

产品与应用

配电变压器低压侧单相接地短路故障的过电流保护

林双喜¹, 徐文兴²

(1 武汉化工学院 自动化系, 湖北 武汉 430074; 2 武汉化工设计研究院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对常用10/0.4 kV、联结组别分别为Y, yn0及D, yn11的配电变压器, 利用装于变压器高压侧的过电流保护兼作低压侧单相接地保护的情况, 就变压器高、低压侧短路电流的计算、电流互感器不同接线方式时流过电流继电器的电流、保护装置的动作整定电流的计算和灵敏系数的校验进行了论述, 进而归纳出Y, yn0及D, yn11的配电变压器采用这种保护方式的适用范围。

关键词: 配电变压器; 单相接地短路; 过电流保护; 对称分量法; 动作整定电流; 灵敏系数

中图分类号: TM421 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-3175-(2006)04-0019-04

Protection of Over Electric Current of Single-phase Ground Connection in Low Pressure Side of Transformer in Power Distribution

LIN Shuang-xi¹, XU Wen-xing²

(1 Department of Automation Engineering, Wuhan Institute of Chemical Technology, Wuhan 430074, China;

2 Wuhan Chemical Design Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: To the 10/0.4 kV transformer in power distribution with Y, yn0 and D, yn11 link group which using the protection of over electric current in high pressure side acted as the protection of single-phase ground connection in low pressure side concurrently, the current in short circuit in low pressure side and high pressure side of transformer, the current in electricity relay which is occurred in different connection of electricity mutual device, the setting current in relay device, and the verification of relay device's sensitivity is analyzed. Eventually, the application range of this method is presented.

Key words: transformer in power distribution; short circuit of single-phase ground connection; protection of over electric current; way of symmetric allotment; setting current in relay device; sensitivity

0 引言

在配电系统的各种短路故障中, 多数是单相接地短路故障。配电系统中, 3~10/0.4 kV配电变压器数量多、分布广, 当其低压侧发生单相接地短路故障时, 必须有可靠的保护。GB50062-92电力装置的继电保护和自动装置设计规范中规定, 对0.4 MVA及以上, 一次电压为10 kV及以下, 线圈为星形-星形联结, 低压侧中性点直接接地的变压器, 均应对单相接地短路故障进行保护; 对低压侧单相接地短路故障可利用高压侧的过电流保护装置进行保护。这种保护方式充分利用了高压侧的过电流保护, 但关键在于能否满足灵敏系数的要求。由于单相接地保护灵敏度的计算涉及不对称短路算法, 并与变压器绕组的联结和保护装置的接线形式有关, 故经常出现

不能满足灵敏系数的情况就简单地把变压器高压侧的过电流保护兼作单相接地保护, 给变压器的安全运行带来隐患。

1 变压器低压侧单相接地短路故障时高压绕组和保护装置中的电流

1.1 Y/Y₀变压器低压侧单相接地短路故障时高压绕组和保护装置中的电流

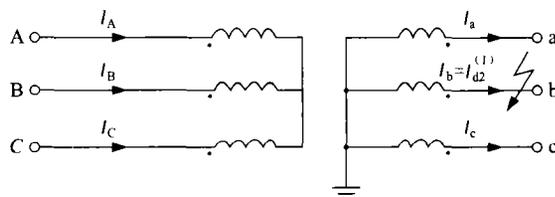


图1 Y/Y₀变压器低压侧b相接地短路

作者简介: 林双喜(1965-), 男, 工程师, 主要从事建筑电气设计和教学工作。

如图1所示,当Y/Y₀-11变压器低压侧b相发生单相接地短路故障时,选b相为基本相,利用对称分量法有:

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} = 3I_{b1} = I_{d2}^{(1)};$$

$$I_{b1} = I_{b2} = I_{b0} = 1/3 I_{d2}^{(1)};$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} = a^2 I_{b1} + a I_{b2} + I_{b0} = 0;$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = a I_{b1} + a^2 I_{b2} + I_{b0} = 0.$$

其中, I_{b1} 、 I_{b2} 、 I_{b0} 分别为低压侧b相电流正序分量、负序分量和零序分量。

由于对称分量经Y₀变换到Y侧后相位不变,同时Y侧I₀为零,设变压器变比为k, $I_{d1}^{(1)} = I_{d2}^{(1)}/k$ 故有:

$$I_{B1} = I_{b1}/k; \quad I_{B2} = I_{b2}/k; \quad I_{B0} = 0;$$

$$I_B = I_{B1} + I_{B2} = 2I_{b2}/K = 2I_{d2}^{(1)}/3K = 2I_{d1}^{(1)}/3;$$

$$I_c = a^2 I_{B1} + a I_{B2} = (a^2 + a) I_{b1}/K = -I_{b1}/K$$

$$= -I_{d2}^{(1)}/3K = -I_{d1}^{(1)}/3;$$

$$I_A = a I_{B1} + a^2 I_{B2} = (a + a^2) I_{b1}/K = -I_{b1}/K$$

$$= -I_{d2}^{(1)}/3K = -I_{d1}^{(1)}/3.$$

高压侧过电流保护装置常采用2台电流互感器2台电流继电器的不完全星形接线或2台电流互感器3台电流继电器的不完全星形接线^[1](电流互感器装于A、C相)。当采用2台电流继电器时,流过继电器的电流 I_{r1} 、 I_{r2} 均为 $I_{d1}^{(1)}/3K_i$ (K_i 为电流互感器变比); 当采用3台电流继电器时,流过继电器的电流 I_{r1} 、 I_{r2} 、 I_{r3} 分别为 $I_{d1}^{(1)}/3K_i$ 、 $I_{d1}^{(1)}/3K_i$ 和 $2I_{d1}^{(1)}/3K_i$ 。

同理可分别求出a、c相短路时流过高压侧和电流继电器的电流,见表1。

表1 变压器高压侧和继电器中单相接地短路故障电流分布表

低压侧短路相别	Y, yn0 联结组					D, yn11 联结组						
	2台电流互感器 3台电流继电器			2台电流互感器 2台电流继电器		2台电流互感器 3台电流继电器			2台电流互感器 2台电流继电器			
	高压侧电流	I_{r1}	I_{r2}	I_{r3}	I_{r1}	I_{r2}	高压侧电流	I_{r1}	I_{r2}	I_{r3}	I_{r1}	I_{r2}
a	$I_A = \frac{2}{3} I_{d1}^{(1)}$ $I_B = \frac{1}{3} I_{d1}^{(1)}$ $I_C = \frac{1}{3} I_{d1}^{(1)}$	$\frac{2}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{2}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$I_A = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{d1}^{(1)}$ $I_B = 0$ $I_C = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{d1}^{(1)}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$
b	$I_B = \frac{2}{3} I_{d1}^{(1)}$ $I_A = \frac{1}{3} I_{d1}^{(1)}$ $I_C = \frac{1}{3} I_{d1}^{(1)}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{2}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$I_A = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{d1}^{(1)}$ $I_B = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{d1}^{(1)}$ $I_C = 0$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$
c	$I_C = \frac{2}{3} I_{d1}^{(1)}$ $I_A = \frac{1}{3} I_{d1}^{(1)}$ $I_B = \frac{1}{3} I_{d1}^{(1)}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{2}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{2}{3} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$I_A = 0$ $I_B = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{d1}^{(1)}$ $I_C = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{d1}^{(1)}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{I_{d1}^{(1)}}{K_i}$

1.2 D, yn11 变压器低压侧单相接地短路故障时高压绕组和保护装置中的电流

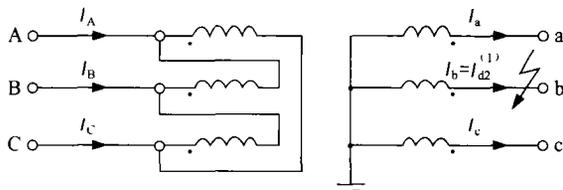


图2 D, yn11 变压器低压侧b相接地短路

如图2所示,当D, yn11变压器低压侧b相接地短路时,同样有: $I_{b1} = I_{b2} = I_{b0} = I_{d2}^{(1)}/3$, $I_a = 0$, $I_c = 0$,

低压侧各序对称分量变换到高压侧时,高压侧各相电流的正序分量的相位超前于低压侧正序分量30°,负序分量滞后30°,零序电流在三角形内部环流,三角形侧引出线上的I₀为零。

$$I_{B1} = I_{b1} e^{j30^\circ}/K; \quad I_{B2} = I_{b2} e^{-j30^\circ}/K;$$

$$I_B = I_{B1} + I_{B2} = I_{b1} (e^{j30^\circ} + e^{-j30^\circ})/K = \sqrt{3} I_{d2}^{(1)}/K = \sqrt{3} I_{d1}^{(1)};$$

$$I_c = a^2 I_{b1} + a I_{b2} = 0;$$

$$I_A = a I_{b1} + a^2 I_{b2} = -\sqrt{3} I_{d2}^{(1)}/K = -\sqrt{3} I_{d1}^{(1)}.$$

当高压侧过电流保护装置采用二电流继电器时流过继电器的电流 I_{r1} 、 I_{r2} 分别 $I_{d1}^{(1)}/3K_i$ 为和0; 采

用3台电流继电器时流过电流继电器的电流 I_{r1} 、 I_{r2} 、 I_{r3} 分别为 $I_{dl}^{(1)}/\sqrt{3}K_j$ 、0 和 $I_{dl}^{(1)}/\sqrt{3}K_j$ 。同理可分别求出a、c相短路时流过各高压侧和各电流继电器的电流,见表1。

由表1可以看出,对于Y, yn0联结的变压器,当高压侧装设2台电流互感器、3台继电器的过电流保护装置时,不论变压器低压侧哪一相发生单相接地短路故障,总有1台继电器内流过的电流是另外2台继电器内流过电流的2倍;当高压侧装设2台电流继电器、2台继电器的过电流保护装置时,在未装设继电器低压侧对应相发生单相接地故障时(如表1所列b相),两继电器流过的电流均为 $I_{dl}^{(1)}/3K_j$ 。显然,这种情况下保护装置的灵敏度小,保护装置可能不会动作。对于D, yn11联结的变压器,不论变压器低压侧哪一相发生单相接地短路故障,高压侧绕组总有两个线电流,全部反映了低压侧单相接地短路故障电流,这种情况下保护装置较灵敏,容易动作。

2 变压器过电流保护装置的动作电流

变压器过电流保护装置的动作电流见公式1^[2]:

$$I_{dzj} = \frac{K_k K_{jx} K_{gh} I_{eb}}{K_h K_j} \quad (1)$$

式中: K_k —可靠系数, GL型继电器取1.3、DL型取1.2;

K_{jx} —接线系数,接于相电流时取1.0,接于相电流差时取 $\sqrt{3}$;

K_{gh} —过负荷系数,无自启动电动机时取1.3,有自启动电动机时取3.0;
 I_{eb} —变压器高压侧额定电流;
 K_h —继电器返回系数,取0.85;
 K_j —电流互感器的变比。

3 利用高压侧过电流保护装置作低压侧单相接地短路故障保护时的灵敏度计算

保护装置的灵敏系数应按最小运行方式考虑。由于是利用高压侧的过电流保护装置来兼作低压侧单相接地短路故障的保护,因此灵敏系数应按低压侧单相接地短路故障时流过高压侧过电流保护装置的电流来校验,见公式2。

$$K_m = \frac{I_{dlmin}^{(1)}}{I_{dzj}} \geq 1.5 \quad (2)$$

式中:

$I_{dlmin}^{(1)}$ —变压器低压侧单相接地短路故障时流过高压侧过电流保护装置的电流

I_{dzj} —高压侧过电流保护装置的动作电流

因此,当已知 $I_{dlmin}^{(1)}$ 和 I_{dzj} 后,保护装置的灵敏系数就可确定。考虑到一般城市电网中110 kV变电站10 kV母线容量不超过350 MVA,合适的供电距离为3~5 km,线路末端的短路容量约为50 MVA。在额定容量为400~1600 kVA,电压为10/0.4 kV的S₉系列变压器,在不同联结组、过电流保护装置不同接线的情况下,用高压侧过电流保护装置兼作低压侧单相接地短路故障保护的灵敏度计算,其结

表2 10/0.4 kV S₉系列变压器高压侧过电流保护兼作低压侧单相接地短路故障时的灵敏系数

变压器 额定 容量/ kVA	低压 侧额 定电 流/A	联结 组别	变压器低压 单相接地 短路故障 电流/kA	高压侧过电流保护 动作电流/kA		高压侧过电流保护在低压侧接地短路时的 灵敏系数 K_m			
						2台电流继电器		3台电流继电器	
				$K_{gh}(1.3)$	$K_{gh}(3.0)$	$K_{gh}(1.3)$	$K_{gh}(3.0)$	$K_{gh}(1.3)$	$K_{gh}(3.0)$
400	577	D,yn11	11.37	1.21	2.82	5.60	2.40	5.60	2.40
		Y,yn0	6.29			1.74	0.74	3.48	1.48
500	722	D,yn11	14.38	1.52	3.52	5.47	2.36	5.47	2.36
		Y,yn0	7.53			1.65	0.71	3.30	1.41
630	909	D,yn11	15.84	1.91	4.44	4.79	2.03	4.79	2.03
		Y,yn0	8.78			1.53	0.67	3.06	1.34
800	1155	D,yn11	19.26	2.43	5.64	4.58	1.98	4.58	1.98
		Y,yn0	11.43			1.55	0.67	3.10	1.33
1000	1443	D,yn11	23.30	3.03	7.04	4.44	1.93	4.44	1.93
		Y,yn0	13.22			1.44	0.62	2.88	1.24
1250	1804	D,yn11	27.36	3.79	8.80	4.17	1.80	4.17	1.80
		Y,yn0	15.94			1.40	0.61	2.80	1.22
1600	2309	D,yn11	32.88	4.85	11.27	3.92	1.69	3.92	1.69
		Y,yn0	20.02			1.38	0.59	2.74	1.18

果^[3]可归纳为表2。

4 结论

表2中可看出,对Y,yn0联结组变压器,当过电流保护装置采用2台电流互感器及2台电流继电器时,只有在无自启动电动机且变压器容量较小时,才可以保护低压侧单相接地故障;当过电流保护装置采用2台电流互感器及3台电流继电器时,只有在无自启动电动机时,才可以保护低压侧单相接地故障,有自启动电动机时,不能利用过电流保护装置兼作单相接地故障保护。

对D,yn11联结组变压器,由于零序阻抗小,在低压侧发生单相接地故障时电流较大,利用高压侧过电流保护装置兼作低压侧单相接地短路故障保护,

(上接第16页)

它采用DS1620温控器为核心电路,其中恒温器的 T_H 设定为 $5\text{ }^\circ\text{C}$, T_L 设定为 $0\text{ }^\circ\text{C}$,均已事先写入到DS1620中, T_{COM} 对恒温进行控制, T_{HIGH} 和 T_{LOW} 作为上限温度及下限温度的指示。

工作原理是:

当温度低于 T_L 时, T_{LOW} 输出高电平,绿色指示灯 D_2 亮, T_{COM} 输出低电平,继电器K不吸合,其常闭触点 K_1 闭合,使加热电路中的加热点1即负载 R_1 和加热点2即负载 R_2 通电加热,温度开始上升。当温度升高到 T_L 以上而低于 T_H 时,绿色指示灯 D_2 灭,此时 T_{COM} 仍输出低电平,继电器K还不吸合,加热点1和加热点2继续加热。当温度达到 T_H 时, T_{HIGH} 输出高电平,红色指示灯 D_1 亮;与此同时, T_{COM} 输出高电平,三极管T导通,继电器K吸合,常闭触点 K_1 断开,加热点停止加热。停止加热后温度可能下降,当温度下降到 T_H 以下而高于 T_L 时,红色指示灯 D_1 灭,此时 T_{COM} 输出仍为高电平,继电器K继续吸合,加热点也未加热。当温度继续下降到 T_L 以下时,又开始重复前面的动作,从而保证了恒温加热装置在 T_H 与 T_L 之间的温度范围内工作。

3 结论

具有恒温装置的灌装机使用起来非常灵活,它能够适应的环境温度由原来的 $0\sim 40\text{ }^\circ\text{C}$ 扩展到 $-25\sim 40\text{ }^\circ\text{C}$ 。表3是有恒温控制装置和无恒温控制装置灌装机实验情况的对比。

灵敏系数能满足要求。因此能否用高压侧过电流保护装置兼作低压侧单相接地短路故障保护,应根据变压器容量、不同联结组别和过电流保护装置不同接线等具体情况而定;从低压侧单相接地短路故障保护的可靠、经济和简单等因素考虑,显然采用D,yn11联结组的变压器为宜。

参考文献

- [1] 中国航空工业规划及研究院. 工业与民用配电设计手册[G]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [2] 周鸿昌. 厂供电[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980.
- [3] 建筑工程常用数据系列手册编写组. 建筑工程常用数据手册[G]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

修改日期: 2005-11-25

表3 实验对比数据

环境 温度 / $^\circ\text{C}$	灌装机							
	有恒温装置				无恒温装置			
	称重 仪表	主控 板	气 缸	计量 精度	称重 仪表	主控 板	气 缸	计量 精度
5~20	工作正常	工作正常	动作正常	$\pm 0.2\%$	工作正常	工作正常	动作正常	$\pm 0.2\%$
0	工作正常	工作正常	动作正常	$\pm 0.2\%$	工作正常	工作正常	动作正常	$\pm 0.2\%$
-5~10	工作正常	工作正常	动作正常	$\pm 0.2\%$	不正常*	工作正常	动作迟缓	不稳定
15~28	工作正常	工作正常	动作正常	$\pm 0.2\%$	不工作	工作正常	不动作	—

注: 不正常*是指称重仪表频繁出现误动作导致灌装机正常动作顺序出现混乱。

从上面的对比情况可以看出,具有恒温装置的灌装机克服了环境温度(尤其是低温)的影响,使得机器在环境温度很低的情况下能够正常工作,保证了机器的计量精度。带有恒温控制装置灌装机的主要技术参数如下:

(1) 环境温度: $-25\sim +40\text{ }^\circ\text{C}$; (2) 计量精度: $\pm 0.2\%$ (动态); (3) 灌装速度: $4\sim 8$ 袋/m; (4) 灌装重量: $5\sim 10\text{ kg}$ 可调(TDM-10型)和 $5\sim 25\text{ kg}$ 可调(TDM-25型); (5) 电源: AC 220 ($1\pm 10\%$) V 50 Hz; (6) 气压: $P\geq 0.4\text{ MPa}$ 。

计量精度不受影响,机器工作的稳定性大大提高。

参考文献

- [1] 张永生. 电热电动器具原理与维修[M]. 电子工业出版社, 2003.
- [2] 桑会平, 崔琪林. 数字温度测控芯片DS1620的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003(12).

收稿日期: 2005-11-25