

高压直流输电系统保护

直流输电系统保护

- 一、 直流保护的配置原则和特点
- 二、 直流保护的功能配置
- 三、 直流保护工程实例

一、直流保护的配置原则和特点

- (一) 配置原则
- (二) 直流保护的特点
- (三) 直流系统保护的动作策略
- (四) 直流系统PT、CT**

(一) 配置原则

1. 可靠性
2. 灵敏性
3. 选择性
4. 快速性
5. 可控性
6. 安全性
7. 可修性

可靠性

- 保护装置完全冗余或三取二配置，每套冗余配置的保护完全一样，有自己独立的硬件设备，包括专用电源、主机、输入、输出电路和直流保护全部功能软件，避免保护装置本身故障，引起主设备或系统停运。
- 每个可以独立运行的换流系统（例如：极）的所有保护功能集中放置在本极的保护装置中，采用集中冗余配置。
- 双极部分的保护功能也应配置在每个极保护装置中，并有自己的测量回路。
- 随着微机技术的发展，直流系统的一些主设备保护逐渐演变成在一定区域集中配置。

灵敏性

- 保护的配置应该能够检测到所有可能的，致使直流系统及设备处于危险情况的，以及对于系统运行来说不可以接受的故障和异常运行情况；
- 直流保护采用分区重叠，没有遗漏，每一区域或设备至少采用相同原理的双主双备保护或不同原理的一主一备保护配置。

选择性

- 直流系统保护分区配置，每个区域或设备至少有一个选择性强的主保护，便于故障识别；
- 可以根据需要退出和投入部分保护功能，而不影响系统安全运行；
- 单极部分的故障引起保护动作，不应造成双极停运；仅在站内直接接地双极运行方式时，某一极故障才必须停运双极，以避免较大的电流流过站接地网；
- 任何区域或设备发生故障，直流保护系统中仅最先动作的保护功能作用；本极的关于极或双极部分的保护无权停运另外的极；
- 保护尽量不依赖于两端换流站之间的通信，必须采取措施以避免一端换流器故障时引起另一端换流器的保护动作。

快速性

- 充分利用直流输电控制系统，以尽可能快的速度停运、隔离故障系统或设备，保证系统和设备安全；
- 措施包括紧急移相、投旁通对、封锁触发脉冲、跳交、直流侧开关等。

可控性

- 通过控制系统控制故障电压、电流等运行参量的方法减轻各种故障对设备的危害程度。

安全性

- 保护应既不能拒动，也不能误动；
- 为了保证设备和人身的安全，在不能兼顾防止保护误动和拒动时，保护及跳闸回路的配置宁可误动也不拒动；
- 跳闸回路应为独立的双跳闸线圈、双操作电源。

可修性

- 各种直流保护功能的参数便于修改；
- 保护的配置应该考虑到装置试验和维护时不会影响到被保护的系统运行。

（二） 直流保护的特点

1. 微机化
2. 与直流控制系统的关系密切
3. 多重冗余配置

1. 微机化

- 1) 集成度高：可以将单独运行的换流系统内，所有能引起该系统停运的设备故障保护集中在一套保护系统中，有关高一级的极或双极的保护功能也都尽可能集中在这个基本的保护系统中。
- 2) 判断准确：便于输入信号处理、定量计算、判据设定、延时选择和冗余配置；因此，提高了保护动作的准确性和系统的可靠性，便于故障分析处理。
- 3) 便于修改：各种功能可以通过软件功能和参数的修改进行修正，方便地投入或退出。
- 4) 经济性好：由于保护功能集中，可以节省保护硬件投资；通过软件修改，提高和完善保护功能，也节省了技改经费；同时系统可靠性提高也带来一定经济效益。

2. 与直流控制系统的关系密切

- 由于直流系统的控制是通过改变换流器的触发角实现的；
- 直流保护动作的主要措施也是通过触发角变化和闭锁触发脉冲完成的；
- 直流系统的控制与保护功能关系密切；
- 直流控制和保护的配合，既能快速抑制故障的发展，迅速切除故障，又能在故障消除后迅速恢复直流系统的正常运行。

3. 多重冗余配置

- 直流系统的保护基本属于系统保护，它包括换流器、直流开关场、中性母线、直流线路及交流开关场保护等不同保护区域的保护功能。
- 直流输电系统为了防止直流保护装置本身的故障，造成运行可靠性降低，直流保护装置采用了冗余配置。
- 直流保护的冗余用于提高保护装置本身的可靠性，最终达到提高整个系统可靠性的目的。
- 三套硬件和电源独立的，功能完全相同的保护通道，输出采用“三选二”方式（即：两两之间先“与”，三个输出再“或”），可以避免任何一套保护装置本身故障造成的保护设备误动和拒动。

直流系统PT、CT类型

1.直流电流

零磁通CT，电流的采集是通过零磁通CT的一组二次线圈和位于直流测量盘的放大器共同完成的，最终形成0-2V 直流电压输出。

光CT，地电位将电源转换为光信号，通过光纤给高电位电路供电；电路将电流相关的电压转为数字信号，再变成光信号送到地电位。

直流系统PT、CT类型

2. 直流电压

采集采用电容式分压器原理，直接送入直流测量盘。

二、直流保护的功能配置

直流系统保护采取分区配置，通常将直流侧保护、交流侧保护和直流线路保护三大类，分为6个保护分区：

- ① 换流器保护区，包括换流器及其连线和控制保护等辅助设备；
- ② 直流开关场保护区，包括平波电抗器和直流滤波器，及其相关的设备和连线；
- ③ 中性母线保护区，包括单极中性母线和双极中性母线；
- ④ 接地极引线和接地极保护区；
- ⑤ 换流站交流开关场保护区，包括换流变压器及其阀侧连线、交流滤波器和并联电容器及其连线、换流母线；
- ⑥ 直流线路保护区。

（一）换流器保护区

本区域主要包括：在阀厅交、直流穿墙套管之内，换流器各种设备故障的电流差动保护、过流保护以及换流器触发保护和本体保护等：

电流差动保护组

- 过流保护组
- 触发保护组
- 电压保护组
- 本体保护组

电流差动保护组

(1) 阀短路保护

保护目的:保护晶闸管换流器, 免受故障造成的过应力。

工作原理:利用阀短路、换流器交流侧相间短路或阀厅直流端出线间短路时, 换流器交流侧电流大于直流侧电流的故障现象作为保护的判据。

动作策略:快速地检测故障并且不投旁通对, 立即闭锁换流器。

(2) 换相失败保护

保护目的:减少因交流电网扰动和其它异常换相条件造成的逆变器换相失败次数; 保证直流系统设备的安全。

工作原理:根据交流侧电流大幅度降低, 同时直流侧电流大幅度增加的故障特征。

动作策略:控制系统切换, 并且不投旁通对, 延时闭锁换流器。

(3) 换流器差动保护

保护目的:检测换流器保护范围内的接地故障。

工作原理:直流中性端穿墙套管和极线端穿墙套管上的直流电流互感器的电流差值。

动作策略:闭锁换流器, 跳开交流断路器, 进行极隔离。

过流保护组

(1) 直流过流保护

保护目的：防止造成换流设备尤其是晶闸管阀过电流损坏。

工作原理：测量换流器直流侧电流的最大值，当发生故障电流超过给定值时，闭锁换流器。

动作策略：闭锁换流器，跳开交流断路器，进行极隔离。

(2) 交流过流保护

此保护与直流过流保护不同的仅是测量为换流器交流侧电流。

触发保护组

阀触发异常保护

保护目的：检测发出控制脉冲后换流阀是否导通，检测意外的阀触发，防止被选为旁通对的阀不能导通，检测旁通对阀的意外导通。

工作原理：换流器的触发系统按要求的导通间隔，向每个阀发送触发脉冲，比较触发脉冲与返回的触发信息，检测阀是否发生故障。这样，阀在触发脉冲间隔之外触发（误触发）或在间隔之内不能触发（丢失脉冲）都能检测到。

动作策略：先切换到冗余控制系统，如果故障仍然存在，则闭锁换流器。

电压保护组

(1) 电压应力保护

保护目的：通过联锁换流变压器分接开关，避免交流电压对所有换流设备产生过高的电气应力，避免阀避雷器过应力以及换流变过励磁。

工作原理：采用交流换流母线电压、分接开关位置来计算理想空载直流电压 U_{di0} ，当电压值超过预设的整定值时，保护动作。

动作策略： U_{di0} 高于一定值，立即禁止进一步增大 U_{di0} 方向的分接开关动作； U_{di0} 高于一个更高的定值，将使分接开关向降低 U_{di0} 方向动作；切换到冗余的控制系统。对于再高的 U_{di0} ，则闭锁换流器，跳开换流变压器交流侧开关。

(2) 直流过电压保护

保护目的：防止所有由于分接开关不正常运行或不正常的换流器开路运行。

工作原理：通过测量直流电压，结合直流电流、触发角来防止直流线路过电压。

动作策略：闭锁换流器，跳开换流变压器交流侧开关。

换流器本体保护组

- (1) **晶闸管监测：** 当一个阀内的晶闸管故障数目达到预先整定的数量时，给出报警。当换流器充电、且任何一个阀内晶闸管故障的数目超过整定值时，需跳开换流变压器交流断路器。其工作原理是每个阀的阀控单元可以检测每个晶闸管在一定时间内是否加上了电压。当晶闸管加上电压时，将通过光纤将一个指示脉冲传到阀控，说明此晶闸管是正常的，否则就是损坏了。
- (2) **大触发角监视：** 检查和限制主回路设备在大触发角运行时所受的应力。用大角度监测功能，计算因特殊要求增加触发角和关断角时，在主回路设备上增加的应力。大角度保护根据阀阻尼电路、阀避雷器和阀内电抗器的理论模型计算换流器最大允许的功率损耗。当大角度运行时，如果超过晶闸管的功率损耗限制值，同时具有较高的 U_{di0} ，大角度监测将在一定延时后，向分接开关发出降低 U_{di0} 的指令，并给出告警信号。若晶闸管阀上的应力进一步增加，大角度监测在一定延时后闭锁换流器。

(二) 直流线路保护区

1. 直流线路故障保护组
2. 直流系统保护组

1. 直流线路故障保护组

(1) **直流线路行波保护**：直流线路故障的主保护，其目的是检测直流线路上的接地故障；故障的恢复策略见下面再起启动逻辑。

(2) **微分欠压保护**：直流线路故障的后备保护，保护的目和动作策略与行波相同。

(3) **直流线路纵差保护**：保护的目的是检测直流线路上的行波和微分欠压保护不能检测到的高阻接地故障。保护的工作原理是，测量并比较两站的极线电流，对测量电流可能出现的时间差应进行延时补偿；故障的恢复策略见下面再起启动逻辑。

(4) **再起启动逻辑**：在行波、微分欠压、纵差等直流线路保护动作后，执行故障清除程序，进行再起启动尝试的功能。当检测到故障时，向电流调节器发出“暂停”指令，并立即将触发角增大到90度以上，使整流器进入逆变运行，整流站和逆变站都使直流线路放电，直流电流很快降到零，在一定的去游离时间之后，进行再起启动尝试。如果故障已经清除，再起启动逻辑将监测直流电压的建立，恢复传输功率。如果直流电压不能建立，说明故障依然存在，再起启动不成功，重新进行移相、降电流的去游离过程。再起启动的次数是根据系统研究预先定好的。在绝缘出现问题时(如：绝缘子污染)，为维持电压应力在较低水平，可采取降压再起启动。当最后一次再起启动不成功时，将闭锁换流器，停运直流系统。

2. 直流系统保护组

(1) **直流欠电压保护**: 直流系统的后备保护; 保护通过测量直流电压或直流电流, 并结合触发角 α , 检测直流线路上的低电压故障。

(2) **线路开路试验监测**: 检测线路开路试验期间, 本站直流场和直流线路的接地故障; 工作原理是: 如果直流电流超过一预先设置值或者直流电压没有按预期地上升, 表明有接地故障发生。当交流侧电流过大时, 保护也会动作。保护动作闭锁换流器。

(3) **功率反向保护**: 检测控制系统故障造成的功率反向, 功率反向的判据是, 在没有功率反向指令的条件下, 如果线路电压在一定时间(如 0.5秒)内极性改变并且超过设定的值, 保护动作闭锁该极。

(4) **直流谐波保护**: 检测由于交直流线路碰线、阀故障、交流系统故障和控制设备缺陷等; 工作原理是, 从直流电流中滤出基波和二次谐波, 当谐波电流超过预定值一段时间后, 保护动作; 当谐波电流较小时, 在一定延时后报警; 当谐波电流较大时, 则闭锁换流器。保护动作策略: 切换到冗余控制系统、闭锁换流器、跳开交流断路器、进行极隔离等。

(三) 直流开关场和中性母线保护区

- 1. 直流开关场电流差动保护组**
- 2. 直流滤波器保护组**
- 3. 平波电抗器保护组**

1. 直流开关场电流差动保护组

(1) **直流极母线差动保护**：保护的範圍是从极母线的直流线路出口的直流电流互感器到阀厅穿墙套管上的直流电流互感器之间的直流母线和设备。有的工程使用中性母线套管上的直流电流测量设备，将保护范围扩展到换流器；工作原理：检测到电流差值按定时限动作；保护动作为切换到冗余控制系统，并且在一定的延时之后，闭锁换流器、跳开交流断路器、进行极隔离。

(2) **直流中性母线差动保护**：保护范围是从阀厅内中性端上的直流电流互感器到极中性母线出口直流电流测量互感器之间的设备；工作原理是：检测到的电流差值作为接地故障的判据，定时限动作；保护动作的策略与极母差保护相同。

(3) **直流极差保护**：保护的範圍是从直流极母线出口，到中性母线出口的直流电流测量点之间，包括换流器、直流滤波器在内的整个直流开关场，作为直流开关场接地故障的后备保护；极直流电流由安装在中性母线和极母线上的电流互感器测量，同时测量避雷器和直流滤波器的电流，这些电流共同判断保护范围内的接地故障；保护动作策略与极母差保护相同。

2. 直流滤波器保护组

(1) **直流滤波器电抗器过载保护**：此保护是直流滤波器的元件保护，检测直流滤波电抗器谐波过载，使滤波器免受过应力；保护具有与电流平方成比例的反时限特性；测量通过滤波器组的电流，并将它与保护整定值比较。跳闸有足够的延时，以避免短时过载保护误动作；保护的整定与滤波器元件的耐热特性相配合；保护动作为，切换到冗余控制系统，断开滤波器，如果是最后一组站极滤波器或故障电流很大时，则闭锁换流器。

(2) **直流滤波电容器不平衡保护**：保护目的是检测电容器的故障，避免直流滤波器组中电容单元的雪崩故障；工作原理是测量电容器中点100Hz、300Hz、600Hz三种频率的不平衡电流，每一种不平衡电流都与流过整个滤波器主电流中的同一频率电流相比较；保护动作为：1段报警；2段报警并延时切除滤波器；3段立即切除滤波器；如果是一个站极最后一组滤波器，则闭锁换流器。

(3) **直流滤波器差动保护**：检测直流滤波器范围内的接地故障。在极线侧和中性线侧测量流过滤波器的谐波电流差值，并与保护整定值比较；保护动作为切除滤波器；故障电流很大或此滤波器为该站极最后一组滤波器时，则闭锁换流器。

3. 平波电抗器保护组

平波电抗器有干式和油浸式两种。

干式平波电抗器的故障由直流系统极母差保护兼顾。

油浸式平波电抗器除了直流系统保护外，还有同换流变压器类似的本体保护继电器，主要有油泵和风扇电机保护；油位监测；气体监测；油温检测；压力释放；油流指示；绕组温度；穿墙套管SF6压力等。

四) 接地极引线和接地极保护区

1. 双极中性线保护组
2. 转换开关保护组
3. 金属回线保护组
4. 接地极引线保护组

1. 双极中性线保护组

(1) 双极中性母线差动保护：保护测量接地极引线、金属回线母线和两极中性母线等流入和流出双极公共中性母线的直流电流，并求代数和；代数和值超过定值是保护区内接地故障的判据。在金属回线方式运行时，有其它保护，此保护不用。

(2) 站内接地过流保护：保护测量接地极引线、金属回路和中性母线上的直流电流，这些电流的代数和超过一定值时，表明保护范围内发生接地故障，发出告警；双极运行首先进行冗余系统切换和极平衡调整，投入中性母线接地开关，转移故障电流便于极隔离，如果已经使用站内接地网，则延时停运直流系统；单极运行，冗余系统切换后故障依然存在，则停运直流系统，跳开交、直流侧开关，进行极隔离。

2. 转换开关保护组

(1) **中性母线断路器保护**：中性母线断路器位于极中性母线上，起连接或隔离换流器和中性线的作用。该断路器保护的目的是，在一极停运时，此断路器断开该极换流器与中性母线的连接，将直流电流转移到接地极引线；如果断路器不能正确地转移电流，保护将使其重合闸。保护工作原理是测量中性母线的直流电流，当发出中性母线断路器打开命令后一段时间，电流不为零，保护将对它发出重合闸指令。此保护用于极隔离。

(2) **中性母线接地开关保护**：保护的目的是在不能从站接地网向接地极引线转移电流时，保护中性母线接地开关。保护测量与开关串联的直流电流互感器的电流，当发出中性母线接地开关打开命令后一段时间，电流不为零，保护将对它发出重合闸指令。

(3) **大地回线转换开关(GRTS)保护**：当电流从金属回线向大地回线转移失败时，保护大地回线转换开关。保护测量流过GRTS的直流电流；当GRTS打开，但电流在一定时间后仍不为零时，保护将重合开关。

(4) **金属回线转换断路器(MRTB)保护**：当电流从大地回线向金属回线转移失败时，保护金属回线转换断路器。保护测量两条接地极引线的直流电流。当断路器断开时如果直流电流在一定时间后仍不为零，保护重合断路器。

3. 金属回线保护组

- (1) 金属回线横差保护：保护只在金属返回线方式运行期间，且在直流系统接地的换流站有效。运行极的保护测量两个极中性线电流和金属回线电流来检测金属返回导线上的接地故障。
- (2) 金属回线纵差保护：保护只在金属返回线方式运行时可用。保护根据两个站测量的金属返回线电流识别金属回线上的接地故障。此外，补偿可能的通信延时，通信中断时保护被联锁。
- (3) 金属回线接地故障保护：保护只在金属返回线方式运行期间，且在直流系统通过接地极接地的换流站有效。保护测量站内接地电流和两条接地极引线电流来检测金属返回导线上的接地故障。

4. 接地极引线保护组

(1) 接地极引线断线保护：保护使中性母线设备免受接地极断线造成的过电压；保护测量极中性母线对地电压，较大的持续过电压作为接地极引线开路的判据；当中性母线电压过高时，保护将发出闭合站内接地开关的指令。

(2) 接地极引线过载保护：保护测量接地极引线导线上的直流电流，整定值需要与接地极引线承受过载水平配合，采用定时限特性，超过整定值一定时间保护动作；保护动作为切换到冗余控制系统、降到一个预定的功率运行。

(3) 接地极引线阻抗监测：保护目的是检测接地极引线故障；通过串联谐振电路向接地极引线注入高频电流，测量谐振电抗上产生的电压和注入接地极引线的电流，通过滤波计算处理后可得到一个从输入端看进去的阻抗；阻抗的改变是接地极引线故障的判据；以接地极引线无故障时，注入电流下的阻抗为整定值，保护动作为报警；保护的后备是接地极引线不平衡监测。

(4) 接地极引线不平衡监测：保护目的是检测两条接地极引线之间的电流不均匀分布；测量两接地极引线间的电流差，此电流差值构成接地极引线导线接地故障或开路故障的判据；保护动作为报警。

(五) 交流开关场保护区

1. 换流变压器差动保护组
2. 换流变压器过应力保护组
3. 换流变压器不平衡保护组
4. 换流变压器本体保护
5. 交流开关场和交流滤波器保护

1. 换流变压器差动保护组

(1) 换流器交流母线和换流变差动保护：保护范围是从换流器交流母线断路器电流互感器到换流变二次侧电流互感器。按相比较流入、流出保护范围的电流，当电流的矢量和超过整定值时保护动作；保护仅对基波电流敏感，对穿越电流、涌流和过励磁是稳定的。

(2) 换流变差动保护：保护检测换流变从一次侧套管上的CT到二次侧套管上的CT之间的故障；保护比较换流变一次侧和二次侧的电流矢量，其中考虑了变比和分接开关位置；保护检测基波电流差值，如果稳态励磁电流的安匝数相等条件不满足，则保护动作；这是判断内部接地故障或绕组匝间短路的依据；在交流电压突然上升(如闭合断路器)之后，将产生短暂的差动电流，保护分析此电流并产生2次谐波制动；安匝数相等这一标准只在换流变不饱和时有效，在持续过电压期间，换流变可能会饱和，也存在差动电流；保护通过检测5次谐波分量来检测过励磁电流，并制动保护。保护中有一个快速动作无制动的功能，仅检测大的差动电流，不检测谐波；保护在区外故障有穿越电流时不应动作。

(3) 换流变绕组差动保护：保护换流变压器绕组，使之免受内部接地故障的损害。一次绕组每相两端分别安装有2个CT测量绕组电流；保护取差动电流与整定值逐相比较，以定时限特性动作。阀侧Y绕组和阀侧 Δ 绕组，每相绕组的两端也都有2个CT测量绕组电流；保护取差动电流与整定值逐相比较，以定时限特性动作。保护动作为闭锁换流器、跳开交流断路器。

2. 换流变压器过应力保护组

- (1) **换流变过流保护**：保护通过测量换流变一次侧电流，检测换流变压器内部故障，并以可选的反时限特性动作；定值的选择能适合保护保护范围内的设备；保护动作为：闭锁换流器、跳开交流断路器。
- (2) **换流器交流母线和换流变过流保护**：保护测量换流器交流母线电流，检测换流器交流母线和换流变区域内的故障，并按照可选的反时限特性动作；保护的整定与在最小短路功率水平和在最大短路功率水平时，故障清除后交流侧的预期涌流相配合，能快速地清除严重故障、以及当短路功率较小时能有一定的灵敏度或故障不太严重时，有一合理的较短的延迟时间。
- (3) **换流变热过负荷保护**：保护检测换流变压器过载，测量换流变一次绕组电流并按照可选的发热时间常数动作；保护定值按照变压器制造厂提供的绕阻温度与外部温度的热曲线设置；保护动作为报警。
- (4) **换流变过励磁保护**：保护以变压器制造厂提供的过励磁曲线，选择换流变交流母线电压比值与频率比值和延时，确定保护整定值；保护动作为闭锁换流器、跳开交流断路器。

3. 换流变压器不平衡保护组

(1) **换流变中性点偏移保护**：保护检测换流变阀侧交流连接线上的接地故障。对于每个6脉动换流桥，通过阀侧换流变套管上的末屏抽头测量换流变阀侧三相对地电压的矢量和；如果换流器闭锁且没有发生接地故障，矢量和为零；在发生单相接地故障时，只要换流器闭锁，就不会有严重的故障电流出现，但在阀侧电压中会出现明显的零序分量。保护检测零序分量并与整定值比较；当换流器解锁时保护必须退出。

(2) **换流变零序电流保护**：保护测量换流变中性点电流，三相电流瞬时值代数和输入保护，因此保护对零序电流分量敏感。保护分解电流并构成涌流(2次谐波)制动；保护动作为闭锁换流器、跳开交流断路器。

(3) **换流变饱和保护**：保护的目的是防止直流电流从中性点进入换流变压器而引起换流变压器饱和；保护监测变压器一次侧中性点电流和；在单极大地运行方式，或在双极不平衡运行，直流中性母线接地刀闸闭合时，将引起的换流站接地网电压升高，有直流电流流过换流变中性点，这个电流较大时使变压器直流饱和。保护动作为：报警、闭锁换流器、跳开交流断路器后断路器应有效闭锁，直到变压器充分冷却。

4. 换流变压器本体保护

换流变保护继电器主要有：油泵和风扇电机保护、油位检测、气体检测、油温、压力释放、油流指示、绕组温度、套管SF6密度和油流(分接开关)继电器等。

5. 交流开关场和交流滤波器保护

(1) 换流器交流母线差动保护：保护范围是从换流器交流母线断路器电流互感器到换流变一次侧绕组电流互感器；流入保护范围的电流按相比较，当电流矢量和不为零时保护动作；保护仅对基波电流敏感，对穿越电流是稳定的；保护动作为闭锁换流器、跳开交流断路器。

(2) 换流器交流母线过压保护：保护防止严重的持续过电压对换流变压器和换流器产生损害；保护测量换流器交流母线的每相电压，对基波电压敏感，同时也对7次以内的谐波敏感；相电压与固定的参照值比较以检测异常过电压情况；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；定值的选择应能避免在交流电网操作过电压下保护误动；保护动作为闭锁换流器、跳开交流断路器。

(3) 交流滤波器保护：对构成交流滤波器的电容器、电抗器和电阻器等每一元件都应当予以保护，也包括并联电容器组的保护；处于高压的电容器组通常布置成H型结构，以便通过检测其中点桥差电流而构成电容器组的不平衡保护；还可以通过检测流过滤波器的电流，配置并联电容器的过流保护和电抗器接地故障保护，还有电抗器和电阻器热检测的过负荷保护、并联电抗器内部短路接地的电流差动保护，以及通过对滤波器中零序电流和各相阻抗值变化的检测而设置的滤波器失谐保护等。

5. 交流开关场和交流滤波器保护

(4) **最后断路器保护：**保护监测换流变进线连接状态，当最后一条进线断开，应立即闭锁换流器。保护监测相关的连接点，并且综合考虑最后一条进线的跳闸信息或能导致进线跳闸的保护动作信号。

(5) **其它：**换流站中的辅助设备，如换流阀的冷却设备，变压器和电抗器的冷却设备，断路器的压缩空气系统，蓄电池及其充电系统，不停电电源等，都应配置监视和保护装置。当这些设备失去备用时，相应保护应报警。当某设备的功能失效，致使它所服务的设备可能遭受过应力时，相应保护应发出跳闸信号。

三、 直流保护工程实例

- (一) 天-广直流工程
- (二) 三-常直流工程

(一) 天-广直流工程

天-广直流工程的直流保护采用德国SIEMENS公司的SIMADYN D系统，是一种高速多微处理器DSP系统。直流保护的冗余方式同样为三取二配置。天-广工程的直流保护分别放在三个独立的机柜中，直流测量信号通过光纤直接取自一次回路，两套三取二选择硬件电路分别安放在其中两个保护柜中，输出与其他装置的保护跳闸信号一起分别送给换流器两个控制通道及变压器保护柜的两套跳闸回路。

(二) 三-常直流工程

三-常直流工程的直流保护系统采用瑞典ABB公司的MARCH2系统。它包括以下四组保护：①换流器保护；②极保护(包括：直流开关场保护、中性母线保护、直流线路保护和直流滤波器保护)；③双极保护(包括：双极中性线及接地极引线保护)；④换流器交流母线和换流变压器保护。

直流控制保护系统采用了冗余工作与备用概念。每套系统由主保护和备用保护构成。两套主系统中的任何一套都由两个主机（MC1和MC2）构成，其中，MC1包括直流控制和第一套保护，MC2包括第二套保护。