

ZCG—21型相差动高频保护装置的研制

许昌继电器研究所 任志诚、赵自刚

ZCG—21型相差动高频保护装置从1979年至1985年，历时6年，在电科院和许昌继电器研究所有关同志的共同努力下，完成了原理接线设计、样机制造、动模试验及产品型式试验，目前已进入批量生产阶段。

相差动高频保护作为高压、超高压输电线路全线快速动作的主要保护，能反应各种类型的故障。电力系统振荡及非全相运行均不会误动作，接线简单，工作可靠性高。这种保护在我国已有30年的发展历史。五十年代，从苏联引进了ДФ3—2机电型相差高频保护，在国内改型为GCH—1型并投入生产。该产品虽比较可靠，但动作速度慢，结构庞大，调试复杂，运行维护不便。七十年代初，我所由东北内迁至许昌后，为满足生产急需，解决我厂产品配套问题，对GCH—1型产品作了少量改动，改型为ZCG—¹¹/₁₂型产品维持生产供货。但其性能与GCH—1型产品相比并无多大提高。为了进一步满足国民经济的发展对电力系统的要求，我们又进一步研制了ZCG—1A型全晶体管相差动高频保护装置。其技术性能优于上述各个产品，尤其是该产品的核心环节

(紧接前页)

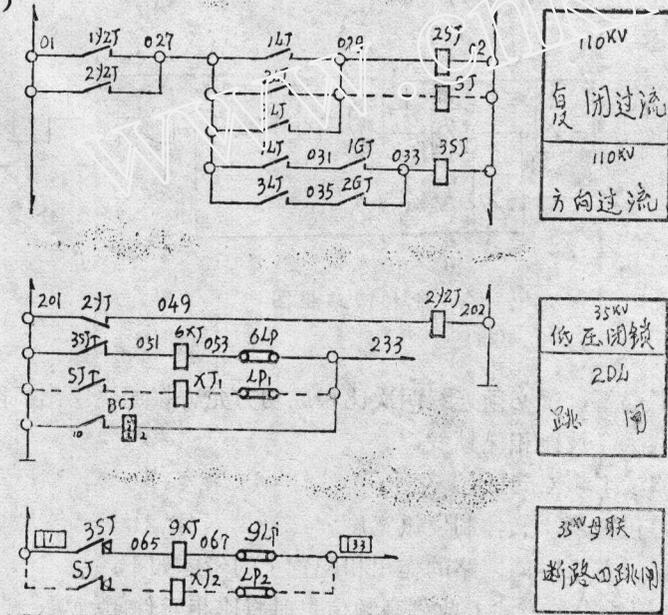


图 3

——比相部分采用了两次比相的原理，大大提高了产品的可靠性，广泛赢得了用户的欢迎和赞誉。目前我国西南、中南地区都大量采用了该型保护，东北电网近年来也开始采用了该产品。ZCG—1 A型相差动高频保护装置还与SF—5 B型高频收发讯机一起于1983被评为河南省优质产品，1984年被评为部优产品。

近年来，随着国民经济的飞速发展，我国也出现了一些较大的电网，实现了500kV超高压远距离送电。随之而出现的诸如系统容量增大，输电线路增长，电压等级升高及负荷的加重等新问题，对电网的安全稳定运行提出了更高的要求。因此，迫切需要继电保护能提供出性能及指标都优于目前产品的新型保护，以适应和满足不同系统及不同线路的不同要求，使之更加安全可靠、更趋完美。在这种情况下，电科院于1979年和我所合作，在ZCG—1 A的基础上，共同开始了ZCG—21型相差高频保护的研制工作。

在研制工作中，我们着重解决了以下几个问题：

1. 设计更加严密的逻辑回路；
2. 解决起动元件在系统发生三相短路时的可靠起动问题；
3. 提高操作元件抑制直流分量的能力；
4. 增强保护工作的可靠性。

一、设计更加严密的逻辑回路

比相元件是相差动高频保护的核心环节，保护能否正确动作，它起着十分重要的作用。ZCG—1 A型相差动高频保护装置为解决比相环节的可靠性而采用了两次比相后，提高了保护躲电力系统二次暂态过程的能力，受到了用户的欢迎。ZCG—21型保护根据产品技术条件的要求，对比相元件作了改进，设计了更加严密的逻辑回路。比相部分的框图如下：

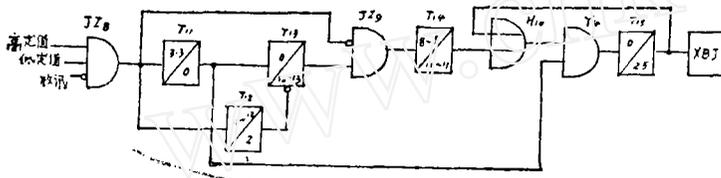


图 1 比相回路框图

其主要特点是：

- (1) 在任何情况下，都必须连续两次比相成功方允许接通跳闸出口回路；
- (2) 工作方式为半波比相闭锁式；
- (3) 工作回路按 I 频 (50Hz) 设计；
- (4) 既控制停讯宽度，又控制发讯宽度。

各个“门”回路及各个时间回路的作用和配置上的考虑如下：

- (1) JZ₈：①实现闭锁式比相方式（收到高频信息时将比相元件闭锁）；
②实现起动元件控制比相。

(2) T_{11} : 闭锁角的积分时间(3.3mS对应的闭锁角 = 60°)。

T_{12} : 用于鉴别空档宽度(即停讯宽度)。

因为空档宽度是小于10mS的(理想情况下为10mS),故JZ₈门的开放时间也应于10mS。若故障时,收讯机收到高频信息的时间大于10mS,则属于异常现象,不认为是内部故障。此时 T_{12} 延时11~12mS动作,将 T_{13} 积分时间冲零。 T_{12} 中的延时2mS复归的目的在于提高 T_{12} 时间回路工作的可靠性。

(3) T_{13} 、JZ₉、 T_{14} : 用于鉴别发讯宽度。

JZ₉开放的条件是:

- ① JZ₈无输出(即有高频信息);
- ② T_{13} 有输出。

由 T_{14} 延时8~9mS动作,即可判别发讯宽度。因为发讯的宽度不会小于10mS,若小于此时间认为是异常(这是很有可能出现的,如空载合闸时由于电容电流的影响,出现高次谐波,使得操作方波破碎,其半波的宽度是小于10mS的),不允许进行第二次比相。 T_{13} 延时12~13mS复归是为了延时 T_{11} 的输出,配合JZ₈的输出利用JZ₉和 T_{14} 鉴别发讯宽度。

(4) Y_4 : 实现两次比相。

所谓二次比相是指停讯检查环节动作两次,即表示比相成功两次。在两次检查停讯的环节之间,测量发讯宽度,如成功方允许进行第二次检查停讯宽度,即进行第二次比相。

Y_4 开放的条件为:

- ① T_{11} 有输出(即无高频信息的时间大于闭锁角的积分时间);
- ② T_{14} 有输出(检测发讯宽度合格后的输出)。

(5) H_{10} 、 T_{15} : 保证比相环节动作的可靠性和连续性。

H_{10} 确保故障不切除,比相元件不返回。 T_{15} 保证输出连续信号,因为XBJ不能靠断续信号推动。

(6) XBJ: 与BSJ、KFJ一起准备出口跳闸回路,实现比相元件控制出口,进而最终实现由相位比较来决定跳闸与否。XBJ动作后还发出信号。

附跳闸出口回路:

BSJ: 闭锁继电器

KFJ: 开放继电器(受高定值控制)

XBJ: 相位比较继电器

XJ: 信号继电器

CKJ: 出口继电器

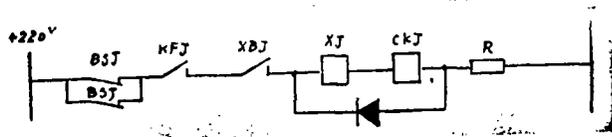


图2 跳闸出口回路

显然,上述比相环节在发连续信号(外部故障)或完全不发或发讯宽度、停讯宽度不合要求时都不能工作,只可能在内部故障时动作。这是十分严格的(读者可自行分析比相条件在各种情况下的动作行为)。在ZCG-21产品的选型设计动模试验和样机动模试验中,尽管按照对保护正确工作十分不利的运行方式进行考核,但在数千次的区内

外故障的试验中,均未发生误动和拒动,证明该逻辑回路的设计是可行的,是符合设计要求的。从动模试验的录波图中可以看出,空载合闸时虽然比相输出曾出现3.3ms的缺口,但因发讯时间小于规定时间(8~9ms),亦即在合闸暂态过程中,操作波是破碎的,不符合比相元件的动作条件,虽然起动元件动作,也未误动。当进入稳态后,高定值起动元件已返回,也不会误动。所以说,上述逻辑回路具有较好的防止空载合闸时保护误动的能力。在所进行的数千次区外故障试验中,虽然也出现缺口,但由于不符合比相逻辑回路的工作条件,所以从未误动过。对于区内故障,能保证可靠动作。采用上述比相方式后,在试验中测得,保护的 fastest 动作时间为32ms,最长动作时间为56ms。

二、解决起动元件在系统发生三相短路时的可靠起动问题

通常相差动高频保护的起动元件以负序电流和零序电流作为非对称故障的起动量,而对称故障则采用相电流元件、阻抗元件或低电压元件加负序电流后闭锁后作为起动量。由于稳态的三相短路并无对称分量输出,故三相短路时的起动,主要是靠故障转换过程中出现的短暂的负序电流加瞬时固定来解决。

电力部,机械部于1979年的庐山会议上共同拟定的继电保护装置技术条件对这一点提出了明确要求,要求三相短路转换时间小于1ms(在最不利的短路起始角下,允许不大于3ms)故障电流为四倍定值时,负序电流继电器应可靠动作。

为验证此项技术要求,我们用特制的带相角合闸器、时差调节器的三相交流开关在电感调节电流回路中,对各类负序电流继电器进行了试验。大量试验证明三相式负序电流继电器反应三相故障的能力大大优于单相式的负序电流继电器。

ZCG-21型相差动高频保护的起动元件对于三相故障可靠起动这一点,作了改进。解决的办法可以用上述提到的三相式负序电流继电器,但是我们未受用这种方法,而是另外增加了一个独立的相电流差突变量元件来解决这个问题。这个元件东北电力系统早在60年代就用作非全相振荡闭锁元件,有着丰富的运行经验。在我厂的整流型500kV成套线路保护中又用作选相元件。它在电流的相位和幅值发生变量时都可以动作,灵敏度高,接线简单,具有很好的躲负荷的能力。鉴于此,利用它可以说从原理接线上可靠解决了三相故障时的起动问题。

外部故障切除后,如负荷电流较小,电容电流较大,两侧电流的相位可能落到动作区。为避免保护误动作,起动元件应在这时快速返回,将比相元件退出。产品技术条件要求起动元件的返回时间小于20ms。

为提高这个指标我们也曾作过一些试验工作。如采用加制动量的办法,可以得到满意的结果。但是这样一来,产品较繁锁复杂,似乎得不偿失,而且外部三相故障电流只有在短线路时才能比较大,相反电容电流在短线路时又比较小,长线路的电容电流较大,但故障电流有限,所以这个问题有局限性。为了减少返回时间,尤其在电流下降至返回值,而又不回到零值时的情况下,我们将由电流互感器构成的电流继电器都换成了由电抗变压器构成的电流继电器,从我们所作的元件特性试验情况来看,在返回时限上后者是优于前者的。

由于ZCG—21型产品设计工作开始时，是按用于220kV系统考虑的，而220kV系统的高次谐波不是很严重。但若将其用于500kV系统，这个问题就显得突出了。将相差高频保护用于500kV系统，目前尚属于探讨性质。这次进行的动模试验，通过在500kV电力系统的长、中、短线路上模拟各种类型的故障，均未发现问题，只是在个别情况下，如空载合闸时若 $3I_0$ 较大且波形不好时，不太理想。动模试验结束后，对电流元件受高次谐波的影响进行了检查。结果如表1所示。

表1 电流元件定值受谐波的影响值

f (周)	50	100	150	200	250
I_{CP} (A)	1.3	0.51	0.52	0.52	0.53

从试验结果来看，由于谐波的影响导致定值降低。定值降低的主要原因是由于电流继电器中的电抗变压器的硅钢片有气隙，励磁阻抗远小于负载阻抗，能削减直流分量，但能放大高次谐波分量。所以电抗变压器原边输入高频电流时，与输入工频电流时副边的感应电势是不一样的。频率增加，电抗变压器的二次感应电势相应增加，导致电流继电器定值降低。但它并非是按频率的上升而呈直线上升。因为它后面还有裂相回路。裂相回路是按1频设计的，频率增高输出有下降的趋势。裂相回路是容性的。从试验结果可以看出，频率上升一倍，定值基本减半，而再上升仍然维持减半的情况。

在500kV系统中，由于谐波增大，不容忽视，必须采取措施。解决办法可用上述继电器加滤波来处理。但这样势必对加快返回不利，失去了用电抗变压器的意义。加滤波措施使得返回时限增长到20ms左右，较之不加滤波的继电器慢了约1倍（不加滤波的约在10ms左右）。显然，这不是一个好的解决办法。

若将电流元件恢复为ZCG—1A产品的方案，仍用电流互感器，则有如下试验结果：

表2 电流元件受谐波影响的值

f (周)	50	100	150	200	250
I_{CP} (A)	2.2	2.3	2.6	3	3.3

从表2中可见，谐波次数增高，定值反而上升。原因是电流互感器励磁阻抗远大于负载阻抗，对边的高次谐波没有放大作用，而后面容性的裂相回路反而对高次谐波有抑制作用，所以随着频率的上升定值也增加。显然它对谐波有一定的抑制作用，至于返回时限特性，一般情况下如同ZCG—21产品，只是在直流分量严重时稍差，但从ZCG—1A产品的使用来看，无任何问题。为使ZCG—21型产品能用于500kV系统，并兼顾返回时限特性和谐波的影响，我们认为以沿用ZCG—1A产品的电流元件为宜。

ZCG—21产品的起动物件，由下列起动物件组成：

$$I_2, 3I_0,$$

$$I_{x1} (1.5A \sim 6A)$$

$I_{x2} (5 \text{ A} \sim 20 \text{ A})$

ΔI (相电流差突变量)

$Z (2 \sim 20 \Omega)$

不对称短路采用 $I_2, 3 I_0$ 作为起动量; 对称性短路采用 ΔI 和相电流或阻抗元件共同作为起动量。其中阻抗元件为在第 3 象限有 10%~20% 偏移度的阻抗继电器。

从动模试验的情况来看, 这样设置的起动元件是能满足保护对起动元件的要求的。

三、提高操作元件抑制直流分量的能力

电力系统是由发电机、变压器、线路等电感性元件组成的。在短路初瞬间, 电感中的电流是不能突变的。于是出现了短路电流的暂态非周期分量, 即直流分量。当系统出现暂态过程时, 每条线路都可能出现直流分量, 只是衰减的快慢不同而已。

设系统电势为 $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$, 则所求的稳态短路电流为:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi - \theta)$$

式中的 θ 为系统的总阻抗角。

在短路瞬间 $t = 0$ 时的短路电流为:

$$i' = I_m \sin(\varphi - \theta)$$

则电流中的直流分量将是:

$$i'' = -I_m \sin(\varphi - \theta) e^{-\frac{t}{T}}$$

式中 $T = \frac{L}{r}$, 为系统的时间常数。

从式中可见, 直流分量的大小与短路发生的时刻有关, 当 $\varphi = \theta$ 时, 为 0; $\varphi = \theta \pm 90^\circ$ 时, 为最大。

直流分量的出现改变了正负两半波的宽度和波形过零的时刻, 使得电流波形偏于时间轴的一边, 造成某半波变宽, 另半波变窄的现象。这种现象对外部故障而言, 一般不影响保护的動作行为。对内部故障来讲, 有可能延缓保护的動作速度, 而且在三相外部故障切除后无电流状态时, 发信可靠性不能得到保证。

ZCG-21 产品的操作量为 $I_1 + KI_2$ 。对于这样一个复合滤过器, 以往的产品都是用电阻—电抗移相原理构成的, 即由一个电流互感器, 一个电抗变压器构成。

测量用小变压器的等值电路为:

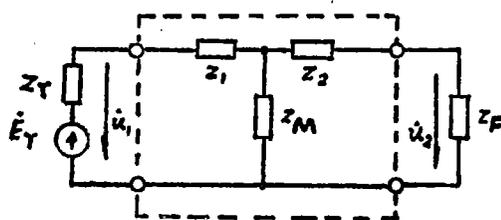


图 3 变压器等值电路

式中 Z_1, Z_2 分别为一次和二次绕组的漏抗

Z_M 为励磁阻抗

Z_Y 及 E_Y 为电源内阻抗和电势

Z_F 为负载阻抗

作为电流互感器, 它的铁芯是没有气隙的, 并有下列关系式:

$$Z_M \gg Z_Y \quad Z_Y \gg Z_F$$

短路瞬间出现的直流分量进入复合滤序器中的电流互感器时, 大部分可通过二次负

载阻抗，并在 Z_F 上产生相应的直流电压。也就是说，滤序器中的电流互感器不仅能传变交流分量，而且还能传变按指数曲线衰减的直流分量，以至于影响保护的性。

作为电抗变压器，它的铁芯是有气隙的，并有下列关系式：

$$Z_M \ll Z_F, \quad Z_M \ll Z_Y$$

短路瞬间出现的直流分量大部分都通过了励磁阻抗，在 Z_F 上产生的电压很小。也就是说在电抗变压器二次侧的感应电势中，直流分量很小，亦即它能抑制直流分量。

为了消除直流分量的影响，在ZCG—21型产品中采用了两个电抗变压器构成的 $I_1 + KI_2$ 复合滤序器作为操作元件。从动模试验的结果来看，这种型式的滤序器的性能优于一般的操作元件，能较好地抑制直流分量，保证系统对保护快速性的要求。从直流分量较大，经60mS才衰减下来的录波图可见，保护高频通道出现了3次缺口才出口跳闸，动作时间约50mS，仍然满足技术条件的要求。而以往的国内同类型不具备这个特点。在这种情况下，由于电流偏离时间轴一侧，造成操作方波的宽窄比发生变化，使得高频通道中信号的空档变小。只有当直流分量衰减下来后，操作方波宽窄比正常后，即高频通道的信号空档足够保护比相工作条件时才能出口跳闸，所以会延时动作。而ZCG—21型产品由于采用了能抑制直流分量的操作元件，从而解决了发生此情况时保护可能延时动作的问题。

另外ZCG—21型产品提高了操作元件的操作灵敏度，以便于在负荷情况下进行通道检测。

四、提高装置工作的可靠性

为了防止由于装置中的主要元器件损坏或异常时，造成保护误动，ZCG—21型产品增设了闭锁回路，其框图如下：

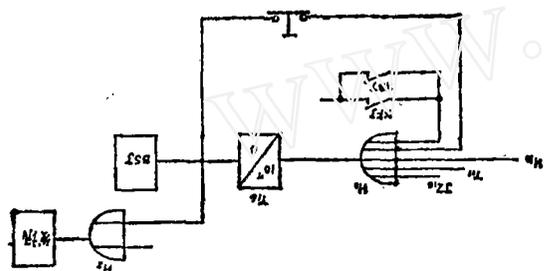


图4 闭锁回路框图

它的作用是当出现下列情况之一时，通过 H_1 ， T_{10} 起动闭锁继电器：

- (1) 当比相积分回路 T_{11} 长期有输出时，
- (2) 当比相回路 H_{10} 长期有输出时，
- (3) 当操作回路长期有输出时，
- (4) 当比相继电器 XBJ 长期动作时，

- (5) 当允许开放继电器 KFJ 长期动作时。

T_{10} 延时10"动作是为了保证区内故障时，不致误闭锁， T_{10} 有输出后，即完成下列功能：

- (1) 通过复归按钮 FA 的常闭触点使闭锁继电器动作自保持，以使得装置异常被解除之前，将保护长期闭锁；

参加IEC / TC 41 1985年伦敦会议简况

许昌继电器研究所 方文楷

IEC—TC41, SC41A, SC41B会议于1985年10月29日—31日在英国伦敦汉普登会议厅(Hampden House)举行。我国派三人(河南省标准局1人,许昌继电器研究所2人)组成的代表团出席会议。现简要汇报如下:

一、TC—41技术委员会会议

1. TC—41电气继电器技术委员会会议于1985年10月31日举行。出席会议的有澳大利亚、比利时、中国、芬兰、法国、东德、西德、意大利、日本、西班牙、瑞典、瑞士、英国和美国14个国家的代表35名。会议由TC—41主席Ch.W.Hahn先生(瑞士)秘书J.F.de.Beaufort先生(法国)主持。CIGRE代表W.J.Cheetham先生(英国)也列席了会议。其中法国代表团人数多至7名;比利时、芬兰、东德、意大利、西班牙等国派1名代表参加。

2. TC—41主席在报告中指出:

1) 自从1984年1月22日斯德哥尔摩会议之后,TC41主席以观察员身份出席了CIGRE—SC34的1984年巴黎会议和1985年卢布尔雅那会议,对CIGRE34—04工作组

(2) 启动BSJ通过其触点解除保护的跳闸出口继电器的工作;

(3) 使发信机启动发信,发出连续信号,闭锁对侧保护。

出口跳闸回路中BSJ用两付触点并联,是为了防止由于BSJ损坏而造成拒动,不考虑粘连的情况(因为用BSJ防止因装置内部无器件损坏而误动,还可通过发连续信号来实现)。

设置了闭锁回路后,使得装置本身的可靠性有所提高是显而易见的,但对于区外故障的防误动,则仍有赖于保护的正确工作。

此外,ZCG—21型产品还具有防止电流互感器二次回路断线时可能引起误动的能力。通过对侧远方起讯元件发连续信号来闭锁断线侧保护,并为共用1组CT创造了条件。

在经历了两次动模试验后,我们还于1985年10~11月在我所产品型式试验室按产品的技术条件,逐项对ZCG—21型相差动高频保护装置进行了考核。产品顺利通过了性能检测,温升、短时耐热极限及动稳定检验,绝缘性能检验,抗干扰及电寿命检验。综上所述该产品是能满足技术条件要求的。

经过电科院和我所近6年的努力,ZCG—21型产品将于近期内在广东投入试运行,接受实践的检验。