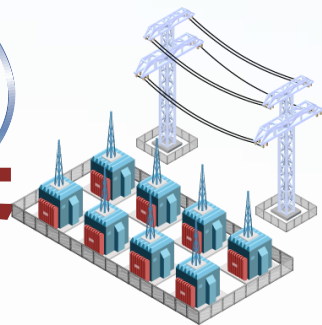


阻抗继电器 的实现方法



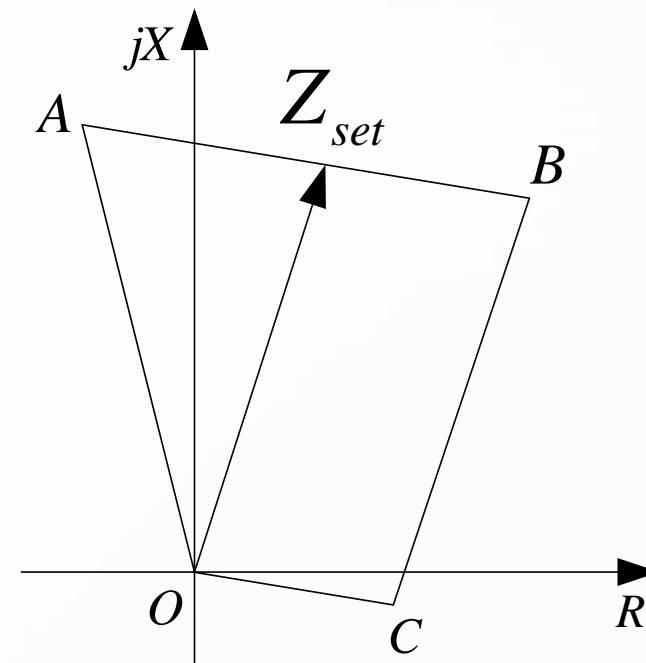
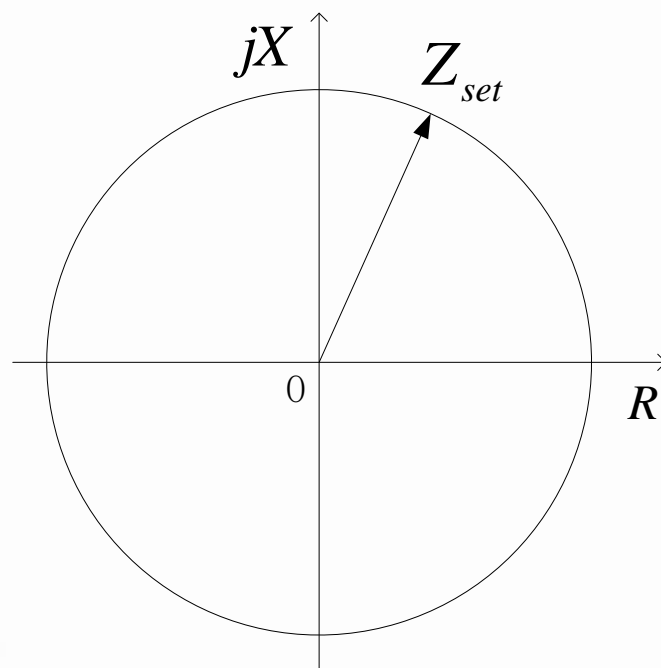
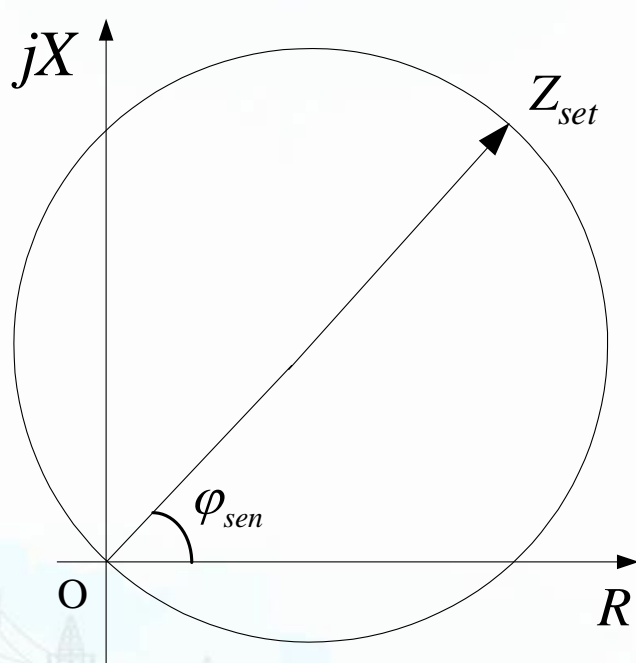
张沛超, pczhang@sjtu.edu.cn



问题的引出

接地距离继电器*3			相间距离继电器*3		
$\dot{U}_{m\phi} = \dot{U}_{\phi}, \dot{I}_{m\phi} = \dot{I}_{\phi} + K3\dot{I}_0$			$\dot{U}_{m\phi\phi} = \dot{U}_{\phi\phi}, \dot{I}_{m\phi\phi} = \dot{I}_{\phi\phi}$		
A相	B相	C相	AB相	BC相	CA相

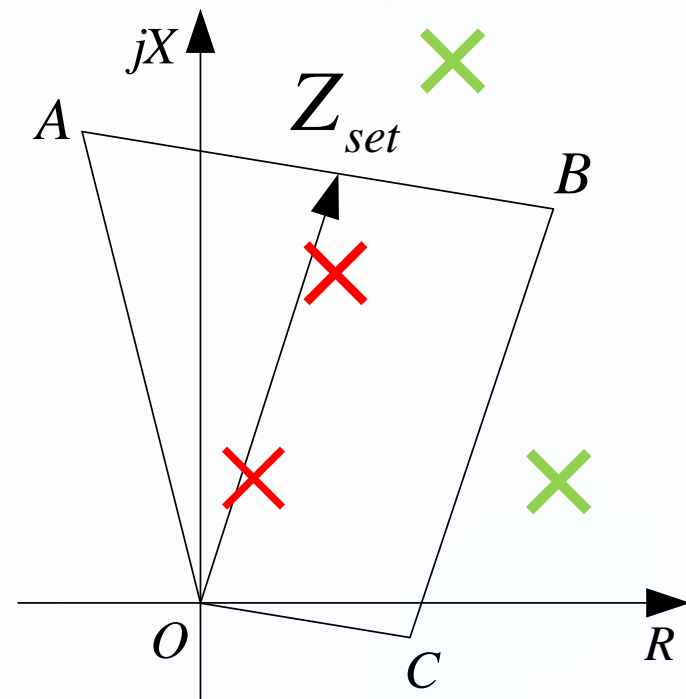
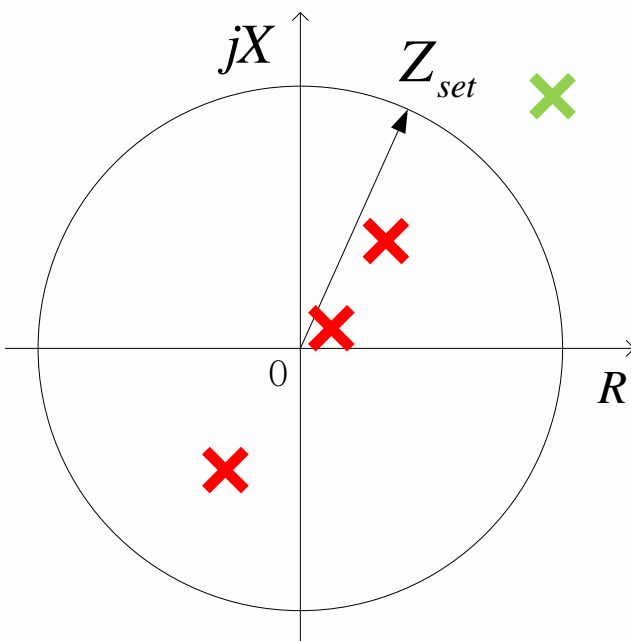
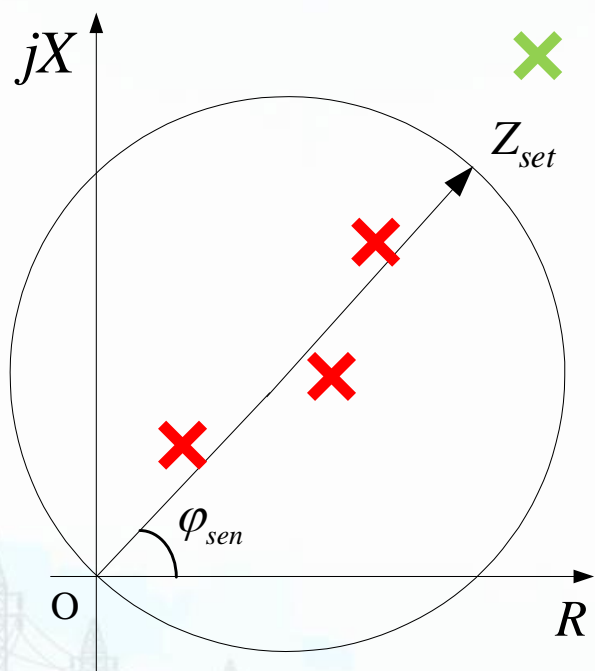
解决了阻抗继电器的接线方式问题、动作特性问题以后，如何进行区内外故障的判别？



实现故障判别的两种基本思路

测距式实现思路：实际计算出测量阻抗，然后在阻抗平面上判别 Z_m 是否在动作区域内

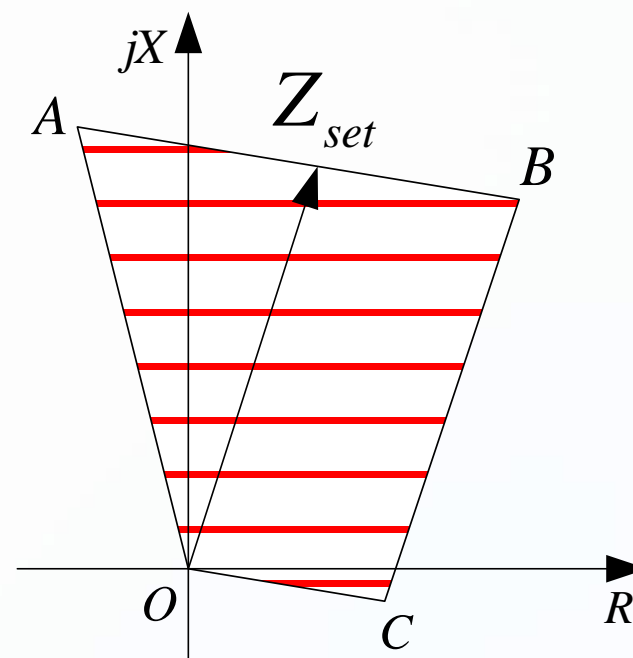
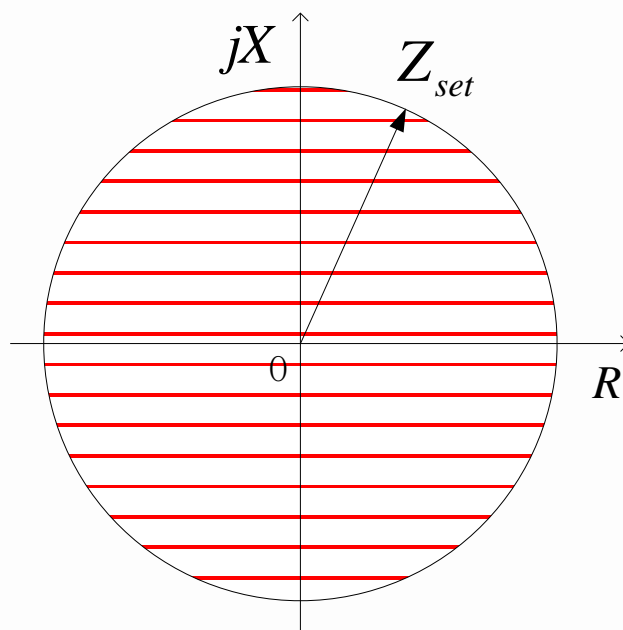
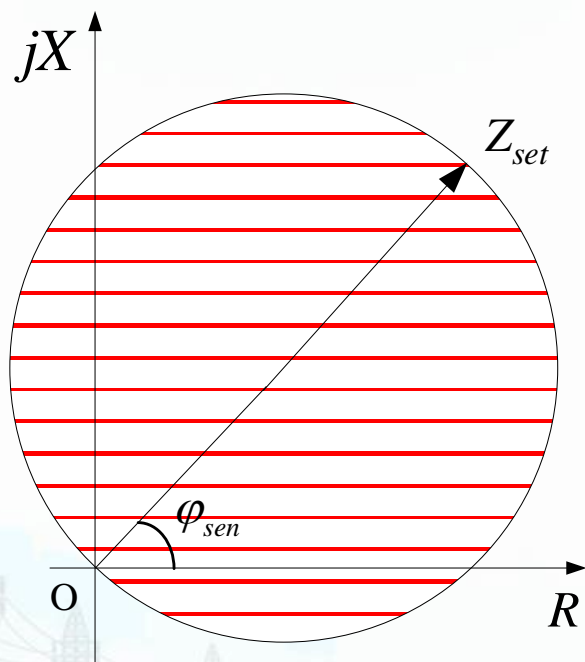
- 兼具故障测距功能，判断结果直观
- 可定制复杂的动作特性，适合数字式保护实现
- 可采用时域算法，避免傅氏算法



实现故障判别的两种基本思路

非测距式实现思路：不关心具体的故障位置，只关注故障在区内还是区外

- 不具备测距功能
- 兼容模拟式、数字式保护
- 代表性原理：由补偿电压、极化电压构成比相式原理

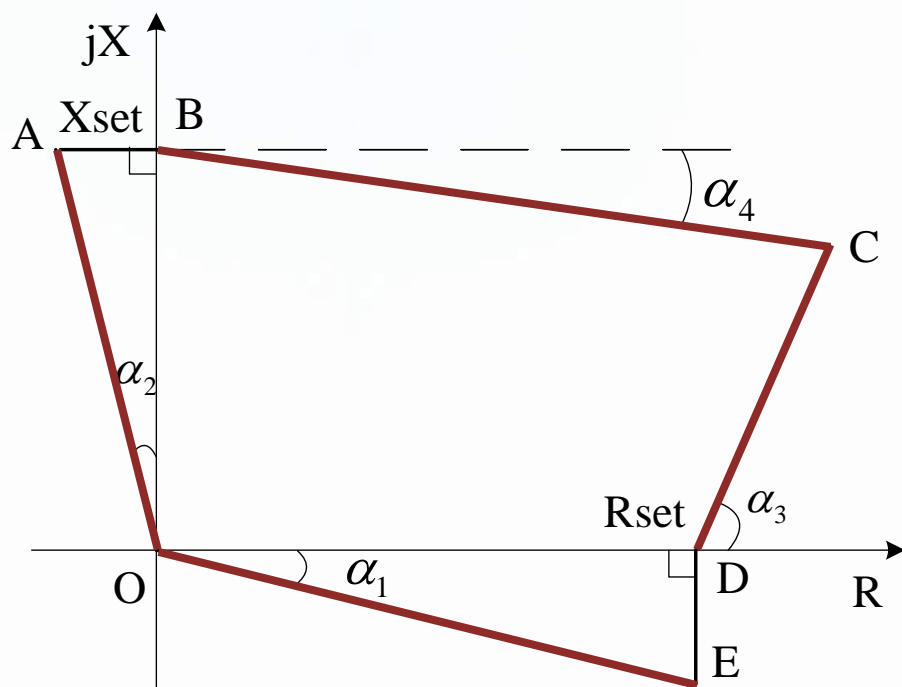




1.测距式实现方法



代表性动作特性：多边形特性



AOE

功率方向特性

- OA倾斜 α_2 ，提高金属性短路时动作的可靠性
- OE下倾 α_3 ，提高出口短路时抗过渡电阻能力

BC

准电抗特性，防止稳态超越

CD

准电阻特性，躲负荷阻抗



1.测距式实现方法

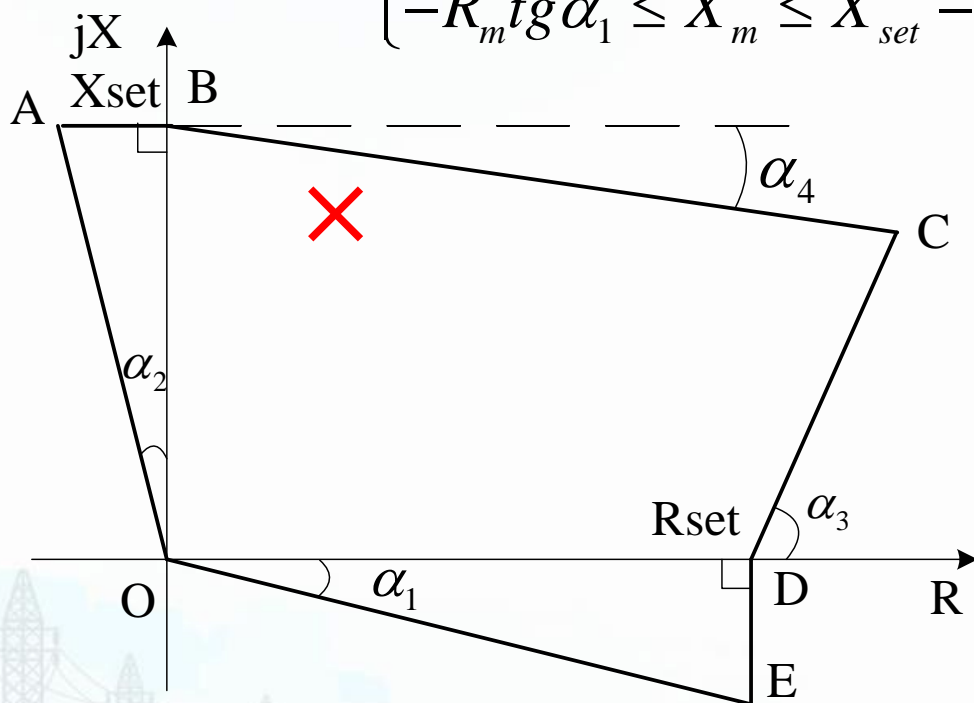


象限I:

$$\begin{cases} R_m \leq R_{set} \\ X_m \geq -R_m \tan \alpha_1 \\ -X_m \tan \alpha_2 \leq R_m \leq R_{set} + \hat{X}_m \cot \alpha_3 \\ -R_m \tan \alpha_1 \leq X_m \leq X_{set} - \hat{R}_m \tan \alpha_4 \end{cases}$$

其中,

$$\hat{X}_m = \begin{cases} 0, & X_m \leq 0 \\ X_m, & X_m > 0 \end{cases}, \quad \hat{R}_m = \begin{cases} 0, & R_m \leq 0 \\ R_m, & R_m > 0 \end{cases}$$



象限II:

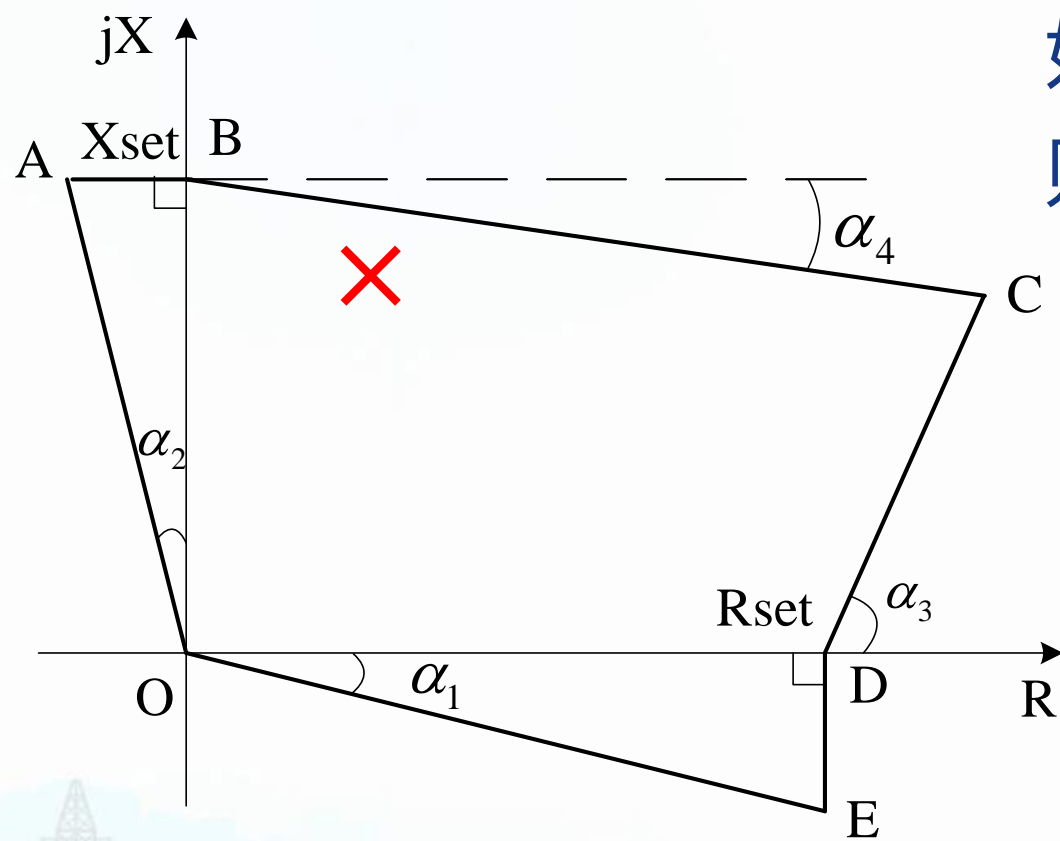
$$\begin{cases} X_m \leq X_{set} \\ R_m \geq -X_m \tan \alpha_2 \end{cases}$$

象限IV:

$$\begin{cases} R_m \leq R_{set} + X_m \cot \alpha_3 \\ X_m \leq X_{set} - R_m \tan \alpha_4 \end{cases}$$



1.测距式实现方法



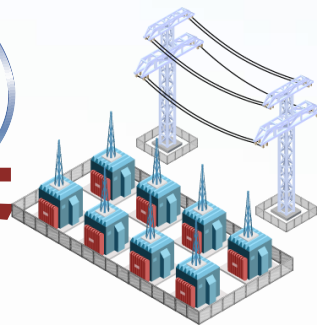
如取: $\alpha_1 = \alpha_2 = 14^\circ$, $\alpha_3 = 45^\circ$, $\alpha_4 = 7.1^\circ$

则: $\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_2 \approx 1/4$, $\operatorname{ctg} \alpha_3 = 1$, $\operatorname{tg} \alpha_4 \approx 1/8$



$$\begin{cases} -\frac{1}{4} X_m \leq R_m \leq R_s + \hat{X}_m \\ -\frac{1}{4} R_m \leq X_m \leq X_s - \frac{1}{8} \hat{R}_m \end{cases}$$

阻抗继电器 的实现方法



张沛超, pczhang@sjtu.edu.cn





2.比相式阻抗继电器的实现



代表性动作特性：圆特性

继电器 \ 比较电压	比相的两个电压	
	\dot{C}	\dot{D}
方向阻抗继电器	\dot{U}_m	$\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}$
全阻抗继电器	$\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set}$	$\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}$
偏移特性阻抗继电器	$\dot{U}_m + \alpha \dot{I}_m Z_{set}$	$\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}$
动作判据	$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{C}}{\dot{D}} \leq 270^\circ$	



2.比相式阻抗继电器的实现



概念：在进行相位比较时，习惯于将其中

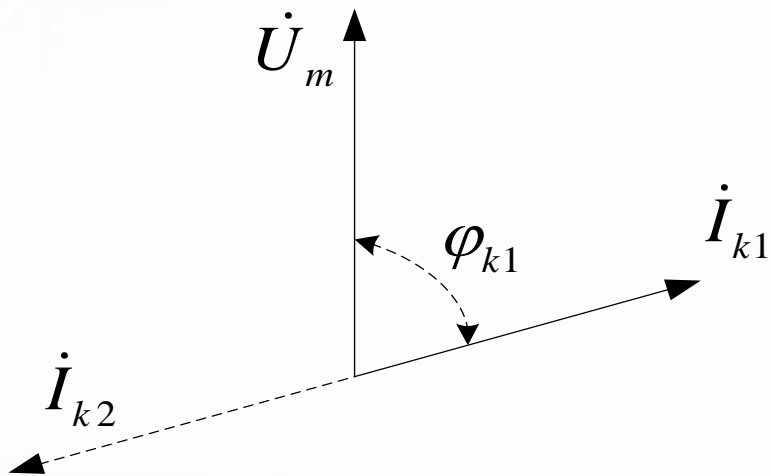
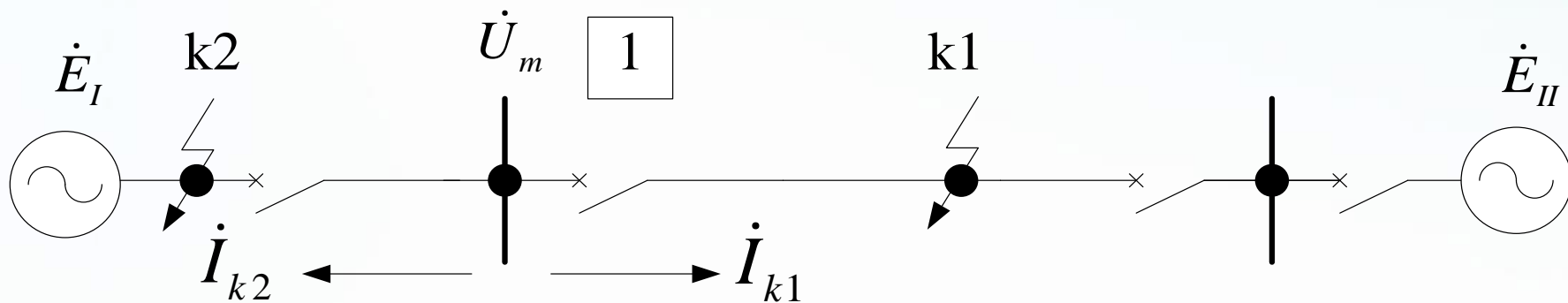
相位不易受故障位置影响的量作为极化(polarizing)量，也称参考量

相位更能反映故障位置变化的量作为工作(operating)量





2. 比相式阻抗继电器的实现



以功率方向继电器为例：
以电压为极化量，
以电流为工作量



2.比相式阻抗继电器的实现



概念：将从保护安装处推算（补偿）至保护范围末端的虚拟电压定义为工作电压 \dot{U}_{op} ，也称为补偿电压 \dot{U}'

动作特性	\dot{C} :极化(参考)电压	\dot{D} :补偿(工作) 电压
方向阻抗	$\dot{U}_m = \dot{I}_m Z_m$	$\begin{aligned} \dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set} \\ = \dot{I}_m (Z_m - Z_{set}) \end{aligned}$
全阻抗	$\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set} = \dot{I}_m (Z_m + Z_{set})$	
偏移阻抗	$\dot{U}_m + \alpha \dot{I}_m Z_{set} = \dot{I}_m (Z_m + \alpha Z_{set})$	
动作判据	$90^{\circ} \leq \arg \dot{C} / \dot{D} \leq 270^{\circ}$	



2.比相式阻抗继电器的实现



概念：被选择用作相位参考的电压称为极化电压 \dot{U}_p

选择不同的极化电压，可构成不同动作特性的阻抗继电器

动作特性	\dot{C} :极化(参考)电压	\dot{D} :补偿(工作) 电压
方向阻抗	$\dot{U}_m = \dot{I}_m Z_m$	$\begin{aligned} &\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set} \\ &= \dot{I}_m (Z_m - Z_{set}) \end{aligned}$
全阻抗	$\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set} = \dot{I}_m (Z_m + Z_{set})$	
偏移阻抗	$\dot{U}_m + \alpha \dot{I}_m Z_{set} = \dot{I}_m (Z_m + \alpha Z_{set})$	
动作判据	$90^{\circ} \leq \arg \dot{C} / \dot{D} \leq 270^{\circ}$	



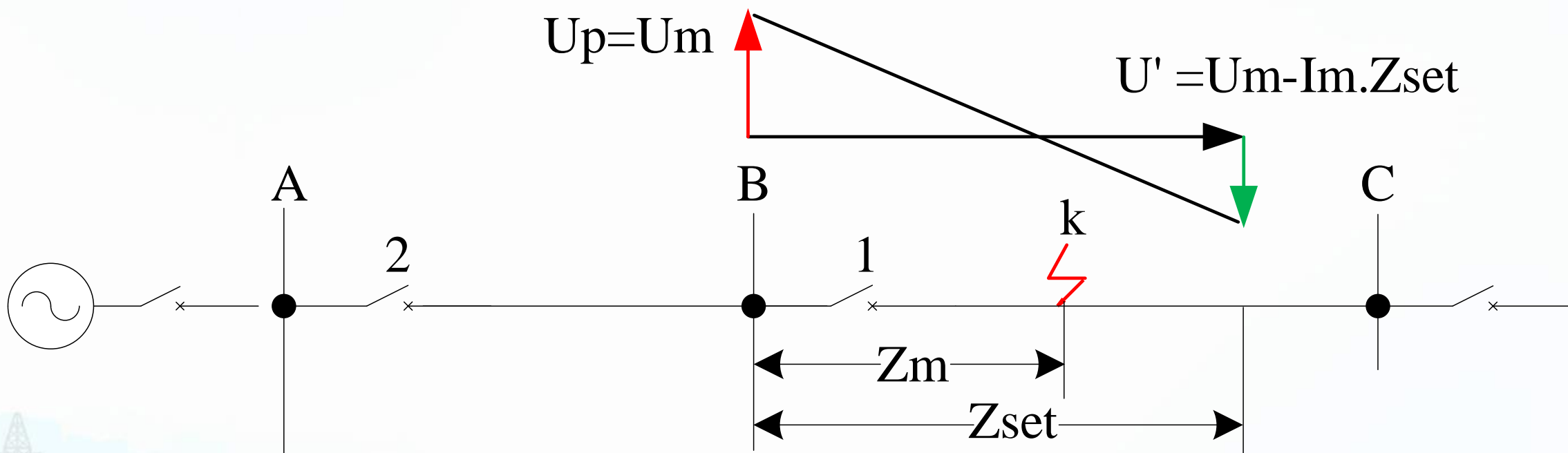
2. 比相式阻抗继电器的实现



方向阻抗继电器判据:

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

1. 区内故障





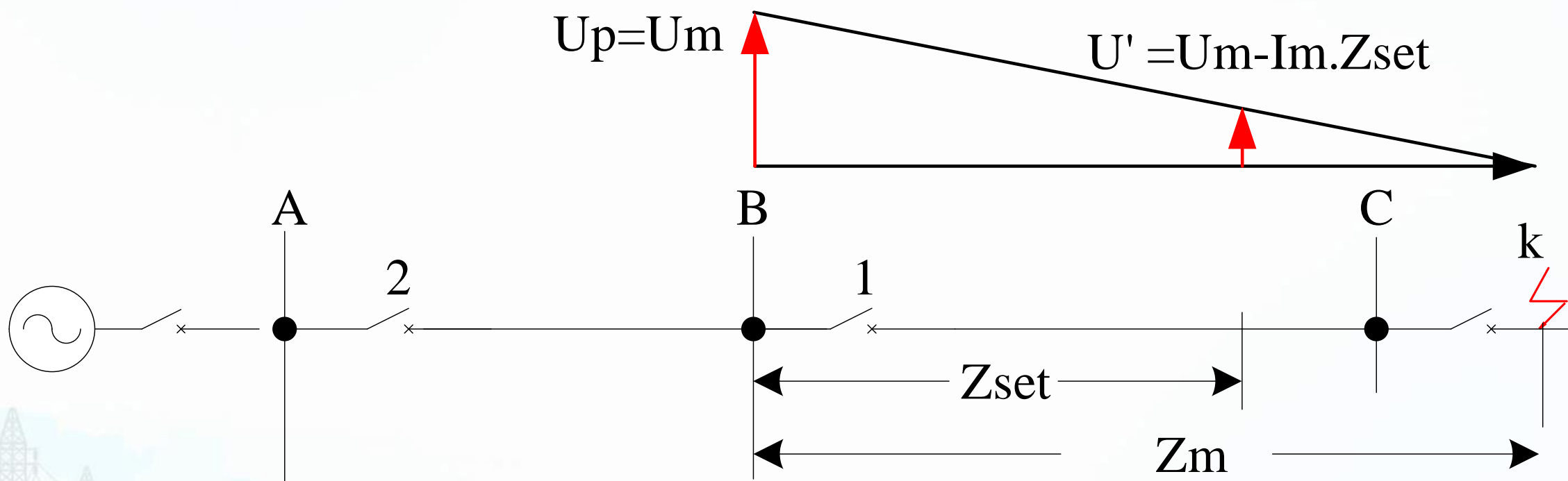
2. 比相式阻抗继电器的实现



方向阻抗继电器判据:

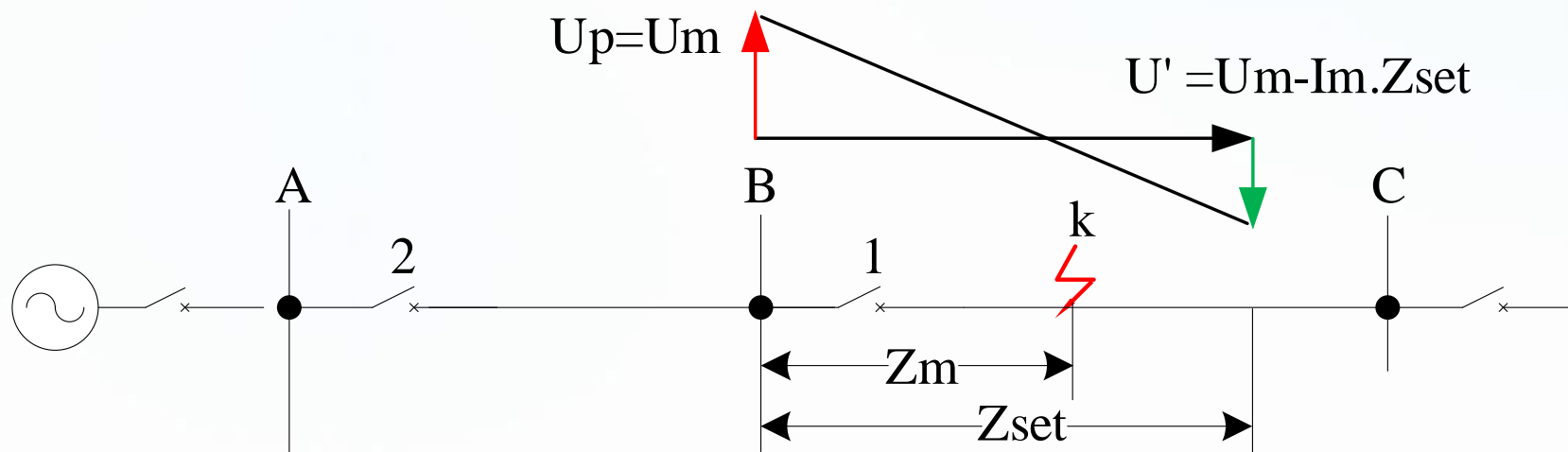
$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

2. 正向区外故障

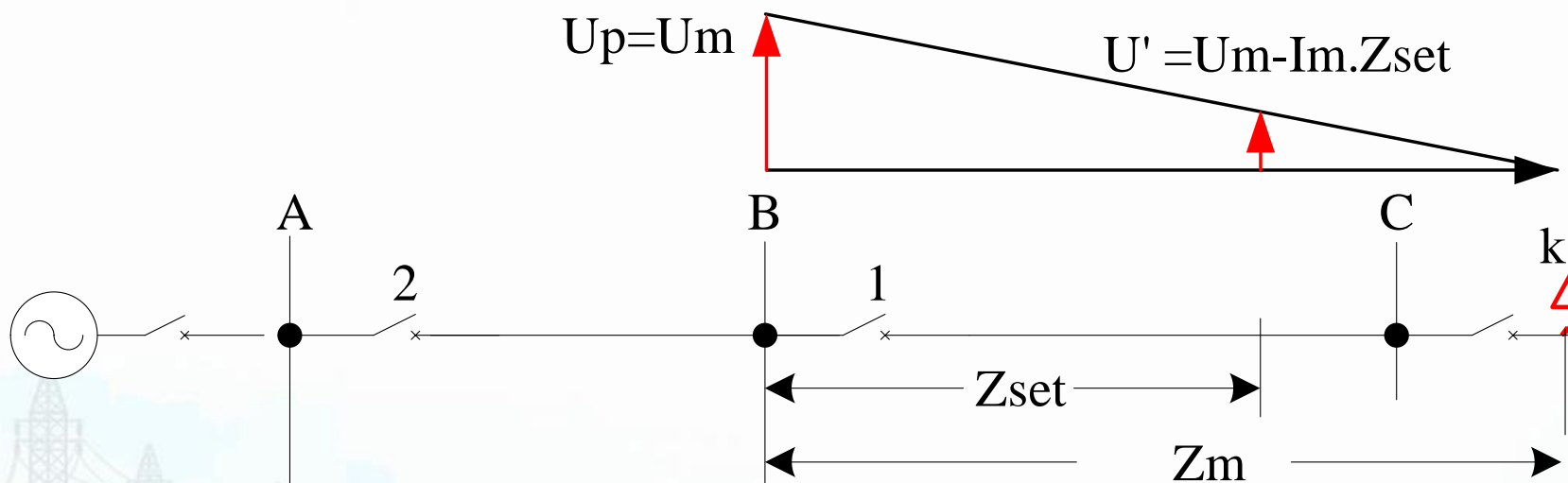




2. 比相式阻抗继电器的实现



正向故障，在故障点从区内转为区外时，补偿电压相位发生180度突变！



而极化电压相位保持不变！正确完成故障区内外判别



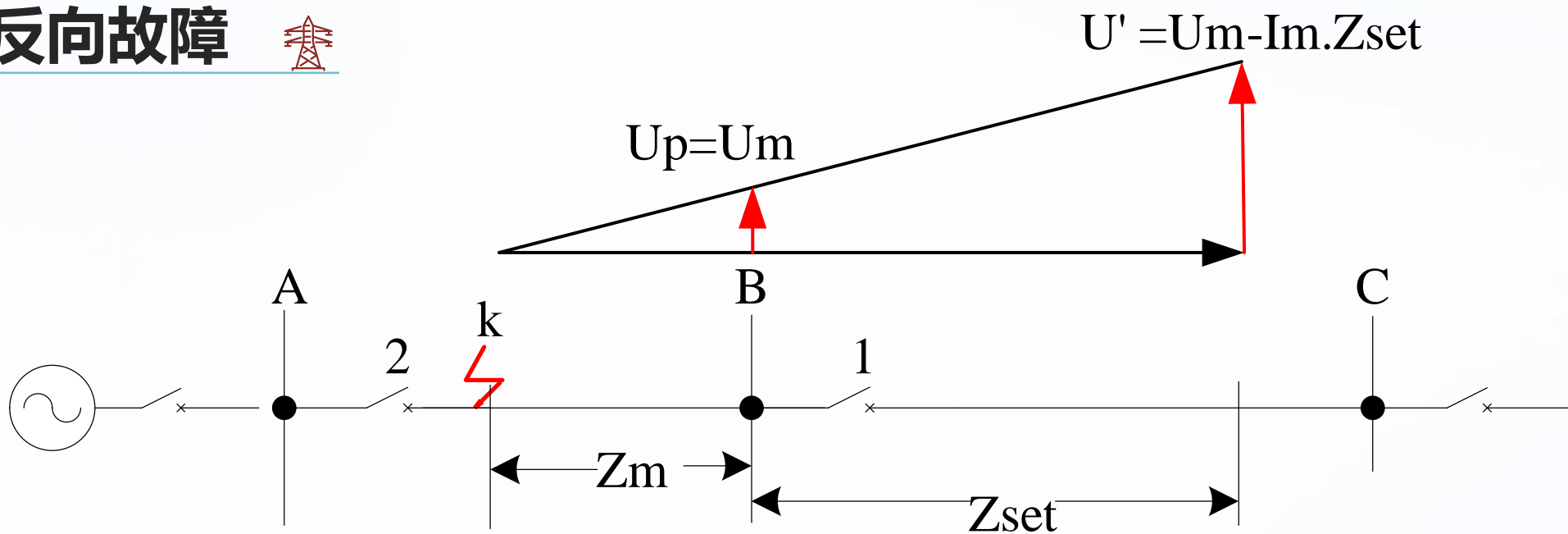
2. 比相式阻抗继电器的实现



方向阻抗继电器判据:

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

3. 反向故障



反向故障时，补偿电压与极化电压的相位关系同区外故障，保护有方向性



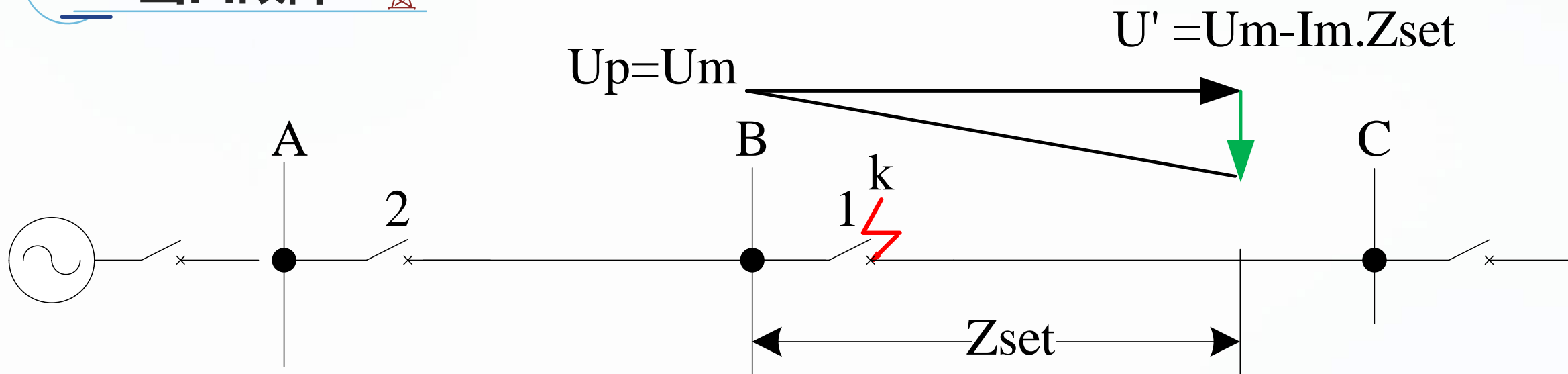
2. 比相式阻抗继电器的实现



方向阻抗继电器判据:

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

4. 出口故障



保护出口故障时，极化电压接近于0，失去了参考作用，
保护存在死区



2. 比相式阻抗继电器的实现



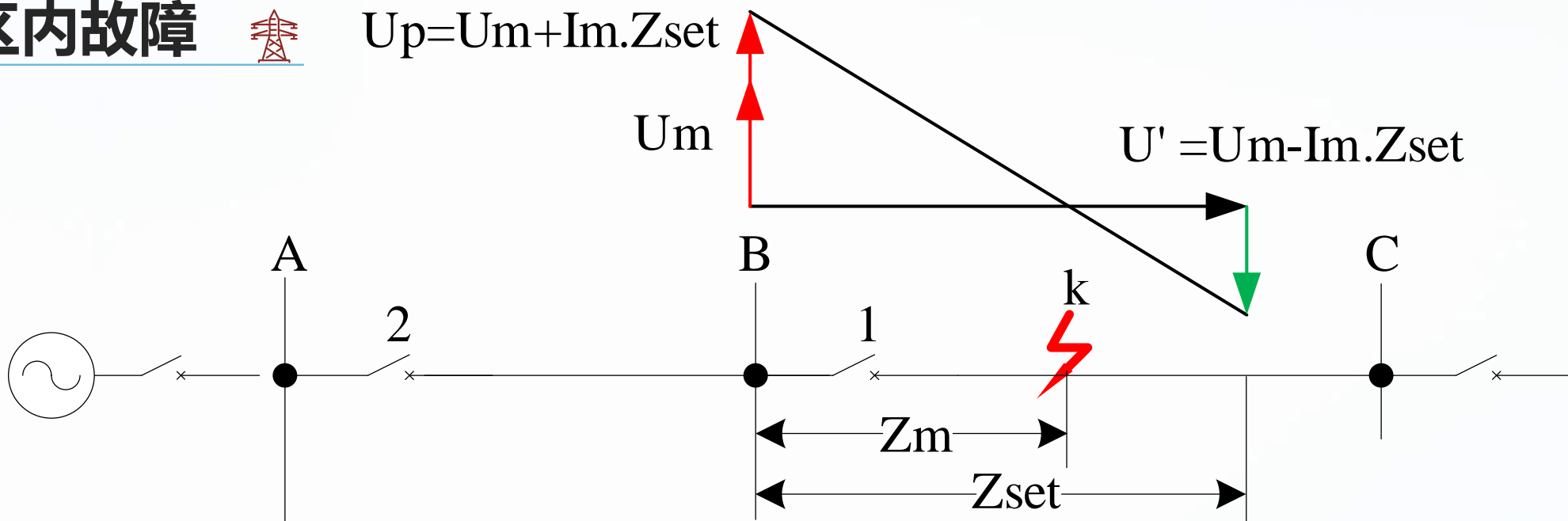
全阻抗继电器判据:

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

1. 区内故障



$$U_p = U_m + I_m \cdot Z_{set}$$



区内故障时，继电器正确动作



2. 比相式阻抗继电器的实现



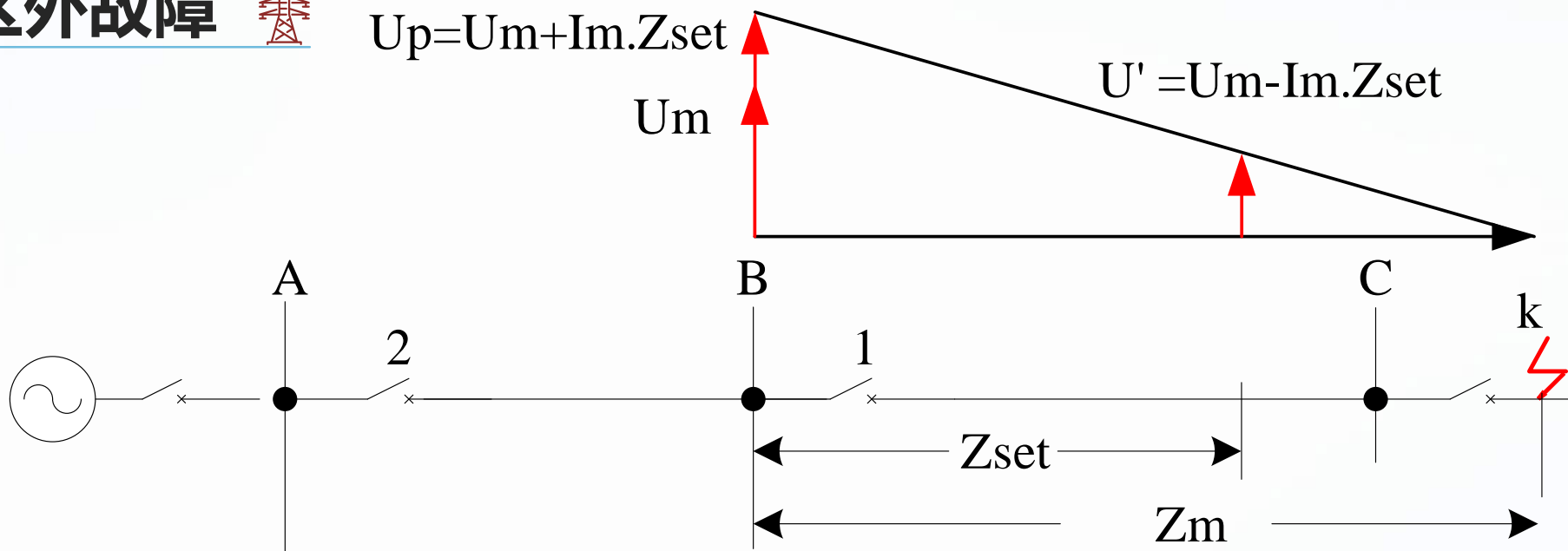
全阻抗继电器判据:

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

2. 正向区外故障



$$U_p = U_m + I_m \cdot Z_{set}$$



在故障点从区内转为区外时，补偿电压的相位发生180度突变！
而极化电压相位保持不变！



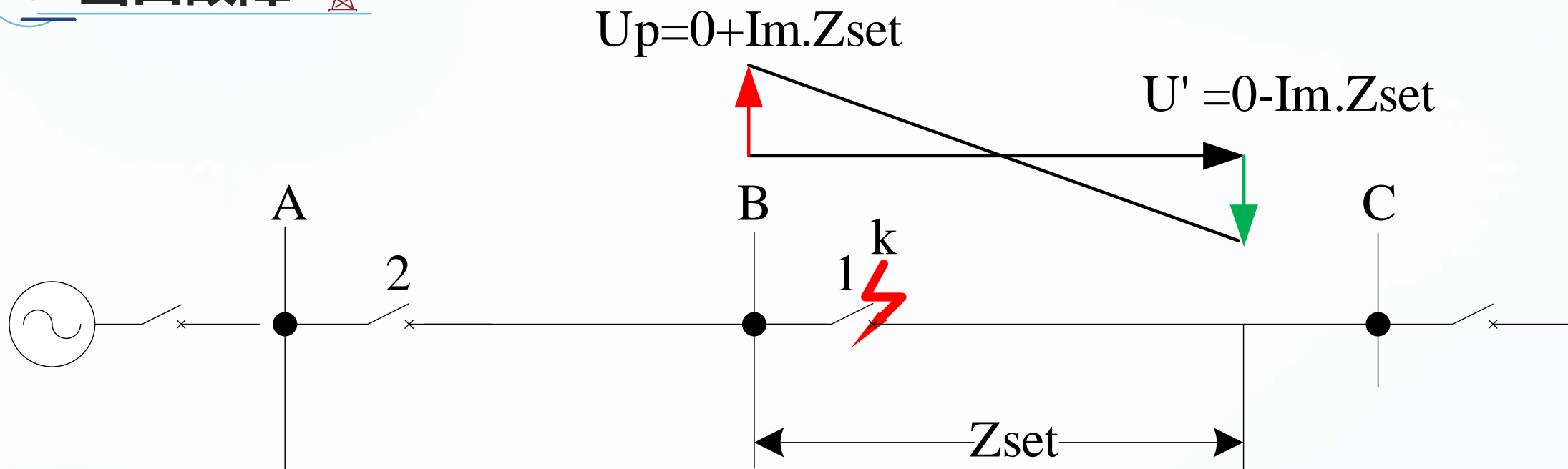
2. 比相式阻抗继电器的实现



全阻抗继电器判据:

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_m + \dot{I}_m Z_{set}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ$$

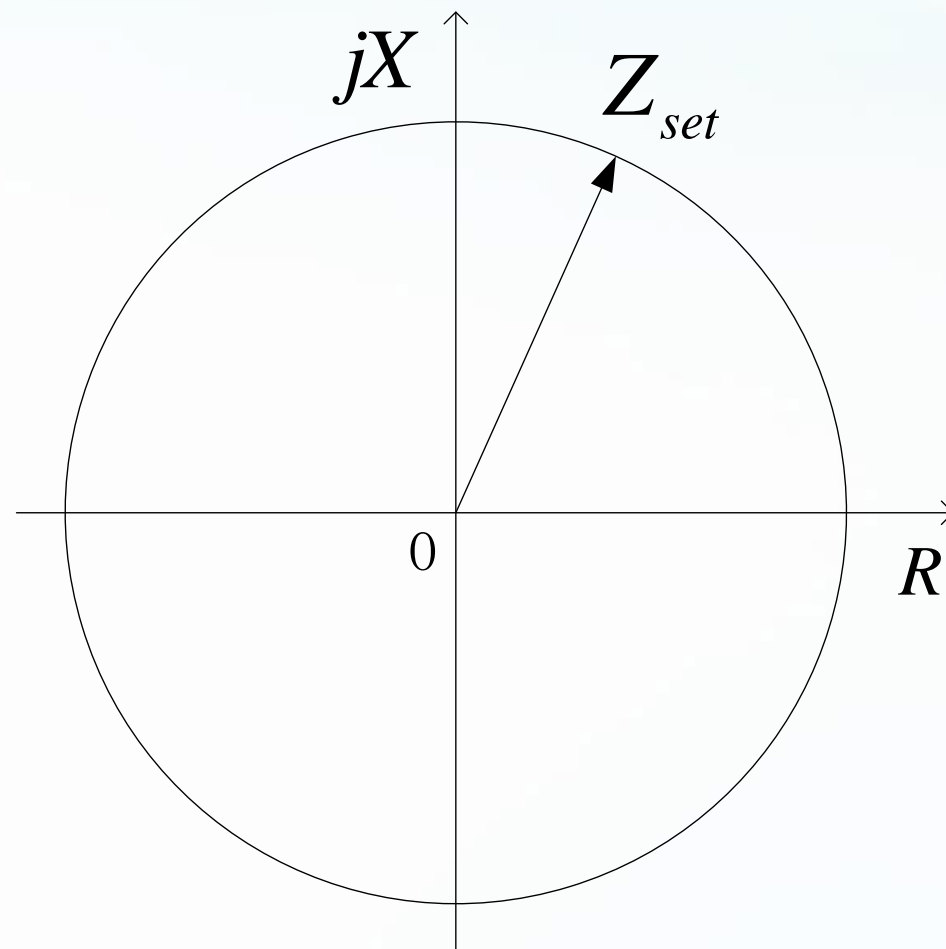
3. 出口故障



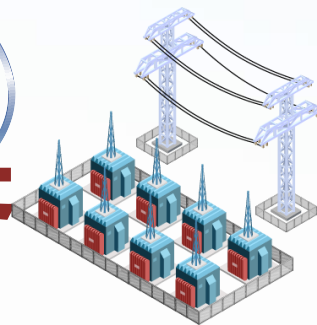
保护出口故障时，极化电压不为0，保护具有最高灵敏性

思考

请分析反向故障时，全阻抗继电器极化电压与补偿电压的相位关系，并分析全阻抗继电器为何不具有方向性？



阻抗继电器 的实现方法



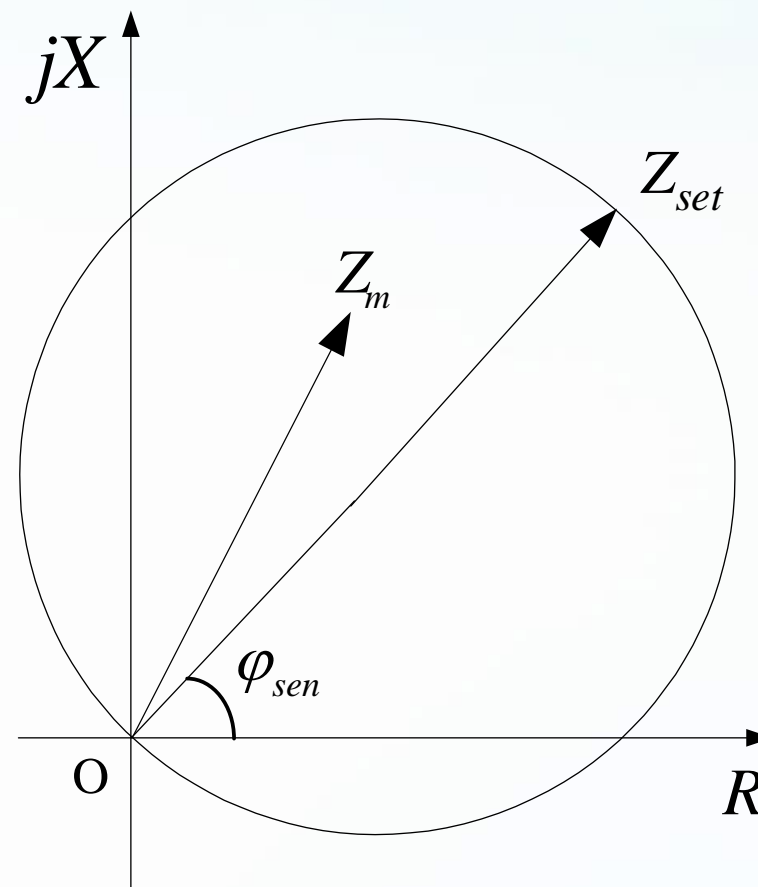
张沛超, pczhang@sjtu.edu.cn



问题的提出

方向阻抗继电器在反向故障时不会误动，具有突出的选择性特点。

但是，当正方向母线出口短路时，短路电流很大，而继电器有死区，这是严重的缺点。





3.消除方向阻抗继电器死区的方法



思路：在比相式原理中，只要设法保持极化电压相位基本不变，就可以引入其他电压来消除死区。两种典型实现方法：

① 在极化电压中引入非故障相电压

② 以数字式保护的短时记忆电压作为极化电压

- 类似功率方向继电器广泛采用的 90° 接线方式
- 记住故障前极化电压的相位





3.消除方向阻抗继电器死区的方法

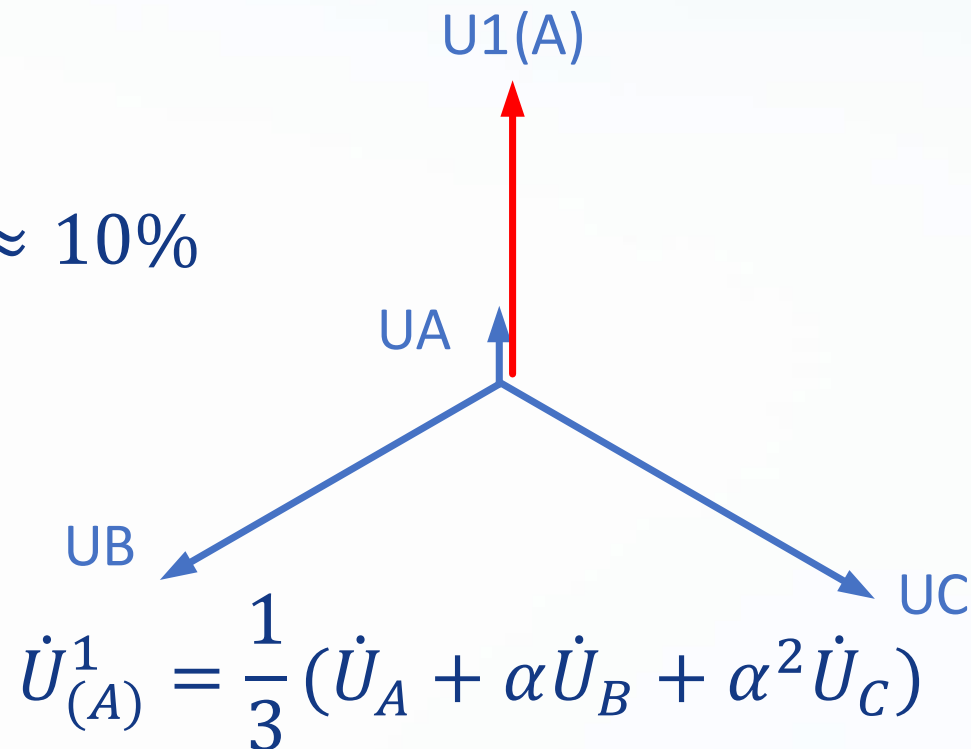


(1) 引入非故障相电压

以接于AB相间的阻抗继电器为例：

$$90^{\circ} \leq \arg \frac{\dot{U}_{AB} + \alpha \dot{U}_C e^{-j90^{\circ}}}{\dot{U}_{AB} - (i_A - i_B) Z_{set}} \leq 270^{\circ}, \alpha \approx 10\%$$

另外，还广泛采用正序电压作为极化电压。正序电压是三相电压的合成，在非对称故障时，相当于引入了非故障相电压。



但是，以上仍不能解决三相短路时的死区问题



3.消除方向阻抗继电器死区的方法



(2) 以短时记忆电压作为极化电压

- 数字式保护能够从采样缓冲区内提取出故障前的母线电压
- 在故障后的2个周波内，母线电压的相位基本维持不变（记忆电压的使用时间一般不超过40ms）

$$90^{\circ} \leq \arg \frac{\dot{U}_m \rightarrow \dot{U}_{L[0]}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^{\circ}$$

$\dot{U}_{L[0]}$:短路前
负荷状态下
母线电压



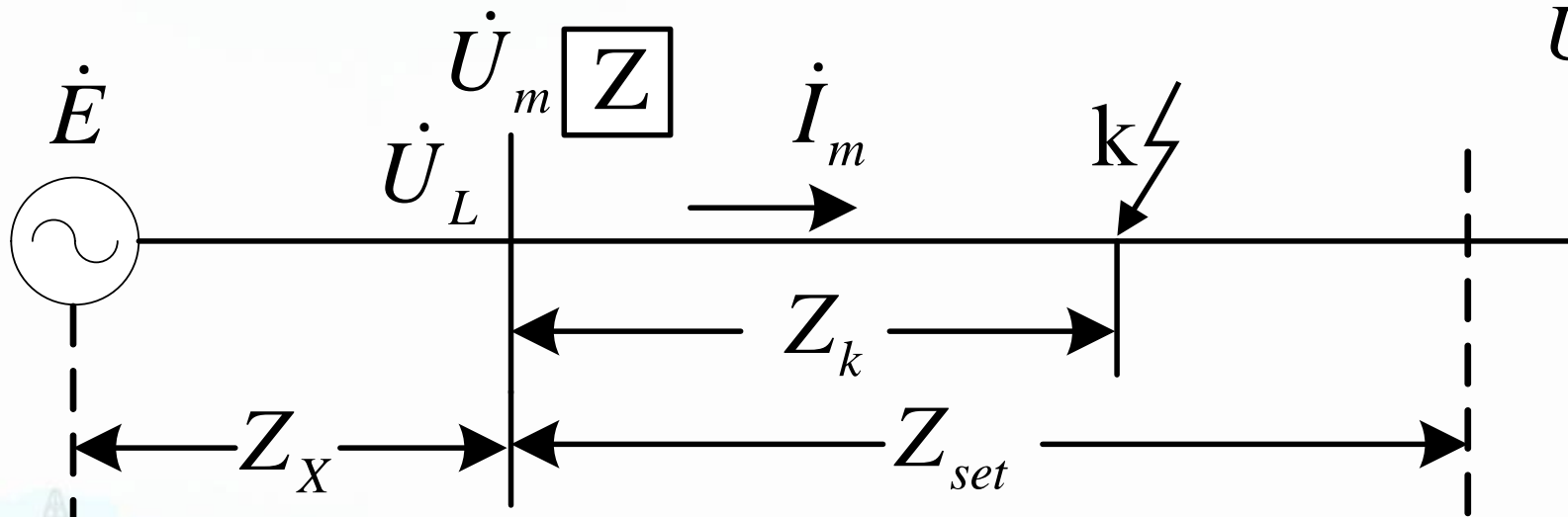


4. 记忆电压对方向阻抗继电器动作特性的影响



分析思路： \dot{U}_L 相位主要受保护背侧系统等效电势影响，设法引入 \dot{E} ；
同时，设法消除 \dot{I}_m

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_{L[0]}}{\dot{I}_m(Z_m - Z_{set})} \leq 270^\circ$$



$$\dot{U}_m = \dot{I}_m Z_m = \dot{E} - \dot{I}_m Z_X$$

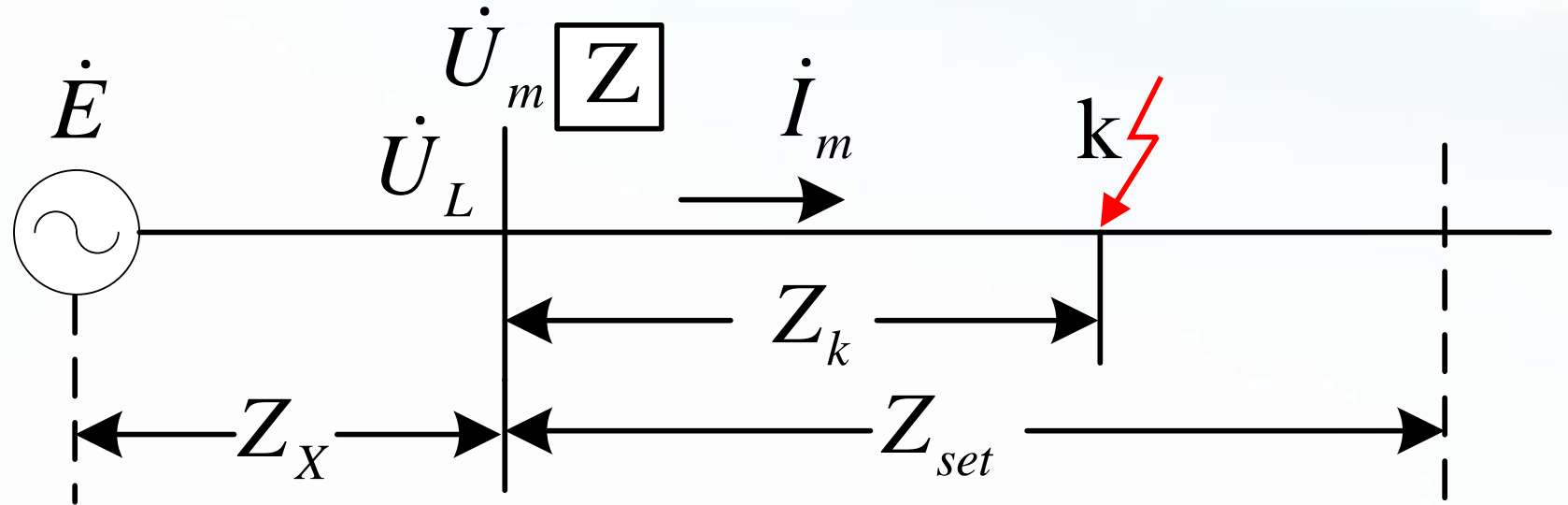
$$I_m = \frac{E}{Z_X + Z_m}$$



4. 记忆电压对方向阻抗继电器动作特性的影响



正向故障分析



$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_{L[0]}}{\dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set}} \leq 270^\circ \quad \Rightarrow \quad 90^\circ \leq \arg \frac{Z_m + Z_X}{Z_m - Z_{set}} * \frac{\dot{U}_{L[0]}}{\dot{E}} \leq 270^\circ$$

不计负荷电流

$$\dot{U}_{L[0]} \approx \dot{E}$$

$$\Rightarrow \quad 90^\circ \leq \arg \frac{Z_m + Z_X}{Z_m - Z_{set}} \leq 270^\circ$$



4. 记忆电压对方向阻抗继电器动作特性的影响

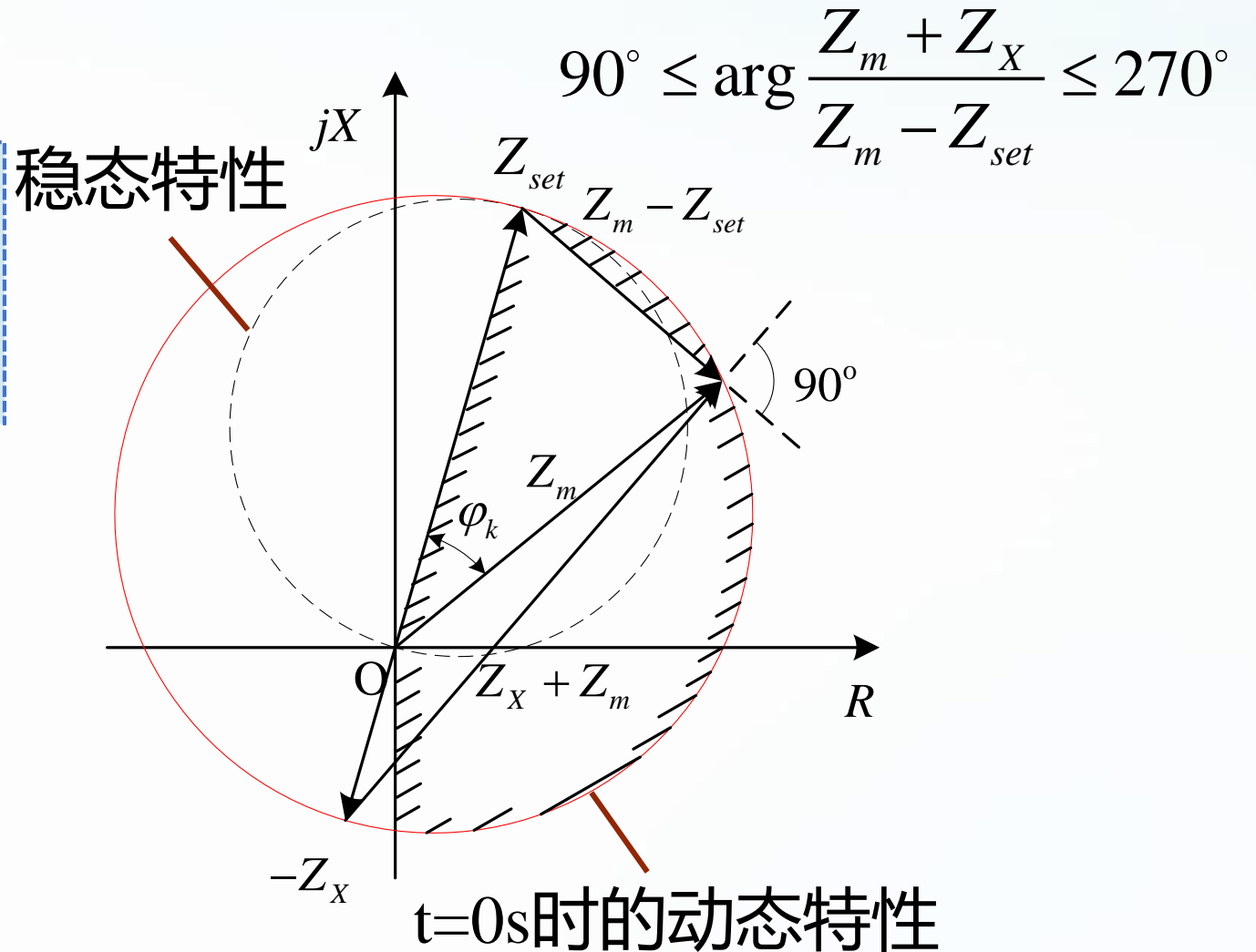


正向故障分析

记忆作用导致动态特性，
为包含原点的**偏移阻抗圆**，
消除了出口故障动作死区

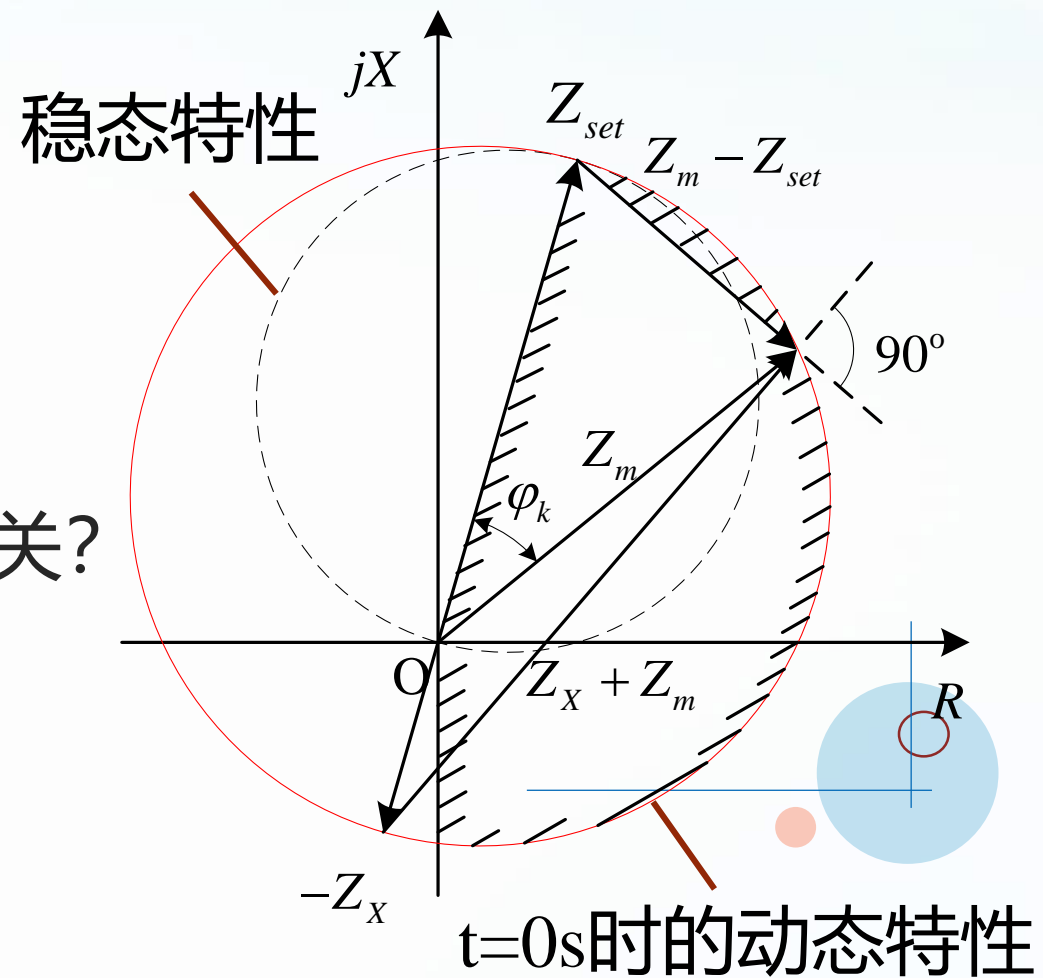
动态过程中，继电器的抗
过渡电阻的能力有所增大

随着记忆作用的消失，恢
复稳态特性



思考

1. 动态特性有没有增大保护范围？
2. 动态特性圆增大的程度与什么有关？
3. 反向故障时，保护是否会误动？



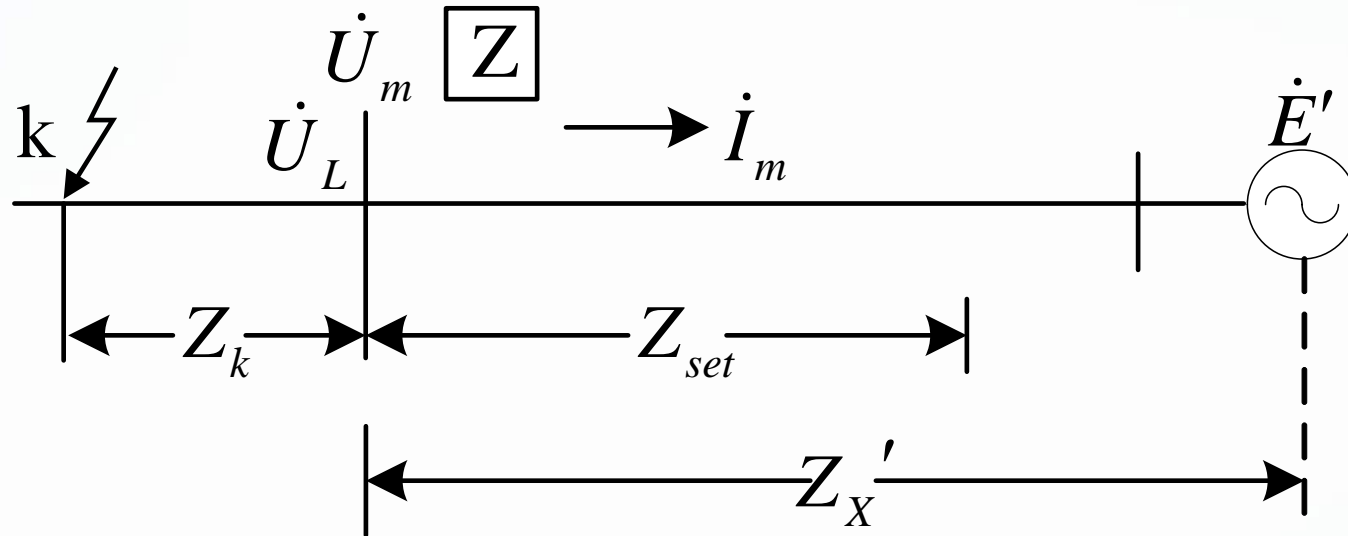


4. 记忆电压对方向阻抗继电器动作特性的影响



反向故障分析：分析思路类似，设法引入对侧电势 E' ，并消除 i_m

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_{L[0]}}{\dot{I}_m(Z_m - Z_{set})} \leq 270^\circ$$



$$\dot{U}_m = \dot{I}_m Z_m = \dot{E}' + \dot{I}_m Z'_X \Rightarrow \dot{I}_m = \frac{\dot{E}'}{Z_m - Z'_X}$$



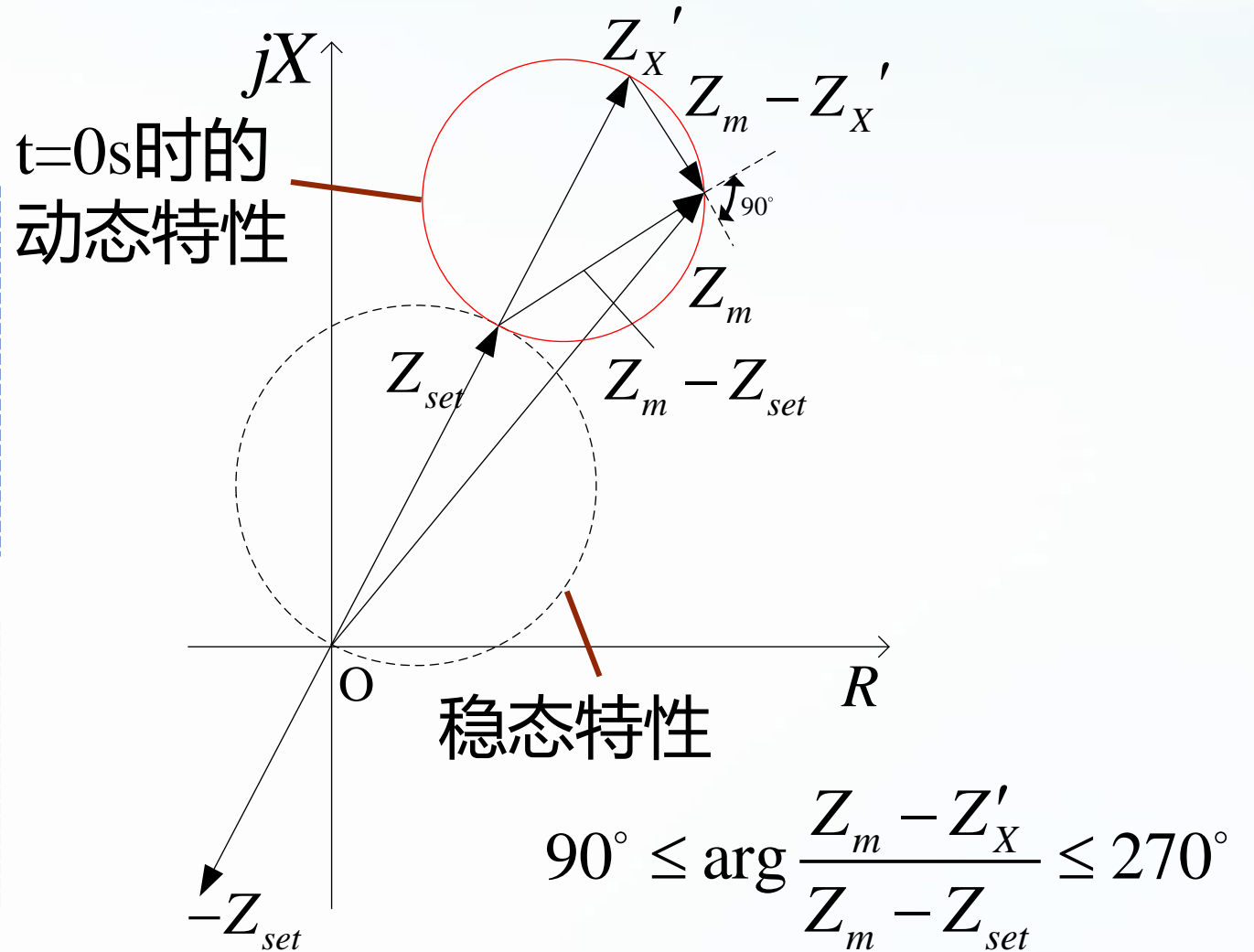
4. 记忆电压对方向阻抗继电器动作特性的影响



反向故障分析

动态特性为位于第一象限的**上抛圆**。因此时测量阻抗在第三象限，故继电器具有明确的方向性

随着记忆的消失，该“上抛圆”特性也会恢复至稳态特性。



思考

1. 为何能用记忆电压代替故障电压作为极化量？
2. 基于记忆电压的保护原理能应用于距离II段、III段吗？
3. 如果不能，该如何解决距离II段、III段的死区问题？

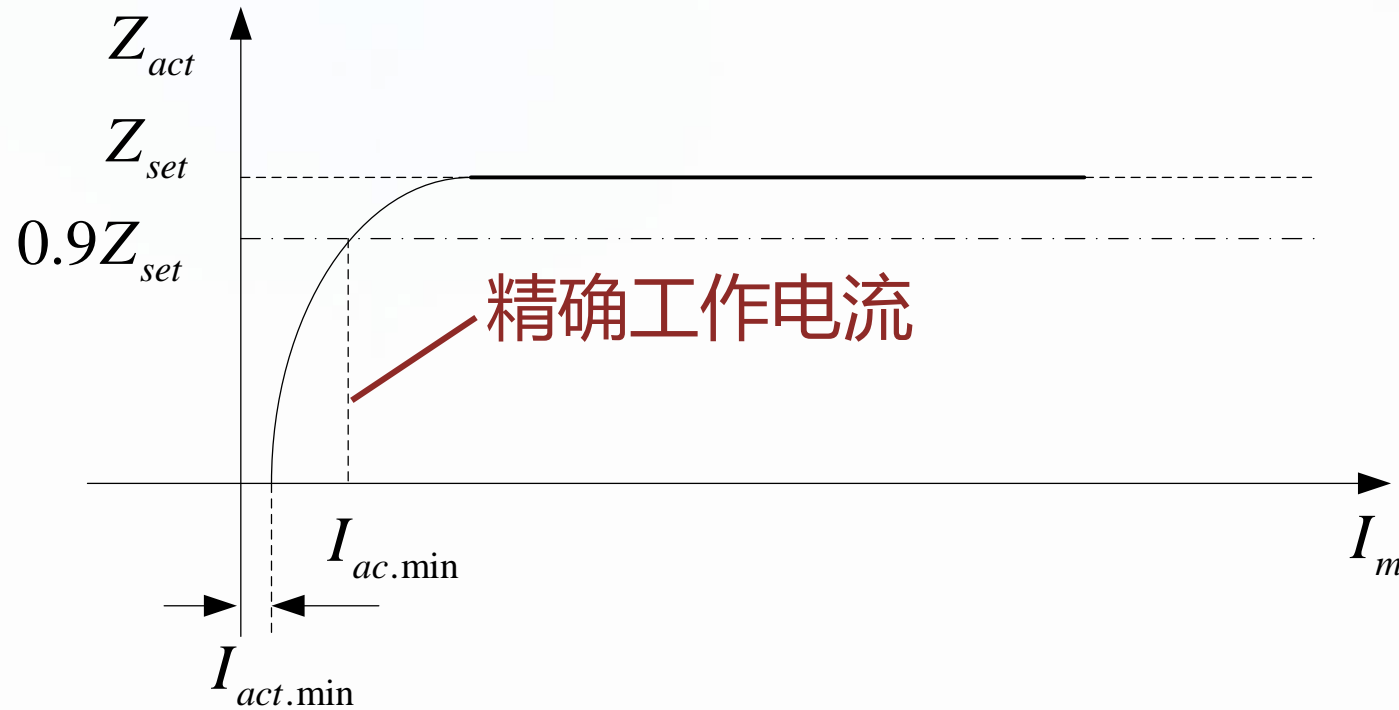




5. 阻抗继电器的精确工作电流



阻抗继电器的“测量精度”与输入电流存在关系



概念：保证阻抗继电器动作阻抗误差在10%以内的继电器的最小输入电流称为（最小）精确工作电流



5.阻抗继电器的精确工作电流



精确工作电流的校验：按保护范围末端短路时的最小短路电流来校验，要求不小于1.5

$$\frac{I_{k \min}}{I_{ac \min}} \geq 1.5$$

数字式保护一般都能满足要求，基本上都不需要校验



小结



两种接线方式

两类实现方法

优缺点

典型应用

根据接线方式，
生成6组测量
电压/电流

测距式

测出6个阻抗，
在R/X平面上进
行区内外判别

多边形特性

优点：
自带测距功能
抗过渡电阻能力强
避越最大负荷能力强
缺点：
实现复杂，适合微机保护

圆特性

比相式

形成极化电压、
补偿电压，进
行比相

圆特性

优点：
实现简单，也适合电磁型保护
可采用记忆电压提升保护性能
缺点：
不能测距
稳态特性具有圆特性的各种缺点

接地保护

相间保护