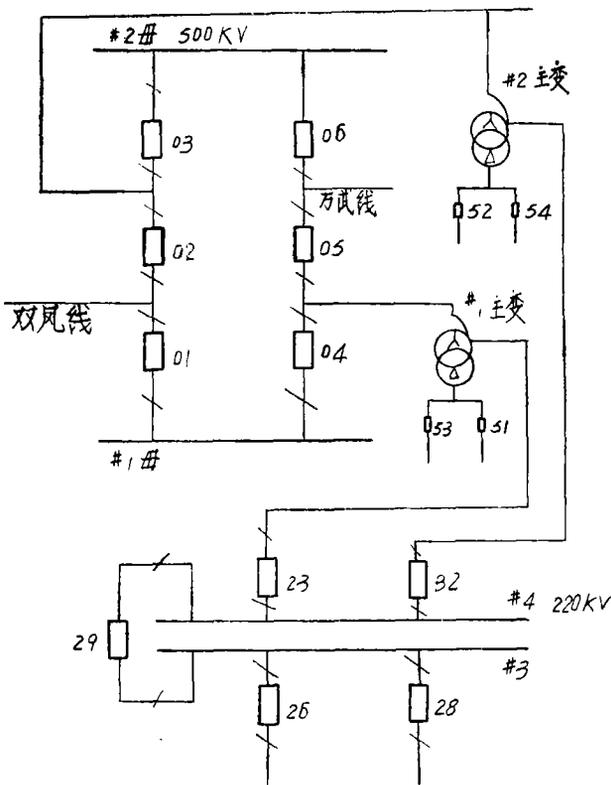


平武鳳凰山变电站500千伏开关 在投产试运行中误动的分析

湖北电力试验研究所 肖志强

一、前 言：

鳳凰山变电站是我国目前最大的500KV变电站，其容量是150万千瓦安，一、二次设备几乎全为国外引进。其中500KV开关、220KV部分开关和35KV开关是法国生产的，全站500KV采用了一个半开关结线。自81年12月22日到82年6月试运行半年期间，在系统没有发生任何异常现象，继电保护装置也没有动作的情况下，运行人员进行直流电源倒换操作时，有三台500KV开关误动，在送电操作检查直流回路断开线路第一套保护RALDA行波保护和线路第二套保护RAZFE距离保护的负极保险时，引起了二台500KV开关误动。在运行中直流接地时，断开1*主变压器保护的直流保险时造成了35KV侧所变及静补开关误跳。因此操作直流电源开关以及拉某些保护的负极保险存在二次窜电的迂回路引起开关误动是500KV变电站投产试运行期间普遍存在的重大问题之一，对平武系统安全运行带来严重威胁。曾经引起了平武工程500KV指挥部和生产部门的高度重视，也一度对法国开关及保护二次回路产生过怀疑，面对上述



图一 鳳凰山变电站主结线简图

发现的问题，及时组织有关单位专业人员到现场试验分析，发现了法国生产的FA₄断路器可控硅跳闸装置抗干扰能力差，同时对ASEA公司设计的二次回路图纸反复查对分析，找出了拉保护的负极保险二次窜电的迂回路并在1982年4月和7月双凤线两次停电检修时采取了措施，予以处理。在四个月的运行中没有发生类似上述开关误跳的现象。

凤凰山变电站一次主结线图如图一所示

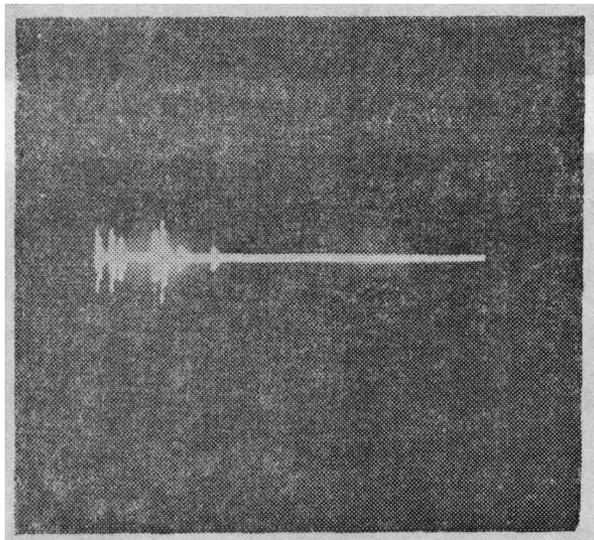
二、模拟开关误跳的几种方案

(一) 操作直流电源开关

在试运行中曾经发现将主控制室所有保护及二次跳闸回路的直流负载全部倒至3*蓄电池带，当操作直流开关时出现了凤03、05、06开关误跳，尽管这种操作方式是特殊的，稀有的，但是有可能出现，经过30次以上的模拟试验证明，上述直流操作使开关误跳的误动率达90%，因此以该直流操作方式对下面几种情况进行模拟试验。

1. 将凤站所有500KV开关及220KV开关都合上，拉合直流电源开关时，出现凤05开关单独跳闸，凤03，凤06开关同时跳闸及凤03、05、06开关同时跳闸现象。

2. 对凤03开关断开主控制室保护出口去开关的跳闸线，切合直流电源开关时，凤03开关误跳，用记忆示波器在03开关箱内录取B相跳闸线上的干扰电压波形为图二、干扰电压4伏。



图二凤03开关B相跳闸线上的干扰电压

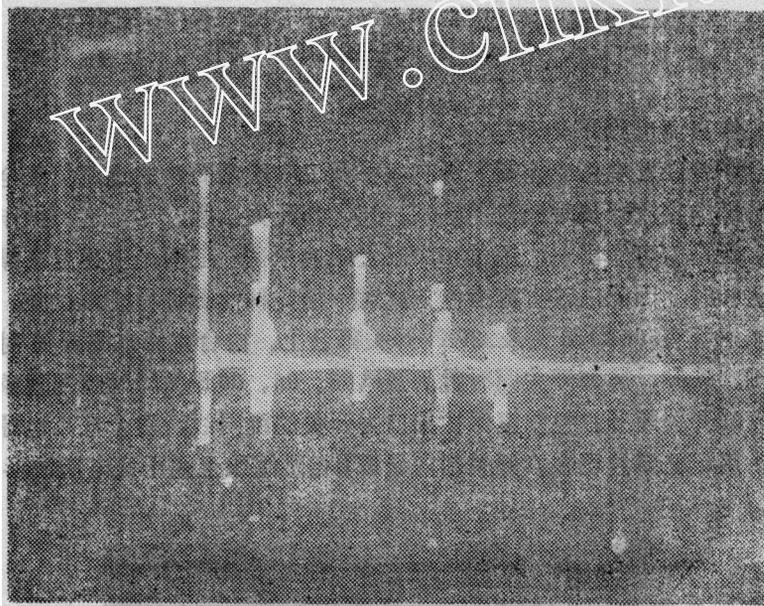
3. 断开凤03开关控制箱内的所有跳闸线，合上开关后，再切合直流电源开关，然后将跳闸线接上，当接上第一根跳闸线的瞬间，开关立即跳闸。

4. 凤03开关在不操作直流电源开关的情况下，模拟A相跳闸时在B相上的干扰电

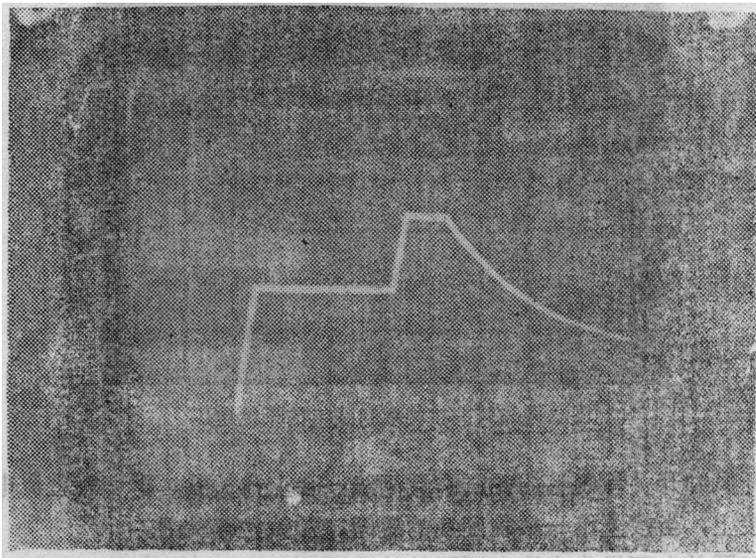
压，用记忆示波器录取的干扰电压为 3 伏。

5. 风03开关在操作直流电源开关时，用记忆示波器录取B相的干扰电压波形如图三所示，干扰电压 6 伏

6. 在风05开关箱内增装法国生产的滤过后将05开关合上，操作直流电源开关，开关误跳，用记忆示波器在05开关箱内录取滤过后C相可控硅触发的干扰电压如图四所示，干扰电压25伏、



图三 风03开关B相干扰电压波形



图四 05开关箱内，滤过后C相干扰电压

(二) 模拟直流接地

在第一串主保护 wxB_{11} 直流电源上, 把正110伏电源经100欧姆电阻接地, 风05开关误跳。

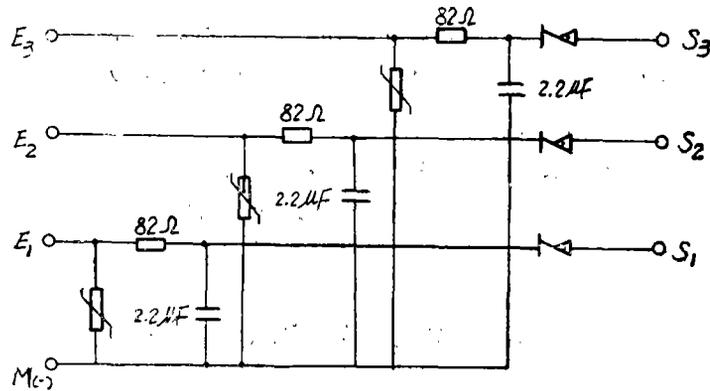
(三) 拉保护的负电源保险

拉RLADA行波保护或拉RAZFE距离保护的负电源保险时, 风01、02开关同时跳闸, 拉1*主变压器保护的负电源保险时, 35KV侧的风51、53开关跳闸。

三、FA 断路器可控硅跳闸装置屏蔽滤波器

(一) 滤波器组成简介

如图五所示, 在可控硅触发极串一个滤波器, 该滤波器是一个RC滤波回路并串有一个稳压管, 滤波器输入端对地并联一个非线性电阻。



图五 滤波器原理接线图

(二) 滤波器的静态特性试验

1. 对滤波器逐渐施加直流电压直到稳压管开始击穿, 测取稳压管击穿的电流和电压值, 其试验接线图及数据如下:

① 试验接线

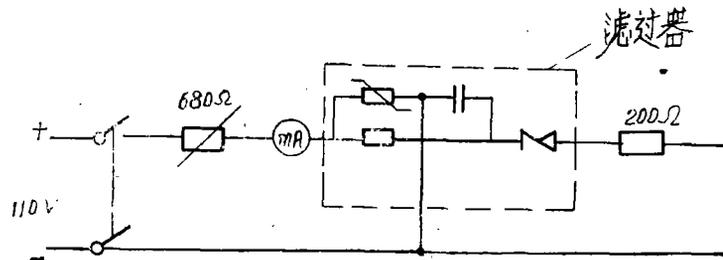


图 六

②试验数据

I (毫安)	0.5	1	2	3	4	10	20
V (伏)	46	46	46	46	46	46	46

2. 用振荡器输入不同频率, 测取滤波器的静态特性, 试验接线及数据如下

①试验接线

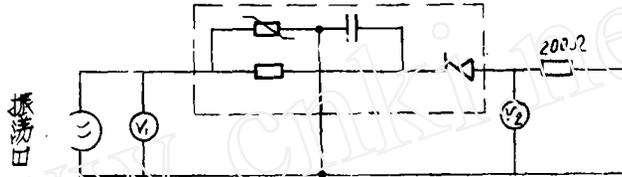


图 七

②试验数据

f	20周	50周	0.1KC	0.2KC	0.5KC	1KC	2KC	3KC	4KC	5KC	10KC	15KC	20KC	30KC	50KC
V_1	3.45V	2.7V	2.35V	2.15V	2.2V	1.05V	1V	1.35V	1.75V	2.2V	2.35V	2.2V	3.6V	3.2V	2.5V
V_2	0.5V	0.5V	0.5V	0.5V	0.5V	100mV	10mV	10mV	10mV	10mV	5.9mV	5.6mV	2.2mV	2mV	1.8mV

滤波器静态特性试验表明:

1. 稳压管通入0.5毫安就进入稳压区, 稳压在46伏。
2. 滤波器的静态特性表明抑制高频干扰, 尤其对20~50千周以上的频率抑制效果显著。

三、滤波器的动态特性试验

将滤波器装在FA断路器可控硅跳闸装置内, 然后带上可控硅触发回路作滤波器的动态特性试验, 其试验接线图及数据如下:

①试验接线(见图八)

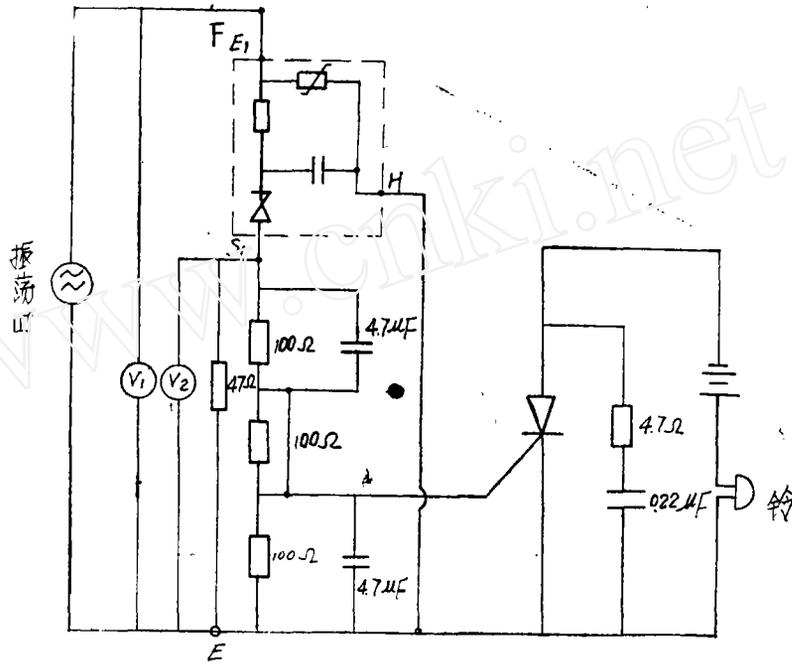
②振荡器从滤波器F、E之间加入不同频率, 测取A相跳闸回路滤波器后电压数据

f	20周	50周	0.5KC	1KC	2KC	3KC	4KC	5KC	10KC	20KC	50KC	100KC	200KC
V_1	13.5V	11.5V	4.5V	3.5V	3V	3.1V	2.5V	3V	2.2V	1.95V	1.6V	1.85V	1.32V
V_2	4.2V	4.2V	0.5V	0.2V	80mV	50mV	20mV	15mV	0.5mV	0.5mV	1.5mV	5mV	10mV

3 振荡器从滤波器后G、E之间加入不同频率, 测取A相跳闸回路滤波器后可控硅导通的电压数据。

f	20周	50周	100周	0.5KC	1KC	2KC	3KC	4KC	5KC	6KC	10KC
V	9.5V	9.5V	9.5V	6.4V	6.6V	0.95V	0.9V	0.77V	0.78V	0.87V	1V

滤波器的动作特性表明: 对于工频可控硅导通的触发电压较高为9.5伏, 对于高频触发电压较低。如振荡器从滤波器前加10KC, 2.2伏在滤波器后测取电压0.5毫伏, 又从滤波器后加10KC要1伏以上可控硅才能触发导通, 开关跳闸, 因此滤波器有效的抑制了高频干扰。



图八 试验接线图

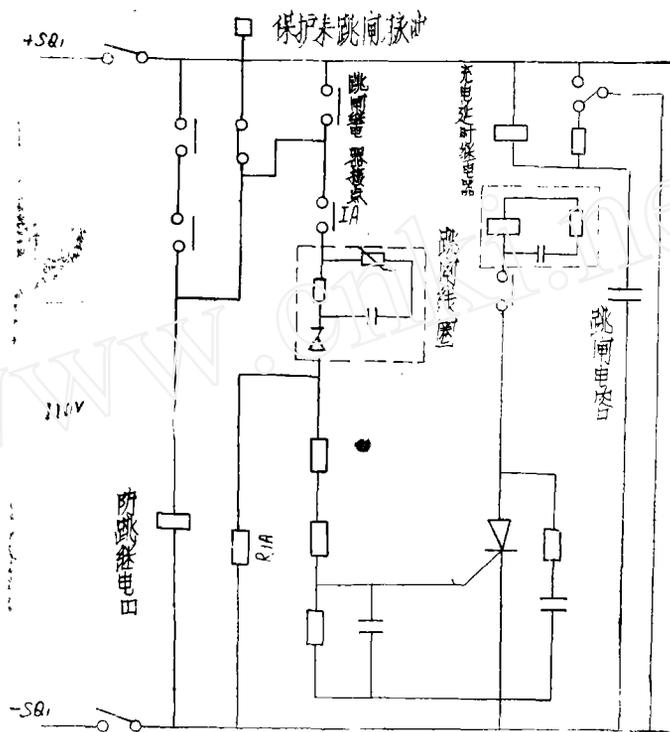
综合滤波器的静、动态特性试验表明，滤波器有两个作用：其一是提高了可控硅触发的门坎电压，由4伏提高到56伏，其二对于操作直流电源或其它干扰源产生的高频干扰能有效抑制，因此该滤波器大大提高了抗干扰能力。

四、开关误跳的分析

(一) 操作直流电源开关时，开关误跳

当未操作直流电源开关而在保护盘上模拟A相故障跳闸时，在B相或C相测得的干扰电压为3伏，而引进的法国FA₄断路器可控硅跳闸装置，其可控硅触发的门坎电压实测4伏，根据平武线系统人工短路试验在双河站发现模拟A相瞬时接地故障误跳三相，经分析北故障跳闸是由于可控硅的触发电压低，躲不过在人工短路试验A相跳闸的同时，在B相和C相产生的干扰电压，又根据凤凰小站直流电源在某一种特殊运行方式下，切合直流电源开关时，在保护二次跳闸回路上产生6伏的干扰电压高于可控硅触发的门坎电压而使可控硅导通，开关误跳。

如图九所示：当操作直流电源开关在跳闸回路产生的干扰电压进入可控硅触发回路，使可控硅导通，跳闸线圈动作，开关跳闸。



图九 FA₄断路器可控硅跳闸装置原理接线图

操作直流电源开关在保护出口跳闸回路上产生干扰电压的初步分析：

1. 干扰源强。将全站所有保护及二次回路的负荷全部倒至3#蓄电池带，当操作直流电源开关时相当于带重负荷切合，尤其切闸的弧光大，相应的干扰源强。

2. 全站所有操作控制电缆均是塑料屏蔽电缆，并且两端接地，跳闸控制电缆长达200米左右(从主控室到开关站配电箱之间距离)，电缆愈长，电容愈大。

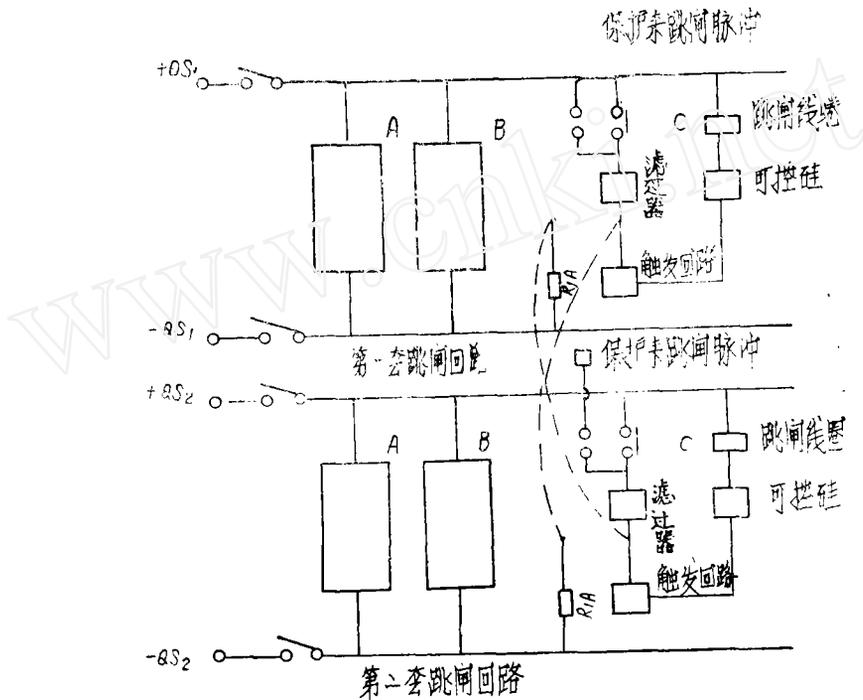
3. 保护出口带上可控硅跳闸回路组成了一个R、L、C振荡回路，断开操作直流电源时，防跳继电器与可控硅触发回路又形成了一个振荡回路。

综合上述等因素在操作直流电源时，其干扰脉冲的幅值和宽度均超过可控硅触发的门坎电压，因此可控硅导通引起开关误跳。

改进的方案是加抗干扰措施——加装滤波器。经与外商商量，外商同意加装滤波器来提高抗干扰能力并及时给我们供货，在FA₄断路器可控硅跳闸装置的每相中增设滤波器后，已经解决了可控硅跳闸装置抗干扰问题，确保了开关在操作直流电源时不误跳。

此外凤05开关可控硅跳闸装置内加装了滤波器后，操作直流电源开关时仍然误跳。而对这一棘手的新问题，通过滤波器的静态特性试验结果分析，认为滤波器的抗干扰效果显著，排除了怀疑滤波器是否起作用，而逐渐怀疑开关箱内是否错接线，最后反复试验和查线终于发现第一套跳闸回路和第二套跳闸回路C相电阻 R_{1A} (47Ω)接至可控硅触

发极线头交叉了如图十所示将风0.5开关箱内接线错误改正后,多次模拟切合直流电源开关时,开关不误跳。



图十 FA4断路器可控硅跳闸装置第一套C相和第二套C相触发可控硅二个线头接线交叉示意图

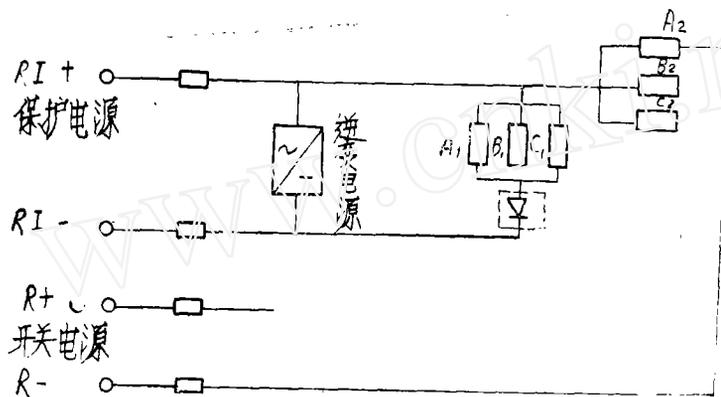
风05开关由于厂家错接线使得在可控硅触发回路加装滤波器后,当操作直流电源开关时开关误跳的初步分析。

当把第一套跳闸电源转换开关 QS_1 合上,负电源经 47Ω 电阻 R_{1A} ,接至第二套可控硅触发极,再将第二套跳闸电源转换开关 QS_2 合上,由于第一套和第二套跳闸负电源都到电阻 R_{1A} 上,当合 QS_1 电源时,电阻 R_{1A} 上有了负电位,再合 QS_2 电源,如果 QS_1 和 QS_2 负电位稍有差异或者当合 QS_2 时在 R_{1A} 电阻上有一个电压过渡过程引起的自感电势,因为 R_{1A} 不是无感电阻,而是有感电阻,可能产生一个自感电势,其幅值可达到25伏,大大超过可控硅触发的门坎电压而使可控硅导通,开关误跳。此分析是否恰当有待进一步分析。

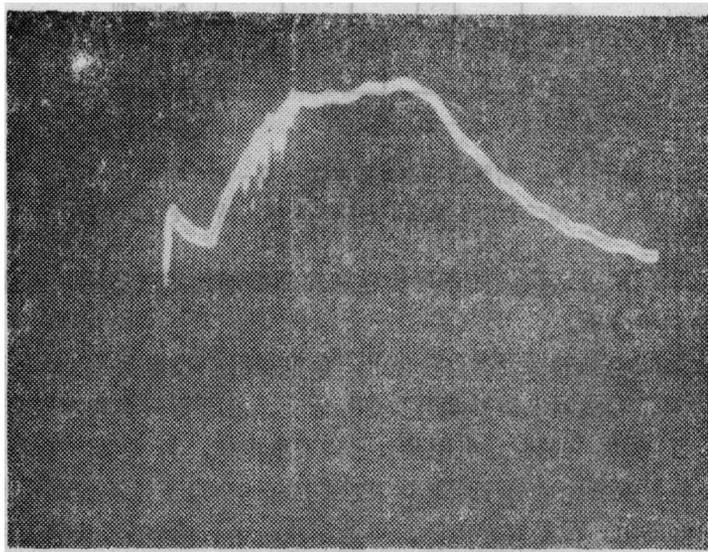
(二) 拉保护的负电源保险有些开关误跳。

1. 拉RALDA行波保护或RAEFE距离保护的负电源保险时,风01、02开关同时跳闸,风01、02开关误跳的初步分析:如图十一所示由于行波和距离保护分别接第一套和第二套跳闸回路,保护的负电源及开关的负电源经负载混接,当拉开行波或距离保护的负电源保险时,保护的正电源经逆变电源装置的内阻,再经过准备三相跳闸继电器线圈、

跳闸的中间继电器线圈回到开关的负电源，此电压超过跳闸中间继电器启动电压，有跳闸脉冲输出，开关误跳。在行波保护拉负电源保险时，用记忆示波器录取跳闸中间继电器线圈两端电压波形如图十二所示，干扰电压为为53伏，观察跳闸中间继电器已经动作，开关误跳。

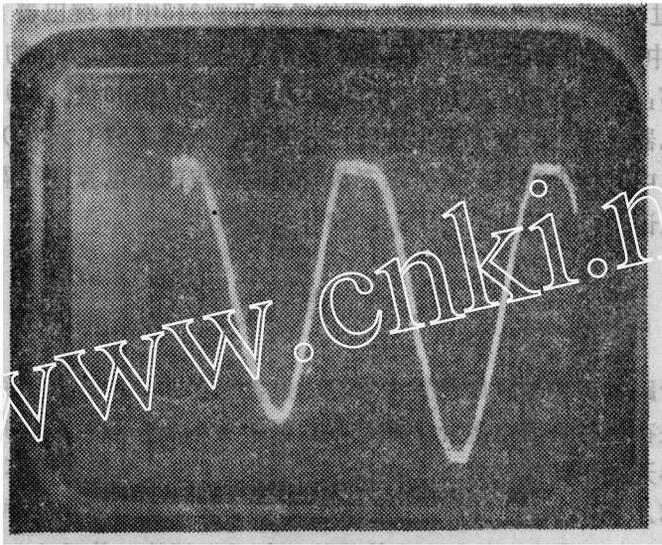


图十一 行波、距离保护二次迂回路示意图



图十二 拉行波保护负极保险在跳闸中间继电器两端电压波形

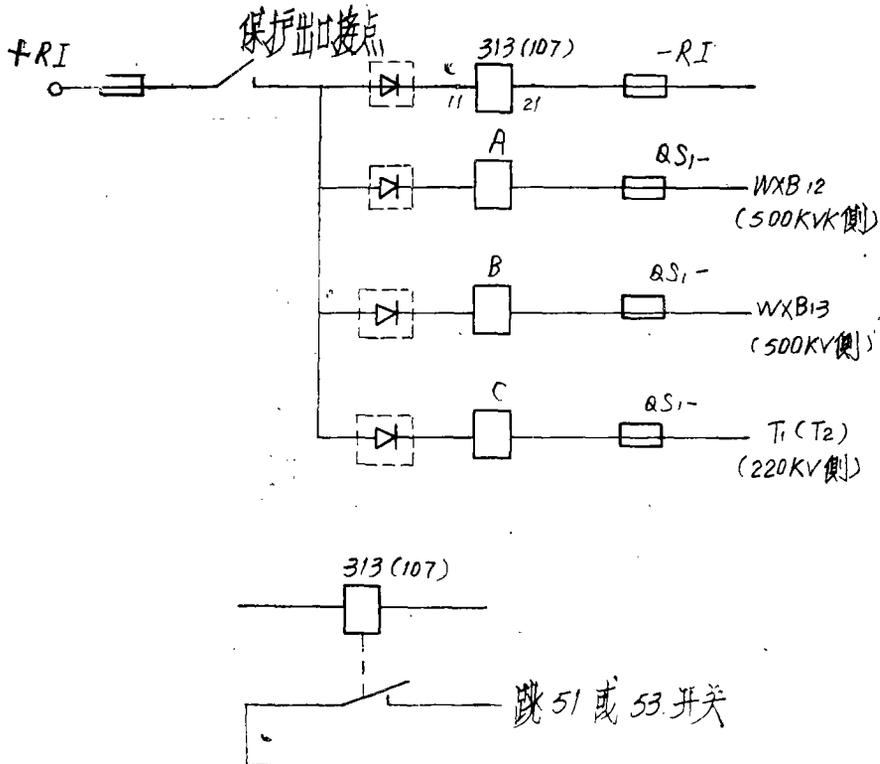
在行波保护的二次迂回路中串了二极管隔离正电源如图十一虚线所示，经过多次拉保护负电源保险时，跳闸中间继电器不起动，开关不误跳。距离保护二次迂回路加了二极管隔离，进行同样的试验开关不误跳。在行波保护二次回路加了二极管隔离，拉保护负电源保险时，用记忆示波器录取跳闸中间继电器线圈两端电压波形，如图十三所示干扰电压11.2伏，小于跳闸中间继电器起动作值。



图十三 行波保护加二极管隔离后干扰电压

2. 拉*1主变压器保护的负电源保险时35KV侧跳51、53开关。

开关误动的初步分析：如图十四所示，当拉*1主变压器保护的负电源保险 -RI



图十四 拉35KV侧保护电源负保险，51、53开关误跳示意图

时,由+RI通过“+”和“-”电源之间的负载串到313中间继电器线圈2I端子、经WXB_{1,2}的跳闸中间继电器A到QS₁负电源,同样也分别经过WXB_{1,3}的B、T₁(或T₂)的C到负电源QS₁,实测313(或107)中间继电器两端电压100伏。110伏的直流电源几乎都降在此继电器线圈上,继电器启动通过此常闭接点跳了51(或53)开关。改进措施是在313(或107)中间继电器1I端子处串二极管,对串电的正电源进行隔离如图十四虚线所示,经过多次试验,有效地防止了51,53开关误跳。

五、几点看法

1. FA₄断路器可控硅跳闸装置内增设滤过器和保护二次窜电迂回路中用二极管隔离,解决了开关在操作直流电源开关或拉某些保护负电源保险时误跳的问题。

2. 一个半开关主结线使保护二次回路复杂化。设计人员稍考虑不周,将会在运行中带来隐患。ASEA公司在设计保护二次回路时考虑不周,如线路保护单元(WLB),元件保护单元(T或L),开关设备本身公共保护(如重合闸等)单元(WXB)以及开关跳闸回路单元(QS),在保护跳闸出口回路中一般有WLB(T或L)、WXB、QS等直流供电单元的相互转换,在各单元的转换过程中没有严格遵守接点转换原则而有些是通过保护装置出口有支接的继电器线圈转换或拉保护负电源保险时某一单元的正电窜电经过跳闸中间继电器到另一单元的负极,引起了开关误跳。为此各单元的直流电源应尽量划分开,各单元转换最好遵守接点转换原则。对目前既成事实的二次窜电迂回路采用二极管隔离是一个简易可行的措施,当然还有更好的措施是不用二极管隔离而用更改二次回路结线、但改线复杂且工作量大。

3. 强电的控制电缆不要与弱电的控制电缆绑扎在一起,曾在凤凰山变电站保护安装调试中,模拟单相瞬时故障时,由于非故障相误动重合闸装置动作不成功误跳三相。经试验检查发现跳闸电缆与强电380伏控制电缆绑扎在一起产生干扰电压的缘故,最后决定将跳闸线控制电缆单独铺设到开关箱,再模拟单相瞬时性故障时,单相跳闸重合闸装置动作成功,反复试验多次再也没有发现模拟单相瞬时性故障而误跳三相的现象。

4. 对今后引进国外保护或采用国产保护,若采用了可控硅跳闸装置一定要加装行之有效的抗干扰措施(加装滤过器或其它措施),防止在系统运行中操作直流电源开关在跳闸回路中产生的干扰或其它干扰使开关误跳。确保电力系统的安全运行。

(参加工作人员有 迟一丁同志)