

ZKH—1型电气化铁道馈电线成套保护装置

许昌继电器研究所 郝连仲

一、概 述

ZKH—1型电气化铁道馈电线成套保护装置适用于交流电气化铁道27.5KV单相接触网馈电线路的保护。

本装置由电流速断保护，距离保护，一次自动重合闸和操作回路四部份组成。

电流速断保护由电流元件及时间元件组成，作为保护第Ⅰ段，距离保护由具有四边形特性的方向阻抗元件和时间元件组成，作为保护第Ⅱ段，保护线路全长。当变电所并联供电，分区亭投入运行时，它又可作为相邻馈电线路的后备保护。在未设分区亭的区段，电流元件可按过流保护整定，阻抗元件则作为后备保护。见图1所示。

对复线区段，如电流速断保护，因运行方式改变而影响灵敏度时则可用两套装置中阻抗元件组成两段距离保护，而用其中一个电流元件做为补充保护以消除死区。

重合闸回路由保护起动实现一次重合闸，并给出后加速信号。当重合于永久性故障或手动合闸于故障线路时，使保护加速动作。

保护装置的原理方框图如图2所示。

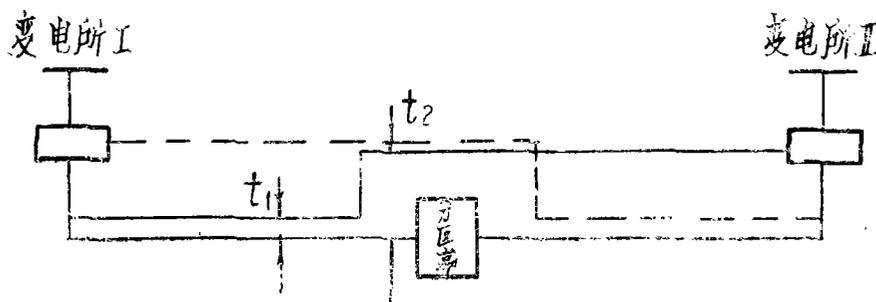


图1 保护装置时限特性

四边形特性的阻抗继电器，其线路阻抗和负荷阻抗可分别整定，互不影响，因而对负荷重，线路长并装有吸流变压器的区段，仍有较高的灵敏度。又因为四边形特性可调在第Ⅰ象限内，因而可省去繁杂的断线闭锁装置并具有躲开机车主变励磁涌流的能力。

电气化铁道馈电线有它的特点，即有电气机车运行区段含有大量的谐波电流，阻抗元件在其谐波电流的影响下阻抗特性都要缩小。特别是在采用可控硅机车的区段，牵引电流的谐

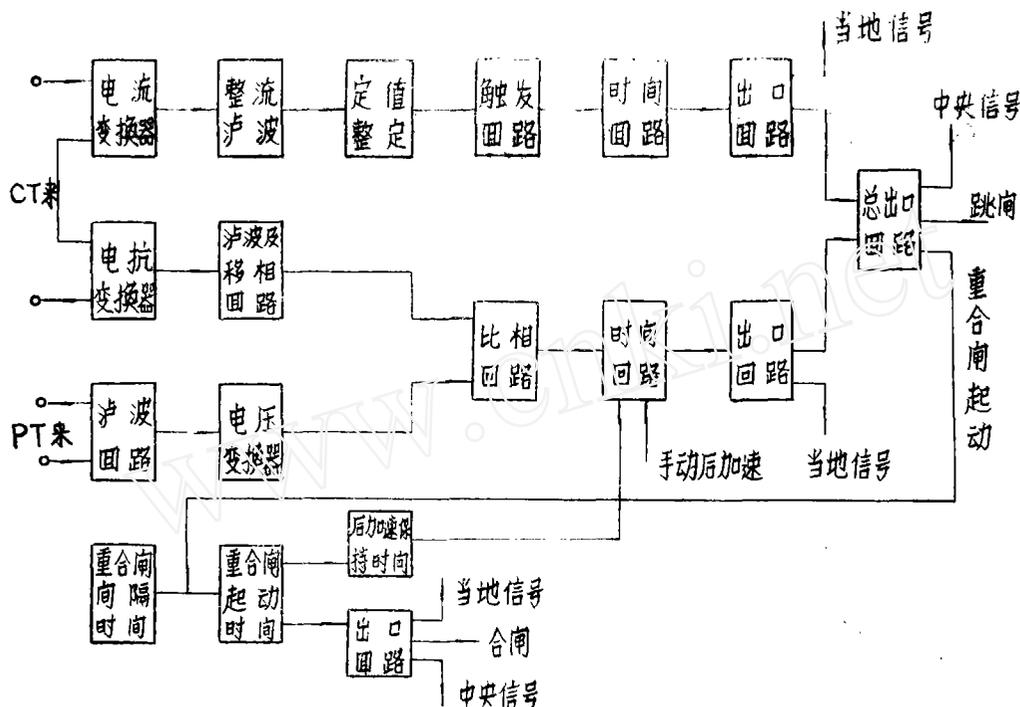


图2 保护装置原理方框图

波分量高达30%以上，这样就影响更大，阻抗定值严重的可缩小至40%以上，于是被保护线路末端短路时就有可能使保护拒动。为消除谐波电流对保护的影响，本装置采用了谐波滤波回路，即使在含有50%的三次谐波牵引电流下，保护装置阻抗整定值的缩小也在10%以内，从而保证保护正常工作。

整套装置采用直接插拔机构，电气接触可靠，机械强度高。保护装置分交流，直流，操作三部分，分别装在机构的上，下层和面板上，检修维护方便。面板上装有三个试验按钮，以便检修、调试时分别对电流、阻抗、重合闸进行分别试验，面板上装有小型直流电压表，以监视直流稳压电源是否正常，还装有显示电流速断、阻抗、重合闸元件动作的信号灯及其复归按钮，阻抗的整定端子和时间整定电位器，速断定值整定电位器和时间整定电位器，以及重合闸起动时间整定电位器均装在面板上，面板由镶有玻璃的外盖盖上，盖的两侧予留有孔以加铅封。

二、工作原理

（一）电流元件：

电流元件由电压形成回路，触发回路，时间回路和出口，信号回路组成。

电压形成回路采用电流变换器可以防止“定值超越”（即冲击动作电流小于稳态整定值）现象。 $1R_1$ 保证一、二次变换为线性关系。

为了消除不同类型电力机车在交流牵引网中产生的谐波的影响，起动回路不象一般电力系统中采用的电流元件反映的电压峰值，而是整流滤波后脉动电压谷点。 $1C_1$ ， $1R_2$ 的选择

要保证各种畸变电流情况下整流滤波后的脉动电压的谷点值一样。1R₃为整定电位器。
 触发回路和时间回路电路波形图如图3所示；其回路见成套保护原理接线图。

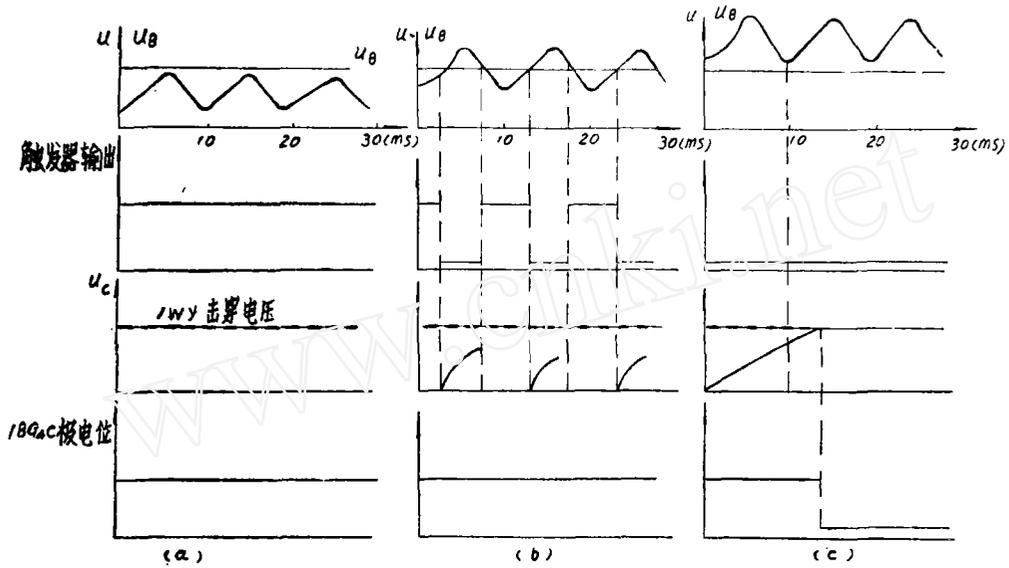


图3 触发回路和时间回路电路波形图

(a) (b) 为触发回路和时间回路不动作。

(c) 为触发回路和时间回路动作。

(二) 阻抗元件；

阻抗元件采用的是由相位比较原理构成的四边形特性方向阻抗继电器，其方框图如图4所示。

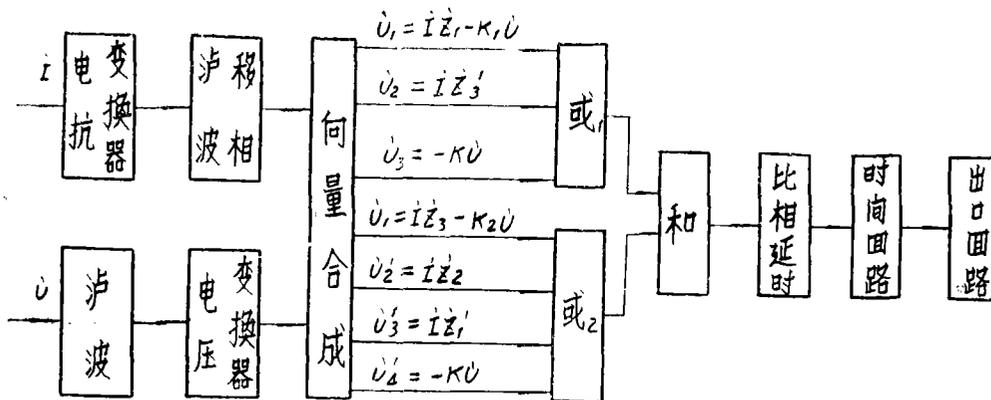


图4 四边形方向阻抗继电器方框图

这种比相的基本原理就是比较各向量在时间轴上的连续性。如图5所示为三个电压向量（也可多于三个向量） U_1 、 U_2 、 U_3 比相波形图，其中相邻二向量的相位差都小于 180° 时则它们在时间轴上的波形是半波连续的，即在任何时间至少有一个电压是正的（或负的）没有间断出现。如图5-a所示。反之，如果相邻二向量的相位差有一个大于 180° ，则它们在

时间轴上的波形，有半波间断出现，即在某一时间间隔内三个向量都不为正（或负）如图5—b所示，此时半波连续的时间小于20毫秒。采用图6的电路即可判断出波形的连续性。

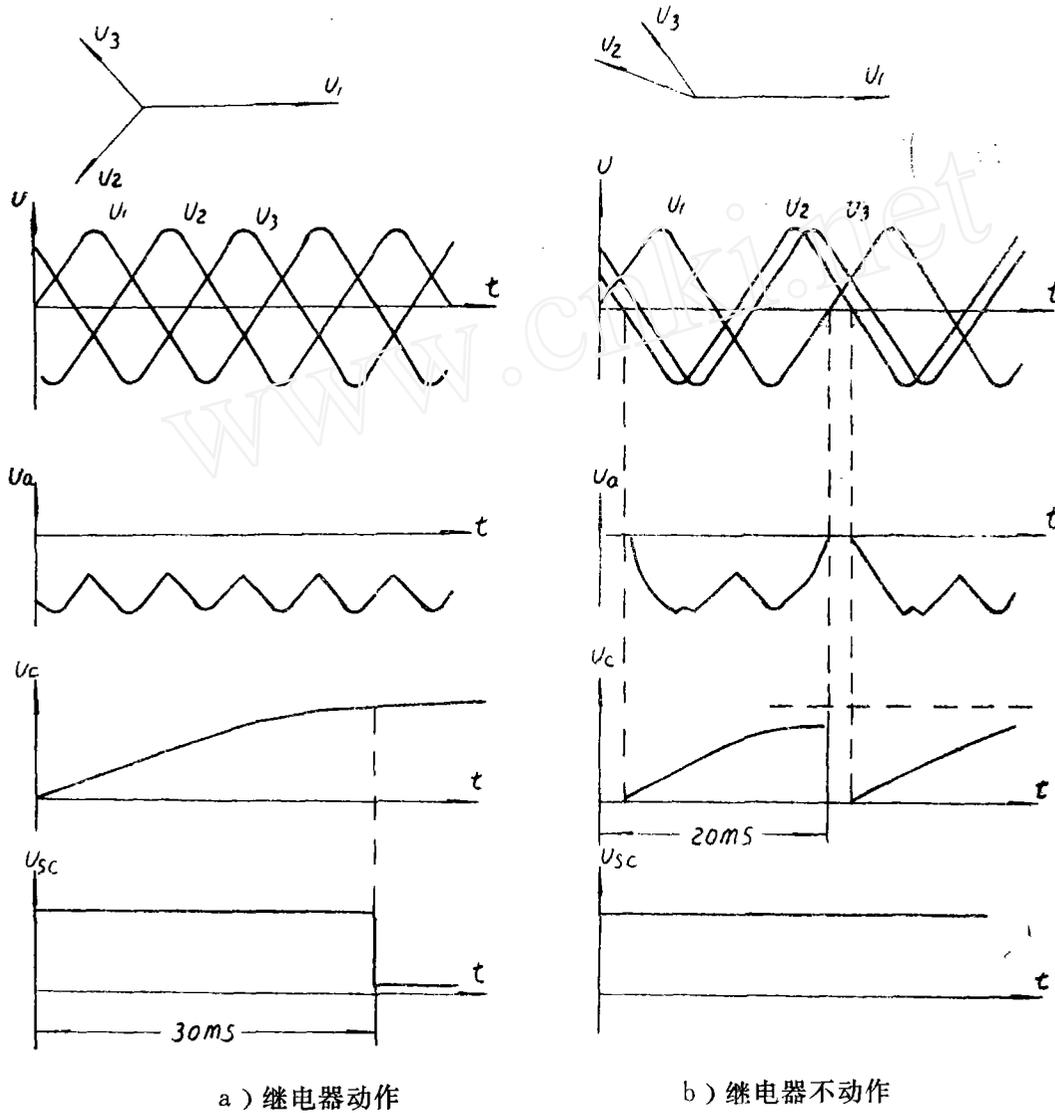


图5 三向量比相波形图

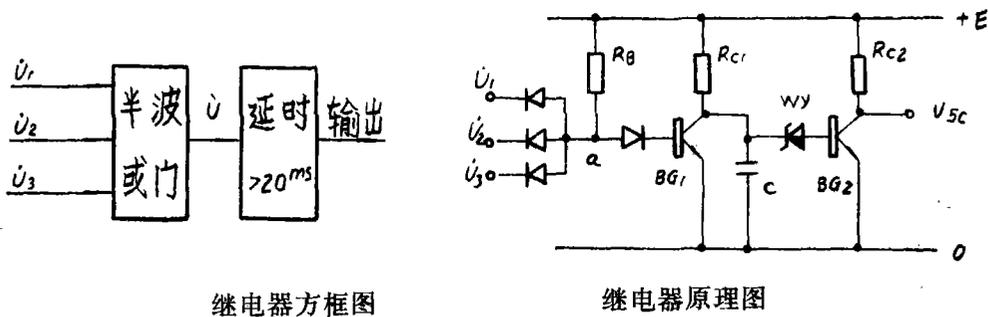


图6 利用连续原理构成的继电器

当有间断时，U的持续时间小于20毫秒，电路无输出，即继电器不动作，当连续时，U也是连续的，持续时间大于20毫秒，电路有输出，继电器动作。

图7为三个和四个向量组成的动作特性，如图7-a中为三个向量动作特性，三向量为：

$$\dot{U}_1 = \dot{I} \dot{Z}_1 - K_1 \dot{U}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I} \dot{Z}'_3$$

$$\dot{U}_3 = -K \dot{U}$$

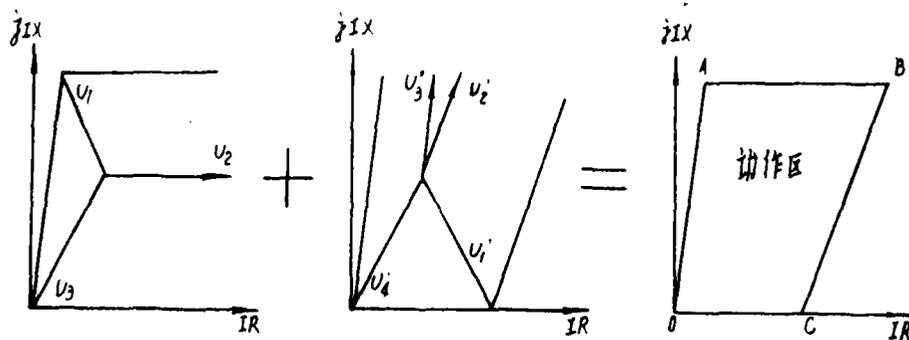
图7-b中为四个向量动作特性，四个向量为：

$$\dot{U}'_1 = \dot{I} \dot{Z}'_3 - K_2 \dot{U}$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{I} \dot{Z}'_2$$

$$\dot{U}'_3 = \dot{I} \dot{Z}'_1'$$

$$\dot{U}'_4 = -K \dot{U}$$



a) 三个向量的动作特性

b) 四个向量的动作特性 c) 合成四边形特性

图7 动作特性

相邻二向量相位差为 180° 时即为其动作边界，方向阻抗继电器的四边形特性就是由以上两个特性相加而成的，如图7-C所示。

设 φ —一次电流电压间相位角。

Q_1 — $\dot{I} \dot{Z}_1$ 和横轴 $\dot{I} R$ 的夹角。

Q_3 — $\dot{I} \dot{Z}_3$ 和横轴 $\dot{I} R$ 的夹角。

\dot{Z}_1, \dot{Z}_3 —电流 \dot{I} 和向量 $\dot{I} \dot{Z}_1, \dot{I} \dot{Z}_3$ 的变换系数。

K_1 —电压变换器变比的倒数。

在动作边界A B上，动作条件是向量 \dot{U}_1 和 \dot{U}_2 的夹角 ψ 为 180° 。

$$\text{如 } \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} = \frac{\dot{I} \dot{Z}_1 - K_1 \dot{U}}{\dot{I} \dot{Z}_3'} = \frac{I Z_1 e^{j(Q - Q_3)} - K_1 U e^{j(\varphi - Q_3)}}{I Z_3'}$$

$$\text{则 } \psi = \text{tg}^{-1} \frac{I Z_1 \text{Sin}(Q_1 - Q_3) - K_1 U \text{Sin}(\varphi - Q_3)}{I Z_1 \text{Cos}(Q_1 - Q_3) - K_1 U \text{Cos}(\varphi - Q_3)} = 180^\circ$$

$$\text{即 } I Z_1 \text{Sin}(Q_1 - Q_3) - K_1 U \text{Sin}(\varphi - Q_3) = 0$$

经简化整理后，A B 边的动作阻抗为：

$$Z = \frac{Z_1}{K_1} \cdot \frac{\text{Sin} Q_1 - \text{cos} Q_1 \cdot \text{tg} Q_3}{\text{Sin} \varphi - \text{cos} \varphi \cdot \text{tg} Q_3} \dots \dots \dots (1)$$

同理可得在 B C 边界上的动作阻抗，

$$Z = \frac{Z_3}{K_2} \cdot \frac{\text{Sin} Q_3 - \text{cos} Q_3 \cdot \text{tg} Q_2}{\text{Sin} \varphi - \text{cos} \varphi \cdot \text{tg} Q_2} \dots \dots \dots (2)$$

式中 $Q_2 - \dot{I} \dot{Z}_2$ 和横轴 $\dot{I} R$ 的夹角。

电压形成和滤波移相回路见图 8。

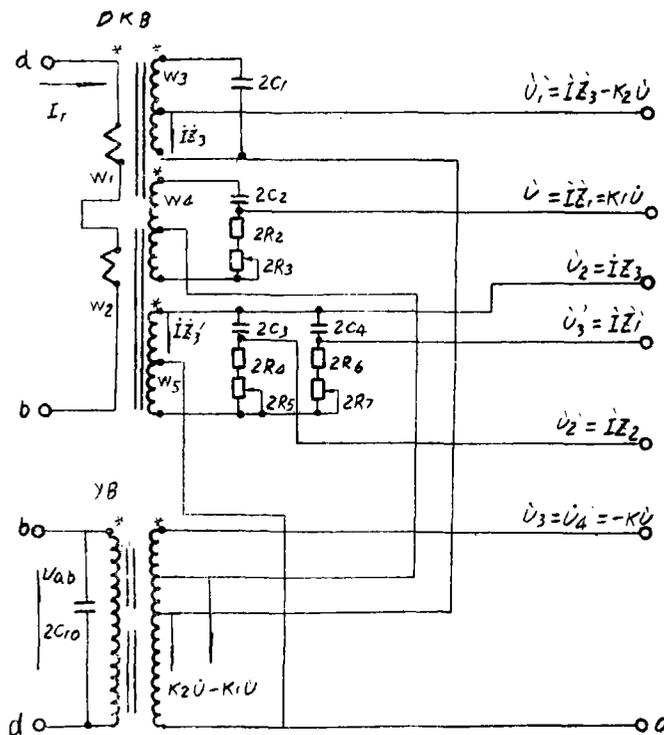


图 8 电压形成和滤波移相回路原理图

电压测量回路采用电压变换器 Y B，其铁芯带气隙，使 $K \dot{U}$ 引前 \dot{U}_1 一个角度，以保证近点短路而弧光电阻大时短路阻抗仍能可靠落在动作区内，Y B 的次边有两组可调抽头 K_1 和 K_2 ，分别用来整定式 (1) 和式 (2)，从而保证保护灵敏度和躲开最小负荷阻抗。 $2 C_{10}$ 起改善电压波形作用。

电流测量回路由电抗变换器DKB来完成。次边有三个绕组， $2C_1$ 与 W_3 组成对50周的谐振回路，用于滤去牵引电流中的谐波分量，使二次电压接近正弦波，以减小电流波形畸变对保护整定值的影响。 $\dot{I}Z_3$ ， $\dot{I}Z_3'$ 就是二次侧电压，与 I_1 同相， $\dot{I}Z_1$ ， $\dot{I}Z_1'$ 和 $\dot{I}Z_2$ 三个向量是通过RC移相回路得到的，调整相应回路的电位器即可改变其相位角。

图9为 \dot{I}_1 和 \dot{U}_1 同相时各向量的向量图。

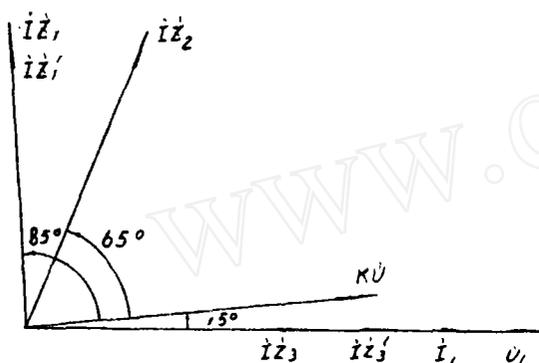


图9 \dot{U}_1 、 \dot{I}_1 同相时各向量的相位关系

阻抗元件的比相回路和时间回路：

比相回路由 $2D_1-2D_5$ 组成负“或门”1，由 $2D_4-2D_7$ 组成负“或门”2， $2D_8$ 、 $2D_9$ 组成负“和门”。只有当 M_1 、 M_2 同时有负电位时，a点才有负电位， $2D_{10}$ 是用来产生基准电压的，只有当输入负电压超过 $2D_{10}$ 的电压降时，a点才可能有负电位。

当a点为负电位，且在动作区内，两组向量在时间轴上都是半波连续的则 $2BG_3$ 截止时间大于20毫秒 $2WY$ 击穿，经整定时间后 $2BG_7$ 导通，出口继电器ZJ动作。

比相回路，时间回路和出口，信号回路见成套保护原理图。

(三) 一次自动重合闸元件：

(1) 正常情况下，断路器处于合闸位置，分闸位置继电器FWJ不受电，其常开触点断开， $3C_1$ 上电压充到 $+18V$ ，为起动重合闸做好准备， $3BG_1$ 和 $3BG_2$ 组成自保持电路，正常情况下， $3BG_2$ 饱和导通， $3BG_1$ 的基极呈负电位而处于截止， $3C_2$ 上电压充到 $+18V$ ， $3BG_3$ 导通， $3BG_4$ 截止，出口继电器HJ不动作，同时后加速回路给出负信号，不起加速作用。

(2) 故障时，保护动作，保护总出口继电器BCJ接点闭合， $3WY_1$ 击穿使 $3BG_1$ 获得基极电流而导通，由于 $3C_2$ 两端电压不能突变，而使 $3BG_2$ 截止，则 $3D_3$ 加反向电压而截止， $3BG_1$ 又通过 $3R_4$ 和 $3R_5$ 获得基极电流而继续保持导通， $3BG_2$ 截止的同时 $3C_4$ 通过 $3R_{11}$ ， $3WY_2$ ， $3D_7$ ， $3BG_3$ 经约 $0.4''$ 时间充满电。当电容 $3C_2$ 经整定时间通过 $3R_8$ ， $3R_9$ ， $3BG_1$ 放电完，并反充到一定电压时， $3BG_2$ 又重新导通， $3BG_1$ 恢复截止。 $3BG_2$ 的截止时间即为重合闸的起动时间。

$3BG_2$ 重新导通的同时使 $3BG_3$ 由导通变截止， $3BG_4$ 经 $3R_{13}$ ， $3C_5$ ， $3WY_3$ 获得脉冲基极电流而导通，HJ动作。 $3C_5$ 经 $0.16''$ 后充满电， $3BG_4$ 又失去基流而截止，HJ返回，合闸脉冲经 $0.16''$ 为保证可靠合闸，防止多次误合。

$3BG_3$ 截止的同时， $3D_8$ 截止，后加速回路给出正信号，起加速保护动作。 $3BG_3$ 的截止时间为后加速动作时间。此时间应大于HJ动作时间+HCJ动作时间+断路器操作机构合闸时间+保护固有动作时间+ZJ动作时间。

断路器事故分闸后，FWJ受电，接点断开， $3C_1$ 又开始通过 $3R_2$ 充电，经 $15''\sim 25''$ 后充电结束，为下次动作做好准备，此时间即为重合闸动作的间隔时间。

若重合闸失败，保护动作，BCJ接点再次闭合，但因 $3C_1$ 来不及充电， $3BG_1$ 不能导通，故不能再起动重合闸。

(3) 重合闸采用保护起动，故手动分闸不会起动重合闸。

(4) 手动合闸于故障时，由于 $3C_1$ 来不及充电，故不能起动重合闸。同时WK在“合”位时，通过 $2R_{23}$ ， $2D_{17}$ 供给 $2BG_3$ 基极电流，起到了手动合闸后加速保护动作的作用。

(四) 操作回路：

为了防止合闸回路卡住而造成断路器的多次合闸，装设了防止跳跃的继电器FTJ，回路中还设有合闸位置继电器HWJ，分闸位置继电器FWJ。它们与跳合闸继电器同装在一块安装板上，回路图见成套保护原理接线图。

三、主要技术性能

(一) 额定数值。

交流；100伏 5安 50周

直流；110伏或220伏

操作回路跳闸出口继电器保持电流； 0.25^A ， 0.5^A ， 1^A ， 2^A 。

操作回路合闸出口继电器保持电流； 0.25^A ， 0.5^A ， 1^A ， 2^A 。

(二) 装置所有带电部分对外壳的绝缘能耐受交流1750伏，50周，历时一分钟的试验，无闪络或击穿现象。

(三) 装置在 $-20^{\circ}C$ 至 $+40^{\circ}C$ ，直流电源在额定电压的90%~110%之间变化时，整定值误差不超过常温时的 $\pm 10\%$ 。

(四) 装置所有带电部分对外壳的绝缘电阻，当环境温度为 $+40^{\circ}C$ ，相对湿度不大于85%时应不小于5兆欧。

(五) 功率消耗。

交流电压回路 $\leq 10VA$ 。

交流电流回路 $\leq 5VA$

直流回路；220伏时 < 20 瓦。

110伏时 < 10 瓦。

(六) 电流元件；

(1) 电流整定值；5安~10安。

(2) 时间整定范围； $0.07''\sim 0.2''$

(3) 返回系数； > 0.95 。

(七) 阻抗元件；

(1) 线路阻抗整定范围； $2\Omega\sim 20\Omega$ （当DKB用3匝）

$4\Omega\sim 40\Omega$ （当DKB用6匝）

(2) 线路阻抗角 65° 上的精确工作电流 $\leq 1A$ 。

(3) 时间整定范围； $0.1''\sim 0.5''$ 。

(4) 负荷阻抗整定范围； $2.5\Omega\sim 12.5\Omega$ （当DKB用3匝）

$5\Omega\sim 25\Omega$ （当DKB用6匝）

- (5) 返回系数; ≤ 1.1 。
- (6) 继电器在整定值1.05倍处不应动作。
- (7) 当 $u = 0$ 时, I 增至25 A继电器不动作。
- (8) 当 $I = 0$, u 从100伏突然降至0, 继电器不动作。
- (9) 保护区段背后邻近处短路时, 继电器不动作。
- (10) 继电器死区电压值小于1伏(当 $I = 5$ A时)。
- (八) 重合闸元件:
 - (1) 重合闸元件重复动作的时间间隔不小于15"。
 - (2) 重合闸动作时间整定范围; 0.5"~3.5"。
 - (3) 重合闸后加速时间大于0.6"。
- (九) 装置外形尺寸; 336×164×372公厘, (宽×高×长)。
- (十) 装置重量, 12.5公斤。

四、结 语

ZKH-1型电气化铁道成套保护装置是由我所与铁道部科学研究院共同研制即将定型的成套保护装置。1973年许昌继电器厂为电气化铁道馈电线生产一台成套保护样机。此样机经动态模拟试验后装在宝成铁路谈家庄变电所运行, 在投入信号运行前经现场调试, 开关联动试验, 人工短路调试, 保护性能良好。投入信号运行近一年, 成套保护动作正常, 1974年8月份, 在铁道部门大力支持下又进行了试验正式投入跳闸, 投入跳闸一年来, 运行情况良好, 在此基础上对原理接线, 外型结构进行改进完善, 试验, 维护, 运行方便。