

第四章 电气主接线及其设计



第一节 电气主接线的基本要求

第二节 主接线的基本接线形式

第三节 主变压器的选择

第四节 限制短路电流的方法

第五节* 典型主接线

第六节* 主接线的设计原则和步骤

第四章 电气主接线及其设计



第一节 电气主接线的基本要求

第二节 主接线的基本接线形式

第三节 主变压器的选择

第四节 限制短路电流的方法

第五节* 典型主接线

第六节* 主接线的设计原则和步骤

• 什么是电气主接线?

- 本质：电路
- 元件：高压电气设备
- 作用：接受和分配电能

• 电气主接线图

- 是指用规定的设备文字和图形符号，按其作用依次连接的单线接线图。通常采用单线图表示。

高压电气设备通过连接线，按其功能要求组成的接受和分配电能的电路。



• 常用高压电气设备符号:

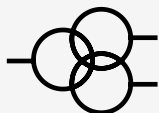
• 发电机:



• 双绕组变压器:



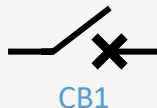
• 三绕组变压器:



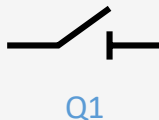
• 母线:



• 断路器:



• 隔离开关:



• 电抗器:



包括**可靠性**、**灵活性**和**经济性**三个方面

• 可靠性

- 1、是电力生产的**首要任务**，保证供电可靠是**最基本**要求
- 2、可靠性**不是绝对**的，是综合考虑的
 - ① 考虑发电厂或变电站的地位和作用
 - ② 负荷性质和类别
 - ③ 设备的制造水平
 - ④ 长期运行经验



包括**可靠性**、**灵活性**和**经济性**三个方面

• 可靠性的基本要求

- ① 断路器**检修**，不宜影响供电（**不停电**）
- ② 线路、断路器、母线**故障**，**尽量减少**停电**范围**和**时间**
- ③ 母线或母线隔离开关检修时，**尽量减少**停电**范围**和**时间**
- ④ 尽量**避免**全站**停电**的可能
- ⑤ 大型机组突然**停运**，**不应危及**电力系统稳定运行

主接线的可靠性分析：
是否会停电？ 停电范围？ 停电时间？



包括**可靠性**、**灵活性**和**经济性**三个方面

• 灵活性

- ① 操作的方便性
- ② 调度的方便性
- ③ 扩建的方便性

• 经济性

- ① 节省一次投资
- ② 占地面积少
- ③ 电能损耗少



第四章 电气主接线及其设计



第一节 电气主接线的基本要求

第二节 主接线的基本接线形式

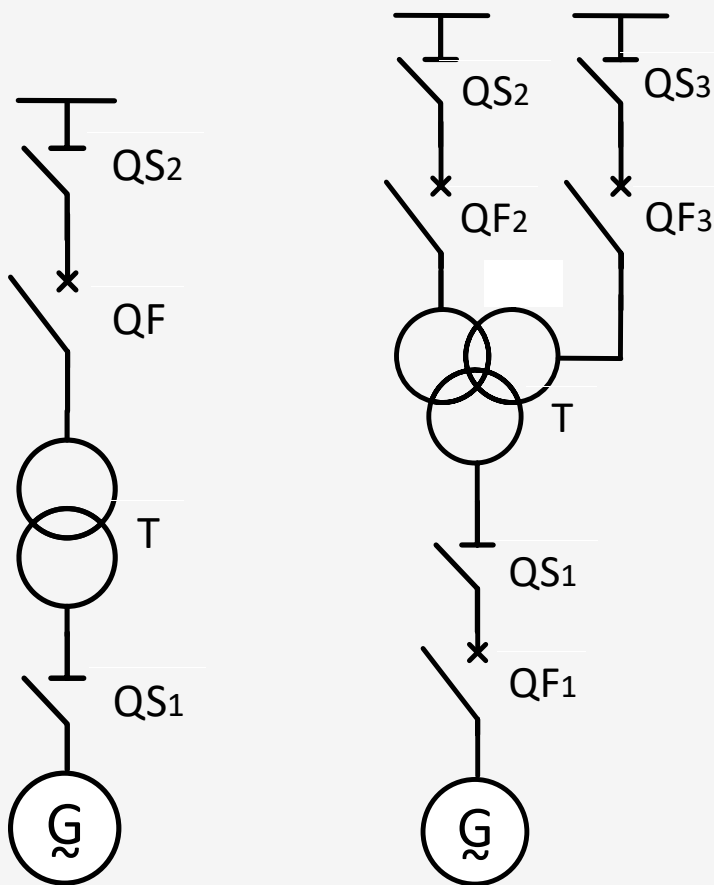
第三节 主变压器的选择

第四节 限制短路电流的方法

第五节* 典型主接线

第六节* 主接线的设计原则和步骤

2.1 单元接线



1.发电机出口断路器设置分析

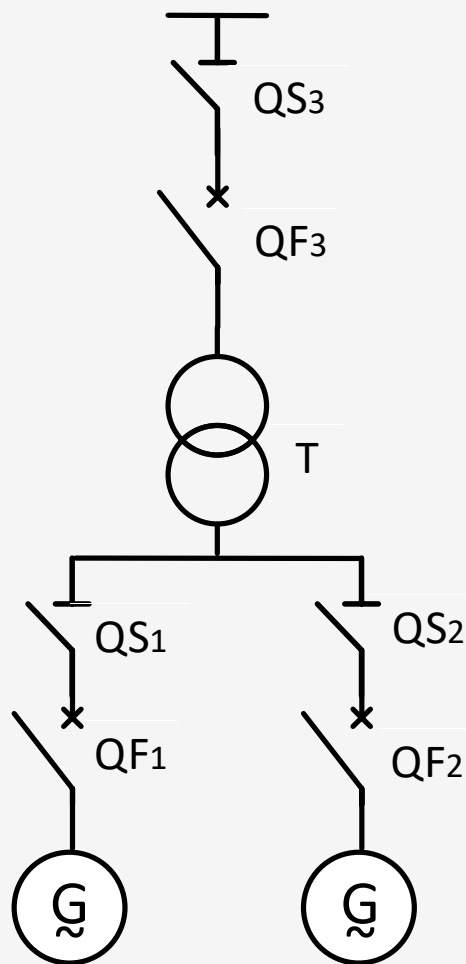
2.可靠性分析：是否停电？ 停电范围？
停电时间？

① QF检修

② QF故障

③ QS检修、故障

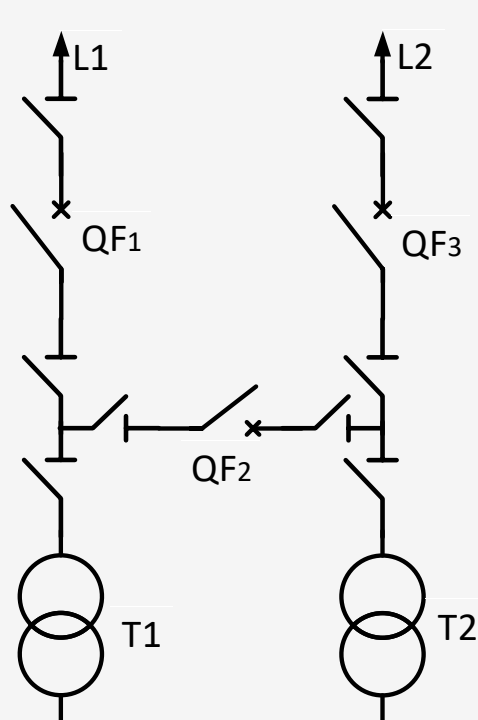
2.2 扩大单元接线



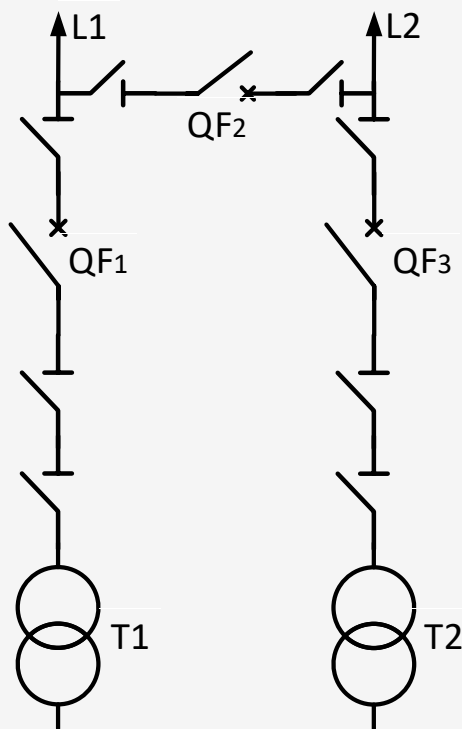
1. 可靠性分析：是否停电？ 停电范围？
停电时间？

- ① QF检修
- ② QF故障
- ③ QS检修、故障

2.3 桥形接线



内桥接线



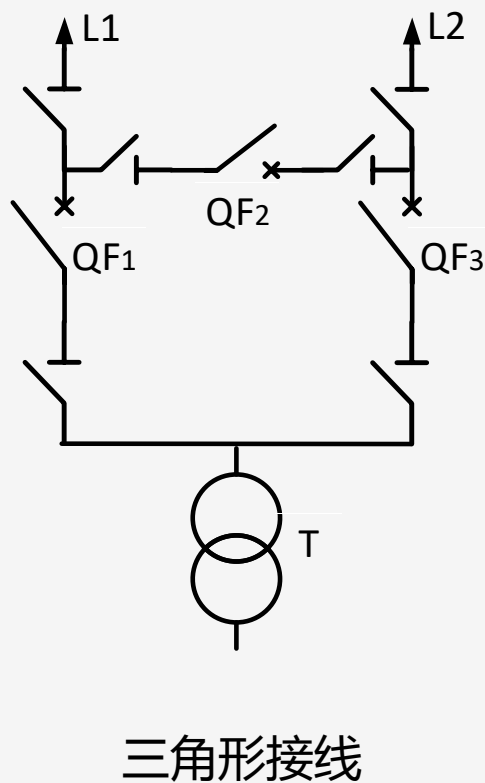
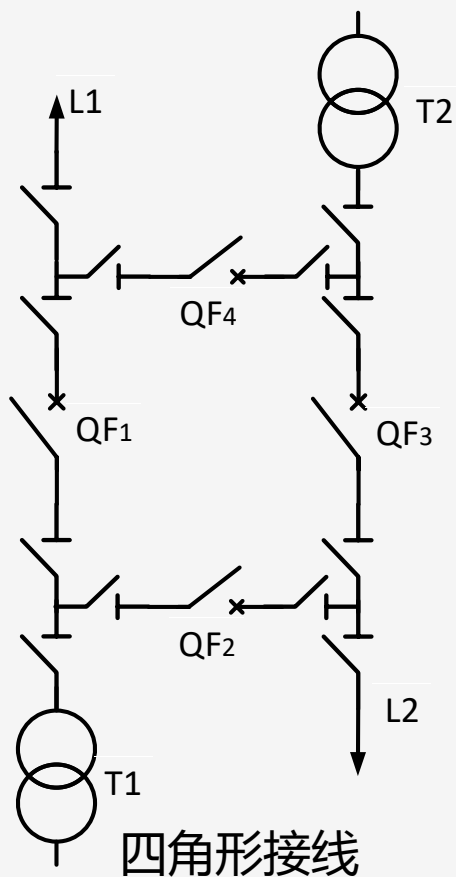
外桥接线

可靠性分析：是否停电？

停电范围？停电时间？

- ① QF检修
- ② QF故障
- ③ QS检修、故障

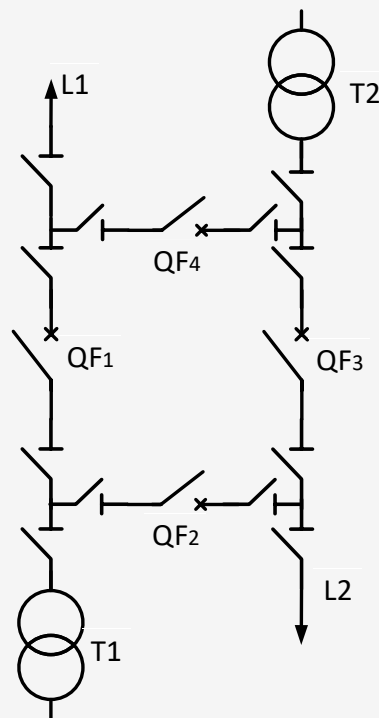
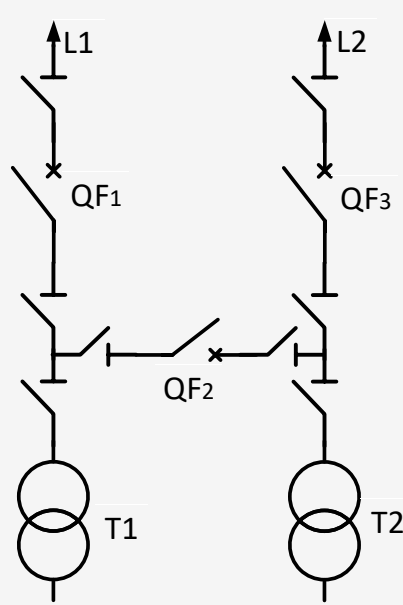
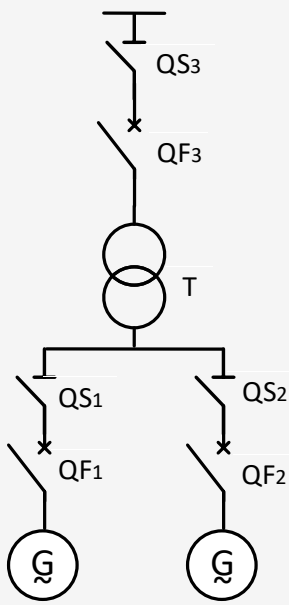
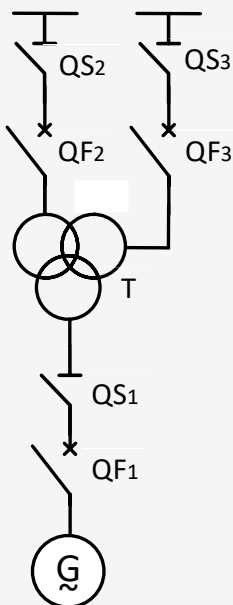
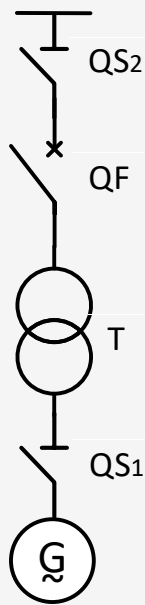
2.4 角形接线



1. 内、外桥接线应用场景
2. 可靠性分析：是否停电？
停电范围？ 停电时间？

- ① QF检修
- ② QF故障
- ③ QS检修、故障

无汇流母线接线总结

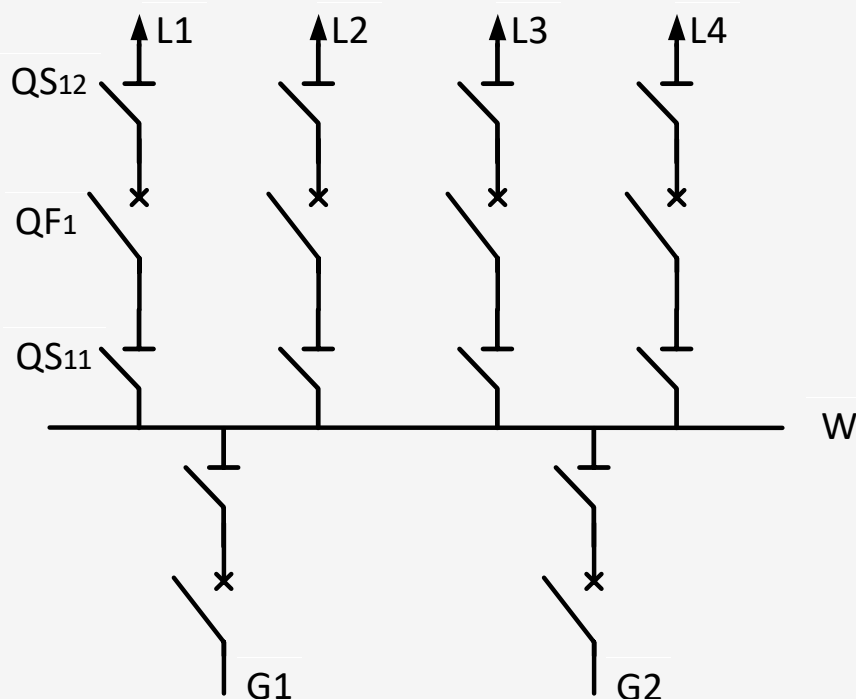


优缺点分析:

优点: 使用开关电器较少、占地面积小

缺点: 进出线回路少、无法扩建

2.5 单母线接线

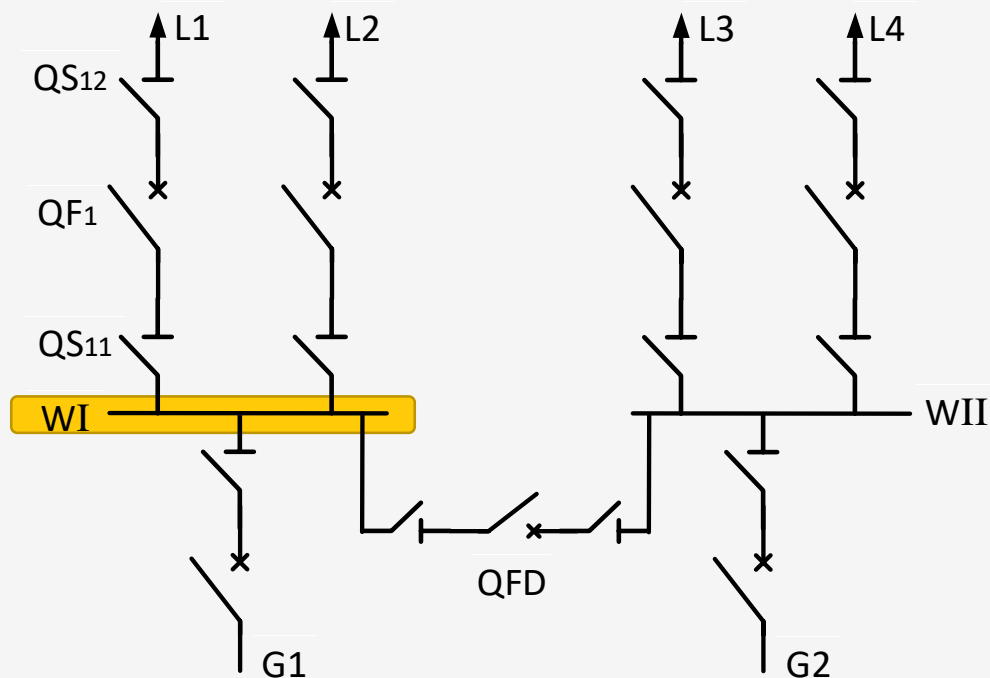


可靠性分析：是否停电？ 停电范围？ 停电时间？

- ① QF检修
- ② QF故障
- ③ QS检修、故障
- ④ 母线检修、故障
- ⑤ 有无全站停电的可能

②、③、④情况时，如果简单实现全站不停电？

2.6 单母线分段接线



可靠性分析：是否停电？ 停电范围？ 停电时间？

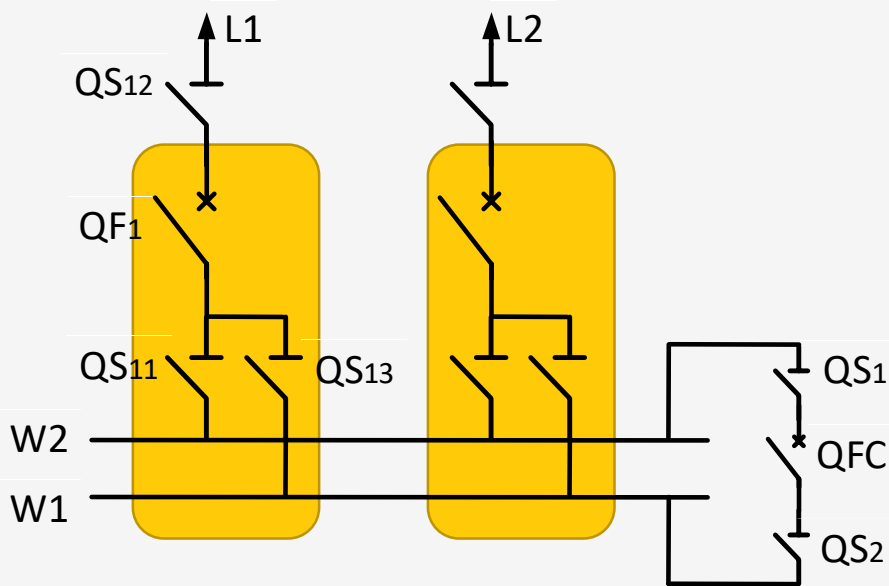
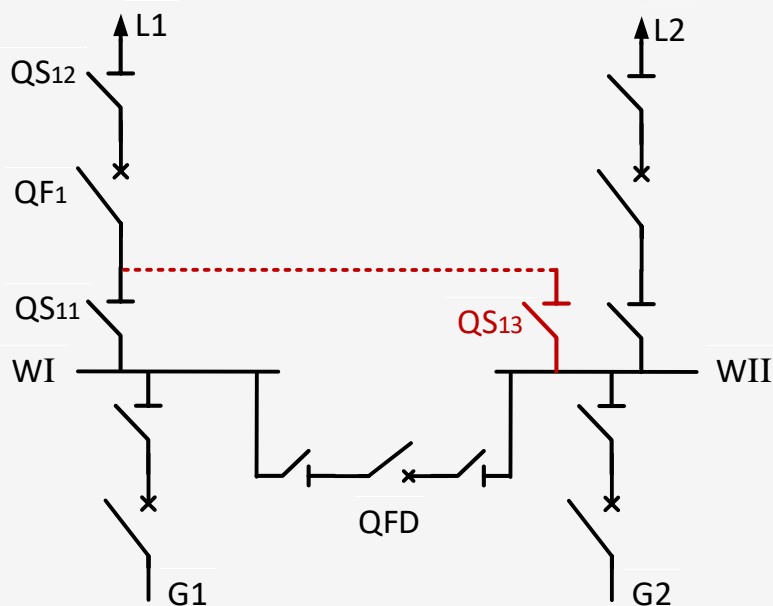
- ① QF检修
- ② QF故障
- ③ QS检修、故障
- ④ 母线检修、故障
- ⑤ 有无全站停电的可能

母线检修时，如果避免所连支路不停电？

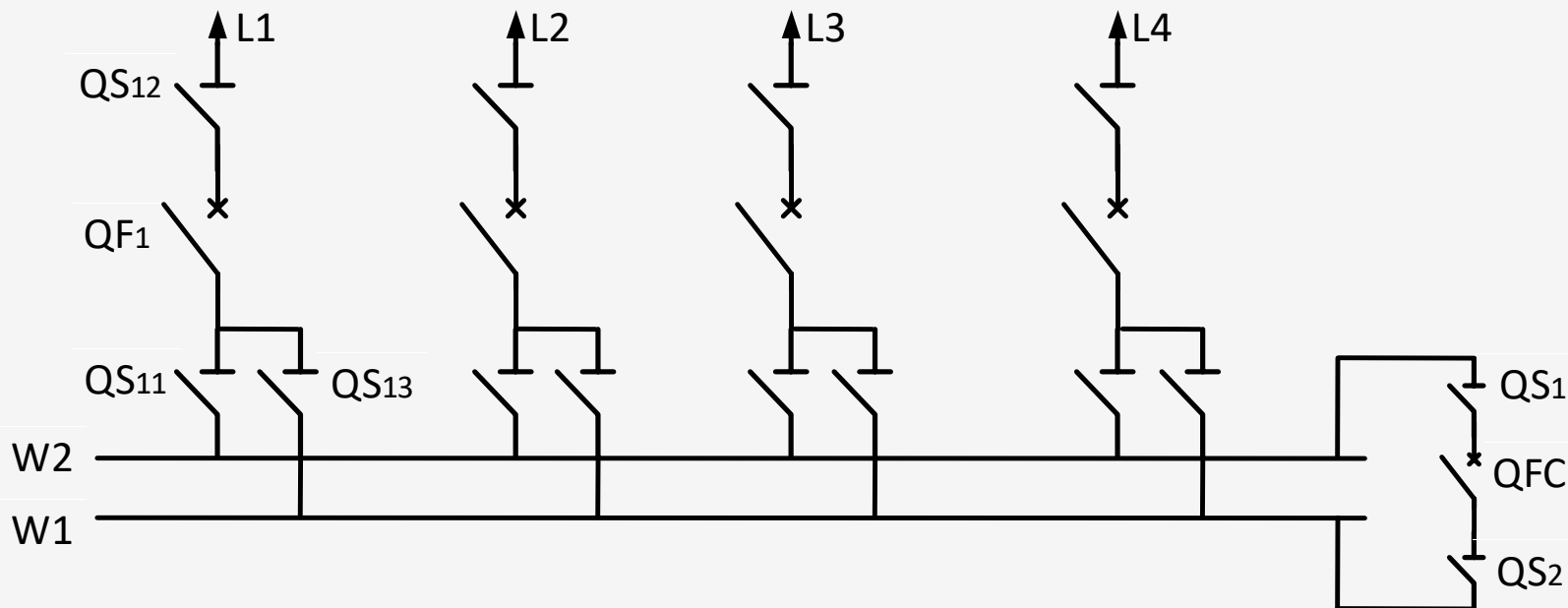
Part 2

主接线的基本接线形式

2.7 双母线接线



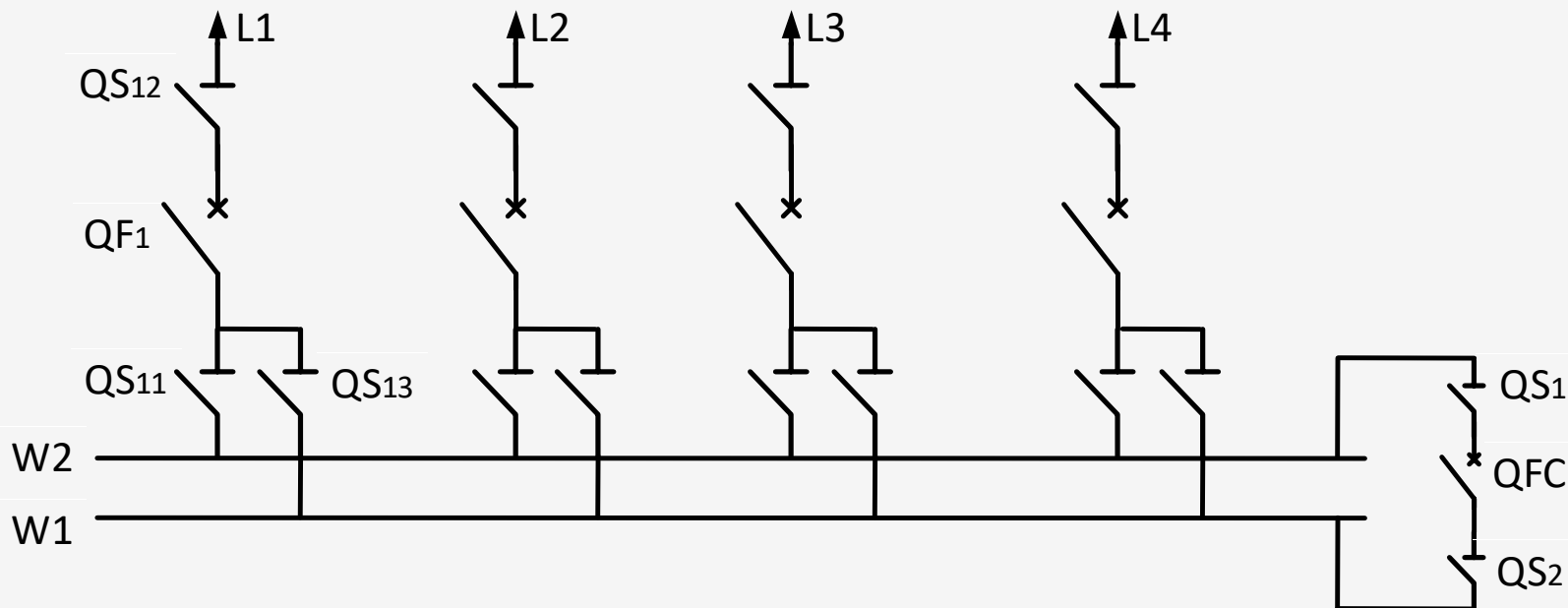
2.7 双母线接线



- 1、双母线的三种运行方式：单母线运行、并联运行、热备用
- 2、如果工作母线需要检修，如何倒闸操作到备用母线？要求：全程不停电。
- 3、可靠性分析（是否停电、停电范围和时间）：

QF检修、故障，QS检修、故障，母线检修、故障，有无全站停电的可能

2.7 双母线接线



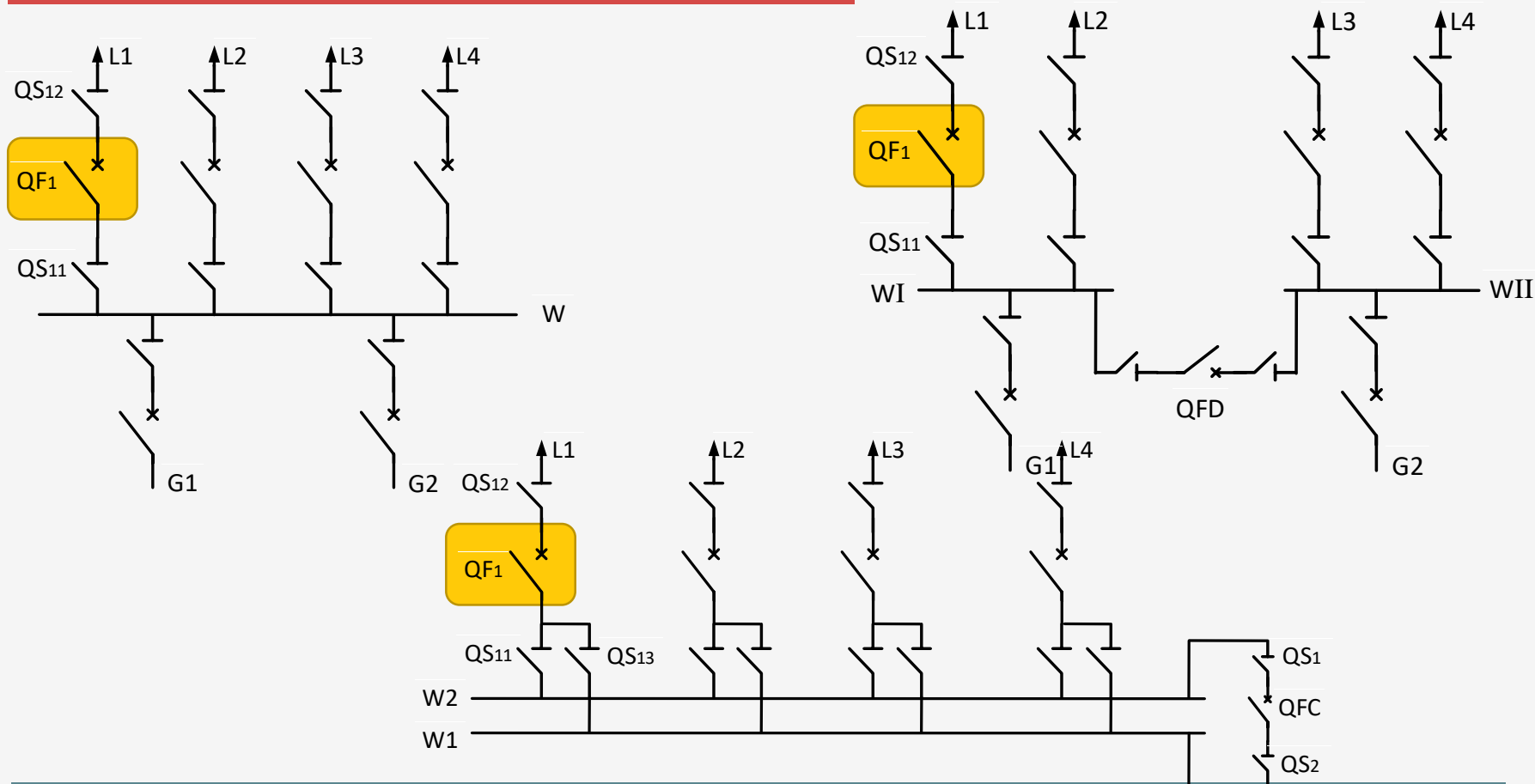
4、双母线接线其他应用

- ① 利用母联断路器QFC替代QF1工作
- ② 融冰母线
- ③ 个别回路需要单独试验

Part 2

主接线的基本接线形式

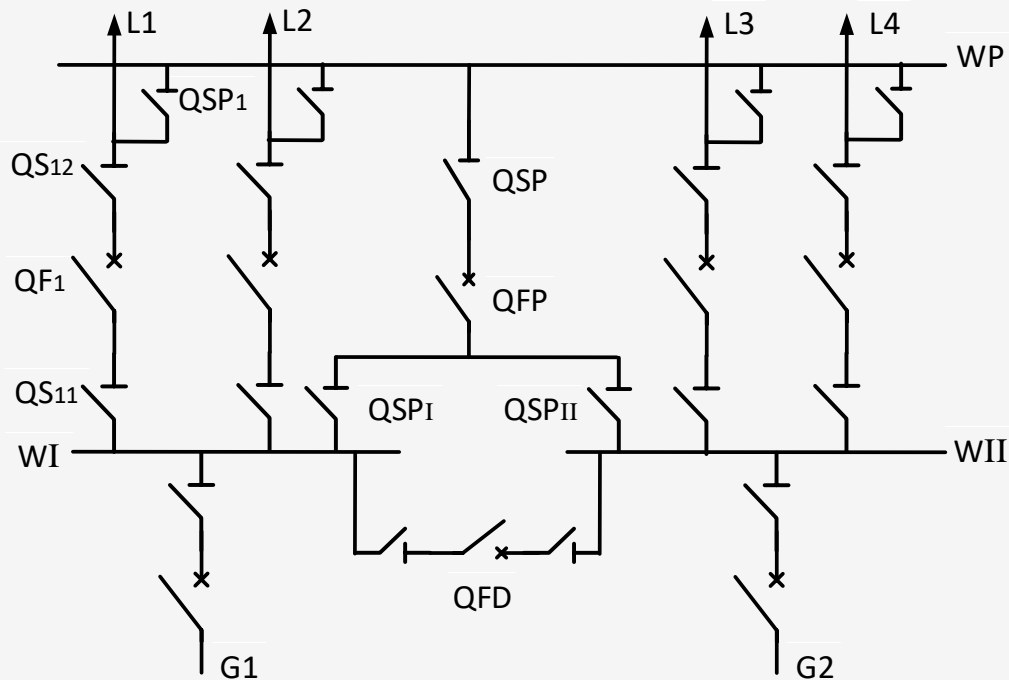
2.7 双母线接线



电路断路器检修时，如果避免该支路不停电？

主接线的基本接线形式

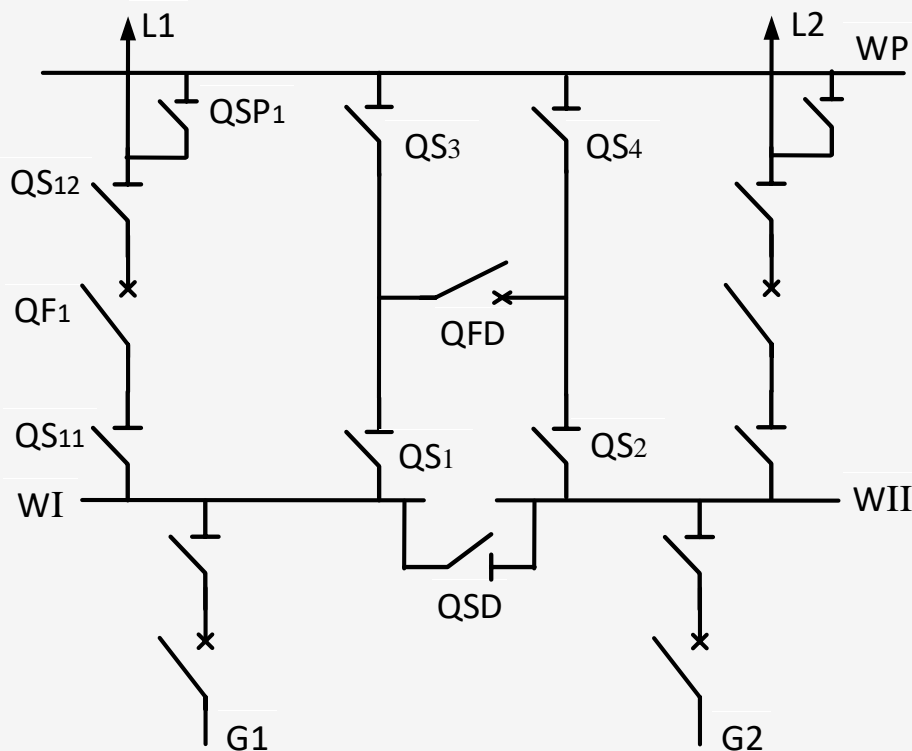
• Case 1:带有专用旁路断路器的旁路母线接线



- 1.正常情况下旁路母线是否带电?
- 2.旁路母线是否为备用母线?
- 3.QF1检修, 如何倒闸操作? 要求L1不停电
- 4.经济性分析

主接线的基本接线形式

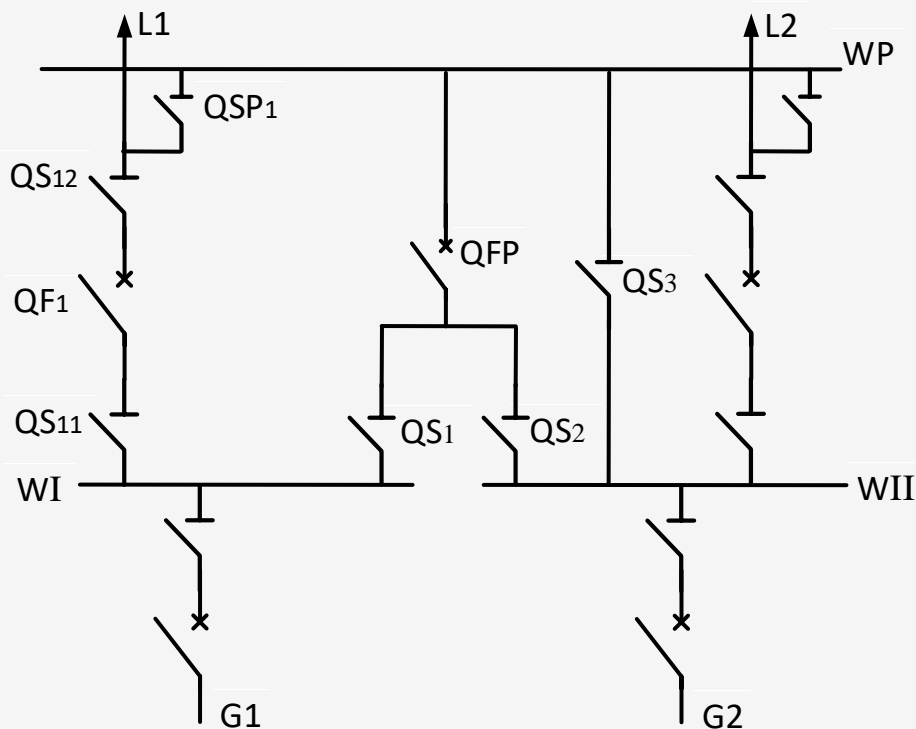
• Case 2:分段断路器兼作旁路断路器的旁路母线接线



QF1检修，如何倒闸操作？ 要求L1不停电

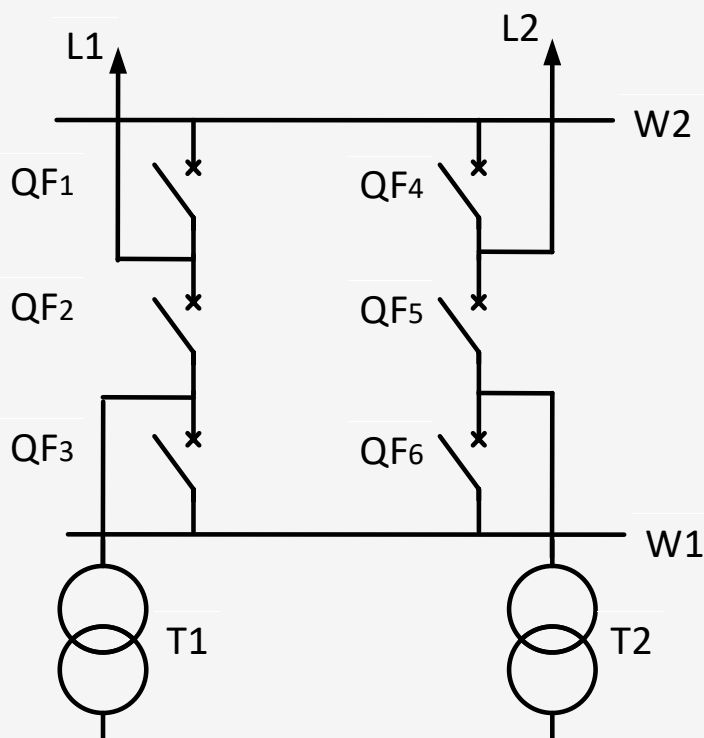
2.8 带旁路母线的接线

• Case 3: 旁路断路器兼作分段断路器的旁路母线接线



QF1检修，如何倒闸操作？
要求L1不停电

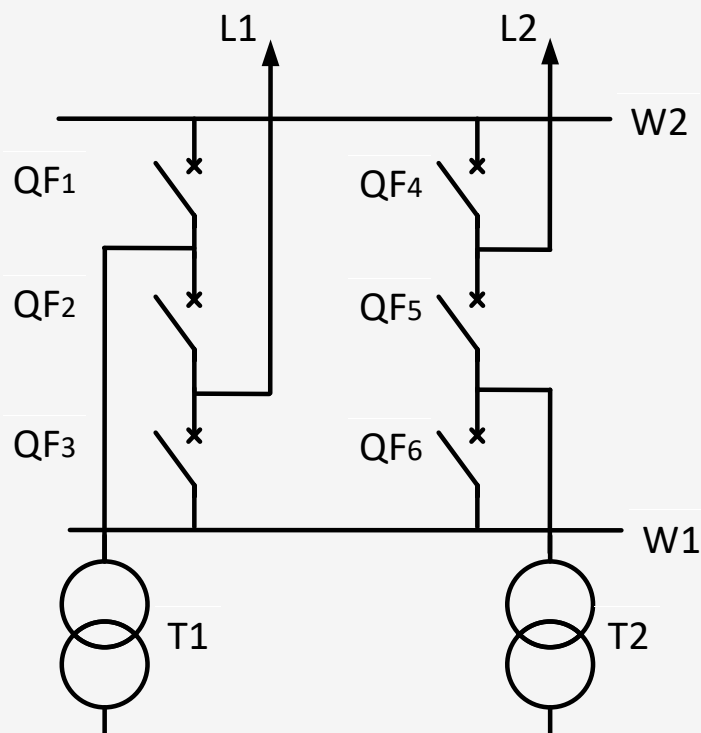
2.9 一台半断路器接线 (3/2)



非交叉接线

1. 该接线特点, 断路器数量, 供电路径?
2. 可靠性分析
3. 极端情况下的可靠性分析
 - ① 两条母线同时故障, 或一条检修时另一条故障
 - ② 如果一串中联络断路器QF2检修, QF5异常跳开
 - ③ 如果一串中联络断路器QF2检修, T2故障或L2故障

2.9 一台半断路器接线 (3/2)



交叉接线

极端情况下的可靠性分析

- ① 两条母线同时故障，或一条检修时另一条故障
- ② 如果一串中联络断路器QF2检修，QF5异常跳开
- ③ 如果一串中联络断路器QF2检修，T2故障或L2故障

Part 2

主接线的基本接线形式



Part 2

主接线的基本接线形式



第四章 电气主接线及其设计



第一节 电气主接线的基本要求

第二节 主接线的基本接线形式

第三节 主变压器的选择

第四节 限制短路电流的方法

第五节* 典型主接线

第六节* 主接线的设计原则和步骤

3.0 引言

- 主变压器：
 - 用来向系统或用户输送功率的变压器。
- 联络变压器：
 - 用于两种电压等级之间交换功率的变压器。
- 厂（站）用变压器：
 - 只供本厂（站）用电的变压器。



3.1 变压器容量、台数确定原则

1、单元接线的主变压器

- 主变压器容量应按发电机的额定容量扣除本机组的厂用负荷后，留有10%的裕度来确定，即 $S_{TN} > (S_{GN} - S_C) / 0.9$ ：
 - 一般，主变容量与发电机容量配套，如
 - $P_{GN}=200\text{MW}$ ， $S_{GN}=235\text{MVA}$ ， $S_{TN}=240\text{MVA}$ ；
 - $P_{GN}=300\text{MW}$ ， $S_{GN}=353\text{MVA}$ ， $S_{TN}=360\text{MVA}$ 。
 - 采用扩大单元接线时，应尽可能采用分裂绕组变压器，其容量按单元接线的计算原则计算出的两台机容量之和来确定。



3.1 变压器容量、台数确定原则

2、具有发电机电压母线的主变压器

- 发电厂有机端负荷且有剩余功率向系统输送，主变压器容量的确定应考虑以下几种情况：
 - ① 机端负荷最小时，发电厂剩余功率能全部送出；
 - ② 最大一台发电机检修或故障时，倒送功率满足最大机端负荷需求；
 - ③ 最大一台主变压器退出时，其他主变能输送剩余功率的70%以上；
 - ④ 对水电比重较大的系统，火电厂的主变应能倒送机端基本负荷。



3.1 变压器容量、台数确定原则

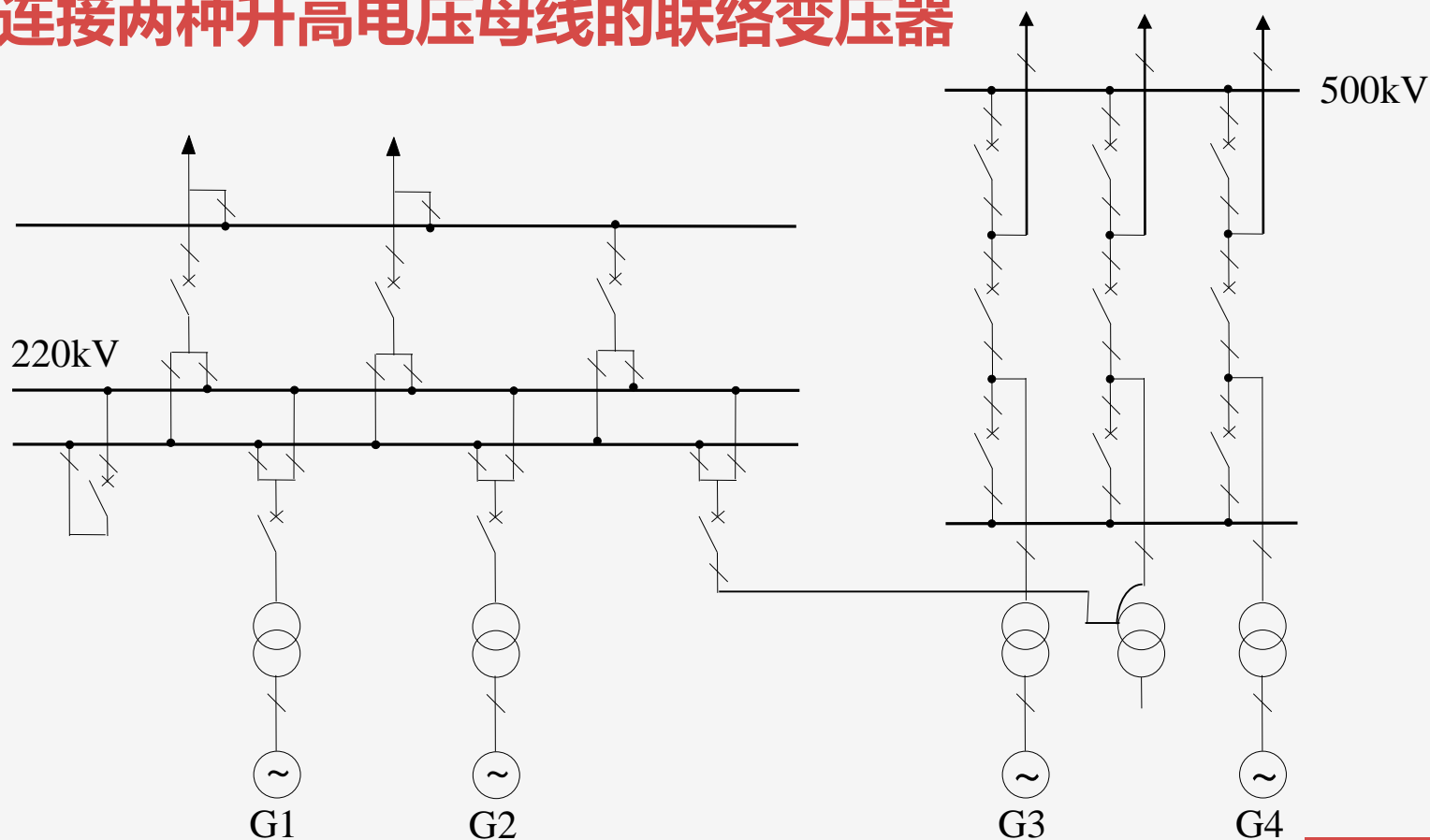
3、连接两种升高电压母线的联络变压器

- 联络变的台数一般只设置1台，最多不超过2台。
- 容量应能满足两种电压网络在各种不同运行方式下有功功率和无功功率交换。
- 应不小于接在两种电压母线上最大一台机组容量
 - 保证最大一台机组故障或检修时，通过联络变压器来满足本侧负荷的要求；
 - 可在线路检修或故障时，通过联络变压器将剩余功率送入另一系统。



3.1 变压器容量、台数确定原则

3、连接两种升高电压母线的联络变压器



3.1 变压器容量、台数确定原则

4、变电站的主变压器

- 根据城市规划、负荷性质、电网结构等综合考虑确定其容量。一般应按5~10年的规划负荷来选择。
- 当一台主变停运时，其余变压器在计及过负荷情况下，满足I、II类负荷的供电（I、II类负荷一般为全部负荷的70~80%）。
 - 若两台，一般每台 $S_N \geq 0.6S_{Lm} = 0.6P_{Lm}/\cos\varphi$
 - 考虑1.3倍的过负荷，则 $S_N > 1.3 \times 0.6S_{Lm} = 0.78 \times S_{Lm}$ 。



3.1 变压器容量、台数确定原则

4、变电站的主变压器

- 主变台数与电压等级、接线形式、传输容量以及和系统的联系等有密切关系：
 - ① 与系统有强联系的大、中型发电厂和枢纽变电站，在一种电压等级下，主变应不少于2台；
 - ② 与系统只是弱联系的中、小型发电厂和低压侧电压为6~10kV的变电站或与系统联系只是备用性质时，可只装1台主变；
 - ③ 对地区性孤立的变电站或大型工业专用变电站，可改用3台主变。



3.2 变压器型式、结构选择原则

1、相数

- 300MW或330kV及以下，尽量选择三相变压器
- 600MW单元连接的主变或500kV以上，可采用三个单相变压器

2、绕组数与结构

- 按电磁结构分为双绕组、三绕组、自耦式、低压分裂式等
- 125MW机组及以下发电厂宜采用三绕组变压器，不宜超过3台
- 扩大单元接线应优先采用低压分裂绕组变压器
- 110kV及以上中性点直接接地系统，可优先采用自耦变压器



3.2 变压器型式、结构选择原则

3、绕组连接号

- 变压器三相绕组的接线组别必须和系统电压相一致，应有一个绕组为三角形接法（消除三次谐波）。

4、冷却方式

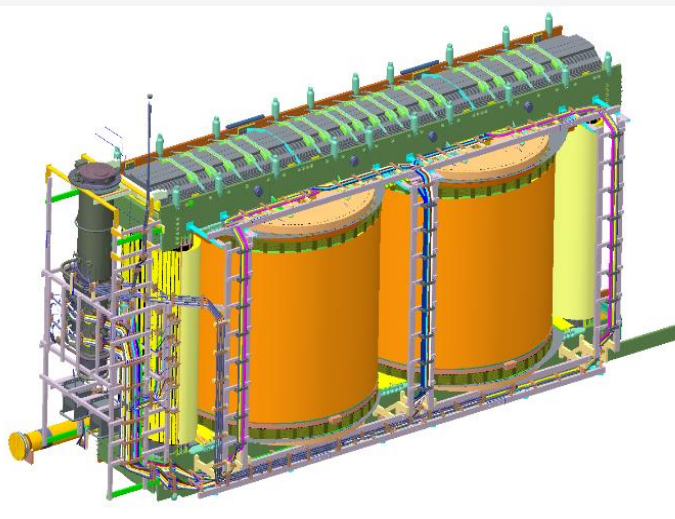
- 变压器的冷却方式一般有自然风冷却、强迫风冷却、强迫油循环水冷却、强迫油循环风冷却、强迫油循环导向冷却。



3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

- 主要分为无励磁调压和有载调压
- 无励磁调压为不带电切换，调整范围在 $\pm 2 \times 2.5\%$
- 有载调压是带负荷切换，调整范围可达30%，广泛适用于换流变

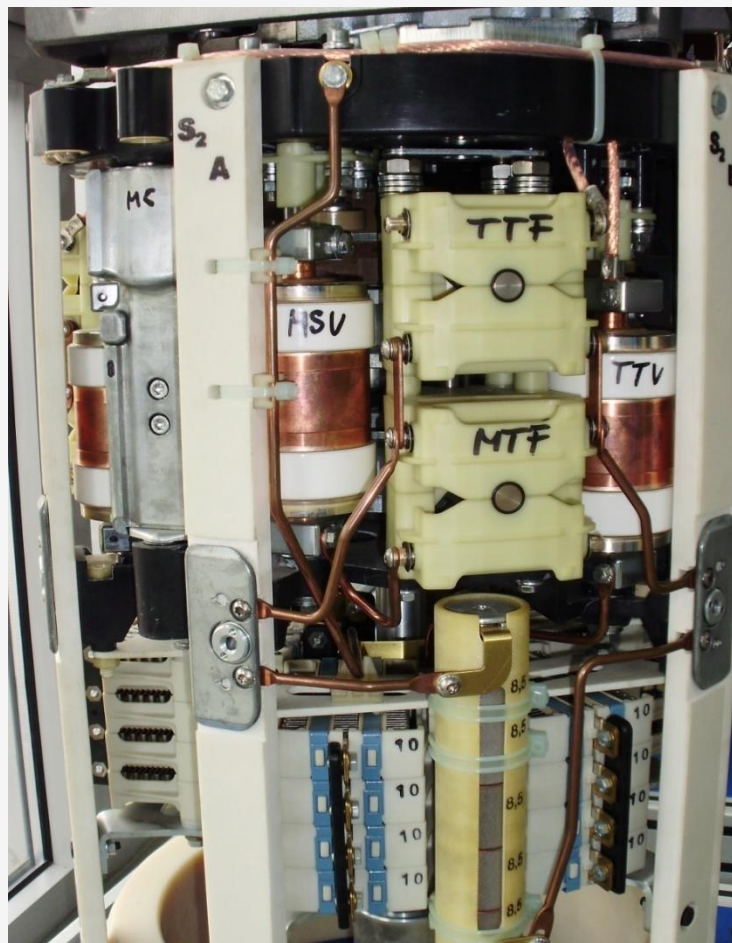
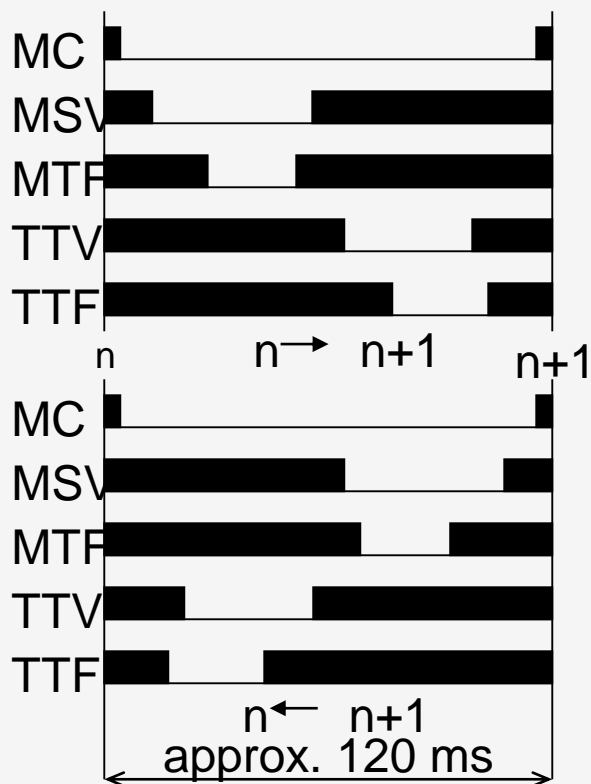


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

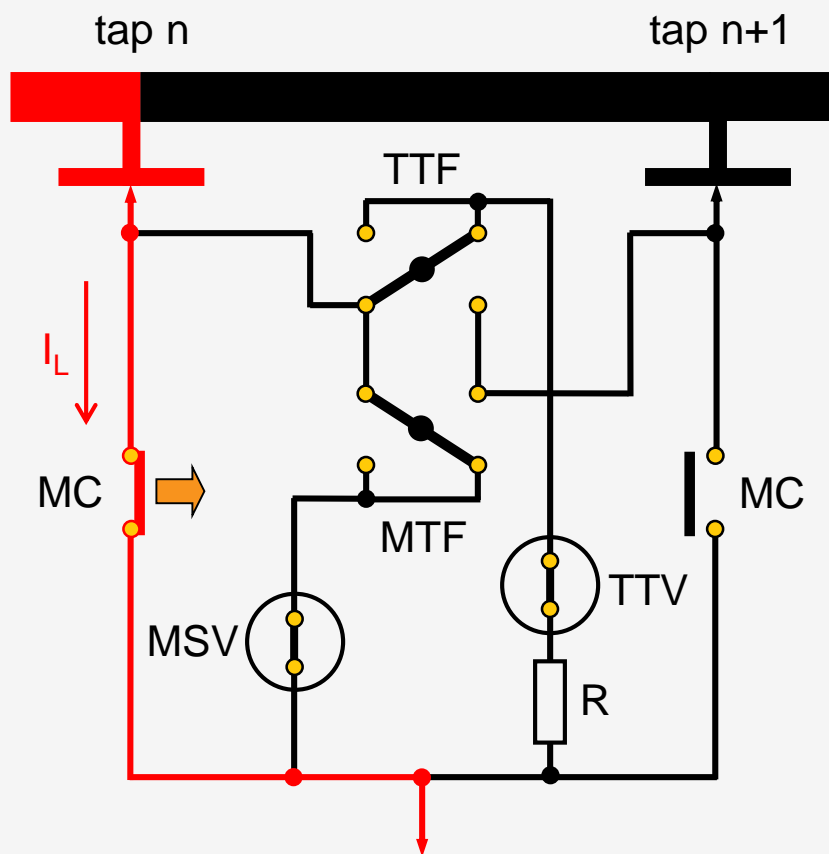
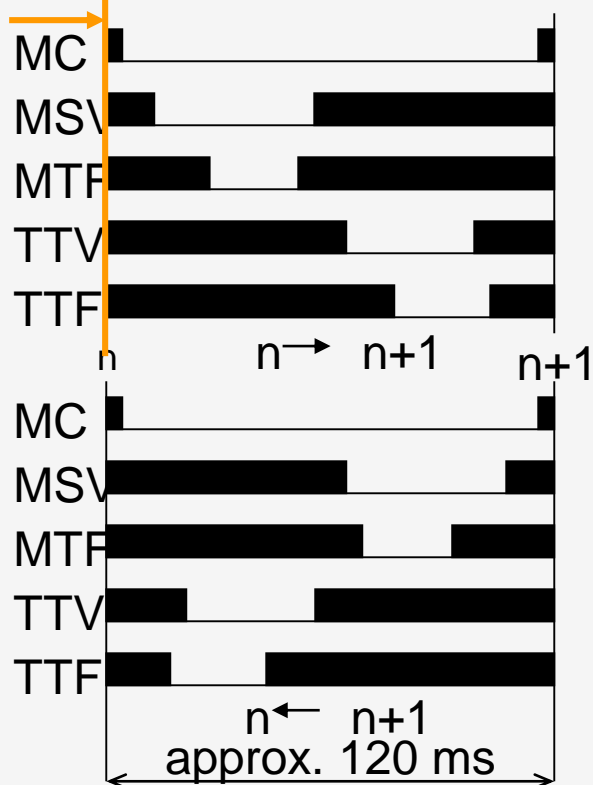


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

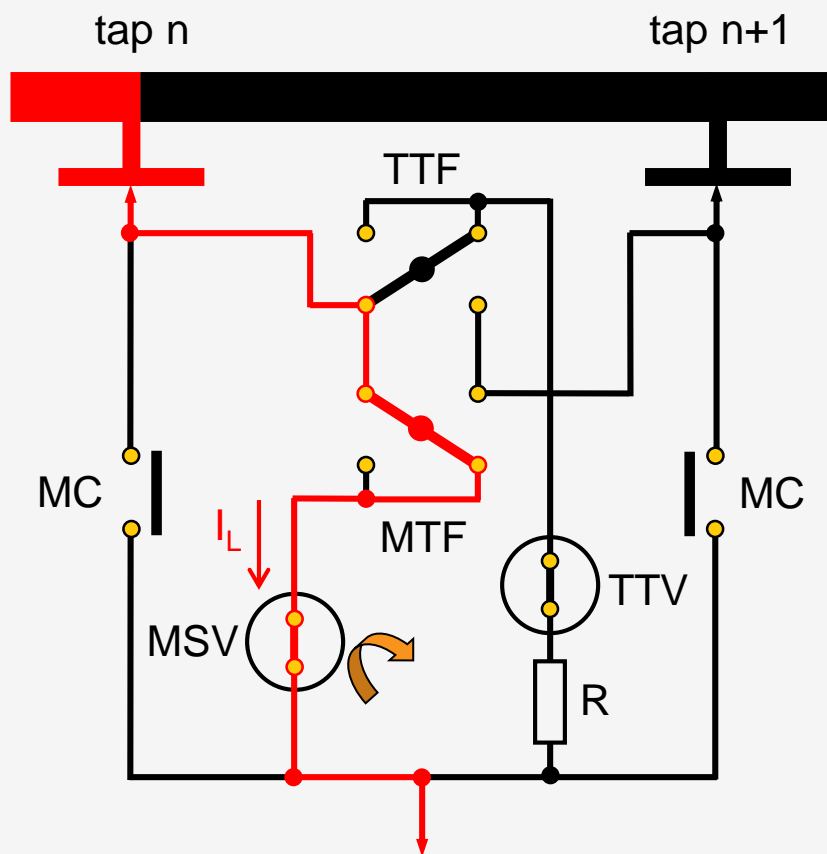
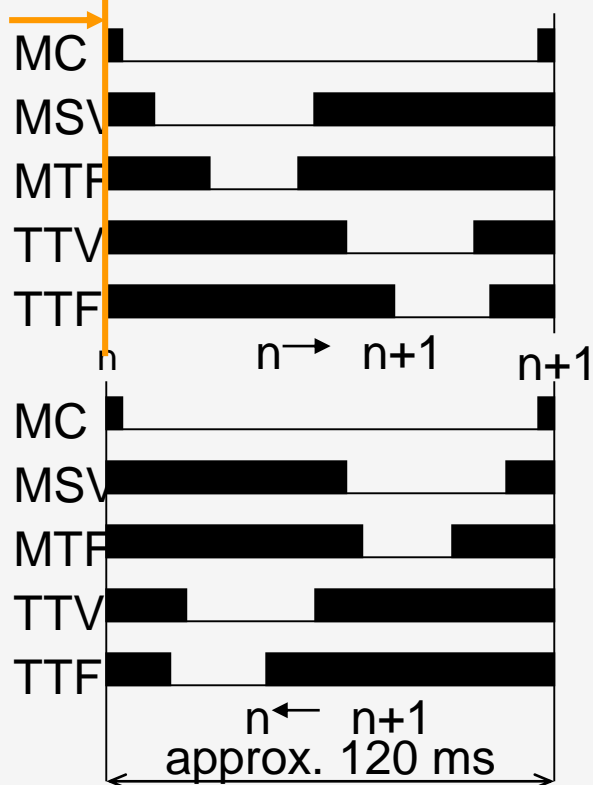


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

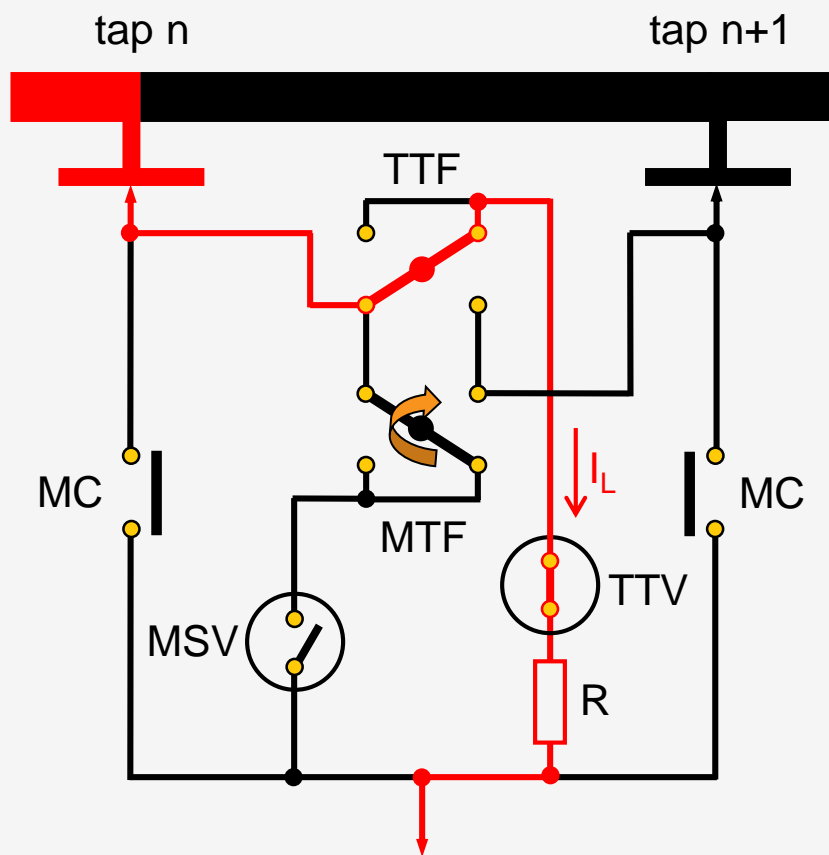
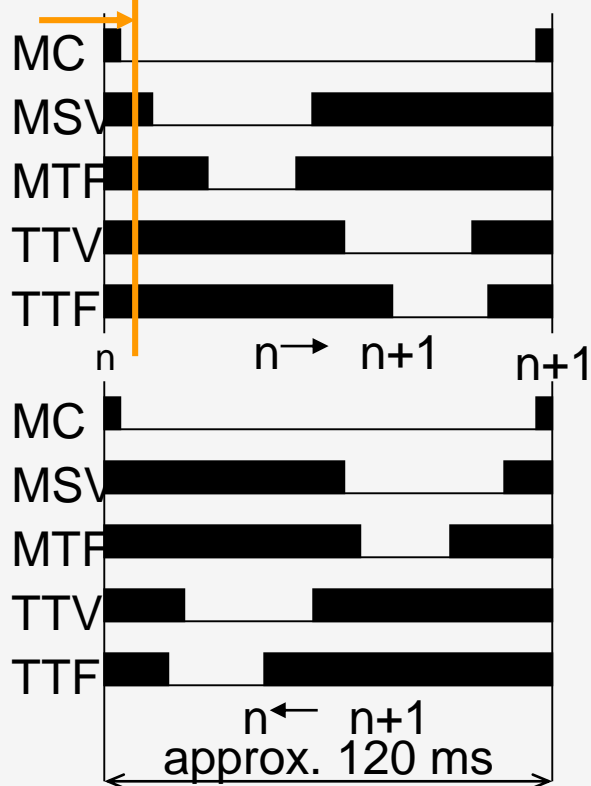


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

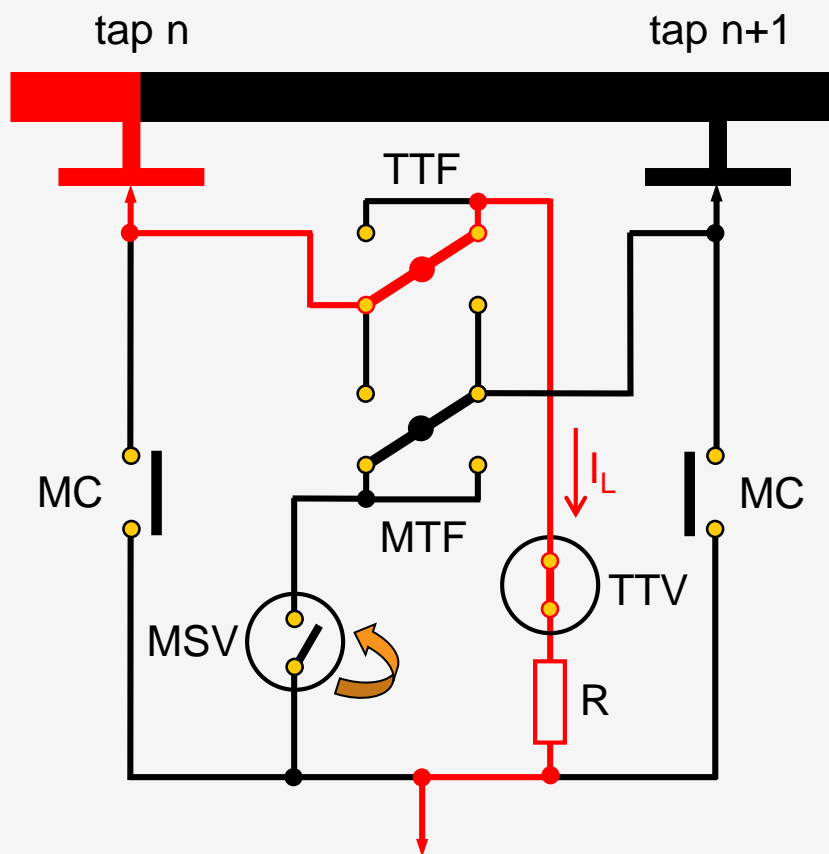
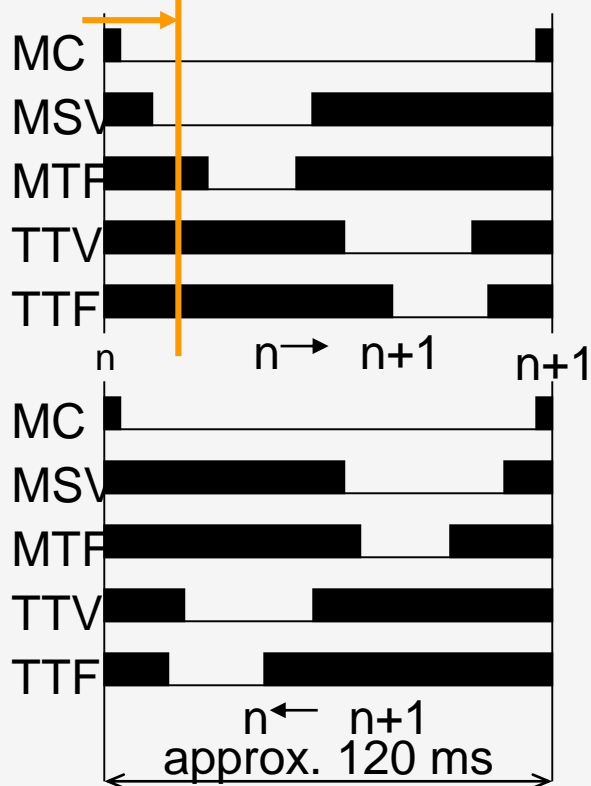


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

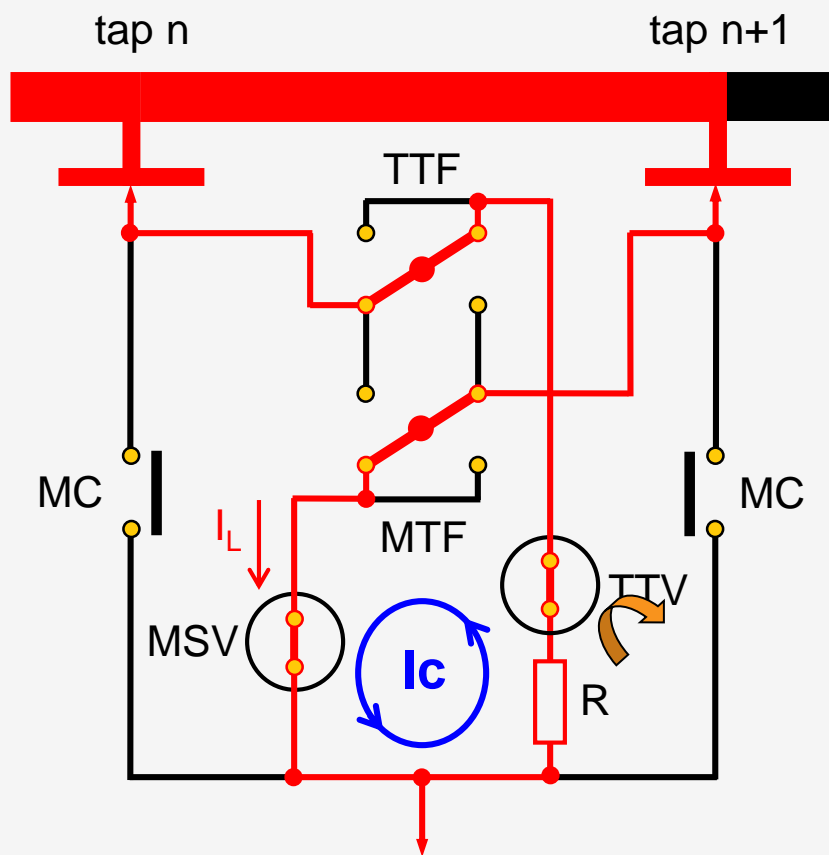
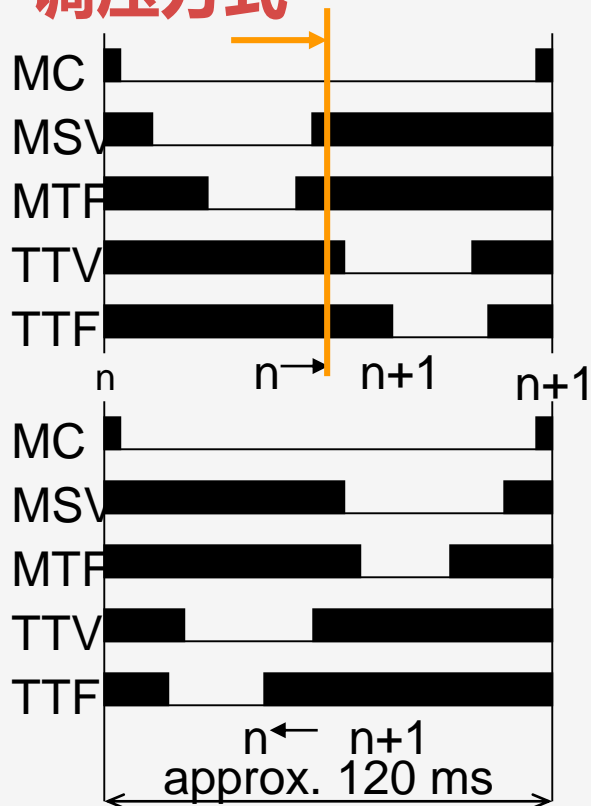


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

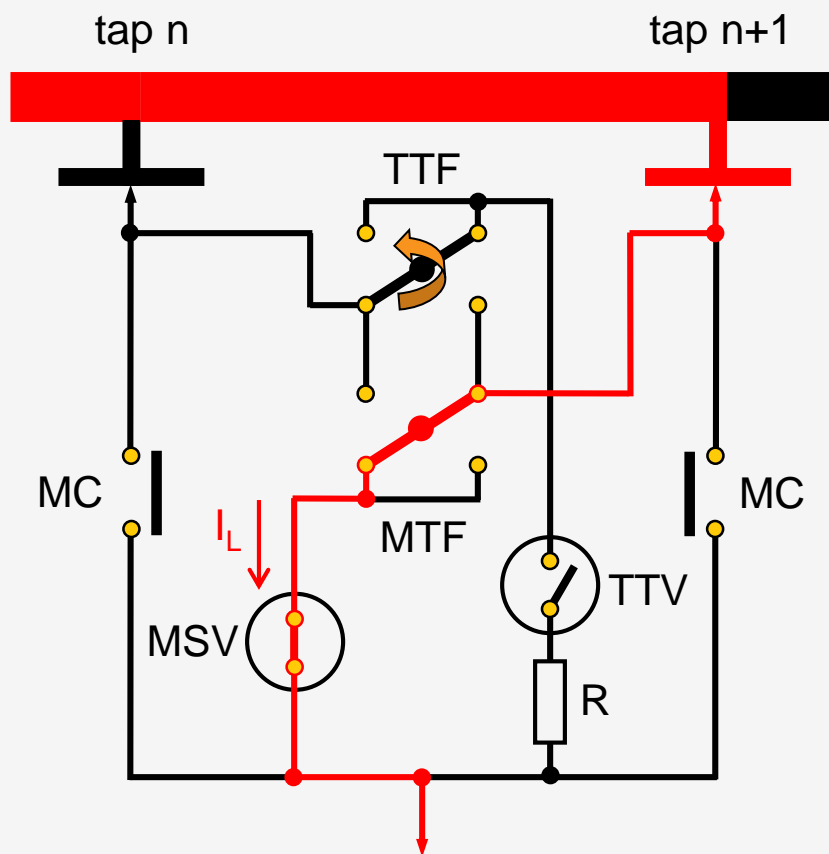
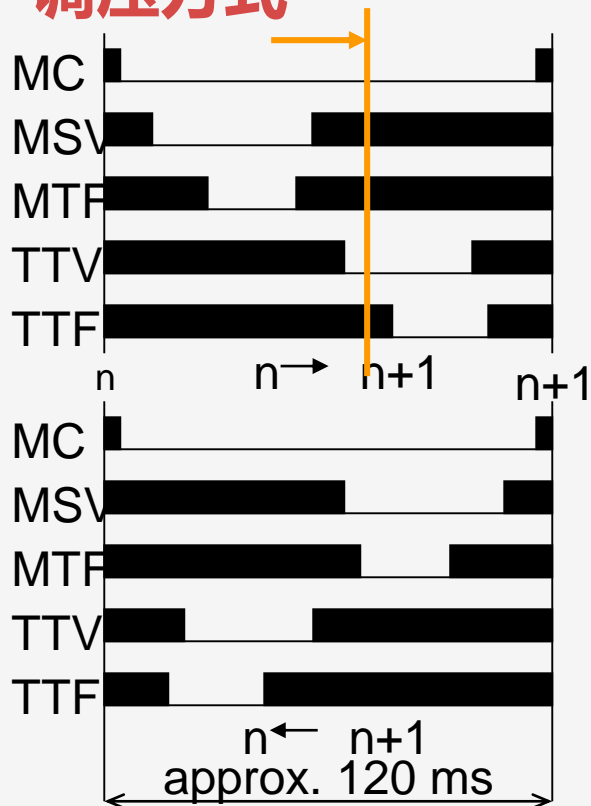


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

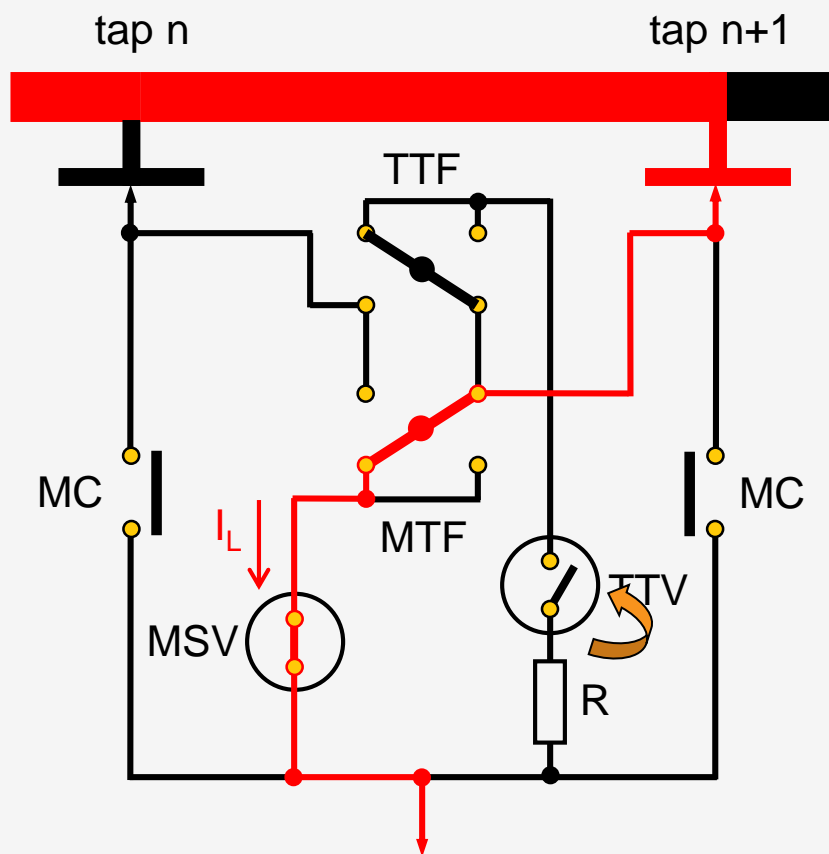
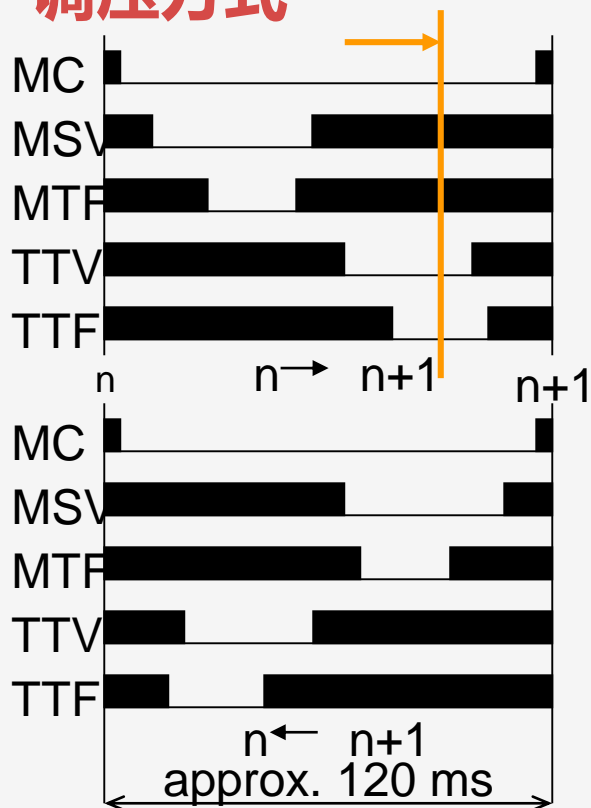


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

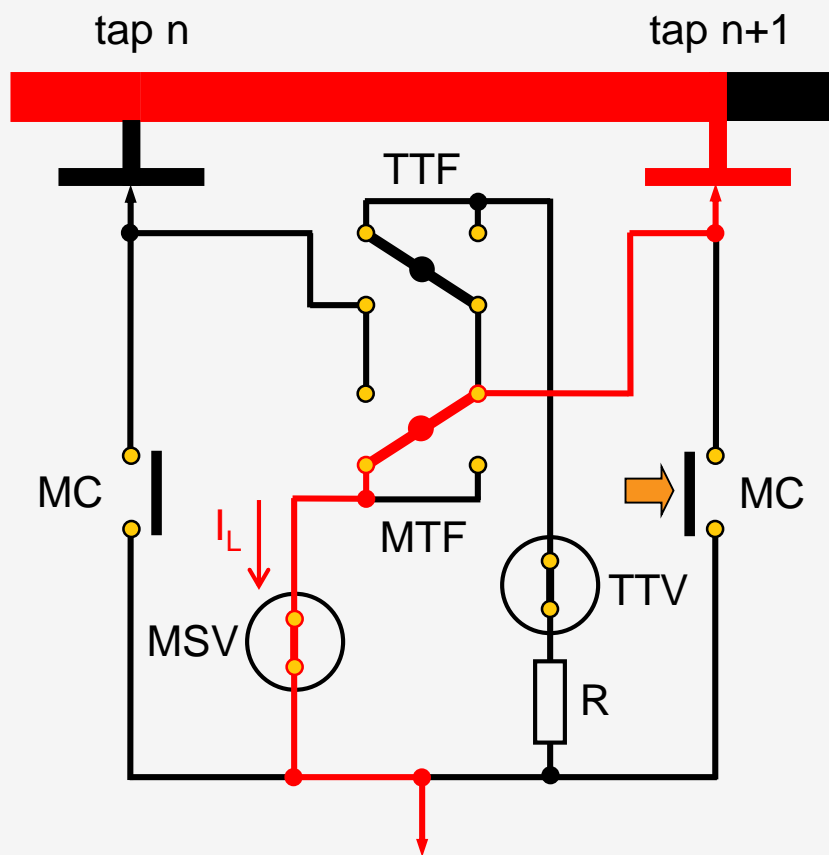
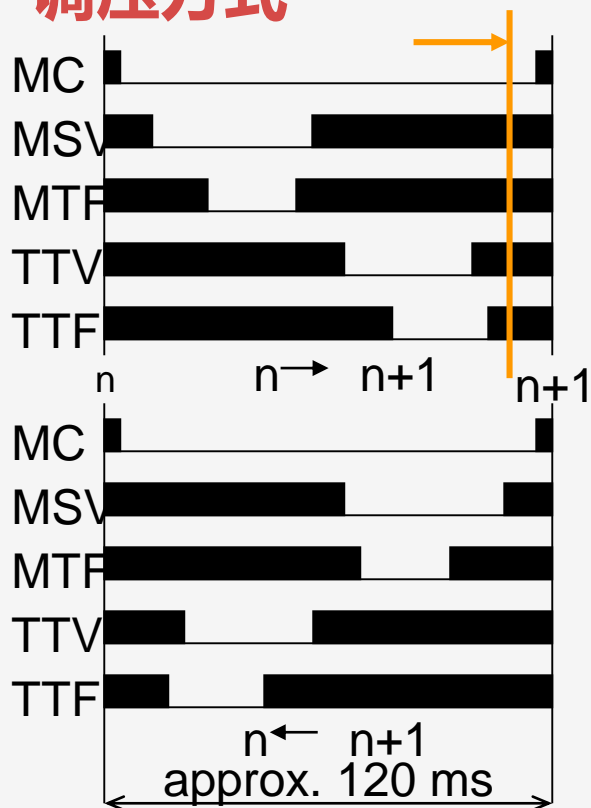


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式

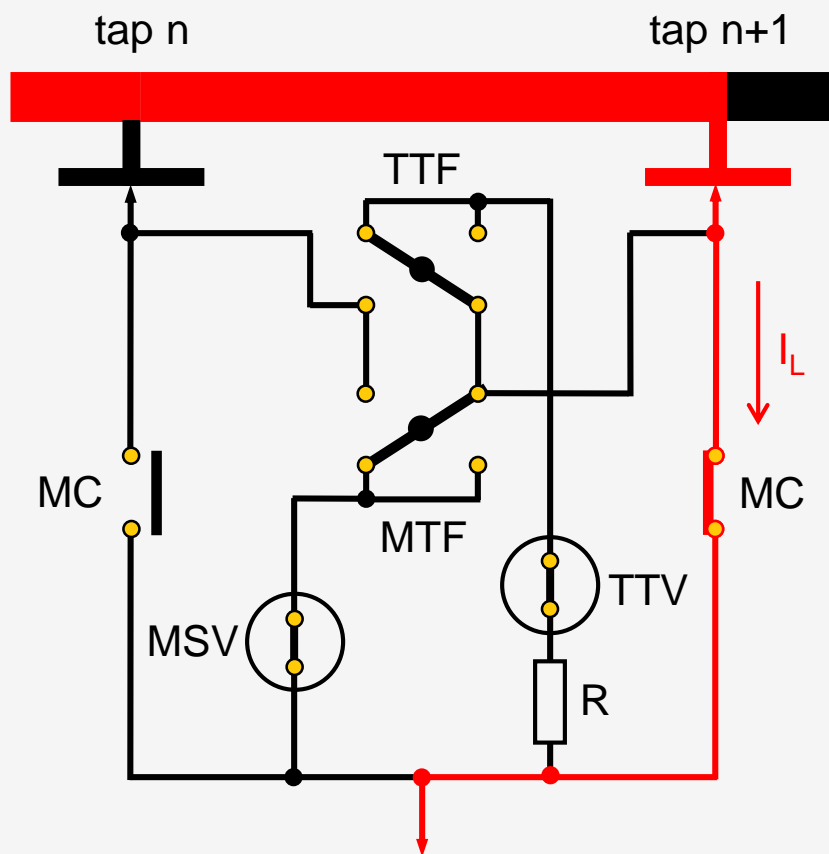
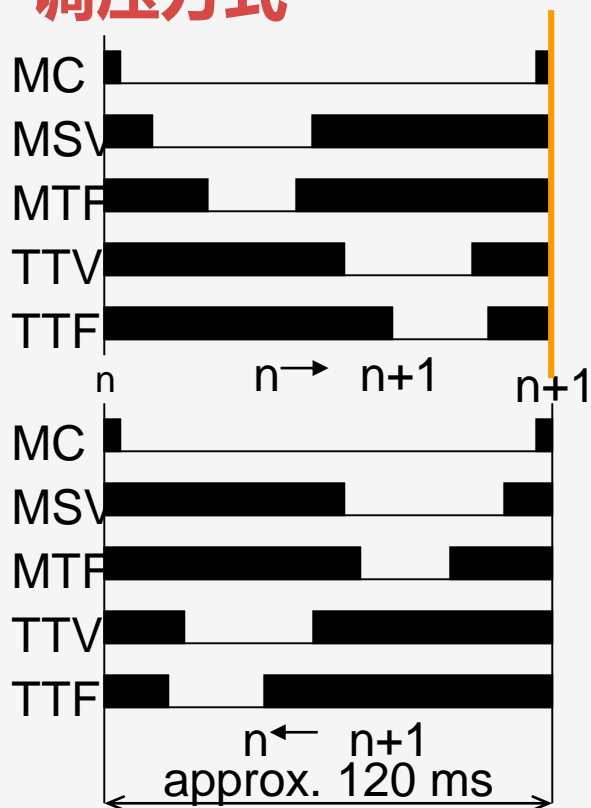


Part 3

主变压器的选择

3.2 变压器型式、结构选择原则

5、调压方式



第四章 电气主接线及其设计



第一节 电气主接线的基本要求

第二节 主接线的基本接线形式

第三节 主变压器的选择

第四节 限制短路电流的方法

第五节* 典型主接线

第六节* 主接线的设计原则和步骤

4.0 引言

● 短路电流危害

- 发电机出口短路电流可达几十千安~几百千安培
- 短路电流带来的发热和电动力严重威胁电力设备安全
- 对断路器要求高，增加电气设备一次投资

● 限制短路电流的主要方法

- 装设限流电抗器
- 采用低压分裂绕组变压器
- 采用不同的接线形式和运行方式*

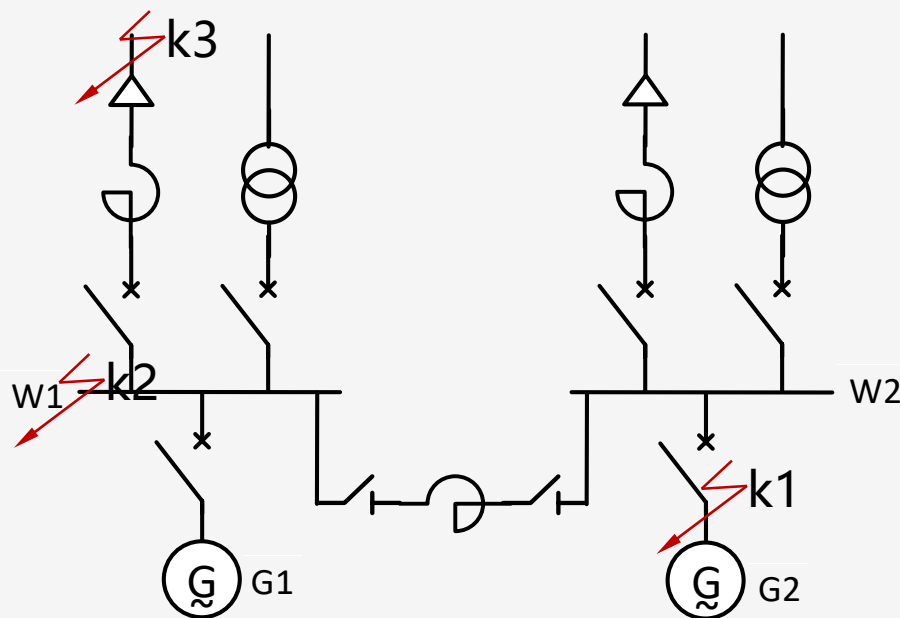


4.1 装设限流电抗器

● 普通电抗器

① 母线电抗器

- 用于限制并列运行发电机所提供的短路电流
- 额定电流：按母线上事故切除最大一台发电机时可能通过电抗器的电流进行选择，一般取 $(50\% \sim 80\%)I_{GN}$
- 电抗百分值：取 $8\% \sim 12\%$

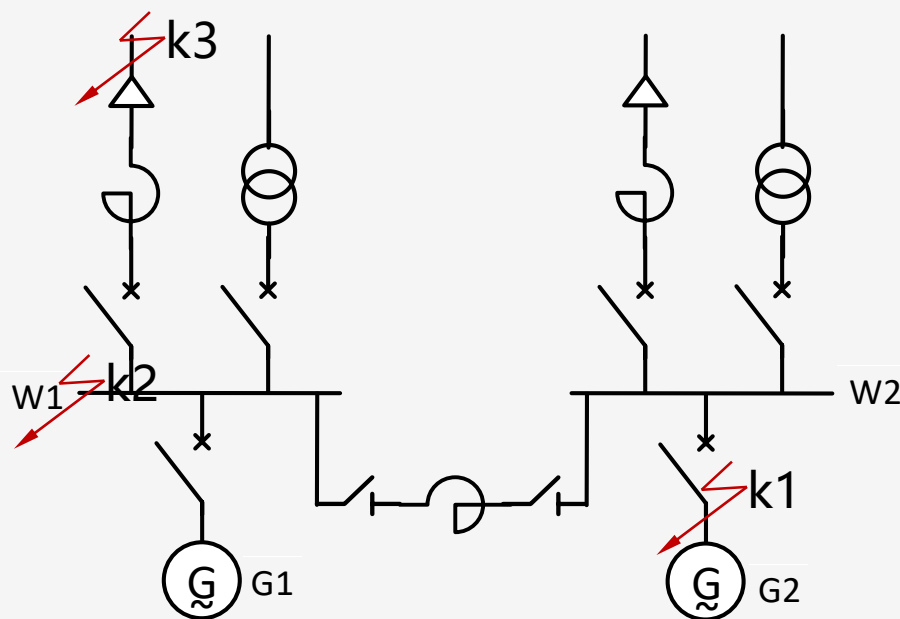


4.1 装设限流电抗器

● 普通电抗器

② 线路电抗器

- 限制**电缆**馈线回路短路电流
- 额定电流：取所在线路额定电流
- 电抗百分值：取3%~6%

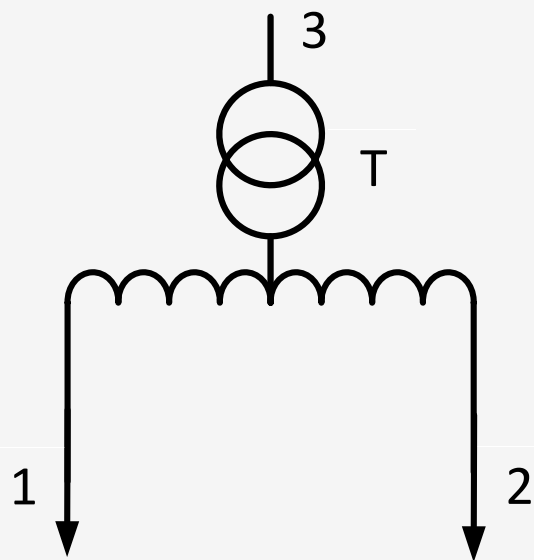


4.1 装设限流电抗器

● 分裂电抗器

结构与普通电抗器相似

- 在绕组中心有一个抽头，将电抗器分为两个分支，即两个臂1和2
- 一般中间抽头3 用来连接电源，分支1 和2 用来连接大致相等的两组负荷。



4.1 装设限流电抗器

● 分裂电抗器

(1) 正常运行 $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}/2$

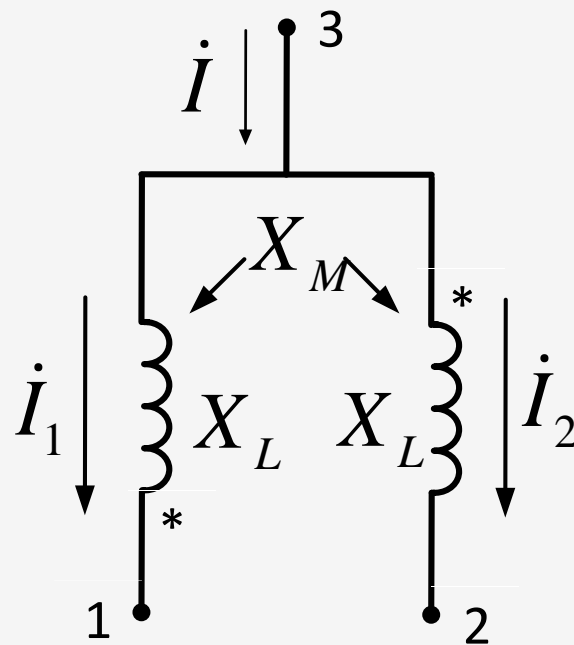
$$\Delta U_{31} = I_1 X_L - I_2 X_M = \frac{I}{2} (X_L - X_M)$$

令互感系数 $f = X_M / X_L$

$$\Delta U_{31} = \frac{I}{2} (1 - f) X_L$$

因此，正常运行时，每臂的运行电抗为 $X = (1 - f) X_L$

若 $f=0.5$ $X=0.5 X_L$



4.1 装设限流电抗器

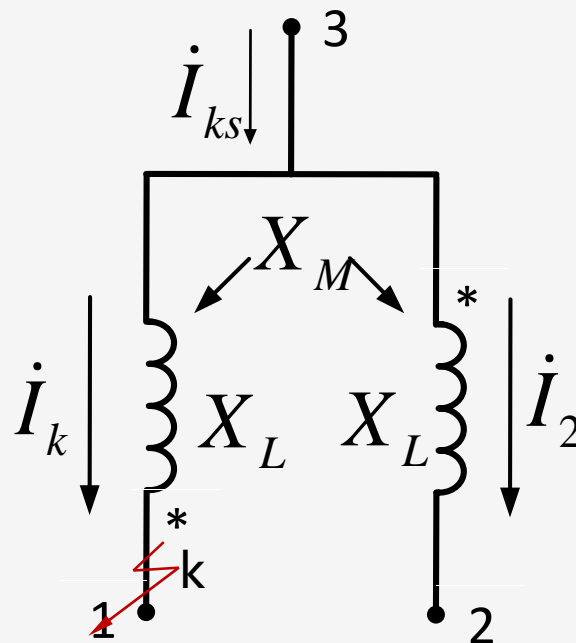
● 分裂电抗器

(2) 分支故障

a 设分支1短路,忽略分支2的负荷电流

$$\Delta U_{31} = I_k X_L$$

即短路时, 臂1的电抗为 X_L



4.1 装设限流电抗器

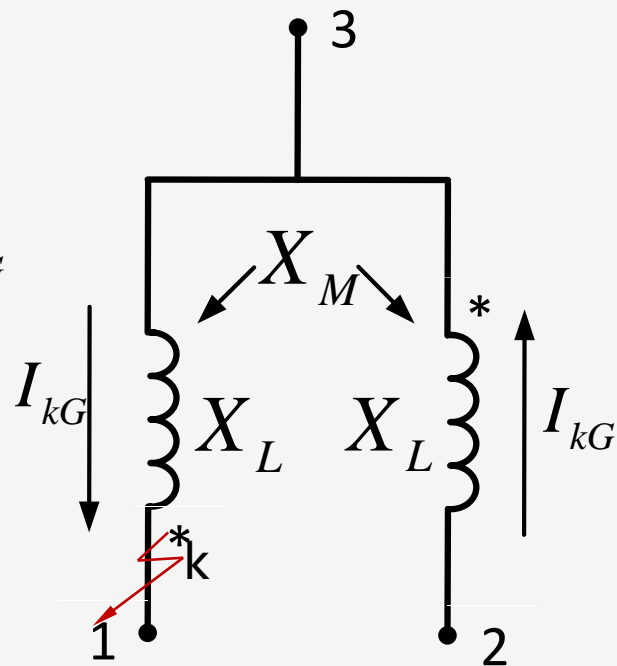
● 分裂电抗器

(2) 分支故障

b 设分支1短路, 分支2接电源, 其短路电流为 I_{kG}

$$\begin{aligned}\Delta U_{21} &= 2(I_{kG} X_L + I_{kG} X_M) \\ &= 2I_{kG} (1 + f) X_L\end{aligned}$$

若 $f=0.5$, 电抗为 $3X_L$



4.1 装设限流电抗器

● 分裂电抗器

分裂电抗器优点：

- ①正常运行时电抗小，而在故障时电抗大
- ②占地面积减小（一个电抗器可供2路负荷）

分裂电抗器缺点：

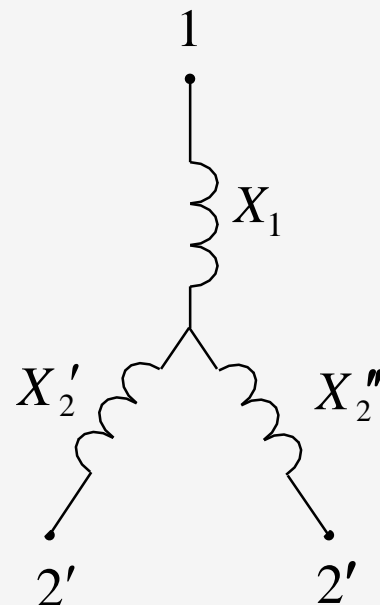
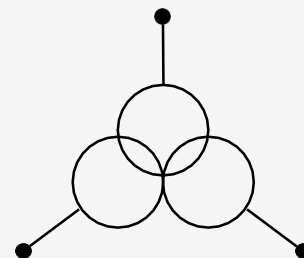
当两个分支负荷不等或者负荷变化过大时，将引起两臂电压产生偏差，造成电压波动，甚至可能出现过电压。



4.2 采用低压分裂绕组变压器

- 分裂绕组变压器有一个高压绕组和两个低压的分裂绕组，两个分裂绕组的额定电压和额定容量相同，匝数相等
- 两个低压分裂绕组布置上对称，没有电气上的联系，只有较弱的磁的联系
- 低压分裂绕组变压器的参数：

$$X'_2 = X''_2 = X_2$$



4.2 采用低压分裂绕组变压器

- 正常运行时，高低压绕组的穿越电抗为：

$$X_{12} = X_1 + X_2 / 2$$

- 当任一低压侧发电机出口短路时，高低压绕组半穿越电抗为：

$$X_{12} = X_1 + X_2$$

- 当任一低压侧发电机出口短路时，该处与另一侧低压发电机之间电抗为：

$$X_{22} = X'_2 + X''_2 = 2X_2$$

