳定运行。而高频保护动作迅速，动作时间一般为 $0.04\sim 0.08\text{s}$ ，也就是说，为了保证系统稳定运行，要求线路装设高频保护。

2. 降低阶段式保护延时段的动作时间

在短线路上，特别是环网中的短线路上，阶段式保护的瞬时段根本无法整定，而延时段为了保证选择性往往时间整定得又较长，以致所有与短线路直接相连的线路的阶段式保护第II段的时间也随之增大。如果在这些线路上采用高频保护，则不仅改善本线路的保护性能，而且使相邻线路延时段整定时间缩短，从而改善整个电网的保护性能。

3. 有利于提高重合闸的成功率

运行经验表明，输电线路的许多相间故障都是由单相故障发展而成的，如果采用高频保护，由于其动作迅速，就可以减少瞬时性故障转化为永久性故障的机率，减少单相故障转化为多相故障的机率，因而提高重合闸的成功率。

4. 提高切除故障的可靠性

电网中枢地区的线路，如采用独立的高频保护与距离接地保护互为备用的双重化方式，可提高切除故障的可靠性，以防止保护拒动造成大面积停电。

第二节 高频保护的分类和主要类型

一、高频保护的分类

高频保护可有如下几种分类方法。

(1) 按两侧发信机工作频率的异同分，有单频制和双

频制；

(2) 按高频通道的工作方式分，有长期发信方式和故障起动发信方式；

(3) 按高频信号的性质分，有闭锁式、允许式和跳闸式；

(4) 按高频保护的工作原理分，有电流相位比较式、方向比较式和远方直跳式。

二、高频保护的基本工作原理简述

1. 电流相位比较式

电流相位比较式高频保护的基本工作原理是比较线路两侧工频电流的相位，以判别区内外故障。如图1-3所示，如果规定电流的正方向是从母线流向线路，则当外部(D_1 点)短路时，线路两侧电流 $\dot{I}_M$ 、 $\dot{I}_N$ 的相位相差 180° (见图1-3, a)；内部(D_2 点)短路时，在理想情况下(两侧电势同相位且全系统的阻抗角相等)，线路两侧电流同相位(见图1-3, b)。

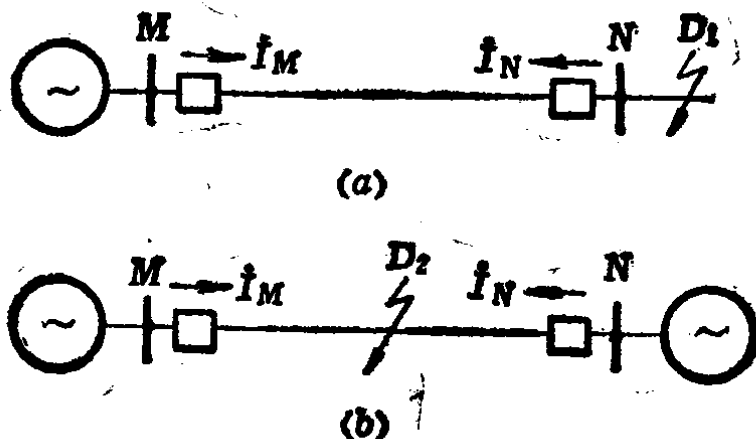


图 1-3 两侧工频电流的方向

(a) 区外短路；(b) 区内短路

2. 方向比较式

方向比较式高频保护的基本工作原理是比较被保护线路

两侧测量到的故障方向，以判别区内外故障。如图1-4(a)所示，如果被保护线路内部（ D_1 点）故障时两侧保护测量到的故障方向均为正方向，则图1-4(b)所示被保护线路外部（ D_2 点）故障时，近故障点侧测量到的故障方向为反方向。

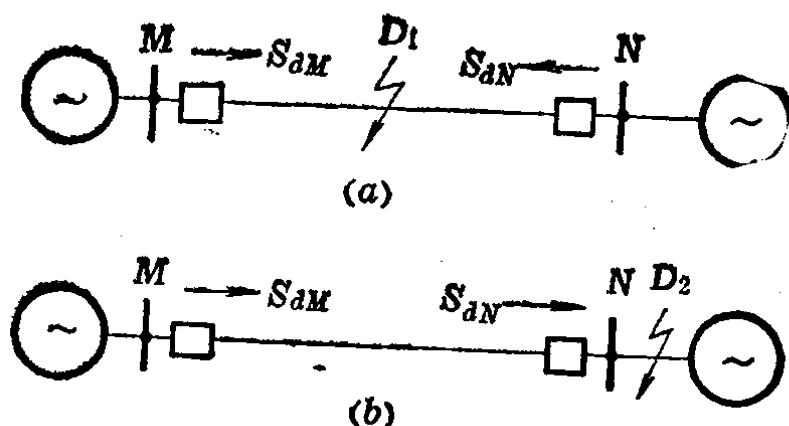


图 1-4 线路两侧保护测量到的故障方向
(a)内部故障时；(b)外部故障时

为了判别故障方向，在方向比较式高频保护中多数采用方向阻抗元件、负序或零序功率方向元件和相电压补偿式方向元件作为方向判别元件。高频保护的方向判别元件可以单独使用，例如由专门设置的负序功率方向元件构成负序方向比较式高频保护；也可以与阶段式保护公用方向判别元件，例如：由距离保护的测量元件（方向阻抗）兼作高频保护的方向判别元件（构成的是距离方向比较式高频保护）；由接地保护的带方向零序电流元件兼作高频保护的方向判别元件（构成的是接地方向比较式高频保护）等。

3. 远方直跳式

如图1-5所示，线路两侧均装有阶段式保护，若任一侧保护的瞬时段动作，则必定是线路内部故障，保护在跳开本

侧断路器的同时，传送一个跳闸命令（用虚线表示）跳开对侧断路器。

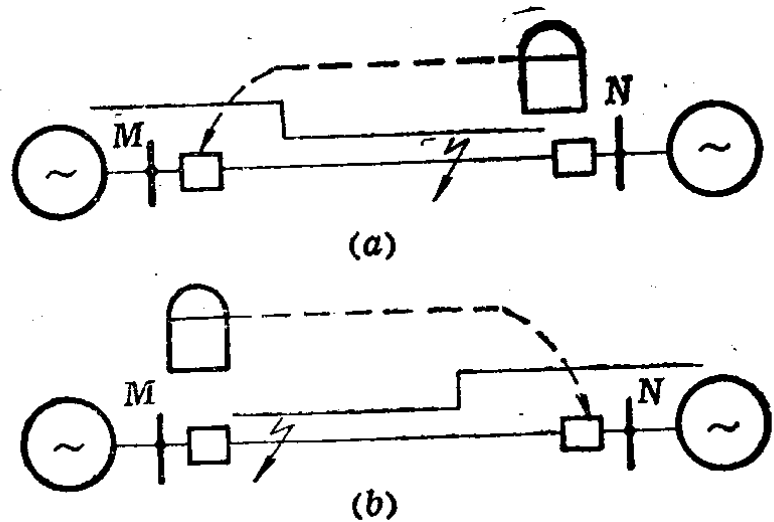


图 1-5 远方直跳式示意
(a)近N侧内部故障时；(b)近M侧内部故障时

三、高频保护装置的主要类型

按电力系统和制造厂的习惯称呼，目前国产高频保护装置有四种主要类型：

- (1) 相差动高频保护（属电流相位比较式）；
- (2) 方向高频保护（属方向比较式）；
- (3) 高频闭锁距离（零序）保护（属方向比较式）；
- (4) 远方跳闸高频保护（属远方直跳式）。

本书将逐章介绍上述四种高频保护的原理和装置。

第三节 高频通道的工作方式和高频信号

一、高频通道的工作方式

继电保护高频通道的工作方式可分两类：长期发信方式与故障起动发信方式。

长期发信的收发信机在正常时处于工作状态，高频通道

中始终有高频电流流通，因此又被称为正常有高频电流方式。长期发信方式的主要优点有：能连续监视高频收发信机和通道的完好性，发现问题可及时加以处理；可省去故障时起动发信机的起动元件，使装置简化，亦有利于提高保护装置的动作速度和灵敏度。长期发信方式的缺点有：必须占用专门通道；需解决连续发信对相邻通道和其他部门的干扰问题；电子管收发信机不能采用这种方式。

故障起动发信方式的发信机在正常时不工作，通道中始终无高频电流流通，只有在系统发生故障时，发信机才由起动元件起动，发高频电流，因此又被称为正常无高频电流方式。故障起动发信方式的优点有：避免长期发高频电流对相邻通道的影响；电子管收发信机也能使用；通道完好性的检查可通过定期起动发信机的办法来进行。故障起动发信方式的缺点是：为了故障时能起动发信机，必须要有起动元件，甚至要两套起动元件，这就增加了回路的复杂性，并降低了保护的動作速度和灵敏度。

目前国产高频保护装置大多采用故障起动发信方式。

二、高频信号

国内发表的文献对高频信号有不同的定义。第一种定义方法认为，存在高频电流就存在高频信号，如图 1-6(a) 所示。另一种定义方法认为^[8]，高频保护只有在故障时才向对侧传递高频信号，因而对于故障起动发信方式而言，以高频电流出现为高频信号，这与图 1-6(a) 所示相同。对于长期发信方式，则以高频电流的消失为高频信号，如图 1-6(b) 所示，所以存在高频电流不一定就存在高频信号。对于移频方式（详见第七章第四节）来说，两种定义方法均以移频后出现的频率为 f_2 的电流为高频信号，如图 1-6(c) 所示。

长期以来，电力生产部门使用第一种定义方法。因此，为避免不必要的混乱，本书沿用第一种定义方法。

按照高频信号逻辑性质的不同，高频信号可分为跳闸信号、允许信号和闭锁信号。

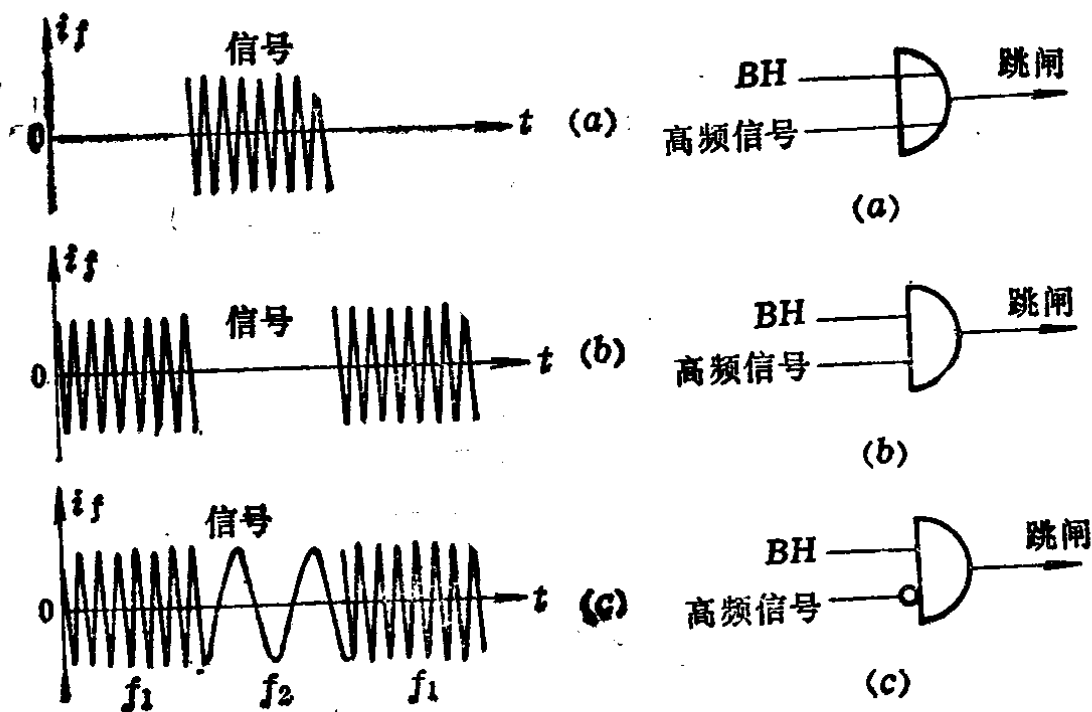


图 1-6 高频信号与高频电流的关系

(a) 高频电流为高频信号；(b) 无高频电流为高频信号；(c) 移频后的高频电流为高频信号

图 1-7 高频信号逻辑性质的图示

(a) 跳闸信号；(b) 允许信号；(c) 闭锁信号

图 1-7 的逻辑图表示出高频信号的逻辑性质。由图 1-7 (a) 可见，不论收到高频信号后，本侧保护 BH 动作与否，都向断路器发出跳闸命令，即仅仅高频信号就满足了跳闸的充分条件，这样的高频信号称为跳闸信号。图 1-7 (b) 中，收到高频信号，还必须本侧保护 BH 同时动作，才发出跳闸命令，高频信号仅是保护动作于跳闸的必要条件，但不是保护动作的充分条件，这样的高频信号称为允许信号。而

在图1-7(c)中, 收到高频信号, 本侧保护 BH 即便动作也不能使断路器跳闸, 只有保护动作并且收不到高频信号, 才能发出跳闸命令, 这种高频信号则称为闭锁信号。所以闭锁信号是防止跳闸的充分条件, 无闭锁信号是保护跳闸的必要条件。

目前, 国产高频保护装置多数采用闭锁信号。其理由是:

(1) 闭锁信号只在外部故障时才出现, 则代表闭锁信号的高频电流必在被保护线路无故障时传送, 不存在信号通过故障点的问题, 而允许信号和跳闸信号在内部故障时才出现, 则代表允许信号或跳闸信号的高频电流必在被保护线路故障时传到对侧, 而高频保护以输电线本身作为通道, 在被保护线路发生内部故障时, 通道可能破坏, 因此当采用跳闸信号或允许信号时, 必须解决信号通过故障点送到对侧去的问题。显然闭锁信号的通道可靠性较高。

(2) 闭锁信号的抗干扰能力较强。因为正常运行时, 通道中出现干扰, 相当收到闭锁信号, 不会造成误动。而跳闸信号的抗干扰能力最差, 只要任何时候通道中出现与跳闸信号性质相同的干扰, 就会使保护误动, 对此必须采取有效的抗干扰措施。

对采用闭锁信号的高频保护来说, 外部故障时, 干扰出现, 可能抵消闭锁信号而引起保护误动; 内部故障时, 干扰可能使保护误闭锁, 然而由于故障持续时间很短, 同时出现与闭锁信号频率相同的干扰的可能性很小, 因此保护误动或拒动的机率是很小的。

当外部故障而本侧保护判别元件动作时, 若收不到对侧的闭锁信号, 保护将误动。因此正常监视通道以保证在外部