

4-10 某 220kV 变电站，装 2 台 120MV.A 的主变，220kV 侧 4 回进线，110kV 侧 10 回出线且均为 I、II 类负荷，不允许停电检修断路器，应采用何种接线方式为好，画出接线图并简要说明。

单母线接线：110kV 出线（含联络线）回路 ≥ 2 回。

单母线分段接线：110~220kV，出线为 3~4 回的装置中。

双母线接线：110~220kV 出线回路数为 5 回及以上时。

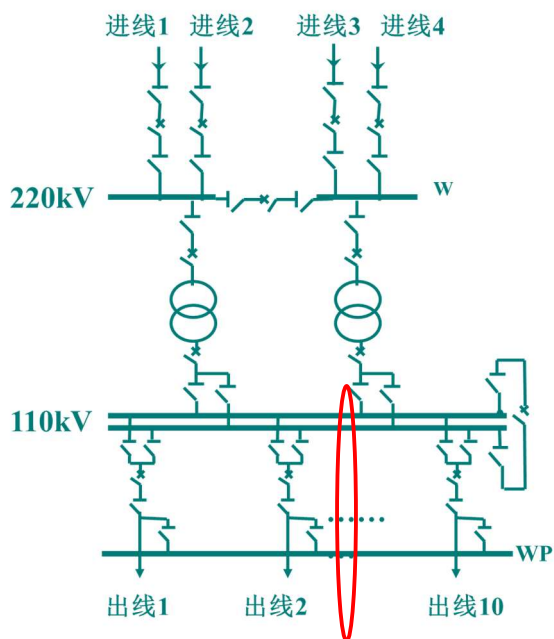
双母线分段接线：220kV 进出线为 10~14 回的装置。

旁路母线：220kV 出线在 4 回及以上、110kV 出线在 6 回及以上时，宜采用带专用旁路断路器的接线；

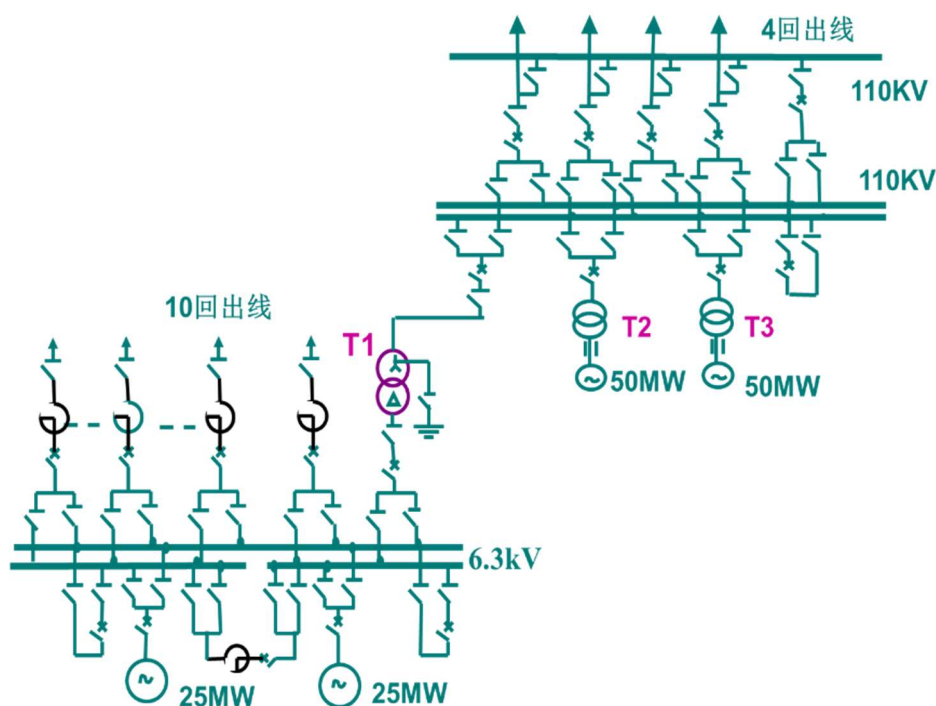
解：

(1) 220kV 侧 4 回进线，主接线可采用单母线分段或双母线接线形式。

(2) 110kV 侧 10 回且不允许停电检修断路器，采用双母线带旁路母线接线（带专用旁路断路器）



少旁路断路器支路



4-11 某新建地方热电厂有 $2 \times 25MW + 2 \times 50MW$ 共 4 台发电机， $\cos \varphi = 0.8$ ， $U = 6.3kV$ ，发电机电压级有 10 条电缆馈线，其最大综合负荷为 30MW，最小为 20MW，厂用电率为 10%，高压侧为 110kV，有 4 回线路与电力系统相连，试初步设计该厂主接线图，并选择主变压器台数和容量。主接线图上应画出各主要电气设备及馈线，可不标注型号和参数。

(一) 对原始资料分析

(1) 本工程的情况

①发电厂类型：热电厂

②设计规划容量：电厂总容量： $2 \times 25 + 2 \times 50 = 150MW$ ，为小型火电厂。

(2) 电力系统情况

(3) 负荷情况

6.3kV 电压等级：发电机电压级有 10 条电缆馈线，负荷容量不大（最大负荷 30MW），与 4 台机组的机端电压相等。采用直馈线（有母线接线方式）。

110kV 电压等级：出线 5 回，采用有母线接线方式。

(二) 拟订主接线方案

(1) 6.3kV 电压等级

可采用单母线分段形式，但是规程规定：单母线分段接线不得超过 24MW，所以应确定为双母线分段形式。6.3kV 与 110kV 之间设 1 台主变，将 6.3kV 剩余功率送入电力系统。

规程规定：

每段发电机母线上连接的发电机容量为 24MW 及以上时，为限制短路电流，应在分段上加装母线电抗器，并在出线上加装线路电抗器。

机组的接法：

方案 1：将 2 台 25MW 机组接在 6.3kV 母线上；

方案 2：将 2 台 50MW 机组接在 6.3kV 母线上；

主变 T1 的选择：

若将两台 25MW 机组接在 6.3kV 母线上：

1) 当发电机全部投入运行后，满足发电机供电的日最小负荷，并扣除厂用负荷后，主变能将母线上的剩余有功和无功容量送入系统。

$$S_T \geq 25 \times 2 - 20 - (25 \times 2 + 50 \times 2) \times 10\% = 15MW$$

2) 当接在发电机电压母线上的最大一台机组检修时，主变应能从电力系统倒送功率，保证发电机母线负荷上最大负荷的需要

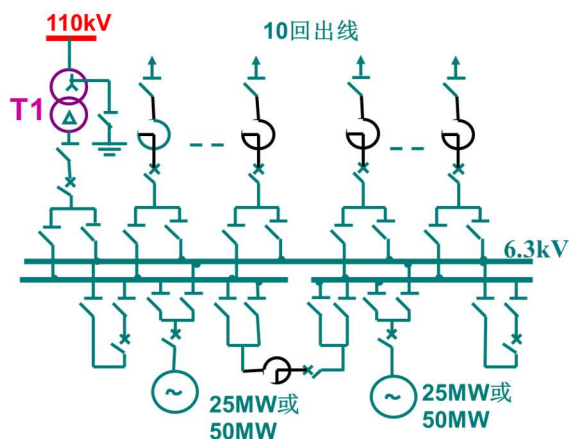
$$S_T \geq 30 + 15 - 25MW = 20MW$$

主变 T1 的容量应大于 20MW，选双绕组变压器即可满足需求。

(2) 220kV 电压等级

单母线分段或双母线接线。将另外 2 台机组以单元接线的形式接于 110kV 母线上。

单元接线的主变 T2 与 T3 容量选择：扣除厂用电后留有 10% 的裕度。将另外 2 台机组以扩大单元接线的形式接于 110kV 母线上。此种方式下若变压器故障，则 110KV 侧负荷停电。



5-10 已知某火电厂厂用 6kV 备用变压器容量为 12.5MVA, $U_k\% = 8$, 要求同时自启动电动机容量为 11400kW, 电动机启动平均电流倍数为 5, $\cos\varphi = 0.8$, $\eta = 0.90$ 。试校验该备用变压器容量能否满足自启动要求。

取备用变压器额定容量 $S_N=12500\text{kVA}$ 为基准容量。

高压自启动电动机的启动容量标么值:

$$S_{*H} = \frac{K_{av} P_{m\Sigma}}{\eta \cos\varphi S_N} = \frac{5 \times 11400}{0.9 \times 0.8 \times 12500} = 6.33$$

高压厂用变压器电抗标么值:

$$x_{*t1} = 1.1 \frac{U_k}{100} = 1.1 \times 0.08 = 0.088$$

(1) 若采用无激磁电压调压变压器:

$$U_{*0} = 1.05$$

高压母线电压标么值

$$U_{*1} = \frac{U_{*0}}{1 + x_{*t1} S_{*H}} = \frac{1.05}{1 + 0.088 \times 6.33} = 0.68 < 0.7$$

不能顺利自启动。

(2) 若采用有载调压变压器:

$$U_{*0} = 1.1$$

高压母线电压标么值:

$$U_{*1} = \frac{U_{*0}}{1 + x_{*t1} S_{*H}} = \frac{1.1}{1 + 0.088 \times 6.33} = 0.71 > 0.7$$

可以顺利自启动。

按容量校验

(1) 若采用无激磁电压调压变压器:

$$U_{*0} = 1.05$$

$$P_{m\Sigma} = \frac{(U_{*0} - U_{*1}) \eta \cos\varphi}{U_{*1} x_{*t1} K_{av}} S_t = \frac{1.05 - 0.7}{0.7 \times 0.088 \times 5} = 10227 < 11400$$

不能顺利自启动。

(2) 若采用有载调压变压器:

$$U_{*0} = 1.1$$

$$P_{m\Sigma} = \frac{(U_{*0} - U_{*1}) \eta \cos\varphi}{U_{*1} x_{*t1} K_{av}} S_t = \frac{1.1 - 0.7}{0.7 \times 0.088 \times 5} = 11688 < 11400$$

可以顺利自启动。

6-7 选择某 10kV 配电装置的出线断路器及出线电抗器。设系统容量为 150MVA，归算到 10kV 母线上的电源短路总电抗 $X'_{*\Sigma} = 0.14$ （基准： $S_d = 100MVA$ ），出线最大负荷为 560A，出线保护动作时间 $t_{pr} = 1s$ 。

假设选择断路器为 SN10-10I $I_{Nbr}=16kA$ ，全分闸时间 $t_{br}=0.1s$ ，基准容量 $S_d=100MVA$ $U_d=10.5kV$ ， $I_d=5.5kA$

$$x_L(\%) = \left(\frac{I_d}{t_{Nbr}} - x'_{*\Sigma} \right) \frac{I_N U_d}{I_d U_N} \times 100\% = \left(\frac{5.5}{16} - 0.14 \right) \frac{600 \times 10500}{5500 \times 10000} \times 100\% = 2.33\%$$

选择 4% 的电抗 NKL-10-600-4，参数如下： $x_L(\%) = 4\%$ $i_{es} = 38.28kA$ $I_t^2 t = 34^2 (kA)^2 \cdot s$

计算如下：

电压损失和残压校验：

电抗标么值：

$$x_{*L} = x_L(\%) \frac{I_d U_N}{I_N U_d} = 0.04 \times \frac{5500 \times 10000}{600 \times 10500} = 0.349$$

$$x_{*\Sigma} = x'_{*\Sigma} + x_{*L} = 0.14 + 0.349 = 0.489$$

短路计算时间：

$$t_k = t_{pr} + t_{br} = 1 + 0.1 = 1.1s$$

查短路电流计算曲线并换算成短路电流有名值， $I'' = 12.1kA$ ， $I_{0.55} = 9.9kA$ ， $I_{1.1} = 9.35kA$ 。

电压损失和残压为：

$$\Delta U(\%) \approx x_L(\%) \frac{I_{\max}}{I_N} \sin \phi = 0.04 \times \frac{560}{600} \times 0.6 = 2.24\% < 5\%$$

$$\Delta U_{re}(\%) = x_L(\%) \frac{I''}{I_N} = 0.04 \times \frac{12.1}{0.6} = 80.7\% > 60\% \sim 70\%$$

选择断路器为 SN10-10I；

$$i_{sh} = K_{sh} \sqrt{2} I'' = 2.55 \times 12.1 = 30.86kA < 38.28kA$$

额定电压为 10kV，额定电流 630A，额定开断电流 $I_{Nbr} = 16kA > I'' = 12.1kA$ ，路关合电流

$$i_{Ncl} = 40kA > i_{sh} = 30.86kA$$

热稳定校验：

$$Q_k = \frac{I''^2 + 10I_{t_k/2}^2 + I_{t_k}^2}{12} t_k = \frac{12.1^2 + 9.9^2 + 9.35^2}{12} \times 1.1 = 30.42(kA)^2 \cdot s < 16^2 \times 2(kA)^2 \cdot s$$

动稳定校验 $i_{es} = 40kA > i_{sh} = 30.86kA$

6-11 选择 100MW 发电机和变压器组之间母线桥的导体。已知发电机回路最大持续工作电流 $I_{\max} = 6791A$ ， $T_{\max} = 5200h$ ，连接母线三相水平布置，相间距离 $a=0.7$ ，最高温度 35° ，母线短路电流 $I'' = 36kA$ ，短路热效应 $Q_k = 421.1(kA)^2s$

1) 按经济电流密度选择导线截面。

$$I_{\max} = 6791A, T_{\max} = 5200h$$

$$\text{查图 6-10 曲线 2, 得: } J = 0.78A/mm^2, \text{ 则: } S_J = \frac{I_{\max}}{J} = \frac{6791}{0.78} = 8706mm^2$$

选择 $h = 225mm, b = 105mm, C = 12.5mm, r = 16mm$ 的双槽形导体水平布置，导体截面积 $9760mm^2$ 允许电

流 $I_{al25^{\circ}C} = 10150A$ ，集肤效应系数 $K_f = 1.285$ 。当环境温度为 $35^{\circ}C$ 时：

$$I_{al35^{\circ}C} = KI_{al25^{\circ}C} = \sqrt{\frac{70-35}{70-25}} \times 10150 = 0.89 \times 10150 = 8951A > I_{\max} = 6791A$$

2) 热稳定校验。正常运行时导体温度：

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{al} - \theta_0) \frac{I_{\max}^2}{I_{al\theta_0}^2} = 35 + (70 - 35) \frac{6791^2}{8951^2} = 55^{\circ}C$$

查表 6-9，得热稳定系数 $C = 93$ ，则满足短路时发热的最小导体截面为：

已知： $Q_k = 421.1(kA)^2 \cdot s$

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{Q_k K_f}}{C} = \frac{\sqrt{421.1 \times 10^6 \times 1.285}}{93} = 250mm^2 < 9760mm^2$$

满足热稳定要求。

共振校验：

母线共振校验 $m = S_{pm} = 4880 \times 10^{-6} \times 2700 = 13.176$ (kg/m)

设共振频率 $f_1 = 200Hz$ ，导体不发生共振时的最大绝缘子跨距：

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{N_f}{f_1}} \sqrt{\frac{EJ}{m}} = \sqrt{\frac{3.56}{200}} \sqrt{\frac{7 \times 10^{10} \times 294 \times 10^{-8}}{13.176}} = 1.56m$$

所以为使导体自振频率大于 200Hz，绝缘子最大跨距不允许超过 1.56m，取为 1.5m。

3) 动稳定校验。导体自振频率由以下求得：

取发电机出口短路时，冲击系数 $K = 1.9$ ，则

$$i_{sh} = 1.9\sqrt{2}I'' = 2.69 \times 36 = 96.84kA$$

单位长度上相间电力：

$$f_{ph} = 1.73 \times 10^{-7} \times i_{sh}^2 / a = 1.73 \times 10^{-7} \times 96840^2 / 0.7 = 2317.7N/m$$

水平布置时， $W = W_y = 66.5 \times 10^{-6}m^3$

相间应力：

$$\sigma_{ph} = \frac{f_{ph} L^2}{10W} = \frac{2317.7 \times 1.5^2}{10 \times 66.5 \times 10^{-6}} = 7.8418 \times 10^6 Pa < 70 \times 10^6 Pa$$

绝缘子跨距取 1.5m，满足相间应力需求。

双槽导体间应力计算如下：

$$f_b = 2(0.5i_{sh})^2 \times 10^{-7} \frac{1}{h} = 5 \times 10^{-8} i_{sh}^2 \frac{1}{h} = 5 \times 10^{-8} \times 96840^2 / 0.225 = 2084 N / m$$

$$W = W_Y = 66.5 \times 10^{-6} (m^3)$$

$$\sigma_b = \frac{f_b L_b^2}{12W_Y} = 4.16 \frac{i_{sh} L_b^2}{h W_Y} = \frac{2084 \times 1^2}{12 \times 66.5 \times 10^{-6}} = 2.612 \times 10^6 Pa < \rho_{al} = 70 \times 10^6 Pa$$

条间允许应力：

$$\sigma_b = \frac{f_b L_b^2}{12W} \leq \sigma_{al} - \sigma_{ph} \Rightarrow L_b \leq \sqrt{\frac{12W(\sigma_{al} - \sigma_{ph})}{f_b}}$$

条间衬垫的最大允许跨距：

$$L_{b\max} = \sqrt{\frac{12W(\sigma_{al} - \sigma_{ph})}{f_b}} = \sqrt{\frac{12 \times 66.5 \times 10^{-6} (70 - 7.8418) \times 10^6}{2084}} = 4.88 m$$

一般每隔衬 0.3-0.5m 设一衬垫，故衬垫跨距 L_b 可取 0.5m