

# 500 K V 线路保护的试验

许昌继电器研究所 方丽清 王能桂 朱景云执笔

## 一 前 言

随着我国电力工业高速发展,更高一级的500 K V 电网即将在我国许多地区出现。重负荷超高压,长距离输电线路对其继电保护装置的快速性、灵敏性,可靠性以及选择性提出了更高的要求。

根据国家超高压工程建设的要求和关于超高压输电线路保护的科研计划,一机部许昌继电器研究所与东北电管局、调度局、技术改进局、东北电力设计院、北京电力设计院、鞍山电业局等单位联合研制了高频闭锁距离保护,另序电流保护和综合重合闸成套线路保护屏。并先后在电力部电网调度研究所动模室和许继所动模室进行了二次动态模拟试验。运用目前已具备的试验手段对装置进行了各种严格的全面试验。试验中曾邀请了有关的科研、学校、设计、制造和运行部门参加指导。通过反复试验与改进,使保护装置的性能逐步得到完善与提高。现将动模试验情况作一简单总结,对保护装置的几个主要特点从试验角度加以说明。以便对500 K V 线路保护的性能作进一步了解提供参考。由于我们水平有限,又未经联合研制组的讨论,不全面和错误之处在所难免,不当之处请予纠正。

此外,对高频闭锁相间距离,另序电流保护和综合重合闸成套线路保护屏也进行了较为详细的动模试验,兹将试验结果作一介绍,以供参考,希望提出宝贵意见。

## 二 试验模拟接线和要求

500 K V 超高压系统故障的特点是:在初瞬间除暂态过程中的非周期分量外,还有高次谐波量。非周期分量衰减的时间常数在线路短路时将在100 ms以上,高次谐波的频谱分布与衰减时间常数根据具体线路有所不同。对东北提出的500 K V 400 K m 线路的初步估计是:故障时(反方向出口)最低的暂态谐波的频率接近工频的三倍,衰减时间常数将在70 ms以上。500 K V 线路保护设计的技术要求在故障时装置整组动作时间在30 ms左右,考虑开关动作时间约为60 ms,因此,当线路发生故障时,保护将在90 ms内切除两侧故障。所以对保护装置的动模试验主要的就是考验在各种故障的暂态过程中的保护性能,特别是当背后出O故障时,暂态过程中的保护装置的动作情况。根据上述

原则尽量希望模拟系统能够接近于系统在暂态过程中的实际情况。在选择模拟原件时要尽量降低其有功损耗。

为了使这种保护装置能适应一般的500KV线路的要求，因此，模拟系统宜按照较为普遍的系统条件建立。即采用单机对无穷大两回并行线的方式。其模拟接线如图1。

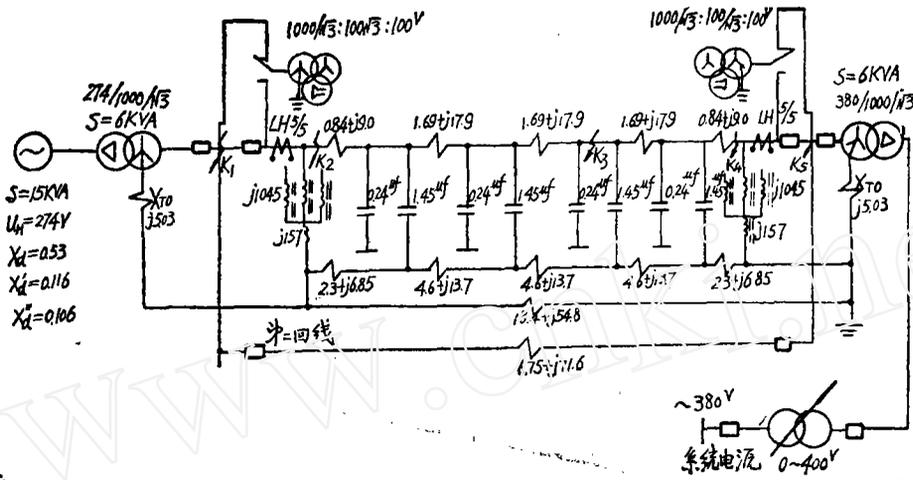


图1 模拟接线图

对各模拟元件作以下考虑：

1. 线路模拟：对并联双回路只是装保护的那一条400KV线路分为4个100KV，等价“T”形回路，要求线路阻抗角和原形一致。另一回并联线路只要求阻抗符合400KV要求即可。

对装保护的那条模拟线路，在线路始末两端每相应装设单相补偿电抗器，每一端的每相补偿电抗器的数值是补偿线路正序电容的35%（两侧共补偿70%）。补偿电抗器的有功损耗应力求最小，阻抗角要尽量大，至少在二倍模拟电压的范围内有良好的线性度。

在三相补偿器的中性点还要接入消弧用中性点小电抗器，其所以必要是因为PT在线路上，为了较忠实反映单相切除后故障相电压的变化情况，而使保护的动合合乎实际。

2. 无穷大电源模拟：选用固定的一组模拟变压器，其模拟容量按最大无穷大电源的容量考虑。模拟变压器的正序阻抗可由短路电压 $uk\%$ 直接计算，另序阻抗为正序阻抗计算值的2倍。模拟变压器的阻抗角应和原形一致，一般要求采用没有气隙的模拟变压器，如采用带气隙的模拟变时，测 $uk\%$ 时，应把气隙放在最小位置。

3. 发电机侧模拟：按选用固定的一套模拟机和模拟变考虑。对模拟变的要求同无穷大侧。对模拟机的参数选择从考验快速保护性能的要求出发，只需满足 $X''_d$ 与原形一致，此外考虑到模拟系统尽可能反映实际系统的过渡过程和对模拟CT的要求，应尽量

选用大容量的模拟机。这两次试验均采用315KV的模拟机组,所得到的参数比较满意。

4. PT模拟:按电磁型PT模拟,二次相间100V,  $3V_0 = 100V$ ,可以装在线路侧也可切到母线侧。

5. CT模拟:CT的变化按二次电流反映实际二次短路电流的原则考虑,此外,还应尽量减少保护装置电流回路阻抗对模拟一次系统的影响。例如CT用降流比,电流回路二次阻抗换算到一次将减少,对一次系统回路时间常数的影响小;CT用升流比,则二次换算到一次的阻抗增加,对一次系统回路的时间常数影响大。这两次试验均采用5:5的CT。保护装置的电流回路阻抗约1.5Ω,只占模拟系统回路阻抗的1.5%。

6. 对模拟系统的检查与调整:模拟系统要求尽量对称平衡,使正常时 $3V_0$ 最小,为此对每相每个元件都应根据要求测试调整。对三相模相系统要录波检查短路水平,过渡过程持续时间、直流分量、回路固有谐振率等,应力求与计算值接近。

对所有电气连接处要求紧固可靠。不致因大电流冲击时由于电动力的作用而松动,造成回路参数变化和接触不可靠。

### 三 高频闭锁距离保护,另序电流保护和综合重合闸 成套线路保护屏的试验情况及几个特殊问题

这套保护由高频闭锁相间距离,高频闭锁接地距离、三段式相间距离保护屏和相电流速断,三段式另序电流方向保护以及综合重合屏组成。每面屏均可直接去跳闸。保护屏加上断路器辅助装置,即可作为有主保护和后备保护的完整的500KV线路保护装置。保护整定均满足一般对距离保护,电流速断,另序电流以及综合重合闸的要求。按400km线路计算,高频通道增加T形衰减器,其衰减器为3.4奈贝,收讯回路增加2.7ms延时。

经过模拟各个短路点各种类型的几千次短路试验,取得了大量的数据和录波图。经分析认为各保护装置动作均正确可靠。

#### 1. 试验条件及常规试验

为了对保护装置的动作为作严格的考核,试验按实际运行中可能出现最严重的情况进行。重合闸时间整定1"是考虑可能出现两侧电势角左180°下非同期合闸的情况。对正常的负荷电流,一般选择了三种情况试验,即空载(两侧电势角几乎为0),轻负荷(双回线两侧的电势角约20°),轻满负荷(双回线两侧电势角45°)。对某些特殊的试验,根据需要用单回线送极限负荷加以试验。

试验分别对高频闭锁距离与重合闸,另序相电流速断与重合闸,高频闭锁距离,另序相电流速断对重合闸三种情况进行。试验故障点分区内:门口:线路60%处,线路末端三点,区外:背后两个故障点。故障类型除模拟单相短路,二相短路,二相短路接地,三相短路的各种瞬时性,永久性,转换性故障外,还模拟各种带电阻故障的情况。

接地电阻可在  $0 \sim 51 \Omega$  (即相当原型接地电阻  $51 \times 1.6 = 81.6 \Omega$ ) 范围均匀可调, 试验结果如下:

(1) 动作速度: 第一次和重合闸后均具有快速性

表 1 高频闪锁距离和重合闸一起试验

| 动作时间 (ms) |      |    | 门口 ( $K_2$ ) | 中点 ( $K_3$ ) | 末端 ( $K_4$ ) |
|-----------|------|----|--------------|--------------|--------------|
| 机组侧       | 相间故障 | 瞬时 | 12—30        | 18—22        | 22—30        |
|           |      | 永久 | 15—21        | 16—28        | 20—30        |
|           | 接地故障 | 瞬时 | 10—12        | 24—25        | 24—28        |
|           |      | 永久 | 13—16        | 13—20        | 22           |
| 系统侧       | 相间故障 | 瞬时 | 25—30        | 20—22        | 15—30        |
|           |      | 永久 | 12—22        | 10—17        | 10—16        |
|           | 接地故障 | 瞬时 | 30           | 20—26        | 24—30        |
|           |      | 永久 | 17—28        | 12—15        | 12—15        |

\* 永久性的时间为重合闸后动作速度  
 \*\* 机组侧另序电流继续动作回路投入

(2) 方向性: 双回线在满负荷条件下发生各种故障保护装置具有明确的方向性。  
 反方向单相短路, 接地电阻从  $0 \sim 51 \Omega$ , 速动段可靠不动。  
 反方向两相短路接地, 接地电阻从  $0 \sim 20 \Omega$ , 速动段可靠不动。  
 反方向三相短路和三相接地短路, 速动段可靠不动。  
 反方向两相短路由于接地距离停讯回路采取另序电流闭锁的措施速动段可靠不动作。

表 2 另序电流, 相电流速断和重合闸一起试验

| 动作时间 (ms) |          | 门口 ( $K_2$ )       | 中点 ( $K_3$ ) | 末端 ( $K_4$ )       |
|-----------|----------|--------------------|--------------|--------------------|
| 机组侧       | 接地故障(瞬时) | 24—26              | 28—30        | 120—125<br>(II段跳闸) |
|           | 相间故障(瞬时) | 21—26              | 28—30        | 125—140<br>(II段跳闸) |
| 系统侧       | 接地故障(瞬时) | 130—145<br>(II段跳闸) | 30           | 20—25              |
|           | 相间故障(瞬时) | 110—130<br>(II段跳闸) | 28—30        | 27—30              |

(3) 正方向在双回线满负荷条件下, 单相经  $0 \sim 51 \Omega$  接地短路, 具有正确的选相能力, 非故障相可靠地不误动作。

(4) 转换性故障快速跳闸

(5) 静稳定破坏引起系统振荡和动稳定破坏引起系统振荡保护装置的工作是可靠的。负序增量元件在最短振荡周期为  $0.1''$  时仍不动作, 相电流差实变量元件在振荡周期大于  $0.2''$  时不动作。

(6) 电流回路功率消耗。

正常时两面屏电流回路每相总消耗  $5^2 \times 0.6^2 = 15.3 \text{ V} \cdot \text{A}$

单相故障短路电流为  $5 \text{ A}$  时, 每相总消耗  $5^2 \times 1.25^2 = 31.3 \text{ V} \cdot \text{A}$

## 2. 关于接地距离元件正方向故障的选相性能和反方向故障的方向性

如所周知, 对于按相电压和相电流加零序电流补偿接线的接地阻抗继电器在双侧电源, 送负荷、带接地电阻的条件下, 阻抗继电器动作行为的分析是相当复杂的, 特别是随着负荷电流的变化, 接地电阻的改变, 故障相, 非故障相阻抗继电器动作行为的分析更为复杂。

高频闭锁接地距离保护利用接地距离作为接地故障的主要保护, 要求有正确的选相功能和明确的方向性。由于长线路重负荷, 阻抗整定值比较大, 在电网所做动模试验时出现了目前接地距离存在的一些问题, 如反方向出口两相短路, 经  $R_g$  电阻接地时送电侧超前相阻抗继电器在  $R_g$  不太大, 输送功率不太大的情况下要误动, 受电侧超前相阻抗继电器在  $R_g$  从  $0.5'' \sim 20''$  广泛的范围内均要失去方向性; 反方向两相短路, 输送功率较大时送电侧落后相, 受电侧超前相阻抗继电器要失去方向性, 正方向出口单相短路, 带  $R_g$  电阻接地、输送功率较大, 接地电阻较大时, 送电侧超前相阻抗继电器要误动作。

为了解决出现的问题, 东北电管局付总工程师王梅义对阻抗元件的分析提出了一种新的方法, 即把任何距离继电器看成比较距离测量电压和极化电压相位的方向继电器, 在系统电位图中找出这两个向量的位置, 从而判断阻抗继电器的动作行为。这种分析方法既考虑了系统的条件和故障状态, 又可以作图求出具体的数值, 因而可以得到比较精确的分析结果。对接地阻抗继电器, 在综合分析的基础上提出加25%超前相电压作为辅助极化电压, 能消除反方向出口两相短路经  $R_g$  电阻接地误动作的情况, 对正方向保护弧光电阻的能力增强、出口单相故障选相能力有帮助。同样对正方向两相短路接地测量超越增加了。但作为高频闭锁距离这个问题可以不考虑。

经过试验证明, 这个措施是有效的, 基本上解决了上面出现的问题。对加25%超前相电压可以有两种方式, 见图 2—1、2—2

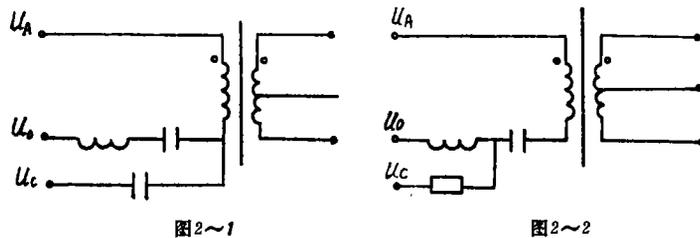


图2~1

图 2

图2~2

试验时对这两种方式作了比较, 图 2—1 的方式对谐振回路的  $Q$  值影响不大。送端反方向二相短路落后相误动作时间较长约  $80 \text{ ms}$ , 但极化回路在故障的过渡过程中出现高次谐波分量, 容易引起非故障相阻抗继电器的误动。

图 2—2 的方法, 谐振回路的  $Q$  值降低, 极化回路在故障时不出现高次谐波分量。

由于 $Q$ 值降低,在送端反方向二相短路时落后相误动作的时间加快到 $30\text{ms}$ ;正方向出口三相短路记忆时间减少。最短到 $50\text{ms}$ ,考虑到背后两相短路残压比较高,加强记忆不能完全解决误动问题,因此,采用有足够灵敏度的另序电流 $2LJ$ 。闭锁接地阻抗元件的停讯回路比较有把握。此外对快速保护而言,有 $50\text{ms}$ 的记忆时间还是够用的。因此采用了图2-2的方式。

### 3. 方向距离元件反方向经电阻三相短路

根据分析方向继电器在受端背后经分相电阻三相短路时一般都要失去方向性。试验时对不同电阻,不同的负荷电流分别进行了试验。如表3:

表 3 方向距离元件受端经电阻三相短路误动时间

| 系统条件            | 故障类型              | 分相电阻数       | 阻抗元件误动作时间 (ms) |       |       |       |       |
|-----------------|-------------------|-------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|                 |                   |             | $Z_A$          | $Z_B$ | $Z_C$ | $Z_N$ | $Z_I$ |
| 单回线 $4^\circ$   | $K_{\text{B}}ABC$ | $0.5^\circ$ | 120            | 120   | 120   | 80    | 75    |
| 单回线 $4^\circ$   | $K_{\text{B}}ABC$ | 1           | 120            | 120   | 120   | 68    | 58    |
| 单回线 $4^\circ$   | $K_{\text{B}}ABC$ | 2           | 120            | 120   | 120   | 60    | 50    |
| 单回线 $4^\circ$   | $K_{\text{B}}ABC$ | 3           | 125            | 125   | 125   | 60    | 60    |
| 单回线 $4^\circ$   | $K_{\text{B}}ABC$ | 4           | 120            | 120   | 120   | 60    | 70    |
| 双回线 $2.8^\circ$ | $K_{\text{B}}ABC$ | 2           | 170            | —     | 140   | 100   | 154   |
| 双回线 $3.3^\circ$ | $K_{\text{B}}ABC$ | 2           | 110            | 110   | 110   | 60    | 80    |
| 双回线 $3.6^\circ$ | $K_{\text{B}}ABC$ | 2           | 110            | 110   | 110   | 50    | 50    |
| 双回线 $4^\circ$   | $K_{\text{B}}ABC$ | 2           | 110            | 110   | 110   | 60    | 63    |
| 双回线 $4.7^\circ$ | $K_{\text{B}}ABC$ | 2           | 60             | 65    | 40    | 40    | 40    |

由表可见误动作的时间主要与负荷电流大小有关。目前运行的所有距离保护都没有对此问题考虑采取适当的措施,虽然这种类型故障机率很小。但这种误动的可能性是存在的。根据试验结果在接线回路中采取了以下措施:对相间I段阻抗经 $40\text{ms}$ 切换到II段;对高频闭锁距离保护充分利用方向倒换回路的工作特性,即收讯 $40\text{ms}$ 以后将收讯继电器复归带 $150\text{ms}$ 延时,既保证相邻线路I段来得及跳闸,又能起到一定的后备作用,此时要求 $BZJ$ 开放时间不少于 $0.2''$ ,以足够纵续动作的时间。

### 4. 非全相运行时健全相再故障的快速跳闸。其接线如图3所示。

例如A相故障后,即将B、C相阻抗继电器经A相固定继电器 $ZGJ_A$ 接点接到受BC相电流差突变量接点控制的三相跳闸回路,只有当健全相再故障时,B、C相阻抗

继电器和BC相电流差突变量元件动作，立即超过GJ，4XJ跳开三相。在重合闸前非相过程中，BC相电流差突变量元件是可靠不动的。即使接近180°非同期重合闸，BC相电流差突变量元件也不误动，没有出现误跳三相的情况。根据试验，这条回路是正确可靠的，为可靠起见，在单相重合闸后经0.1"将此回路解除。

三相跳闸时即将此回路解除。

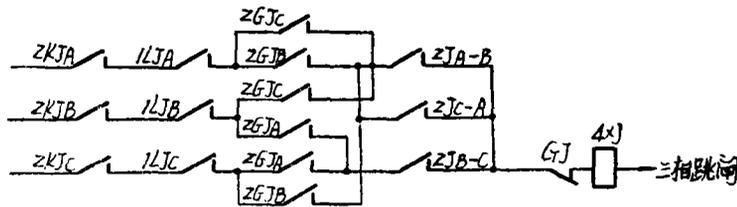


图 3

6. 重合闸后的快速跳闸：以往设计的距离保护后加速回路对于区别振荡和三相短路，都是采取躲振荡周期的延时来解决的。因此，重合到永久性故障线路上要延时切除故障，这是很不理想的。为了保证在整个重合闸过程中都能快速跳闸，在500KV线路保护中专门设计了一条高频闭锁加速跳闸回路，如图4：

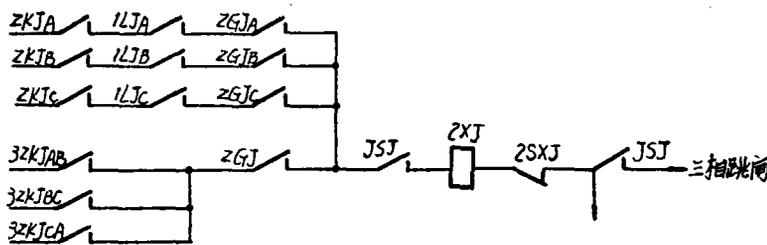


图 4

(1) 非同期重合闸后加速的原则是利用两侧开关合闸不同时。先合侧的电流继电器2LJA、B、C(按电容电流动作)检查开关合闸位置，SXJ返回大于阻抗动作时间在这一时间内如阻抗和1LJA、B、C(躲电容电流动作)动作，说明有故障，从以上后加速回路三相跳闸，并长期不发讯保证后合侧跳闸。如无故障，经过一定时间强制发讯，保证对侧重合成功。

两侧开关不同时合闸的时间  $t \geq t_{Zmax} + \Delta t_s - t_{LGmin}$

$t_{Zmax}$ —重合于永久性故障阻抗动作最慢的时间， $< 20ms$

$\Delta t_s$ —断路器三相不同时合闸最大允许的时间差，一般 $< 20ms$ (按合闸时间0.2"计算，若合闸时间0.1"，则应 $< 10ms$ )

$t_{LGmin}$ —1LJA、B、C最快的动作时间，一般 $> 5ms$ ，由上可知，当 $t \geq 35ms$ 可以保证瞬时性故障重合成功，永久性故障重合后瞬时切除。

从允许开关不同时合闸的最短时间 $t$ 的计算出发,对停讯继电器 $T X J$ 的追回延时提出如下要求;由于停讯继电器 $T X J$ 由 $2 L J_{A,B,C}$ 控制,只要断路器合闸, $2 L J_{A,B,C}$ 动作, $T X J$ 就延时返回,其返回的时间只要满足 $35-t_{2LJ}$ 返回 $=35-10=25ms$ , (一般 $L_{2LJ}$ 返回 $10ms$ ),则 $S X J$ 再发讯时间即为 $35ms$ ,即可保证重合到永久性故障可靠跳闸。由试验的录波图中看到从断路器合闸到 $S X J$ 再发讯的时间为 $38ms$ ,重合到永久性故障都可靠跳闸;两侧断路器的不同时合闸的时间差 $\geq 38ms$ ,瞬时性故障均重合成功。

(3) 试验专门做了瞬时性故障两侧断路器几乎同时合闸的情况。曾出现以下两种情况。

a、正好在两侧电势角接近 $180^\circ$ 下合闸,故障相阻抗继电器,一直在动作状态不返回,见表4项1,图5-1或者先合闸阻抗继电器从返回到对侧合闸后又误动作的时间 $<20ms$ ,见表4项2图6-2,则造成三相跳闸重合不成功。但表4项2的情况在九次试验时出现了二次,其余七次再次误动作的时间均大于 $25ms$ 。

b、两侧即使很同时合闸,而阻抗继电器返回后不动作,也能保证重合成功。见表4项3图7。

因此可见瞬时性故障重合不成功要在两侧断路器的不同时合闸时间差小于 $35ms$ 才可能发生、而且机率是比较小的。

表 4 单回线 $K_2 B_0 R = 0$ 瞬时性故障

| 项号 | 录波图号 | 负荷电流 |    | 从故障到开关重合时间(mS) | 重合后 $Z_B$ 动作情况         | 重合后 $S X J$ 动作情况   | 重合后开关动作情况 | 结论    |
|----|------|------|----|----------------|------------------------|--------------------|-----------|-------|
| 1  | 290  | 4.2° | 机侧 | 1015           | 不返回                    | 停讯                 | 跳闸        | 重合不成功 |
|    |      |      | ∞侧 | 1015           | 5 m S 返回<br>15 m S 又动作 | 停讯                 | 跳闸        |       |
| 2  | 291  | 4.2° | 机侧 | 1015           | 6 m S 返回<br>11 m S 又动作 | 停讯                 | 跳闸        | 重合不成功 |
|    |      |      | ∞侧 | 1018           | 5 m S 返回<br>2 m S 又动作  | 停讯                 | 跳闸        |       |
| 3  | 292  | 4.4° | 机侧 | 1015           | 6 m S 返回               | ∞侧合闸后<br>40 m S 发现 | 不动作       | 重合成功  |
|    |      |      | ∞侧 | 1012           | 5 m S 返回               | 合闸后 38<br>m S 发现   | 不动作       |       |

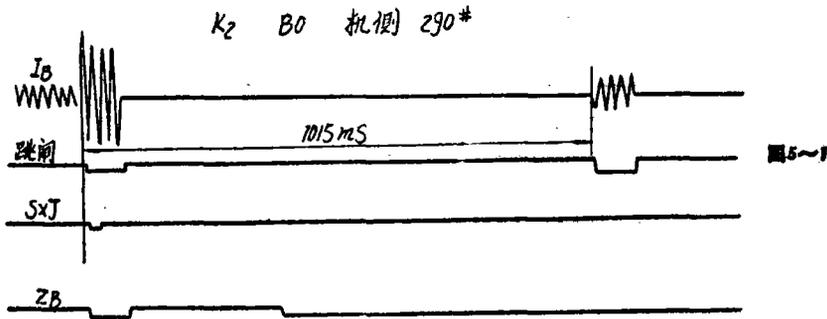


图5~1

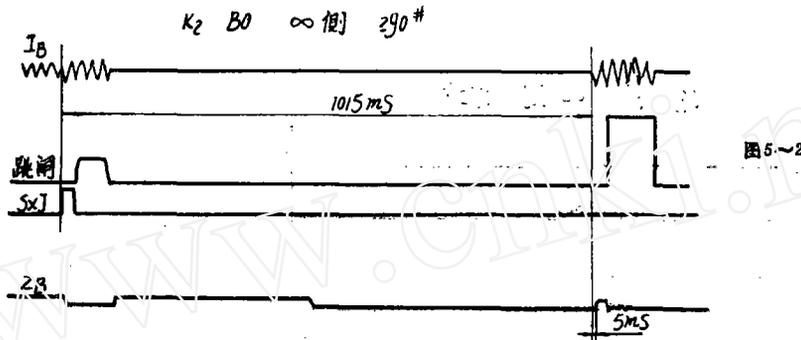


图5~2

图 5

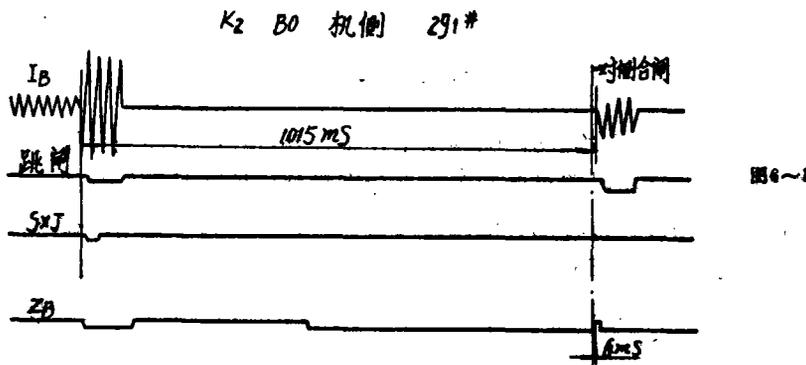


图6~1

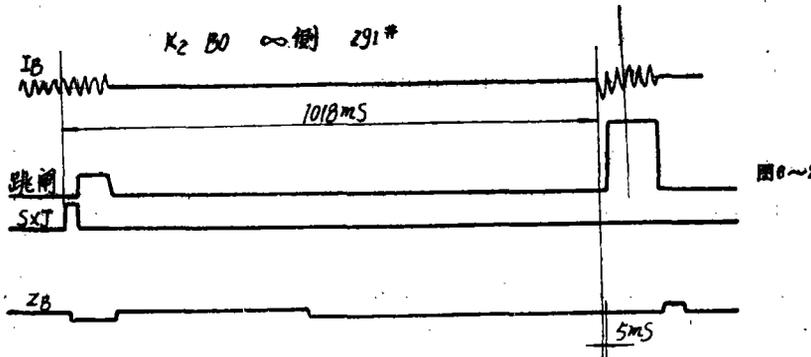


图6~2

图 6

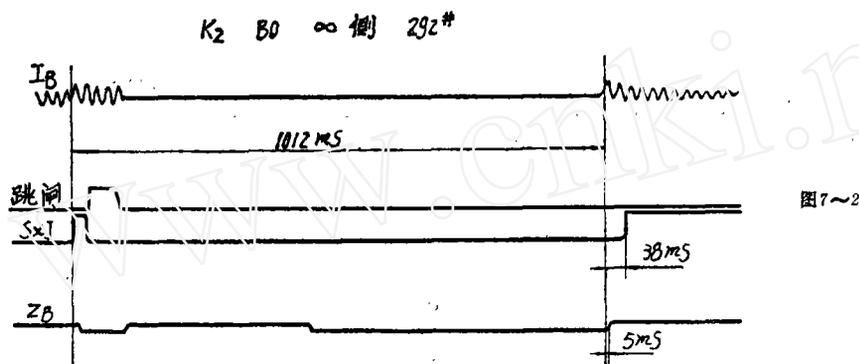
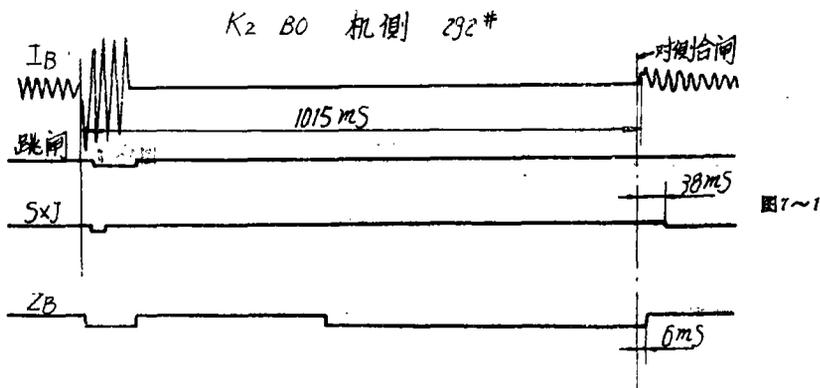
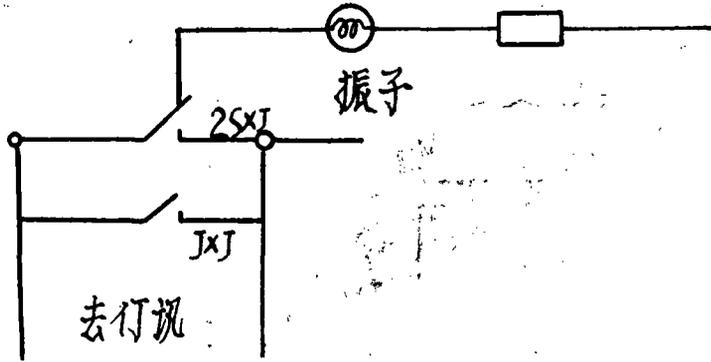


图 7

(4) 对于瞬时性故障重合成功, 除满足上述条件外, 还应考虑先合侧接地阻抗与相电流元件动作的配合。试验时曾对这两个元件分别录波以比较其动作时间。

在上述模拟系统下测得正常时电容电流为 $0.55^{\circ} \sim 0.65^{\circ}$ , 由于合闸, 暂态幅值可达2.5—3倍稳态值, 持续时间约 $30\text{ms}$ , 躲电容电流继电器 $1LJ_{A,B,C}$ , 整定在 $1^{\circ}$ 时几乎每次合闸都要动作, 测得其最快动作时间为 $20\text{ms}$ , 而重合后阻抗继电器常开接点返回时间 $6 \sim 8\text{ms}$ , 二者间隙 $12 \sim 14\text{ms}$ , 因此不会引起先合侧误跳闸现象, 而且根据整定值要求 $1LJ_{A,B,C}$ , 应整定为 $2^{\circ}$ , 合电容电流时不动作。因此, 它们之间的裕度是足够的。而且一般情况当 $P_T$ 在线路侧受电侧阻抗继电器在非全相时易误动, 送电侧阻抗继电器要送较大功率时非全相才误动, 因此如在送电侧先合闸的情况下, 上述问题可以不考虑。

6. 区外故障收发讯机远方闭锁: 为考验收发讯机远方闭锁的能力, 特做以下试验, 机组侧起讯回路解除 (即相当于发讯回路有故障不能发讯), 收讯回路延时输出, 即在收讯前一级 $BG_7$ 三极管上并联上电容 $G_x$ , 使远方启讯后经过一定延时收讯才有输出 (此收讯回路的延时是模拟通道延时), 系统侧短时发讯, 利用其本身 $2SXJ$ 常开接点与 $TXJ$ 接点并联来实现, 即:



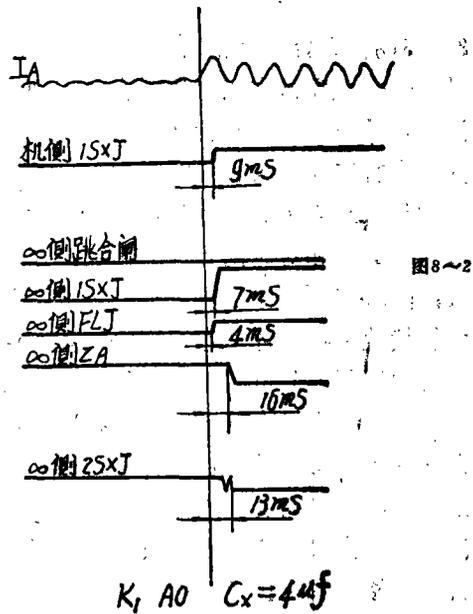
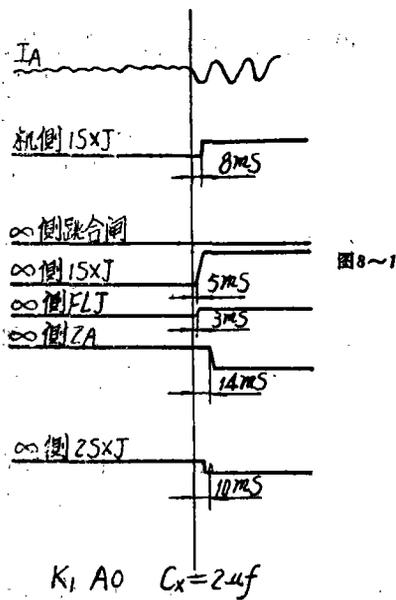
当区外 $K_1$ 点 $A0$ 故障, 系统侧收发讯机发讯并远方起讯, 机侧收到信号, 再发讯送回系统侧, 闭锁系统侧保护。

试验时 $C_x$ 用 $2\mu f$ 、 $4\mu f$ 、 $8\mu f$ 三种数值, 另别试验, 其结果见表5, 图8。

表 5

|          | $\infty$ 侧 $FLJ$ | $\infty$ 侧 $1SXJ$ | 机侧 $1SXJ$ | $\infty$ 侧阻抗 | $\infty$ 侧 $2SXJ$<br>收到机侧 | 闭锁  |
|----------|------------------|-------------------|-----------|--------------|---------------------------|-----|
| $C_x$    | 动作时间             | 动作时间              | 动作时间      | 动作时间         | 电位起讯时间                    | 效果  |
| $2\mu f$ | $3mS$            | $5mS$             | $8mS$     | $14mS$       | $10mS$                    | 可靠  |
| $4\mu f$ | $4mS$            | $7mS$             | $9mS$     | $16mS$       | $13mS$                    | 可靠  |
| $8\mu f$ | $4mS$            | $6mS$             | $11mS$    | $15mS$       | $22mS$                    | 不可靠 |

\*机侧 $1SXJ$ 动作延时不明显, 由于 $SXJ$ 动作电流 $3mA$ , 加入继电器的电流 $45mA$ 所致。



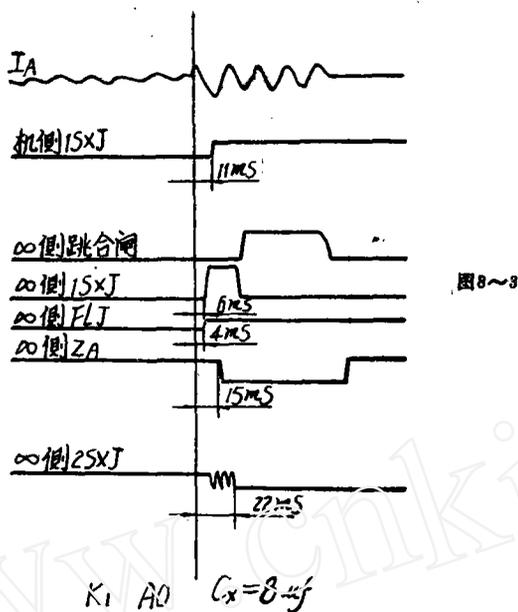


图 8

由表 5 和图 8 可看出在  $C_x = 4\mu f$  时, 机侧收讯电位延时为  $13ms$  时闭锁是可靠的。当  $C_x = 8\mu f$  时, 机侧收讯电位延时  $22ms$ , 就来不及闭锁了。

7.  $3V_0$  回路过电压, 由于  $PT$  接在线路侧, 当后合闸侧  $3V_0$  相位与先合闸送来的  $3V_0$  相差  $180^\circ$ , 则使后合侧  $3V_0$  二次过电压一倍以上。为此, 必须对有关元件和回路考虑  $3V_0$  过电压的影响。

8.  $3I_0$  在重合闸全相后衰减时间, 在重合后全相运行时另序电流衰减经常 出现较长延时。这一现象常在相电流重合时出现大的偏移电流时出现, 这时直流分量最大, 这种直流分量造成  $CT$  不对称产生另序电流, 随着相电流直流分量的衰减, 另序电流也消失。试验中曾出现最大衰减时间  $50ms$ , 另序 II 段, 另序 III 段均在此前面已返回。因此重合闸后经  $0.1'' FJJ$ , 分相后加速是没有问题的。

9.  $CT$  饱和对距离元件的影响: 在电网调度研究所做试验时, (其  $CT$  容量为  $20VA$ , 同时带二套保护屏,  $CT$  负担重) 曾出现单相出口短路的  $CT$  饱和波形畸变, 使故障相接地阻抗元件动作速度快到  $4ms$ , 非故障相出现抖动, 相间阻抗 I 段 III 段动作均有抖动过程, 分析原因可能是由于整流型距离元件比相输出没有固定的积分延时, 当波形畸变时产生较大的谐波分量, 造成短时抖动。

在许继所作动模时 ( $CT$  容量为  $40VA$ , 带一套保护屏), 在单相出口短路时, 电流波形没有明显的畸变, 未出现非故障相误动作情况。为了再次证实波形畸变的影响, 在电流回路人为接入  $8\Omega$  电阻负载, 此时在出口短路也出现波形畸变, 非故障相阻抗元件误抖动, 相间阻抗接点抖动的现象。因此采用电磁型  $CT$  须要考虑  $CT$  的容量, 而实

际500KV线路采用有气隙的CT，其饱和裕度比不带气隙的CT大。

10 带气隙CT对保护的影响：在许继所的动模试验中，用带气隙的二组CT也做了对比试验。模拟CT的参数按500KV有气隙的CT要求设计。其伏安特性的线性度较好，带负载17Ω电流到45°仍能保证10%的准确度。短路时波形也未出现畸变，开路后励磁阻抗为40Ω（不带气隙的CT励磁阻抗为1000Ω）。由于励磁阻抗小在短路电流大时引起电流继电器返回时间加长。特别录取了按电容电流动作的电流继电器2LJ<sub>A,B,C</sub>的返回时间如表6

表 6

| 短路电流(A)             | 39.2  | 25.2 <sup>*</sup> |
|---------------------|-------|-------------------|
| t <sub>A</sub> (返回) | 60ms  | 60ms              |
| t <sub>B</sub> (返回) | 130ms | 88ms              |
| t <sub>C</sub> (返回) | 85ms  | 55ms              |

与单元件试验，100°下2LJ返回时间为68.6—78.8ms相比较，返回时间加长了，但仍能返回，与跳闸后由TXJ延时返回0.3"—0.4"回路配合保证停讯不间断，时间配合的裕度是足够的。

在单相出口相继故障时，由于CT励磁阻抗小，已跳闸相的CT二次在其它相再故障时其分流电流，使跳闸相的2LJ<sub>A,B,C</sub>动作。此时再故障靠TXJ短延时返回回路保证再次跳闸，由TXJ长延时回路保证接续停讯。电流波形如图9。

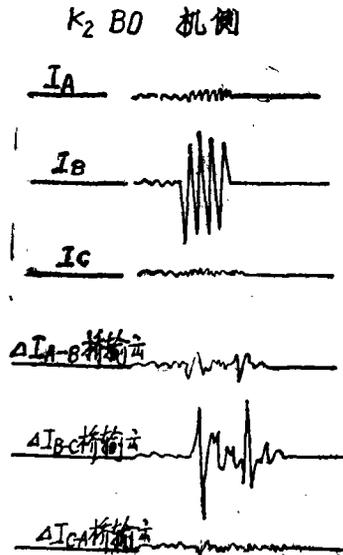


图 9

#### 四 双频率高频闭锁相间距离,另序电流保护和综合重合闸成套线路保护屏的试验情况

1. 接线及动作原理简要说明: 利用双频率收发讯机和Ⅲ段式相间距离、Ⅲ段式另序电流保护构成高频闭锁加速Ⅱ段跳闸方式, 其原理接线见图10。动作原理简要说明如下:

(1) 区内故障: 在第一段范围内,  $I_{01}$ 或 $Z_1$ 动作跳闸, 同时停讯, 对侧收不到闭锁信号时由 $I_{03}$ 或 $Z_1$ 瞬时跳闸。

(2) 区外故障: 任一侧第一段均不动作, 各发出闭锁信号, 闭锁对侧。

(3) 振荡时, 高频闭锁部分退出工作, 其余保护按一般情况继续工作。

(4) 单相跳闸过程中用相电流差突变量元件对运行中两相实行后加速直到重合闸复归为止, 三相跳闸时断开此回路。

(5) 故障相后加速仍然采取检查开关合闸有无故障电流的方式: 第一次跳闸后 $2LJ_{A,B,C}$ 接线停讯, 重合于故障已消除的线路上先合侧 $GPJ$ 动作且自保持一方面断开本身的跳闸回路, 另一方面,  $2LJ_{A,B,C}$ 动作,  $TXJ$ 返回, 使对侧接到闭锁信号, 直到重合闸复归为止。重合到有故障的线路 $GPJ$ 不动作, 先合侧跳闸, 并保持停讯保证对侧跳闸。

#### 2. 试验结果:

(1) 动作快速性: 区内各点各类故障均能瞬时跳闸, 其动作速度见表7

表 7

|     | 动作时间 (m.S.) |    | 门口 ( $K_2$ ) | 中点 ( $K_3$ ) | 末端 ( $K_4$ ) |
|-----|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
| 机组侧 | 相间故障        | 瞬时 | 17—28        | 19—30        | 20—30        |
|     |             | 永久 | 12—22        | 15—18        | 15—20        |
|     | 接地故障        | 瞬时 | 26           | 28—30        | 28—30        |
|     |             | 永久 | 12—14        | 13—20        | 12—20        |
| 系统侧 | 相间故障        | 瞬时 | 25—30        | 20—28        | 20—28        |
|     |             | 永久 | 12—20        | 15—18        | 10—12        |
|     | 接地故障        | 瞬时 | 30—35        | 32—35        | 30—35        |
|     |             | 永久 | 12—18        | 12—20        | 10—12        |

(2) 区内转换性故障能瞬时跳闸。

(3) 区外故障可靠不动作。

(4) 区内带接地电阻 $0 \sim 51^{\circ}$ 单相短路, 故障相能正确动作。带相间电阻 $R = 25^{\circ}$ 相间故障时, 距离Ⅰ段能动作, 使两侧瞬时跳闸。

(5) 静稳定或动稳定破坏引起振荡装置动作正确。

从试验结果可以看出成套保护装置性能与高频闭锁距离保护相同。



### 3. 相电流差突变量选相元件

相电流差突变量元件最早在东北系统某线路作为距离保护非全相振荡的振荡闭锁元件而使用。自1963年以来经十多年的运行表明它的动作是正确可靠的。在此基础上，经西北电力设计院建议，在500KV线路保护方案被用作选相元件。

其简单工作原理是，当单相故障，例如A相故障，非故障相电流差  $\dot{I}_B - \dot{I}_C$  是不变的，这可由以下简单分析看出。

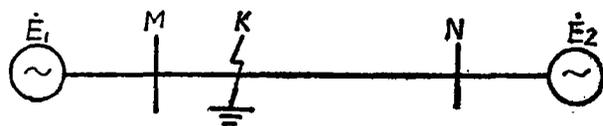


图 11

在图11系统中，设K点A相接地短路，短路点的各序电流为：

$$\dot{I}_{AK1} = \dot{I}_{AK2} = \dot{I}_{AK0} = \frac{\dot{E}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}$$

$$\text{式中 } \dot{E} = \frac{\dot{E}_1 (Z_{1CN} + Z_{1ANK}) + \dot{E}_2 (Z_{1CM} + Z_{1AMK})}{\Sigma Z_1}$$

$$Z_{1\Sigma} = (Z_{1CM} + Z_{1AMK}) (Z_{1CN} + Z_{1ANK}) / \Sigma Z_1$$

$$Z_{2\Sigma} = (Z_{2CM} + Z_{2AMK}) (Z_{2CN} + Z_{2ANK}) / \Sigma Z_2$$

$$Z_{0\Sigma} = (Z_{0CM} + Z_{0AMK}) (Z_{0CN} + Z_{0ANK}) / \Sigma Z_0$$

$$\dot{I}_{MA1} = \frac{(Z_{1AMN} - Z_{1AMK}) + Z_{1CN}}{\Sigma Z_1} \dot{I}_{AK1}$$

$$\dot{I}_{MA2} = \frac{(Z_{2AMN} - Z_{2AMK}) + Z_{2CN}}{\Sigma Z_2} \dot{I}_{AK2}$$

$$\dot{I}_{MA0} = \frac{(Z_{0AMN} - Z_{0AMK}) + Z_{0CN}}{\Sigma Z_0} \dot{I}_{AK0}$$

$$\dot{I}_{MB1} = \alpha^2 \dot{I}_{MA1} \quad \dot{I}_{MC1} = \alpha \dot{I}_{MA1}$$

$$\dot{I}_{MB2} = \alpha \dot{I}_{MA2} \quad \dot{I}_{MC2} = \alpha^2 \dot{I}_{MA2}$$

$$\dot{I}_{MBO} = \dot{I}_{MCO} = \dot{I}_{MA0}$$

$$\dot{I}_{MB}^{(1)} = \dot{I}_{MB1} + \dot{I}_{MB2} + \dot{I}_{MBO}$$

$$\dot{I}_{MC}^{(1)} = \dot{I}_{MC1} + \dot{I}_{MC2} + \dot{I}_{MCO}$$

设负荷电流为  $\dot{I}_N$  则非故障相电流差为

$$\dot{I}_{MB} - \dot{I}_{MC} = (\dot{I}_{MBH} + \dot{I}_{MB}^{(1)}) - (\dot{I}_{MCH} + \dot{I}_{MC}^{(1)})$$

$$= \dot{I}_{MBH} - \dot{I}_{MCH} + \dot{I}_{MB}^{(1)} - \dot{I}_{MC}^{(1)}$$

$$= \dot{I}_{MBH} - \dot{I}_{MCH} + \alpha^2 \dot{I}_{MA1} - \alpha \dot{I}_{MC1} + \alpha \dot{I}_{MA2} - \alpha^2 \dot{I}_{MA2}$$

• 38 •

$$\begin{aligned}
&= \dot{I}_{MBH} - \dot{I}_{MCH} + \alpha^2 \dot{I}_{AK1} \left[ \frac{(Z_{1AMN} - Z_{1AMK}) + Z_{1CN}}{\Sigma Z_1} \right. \\
&\quad \left. - \frac{(Z_{2AMN} - Z_{2AMK}) + Z_{2CZ}}{\Sigma Z_2} \right] + \alpha \dot{I}_{AK1} \left[ \frac{(Z_{2AMN} - Z_{2A}) + Z_{2CN}}{\Sigma Z_2} \right. \\
&\quad \left. - \frac{(Z_{1AMN} - Z_{1AMK}) + Z_{1CN}}{\Sigma Z_1} \right]
\end{aligned}$$

若线路阻抗  $Z_{1A} = Z_{2A}$ , 系统阻抗  $Z_{1C} = Z_{2C}$ , 则式中后两项为 0, 即非故障相电流差没有变化, 实际上系统阻抗包括变压器阻抗和发电机阻抗变压器正序阻抗和负序阻抗相等, 旋转电机在短路瞬间正序阻抗和负序阻抗是相等的。以上条件成立。因此, A 相故障只有与故障相有关的  $\dot{I}_A - \dot{I}_B$  和  $\dot{I}_C - \dot{I}_A$  两个突变量元件动作, 实现了选相的作用。

突变量元件利用两个电感电容并联谐振桥平衡回路构成。在正常稳态时, 调整到桥输出为另, 当电流出现突变时, 两个桥臂电容相当于短接, 即有最大输出, (输出值要用暂态计算方法求得) 执行元件即动作。其接线如图 12 所示。

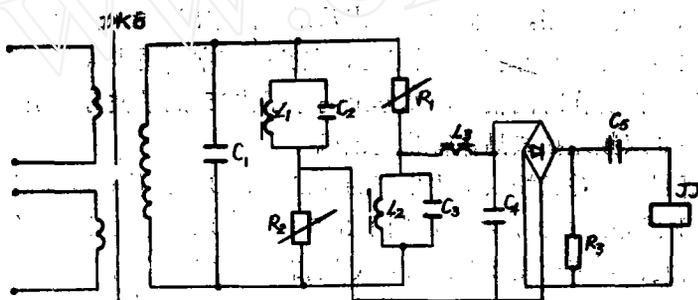


图 12

经试验在双侧电源, 各种负荷条件下, 各短路点单相故障, 非故障相电流差突变量元件均可靠不动作; 在非全相过程中, 或重合于永久性故障均可靠不动作, 即使在最严重的非同期重合闸引起系统振荡的情况下, 也可靠不动。因此可以认为这种新型的突变量元件简单, 可靠, 作为选相元件是比较理想的。

在单侧电源空线路, 由发电机供电, 出口单相短路, 非故障相选相元件曾出现几次误动作, 见图 13, 从电流波形看非故障相的电流在短路时几乎完全变成高次谐波分量。从突变量元件谐振桥回路输出端的波形看, 非故障相有输出量。其大小如在动作边缘有振动的可能。出口经  $1^\circ$  电阻接地误动作的百分数减少, 经  $5^\circ$  电阻接地, 或带一部分线路阻抗接地就不出现误动, 此时波形正常。

对造成以上误动作的原因以及在实际系统, 是否可能出现有待进一步研究, 即使在单侧电源空载线路的情况下, 出现误动作对系统也不致造成很大的损失。

此外, 应指出的是, 应该注意系统负荷的突然波动, 如达到动作值, 突变量元件要动作。

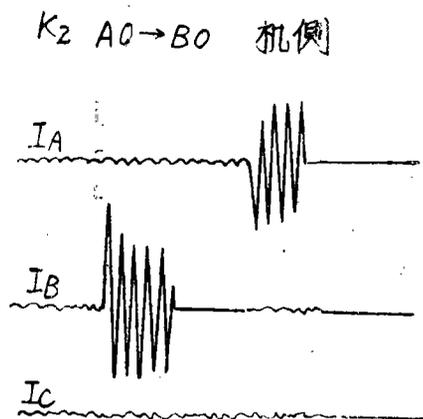


图 13

#### 4. 功率方向继电器的试验

另序功率方向继电器在双侧电源各种负荷、各种接地短路时均有明确的方向性。

在单侧电源反方向短路，方向元件接点从录波图中出现短时抖动，主要是由于电容放电引起的高次谐波（约150周）所引起的。在试验室中利用了稳压管箝住，抑制了尖峰，同时也使继电器动作时间稍慢，基本上消除了由150周谐波分量引起的误动。

#### 5. SF—6 双频差拍式晶体管收发讯机

在我们已研制成功并已投入正式生产的 SF—5 B 型晶体管收发讯机的基础上，为配合构成 500 K V 线路主保护，我们研制了 SF—6 型双频差拍式晶体管收发讯机。它的主要特点是两侧发讯频率相差 2 K H Z，（只占用一个通道），收讯机只收对侧信号而不收本侧信号。接收方式采用外差式，其本振信号取自本侧发讯部分振荡级的信号。差频信号（2 K H Z）由一  $\pi$  型 2 K H Z 带通滤波器选出。此外，发讯机的启动还增设了远方启动回路。

该装置于 1978 年初研制，并于当年试制出样机，1979 年 6 月配合 500 K V 线路保护进行了动模试验。试验证明，该装置的主要技术性能都达到了设计的要求。

装置原理接线图如图 14 所示，下面对其工作原理与所达到的技术性能作一简要介绍。受水平之限，错误在所难免，敬希对本装置感趣者惠然批评指正。

#### （一）工作原理

##### I、发讯部分：

发讯部分主要由控制电路，振荡电路，放大电路，功放电路以及输出回路等部分组成。

##### （1）振荡电路

振荡电路由晶体管  $BG_4$ 、 $BG_5$  构成两管石英晶体振荡器， $BG_4$  与  $R_{13}$ — $R_{16}$  构成共基极放大电路、 $BG_5$ 、 $R_{15}$ 、 $R_{16}$ ，构成共集电极放大电路。石英晶体管  $SJT$  串于这两极间正反馈电路中，以完成选频和稳频作用。其中  $C_{11}$  用作校准频率， $R_{17}$  用作

调整反馈量大小, 反馈量太小, 振荡不可靠甚至停振, 反馈量太大, 振荡波形将严重失真。

振荡电路的输出信号由 $R_{13}$ 上选出, 一部分经 $C_{12}$ 、 $R_{10}$ , 送至发讯部分放大电路放大, 另一部分则经 $C_{31}$ 送至收讯部分, 用作收讯外差接收的本振信号。

### (2) 放大电路:

电 $BG_6$ 和 $BG_7$ 构成发讯部分的两级放大电路, 这两级皆是以变压器耦合输出的典型甲类共发射极放大电路,  $R_{21}$ 、 $R_{28}$ 、 $R_{29}$ 用于确定放大器的工作点,  $R_{22}$ 、 $R_{23}$ 、 $R_{24}$ 、 $R_{30}$ 、 $R_{31}$ 、用于稳定放大器工作点,  $C_{14}$ 、 $C_{17}$ , 用于补偿低频段的阻抗匹配关系, 以获得有效的传输性能。

$BG_6$ 构成的放大电路除放大作用之外, 还将受到控制电路的控制, 以完成发讯部分的控制作用。

### (3) 控制电路

由 $BG_1$ 、 $BG_2$ 、 $BG_3$ 、构成的电路称作控制电路, 它们皆工作在开关状态。当没有启动信号加上 $F_{10}$ 与 $F_{11}$ 端子时,  $BG_1$ 与 $BG_3$ 处于导通状态,  $BG_2$ 处于截止状态。由于 $BG_3$ 导通, 将迫使 $BG_1$ 从放大状态进入截止状态, 发讯部分即处于待发状态。当 $F_{11}$ 端引入一足够大正电位信号时,  $BG_2$ 将由截止变导通,  $BG_3$ 由导通变截止。 $BG_3$ 一截止,  $BG_1$ 即转入正常放大状态, 发讯部分也即处于发讯状态。

控制电路中的远方启动作用是由 $BG_1$ 、 $C_0$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 等元件完成的。正常状态下,  $BG_1$ 导通,  $C_0$ 上充满 $18V$ 电压, 当收讯部分收到信号而工作的,  $F_{11}$ 端得到 $0V$ 信号, 由于 $C_0$ 上电压不能突变,  $D_0$ 的正端立即感受一个比 $0V$ 低 $18V$ 的电位, 故使 $BG_1$ 立即由导通变截止,  $BG_2$ 相应变导通,  $BG_3$ 则相应变截止, 发讯部分即处于发讯状态。 $BG_1$ 截止后,  $C_0$ 将通过 $R_3$ 放电。放电过程中 $D_0$ 正端电位不断升高, 约 $9s$ 左右,  $BG_1$ 将恢复导通, 发讯也即停止。

在发讯过程中, 如在 $F_{10}$ 端引入一足够大正电位信号,  $BG_3$ 将立即进入导通状态, 发讯过程也即刻停止。

控制电路中的按钮 $AN_1$ 用于解除远方启动, 以便于两侧进行通道检查。按钮 $AN_2$ 用于试验中作手动启动发讯之用。

### (4) 功放电路:

晶体管收发讯机中的功放电路是整套装置中的重要部分, 但也是一个薄弱的环节。因为功放管的易损坏以及其电源的供给是多年来存在的关键难题。

本装置采用的是我所研制的 $SF-5B$ 型收发讯机的功放电路, 该电路是根据收音机中常用的互补电器原理改进设计的, 它采用截止频率较低( $f_T = 5-10MHz$ )的高反压( $BV_{ce} > 600V$ )大功率晶体管接成对直流为串接式的乙类推挽电路。采用截止频率低、击穿反压高的目的有二, 一是可直接采用 $220V$ 电流供其电源, 而不需要复杂的特殊供电设备, 这不仅简化了装置, 而且将排除了由电源供给设备的问题而造成保护的不可靠性; 二是利用保护元件有效保护功放管, 使其不受过电压击穿损坏。

对直流接成串接式, 见原理图中的 $BG_8$ 、 $BG_9$ , 将使功放管在工作过程中截止管

所承受的电压比普通并接式电路降低一半。并接式推挽电路工作中，截止管承受电压约为电源电压的两倍，而串接式仅为电源电压，这对提高功放管工作可靠性是有利的。

该功放电路自75年研制成功之后，已经有二十多台产品投入电力系统运行。多年来的实践证明，该功放电路能够经受得起发讯状态下负载突然开路或短路，试验中的过载与寄生振荡，实际运行中的操作过电压及雷电波等干扰考验。至今为止，由于过电压干扰而造成的功放管损坏现象还没有发生过。因此可以认为，该电路比较成功地解决了上述两个关键问题。

本装置中，由高反压管  $BG_3$ 、 $BG_4$  构成直流串接式乙类推挽功放电路，输入变压器  $B_2$  的次级将输入信号变成两个相位相反，幅值相等的信号推动功放管推挽工作。 $B_2$  的初级并接一个由  $D_{15}$ 、 $D_{16}$  组成的双向限幅器，其作用一是避免输入到功放级的信号幅值过高而损坏功放管；二是使功放级以近似矩形波推动而提高其效率。电阻  $R_{22}$ 、 $R_{21}$  用于稳定功放电路的工作状态，消除可能产生的寄生振荡。二极管  $D_{17}$ 、 $D_{18}$  起箝位作用，用于保护功放管。浪涌吸收器  $R_{Y2}$  是具有硅稳压管特性的非线性元件，并接于功放电源上，用于吸收从电源部分传来的过电压干扰，使此干扰不致危害功放电路的正常工作。

#### (5) 输出回路

发讯部分的输出回路包括输出滤波器，衰减器，保护元件、测量电路与模拟负荷。

输出滤波器为电感  $L_1$  与电容  $C_{21}$  组成的简单串联谐振电路，调谐于发讯工作频率上，保证以正弦波发送到高频通道上，以防止谐波分量对相邻通道的影响。

衰减器由  $R_{39}$ — $44$  组成的两组衰减值分别为  $0.6N$  和  $0.3N$  的  $T$  型衰减器。当装置采用单频率工作（即两侧发讯频率相同）而又用于短线路保护时，由于通道衰减很少，收讯部分接收到的本侧信号与对侧信号相比，幅值相差无几，这就可能产生差相现象引起两侧信号抵消而影响保护的正确动作。为了避免这种情况，可接入适当衰减值的衰减器，以保证收讯机收到的本侧信号幅值最少应为对侧信号的幅值的两倍。

浪涌吸收器  $R_{Y1}$  是发讯部分的主要保护元件，用于吸收从通道部分传来的过电压干扰，以阻止这种干扰损坏机内元件。

测量电路包括高频电压与高频电流的测量，测量原理是将高频量通过二极管整流变成直流量，再通过按钮由直流表头指示。 $D_{19}$ 、 $D_{20}$  用于测量高频电压， $D_{21}$ 、 $D_{22}$  用于测量高频电流。在测量高频电压电路中，用  $R_{46}$  和  $R_{47}$  改变其量程，以便于区别测量本侧高频电压和对侧高频电压。

模拟负荷  $R_{33}$ 、 $R_{34}$  组成近似无感的  $100\Omega$  负荷，用于试验中模拟高频通道的特性阻抗。

#### II：收讯部分

收讯部分包括桥接电路、收讯入口滤波器、收讯放大电路、混频电路、 $2\text{KHz}$  带通滤波器，检波电路及收讯输出电路。

#### (1) 桥接电路

由于本装置采用双频率工作，收讯部分应不收本侧信号，为在阻止本侧强信号对收

讯部分的影响，在信号进入收讯部分之前接入了一个桥电路，它由发讯部分的输出变压器  $B_3$  的次级、平衡电阻  $R_4$  及通道特性阻抗  $R_T$  构成一平衡电桥。（如图15所示）调整平衡电阻  $R_4$  之值，可使电桥平衡，此时在本侧发讯时，本侧信号加于电桥的  $AC$  两点， $BD$  两点处于同电位， $B_4$  无信号输出。而对侧信号是加在电桥的一个单臂上的（ $AD$  两点），电桥平衡破坏，故可通过  $B_4$  而进入收讯部分。

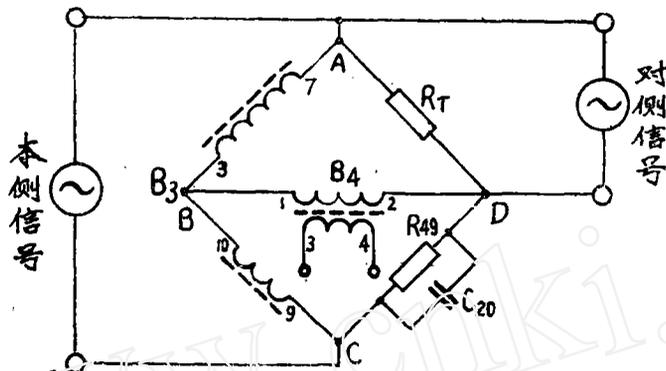


图 15

由于通道特性阻抗是分布参数，电桥不可能获得绝对平衡。也就是说这种桥接电路不可能完全阻止本侧信号进入收讯部分，即只是对本侧信号有一个很大的衰耗作用，使之漏入收讯机的本侧信号不致影响收讯的正常工作。电容  $C_{20}$  可使平衡电阻  $R_4$  臂的阻抗性质与通道特性阻抗  $R_T$  的性质接近相同，使电桥平衡性更好，以更有效的阻止本侧信号漏入收讯部分。 $B_4$  起阻抗变换作用，保证收讯入口滤波器有较高的  $Q$  值。

### (2) 收讯入口滤波器：

该滤波器采用已为大家熟悉的收讯滤波器，它由  $L_2$ 、 $L_3$ 、 $C_{22}$ 、 $C_{25}$  组成电容藕合双调谐回路，调谐于对侧信号频率上，用于抑制镜像频率干扰。

关于这种滤波器的介绍资料很多，我们在1976年第三期“继电器”杂志上介绍  $SF-5$  型收发讯机时也作了简要介绍，这里就不再重述了。

### (3) 收讯放大电路：

收讯放大电路由  $BG_{10}$  构成阻容耦合输出的共发射极放大电路，在此放大电路前接入了  $R_{64}$  用于调整收讯灵敏度的大小。 $R_{63}$ 、 $AN_2$  用于通道检查时人为引入一定的衰减，以检查通道的裕度量。热敏电阻  $R_{61}$  用于补偿温度变化对收讯灵敏度的影响。

收讯机的混频作用是由  $BG_{11}$  完成的。对侧信号经  $BG_{10}$  放大后通过  $C_{29}$  引到  $BG_{11}$  基极。本振信号取自发讯部分振荡级，由  $C_{31}$  引入经  $BG_{12}$  构成的射极输出器加于  $BC_{11}$  的发射极。 $R_{62}$  保证  $BG_{11}$  工作于非线性区以完成混频任务。对侧频率信号与本侧频率信号经  $BG_{11}$  混频后，其输出信号中除包含有对侧频率和本侧频率信号成分外，还包含有两侧频率之和与之差的频率信号。我们需要的是差频信号，它将由  $2KHZ$  带通滤波器选出。

$BG_{12}$  射极输出器用于减少收讯部分对发讯部分振荡级的影响。

### (5) 2 KHZ带通滤波器:

由 $L_{4-7}$ ,  $C_{33-36}$ 组成 $\pi$ 型带通滤波器,其谐振频率为2KHZ,通过频带为400HZ,它具有较陡峭的频率特性和较大的阻带衰耗,以保证收讯机有足够的选择性和抗干扰性能。

### (6) 收讯检波电路:

收讯检波采用了 $D_{23-26}$ 组成的桥式电路。采用桥式电路的优点在于能够用较少的滤波电容 $C_{30}$ ,以提高动作速度。

### (7) 收讯输出电路:

收讯输出电路由 $GB_{15}-BG_{18}$ 构成一个具有良好跃变特性的开关电路。其中 $BG_{15}$ 具有微分放大作用,以提高动作速度; $C_{42}$ 、 $R_{37}$ 起反馈作用,以增强开关特性的陡削度。

当收讯机需要以接点形式输出时,可用收讯继电器 $SKJ$ 作收讯输出管 $BG_{18}$ 的负载。考虑到此时在 $SKJ$ 断电时线圈两端产生很高的反电势而可能对 $BG_{18}$ 造成危害,除 $BG_{18}$ 选用高反压中功率晶体管外,又在其 $c-e$ 之间接入一对稳压管保护它。 $D_{33}$ 、 $D_{34}$ 串联后稳压值约为45—50V,实验证明这样的数值对收讯继电器动作返回时间影响很小。

## (二) 主要技术性能

(1) 直流电源电压: 220V或110V;

(2) 工作频率范围: 30KHZ~300KHZ;

(3) 输出功率: 40W—60W;

(4) 残余电压: 少于10mV;

(5) 收讯灵敏度: 可在1—3V范围内调整;

(6) 桥接电路抑制本侧信号能力: 大于4N;

(7) 抑制镜象干扰能力: 10倍于收讯灵敏电压的镜象干扰不致影响收讯机的正常工作;

(8) 2KHZ带通滤波器的主要性能;

①通频带: 400HZ(1.8KHZ—2.2KHZ);

②阻带(0~1.5KHZ, 2.5KHZ~ $\infty$ )衰耗: 大于3.5N;

③特性阻抗: 150 $\Omega$ ;

(9) 收讯输出陡度:

收讯饱和始点电压与灵敏始点电压之比小于1.2;

(10) 总动作时间:

不计收讯继电器的动作时间,在两倍收讯灵敏电压下,本装置总动作时间小于2ms。

## 五 几点看法和建议

从试验中得到以下几点看法:

1. 高频闭锁距离保护和另序综合重合闸整套线路保护性能是优良的。在全线范围内保护动作速度不大于 $30\text{ms}$ ; 在重负荷, 有较大接地电阻的条件下, 正方向故障都能可靠动作, 反方向故障可靠不动作。

2. 接地距离保护和相电流差突变量选相元件都有可靠的选相能力。接地距离保护有明确的方向性。

3. 在故障全过程均能快速跳闸。

4. 只要两侧断路器不同时合闸的时间大于或等于 $35\text{ms}$ 保证瞬时性故障重合成功, 而由于两侧保护装置动作时间, 断路器的跳合闸时间总有一定的差异, 合闸时间差小于 $35\text{ms}$ 的几率是很少的, 而且即使合闸时间差小于 $35\text{ms}$ 也不是全部重合不成功, 因此认为瞬时性故障重合成功率是高的。如果三相断路器不同时合闸时间能保证到 $10\text{ms}$ 以内, 允许不同时合闸时间。可以缩短到 $25\text{ms}$ , 则重合成功率会更高。

5. 对于单通道双频率高频闭锁相间距离保护与另序电流保护和综合重合闸成套线路保护也具有上述同样的性能。因为没有接地距离, 回路相对要简单些。

高频闭锁距离保护与另序电流综合重合闸成套线路保护的样机即将送到现场运行, 以便进一步完善和积累运行经验。

鉴于相电流差突变量选相元件是一个新元件, 虽然有一定的运行经验, 但作为选相元件还是第一次。为了在 $500\text{KV}$ 线路运行以前在更大一些范围内考验其性能, 建议在目前 $220\text{KV}$ 系统(特别是靠近水电厂和火电厂附近)中运行, 只需将现有 $ZZC-4$ 综合重合闸装置中的阻抗元件改为相电流差突变量选相元件即可。

对于双频率高频闭锁方案, 亦可在 $220\text{KV}$ 系统距离另序保护屏基础上增加相电流差突变量选相元件、单通道、双频率收发讯机和简单的停讯回路, 即可实现, 欢迎有关单位试用。