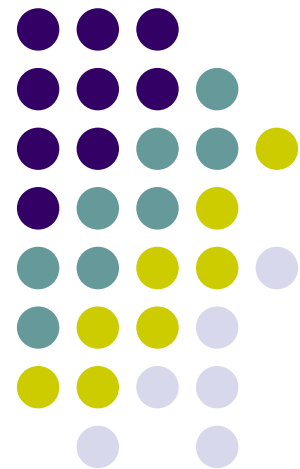


# 高压直流输电系统 控制与保护原理

华南理工大学电力学院  
李晓华

2008.2.25~3.5



# 高压直流输电保护



- 高压直流系统的故障分析
- 高压直流系统的保护配置



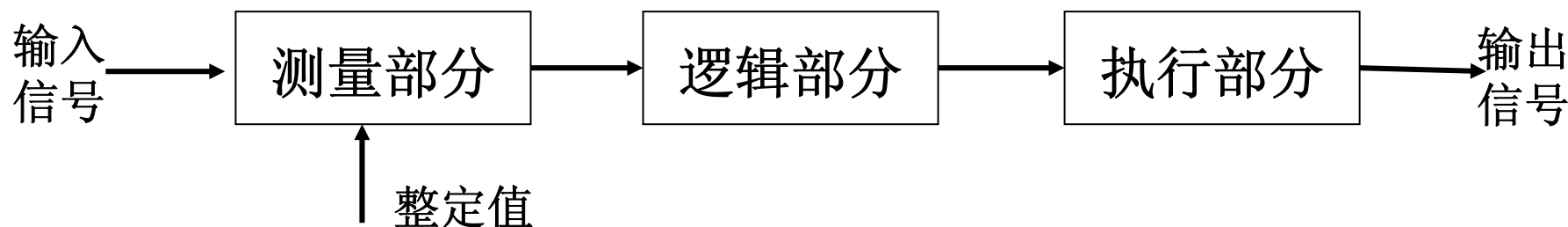
# 电力系统故障

- 电力系统运行中，可能发生各种故障和不正常运行状态
- 各种形式短路是最危险和最常见的
  - 很大短路电流和电弧，使故障元件损坏；
  - 短路电流引起非故障元件损坏或缩短寿命；
  - 部分地区电压降低，影响用户；
  - 对系统稳定性造成影响
- 不正常运行状态：电气元件正常工作遭破坏，但没有发生故障。
  - 过负荷，最常见的不正常运行状态
  - 频率降低
  - 系统振荡



# 电力系统保护

- 故障发生，必须迅速消除故障——保护
- 电力系统保护是利用故障发生时电力系统的异常电压与电流等信息，判断故障的存在与否，然后再采用相应的保护动作策略，完成隔离故障区域的重要使命。
- 保护装置的原理结构





# 电力系统保护的要求

## □ 选择性

- 仅将故障元件切除，使停电范围尽量小
- 后备保护：远后备、近后备

## □ 速动性

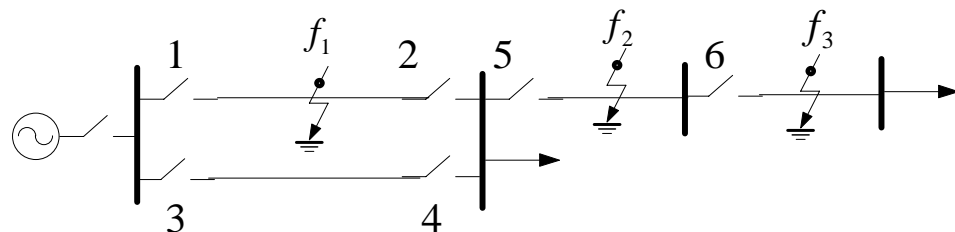
- 尽量快速消除故障，减轻对设备及系统的损害

## □ 灵敏性

- 检测出保护范围内的所有故障
- 保护原理、配置、整定

## □ 可靠性

- 可靠度——不拒动
- 安全度——不误动
- 保护装置本身的质量和运行维护水平





# 电力系统保护的基本思路

- 被保护对象故障分析获取故障特征
  - 电流增大、电压降低、测量阻抗减少
- 不同故障特征构成不同保护判据、原理
  - 电流增大 → 过电流保护
  - 电压降低 → 低电压保护
  - 测量阻抗降低 → 距离保护
- 被保护对象的特点、要求确定保护动作策略



# 直流系统的故障类型

- 直流系统中任何一个部分发生故障或者异常状态，都会影响整个直流输电系统运行的可靠性和有关设备的安全。
  - 故障
  - 异常



# 直流系统的故障类型

## □ 故障

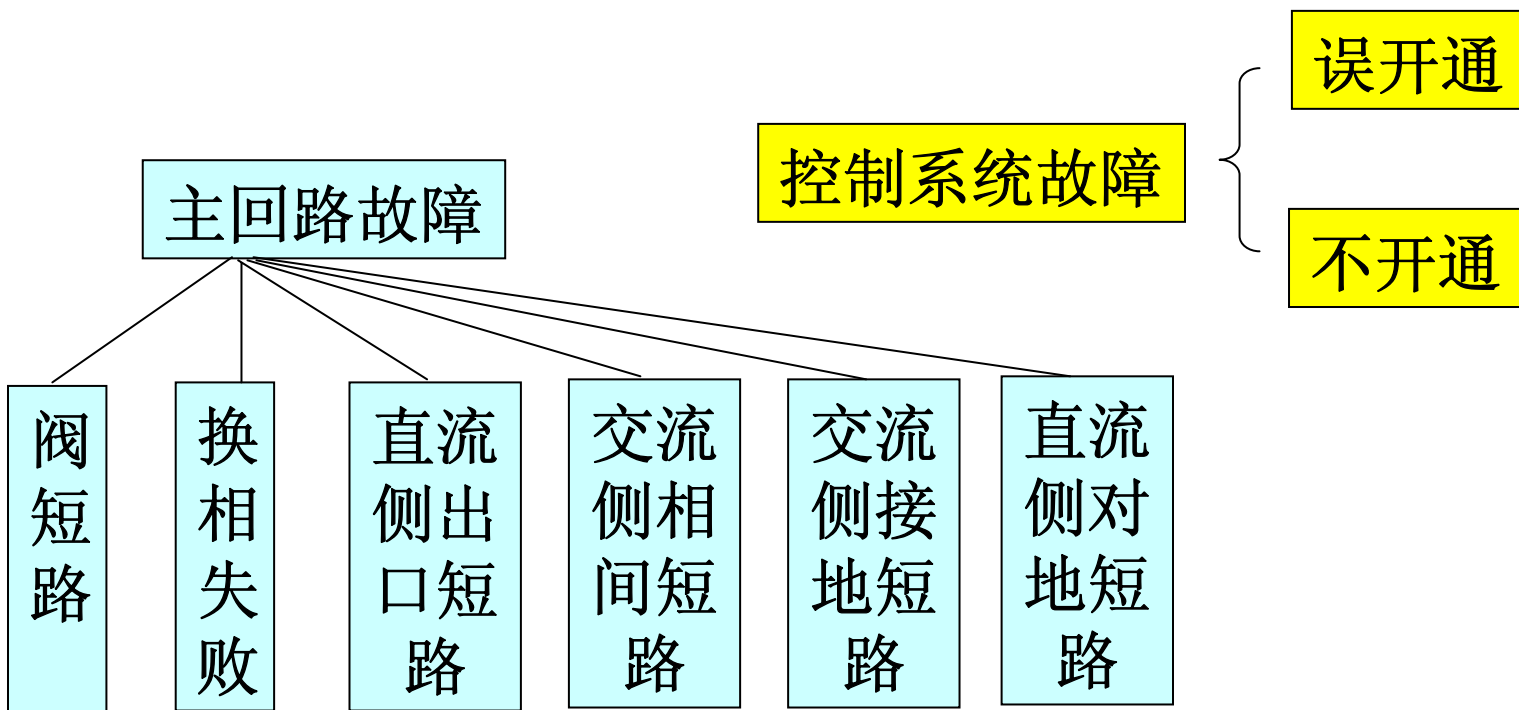
- 换流器故障
- 直流开关场与接地极故障
- 换流站交流侧故障
- 直流线路故障

## □ 异常

- 次同步振荡
- AC故障对直流系统的扰动
- 直流控制系统误动对直流系统的扰动

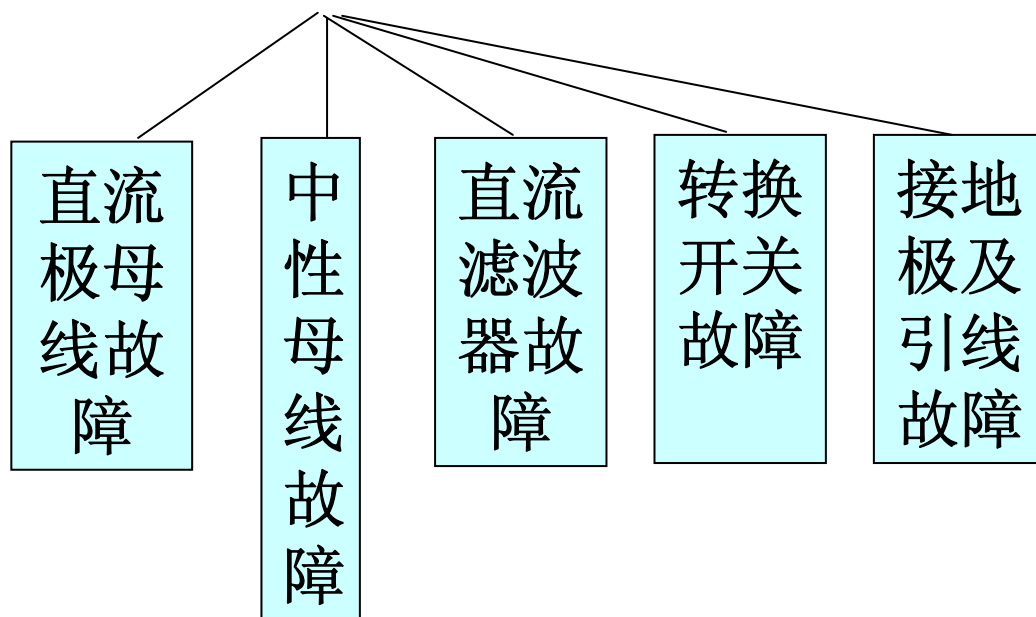


# 换流器故障

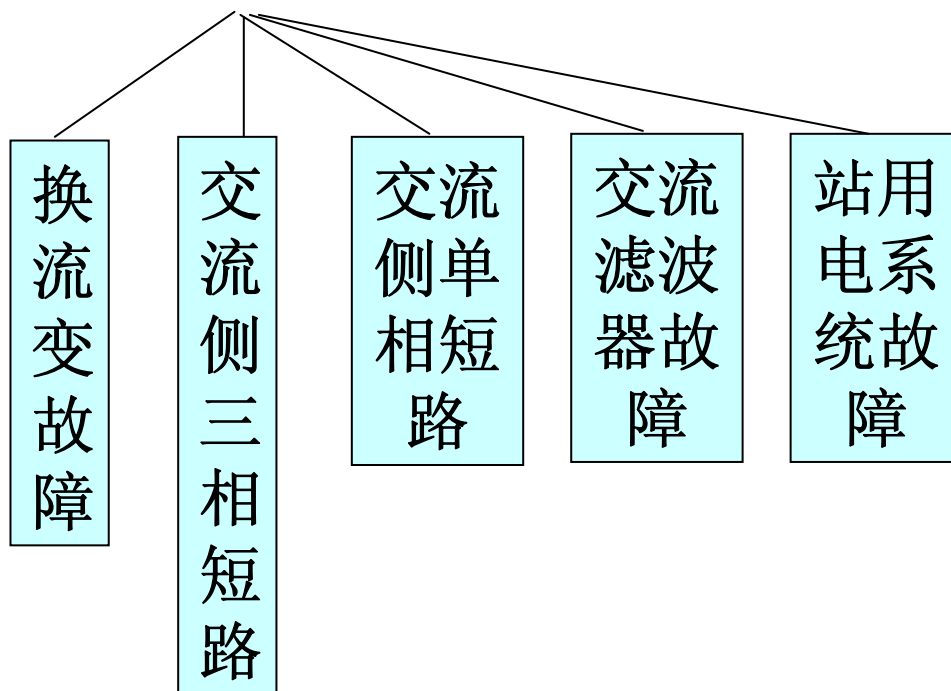




# 直流开关场与接地极故障

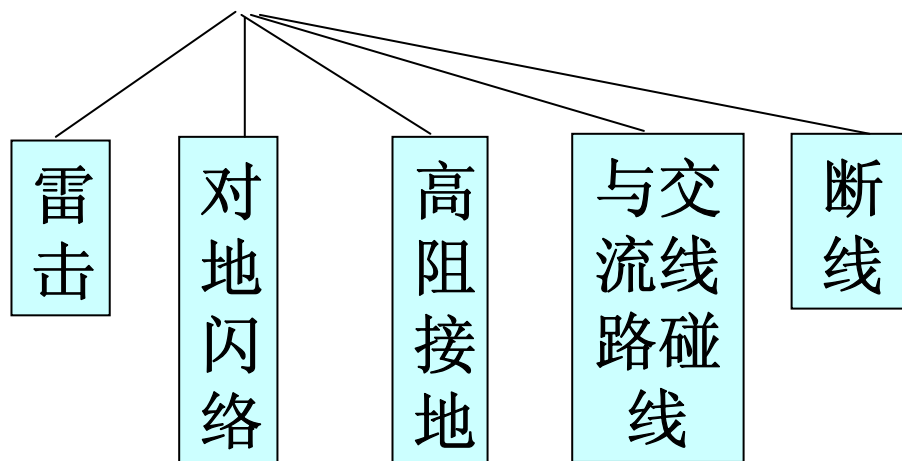


# 换流站交流侧故障





# 直流线路故障





# 直流系统保护目的

- 检知故障
- 隔离故障设备，恢复其余系统的运行
- 减小对系统的干扰
- 减小对受影响设备的损坏
- 减小对人员安全的危险



# 直流系统保护设计原则

- 在直流系统各种运行方式下，对全部运行设备都能提供完全的保护。
- 每一保护区域具备充分冗余度。
  - 不误动或拒动
  - 后备保护尽可能采用不同的检测原理
- 相邻保护区有重叠部分，保证无保护死区。
  - 分区保护
  - 保护区搭接（无保护死区）
- 各保护之间配合协调，并能正确反应故障区域。
  - 尽量少切除设备（避免一极故障切双极）
- 与直流控制系统能密切配合。
  - 控制系统故障不引起保护跳闸



# 直流输电保护配置原则

- 按保护所针对的情况，配置的保护分以下几类：
  - 第一类：针对故障的保护，如阀短路保护、极母线保护等。
  - 第二类：针对过应力的保护，如过压、过载。
  - 第三类：针对器件损坏的保护，如电容器不平衡保护、转换开关保护。
  - 第四类：其它，如功率振荡等。



# 直流输电保护配置原则

- 针对不同类型的保护，采用不同的配置原则，来满足保护的安全性
  - 对于第一类保护，其保护区应尽量配置两种不同原理的保护，互为后备。双套配置后，正常运行时保护区内存在双套主保护、双套后备保护。
  - 对于第二、三、四类保护，至少配置一种原理的保护。双套配置后，正常运行时保护区内至少存在双套保护。





# 直流输电保护动作策略

- 报警与启动录波
- 控制系统切换
- 强迫移相
- 投旁通对
- 自动再启动
- 极隔离
- 跳交流开关
- 起动失灵保护
- 禁止升/降分接头



# 直流保护动作策略

## □告警和启动录波

- 使用灯光、音响等，提醒运行人员
- 自动启动故障录波和事件记录，便于故障分析

## □控制系统切换

- 利用冗余的控制系统，通过系统切换排除控制系统设备故障的影响。



# 直流保护动作策略

## □ 紧急移相

- 将触发角迅速增加至  $90^\circ$  以上，将换流器从整流状态变成逆变状态，从而保证能快速熄灭线路上的电流

## □ 投旁通对

- 同时触发6脉动换流器接在交流同一相上的一对换流阀
- 形成直流侧短路，快速降低直流电压到零，隔离交直流回路，以便交流侧断路器快速跳闸



# 直流保护动作策略

## □ 闭锁换流器

- 取消可控硅的控制脉冲，当流过换流阀的电流为零时，阀停止导通。

## □ 极隔离

- 把直流母线与直流线路隔离以及把换流器中性线与接地极线隔离
- 不影响另一极正常运行，便于停运极直流设备检修



# 直流保护动作策略

## □ 跳开交流侧断路器

- 断开换流变压器的交流侧电源。
- 可以隔离交流系统向换流变阀侧提供电源，同时消除阀上的交流电压，以防止阀承受不必要的过应力。

## □ 直流系统再启动

- 整流器控制角迅速增大到 $120^\circ$ ，变为逆变运行，快速释放直流系统储能；
- 一定延时后，短路弧道去游离，整流器触发角按一定速率减小，恢复运行。



# 直流保护动作策略

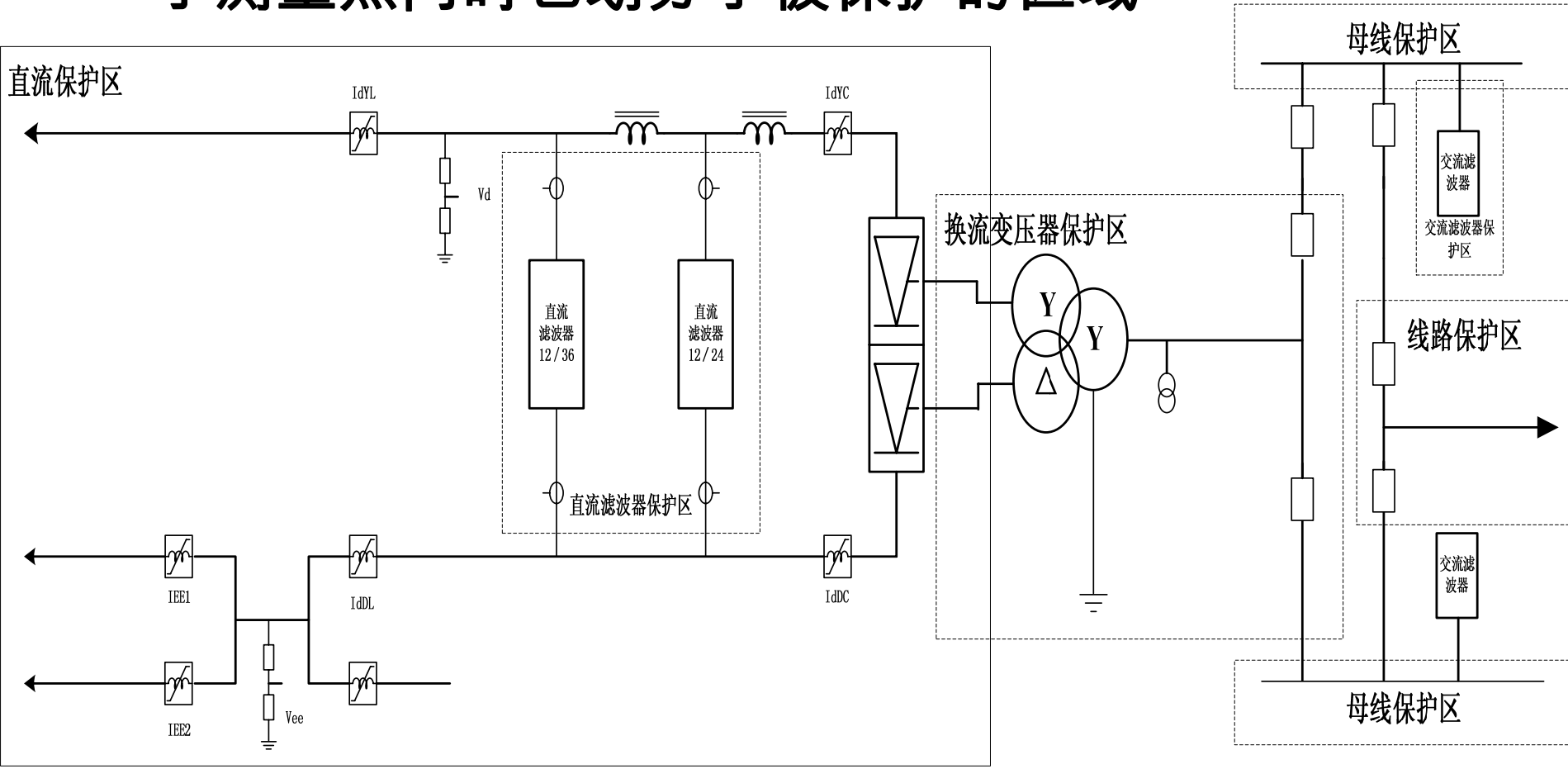
## □ 起动ESOF（紧急停运）顺序控制

- 整流侧：跳CB，同时FR，BLOCK；向逆变侧发BLOCK信号
- 逆变侧：跳CB，同时BPP，BLOCK；向整流侧发BLOCK信号



# 直流输电保护的分区

□ 根据被保护对象和区域的需要，在一次系统中设置了测量点同时也划分了被保护的区域





# 直流输电保护的分区

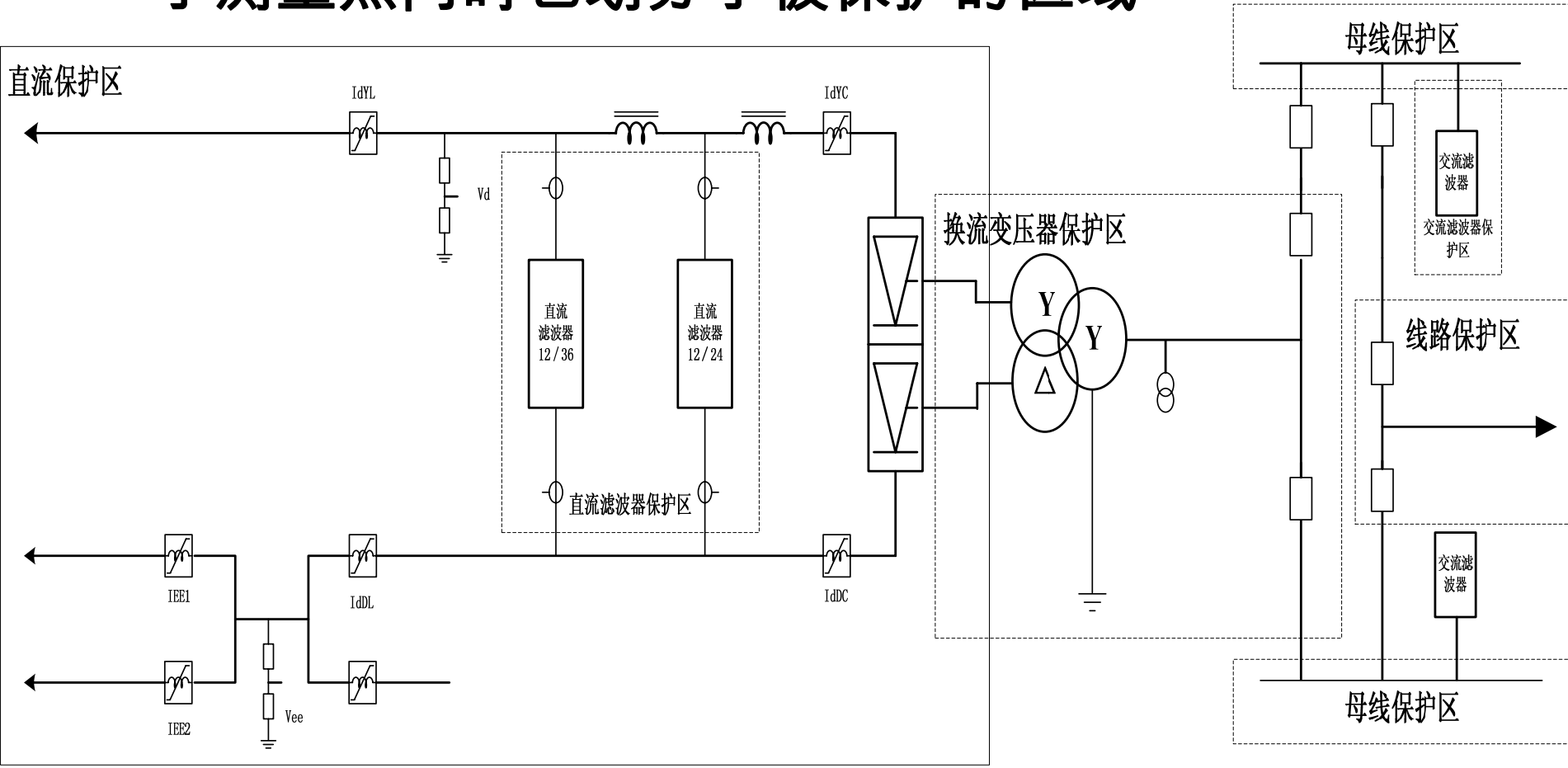
- 换流变压器保护区
- 交流滤波器及并联电容器保护区
- 交流母线保护区
- 交流出线保护区
- 直流保护区





# 直流输电保护的分区

□ 根据被保护对象和区域的需要，在一次系统中设置了测量点同时也划分了被保护的区域





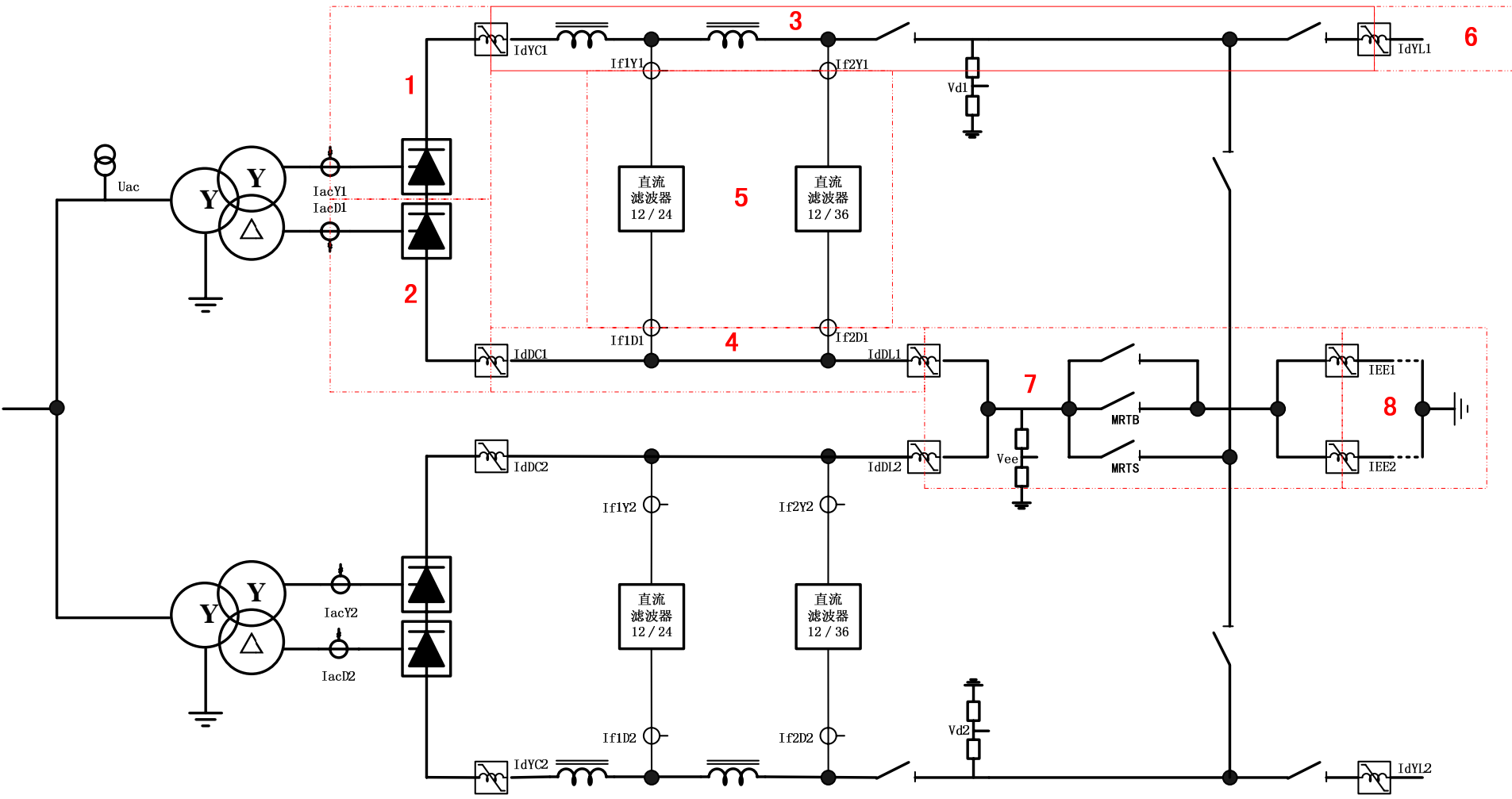
# 直流输电保护的分区

## □ 划分的区域依次为：

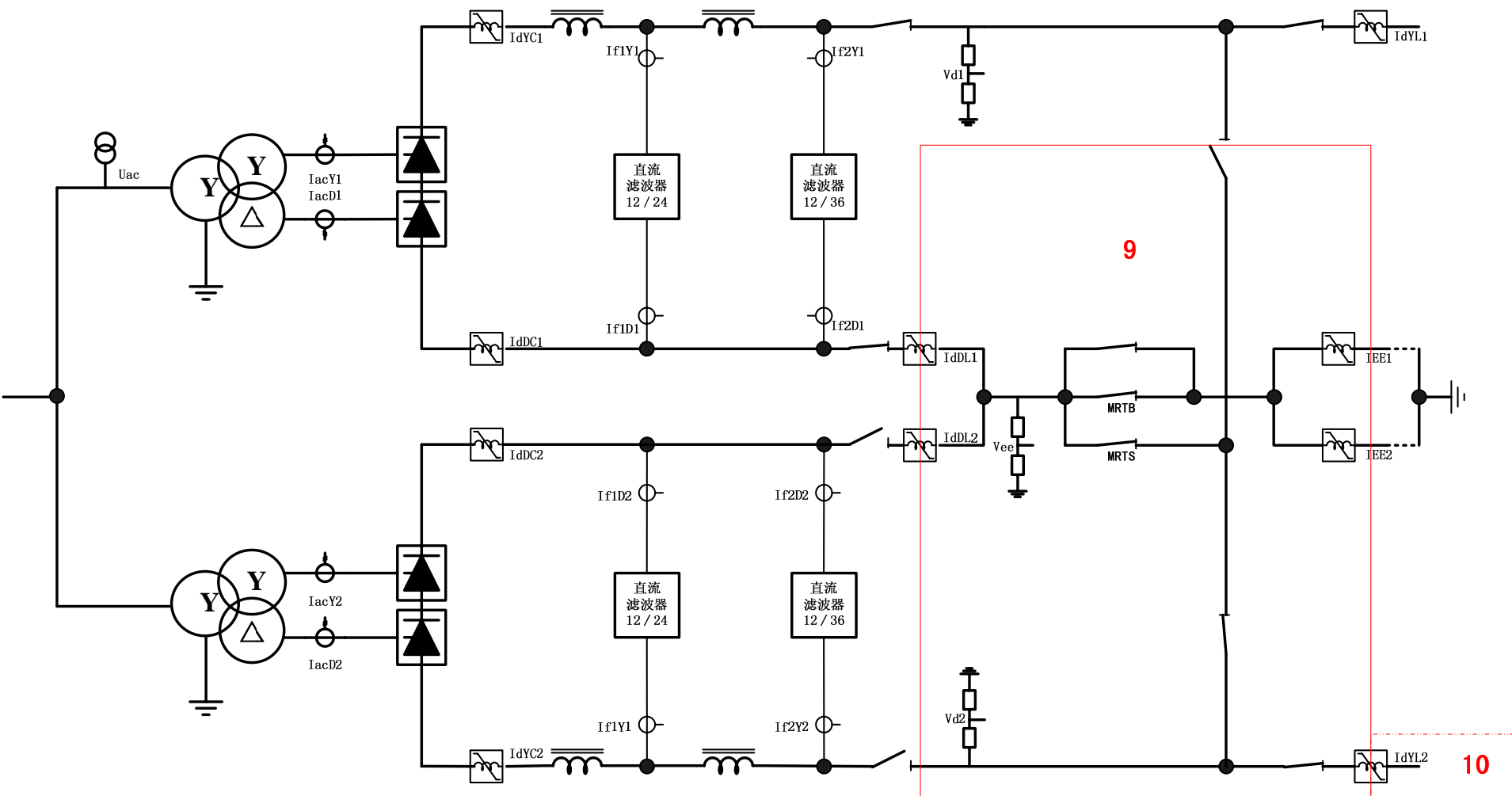
1. Y侧换流阀区
2. D侧换流阀区
3. 极母线区
4. 极中性母线区
5. 直流滤波器区
6. 直流线路区
7. 双极中性母线连接区
8. 接地极线区
9. 金属回线连接区
10. 金属回线区



# 直流输电保护的分区



# 直流输电保护的分区



# 换流器保护区



电流差动

本体保护

触发保护

电压保护

过  
电  
流



# 直流线路保护区

## 直流线路故障保护组

直流线路行波保护

微分欠压保护

直流线路纵差保护

再启动逻辑

## 直流系统保护组

直流欠电压保护

功率反向保护

直流谐波保护

线路开路试验监测



# 直流开关场与中性母线保护区

## 直流开关场电流差动保护组

直流极母线差动保护

直流中性母线差动保护

直流极差保护

## 直流滤波器保护组

电抗器过负荷保护

电容器不平衡保护

直流滤波器差动保护

## 平波电抗器保护组



# 接地极引线与接地极保护区

- 双极中性线保护组
- 转换开关保护组
- 金属回线保护组
- 接地极引线保护组





# 交流开关场保护区

- 换流变差动保护组
- 换流变过应力保护组
- 换流变不平衡保护组
- 换流变本体保护组
- 交流开关场和交流滤波器保护组



# 换流变压器保护

- 换流变压器与常规变压器相比，其特点是流过绕组中的电流含有较大的谐波成分。
- 对于换流变压器内部短路等严重故障，在跳开相应断路器之前，应快速停运直流系统。而对于油温过高等情况，则应区别情况，进行报警或延时发出跳闸信号及停运直流系统信号。



# 换流变压器保护

- 具有谐波制动的快速差动保护
- 电流速断及带时限过流保护
- 中性点接地过流及中性点接地的星型绕组非金属性接地故障继电器
- 轻瓦斯和重瓦斯继电器
- 油温检测
- 绕组温度检测
- 铁芯饱和检测
- 变压器抽头保护

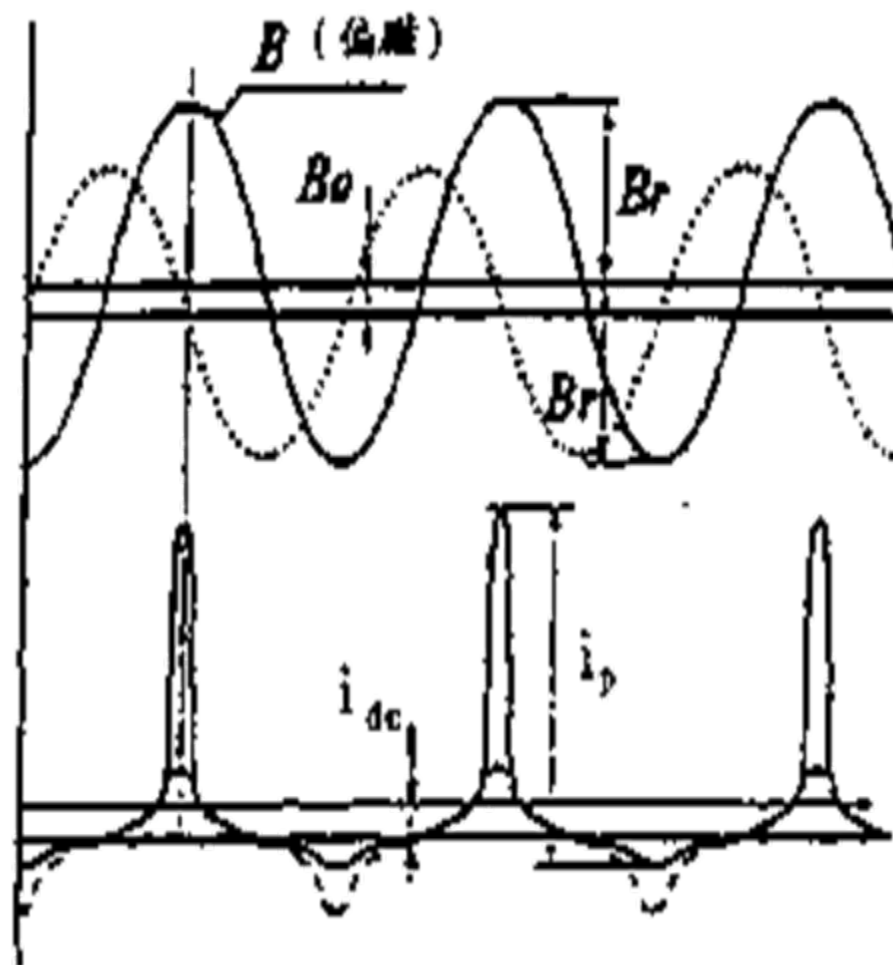
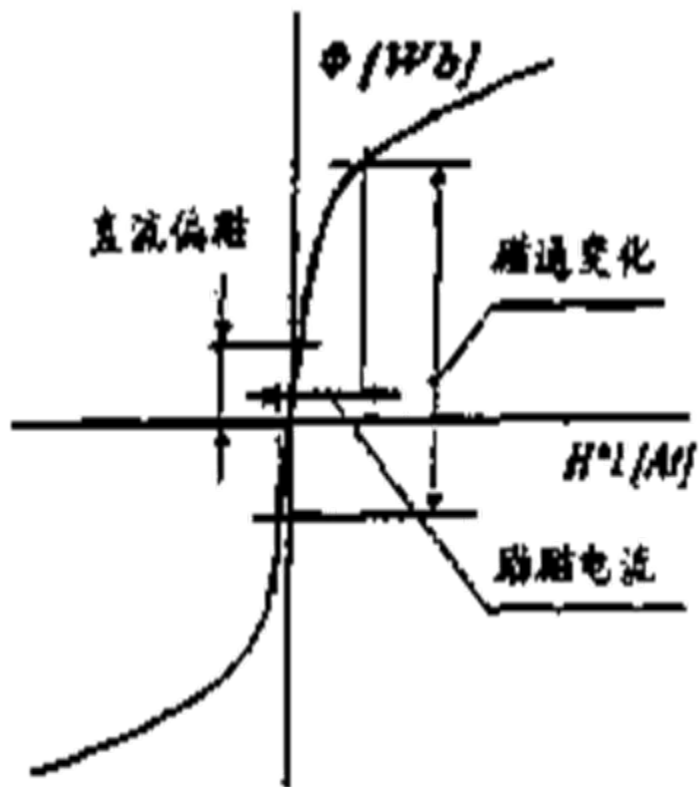


# 变压器励磁涌流

- 大容量变压器在稳态时的空载励磁电流不超过额定电流的 $1\sim 2\%$ ，但是当变压器空载投入和外部故障切除后电压恢复时，由于铁心的饱和作用，其励磁电流的瞬时值可超过稳态空载电流的几百倍，即会出现涌流。
- 励磁涌流的波形跟空载合闸的时刻以及变压器的剩磁都有很大的关系。



# 直流偏磁下的变压器励磁电流





# 交流滤波器及并联电容器保护

- 各交流滤波器及并联电容器分组的每一元件都应当得到适当保护，使其不被过电压、过电流或过负载所损坏。
- 对于电容器组或电容器元件故障及接地故障也应进行保护。发生在交流滤波器或电容器分组中的接地故障可考虑用差动、电流速断进行保护，过负载用带时限过流予以保护，而电容器故障则可用不平衡保护。
- 对于双调谐滤波器，还应装设谐波过电流保护。



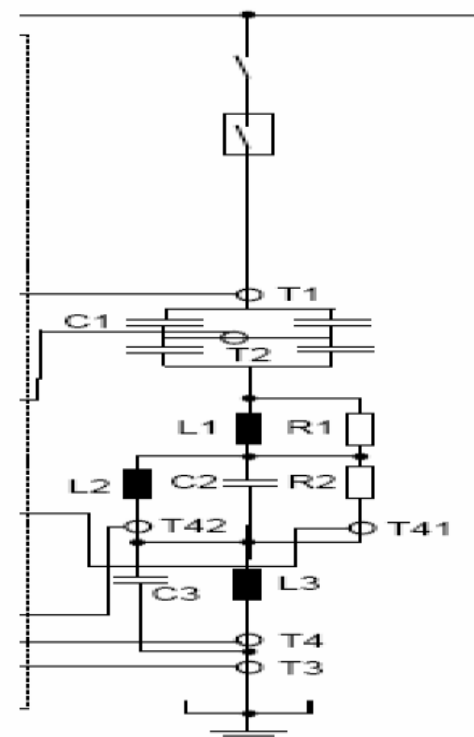
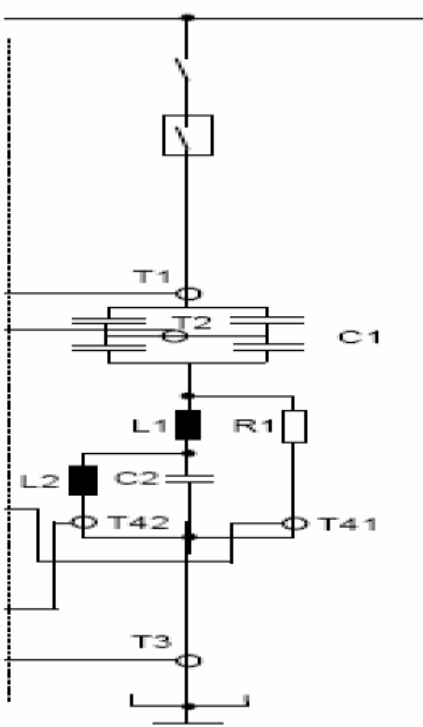
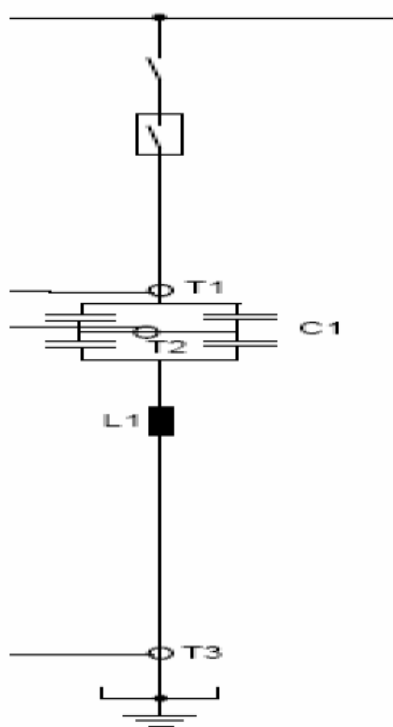
# 交流滤波器及并联电容器保护

- 在交流滤波器分组中发生过负载、接地故障或电容器故障引起的保护跳闸，只应跳开此分组的断路器，而过压保护动作则应跳开整组以及各分组的断路器。
- 由于在交流滤波器中及在并联电容器组中都有大量的电容器单元，少量的电容器单元故障对滤波器特性的影响不大，往往并不需要立即切除相关的滤波器分组，而可以根据损坏的电容器单元数的多少，采取不同的保护措施。



# 交流滤波器及并联电容器保护

交流滤波器分为**ST**型交流滤波器（**SHUNT C**）、**DT**型交流滤波器（双调谐滤波器）和**TT**型交流滤波器（三调谐滤波器）三种。

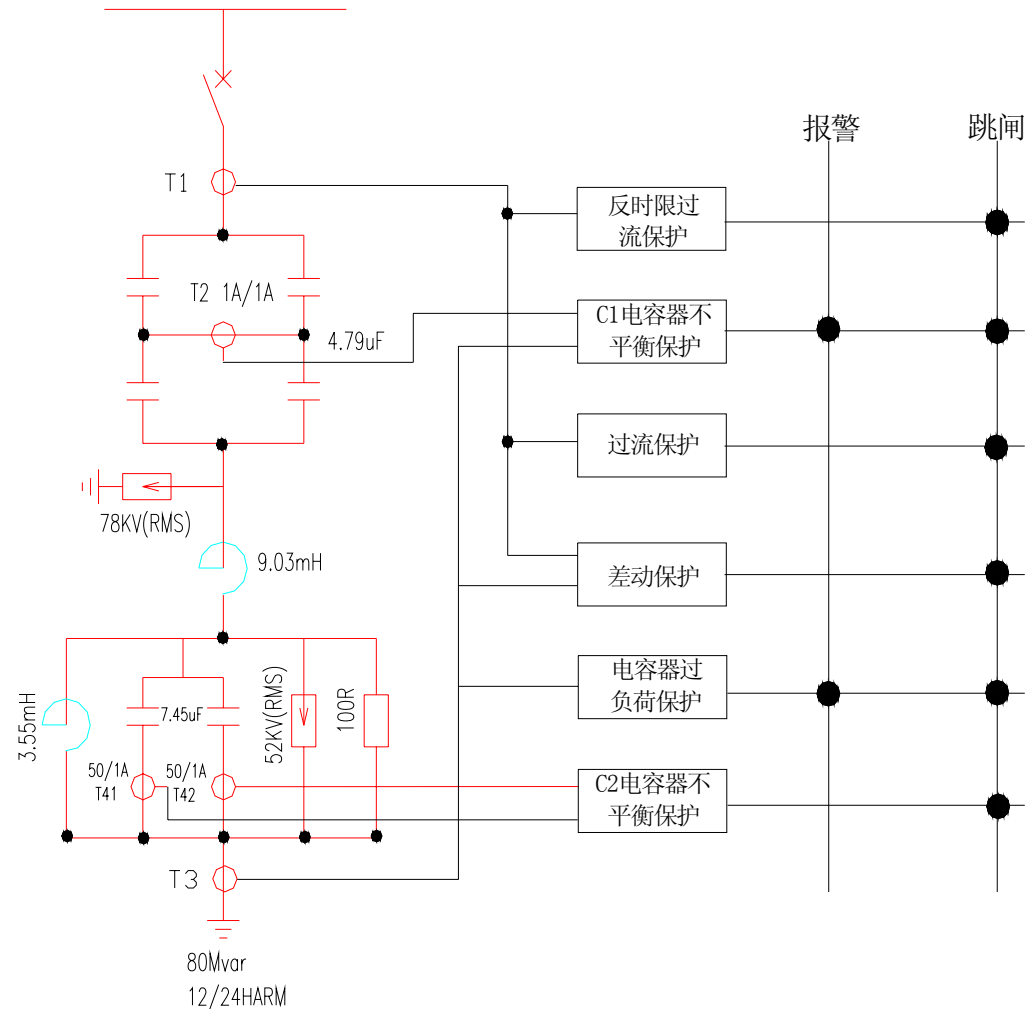






# 交流滤波器及并联电容器保护

- 差动保护
- 反时限过电流保护
- 过流保护
- 电容器过压保护
- 电容器不平衡保护





# 交流滤波器及并联电容器保护

## □ 第一段

- 最高电压应力不超过连续额定应力
- 动作只发出报警信号，故障分组能继续运行

## □ 第二段

- 最高电压应力不超过运行两小时所允许的应力
- 与过负载保护相配合
- 立即报警，且两小时后跳开故障分组

## □ 第三段

- 避免电容器元件雪崩损坏
- 最高电压应力不超过两倍连续额定应力
- 立即切除该分组



# 交流母线保护

## □ 母线差动保护

## □ 交流过压保护

- 当交流过电压不能被主要过压限制措施限制在规定的幅值和持续时间范围内时，应切除交流滤波器。
- 不是限制过电压的主要手段，到后备作用



# 交流出线保护

- 换流站交流进线也应在保护范围之内，其保护类型和定值都必须与交流系统保护相配合。
- 差动保护
- 阻抗保护
- 过流保护
- ...



# 极控保护

- 在极控中，也有保护模块，也能够启动闭锁顺序（**BLOCK**）和紧急切除顺序（**ESOF**）。
- 极控中的保护是直流系统中系统级的保护，也是直流保护的附加后备保护。
- 与直流保护的跳闸出口，是“或”的逻辑关系，它能够与对侧换流站的极控交换信息并启动**BLOCK**顺序、**ESOF**顺序。



# 极控保护

- 极控中的保护动作后，如果发出**BLOCK**顺序请求和**ESOF**换流器请求，则由极控中的其它模块实现；如果发出紧急跳开交流断路器，则由输出模块通过硬接线，送向直流保护，再由直流保护送向换流变保护来完成。



# 开路实验保护

- 开路**OLT**实验期间，如果直流线路电流过大，超过了测量误差，表明有故障存在，此时开路试验保护动作，闭锁极。



# 触发角过大保护

- 保护区域是整个换流器，特别是换流阀的阻尼回路。
- 直流正常运行时，触发角不会低于**120°**（逆变侧），也不会高于**60°**（整流侧），当触发角在**60° ~ 120°**内持续变化时，保护动作，闭锁极。





# 直流零流保护

- 只设在逆变侧。
- 在通信系统故障时，如果整流器已经闭锁，则要求逆变器闭锁，此时，逆变侧直流零电流保护检测到直流电流过小，则动作出口，启动逆变侧的 **BLOCK** 顺序。



# 交流过电压保护

- 如果交流系统过电压，而无法通过切除交流滤波器和并联电容器来降低，则本保护动作。
- 判据1：通过检测本站交流系统电压 $U_{ac}$ 来确定；
- 判据2：同时判断本站交流系统电压峰值和逆变侧交流系统情况。
- 出口方式为**ESOF**，跳交流开关。



# 交流低电压保护

- 主要作为交流侧的后备保护。
- 本保护的 protection 范围不仅是换流器，还包括整个直流系统，严格来说是一种系统后备保护。
- 当交流系统的电压过低，以至无法恢复交流系统时，本保护动作出口，启动**ESOF**顺序，跳交流开关。



# 直流低电压保护

- 保护区域是换流器
- 在通信系统故障或者在相关主保护拒动时，若逆变器的旁通对投入，或者换流器的高压侧、中性点发生接地故障时，该保护动作出口，启动**ESOF**顺序。因此该保护也叫后备远方站故障检测保护。
- 当极处于闭锁状态、或潮流反转的过程中、或其它保护动作而产生强制移相时，会自动闭锁直流低电压保护。