
第一部分 电力系统继电保护的基础知识

电力系统 :由发电电厂中的电气部分 ,变电站 ,输配电线路 ,用电设备等组成的统一体 :它包括发电机、变压器、线路、用电设备以及相应的通信 ,安全自动装置 ,继电保护 ,调调自动化设备等。

电力系统运行有如下特点 :

- 1、电能的生产 , 输送和使用必须同时进行。
- 2、与生产及人们的生活密切相关。
- 3、暂态进程非常短 , 一个正常运行的系统可能在几分钟 , 甚致几秒钟内瓦解。

电力系统继电保护的作用。

电力系统在运行中 , 可能由于以下原因 , 发生故障或不正常工作状态。

- 1、外部原因 : 雷击 , 大风 , 地震造成的倒杆 , 绝缘子污秽造成污闪 , 线路覆冰造成冰闪。
- 2、内部原因 : 设备绝缘损坏 , 老化。
- 3、系统中运行人员误操作。

电力系统故障的类型 :

- 1、单相接地故障 D (1)
- 2、两相接地故障 D (1.1)
- 3、两相短路故障 D (2)

4、三相短路故障 D (3)

5 线路断线故障

以上故障单独发生为简单故障。在不同地点同时发生两个或以上称为复故障。

电力系统短路故障的后果：

- 1、短路电流在短路点引起电弧烧坏电气设备。
- 2、造成部分地区电压下降。
- 3、使系统电气设备，通过短路电流造成热效应和电动力。
- 4、电力系统稳定性被破坏，可能引起振荡，甚至解列。

不正常工作状态有：电力系统中电气设备的正常工作遭到破坏，但未发展成故障。

不正常工作状态有：

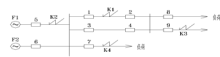
- 1) 电力设备过负荷，如：发电机，变压器 线路过负荷。
- 2) 电力系统过电压。
- 3) 电力系统振荡。
- 4) 电力系统低频，低压。

电力系统事故：电力系统中，故障和不正常工作状态均可能引起系统事故，即系统全部或部分设备正常运行遭到破坏，对用户非计划停电、少送电、电能质量达不到标准（频率，电压，波形）、设备损坏等。

继电保护的作用，就检测电力系统中各电气设备的故障和不正常工作状态的信息，并作相应处理。

继电保护的基本任务：

- 1) 将故障设备从运行系统中切除，保证系统中非故障设备正常运行。
- 2) 发生告警信号通知运行值班人员，系统不正常工作状态已发生或自动调整使系统恢复正常工作状态。



电力系统对继电保护的基本要求（四性）

- 1) 选择性：电力系统故障时，使停电范围最小的切除故障的方式。
- 2) 快速性：电力系统故障对设备、人身、系统稳定的影响与故障的持续时间密切相关，故障持续时间越长，

设备损坏越严重；对系统影响也越大。因此，要求继电保护快速的切除故障。

电力系统对继电保护快速性的要求与电网的电压等级有关。

35kV及以下	保护动作时间	工段	60-80ms
---------	--------	----	---------

110kV	工段	40-60ms
-------	----	---------

220kV	高频保护	20-40ms
-------	------	---------

500kV		20-40ms
-------	--	---------

快速切除故障，可提高重合闸成功率，提高线路的输送容量。

3) 灵敏性：继电保护装置在它的保护范围内发生故障和不正常工作状态的反应能力(各种运行方式 ,最大运行方式 ,最小运行方式) ,故障时通入保护装置的故障量与保护装置的整定值之比 ,称为保护装置的灵敏度。

4) 可靠性：

①保护范围内发生故障时，保护装置可靠动作切除故障,不拒动。

②保护范围外发生故障和正常运行时，保护可靠闭锁,不误动。

在保护四性中：重要的是可靠性，关键是选择性，灵敏性按规程要求,快速性按系统要求。

常用的名词解释：

主保护：满足系统稳定和设备安全的要求，能以最快的速度有选择性的切除电力设备及输电线路故障的保护。

对于220kV以上线路,要求主保护全线速动，则其主保护为高频方向，高频距离,光纤差动，距离保护不是主保护。

后备保护：当主保护或断路器拒动时，用来切除故障的保护.后备保护可分为远后备保护和近后备保护。

近后备保护：当主保护或断路器拒动时，由本线路其它保护或本电力设备其它保护切除故障，当开关失灵时，由开关失灵保护切除故障。

远后备保护：当主保护或断路器拒动时，由相邻线路保护切除故障。

辅助保护：为补充主保护和后备保护的性能，或当主保护，后备保护退运行时而增设的保护。

如：一个半开关接线的短线保护，远方跳闸保护，过电压保护，

异常运行保护：反应被保护线路和设备异常运行状态的保护。

如：过负荷、过电压磁 振荡解列，低周减负荷等。

振荡解列装置：当系统正常运行时，两个系统发生振荡，将两系统分开的装置。

第二部分 500kV变电站继电保护的配置

一、500kV变电站的特点

1) 容量大。一般装750MVA主变1-3台，容量为220kV变电站5-8倍。

2) 出线回路数多 一般：500kV出线4-10回 220kV出线6-14回

3) 低压侧装大容量的无功补偿装置 ($2 \times 120\text{MAR}$)

4) 在电力系统中一般都是电力输送的枢纽变电站。其地位重要，变电站的事故或故障将直接影响主网的安全稳定运行。

5) 500kV系统容量大，单机容量大，(30万千瓦、70万千瓦)机组，短路电流倍数增加，500kV线路采用4分裂异线 $4 \times 300\text{mm}$ 。导线电阻小，一次系统时常 (50-200ms)。保护必须工作在暂态过程中，需用暂态CT。

6) 500kV变电站。电压高、电流大、电磁场强、电磁干扰严重，包括对一些仪器仪表工作的干扰。

二、500kV变电站主设备继电保护的要求

1) 500kV主变、线路、220kV线路，500kV、220kV母线均采用双重化配置。

2) 近后备原则

3) 复用通道 (包用复用截波通道，微波通道，光纤通道)。

三、500kV线路保护的配置

1、500kV线路的特点

a) 长距离200-300km，重负荷可达100万千瓦。

使短路电流接近负荷电流，甚至可能小于负荷电流

例：平武初期：姚双线在双河侧做人工短路试验。

姚侧故障相电流仅1200多A。送100万千瓦负荷电流=1300A

b) 线路经过山区，土地的电导率小，塔脚的接地电阻大。

c) 500kV线路有许多同杆并架双回线，因其输送容量大，发生区内异名相跨线故障时，不允许将两回线同时切除。否则将影响系统的安全运行。(系统稳定导则 n-1原则 线路末端跨线故障时，首端距离保护，会看或相间故障。

d) 500kV一般采用1个半开关接线，线路停电时，开关要合环，需加短线保护。

e) 并联电抗器保护需跳对侧开关，需加远方跳闸保护。

f) 线路输送功率大，稳定储备系数小，要保证系统稳定，要求包动作速度快，整个故障切除时间小于100ms。保护动作时间一般要 $\leq 50\text{ms}$ 。(全线故障)

g) 线路分布电容大

500kV线路、相间距离为13m、线分裂距离45cm、正三角分裂、正四角分裂、相对地距离12m。

500kV线路电阻和电抗 (欧/km) LGTQ-400 $R=0.0266$ 、 $XL=0.299$

500kV线路MV.A/100km LGTQ-400 1.19MF/100KM 95.4MVA/100KM 130A/100KM

短路过程中，分布电容电流产生高频自由分量

稳态电容电流使线路两侧电流幅值和相位产生差异。

线路空投时，末端电压高。要加并联电抗器。

h) 为限制潜供电流，中性点要加小电抗器

2、配置原则：

1) 500kV线路保护配置原则：

设置两套完整、独立的全线速动保护两套保护的交流电流、电压、直流电源彼此独立，每一套主保护对全线内部发生的各种故障(单相接地、相间短路，两相接地、三相短路、非全相再故障及转移故障)

每套保护具有独立的选相功能，实现分相和三相跳闸。

断路器有2组跳圈时，每套保护分别起动一组跳闸线圈

每套主保护分别使用独立的高频信号传输设备，若一套采用专用收发信机，另一套可与通信复用通道。

2) 500kV线路后备保护的配置原则

线路保护采用近后备方式

每条线路均应配反映系统D1、D1-1、D2、D3 各种类型故障的后备保护，当双重化的主保护均有完善后备保护时可不再另配。

对相间短路，配三段式距离、对接地故障，配三段接地距离和反时限零序保护，过度电阻>300欧

配过电压和远方跳闸保护。

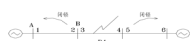
3.500kV线路保护的配置

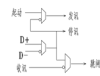
1、主保护：满足系统稳定要求和设备安全，能以最快速度有选择性切除被保护线路及设备的各种故障的保护。

1.1 高频保护：由继电保护和通信两部分组成

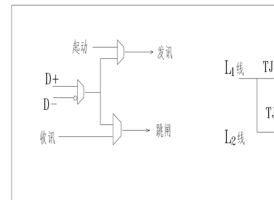
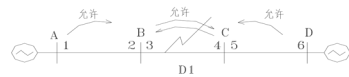
1.1.1 方向高频保护：由线路两侧方向元件分别对故障方向作出判断，并将判断结果通过高频通道传送给对侧，两侧保护根据方向元件和高频信号进行综合判断决定区内、区外故障。根据高频信号在综合判断中的作用，方向高频保护可分为允许式和闭锁式。

1.1.2 高频闭锁式方向保护 500kV线路用得较少（仅行波）





1.1.3 高频允许式方向高频保护：



方向高频保护中的方向元件：

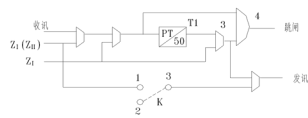
- a) 另序方向元件 仅能反应接地故障
- b) 负序方向元件 仅能反应不对称故障
- c) 相电压补偿式方向元件
- d) 工频变化量方向元件
- e) 行波方向元件
- g) 阻抗方向元件，反映对称故障

1.1.4 超范围和欠范围允许式高频保护

当方向元件由距离元件构成时，其构成方式有两种，由距离

I段发讯的 欠范围允许式 POTT

II III 段发讯的叫超范围允许式 PUTT



PUTT K1-3通

PUTT K2-3通

T1 1-8ms 抗干扰延时 记忆50ms保证对侧可个别跳闸。

1.1.5 相差高频保护：一般500kV线路不用。

1.1.6 导引线差动保护：短线路用。

1.2 光纤电流差动保护：比较被保护线路两侧电流的幅值和相位，而两侧电流的波形，幅值、相位、需用光纤通道，向另一侧传输。



工作原理： $\left| \dot{I}_M + \dot{I}_N \right| - K \left| \dot{I}_M - \dot{I}_N \right| > I_O$

K制动系数 I_O 最小启动电流

外部故障 I_m I_n 相差180° $I_m + I_n = 0$ $I_m - I_n = 2I_m$ 或 $2I_n$

内部故障 I_m I_n 相差0° $I_m + I_n$ 较大 $I_m - I_n$ 较小且乘 < 1 的K值。

目前差动保护厂家较多，各自有特点

a) RCS--931A 光纤电流差动保护：南端产品：

变化量相差动： $\left| \Delta I_M \phi + \Delta I_N \phi \right| > 0.75 \Delta I_R \phi$

ΔI_R 为 $\Delta I_M \phi + \Delta I_N \phi$ 算量和

$$|\Delta IM\varphi + \Delta IN\varphi| > IH$$

IH ，为4倍实测电容电流和 $\frac{4U_N}{xc_1}$ 的最大值

稳态量差动I II段

$$|IM\varphi + IN\varphi| > 0.75IR\varphi$$

$$IR\varphi = |IM\varphi - IN\varphi| \quad K=0.75$$

$$|IM\varphi + IN\varphi| > IH \quad I \text{同上 II段 } IH=1.5 \text{倍}$$

另序差动I II段

$$|IM0 + IN0| > 0.75 |IM0 - IN0|$$

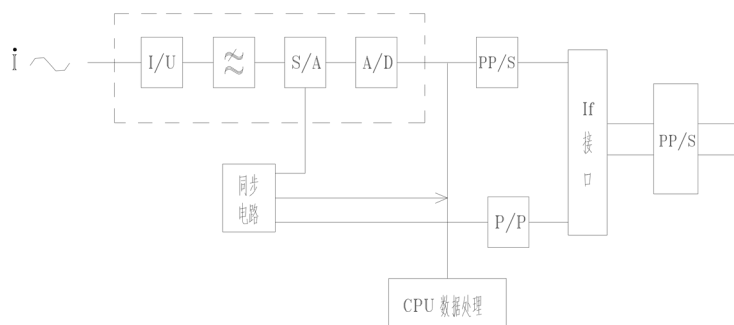
$$|IM0 + IN0| > IQD0 \quad IQD0 \text{为另序电流超动值}$$

$ICDBC$ 中 $> 0.15IR$ $ICDBC\varphi$ 为补偿后的差流

$ICDBC\varphi > IL$ IL 为 $IQD0 \cdot 0.6$ 实测 $IC \cdot \frac{6U_N}{xc_1}$ K值。

CSL-103 WXH-803与RCS-931；原理基本相同

PCM脉码调制数字电流差动保护：



模拟量电流经隔离，强弱电转换，滤波（低通）采样-模数复换

经P/S转换为串行码。一送IF接口-64K/S的电信号-PCM-2M/S。

同步电路：

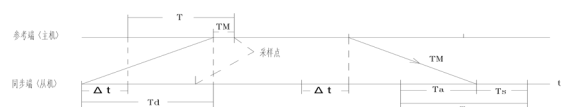
1) 控制两侧三相电流同步采样

2) 保证两侧采样同步，补偿信号通信传输延时

两侧采样同步过程：

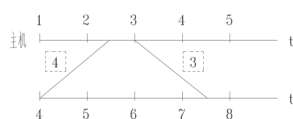
将线保护一侧设置为参考端（也称主端）另一侧设置为同步端（或从端）。

由同步端，先发一同步请求命令，（内容包含采样标号，数据信息与时间。参考端收到该信息帧，便可计算其到本端一下采样点的时间 T_M ，并返关一帧信息，（含 T_M 值，及发送该帧的时间，收到同步请求帧的时间，同步端收该信息，便可计算，同步端采样点，与参考端采样点之间的时间差 Δt ，和通道延时间 T_M 。并调整本身的采样时间，让其与对侧同步采样。



采集同一时刻的采样值：在进行数据传送时，要传送该帧数据的编号4。

主机在收到其编号后再将它送回，从机在采集第8组数据时，收到主机信号（第3组数据）其中包含本侧送去的编号4。从机便知道主机的第3组信号和本侧第6组信号（ $(4+8)/2=6$ ）为同一时刻采样值。



数据通信的帧格式：一帧信号的格式，各装置不相同，但其包含的基本要素相同，每帧包含有控制字。采

样标号 iA iB iC

开关量 CRC

控制字	采样标号	iA	iB	iC	开关量	CRC
1字节	1字节	4字节	4字节	4字节	1字节	2字节

控制字：含帧的性质，保护启动元件的逻辑状态，数据窗的选择，三跳位置。

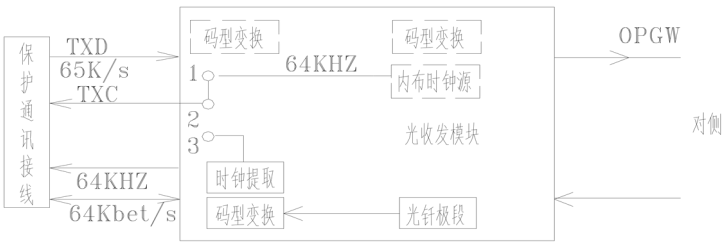
采样标号：二进字的八位数,每采样一次加一。

三相电流相量：每相4字节前2个虚部，后三个实部。

CRC冗余校验码，如发现错误舍弃。

光纤差动保护的时钟方式

1) 专用光纤通道



发送数据采用内部时钟，两侧装置发送时钟工作在主—主方式,接收时钟采用从接收数据流中提取时钟。

复用方式：上图中2-3连，1-2断，若复用SDH时，两侧装置发送时钟工作在从—从方式下，数据发送和接收

均为同一时钟源，但复用PDH时，应一侧设为主时钟，另一侧设为从时钟。

2 . 500kV线路的后备保护

2.1 配三段相间距离

2.2 配三段接地距离

2.3 配三段另序方向或另序反时限

3 . 500kV线路的辅助保护

3.1 三相过电压保护，第一时间跳本侧，第二时间跳对侧

3.2 短线保护（合环运行时用）

3.3 远方跳闸保护（加就地判拒）

4 . 500kV线路重合闸，按开关配置

4.1 重合闸沟三跳仅沟开关本身，不能沟线路保护三跳

第三部分 500kV电力变压器保护的配置

一、500kV母线保护的特点

1.1 变压器工作电压高(500kV)，通过容量大 (750MVA/750MVA/180-240MVA) 在电网中的地位特别重

要。

1.2 变压器故障或其保护误动造成变压的停电，将引起重大经济损失。

1.3 变压器造价高，组装、拆卸工作量大，抢修时间长。

1.4 500kV电力变压器的低压侧，一般装有大容量无功补偿装置(3×60MaV电抗器 ,2×60Mavr)。大容

量的电容器在变压器内部故障时，将提供谐波电流，影响保护动作的正确性。

1.5 高压大电网的出现，大容量机组增加，电力系统短路电流幅值增大，衰减时间常数大。短路的暂态时

间加长,其保护必须在变压器故障的暂态过程中动作,因此,用于主变保护的CT、PT必须适合暂态工作条件。

1.6 500kV变压器体积大(运输尺寸7×4×4m),重量(充氮165t),为了减少重量,提高材料的利用率,降低造价,其工作铁芯磁通密度高(一般在1.7t以上),铁芯采用冷扎硅钢片,磁化曲线硬,变压器过压力磁时,压力磁电流增加大,过压力磁对变压器影响大。

1.7 为保证可靠性,500kV变压器保护采用双重化配置。

二、电力变压器的故障

2.1 油箱内部故障:匝间短路,单相接地短路,相间短路(500kV变压器为单相式,不存在相间短路)。内部故障电流将产生电弧,会烧坏线圈的绝缘和铁芯,引起绝缘油气化使变压器爆炸。

2.2 油箱外部故障:主要是绝缘套管和引出线的故障(包括引线相间短路,单相接地短路等)。

2.3 变压器的异常运行方式:

- a) 油箱内油位降低;
- b) 外部短路引起的泄流;
- c) 电负荷引起的过压力磁;
- d) 超负荷;
- e) 温度、压力、冷却器全停。

三、变压器保护的配置

3.1 纵联差动保护:(主保护)

3.1.1 基本要求:

1) 应能躲过压力磁涌流和外部故障的不平衡电流，以免变压器在空载投入或切除外部穿越性故障时，出

现压力磁涌流误动。

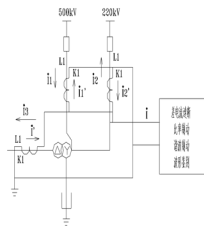
2) 在变压器过压力磁时，差动保护不误动。

3) 在变压器内部故障、CT饱和时，不拒动。

4) 在变压器内部故障、短路电流中含有谐波分量时，不拒动。

5) 保护应反应区内各种短路故障，动作速度快，一般不大于30ms。

3.1.2 差动保护的构成：



基本原理：基尔霍夫定理：正常运行时或外部短路时，变压器三侧电流的向量和为0（归算到同一侧）。

正常运行或外部故障时 $\dot{I}_j = \dot{I}_1' + \dot{I}_2' + \dot{I}_3' = 0$

内部故障时 $\dot{I}_j = \dot{I}_1' + \dot{I}_2' + \dot{I}_3' = \dot{I}_d'$

3.1.2.1 差动速断保护：保护变压器内部严重故障产生较大的短路电流，其整定值大于压力磁涌流，一般

取大于 $8I_e$ 即可。

3.1.2.2 比率制动功能：

$\dot{I}_1' + \dot{I}_2' + \dot{I}_3' - K (\dot{I}_1' + \dot{I}_2' + \dot{I}_3') \dot{I}_{cb}$ (门坎)

K值取0.6-0.8之间。

比率制动回路的几种接法：

a) 单侧电源双绕组变压器：一侧制动，制动绕组按负荷侧；

b) 双侧电源双绕组变压器：两侧制动，各按一侧电流；

c) 单侧电源三绕组变压器：两侧制动，均按负荷侧；

d) 多电源三绕组变压器：采用三侧或四侧制动。

比率制动的目的：

1) 防止外部故障时，产生的不平衡电流（主要是一侧CT饱和的情况）。

2) 正常运行的不平衡电流。

a) 各侧电流互感器型号不同而产生的不平衡电流

型号不同，饱和特性不一样，压力磁电流不同，不平衡电流较大。

b) 计算变比与实际变比不同而引起的不平稳电流

CT采用的标准变比（与计算相近的）

$$\frac{nL_2}{nL_1} = nB \quad \text{或} \quad \frac{nL_2}{nL_1 / \sqrt{3}} = nB \quad \text{三者关系不能完全满足等式}$$

c) 带负荷调整抽头引起的 nB 变化产生不平衡电流。

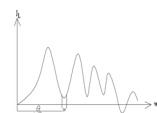
3.1.2.3 谐波制动功能：

基本原理：利用励磁涌流中的谐波分量制动。

励磁涌流：当变压器空载投入和外部故障切除后，电压恢复时，可能出现数值很大的励磁电流（即励磁涌流）。

采取的措施：利用谐波制动

分析压力磁涌流可发现其有如下特点：



①很大的非周期分量，偏于时间轴一侧；

②含有大量高次谐波，其中二次谐波为主，占基波30-50%。

③波形之间出现间断，在一个周期中间断角为 α 60-65°。

3.1.2.4 间断角制动功能

原理：利用励磁涌流波形出现间断的特点，检测间断角当 $\alpha >$ 某一角度时，闭锁。

3.1.2.5 速饱和和制动功能

原理：利用励磁涌流的非周期分量使铁芯饱和制动。

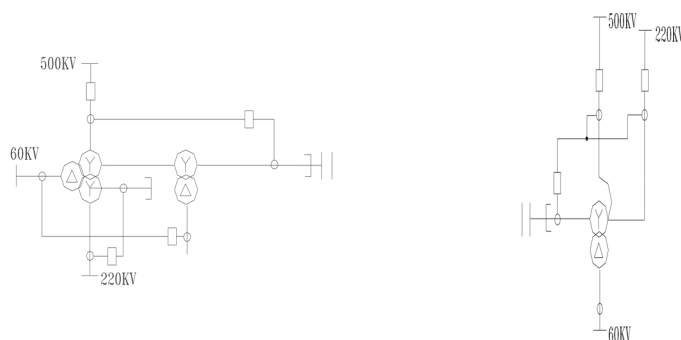
3.2 分侧差动保护

上述差动保护，采取了许多措施来防止其误动。(但其正确动率仅有60%) 在大型变压器中，低压侧均装

设大电容补偿装置，使得内部故障时短路电流谐波分量加大，可能造成差动拒动。

基本原理：流入变压器各侧绕组的电流，流出该绕组另一侧(外部故障和空载时)，则流入差动继电器的

差流为0，不误动。



分侧差动保护，要求变压器的每侧绕组要装电流互感器，这对500kV电力变压器的高、中压侧可以做到。

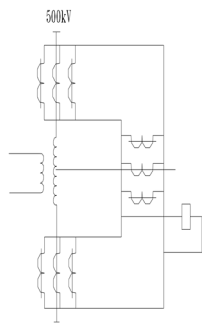
低压绕组有困难时，可以不装。

原因是：①低压侧为小电流接地系统单相故障不跳闸，500kV变压器为单相式，内部不可能有相间短路。

②500kV变压器高、低、中低之间阻抗大，低压侧短路对系统影响。

一般在低压组装电流速断。

3.3 另序差动保护，当有耦变压器的差动保护，对接地故障的灵敏度不够时，应装设另序差动保护。



用于另序差动保护的各侧
CT，必须选用相的变比。

4、相间后备保护

为了运行方便，目前我国500kV变压器均是单相式，变压器内部相间故障不可能存在。配置相间后备保护的目的是防止引线相间短路和相邻母线相间短路的后备。

基于以下原因：相间后可以取消或简化。

①目前500kV变压器均配2套主电量保护，能可靠切除引线相间故障。220kV线路已按双重化配置，220kV母线也接双重比配置。

②引线相间故障相率小，500kV相间7.5m，220kV相间3.5m。

③500kV、220kV主要故障是单相接地和相间接地故障，这种故障主要由接地保护完成。

因此，目前500kV变压器仅在高、中压侧各配一套带偏移特性的阻抗保护，代压侧配电流电压保护。

方向：220kV阻抗，正方向指向变压器，反向10%偏移 to 母线500kV。

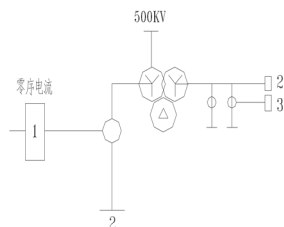
有争议：焦点是作谁的后备。

5、接地后备保护

5.1 接地阻抗保护，一般装于高、中压侧，方向与相间阻抗相同。

5.2 另序电流方向保护（普通变压器不带方向）

5.2.1 普通三绕组变压器500kV接地保护



另序过流保护分为二段：

I段与500kV出线另序I段配合，若500kV为双母线或单相分段接线，则从 $t_I >$ 大于线路另序I段时限，

跳母联或分段开关跳 t_{II} 跳500kV侧开关， t_{III} 跳主变各侧。

若为1开关接线， $t_I >$ 线路另序I段时限跳500kV侧开关

t_{II} 时限跳主变各侧

III段按躲进线路出口相间短路的不平衡电流整定

以大于 t_{III} 时限跳主变三侧

220kV侧另序过流保护：

500kV变压的220kV中性点是采取分级绝缘的，允许直接地运行和经间隙接地运行，一般装二套另序过

流（装一套用定位切换），其段数和动作时间与500kV另序过流相同。

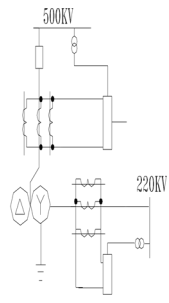
5.2.2 自耦变压器的接地保护：

有两个特点：1）自耦变压器高、中压侧有电的联系，有其公接地中性点，当高压侧或中压侧单相接地时，

另序电流可以在高、中压之间流动，流经中性点的另序电流大小，随短路点的位置和系统动量另序阻抗有关。

2）自耦变压器另序电流保护需加方向元件。

所以自耦变压器另序保护的接线为



其它与普通三绕组变压器相同。

6、过励磁保护：

变压器绕组的感应电压 $V = 4.44 f w B S \times 10^{-8}$

f 频率， S 铁芯面积， w 线圈匝数， B 磁通密度

$$B = \frac{10^{-8}}{4.44 W S} \cdot \frac{v}{t} = K \frac{v}{t}$$

一般大型变压器铁芯正常工作磁密比较高(1.7-1.8) ,T接近饱和状态(1.8-1.9) ,磁化曲线硬 ,过励磁

时，铁芯饱和，励磁阻抗下降，激磁电流增加，当 ϕ 达到1.3-1.4 ϕ_n 时， $I_L = I_e$

一般厂家对变压器过压力磁都进行时间限制，以下是法国、日本变压器过压力磁特性：

法 国

运载条件	满载				
过电压倍数	1.05	1.1	1.2	1.3	1.4
允许时间	长期	20min	1min	ps	1s

日 本

运载条件	满载		
过压倍数	1.05	1.2	1.3
允许时间	长期	10min	3min

一般装在500kV侧、220kV调压影响定值，分两段，一段报警，一段延时跳闸。

7、自耦变压器过负荷保护

自耦变压器高、中、低压绕组的容量比100/100/30~50,高、中变比为2,其公绕组长期允许的电流与高压绕组相同。

过负荷保护可采用单相式,用于发信号。

正常运行时,起始负荷的等效起始电流 I_e , $I_{e\text{起始}} = 0.2g\sqrt{I_1 \dots + I_n}$ 。

变压器允许过负荷时间 (小时)

起始负荷倍数	过负荷倍数=(负荷电流/定额电流)		
	1.1	1.2	1.3
0.75	4	1.2	
0.5	4.5	1.5	0.5

8、冷却器全停保护 (指风扇、油泵均停)

国标规定 :

变压器额定使用条件 :	最高气温	+ 40℃
	最高日平均温度	+ 30℃
	最高年平均气温	+ 20℃
	最低气温	- 30℃
	自然温循环、风冷	强油风冷
绕组对空气的温升	65℃平均值	65℃平均值
绕组对油的温升	21℃平均值	30℃平均值
油对空气的温升	44℃平均值	35℃平均值
油对空气的温升	55℃ (最大值)	40℃ (最大值)

为使绕组对空气的平均温升不超过极限值，在环温 + 40℃时

自然油循环、风冷，顶层油温升不得超过95℃

强返油循环、风冷，顶层油温升不得超过80℃

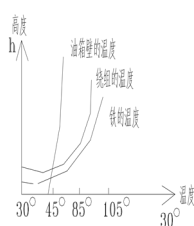
绕组最热点温升，比平均温升高13℃，即65℃ + 13℃ = 78℃

变压器的温度保护

①变压器的发热与冷却：

在运行时，变压器绕组和铁芯中的电能转变为热能，使变压器各部位温度增高，铁芯和绕组的热量先传

给油，然后通过外壳和散热器扩散到周围介质，最热处在上部。



三个温度：温度Qo 绕组温度Qw 环温Qa

两个温升：最大温升、平均温升

最大温升：油或绕组最热处的温升

平均温升：整个绕组或全部油的平均温升

不同变压器有不同的规定，并与负荷相关

负荷100%额定值 20分钟

负荷75%额定值 45分钟

负荷50%额定值 60分钟

空载运行 4小时

此时应严密监视上层油温，其温升不得大于55℃。

冷却器全停 + 30分 + 75℃跳闸。

非电量保护除瓦斯必须投入跳闸外，温度、冷却器等保护各网省局有不同要求。

第四部分 500kV母线保护的配置

1、500kV母线保护的特点：

- a) 母线发生短路的机率比线路少，但母线故障不能迅速可靠切除，对系统的影响大。
- b) 500kV母线大多采用1接线，母线故障，保护动作切除时，可不中断对用户供电，即不怕误动，怕拒动。
- c) 母线运行方式变化大，在最大 运行方式下发生区外故障时，CT可能饱和，不平衡电流大；最小运行方

式，区内故障时，短路电流可能较小，灵敏度不够。

由于上述原因：220kV 500K上母线保护一般不采用普通电流差动保护

2、500kV1接线母差保护配置。

BP-2A微机母线差动保护

一、装置的主要特点

- 1) 采用复式电率差动原理，区外故障时，有极强的制动特性，区内故障时,灵敏性高。
- 2) 具有母线运行方式变化时，自适应能力，倒母操作时，保护无需退出，无触点自动切换差动电流回路和

差动出口回路。

- 3) 以大差动判别故障，各段小差动选择故障母线。

- 4) 完善的保护方案，抗CT饱和能力强。

5) 母线上各线路单元CT变比可任意选择，可由用户在现场设定。

6) 适时监视CT，PT二次回路，开关量输入回路。

二、装置的主要功能

1) 母线分相比率差动保护

2) 失灵保护的出口回路

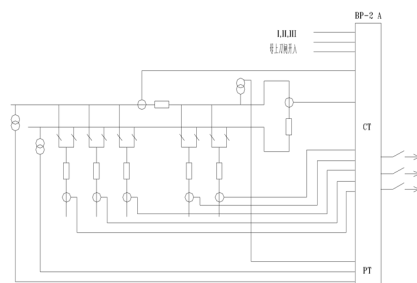
3) 母联失灵（死区）保护回路

4) 母线充电保护

5) 复合电压闭锁

6) CT断线闭锁，PT断线告警回路

三、装置的原理接线图



四、装置的基本原理

1) 复式比率制动原理：

$$\text{动作判据 } I_d \begin{cases} I_{dset} & <1> \\ \frac{I_d}{I_r - I_d} K_r & <2> \end{cases}$$

$$\text{其中：} I_d = \left| \sum_{i=1}^n \dot{I}_i \right| \quad \text{矢量和}$$

$$I_r = \sum_{i=1}^n \left| \dot{I}_i \right| \quad \text{标量和}$$

$\dot{I}_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为母线上各支路二次电流量。

I_{dset} 差动电流定值 K_r 比率制动系数

分析：两种极端情况

1) 理想情况，外部短路时差电流为0。即 $I_d = 0$

〈2〉式 $\frac{0}{I_r} = 0$ $K_r > 0$ 的，即〈2〉条件不满足，不误动。

2) 区内故障时 $I_r = I_d$ $\frac{I_d}{I_r - I_d} = \infty$ 大 $\gg K_r$ 可信动作

五、母线差动保护的构成

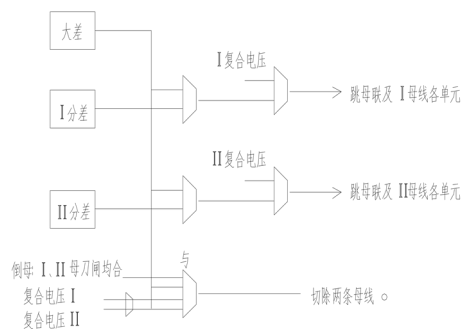
a) 大差动回路，双母线上除母联开关CT，和分段开关CT外其余各元件CT量均采集，构成差动。

b) 各段母线小差动，连接该段母线上的所有元件CT，含与该段母线相连的分段和母联CT。

c) 大差判别区内，区外故障，小差选择故障母线。

d) 小母差经母线刀闸位置的选择电流回路。

e) 动作逻辑



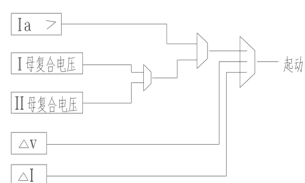
f) 差动保护的启动元件：

① 母线电压突变量启动AU

②支路电流突变量起动

③大差动电流越线起动，需与I II母线复合电压配合

起动元件逻辑图

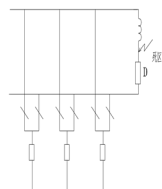
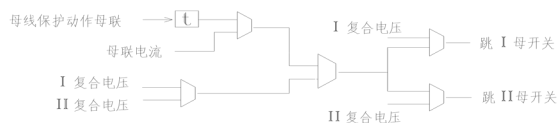


复合电压闭锁：(低电压、另序电压、负序电压)母差保护动作应经复合电压判别 ,确认系该母线发生了故障才允许跳闸。

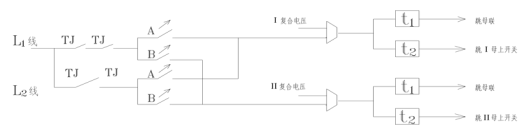
注意 :母差保护有PT检修的切换把手 ,当某一条母线停电 ,检修 ,可将该复合电压继电器取另一运行母线电压 ,以免保护长期开放而误动作。

g) 母联失灵保护 (含死区保护)

母线保护动作跳母联开关。若母联开关失灵或在死区范围，则由母联失灵保护，跳另一母线。

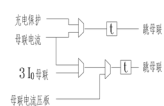


h) 线路失灵保护出口逻辑



失灵的复合电压定值与母差的复合电压定值不一致，可单独整定。

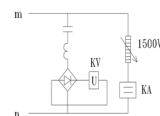
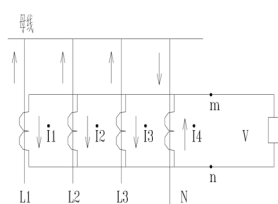
1) 母线充电及过流保护



2) CT、PT次断线闭锁。

母线中阻抗差动保护（即电压差动）

1、原理



a) 正常运行和外部故障CT不饱和时，流入母线的电流等于流出母线的电流，电流/电压型差动均不动作。

b) 某支路出口区外故障，该支路互感器饱和，一次电流部分进入压力磁回路，不平衡电流增加。



CT等值电路

则 $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 =$ 故障电流 电流差动误动 电压差动继电器

因内阻高,使 $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ 流入 $\dot{I}_4$ 的二次绕组,此时只要保证该在二次绕组上产生的电压 < 继电的动作电压,

电压差动继电器不误动

C : 内部故障

$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4 =$ 故障电流,同时流向M点,所有CT二次均工作在接近开路状态,产生高电压使继电器动

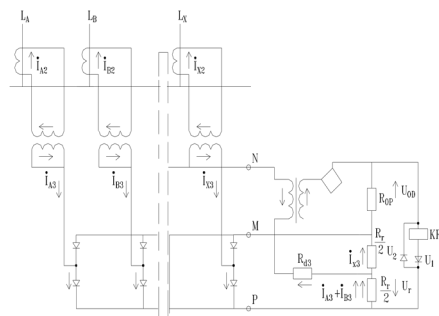
作。

中阻抗母线差动保护 (制动特性母线差动保护)

$$\text{动作原理} \quad \left| \sum_{r=1}^n \dot{I}_r \right| - R_1 I_{rmcp} \quad I_0$$

$$\left| \sum_{r=1}^n \dot{I}_r \right| - R_2 \sum I_r \quad I_0$$

$K_1 \cdot K_2$ 制动系数 I_0 最小动作电流



动作分析 :假设半周内的正方向如上图 ,若LX、D点故障 , $\dot{I}_{A3}$ $\dot{I}_{B3}$ 由P点流经Rr(自动电阻)然后分为2路 , 一路经R_{d3}差动回路-N点 , 另一路电流 $\dot{I}_{x3}$ 经另半个制动电阻 Rr→M , 只要增大R_{d3} , $\dot{I}_{d1}$ 增大 $\dot{I}_{x3}$, 从而使 $|VOP| < |Vr|$ 继电器不动 ,若在母线上故障 ,所有电流经 Rr→R_{d3} $|VOP| < |Vr|$ 动作R_{d3} ,电阻若300欧 ,这样内部故障时 ,差动回路不会出现太高电压 ,中间互感器可以调变化。

第五部分 变电站的二次设备及回路

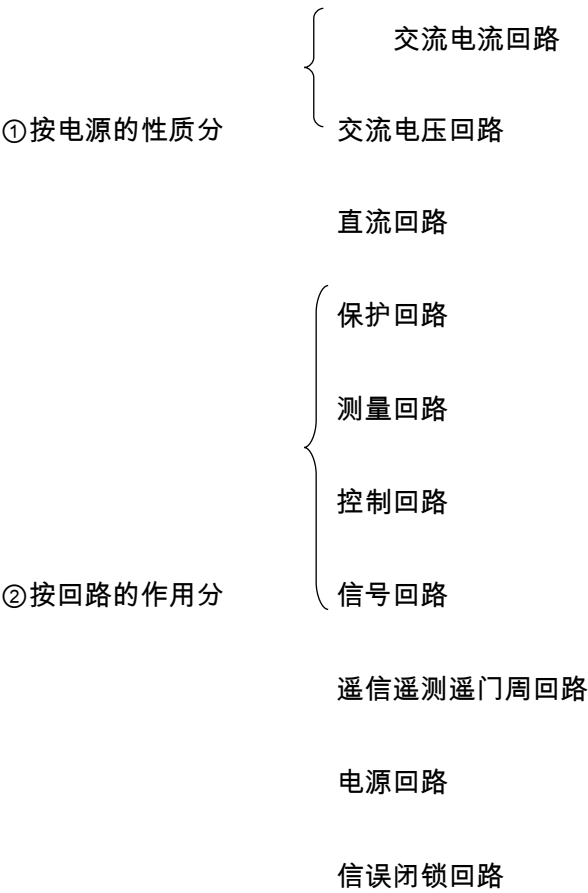
1、电力系统中一次设备和二次设备的分类：

1)一次设备 :主变压器、电流互感器、电压互感器、静止补偿电容器、开关、刀闸、电抗器、母线、阻波器、结合电容器、避雷器等 ,发送分配电能。

2)二次设备 :对电力系统中的一次设备的运行工况进行控制测量、保护和监视的设备叫二次设备。包括：继电保护、测量仪表、控制开关、按钮、端子箱、控制电丝、故障录波器、事件记录器、RTU装置、综合自动化、信号报警装置、变压器冷控设备、调压开关的控制元件等 ,防误闭锁装置 ,包括给二次设备供电的蓄电池、充电的整流器等。

3) 二次回路、联结二次设备的回路，即二次回路。

2、二次回路的划分



3、二次设备和二次回路的发展进程

二次设备：机械式——机电式——晶体管——集成电路式——微机式

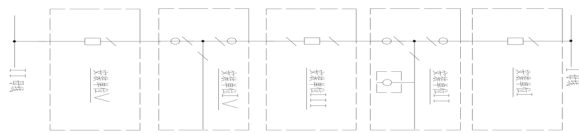
二次回路：强电式——弱电选控——综合自动化——网络

变电站的二次回路介绍

一、500kV变电站安装单位的划分

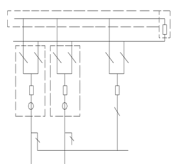
划分安装单位，是为了便于在回路上分组，方便设计和运行。

1) 500kV 1断路器接线安装单位划分



1 断路器接线安装单位划分示意图

2) 220kV双母带旁路安装单位的划分

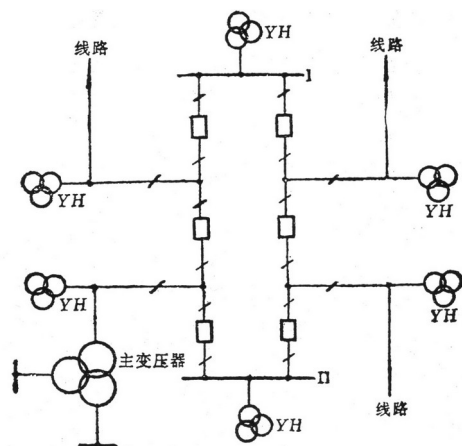


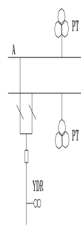
安装单位划定后，把同一单位的保护、控制、测量、信号回路及二次设备放在同一个安装单位之内，保护和控制可共互流电源。

二、交流电压回路

1) 500kV 1按线PT配置。

2) 220kV双母线PT配置。





1 断路器接线电压互感器的配置图

500kV每条线路配三相CVT，母线配单相CVT（作测量和同期用）

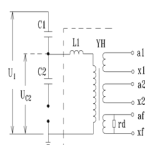
200kV按母线配三相CVT，每年出线配单相CVT，作同期。

220kV保护、测量要进行自动或手动切换。

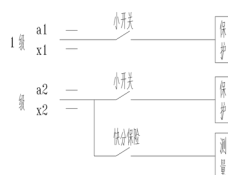
典型的二次回路介绍：

1、交流电压回路：

a) 电容式电压互感器原理接线图：



b) 用于500kV线路及变压的等设备单元

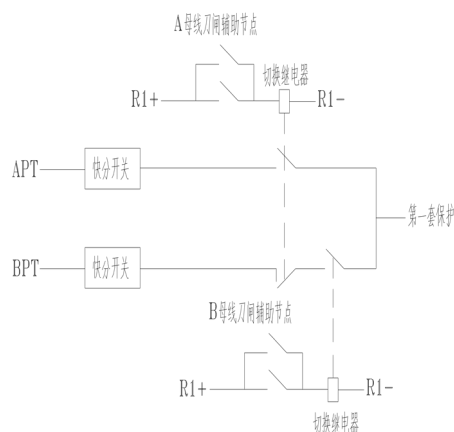


$$V_{c2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_1 = K V_1$$

$$K_{\text{分压比}} \quad K = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

三个二次绕组准确级不一样，0.5，测量，1.3P级保护

c) 用于220kV双母线时



d) 电压二次回路应注意的问题

① 二次侧中性点按地的问题

② 电压回路及充电的问题

③ $3U_0$ 的电线与主二次绕组地分开的问题

三、交流电流的回路

1) 500kV 1开关接线CT的几种二次接线。

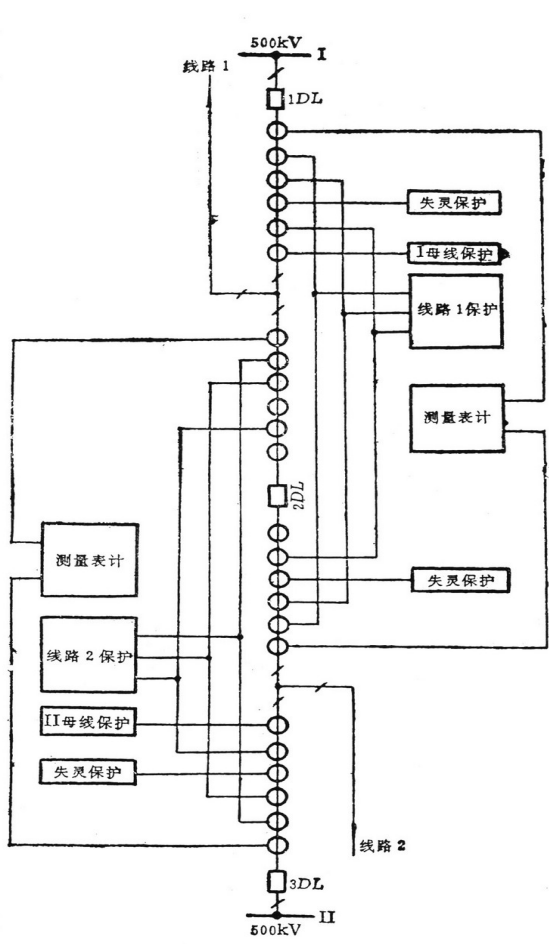
对于四CT配置，每组CT6个二次绕组，3CT配置中间断路器，CT配7个二次绕组。

2) 和电流对测量和保护的影响

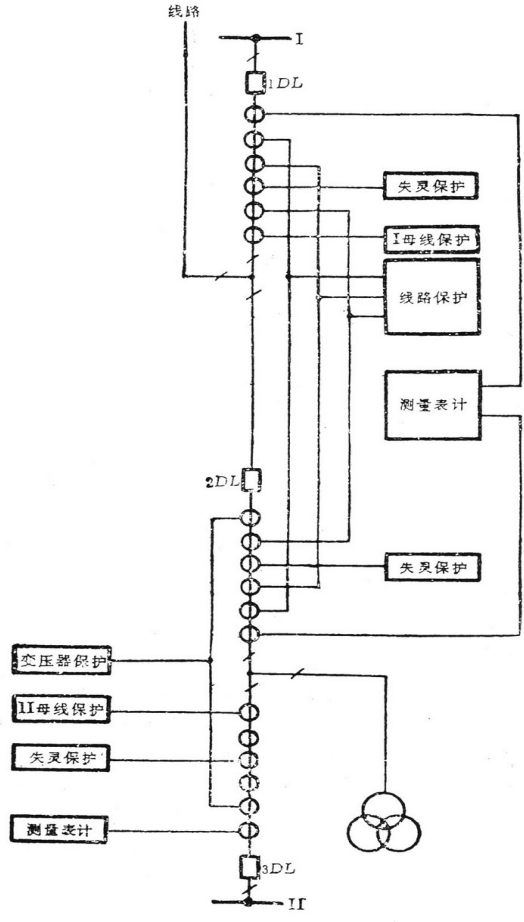
a) 正常两开关CT均运行时，CT铁芯不饱，压力互补阻抗大（几千欧）吸取电流较小可忽略。

b) 某一开关停电时, 该CT二次绕组, 成为另一个的负载, 此时流过、停用CT二次绕组的电流为激力, 电流为吸取电流, 使测易能误差。

c) 对于TPY绕组, 铁芯未饱和时, 每台CT归算到二次的压力磁电抗大约为 $1200\Omega \sim 2000\Omega$, 而电流互感器负载阻抗约为 15Ω , 两CT关联后也有 $600 \sim 1000W$ 。所以在短路时, 对保护的影响不大。



线路串电流互感器配置图



线路变压器串电流串感器配置图

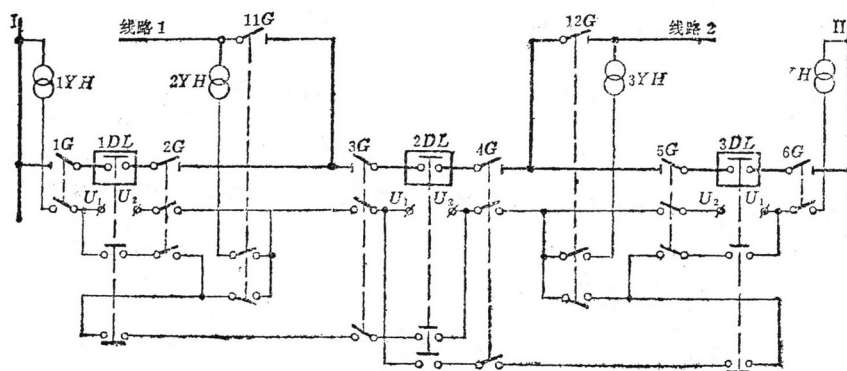
d) 当一个开关停运行时, 其二次压力磁阻抗大, 接点电压高, 对保护装置的影响也不是很大。所以一般不退出运行。

e) 和电流有两种接法：①在端子箱

②在保护装置

四、同期回路

500kV 1 接线方式的同期回路接线较复杂，一个完整串，有可能连接四个能相互分开的电源系统，两个母线和两条线路。



上图接线，虽然设计和施工复杂，但是运行方式灵活，任何一台开关均可同期有一种简化同期的接线，只考虑两台边开关作为指定的同期开关可以简化回路。

五、防误电气闭锁回路

利用刀闸、地刀、开关的辅助接点，按操作闭锁条件接入刀闸开关或电磁锁回路闭锁，现在的微机实际不用此接线。

六、电源回路：

500kV变电站直流电源是按双重化原则配置的，一般配二组蓄电池，三组充电器。下图是我局一个500kV变电站直流系统图，直流系统的分配：

a) 500kV，按划分的安装单位配置

母线单元 配从同的蓄电池电源各一间隔

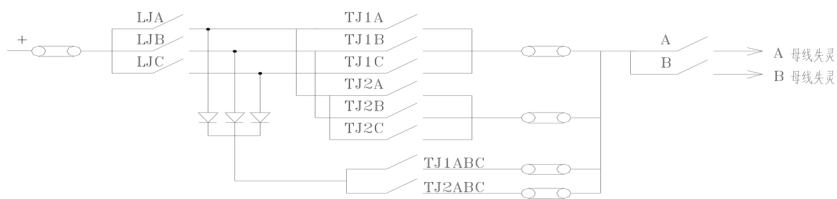
断路器 配一路保护电源，二跳合闸电源

线路	配从同的蓄电池电源各一路
----	--------------

b) 220kV线路，配两套保护电源，一路公用电源

c) 主变压器，按三套电源配置，两套电量一套非电量

220kV断路器失误保护回路：



全站按母线配置断路器失灵保护出口回路，经复合电压闭锁500kV断路器失灵保护。

500kV断路器失灵保护

1) 500kV失灵保护

2) 回路接线

电力系专业知识试题

电机学

1. 在电力系统中变压器的作用是什么？

答:变压器是电力系统中重要的电气设备之一,起到传递电能的作用,在从发电厂到用户的整个发.输.配.用过程中,变压器起着升高和降低电压的作用。

2. 变压器二次侧突然短路时有什么危害？

答：变压器二次侧突然短路时，在绕组中将产生巨大的短路电流，其值可达额定电流的 20~30 倍，这样大的电流对变压器的危害主要有：

(1) 在巨大的短路电流作用下，绕组中将产生很大的电磁力，其值可达额定电磁力的 400-900 倍，使绕组的机械强度受到破坏；

(2) 巨大的短路电流会使绕组发热，产生高温，可能使绕组烧毁。

3. 变压器并联运行的条件有哪些？

答：两台或多台变压器并联运行的条件有：(1) 高低压侧的额定电压分别相等，运行实际变比应相等；(2) 连接组别要相同；(3) 短路电压标么值（百分值）相等。

4. 为什么要规定变压器的允许温度？

答：因为变压器运行温度越高，绝缘老化越快，着不仅影响使用寿命，而且还因绝缘变脆而碎裂，使绕组失去绝缘层的保护。另外，温度越高绝缘材料的绝缘强度就越低，很容易被高电压击穿造成故障。因此，变压器运行时，不能超过允许值。

5. 同步发电机的基本结构有哪些？

答：定子包括：定子铁心、定子绕组、机座、端盖、冷却器等。转子包括：转子铁心、转子绕组、互环以及滑环、风扇等。

6. 同步发电机的“同步”是什么意思？

答：发电机带上三相对称负荷以后，三相对称的定子电流产生的合成磁场与转子以同方向、同速度旋转，它们在空间保持相对静止，称“同步”。

7. 同步发电机根据转子磁极形状不同如何分类？各在什么发电厂中使用？

答：同步发电机根据转子磁极形状不同分为凸极机和隐极机。凸极机通常磁极对数较多，转子的转速较低，一般在水电厂中使用。而隐极机通常磁极对数较少，转子的转速很高，一般在火电厂、热电厂和核电厂中使用。

8. 同步发电机与电网并列的方法有哪些？

答：同步发电机与电网并列的方法有自同期法和准同步法。通常为了在并列时减小冲击电流一般都使用准同步法，并列时调整发电机的励磁电流和转速，在发电机与电网相序相同、频率相等、电压大小相等及相位相同时并列。

9. 异步电动机铭牌上主要有哪些数据？

答：额定功率、额定电压、额定电流、额定转速、相数、型号、绝缘等级、工作方式、允许温升、功率因数、质量、出厂日期等。

10. 异步电动机按结构不同如何分类？

答：分为鼠笼式和绕线式。

电力系统

1. 电能质量的指标是什么？

答：频率、电压、波形、对称性

2. 表征电力系统运行经济性的指标是什么？

答：煤耗 (g/kw·h)、网损率、厂用电率

3. 我国标准的电压等级有哪些？

答：3kV, 6kV, 10kV, 35kV, 60kV, 110kV, 220kV, 330kV, 500kV,

4. 电力线路按结构形式分哪两种？其基本构件有些什么？

答：架空线路：导线、避雷线、杆塔、绝缘子、金具；电缆线路：导线、绝缘层、保护层

5. 220kV 以上线路常采用分裂导线的目的是什么？

答：改善线路的参数（减小线路电抗）和防止发生电晕现象

6. 潮流计算的内容有哪些？

答：功率损耗计算；电流和功率分布计算；电压损耗和节点电压计算

7. 什么情况下需计算潮流？

答：系统规划设计中选择结线、选择电器设备和导线截面时；确定系统运行方式和制定检修计划时；进行继电

保护.自动装置的设计和整定计算时;进行调压计算.经济运行计算.短路和稳定计算时。

8. 变压器的损耗包括哪两部分?

答:变动损耗(即绕组损耗,随负荷大小而变);固定损耗(即空载损耗或励磁损耗)

9. 系统的有功电源是什么?其备用容量有何用途?

答:有功电源是发电机;备用容量的用途为:负荷备用.事故备用.检修备用.国民经济备用;

备用形式有:冷备用(停机备用).热备用(旋转备用)

10. 系统的无功电源有哪些?

发电机.调相机.电力电容器.静止补偿器.高压线路的充电功率

11. 系统的调压措施有哪些?

答:利用发电机调压;调节变压器变比调压;串联电容器调压;并联补偿无功设备调压

12. 在系统中电容器有哪些主要用途?

答:无功补偿(并联补偿);提高稳定性(串联补偿,减小系统电抗);提高经济性(提高功率因数,减少电能损耗)

13. 电力系统中发生的短路故障有哪几种?哪种发生的

几率最高?哪种设备发生短路故障的几率最高?

答:不对称短路有:一相接地短路.两相接地短路.两相短路;对称短路有:三相短路;发生几率最高的短路:一相接地短路;发生短路故障几率最高的设备:电力线路

电气设备

1. 什么是配电装置?它主要包括哪些设备?

答:配电装置是开关电器.载流导体以及保护和测量电器等设备,按一定要求组建而成的电工建筑,称为配电装置。用来接受和分配电能的装置。配电装置包括开关电器(断路器.隔离开关.负荷开关等).保护电器(熔断器.继电器.避雷器等).测量电器(电流互感器.电压互感器.电流表.电压表等)以及母线和载流导体。配电装置按其设置的场所可分为户内配电装置和户外配电装置,按其电压等级又分为高压配电装置和低压配电装置,按其结构形式又分为成套配电装置(开关柜)和装配式。

2. 高压断路器.负荷开关.熔断器的作用?它们的主要结构和主要类型有哪些?

答:1) 高压断路器:高压断路器又叫高压开关,是发电厂及变电站的重要配电设备。它的作用有两个方面:①正常情况下分.合高压电路中的空载电流和负荷电流。(根据电网运行要求,起作对一些电力线路进行停.送电的控制作用);②当电力系统发生故障时,它和继电保护装置.自动装置相配合,迅速地切断故障(短路)电流,以减少停电范围,防止事故扩大,保证电力系统的安全运行。(即保护作用)

高压开关的主要结构大体分为:①导流部分;②灭弧装置部分;③绝缘部分;④操作机构。

高压断路器的主要类型,按灭弧介质分:有油开关(多油和少油).压缩空气开关.六氟化硫开关.真空开关。目前原先高压(110kV.220kV)和超高压(330kV.500kV)电力系统中起主要作用的少油开关.压缩空气开关几乎全部被 SF_6 开关取代;10kV~35kV电网中的油开关基本被真空开关替代。

SF_6 断路器的发展归功于 SF_6 气体具有优良的绝缘性能和灭弧性能,使得开关的开断大为能力提高(单断口的额定开断电流达50kA~63kA,80kA),开关的体积和重量大为减小,开关的检修与维护变得极大的方便和简单。

真空开关的发展与触头材料有密切的关系,CuCr合金触头的采用,使得12kV真空断路器的开断电流已达73kA甚至达100kA。真空开关的灭弧室是不检修的,一旦漏气只能更换。

2) 高压负荷开关:高压负荷开关是小容量的高压断路器。它具有灭弧机构,但灭弧能力较小,因此主要用来切断或接通正常的负荷电流,不能用来切断短路电流。在大多数情况下,负荷开关与高压熔断器配合使用,由负荷开关分合空载或负荷电流,由熔断器作短路保护用。

负荷开关大量用于负荷开关柜.环网供电单元及预装式变电站。负荷开关主要有:产气式负荷开关.压气式

负荷开关、真空负荷开关、 SF_6 负荷开关。真空及 SF_6 负荷开关在城网和农网中大量使用。

3) 高压熔断器：

高压熔断器分为限流式和跌落式。

在工厂企业供电系统中，对容量较小而且相对不太重要的负荷中，广泛使用熔断器为配电线路及电力变压器(包括 35KV 及以下电压互感器)的过载及短路保护。它既经济又能满足一定程度的可靠性，它结构简单、易于维护检修。

熔断器一般由熔断管、熔体、灭弧填充物、动、静触头、绝缘支持物及指示器等组成。熔断器的动作具有反时限特性，即通过熔体的短路电流越大，则熔体熔断电流时间越短。

熔断器的熔体俗称保险丝、保险片。是铅锡、铅锑、铝合金或锌等制成不同规格的圆丝或片状，规格是以额定电流表示。熔体是熔断器的主要部件，当通过熔断器的电流大于熔体规定值时，熔体在熔断器本身所产生的热量作用下，立即熔断而自动地切断电路，从而达到保护电路或电气设备的目的。

对于高电压、大电流电路的高压熔断器，要求其具有较大的分断故障电流的能力。用铅锡合金或锌熔体往往不能可靠地开断电弧，因此要求用铜或银质熔体。

3. 高压隔离开关的用途是什么？

答：隔离开关(运行现场又叫刀闸)是高压开关的最简单形式。因为它没有专门设置的灭弧装置，所以不能用来接通或切断负荷电流和短路电流。它主要用途是：

1) 隔离电源

用隔离开关将需要检修的电气设备与带电的电网可靠隔离，使被检修的电气设备与电源有明显的断开点，以保证检修工作的安全。

2) 倒闸操作

在双母线运行的电路中，利用隔离开关将供电设备或线路从一组母线切换到另一组母线上。

3) 用以接通或切断较小的负荷电流(例如：接通或切断电压互感器和避雷器等)

4. 低压自动空气开关、刀开关、接触器、熔断器的主要用途是什么？

答：1) 自动空气开关又称低压断路器，它具有较好的操作特性——分、合闸操作速度快；保护特性——具有过载、短路、过流、失压等保护特性；灭弧特性——灭弧室能快速灭弧。由于它兼有断路器和保护装置的良好功能，使用起来十分方便，所以在低压配电系统中作为控制及保护设备应用。

2) 刀开关：用于低压交流 500V 以下，直流电压 440V 以下的电路中，一般不带灭弧栅罩的刀开关，不用来切断负荷电流，只作为隔离用；带灭弧栅罩的刀开关虽可以切断额定负荷电流，但一般也只作为隔离用。刀开关使用时应与带过电流保护装置的电器串联使用，如熔断器、自动空气开关。

3) 低压交流接触器：交流接触器广泛应用于电力传动系统中，作为频繁接通或分断带负荷电路的控制电器。交流接触器为电动操作，所以适合于远距离操作及自动控制系统。交流接触器不具有过流保护功能，因此在线路中使用需要与带有过电流保护功能的电器配合使用。如配合熔断器、自动空气开关、热继电器等。交流接触器和热继电器组合——成为磁力启动器，它具有欠压、过载、断相等保护功能，可频繁操作和远方控制。

4) 低压熔断器：作为电路中的过电流保护装置，具有使用方便、结构简单、体积小等优点，广泛应用于低压交流电源保护和用电设备保护。

5. 什么电气设备的倒闸操作？主要内容是指？带负荷拉刀闸？

答：发电厂、变电站已安装的电气设备分为运行、备用(热备用和冷备用)、检修几种状态。当电气设备由一种状态转换到另一种状态时，需要进行一系列的操作，这种操作叫做电气设备的倒闸操作。

倒闸操作的主要内容是指拉开或合上某些断路器和隔离开关，拉开或合上某些操作熔断器和合闸熔断器，退出或投入某些继电保护和自动装置及改变其定值，拆除或装设临时接地线及检查设备的绝缘。

带负荷拉刀闸是性质恶劣的误操作，由于隔离开关(刀闸)没有灭弧装置，在线路断路器没有断开时，误拉隔离开关会造成电弧伤人、烧坏设备及相间飞弧短路，严重时将引起重大事故。

6. 电力电容器的功用是什么？

答：电力系统的负荷如电动机、电焊机、感应电炉等用电设备，除了消耗有功功率外，还要“吸收”无功功率。另外电力系统的变压器等也需要无功功率，如果所有无功电力都由发电机供给的话，不但不经济，而且电压质量低劣，影响用户使用。

电力电容器在正弦交流电路中能“发”出无功功率，如果把电容器并接在负荷(电动机)，或输电设备(变压器)上运行，那么，复核或输电设备需要的无功功率，正好由电容器供给。

电容器的功用就是无功补偿。通过无功就地补偿，可减少线路能量损耗，减少线路电压降，改善电压质量；提高系统供电能力。

7. 对高压配电装置要求具有“五防”功能的内容是什么？

答：高压配电装置的五防功能的内容是：

- 1) 防止带负荷分、合隔离开关；
- 2) 防止误分、合断路器；
- 3) 防止带电挂接地线（或合接地刀闸）；
- 4) 防止带地线合隔离开关
- 5) 防止误入带电间隔。

高压配电装置除本身已具有的防止电击防护功能外，还应满足五种防护保护功能的要求。这是为了防止电击人身伤亡事故、电气火灾和电气设备损坏事故，以确保电力系统和用电单位的安全。为了满足五防功能，一般在高压配电装置中加装实现五防功能的闭锁装置。

8. 互感器的作用是什么？共分为几类？

答：互感器是电力系统中供测量和保护用的重要设备，分为电压互感器和电流互感器两大类；前者能将系统的高电压变成标准的低电压（100V 或 100/√3 V）；后者能将高压系统中的电流或低压系统中的大电流，变成低压的标准的小电流（5A 或 1A），用以给测量仪表和继电器供电。互感器的作用是：

- 1) 与测量仪表配合，对线路的电压、电流、电能进行测量。与继电器配合，对电力系统和设备进行各种保护。
- 2) 使测量仪表、继电保护装置和线路的高压电压隔离，以保证操作人员及设备的安全；
- 3) 将电压和电流变换成统一的标准值，以利于仪表和继电器的标准化。

电压互感器一次绕组并接在一次电路中，电流互感器一次绕组串接在一次电路中。

9. 电抗器的功用是什么？阻波器的作用是什么？耦合电容的功用是？

答：电抗器：电力系统中所采用的电抗器，实质上是一个无导磁材料的空心电感线圈。一般在电压等级 6~10kV 系统，当短路容量很大，选择轻型开关出现一定困难时，在电路中加入电抗器用以限制短路电流，以便选择轻型开关电器和减少导线截面。

高频阻波器：高频阻波器又叫塞流线圈，它是电力载波通讯设备中必不可少的组成元件之一。它与耦合电容器、结合滤波器、高频电缆、高频通讯机（载波机）等组成电力线路高频通讯通道。

高频阻波器起到阻止高频电流向变电站或分支线的泄漏，达到减少高频能量损耗的作用。

耦合电容：在电力载波通道中，耦合电容是使强电

和弱电两个系统通过电容耦合，给高频讯号构成通路，并阻止高压工频电流进入弱电系统，使强电系统和弱电系统隔离，保证人身安全。

10. 母线的分类？绝缘子的分类及作用？

答：1) 母线：

母线是用来汇集和分配电流的导体，所以也叫汇流排，在一般高压配电装置中，母线常采用裸导体，在一些特殊要求的场所及大中型发电机上已采用封闭母线。

户外配电装置中的母线，一般采用多芯绞线，称为软母线，也有用硬管形母线。户内配电装置中的母线都用绝缘子来固定，称为硬母线，其截面形状有矩形、槽形、管形。

母线材料以铝和铜为主。

2) 绝缘子：

绝缘子通常是用瓷材料制成的，所以又称瓷瓶。绝缘子结构紧密，表面涂有釉质，以提高电气绝缘性能。各种不同电压等级的绝缘子具有不同的有效高度，和不同的表面情况。电压越高，绝缘子越长，裙边也越多。

高压绝缘子分为电站用和线路用绝缘子两大类。变电站用绝缘子分为支柱绝缘子和套管绝缘子；在户外软母线使用线路悬挂式或针式绝缘子。

在变电站中，支柱绝缘子用来支持和固定户内、外配电装置的母线与带电导体，并使母线或带电导体与地之间有足够的绝缘距离，在电气设备中用来支持载流导体。套管绝缘子简称套管，用于母线穿过墙壁及用于封闭配电装置中导线的固定以及外部导线（母线）的连接等。高压绝缘子必须具有足够的电气绝缘强度和机械强度。

11. 电气主接线？单元接线？

答：电气主接线又称一次接线（主电路），指发电厂和变电站中的一次设备，按一定要求和顺序连接而成的汇集电能和分配电能的电路。它表明各种一次设备的数量和作用，设备之间的连接方式，以及与电力系统的连接情况。

单元接线：发电机发出的电能扣除厂用电后，全部通过升压变压器送入电网，这样的一台发电机、一台变

压器的接线形式称为单元接线。目前我国 200MW 及以上的机组都采用发电机——变压器的单元接线。并且采用热动采用一机、一炉的单元制加上电气的单元制形成了机、炉、电单元集控。

12. 操作电源作用？蓄电池作用？

答：在发电厂和变电站中都备有操作电源。它可采用交流电源，也可采用直流电源。操作电源的作用主要是在发电厂和变电站正常运行时，对断路器的控制回路、信号设备、自动装置等设备供电；在一次电路故障时，给继电保护、信号设备、断路器的控制回路供电以保证它们能可靠地动作；在交流厂用电中断时，给事故照明、直流润滑油泵及交流不停电电源等负荷供电，以保证事故保安负荷的工作。所以，操作电源十分重要，必须可靠，具有独立性。

目前一般采用直流操作电源，因为蓄电池可以储存，可以看成是与发电厂、变电站一次电路无关的独立电源；另外可使操作和保护用的电器简化。由于蓄电池电压平稳，容量较大，因此可以提供断路器合闸所需较大的短时冲击电流，并可作为事故保安负荷的备用电源。

高电压技术部分

1. 介质损失角正切值 ($\tan \delta$) 的物理意义。

答：介质损失角正切值 ($\tan \delta$) 表示电介质在交流电压下的有功损耗和无功损耗之比，值越大，介质损耗越大，它反映了电介质在交流电压下的损耗性能。

2. 怎样提高固体介质的沿面闪络电压？

答：增加固体介质的爬电距离，保持固体介质表面清洁、干燥，防止固体介质破裂。

3. 提高气体间隙击穿电压的措施有哪些？

答：措施有：(1) 改进电极形状；(2) 电极间加极间障；(3) 高气压的采用；(4) 高绝缘强度气体的采用；(5) 高真空的采用。

4. 绝缘预防性试验有何重要性？

答：电气设备绝缘中可能存在着各种各样的缺陷，它们可能是在制造或修理过程中潜伏下来的，也可能是在运输及保管过程中形成的，还可能是在运行中绝缘老化而发展起来的。为此，在电力系统中，必须定期进行预防性试验，以便有效地发现这些绝缘缺陷，并通过检修把它们排除掉，以减少设备损坏和停电事故，保证电力系统安全运行。

5. 如何测电气设备的绝缘电阻？

答：(1) 选择合适的兆欧表 额定电压在 1000V 及以上的设备，应使用 2500V 的兆欧表，1000V 以下的选 1000V 的兆欧表；

(2) 拆除设备的电源线、设备挂接地线以充分放电；

(3) 接线 测相对地绝缘时，L 接导体，E 接地；测相间绝缘时，L、E 接在两相导体上；

(4) 以 120r/min 的速度转动兆欧表的把手，指针稳定后读数；

(5) 断开回路，停止摇表。

6. 发电厂、变电站装设避雷针的原则是什么？

答：(1) 所有被保护设备均应处于避雷针的保护范围之内，以免遭受雷击。

(2) 当雷击避雷针时，雷电流通过避雷针入地，使避雷针对地电位升高，此时应防止避雷针至被保护设备发生反击。

7. 降低冲击接地电阻的方法有哪些？

答：(1) 选用复式接地装置 将多个接地体连接起来，组成一个复式接地装置；

(2) 降低土壤电阻率、换土、浇盐水或深埋接地体。

8. 输电线路的耐雷水平、雷击跳闸率各是什么含义？

答：耐雷水平：雷击线路时，线路绝缘不发生闪络的最大雷电流幅值。

雷击跳闸率：每 100km 线路每年由雷击引起的跳闸次数。

9. 避雷器的作用是什么？

答：避雷器的作用是用来限制作用于设备上的过电压，以保护电气设备。

10. 避雷器主要有哪些类型？

答：避雷器主要保护间隙、管型避雷器、阀型避雷器和氧化锌避雷器等几种。

11. 变电所进线保护的作用是什么？

答：其作用是为了限制进入变电所的雷电流和陡度。

12. 对配电变压器的防雷保护应采取什么措施？

答：配电变压器高、低压侧每相装避雷器保护，所有避雷器的接地引下线、配电变压器的外壳、低压绕组中性点连在一起，三点共同接地。