

## 相差高频保护在电网中的应用

上海继电器厂 张杰

在电力系统110KV以上超高压输电线路中，一般均以高频保护作为主保护，这是因为高频保护可以快速切除全线范围内各种短路，对提高线路输送功率和保证系统稳定运行有着重要作用。

我国电力系统大都采用两种高频保护，一是相差动高频保护，一是高频闭锁方向保护。由于前者与后者相比不受系统振荡影响，在非全相运行时可正确工作，这些优点在目前超高压电网大量采用非同期重合闸和单相重合闸情况下，显得更为突出，这是高频闭锁方向保护所不能比拟的。鉴于上述原因，相差高频保护在我国各大系统中使用的最多。

目前我国大量采用的GCH—1型相差动高频保护是仿苏(Πφ3—2型)老产品，在我国有几十年的运行经验，虽然动作正确效率较高，运行也较可靠，但构成原理上还存在下述几个缺点：

1. 使用于分支线路时灵敏度往往不够，加之外吸电流的影响以致无法应用。
2. 当单侧电流区内对称性故障时，因负荷侧可能发连续波而使电源侧保护拒动。
3. 因采用电子管收发讯机，电子管（特别是功放管）的老化和损坏严重，对用户是一个头痛的问题。

近年来，国内开始研制各种新型晶体管相差动高频保护，在构成这些保护时，解决上述问题的途径是：

### (一) 关于分支线路灵敏度不足问题

对于两端线路，在区外故障时为确保当一侧高值元件动作时，对端低值元件可靠启动，考虑到两端电流互感器有10%误差，起动元件有5%误差，在最恶劣情况下高低定值起动元件的动作电流应满足下式：

$$\frac{I_{d高}}{I_{d低}} = \frac{(1+0.1)(1+0.05)}{(1-0.1)(1-0.05)} = 1.6$$

但当使用于支接线路时（见图1），外部故障流过各侧的电流相差可达一倍，因之高低定值起动元件动作电流之比变为 $(1.6 \times 2 = 3.2)$ 3.2倍，因此分支线路情况下

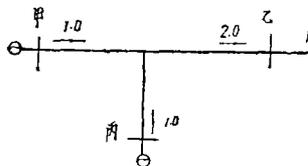


图1分支线路当区外故障时各侧电流分布图

相差高频灵敏度往往不能满足要求。解决的途径是：

1. 采用“长期发讯”的高频相差保护

由于采用了“长期发讯”，不需两个定值不同的起动元件，因而提高了保护灵敏度。长期发讯高频保护国外已经开始应用。

2. 采用“远方起动”方式

这种方式的保护仅需一个低值元件，只要一侧起动，其它各侧均可被“远方起动”发讯，因而装置提高了灵敏度。

3. 采用易于配合的“电压元件”作为保护起动元件，在分支线路时电压元件可用电流补偿法将各侧电压补偿至线路交接点，因元件反应的是同一点电压，故高低电压元件起动值仅需考虑互感器和装置误差，即按1.6倍考虑。

(二) 单侧电源区内故障拒动问题

1. 采用两种无电流操作状态—“有态”和“无态”方式，其原理见图2，在足够大操作电流时，“有态”和“无态”发出方波宽度相近（ $180^\circ$ 左右），在小电流时“有态”波宽大于 $180^\circ$ ，“无态”波宽小于 $180^\circ$ ，当无操作电流时，“有态”发出连续波，“无态”不发高频波。当单侧电源区内故障时，使负荷侧保护工作于“无态”操作

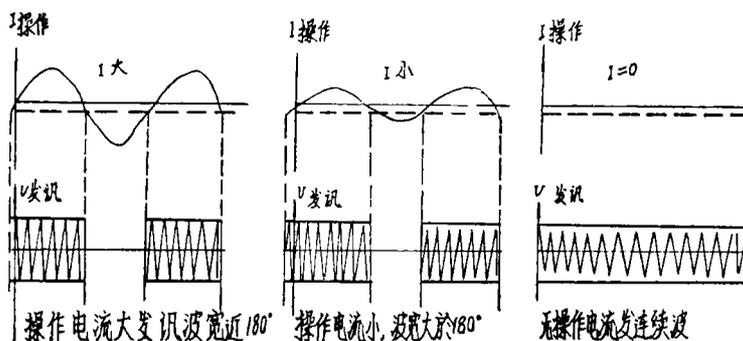


图2(a) “有态”方式

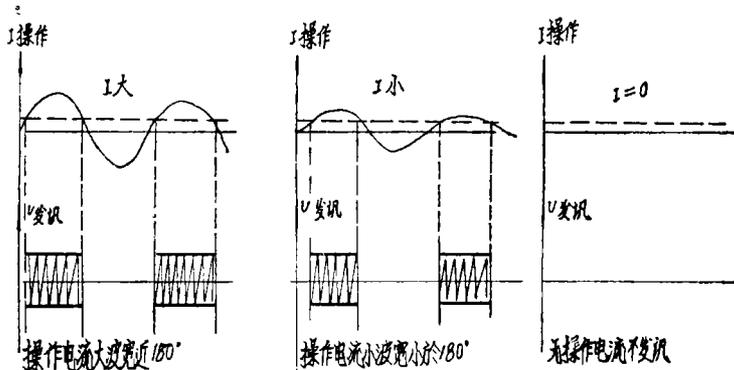


图2(b) “无态”方式

图2 两种无电流操作方式

方式，可保证电源侧可靠跳闸。

2. 当采用“远方起动”方式保护时，单电源区内故障时，负荷侧无操作电流，此时可令“远方起动回路”快速复归，负荷侧保护即刻停止发讯，电源侧能可靠跳闸。在有操作电流时，该回路按正常延时复归。

(三) 至于收发讯机中电子管的老化和损坏问题，现因全晶体管式收发讯机的出现而获得解决。

目前我国某地区运行的“晶体管远方起动式相差高频保护装置”(方框图见图3，以下简称装置)试图解决上述问题。现将装置主要特点和构成原理简述如下：

#### (一) 装置特点

1. 采用“远方起动”方式，灵敏度较高。
2. 采用两种无电流操作状态，装置在单电源区内对称性故障时能可靠跳闸，在一般区外故障时工作于“有态”操作方式，可靠性高。
3. 由于设置了零序功率元件，可方便的使用于分支线路，当支接侧轻负荷区内单相接地故障时，能可靠跳开分支线侧，以提高单相重合闸的成功率。
4. 采用晶体管收发讯机，发讯功率较大，元件寿命长、工作可靠，收讯灵敏度高，体积小。

#### (二) 装置构成原理

##### 1. 装置的主要元件

##### (1) 起动元件

不对称故障采用负序电流“ $I_2$ ”元件，对称故障用相电流“ $I_{\phi a}$ ”元件。

##### (2) 零序功率元件

为分支线路区内单相接地短路保证跳开支接侧而设，该元件具有正、反两个动作回路，正向回路起动比相元件，反向回路动作使操作元件工作于“有态”方式，以确保区内接地故障时可靠跳闸，区外接地故障时不会误动作。

##### (3) 操作元件

采用“ $I_1 + K I_2$ ”方式，并具有“无态”和“有态”两种操作状态，三相对称短路能正确可靠地操作。

##### (4) 比相元件

该元件采用电容积分和放电原理构成，见图4示，当通道中有高频讯号时，收讯机输出低电位，比相元件中积分电容可通过电阻 $R$ 和收讯机部分放电，在无高频讯号的收讯空档时，收讯机输出高电位，电容 $C$ 经二极管 $D_2$ 直接充电，因而可获得图4(C)示的反时限特性，这种特性有利于躲过干扰的影响。

##### (5) 发讯机

见图5，发讯机由振荡级、调谐控制级、中放级、功放级和输出滤波部分组成，由于采用了石英晶体管和硅三极管等元件，故发讯机频率及温度特性较好，当频率在50—300 K C 范围内，温度在 $-20 \sim +50^\circ\text{C}$  范围内变化时，元件具有20~25瓦的功率输出。

##### (6) 收讯机



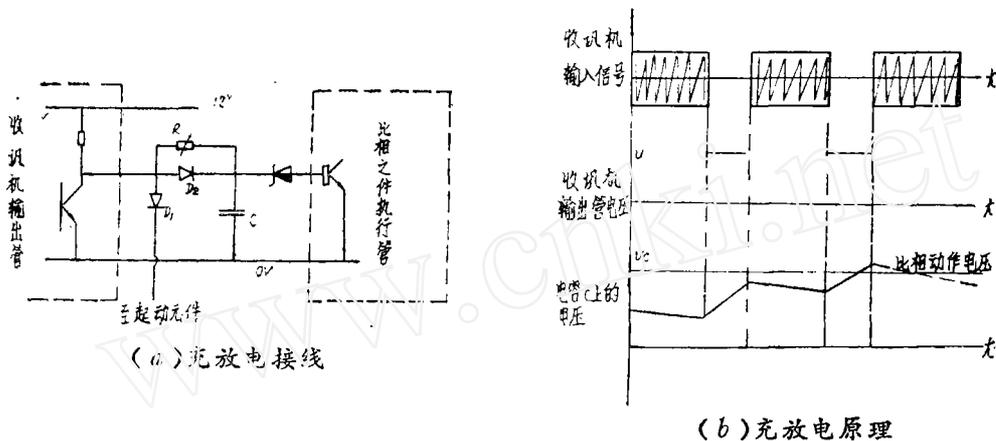
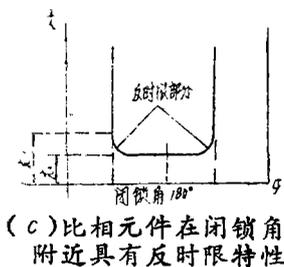


图4 比相元件构成原理图



(c) 比相元件在闭锁角附近具有反时限特性

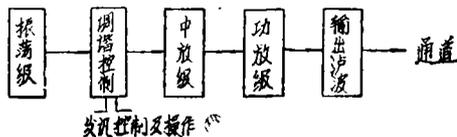


图5 发讯机方框图

由于相差高频保护对波形畸变要求较高，故收讯机输入滤波器通频带不能太小， $Q$ 值不宜过高，该元件采用电容耦合双调谐带通滤波器，其原理接线、等效图及频率特性示于图6，为了提高输入阻抗，第一级采用射极跟随器，收讯机方框图见图7示，收讯机灵敏度小于0.5伏。

## 2. 装置动作原理（见方框原理图）

### (1) 区内非对称短路

“ $I_2$ ”动作起动“或<sub>2</sub>”和“或<sub>3</sub>”，“或<sub>3</sub>”动作起动发讯机发讯，同时开放比相元件，“或<sub>2</sub>”动作后起动“否<sub>2</sub>”，使操作元件工作于“有态”方式，因系区内故障，故收讯机收到的是断续讯号，当收讯空档宽度大于“闭锁角”时，比相元件动作，为提高可靠性而设置了“限时<sub>2</sub>”及“限时<sub>3</sub>”，其时限均为5秒，“限时<sub>2</sub>”使比相元件仅开放5秒，“限时<sub>3</sub>”为防止连续重复性故障发生时，两侧发讯机不同时停讯而造成的误动作。

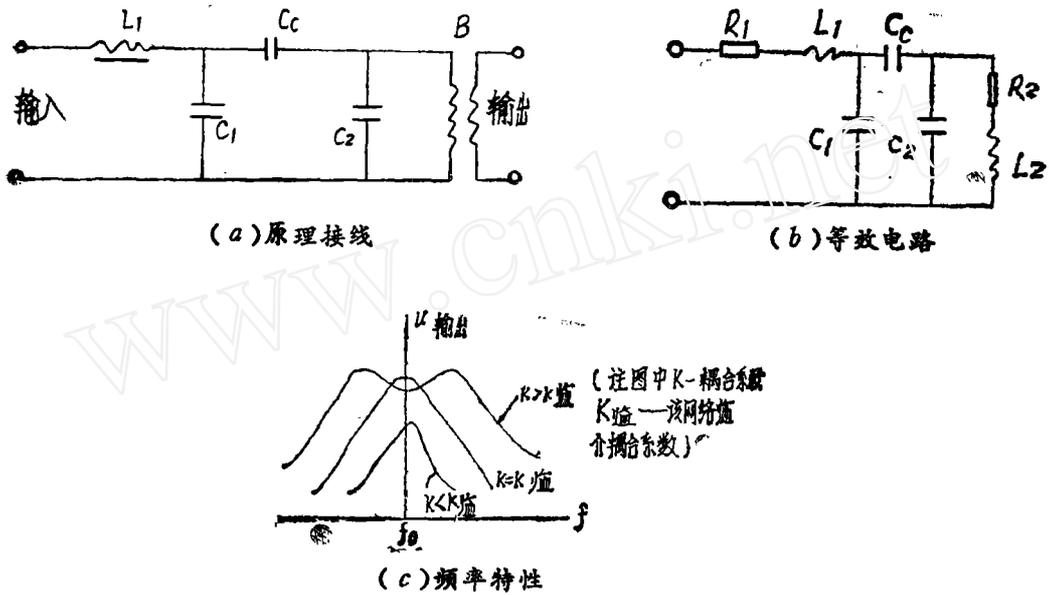


图6 电容耦合双调谐滤波器接线原理及频率特性图

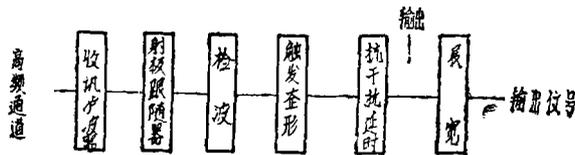


图7 收讯机方框图

当比相元件动作，收讯机有输出则“限时<sub>2</sub>”有输出起动“与<sub>4</sub>”而使出口动作跳闸。

(2) 区内对称性短路

此时“ $I_0$ ”动作，“固定<sub>1</sub>”因故障瞬间出现 $I_2$ 而动作，“固定<sub>1</sub>”设计为固定3秒，即大于系统三相重合闸周期，而后“与<sub>3</sub>”动作，其后动作同上述(1)而跳闸。

(3) 分支线路区内单相接地短路  
带有支接负荷的分支线路，当丙侧轻负荷时K点单相短路，此时丙侧“ $I_2$ ”元件可能不动作，但由于设置了“P<sub>0</sub>”元件，只要丙侧零序分量大于该元件的最小动作值，就可动作，通过“或<sub>3</sub>”起动比相元件，从而可跳开支接负荷，以提高线路单相重合闸成功率。

(4) 区外短路

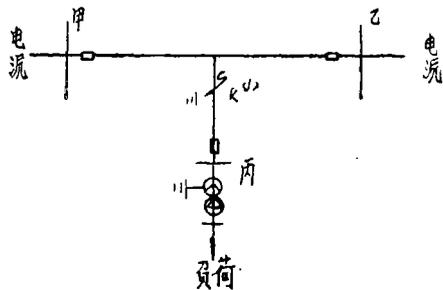


图8 分支线路区内接地故障

当短路发生在近区时，各侧起动元件因短路电流较大而均被起动，发讯机发讯，因“或<sub>2</sub>”动，“否<sub>2</sub>”动而使操作元件工作在“有态”方式，“或<sub>2</sub>”动作后开放比相，因是外部故障，又是“有态”操作，故定能正确比相而使保护闭锁。

当区外远端故障时，短路电流较小，可能仅一侧起动元件动作，此时其它各侧均被远方起动，而且至少有一侧可通过“鉴宽”回路变为“有态”方式操作（这是本装置设计原则）此时，发讯波宽，能可靠闭锁比相元件，保护不动作。

#### (5) 非全相运行

当PT接于母线侧，在线路单相重合闸过程中，两侧装置“P<sub>+</sub>”元件均要动作，故比相元件开放，但装置设计考虑到当“P<sub>+</sub>”动作时，操作元件保证工作于“有态”方式（详见下述）故能可靠比相，从而闭锁保护。

当PT接于线路侧时，装置工作更为有利。

#### (6) 通道检查

对分支线路采用三侧轮流发讯法，如有甲乙丙三侧，甲侧先发，该侧“固定<sub>2</sub>”动作，将发讯机衰耗器接入，并使“限时<sub>1</sub>”延长至11秒，乙丙二侧发讯机被甲侧远方起动，但仅发讯7秒，待8.5秒后（乙、丙二侧于7秒已停止）若各侧“8.5秒延时”灯燃亮，则甲侧通道检查完毕，乙、丙侧依次类推。

### 3. 设计中几个主要配合关系

装置设计中需考虑各元件，各环节的相互配合关系，这里仅剖析几个最基本的配合关系

#### (1) 操作元件与起动元件的配合。

在各种配合关系中，负序电流起动值是最基本的依据，本装置根据系统实际运行情况，在分支线路情况下，负序电流元件最低定值为0.75安，其余二个定值是1安和2安。

如图9示，当区外K点故障时，装置最恶劣的工作条件是乙侧起动元件刚能动作，甲丙两侧短路电流更小，为了可靠比相应使甲丙侧中至少有一侧能通过“鉴宽”环节变为“有态”方式工作，现分析甲丙侧操作滤波器输出何值时，“鉴宽”环节能动作“变态”。现以一般系统情况为例，设装置操作滤波器K值为

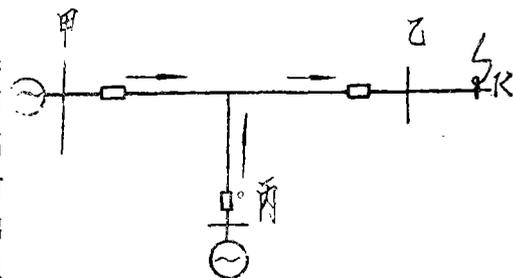


图9 分支线路区外K点故障

6，以BC两相接地（对应于恶劣故障条件）为准，令系统综合阻抗比 $Z_{2Z}/Z_{0Z}=2$ ，当乙侧起动元件刚好动作时，甲丙侧电流各为一半，由BC二相接地短路复合序网及向量图（见图10示）可知，操作滤波器输出为：

$$\dot{I}_1 + K \dot{I}_2 = |3 \times 0.75 - 6 \times 0.75| = 2.25$$

考虑到各侧CT和装置误差影响以及分支系数之后，甲丙两侧操作滤波器最低输出为：

$$\dot{I}_1 + K \dot{I}_2 = \frac{1}{2 \times 1.6} \times 2.25 = 0.7$$

即操作过滤器输出为0.7时，“鉴宽”环节输出应能“变态”。

(2) 相电流元件定值与操作元件的配合关系。

同上述对分支线路区外对称故障时，当一侧“ $I_0$ ”动作开放“与<sub>3</sub>”时，要求其它二侧至少有一侧变为“有态”，此时操作电流为纯正序电流，故“变态”时所需正序电流为：

$$\dot{I}_1 + K \dot{I}_1 = \dot{I}_1 = 0.7 \quad (I_2 = 0)$$

故相电流元件最小动作定值为：

$$0.7 \times 3.2 = 2.24 \text{ (安)}$$

故取定值为3安、4安、6安。

(3) 零序方向元件与操作元件的配合。

当“ $P_+$ ”元件动作后，起动比相回路，当线路一相跳开进入非全相运行后，为了使装置可靠比相要求三侧中至少有二侧保护工作于“有态”操作方式，现分析如下：

$$\text{设 } K = 6 \quad Z_{2x} / Z_{0x} = 1$$

(a) 断A相时，向量图如图10(a)示

$$\text{显然 } I_A = 2 I_{A2} = 2 I_{A0}$$

$$I_1 + K I_2 = 4 I_{A2} = 4 I_{A0}$$

当过滤器输出0.7时，对应零序电流为：

$$I_0 = \frac{1}{4} \times 0.7 = 0.175$$

(b) 断B相时，向量图如图10(b)示

$$\text{则 } \dot{I}_1 + K \dot{I}_2 = \sqrt{(2 I_0)^2 + (6 I_0)^2 + \frac{1}{2} \times 2 \times 6 I_0^2} = 6.78 I_0$$

当过滤器输出0.7时，对应零序电流为：

$$I_0 = \frac{0.7}{6.78} = 0.103$$

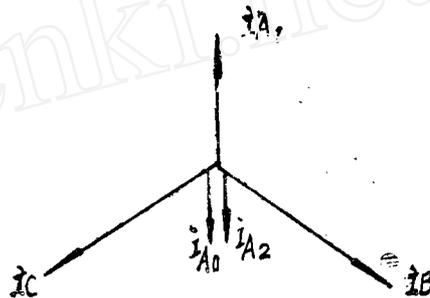
显然断A相时过滤器输出低，由此可确定“ $P_0$ ”元件的最小动作电流值为：

$$I_{0d \min} = 3 I_0 \times 3.2 = 9.6 \times 0.175 = 1.68 \text{ (安)}$$

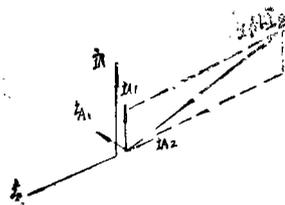
为方便取1.5安、2.25安和4.5安三档。

为了确保外部接地故障时，装置能可靠工作，要求“ $P_0$ ”灵敏度高于“ $P_+$ ”，即近故障点侧起动“变态”的灵敏度高于远离故障点侧起动比相的灵敏度，两者之比取1.5即可，故“ $P_0$ ”最小动作电流较“ $P_+$ ”小1.5倍，实际上为了制造方便，该电流定值取相同，而把“ $P_0$ ”最小动作电压较“ $P_+$ ”降低1.5倍。

随着我国电力工业的发展，对电网继电保护的要求不断提高，我深信，在继电保护领域中，将不断会有原理更先进、性能更优越的新型保护出现。



(a) 断A相时各序电流向量图



(b) 断B相时各序电流向量图

图10 非全相运行向量图