

配电变压器 380 V 低压侧单相接地保护的配置探讨

赵桂兰

(深圳市中电电力技术股份有限公司, 广东 深圳 518040)

摘要: 通过分析 10/0.4 kV 配电变压器保护的规程要求和计算实例, 说明配置的一般原则和方法, 并以计算示例说明了单相接地保护的配套方法, 希望能提高配电变压器保护的实用性和经济性, 做到安全、有效、合理。

关键词: 配电变压器; 低压侧; 单相接地保护

中图分类号: TM 773 文献标志码: A 文章编号: 1001-5531(2010)17-0048-04



赵桂兰 (1968—), 女, 工程师, 研究方向为电力系统二次控制与保护。

Configuration Discussion of Single Phase Grounding Protection at 380 V Low Voltage Side for Distribution Transformer

ZHAO Guilan

(Shenzhen Ceiec Electric Technology Inc., Shenzhen 518040, China)

Abstract: Through the analysis of regulations requirements and calculation example of 10/0.4 kV distribution transformer protection, the general principle and methods of configuration were introduced. The method of configuration of single phase grounding protection was introduced through one calculation example. It was hoped that practicability and economy could be increased, and it should be safe, effective and reasonable.

Key words: distribution transformer; low voltage side; single phase grounding protection

0 引言

随着经济发展的加速, 10/0.4 kV 配电变压器的应用也越来越广泛, 对其的保护一般习惯性装设速断保护、过流保护、高压侧单相接地报警, 对于低压侧单相接地保护, 有些企业一概配置低压侧中性点零序电流互感器和专用单相接地保护, 有些单位又一概不单独配置专用低压单相接地保护, 而用高压侧三相过电流保护来兼顾, 到底应该怎样配置才更合理, 本文对此进行分析说明。

1 规程要求

由 GBT 50062—2008 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》对配电变压器低压侧单相接地保护的要求可知, 低压侧中性点直接接地的变压器需要装设单相接地保护, 保护的具体实现方法需要根据项目实际情况具体分析。

低压侧中性点直接接地的变压器, 不论是星型—星型接线还是三角—星型接线, 首推用高压

侧三相式过电流保护来兼低压侧单相接地保护, 原因有: ① 高压侧三相式过电流保护在灵敏度满足要求的前提下, 既起到保护变压器高压侧过电流的保护作用, 同时完成了变压器低压侧单相接地保护的功能, 大大节约了整个变压器的运行成本, 可以获得较好的经济效益; ② 考虑到供电半径和符合分布情况, 这类变压器多布置在紧邻低压负荷中心, 而相对远离高压开关柜, 有些项目甚至距离高压开关柜几百 m 的距离, 如果用低压侧中性点安装零序保护来实现, 该保护的安装位置有困难, 跳闸出口接线拉得比较长, 对变压器安全运行带来隐患, 不利于变压器的经济合理运行。

2 理论分析

不同接线方式变压器低压侧单相接地短路分析。为简化计算, 考虑到高压系统到变压器的电缆阻抗对低压侧单相接地短路分析影响不大, 本文直接将高压电缆部分的阻抗归算到高压系统阻抗中。

对于三相短路,由于已经假定系统是对称的,只有正序分量,因此,不需要特别强调序阻抗的概念;对于单相接地短路,必须提出序阻抗和相保阻抗的概念。由于短路点离发电机较远,可认为所有元件的负序阻抗等于正序阻抗,而零序阻抗与正序、负序阻抗不同,必须单独分计算。对于零序阻抗,星型-星型接线和三角-星型接线的配电变压器,当低压侧发生单相接地短路故障时,零序电流不能在变压器高压绕组流通,高压侧对于零序电流相当于开路状态,故在计算单相接地短路电流时视若无此阻抗。

本文考虑配电变压器低压侧母线单相接地短路,因此,需要计算以下三部分阻抗。

(1) 高压系统。高压系统按如下估算:

$$Z_s = \frac{(cU_n)^2}{S_s''} \times 10^3 \quad (1)$$

$$X_s = 0.995Z_s \quad (2)$$

$$R_s = 0.1X_s \quad (3)$$

式中 S_s'' ——变压器高压侧系统短路容量, MVA

U_n ——变压器低压侧标称电压, 0.38 kV

c ——电压系数,计算三相短路电流时取 1.05,计算单相短路电流时取 1.0

Z_s ——归算到变压器低压侧的高压系统阻抗, $m\Omega$

X_s ——归算到变压器低压侧的高压系统电抗, $m\Omega$

R_s ——归算到变压器低压侧的高压系统电阻, $m\Omega$

对于 TN 接地系统的相保电阻和相保电抗分别为

$$R_{\text{php},s} = \frac{1}{3}(R_{(1)s} + R_{(2)s} + R_{(0)s}) = \frac{2}{3}R_s \quad (4)$$

$$X_{\text{php},s} = \frac{1}{3}(X_{(1)s} + X_{(2)s} + X_{(0)s}) = \frac{2}{3}X_s \quad (5)$$

式中 $X_{\text{php},s}$ ——归算到变压器低压侧的高压系统电抗, $m\Omega$

$R_{\text{php},s}$ ——归算到变压器低压侧的高压系统电阻, $m\Omega$

(2) 配电变压器。正序阻抗的计算如下

$$R_T = \frac{\Delta P^* U_r^2}{S_{rT}^2} \quad (6)$$

$$Z_T = \frac{u_d \% U_r^2}{100 S_{rT}} \quad (7)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (8)$$

式中 ΔP ——变压器短路损耗, kW

U_r ——额定线电压, kV

S_{rT} ——变压器额定容量, MVA

$u_d \%$ ——变压器阻抗电压百分比

变压器的负序阻抗等于正序阻抗。Y_{yn0} 连接的变压器的零序阻抗比正序阻抗大得多,其值由制造厂通过测试提供;D_{yn11} 连接的变压器的零序阻抗若无测试数据时,可取其值等于正序阻抗值。

Y_{yn0} 连接变压器的相保电阻和相保电抗分别为

$$R_{\text{php},T} = \frac{1}{3}(R_{(1)T} + R_{(2)T} + R_{(0)T}) = \frac{2}{3}R_T + \frac{1}{3}R_{(0)T} \quad (9)$$

$$X_{\text{php},T} = \frac{1}{3}(X_{(1)T} + X_{(2)T} + X_{(0)T}) = \frac{2}{3}X_T + \frac{1}{3}X_{(0)T} \quad (10)$$

D_{yn11} 连接变压器的相保电阻和相保电抗为

$$R_{\text{php},T} = \frac{1}{3}(R_{(1)T} + R_{(2)T} + R_{(0)T}) = R_T \quad (11)$$

$$X_{\text{php},T} = \frac{1}{3}(X_{(1)T} + X_{(2)T} + X_{(0)T}) = X_T \quad (12)$$

(3) 低压母线。导线电阻为

$$R_j = k_{jt} k_{lj} R_\theta \quad (13)$$

式中 R_θ ——导线温度为 θ °C 时的直流电阻, R_θ

$$= \rho_\theta C_j \frac{L}{A}$$

ρ_θ ——导线温度为 θ °C 时的电阻率, $\rho_\theta = \rho_{20} [1 + \alpha(\theta - 20)]$

C_j ——绞入系数,单股导线为 1,多股导线为 1.02

ρ_{20} ——导线温度为 20 °C 时的电阻率,铝线芯为 2.82 $\mu\Omega \cdot \mu\text{m}$,铜线芯为 1.722 $\mu\Omega \cdot \mu\text{m}$

α ——电阻温度系数,铜、铝都取 0.004

θ ——导线实际工作温度, °C

k_{jt} ——集肤效应系数,查表获得

k_{lj} ——临近效应系数,母线取 1.03

为了简化计算,计算导线电抗时,忽略线路容抗,只计算线路感抗。

对于 50 Hz 系统,母线的感抗计算公式如下

$$X' = 0.144 51 g \frac{2\pi D_j + h}{\pi b + 2h} + 0.018 84 \quad (14)$$

式中 D_j ——几何均距 μm
 b ——母线厚度 μm
 h ——母线宽度 μm

以上为线路、母线的线路阻抗(正序、负序)的计算方法,对于相线、保护线的零序电阻和零序电抗的计算方法与正、负序电阻、电抗计算方法相同,只是在计算相线零序电抗 $X_{(0)\text{ph}}$ 和保护线零序电抗 $X_{(0)\text{p}}$ 时几何均距 D_j 改用 D_0 代替。 $D_0 = 3 \sqrt{D_{L1P} D_{L2P} D_{L3P}}$, D_{L1P} 、 D_{L2P} 、 D_{L3P} 为相线 L1、L2、L3 中心至保护线 PE 或 PEN 线中心的距离。

对于单相接地短路,母线的相保电阻和相保电抗分别为

$$R_{\text{php.m}} = \frac{1}{3} (R_{(1)\text{m}} + R_{(2)\text{m}} + R_{(0)\text{m}}) = \frac{1}{3} (R_{(1)\text{m}} + R_{(2)\text{m}} + R_{(0)\text{phm}} + 3R_{(0)\text{pm}}) \quad (15)$$

$$X_{\text{php.m}} = \frac{1}{3} (X_{(1)\text{m}} + X_{(2)\text{m}} + X_{(0)\text{m}}) = \frac{1}{3} (X_{(1)\text{m}} + X_{(2)\text{m}} + X_{(0)\text{phm}} + 3R_{(0)\text{pm}}) \quad (16)$$

3 计算示例

下面由一个计算实例来说明变压器低压侧单相接地保护的配置原则和特点。

某车间变电所变压器为 SCB9-1 000 kVA, 10/0.4 kV $\mu_d = 6\%$, $\Delta P_k = 7.6 \text{ kW}$, 过负荷系数为 3, 在变压器高压侧系统短路容量 $S''_{\text{min}} = 200 \text{ MVA}$, 变压器的接线形式分别为 D, yn11 和 Y, yn0, 低压 380 V 母线平行竖放, 母线间距 350 mm, 中性线距边母线 200 mm, 其他参数见图中如图 1 所示, 以下分别进行变压器低压母线处发生单相接地短路保护的配置及灵敏度的计算。

根据以上参数,由式(1)~(5)计算得到系统的相电阻 R_s 、相电抗 X_s 、相保电阻 R_{phps} 、相保电抗 X_{phps} ; 由式(6)~(8)、(11)、(12)计算得到变压器的相电阻 R_T 、相电抗 X_T 、D, yn11 连接型式的相保电阻 R_{phpT} 、相保电抗 X_{phpT} , 对于 Y, yn0 连接的变压器的零序阻抗比正序阻抗大得多, 其值由制造

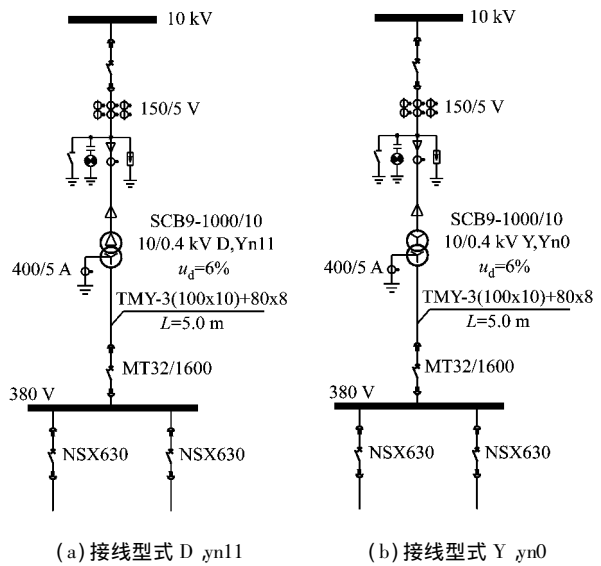


图 1 变压器示意图

厂通过测试提供,因此,其相保电阻 R_{phpT} 、相保电抗 X_{phpT} 根据厂家提供数据查表得出; 由式(13)~(16)计算得到低压母线 20 °C 时的相电阻 R_m 、相电抗 X_m 、相保电阻 R_{phpm} 、相保电抗 X_{phpm} , 计算结果如表 1 所示。

根据表 1 数据计算得变压器低压侧母线故障的阻抗、短路电流、过电流保护和低压单相接地保护的数值如表 2 所示。

表 1 20 °C 时低压母线参数表

名称	系统 S	变压器 T		母线 /m
		D, yn11	Y, yn0	
相电阻 $R/\text{m}\Omega$	0.08	1.22	1.22	0.11
相电抗 $X/\text{m}\Omega$	0.80	9.52	9.52	0.90
相保电阻 $R/\text{m}\Omega_{\text{php}}$	0.05	1.22	3.39	0.27
相保电抗 $X/\text{m}\Omega_{\text{php}}$	0.53	9.52	42.71	1.86

由示例分析可得,对于相同容量、相同电压比和相同百分比的电抗,只是接线型式不一样的配电变压器,高压侧的短路电流和保护形式、定值是没有差别的,计算完全一样。D, yn11 接线的变压器和 Y, yn0 接线的变压器主要差别在于变压器的零序阻抗。Y, yn0 接线的变压器由于与低压系统有电的联系,其零序阻抗值远远高于正序阻抗,从而导致相保电阻和相保电抗值也很大; 而 D, yn11 接线变压器的零序阻抗值与正序阻抗差别不大,估算时可以取值等于正序阻抗值,对应的相

表 2 低压侧母线故障计算数值表

项 目	名称	符号及公式	变压器 T	
			D _{yn11}	Y _{yn0}
短路点阻抗/mΩ	相电阻	$R_k = R_s + R_T + R_m$	1.410	1.41
	相电抗	$X_k = X_s + X_T + X_m$	11.22	11.22
	相阻抗	$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$	11.31	11.31
	相保电阻	$R_{php} = R_{phps} + R_{phpT} + R_{phpm}$	1.54	3.71
	相保电抗	$X_{php} = X_{phps} + X_{phpT} + X_{phpm}$	10.91	45.10
	相保阻抗	$Z_{php} = \sqrt{R_{php}^2 + X_{php}^2}$	11.02	45.25
三相短路电流/A	低压侧 I_{22k3}	$I'' = \frac{1.05 U_n / \sqrt{3}}{Z_k}$	20334	20334
	高压侧 I_{2k3}		813.36	813.36
单相接地故障电流/A	低压侧 I_{22k1}	$I_d = \frac{U_n \sqrt{3}}{Z_{php}}$	19964	4862
	高压侧 I_{2k1}		798.54	194.48
过电流保护定值/A	计算	$I_{opK} = K_{rel} K_{jx} \frac{K_{gh} I_{1FT}}{K_r n_{TA}}$	8.15	8.15
	整定	I_{op}	8.50	8.50
灵敏度校验	过电流保护	$K_{sen} = \frac{I_{2k2}}{I_{op} n_{TA}}$	2.10	2.10
	低压侧单相接地保护	$K_{sen} = \frac{I_{22k1}}{I_{op} n_{TA}}$	1.81	0.51
低压侧专用接地保护定值/A	计算 灵敏度校验	$I_{opK} = K_{rel} \frac{0.25 I_{22k1}}{n_{TA}}$	4.51	取 5 12.1

保电阻和相保电抗值与相电阻、相电抗值相等。由表 2 可以看出: D_{yn11} 接线变压器的相保电阻 $R_{phpT} = R_T = 1.22 \text{ m}\Omega$, 相保电抗 $X_{phpT} = X_T = 9.52 \text{ m}\Omega$; 而 Y_{yn0} 接线变压器的相保电阻 $R_{phpT} = 3.39 \text{ m}\Omega$, 相电阻 $R_T = 1.22 \text{ m}\Omega$, 相保电抗 $X_{phpT} = 42.71 \text{ m}\Omega$, 相电抗 $X_T = 9.52 \text{ m}\Omega$, 正是这一点导致 D_{yn11} 接线和 Y_{yn0} 接线变压器的 380 V 低压母线单相接地故障电流的很大不同。D_{yn11} 接线 $I_{22k1} = 19964 \text{ A}$; Y_{yn0} 接线 $I_{22k1} = 4862 \text{ A}$ 。D_{yn11} 接线的低压母线单相接地故障电流较大, 用高压侧三相式过电流保护兼做低压侧中性点单相接地保护的灵敏度完全符合要求 $K_{sen} = 1.81 > 1.5$, 不需要单独配置专用的中性点电流互感器和保护继电器; 由于 Y_{yn0} 接线的低压母线单相接地故障电流小, 致使高压侧三相过电流保护兼做低压侧单相接地保护功能的灵敏度不满足 > 1.5 ($K_{sen} = 0.51$), 因此, 需要单独配置低压侧单相接地保护。

4 结 语

通过以上计算实例分析: 对于 D_{yn11} 接线形式的变压器, 可利用高压侧三相过电流保护兼作低压侧单相接地故障保护, 灵敏度完全满足 > 1.5 的要求, 不需要单独配置专用的中性点电流互感器和保护继电器, 节省了设备配置和接线, 同时也减少了运行成本; 对于 Y_{yn0} 接线的变压器, 由于变压器相保阻抗很大, 导致低压单相接地故障短路电流较小, 利用高压侧三相过电流保护兼作低压侧单相接地故障保护的灵敏度不满足 > 1.5 的要求, 必须单独在低压侧配置单相接地保护, 增加了设备、接线, 同时加大了运营维护成本。

D_{yn11} 和 Y_{yn0} 两种接线型式的 10/0.4kV 配电变压器在工业和民用建筑领域应用都非常广泛, 随着用电负荷的增加, 低压侧单相接地故障的

(下转第 62 页)

SC17B(在 GB 14048.5 中有规定)不同的描述, SC17B 希望 TC94 不要对 SC17B 正在使用的使用类别进行重新定义,经过协商,TC94 接受了 SC17B 的意见,对这一问题将重新考虑。

SC17B(低压开关设备和控制设备)的产品广泛应用于各行各业,和许多其他标委会所负责的产品有关联,为了推进技术进步和社会发展,WG2 会对相关问题继续跟踪研究,确保标准之间的适用性和协调性。

3 与 UL 之间的协调

UL(美国保险商实验室)是一家产品安全测试和认证机构,也是美国产品安全标准的创始者。UL 标准与 IEC 标准之间存在很大的差异,这对于采用 IEC 标准的其他国家的产品进入美国市场产生了许多不便,为了促进各国之间的贸易往来,加强标准之间的协调性和适用性,同时也为了尽量避免对同一产品规定不同的要求,UL TF 一直致力于将有关的 UL 标准与 IEC 标准之间进行协调,双方进行讨论,达成协商一致,推动标准化工作向前发展。

目前 UL TF 与 IEC SC17B/WG2 正在协调的标准包括 UL 60947-1 Ed5.0 与 IEC 60947-1 Ed5.0 的协调,UL 60947-4-1 Ed3.0 与 IEC 60947-4-1 Ed3.0 的协调,UL 60947-4-2 与 IEC 60947-4-2 的协调,UL 60947-5-1 与 IEC 60947-5-1 的协调等。

4 结 语

低压电器属于量大面广的一类产品,广泛应用于生产生活中,对于 IEC 国际标准的跟踪,可以使我们及时了解最新的国际技术动态,并以此为基础,制订完善我国的标准化体系,增强国内企业的市场竞争力。

【参 考 文 献】

- [1] 17B/1689/NP 低压开关设备和控制设备 用于信息交换的产品数据和特性[S].
- [2] 17B/1697/CD IEC 61915-2 低压开关设备和控制设备-网络工业设备的设备描述 第2部分:起动机及类似设备的根设备描述[S].

收稿日期:2010-07-05

(上接第 51 页)

影响增大,结合这几年电子类负荷的增加较快,产生的谐波影响也加大,虽然就地进行了一些补偿,但对系统的影响还是不可小视,根据 D_{yn11} 和 Y_{yn0} 两种接线型式的 10/0.4 kV 配电变压器适用场合,结合本文的分析,建议在没有特别要求接线型式的场所,选用 D_{yn11} 接线型式的配电变压器,用高压侧三相过电流保护兼作低压侧单相接地保护,从而提高配电变压器保护的实用性和

经济性,也提高了变压器的运行效率,做到安全、有效、合理。

【参 考 文 献】

- [1] GBT 50062—2008 电力装置的继电保护和自动装置设计规范[S]. 2008.

收稿日期:2010-07-14

交流先进技术平台 传播电工信息先锋