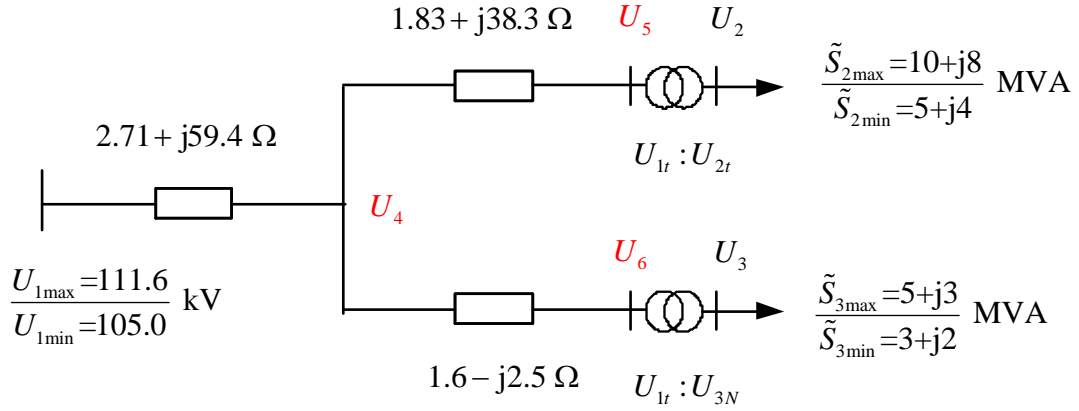


题一：试选择下图所示三绕组变压器的无载调压分接头。图中的变压器参数已归算至高压侧。中压侧要求顺调压；低压侧要求恒调压。变压器的额定变比为110/38.5/6.6 kV。分接头级差为2.5%。



解：为叙述方便，在原图上补入节点编号 4、5、6。显然要求出大、小方式下节点 5、6 的电压。

计算节点 4 的电压，注意不计网络功率损耗：

$$U_{4\max} = 111.6 - \frac{(10+5) \times 2.71 + (8+3) \times 59.4}{111.6} = 105.39 \text{ kV} \quad (1.1)$$

$$U_{4\min} = 105.0 - \frac{(5+3) \times 2.71 + (4+2) \times 59.4}{105} = 101.40 \text{ kV} \quad (1.2)$$

计算节点 5 的电压：

$$U_{5\max} = 105.39 - \frac{10 \times 1.83 + 8 \times 38.3}{105.39} = 102.31 \text{ kV} \quad (1.3)$$

$$U_{5\min} = 101.40 - \frac{5 \times 1.83 + 4 \times 38.3}{101.40} = 99.8 \text{ kV} \quad (1.4)$$

计算节点 6 的电压：

$$U_{6\max} = 105.39 - \frac{5 \times 1.6 - 3 \times 2.5}{105.39} = 105.39 \text{ kV} \quad (1.5)$$

$$U_{6\min} = 101.40 - \frac{3 \times 1.6 - 2 \times 2.5}{101.40} = 101.40 \text{ kV} \quad (1.6)$$

由于高-中压绕组上都有分接头，所以只能先由对低压母线的调压要求确定高压绕组分接头 U_{1r} 。由恒调压要求，有下方程

$$\begin{cases} U_{6\max} \frac{U_{3N}}{U_{1r}} > 1.02U_N \Rightarrow 105.39 \times \frac{6.6}{U_{1r}} > 1.02 \times 6 \\ U_{6\min} \frac{U_{3N}}{U_{1r}} < 1.05U_N \Rightarrow 101.40 \times \frac{6.6}{U_{1r}} < 1.05 \times 6 \end{cases} \quad (1.7)$$

解之，得

$$\begin{cases} U_{1r} < \frac{105.39 \times 6.6}{1.02 \times 6} = 113.66 \text{ kV} \\ U_{1r} > \frac{101.40 \times 6.6}{1.05 \times 6} = 106.23 \text{ kV} \end{cases} \quad (1.8)$$

有可行解。取中值：

$$U_{1r} = \frac{113.66 + 106.23}{2} = 109.94 \quad (1.9)$$

无载调压分接头，每挡级差为 $0.025 \times 110 = 2.75$ ，则下调一挡为 $110 - 2.75 = 107.25$ 虽满足式(1.8)的要求。但就近靠挡，故可取定主分接头

$$U_{1r} = 110 \text{ kV} \quad (1.10)$$

由中压母线的顺调压要求，有以下方程

$$\begin{cases} U_{5\max} \frac{U_{2t}}{U_{1r}} > 1.025 U_N \Rightarrow 102.31 \times \frac{U_{2t}}{110} > 1.025 \times 35 \\ U_{5\min} \frac{U_{2t}}{U_{1r}} < 1.075 U_N \Rightarrow 99.80 \times \frac{U_{2t}}{110} < 1.075 \times 35 \end{cases} \quad (1.11)$$

解之，得

$$\begin{cases} U_{2t} > \frac{1.025 \times 35 \times 110}{102.31} = 38.571 \text{ kV} \\ U_{2t} < \frac{1.075 \times 35 \times 110}{99.8} = 41.47 \text{ kV} \end{cases} \quad (1.12)$$

有可行解。取中值：

$$U_{2t} = \frac{38.571 + 41.47}{2} = 40.02 \text{ kV} \quad (1.13)$$

无载调压分接头，每挡级差为 $0.025 \times 38.5 = 0.9625$ ，则上调一挡为 $38.5 + 0.9625 = 39.4625$ 满足式(1.12)的要求。故可取定

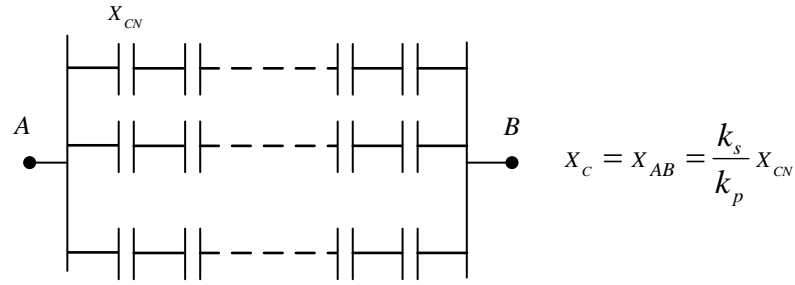
$$U_{2t} = 39.4625 \quad (1.14)$$

最终解为中压绕组上调一挡，高压绕组不调。即

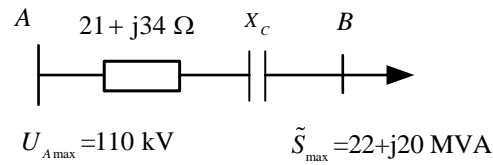
$$\begin{cases} U_{1r} = 110 \text{ kV} \\ U_{2t} = 39.4625 \text{ kV} \end{cases} \quad (1.15)$$

习题二 一区域降压变电所 B，经单回 110kV，80km 架空线与系统相连，其接线图如图所示。线路参数 $Z_l = 21 + j34\Omega$ ，变电所 110kV 侧的最大负荷 $S = 22 + j20\text{MVA}$ 。为使线路压降不超过 6%，在线路中串联电容器，已知电容器技术参数为 $U_N = 0.66\text{kV}$ ， $Q_{CN} = 40\text{k var}$ ，试求所需电容器的个数，电容器组的额定电压及总容量。

提示：（1）电容器的额定容量是单个设备的容量，即 $Q_{CN} = U_N I_N \text{ kVar}$ ，其中电压、电流是相压、相流。如图所示：通过串联保证电容器的耐压，记串联个数为 k_s 、通过并联保证电容器的耐流，记并联个数为 k_p 。



(2) 根据节点 A 在最大负荷方式下的电压取为 110 kV 计算。



解：解法一：计算 X_c

$$\Delta U = \frac{PR + Q(X - X_c)}{U_N} \leq 0.06U_N$$

解得

$$X_c \geq \frac{PR - 0.06U_N^2}{Q} + X = \frac{22 \times 21 - 0.06 \times 110^2}{20} + 34 = 20.8 \, \Omega$$

线路电流为

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{22^2 + 20^2}}{\sqrt{3} \times 110} = 0.156 \, \text{kA}$$

电容器上的压降为

$$\Delta U_c = IX_c = 0.156 \times 20.8 = 3.246 \, \text{kV}$$

已知电容器的额定耐压值为 $U_N = 0.66 \, \text{kV}$ ，额定容量为 $Q_N = 40 \, \text{kVar}$ 。电容器的额定容

量是单个设备的容量，即 $Q_N = U_N I_N \, \text{kVar}$ ，其中电压、电流是相压、相流。依题，则电容

器的额定电流为

$$I_N = \frac{Q_N}{U_N} = \frac{0.04}{0.66} = 0.061 \, \text{kA}$$

那么，为保证电容器不过流不过压，并保证电容器的阻抗满足 $X_c \geq 20.8 \, \Omega$ （与压降小于 6%

为等价条件）， k_p, k_s 应同时满足：

$$\begin{cases} \frac{X_{CN}k_p}{k_s} \geq 20.8 \\ k_s \geq \frac{\Delta U}{U_N} \\ k_p \geq \frac{I}{I_N} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{k_s}{k_p} \geq 1.91 \\ k_s \geq 4.918 \\ k_p \geq 2.55 \end{cases}$$

k_p, k_s 为整数, 取 $k_p = 3, k_s = 6$

每相需 $k_p \times k_s = 3 \times 6 = 18$ 个电容器可以满足调压要求。

解法二: 依题, 最大负荷时负荷节点电压需

$$U_{B\max} > (1 - 0.06) \times 110 = 103.4 \text{ kV}$$

则有

$$110 - \frac{22 \times 21 + 20 \times (34 - X_C)}{110} > 103.4$$

解之,

$$\frac{20X_C}{110} > 103.4 - \left(110 - \frac{22 \times 21 + 20 \times 34}{110} \right)$$

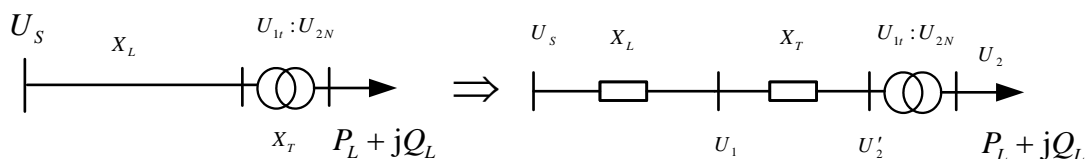
得

$$X_C > \frac{110}{20} (103.4 - 99.618) = 20.8 \quad \Omega$$

习题三 某变电所由 110kV 双回输电线路供电, 变电所装有两台容量为 31.5MVA 双绕组变压器, 电压为 $110 \pm 2 \times 2.5\% / 11\text{kV}$, 双回线等值电抗 $X_L = 25 \Omega$, 两台变压器折算至高压侧的等值电抗为 $X_T = 20 \Omega$ 。根节点电压恒为 $U_S = 121 \text{ kV}$; 测得最大负荷时, 变压器高压侧的电压为 100.5kV, 最小负荷时为 107.5kV。如果选择并联电容器与固定分接头配合对负荷节点采用逆调压方式 $(1.0, 1.05) U_N$, 试求分接头和电容量补偿量。

$$110 \times (1 \pm 2 \times 2.5\%) \Rightarrow 104.5, 107.25, 110, 112.75, 115.5$$

解: 系统电路图如下



依题, 知 $U_{1\max} = 100.5 \text{ kV}, U_{1\min} = 107.5 \text{ kV}$, 则由

$$U_S - \frac{QX_L}{U_S} = U_1 \text{ 解出 } Q_{\max} \text{ 和 } Q_{\min}。 \text{ 即}$$

$$121 - \frac{25Q_{\max}}{121} = 100.5 \Rightarrow Q_{\max} = \frac{121}{25} \times (121 - 100.5) = 99.22 \text{ Mvar}$$

$$121 - \frac{25Q_{\min}}{121} = 107.5 \Rightarrow Q_{\min} = \frac{121}{25} \times (121 - 107.5) = 65.34 \text{ Mvar}$$

那么，由

$$U_1 - \frac{QX_T}{U_1} = U'_2 \text{ 解出 } U'_{2\max}, U'_{2\min}, \text{ 即}$$

$$U'_{2\max} = 100.5 - \frac{99.22 \times 20}{100.5} = 80.755 \text{ kV}$$

$$U'_{2\min} = 107.5 - \frac{65.34 \times 20}{107.5} = 95.344 \text{ kV}$$

小负荷选分接头：

$$U_{2\min} = U'_{2\min} \frac{U_{2N}}{U_{1t}} \leq 10 \Rightarrow 95.344 \times \frac{11}{U_{1t}} \leq 10 \Rightarrow U_{1t} \geq \frac{95.344 \times 11}{10} = 104.878$$

则取 $U_{1t} = 107.25$ ，即下调一档。

大负荷配补偿

$$U_2 = \left[U_{S\max} - \frac{Q_{\max}(X_L + X_T)}{U_{S\max}} + \frac{Q_c(X_L + X_T)}{U_{S\max}} \right] \frac{U_{2N}}{U_{1t}} \geq 1.05 \times 10 \Rightarrow$$

$$Q_c \geq \frac{U_{S\max}}{X_L + X_T} \left[\frac{U_{1t}}{U_{2N}} \times 1.05 \times 10 - U_{S\max} + \frac{Q_{\max}(X_L + X_T)}{U_{S\max}} \right] \Rightarrow$$

$$Q_c \geq \frac{121}{25 + 20} \left[\frac{107.25}{11} \times 1.05 \times 10 - 121 + \frac{99.22 \times (25 + 20)}{121} \right] \Rightarrow$$

$$Q_c \geq 49.14 \text{ Mvar}$$

或此处也可用 $U'_{2\max}$ （80.755 kV）代替 $U_{S\max} - \frac{Q_{\max}(X_L + X_T)}{U_{S\max}}$ 计算结果为：

$$Q_c \geq 58.134 \text{ Mvar} \text{ 也算正确}$$