

偏移阻抗继电器在大型发—变组 后备阻抗保护中的应用

河南省电力勘测设计院 白宗敏

一、问题的提出

目前,对于大型发电机—变压器组(以下简称发—变组)的相间短路故障,除采用差动保护作为主保护外,一般都采用阻抗保护作为后备保护。它可以接在变压器的高压侧,也可以接在发电机的端部,我国多采用前者,一般都接近后备原则整定,阻抗元件一般为全阻抗继电器。

一般来说,全阻抗继电器的动作阻抗与阻抗角无关,整定方便。但当发—变组的高压出线较短时,就可能会出现整定困难和保护范围过小的问题。如果按远后备原则整定,则由于动作阻抗较大,动作时间较长,而对系统稳定、设备安全以及躲振荡性能带来不利的影响。本文对该问题谈一点粗浅的看法。

二、全阻抗继电器的局限性

对于接在发—变组高压侧的阻抗保护,当接近后备原则整定时,其动作阻抗为:

$$Z_{dz} = K_P K_j K_{zh} Z_{LX} \dots \dots (1)$$

式中 K_P ——配合系数,一般取0.9;

K_j ——计及继电器、互感器误差和一定裕度的系数,一般取0.85;

K_{zh} ——助增系数,取决于并列运行的发—变组数量。为了保证选择性,应取可能的最小值,本文取1;

Z_{LX} ——相邻元件主保护最小动作区所对应的阻抗值。为简化问题,本文取主保护的保护区为线路全长,对220kV线路, $Z_{LX} = 0.37l_{LX}$;对500kV线路, $Z_{LX} = 0.28l_{LX}$ 。

由此可得,对于接在220kV和500kV高压母线上的发—变组的后备阻抗保护,其整定阻抗分别为0.28 l (欧)和0.21 l (欧)。折算至二次侧的继电器整定(欧姆)值可按下式计算:

$$Z_i = \frac{n_L}{n_Y} Z_{dz} \dots \dots (2)$$

式中 n_L , n_Y ——分别为电流互感器和电压互感器的变比。

由此, 不难求得对应于一定线路长度的阻抗继电器的整定值。反之, 当继电器的最小整定值确定后, 也可求得能够有选择性保护的线路最小长度。例如, 继电器的最小整定值为 1Ω , 则相应的 220kV 线路 $l_{LX} = 33\text{KM}$ 。而在 220kV 电网中, 33KM 以下的线路并非罕见。对于较短线路, 即使继电器整定值可以满足要求, 而为了保证可靠的选择性, 使得阻抗保护的保护区过小, 甚至有可能使部分变压器处于没有后备保护的状况。当然, 在此情况下, 可以提高整定阻抗, 增大动作延时, 使之和相邻元件的后备保护相配合, 但这对机组安全和系统稳定都是不利的。

三、偏移阻抗继电器的应用

与全阻抗继电器的动作特性不同, 偏移阻抗继电器的动作特性圆可以沿 X 轴方向移动 (图1), 从而可以恰当地解决全阻抗继电器所存在的问题。

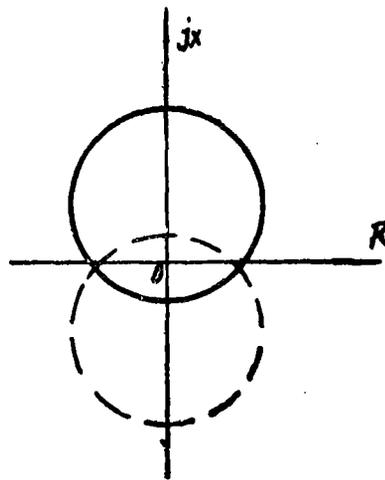


图1

1、当继电器接在发一变组的高压侧时, 在相邻线路较长的情况下, 正向阻抗取在线路侧, 反向阻抗取在发一变组侧。反之, 正、反向阻抗选取相反。

2、当阻抗继电器接在发电机端部时, 其正向阻抗取在变压器侧, 反向阻抗取在发电机侧。

偏移阻抗继电器的采用除了上述能够合理地确定保护区外, 还可以改善躲振荡性能; 当继电器接在发电机端部时, 还可以有效地避免发电机失磁情况下的误动作。

阻抗继电器的躲振荡性能取决于系统结构、阻抗参数, 发电机阻抗参数和继电器本

身的整定阻抗圆的大小，阻抗圆越小，躲振荡性能越好。

为了简化问题，假定参与振荡的发电机电势 \dot{E}_A 和系统等效电势 \dot{E}_B 幅值相等(图2)，并忽略发一变组和相邻线路的电阻，则系统发生振荡时，阻抗继电器所感受的阻抗为：

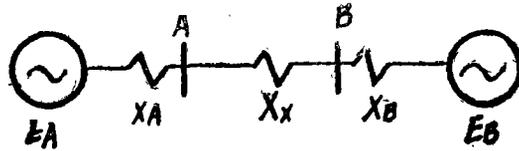


图2

$$\dot{Z}_G = \left[\left(\frac{1}{2} - m \right) - j \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2} \right] \dot{Z}_Z \dots \dots (3)$$

当振荡中心位于继电器安装处时， $m = -\frac{1}{2}$ ，上式变为：

$$\dot{Z}_G = -j \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2} \dot{Z}_Z \dots \dots (4)$$

式中 $m = \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_Z}$ $\dot{Z}_Z = \dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_X$ $\delta = \angle \dot{E}_A, \dot{E}_B$

一般来说，大型发一变组，发电机电抗 X_A'' 约为变压器电抗 X_B 的 1~1.5 倍，所以，当阻抗继电器接在发一变组的高压侧时，式(3)、(4)中的 $\dot{Z}_Z \approx (4-5) \dot{Z}_B$ ；

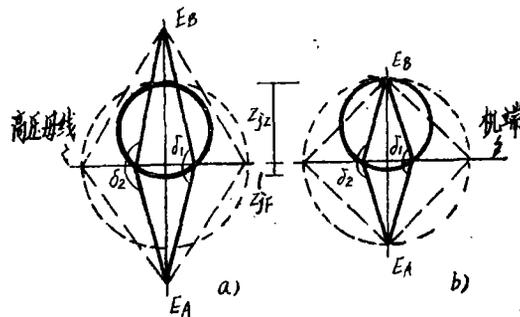


图3

当阻抗继电器接在发电机端部时， $\dot{Z}_Z \approx 3 \dot{Z}_B$ 。假定继电器按下述原则整定：装在高压侧时，与相邻线路主保护配合，设正向阻抗整定值 $Z_{jz} = Z_B$ ，反向阻抗整定值 $Z_{jf} = 0.3 Z_B$ ，则在振荡过程中，继电器的最大动作时间 $t_d \approx 0.2 \sim 0.25 T$ (T 为振荡周期) (图3, a)；继电器装在机端时，按照在相邻母线上金属性相间短路，阻抗继电器的灵敏系数 $K_m = 1.5$ 的原则整定，故 $Z_{jz} = 1.5 Z_B$ ，取 $Z_{jf} = 0.2 Z_B$ ，相应的 $t_d \approx$

$\approx 0.3T$ (图3, b)。图3中虚线表示全阻抗继电器的动作特性,显然,其躲振荡性能较差。应该指出,采用偏移阻抗继电器改善躲振荡性能是以牺牲其保护范围为前提的。但是考虑到发一变组一般采用双重速动保护,所以,适当减小后备保护的范围也是允许的。

由此可见,采用了偏移阻抗继电器有效地改善了躲振荡性能,一般情况下,可使接于高压侧的阻抗继电器的动作时间不大于0.5秒,使接于机端的阻抗继电器的动作时间不大于1.0秒。

当全阻抗继电器接在机端时,其动作阻抗园有可能和失磁阻抗继电器的动作阻抗园相交。采用偏移阻抗继电器,则可避免相交。

一般情况下,失磁阻抗继电器可按静稳边界和异步边界两种方法整定,前者是通过 R 、 jX 复平面上点 $-jx_d$ (发电机同步电抗) 和 jx_s (系统电抗)、半径为 $\frac{X_d + X_s}{2}$

的园,后者是通过点 $-j\frac{1}{2}X'_d$ (发电机暂态电抗) 和 $-X_d$ 、半径为 $X_d - \frac{1}{2}X'_d$

的园(图4)。通常,对汽轮发电机组, $\frac{X'_d}{X_d} = 1.2 \sim 1.6$ 左右,故 $\frac{1}{2} \frac{X'_d}{X_d} = 0.6 \sim 0.8$



图4

左右,而当接在机端的后备阻抗保护的整定值 $Z_{dz} = K_m Z_D = 1.5$ 时,由于 $\frac{1.5 Z_D}{X'_d}$ 约为1~1.3左右,显然,全阻抗继电器的动作园有可能和异步边界园相交,且将落入静稳边界之内。采用了偏移阻抗继电器,取反向阻抗为正向阻抗的0.2倍左右,就可能不与异步阻抗园相交,而且减少了后备阻抗园与静稳边界园的重迭区。从图中还可以看

出,当继电器装在高压侧时,其动作圆离开异步边界圆更远,与静稳边界圆的重选区更小。事实上,发电机失磁后,工作点落入R轴以上的边界圆内的机率是极少的。这样就有效地避免或减少了失磁情况下阻抗保护的误动作。

四、偏移阻抗继电器的接线方式

继电器可以接在线电压、相电流差上,也可以接在同名相电压、相电流上,常用的接线方式有 0° 接线、 30° 接线、 -30° 接线以及同名相电压、相电流接线。

通过计算可以求得对应于不同接线方式、不同地点发生不同类型的短路时,继电器所感受的阻抗。

1、继电器接在发一变组高压侧时的感受阻抗为表1所示:

表 1

短路种类	故障地点	接 线 方 式			
		0°	30°	-30°	U_{xg}/I_{xg}
D(3)	高压侧	Z_1	$\sqrt{3}e^{j30^\circ}Z_1$	$\sqrt{3}e^{-j30^\circ}Z_1$	Z
	低压侧	Z_1	$\sqrt{3}e^{j30^\circ}Z_1$	$\sqrt{3}e^{-j30^\circ}Z_1$	Z_1
D(2)	高压侧	Z_1	$2Z_1$	$2Z_1$	Z_1
	低压侧	∞	$j2\sqrt{3}(Z_1+Z_x)$	$-j2\sqrt{3}(Z_1+Z_x)$	$Z_1 \pm j\sqrt{3}(Z_1+Z_x)$
		$Z_1 \pm j\sqrt{\frac{1}{3}}(Z_1+Z_x)$	$3Z - j\sqrt{3}(Z_1+Z_x)$	$\frac{3}{2}Z_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}(Z_1+Z_x)$	$-jZ_1$
		$\frac{3}{2}Z_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}(Z_1+Z_x)$	$3Z_1 + j\sqrt{3}(Z_1+Z_x)$		

表中 Z_1 、 Z_x ——分别为短路点距保护安装处的正序阻抗和系统等效正序阻抗(正负序阻抗相等)。

表中所示低压侧两相短路时的阻抗表达式分别为三相继电器所感受的阻抗。

由此可知, 0° 接线和同名相电压、相电流接线能够正确反应高压侧、低压侧的三相短路故障和高压侧的两相短路故障,而不能正确反应低压侧的两相短路故障,使保护范围缩小,但由于装在发一变组高压侧的阻抗保护主要是作为相邻元件(母线和线路)和变压器高压线圈及其引出线的相间短路后备,对低压侧短路故障的后备并不作严格的要求,从而,上述保护范围的缩小是允许的,事实上,当偏移阻抗继电器的正向阻抗取在高压侧时,反向阻抗一般也达不到低压线圈。对于 30° 、 -30° 接线,由于偏移阻抗继电器的整定圆一般不通过原点,所以任何情况下均不能正确反应相间短路故障。

2、继电器接在发电机端部时的感受阻抗如表2所示:

表2

短路种类	感受阻抗 短路地点	接线方式			U_{xg}/I_{xg}
		0°	30°	-30°	
D(3)	低压侧	Z_1	$\sqrt{3}e^{j30^\circ}Z_1$	$\sqrt{3}e^{-j30^\circ}Z_1$	Z_1
	高压侧	Z_1	$\sqrt{3}e^{j30^\circ}Z_1$	$\sqrt{3}e^{-j30^\circ}Z_1$	Z_1
D(2)	低压侧	Z_1	$2Z_1$	$2Z_1$	Z_1
	高压侧	$Z_1 \pm j\frac{1}{\sqrt{3}}(Z_1+Z_F)$ ∞	$j2\sqrt{3}(Z_1+Z_F)$ $3Z_1 - j\sqrt{3}(Z_1+Z_F)$ $\frac{2}{3}Z_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}(Z_1+Z_F)$	$-j2\sqrt{3}(Z_1+Z_F)$ $3Z_1 + j\sqrt{3}(Z_1+Z_F)$ $\frac{2}{3}Z_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}(Z_1+Z_F)$	Z_1 $Z_1 \pm j\sqrt{3}(Z_1+Z_F)$

式中 Z_1 ——发电机正序阻抗（正、负序阻抗相等），其他符号意义同表1。

由表2可以看出，当继电器接在发电机端部时， 0° 接线不能正确反应高压侧两相短路故障，而这种情况下，要求继电器应对高压侧的任何相间故障作出准确的判断，故此时不宜采用 0° 接线。同名相电压、相电流接线，不仅能正确反应高低压侧的三相短路故障和低压侧的两相短路故障，而且总有一相继电器能正确反应高压侧的两相短路故障。对于 30° 和 -30° 接线，如果使其动作阻抗圆通过坐标原点，并使其动作方向指向高压侧，则继电器也可以正确反应高低侧的三相短路故障和低压侧的两相短路故障，但当高压侧两相短路时，其保护范围将缩小。

五、对继电器技术参数的要求

综上所述，在大型发—变组后备阻抗保护中应用偏移阻抗继电器能够合理调整保护范围、缩短动作时间、改善躲振荡性能等，特别是对短线路，发—变组阻抗保护整定配合困难时，更显出它的优越性。目前，有些制造厂家已经生产这类继电器并且已应用于电力系统中，但其某些技术参数尚不够理想。结合我国大型发—变组和电力系统的一般情况，并考虑到尽量简便继电器的调校和整定，提出如下主要技术参数以供制造厂家参考：

额定交流电压：100伏

额定交流电流：5安和1安

直流电压：220伏和110伏

接线方式： 0° 接线和同名相电压、相电流接线

最大灵敏角： $90^\circ \pm 10^\circ$

动作阻抗：

5安：正向阻抗—2~20欧姆

反向阻抗—0.25~5欧姆。

继电器行业标准化研究讨论会在成都召开

受机械部电器工业局的委托，由许昌继电器研究所主办，在成都继电器厂大力支持与热情接待下，继电器行业标准化研究讨论会，于一九八四年，十一月一日至二十七日在四川成都市召开。

会议开幕式，有四川省机械厅，四川省标准局，四川省机械设计院标准化室，成都市电子仪表局，成都市标准局以及许昌继电器研究所王所长和成都继电器厂朱厂长等有关领导讲了话。

参加会议的有机械部所属继电器行业厂、所二十个单位，特邀电子部所属专业厂四个单位，水利电力部所属专业厂一个，共计四十五名代表。

会议上研究讨论了，标准化原理；标准的种类与标准体系；标准化的形式；标准化的管理体制和机构；标准的制订与修订；标准的贯彻执行；模数制，数理统计在标准化工作中的应用；产品抽样检查；产品质量监督检验与认证制度；标准化经济效果分析；图样及设计文件的编制及完整性；企业标准化；国际标准化以及标准化与国际贸易等十六项内容。

参加本次会议的有标令长达三十年的老工程师，也有才从事标准化工作的新同志，本着以老带新，传授和讨论相结合，收到了良好的效果。通过会议研究讨论，代表们一致认为，做为我们标准化专职人员要努力学习标准化这门新科学，要把这次会议精神带回去，与本单位的领导和工程技术人员一起努力，力争创造出更多更好的各类标准化成果，为开创标准化工作的新局面而奋斗。（杨炜）

1 安：正向阻抗—10~100欧姆

反向阻抗—1 ~25欧姆

（对晶体管保护，若附带时间单元，则时间整定值应为0.5~5秒。）

上述反向阻抗整定值可以满足15KM的线路的整定要求，且在线路长度为100KM左右时，可以按全阻抗继电器整定。

六、结 论

1、偏移阻抗继电器可以弥补全阻抗继电器的不足，合理调整保护范围，提高动作速度，适宜作大型发一变组后备阻抗保护的阻抗元件。

2、接在发一变组高压侧的阻抗保护宜采用 0° 接线；接在发电机机端的阻抗保护宜采用同名相电压、相电流接线。

参考文献：

- 1、王维俭、侯炳蕴：大型机组继电保护原理基础。
- 2、河北电力设计院，吴聚业等 发电机变压器组继电保护柜保护方案设计说明。