

关于大型发电机—变压器组后备保护配置方案的探讨

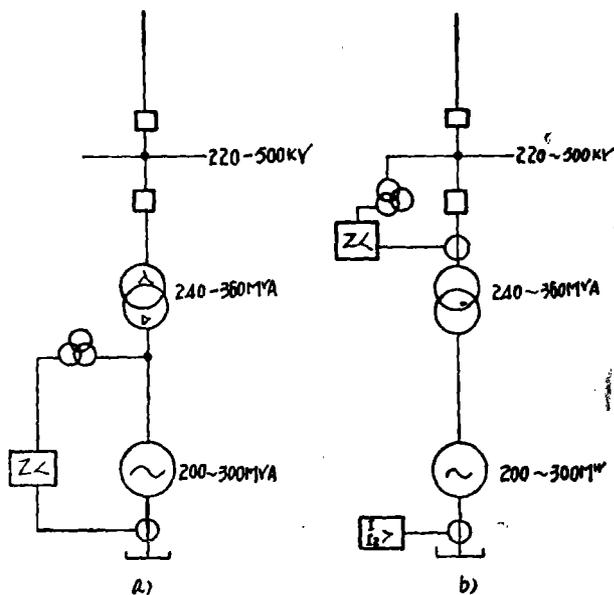
河南电力勘测设计院 白忠敏

内容摘要：本文主要论证大型发电机—变压器组后备阻抗保护接在主变压器低压侧的一些特点及应用条件，并和接于主变压器高压侧的后备阻抗保护进行比较。

一、前言

目前，较大型的发电机组通常采用发电机—变压器组的接线方式，对这种接线的主保护照例是采用差动保护。其相间短路的后备保护一般来说，采用低阻抗保护为宜。但该低阻抗保护是接在主变高压侧还是接在主变低压侧是有争议的，国内的倾向意见是接在主变高压侧，而且在一九八〇年四月出版的“火力发电厂大容量机组继电保护设计技术规定”（配置原则）（试行）第2.0.6条予以明确。这是否表明，低阻抗保护接在主变低压侧毫无可取之处，或者说，低阻抗保护接在主变高压侧唯一最为合理，值得商榷。本文就阻抗保护接在主变低压侧的技术性能作一些定性和定量的分析，谬误难免，其目的在于抛砖引玉。

两种配置的接线示意图如下：



图一

二、保护整定值：

由于要求阻抗保护作为相邻元件相间短路的后备，所以其阻抗整定值和动作时间应

与相邻线路保护配合。当主保护拒动时，为了尽快地切除故障，应尽量缩短该保护的动作时间，所以该后备阻抗应与相邻线路距离保护第一段或第二段配合。

1. 阻抗整定

(1) 与相邻线路距离保护第一段配合整定

A、阻抗元件接在主变压器低压侧：

$$Z_{DZ \cdot d \cdot 1} = K_K (K_K K_Z Z_1 l + Z_B) (\Omega) \cdots \cdots (1)$$

式中 K_K ——可靠系数，一般取0.8~0.85。

K_Z ——电流助增系数，由实际系统确定。

Z_1 ——单位长度线路的阻抗，(Ω/KM) 本文对 220KV 线路取 0.37Ω/KM，对500KV线路取0.279Ω/KM。

l ——线路长度(KM)

Z_B ——折合到主变压器高压侧的变压器阻抗(Ω)

B、阻抗元件接在主变压器高压侧：

$$Z_{DZ \cdot g \cdot 1} = K_K (K_K K_Z Z_1 l) (\Omega) \cdots \cdots (2)$$

(2) 与相邻线路距离保护第二段配合整定

A、阻抗元件接在主变压器低压侧：

$$\begin{aligned} Z_{DZ \cdot d \cdot 2} &= K_K (Z_B + K_{Z1} Z_{DZ \cdot XL}^I) \\ &= K_K [Z_B + K_K K_{Z1} Z_1 (l_1 + K_K K_{Z2} l_2)] \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

式中 $Z_{DZ \cdot XL}^I$ ——相邻线路距离保护第二段整定值

l_1, l_2 ——分别为相邻线路和下一段线路的长度。

K_{Z1}, K_{Z2} ——分别为相邻线路和下一段线路的电流助增系数。

B、阻抗元件接在主变压器高压侧：

$$\begin{aligned} Z_{DZ \cdot g \cdot 2} &= K_K K_{Z1} Z_{DZ \cdot XL}^I \\ &= K_K K_{Z1} Z_1 (l_1 + K_K K_{Z2} l_2) \cdots \cdots (4) \end{aligned}$$

2. 时间整定

$$t_{DZ} \geq t_{XL} + \Delta t \text{ (秒)} \cdots \cdots (5)$$

式中 t_{XL} ——相邻线路距离保护第一段或第二段的动作时间。

Δt ——延时级差，取0.5秒左右。

为了简化保护，一般应避免采用振荡闭锁装置，所以保护应在时间上躲过振荡，即：

$$t_{DZ} > \frac{\Delta \delta}{360^\circ} T \text{ (秒)} \cdots \cdots (6)$$

式中 $\Delta \delta$ ——系统振荡时，使阻抗元件动作的两侧电源电势的相角差。

T ——振荡周期(秒)，一般为1.5~2秒。

此外,保护的動作時間還應躲過高壓母線斷路器失靈保護的動作時間。

二、保護範圍

已如上述,該阻抗保護要求作為相鄰元件,主變壓器以及引出線的相間短路的後備,顯然,在保證選擇性的前提下,其保護範圍越大越好。不過,對於220~500KV的高壓線路,其保護配置較為完善,對於一些重要線路往往設置雙重快速保護,加上其他的後備保護,可靠性是比較高的。所以,作為發電機—變壓器組的後備阻抗保護應以保護發電機、主變壓器及其引出線和高壓母線作為側重點,對於線路則不必硬性要求。

由式(1)和(2)(或式(3)和(4)),可以求得兩種配置對線路的保護範圍的差值:

$$\Delta Z_L = Z_{DZ.g.1} - (Z_{DZ.d.1} - Z_B) = (1 - K_K) Z_B (\Omega).$$

對應於 ΔZ_L 的線路長度為:

$$\Delta l = \frac{(1 - K_K) Z_B}{K_Z Z_1} (KM)$$

代入數據計算(以雙卷變壓器為例)。

通常200^{MW}機組和300^{MW}機組所配備的主變壓器容量(S_B)分別為240^{MVA}和360^{MVA},其短路壓降百分數約為 $U_K\% = 13 \sim 15\%$ 。考慮電廠的裝機台數和系統的結線,助增系數取2~3, K_K 取0.8,計算結果見表一:

表一

$U (KV)$	220KV				500KV			
$Z_1 (\Omega)$	0.37				0.279			
$S_B (MVA)$	240	360		240	360			
$Z_B (\Omega)$	30	20		11				
K_Z	2	3	2	3	2	3	2	3
$\Delta l (KM)$	8	5.4	5.4	3.6	62	41	41	27.4

由上表可知,該兩種配置對線路的保護範圍之差並不懸殊,此外,接於主變壓器低壓側的阻抗保護還有如下作用:

a: 能夠保護發電機的部分繞組甚至全部繞組。

b: 能夠保護發電機引出線以及高壓廠變的部分繞組。特別對發電機的引出線,靈敏度很高。

而接在主變高壓側的阻抗保護對上述部分往往無能為力。

三、保護靈敏度

由於後備阻抗保護的主要作用是保護機組和主變壓器及其引出線,所以對於主變壓

器高压母线的相间短路故障应有足够的灵敏度。

显然，接在主变压器高压侧的阻抗保护，对于母线相间短路的灵敏度是相当高的，理论上对母线上的金属性短路，灵敏度是无穷大。

接在主变压器低压侧的阻抗保护，且定值按与相邻线路距离第一段配合整定，当高压母线相间短路时，其灵敏度可由式(1)求得。

$$K_L = \frac{K_K(K_K K_Z Z_1 l) + K_K Z_B}{Z_B} = \frac{K_K(K_K K_Z Z_1 l)}{Z_B} + K_K \dots \dots (7)$$

取 $K_L = 1.4$, $K_Z = 2 \sim 3$, 计算满足灵敏度要求的线路最小长度, 由(7)式得:

$$(K_L - K_K) Z_B = K_K(K_K K_Z Z_1 l)$$

$$\therefore l_{zx} = 0.94 \frac{Z_B}{K_Z Z_1} (KM)$$

计算结果见表二

表二

U (KV)	220				500			
S _B (MVA)	240		360		240		360	
K _Z	2	3	2	3	2	3	2	3
l _{zx} (KM)	38	26	26	17	290	194	194	130

接在主变压器低压侧的阻抗元件，若其定值按与相邻线路距离第二段配合整定，当高压母线相间短路时，其灵敏度由式(3)求得:

$$K_L = \frac{K_K^2 K_{Z1} Z_1 (l_1 + K_K K_{Z2} l_2)}{Z_B} + K_K \dots \dots (8)$$

取 $K_L = 1.4$, $K_{Z1} = 1 \sim 3$, 计算满足灵敏度要求的线路最小长度, 由(8)式得:

$$(K_L - K_K) Z_B = K_K^2 K_{Z1} Z_1 (l_1 + K_K K_{Z2} l_2)$$

$$\therefore (l_1 + K_K K_{Z2} l_2)_{zx} = 0.94 \frac{Z_B}{K_{Z1} Z_1}$$

计算结果见表三

表三

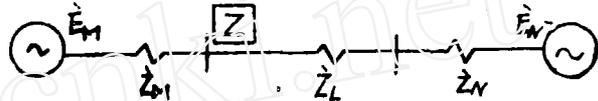
U (KV)	220						500					
S _B (MVA)	240			360			240			360		
K _Z	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
(l ₁ + K _K K _{Z2} l ₂) _{zx} (KM)	76	38	26	51	26	17	580	290	194	388	194	130

由表二、表三可以看出,适当考虑电流助增系数,对一般长度的线路是可以满足灵敏度要求的,特别是,若阻抗元件按与线路距离第二段配合整定,即使不考虑助增系数(即 $K_z=1$),一般也是可以满足要求的。而且灵敏度随机组容量,助增系数和线路阻抗的增大而提高。

四、躲振荡问题

系统发生振荡时,电网中任一定点的电压和流经该点的电流,将随着两侧电源电势相角的变化而变化,从而对于发电机——变压器组的阻抗保护,将随其安装地点的电压下降,振荡电流增大而可能误动作。

这种误动的可能性取决于阻抗元件安装地点距振荡中心的距离、阻抗元件的整定值和动作时间。



图二

可以推证(参见参考资料②),

下图所示系统发生振荡时,阻抗元件所感受的阻抗为:

$$\dot{Z}_I = \left[\left(\frac{1}{2} - m \right) - j \frac{1}{2} \text{ctg} \frac{\delta}{2} \right] \dot{Z}_Z \dots (9)$$

$$\text{式中: } m = \frac{\dot{Z}_M}{\dot{Z}_Z}$$

$$\dot{Z}_Z = \dot{Z}_M + \dot{Z}_L + \dot{Z}_N$$

$$\delta = \angle \dot{E}_M, \dot{E}_N$$

当 $\dot{Z}_I \leq \dot{Z}_{DZ}$ 时,阻抗元件将动作,动作持续的时间为 $t_I = \frac{\Delta \delta}{360^\circ} T$ 。若 $t_I \geq t_{DZ}$,保护装置将误动作。显然,阻抗元件安装地点越靠近振荡中心,阻抗整定值越大,整定时间越短,保护误动的可能性越大。在实际电力系统中,可以通过计算,以确定误动的可能性。

由计算可知,200MW机组和300MW机组,折合到相应高压侧的阻抗欧姆值大约分别等于与其连接的主变压器阻抗欧姆值的1~1.5倍。一般来说,系统的振荡中心通常在发电机端部以外的区域移动,而且,随着电流助增系数和线路阻抗的增大而向线路侧移动。下面粗略地估算,当系统振荡中心位于保护安装处时,保护躲振荡所需要的时间。

为了简化计算,不计发电机、变压器和高压线路的电阻,即它们的阻抗角都为 90° 。

当振荡中心位于保护安装处时(即 $m = \frac{1}{2}$),则式(9)变为:

$$\dot{Z}_I = -j \frac{1}{2} \text{ctg} \frac{\delta}{2} \dot{Z}_Z$$

$$\left| \dot{Z}_I \right| = \frac{1}{2} \text{ctg} \frac{\delta}{2} \left| \dot{Z}_Z \right|$$

当阻抗元件接在主变高压侧时, $\left| \dot{Z}_Z \right| = (4 \sim 5) \left| \dot{Z}_B \right|$, 可以求得在

$\left| \frac{\dot{Z}_T}{\dot{Z}_B} \right| \geq 0.18$, 即 $\left| \dot{Z}_T \right| \geq 0.18(4 \sim 5) \left| \dot{Z}_B \right| = (0.7 \sim 0.9) \left| \dot{Z}_B \right|$ 的情况下:

$$\operatorname{ctg} \frac{\delta}{2} \geq 0.36. \quad \frac{\delta}{2} \leq 70^\circ \quad \delta \leq 140^\circ$$

$$\Delta \delta = 360^\circ - 2\delta \geq 80^\circ \quad (\text{见图三})$$

$$\therefore t_T = \frac{\Delta \delta}{360^\circ} T = \frac{80}{360} (1.5 \sim 2) = 0.33 \sim 0.45 \text{秒}.$$

考虑必要的裕度, 阻抗保护躲振荡时间将大于0.5秒, 也就是说, 如果相邻的最短出线的长度为50公里(220KV线路)或350公里(500KV线路), 那末按与该线路距离保护配合整定的发电机—变压器组的后备阻抗保护, 如果不采取振荡闭锁措施, 则在时间上是不能与线路距离第一段(即0秒)配合的, 否则, 当系统发生振荡, 且振荡中心靠近高压母线时, 该后备阻抗保护将误动作。上述尚未计及助增系数, 考虑了助增系数, 对应于(0.7~0.9) \dot{Z}_B 的线路长度将更小。

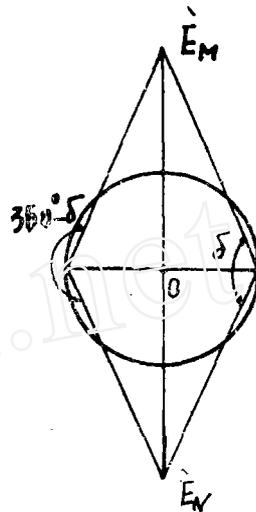


图3

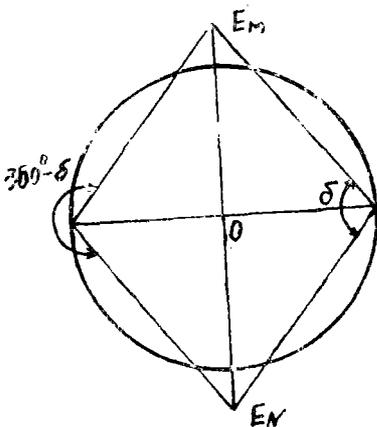


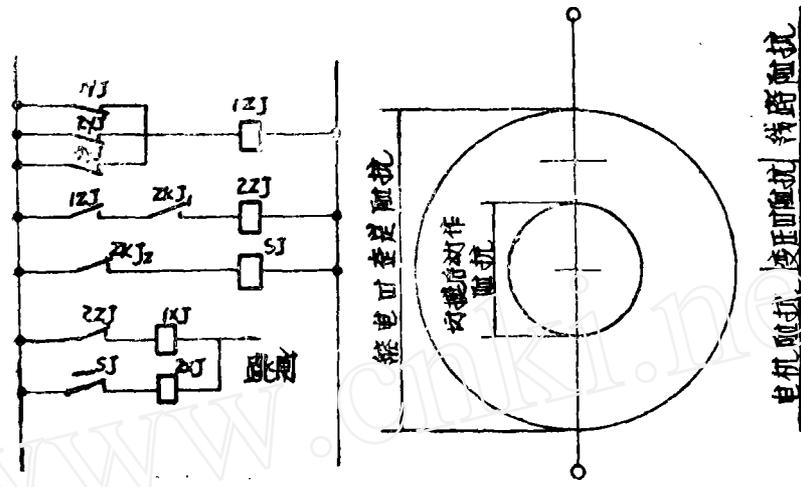
图4

同样, 当阻抗元件接在主变低压侧时, 若阻抗元件按保证高压母线相间短路灵敏度整定(即 $\dot{Z}_T = (1.4 \sim 1.5) \dot{Z}_B$), 则该阻抗保护躲振荡时间将接近或等于1秒(如图四所示)。

对于一个确定的系统, 可以通过较准确的计算, 以确定各种运行方式下的振荡情况, 但由于影响振荡的因素较多, 而且运行方式的变化往往错综复杂, 加之目前条件限制, 使得各种运行方式下的稳定计算很难准确进行。所以, 根据上面的估算, 在不加振荡闭锁的情况下, 未经可靠计算, 阻抗保护躲振荡时间取为0.5秒及以下是不够稳妥的, 应取1~1.5秒为宜。

五、瞬动后备段的实现

如上述, 无论阻抗保护接在主变高压侧或接在主变低压侧, 为了与相邻线路距离保护、母线断路器失灵保护等配合以及躲振荡要求, 都必须带有一定的延时。为了加速切除发电机端部, 主变压器部分绕组、特别是处于发电机差动保护范围之外的封闭母线部分的相间短路故障, 对于接在主变压器低压侧的后备阻抗保护, 可以采用低电压切换方式, 以实现瞬时切除。如图五所示, 当短路故障发生在上述部分时, 低电压继电器动作, 且阻抗继电器的测量阻抗落入小圆之内, 则保护装置将瞬时动作切除故障。



图五

六、其他

1. 随着高压电网的发展，高电压设备质量的改善以及对供电可靠性要求的提高，除双母线以外的一些类型的一次结线方式，如 $I\frac{1}{2}$ 开关结线和多角形结线等将逐渐被采用，而这类结线必须在每个元件的出口装设三相电压互感器才能实现阻抗元件接在高压侧的要求。如果阻抗元件接在主变压器低压侧，则可省去大约 $\frac{1}{3}$ 的高压电压互感器，这在经济上也是合算的。

2. 阻抗元件接在主变压器低压侧并辅以低压切换继电器可方便地实现两段式阻抗保护。较之接在主变压器高压侧的阻抗保护加上复合电流速断保护有所简化。

另外，接在主变压器低压侧的阻抗保护在任何情况下，包括并网前的起动过程和与电网解列后的行机过程，均能起到保护作用。而接在主变压器高压侧的保护在某些情况下往往不起作用。

七、结论

1. 在未对系统进行全面准确计算的前提下，考虑躲振荡等因素，未采取振荡闭锁措施的发电机—变压器组后备阻抗保护的動作时间不宜整定过小，应和相邻线路距离第二段时间配合为宜。

2. 一般情况下，特别是当与相邻线路距离第二段配合整定的条件下，后备阻抗保护采用接在主变压器低压侧的配置方式是可行的。

3. 发电机—变压器组的后备阻抗保护应以保护发电机、变压器及其引出线为主，对线路则不必硬性要求，特别对个别短线路，应以加强其本身的主保护为主。

参考资料:

1. 火力发电厂大容量机组继电保护设计技术规定(继电保护配置原则)
(试行)一九八〇年四月
2. 电力系统继电保护(中册)
许敬贤、张道民编写