

福建 1992 年 11 月 1 日一次故障得到的几点启示*

许昌继电器研究所 朱景云

笔者于去年 12 月份到福建电力局惠安和笏石变电站与设计院的同志一起检查 220kV 笏石—惠安 I 回线上微机保护工作的情况。有机会了解到 1992 年 11 月 1 日在 220kV 林中至笏石 II 回线上发生故障时保护动作情况。与他们共同试验微机保护与收发信机的动作特性,得到了几点启示。或许会对今后微机保护运行有参考意义,特将它整理出来加以介绍。限于水平,希望得到专家们批评指正。

1992 年 11 月 1 日 17 时 14 分(此为惠安侧记录,笏石侧记录为 1992 年 11 月 1 日 17 时 16 分)在 220kV 林中至笏石 II 回线上距林中侧 6 号杆塔 C 相铁梯翻倒缩小对地距离,引起一次永久性对地故障,两侧保护正确动作将故障

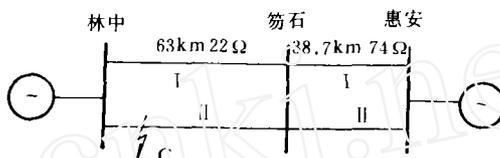


图 1 林中—笏石—惠安系统图

线路切除。但在自动重合到故障线上时林中 II 回正确切除三相,而 220kV 笏石到惠安 I 回线上惠安侧的高频微机零序电流方向保护误动作,单侧跳开 C 相并自动重合闸成功。当林中 II 回线在笏石侧强送时因故障未消除,惠安侧高频微机零序电流方向保护又误动作跳闸重合闸成功一次。但当林中 II 线在林中侧强送到故障线路上,则惠安侧的高频微机零序电流方向保护正确地没有动作。这两次保护动作虽不正确,但由重合闸成功,不曾造成扩大跳闸的后果。此

时间内命令信号能返回实验站,则实验成功,发光二极管亮,紧接着完成第二、第三、第四命令信号的测试。若装置异常或通道中断(衰耗过大)将给出告警信号,另外,为了便于值班员的日常监护,F6 装置设有远方环路测试控制端子,可在值班室进行环路测试整个传输系统。

7 结论

综上所述,该装置在总体设计及电路原理方面,结合国内继电保护的特点,吸收了国外最新产品的先进技术原理,采用了最新集成电路及元器件,经国家继电器检测中心测试,证明方案可行,各项技术性能指标达到国外最新产品的水平,克服了国内该类产品抗干扰能力差,电路不稳定的缺陷,该装置的研制和生产将会进一步推动我国电力线载波复用技术的应用和发展,为电力系统继电保护和安全自动装置提供更加安全、可靠的信息传输通道。

参 考 文 献

- 1 Measure To Avoid Misinterpretation of Teleprotection Signals in spite of Noise and Disturbance in Power Line Carrier. Erwin Schumm Siemens AG
- 2 郑学生. 继电保护信号在音频复用通道中的可靠传输. 继电器, 1989, 1
- 3 SWT500F6 System with F6 Modulation for Transmission of Protection Signals for Direct or Indirect Remote Tripping. Siemens AG Documentation File.
- 4 Performance and Testing of Teleprotection Equipment of Power System, IEC 834—1 1988.

* 本文 1993 年 3 月收稿

时系统接线如图 1 所示。石惠 I 回线两侧 C 相电流 $3I_0$ 、电压 $3U_0$ ，打印记录见表 1。绘制的波形图见图 2。

表 1

t (ms)		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	6	8	10	11	12	13
1992. 11. 01, 17: 14 记录惠 安侧故障数据	I_c				-1.45	-2.72	0.80	3.69	6.88	8.00	3.84	-4.00	-8.19	-7.22	-4.00	-0.32
	U_c				40.0	61.6	52.3	36.0	23.1	4.00	-32.8	-37.3	5.10	15.1	31.5	39.8
	$3I_0$				-0.16	0.16	1.92	4.16	4.50	-0.32	-4.97	-5.28	-3.05	-0.16	2.41	
	$3U_0$				-0.60	-13.9	-28.6	-26.1	-9.10	11.9	43.8	26.4	-14.4	-33.0	-43.0	-4.00
1992. 11. 01, 17: 25 记录 惠安侧第一次 强送数据	I_c				-0.16	-1.60	-1.45	-0.16	1.92	4.50	7.38	4.81	-0.64	-3.05	-4.31	-4.00
	U_c				-18.3	10.6	35.6	51.5	54.3	42.5	-9.10	-50.5	-41.6	-18.0	9.40	34.3
	$3I_0$				-1.28	-0.92	0.48	2.08	3.84	5.13	4.50	0.64	-3.05	-3.53	-2.89	-1.28
	$3U_0$				4.70	-10.3	-22.3	-26.6	-24.6	-17.3	14.7	33.3	19.4	4.20	-11.9	-25.0
1992. 11. 01, 17: 16 记录笏 石侧故障数据	I_c	-3.53	-2.08	-0.32	1.6	2.56	0.16	-4.00	-7.06	-8.19	-4.00	4.97	8.81	7.53	4.16	-0.16
	U_c	-66.5	-33.8	7.50	46.6	60.3	43.5	28.3	17.5	2.40	-26.6	-28.6	-2.60	13.0	25.5	31.4
	$3I_0$	0.00	0.16	0.16	0.00	-0.48	-2.25	-4.16	-4.97	-4.50	0.32	5.13	4.27	2.89	0.00	-2.89
	$3U_0$	0.30	-0.30	-0.30	-0.60	-26.6	-51.5	-32.0	-15.0	18.3	60.5	45.8	-19.8	-50.8	-68.5	-65.5
1992. 11. 01, 17: 27 记录 笏石侧第一次 强送数据	I_c	-3.20	-3.36	-2.08	0.00	1.60	1.60	0.16	-1.92	-9.50	-7.69	5.13	0.32	2.89	4.16	3.84
	U_c	-74.5	-74.5	-51.0	-16.0	11.1	43.5	47.5	42.3	33.0	-9.00	-42.3	-36.8	-15.1	9.90	32.0
	$3I_0$	0.00	0.00	0.48	0.96	0.8	-0.32	-2.08	-3.84	-5.15	-4.66	-0.80	2.89	3.20	2.72	1.28
	$3U_0$	0.00	4.40	15.3	9.40	-14.4	-35.0	-44.0	-43.8	-33.0	18.9	51.8	35.3	11.9	-14.1	-36.3
1992. 11. 01, 18: 12 记录 笏石侧第二次 强送数据	I_c	-2.56	-1.77	-0.64	0.64	1.92	1.98	-1.28	-4.31	-6.09	-4.50	1.92	6.60	6.41	4.81	1.92
	U_c	-79.0	-58.0	-21.0	20.1	56.0	62.5	47.0	34.5	16.0	28.0	-44.8	-15.9	6.90	28.3	42.0
	$3I_0$	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	-0.64	-1.77	-3.05	-3.20	-0.96	2.56	3.53	2.72	1.28	-0.64
	$3U_0$	0.00	-0.30	-0.60	-0.30	-0.60	-22.5	-38.3	-23.6	-1.70	37.5	38.5	1.40	-21.1	-38.0	-43.8

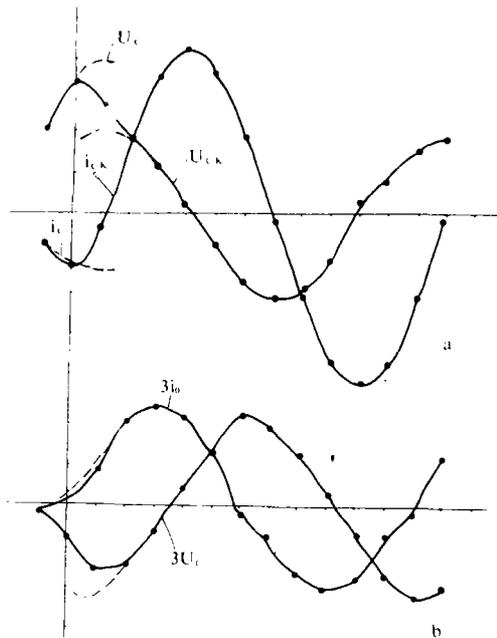


图 2 a、b 石惠 I 回惠安侧故障时波形
图 2 a、b 石惠 I 回惠安侧故障时波形 19A，偏移 0.3A 有效值约 6.01A，而惠安侧 C 相短路电流峰值约 16.19A，偏移约 0.095A，有效值约 5.72A，两侧短路电流接近相等。因为接近 90° 短路所以电流偏移不明显。

c. 从波形图中大致可看到接地短路开始有较大接地电阻，C 相电压约到 140° 已基本上稳

1. 图 2a、b、c、d 为林石 II 回线 C 相故障时笏石 I 回线分别是惠安，笏石两侧的 C 相电压电流 $3U_0$ 、 $3I_0$ 波形图。从两侧波形图中看到以下几点。

a. 短路前负荷电流峰值约 4.00A，有效值约 2.83A，两侧负荷电流接通相等（惠安侧峰值约 3.87A，有效值约为 2.74A）。短路瞬间 C 相电流瞬时值笏石侧为 2.56A，惠安侧为 2.72A，其中都可能包括有对地放电电流。笏石侧 C 相负荷电流滞后 C 相电压约 15° 为送端性质；惠安侧 C 相负荷电流超前 C 相电压约 165° 为受端性质。短路约在 C 相电压 60° 之后出现，有 $3U_0$ 电压，开始对地放电。从 C 相电流波形中看到有明显相位变化。稳定后 C 相短路电流笏石侧超前 C 相电压约 100° 为反方向短路；而惠安侧滞后 C 相电压约 80° 为正方向短路。

b. 笏石侧短路时 C 相短路电流峰值约

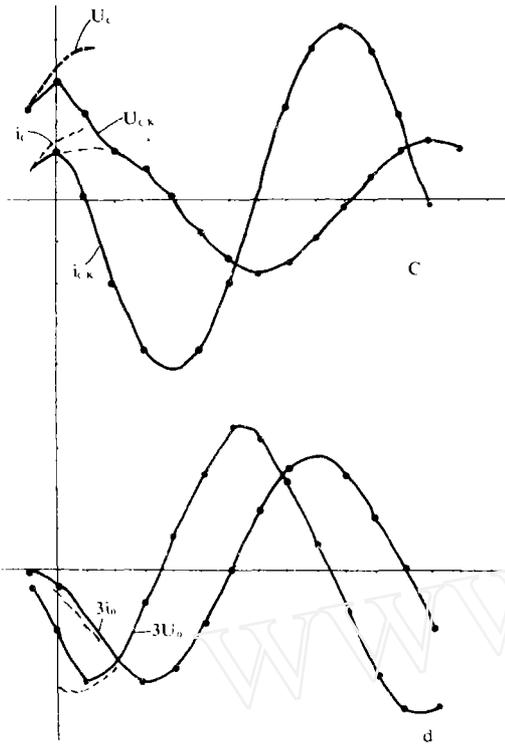


图 2 c、d 石惠 I 回笏石侧故障时波形定接地。

d. 两侧看到的短路阻抗分别为笏石侧 $3.68\Omega/\Phi$ ，惠安侧 $4.99\Omega/\Phi$ (未计及 $3I_0$ 的补偿作用)。

2 图 2 e、f、g、h 为林石 II 回线笏石侧第一次强送合到故障线路上，石惠 I 线两侧的 C 相和 0 相波形图。从波形图中看到以下几点：

a. 强送前负荷电流稍有减少。负荷电流，短路电流两侧相角大致与故障时相同。两侧负荷电流有效值约 $2.5A$ 。

b. 第一次强送时 C 相电压约在 275° ，还未合上已有 $3U_0$ 。已开始对地放电，C 相电压约 10° 重合到故障线路上，到 C 相电压约 350° 对地放电已基本稳定。从 $3I_0$ 波形图中看到，接地开始有较大接地电阻。

c. 重合到故障线路上瞬间，笏石侧 C 相电流瞬时值约 $1.6A$ ，C 相短路电流峰峰值约 $11.85A$ ，偏移约 $-1.77A$ ，有效值约 $4.19A$ ，C 相电压峰峰值约 $97.3V$ ，偏移约 $+0.65V$ ，有效值约 $34.41V$ ；惠安侧 C 相电流瞬时值约 $1.6A$ ，C 相短路电流峰峰值约 11.69 ，偏移约 $+1.535A$ ，有效值约 $4.13A$ ，C 相电压峰峰值约 $107.8V$ ，偏移约 $-10.4V$ ，有效值约 $38.1V$ 。

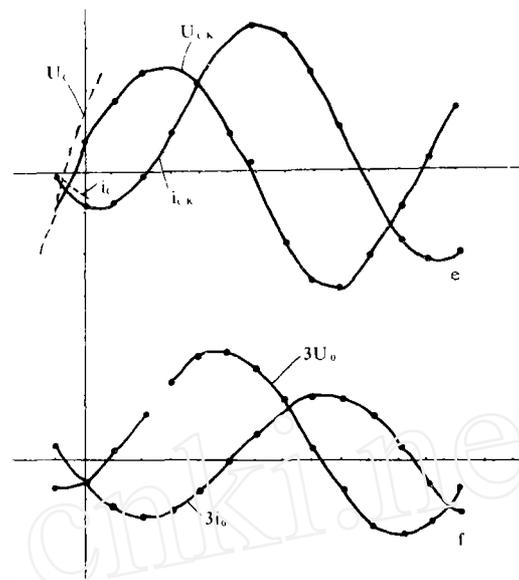


图 2 e、f 石惠 I 回惠安侧第一次强送波形

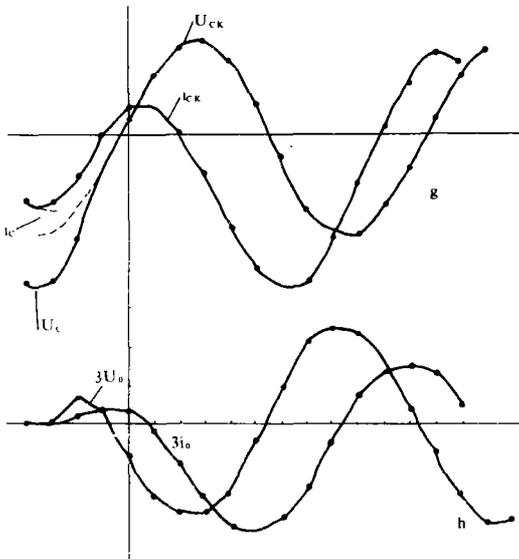


图 2 g、h 石惠 I 回笏石侧第一次强送波形

两侧短路电流接近相等。因为 C 相电压接近过零短路，电流偏移较大。

d. 两侧看到的短路阻抗分别为笏石侧 $8.21\Omega/\Phi$ ，惠安侧 $9.23\Omega/\Phi$ 。

3 图 2 i、j 为林石 II 回线在林中侧第二次强送合到故障线路上时，石惠 I 回线笏石侧时 C 相电流，C 相电压， $3I_0$ 、 $3U_0$ 波形图。惠安侧因未出现误动未留下打印报告，无数据。但根据上面两次情况，两侧短路电流情况大致相同。从波形图中看到以下几点：

a. 第二次强送合到故障线路时，C 相电压约 75° 时开始对地放电，到 C 相电压约 105° 已基本稳定接地短路。

b. 短路瞬间，C 相电流瞬时值 $1.92A$ ，负荷电流峰值约 $2.6A$ ，有效值约 $1.84A$ ，其相角几乎为零，为送端性质。比第一次强送时负荷还小，估计又有负荷切除所致。短路后 C 相电流相位明显改变，C 相短路电流峰峰值约 $13A$ ，偏移约 $0.16A$ ，有效值约 $5.00A$ ，因为接近 90° 短路，短路电流偏移较小。C 相电压峰峰值约 $89.3V$ ，偏移约 $0.15V$ ，有效值约 $31.6V$ 。C 相

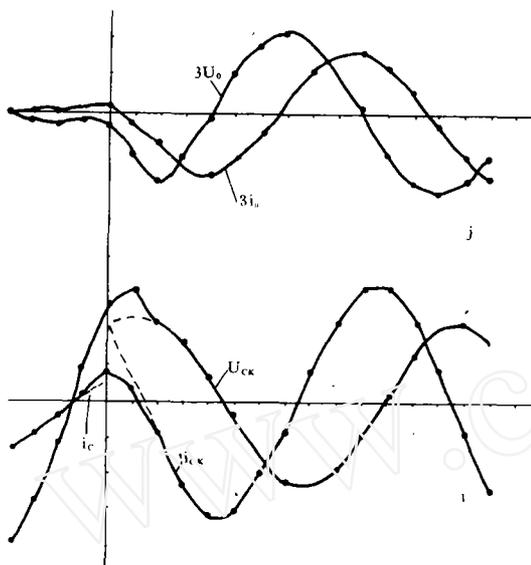


图 2 i、j 石惠 I 回笏石侧第二次强送波形

短路电流相角约超前 C 相电压 100° 。

c. 笏石侧看到短路阻抗约 6.32Ω ，比林石 II 回线在笏石侧强送合到故障上看到的阻抗要小，这是因为吸入电流改变所引起。

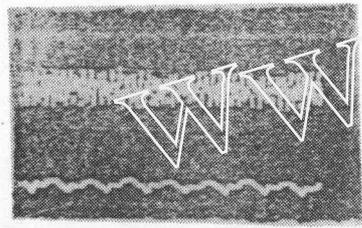
4 从这三次短路电流波形中得到以下几点：

a. 对地放电基本上接近电压峰值开始，因为铁梯倾倒在过程中使放电间隙缩短并保持固定间距，引起放电电阻在间距变化过程中也由大变小且很快达到稳定接地短路。两次强送重合到故障线路上时，由于初始短路角不同，其表现也不同。第一次强送时，在断路器未合上之前，触头运动过程中间隙变少就开始对地放电；而第二次则几乎是重合上后才开始对地放电，这一次虽估计无间隙变化过程，由于放电的非线性，放电电阻也有变化。另外由于合闸角的不同，可能提前（未合上）或落后（合上之后）一段时间，约 $60^\circ\sim 120^\circ$ ，即 $3.33\sim 6.67ms$ 对地放电。对于应用 $3I_0$ 、 $3U_0$ 作判据的保护要注意这个问题。

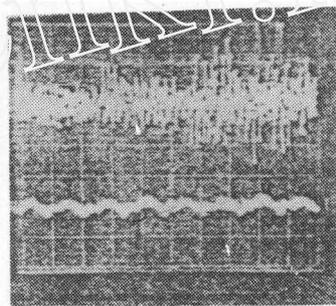
b. 对于多回路网络，故障时区外看到短路阻抗与近故障侧或远故障侧强送到故障线路上有关，因吸入电流分布变化而变化。因此对距离保护，零序电流保护等整定计算时要计及这种变化的情况。

福建石惠 I 回线惠安侧高频零序方向保护两次在区外故障线路重合到故障时误动作的情况，我们在 1992 年 12 月 28 日到笏石变电站检查收发信机时发现，其器件损坏分析认为与操作刀闸有关。因之在笏石站进行倒闸操作石惠 I 线断路器及两侧隔离刀闸试验，录取高频通道和 $+220V$ 对地脉冲干扰电压。试验结果看到操作时均产生脉冲干扰电压，合闸比拉闸严重，其波形图见图 3。从图中看到进入高频通道的脉冲干扰电压峰峰值达 $500V$ ，频率约 $20\sim 200kHz$ ； $+220V$ 对地脉冲干扰电压“+”峰值 $300V$ ，“-”峰值 $50V$ ；收发信机中器件连续

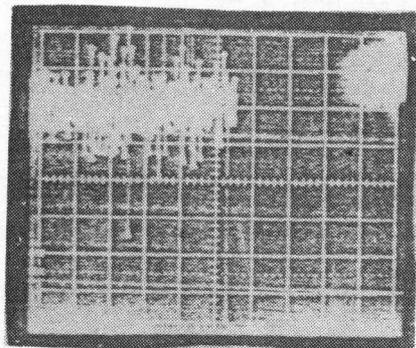
几次损坏(见录附)。四川省操作刀闸试验测得通道脉冲干扰电压蜂峰值达到 12600V, 频率 400kHz。我们测得的数据因通道入口接有非线性电阻 F 限制, 故电压峰值较低。对非线性电阻的响应, 我们曾加上脉冲干扰电压 5kV, 1MHz 用记忆示波器检查, 特性很好能限制在 250V。将收发信机通道地线在控制室屏上直接接地(实际上开关站接地点未拆除, 为两点接地), 则使 +220V 对地“+”峰值电压为零, “-”峰值仍为 50V; 而不改变通道干扰电压水平。此时收发信机中器件就不再被损坏了。这种损坏器件的情况, 在全国运行记录中多次发生(见参考文献^[1,2])。因此, 根据这些情况说明这两次区外正方向高频零序方向保护误动作与笏石侧收发信机受合到故障上强干扰有关(可惜这两次, 两侧微机保护打印分报告均未取得, 笏石侧有否发停跳令, 不得而知, 也没有通道的录波图)。这种看法, 也可由第二次林石 II 回在林中侧强送合到故障上时惠安侧的保护并未动作(因笏石侧无开关操作)来说明。根据这次试验和四川省试验及运行经验证明收发信机通道接地线在控制室屏上接地是抑制脉冲干扰电压窜入的有效措施, 降低了直流对地电位差, 是非常必要的。这个问题对静态产品都会有同样的影响。由于现



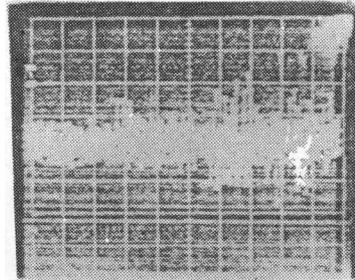
a 正常时通道波形 (上)
和 +220V 对地波形 (下)



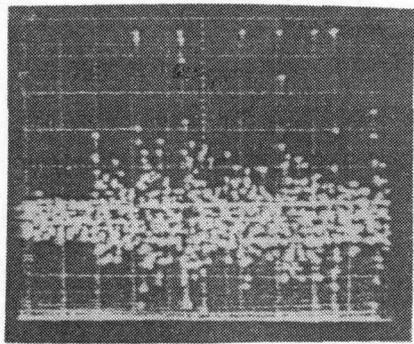
b 拉线路侧刀闸通道波形 (上)
和 +220V 对地波形 (直流开关断)



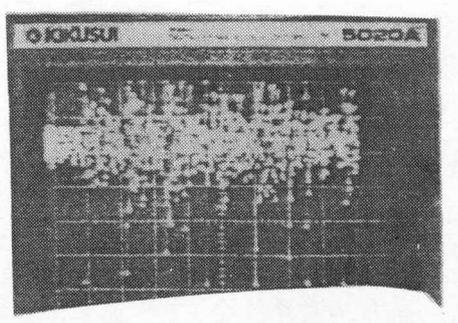
c 拉线路侧刀闸时通道波形



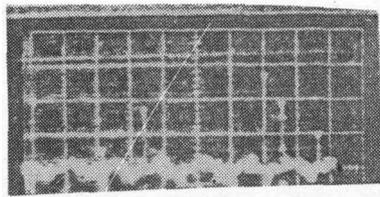
d 拉线路侧刀闸通道波形



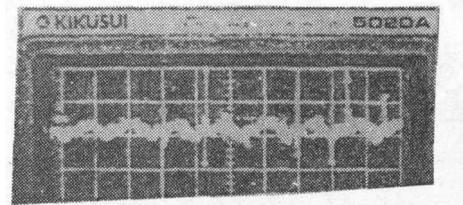
e 合线路侧刀闸波形



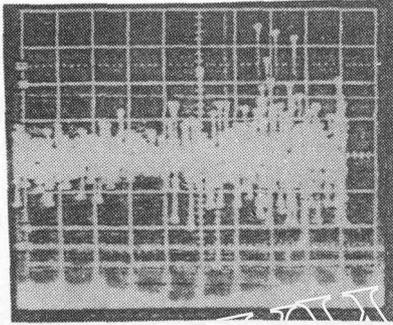
f 合线路侧刀闸通道波形



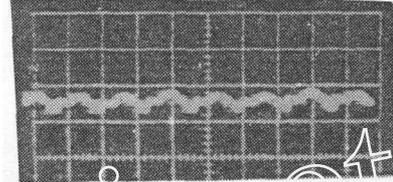
g 合线路侧刀闸+220V 对地波形



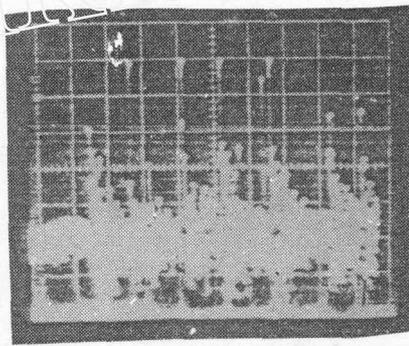
h 合线路侧刀闸+220V 对地波形



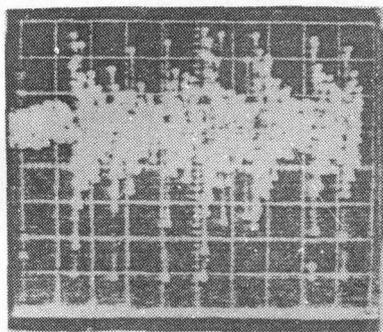
i 通道地屏上接地拉线路侧刀闸通道波形



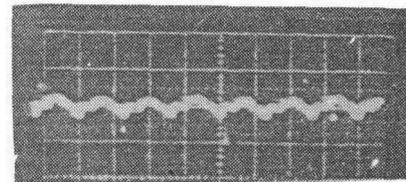
j 通道地屏上接地拉线路侧刀闸+220V 对地波形



l 通道地屏上接地合线路侧刀闸通道波形



k 通道地屏上接地合线路侧刀闸通道波形



m 通道地屏上接地合线路侧刀闸+220V 对地波形

用记忆示波器录波纵轴每格 50V，横轴每格 5ms，通道录 SF5006n6、6n5，+220V 对地录 SF5006n1、6n5

图3 石惠 I 回线保护用旁路的代役时操作线路侧刀闸时通道及+220V 对地波形

场二次布线情况不一，各种产品采取抗干扰措施也不完全相同，且在屏上位置、走线不尽相同等等因素，各产品受干扰影响程度也不一样。我们在做倒闸操作试验时曾发现，当石惠 I 线笏石侧收发信机插件全部拔出（158kHz 频率）时，则到涵江站的线路上的收发信机（94kHz）受干扰的影响明显增强（噪音增大，装置中信号灯闪动明显）（因为是运行的设备未进行测量。其通道上干扰电压峰峰值达 365V）。这种强干扰现象值得引起重视。近年来，高频相差保护多次发生区外正方向误动原因不明的事故，是否也与通道在开关站接地，对直流 220V 回路窜入脉冲干扰电压，受到故障时强干扰有关？值得有关部门认真分析检查。

通过福建这次保护误动作的情况得到启示，提出以下几点想法供运行设计部门参考。

(1) 为了抑制和减轻由通道进入的对二次回路的干扰，建议高频收发信机通道地线应在控制室屏上可靠接地，以抑制降低由于在结合电容器、互感器处开关站接地窜入过高的脉冲干扰电压水平。

(2) 为了吸收减轻对直流 220V 回路的影响，直流 220V 输入回路都应采取吸收高频去耦回路，两电容联接点必须可靠直接接地，而不应接零伏（当然，如果由于装置的需要，零伏需要接地，例如一些高频仪器，也不应受到限制，但这去耦电容必须直接接地，不能先接零伏后再接地）。在这里，也同时提醒一点，屏蔽外壳也应直接接地。零伏接屏蔽外壳浮空的做法值得商榷。

(3) 建议在有条件情况下，碰到区外故障正方向高频保护误动作时（不论相差保护或方向保护），作人工故障模拟试验，录两侧高频通信信号及误动保护有关信号，以期重演保护动作情况，抓住故障时强干扰下保护确切的误动作原因。

在保护第一次投入运行时（高频保护），应作刀闸操作影响试验，检查脉冲干扰电压水平和装置抗干扰能力，以便正式运行前发现和堵塞回路和装置的缺陷。

参 考 文 献

- 1 颜咏冬，晶体管保护运行的防干扰问题，继电器，1989，4
- 2 袁帮亮、刘北营，隔离开关投切空载旁路母线干扰高频保护的实例分析与对策，继电器，1991，4

附录

笏石侧这台收发信机工作频率为 158kHz，在运行中和这次试验时多次损坏过，大多与操作开关有联系。收发信机损坏记录如下：

a. 调试时，尚未接入系统，发现逆变电源上 C_3 电容器质量不良，使电源不正常，更换后修复。

b. 投入运行后，操作 220kV 母线侧刀闸，逆变电源上 V_3 管子损坏，使电源不正常，更换后修复。

c. 一次雷击故障，运行中这台收发信机逆变电源上集成电路片损坏，使电源不正常，更换后修复。

d. 又一次操作 220kV 母线侧刀闸，运行中收发信机逆变电源上 V_1 管子损坏，使电源不正常，更换后修复。

e. 1992 年 11 月 28 日到笏石侧检查这台收发信机，发现逆变电源上二极管 V_1 短路（保护接入极性是否错用的），且在安装印制板上有一片烧焦痕迹，估计损坏后仍长时运行所引起。另外，其 9 号插件上 N3 门电路集成片损坏，使收发信机异常，更换后修复。这次损坏原因是为了检查收发信机，现场用旁路断路器带路，停下线路断路器，进行了石惠 I 线一系列隔离刀闸的操作有关。

f. 1992 年 11 月 28 日下午第一次合 220kV 母线侧隔离刀闸，收发信机异常，查找到 9 号插件上 N3、N4、N5 三片门电路集成片损坏，更换后修复。

g. 为了减少损坏第二次试验时将收发信机逆变电源关断，操作合母线侧隔离刀闸时 9 号插件上的 N4、N5 二片门电路集成电路片又损坏，使收发信机异常，虽直流关断，但受干扰回路仍有联系所致。更换后修复。