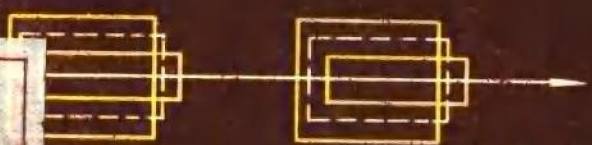
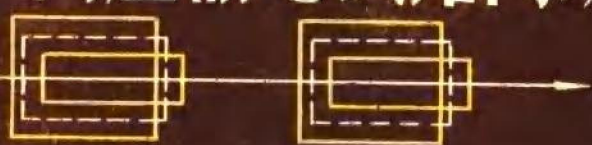


西安交通大学 夏国中 编



高压输电线路高频保护



水利电力出版社

高压输电线路高频保护

西安交通大学 葛耀中 编

*

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 11.5印张 254千字

1987年9月第一版 1987年9月北京第一次印刷

印数0001—8170册 定价2.75元

书号 15143·6391

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了高压输电线路高频保护的原理、高频通道及高频保护的新发展。全书共分为六章。第一章为概论，讲述了高频保护的作用、分类、发展，高频通道的概念及对高频保护提出的要求。第二章讨论了高频保护的信息传送，这是高频保护的基础。第三、四两章分别讨论了在高压输电线上常用的方向高频保护和电流相位差动高频保护的构成原理及其动作分析。第五章为继电保护高频通道，其中着重讨论了最常用的输电线路高频通道，同时对微波和光纤通道作了简要介绍。第六章介绍了高频保护的新发展。

本书可作为高等学校“发电厂及电力系统”和“电力系统及其自动化”专业的选修教材，亦可供从事继电保护工作的科技人员和有关专业的教师、研究生参考。

前 言

随着四个现代化的顺利发展,在我国各大电力系统中已拥有大量高压线路并将陆续出现500kV以上的超高压线路。为了保证系统稳定和安全供电,在高压和超高压线路上必须采用各种类型的快速动作的高频保护。本书的目的是帮助读者全面系统地了解和掌握高压输电线路高频保护的构成原理、动作分析、应用中的问题及其发展动向。

高频保护本身就是继电保护技术和通信技术相结合的产物,二者不可分割。本书力图从基本原理方面入手,阐明高频通道和继电保护之间的内在联系,从而对高频保护有一个比较完整的概念。

本书共分为六章。第一章为概论,除高频保护的作用、分类、发展和对高频保护提出的要求外,还对常用输电线路高频通道作了简要说明;第二章讨论了高频保护的信息传送,这是高频保护的基础;第三、四两章分别讨论了在高压输电线路常用的方向高频保护和电流相位差动高频保护的构成原理,并对它们在各种故障情况下的动作情况进行了定性分析;第五章对目前采用最多的输电线路高频通道进行了较深入的讨论,并对微波通道和光纤通道作了简要说明;第六章介绍了高频保护的新发展。

本书是在作者多年从事继电保护教学和高频保护科研工作的基础上编写的,力求系统性强,概念明确,注意分析问题和解决问题方法。但由于水平所限,缺点和错误在所难

免，敬希读者指正。

山东工学院马长贵教授详细审阅了全书，并提出了许多宝贵意见。本书在写作过程中曾得到高等学校电力工程类教材编审委员会继电保护小组内许多教授、专家的关心和帮助，他们为本书提出了可贵的建议，还得到了水电部科技委主办的继电保护研究班的同志们的热情鼓励和支持，在此一并表示衷心的感谢。

作 者

1986.4

目 录

前 言

第一章 概论	1
1-1 高频保护的作用及分类	1
1-2 对高频保护的基本要求	3
1-3 继电保护高频通道的概念	8
1-4 输电线路高频保护的发展	14
第二章 高频保护的信息传送	19
2-1 信息传送的基本概念	19
2-2 高频保护通道的工作方式	31
2-3 高频电流信号	33
2-4 发讯机的控制和调制	43
2-5 脉冲编码通信的概念	60
第三章 方向高频保护	72
3-1 基本原理及分类	72
3-2 方向高频保护的构成原理	74
3-3 负序方向高频保护	83
3-4 相电压补偿式高频保护	106
3-5 距离高频保护	117
第四章 电流相位差动高频保护	139
4-1 基本原理及分类	139
4-2 电流相位差动高频保护的构成原理	148
4-3 电流相位差动高频保护的動作分析	180
第五章 继电保护高频通道	219

5-1	输电线路高频通道.....	219
5-2	微波通道.....	318
5-3	光纤通道.....	327
第六章	高频保护的新发展	335
6-1	微波保护.....	335
6-2	行波保护.....	344
参考文献		357

第一章 概 论

1-1 高频保护的作用及分类

一、高频保护的作用

在高压输电线路路上，快速切除故障不仅可以减轻故障线路和电气设备的损坏程度，更重要的是可以保证电网的安全稳定运行。为了合理地利用动力资源，充分发挥电网各个组成部分的作用；为了电网各部分相互协调并提高电网的经济运行水平，建造大电网已成为电网发展的必然趋势，但是大电网的出现也带来了新的问题，即可能出现大面积停电事故。这是由于大电网有着十分复杂的内部联系，如果处理不当，局部的小事故有可能波及全网，酿成全局性的重大事故，造成巨大的经济损失和不良的社会影响。美国的纽约大停电和法国的全国大停电事故充分说明了这一问题的严重性。为了防止大面积停电事故，必须从各方面采取措施，而快速切除故障线路则是保证电网安全稳定运行，防止大面积停电事故的一种简单有效的措施，它在反事故措施中占有重要的地位。

目前，在线路上任一点发生故障时，能保证快速切除故障线路的保护有导引线纵联差动保护和高频保护以及微波保护，而技术和经济因素又决定了导引线纵差保护只适用于短线路。因此在高压和超高压的中、长线路上，为了快速切除故障线路，就必须采用高频保护和微波保护。

二、高频保护的分类

高频保护是利用高频通道构成的快速动作的保护。高频保护应用的是输电线路高频通道，又称为电力线载波通道。高频保护可按动作原理和高频信号的性质进行分类。

1.按动作原理分类

按动作原理分，高频保护可分为反应工频电气量的和反应非工频电气量的两大类。反应工频电气量的高频保护又可分为方向高频保护（其中包括距离高频保护）和电流相位差动高频保护。方向高频保护的原理是比较线路两端的故障功率方向；电流相位差动高频保护的原理是比较线路两端电流的相位。目前这两种保护是高压输电线上广泛应用的高频保护并有着比较成熟的运行经验。反应非工频电气量的高频保护可分为高频电流保护、反应暂态分量的高频保护和故障反射原理的高频保护。高频电流保护的原理是反应故障时高频电流的变化；故障反射原理的保护是利用外加高频脉冲在故障点处的反射进行测距；反应暂态分量的高频保护的原理是反应故障时出现的暂态分量或行波的。目前反应暂态分量的方向高频保护已研制出来，这类高频保护是当前高频保护发展的一个重要方向。按动作原理分类的高频保护如图 1-1

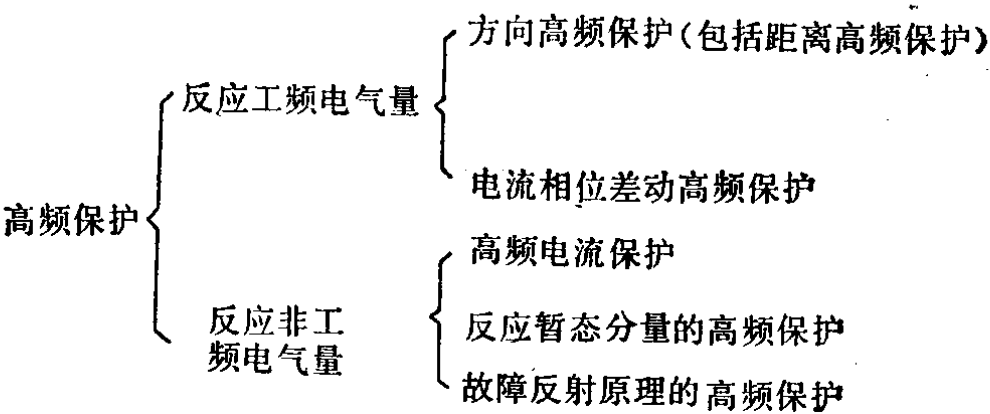


图 1-1 高频保护按动作原理分类

所示。

2. 按高频信号性质分类

在高频保护中，应用高频通道的主要目的是使保护能快速切除故障线路，为此必须利用通道传送高频信号。根据构成快速动作的高频保护所应用的信号性质，高频信号可分为闭锁信号、允许信号和跳闸信号。由于高频通道按其工作方式又可分为故障起动发讯方式（正常无高频电流通道）、长期发讯方式（正常有高频电流通道）和移频方式，因此对于目前电力系统中广泛采用的方向高频保护和相差高频保护又可将不同的通道工作方式与各种信号组合，从而得到多种类型的高频保护。

1-2 对高频保护的基本要求

高压长距离输电线路担负着输送巨大功率的任务，它在电力系统中占有举足轻重的地位，对整个电力系统的安全稳定运行影响极大，因此对作为主保护的高频保护提出了更高的要求。这些要求是：快速切除故障、高度的可靠性和足够的灵敏度。当前，在高压长距离输电线路只有高频保护和微波保护能满足上述要求。

一、快速切除故障

从保证整个电力系统的稳定运行出发，要求继电保护在输电线路发生故障时尽快地跳开故障线路。继电保护的动作时间要由电力系统稳定性计算的结果决定，它与电力系统的结构、线路的长短、传送容量的大小有密切关系。一般情况下，在超高压输电线路，保证电力系统暂态稳定所要求的故障切除时间大约为0.1s左右，这就决定了继电保护的动

作时间必须在1~2个周波(20~40ms)以内。

快速切除故障除去保证系统稳定运行以外,还会带来许多其它有益的效果。例如可以减轻设备的损坏程度,缩短后备保护的动作时间和提高自动重合闸的成功率等。近年来,由于能源的紧张,要求最大限度地使用水力资源,而大型水电站总是用超高压长距离输电线路输送功率的。快速切除故障是提高输送功率的一种简单有效的措施。根据某电力系统的计算,如果使故障切除时间减小一个周波(20ms),就可以提高输送功率20万kW以上。因此研制超高速的高频保护和微波保护的任务也就提到了日程上。

但是在提高高频保护的動作速度方面遇到了一些困难,这些困难是由超高压输电线路本身的特点引起的。

在超高压输电线路发生故障时,线路上将产生衰减很慢的电压、电流非周期分量、高频分量和低频分量。这些强大的一次暂态分量通过电压互感器和电流互感器进入继电保护装置中,会使电压互感器和电流互感器产生二次暂态过程,会引起电流互感器饱和,电流波形的严重畸变;在采用电容式电压互感器的条件下,还将出现二次电压不能及时跟随一次电压变化的情况,例如,当一次电压突然降低至零时,二次电压将带延时或经振荡衰减至零等。

对于以工频正弦电气量为基础构成的高频保护,其中包括目前在电力系统中广泛采用的电流相位差动保护,负序方向保护和高频闭锁距离保护,在暂态过程中,如果不采用相应措施,都有可能发生误动和延时动作。为了消除暂态分量对快速动作的保护装置的有害影响,通常采用滤波或延时的方法,但是这些方法都将使保护的動作速度变慢。

高压线路上,在实现一个周波或小于一个周波的高频保

护方面作了大量的研究工作。一方面加强对故障时暂态过程的研究和对现有保护装置本身进行改进，以便找到防止暂态分量对保护动作速度影响的更为有效的措施，以提高保护的動作速度；另一方面则是从保护的基本原理方面进行研究和创新。

早在本世纪中就已提出了研制新原理高频保护的任务。鉴于目前采用的高频保护遇到困难，主要是因为其原理是建立在工频电气量的基础上的，因此开展了利用故障时产生的暂态分量的保护原理的研究，现已取得了可喜的成果。动作时间仅有几毫秒的行波保护就是其中之一例。

二、高度的可靠性

可靠性是对继电保护的一个最重要的要求，对高压输电线路的继电保护来说，保证可靠性尤为关键。可靠性本身包括有两方面的内容：其一，不误动，即正常运行状态和输电线路外部发生故障时保护不应错误动作；其二，不拒动，即在被保护的线路上发生故障时应可靠地切除故障线路。一般说来，这两方面都是同样重要和必需满足的。但是，根据实际的系统的情况也可以有不同的侧重。例如对于有些联系紧密的系统就特别要求不能拒动，因为拒动将会给整个系统带来严重的损害，而个别的误动倒不会影响系统对用户的安全供电。相反，对于供电紧张，误动会造成大量的供电中断的线路，就应特别重视保护不能误动。当然，一般地说，高压输电线路的继电保护的可靠性是必须全面保证的。

为保证保护的可靠性，对高频保护提出了以下几点基本要求。

(1) 在系统所有运行方式下，不论发生那种类型的故障，保护都应保证可靠动作。这里应该特别注意的是有可能

出现单端供电的线路和在内部故障时有电流流出的线路。

(2) 在下述情况下, 保护应可靠动作:

1) 在系统振荡和可能的非全相运行状态下发生故障;

2) 手动合闸到故障线路或自动重合闸时线路有故障;

(3) 在下述情况下, 保护应可靠不动:

1) 电力系统稳定性破坏发生振荡;

2) 外部发生故障, 其中还应考虑到在单相自动重合闸过程中可能出现的非全相运行状态和系统发生振荡的情况;

3) 外部故障切除或外部故障类型转换;

4) 长期或短时两相运行(单相自动重合闸过程);

5) 线路自一端合闸;

6) 电压回路断线;

7) 保护装置本身故障(直流电源中断, 元件损坏等);

8) 保护使用的通信系统本身故障。

在超高压输电线路, 除必须使高频保护满足上述基本要求外, 为了确保在任何实际可能条件下都有快速可靠的保护存在, 通常要求采用两套主保护(高频保护或微波保护), 即主保护双重化。

两套保护最好按不同的原理构成。此外, 保证两套保护充分独立也是非常重要的。为此两套主保护要分别使用各自的电流互感器、电容器式电压互感器、高频通道或微波通道、直流电源, 断路器的跳闸线圈也完全分开, 见图 1-2 所示。采用上述措施后, 继电保护系统中任何一个部分发生故障, 最多只影响一套主保护, 另外一套保护仍继续运行。

除此以外, 还可以加强对保护装置的经常监视和检测, 以便及时发现装置的问题, 进行处理。

在防止保护误动方面可采用有效的抗干扰措施和在二次

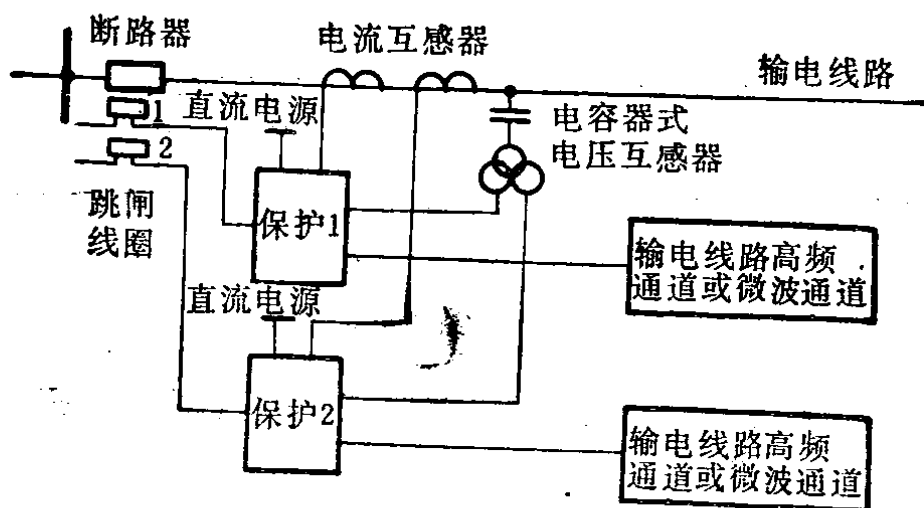


图 1-2 主保护双重化示意图

系统及保护本身发生故障时闭锁保护的措施。

三、灵敏度

在超高压输电线路路上，高频保护和微波保护的灵敏度也会出现困难。主要原因是，一方面在最不利的运行方式下发生短路，短路电流可能很小；另一方面在电力系统负荷不平衡和谐波电流的影响下，保护的整定值又不能取得太小。因为短路电流的水平是由一次系统决定的，所以为了保证保护有足够的灵敏度，办法之一是采用各种措施压低保护的定值，例如针对系统的具体条件采用相应的滤波器。此外提高保护装置本身的灵敏度也是一个有效的途径，例如由晶体管或集成运算放大器构成的静态距离继电器的精工电流就比机电型的显著降低，静态方向元件的起动功率也较机电型的大为减小等。

有些情况下出现的灵敏度不足的问题，例如重负荷线路上发生单相电弧电阻接地和内部故障时有电流流出等，则必须从保护的動作原理上找寻出路。

1-3 继电保护高频通道的概念

如上所述，高频保护的一个重要特点是利用了高频通道。高频通道已成为高频保护的一个必不可少的组成部分，它对高频保护的動作性能直至构成原理有着直接的影响。为了对高频保护有一个整体的认识，在此对高频保护通道作一个概念性的介绍。

高频保护由继电部分和通道部分组成，如图1-3所示。

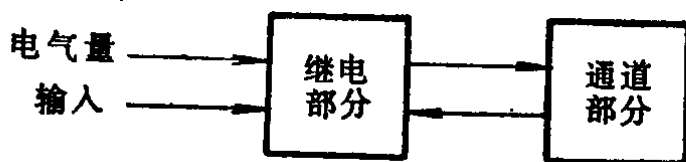


图 1-3 高频保护的组成

继电部分的作用是对由被保护线路输入的电气量进行处理（如大小、相位、功率方向等），以达到满足继电保护要求的目的；通道部分包括通信系统中的所有环节，例如发讯机、收讯机、传输线等，它的作用是传送继电部分送出的信息并与继电部分相配合，组成快速动作的高频保护。

输电线高频通道是在电力系统应用最多的一种通道，它的特点是以高压输电线路作为高频电流传输线，由于输电线路构造坚固，电气绝缘性能好，长期的运行经验证明输电线路高频通道是一种经济可靠的通信工具。图1-4示出了输电线高频通道的组成。

1. 高频收发讯机

高频收发讯机的作用是发送和接收高频信号。为了使保护需要的信号由高频通道进行传送，须将保护的信号在高频

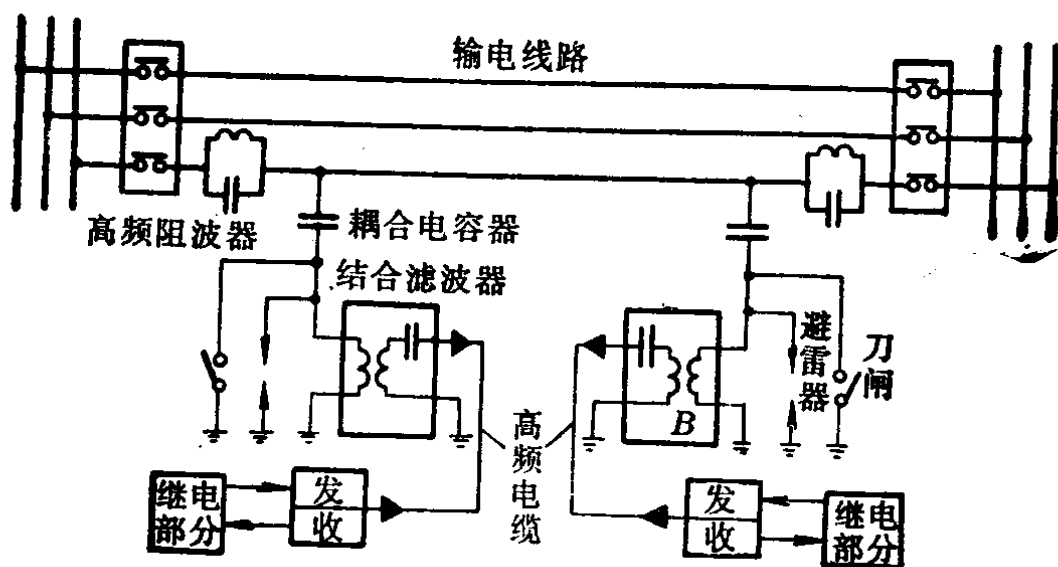


图 1-4 输电线路高频通道的组成

发讯机内进行控制或调制，变成高频信号，在收讯机中再将高频信号进行解调，变为保护所需用的信号。高频收发讯机的原理框图如图1-5所示。

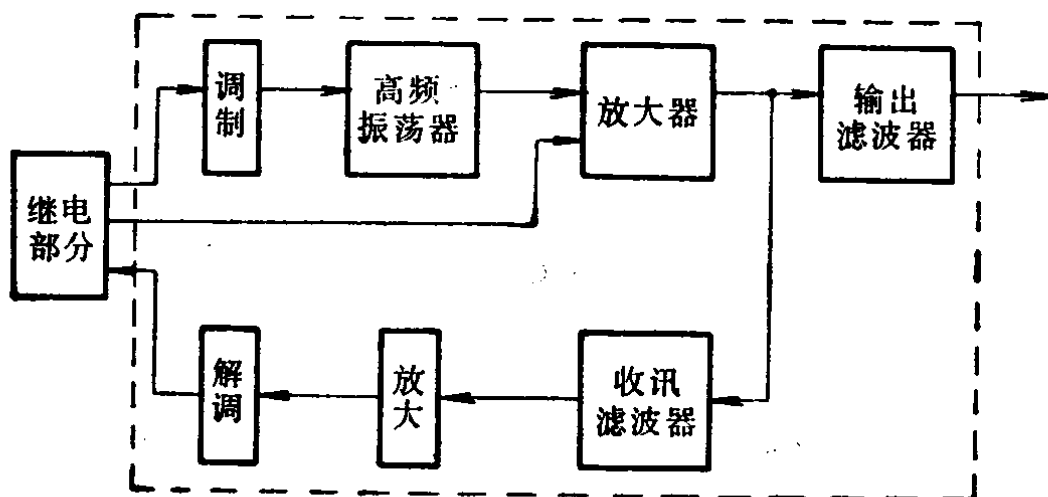


图 1-5 高频收发讯机原理框图

高频收发讯机使用的频率范围通常是50~300kHz，它是由电力线载波通信的特点决定的。当高频信号的频率低于

50kHz时，其受工频干扰太大，同时通道中的连接设备的构成也较困难。当高频信号的频率高于300kHz时，高频能量的衰耗大为增加，甚至无法满足通信可靠性的要求。由于高频保护传送高频信号的范围只限于被保护线路之内，当被保护线路较短时，如果高频信号衰耗不大，高频保护有可能使用高于300kHz的信号频率。

在高频保护技术中，发讯机受继电部分的控制或调制等问题将在第二章内讨论。

2. 高频电缆

高频电缆（图1-4中已示出）是用来连接高频收发讯机和结合滤波器的，前者安装在变电站的控制室内，后者则位于高压配电装置中，因此需用高频电缆把它们连接起来。高频电缆的长度一般约为100~300m，但收发信机收到或发出的高频电流的波长较短，可以和电缆的长度相比拟，在电缆中传送高频电流时，必须按具有分布参数的长线来分析。电缆的波阻抗一般为75~100Ω。

3. 结合滤波器

结合滤波器与耦合电容器一起组成带通滤波器，带通滤波器的作用是使高频电流顺利通过，同时结合滤波器将高频收发讯机和高压设备进一步隔离，以保证低压设备和人身安全。由图1-4可见，当耦合电容器下端开路时，电容器下端将出现危险的相当于线路相电压的高电位，因此结合滤波器必须可靠接地。由于结合滤波器的线圈阻抗对工频呈现很小值，对高频呈现很大值，所以可以限制耦合电容器下端电位在几伏以下，同时高频电流还可很好地输送出去。结合滤波器的另一个作用是保证输电线路与高频电缆的阻抗匹配，由于输电线路的波阻抗一般为400Ω左右，故结合滤波器中变