

Y/yn 接线变压器带单相负载的计量原理分析

张 蕾

(成都电业局锦江供电公司, 四川 成都 610061)

摘 要: 在 10 kV 供电系统中, Y/yn 变压器运用相当广泛, 在 10 kV 侧采用三相三线计量方式的用电客户较多, 运行中 0.4 kV 侧可能接入单相负载, 出现极端不对称运行情况, 主要运用对称分量法分析这种运行状态下, 10 kV 侧三相三线制计量装置的计量原理。

关键词: Y/yn 变压器; 单相负载; 三相三线; 计量原理

Abstract: Y/yn transformer is widely used in 10 kV power supply system. Most consumers adopt the three-phase three-wire measurement on its 10 kV side. In this way, the 0.4 kV side of such transformer may connect to single-phase load and bring on the extreme asymmetric operation. Under such operating condition, the measurement principles of three-phase three-wire metering are analyzed by symmetrical component.

Key words: Y/yn transformer; single-phase load; three-phase three-wires measurement principle

中图分类号: TM744 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2009)05-0092-03

1 变压器低压侧接入 A 相负载

1.1 低压侧电流的各序分量

当低压侧的 A 相接入单相感性负载时, $\dot{I}_A = \dot{I}$ (负载电流), $\dot{I}_B = \dot{I}_C = 0$ 。如果 A 相的电压用 U_A 表示, 相位角用 Φ_a 表示, 则低压侧的有功功率为 $U_A \times I \times \cos\Phi_a$ 。

运用对称分量法, 可以将负载电流分解为三组对称的正序、负序、零序分量, 分解过程如下。

根据对称分量表达式

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{A+} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_A + A \dot{I}_B + a^2 \dot{I}_C) \\ \dot{I}_{A-} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C) \\ \dot{I}_{A0} &= \frac{1}{3} (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, $a = e^{j120^\circ}$, $a^2 = e^{j240^\circ}$ 和边界条件方程

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_B &= \dot{I}_C = 0 \\ \dot{I}_C &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

求得 A 相的各序分量为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{A+} &= \frac{1}{3} \dot{I} \\ \dot{I}_{A-} &= -\frac{1}{3} \dot{I} \\ \dot{I}_{A0} &= \frac{1}{3} \dot{I} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

根据式 (3), 绘出低压侧电流各序分量的相量图见图 1。

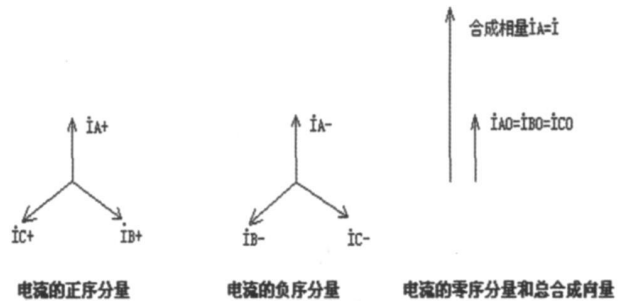


图 1 Y/yn 变压器低压侧接入 A 相负载时电流的各序分量

1.2 高压侧的一次电流

由于变压器高压侧的中性点不接地, 所以低压侧的零序电流不能在高压侧通过, 只有正序、负序电流才能感应到高压侧, 将低压侧电流的正序、负序分量叠加后, 绘出高压侧电流各序分量和合成电流的相量图见图 2。

从图 2 可以得知高低压侧电流的关系为

$$\dot{I}'_A \times K_b = \frac{2}{3} \dot{I}$$

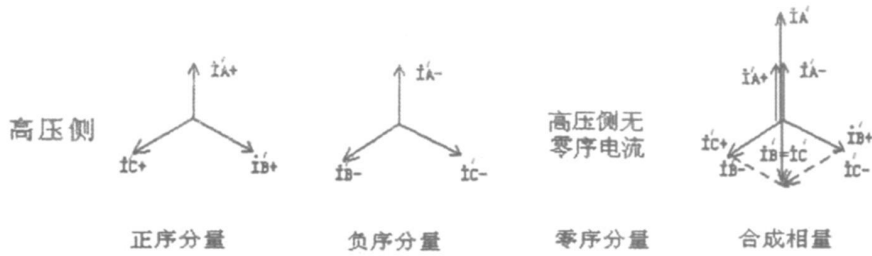


图 2 接入 A 相负载时高压侧电流的各序分量和合成相量
注: 电流符号带 " ' " 的均代表高压侧。

$$\dot{I}'_b \times K_b = \dot{I}'_c \times K_b = -\frac{1}{3} \dot{I}$$

上式中 K_b 为变压器的变比。

1.3 高压侧三相三线制计量装置的计量原理

设高压侧电流互感器变流比为 K_i , 电压互感器变流比为 K_v 。

$$\dot{I}'_a = \frac{2}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_i}; \dot{I}'_b = -\frac{1}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_i}; \dot{I}'_c = -\frac{1}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_i}$$

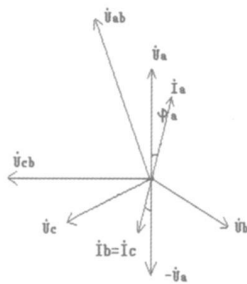


图 3 接入 A 相负载时高压侧计量装置的相量图

$$P_2 = P_a + P_c = U_{ab} I_a \cos(30^\circ + \varphi_a) + U_{cb} I_c \cos(90^\circ - \varphi_a)$$

$$= \frac{U_{ab} \times \frac{2}{3} I \times \cos(30^\circ + \varphi_a) + U_{cb} I_c \cos(90^\circ - \varphi_a)}{K_b \times K_i}$$

$$= \frac{U_a I \cos \varphi_a}{K_b \times K_i}$$

一次功率为

$$P_1 = P_2 \times K_v \times K_i = \frac{U_a I \cos \varphi_a}{K_b \times K_i} \times K_v \times K_i$$

$$= \frac{U_a \times K_v \times K_i \times I \cos \varphi_a}{K_b} = U_a I \cos \varphi_a$$

其中, $\frac{U_a \times K_v}{K_b} = U_A$ (低压侧 A 相电压)。

可见, 经互感器、变压器变比折算后, 忽略变压器损耗, 电能表反应的功率和低压侧的 A 相负载功率一致, 故能正确计量低压侧的电量。

2 变压器低压侧接入 B 相负载

2.1 折算后高压侧的二次电流

同 A 相接入负载一样, 利用对称分量法, 分解出低压侧 B 相电流的正序、负序、零序三组分量, 将正序、负序分量叠加, 得到高压侧的二次电流。

$$\dot{I}'_b = \frac{2}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_i}; \dot{I}'_a = -\frac{1}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_i}; \dot{I}'_c = -\frac{1}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_i}$$

1.2 电能表计量原理分析

由于高压侧的计量装置采用三相三线制, 可以得到计量装置的相量图, 见图 4。

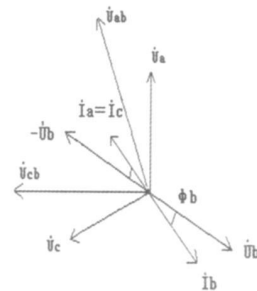


图 4 接入 B 相负载时高压侧计量装置的相量图

由图 4 的向量图可以得出电能表接收的二次功率。

$$P_2 = P_a + P_c = U_{ab} I_a \cos(30^\circ - \varphi_a) + U_{cb} I_c \cos(30^\circ + \varphi_b)$$

$$= \frac{U_{ab} \times \frac{1}{3} I \times \cos(30^\circ - \varphi_a) + U_{cb} \times \frac{1}{3} I \times \cos(30^\circ + \varphi_b)}{K_b \times K_i}$$

$$= \frac{U_b I \cos \varphi_b}{K_b \times K_i}$$

一次功率为

$$P_1 = P_2 \times K_v \times K_i = \frac{U_b I \cos \varphi_b}{K_b \times K_i} \times K_v \times K_i = \frac{U_b \times K_v \times K_i \cos \varphi_b}{K_b}$$

$$= U_b I \cos \varphi_b$$

其中, $\frac{U_b \times K_v}{K_b} = U_b$ (低压侧 B 相电压)。

可见,经互感器、变压器变比折算后,忽略变压器损耗,电能表反应的功率和低压侧的 B 相负载功率一致,故能正确计量低压侧的电量。

3 低压侧只接入 C 相负载

3.1 折算后高压侧的二次电流

同 A 相接入负载一样,利用对称分量法,分解出低压侧 C 相电流的正序、负序、零序三组分量,将正序、负序分量叠加,得到高压侧的二次电流为

$$\dot{I}_c = \frac{2}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_1}; \dot{I}_a = -\frac{1}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_1};$$

$$\dot{I}_b = -\frac{1}{3} \times \frac{\dot{I}}{K_b K_1}$$

3.2 电能表计量原理分析

根据以上结论,可以得出高压侧计量装置的相量图,见图 5。

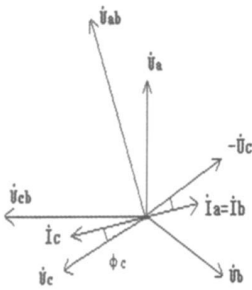


图 5 接入 C 相负载时高压侧计量装置的相量图

$$P_2 = P_a + P_c = U_{ab} I_a \cos(90^\circ + \varphi_c) + U_{cb} I_c \cos(30^\circ - \varphi_c)$$

(上接第 61 页)
社, 2000.

[9] 庄媛媛. 基于粒子群的电力系统短期负荷预测 [J]. 微机计算机信息, 2007, (3): 9-11.

作者简介:

$$= \frac{U_{ab} \times \frac{1}{3} I \times \cos(90^\circ + \varphi_c) + U_{cb} \times \frac{2}{3} I \times \cos(30^\circ - \varphi_c)}{K_b \times K_1}$$

$$= \frac{U_c I \cos \varphi_c}{K_b \times K_1}$$

一次功率为

$$P_1 = P_2 \times K_y \times K_1 = \frac{U_c I \cos \varphi_c}{K_b \times K_1} \times K_y \times K_1 = \frac{U_c \times K_y \times K_1 \cos \varphi_c}{K_b}$$

$$= U_c I \cos \varphi_c$$

其中, $\frac{U_c \times K_y}{K_b} U_c$ (低压侧 C 相电压)。

可见,经互感器、变压器变比折算后,忽略变压器损耗,电能表反应的功率和低压侧的 C 相负载功率一致,故能正确计量低压侧的电量。

4 结 论

Y/yn 接线的 10 kV 变压器,在 0.4 kV 侧接入单相负载时,通过互感器、变压器变比折算后,忽略变压器损耗,电能表反应的功率和低压侧的单相负载功率一致,因此,这种极端不对称运行方式下,电能表能正确计量低压侧的电量。同时,当接入单相负载时,负载相电压降低,另外两相电压增高,但线电压仍然对称,此时如果客户在另外两相接入负载,很容易因电压过高烧坏设备,所以 Y/yn 变压器不宜单相负载运行。

参考文献

[1] 孙铁民. 电能计量 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.

[2] 刘万顺. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.

(收稿日期: 2009-04-23)

周 曲 (1977-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析计算及稳定。

邱晓燕 (1964-), 女, 教授, 研究方向为电力系统分析计算与稳定控制, 电力系统电压稳定。

(收稿日期: 2009-06-10)

中国风电装机容量仅次于美、德、西

中国计划今后 10 年建造 7 座大型风力发电基地。中国目前的风电装机容量位列世界第四,达 12 GW · h, 相当于 24 座平均规模的燃煤电厂的发电量。中国的风电装机容量仅次于美国、德国和西班牙,但不是所有风电机组都并入了电网。事实上,目前中国只有 0.4% 的电力来自风力发电。

位于伦敦的新能源财经公司的分析师贾斯汀·吴称,装机容量与风力发电量之间的差距并非无足轻重。他说,将风电厂并入国家电网非常困难和昂贵,因为风电的不稳定性会给电网增加负担。他表示,要克服这项困难,电网需要进行昂贵的升级改造,研究报告没有考虑这些因素。凭现有的技术,一个国家的能源需求不可能全部来自风电,因为这需要先进的电网技术。