

# 继电保护信号及其应用

西安交通大学发电教研室 葛耀中

## 前 言

在我国220千伏以上的高压和超高压输电线路上广泛采用各种类型的高频保护。随着微波通信在电力系统中的应用,利用微波通信的继电保护(简称微波保护)也必将得到迅速的发展。高频保护和微波保护统称为“通信保护”。这些保护的共同特点是利用通信系统传送保护的信号以达到保证保护正确和快速动作的目的。

目前我国电力系统中广泛采用高频闭锁负序方向保护、高频闭锁距离保护和相差动高频保护等,这些保护都是按故障起动发讯和闭锁信号构成。长期发讯的允许信号的方向保护也研制成功并将在我国系统中实际使用[6],国外也大量应用着闭锁信号、允许信号和跳闸信号的保护[4,7]。各种类型的信号都有各自的特点,它们都在不同的方面影响着保护的性能和动作指标,因此,正确地理解各种信号的性质和特点,并结合实际合理地选择使用它们,对保护的设计和运行分析无疑都是非常重要的。

由于我国目前多采用故障时起动发讯按闭锁信号原理构成的保护,在这种条件下,收到高频电流就闭锁保护,这里我们把有高频电流作为有闭锁信号对待是正确的。但是在长期发讯条件下,如果仍然把有高频电流认为是有闭锁信号就容易引起混淆。

随着继电保护技术的发展,电力线载波信道的复用和微波通信的使用,继电保护信号将多样化,因此有必要对继电保护信号问题作进一步研讨。在文献[1],[2]中曾对继电保护的信号问题进行讨论,本文在此基础上进一步阐明继电保护信号的性质、特点及其应用。

## 继电保护信号

### 一、继电保护信号

所谓信号,就是我们需要传送的信息。通信线路中所传送的信号是以它的某个参量(例如幅值、频率、脉冲相位等等)的变化来代表信息的。对于继电保护来说,信号是在线路故障时才传送的,它的作用是使保护在线路内部故障时正确动作,而在外部故障时不动。为此,在内部短路故障时应传送允许或跳闸信号,在外部短路时应传送闭锁信号。

信号的传送和通信方式有密切关系。目前国内外通常采用以下两种通信方式传送继电保护信号：一种是幅度键控，另一种是移频键控。前者是利用继电保护去控制发讯机的发讯和停讯，后者是利用继电保护去移动或改变发讯机的频率。在幅度键控方式中又可分为故障起动发讯或称为正常无电流信道和长期发讯或称为正常有电流信道两类。在移频键控条件下，发讯机正常发送某一固定频率 $f_1$ ，在故障条件下改变发出另一频率 $f_2$ （移频）。从继电保护信号是在故障时传送的观点出发，对于幅度键控方式，在故障起动发讯条件下，有发讯电流为有信号（图1，a），无发讯电流为无信号；在长期发讯条件下，无发讯电流为有信号，有发讯电流为无信号。对移频键控方式，有移频后的频率相当于出现信号（图1，c）

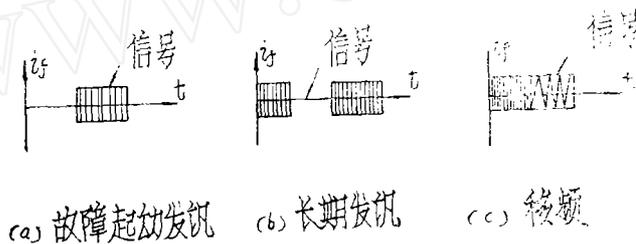


图 1

由上述可见，有无发讯电流并不总是与有无信号同等的，此外，对于继电保护，可分为闭锁信号，允许信号和跳闸信号三类，现分述于下。

## 二、闭锁信号

闭锁信号是阻止保护作用于跳闸的信号。换言之，无闭锁信号的存在是保护作用于跳闸的必要条件。只有同时满足以下两条件时，保护装置才作用于跳闸：1.本端保护元件动作；2.没有闭锁信号存在。利用闭锁信号构成的通信保护的逻辑图如图2，(a)所示。

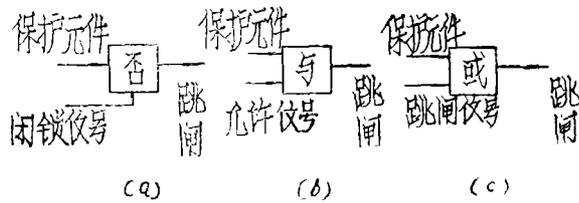


图 2

在方向通信保护中，当外部故障时，闭锁信号自线路近故障点的一端发出，当线路远端收到闭锁信号时，该端保护元件虽动作，但不能作用于跳闸。当内部故障时，任何一端都不发送闭锁信号，保护元件动作后即动作于跳闸。

对相差通信保护而言，当外部故障时，被保护线路两端的电流相位关系相当于传送闭锁信号。在内部故障时，线路两端电流相位变化 $180^\circ$ ，相当于无闭锁信号，保护元

件(起动作元件)动作后即作用于跳闸。

根据信道的不同方式,闭锁信号与发讯电流 $i_f$ 的关系如表1所示。从表1可见,在故障起动发讯条件下,有发讯电流 $i_f$ 为有闭锁信号;在长期发讯条件下,无发讯电流 $i_f$ 为有闭锁信号。在移频键控方式下,有频率如 $f_2$ 的发讯电流为有信号。

表1

信道工作方式		信号性质	正常工作	外部故障	内部故障
幅度键控	故障起动发讯 (正常无电流信道)	闭锁			
	长期发讯 (正常有电流信道)	闭锁			
	故障起动发讯 (正常有电流信道)	允许或跳闸			
	长期发讯 (正常有电流信道)	允许或跳闸			
移频键控		闭锁			
		允许或跳闸			

还应指出,对于相差通信保护,信号的性质不仅由是否有发讯电流 $i_f$ 决定,还由此电流与反映本端电流相位的信号的相对关系决定。例如在故障起动发讯条件下,在图3(a)中,对于负半周比较相位的保护,由于电流负半周时有发讯电流 $i_f$ ,保护不跳闸,故为闭锁信号,但在图3(b)中,虽然有发讯电流,但因发讯电流 $i_f$ 不是在电流负半周时收到的,因此不是闭锁信号,保护能作用于跳闸。

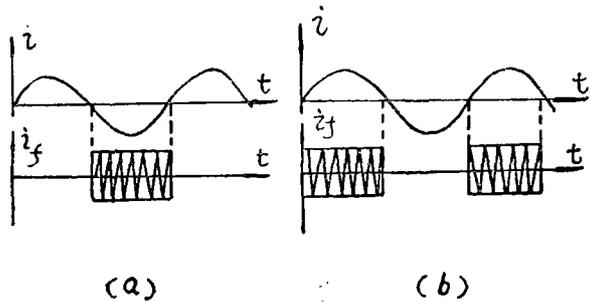


图3

### 三、允许信号

允许信号是允许保护动作于跳闸的信号。换言之，有允许信号存在是保护动作于跳闸的必要条件。只有同时满足以下两个条件时，保护才能作用于跳闸：1.本端保护元件动作；2.有允许条件存在。利用允许信号构成的通信保护的逻辑图如图2，(b)所示。

在方向通信保护中，当内部故障时，线路两端互送允许信号，保护元件动作后即作用于跳闸。当外部故障时，近故障端不发出允许信号，远故障端的保护元件虽动作，但不能作用于跳闸。

对相差通信保护，当内部故障时，线路两端电流关系相当于传送允许信号。在外部故障时，被保护线路两端电流相位差 $180^\circ$ ，相当于无允许信号。

根据信道的不同工作方式，允许信号与发讯电流 $i_f$ 的关系示于表1中。从表1可见，在故障起动发讯条件下，有发讯电流 $i_f$ 为有允许信号；在长期发讯条件下，无发讯电流为有允许信号；在移频键控方式下，有频率为 $f_2$ 的发讯电流为有允许信号。此外，对相差通信保护，在决定是否允许信号时，除上述条件外，还应注意发讯电流与反映本端电流相位的信号的相互关系。例如，在故障起动发讯条件下，在图4中，对于负半周进行比较相位的保护，图(a)、(b)虽都有发讯电流 $i_f$ 存在，但图(a)为有允许信号，图(b)为无允许信号。

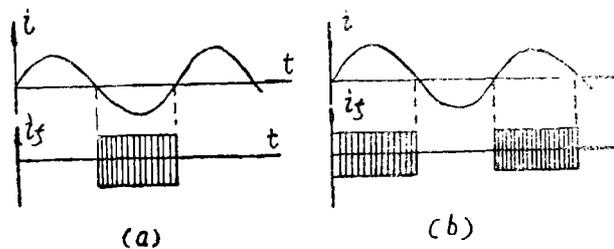


图4

### 四、跳闸信号

跳闸信号是直接引起跳闸的信号，此时与保护元件是否动作无关，只要收到跳闸信号就作用于跳闸。利用跳闸信号构成的通信保护的逻辑图如图2，(c)所示。跳闸信号除直接作用于跳闸外，其它均与允许信号相同。由表1可见，对于故障起动发讯，有发讯电流为有跳闸信号。对于长期发讯，无发讯电流为有跳闸信号。对移频键控方式，有频率为 $f_2$ 的发讯电流为有跳闸信号。

## 利用各种信号构成的继电保护

### 一、方向通信保护

#### 1. 基本原理

方向高频保护仍是根据比较线路两端功率方向的原理构成。图 5 示出了被保护线路  $Mn$ 。如果规定功率方向由母线指向线路为正，当内部故障时（图 5, a），两端功率方向相同（同为正），而外部故障时（图 5, b），一端功率为正（由母线向线路），另一端则为负（由线路向母线）。

由图 5 可见，线路两端功率方向相同（例如同为正）即为线路内部故障的判据，这时两端保护均应动作于跳闸。

为了确定线路两端功率方向，就必须在线路两端分别装设方向元件  $WM$ 、 $WN$ 。对于图 5 所示的  $d$  点内部故障（图 a）和  $d_1$  点外部故障（图 b），方向元件  $WM$  所反应的功率方向没有变化，即两者均为正方向。但它不能单独决定跳闸，这里必须等到确知对端功率方向也为正方向时， $M$  端保护才应发出跳闸脉冲。

为了在  $m$  端能知道  $n$  端功率方向的正反， $n$  端可向  $m$  端发出以下两种信息的一个：（1） $n$  端功率为正；（2） $n$  端功率方向为负。当  $n$  端送出功率方向为正的信息被  $m$  端接收时， $m$  端收到的是允许信号；反之，当  $n$  端送出的功率方向为反方向的信息被  $m$  端接收时，则  $m$  端收到的是闭锁信号。

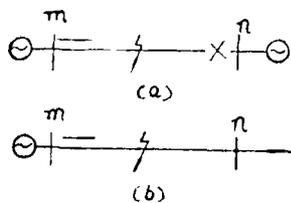


图 5

必须指出，在线路内部短路时，还有另外一种可能情况，如图 6 所示，图 6, a 为线路  $n$  端断开条件下发生内部故障；图 6, b 为  $n$  端无电源和无负荷时，线路内部故障。在以上两种情况下， $n$  端都没有短路电流，因此  $n$  端正、反方向的功率方向元件都不会动作，于是  $m$  端既收不到允许信号，也收不到闭锁信号。此时如按闭锁信号构成方向保护， $m$  端保护仍能作用于跳闸，但按允许信号构成的方向保护将拒绝动作。

#### 2. 按闭锁信号构成的方向保护

##### (1) 方框图

根据方向通信保护的基本原理，按闭锁信号构成的方向信道保护可用图 7 所示的方框图表示，保护由以下主要元件组成：

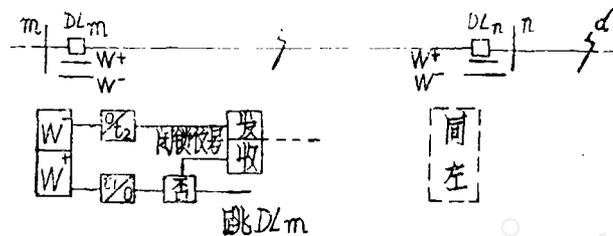


图 7

a、方向元件。方向元件的作用为测量功率方向，这里要求能确定正、反两个方向。方向元件可由各种原理构成，例如负序功率方向，行波功率方向等。为了简化保护，正、反两个方向元件可以合在一个方向元件内实现。正向方向元件 $W^+$ 动作，准备作用于跳闸；而反向方向元件 $W^-$ 反动作，控制发讯机发出闭锁信号。为了保证保护正确动作， $W^-$ 反的灵敏度必须高于 $W^+$ 的灵敏度，这是因为在外部故障条件下，当任一端 $W^+$ 动作时，对端的 $W^-$ 必须可靠动作，否则不能发出闭锁信号，保护将误动作。因此在外部故障条件下，为保证保护不误动，必须满足

$$K_L^- = K_K K_L^+ \quad (1)$$

式中： $K_L^+$ —正向方向元件的灵敏系数；

$K_L^-$ —反向方向元件的灵敏系数；

$K_K$ —可靠系数， $K_K > 1$

采用负序功率方向元件或行波功率方向时，考虑最严重的情况式(1)可表示为

$$W_{QD}^+ = K_K K_{QD}^- \quad (2)$$

式中： $W_{QD}^+$ ， $W_{QD}^-$ —正，反向功率元件的起动功率。

b、时间元件。在图7中，时间元件的作用是保证保护正确动作。延时 $t_1$ 动作快速返回的时间元件 $t_1/0$ 的作用是等待闭锁信号的到来。例如在图7中外部 $d$ 点故障时， $n$ 端 $W^-$ 控制发讯机发出闭锁信号。由于信号的传送需要时间以及 $m$ 端的 $W^+$ 和 $n$ 端的 $W^-$ 的动作时间不同等因素的影响，闭锁信号到达 $m$ 端的时间要比 $W^+$ 的动作时间迟一些。如果没有延时 $t_1$ ， $m$ 端 $W^+$ 动作后就立即发出跳闸脉冲，使保护误动作。快速动作延时 $t_2$ 返回的时间元件 $0/t_2$ 也是必须的。它的作用是当 $W^-$ 返回后，把发讯机发出闭锁信号的时间再保持 $t_2$ 秒。这是为了在外部故障切除后防止 $m$ 端的 $W^+$ 在闭锁信号消失时来不及返回发生误动。时间元件与方向元件动作时间的配合如图8所示。时间 $t_1$ 和 $t_2$ 分别决定如下：

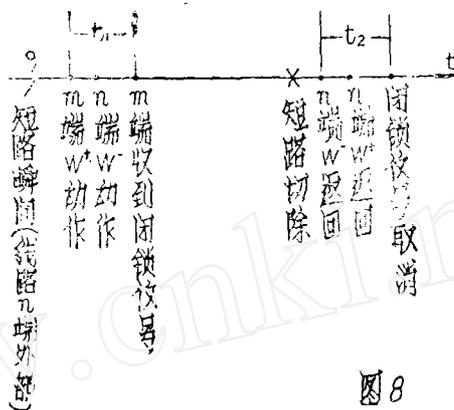


图8

$$t_1 = \Delta t_{W1} + t_x + \Delta t_1 \quad (3)$$

式中:  $\Delta t_{W1}$ —m端 $W^+$ 与n端 $W^-$ 的动作时间的最大差值,  $\Delta t_{W1} = t_{W-} - t_{W+}$ ;

$t_x$ —信号传送时间;

$\Delta t_1$ —时间裕度。

$$t_2 = \Delta t_{W2} + \Delta t_2 \quad (4)$$

式中:  $\Delta t_{W2}$ —m端 $W^+$ 与n端 $W^-$ 的返回时间的最大差值;

$\Delta t_2$ —时间裕度。

应该指出,在式(1)中 $\Delta t_{W1}$ 可能为正值或负值,这一点要根据方向元件的动作原理及其实际动作时间的误差决定。例如对于行波方向通信保护[5],在外部故障时,由于近故障端的 $W^-$ 的动作时间较远端 $W^+$ 的动作时间小 $t_x$ ,故在式(3)中 $\Delta t_{W1} = -t_x$ ,把它代入式(3)中可得

$$t_1 = \Delta t_1 \quad (5)$$

式(5)中的 $\Delta t_1$ 的数值是很小的。

c、收发讯机。当保护按故障起动发讯构成时,发讯机正常不发讯, $W^-$ 动作时起动发讯,收讯机收到发讯电流时即收到闭锁信号。当保护按长期发讯构成时,发讯机正常不发讯, $W^-$ 动作时,控制发讯机停讯,收讯机收不到发讯电流时即收到闭锁信号。当保护按移频键控方式构成时,发讯机正常发出某一固定频率的电流作为通道检查之用,当 $W^-$ 动作时,控制发讯机移频,发出闭锁频率的电流,收讯机收到此发讯电流时即收到闭锁信号。由此可见,图7所示框图,对闭锁原理的保护是通用的。

(2) 保护的主要指标如下:

a、动作可靠性

当线路内部故障时,线路两端 $W^-$ 都不动作,不送出闭锁信号,当 $W^+$ 动作后,经延时 $t_1$ 跳开两端断路器 $DL_m$ 与 $DL_n$ 。在单电源(图6)条件下,由于受电端(n端) $W^-$ 不动作,不发生闭锁信号,m端 $W^+$ 动作后,经 $t_1$ 跳开 $DL_m$ 。

当线路外部故障时, $W^-$ 动作向对端发出闭锁信号, $W^+$ 虽动作,但在 $t_1$ 之前已收到

闭锁信号，保护不会跳闸。在外部故障切除后，方向元件返回，如果 $W^+$ 返回较 $W^-$ 慢，由于 $W^-$ 返回后，闭锁信号延迟 $t_2$ 取消，所以也不会误动作。

b、灵敏度。保护的灵敏度由 $W^+$ 的起动功率决定。

c、动作速度。由方框图(图7)，保护的动作为

$$t_{D2} = t_W^+ + t_1 \quad (6)$$

式中： $t_W^+$ — $W^+$ 的动作时间；

$t_1$ —见式(3)

式(6)对常规保护可以适用，对于行波方向保护，由于方向元件本身动作时间很小，因此行波和信号传送的时间在保护动作时间中已占一定比例，线路两端保护的动作为因短路点位置不同而有明显区别，应该分别进行计算。例如，在图5，(a)中线路内部 $d_2$ 点故障时， $n$ 端方向保护的动作为

$$t_{D2N} = t_W^+ + t_1 \quad (7)$$

式中： $t_W^+$ —行波方向元件本身动作时间。

$m$ 端方向保护的动作为

$$t_{E2N} = t_W^+ + t_x^+ + t_1$$

式中： $t_x^+$ —行波沿被保护线路传送的时间，每300KM 1毫秒。

d、装置的继电部分中要求测量正、反两方向的功率方向，并需要灵敏度及时间的配合，因此较为复杂。在故障起动发讯条件下，外部故障时只有一端发讯机发讯，不会出现频拍现象，但在有分支线的情况下，外部故障时有可能同时两端 $W^-$ 起动发讯，故仍有可能出现频拍。由于能按单频制(即各端发讯频率相同)构成保护，因此收发讯机调试较简单，且占用频带较窄。由于闭锁信号为有发讯电流，而发讯电流只沿非故障线路的信道传送，因此在采用电力线载波通信条件下，通道可靠性较高。长期发讯条件下，信道经常处于监视状态是其优点，但需采用双频制(即两频发讯频率不同)；由于内部故障时两端均不停讯，在采用电力线载波条件下，如果信道中断，保护将收到闭锁信号而拒绝动作。在移频键控方式下，通道也可经常受到监视，其余性能大体与故障起动相当，但占用频带较宽。

### 3. 按允许信号构成的方向保护

#### (1) 方框图

按允许信号构成的方向保护的方框图如图9所示

由图9可见，保护中只用一个正方向动作的功率方向元件，并且不需要时间元件。例如当 $d_1$ 点外部故障时， $n$ 端方向元件不动作，不控制发讯机发出允许信号， $m$ 端方向元件 $W_m$ 虽动作，但因收不到允许信号，故不会作用于跳闸，这里不存在时间配合问题。在故障起动发讯条件下， $W$ 起动发讯，送出允许信号；在长期发讯时， $W$ 动作停止

发讯送出允许信号；在移频键控方式下， $W$ 动作使发讯机移频发出允许信号。应该指出，在长期发讯时可采用单频率制，在故障起动发讯和移频键控方式下，都必须采用双频率制，否则在外部故障时将产生误动作。

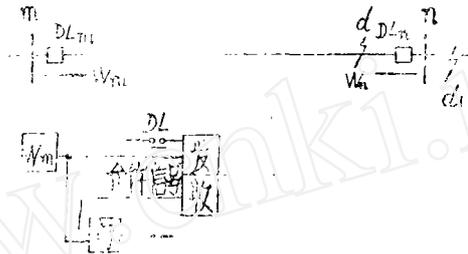


图 9

(2) 保护的主要指标如下：

a. 动作可靠性

当线路内部故障时，线路两端方向元件同时动作，并控制发讯机，互送允许信号，“与”门动作条件满足，保护动作跳开各端的断路器。在单电源（图 6）内部故障时，由于受电端（ $n$ 端） $W_n$ 不动作，不发出允许信号，因此 $W_m$ 虽动作，保护仍将拒动。采用当断路器断开后利用其辅助触点 $DL$ 控制发讯机发出允许信号的方法可以防止图 6, a 条件下的拒动，但仍不能解决图 6, b 的拒动问题。

当线路外部故障时（ $d_1$ 点），由于 $W_n$ 不动，不控制发讯机发出允许信号，故线路两端保护都不动作。

b. 灵敏度。保护的灵敏度决定于方向元件的动作功率，不存在式（2）的配合关系，所以灵敏度可以较高。

c. 动作速度。

由方框图可见，常规保护的動作时间由接收即允许信号的时间决定，可表示为

$$t_{Dx} = t_w + t_x^1 \quad (9)$$

式中： $t_w$ —方向元件的动作时间；

$t_x$ —信号传送时间。

比较式（9）和式（6）可见，式（9）动作时间较小。

对于行波方向保护，应分别计算两端保护的動作时间。例如在图 9 中线路内部  $d$  点故障， $m$  端保护的動作时间，由收到  $n$  端送出的允许信号的时间决定，可表示为

$$t_{Dxm} = t'_{wn} + t_x \quad (10)$$

式中： $t'_{wn}$ — $n$  端行波方向元件动作时间；

$t_x$ —允许信号传送时间。

$n$  端保护的動作时间则由收到  $m$  端发出的允许信号的时间决定，可表示为

$$t_{Dxn} = t'_{wm} + t_{x1} + t_{x2} = t'_{wm} + 2t_x \quad (11)$$

式中： $t'_{wm}$ — $m$  端行波方向元件的动作时间；

$t_{s1}$ —行波沿被保护线路传送时间;

$t_{s2}$ —允许信号传送时间。

比较式(10)、(11)与式(7)、(8)可见,当 $t_{s2} > \Delta t_1$ 时,采用允许信号的行波方向保护的動作时间较长。

d. 装置的继电部分中只有一个正向方向元件,且没有时间元件,故较简单。在采用电力线载波通信时,内部故障可能引起信道中断,对于故障起动发讯和移频键控会引起拒动,在长期发讯条件下,因为收不到发讯电流等于收到允许信号,所以保护能够正确动作。

## 二、距离通信保护

### 1. 基本原理

距离通信保护是在一般两段式或三段式距离保护的基础上增添通信设备(收发讯机等)组成,加装通信设备的目的是为了保証在被保护线路上任何一点发生故障都能快速跳闸。

距离通信保护可归为方向通信保护中,但因它有固定保护范围等特点,故分别予以讨论,距离通信保护可按闭锁信号、允许信号和跳闸信号构成。

### 2. 按闭锁信号构成的距离通信保护

#### (1) 方框图

在距离通信保护中都有起动元件。在两段式距离保护中采用负序电流、电压起动元件;在三段式距离保护中通常利用第三段起动。起动元件一般都是无方向性的。因此,按闭锁信号构成的距离保护虽然在原理上与按闭锁信号构成的方向保护类似,但也有很大区别。

图10给出几种常用的距离保护的動作特性;图a 负序电流(电压)起动的两段式距离保护;图b、图c为三段式距离保护。在这三种类型的距离保护的基础上,按闭锁信号构成的距离通信保护如图11所示,其主要元件如下:

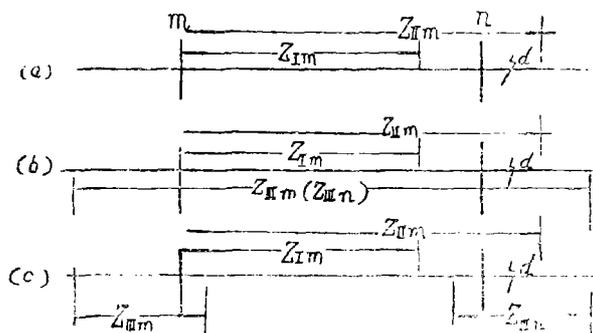


图 10

a. 起动元件。起动元件可以用负序电流、电压,也可用距离Ⅲ段等,它的主要作用是在线路发生故障时起动保护装置,并控制发讯机发讯或停讯以发出闭锁信号。

b. 距离元件。距离元件一般为距离Ⅱ段,其作用是测定短路故障方向,借以判别内部或外部短路。距离元件与方向通信保护中正向方向元件的作用相同,区别是距离元件的保护范围是固

定的, 距离元件应满足以下要求:

- ① 有方向性;
- ② 保护范围应包括被保护线路全长;
- ③ 距离元件的灵敏度必须与起动元件配合, 起动元件的灵敏度应高于距离元件, 以防止保护在外部故障时发生误动作。

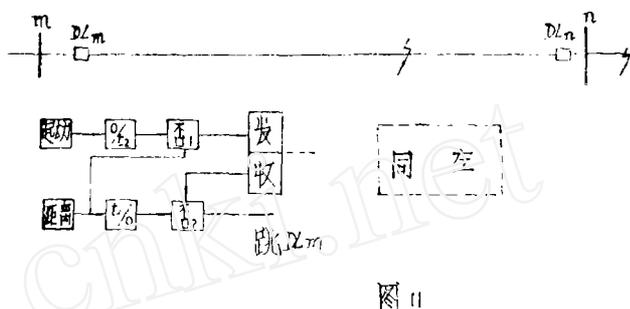


图 11

c. 时间元件。一为延时动作的时间元件  $t_1/0$ , 另一为延时返回的时间元件  $0/t_2$ 。这两个时间元件的作用与按闭锁信号构成的方向通信保护相同。

d. 收发讯机的工作情况同按闭锁信号构成的方向通信保护。

(2) 保护的主要指标。

a. 动作可靠性

在线路内部故障时, 保护起动元件动作控制发讯机, 但因两端距离元件同时动作, 作用于“否”, 又解除了控制, 因此两端都不发出闭锁信号。距离元件动作后经过延时  $t_1$  和“否<sub>2</sub>”作用于跳闸。在单电源条件下, 由于受电端(例如  $n$  端)的起动元件不动作, 不控制发讯机发出闭锁信号, 故  $m$  端保护能够动作。

当线路外部短路时, 如果故障点在距离元件动作范围内(例如图10中  $d$  点),  $m$  端距离元件  $Z_{1m}$  动作, 但此时  $n$  端起动元件必定动作, 控制  $n$  端发讯机向  $m$  端发出闭锁信号, 保护不动作于跳闸。当外部故障切除后, 起动元件与距离元件都返回, 由于闭锁信号延迟  $t_2$  秒返回, 因此避免了由于起动元件先返回可能引起的误动作。

b. 灵敏度。保护的灵敏度由距离元件决定。

c. 动作速度。保护的动作为

$$t_{Dz} = t_x + t_1 \quad (12)$$

式中:  $t_x$ —距离元件的动作时间

$t_1$ —见式(3)

d. 装置的继电部分较为复杂, 逻辑回路也稍复杂。起动元件与距离元件的灵敏度要配合, 动作时间也要配合。在故障起动条件下, 可采用单频制, 在长期发讯条件下, 必须采用双频制, 否则外部短路时会发生误动。

e. 距离通信保护可以兼作相邻线路的后备保护是其优点。在这种保护中, 如果通信部分故障, 距离保护仍可使用; 但是如果距离保护本身故障, 通信保护和距离保护都失去作用。

3. 按允许信号构成的距离通信保护

根据控制发讯机的保护元件不同, 按允许信号构成的距离通信保护有以下类型。

(1) 距离 I 段控制发讯机(欠范围允许信号)

(a) 方框图

保护由距离 I 段控制发讯机(例如 m 端)向对端发出允许信号,如果对端保护元件(例如距离 II 段或 III 段或电流、电压元件等)也同时动作,则对端保护作用于跳闸。保护方框图如图 12 所示。

本保护由以下主要元件组成:

① 距离 I 段。其作用为确定短路故障是否发生在本线路内部,因此距离 I 段应具有方向性,其保护范围应小于线路全长,以保证在相邻线路上短路时不动作。

② 保护元件。采用距离 II 段、III 段或电流、电压元件均可。对保护元件的主要要求是在正常工作条件下不动作,在被保护线路内部故障时应可靠动作。因此,在线路末端短路时,保护元件应具有足够的灵敏度。

③ 收发讯机的工作情况与按允许信号构成的方向通信保护相同。

(b) 保护的主要指标

① 动作可靠性

当线路内部故障时,如在  $d_1$  点短路,  $Z_{I,m}$ 、 $Z_{I,n}$  动作,经“或”以分别跳开两端断路器  $DL_m$ 、 $DL_n$ ;在  $d_2$  点短路,  $Z_{I,n}$  动作跳开  $DL_n$ ,同时控制  $n$  端发讯机向  $m$  端发出允许信号,  $m$  端保护元件动作,且又收到允许信号,通过“与”及“或”以跳开  $DL_m$ ,在  $n$  端开关断开条件下,如果  $d_2$  点故障,  $Z_{I,n}$  不动作,不能发出允许信号,  $m$  端保护将拒动,为此采用当断路器跳开后,利用其辅助接点控制发讯机发出允许信号的措施。

当线路外部故障时,两端  $Z_I$  都不动作,不发允许信号,两端保护不会动作。

② 灵敏度。保护灵敏度由距离 I 段  $Z_I$  决定。

③ 动作速度。根据故障点不同,保护动作时间分别为

$$t_{d1} = t_{z1}$$

$$\text{或 } t_{d2} = t_{z1} + t_x$$

(13)

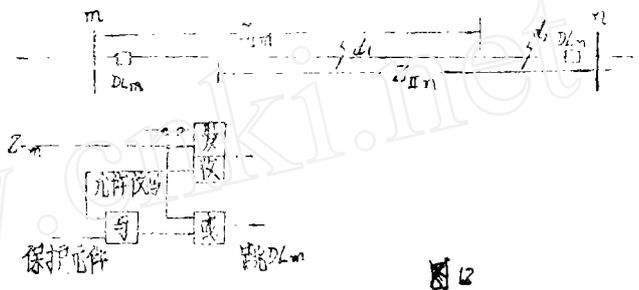
式中:  $t_{z1}$ —距离 I 段动作时间;

$t_x$ —信号传送时间。

④ 装置继电部分比较简单,不需时间配合。在故障起动或移频键控方式下,采用单频制及双频制均可。在长期发讯方式下,必须采用双频制,否则在  $d_2$  点故障(图 12),  $m$  端保护将拒绝动作。

(2) 距离 II、III 段控制发讯机(超范围允许信号)

本保护由距离 II 段或 III 段控制发讯机向对端发出允许信号,如果对端距离 II 段也动作,则为内部故障,两端保护同时作用于跳闸,其方框图及动作情况与按允许信号构成



的方向通信保护相同，不再重述。

#### 4. 按跳闸信号构成的距离通信保护

##### (1) 方框图

保护的动作为距离 I 段动作后作用于跳闸，同时控制发讯机发出跳闸信号，线路对端只要收到跳闸信号即作用于跳闸，其方框图如图 13 所示。

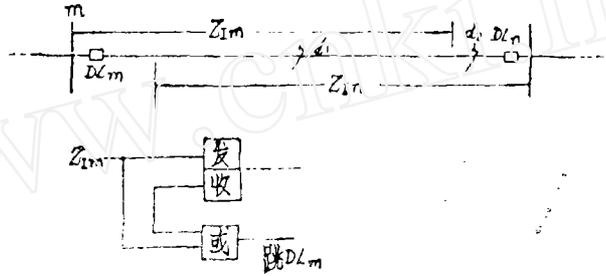


图 13

##### (2) 保护的主要指标

###### a. 动作可靠性

当线路内部  $d_1$  短路时，两端距离 I 段  $Z_{I_m}$ 、 $Z_{I_n}$  同时动作，跳开两端断路器，同时控制发讯机向对端发出跳闸脉冲，这时如果任何一端距离 I 段因故拒动，也能靠跳闸脉冲跳开断路器。因此在占全线 70% 左右的范围内故障时具有双重保护的效果。在  $d_2$  点故障时， $Z_{I_m}$  不动， $Z_{I_n}$  动作后，一方面跳开  $n$  端断路器，同时控制发讯机向  $m$  端发出跳闸信号，断开  $m$  端断路器  $DL_m$ 。在单电源或一端断路器处于断开状态时（例如  $DL_n$  断开），如  $d_2$  点故障， $n$  端  $Z_{I_n}$  不动， $m$  端保护只能靠后备保护延时动作。

在外部故障时，两端  $Z_{I_n}$  都不动，也不会发出跳闸信号，保护不会动作。

对于按跳闸信号构成的距离通信保护还应说明以下两点：

① 与其他类型的高频保护不同，这种保护的动作为不是基于比较线路两端功率方向，而是由一端独立判定内部或外部故障，这一特点是值得重视的。例如在图 14 所示的分支线内部  $d_1$  点发生故障时，分支线  $p$  端有电流流出（图 14），这时方向通信保护都将拒动，但是，按跳闸信号构成的距离保护有可能动作。

可是按跳闸信号构成的距离保护又会遇到另外一些困难，例如在图 15 所示分支线上，当  $DL$  断开时，在  $d$  点故障，就无法保证快速切除故障。在更严重的情况下，由于三端  $Z_{I_n}$  的保护范围无重叠区，因此会出现死区，而此时按其它信号构成的保护又能动作。

② 跳闸信号的动作可靠性较高，但多受干扰影响。因此采用跳闸信号时，对通信部分的抗干扰性要求很高。

b. 灵敏度。决定于距离 I 段，在长线上较为有利，在短线或分支线上便遇到灵敏度不足的困难。

c. 动作速度。保护动作速度与图 12 相同。

d. 装置的继电部分简单,但由于对通信部分抗干扰要求高,故收发讯机部分较为复杂。在故障起动发讯或移频键控方式下,跳闸信号多有发讯电流,在电力线载波通信条件下,应该注意由于内部故障信道中断对跳闸信号传送的影响。

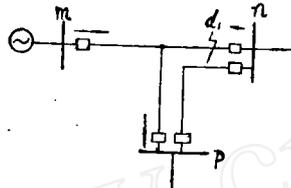


图14

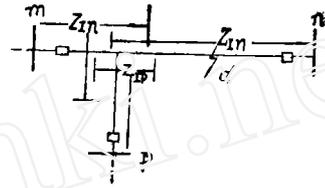


图15

### 三、电流相位差动通信保护

#### 1. 基本原理

电流相位差动通信保护是根据比较线路两端电流相位的原理构成。这里有两种判别内部或外部故障的方法:在规定电流的正方向为由母线指向被保护线路的条件下,一种是根据一端工频电流的正半周(或负半周)与传送来的反应被保护线路对端工频电流正半周(或负半周)的信号相重合作为保护作用于跳闸的必要条件,这种性质的信号称为允许信号;另一种是根据一端工频电流的正半周(或负半周)与传送来的反应对端负半周(或正半周)的信号相重合闭锁保护,这种性质的信号为闭锁信号,因此,电流相位差动通信保护也可按闭锁信号和允许信号构成。

#### 2. 按闭锁信号构成的电流相位差动通信保护

##### (1) 方框图

按闭锁信号构成的电流相位差动通信保护的方框图如图16所示。

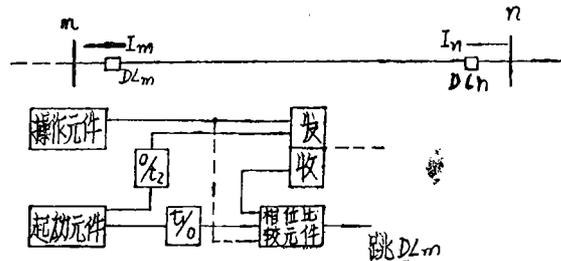


图 16

保护由以下主要元件组成:

(a) 起动元件。起动元件的主要作用是在线路故障时将保护装置投入工作。它不仅起着保证保护各个环节之间的相互配合,而且也是提高保护可靠性的一项简单有效的措施。

在故障起动发讯条件下,起动元件应有两个不同的定值,灵敏度高的低定值起动发讯机,灵敏度低的高定值起动相位比较元件。这是因为在外部故障条件下,如果任何一端的起动元件已经起动了比相元件,就能够一定保证另一端可靠地起动发讯,发出闭锁信号。起动元件的两个定值应按下式配合

$$A_s = K_K A_d$$

(14)

式中： $A_d$ ——高定值；  
 $A_l$ ——低定值；  
 $K_K$ ——可靠系数， $K_K > 1$ 。

在长期发讯条件下，起动元件只有一个定值，只起动相位比较元件。

(b) 操作元件。操作元件的主要作用是将被比较的工频电流经过放大限幅，变为反映电流相位，即与正、负半周对应的方波。此方波再对发讯机进行幅度键控或移频键控，使发讯机发出反映工频电流相位的信号，以便传送到对端进行相位比较。

在操作元件中，应该注意无电流操作状态的问题。无电流操作状态直接影响信号的性质和保护的动作性能。当无操作电流时，发讯机不发讯称为“无态”；当无操作电流时，发讯机发出速断的电流称为“有态”。有关这两种无电流操作状态的问题已在文献〔2〕、〔3〕中进行过讨论，不再重述。

在故障起动发讯条件下，起动元件应按下式配合

$$A_d = K_K A_{ch} \quad (15)$$

式中： $A_d$ ——见式(14)；  
 $A_{ch}$ ——满操作定值。

在满足式(15)的条件下，只要发讯机被起动，就一定能保证有满操作，正确送出反映电流相位的信号，以便进行相位比较，在内部故障时动作，在外部故障时不动。

在一端电源条件下，由于无电源侧起动元件不动作，不起动发讯，与采用哪一种无电流操作状态无关，都不会送出闭锁信号，送电端保护能动作跳闸。

在长期发讯条件下，仍要满足式(15)的要求，否则，在采用“有”态时，当外部故障时起动元件动作，由于操作灵敏度不足，将导致闭锁信号消失，使保护误动；在采用“无态”时，当内部故障时，将出现闭锁信号，使保护拒动。

(c) 相位比较元件。相位比较元件的作用是判别被保护线路内、外部故障。当外部故障时从相位比较元件不应动作的前提出发，考虑信号传送延迟、电流互感器误差、电容电流及装置本身误差等引起的电流相位误差，保护动作的相位条件为

$$|\varphi| < 180^\circ - \alpha_\beta \quad (16)$$

式中： $\varphi$ ——线路两端电流的相位差；  
 $\alpha_\beta$ ——闭锁角。

在式(16)中，如令  $\alpha = 180^\circ - |\varphi|$ ，则保护的動作条件又可表示为

$$\alpha > \alpha_\beta \quad (17)$$

(d) 时间元件包括延时动作元件 $t_1/0$ 和延时返回元件 $0/t_2$ ，二者作用与按闭锁信号构成的方向通信保护相同。

(e) 收发讯机。在故障起动方式下，正常工作时发讯机不发讯，线路故障时，由低值起动元件控制发讯机发讯。在长期发讯条件下，发讯机经常发讯，不需要起动元件起动。在移频键控方式下，发讯机经常由操作元件控制，发出对应于电流正、负半周的不同频率 $f^+$ 与 $f^-$ 。

## (2) 保护的主要指标

### (a) 动作可靠性

当线路内部故障时, 线路两端电流相位满足式(16)的动作条件, 两端发讯机发讯, 无闭锁信号, 相位比较元件动作, 作用于跳闸。在单电源条件下, 当采用故障起动发讯时, 由于受电端不起动发讯, 不送出闭锁信号, 送电端保护能作用于跳闸; 当采用长期发讯时, 如果操作元件按“有态”工作, 因受端无操作电流, 故发讯机发出连续电流, 相当于无闭锁信号, 故送端保护能动作跳闸, 如果操作元件按“无态”工作, 发讯机不发讯, 相当于有闭锁信号, 送端保护将拒绝动作。对于移频键控方式, 采用“无态”的无电流操作状态时, 受端不发送闭锁信号, 送端保护能动作跳闸; 采用“有态”时, 保护的工作情况要根据连续发出的是正半周或负半周的频率而定。

当线路外部故障时, 线路两端电流相位差接近 $180^\circ$ , 两端发讯机互送闭锁信号, 保护不动作。当外部故障切除时, 可能出现一端起动元件返回较慢且线路负荷电流很小或为零的情况, 这时对于故障起动发讯的保护, 当采用“有态”时, 由于闭锁信号在起动元件返回后还持续 $t_2$ 秒, 故不会误动; 而采用“无态”时, 无操作电流时不发讯, 则为闭锁信号消失, 将引起误动; 对于长期发讯的保护, 与上述相反, 采用“无态”不会误动, 采用“有态”将引起误动; 对于移频键控方式, 采用“无态”时也存在可能误动的问题。上述误动可以采用相应措施予以解决[文献3]。

b. 灵敏度。保护的灵敏度由起动元件的定值决定。

c. 动作速度。根据图16可知, 保护的动作时间

$$t_{D_1} = t_0 + t_1 + t_\beta \quad (18)$$

式中:  $t_0$ ——起动元件的动作时间;

$t_1$ ——时间元件 $t_1/0$ 的延时;

$t_\beta$ ——相位比较元件的动作时间。这个时间不是定值, 与故障瞬间有关,

在半周比较相位条件下:

$$\frac{\alpha_\beta}{18} < t_\beta (\text{毫秒}) < 20 + \frac{2\alpha_\beta}{18}$$

d. 装置的继电部分较为简单, 特别当装置仅用交流电流量(不用交流电压)时就更为简单可靠。通信部分较方向或距离保护复杂, 这是因为要传送电流相位信号, 就必须对发讯机进行幅度或移频键控; 此外占用频带也较宽。在故障起动发讯条件下, 采用单频制及双频制均可; 但在长期发讯条件下, 必须采用双频制, 因为在外部故障时, 由于收到本端发讯电流将使对端送来的闭锁信号消失, 使本端保护误动。从通道可靠性观点来看, 在故障起动条件下, 作为闭锁信号的发讯电流沿非故障线路传送, 因此, 在采用电力线载波通信的情况下, 采用故障起动发讯方式可靠性高。

### 3. 按允许信号构成的相位差动通信保护

按允许信号构成的相位差动通信保护的方框图及组成部分大致与图16相同, 这时延时 $t_1/0$ 的作用可保证正确比较电流相位和在空投线路时躲过电容电流暂态分量的影响。

由于保护按允许信号构成, 故具有按允许信号构成的方向或距离通信保护的相同的优缺点, 但是应该注意无电流操作状态所带来的影响。

## 结 束 语

一、继电保护的信号可分为闭锁信号、允许信号和跳闸信号。根据继电保护的要求，在被保护线路外部故障时，沿被保护线路间的信道传送闭锁信号；在被保护线路内部故障时，沿被保护线路间的信道传送允许信号或跳闸信号。

二、由于继电保护信号是在系统故障时传送的，因此，在故障起动发讯（正常无电流信道）条件下，有发讯电流定义为有信号；在长期发讯（正常有电流信道）条件下，无发讯电流定义为有信号；在移频键控条件下，有移频后的频率的电流为有信号。根据这种定义方法，不论采用哪种信道，所有闭锁信号、允许信号和跳闸信号均各有相同的性质和特点，不会引起混淆。

三、闭锁信号的特点如下：

由于闭锁信号只在被保护线路外部故障时传送，而在内部故障时不传送，因此采用闭锁信号构成保护有下述特点：

1. 为了保证在外部故障时保护不误动，必须等到确定已无闭锁信号送来才能发出跳闸脉冲，因此必须保证时间的配合。

2. 为了保证在外部故障时保护不误动，任何一端发出闭锁信号的灵敏度必须高于对端保护动作跳闸的灵敏度，因此必须保证灵敏度的配合。

3. 因为在被保护线路内部故障时不传送闭锁信号，所以采用闭锁信号构成的保护的动作可靠性高。在单端电源条件下发生内部故障时，送端保护能可靠动作，在环网中也有相继动作的能力。

4. 在故障起动发讯条件下，有发讯电流为有闭锁信号；在长期发讯条件下，无发讯电流为有闭锁信号；在移频键控条件下，有键控后的发讯频率为有闭锁信号；而闭锁信号又是在外部故障时沿被保护线路间的信道传送的，因此在电力线载波信道条件下，为了不影响闭锁信号的畅通传送，采用故障起动发讯或移频键控，较为可靠，对微波信道，则无大差别。

四、允许信号的特点如下：

1. 由于允许信号是在线路内部故障时传送，因此与闭锁信号不同，不存在时间配合和灵敏度配合的问题，且较简单。

2. 因为任何一端的保护，只有在收到允许信号时才能动作于跳闸，所以采用允许信号构成的保护的动作可靠性较低。在单端电源条件下，当发生内部故障时，由于受电端不能发出允许信号，送电端的保护将拒绝动作。在环网中相继动作的能力较差。

3. 在故障起动发讯条件下，有发讯电流为有允许信号；在长期发讯条件下，无发讯电流为有允许信号；在移频键控条件下，有移频键控后的频率为有允许信号，而允许信号又是在线路内部故障时传送的，因此在电力线载波信道条件下，为了保证允许信号的畅通传送，长期发讯较为可靠。对微波信道，则无大差别。

五、跳闸信号的特点如下：

跳闸信号除具有允许信号的特点外，还应补充以下两点：

1. 控制发讯机发出跳闸信号的元件大都具有独立确定被保护线路内部故障的能力，如距离Ⅰ段，零序电流速断等，采用跳闸信号构成保护的继电部分最为简单。

2. 从抗干扰能力来看，采用跳闸信号的保护最差，因为无论何时只要现出与跳闸信号性质相同的干扰就可使保护跳闸，因此必须加强通信部分的抗干扰能力以免误发跳闸信号。对于闭锁信号和允许信号，由于有保护元件动作条件的限制，因此在正常条件下，信道中出现干扰是不会引起保护误动的。由此可见，保护元件是一个简单有效的抗干扰措施。从提高抗干扰能力看，应优先采用闭锁信号或允许信号的保护。应该指出，当采用闭锁或允许信号时，在外部故障时，干扰可能引起误动作，在内部故障时也可能引起拒动，但是由于系统故障的时间与正常运行时间相比是少得不可比拟的，因此，误动或拒动的机率是很小的。

六、闭锁信号、允许信号和跳闸信号各有其特点，可根据电力系统的实际情况，使用的通信工具以及对保护的要求正确选择和使用它们。

## 参 考 文 献

- [1] J. Becdy and Oth *EValuation of Operating Principle With Microwave Relaying*,  
*AIEE, Trans. Power Apparatus and Systems*, 1958. Vol. 76.
- [2] 葛跃中，利用各种通道继电保护的一般原理，西安交通大学学报，1962. 2.
- [3] 葛跃中，相差动高频保护动作原理的研究，继电器，1975. 1.
- [4] *Applied Protective Relaying, Westinghouse Corporatian Relay—Instrument Division*, 1976.
- [5] M. Chamia, S. Liberman. *UHSR for EHV/VHV Transmission Line—Developments, Design and Application*. *IEEE. PAs—97, No. 6*, 1978.
- [6] 贺家李 超高压输电线长期发讯的方向保护，天津大学，1979. 9.
- [7] 戴学安 远方跳闸式保护方式综述，电力部南京自动化研究所继电保护论文集，1979. 8.