

# ZGF—45型集成电路方向高频保护装置

许昌继电器研究所 任志成

## 1 概述

ZGF—45型方向高频保护装置是在天津大学、西北电管局、西北电力设计院、许昌继电器研究所等单位联合研制的ZFG—1和ZFG—2型分立元件方向高频保护的基础上，总结了它成功的运行经验和简单适用的特点，用集成电路构成。可与SF—500型集成电路收发信机配合，使用于110~500kV大电流接地系统中的输电线路作主保护，能瞬时切除被保护线路范围内的各种故障。

装置采用了三个相电压补偿式方向元件作为非对称故障的方向判别元件，它不受负荷分量，电力系统振荡，非全相运行等因素的影响，另外为了可靠反应对称故障，采用了方向阻抗元件作为辅助方向判别元件。

装置采用 $\Delta | I_2 + 3I_0 |$ 负序和零序电流增量元件作为启动元件，启动收发信机和闭锁方向元件及出口跳闸回路。

装置采用三个高灵敏的电流元件反应三相断路器的位置，以判别全相或非全相运行状态。也可引入合闸位置继电器的动合触点，经过该装置内的光电耦和隔离器后，取代电流继电器或与电流继电器构成“或”回路，以完成判别开关位置的功能。

装置逻辑回路的时间环节采用了数字时间电路，精确度高、调试简单、抗干扰性能强。

装置中设置了三相交流模拟信号的试验元件，可以模拟各种短路故障，检查装置各交流元件到逻辑回路及出口跳闸回路的基本动作情况，简化装置的检查试验。

装置还设有总闭锁监视回路，任一元件损坏误动作时发报警信号，并启动收发信机发异常状态闭锁信号，将两侧保护装置闭锁，并将本侧保护装置的跳闸继电器退出停用。

装置为盘面嵌入安装方式。新型的JJX—12型机箱结构，箱体为型材组合式，生产方便，造型美观，分多单元插件组合式，具有杠杆插拔机构，电流插件带自动短接机构，电压插件采用针形插头绕接新工艺，接触可靠，运行维护方便。

## 2 工作原理

方向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，以综合判断是

内部故障还是外部故障，故障方向可由装在线路两侧的相电压补偿式方向元件或阻抗元件来测量，规定由母线指向线路为正方向，由线路指向母线为反方向，如图 1 所示。当被保护线路内部  $D_1$  点故障时，MN 两侧方向元件测量结果都是正方向故障，两侧方向元件都动作，当被保护线路外部  $D_2$  点故障时，远故障点 M 侧测得正方向故障，而近故障点 N 侧方向元件测得反方向故障，因此，当线路两侧方向元件测得都是正方向故障动作时，表明被保护线路内部故障，线路两侧保护均立即动作使断路器跳闸，而当线路两侧方向元件测得故障方向不同时，表明是区外故障，两侧保护不动作。

两侧方向元件测得故障方向借助于高频信号进行传递，如图 1  $D_2$  点故障时，两侧收发信机启动发信，近故障的 N 侧方向元件测得反向故障，本侧保护不跳闸，保持发信，所发高频信号可闭锁 M 侧保护，使其亦不能动作跳闸。当内部  $D_1$  点故障时，两侧收发信机启动发信，两侧方向元件均测得正方向故障，动作后并分别停止本侧发信，两侧保护出口跳闸回路动作使断路器跳闸。

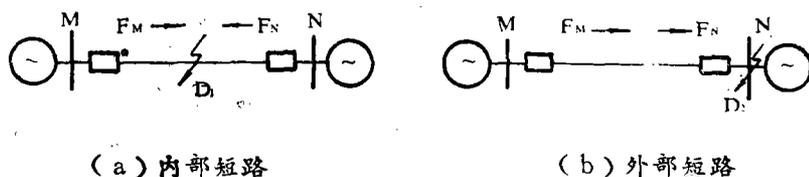


图 1 故障时两侧测得的故障方向

装置由启动发信和停止发信控制回路、跳闸控制回路、反应断路器位置状态的回路，单相重合闸防止拒动作回路、出口信号回路、总闭锁回路等部分组成。

### 2.1 发信和停信控制回路

如果电力系统发生故障， $\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$  负序电流和零序电流的增量低定值启动元件动作后，低定值立即启动发信机，并维持发信 9 秒，以保证外部故障时保护的选择性， $\Delta | \dot{I}_2 + 2 \dot{I}_0 |$  高定值启动元件动作后启动发信机 4 秒，以提高发信的可靠性。

$\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$  低定值动作经 10ms 以后与高定值构成“与门”推动 K F J 开放继电器，为内部故障跳闸创造条件，同时为正方向故障方向元件动作停信创造条件，当正方向故障方向元件动作，与启动元件构成“与门”实现停信。

### 2.2 跳闸控制回路

$F_{AB}, F_{BC}, F_{CA}$  相电压补偿式方向元件，在全相状态下发生各种不对称正向短路能动作，在非全相运行状态下发生单相接地或两相短路时也能动作，如被保护线路发生内部非对称故障， $\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$  元件动作，启动发信，开放继电器 K F J 动作，方向元件动作，构成停信条件，停信回路动作，收信闭锁回路开放，C K J 出口跳闸继电器动作跳闸。 $Z_{AB}$  方向阻抗元件作为正方向三相短路的方向判别元件，输出受两路闭锁，其一由  $\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$  高定值启动元件闭锁，这同一般距离保护的振荡闭锁，其二由阻抗元件本身进行自闭锁。

当线路发生三相短路时， $\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$  启动元件， $Z_{AB}$  阻抗元件动作，两路闭锁同时解除 0.1 秒，在此时间内保护即可动作跳闸。

如系统振荡，在第一个振荡周期内测量阻抗相量进入特性圆时， $Z_{AB}$ 阻抗元件动作，虽短时解除自闭锁，但此时 $\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$ 启动元件未动作，两闭锁回路只开放一路，停信回路和KFJ开放继电器不可能动作，所以不会跳闸。通常振荡周期不大于1.5秒，即振荡时不到1.5秒，阻抗元件就要动作一次，由于自闭锁回路返回延时为2秒，因而在振荡过程中，一直保持自闭锁，直到振荡停止2秒后才复归，在此过程中，如外部操作使启动元件动作，也不会造成保护误动作。

如 $Z_{AB}$ 阻抗元件电压回路接在线路侧电压互感器上，在断路器三相合闸瞬间，能切换 $Z_{AB}$ 阻抗元件内部接线，使其短路时具有向第三象限偏移的特性，以保证断路器合闸于出口三相短路时，阻抗元件能动作跳闸。

### 2.3 反应断路器位置状态的回路

相电流元件 $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 用来反应三相断路器的位置，其定值整定小于一相电容电流，只要断路器处于合闸位置，相应的电流元件就有输出。

当断路器三相断开时，电流元件 $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 返回，实现三相跳闸停信，防止对侧空投于故障线路时，本侧发信机被远方启动而导致对侧保护拒动。

在一相断开的非全相状态下，将单相重合闸防止拒动作回路开放，与此同时将与断开相有关的 $F_{AB}$ 、 $F_{BC}$ 、 $F_{CA}$ 方向元件闭锁，因比较断开相的相电压补偿式方向元件在系统振荡时可能误动作。

### 2.4 单相重合闸防止拒动回路

当线路发生单相接地短路，两侧故障相的断路器跳开后，如果一侧断路器先合于永久性故障，而另一侧断路器拒合，则拒合侧发出高频信号将重合侧保护闭锁，故障不能切除，为消除此现象，设置此回路，当重合闸脉冲发出0.4秒后，使收发信机停止发信1秒，在此时间内重合侧保护收不到高频信号而可以动作跳闸，如果按“四统一”高频闭锁保护采用三相跳闸位置继电器动合触点并联停信方式时，此回路可以停用。

### 2.5 出口信号回路

出口跳闸回路受高频信号闭锁，当收发信机收到高频信号时，将出口跳闸回路闭锁。如线路发生内部故障， $\Delta | \dot{I}_2 + 3 \dot{I}_0 |$ 元件动作，两侧启动发信闭锁出口跳闸回路，但由于是内部故障，两侧方向元件动作，又使收发信机停止发信，从而解除对出口跳闸回路的闭锁，保护即可跳闸。

如线路外部故障时，近故障侧方向元件不动作，收发信机启动发信以后不会再停信，出口跳闸回路始终处于闭锁状态，保护不跳闸。

出口回路能自保持，用以防止内部单相故障时，先跳闸侧发出高频闭锁信号将后跳闸侧保护闭锁。

### 2.6 总闭锁回路

部份元器件如有异常现象，不及时处理将有可能造成保护拒动或误动，设总闭锁回路的目的是将有关的信号输入总闭锁回路。如元器件有损坏，处于长期动作状态时，BSJ闭锁继电器动作将本侧CKJ出口跳闸继电器正电源断开，同时启动收发信机发持续闭锁信号将对侧和本侧保护闭锁，避免保护误动作。

### 3 主要元件的构成原理及回路说明

$F_{AB}$ 、 $F_{BC}$ 和 $F_{CA}$ 三个相电压补偿式方向元件是保护的核心元件,其原理接线相同,是利用比较补偿电压:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - (\dot{I}_A + n3\dot{I}_0)KZ_{1L}$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - (\dot{I}_B + n3\dot{I}_0)KZ_{1L}$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - (\dot{I}_C + n3\dot{I}_0)KZ_{1L}$$

的相位来判断故障方向的。

式中  $Z_{1L}$ —被保护线路的正序阻抗

$K$ —灵敏系数,其值大于1,由线路正向末端单相接地短路时方向元件的灵敏度和保证系统振荡时反向故障方向元件不误动等因素决定。

$n$ —零序电流补偿倍数,

假定线路各序阻抗角都相同,在正常运行、系统振荡和三相短路时:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A e^{j\varphi}$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B e^{j(\varphi-120^\circ)}$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C e^{j(\varphi-240^\circ)}$$

三相补偿电压对称,彼此相差 $120^\circ$ 。

为保证正确反应非全相状态的故障,本保护采用三个单相式,即:

$F_{AB}$ —比较 $\dot{U}'_A$ 和 $\dot{U}'_B$ 的相位;

$F_{BC}$ —比较 $\dot{U}'_B$ 和 $\dot{U}'_C$ 的相位;

$F_{CA}$ —比较 $\dot{U}'_C$ 和 $\dot{U}'_A$ 的相位;

每个方向元件的动作条件是:接于方向元件的超前相补偿电压超前于落后相补偿电压的角度在 $210^\circ \sim 390^\circ$ 时,方向元件动作。以方向元件 $F_{AB}$ 为例,即 $\dot{U}'_A$ 超前于 $\dot{U}'_B$ 在 $210^\circ \sim 390^\circ$ 范围内时 $F_{AB}$ 动作,见图2。可见方向元件不反应系统振荡和三相短路。

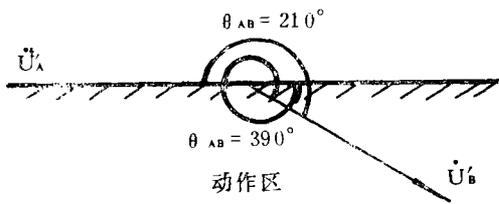


图2 方向元件动作条件

$$F_{AB}: 210^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_A}{\dot{U}'_B} \leq 390^\circ$$

$$F_{BC}: 210^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_B}{\dot{U}'_C} \leq 390^\circ$$

当线路发生正方向不对称短路时,由于故障相的补偿电压改变方向,使方向元件动作。发生反方向不对称短路时,故障相的补偿电压方向不变,方向元件不动作。故具有明显的方向性。

在实现相位比较时,为便于进行相位比较,将三个相电压补偿式方向元件的动作条件:

$$F_{CA} : 210^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_C}{\dot{U}'_A} \leq 390^\circ$$

改变为:

$$F_{AB} : -90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_A}{\dot{U}'_B e^{-j60^\circ}} \leq 90^\circ$$

$$F_{BC} : -90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_B}{\dot{U}'_C e^{-j60^\circ}} \leq 90^\circ$$

$$F_{CA} : -90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_C}{\dot{U}'_A e^{-j60^\circ}} \leq 90^\circ$$

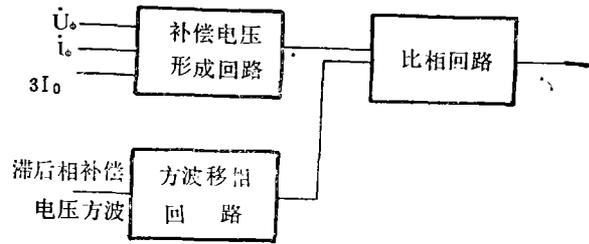


图3 相电压补偿式方向元件方框图

相电压补偿式方向元件原理方框接线如图3所示,由补偿电压形成回路,比相回路,方波移相回路三部分组成。

### 3.1 电压形成回路

电压形成回路如图4所示,由跟随器、整定回路、移相回路,加法器零序电流补偿回路、带通滤波器构成。

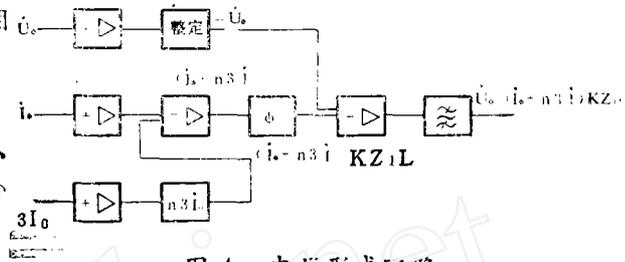


图4 电压形成回路

交流电流、交流电压经交流变换模块转换为相应的交流电压后作为有关交流元件的测量信号。

同一交流信号要为多个模块提供交流测量信号,为了避免相互影响整定值的精确度,所以增加跟随器起阻抗变换隔离作用。它是由运算放大器构成的一个放大倍数为1的同相放大器,并为高输入阻抗,低输出阻抗。相电压跟随器输出的交流电压输入补偿阻抗整定回路,该回路为运算放大器构成的反比例运算放大器,改变放大器的反馈电阻可以精确的改变补偿阻抗的整定值。相电流跟随器输出的交流信号直接输入运算放大器构成的反相加法器,零序电流跟随器输出的交流信号经补偿系数整定回路后再输入该加法器,两输入信号经相加处理后输出信号正比于  $-(\dot{I}_o + n3\dot{I}_o)$ 。此信号再输入运算放大器构成的移相回路,改变运算放大器输入回路电阻、电容时间常数可以改变移相角度,即改变方向元件的补偿阻抗角度,此角度可在  $65^\circ \sim 85^\circ$  范围内连续调整,移相回路输出信号正比于  $(\dot{I}_o + n3\dot{I}_o) KZ_{1L}$ 。整定回路输出的信号  $-\dot{U}_o$  和移相回路输出的信号  $(\dot{I}_o + n3\dot{I}_o) KZ_{1L}$  再共同输入运算放大器构成的总加法器进行相加处理,输出信号为  $\dot{U}_o - (\dot{I}_o + n3\dot{I}_o) KZ_{1L}$ 。此信号再输入有源带通滤波器,以消除直流分量和高频分量影响比相回路工作的正确性。滤波器的输入信号、输出信号幅值相等,相位相同。

### 3.2 比相回路

比相回路采用了正负半周或门与门比相的工作原理,方框接线如图5所示。它采用了测量  $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B e^{-j60^\circ}$  两个电压正负半周瞬时值同时为正或为负的时间来构成,当两个电压的相位差角为  $\theta$  时,如图6中的阴影部分就是它们同时为正或负的时间  $(180^\circ - \theta)$ ,因此比较

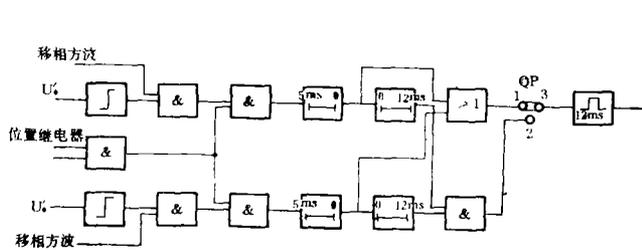


图 5 比相回路方框图

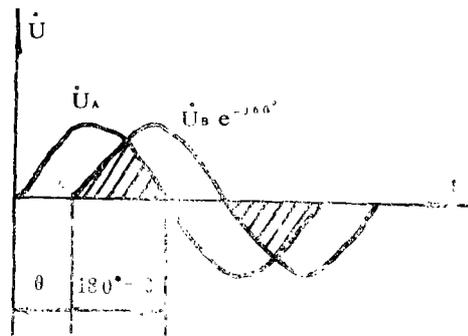


图 6 比相原理说明图

$\dot{U}_A$  和  $\dot{U}_B e^{-j90^\circ}$  的相位差就可转化为测量  $\dot{U}_A$  和  $\dot{U}_B e^{-j90^\circ}$  瞬时值同时为正或负的时间来代替，当同时为正或负的持续时间达到  $\geq 5 \text{ ms}$  ( $90^\circ$ ) 时，比相回路动作。

比相回路由方波形成器、积分延时动作回路、返回延时电路、展宽回路及门回路构成。电压形成回路输出的补偿电压  $\dot{U}_c$  首先经方波形成器放大整形为方波后再与滞后相补偿电压形成的移相方波及同名相位位置继电器的信号共同输入与门回路，与门回路输出信号再输入积分延时回路，即相位判别回路，此延时回路为  $5 \text{ ms}$ ，对应于  $50 \text{ Hz}$  工频交流信号的电气角度为  $90^\circ$ ，正好符合方向元件的动作条件。为了加快动作速度，采用了正负半周比相工作方式，即正负两个半周积分延时回路输出的脉冲信号经或门回路直接输入展宽回路展成连续信号与有关回路配合，以实现一次比相工作方式。同时正负半周积分延时回路输出的脉冲信号分别经返回延时电路后再共同输入与门回路，与门回路输出的脉冲信号再输入展宽回路展成连续信号，这可以实现两次比相工作方式。以便进一步提高保护的可靠性。

### 3.3 方波移相回路

方向元件落后相电压  $\dot{U}_c$  形成  $\dot{U}_c e^{-j90^\circ}$  未采用交流回路移相的方式，而采用了方波移相回路，克服了交流移相回路过渡过程不良的缺点。

一般方波移相回路采用延时动作，延时返回两个相等的时间将方波往后推移，调整延时大小可以改变移相电气角度，但两个时间分别按同一技术指标调整比较困难，而特性变化也不可能完全一致。现将移相回路两个时间统一为一个时间，即一个时间代替了两个时间，这就不存在两个时间同步调整的困难和特性的差异。

移相回路原理接线如图 7 所示。由边沿脉冲检测器、移相时间（电气角度）、输出回路构成。图中  $IC_{10-1} \sim IC_{10-4}$  异或门构成边沿脉冲检测器，方波信号输入检测回路，输出为窄脉冲信号，并正对方波的前后沿，此脉冲信号再作用于  $IC_{11-1}$  单稳态触发器，4\*端子输入边沿脉冲信号，从 7\*端子输出负的移相延时脉冲信号，其宽度（延时）为  $0.5R_{40}C_{10} \text{ ms}$ 。移相  $60^\circ$  对应时间为  $3.3 \text{ ms}$ ，输出回路  $IC_{12-1}$  为 D 型延迟触发器，输出状态的改变依赖于时钟脉冲的触发作用。3\*端子输入时钟脉冲，即移相延时脉冲。5\*端子（数据端）输入方波信号，所以经此输出回路后输出为移相延时方波信号，如图 8 所示。此方波再输入比相回路与超前相补偿电压方波进行相位比较。

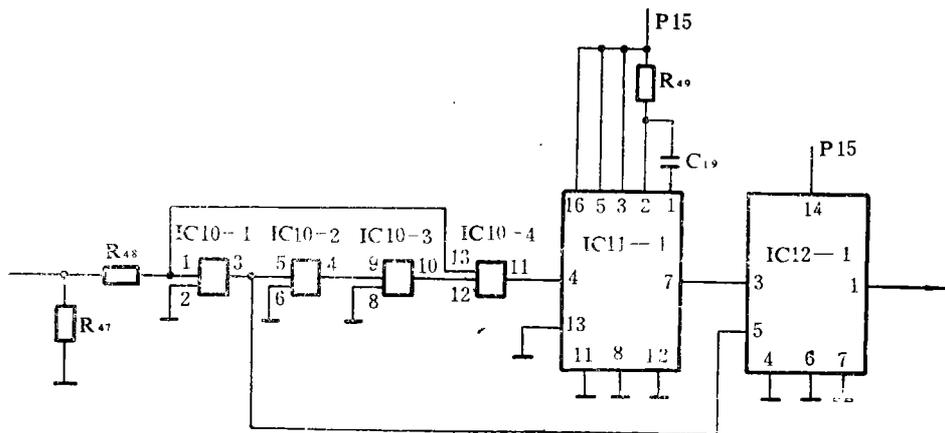


图7 移相回路

其它辅助元件及有关回路与我所研制的500kV集成电路保护中的部分元件相似，有的模件直接引用，其构成原理不一一说明。

我厂生产的以相电压补偿式方向元件为核心构成的ZFG-2型方向高频保护装置早在70年代末即用于我国220kV、260kM的高压输电线路作主保护，运行使用情况一直良好，长时期来，经受了各种区内外故障考验，正确无误。现研制的以相电压补偿式方

向元件为核心的ZGF-45型方向高频保护装置已安装在220kV输电线路试运行，运行情况良好。相电压补偿式方向元件是天津大学研究多年的新型方向元件，具有独创性，用它构成的方向高频保护是用于220~500kV输电线路的优良主保护。

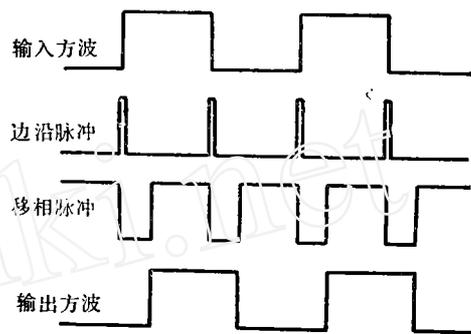


图8 移相回路波形图

### 参考文献

- [1] 金建源. 输电线路高频保护. 水利电力出版社
- [2] JCFB型集成电路方向比较式纵联保护装置技术说明. 天津大学、南京电力自动化设备厂
- [3] ZGF-45型方向高频保护装置产品说明书. 许昌继电器研究所