

# 浅析 6~10kV 配电变压器低压侧单相接地故障保护

杨旭东\* 中国石油集团工程设计有限责任公司北京分公司 北京 100085

**摘要** 根据《电力装置的继电保护及自动装置设计规范》，通过计算分析和设计实践，对 6~10kV 配电变压器低压侧单相接地保护提出建议。

**关键词** 单相接地保护 灵敏系数 过负荷系数 最大综合系数 总出线断路器

目前，在 6~10kV 电压等级中，绕组采用 D, yn11 和 Y, yn0 联接方式的配电变压器最为常见。由于配电变压器绕组采用 D, yn11 联接比采用 Y, yn0 联接具有抑制高次谐波电流，能够充分利用容量，零序阻抗小更有利于低压侧单相接地故障切除等优点，使之在工程设计中被广泛选用。而 6~10kV 配电变压器低压侧单相接地故障保护是设计的难点。

## 1 高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护

根据经验，利用高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护：①对绕组为 D, yn11 联接的变压器（以下简称 D, yn11 变压器），其灵敏系数均能满足要求；②对绕组为 Y, yn0 联接的变压器（以下简称 Y, yn0 变压器），其灵敏系数既有满足要求的，也有不满足要求的。

现行国家标准《电力装置的继电保护及自

动装置设计规范》（GB 50062-92）第 4.0.11 条和 4.0.12 条分别对 Y, yn0 和 D, yn11 变压器作出规定，设计手册和有关文献中也可以查到有关的计算方法。限于篇幅，本文省略计算公式的推导过程，着重对计算结果进行分析，以便寻找其内在规律。

### 1.1 过电流保护最大整定电流

保护装置的一次动作电流的最大值公式为：

$$I_{dz,max} = \frac{K_k K_{gh} I_{1n}}{K_k} + n_L = K_c I_{1n} + n_L \quad (1)$$

$$K_c = K_k K_{gh} / K_k$$

式中， $I_{1n}$  为变压器一次侧的额定电流，A； $n_L$  为电流互感器变比； $K_c$  为最大综合系数； $K_k$  为可靠系数，对 DL 型继电器取 1.2，对 GL 型继电器取 1.3； $K_{gh}$  为继电器返回系数，取 0.85； $K_{gh}$  为变压器的过负荷系数，用计算方法确定  $K_{gh}$  时，应考虑变压器最严重情况下的过负荷。不同情况下变压器的过负荷的参数取值见表 1。

表 1 不同情况下变压器的过负荷参数取值表

	$K_k$	$K_k$	$K_{gh}$	$K_c$	
单独运行	电网无自动装置	1	1	3~4	4
	电网有自动重合闸或二次侧母线分段（母联） 断路器有备用电源自动投置	0.85	1.2 或 1.3	1.5~2.5	3.8
并列运行的变压器	0.85	1.2 或 1.3	3	4.6	

由表 1 可查得，最大综合系数  $K_c$  值为 4.6，代入式 (1) 得：

$$I_{dz,max} = 4.6 I_{1n} + n_L \quad (2)$$

### 1.2 保护装置的灵敏系数

低压侧单相接地保护最小灵敏系数按式

(3) 计算：

\* 杨旭东：副总工程师。1993 年毕业于吉林工业大学工业与民用电气工程专业。一直从事电气设计与管理工作。联系电话：(010) 82778220。

$$\begin{aligned}
 K_{m, \min} &= \frac{2I_{22kV, \min}}{3n_T I_{d, \max}} \\
 &= \frac{2I_{22kV, \min}}{3n_T (4.6I_{1n} + n_L)} \\
 &= \frac{2I_{22kV, \min}}{3n_T \left( \frac{4.6S_i}{\sqrt{3}U_1} + n_L \right)} \quad (3)
 \end{aligned}$$

式中,  $I_{22kV, \min}$  为最小运行方式下, 变压器低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流, A;  $U_1$  为变压器的一次额定电压, kV。

当  $n_T = 6/0.4$  kV 时, 代入式 (3) 得:

$$K_{m, \min} = \frac{2I_{22kV, \min}}{19.92S_i + 45n_L} \quad (4)$$

当  $n_T = 10/0.4$  kV 时, 代入式 (3) 得:

$$K_{m, \min} = \frac{2I_{22kV, \min}}{19.92S_i + 75n_L} \quad (5)$$

现以  $S_9$  变压器为例, 用式 (4) 和式 (5) 进行计算, 其中  $I_{22kV, \min}$  取《工业与民用配电设计手册》第三版表 4-28~29 中的 400~1600kVA 变压器的单相短路电流值, 计算结果见表 2。

表 2 用高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护的最小灵敏系数

变压器组别及高压侧短路容量 (MVA)		400 kVA	500 kVA	630 kVA	800 kVA	1000 kVA'	1250 kVA	1600 kVA
10	D, yn11	1.83	1.78	1.63	1.60			
	Y, yn0	0.67	0.65	0.64	0.58			
20	D, yn11	2.24	2.18	2.06	2.02	1.74	1.68	1.60
	Y, yn0	0.72	0.70	0.70	0.69	0.67	0.65	0.66
30	D, yn11	2.42	2.36	2.26	2.22	1.93	1.86	1.80
	Y, yn0	0.74	0.72	0.72	0.70	0.70	0.68	0.68
50	D, yn11	2.59	2.52	2.45	2.40	2.09	2.03	2.00
	Y, yn0	0.76	0.74	0.74	0.72	0.72	0.70	0.71
75	D, yn11	2.68	2.61	2.55	2.50	2.20	2.13	2.10
	Y, yn0	0.76	0.74	0.75	0.73	0.73	0.71	0.73
100	D, yn11	2.73	2.66	2.61	2.56	2.25	2.18	2.16
	Y, yn0	0.77	0.75	0.75	0.74	0.74	0.72	0.73
200	D, yn11	2.78	2.73	2.70	2.64	2.33	2.26	2.26
	Y, yn0	0.77	0.75	0.76	0.74	0.74	0.72	0.74
300	D, yn11	2.82	2.76	2.79	2.74	2.36	2.29	2.31
	Y, yn0	0.77	0.75	0.76	0.75	0.75	0.73	0.75
∞	D, yn11	2.88	2.81	2.73	2.68	2.42	2.35	2.38
	Y, yn0	0.78	0.76	0.77	0.75	0.75	0.73	0.75

说明:

(1) 400kVA 变压器的阻抗电压为 4%; 其余容量变压器的阻抗电压为 4.5%。

(2) 低压母线: ①400kVA 变压器为  $4 \times (63 \times 6.3)$  mm; ②500kVA 变压器为  $3 \times (80 \times 6.3) + 6.3 \times 6.3$  mm; ③630kVA 变压器为  $3 \times (80 \times 8) + 6.3 \times 6.3$  mm; ④800kVA 变压器为  $3 \times (100 \times 8) + 80 \times 8$  mm; ⑤1000kVA 变压器为  $3 \times (125 \times 10) + 80 \times 8$  mm; ⑥1250kVA 变压器为  $3 \times [2 \times (100 \times 10)] + 100 \times 10$  mm; ⑦1600kVA 变压器为  $3 \times [2 \times (125 \times 10)] + 125 \times 10$  mm。

(3) 每个容量等级变压器分为前后两列, 它们分别表示不同的互感器变比: ①400kVA 变压器为 50/5 和 75/5; ②500kVA 变压器为 75/5 和 100/5; ③630kVA 变压器为 100/5 和 150/5; ④800kVA 变压器为 100/5 和 150/5; ⑤1000kVA 变压器为 150/5 和 200/5; ⑥1250kVA 变压器为 150/5 和 200/5; ⑦1600kVA 变压器为 200/5 和 300/5。

从表 2 可以看出, 只有 1000kVA、1250kVA 和 1600kVA 这三个容量等级的变压器在表中所给出的最小短路容量时灵敏系数略低于 1.5。这

种很少见的特殊情况通常是变压器远离高压配电装置, 且过负荷系数很大时才会出现。即使出现这种情况, 为了节省电缆而省去低压侧的零序电

流保护,对低压侧单相接地短路保护的灵敏系数可以适当降低,但不低于 1.25。所以利用高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护, D, yn11 变压器的灵敏系数均能满足要求。

虽然表 2 是对  $S_9$  变压器的计算结果,但由于 D, yn11 变压器的零序阻抗均近似等于正序阻抗,因此,这一计算结果具有普遍意义。同时可以看出,高压侧短路容量的大小对 Y, yn0 变压器的灵敏系数影响很小。

## 2 Y, yn0 变压器的其它方法

当利用高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护的灵敏系数不满足要求时,可采用低压侧中性线上的零序电流保护。保护装置的动作电流按躲过正常运行时变压器中性线上流过的最大不平衡电流(不超过额定电流的 25%)来整定。若低压分支线上装设零序电流保护,还须与之相配合。由于 Y, yn0 变压器低压侧短路电流比其 25% 的额定电流大得多,因此,灵敏系数均能满足要求。

## 3 工程实例

中国石油天然气集团公司于 2006 年购得年产千万吨级的哈萨克斯坦国可知洛尔达州 PK 大油田,该油田的 KAZYLKIA 和 KUMKOL 区块地面工程的详细设计由美国 PARSONS 公司完成,笔者参与了设计审查工作。KAZYLKIA 区块集中处理站(CPF)的电源系统原设计在 CPF 中设中压配电室一座,中压开关柜 36 台,同站设置 1250kVA, Y, yn0 变压器两台,利用接于低压的三相电流保护作变压器的单相接地保护。由于高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护的灵敏系数不满足要求,于是利用变压器低压侧总出线断路器上的过电流保护作单相接地保护,短延时过电流脱扣器的整定倍数为 4。笔者认为,其灵敏系数主要取决于短延时过电流脱扣器的整定倍数,即整定倍数越小,灵敏系数越大。以该工程的变压器为例,按高压侧短路容量为无穷大时的短路值计算,其结果只有在整定倍数为 3 时,灵敏系数满足不小于 1.5 的要求,而原设计的整定倍数为 4,明显不满足要求。

此外,如果利用变压器低压侧总出线断路器上的瞬时过电流保护作单相接地保护,由于整定值较大,灵敏系数不能满足要求;若利用它的长延时过电流保护,虽然单相接地保护的灵敏系数能够满足要求,但因长延时过电流脱扣器是反时限特性且不可调,因此无法确定时限;同时,利用低压总出线断路器上的过电流保护,若单相接地故障发生在变压器与总出线断路器之间,则因故障电流不通过断路器而使其无法动作而出现死区。所以,利用低压总出线断路器上的三相电流保护作低压侧单相接地保护是不合适的。

通过分析计算,外方接受我们的意见并对设计进行了修改。变压器低压侧单相接地保护采用低压侧中性线上的零序电流保护。从而完善了设计,保障电气系统的安全运行,保障中油在海外最大的油气基地的正常生产。

## 4 结语

综上所述可以得出:

(1) 对 0.4MVA 及以上,一次电压为 6~10kV 的变压器:①当线圈为 D, yn11 联接时,可利用高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护,灵敏系数均能满足要求;②当变压器线圈为 Y, yn0 联接时,利用高压侧过电流保护,其灵敏系数主要取决于变压器的零序阻抗和过负荷系数,而高压侧短路容量的影响很小,甚至可以忽略(系统阻抗)不计。

(2) 对 Y, yn0 变压器,当利用高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地保护的灵敏系数不满足要求时,应采用低压侧中性线上的零序电流保护,而不宜采用低压侧三相电流保护。

### 参考文献

- 1 航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社,2005
- 2 GB 50062-92, 中国国家标准, 电力装置的继电保护和自动装置设计规范[S]
- 3 水利电力部西北电力设计院. 工业企业继电保护(第一版)[M]. 北京:水利电力出版社,1985
- 4 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册(第一册)[M]. 北京:水利电力出版社,1990

(修改回稿 2008-07-07)