

二、三绕组变压器

三绕组变压器的等效电路如图 3-4 所示。其导纳支路参数 G_T 、 B_T 的计算公式与双绕组变压器完全相同。阻抗支路参数 R_T 、 X_T 的计算与双绕组变压器也无本质上的差别，但由于三绕组变压器各绕组的容量有不同的组合，因而其阻抗的计算方法有所不同，现分别讨论如下。

（一）电阻 R_{T1} 、 R_{T2} 、 R_{T3}

我国新型三绕组变压器按三个绕组容量比的不同分为 100/100/100、100/100/50 和 100/50/100 三种类型，见表 3-1。

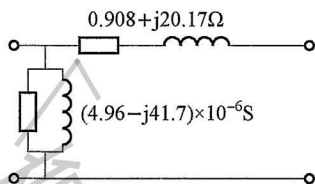


图 3-3 计算所得的变压器 T 形等效电路

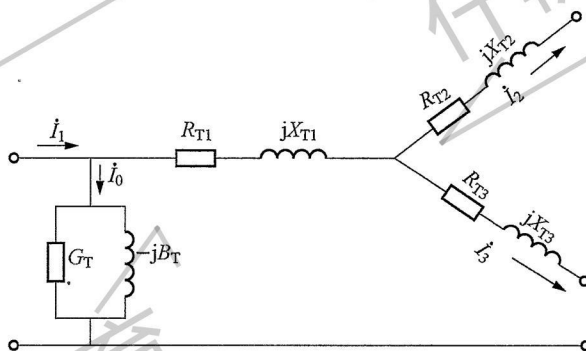


图 3-4 三绕组变压器的等效电路图

(1) 容量比为 100/100/100 的三绕组变压器。这类变压器的短路试验是分别令一个绕组开路、一个绕组短路, 而对余下的一个绕组施加电压, 依次进行, 其短路损耗分别为 ΔP_{k1-2} 、 ΔP_{k1-3} 、 ΔP_{k2-3} 。

表 3-1

三绕组变压器的容量分配

类别	各绕组容量占变压器额定容量的百分比 (%)			类别	各绕组容量占变压器额定容量的百分比 (%)		
	高压侧	中压侧	低压侧		高压侧	中压侧	低压侧
1	100	100	100	3	100	50	100
2	100	100	50				

设各绕组的短路损耗分别为 ΔP_{k1} 、 ΔP_{k2} 、 ΔP_{k3} , 则有

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{k1-2} &= \Delta P_{k1} + \Delta P_{k2} \\ \Delta P_{k1-3} &= \Delta P_{k1} + \Delta P_{k3} \\ \Delta P_{k2-3} &= \Delta P_{k2} + \Delta P_{k3} \end{aligned} \right\} \quad (3-10)$$

由此可得每个绕组的短路损耗为

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{k1} &= \frac{1}{2}(\Delta P_{k1-2} + \Delta P_{k1-3} - \Delta P_{k2-3}) \\ \Delta P_{k2} &= \frac{1}{2}(\Delta P_{k1-2} + \Delta P_{k2-3} - \Delta P_{k1-3}) \\ \Delta P_{k3} &= \frac{1}{2}(\Delta P_{k1-3} + \Delta P_{k2-3} - \Delta P_{k1-2}) \end{aligned} \right\} \quad (3-11)$$

根据式 (3-2), 即可求得各个绕组的电阻为

$$\left. \begin{aligned} R_{T1} &= \frac{\Delta P_{k1} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 \\ R_{T2} &= \frac{\Delta P_{k2} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 \\ R_{T3} &= \frac{\Delta P_{k3} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 \end{aligned} \right\} \quad (3-12)$$

(2) 容量比为 100/100/50 或 100/50/100 的三绕组变压器。这两种容量比不相等的变压器, 由于受 50% 容量绕组的限制, 在进行短路试验时有两组数据是按 50% 容量的绕组达到额定容量时测得的值。而式 (3-12) 中的 S_N 是指 100% 容量绕组的额定容量, 因此对制造厂提供的或查资料所得到的短路损耗必须先按变压器的额定容量进行折算, 然后再按容量比

为 100/100/100 的三绕组变压器计算方法计算各个绕组的电阻。例如, 对容量比为 100/50/100 的变压器, 其折算公式为

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{k1-2} &= \Delta P'_{k1-2} \left(\frac{S_N}{S_{N2}} \right)^2 = \Delta P'_{k1-2} \left(\frac{100}{50} \right)^2 = 4\Delta P'_{k1-2} \\ \Delta P_{k2-3} &= \Delta P'_{k2-3} \left(\frac{S_N}{S_{N2}} \right)^2 = \Delta P'_{k2-3} \left(\frac{100}{50} \right)^2 = 4\Delta P'_{k2-3} \\ \Delta P_{k1-3} &= \Delta P'_{k1-3} \end{aligned} \right\} \quad (3-13)$$

式中: S_{N2} 为绕组 2 的额定容量; $\Delta P'_{k1-2}$ 、 $\Delta P'_{k2-3}$ 为未折算的绕组间的短路损耗 (铭牌数据); ΔP_{k1-2} 、 ΔP_{k2-3} 为折算到 100% 绕组额定容量下绕组间的短路损耗; 由于绕组 1、3 的容量均为变压器的额定容量, 因此 $\Delta P'_{k1-3}$ 不用折算。

(二) 电抗 X_{T1} 、 X_{T2} 、 X_{T3}

由于短路电压一般都已折算为与变压器的额定容量相对应的值, 因而不管变压器各绕组的容量比如何, 都可利用制造厂或有关手册提供的两个绕组之间的短路电压 $U_{k1-2}\%$ 、 $U_{k1-3}\%$ 、 $U_{k2-3}\%$, 直接应用式 (3-14)~式 (3-16) 计算各绕组的电抗。由于各绕组之间的短路电压分别为

$$\left. \begin{aligned} U_{k1-2}\% &= U_{k1}\% + U_{k2}\% \\ U_{k1-3}\% &= U_{k1}\% + U_{k3}\% \\ U_{k2-3}\% &= U_{k2}\% + U_{k3}\% \end{aligned} \right\} \quad (3-14)$$

利用式 (3-14) 即可解得各个绕组的短路电压百分数为

$$\left. \begin{aligned} U_{k1}\% &= \frac{1}{2}(U_{k1-2}\% + U_{k1-3}\% - U_{k2-3}\%) \\ U_{k2}\% &= \frac{1}{2}(U_{k1-2}\% + U_{k2-3}\% - U_{k1-3}\%) \\ U_{k3}\% &= \frac{1}{2}(U_{k1-3}\% + U_{k2-3}\% - U_{k1-2}\%) \end{aligned} \right\} \quad (3-15)$$

再利用式 (3-15), 即可求得各个绕组的电抗为

$$\left. \begin{aligned} X_{T1} &= \frac{U_{k1}\% U_N^2}{S_N} \times 10 \\ X_{T2} &= \frac{U_{k2}\% U_N^2}{S_N} \times 10 \\ X_{T3} &= \frac{U_{k3}\% U_N^2}{S_N} \times 10 \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

三绕组变压器的绕组有两种排列方式, 如图 3-5 所示。对于第一种排列方式来说, 其高压、中压绕组间的漏磁通道较长, 阻抗电压较大, 而高压、低压绕组间以及中压、低压绕组间的漏磁通道较短, 阻抗电压较小。所以这种排列方式适用于需将功率自低压绕组经高压、中压绕组输入系统的升压变压器, 以减小低压、高压间及低压、中压间的电压损耗; 也适用于功率主要自高压侧传输向低压侧的降压变压器, 以减小高压、低压间的电压损耗。当低压侧

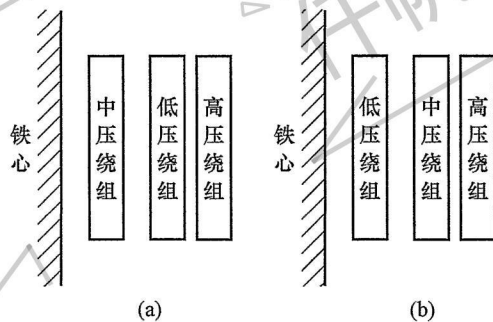


图 3-5 三绕组变压器绕组的两种排列方式
(a) 第 1 种排列方式; (b) 第 2 种排列方式

各断路器的开断能力不足,需限制短路电流时,则应采用第二种排列方式,以满足安全运行的要求。

【例 3-2】 某变电站有一台型号为 SFSL1-20000/110,容量比为 100/50/100 的三绕组变压器。已知 $\Delta P'_{k1-2}=52\text{kW}$, $\Delta P'_{k1-3}=\Delta P_{k1-3}=148.2\text{kW}$, $\Delta P'_{k2-3}=47\text{kW}$, $U_{k1-2}\%=18$, $U_{k2-3}\%=6.5$, $U_{k1-3}\%=10.5$, $\Delta P_0=50.2\text{kW}$, $I_0\%=4.1$,试求变压器的参数并作出等效电路。

解 (1) 计算各绕组的电阻。

1) 对于容量较小绕组有关的短路损耗进行折算

$$\Delta P_{k1-2} = 4\Delta P'_{k1-2} = 4 \times 52 = 208(\text{kW})$$

$$\Delta P_{k2-3} = 4\Delta P'_{k2-3} = 4 \times 47 = 188(\text{kW})$$

2) 计算各绕组的短路损耗为

$$\Delta P_{k1} = \frac{1}{2}(\Delta P_{k1-2} + \Delta P_{k1-3} - \Delta P_{k2-3}) = \frac{1}{2} \times (208 + 148.2 - 188) = 84.1(\text{kW})$$

$$\Delta P_{k2} = \frac{1}{2}(\Delta P_{k1-2} + \Delta P_{k2-3} - \Delta P_{k1-3}) = \frac{1}{2} \times (208 + 188 - 148.2) = 123.9(\text{kW})$$

$$\Delta P_{k3} = \frac{1}{2}(\Delta P_{k1-3} + \Delta P_{k2-3} - \Delta P_{k1-2}) = \frac{1}{2} \times (148.2 + 188 - 208) = 64.1(\text{kW})$$

3) 各绕组的电阻为

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_{k1} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{84.1 \times 110^2}{20000^2} \times 10^3 = 2.54(\Omega)$$

$$R_{T2} = \frac{\Delta P_{k2} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{123.9 \times 110^2}{20000^2} \times 10^3 = 4.2(\Omega)$$

$$R_{T3} = \frac{\Delta P_{k3} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{64.1 \times 110^2}{20000^2} \times 10^3 = 1.94(\Omega)$$

(2) 计算各绕组的电抗。

1) 计算各绕组的短路电压为

$$U_{k1}\% = \frac{1}{2}(U_{k1-2}\% + U_{k1-3}\% - U_{k2-3}\%) = \frac{1}{2} \times (18 + 10.5 - 6.5) = 11$$

$$U_{k2}\% = \frac{1}{2}(U_{k1-2}\% + U_{k2-3}\% - U_{k1-3}\%) = \frac{1}{2} \times (18 + 6.5 - 10.5) = 7$$

$$U_{k3}\% = \frac{1}{2}(U_{k1-3}\% + U_{k2-3}\% - U_{k1-2}\%) = \frac{1}{2} \times (10.5 + 6.5 - 18) = -0.5$$

2) 各绕组的电抗为

$$X_{T1} = \frac{U_{k1}\% U_N^2}{S_N} \times 10 = \frac{11 \times 110^2}{20000} \times 10 = 66.55(\Omega)$$

$$X_{T2} = \frac{U_{k2}\% U_N^2}{S_N} \times 10 = \frac{7 \times 110^2}{20000} \times 10 = 42.35(\Omega)$$

$$X_{T3} = \frac{U_{k3}\% U_N^2}{S_N} \times 10 = \frac{-0.5 \times 110^2}{20000} \times 10 = -3.03(\Omega)$$

(3) 计算变压器励磁回路中的 G_T 、 B_T 及功率损耗为

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{U_N^2} \times 10^{-3} = \frac{50.2}{110^2} \times 10^{-3} = 4.15 \times 10^{-6}(\text{S})$$

$$B_T = \frac{I_0 \% S_N}{U_N^2} \times 10^{-5} = \frac{4.1 \times 20000}{110^2} \times 10^{-5} = 67.8 \times 10^{-6} (\text{S})$$

相应的功率损耗为

$$\Delta P_0 + j\Delta Q_0 = \Delta P_0 + j \frac{I_0 \%}{100} S_N = 50 + j \frac{4.1}{100} \times 20000 = 50.2 + j820 (\text{kV} \cdot \text{A})$$

所得等效电路如图 3-6 所示。

从 [例 3-2] 的计算结果可见, 等效电抗 X_{T3} 为一个不大的负值。 X_{T3} 之所以为负值, 是因为处于两侧的绕组 1 和 2 的漏抗较大, 且大于绕组 1、3 和绕组 2、3 漏抗之和所造成的。为负值的等效电抗大都出现在处于中间位置的那一绕组上, 由于其值不大, 实际计算中通常作零处理。

由于等效电路只是数学模型, 而不是物理模型, 参数 X_{T1} 、 X_{T2} 、 X_{T3} 只是用来求各绕组中的电压、电流的, 并无物理意义, 出现负值并不意味着电抗是容性的。

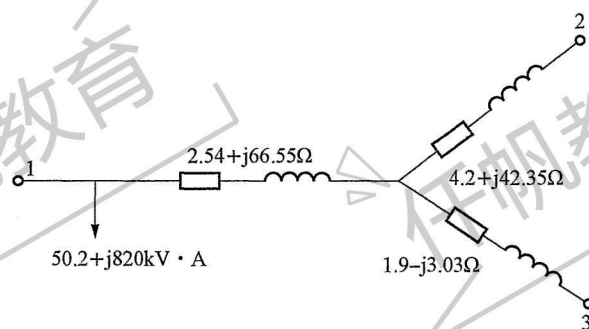


图 3-6 计算所得的三绕组变压器的等效电路