

高频保护投入试验时所发现问题的分析

北京电力科学研究所 杨子超

一、前言

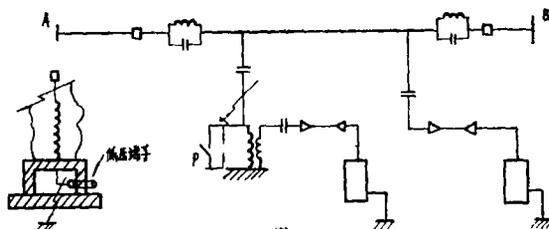
在京津唐电网中某一新建的大型枢纽变电站中四条220千伏的高压输电线均选用了许昌继电器厂生产的ZCG—12型相差高频,其收发讯机除一台是全晶体管的SF—5 B型外,其余三台是SF—5 A型,继电器部分为整流型和电磁型。该四套装置早在80年4月到7月均在试验室内调好,由于现场施工的影响,高频通道的调试以及投入试验等是在81年3月中旬开始的,5月底结束,在同年6月6日一次事故中(*4母线P.T爆炸)该四套保护均正确动作。

在这次通道测试,对试以及投入试验中发现了不少问题。在一次设备方面有高压耦合电容器低压侧引线接地,阻波器失效,四台结合滤波器换了三台。在二次方面曾发现在收发讯机中有电位器接触不良,晶体管损坏等问题。在继电器部分有一块极化继电器的接点固定螺丝断了二个。总之,除高频电缆外,几乎有关的各个环节都发现有不同程度的问题。

下面就这次投入试验时所发现的问题及解决办法分述如下:

二、高压耦合电容器低压引线接地

耦合电容器低压引线接地,在京津唐系统里高频保护投入以来,还是第一次碰到,花费了不少精力才找到问题的所在,其接地点如图一所示。

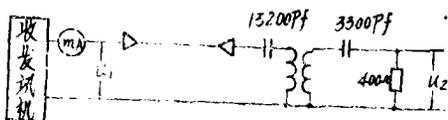


图一、接地点图

检查情况;

1、单侧传输衰耗的测量:

按图二接线测发讯机输出功率及电缆与结合滤波器的传输衰耗:



图二、单侧传输衰耗测量示意图

$$\begin{aligned}
 u_1 &= 38V & I &= 580\text{mA} & P_1 &= 22.04\text{W} \\
 u_2 &= 86V & P_2 &= 18.49\text{W} \\
 b_{\text{传}} &= \frac{1}{2} i_n \frac{22.04}{18.49} = 0.176\text{N}
 \end{aligned}$$

2、投入通道以后的测量:

< I > 发讯机输出功率的测量:

$$u = 34\text{V} \quad I_0 = 720\text{mA} \quad P = 24.48\text{W}$$

< I I > 在对侧收讯机入口处测不到接收信号, 同样对测发讯本侧也接收不到对侧的讯号。

3、测量近端的异名相跨越衰耗:

为了寻找原因, 在本侧测量异名相跨越衰耗值, 保护通道用A相, BC相为通讯用的通道, 为此分别在BC两相加上3N电平频率为70KC(保护工作频率)的讯号, 在同一母线上其他四条线路的A相保护通道收发讯机入口处, 用选频表测量70KC的讯号。所得结果如下:

表(一)

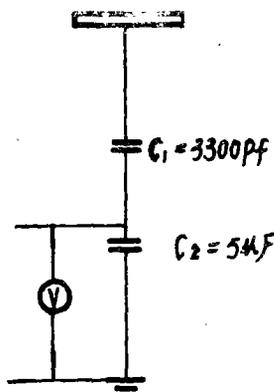
发讯线路参数				接收线路参数				跨越衰耗(N)
开关号	相别	频率(KC)	电平(N)	开关号	相别	频率(KC)	电平(N)	
2213	C	70	3	2211	A	70	0.28	2.72
"	"	"	"	2211	A	70	-0.3	3.3
"	"	"	"	2213	A	70	-4.7	7.7
"	"	"	"	2214	A	70	0.28	2.72
2213	B	70	3	2211	A	70	0.9	2.1
"	"	"	"	2212	A	70	-0.7	3.7
"	"	"	"	2213	A	70	-5.6	8.6
"	"	"	"	2214	A	70	0.5	2.5

$$b_{\text{跨}} = P_{\text{发}} - P_{\text{收}} = \text{跨越衰耗值}$$

由上述近端跨越衰耗值看, 2213的A相保护通道有问题。因为在同一条线的B、C

两相上发A相的保护工作频率，如果通道完好按理说其跨越衰耗值应比其他线路的要小，而上述结果却大一倍以上，因此初步判断耦合电容器有问题。为了进一步找出问题所在，又进行以下二项试验。

4、把结合滤波器线路侧刀闸合上与打开分别测发讯机的输出电压与电流。二次得结果不变，实测值如下：



图三、电容分压接线图

$$u = 34V \quad I = 720mA \quad P = 24.48W$$

5、在线路不停电的情况下，把结合滤波断开，按图三接入 $5\mu F$ 的电容 C_2 ，测 C_2 上电压，其值为零。

用同样方法在另一条保护通道上测量其值为 92 伏，按分压计算：

$$u_2 = \frac{220/\sqrt{3} \times 10^3 \times 3300 \times 10^{-12}}{5 \times 10^{-6}} = 84 \text{伏}$$

综合上述测量结果，可以断定耦合电容器低压侧接地，经停电后检查证实了这一结论。

三、结合滤波器选型不当致使发讯机功率输送不出去

该电站四套高频保护工作频率分别为 70KC, 168KC, 205KC、345KC，原设计均选用了四台 JL₂-6600 结合滤波器。除 345KC 一台外，其他三台收发讯机接入通道后，其发讯功率大大的下降，为此对其中工作频率为 168KC 的一台进行了以下的分析、试验与研究：

1、发讯机分别接在 100Ω 等值无感电阻上，以及高频电缆和 JL₂ 型结合滤波器元件上，测量发讯参数，其数值如表二所示

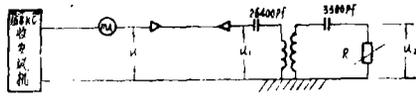
表(二)

发讯机接在下列元件上	发讯电压 (V)	发讯电流 (mA)	发讯功率 (W)	发讯机负载阻抗 (Ω)
在 100Ω 等值无感电阻上	48	445	21.36	107.8
在高频电缆加 100Ω 等值电阻上	51	445	22.69	114.6
JL ₂ -6600 高频电缆、结合滤波器加 400Ω 等值电阻	35	520	18.2	67.3
结合滤波器 接入通道后	27	550	14.85	49.1

2、用模拟电阻来测量输电线路的等值电阻

在 JL₂-6600 结合滤波器后接一个等值电容和可变的等值无感电阻，用本身发讯

机发讯,改变等值电阻值,得到不同的发讯电压与电流。在发讯电压与电流同发讯机接入



图四、模拟试验接线图

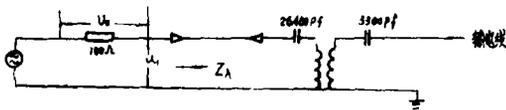
通道时的值接通,此时的模拟电阻值可认为是近似的输电线路的等值电阻值或是输入电阻值。试验接线如图四,参数如表三所示。

表(三)

发 讯 参 数				模拟电阻 R 值 (Ω)	u_1 (V)	u_2 (V)	模拟电阻 R 上的功率 (W)
电压 u (V)	电流 (mA)	功率 (W)	发讯机负载 阻抗(Ω)				
20	540	10.8	37	100	48	24	5.76
25	520	13	48	200	48	44	9.68
28	500	14	56	300	49	60	12
32	490	15.68	65.3	400	51.5	74	13.69
35	480	16.8	72	500	54	86	14.79
37	460	17.02	80.4	600	57	96	15.36
37	470	17.39	78.7	700	61.5	100以上	
39	460	17.94	84.8	800	62	100以上	

由表三可知输电线路的等值电阻或输入电阻约在200Ω~300Ω之间,因此与结合滤波的特性阻抗不匹配,产生反射。

3、用外加试验电源从高频电缆侧测量整个通道的输入阻抗与频率特性:



图五 整个通道输入阻抗频率特性试验接线图

将高频电缆与收发讯机断开,振荡器接于高频电缆端,测量整个通道的输入阻抗与频率特性,试验接线如图五,

数值列于表四。

表(四)

频率(KC)	150	160	168	170	175	180	200	250	345
被测值									
u_1 (V)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
u_2 (V)	3.6	3.4	3.9	3.7	4.1	4.2	4.2	1.8	1.2
Z_1 (Ω)	55.6	58.8	51.5	54	48	47.5	47.5	111	166

由此看来,从高频电缆端看整个通道的输入阻抗约为 51.5Ω ,而收发讯机的输出阻抗约为 100Ω ,因此失匹严重,导致发讯机功率输不出去。

4、JL₂-6600结合滤波器与高频电缆的参数实测如下

为了进一步找出问题的所在,对结合滤波器与高频电缆两者特性进行了测量,其结果分别列于表五与表六。

表(五)

参数值 名称 频率 (kc)		100Ω侧				400Ω侧			
		工作衰耗 (N)	传输衰耗 (N)	输入阻抗 (Ω)	特性阻抗 (Ω)	工作衰耗 (N)	传输衰耗 (N)	特性阻抗 (Ω)	输入阻抗 (Ω)
JL ₂ -6600 结合滤波器	168	0.095	0.117	160	216	0.122	0.148	1010	549

表(六)

开关号	类别 频率 (kc)	工作衰耗 (N)	传输衰耗 (N)	输入阻抗 (Ω)	特性阻抗 (Ω)
2212	168	0.1345	0.105	112.5	101.5
2213	70	0.0695	0.069	112.5	102.6
2214	205	0.113	0.1035	111	107
2211	345	0.128		100	106

由此可知问题发生在JL₂型结合滤波器的两侧的输入阻抗和特性阻抗太大,与高频电缆(约 100Ω)及输电线路(约 $200\Omega\sim 300\Omega$)不相匹配,导致发讯机功率输不出去。为此将JL₂-6600型结合滤波器更换为JL₃-3300-4型,在其他条件不变的情况下,发讯机输出功率由 $14.85W$ 增至 $21.09W$,列于表七,JL₃-3300-4的参数列于表八,

表(七)

发讯机接在下列元件上		发讯电压 (V)	发讯电流 (mA)	发讯功率 (W)	发讯机负载阻抗 (Ω)
1JL ₂ -6600 结合滤波器	①高频电缆加结合滤波器 以及等值电容、电阻上	35	520	18.2	67.3
	②接入高频通道后	27	550	14.85	49.1
2JL ₃ -3300 -4 结合滤波器	①高频电缆加结合滤波器 以及等值电容、电阻上	47	480	22.56	97.9
	②接入高频通道后	37	570	22.09	64.9

表(八)

类别		100 Ω 侧				400 Ω 侧			
型号	频率 (kc)	工作损耗 (N)	传输损耗 (N)	输入阻抗 (Ω)	特性阻抗 (Ω)	工作损耗 (N)	传输损耗 (N)	输入阻抗 (Ω)	特性阻抗 (Ω)
JL ₂ -6600	168	0.095	0.117	160	216	0.122	0.148	549	1010
JL ₃ -3300-4	168	0.019	0.066	106	113.8	0.035	0.0196	416	404.9

表(九)

类别		测试时间	u_n (V)	u_c (V)	u_c/U_n
开关号	频率 (kc)				
2211	345	1980.7	1.23	1.27	1.03
		1981.3	1.42	1.5	1.05
2212	168	1980.7	1.5	1.53	1.02
		1981.3	2.15	2.26	1.06
2213	70	1980.7	1.55	1.78	1.15
		1981.3	1.38	1.51	1.09
2214	705	1980.7	1.92	2.01	1.04
		1981.3	3.0	3.1	1.03

表(十)

类别		测试时间	$f_{高}$ (Hz)	$f_{低}$ (Hz)	Δf (Hz)	f_0 (Hz)
开关号	频率 (kc)					
2211	345	1980.7	346096	343903	2193	345000
		1981.3	345929	342945	2984	
2212	168	1980.7	168672	167343	1329	168000
		1981.3	168757	167172	1585	
2213	70	1980.7	70656	69324	1332	70000
		1981.3	70664	69266	1398	
2214	205	1980.7	205754	204217	1537	205000
		1981.3	205484	203823	1661	

四、收讯机有关参数的变化

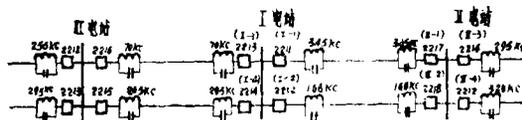
四台收发讯机在80年4月至7月在试验室内调好,81年2月送至现场,3月复测,发现其中两台收讯回路参数有所变化,另二台则变化很小,现分别列于表九与表十。

收讯回路参数的变化不外乎两种情况,一是由于温度变化导致管子的工作点改变,另一是收讯槽路受温度的影响,因此建议厂家在加强对管子老化筛选的同时,也应对收讯槽路的磁芯性能的稳定性做进一步工作,以保证机器正常工作。

五、对运行中阻波器失谐的分析与判断

1、问题的出现

待上述诸问题处理后,四套保护在通道测试中,没有发现异常情况,发讯电压,电流,传输衰耗变化不大,但在测量本站同名相跨越衰耗时却发现:当168K C发讯时,在70K C,205K C的收发讯机入口处,收到了很高的电压,也就是跨越衰耗值显著降低,因此怀疑168K C阻波器失去了阻塞作用。为了进一步分析此种现象,在与此有关的变电站,在不同的运行方式下,进行了近端同名相跨越衰耗测量,以资分析与比较。一次接线如图六所示



图六 一次接线图

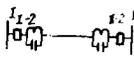
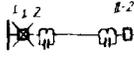
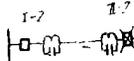
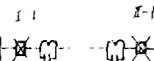
2、同名相近端跨越衰耗测量

同名相近端跨越衰耗的测量,是分别在I、II两站以不同的运行方式和二种情况下进行的,一是其他三条线路分别对168K C线路的跨越衰耗,即阻波器完好的线路对阻波器失谐线路的跨越衰耗,其值列于表十一;二是168K C线路对其他线路的跨越衰耗,其值列于表十二。

表十一和表十二均为同名相近端跨越衰耗,前者为非故障阻波器对故障阻波器的跨越衰耗,后者为故障阻波器对非故障阻波器的跨越衰耗。显然从表十二中清楚地看出,I号变电站的I-2(168K C)线路阻波器有问题,因为在同样的四种运行方式下II号变电站所测得衰耗值变化不大,而I号变电站在1、2两种运行方式下其差值为3.71N,而在表十一中为什么反映不出来,其原因分析如下。

所谓同名相近端跨越衰耗,是指在同一母线上某一输出线 A_1 相发讯机发送功率电平 $P_{A_1发}$ 在另一条出线 A_2 相收讯机接收端所收到的功率电平 $P_{A_2收}$ 之比,取自然对数

表(十一)

站别	运行方式	正常方式	I-2 开关断开	II-2 开关断开	I-2 II-2 同时断开
					
I	① I-1对 I-2	3.02	3.35	2.94	3.15
	② I-3对 I-2	3.74	5.07	3.92	4.62
	③ I-4对 I-2	3.87	2.85	3.08	4.85
II	① II-1对 II-2	3.00	3.38	3.05	3.4
	② II-3对 II-2	3.61	8.1	7.8	7.6
	③ II-4对 II-2	3.26	5.6	6.7	6.8

表(十二)

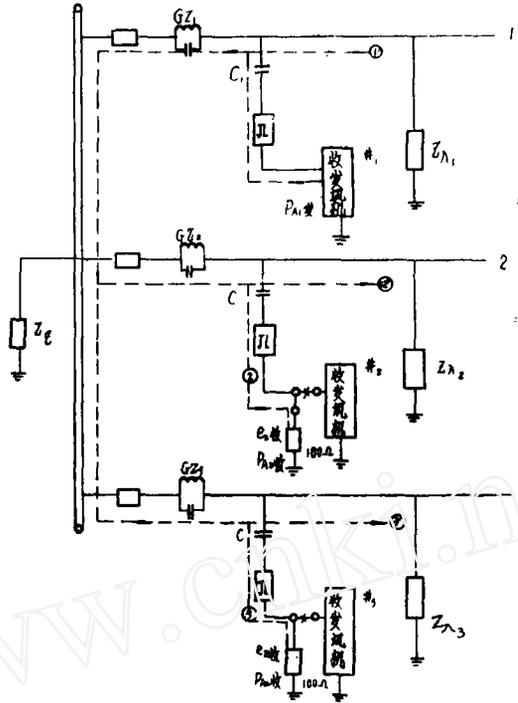
运行方式	I-2(168KC)对下 列各线路的衰耗(N)			II-2(168kc)对上 列各线路的衰耗(N)		
	I-1 (545kc)	I-3 (70kc)	I-4 (205kc)	II-1 (345kc)	II-3 (295kc)	II-4 (320kc)
①正常 	3.08	1.86	1.47	3.85	4.36	3.75
② I-2 开关断开 	3.8	4.7	5.15	4.23	4.5	3.95
③ II-2 开关断开 	3.28	1.74	1.44	4.26	4.7	5.05
④ I-2 II-2 同时断开 	5.4	5	5	4.08	4.78	3.6

之半，称之为 A_1 对 A_2 的同名相近端跨越衰耗即：

$$b_{1-2} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{A_1 \text{发}}}{P_{A_2 \text{收}}} = e_{A_1 \text{发}} - e_{A_2 \text{收}}$$

同理亦有 A_1 对 A_3 以及 A_2 对 A_1 ， A_2 对 A_3 等同名相的相近端跨越衰耗，按同一母线

上输出线进行排列组合来测其近端跨越衰耗，如图七所示。

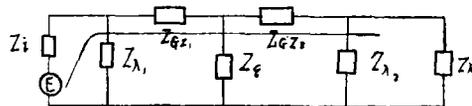


图七 正端跨越衰耗图

由图可知，在这种情况下，主要的跨越途径是沿导线直接传送的，如图中2、3箭头所示，此时阻波器 GZ_1 的好坏，对接收端 P_{A2} 收的功率电平起着决定性的作用，如果 GZ_1 失谐，则 P_{A2} 收到讯号电平就大，因故此时 GZ_2 处于失谐状态，呈现低阻抗，所以 A_1 对 A_2 同名相近端跨越衰耗值就小，反之 GZ_1 完好。那末 P_{A1} 发的讯号虽仍在 GZ_2 低阻抗范围内，但此时 GZ_1 有一个纯电阻的高阻值所阻挡，使得 A_2 收到的讯号大大的减少，相应的 A_1 对 A_2 的同名相近端跨越衰耗值就大大的增大了，这就是表十二所反映的情况。

如果换一种情况，*2发讯， GZ_2 阻波器是完好的，呈现高阻抗，此时 GZ_1 即使是完好的也是处于失谐状态， GZ_3 也处于失谐，但 P_{A2} 发的讯号被其 GZ_2 高阻抗所阻挡， P_{A1} 收和 P_{A3} 收的值仍然是很少的，此时跨越衰耗不仅是这一途径，另一途径是通过输电线之间跨越过去，因此跨越衰耗值就大了，这是表十一中反映不出原因所在。

为此在正常运行方式下，测量同名相近端跨越衰耗值可作为判断阻波器是否失效的一种手段，其近似等效电路图如图八所示：



图八 近似等效电路图

Z_s ——信号源内阻。

Z_{λ_1} ——箭头①信号(图七)对电力线输入高频阻抗。

Z_{λ_2} ——箭头②信号(图七)对电力线输入高频阻抗。

$Z_{GZ_1} \cdot Z_{GZ_2}$ ——阻波器 GZ_1, GZ_2 的阻抗。

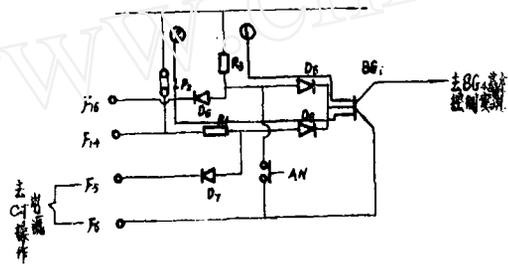
Z_e ——变电站母线对地等效阻抗。

Z_x ——信号②通过电力输电线等效负载阻抗。

当输电线和收发讯机频率等确定后,图八中 $Z_s, Z_{\lambda}, Z_e, Z_x$ 等为基本不变的常数,在此条件下 Z_{GZ_2} 值不大(因为 GZ_2 阻波器失谐)。因此,当正发讯时, Z_x 上接收到信号的大小,主要取决于 Z_{GZ_1} 值的大小。就利用这一特点,在四台高频保护投入试验中,检查出一台阻波器有问题,经停电检查发现168KC阻波器的调谐元件中的展宽电阻开焊,阻波器只剩了一个电感线圈,不能起到阻塞作用。

六、其他发现的问题

1、给上操作电流后,但未启讯此时收发讯机发操作波:



图九 收发讯机控制门电路

图九为SF—5_A收发讯机控制门电路, BG_1 截止时发讯, BG_1 导通时停讯,正常

时 BG_1 的基流由二路供给,①由 R_3-D_6 供给,② $L P_2-R_4-D_6$ 供给,在 F_3, F_4 给上操作电源后,在操作电流为负半周时,由 $L P_2$ 供给的基流被 D_7 二极管引走,即 BG_1 断了一路基流,但此时仍由 R_3 支路供给基流,故 BG_1 仍处于导通状态,发讯机不发讯,只有按下启讯按钮 AN 时发讯机才能随操作电流的负半波发高频操作波。

在投入试验时,未按 AN 发讯机就发讯,从图中可以看出只有在 D_6 二极管或电阻 R_3 开路的情况下才有可能,经检查上述情况是由于 D_6 被击穿所致。

在直流电源没有断开的情况下,插入或拉出收发讯机时,收讯机最后的输出管 BG_2 易被打穿。这次投入试验中就坏了二个 BG_2 ,在陡河电站也出现此种情况。为此建议在需要拉出或插入收发讯机时,最好先断开直流电源。(下转45页)

限段构成线路的后备保护。

初期，我们为了使微波保护简化，只接入了方向零序电流保护，并选择用在两微波站间，而不经中间站的电力线路上以简化微波通道。

随着微波保护中允许式的应用，其它的闭锁式、远方掉闸式，以至相差式和按相差式微波保护也将在我国相继获得应用。将为我国电力事业的发展发挥它应有的作用。



图四 超程允许式微波保护柜图

上接第38页

七、小 结

1、在220千伏的高频保护通道中需要按工作频率与耦合电容值来选JL₃-3300₁₋₄分段系列产品。该产品是专门为继电保护而生产的，其特性一般说来是能满足保护要求的，在通带内损耗小于0.1奈，两侧输入阻抗小于±20%。

2、耦合电容器低压引线为软铜片，该软铜片很容易碰底座法兰而接地，为此建议在电容器就位后接高压线前，应用摇表检测其低压引线是否有接地，以免事后返工。

3、在四台收发讯机中有多个电位接触不良，或引线端压接不好，以及收讯回路的参数变化等，说明产品质量还有待进一步提高，建议厂家加强对各元件的老化筛选工作，以保证产品的出厂质量。当然，上述问题都属早期产品存在的，据了解近几年厂家进行了不少改进工作，更换了电位器品种，加强了各元器件的老化筛选工作，产品出厂前还进行了预先长期通电考验，因而产品质量有了较大提高。