

第五章 自动重合闸

西南交通大学



本章主要内容

- 5.1 自动重合闸作用及基本要求
- 5.2 三相自动重合闸
- 5.3 单相自动重合闸及综合重合闸
- 5.4 故障性质判别
- 5.5 备用电源自投
- 5.6 故障测距



5.1 自动重合闸作用及基本要求

一、自动重合闸（ZCH）的作用

断路器跳闸后自动将断路器重新合闸——
自动重合闸

1. 缩短停电时间，提高供电可靠性
- 2 提高电力系统稳定性
- 3 纠正保护误动及断路器偷跳



采用自动重合闸的基本依据----瞬时性故障占故障总数的**60-90%**

瞬时性故障：线路被保护断开后，电弧即行熄灭，故障点的绝缘强度重新恢复，外界物体也被电弧烧掉，此时把断路器再合上，就能恢复正常供电。

永久性故障：线路被断开以后，故障仍然存在（死接地），这时即使再合上电源，还要被保护再次跳开，不能恢复正常的供电。



二、对自动重合闸装置（ZCH）的基本要求

- 线路正常运行时，ZCH应投入，当手动操作或通过遥控装置将断路器断开时，ZCH不应动作。当手动投入断路器于永久性故障而被保护跳开时，ZCH不应动作。
- ZCH的启动应按控制开关的位置和断路器的位置不对应的原则进行，或由保护装置来启动。

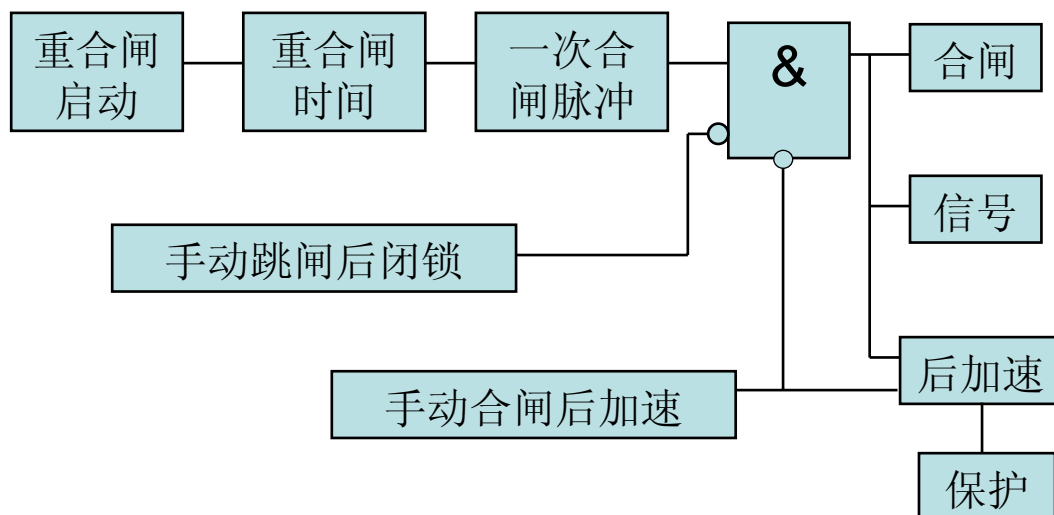


- ZCH的动作次数应符合预先规定。ZCH动作后，应能自动复归。
- 应能和继电保护装置配合，使保护装置在重合闸前加速动作或重合闸后加速动作。
- 在双侧电源的线路上实现ZCH时，应考虑合闸时两侧电源的同步问题。
- 当断路器处于不正常状态（如操作机构中使用的气压、液压降低等），应将自ZCH装置闭锁。



5.2 三相自动重合闸

一、单侧电源线路三相一次ZCH工作原理



三相一次重合闸工作原理框图



二、双侧电源送电线路重合闸的方式及选择原则

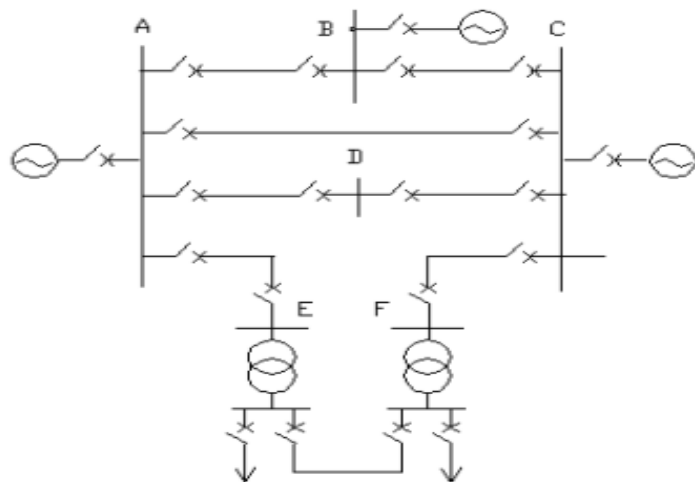
1. 特点:

- 两侧的保护以不同的动作时限跳闸，为了保证故障点电弧的熄灭和绝缘强度的恢复，线路两端的重合闸必须保证在两侧的断路器都跳闸以后，再进行重合；
- 线路故障跳闸后，存在重合闸时两侧电源是否同步的问题。

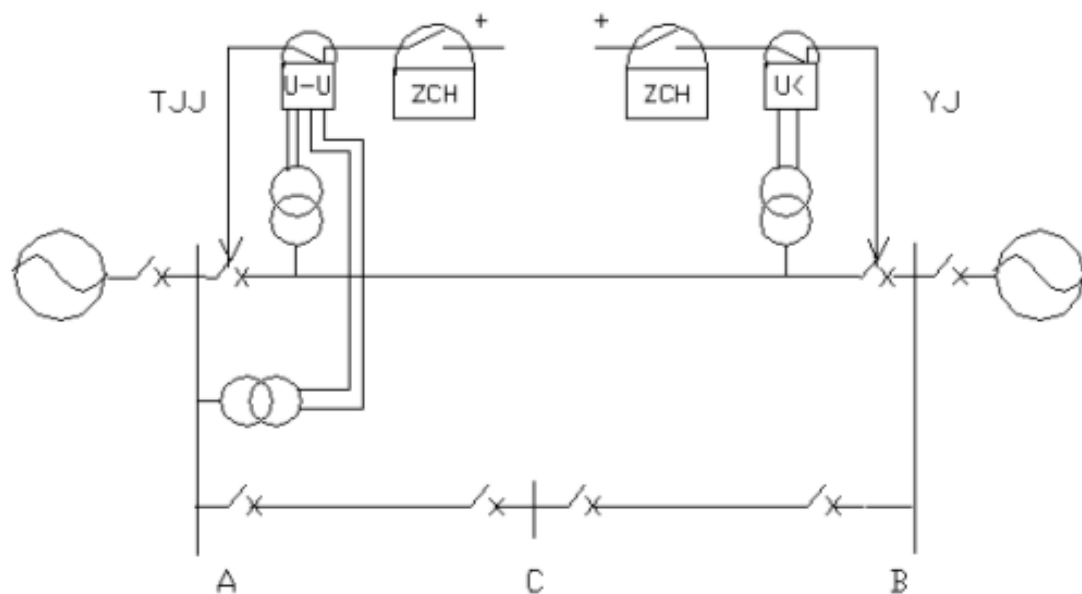


2. 重合闸主要方式:

a. 并列运行的发电厂或电力系统之间，电气上**紧密联系**时（如具有三个以上联系的线路或三个紧密联系的线路），由于同时断开所有联系的可能性几乎不存在，可采用**不检查同步**的ZCH。



b. 并列运行的发电厂或电力系统之间，在电气上**联系较弱**时，例如只有两个联系的线路或三个弱联系的线路，需考虑：

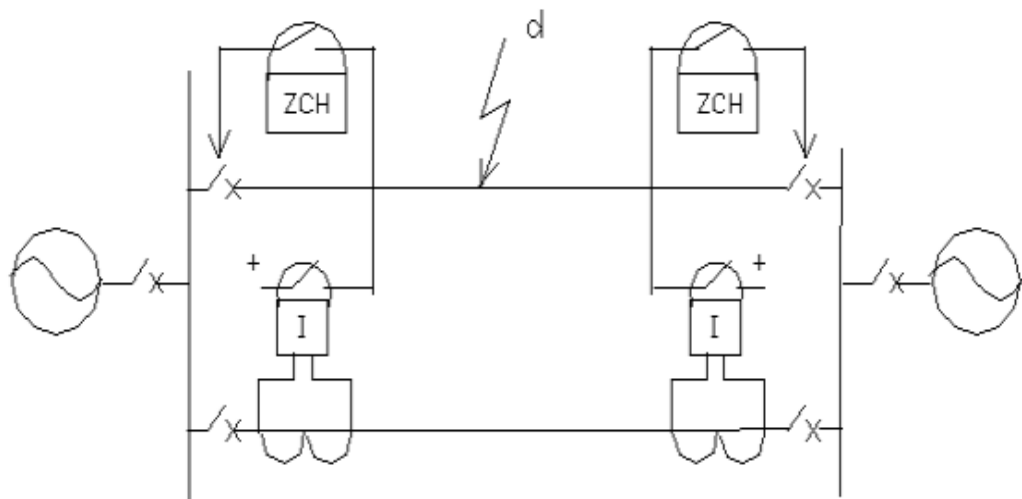


西南交通大学



- 当非同步合闸的最大冲击电流**超过允许值时**，不允许非同步合闸，此时必须检定两侧电源确定同步之后才能进行重合。
- 有旁路联系的双回线路上，可采用检定另一回线上有电流的重合闸。因为当另一回线路上有电流时，表示两侧电源保持联系，一般是同步，可以重合。



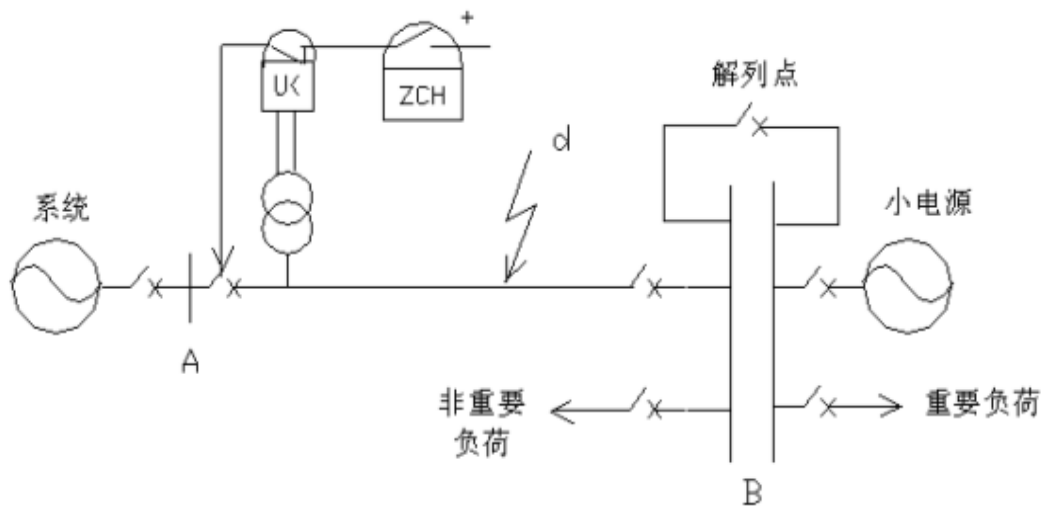


西南交通大学



c. 在双侧电源单回线路上，不能采用非同步重合闸时，可用：**解列重合闸**，当线路d点故障，系统侧保护动作使断路器跳闸，小电源侧保护使解列点跳闸，而不跳故障线路断路器。小电源与系统解列后，容量基本与所带重要负荷平衡，保证地区重要负荷连续供电。

解列点选择原则：使发电厂容量与所带负荷接近平衡。

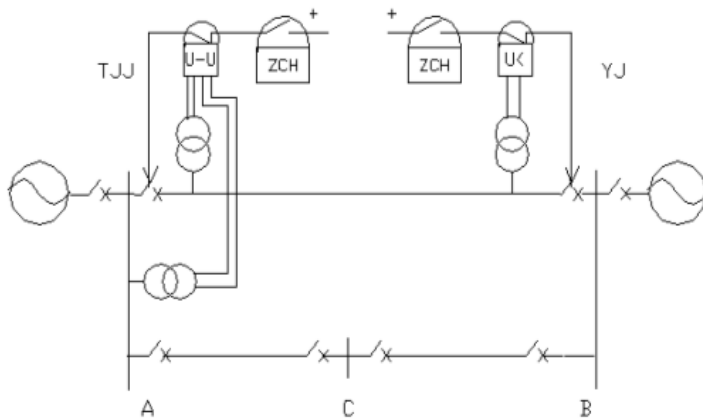


d. 非同步重合闸：当最大冲击电流不超过允许值，可采**非同步重合闸**，即在线路两端断路器跳闸后不管两侧电源是否同步，即进行重合。



三、具有同步检定和无电压检定的重合闸

两侧断路器跳闸后，检无压一侧的重合闸首先动作。如重合不成功，断路器再次跳闸。此时同步检定继电器不动作，该侧重合闸不起动。如重合成功，另一侧在检定同步之后，再投入断路器。检无压一侧的断路器，如重合不成功，就要连续两次切断短路电流，其工作条件比同步检定一侧断路器的条件恶劣。



通常在每侧都装设同步检定和无电压检定的继电器，利用**联接片进行切换**，使两侧断路器的工作条件接近相同。

在使用检无压方式的重合闸的一侧，当断路器在正常运行下由于某种原因（如误碰跳闸机构，误动作）跳闸时，由于线路上有电压不能实现重合。

通常在检无电压的一侧同时投入同步检定继电器，两者触点**并联工作**。如遇上述情况，可将误跳闸的断路器重新投入。。



四、合闸动作时限的选择原则

1. 单侧电源线路的三相重合闸

为了尽可能缩短电源中断的时间，重合闸动作时限原则上应越短越好。

因为电源中断后，电动机转速急剧下降，电动机被其负荷所制动，当重合闸成功后，自启动电流很大，往往引起电网电压下降，又造成自启动困难或拖延恢复工作时间。

但也不能太短，因为

1) 在断路器跳闸后，要使故障点的电弧熄灭并使周围介质恢复绝缘强度需要一定时间。还必须计及负荷电动机向故障点反馈电流使绝缘强度恢复变慢的因素。



2) 在断路器跳闸以后，其触头周围绝缘强度的恢复以及消弧室重新充满油气要一定时间。其操作机构恢复原状准备好再次动作也需要一定的时间。否则如合于永久性故障上，可能发生断路器爆炸。如果重合闸是利用继电保护来起动，还应加上断路器的跳闸时间。

采用1s左右时间较为合适。

2. 双侧电源线路的三相重合闸

从最不利的情况出发，每一侧的重合闸都应该以本侧先跳闸而对侧后跳闸来作为考虑整定时间的依据。



五、重合闸与继电保护的配合

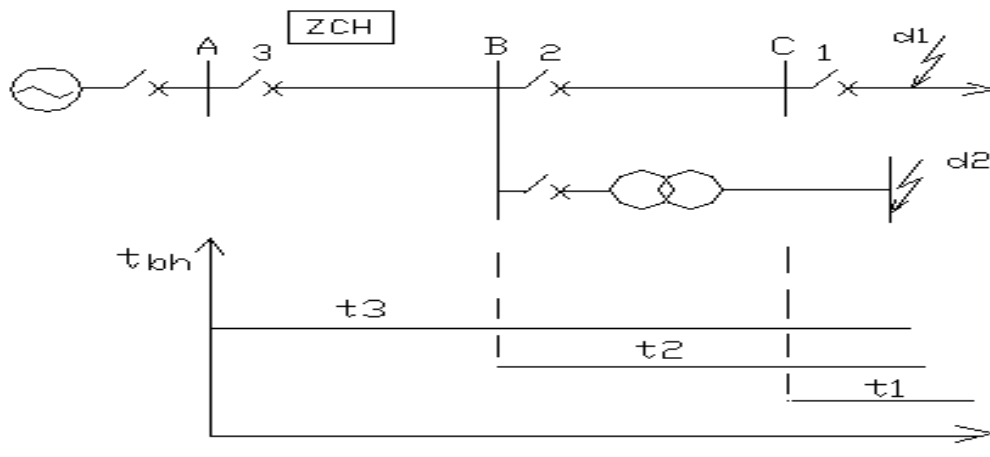
1. 前加速保护:

保护1, 2, 3若采用**过电流保护**, $t_3 > t_2 > t_1$

任一线路故障, 都由保护3采用前加速**瞬时动作**予以切除。

如瞬时性故障, 重合闸以后就恢复了供电。

如永久性故障, 按有选择性的时限切除。



西南交通大学



采用前加速的**优点**是：

- 能够快速切除瞬时性故障；
- 使瞬时性故障来不及发展成永久性故障，提高重合成功率；
- 能保证发电厂和重要变电所的母线0.6-0.7倍额定电压以上，从而保证厂用电和重要用户的电能质量

采用前加速的**缺点**是：

- 断路器工作条件恶劣，动作次数较多；
- 重合于永久性故障上时，故障切除时间可能较长；
- 如重合闸装置或断路器拒绝合闸，将扩大停电范围。

前加速保护主要用于由发**35kV以下电厂或重要变电所**引出的**直配线路上**，以便快速切除故障，保证母线电压。

西南交通大学



2. 后加速保护

当线路第一次故障时，保护有选择性地动作，然后进行重合。如重合于永久性故障上，再加速保护动作，瞬间切除故障，广泛应用于35kV以上网络及对重要负荷供电的送电线路上。

优点：

- 第一次有选择性切除故障，不会扩大停电范围，在重要的高压电网中，不允许保护无选择性的动作而后以重合闸来纠正。
- 保证了永久性故障能瞬间切除。
- 和前加速相比，使用中不受网络结构和负荷条件的限制。



后加速保护的缺点：

- 第一次切除故障可能带有延时。



5.3 单相自动重合闸及综合重合闸

一、单相自动重合闸

定义：

在220kV及以上架空线路上，线间距离大，绝大部分故障是单相接地短路。此时，如只把发生故障的一相断开，进行单相重合，发生故障的两相仍然继续运行，可大大提高供电可靠性和系统并列运行的稳定性。这就是**单相重合闸**。



优点:

➤ 在大多数故障情况下保证对用户连续供电，提高供电可靠性。由单侧电源单回路向重要负荷供电时保证不间断供电。

➤ 在双侧电源联络线上采用单相重合闸，可在故障时大大加强两个系统的联系，提高系统并列运行的动态稳定。

缺点:

➤ 需有按相操作的断路器；

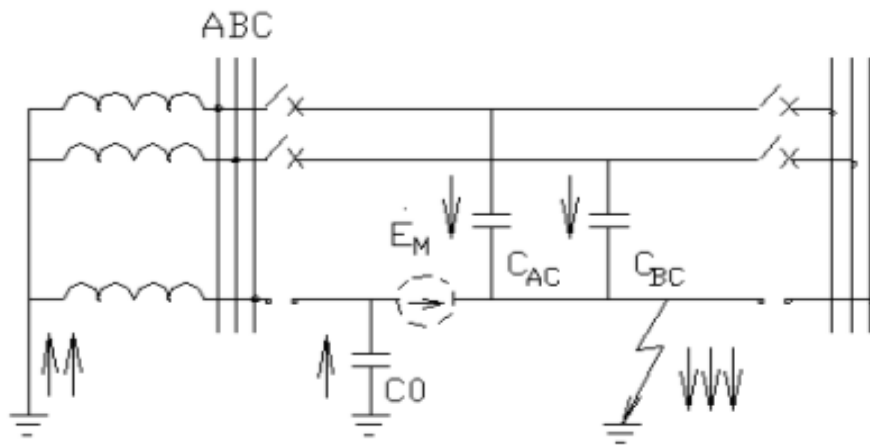
➤ 需专门的选相元件与继电保护相配合；

➤ 在单相重合闸过程中，由于非全相运行引起保护误动作，需要采取预防措施。



潜供电流：当故障相线路自两侧切除后，非故障相与断开相之间存在有**静电**（通过电容）和**电磁**（通过互感）联系，虽然短路电流已被切断，但在故障点的弧光通道中仍有：

- 1) 非故障相A通过A-C相间的电容供给的电流；
- 2) 非故障相B通过B-C相间的电容供给的电流；
- 3) 继续运行的两相，由于流过负荷电流在C相中产生互感电势，通过故障点和该相对地电容产生的电流。



西南交通大学



二、综合重合闸

在实现单相重合闸时，总是把实现三相重合闸的问题结合起来考虑，称“**综合重合闸**”。

考虑以下基本原则：

- 单相接地短路时跳开单相，然后进行单相合闸，如不成功则跳开三相而不再进行重合；
- 各种相间短路时跳开三相，然后进行三相重合。如重合不成功，仍跳开三相，而不再进行重合；
- 当选相元件拒绝动作时，应跳开三相并进行三相重合；
- 对非全相运行中可能误动作的保护，应进行可靠闭锁；对于在单相接地时可能误动作的相间保护（如距离保护），应有防止单相接地误跳三相的措施；

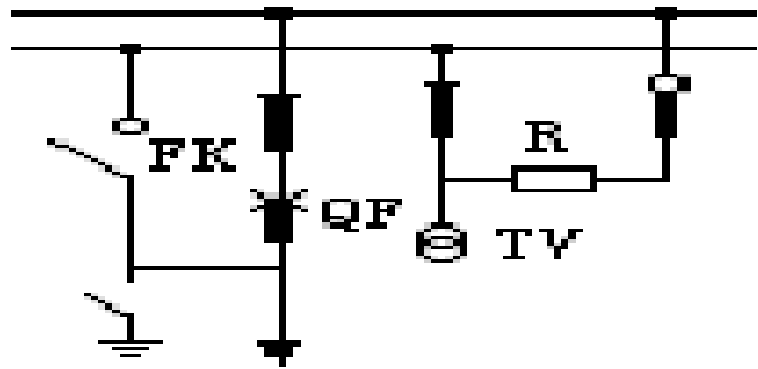


- 当一相跳开后重合闸拒绝动作时，为防止线路长期出现非全相运行，应将其它两相自动断开；
- 任两相的分相跳闸继电器动作后，应联跳第三相，使三相断路器均跳闸；
- 无论单相或三相重合闸，在重合不成功之后，均应考虑能加速切除三相，即实现重合闸后加速；
- 在非全相运行过程中，如又发生另一相或两相的故障，保护应能有选择性地予以切除；
- 对空气断路器或液压传的油断路器，当气压或液压低至不允许实行重合闸时，应将重合闸回路自动闭锁；



5.4 故障性质判别

一、残压法



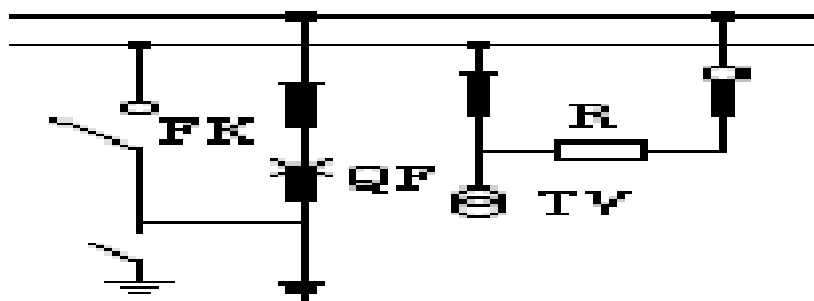
1、实现方法

牵引变电所增设一条故障识别辅助母线；

- 工作母线与辅助母线通过电阻(25k Ω)、负荷开关和电动隔离开关连接；
- 电压互感器接在电阻器与电动隔离开关之间；
- 每一断路器上并联一个负荷开关。



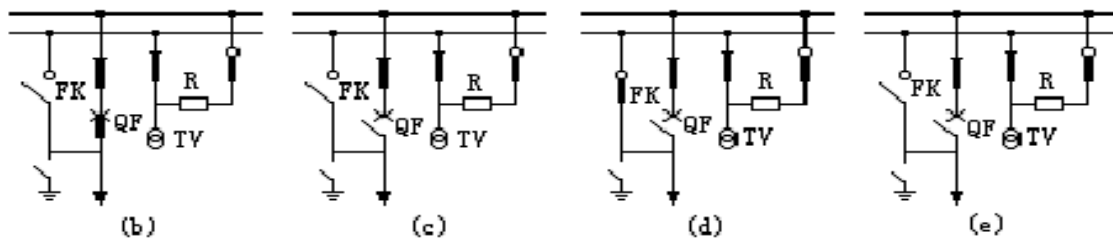
2. 基本思想



- 正常运行，断路器QF闭合，负荷开关FK断开；
- 牵引网发生短路故障时，断路器QF断开，负荷开关FK闭合，通过电阻R向故障点施加电压；
- 若为**瞬时性故障**，由于故障点绝缘已经恢复，电压互感器TV检测到的**电压接近牵引网工作电压**；
- 若为**永久性故障**，电压互感器TV检测到的**电压较小**。



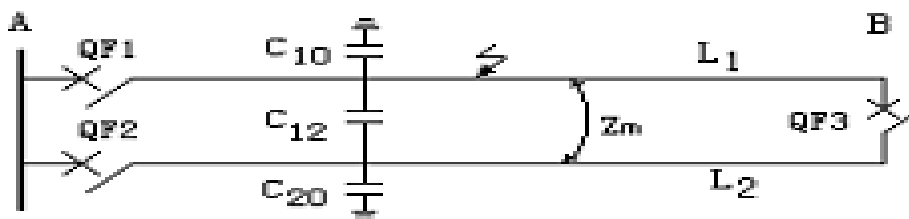
3. 工作过程



- 正常情况：断路器QF闭合，负荷开关FK断开，TV检测到的电压接近牵引网工作电压；
- 接触网发生故障时，断路器QF分闸，TV检测到的电压为牵引网工作电压；
- 启动故障性质识别：合负荷开关FK，通过TV检测电压，若电压较高(如：90%Un)，为瞬时性故障，若电压较低(如：30%Un)，为永久性故障；
- 分负荷开关FK。



二、耦合电压法（仅适用于复线）



对于复线电力牵引网，若一条线路发生故障，另一条线路正常供电，这时断开线路两端的电压由**电容耦合电压**和**电感耦合电压**两部分组成。

1. 电容耦合电压

不考虑承力索的影响，断开线路对地的电容耦合电压

L1与L2之间的耦合电容

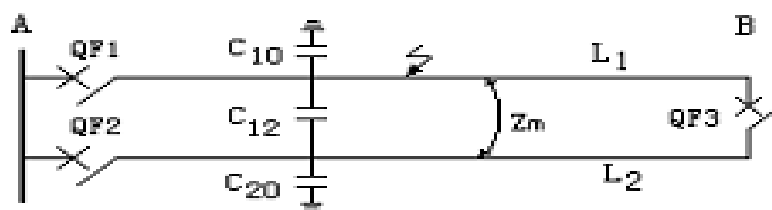
线路L2的电压

$$\dot{U}_{j1} = \frac{C_{12}}{C_{10} + C_{12}} \dot{U}_2$$

L1对地耦合电容



2. 电感耦合电压



当线路 L_1 断开之后，设流过正常线路 L_2 的电流为 \dot{I}_2 且集中在供电臂 L_f 处，断开线路 L_k (故障点距变电所的距离)长度上由互感产生的电压为：

$$\dot{U}_{j2} = Z_m \dot{I}_2 L_f \quad \text{OR} \quad \dot{U}_{j2} = Z_m \dot{I}_2 \min(L_f, L_k)$$

► 瞬时性故障

L1与L2之间的互感

断开线路的电压由电容耦合电压和电感耦合电压决定。

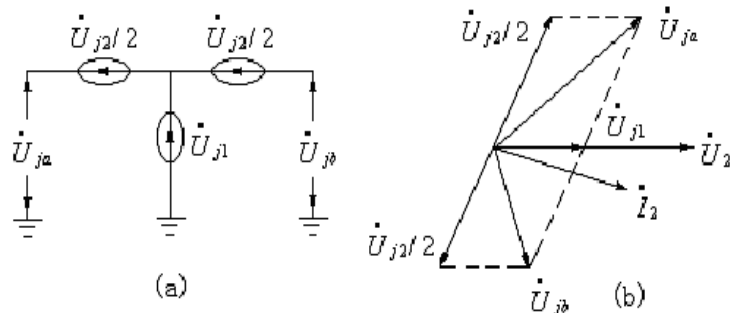
\dot{U}_{j1} 是线路对地电压，与线路长度无关；

\dot{U}_{j2} 是线路中感应的电压，其方向是沿导线的，与线路感应长度成正比。



变电所A处检测到
电压为：

$$\dot{U}_{ja} = \dot{U}_{j1} + \dot{U}_{j2}/2$$



➤永久性故障

由于线路电容对故障点放电，在稳态条件下可以不考虑电容产生的耦合电压，这时断开线路两端电压仅由**电感耦合电压**决定，即有：

$$\dot{U}_{ja} = Z_m \dot{I}_2 \min(L_f, L_k)$$

结论：瞬时性故障时在牵引变电所检测到的故障线路电压较永久性故障**要高**。

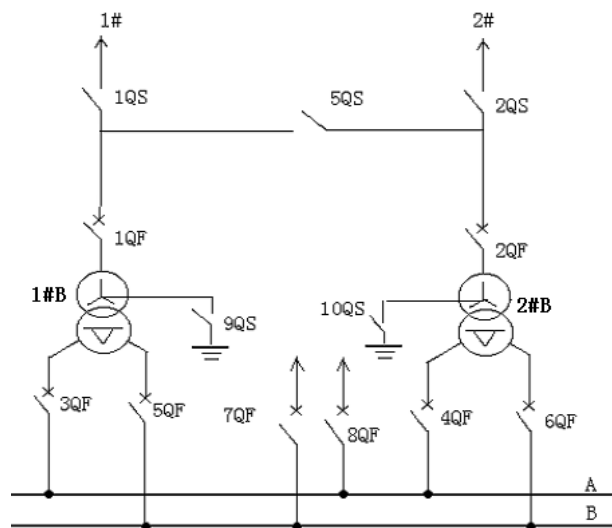


5.5 备用电源自投

一、作用

快速恢复供电，提高供电的可靠性。

- 主变自投
- 进线自投



牵引变电所主接线示意图

西南交通大学

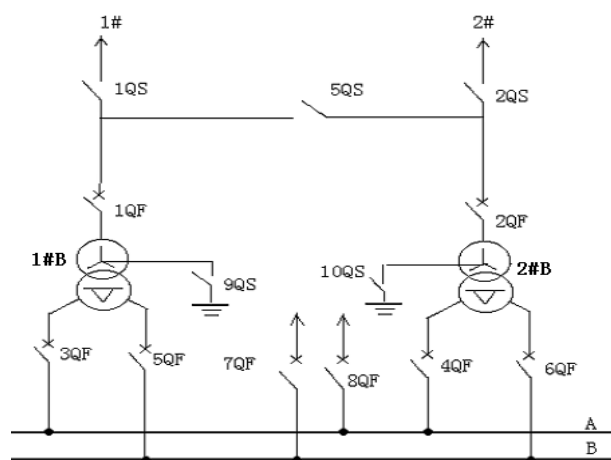


二、工作方式识别

1. 工作方式一

1#进线1#主变

条件：1QS、1QF、3QF、5QF
闭合，2QS、2QF、4QF、6QF
、5QS 断开。



2. 工作方式二

1#进线2#主变

条件：1QS、5QS、2QF、4QF、6QF闭合，2QS、1QF、3QF、5QF断
开。

牵引变电所主接线示意图

西南交通大学



3. 工作方式三

2#进线1#主变

条件：2QS、5QS、1QF、3QF、5QF 闭合，1QS、2QF、4QF、6QF 断开。

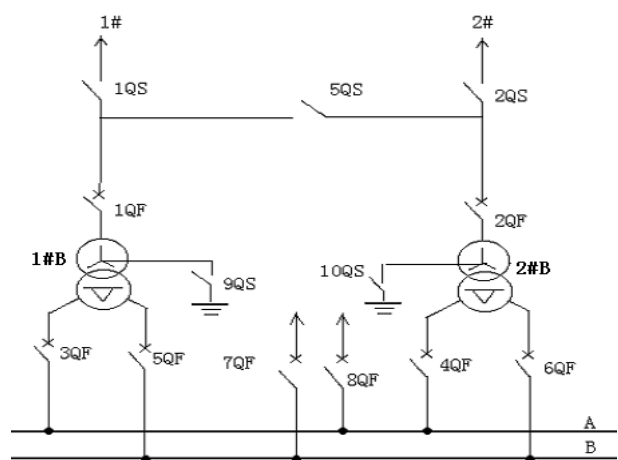
4. 工作方式四

2#进线2#主变

条件：2QS、2QF、4QF、6QF 闭合，1QS、1QF、3QF、5QF、5QS 断开

5. 自投启动信号

进线失压保护动作信号、差动保护动作信号、非电量保护动作信号。



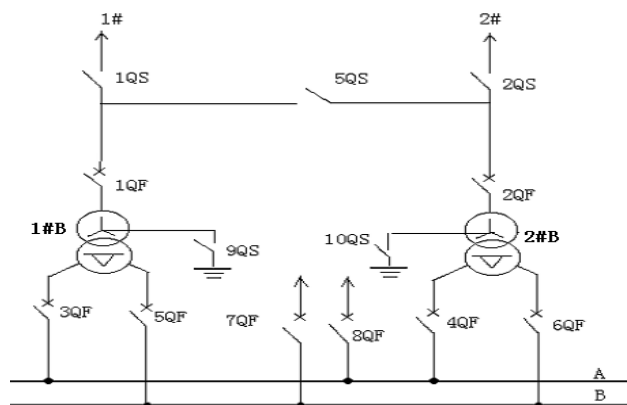
牵引变电所主接线示意图



三、自投过程

1. 工作方式一（1#进线1#主变）下的自投过程

工作方式一的条件：1QS、1QF、3QF、5QF 闭合，2QS、2QF、4QF、6QF、5QS断开。



牵引变电所主接线示意图

1#进线失压时

※交叉供电允许情况下→2#进线1#主变

※交叉供电不允许情况下→2#进线2#主变

1#主变故障时

※交叉供电允许情况下→1#进线2#主变

※交叉供电不允许情况下→2#进线2#主变

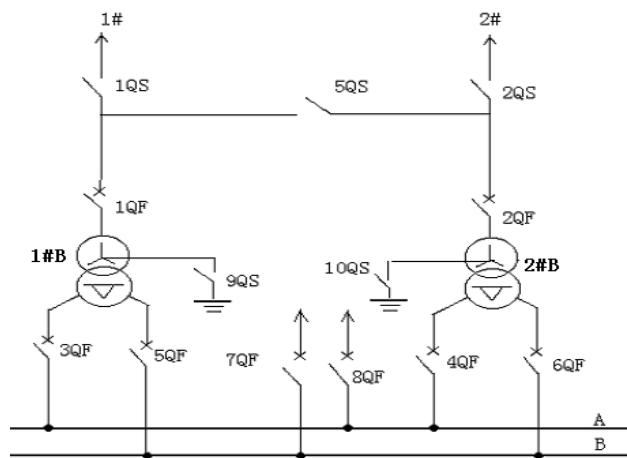


2. 工作方式二（1#进线2#主变）下的自投过程

工作方式二的条件：1QS、5QS、2QF、4QF、6QF 闭合，2QS、1QF、3QF、5QF 断开。

在交叉供电方式下，不论是进线失压，还是主变故障都倒为直列供电方式。

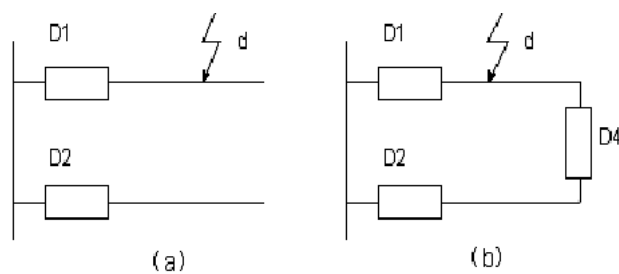
1#进线失压时 → 2#进线2#主变
2#主变故障时 → 1#进线1#主变



牵引变电所主接线示意图

5.6 接触网故障点测距

一、直接供电方式故障点测距原理



➤单线方式

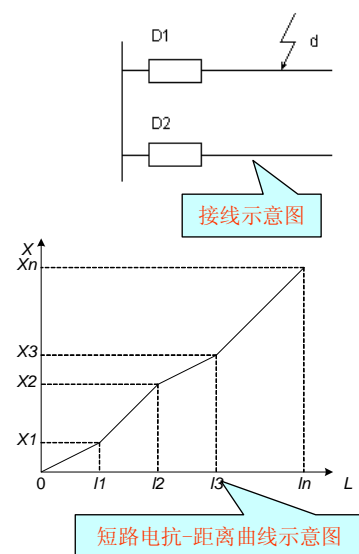
➤复线方式

在分区所通过断路器实现上下行并联



1. 单线直接供电方式测距原理

- 直接供电牵引网可以等效为R-L电力线路；
 - 供电臂上区间和站场的单位阻抗不同；
 - 牵引网短路时存在一定的过渡电阻，利用电抗和距离关系进行故障定位。
- 基本思想：将电抗-距离分段线性化**



当故障发生在 l_{n-1} 和 l_n 之间时，根据电抗距离关系如下公式成立。

测距公式：
$$l = l_{n-1} + \frac{X_n - X_{n-1}}{l_n - l_{n-1}} (X - X_{n-1})$$



2. 复线直接供电方式测距原理

假设：线路 I 中的d点发生短路

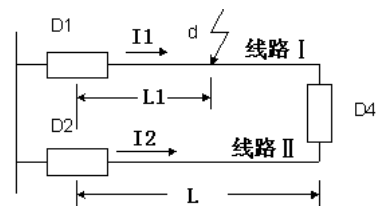
沿D1→短路点d的电压降为：

$$\Delta U_1 = (I_1 Z_0 + I_2 Z_M) L_1$$

线路单位长度自阻抗

线路单位长度互阻抗

D1到短路点d的距离



接线示意图

沿D2→D4→短路点d的电压降为：

$$\Delta U_2 = (I_2 Z_0 + I_1 Z_M) L_1 + 2I_2 Z_0 (L - L_1) - 2I_2 Z_M (L - L_1)$$

由 $\Delta U_1 = \Delta U_2$ 可以求出：

$$L_1 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot 2L$$

D2处测得的短路电流

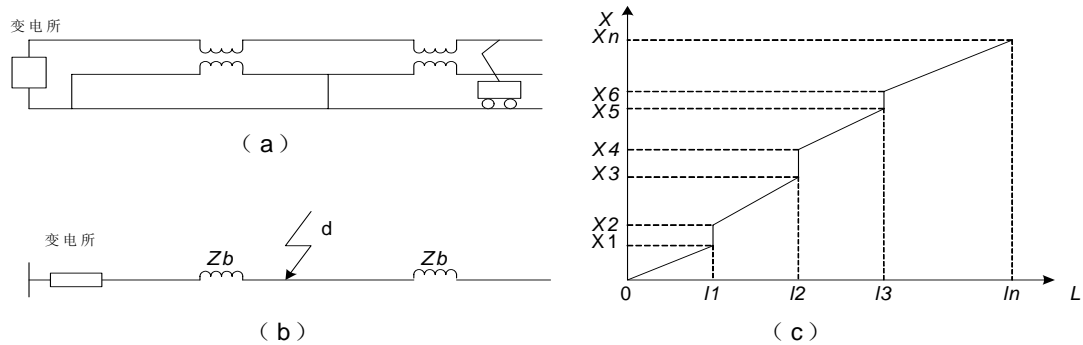
条件：线路单位长度阻抗相等且
沿线路均匀分布

D1处测得的短路电流

西南交通大学



二、BT供电方式测距原理



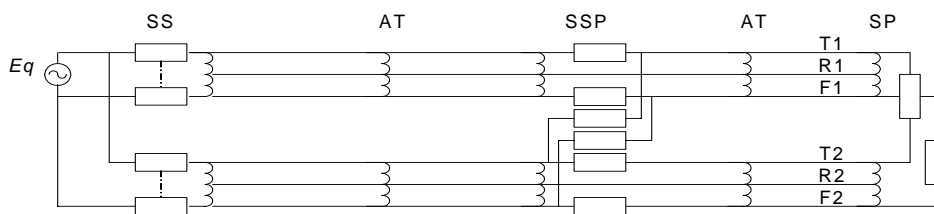
主要特点:

- 牵引网中架设吸流变压器 (BT) 一回流线;
- BT 安装位置出现短路电抗的跳变;
- 每一个短路电抗具有唯一的对应距离;
- 可以采用电抗距离分段查表测距;

西南交通大学



三、AT供电方式测距原理



1. 上下行电流比

在复线AT供电方式下，当发生T-R、F-R、T-F故障时的测距公式为：

$$I_1 = I_{t1} - I_{f1}$$

$$I_2 = I_{t2} - I_{f2}$$

$$l = \frac{I_2}{I_1 + I_2} (L_1 + L_2)$$

L1、L2上下行供电臂长度

I1、I2上下行供电臂电流

上、下行T线和F线电流

考虑到阻抗参数不均匀及上、下行线路间互感，在上式基础上增加一个修正项，即：

$$l = \frac{I_2}{I_1 + I_2} (L_1 + L_2) + \Delta l$$

各种因素对测距精度影响的修正值



2. AT中性点吸上电流比

▶AT中性点吸上电流比定义为：

$$H = I_{n+1} / (I_n + I_{n+1})$$

I_n 、 I_{n+1} 为故障点所在AT段两个AT的中性点吸上电流

理想情况：
靠近变电所AT处短路时， $H=0$ ；远离变电所AT处短路时， $H=1$

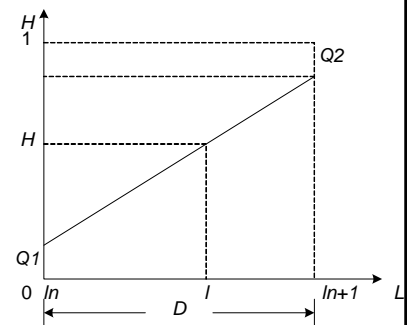
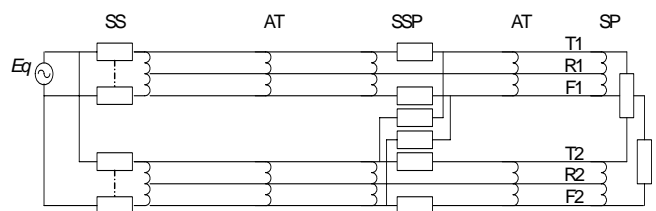
实际情况存在：
钢轨漏抗、AT漏抗、馈线长短、钢轨联结导电情况等
因素

第n个AT距变电所的距离

▶测距公式：

$$l = l_n + \frac{H - Q_1}{[1 - (Q_1 + Q_2)]} D$$

故障AT段长度



西南交通大学

