



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

# 输电线路的纵联保护

主讲：田行军

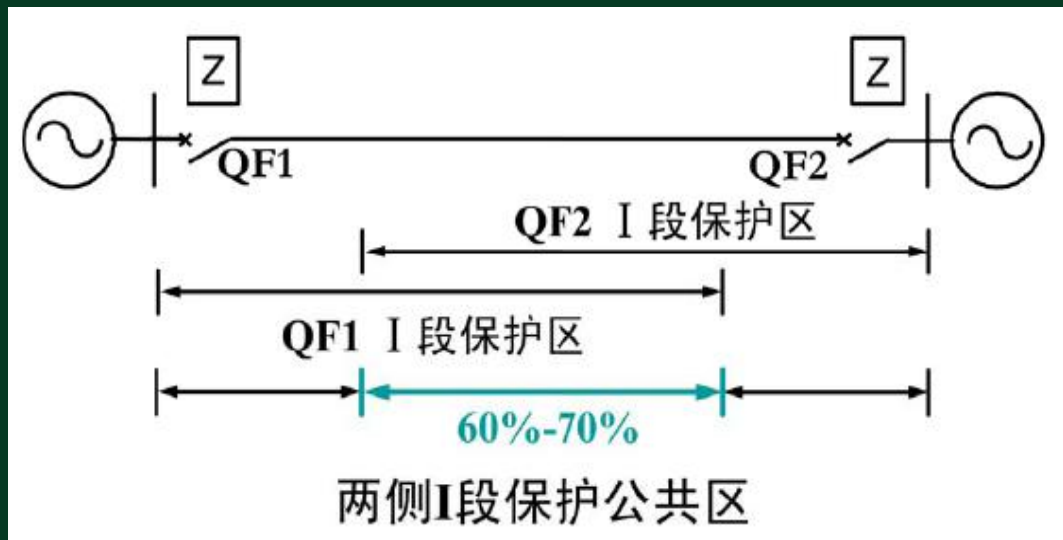
# 4 输电线路的纵联保护

## ■ 内容

- 👉 输电线路纵联保护概述
- 👉 输电线路短路时两侧电气量的故障特征分析
- 👉 输电线路的高频保护

## 4.1 输电线路纵联保护概述

### 反应单侧电气量保护的缺陷



问题：无法实现全线路的速动

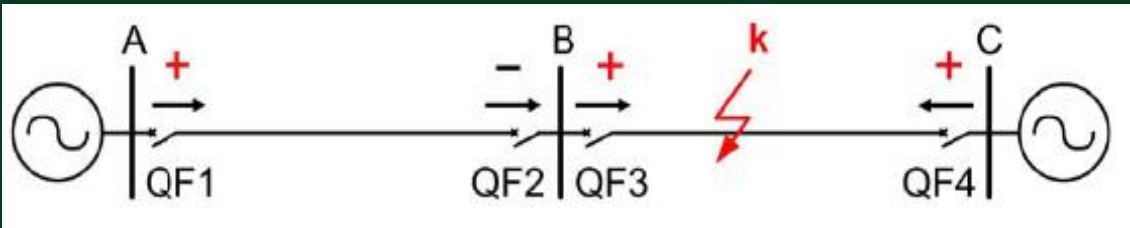
## 4.1 输电线路纵联保护概述

### ■ 反应两侧电气量的输电线路纵联保护

定义:利用通信通道将两端的保护装置

纵向联结起来, 并对两端的电气量进

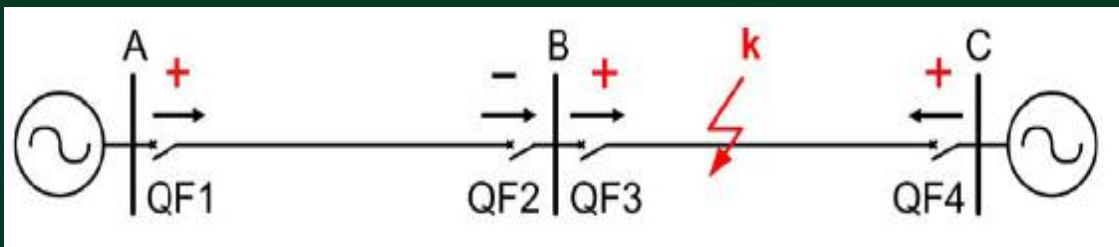
行比较, 以判断故障在区内还是区外。



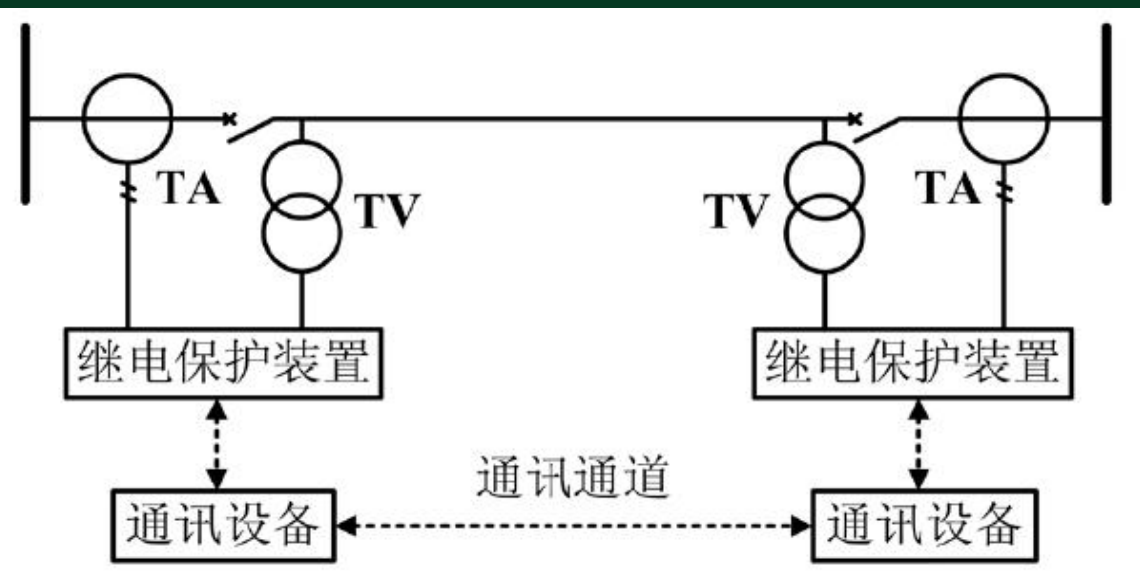
## 4.1 输电线路纵联保护概述

### 理论分析

理论上，纵联保护只能反应线路内部故障，不反应正常运行和外部故障两种工况，因而输电线路纵联保护对区内内部故障具有绝对选择性。



## 4.1 输电线路纵联保护概述



## 4.1 输电线路纵联保护概述

### ■ 纵联保护信号传递方式

➤ 辅助导引线—导引线纵联保护

➤ 电力线载波—高频保护

载波频率： $50\sim 400\text{kHz}$ 。

➤ 微波通信—微波保护

波长为 $10\sim 1\text{cm}$ ,

频率为 $3000\sim 30000\text{MHz}$

➤ 光纤通信—光纤保护

## 4.1 输电线路纵联保护概述

### ■ 纵联保护动作分类

#### ➤ 方向比较式纵联保护

- 👉 两侧继电器将本侧的功率方向、测量阻抗是否在规定的方向、区段内的判别结果传送到对侧，每侧保护装置根据就两侧的判别结果，区分是区内故障还是区外故障。
- 👉 传送逻辑信号；
- 👉 分为方向纵联保护和距离纵联保护。

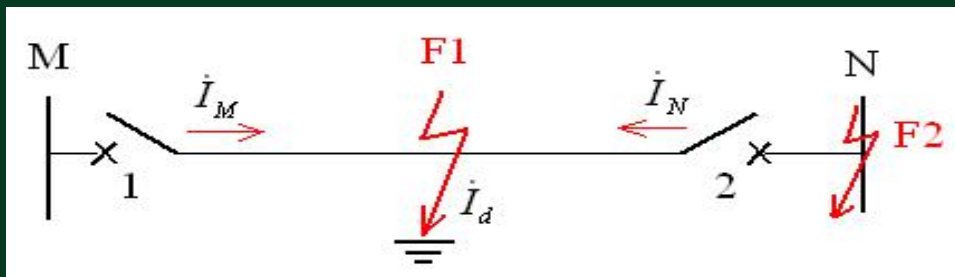


## 4.1 输电线路纵联保护概述

### ➤ 纵联电流差动保护

- 👉 利用通道将本侧电流的波形或代表电流相位的信号传送到对侧，每侧保护根据对两侧电流的幅值和相位比较的结果，区分是区内故障还是区外故障。
- 👉 在每侧直接比较两侧的电气量；
- 👉 要求两侧信息同步采集。

## 4.2 输电线路短路时两侧电气量的故障特征分析



### ■ 两端电流相量的故障特征

纵联电流差  
动保护原理

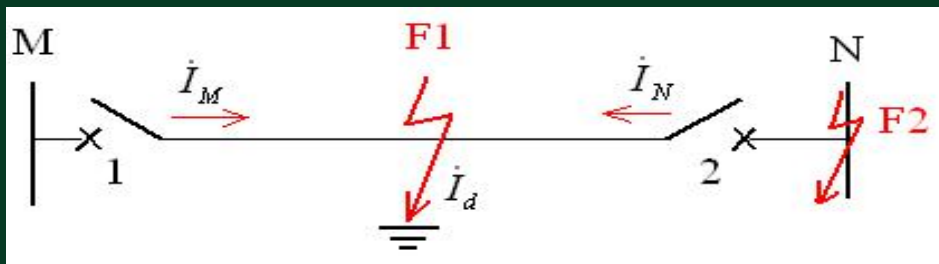
- 正常运行和外部故障时 (F2)

$$\dot{I}_M + \dot{I}_N = 0 \quad \text{or} \quad |\dot{I}_M + \dot{I}_N| = 0$$

- 内部故障时 (F1) :

$$\dot{I}_M + \dot{I}_N = \dot{I}_d \quad \text{or} \quad |\dot{I}_M + \dot{I}_N| = I_d > 0$$

## 4.2 输电线路短路时两侧电气量的故障特征分析



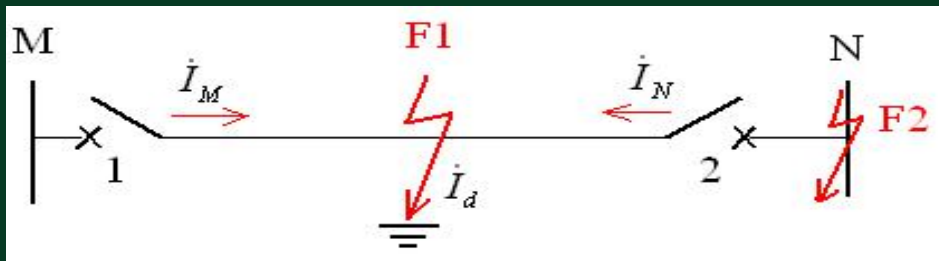
### ■ 两端功率方向的故障特征

方向纵联  
保护原理

设正功率方向为：母线→线路

- 正常运行和外部故障时（F2）：  
一端功率为正，一端为负
- 内部故障时（F1）：两端功率都为正

## 4.2 输电线路短路时两侧电气量的故障特征分析



### ■ 两端电流相位的故障特征 相差纵联保护原理

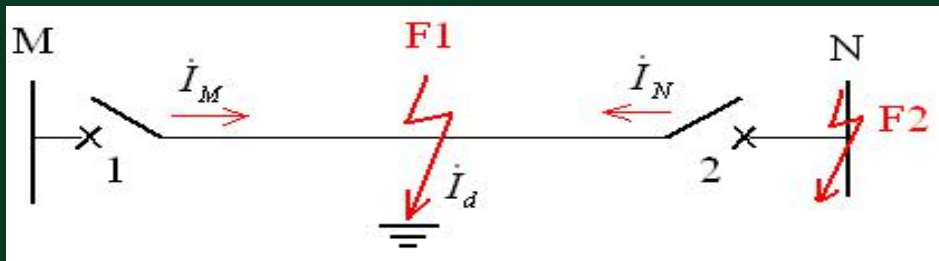
➤ 正常运行和外部故障时（F2）：

$i_M$  与  $i_N$  相位相差 $180^\circ$ 。

➤ 内部故障时（F1）：

$i_M$  与  $i_N$  相位相同。

## 4.2 输电线路短路时两侧电气量的故障特征分析



### ■ 两端测量阻抗的特征

距离纵联  
保护原理

- 正常运行和外部故障时（F2）：  
两端的距离II段测量阻抗一侧为反方向，  
另一侧为正方向。
- 内部故障时（F1）：  
两端的距离II段测量阻抗都在正方向

## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 构成

由继电保护、高频收发信机和高频通道组成，



## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 分类

#### ➤ 方向高频保护

比较被保护线路两侧的功率方向

#### ➤ 相差高频保护

比较被保护线路两侧电流的相位

## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 高频通道的构成

高频收发信机接入输电线路的方式有：

➤ “相-相”制

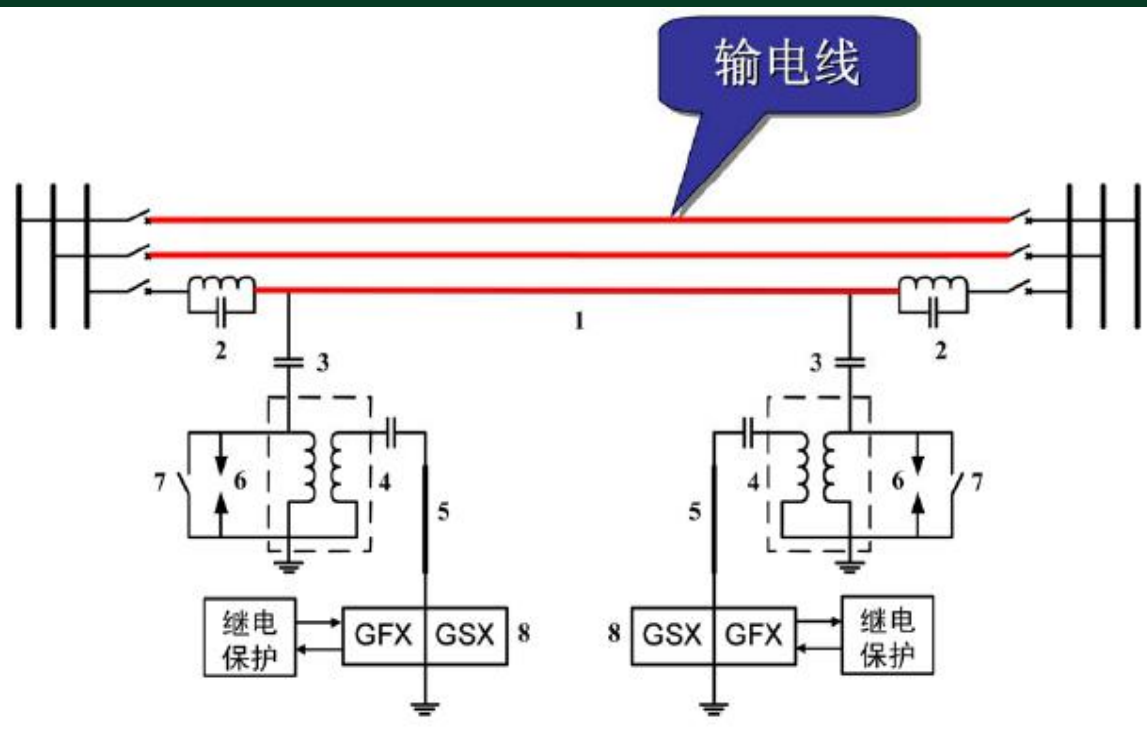
连接在两相导线之间。

➤ “相-地”制

连接在输电线-相导线和大地之间。



## 4.3 输电线路的高频保护



“相-地”制高频通道示意图

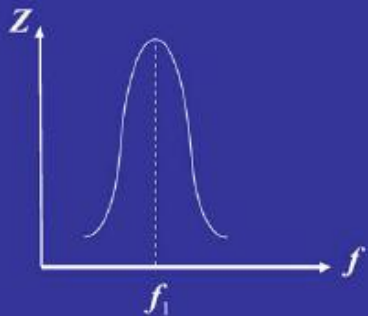
## 4.3 输电线路的高频保护

### 阻波器

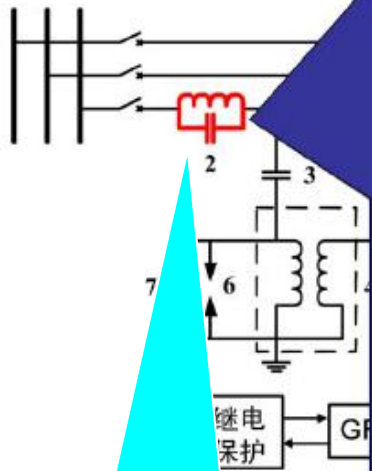
由一电感线圈与可变电容器并联组成的谐振回路。其谐振频率为载波频率。

对载波电流： $Z > 1000 \Omega$  —— 将高频电流限制在被保护线路以内。

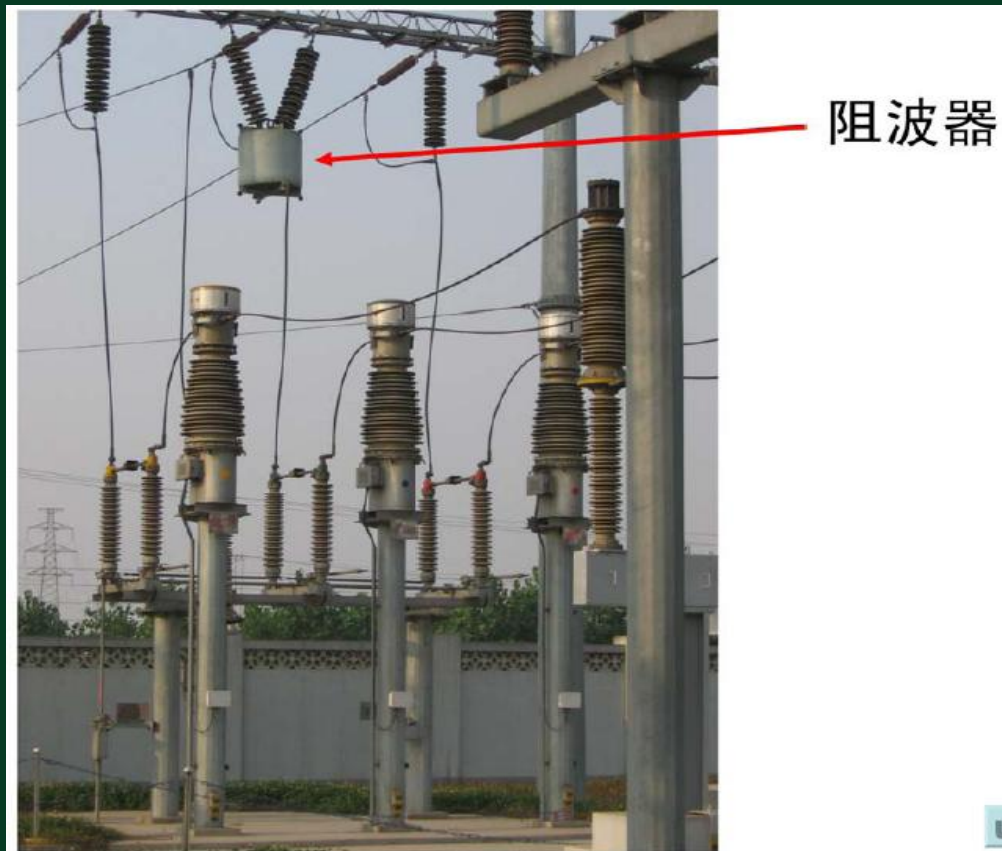
对工频电流： $Z \approx 0.04 \Omega$  —— 工频电流可畅流无阻。



信号只能在本线路上传输，而不能穿越到相邻线路上



## 4.3 输电线路的高频保护



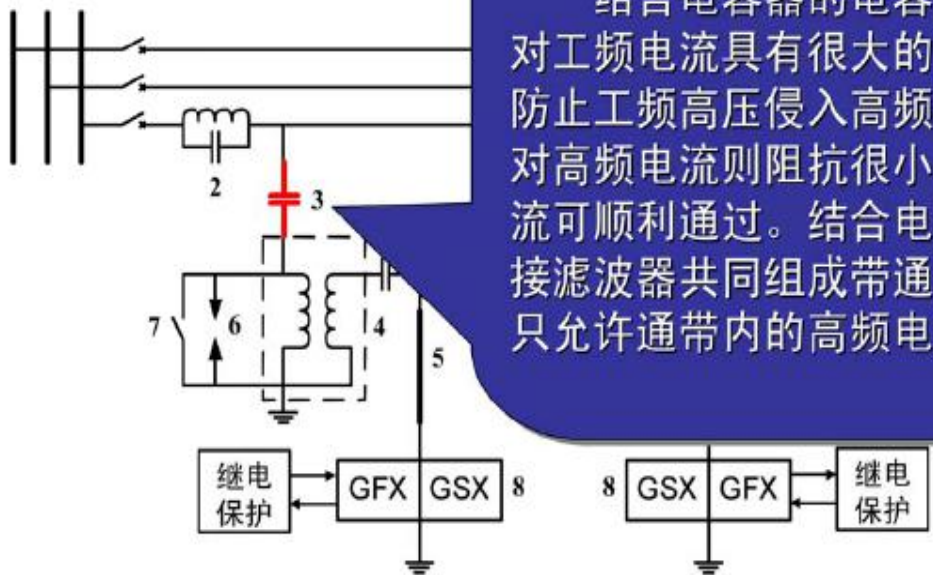
## 4.3 输电线路的高频保护



## 4.3 输电线路的高频保护

### 结合电容器

结合电容器的电容量很小，对工频电流具有很大的阻抗，可防止工频高压侵入高频收信机。对高频电流则阻抗很小，高频电流可顺利通过。结合电容器与连接滤波器共同组成带通滤波器，只允许通带内的高频电流通过。



“相-地”制高频通道示意图

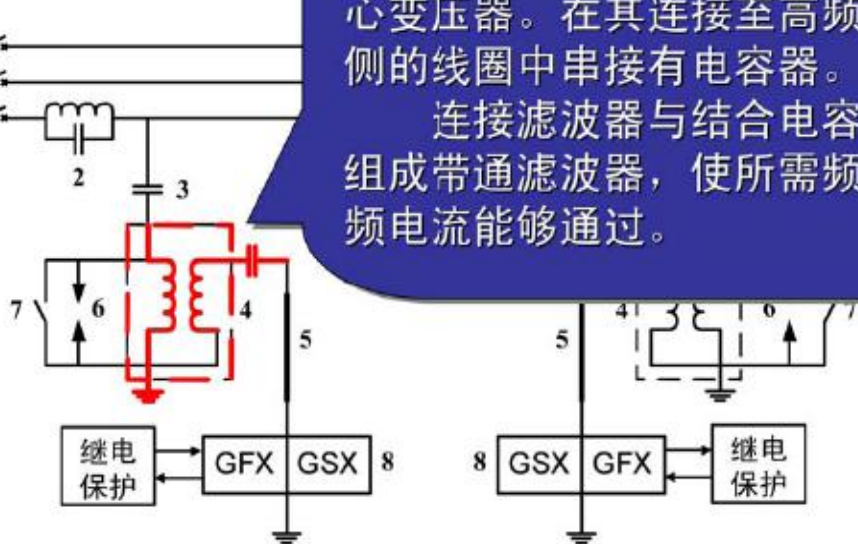


## 4.3 输电线路的高频保护

### 连接滤波器

连接滤波器是一个可调节的空心变压器。在其连接至高频电缆一侧的线圈中串接有电容器。

连接滤波器与结合电容器共同组成带通滤波器，使所需频带的高频电流能够通过。

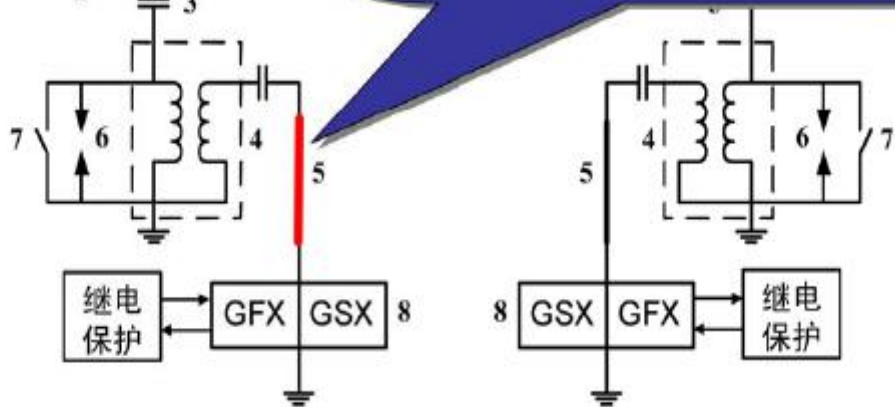


“相-地”制高频通道示意图

## 4.3 输电线路的高频保护

### 高频电缆

高频电缆的作用是将位于主控室的高频收、发信机与户外变电站的带通滤波器连接起来。



“相-地”制高频通道示意图

## 4.3 输电线路的高频保护

### 保护间隙

保护间隙是高频通道的辅助设备，用它保护高频收发信机和高频电缆免受过电压的袭击。



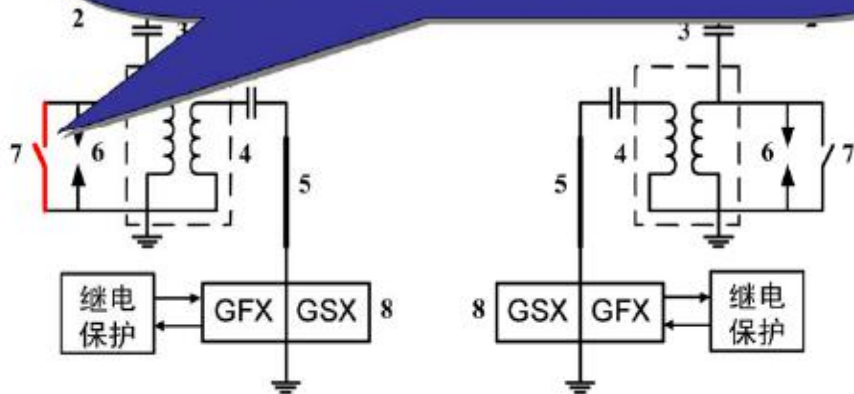
“相-地”制高频通道示意图



## 4.3 输电线路的高频保护

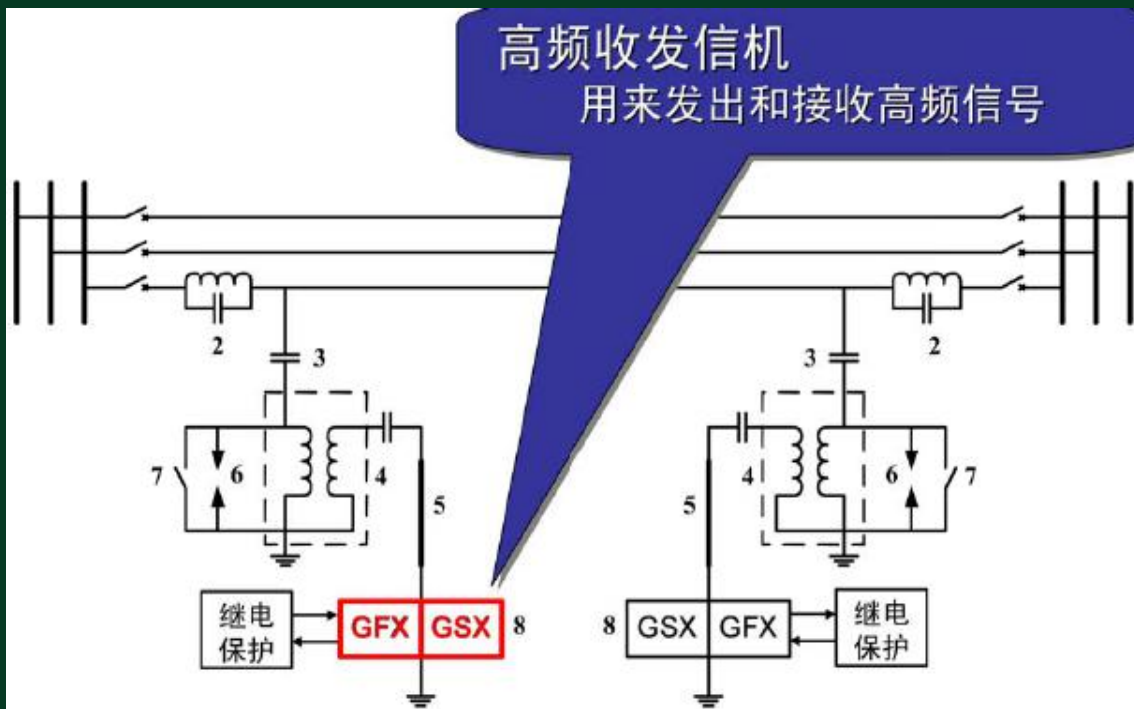
### 接地刀闸

接地刀闸也是高频通道的辅助设备。在调整或维修高频收发信机和连接滤波器时，将它接地，以保证人身安全。



“相-地”制高频通道示意图

## 4.3 输电线路的高频保护



“相-地”制高频通道示意图

## 4.3 输电线路的高频保护

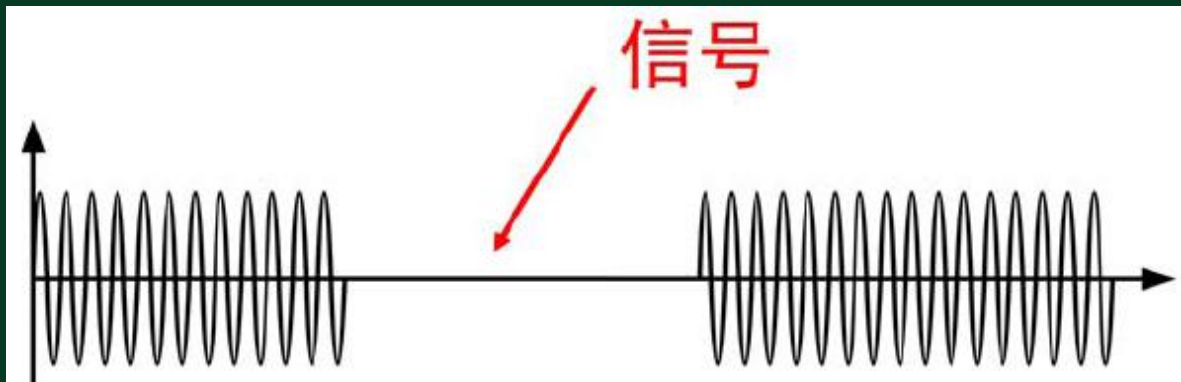
### ■ 高频通道工作方式

- 长时发信方式—正常有高频电流
- 短时发信方式—正常无高频电流
- 移频方式

## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 长时发信方式—正常有高频电流

指在正常运行情况下，收、发信机一直处于发信和收信工作状态，高频通道中始终有高频电流通过。

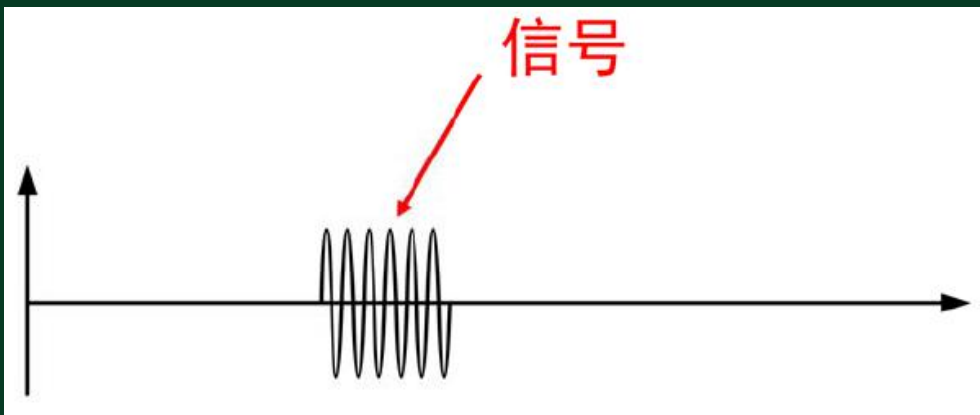


## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 短时发信方式—正常无高频电流

在正常运行情况下，收、发信机一直处于不工作状态，高频通道中没有高频电流通过。

系统中发生故障时，发信机才由启动元件启动，高频通道中才有高频电流通过。

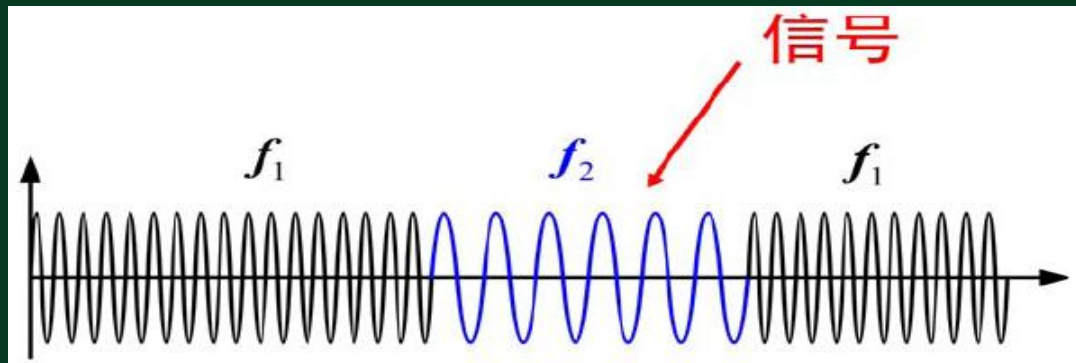


## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 移频方式

在正常运行情况下，发信机长期发送一个频率为 $f_1$ 的高频信号，其作用时闭锁保护和对通道进行连续检查。

在被保护线路发生故障时，保护控制发信机移频，改为发送频率为 $f_2$ 的高频信号。



## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 高频通道的应用

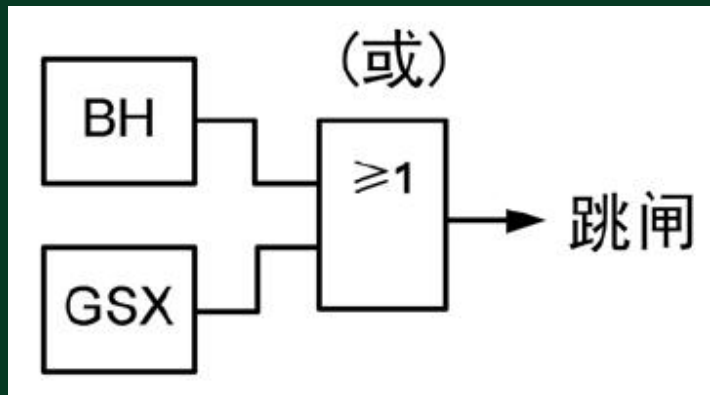
按作用可分为：

- 跳闸信号
- 允许信号
- 闭锁信号

## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 跳闸信号

BH—保护

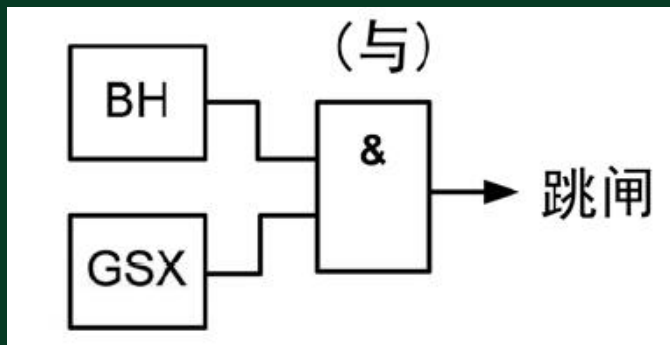


高频信号是跳闸的充分条件



## 4.3 输电线路的高频保护

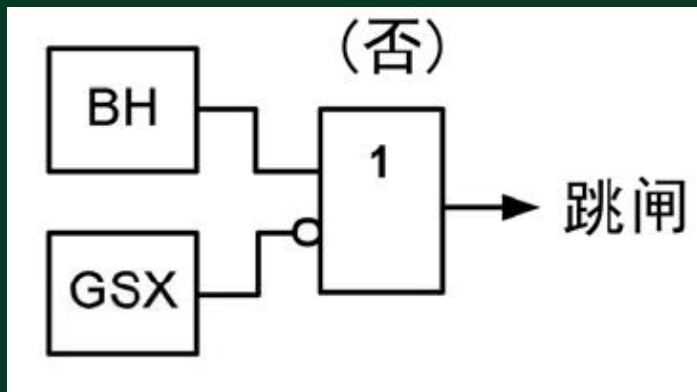
### ➤ 允许信号      BH—保护



高频信号是跳闸的必要条件，但不是充分条件。

## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 闭锁信号      BH—保护



收不到高频信号是跳闸的必要条件。

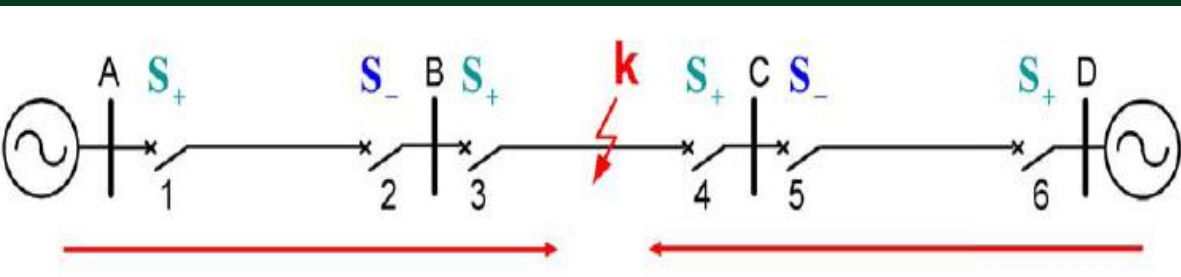
## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 高频闭锁方向保护

- 高频闭锁方向保护是以高频通道经常无电流，而在外部故障时发出闭锁信号的方式构成的。
- 此闭锁信号由短路功率为负的一侧发出，被两端的收信机接受，而把保护闭锁。

## 4.3 输电线路的高频保护

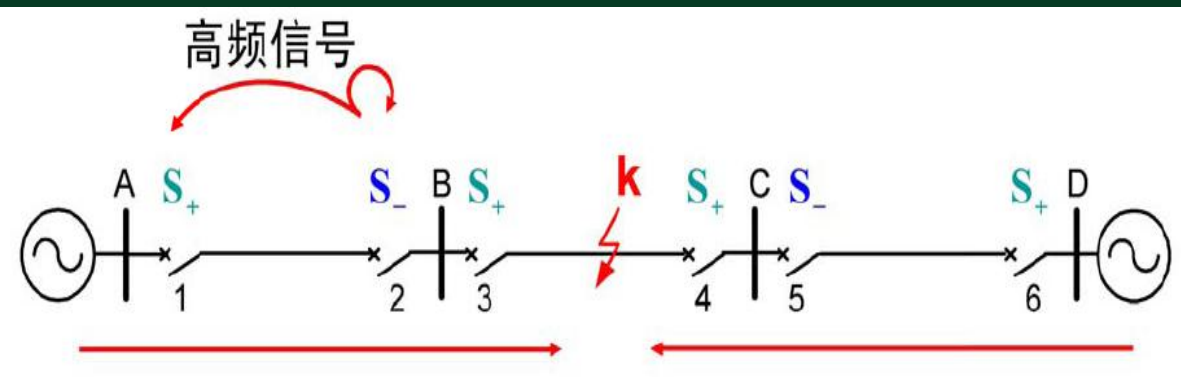
### ➤ 闭锁式方向纵联保护的工作原理



对BC线路：保护3和保护4的功率方向都为正，保护应动作与跳闸。

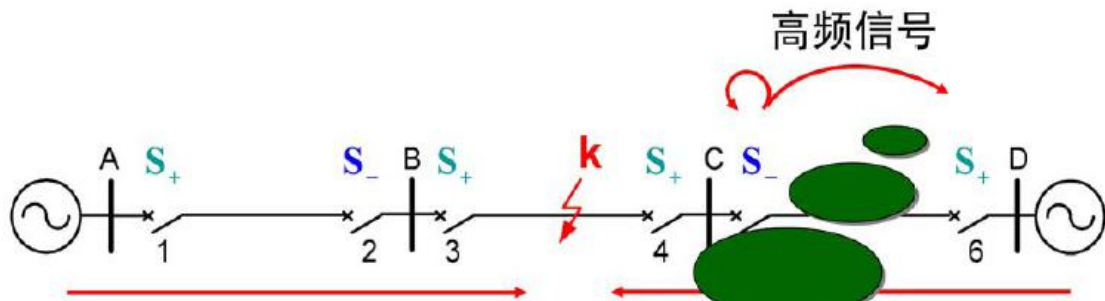
## 4.3 输电线路的高频保护

接上页



对AB线路：B侧的功率方向为负，该侧发出高频闭锁信号，被对侧和本侧保护接受，保护1、2均不动。

## 4.3 输电线路的高频保护

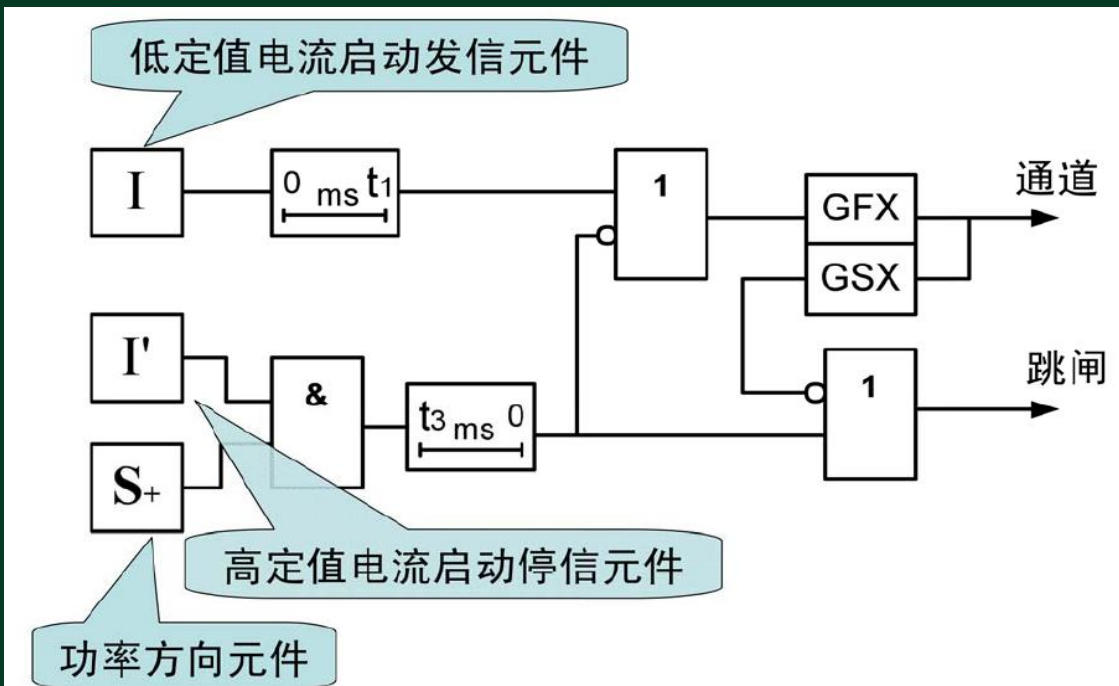


对

这种按闭锁信号构成的保护只在非故障线路上才传送高频信号，而在故障线路上并不传送高频信号。因此，在故障线路上由于短路使高频通道可能遭到破坏时，并不会影响保护的正确动作。

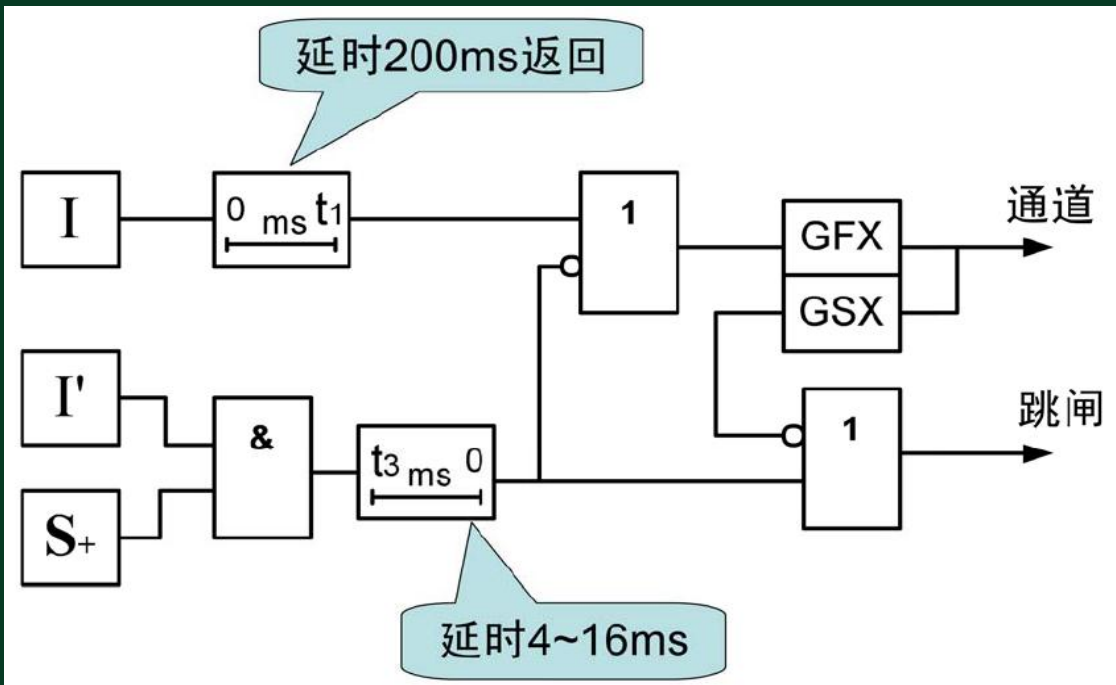
## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 闭锁式方向纵联保护的构成



电流起动方式的闭锁式方向纵联保护方框图

## 4.3 输电线路的高频保护



电流起动方式的闭锁式方向纵联保护方框图

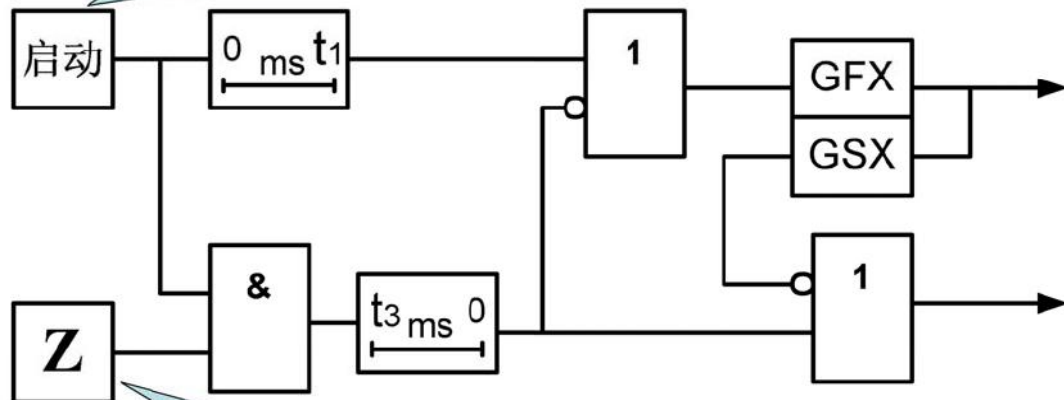


## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 闭锁式距离纵联保护

#### 距离保护 + 高频通信部分

距离保护本身的启动元件或第Ⅲ段距离元件



第Ⅱ段方向距离元件

## 4.3 输电线路的高频保护

闭锁式零序方向纵联保护的实现原理与闭锁式距离纵联保护相同。

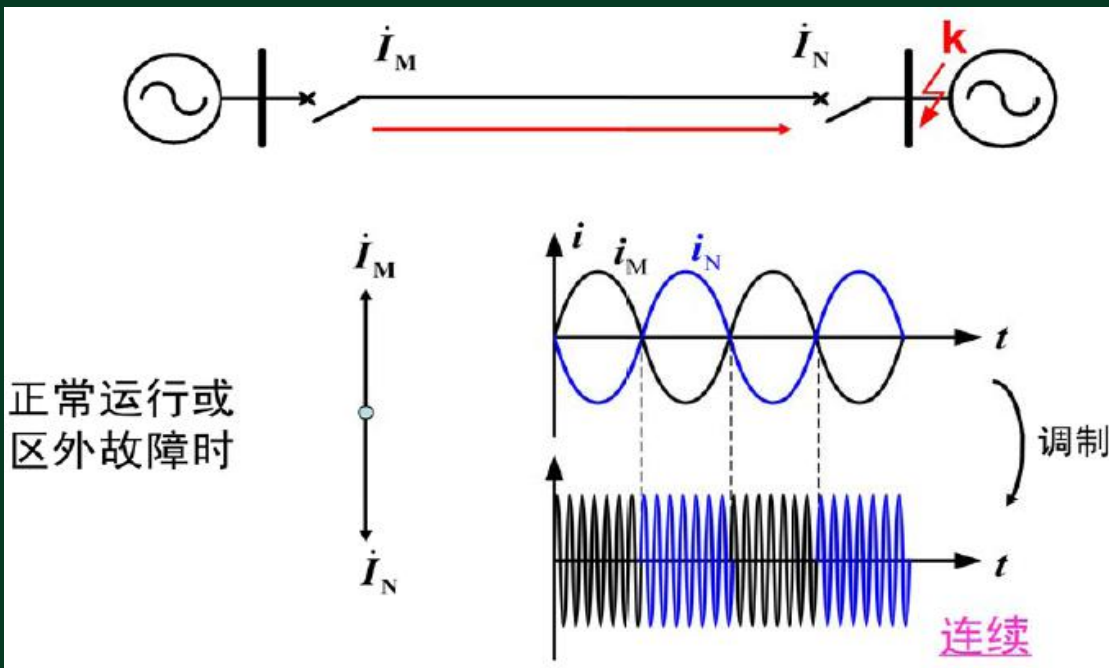
此种构成方式，主保护和后备保护统一设计，减少了测量元件，简化了接线，相对的提高了可靠性。

缺点：距离或零序保护检修时，高频保护根本不能独立工作，因此灵活性较差。

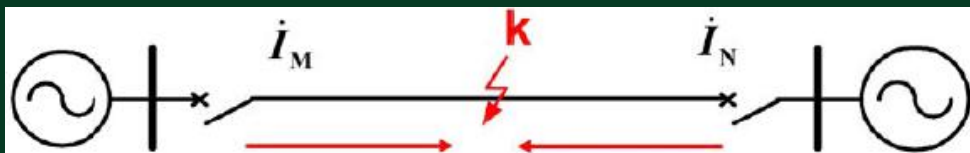
## 4.3 输电线路的高频保护

### ■ 相差高频保护

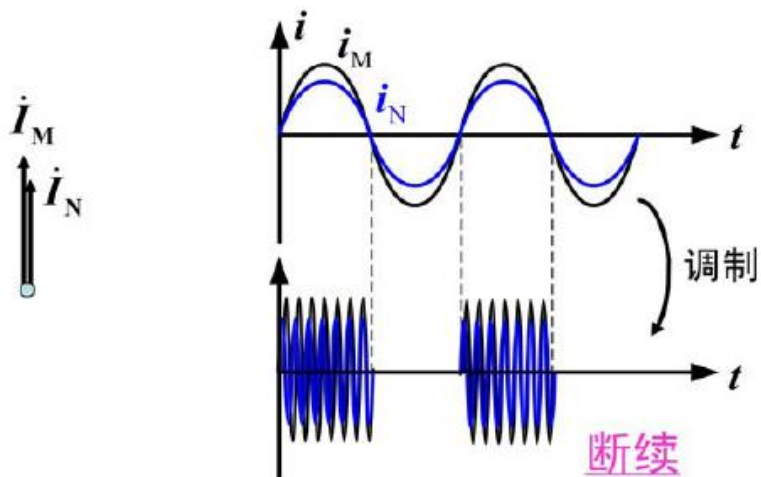
#### ➤ 工作原理



## 4.3 输电线路的高频保护



区内故障时



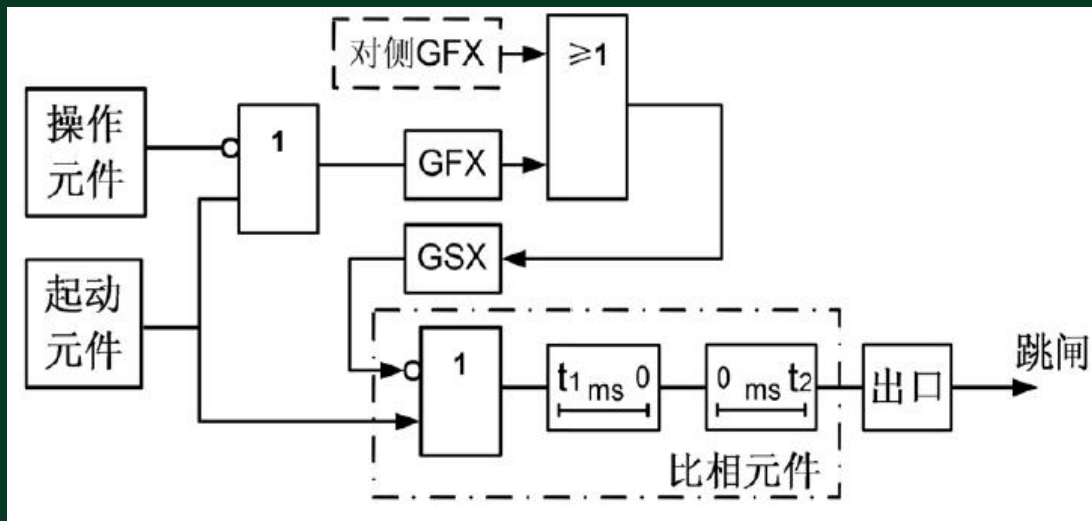
## 4.3 输电线路的高频保护

相差高频保护在线路有故障的情况下，起动元件动作，将保护投入工作。若为外部故障，收信机收到连续高频电流，保护不动作；而在内部故障时，收信机则收到断续的高频电流，保护动作。

## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 闭锁式相差高频保护的构成

① 起动元件：故障检测元件（区分正常运行和故障）



## 4.3 输电线路的高频保护

➤ 接上页

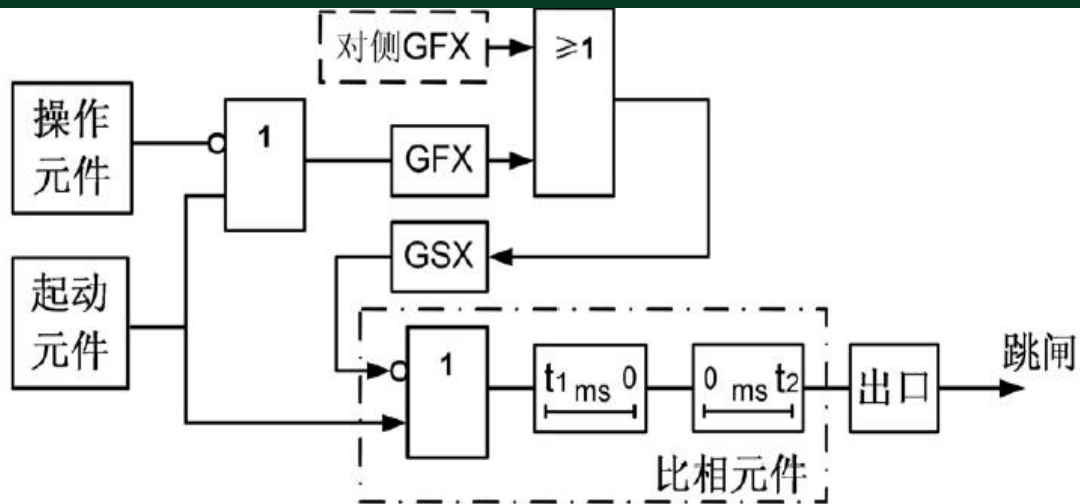
不对称故障  $I_2$  { 高灵敏——启动发信  
低灵敏——准备跳闸

对称故障  $Z$ 或相电流 $I$

## 4.3 输电线路的高频保护

② 操作元件：由复合滤波器和方波发生器构成

操作电流： $I_1 + KI_2$  （一般 $K=6$ 或 $8$ ）

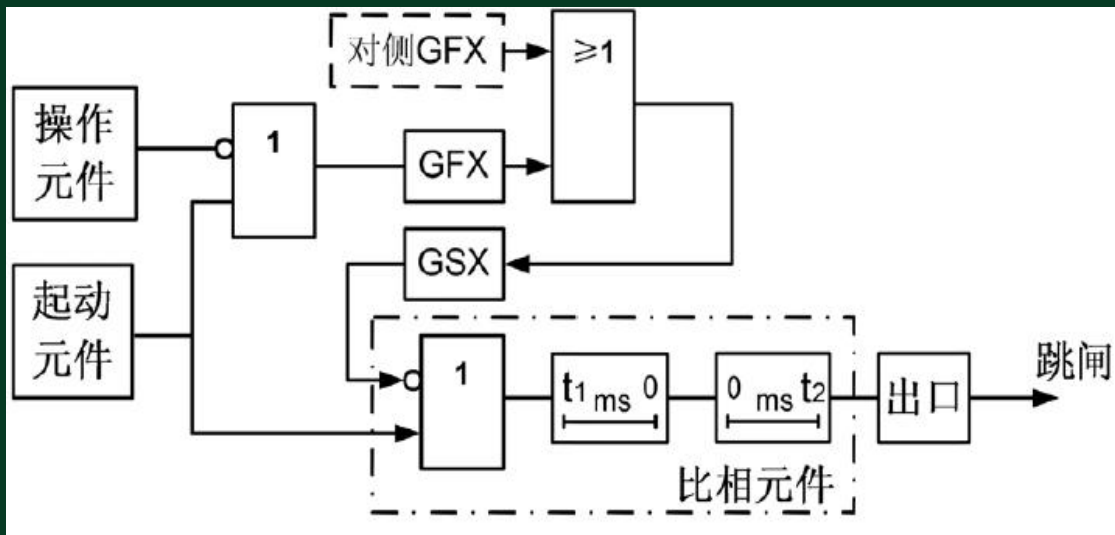




## 4.3 输电线路的高频保护

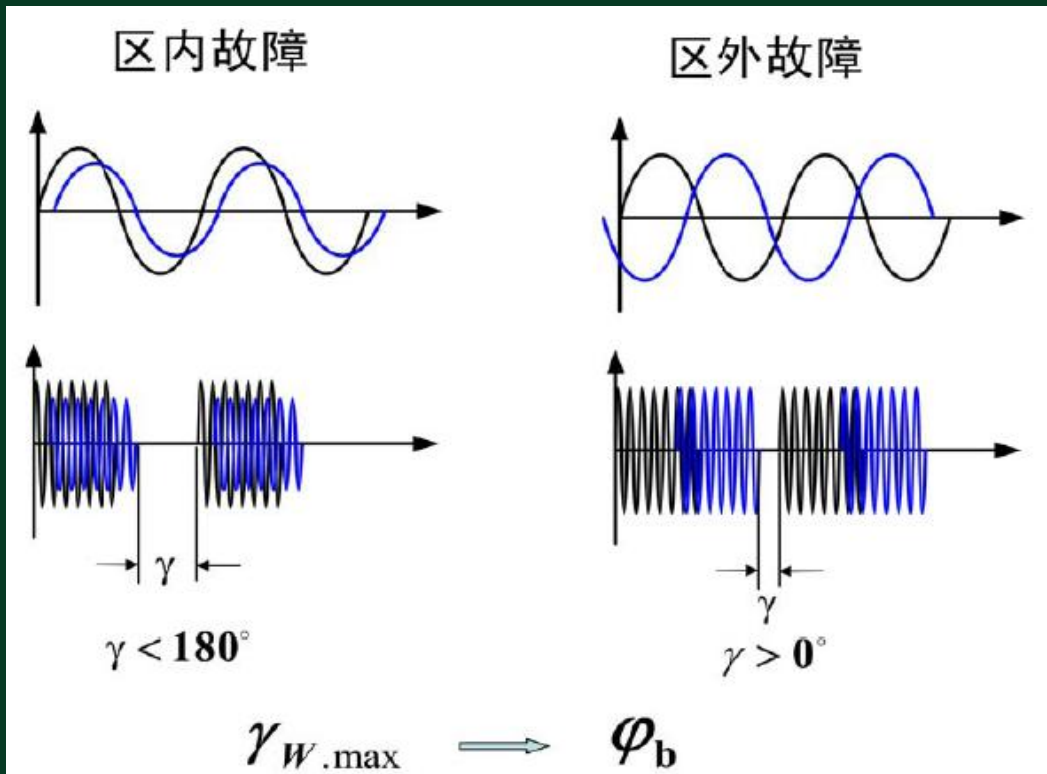
### ③ 比相元件：鉴别高频电流是连续还是间断

$t_1$ ：区外故障时，由于高频信号传输延迟、分布电容及电流互感器误差等因素所产生的间隔



## 4.3 输电线路的高频保护

### ➤ 动作特性与相继动作



## 4.3 输电线路的高频保护

考虑以下因素的影响：

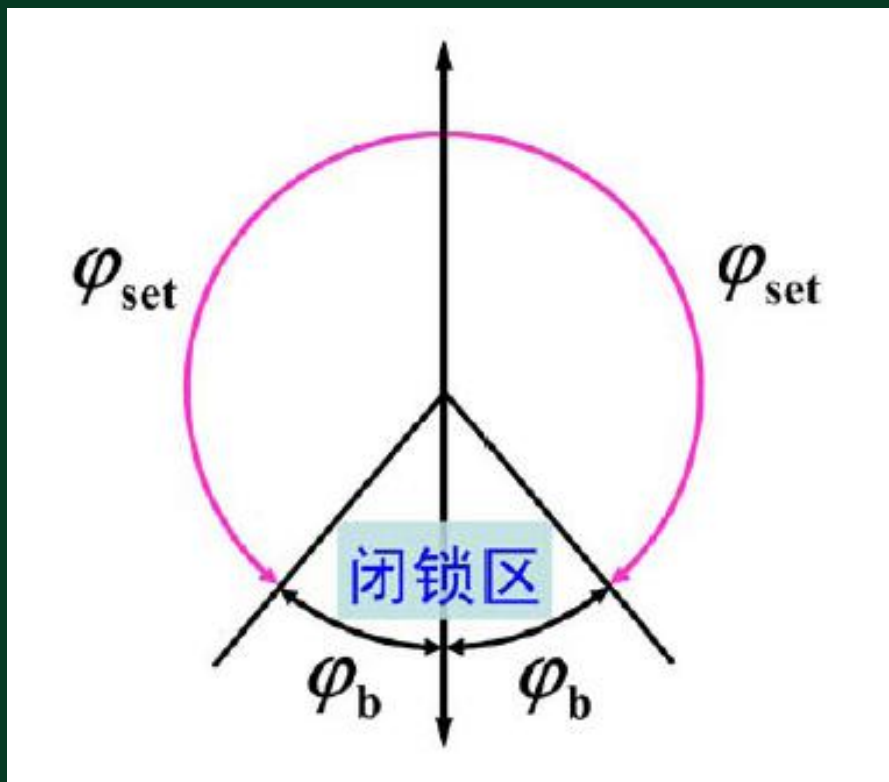
- ① TA的角度误差： $7^\circ$
- ② 保护装置滤序器的角误差： $15^\circ$
- ③ 高频信号传输带来的角误差：

$$\omega t = 360^\circ \times 50 \times \frac{L}{v} = \frac{L}{100} \times 6^\circ \quad (v = 3 \times 10^5 \text{ km/s})$$

- ④ 裕度角： $\varphi_y = 15^\circ$

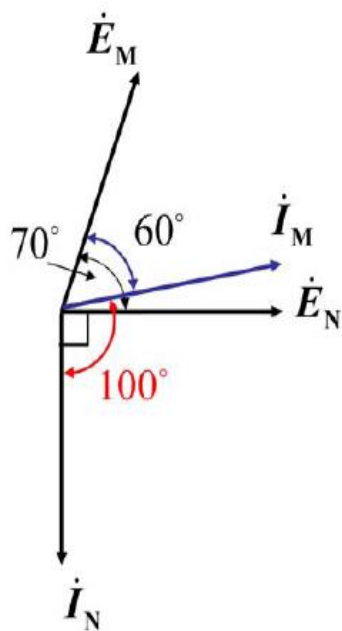
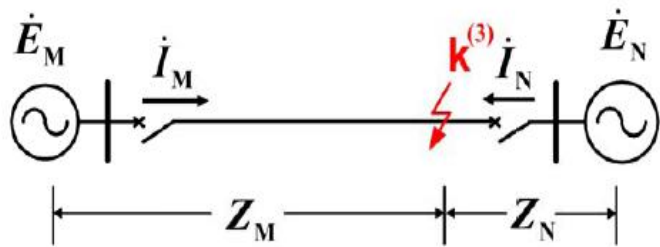
$$\varphi_b = 7^\circ + 15^\circ + \frac{L}{100} \times 6^\circ + \varphi_y = 37^\circ + \frac{L}{100} \times 6^\circ$$

## 4.3 输电线路的高频保护



## 4.3 输电线路的高频保护

### 例题

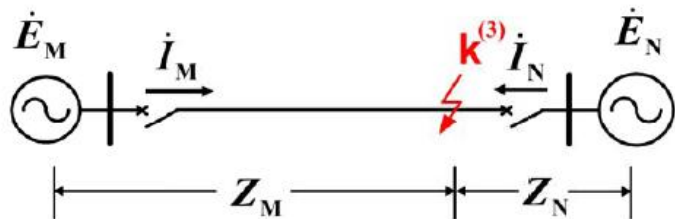


$\dot{E}_M$ 超前 $\dot{E}_N$   $70^\circ$

$Z_M$ 阻抗角为 $60^\circ$

$Z_N$ 阻抗角为 $90^\circ$

## 4.3 输电线路的高频保护



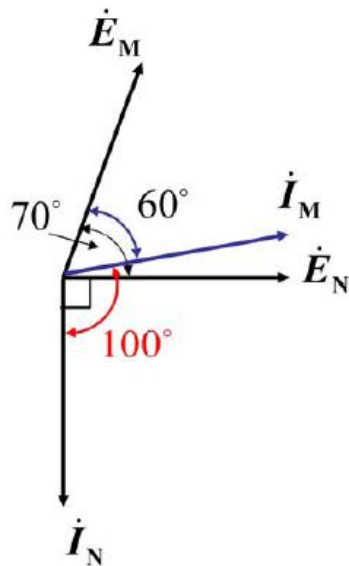
$\dot{E}_M$ 超前 $\dot{E}_N$   $70^\circ$

$Z_M$ 阻抗角为 $60^\circ$

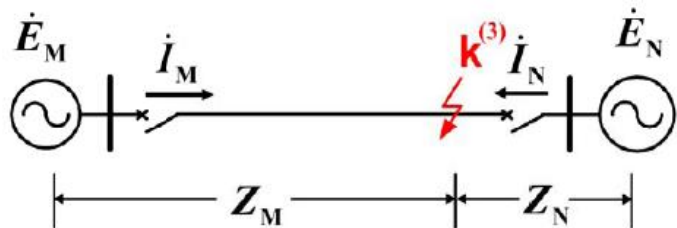
$Z_N$ 阻抗角为 $90^\circ$

M侧

$$\varphi_M = 100^\circ + 7^\circ + 15^\circ + \frac{L}{100} \times 6^\circ = 122^\circ + \frac{L}{100} \times 6^\circ$$



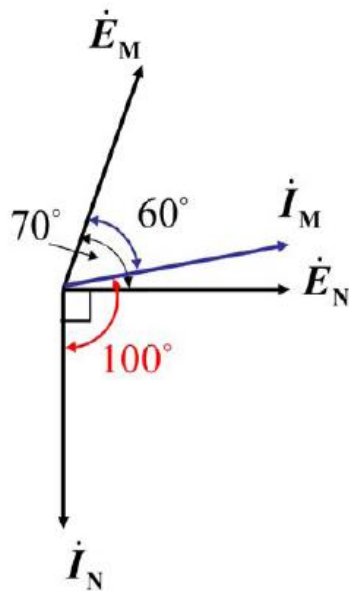
## 4.3 输电线路的高频保护



$\dot{E}_M$ 超前 $\dot{E}_N$   $70^\circ$

$Z_M$ 阻抗角为 $60^\circ$

$Z_N$ 阻抗角为 $90^\circ$



N侧

$$\varphi_N = 100^\circ + 7^\circ + 15^\circ - \frac{l}{100} \times 6^\circ = 122^\circ - \frac{l}{100} \times 6^\circ$$

## 4.3 输电线路的高频保护

例:  $L = 300\text{km}$      $\varphi_b = 55^\circ$

$$\varphi_M = 122^\circ + \frac{L}{100} \times 6^\circ = 140^\circ$$

$$\gamma_M = 180^\circ - \varphi_M = 40^\circ < 55^\circ$$
 M侧保护不能动作

$$\varphi_N = 122^\circ - \frac{L}{100} \times 6^\circ = 104^\circ$$

$$\gamma_N = 180^\circ - \varphi_N = 76^\circ > 55^\circ$$
 N侧保护正确动作

解决: N侧跳闸后, 立即停止本侧发信。M侧只能收到自己所发的信号, 可立即跳闸。

一侧保护随着另一侧保护动作而动作——相继动作



# 小结

👉 本节主要讲解了输电线路纵联保护基本概念、输电线路短路时两侧电气量的故障特征和输电线路的高频保护方面的知识