

ZJL—45集成电路相间距离保护

许昌继电器研究所 牛怀清 刘甲申

1 引言

作为能瞬时切除输电线路85~90%范围内的各种相间故障及三相故障的相间距离保护,由于不受网络结构和系统运行方式的影响,当与输电线载波或微波通道配合时,即可作为线路全长的瞬时保护。因此,距离保护长期以来在复杂电网高压输电线保护中就受到广大用户的青睐。随着我国电力系统的蓬勃发展,电力系统正向高压和超高压方向发展,电网结构也日趋复杂。因而在安全、可靠和快速等方面对距离保护提出了更加严格的要求。传统的整流型及晶体管型距离保护在回路构成上不但复杂,而且其性能特别是在快速方面已远远不能满足超高压输电线路的要求。用集成电路构成的保护不但回路接线简单、调试方便,而且其性能都远远优于传统的保护,完全满足超高压输电线路对保护的要求。为此我们在消化吸收引进国外八十年代产品(如西门子、BBC公司)的基础上结合我国电力系统的现状及发展趋势,依“四统一设计”为基础,与华中理工大学联合研制出500kV超高压ZJL—45集成电路相间距离保护装置。

2 保护装置的主要特点

ZJL—45相间距离保护装置为三段不切换方式,适用于中性点直接接地的110kV~500kV输电线路,作为各种相间故障、两相接地及三相故障的主保护或后备保护。对反向故障具有明确的方向性,对三相出口短路能可靠切除。装置采用9个圆特性的方向阻抗继电器分别作为I、II、III段阻抗元件,采用综合比较原理,以获得较快的动作速度和较小的超越。



正极接地测量值	0.8k Ω	12k Ω	20k Ω	30k Ω
负极接地测量值	1k Ω	12k Ω	20k Ω	30k Ω

测量误差稍大,原因是表计刻度未校准,但也基本反映了故障的严重性程度。

4.3 可靠性及抗干扰试验

- ①模拟直流400V励磁电压并转子直接接地,无异常情况;模拟交流50Hz400V励磁电压谐波及0.47 μ F、1 μ F、2 μ F转子对地电容无误动现象;
- ②在发电机自动起励外压过程中无误动现象;
- ③在空载额定励磁电压下跳FMK无误动现象;
- ④装置经受了正常励磁电压及灭磁过电压考验均未发现元件损坏及误动现象。

在 I 段保护线路全长的 70% 范围内，整组动作速度不大于 20ms，暂态超越不大于 5%。装置设有负序零序增量元件及振荡闭锁环节，能正确区分故障及振荡。设置的低电流闭锁元件在非全相运行时可以只退出与断开相有关的阻抗继电器，而接于健全相的阻抗继电器仍可继续工作。各段时间采用脉冲计数原理的数字电路，时间精度高。保护装置全部由集成运算放大器和 CMOS 集成电路构成，而以有触点的继电器出口，所有其它对外联系都采用有触点隔离，抗干扰能力强。装置设有运行中任一元件损坏即给信号并将整机闭锁，送出远方信号及 PT 二次断线防误动的断线闭锁环节。直流逻辑回路中设置了试验按钮，按下不同的试验按钮，即可试验相应的直流逻辑回路的正确性。当与重合闸配合时，可实现后加速 II 段或 III 段跳闸回路。装置接线简单易懂，元件特性十分相近便于运行掌握。

3 装置构成原理（方向阻抗继电器）

3.1 交流回路原理接线

为了发挥集成电路构成继电器保护的优点，本保护中考虑相间距离的 I、II、III 段共用一个交流回路，因此在形成交流回路时，采用三个变换器 YH 分别接于三个相电压，三个电流变换器 LH 分别接于三个相电流然后经运算放大器组成的减法器合成 \dot{U}'_{AB} 、 \dot{U}'_{BC} 及 \dot{U}'_{CA} 。其框图如图 1 所示（以 A B 相合为例）

至于相间距离阻抗元件的极化电压 \dot{U}'_Y ，则由 YH 的副边输出直接经减法器合成，然后经一高 Q 值的有源滤波器构成记忆回路再经一加法器与非故障相电压合成极化电压 \dot{U}_Y ，至此阻抗元件的工作电压及极化电压分别形成。

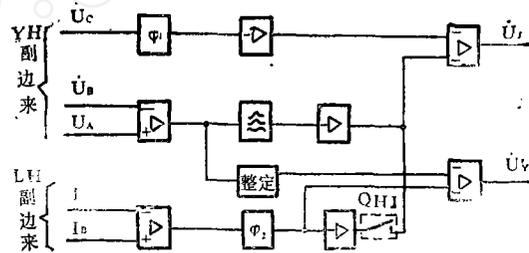


图 1 以 A B 相阻抗为例的交流接线框图

$$\text{工作电压: } \dot{U}'_Y = k_1 \dot{I}_{AB} \cdot Z_Y - k_2 \dot{U}_{AB} \quad (1)$$

$$\text{极化电压: } \dot{U}_Y = k_3 \dot{U}_{AB} + k_4 \dot{U}_C \quad (2)$$

式中 $k_3 \dot{U}_{AB}$ —具有记忆作用的故障相极化电压。在短路起始瞬间 ($t=0$)，该电压为继电器安装处故障前的相间电压 $\dot{U}_{AB(0)}$ ；在短路稳态时 ($t=\infty$)，该电压为 $\dot{U}_{AB\infty}$ 。

\dot{U}_C —继电器安装处非故障相极化电压。

k_4 —为非故障相电压引入系数。

3.2 方向阻抗继电器动作行为分析

众所周知相间方向阻抗继电器的动作判据为：

$$-90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}'_Y}{\dot{U}_Y} \leq 90^\circ \quad (3)$$

该比相条件在阻抗平面上的动作特性为一通过坐标原点的圆。如图 2 所示。

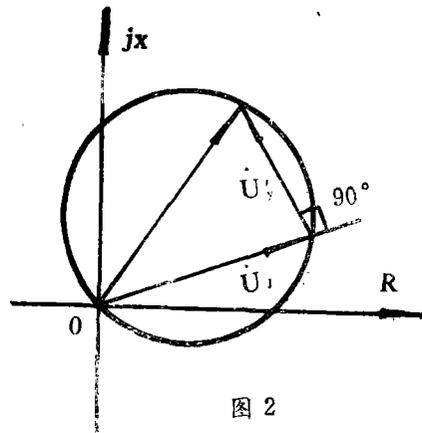


图 2

在圆内	$-90^\circ < \arg \frac{\dot{U}'_r}{\dot{U}_r} < +90^\circ$	区内故障
在圆外	$\arg \frac{\dot{U}'_r}{\dot{U}_r}$ 在 $\pm 90^\circ$ 之外	区外故障
在圆上	$\arg \frac{\dot{U}'_r}{\dot{U}_r} = \pm 90^\circ$	临界状态

作为距离保护主要测量元件的阻抗继电器，必须满足以下四个方面的要求①方向性能好，②带过渡电阻能力强。③暂态超越小。④动作速度快。下面应用电压向量图法来分析，前两个问题。

图3示出两端电源输电线路示意图。假定M侧为送端，N侧为受端，两侧送电角为 δ 。大约在线路中点D经过渡电阻 R_f 发生三相短路。电压向量图如图4所示。

3.2.1 正向三相短路时阻抗继电器动作行为。

由于极化回路的记忆作用，在故障起始瞬间($t=0$)M侧继电器极化电压是 $\overline{0M}$ ，动作特性为直线①，随时间推移记忆作用消失，M侧继电器极化电压由 $\overline{0M}$ 转到 $\overline{0m}$ ，动作特性由直线①转到直线②。由此可见，极化回路记忆作用对继电器动作行为的影响，表现在继电器动作边界角度的变化上。

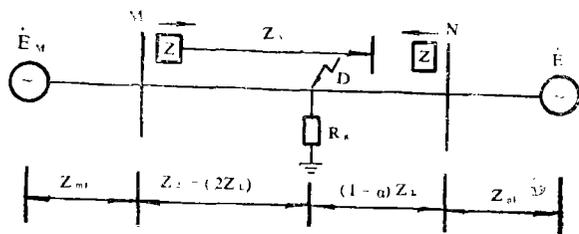


图3 两端电源输电线路示意图

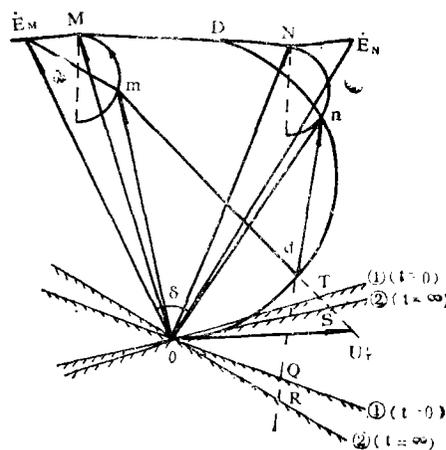


图4 线路中点附近三相短路时电压向量图

①理想动态特性 ②理想稳态特性

$$\because \overline{m} \dot{U}'_r : \overline{md} = Z_r : Z_{d1}$$

$$\therefore \overline{m} \dot{U}'_r = \overline{md} \cdot \frac{Z_r}{Z_{d1}}$$

当 $Z_r > Z_{d1}$ 时， $\overline{m} \dot{U}'_r$ 位于 \overline{md} 线段的外延线上，分别交①、②直线T、S两点。也就是说 $\overline{0T}$ 和 $\overline{0S}$ 分别为故障起始瞬间及故障稳态临界状态下的距离测量电压 \dot{U}'_{rT} 和 \dot{U}'_{rS} 。显然，动作边界①较动作边界②具有更大的保护范围。正因为如此，在三相出口短路故障时它

都能可靠动作，即消灭了继电器动作死区。

由图4还可以看到， \overline{md} 表示了由m到故障点d的距离，延长 \overline{md} 与M侧动作特性①、②分别交在T、S两点，这说明在 $t=0$ 时，只要 $Z_{d1}^{(0)} = \frac{\overline{mT}}{\overline{md}} Z_{d1}$ 继电器即可动作。；而当 $t=\infty$

时，则要 $Z_{d1}^{(\infty)} = \frac{\overline{mS}}{\overline{md}} Z_{d1}$ 继电器才能动作，因为 $\overline{mS} > \overline{mT}$ ，故 $Z_{d1}^{(\infty)} > Z_{d1}^{(0)}$ 。说明弧光电

阻为 $0d$ 时，在稳态情况下要有较大的整定阻抗值 $Z_{d1}^{(\infty)}$ ，继电器才能动作；而在 $t=0$ 时，只要较小的整定阻抗 $Z_{d1}^{(0)}$ 继电器即可动作，亦即极化回路的记忆作用使反应弧光电阻的能力增强。

3.2.2 母线反向出口三相短路的动作行为

如图5(a)、(b)所示，分别表示M、N侧母线反向出口三相故障时的电压向量全图。

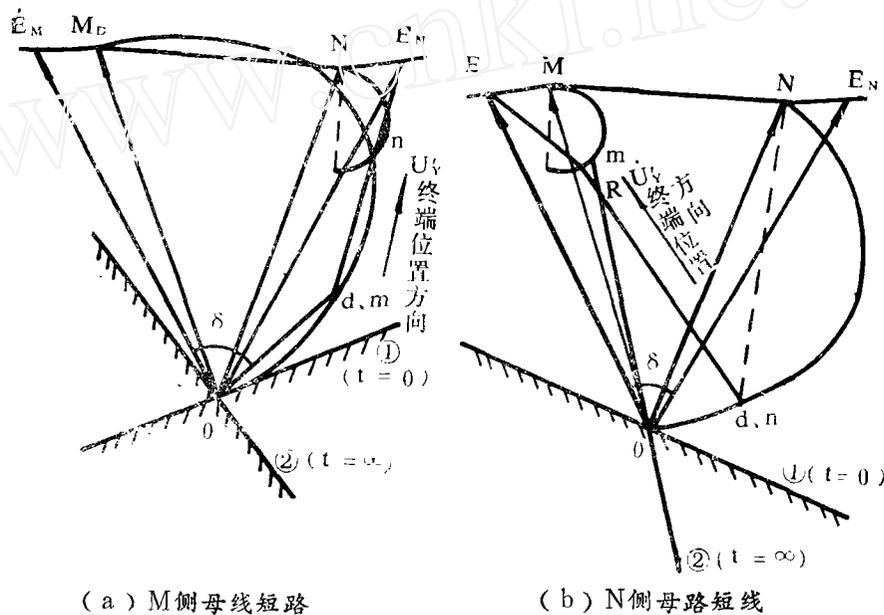


图5 母线反向出口三相短路时的电压向量全图

设送端M侧反方向经过渡电阻三相短路，如图(a)所示，由于它的保护方向由m指向n，D在反方向，故距离测量电压 U_{d1} 向量终端方向位于 \overrightarrow{mn} 方向上。由此可知，无论 U_{d1} 如何变化都不会进入 $t=0$ 或 $t=\infty$ 时的动作区，亦即在送端的阻抗继电器在反方向故障时具有明确的方向性

若受端N侧反方向经过渡电阻三相短路，如图(b)所示。此时保护方向由n指向m，①在反方向，距离测量电压 U_{d1} 向量终端方向位于 \overrightarrow{nm} 方向上，当过渡电阻 R_f 较大且 Z_{d1} 整定较小时，N侧继电器动作特性②会逆时针方向随 R_f 的减小旋转并交 \overrightarrow{nm} 于点R，使阻抗继电器出现误动。但是，这种误动作并非瞬时出现，而是随记忆回路的衰减逐渐出现。正因如此，

一方面可以依靠相邻线路的快速切除来解决，另一方面依靠本装置设置的电路在记忆消失之后其残压不足以使比相成功而防止误动，或者依靠记忆回路与振荡闭锁环节的配合加以解决。

3.2.3 两相短路及两相短路接地时运行性能。

由于两相短路及两相短路接地时，故障相的电流与电压变化与三相短路时完全相同，因此，它们的向量图及动作行为与三相故障时一致，这里不再详述。对于引入非故障相的辅助极化量 $k_4 \dot{U}_C$ ，是与故障前通入继电器 \dot{U}_{AB} 同相的量。当AB短路时，其作用与 $k_3 \dot{U}_{AB}$ 极化电压的记忆作用一样。优点是在整个故障过程中是一个稳态的常量，因而对防止反方向母线两相短路时失去方向性，增强出口故障允许过渡电阻的能力，消除出口故障时的电压死区都有良好的效果。

3.2.4 综合比较回路

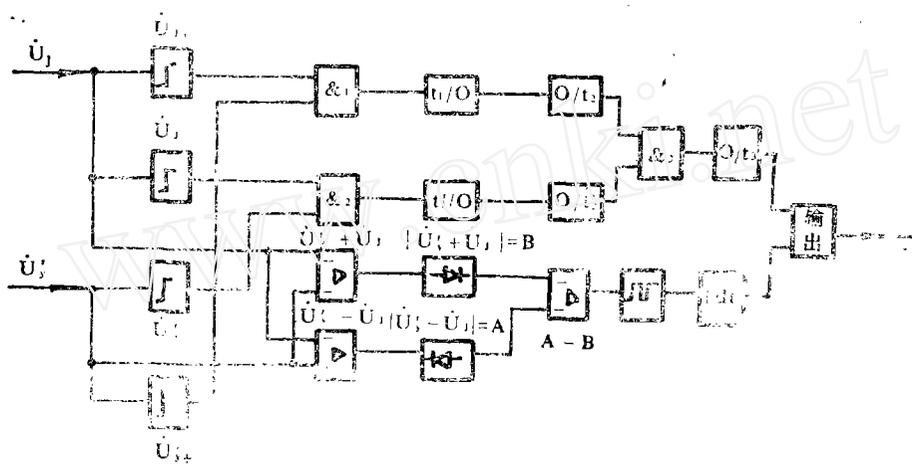


图6 综合比较原理框图

图6示出综合比较原理的框图，所谓综合比较就是相位比较方式与平均值方式的综合运用。在第(1)、(2)小节中我们分析了阻抗元件的方向性及带过渡电阻能力。另两个问题是暂态超越及动作速度的矛盾，这正是综合比较原理所要解决的问题。

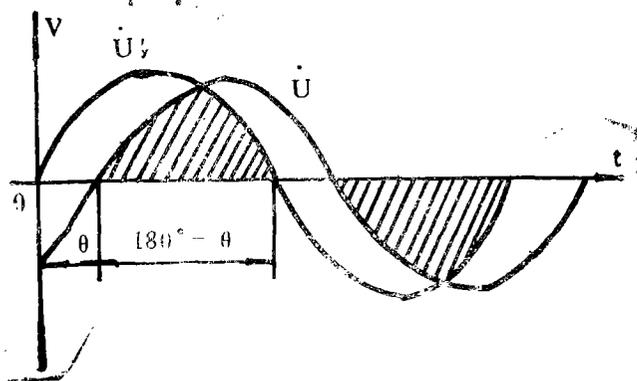


图7

图6中的相位比较回路采用了双半波与门比相的工作原理。这种接线是测量 \dot{U}_1 及 \dot{U}_2 两个电压正、负半周同时为正或为负的时间来构成。当 \dot{U}_1 与 \dot{U}_2 两相位差角为 ω 时，如图7所示的阴影部分，就是它们同时为正或为负的时间 $(180^\circ - \omega)$ 。因此，比较 \dot{U}_1 与 \dot{U}_2 的相位差就可转化为测量 \dot{U}_1 与 \dot{U}_2 瞬时值同时为正或

为负的时间来代替。当同时为正或为负的持续时间大到 $\geq 5\text{ms}$ (90°)时,比相成功。

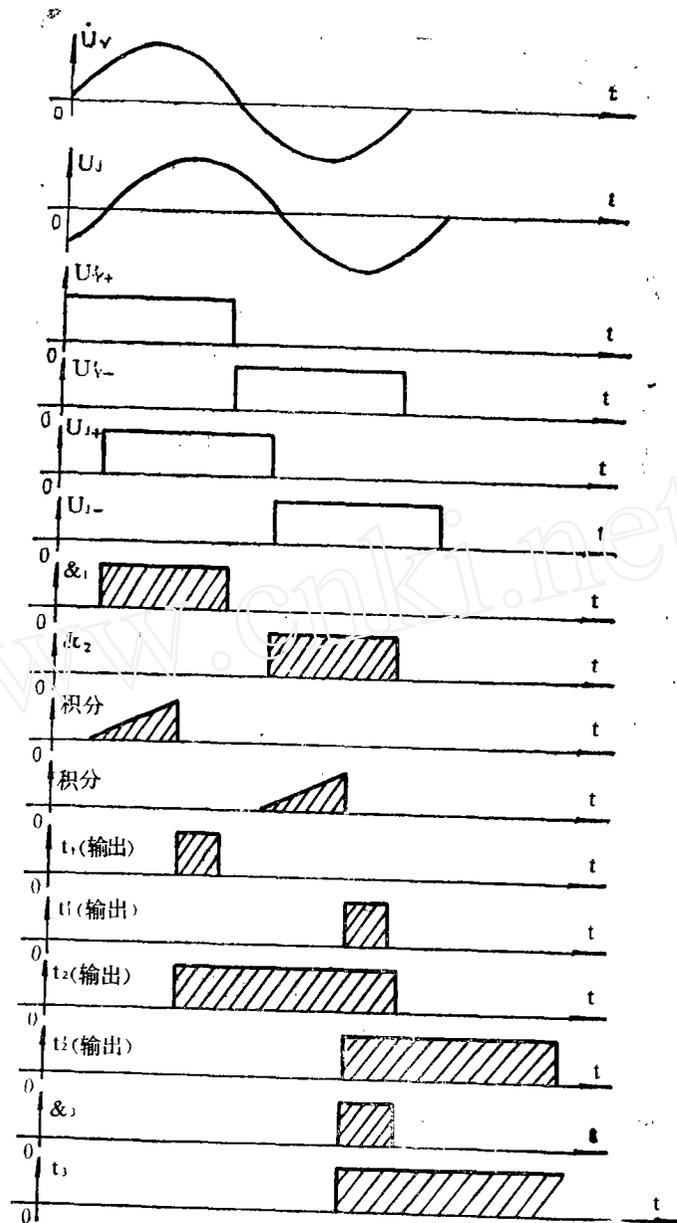


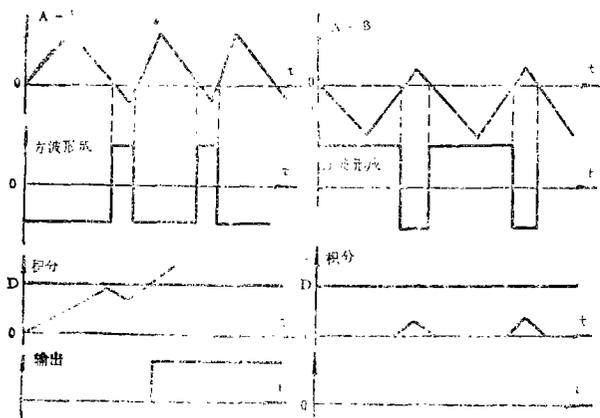
图 8 相位比较区内故障波形图

图 8 中示出相位比较区内故障时的波形图,从图 8 中可以看到比相回路具有如下特点。

- a. 接线简单,灵敏度很高
- b. 由于采用双半波与门比相,因此具有很强的抗干扰能力和抗谐波影响的能力。对于直流分量正负半波中只有半波比相成功,不会出口,当在临界条件附近基波分量较小而谐波分量将方波切碎时,不可能造成距离保护误动作。
- c. 当任一交流输入为零或两相交流输入量同时为零时,由于方波形成回路中的调零措施不会造成距离保护的误动作。

d. 该比相回路尽管提高了阻抗元件的测量精度, 拟制了暂态超越, 但动作时间比较缓慢(约30ms)。

为了克服这一缺点, 在阻抗元件中同时采用平均值比较回路(参看图8)。



(a) 区内故障

(d) 区外故障

图9

从图9可以看出, 只要恰当选择R、C及D参数, 该平均值比较回路在区内故障时可以保证在一个周波内动作。由于采用积分回路, 其抗干扰能力也大大增强。

3.2.5 本阻抗元件在动模实验中实测情况

- a. 由于记忆回路的作用, 本阻抗元件具有明确的方向性。在正向出口三相金属性故障时, 能可靠动作, 在反方向经小电阻(1~3Ω)三相出口短路时可靠不动作。
- b. 反应弧光电阻的能力比较强。在区内故障约经18Ω的弧光电阻时仍能可靠动作。
- c. 由于综合比较原理的运用, 本阻抗元件的暂态超越小于4%, 在0.7倍整定阻抗范围内, 动作速度约8~12ms。

综合以上分析及实验结果, ZJL-45相间距离保护装置中的阻抗元件具有动作速度快, 暂态超越小, 方向性好, 带弧光电阻能力强及抗干扰能力强等优点。

4 本装置主要技术指标

4.1 额定值

交流电压100V 交流电流5A或1A
频率 50Hz 直流电压220V或110V

4.2 功率消耗

交流电流回路在额定5A < 0.5VA/φ
交流电压回路在额定电压100V < 0.5VA/φ
直流电源回路正常小于20W, 故障动作时小于30W。

4.3 动作时间

0.7位整定阻抗范围内, 整组动作速度不大于20ms。

4.4 阻抗元件

精工电流 ≤ 0.5A 动作时间 < 16ms

其动作判据为:

$$\frac{1}{RC} \int [A - B] dt \geq D (\text{常数})$$

式中 D—设置的门坎电压

R、C—常量电阻、电容、
它们的作用仅改变动作时间而对方向阻抗的动作特性无影响。

由于幅值比较易受谐波分量及电路不平衡输出的影响, 所以幅值比较不宜直接采用。为此, 经幅值比较再取平均值, 可以提高阻抗元件的测量精度。图9示出了平均值比较回路的动作特性波形图。

