

电力工程基础

第6章 电力系统继电保护基础

制作 孙丽华



第6章 电力系统继电保护基础

- 6.1 继电保护的基本知识
- 6.2 常用保护继电器
- 6.3 电网相间短路的电流保护
- 6.4 电网的接地保护
- 6.5 电力变压器的保护
- 6.6 电动机保护
- 6.7 微机保护简介



6.1 继电保护的基本知识

一、继电保护的作用

电力系统继电保护装置是一种能反应电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种反事故自动装置。

它的基本任务是：

- 自动、迅速、有选择地将故障元件从电力系统中切除，使其他非故障部分迅速恢复正常运行。
- 能正确反应电气设备的不正常运行状态，并根据要求发出报警信号、减负荷或延时跳闸。

二、继电保护的基本原理

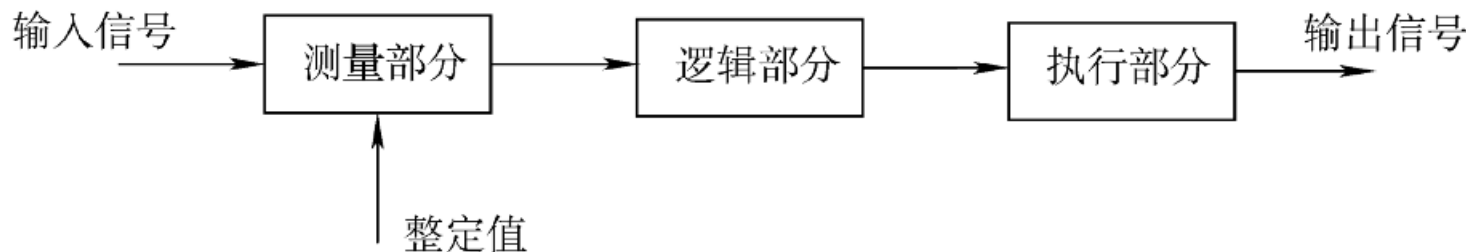
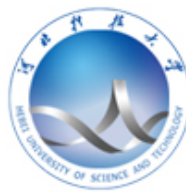


图6-1 继电保护装置组成方框图

- ✓ **测量部分：**从被保护对象输入有关信号，并与给定的整定值进行比较，决定保护是否动作；
- ✓ **逻辑部分：**根据测量部分各输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合，进行逻辑判断，以确定保护装置是否应该动作；
- ✓ **执行部分：**根据逻辑部分做出的判断，执行保护装置所担负的任务（跳闸或发信号）。



保护装置有可分为以下几类：

- **主保护**：指满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护元件故障的保护。
- **后备保护**：指当主保护或断路器拒动时，用来切除故障的保护。
 - **近后备**：当主保护拒动时，由本元件的另一套保护来实现后备。
 - **远后备**：当主保护或断路器拒动时，由上一级相邻元件的保护来实现后备。
- **辅助保护**：是为补充主保护和后备保护的性能而增设的简单保护。

三、对继电保护的基本要求

- ◆ **选择性：** 应使离故障元件最近的保护装置动作，保证非故障部分继续运行。

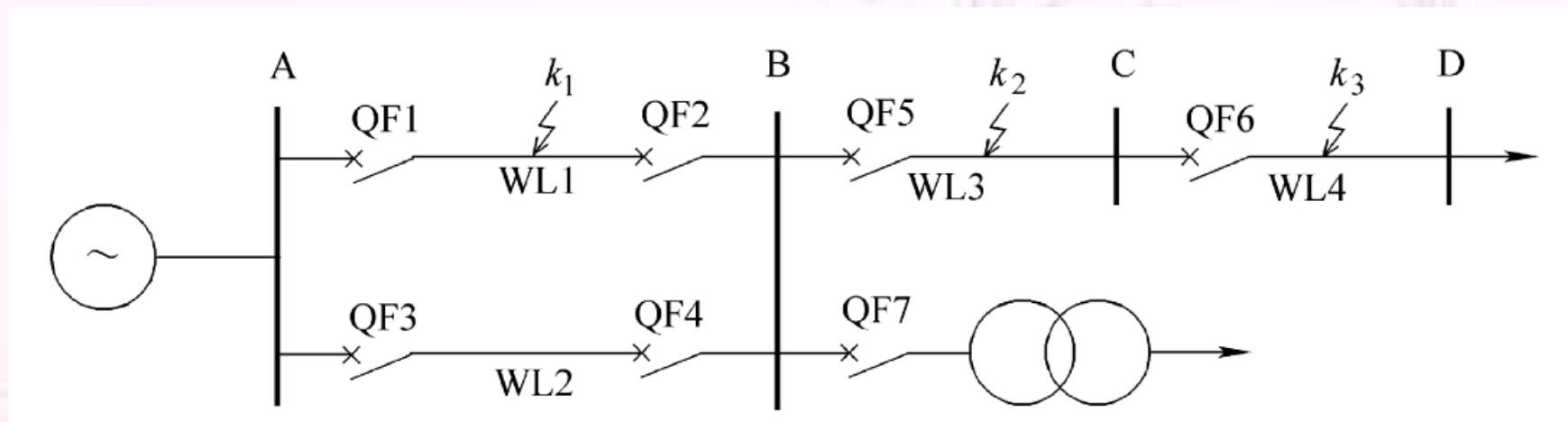


图6-2 电力系统继电保护选择性说明图

- ◆ **速动性：** 继电保护装置应以尽可能快的速度将故障元件从电网中切除。



◆ **灵敏性**：指保护装置对其保护范围内的故障或不正常运行状态的反映能力。用灵敏系数 K_s 来衡量。

➤ **过电流保护**：

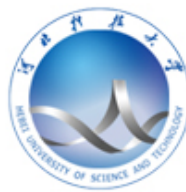
$$K_s = \frac{\text{保护区内故障时反应量最小值}}{\text{保护动作的整定值}} = \frac{I_{k.min}}{I_{op}}$$

➤ **低电压保护**：

$$K_s = \frac{\text{保护动作的整定值}}{\text{保护区内故障时反应量最大值}} = \frac{U_{op}}{U_{k.max}}$$

◆ **可靠性**：指保护装置该动时不能拒动；不该动时不能误动。



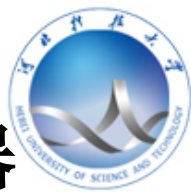


6.2 常用保护继电器

一、保护继电器的分类

- 按其反应物理量分：电流继电器、电压继电器、功率继电器、气体继电器等；
- 按其在保护装置中的功能分：起动继电器、时间继电器、信号继电器和中间继电器等；
- 按其组成元件分：机电型、电子型和微机型等。
 - ✓ 机电型：电磁式、感应式等；
 - ✓ 电子型继电器（静态继电器）：包括晶体管型和集成电路型两类。

优点：动作灵敏、体积小、能耗低、耐震动、无机械惯性、寿命长。



✓ 微机型继电器（数字式继电器）：以微处理器为核心组成的新型继电保护装置。

优点：保护性能好、可靠性高、灵活性大、调试维护方便。

二、电磁型继电器（DL型）

1. 电磁型电流继电器（KA）

◆ 结构：由电磁铁、可动衔铁、线圈、触点和反作用弹簧等元件组成，如图6-3所示。

◆ 工作原理：当在继电器线圈中通入电流时，电磁铁产生的电磁力矩克服弹簧的反作用力矩，钢舌片转动，带动动触点5和静触点4接触，使常开触点闭合，继电器动作。

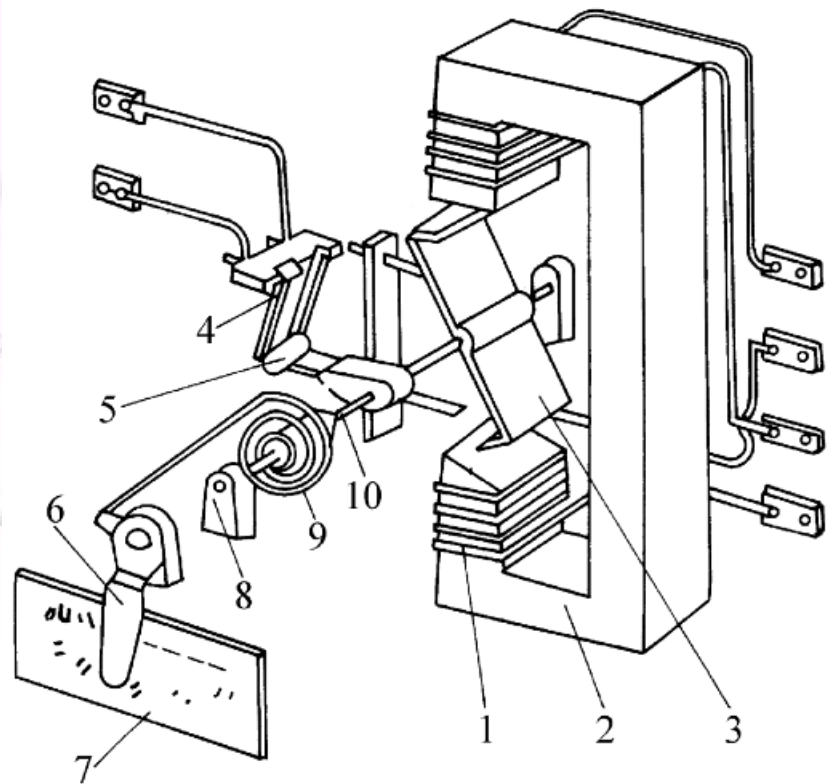


图6-3 电磁式电流继电器结构图

- 1—线圈 2—电磁铁 3—钢舌片 4—静触点
- 5—动触点 6—起动电流调节转杆
- 7—标度盘（铭牌） 8—轴承
- 9—反作用弹簧 10—转轴

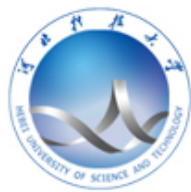


- **动作电流**：能使继电器产生动作的最小电流，称为继电器的动作电流，用 $I_{op.K}$ 表示。
- **返回电流**：能使继电器返回到原始位置的最大电流，称为继电器的返回电流，用 $I_{re.K}$ 表示。
- **返回系数**：继电器的返回电流与动作电流的比值，用 K_{re} 表示，即

$$K_{re} = \frac{I_{re.K}}{I_{op.K}}$$

说明：过电流继电器的返回系数 $K_{re} < 1$ ，一般要求不低于0.8

5. 调整继电器动作电流的方法有：
- ✓ 改变继电器线圈匝数（级进调节）；
 - ✓ 调节反作用弹簧的松紧（平滑调节）；



2. 电磁型电压继电器 (KV)

其结构和原理与电磁型电流继电器相似，在供电系统中多用低电压（欠电压）继电器。

- **动作电压：**能使继电器产生动作的最高电压，称为继电器的动作电压，用 $U_{op.K}$ 表示。
- **返回电压：**能使继电器返回到原始位置的最低电压，称为继电器的返回电压，用 $U_{re.K}$ 表示。
- **返回系数：**返回电压与动作电压的比值。

说明：低电压继电器的返回系数 $K_{re} > 1$ ，一般为1.25。



3. 电磁型时间继电器（KT）：使保护装置获得一定的延时，以保证保护装置动作的选择性。

4. 电磁型中间继电器（KM）：

- 为了扩充保护装置出口继电器的接点数量和容量；
- 使触点闭合或断开时带有不大的延时(0.4~0.8s)；
- 通过继电器的自保持，以适应保护装置的需要。

5. 电磁型信号继电器（KS）：用于各保护装置回路中，作为保护动作的指示信号，以提醒运行人员注意。

时间继电器

中间继电器

信号继电器

三、感应型继电器 (GL型)

➤ **感应系统：**由线圈1、带短路环3的电磁铁2和铝盘4组成，它的动作是有时限的；

➤ **电磁系统：**由线圈1、电磁铁2和衔铁15组成，它的动作是瞬时的。

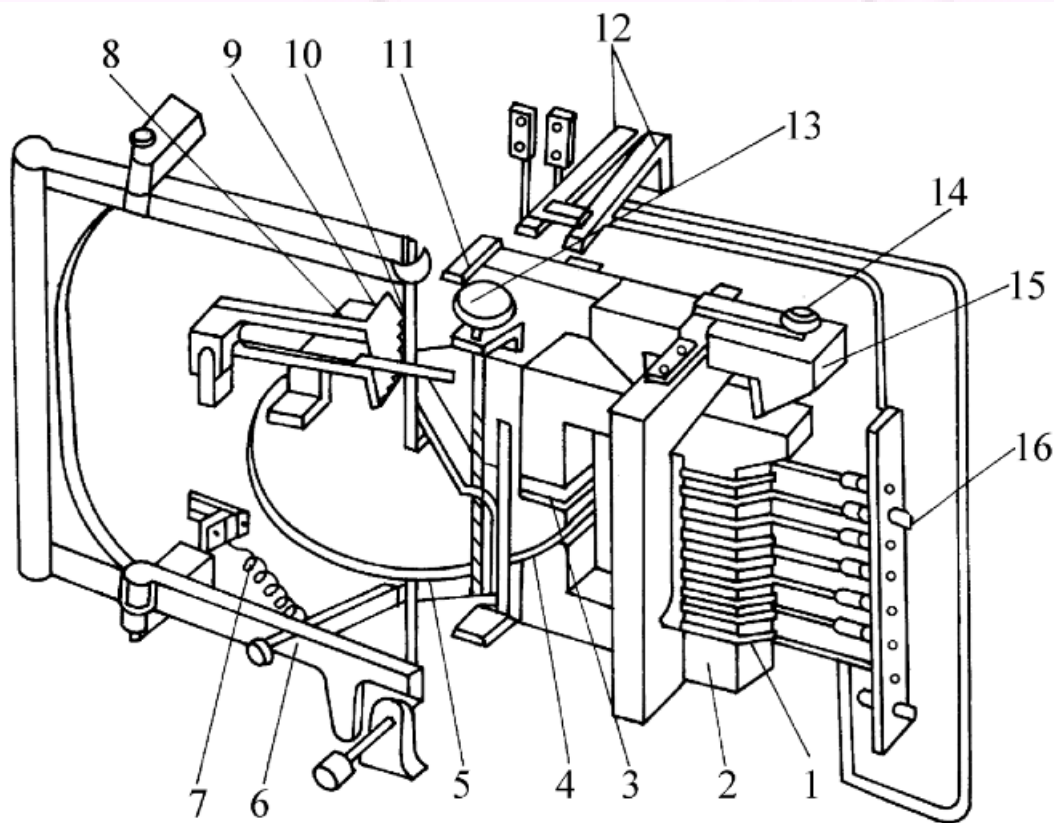
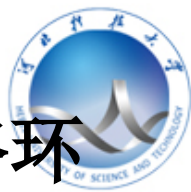


图6-4 感应式电流继电器结构图

- 1—线圈 2—电磁铁 3—短路环 4—可转铝盘 5—钢片
 6—可偏铝框架 7—调节弹簧 8—制动永久磁铁
 9—扇形齿轮 10—蜗杆 11—扁杆 12—继电器触点
 13—时限调节螺杆 14—速断电流调节螺钉
 15—衔铁 16—动作电流调节插销

感应型继电器

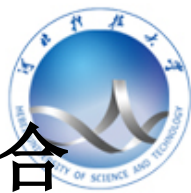


◆工作原理：继电器线圈中通入电流时，在短路环的作用下铁心中产生相位不同的两部分磁通均穿过铝盘，则作用在铝盘上的电磁转矩为

$$M_1 = K\Phi_1\Phi_2 \sin\varphi \propto I_K^2$$

铝盘在转矩 M_1 作用下转动后，切割永久磁铁的磁通而在铝盘中产生涡流，产生制动力矩 $M_2 \propto n$ 。

当 $M_1=M_2$ 时，铝盘匀速旋转；当铝盘受到的合力克服弹簧的阻力时，蜗杆与扇形齿片相咬合，继电器动作。



- **感应系统的动作电流：**指蜗杆与扇形齿轮相咬合时，线圈所需要通入的最小电流。
- **返回电流：**指使扇形齿轮脱离蜗杆返回到原来位置时的最大电流。
- **动作时间：**指从蜗杆与扇形齿片相咬合起到接点闭合这一段时间。
- **电磁系统的速断电流：**当通入继电器线圈的电流大到整定值的某个倍数时，未等感应系统动作，衔铁右端瞬时被吸下，接点立即闭合。

◆ 时限特性

*ab*段——“反时限特性”（继电器铁心尚未饱和）；

*bc*段——“定时限”（铁心已达到饱和）；

*de*段——“速断特性”。

说明：“速断电流倍数”是速断电流与感应元件动作电流之比。

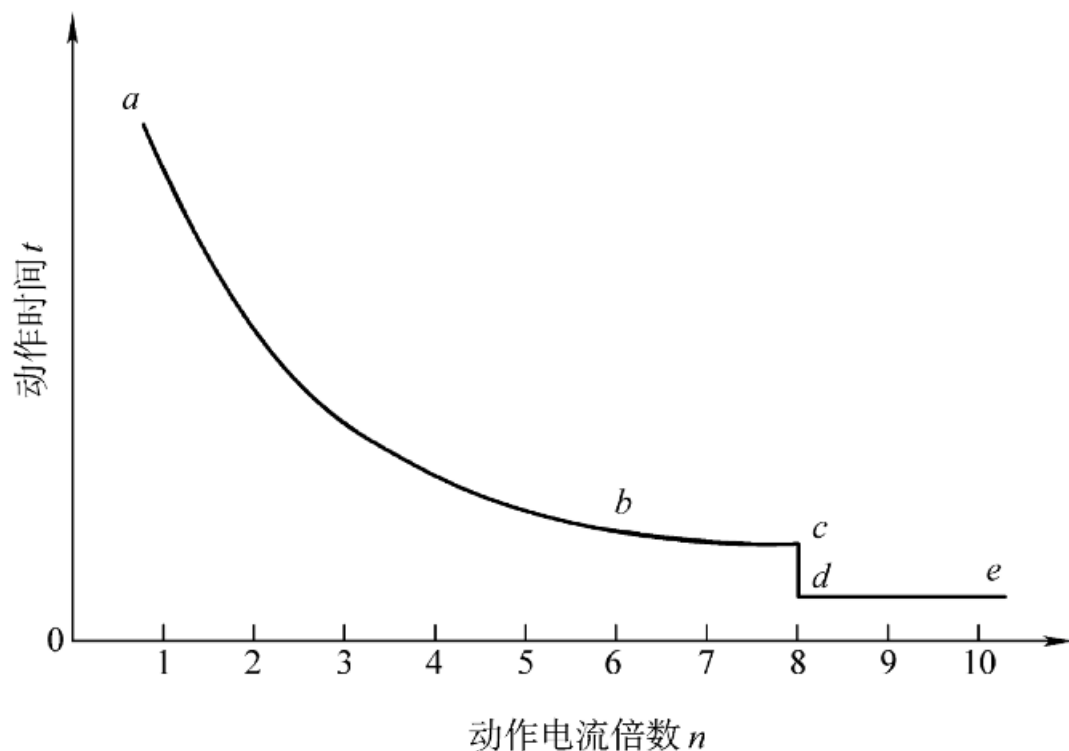


图6-5 感应型电流继电器的动作特性曲线



◆ 动作电流与动作时限调节方法

- 感应系统的动作电流调节：改变线圈的匝数（级进调节）；改变弹簧的拉力（平滑调节）。

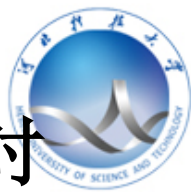
动作电流的整定值通过插孔板拧入螺钉来改变线圈的匝数来调整（2，2.5，3...4.5，5，6...9，10A）。

- 电磁系统动作电流调节：改变衔铁与电磁铁之间的气隙。

速断动作电流调整范围是感应系统整定电流值的2~8倍。

- 感应系统的动作时限：改变扇形齿轮顶杆行程的起点，使动作特性上下移动。

注意：继电器动作时限调节螺杆的标度尺，是以**10倍动作电流**的动作时限来标度的。



◆ GL型电流继电器的功能：兼有电磁型电流、时间、信号和中间继电器的功能。

四、静态继电器

- ✓ 静态继电器又叫“固体”继电器，是以电子器件为主构成的继电器。
- ✓ 静态继电器的“静态”是相对于电磁型继电器的“触点”动作而言的，它的信息传递是通过“0、1”开关信息传递的。
- ✓ 静态继电器包括晶体管型和集成电路型继电器两类。

静态继电器

1. 晶体管型电流继电器

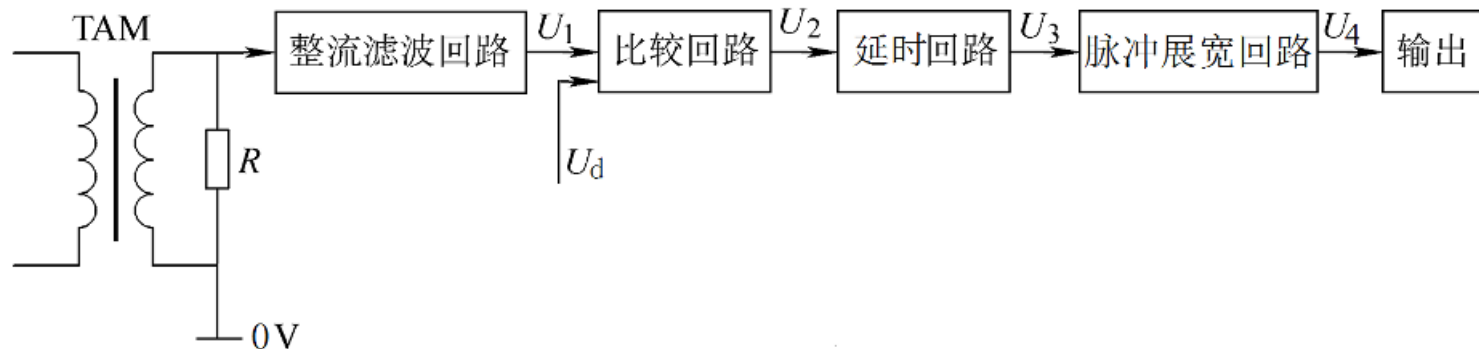
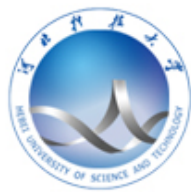


图6-6 晶体管型电流继电器构成框图

- **电压形成回路：**通过中间变流器和电阻将加入继电器的电流变换成电压信号；
- **整流滤波回路：**将交流电压信号变成一个比较平滑的直流电压 U_1 ；
- **比较回路：**使整流后的电压 U_1 在门槛电压 U_d 以上的持续时间 $2\sim 3\text{ms}$ 才能动作于输出；



- **延时回路：**使比较回路的输出电压 U_2 延时动作；
- **脉冲展宽回路：**将输出脉冲信号 U_3 变成一个连续的长信号，以便于继电器正确动作。

2. 集成电路型电流继电器

- 其基本构成与晶体管型继电器相似，但各回路功能都由运算放大器和CMOS门电路等集成电路芯片构成。
- 整流滤波回路采用由运算放大器构成的全波整流电路；滤波回路采用高品质因数的带通有源滤波器；比较回路利用开环运算放大器进行比较。

五、保护装置的接线方式

□ **接线系数**：流入继电器中的电流 I_K 与对应电流互感器的二次电流 I_2 的比值，即

$$K_w = \frac{I_K}{I_2}$$

1. 三相完全星形接线方式

特点：可以反映各种形式的故障，其接线系数

$$K_w = 1。$$

主要用于大电流接地系统及大型发电机、变压器的相间短路和单相接地短路的保护

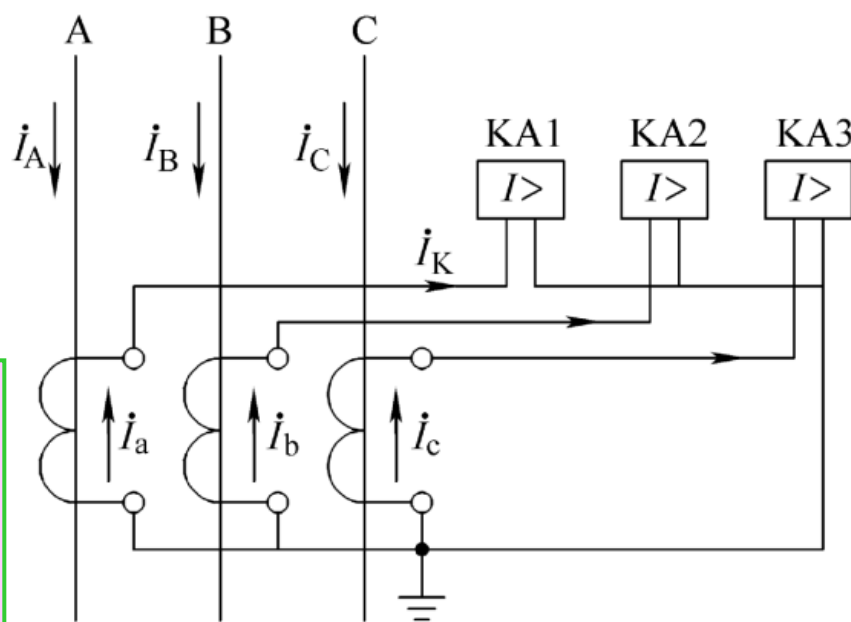


图6-7 三相完全星形接线方式

2. 两相不完全星形接线方式

特点：可以反映除B相单相接地短路以外的所有故障，其接线系数 $K_w=1$ 。

用于6~35kV小电流接地系统中的过电流保护

3. 两相电流差接线方式

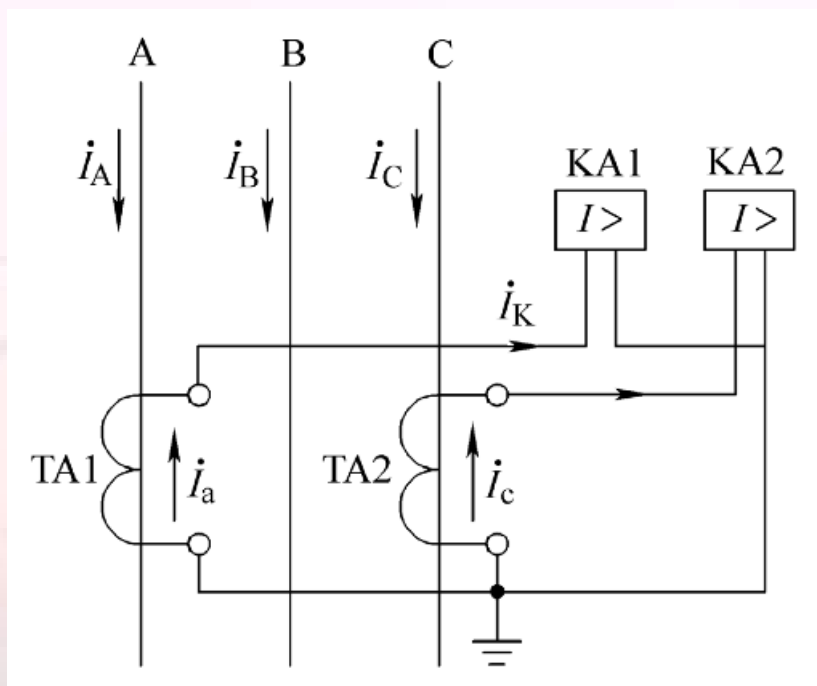


图6-8 两相不完全星形接线方式

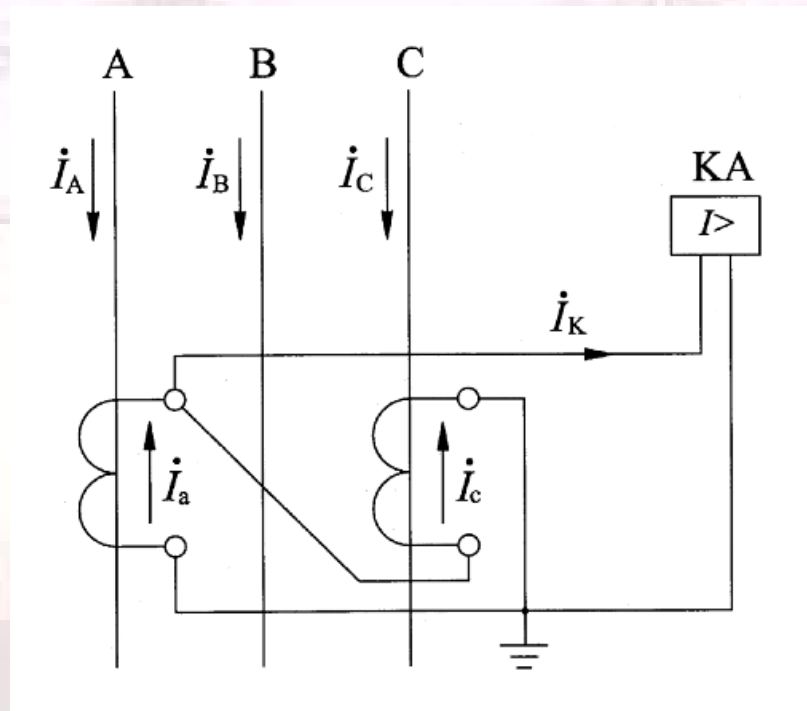


图6-9 两相电流差接线方式



流入继电器中的电流为： $\dot{I}_K = \dot{I}_a - \dot{I}_c$

特点：各种短路形式下的接线系数不同。

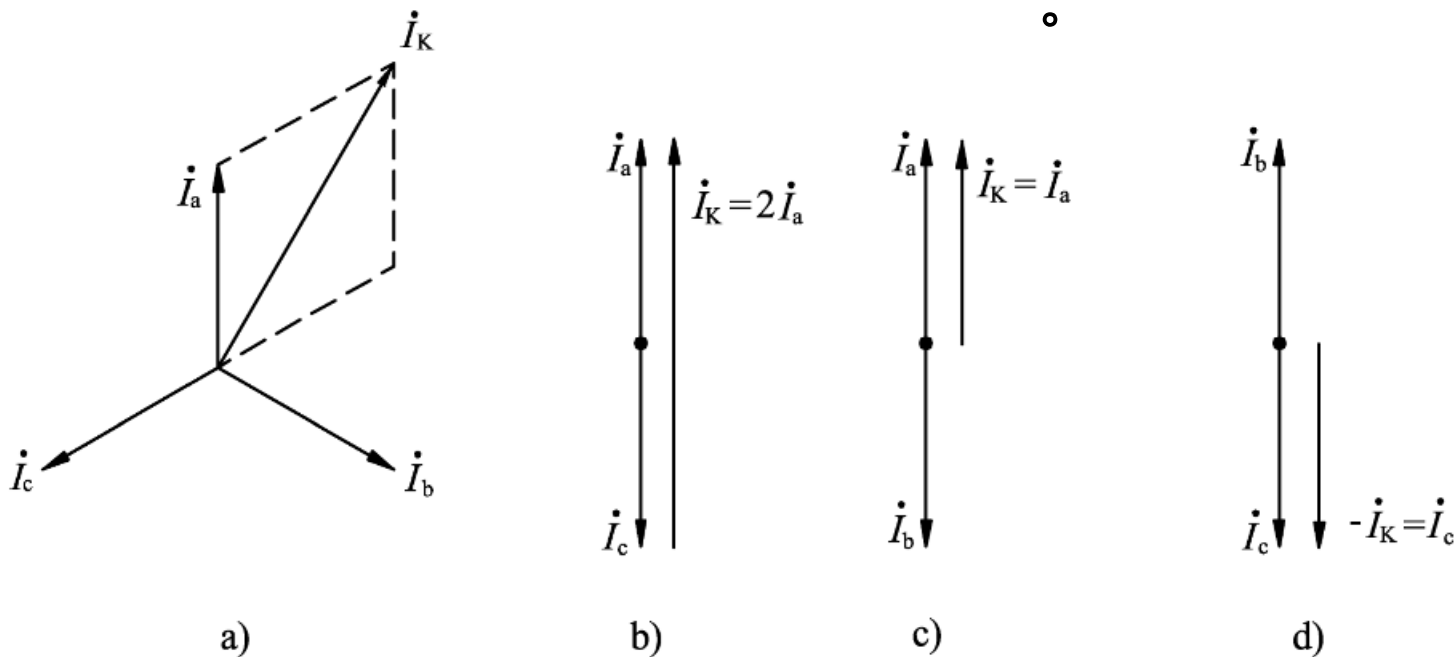
Why?!

✓ 正常运行或三相短路： $K_w = \sqrt{3}$

✓ AC两相短路： $K_w = 2$

✓ AB或BC两相短路： $K_w = 1$

保护整定时取 $K_w = \sqrt{3}$;
灵敏度校验时取 $K_w = 1$



用于 6~10kV 线路和小容量高压电动机的保护

6.3 电网相间短路的电流保护

一、单侧电源电网相间短路的电流保护

(一) 无时限电流速断保护 (I段)

1. 无时限电流速断保护的作用原理与整定计算

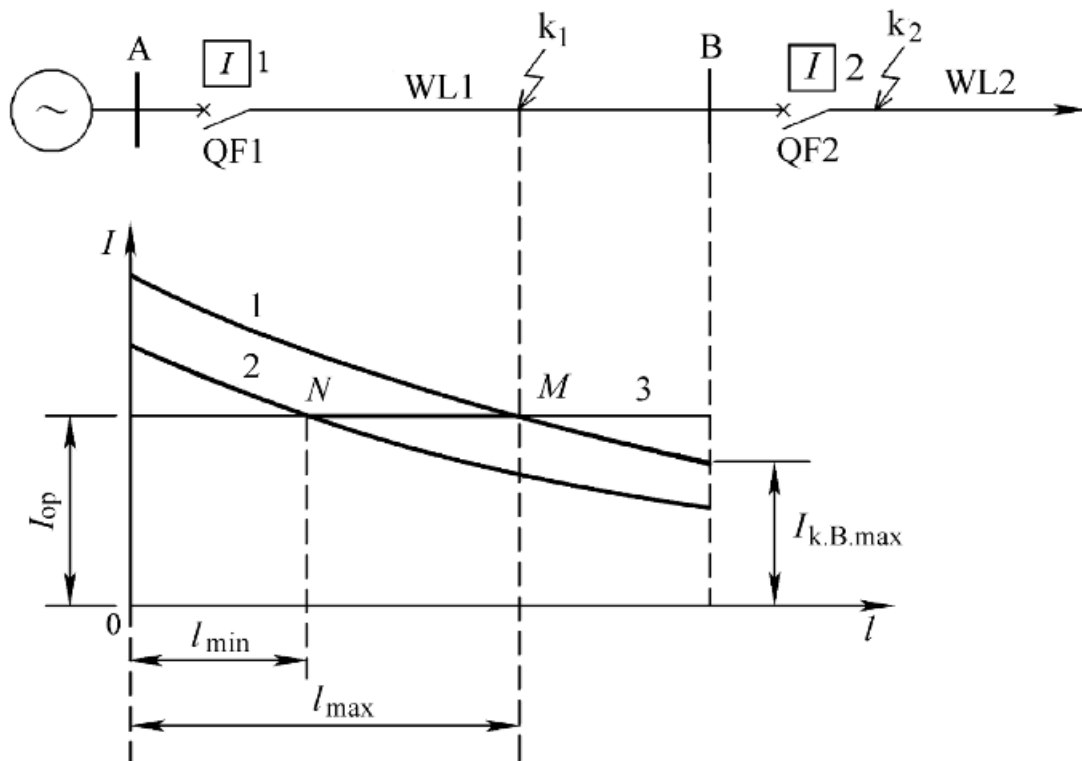
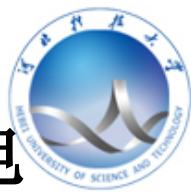


图6-11 无时限电流速断保护的工作原理图



■ **动作电流：**躲过本保护区末端B处的最大短路电流，即

$$I_{op}^I = K_{rel} I_{k.max}^{(3)}$$

取1.2~1.3

继电器动作电流：
$$I_{op.K} = \frac{K_w}{K_i} I_{op} = \frac{K_{rel} K_w}{K_i} I_{k.max}^{(3)}$$

■ **灵敏度校验：**要求其最小保护范围 l_{min} 不小于线路全长的15%~20%。

也可以按本线路**首端**的最小两相短路电流来校验保护的灵敏度：

本线路首端

$$K_S = \frac{I_{k.min}^{(2)}}{I_{op}} \geq 2.0$$

若灵敏度不满足要求，可采用电流电压联锁保护。

2. 无时限电流速断保护的原理接线图

■ 无时限电流速断保护的评价:

👉 **优点:** 简单可靠, 动作迅速;

👉 **缺点:** 不能保护线路全长, 有保护死区。

(二) 带时限电流速断保护 (II段)

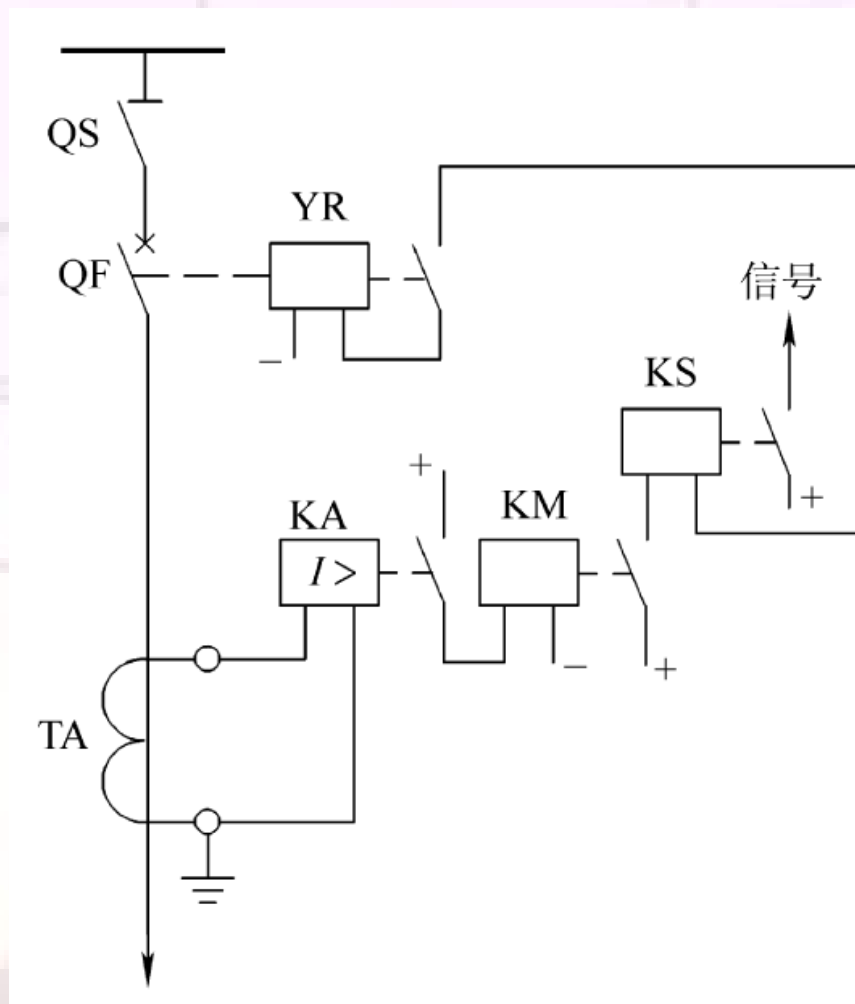


图6-12 无时限电流速断保护的单相原理接线图

■ **动作电流：**躲过相邻线路瞬时电流速断保护的动
作电流，即

取1.1~1.2

$$I_{op.1}^{II} = K_{rel} I_{op.2}^I$$

■ **动作时限：**

$$t_1^{II} = t_2^I + \Delta t$$

■ **灵敏度校验：**

本线路末端

$$K_s = \frac{I_{k.min}^{(2)}}{I_{op}} \geq 1.3 \sim 1.5$$

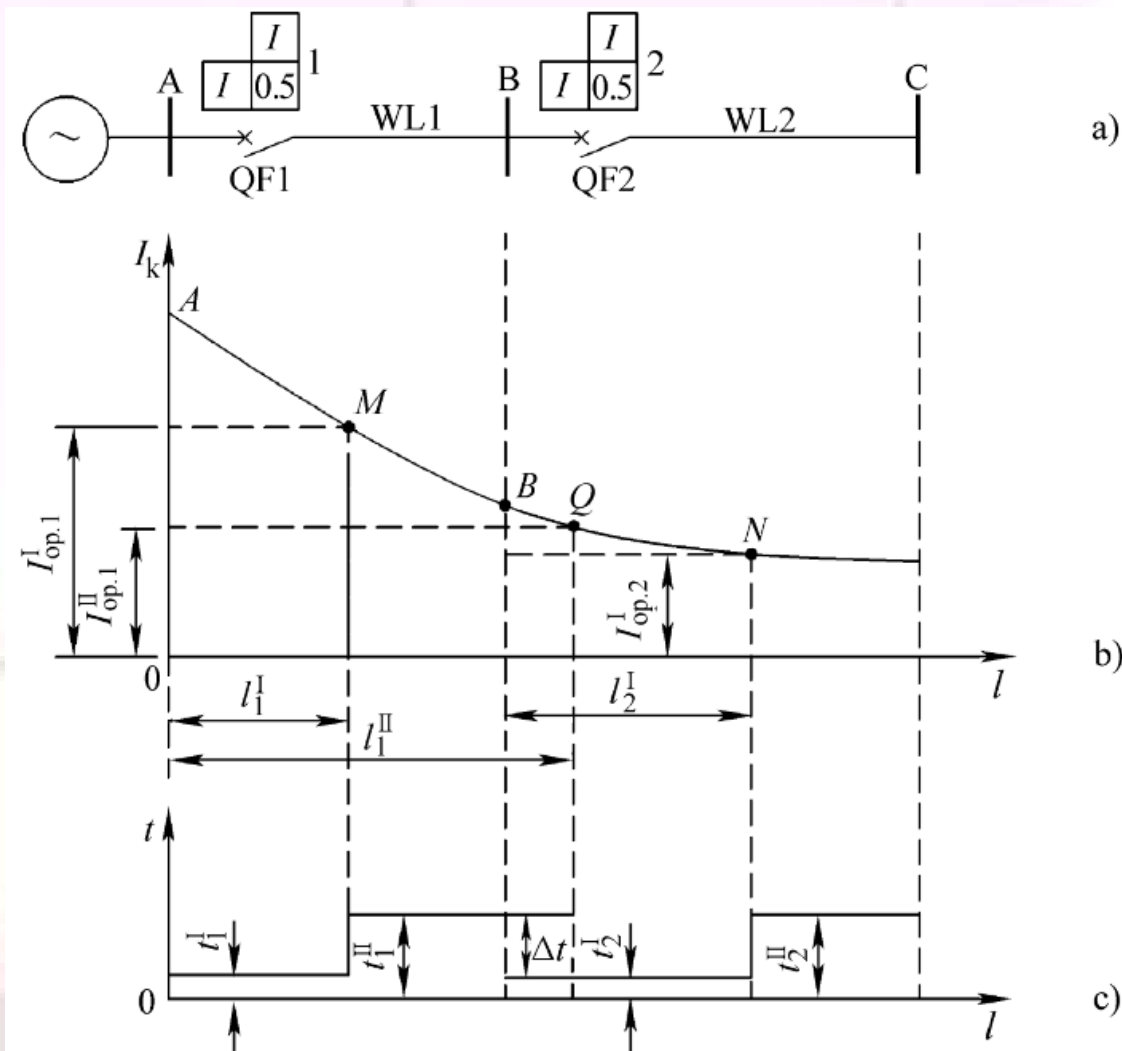


图6-13 带时限电流速断保护的工作原理图

若不满足要求，可与下一
级线路的II段相配合。

(三) 过电流保护 (III段)

1. 过电流保护的原理和组成

◆ 定时限过电流保护的动作原理和组成

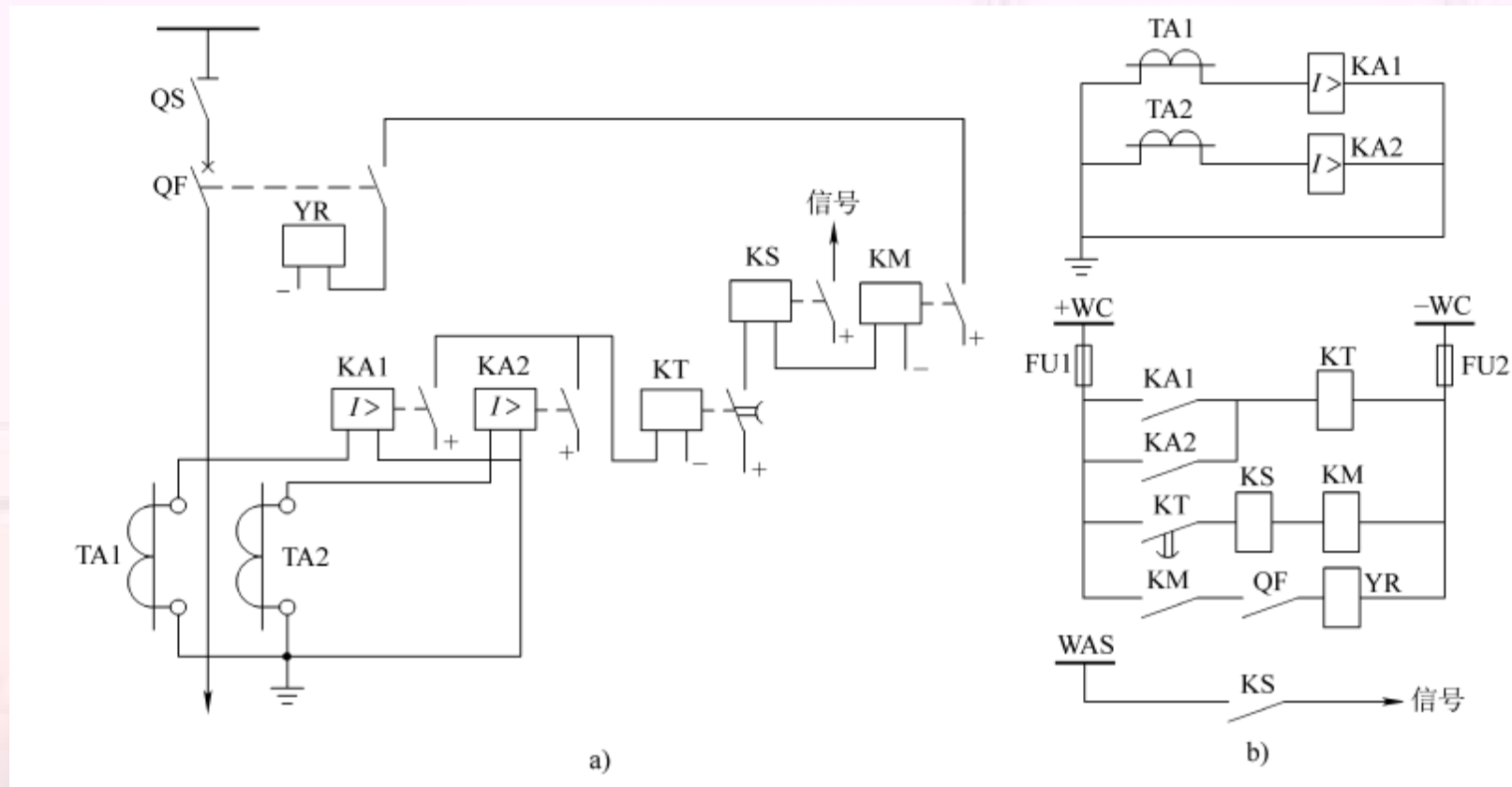


图6-14 定时限过电流保护的原理图和展开图

a) 原理图 b) 展开图

◆ 反时限过电流保护的组成

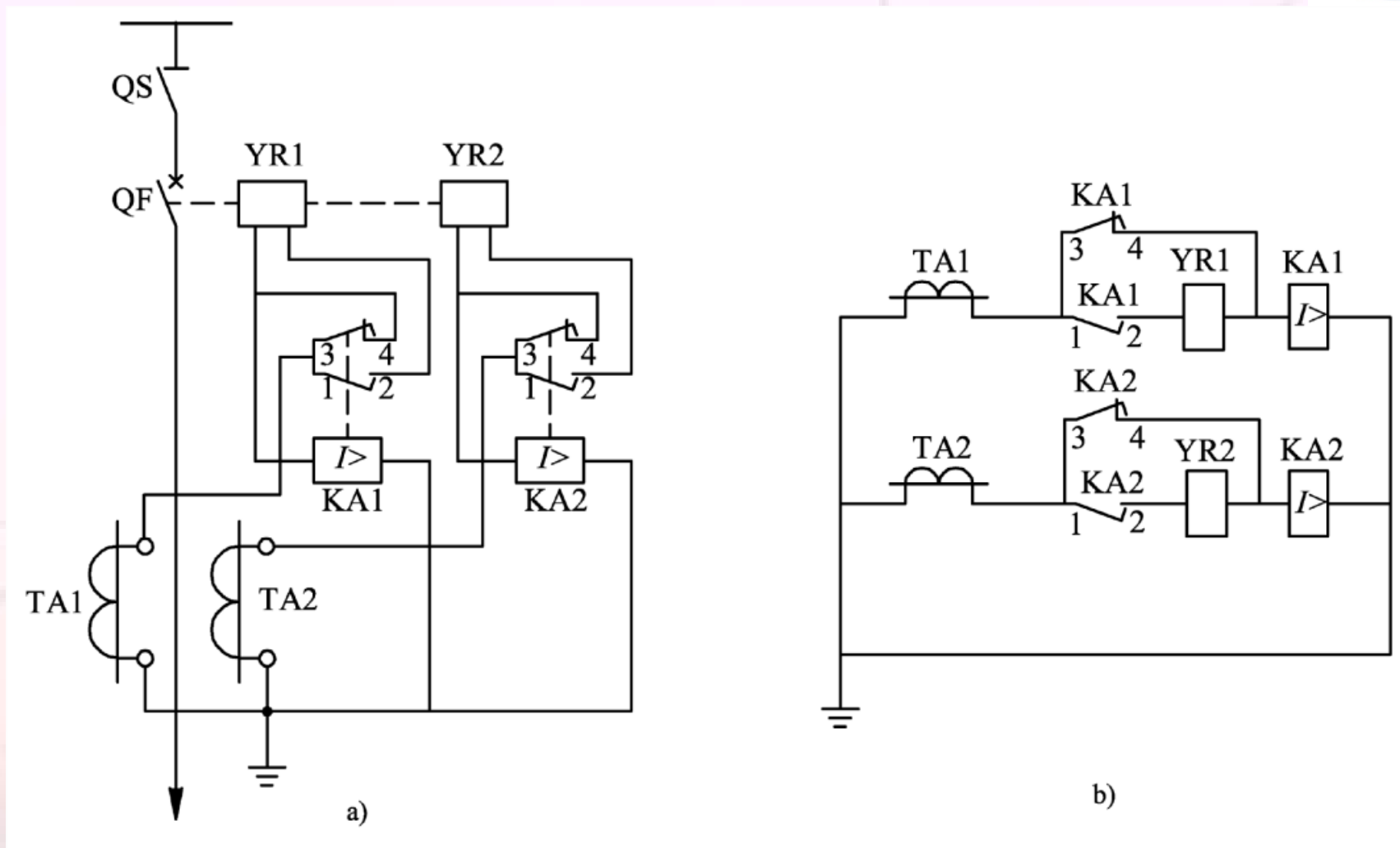


图6-15 反时限过电流保护的原理图和展开图
a) 原理图 b) 展开图

2. 过电流保护装置的整定计算

■动作电流:

- 保护装置的動作電流 I_{op} 應躲過線路的最大負荷電流 $I_{L.max}$ ，即

$$I_{op} > I_{L.max}$$

- 保護裝置在外部故障切除後應可靠返回到原始位置。

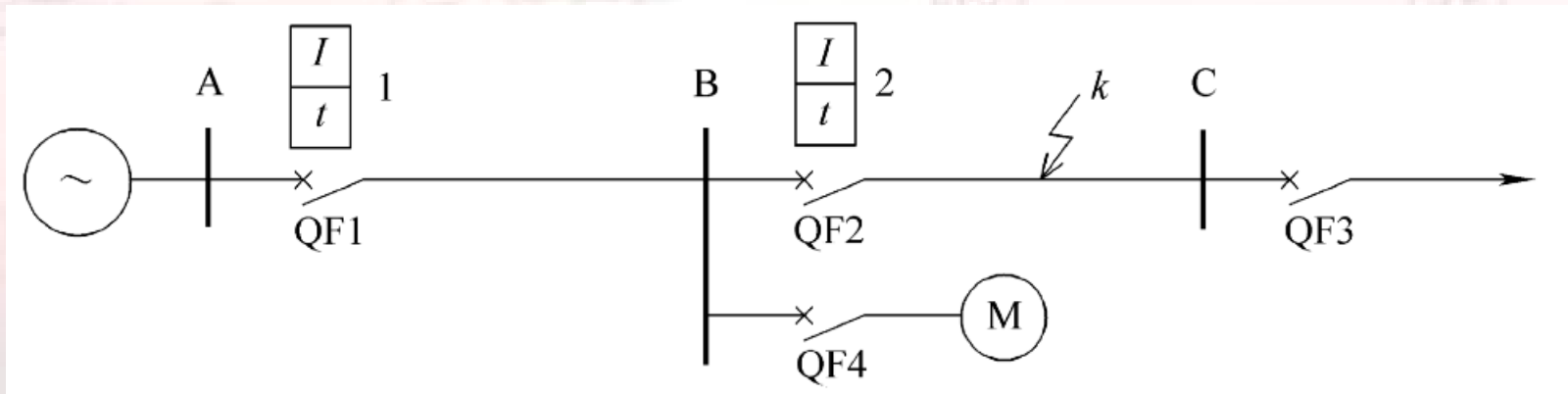
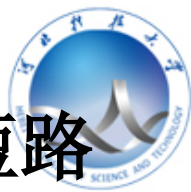


图6-16 过电流保护的計算示意图



因此，保护装置的返回电流 I_{re} 必须躲过外部短路切除后流过保护装置的最大自启动电流 $K_{st}I_{L.max}$ ，即

$$I_{re} > K_{st} I_{L.max}$$

考虑 $I_{re} < I_{op}$ ，引入一个可靠系数后，上式改写为：

$$I_{re} = K_{rel} K_{st} I_{L.max}$$

取1.2

取1.5~3

因此

$$I_{op} = \frac{K_{rel} K_{st}}{K_{re}} I_{L.max}$$

取0.8~0.9

■动作时限：应按“阶梯原则”整定。

即 $t_1 = t_2 + \Delta t$

➤ 定时限过电流

保护： $\Delta t = 0.5s$

➤ 反时限过电流

保护： $\Delta t = 0.7s$

说明： 定时限过电流保护的
动作时间取决于时间继电器
预先整定的时间，与短路电
流的大小无关；反时限过电
流保护的
动作时间需要根据前后两级
保护的GL型电流继电器的动
作特性曲线来整定。

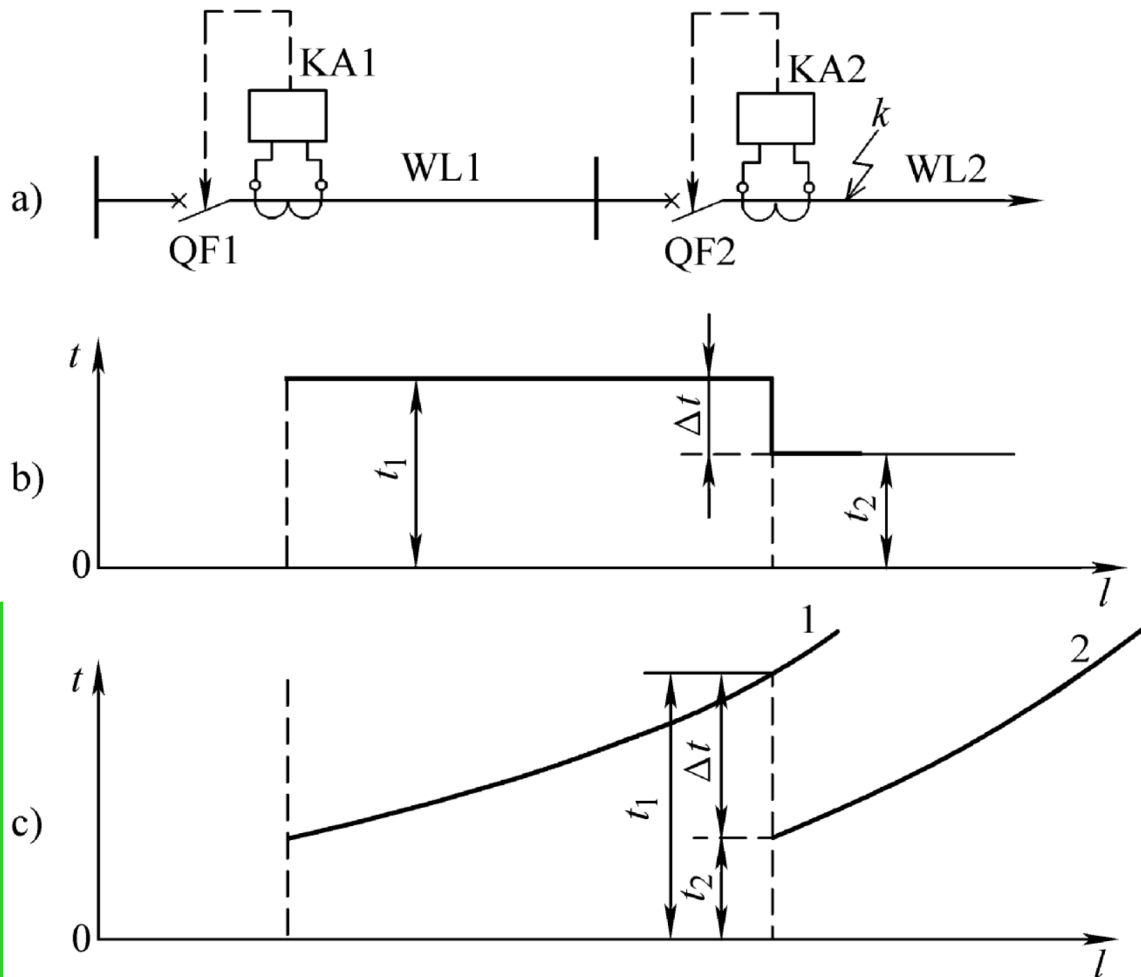


图6-17 过电流保护整定说明图

a) 电路 b) 定时限过电流保护的时限整定

c) 反时限过电流保护的时限整定

设图6-17a中，KA2的10倍动作电流的动作时间已整定为 t_2 ，则KA1的10倍动作电流的动作时间 t_1 的整定方法步骤如下：

✓ 计算WL2首端的三相短路电流 I_k 反应到KA2中去的电流值：

$$I'_{k(2)} = \frac{K_{w(2)}}{K_{i(2)}} I_k$$

✓ 计算 $I'_{k(2)}$ 对KA2的动作电流 $I_{op-K(2)}$ 的倍数，即

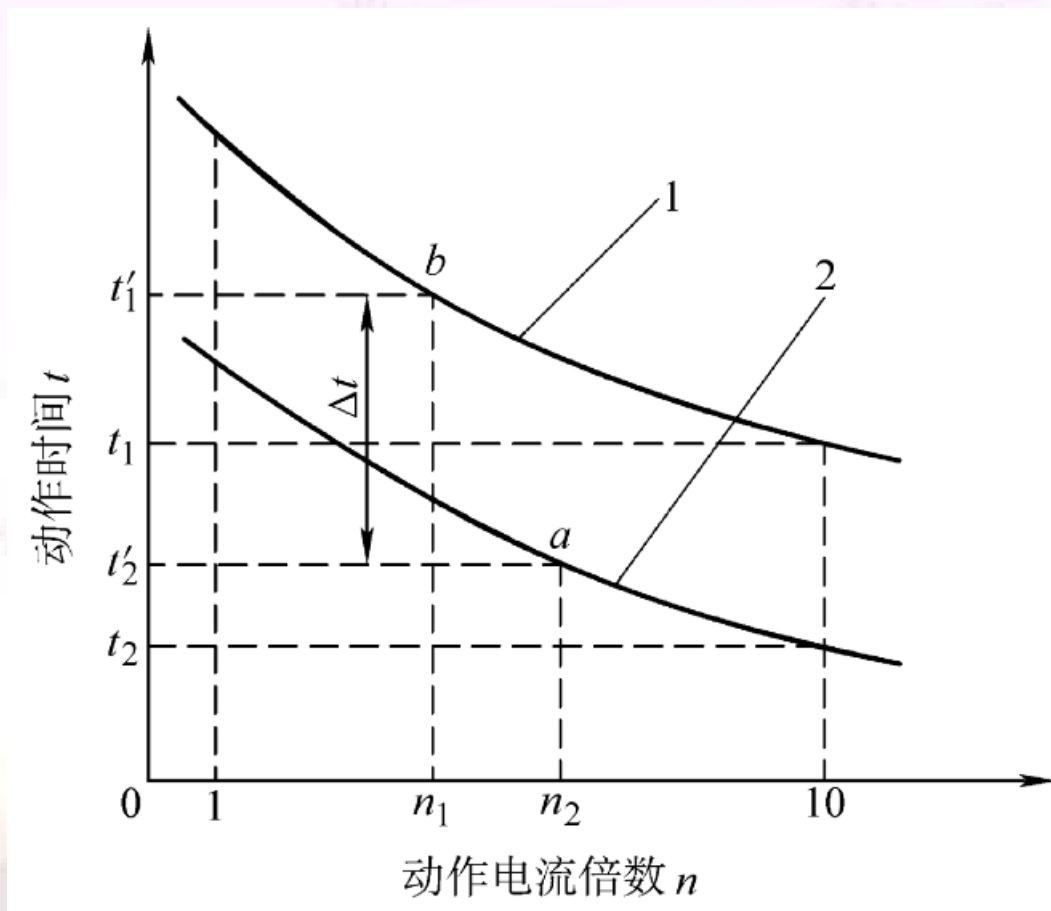


图6-18 反时限过电流保护的整定



$$n_2 = \frac{I'_{k(2)}}{I_{op.K(2)}}$$

- ✓ 确定KA2的实际动作时间：由 n_2 点→ a 点→ t'_2 。
- ✓ 计算KA1的实际动作时间：

$$t'_1 = t'_2 + \Delta t \quad (\Delta t = 0.7s)$$


- ✓ 计算WL1首端的三相短路电流 I_k 反应到KA1中去的电流值：

$$I'_{k(1)} = \frac{K_{w(1)}}{K_{i(1)}} I_k$$

- ✓ 计算 $I'_{k(1)}$ 对KA2的动作电流 $I_{op.K(1)}$ 的倍数，即

$$n_1 = \frac{I'_{k(1)}}{I_{op.K(1)}}$$



✓ 确定KA2的10倍动作时间：由 n_1 点和  找到交点 b 点，从过点 b 所在的曲线上找出 $n=10$ 时对应的时间 t_1 即为所求。

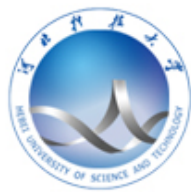
■ 灵敏度校验：

$$K_s = \frac{I_{k.min}^{(2)}}{I_{op}} \geq \begin{cases} 1.3 \sim 1.5 & (\text{近后备}) \\ 1.2 & (\text{远后备}) \end{cases}$$

本线路末端短路

相邻线路末端短路

若灵敏度不满足要求，可采用低电压闭锁的过电流保护来提高其灵敏度。



■ 定时限过电流保护与反时限过电流保护的比较

➤ 定时限过电流保护：

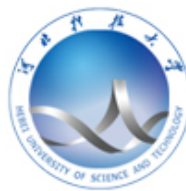
👉 **优点：**动作时间比较准确，整定简单。

👉 **缺点：**所用继电器数目比较多，接线复杂，继电器触点容量较小，需直流操作电源；靠近电源处的保护动作时间较长。

➤ 反时限过电流保护：

👉 **优点：**所用继电器数目少，接线简单；GL继电器触点容量大，可以直接跳闸，而且适于交流操作。

👉 **缺点：**动作时间的整定和配合比较麻烦，误差较大。



二、三段式过电流保护

1. 三段式过电流保护的保护范围及时限配合

❖ **第Ⅰ段**：为本线路的辅助保护，动作电流为 $I_{op.1}^I$ ，保护范围为 l_1^I ，动作时间 t_1^I 为继电器的固有动作时间；

❖ **第Ⅱ段**：为本线路的主保护，动作电流为 $I_{op.1}^{II}$ ，保护范围为 l_1^{II} ，动作时间 $t_1^{II} = t_2^I + \Delta t$ ；

❖ **第Ⅲ段**：作为本线路的近后备和相邻线路保护的远后备，动作电流为 $I_{op.1}^{III}$ ，保护范围为 l_1^{III} ，动作时限 $t_1^{III} = t_2^{III} + \Delta t$ 。

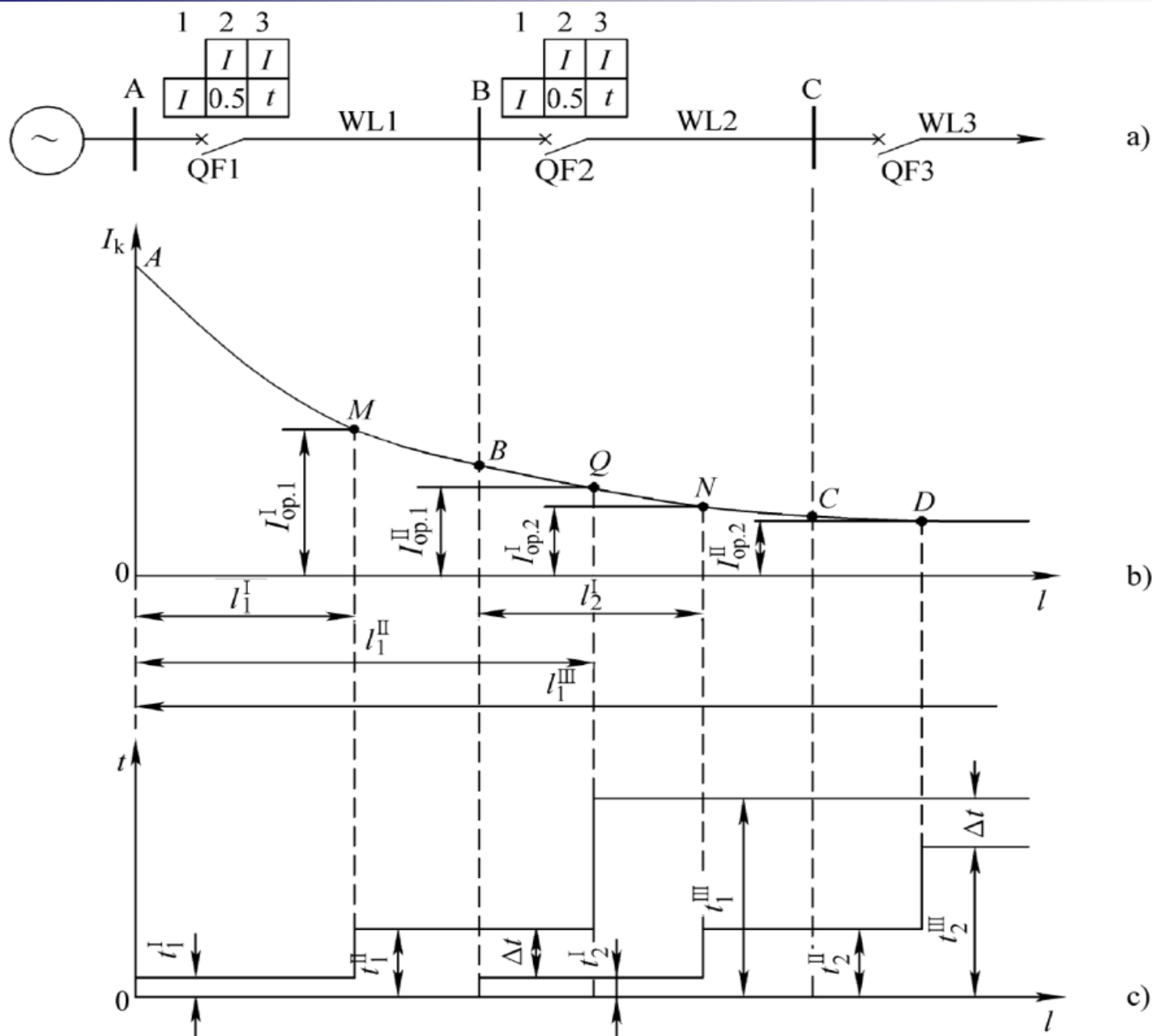


图6-19 三段式过电流保护的保护区及时限配合

2. 三段式过电流保护的构成

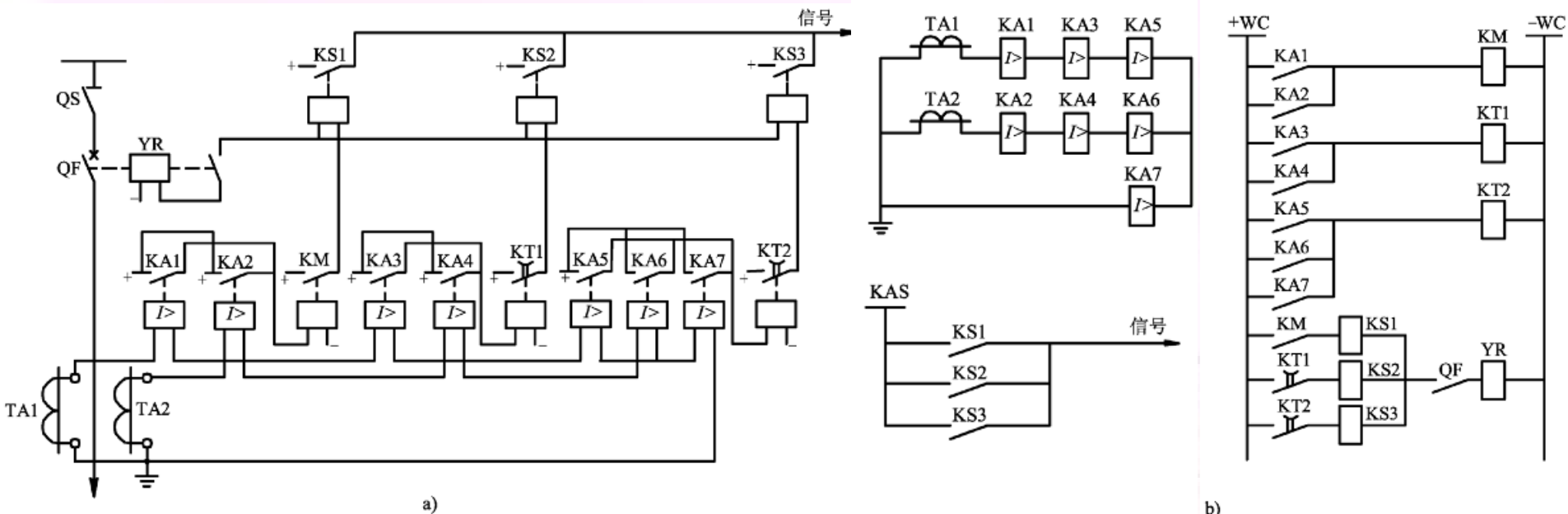


图6-20 三段式过电流保护的原理接线图和展开图

a) 原理接线图 b) 展开图

- 👉 **第I段：** 由KA1、KA2、KM和KS1组成；
- 👉 **第II段：** 由KA3、KA4、KT1和KS2组成；
- 👉 **第III段：** 由KA5、KA6、KA7、KT2和KS3组成。

例6-1 (P176)

三、双侧电源电网相间短路的方向性电流保护

1. 方向电流保护的工作原理

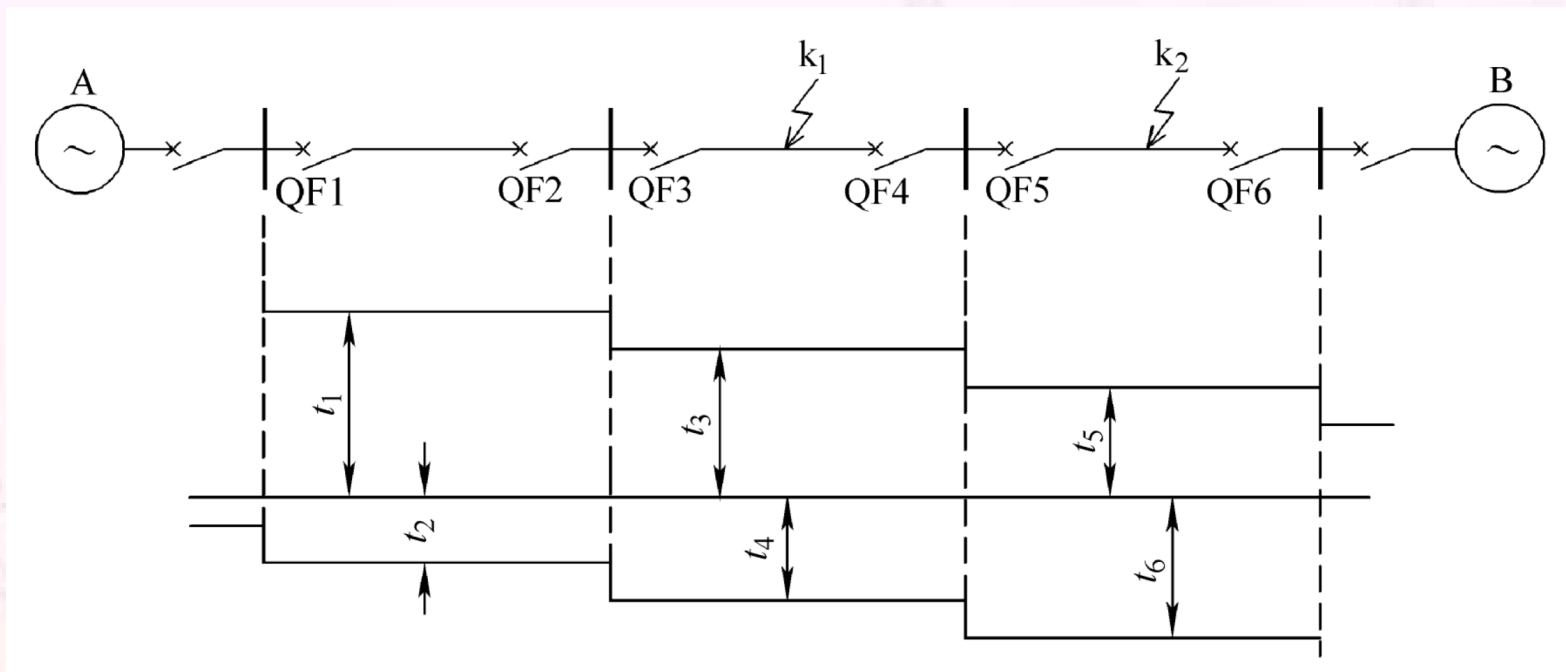


图6-21 双侧电源供电网络

k_1 点短路时要求: $t_5 > t_4$ } 两者矛盾 \rightarrow 装方向保护
 k_2 点短路时要求: $t_5 < t_4$ }



保护原理:

➤ 双电源系统中的过电流保护一定要装设方向保护。

并规定:

短路功率从**母线→线路** (为正) 时, 保护动作

短路功率从**线路→母线** (为负) 时, 保护不动作

➤ 单方向过电流保护的動作时间按阶梯原则进行配合。

图6-21中, 应满足 $t_1 > t_3 > t_5$ 和 $t_6 > t_4 > t_2$ 。

➤ 同一母线两侧的保护, 时限长的可不装方向保护, 时限相同时都要装方向保护。

2. 方向电流保护的原理接线图

主要由方向元件、电流元件、时间元件和信号元件等组成。

图中方向元件KP和电流元件KA的触点串联，只有当两个元件都动作时，保护才能动作跳闸。

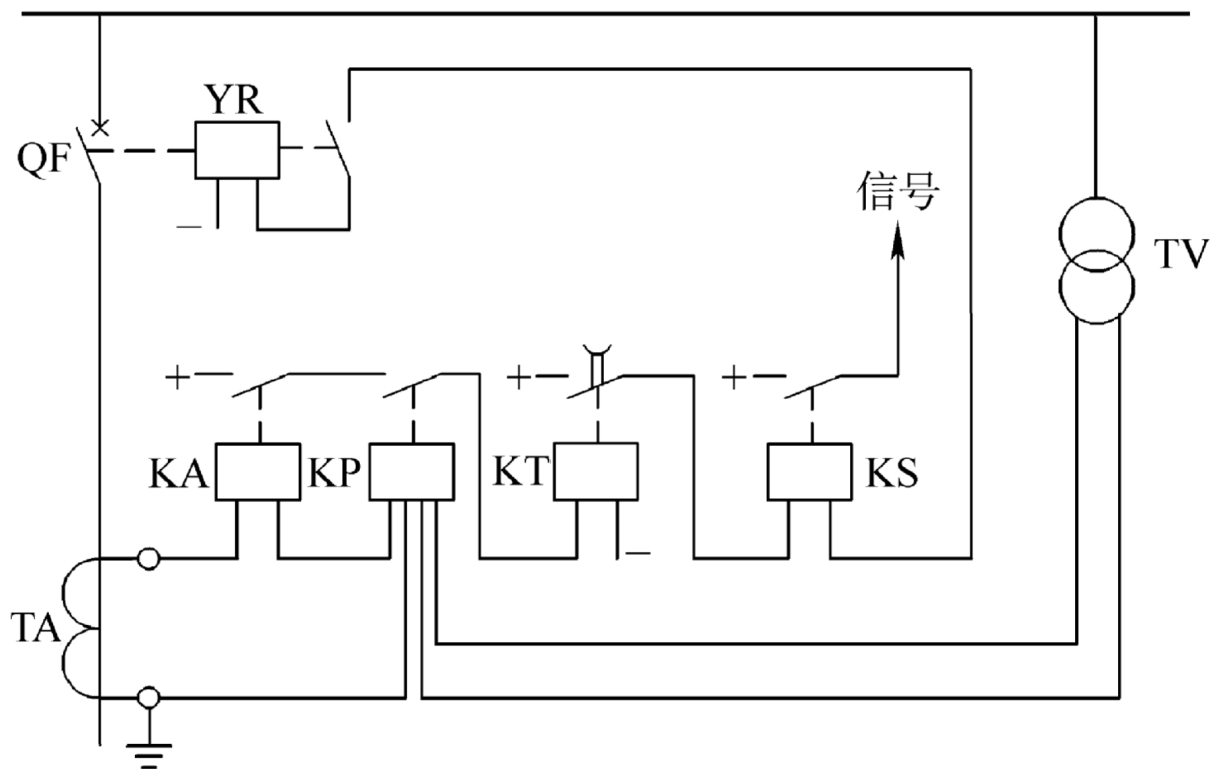
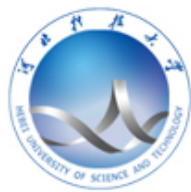


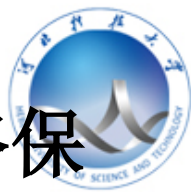
图6-22 方向电流保护的原理接线图



3. 三段式方向性电流保护的特点

- 在保护构成中应加功率方向测量元件，并与电流测量元件共同判别是否在保护线路的正方向发生故障。
- 第I段方向电流保护的動作电流可不必躲过反方向外部最大短路电流，只需按正方向短路计算即可。
- 第III段方向电流保护的動作电流还应考虑躲过反方向不对称短路时，流过非故障相的电流 I_{nk} ，即

$$I_{op}^{III} = K_{rel} I_{nk}$$



➤ 在环网和双电源网中，功率方向相同的各线路保护第III段的动作电流和动作时间应相互配合。

例如，在图6-21中，应满足

$$I_{op.1} > I_{op.3} > I_{op.5}, \quad t_1 > t_3 > t_5$$

$$I_{op.6} > I_{op.4} > I_{op.2}, \quad t_6 > t_4 > t_2$$

➤ 方向电流保护必须采用按相起动接线方式。

按相起动：只有当同一相的功率方向元件和电流元件同时起动时，保护才能动作跳闸。



6.4 电网的接地保护

一、大接地电流系统的接地保护

➤ 采用完全星形接线的相间电流电压保护——灵敏度常常不能满足要求；

➤ 装设专门的接地短路保护——反映零序电流、零序电压和零序功率的保护。

1. 大电流接地系统单相接地时零序分量的分布特点

➤ 故障点的零序电压最高，离故障点越远，零序电压越低。

➤ 零序电流的分布与中性点接地的位置和数目有关。

➤在故障线路上，零序功率的方向是由线路指向母线（与正序功率相反），因此，零序功率方向继电器都是在负值零序功率下动作的。

2. 零序分量的获取方法

■零序电流的获取

➤架空线路：用零序电流滤过器。

➤电缆线路：用零序电流互感器。

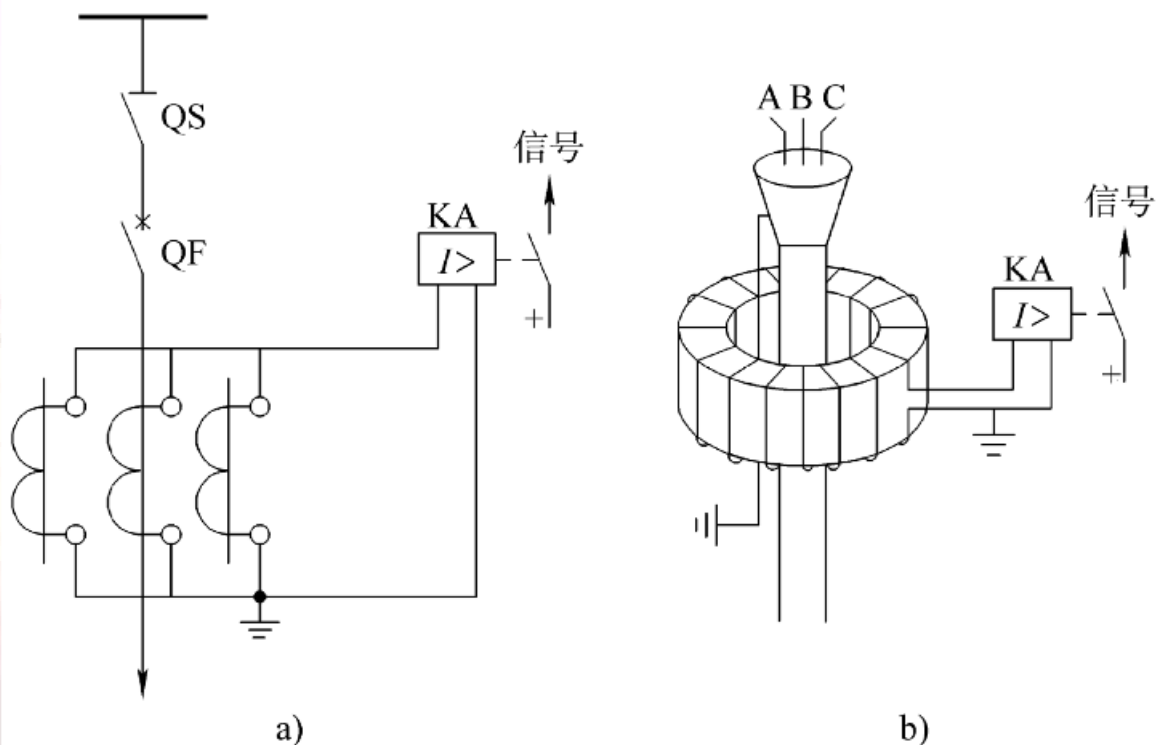


图6-23 零序电流的获取

a) 零序电流滤过器 b) 零序电流互感器

■零序电压的获取：通过电压互感器获得。

➤将三个单相电压互感器的副方绕组接成开口三角形绕组来获取。

➤从三相五柱式电压互感器二次侧的开口三角形绕组来获取。

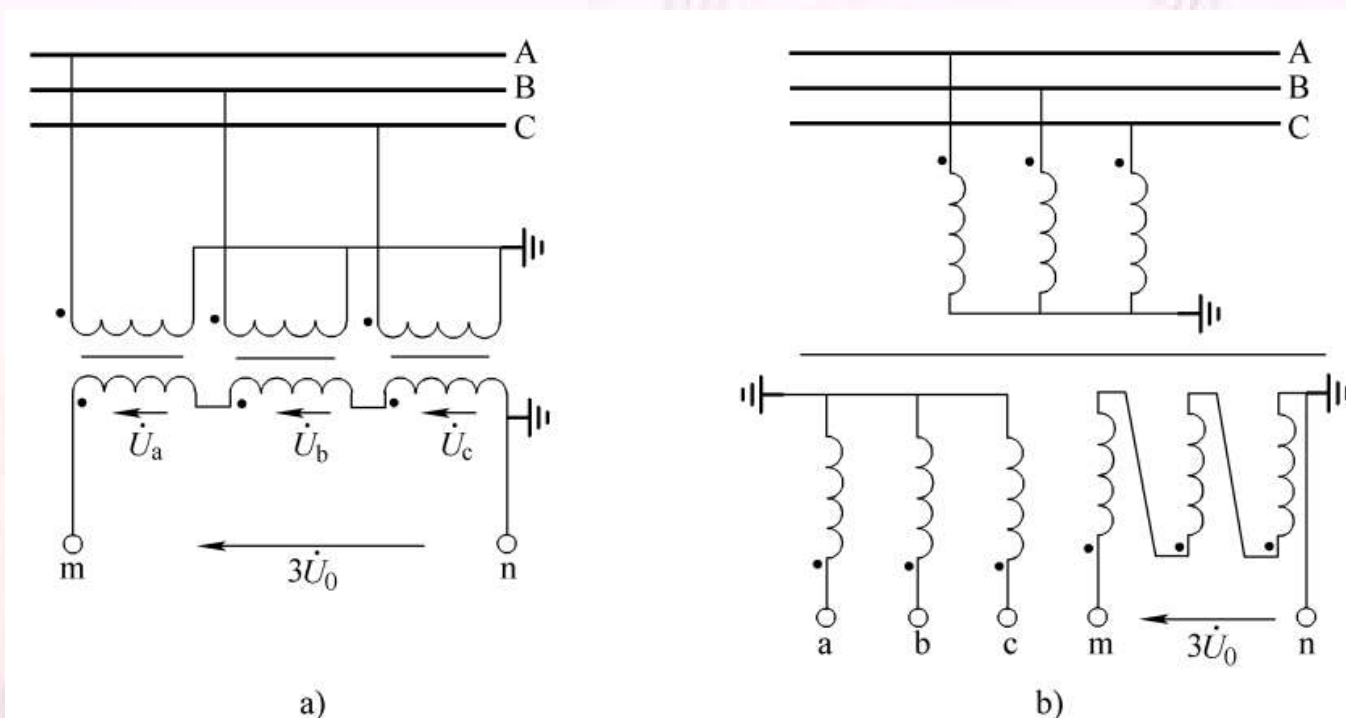


图6-24 零序电压互感器
a) 三单相式 b) 三相五柱式

3. 大接地电流系统的零序电流保护——三段式零序电流保护

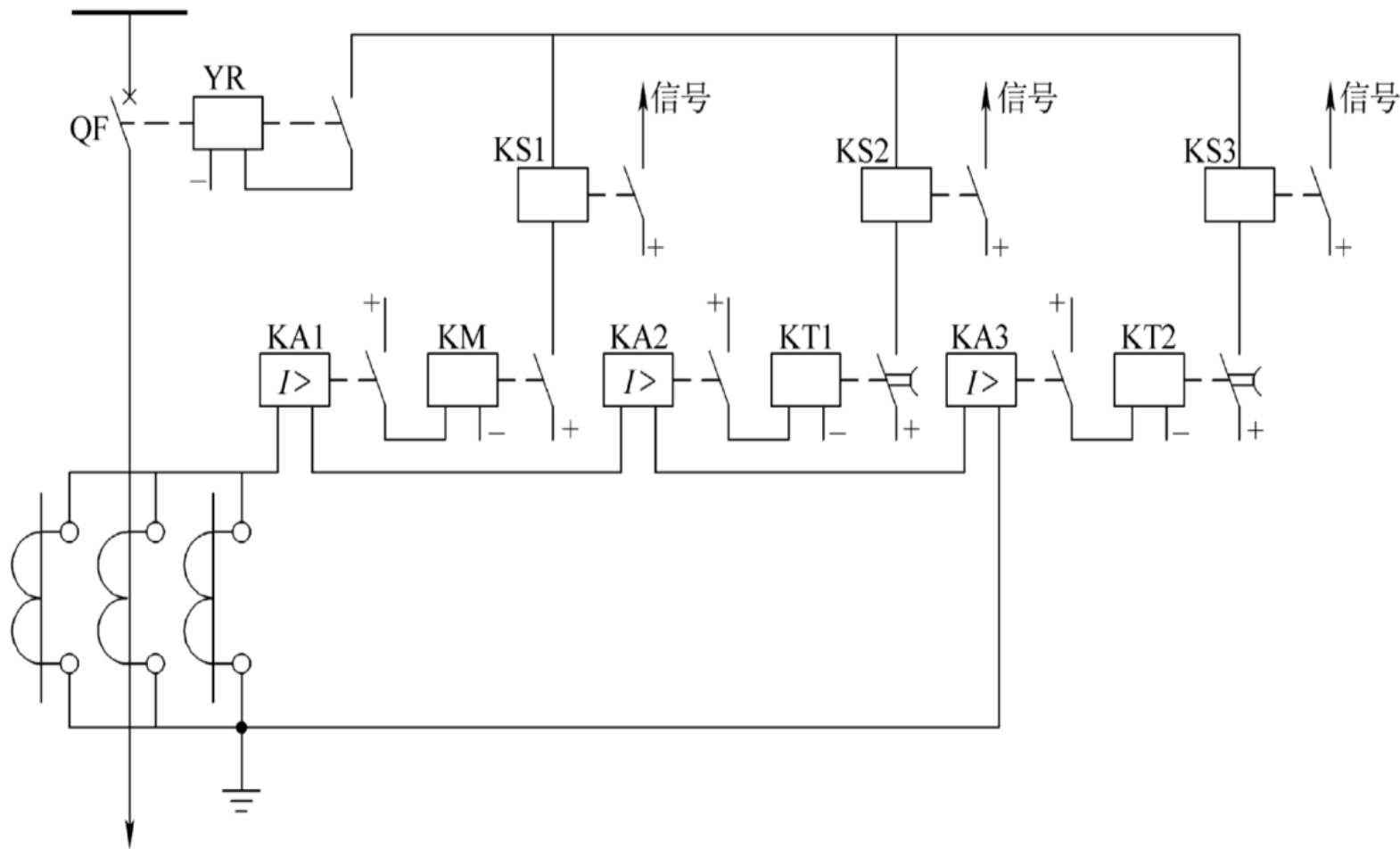


图6-25 三段式零序电流保护原理接线图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/417051025122006111>