

几种常见继电保护 测试方法

ONLYLY

ONLYLY

广东昂立电气有限公司
主讲人：吴悦胜

□ 输电线路光纤纵联差动保护

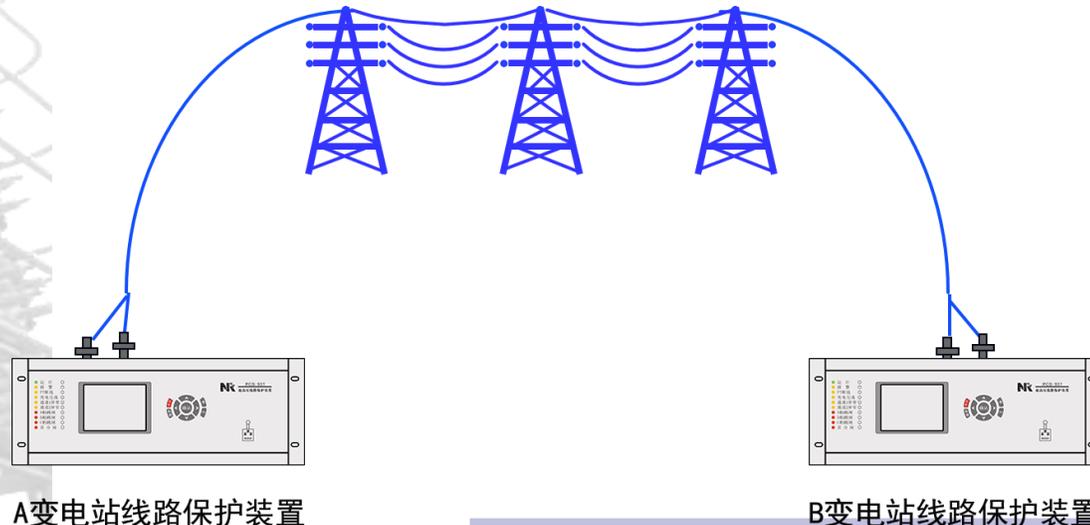
□ 变压器差动保护

□ 发电机失磁保护

□ 发电机失步保护

ONLYLY

- 纵联保护通道类型：
电力线载波通道、微波通道、光纤通道、导引线通道。
- 纵联保护是通过辅助线将被保护线路两侧的电量连接起来，比较被保护的线路始端与末端电气量的变化。
- 优点：瞬时切除本线路全长范围内的短路；
- 缺点：不能保护在相邻线路上的短路，不能作相邻线路上的短路的后备。



- 光纤纵联差动保护是通过光纤将被保护线路两侧的电量连接起来，比较被保护的线路始端与末端电流的大小及相位。
- 设流过两侧保护的电流、以母线流向被保护的线路方向规定为其正方向，如图中箭头方向所示。



(a) 系统图

输电线路光纤纵联差动保护

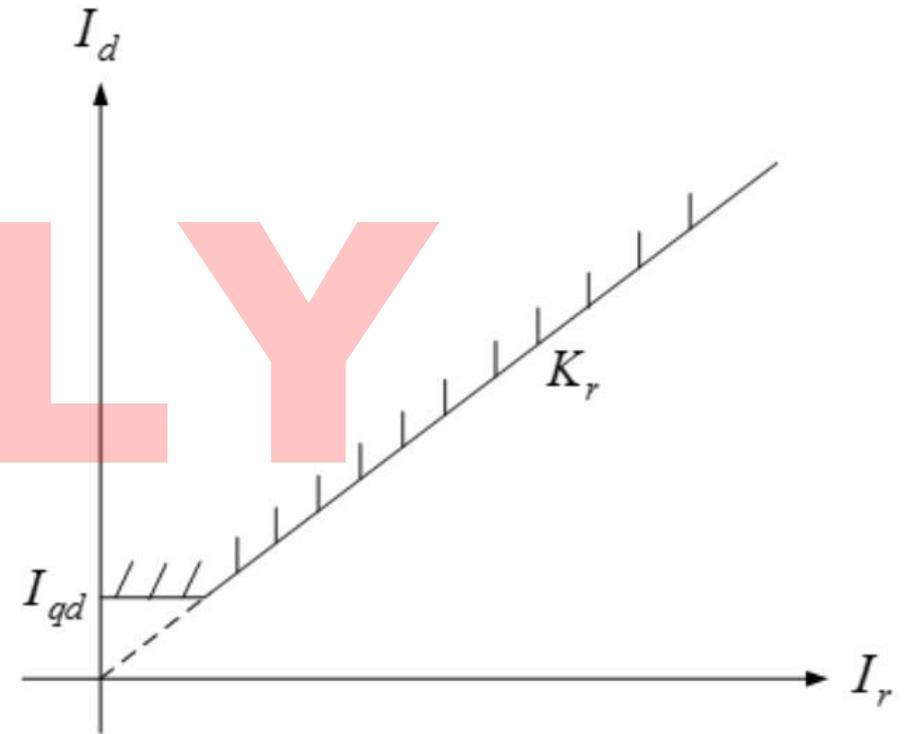
ONLY
1994

- 差动电流 I_d , $I_d = |\dot{I}_M + \dot{I}_N|$
- 制动电流 I_r , $I_r = |\dot{I}_M - \dot{I}_N|$

• 制动特性:

$$\begin{cases} I_d > I_{qd} & I_r < K_r \times I_{qd} \\ I_d > K_r I_r & I_r > K_r \times I_{qd} \end{cases}$$

- 图中 I_{qd} 为起动电流, K_r 为制动系数



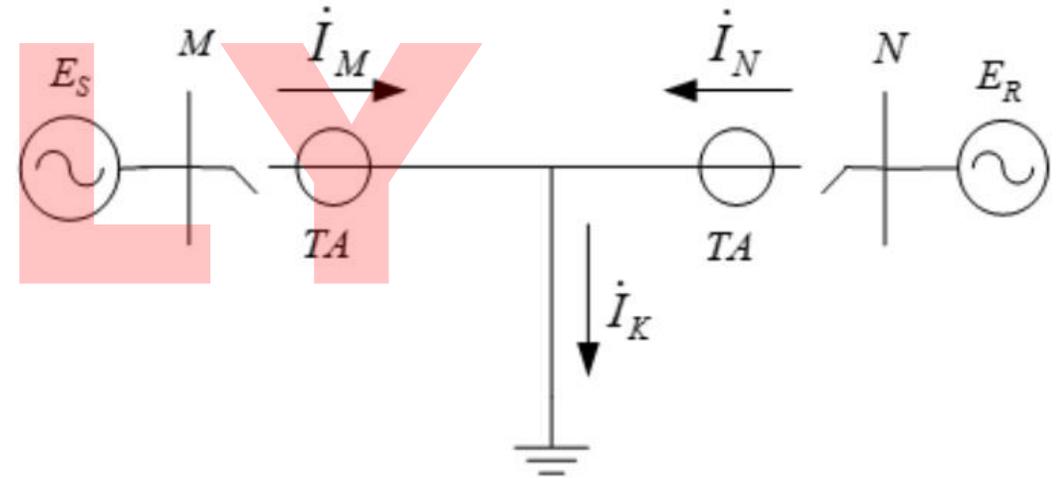
(b) 动作特性

➤ 内部短路故障：

$$I_d = |\dot{I}_M + \dot{I}_N| = I_K$$

$$I_r = |\dot{I}_M - \dot{I}_N| = |\dot{I}_M + \dot{I}_N - 2\dot{I}_N| = |\dot{I}_K - 2\dot{I}_N|$$

- 内部短路故障时， I_d 很大， I_r 较小（如果两侧电流幅值相等，制动电流为零），短路点落在动作特性的动作区，差动保护动作。



(c) 内部短路

➤ 外部短路故障（或正常运行）：

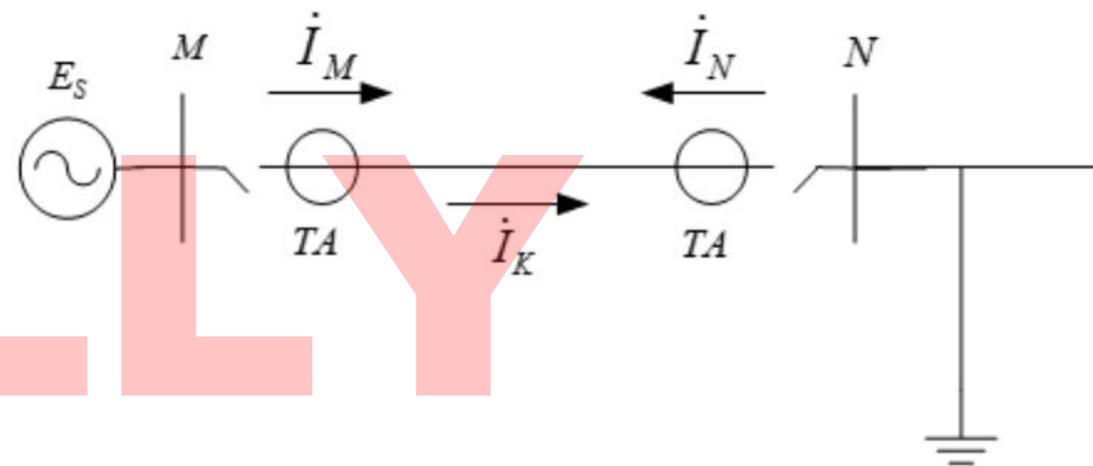
• 忽略线路上的容性电流有

$$\dot{I}_M = \dot{I}_K \quad \dot{I}_N = -\dot{I}_K$$

$$I_d = |\dot{I}_M + \dot{I}_N| = |\dot{I}_K - \dot{I}_K| = 0$$

$$I_r = |\dot{I}_M - \dot{I}_N| = |\dot{I}_K + \dot{I}_K| = 2I_M$$

• 外部短路故障（或正常运行）时， I_d 为零， I_r 为2倍短路电流，短路点落在动作特性的不动作区，差动保护不动作。



(d) 外部短路

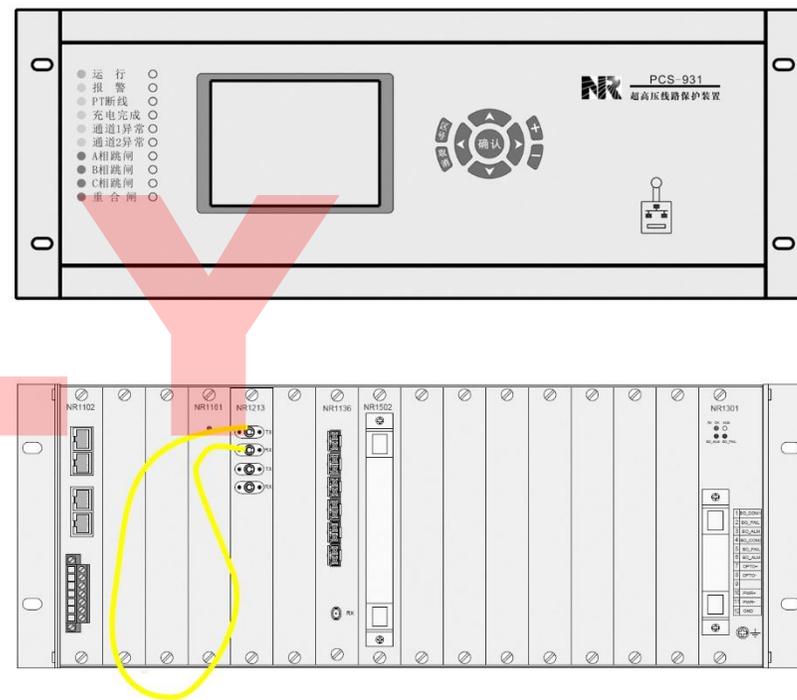
- 由上述可见：
- 线路纵差保护两侧TA之间的线路范围。在线路内部有流出的电流，例如内部短路的短路电流、线路内部的电容电流都会形成动作电流。而穿越性的电流，例如外部短路时流过线路的短路电流、负荷电流都只形成制动电流而不会产生动作电流。

➤ 自环测试：

- 将保护通道插件上单模光纤的接收“Rx”和发送“Tx”用尾纤短接，构成自发自收方式，投入纵联差动保护硬压板和软压板，纵联差动保护、通信内时钟、单相重合闸控制字均置1，电流补偿控制字置0，本侧识别码和对侧识别码整定为相同，通道异常灯熄灭。

- 有 $\dot{I}_M = \dot{I}_N$ ，则：

$$\begin{cases} I_d = |\dot{I}_M + \dot{I}_N| = 2\dot{I}_M \\ I_r = |\dot{I}_M - \dot{I}_N| = 0 \end{cases}$$

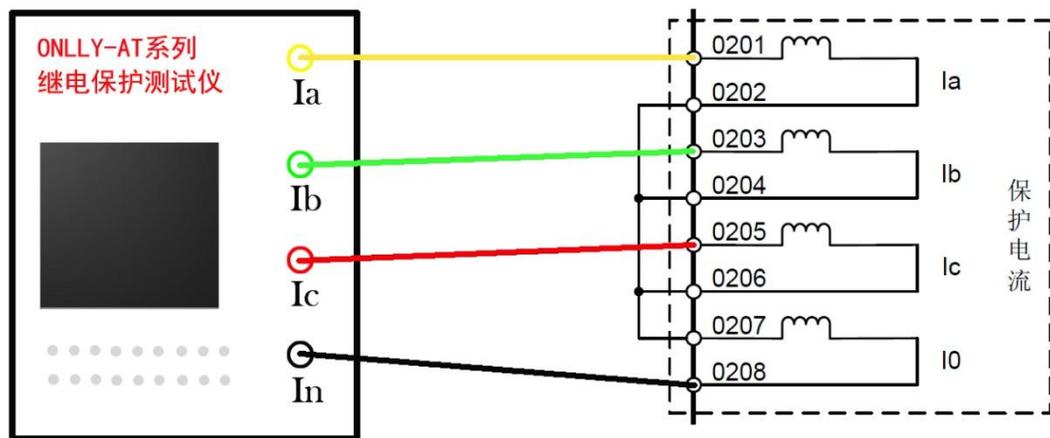


输电线路光纤纵联差动保护

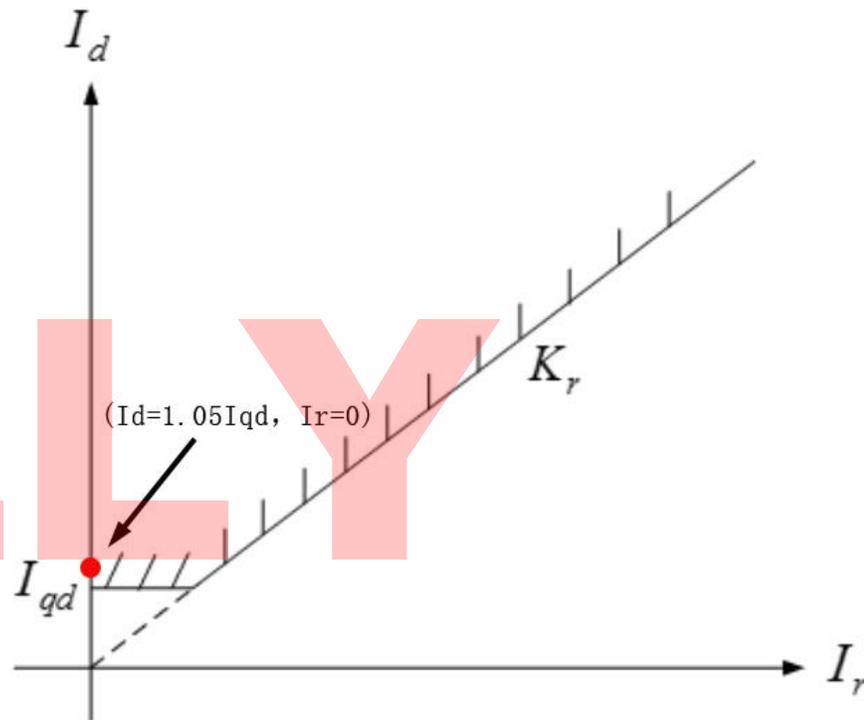
- 继保测试仪模拟M侧故障电流:

$$\dot{I}_a = \dot{I}_M = 1.05 * \frac{\dot{I}_{qd}}{2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_d = 2\dot{I}_M = 2\dot{I}_a = 1.05 * I_{qd} \\ I_r = |\dot{I}_M - \dot{I}_N| = 0 \end{cases}$$



纵联差动保护自环测试接线图



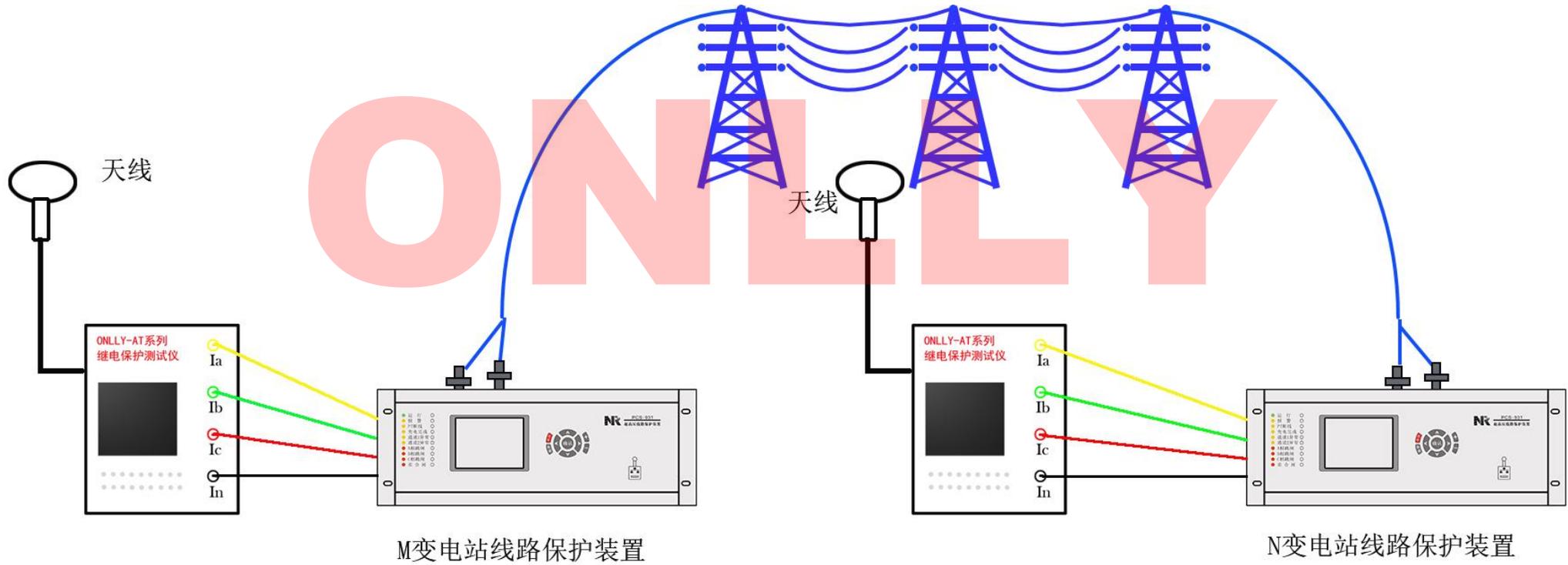
(b) 动作特性

小结：
光纤纵联差动保护自环测试时，只能测试 $I_r=0$ 时，动作电流值。

输电线路光纤纵联差动保护

ONLYLY
1994

➤ GPS联调测试:

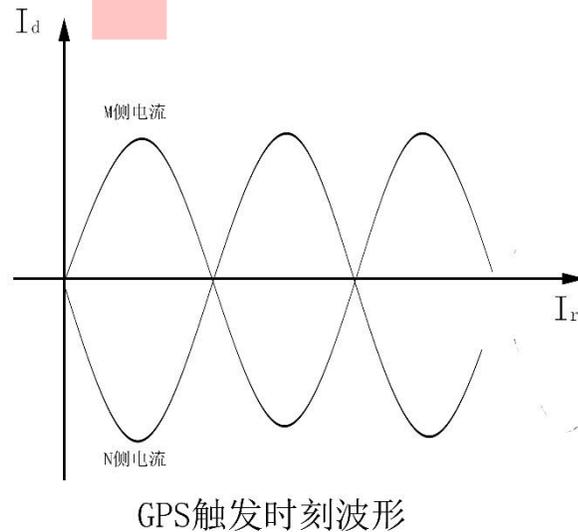
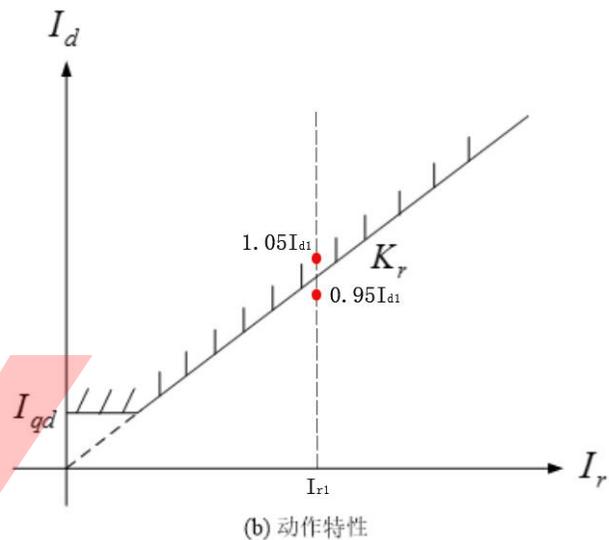


- 将M端保护装置保护通道插件上单模光纤的发送“Tx”和接收“Rx”分别与对侧N端保护装置保护通插件上的接收“Rx”和发送“Tx”相连接()（按照实际运行接线），M、N两端投入纵联差动保护硬压板和软压板，纵联差动保护、通信内时钟、单相重合闸控制字均置1，电流补偿控制字置0，本侧识别码和对侧识别码整定为异同，通道异常灯熄灭。
- M、N端各摆放一台带GPS触发故障的继电保护测试仪，分别模拟M、N端故障电流。
- 模拟外部故障（即，M侧0度，N侧180度）。

输电线路光纤纵联差动保护

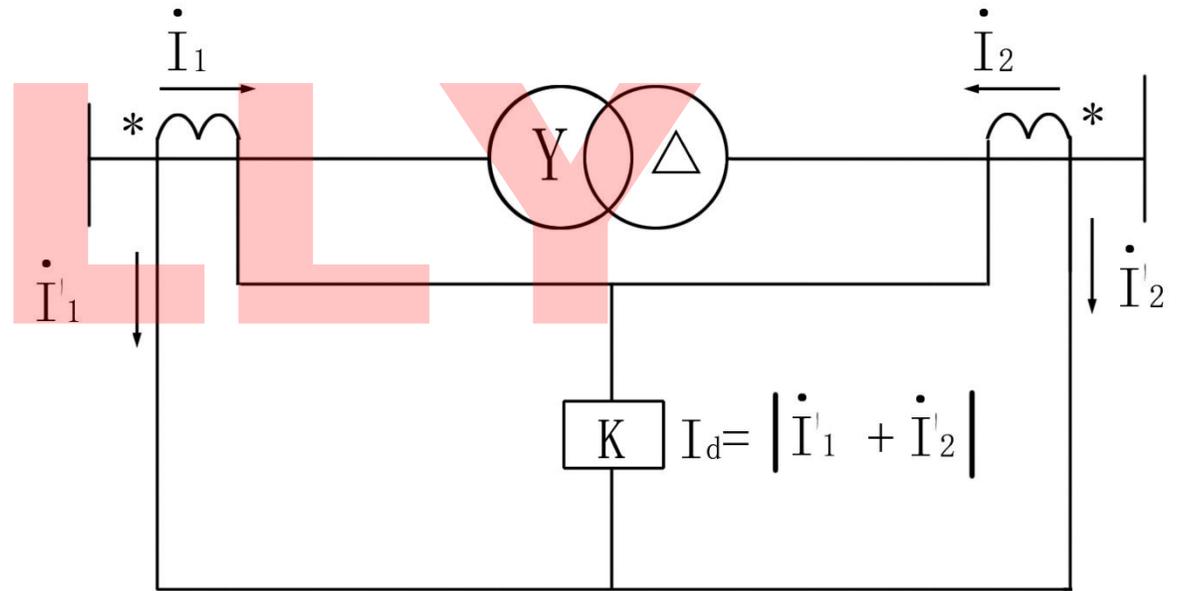
ONLYLY
1994

- 测试要点：
 - 1、通过GPS使两侧电流触发时刻相同；
 - 2、模拟区外故障；
 - 3、测试 $I_r=I_{r1}$ 时，1.05倍 I_{d1} 和0.95倍 I_{d1} 动作情况。



- 与发电机、电动机及母线差动保护（纵差保护）相同，变压器纵差保护的构成原理也是基于基尔霍夫第一定律，即 $\sum i = 0$ ，式中： $\sum i$ ：变压器各侧电流的向量和。

- 物理意义：变压器正常运行或外部故障时，流入变压器的电流等于流出变压器的电流，纵差保护不应动作。当变压器内部故障时，若忽略负荷电流不计，则只有流进变压器的电流而没有流出变压器的电流，其纵差保护动作，切除变压器。



变压器差动保护原理接线

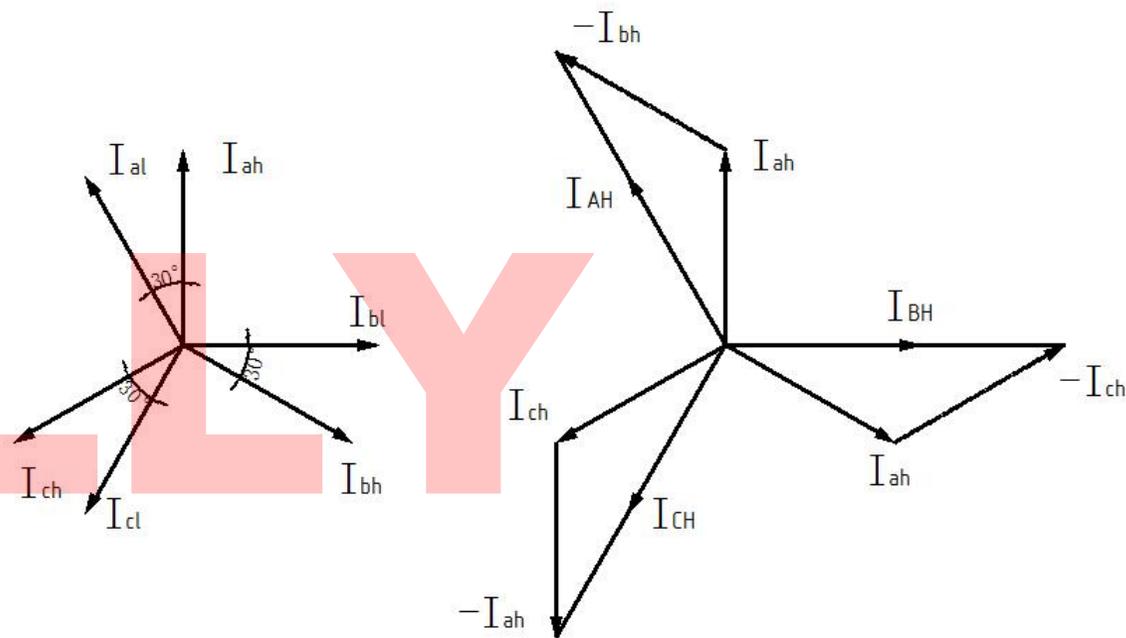
- 1、相位校正
- 变压器为Y/ Δ -11点接线方式，两侧电流互感器均为星形接线。
- 由于二次电流 I_{a1} 超前于 I_{ah} 30度，需要保护装置软件进行校正。
- 校正方法有两种，一种以 Δ 侧为基准，将Y侧电流进行移相，使Y侧电流相位与 Δ 一致。另一种以Y侧为基准，将 Δ 侧电流进行移相，使 Δ 侧电流相位与Y一致。

- 以△侧为基准，将Y侧电流进行移相
- 移相后Y侧电流：

$$\dot{I}_{AH} = \frac{(\dot{I}_{ah} - \dot{I}_{bh})}{\sqrt{3}}$$

$$\dot{I}_{BH} = \frac{(\dot{I}_{bh} - \dot{I}_{ch})}{\sqrt{3}}$$

$$\dot{I}_{CH} = \frac{(\dot{I}_{ch} - \dot{I}_{ah})}{\sqrt{3}}$$



以D侧为基准的相位软件校正

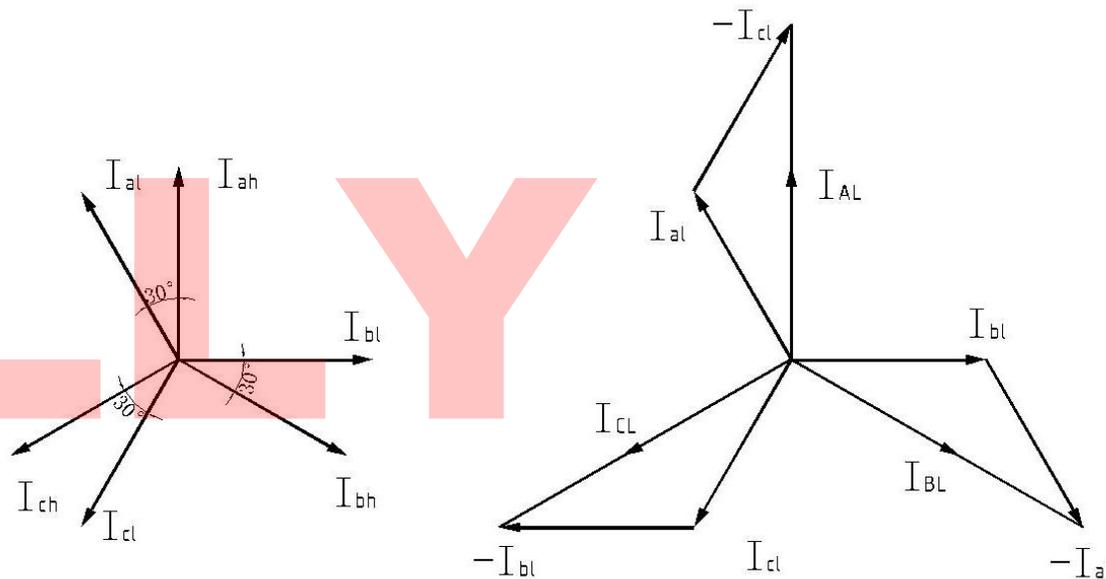
- 移相后，Y侧与△侧电流角度相同。

- 以 Y 侧为基准，将 Δ 侧电流进行移相
- 移相后 Δ 侧电流：

$$\dot{I}_{AL} = \frac{(\dot{I}_{a1} - \dot{I}_{c1})}{\sqrt{3}}$$

$$\dot{I}_{BL} = \frac{(\dot{I}_{b1} - \dot{I}_{a1})}{\sqrt{3}}$$

$$\dot{I}_{CL} = \frac{(\dot{I}_{c1} - \dot{I}_{b1})}{\sqrt{3}}$$



以Y侧为基准的相位软件校正

- 移相后， Δ 侧与Y侧电流角度相同。

- 2、消除零序电流的影响
- 变压器为Y/△接线方式，当高压侧线路上发生接地故障时，由于高压侧Y侧中性点接地，会产生零序电流，而△侧无零序电流，因此形成差动电流引起差动误动。
- 对于“以△侧为基准，将Y侧电流进行移相”的补偿方式，无需考虑零序补偿。
- 对于“以Y侧为基准，将△侧电流进行移相”的补偿方式，零序补偿为：
 - 补偿零序电流后，Y侧发生接地故障时，消除零序电流对差动元件的影响。

$$\dot{I}_{AH} = \dot{I}_{ah} - \frac{1}{3} \left(\dot{I}_{ah} + \dot{I}_{bh} + \dot{I}_{ch} \right)$$

$$\dot{I}_{BH} = \dot{I}_{bh} - \frac{1}{3} \left(\dot{I}_{ah} + \dot{I}_{bh} + \dot{I}_{ch} \right)$$

$$\dot{I}_{CH} = \dot{I}_{ch} - \frac{1}{3} \left(\dot{I}_{ah} + \dot{I}_{bh} + \dot{I}_{ch} \right)$$

- 3、幅值校正
- 由于变压器变比、各侧实际TA变比不同，引起两侧TA的二次电流不相同。在微机变压器保护装置中，采用软件进行幅值校正。将一侧电流作为基准，另一侧电流乘以该侧的平衡系数，使正常运行或外部故障时经过相位校正和幅值校正以后两侧的电流幅值相等，满足 $\sum i = 0$
- 计算变压器各侧二次电流：

$$I_H = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_H N_H}$$

$$I_L = \frac{S_e}{\sqrt{3} U_L N_L}$$

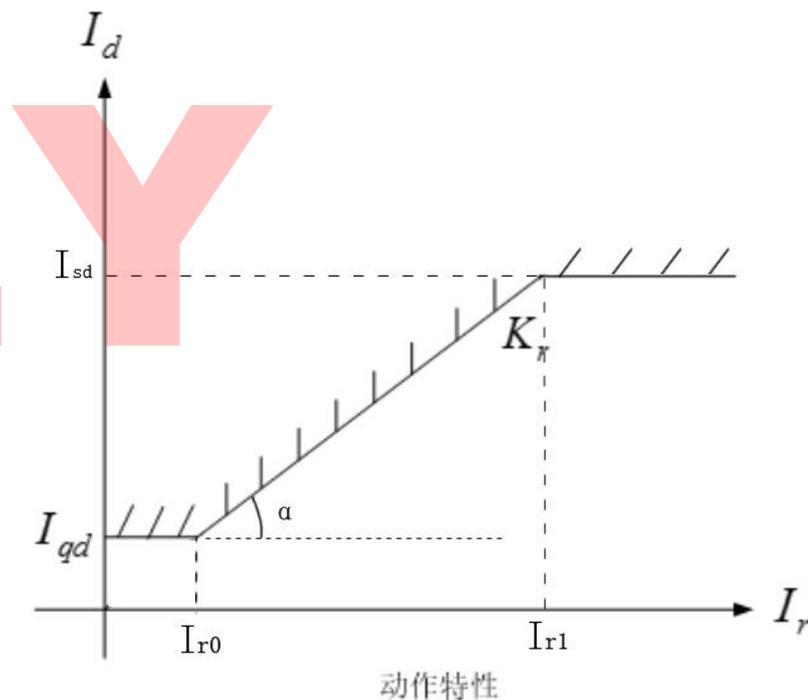
- 以Y侧为基准，使 $I_H' = K I_L' \Rightarrow K = \frac{I_H'}{I_L'}$

- 动作特性
- 纵差保护用来区分差流是由于内部故障还是不平衡输出（特别是外部故障时）引起，曲线上方为动作区：

$$\begin{cases} I_d > I_{qd} & I_r < I_{r0} \\ I_d > K_r (I_r - I_{r0}) + I_{qd} & I_{r0} < I_r < I_{r1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_d = |\dot{I}_h + \dot{I}_l| \\ I_r = \frac{1}{2} (|\dot{I}_h| + |\dot{I}_l|) \end{cases}$$

- I_h 、 I_l 为变压器各侧电流， I_{qd} 比率差动起动值， I_d 为差动电流， I_r 为制动电流， I_{r0} 、 I_{r1} 为拐点电流， K_r 为比率制动系数。



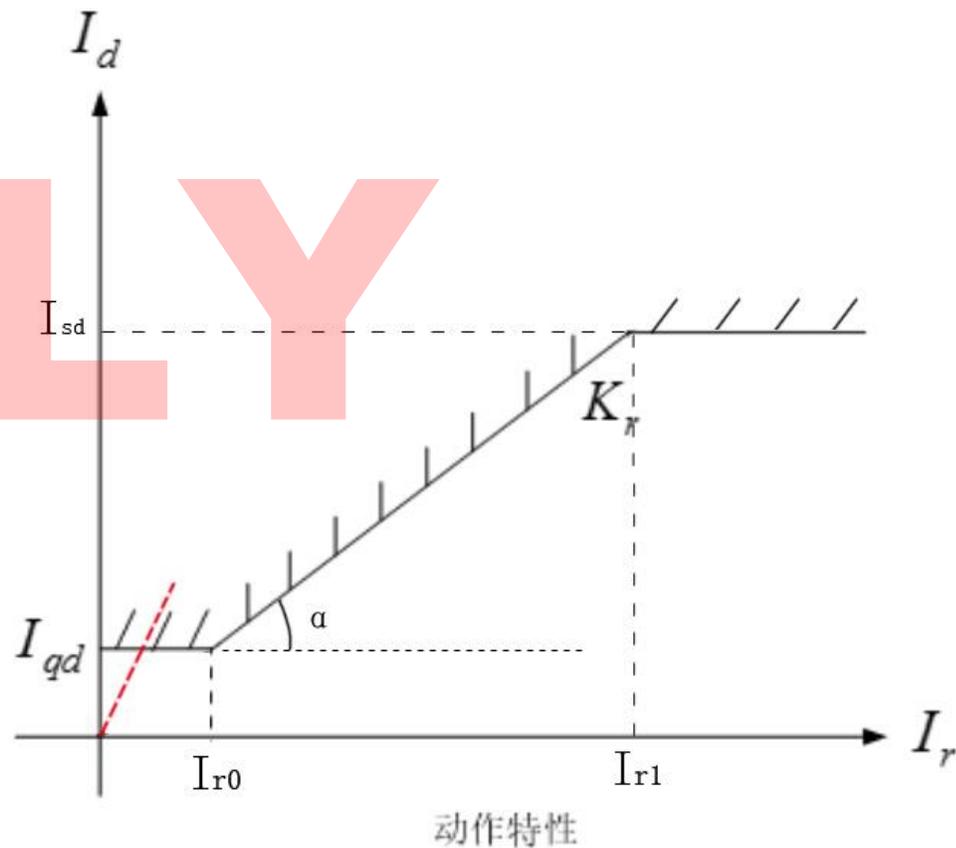
➤ 手动测试

- 测试差动保护起动值，模拟任意一侧故障电流，动作方程简化为：

$$\begin{cases} I_d = I_h \\ I_r = \frac{1}{2} I_h \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} I_d = I_1 \\ I_r = \frac{1}{2} I_1 \end{cases}$$

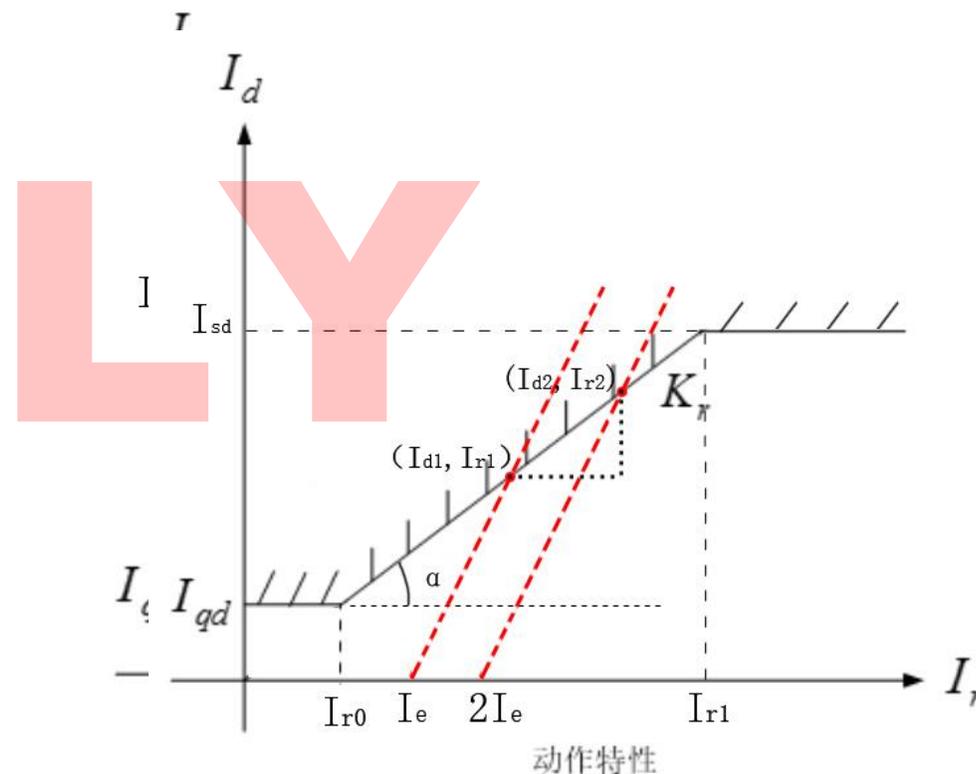
$$\Rightarrow I_d = 2 I_r$$

- 逐渐增加其中一侧电流，至差动保护动作。



- 测试差动保护制动特性
- 模拟区外故障，高、低压侧加入1倍额定电流，此时差流为零，制动电流为1倍额定电流。逐渐增加或减少其中一侧电流，至差动保护动作，记为 (I_{d1}, I_{r1}) 。
- 模拟区外故障，高、低压侧加入2倍额定电流，此时差流为零，制动电流为2倍额定电流。逐渐增加或减少其中一侧电流，至差动保护动作，记为 (I_{d2}, I_{r2}) 。

$$K_r = \frac{I_{d2} - I_{d1}}{I_{r2} - I_{r1}}$$



变压器差动保护

ONLY
1994

➤ 自动扫描曲线：

- 设置变压器接线：Y/Δ-11
- 相位校正方式：Y侧校正
- 动作、制动方程：

$$\begin{cases} I_d = |\dot{I}_h + \dot{I}_l| \\ I_r = \frac{1}{2} |\dot{I}_h| + |\dot{I}_l| \end{cases}$$

- 电流补偿系数：“辅助计算”菜单自动计算
- 接线方式：两侧Y星接法。

The screenshot shows the '测试窗口' (Test Window) interface with the '保护设置' (Protection Settings) tab selected. The settings are as follows:

- 保护类型:** 变压器保护 (Transformer Protection)
- 变压器接线:** 双绕组 (Two-winding), Y/Δ-11
- 保护内部: 相位校正方式:** Y侧校正 (Y-side correction), Y侧零序校正 (Y-side zero sequence correction)
- 参与本次试验的绕组:** 高→低 (High to low)
- 动作/制动方程:**
 - $I_d = I_d = |I_1' + I_2'|$
 - $I_r = I_r = |I_1' - I_2'| / K$
 - $K = 2.000$
- 保护内部: 电流补偿系数:**
 - I1侧: KP1 = 1.0000
 - I2侧: KP2 = 1.0000
- I_d, I_r 以标么值方式显示 (Display I_d, I_r in per unit)
- Buttons: 导入... (Import...), KP1, KP2 辅助计算 (KP1, KP2 auxiliary calculation)
- 保护 I1, I2 绕组接线方式:**
 - 扩展差动 (6I) I1 = (高压侧 Y) 接测试仪 I_a, I_b, I_c 0.000°
 - 分相差动 (2I) I2 = (低压侧 Δ) 接测试仪 I_x, I_y, I_z 180.000°

变压器差动保护

ONLY
1994

- 设置测试相别：单相或者相间
- 添加测试点：测试曲线范围
- 保护定值：填入动作门槛、速断值

ONLY

保护设置 测试项目 试验控制 电流跟踪

测试项目 比率差动 边界扫描 二分法搜索

测试相别 A 相差动

测试点

选择	序号	状态	制动电流 Ir	动作边界(整定)
✓	1		0.000 A	0.500 A
✓	2		1.000 A	0.500 A
✓	3		2.000 A	1.000 A
✓	4		3.000 A	1.500 A
✓	5		4.000 A	2.000 A
✓	6		5.000 A	2.500 A
✓	7		6.000 A	3.000 A

添加
删除当前行
清空

保护定值

动作门槛 0.500 A

速断 5.000 A

制动系数 $K_{zd} = \Delta I_d / \Delta I_r$

系统频率 $F_{re} = 50.000$ Hz

动作电流 Id 搜索范围

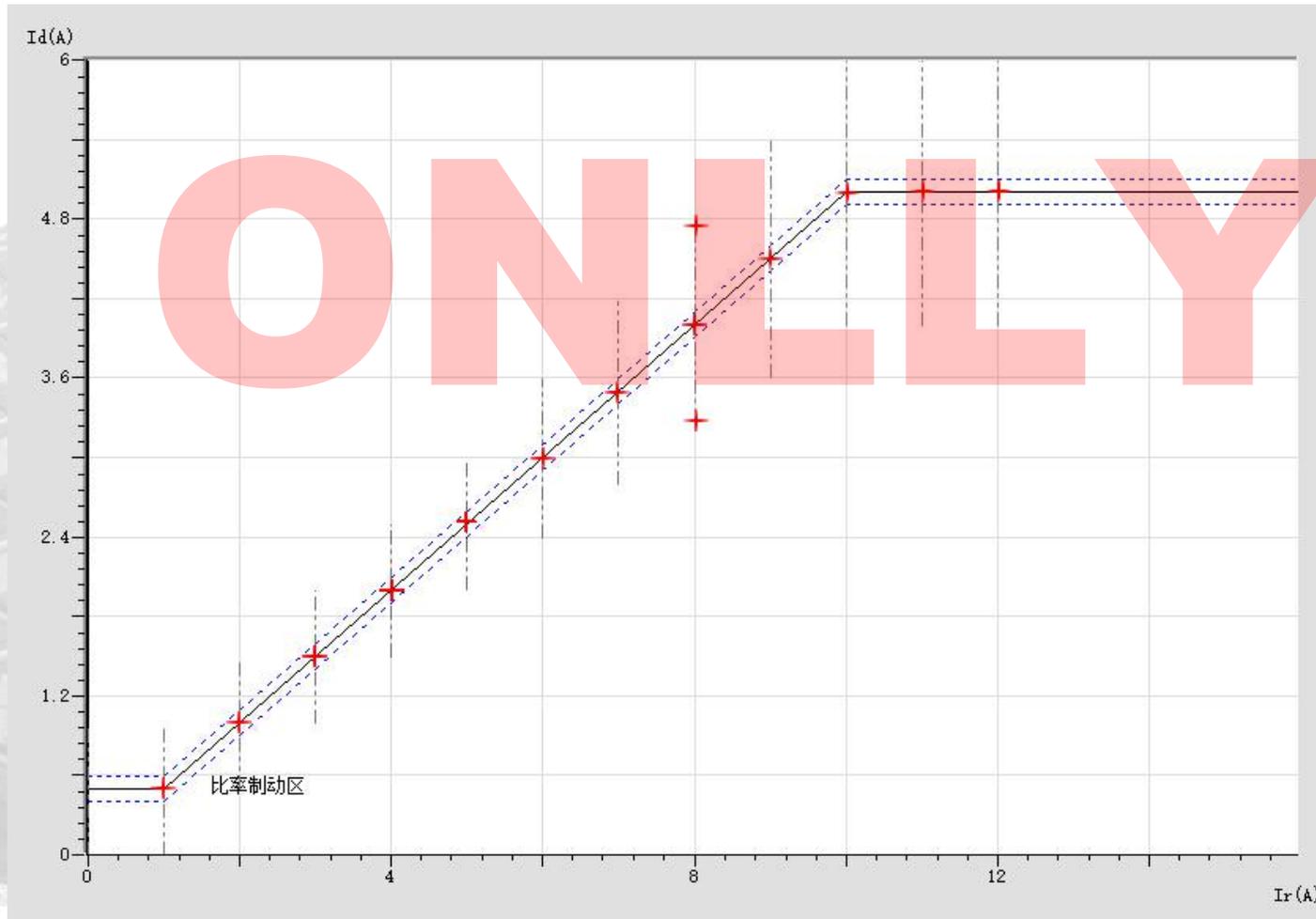
自动调整

起点 0.000 % * Ir

终点 100.000 % * Ir

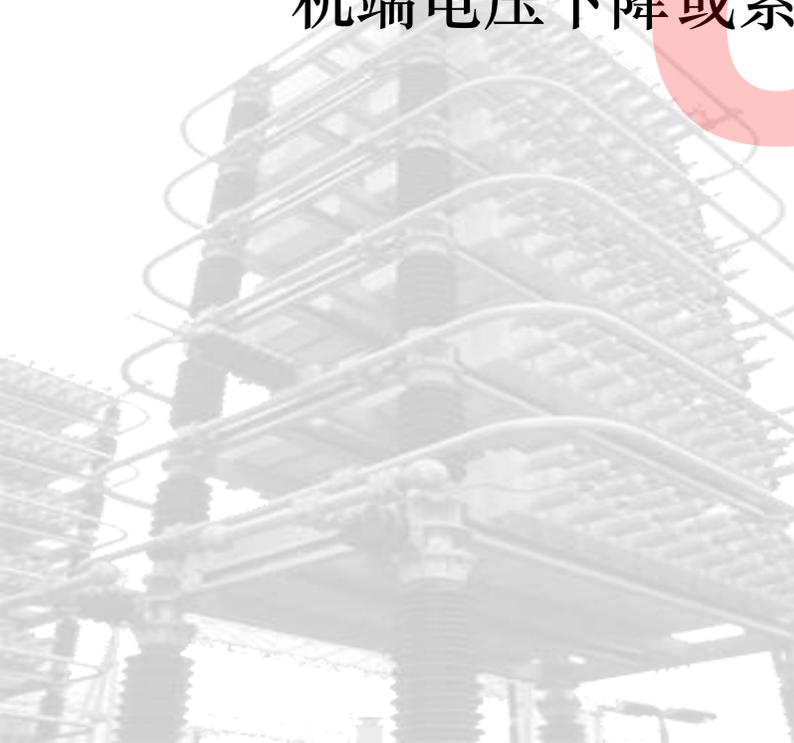
搜索精度 0.010 A

- 自动扫描出比率制动曲线动作边界

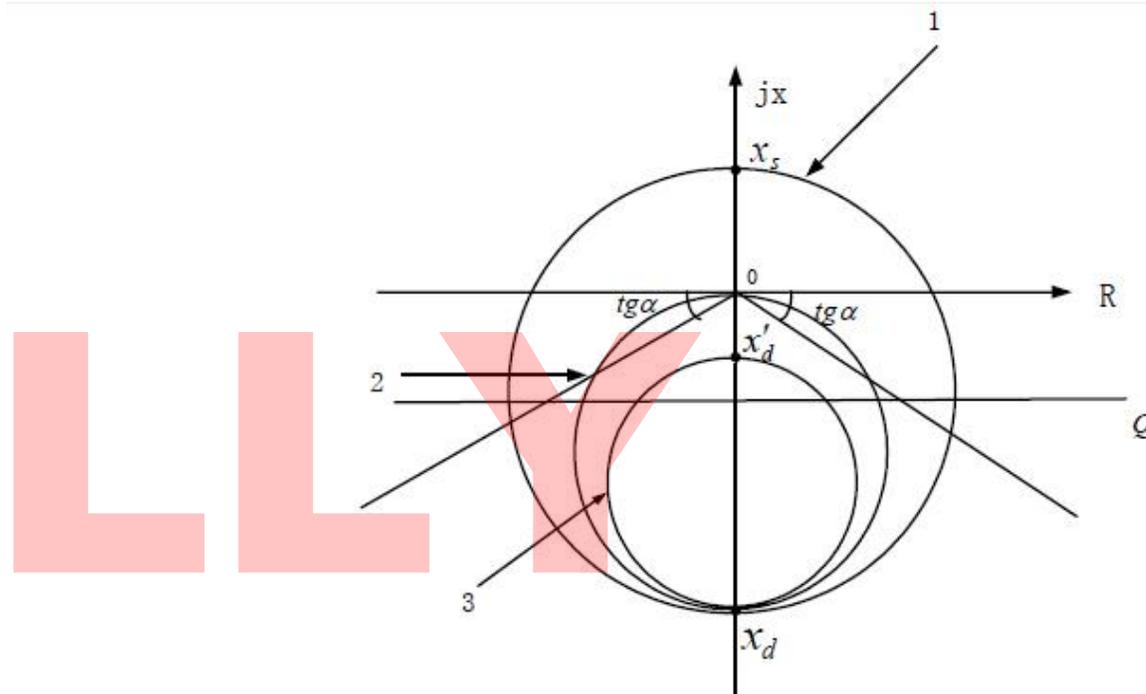


- 发电机失磁故障是指发电机的励磁电流突然全部或部分消失。当发电机完全失去励磁时，励磁电流将近似按照指数规律衰减至零。发电机的感应电动势随励磁电流的减小而减小，因此发电机的电磁转矩也将减小，当其小于原动机的转矩时，转子将加速，使发电机的功角增加。当功角增大到超过静态稳定极限角时，发电机将与系统失去同步而进入异步运行。发电机失磁后将从电力系统吸收感性无功功率，供给转子励磁电流，在定子绕组中产生感应电动势。发电机转速超过同步转速后，在转子体表层和转子绕组中产生频率为 $f_G - f_s$ 的电流，其中 f_G 对应于发电机转速的频率， f_s 为系统的频率。此电流产生异步转矩，当异步转矩与原动机的转矩达到新的平衡时，发电机进入稳定异步运行状态。

- 保护原理
- 正常运行时，若用阻抗复平面表示机端测量阻抗，则阻抗的轨迹在第一象限（滞相运行）或第四象限（进相运行）内。发电机失磁后，机端测量阻抗的轨迹将沿着等有功阻抗圆进入异步边界圆内。失磁还可能进一步导致机端电压下降或系统电压下降。



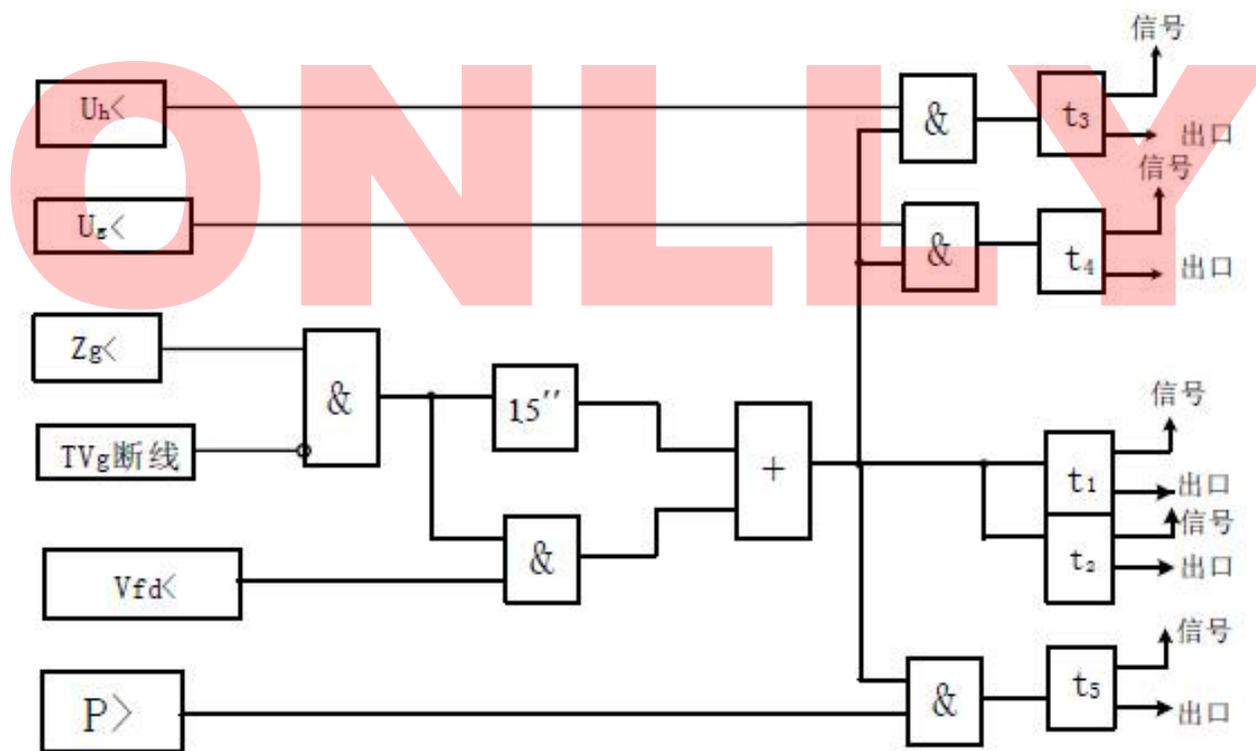
- 阻抗判据
- 在DGT801系列装置中，阻抗判据动作特性见图6-12-1。可知，根据需要整定不同的阻抗园园心和半径可以获得静稳边界阻抗园（图中1边界），或异步边界阻抗园（图中3边界），或过原点的下抛阻抗园（图中2边界），或用过原点的两根切线切去一部分阻抗以满足进相运行，或用进相无功切线切去一部分阻抗以满足进相要求。



失磁保护阻抗园特性

图中：
 x_s ——系统阻抗；
 x_d 、 x'_d ——发电机同步电抗和暂态电抗；
 Q 、 $\text{tg}\alpha$ ——失磁保护整定值

- 阻抗型失磁保护，通常由阻抗判据 ($Z_g <$)、转子低电压判据 ($V_{fd} <$)、机端低电压判据 ($U_g <$)、系统低电压判据 ($U_h <$) 及过功率判据 ($P >$) 构成。



阻抗型失磁保护框图

发电机失磁保护

ONLY
1994

➤ 异步边界阻抗圆扫描

- 保护输入量有：
- 机端三相电压、发电机三相电流、主变高压侧三相电压（或某一相间电压）、转子直流电压。
- 设置扫描圆心（通常取阻抗圆圆心定值： $-X_c$ ）及扫描半径（取大于阻抗圆半径： X_r 。）

选择	序号	状态	扫描线起点	扫描线终点	
✓	8		11.324 Ω ∠-94.267°	9.762 Ω ∠-149.673°	
✓	9		11.670 Ω ∠-95.082°	13.218 Ω ∠-141.447°	
✓	10		12.050 Ω ∠-95.237°	16.279 Ω ∠-132.510°	
✓	11		12.419 Ω ∠-94.774°	18.849 Ω ∠-123.256°	
✓	12		12.735 Ω ∠-93.794°	20.849 Ω ∠-113.839°	
✓	13		12.964 Ω ∠-92.431°	22.218 Ω ∠-104.333°	
✓	14		13.085 Ω ∠-90.836°	22.913 Ω ∠-94.782°	
✓	15		13.085 Ω ∠-89.164°	22.913 Ω ∠-85.218°	
✓	16		12.964 Ω ∠-87.569°	22.218 Ω ∠-75.667°	
✓	17		12.735 Ω ∠-86.206°	20.849 Ω ∠-66.161°	
✓	18		12.419 Ω ∠-85.226°	18.849 Ω ∠-56.744°	

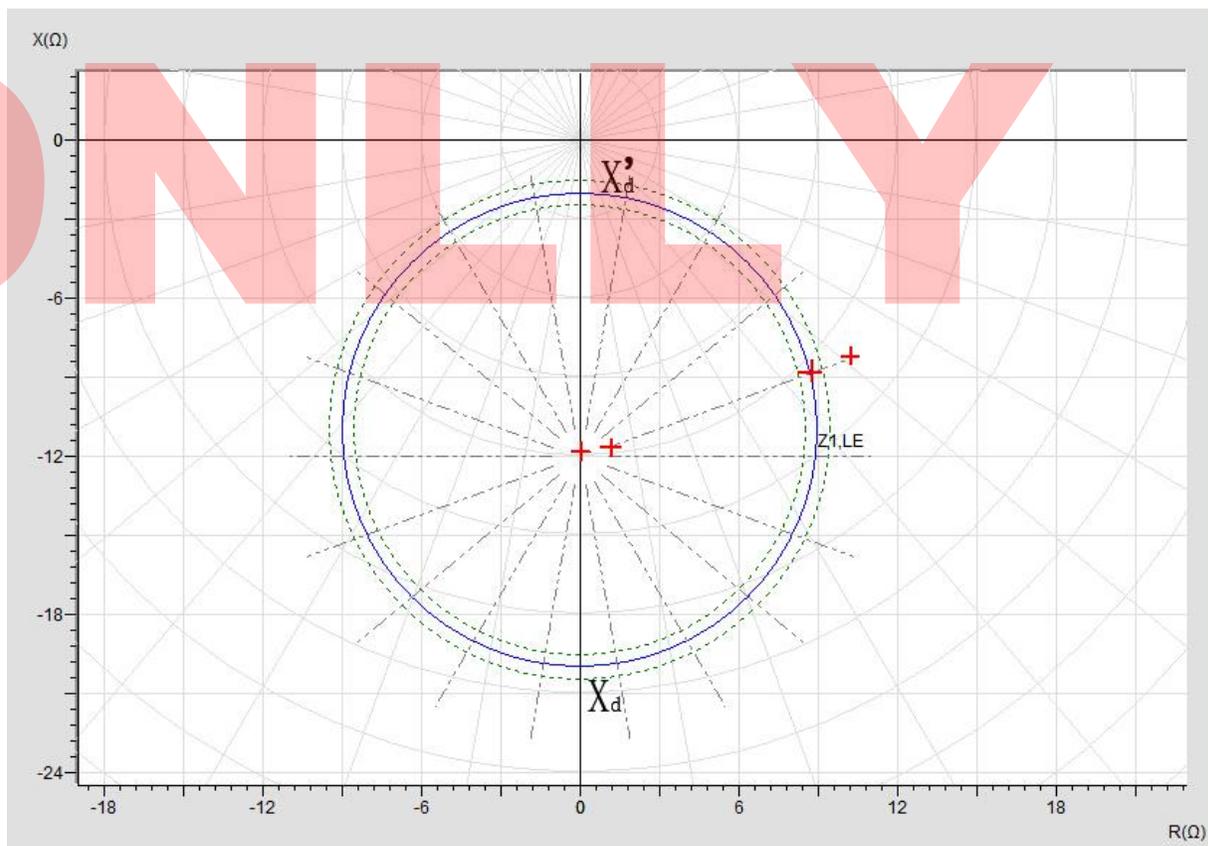
发电机失磁保护

ONLY
1994

- 根据保护整定参数（阻抗圆圆心： $-X_c$ ，阻抗圆半径： X_r ），计算 X'_d 和 X_d 。画出异步边界阻抗圆：

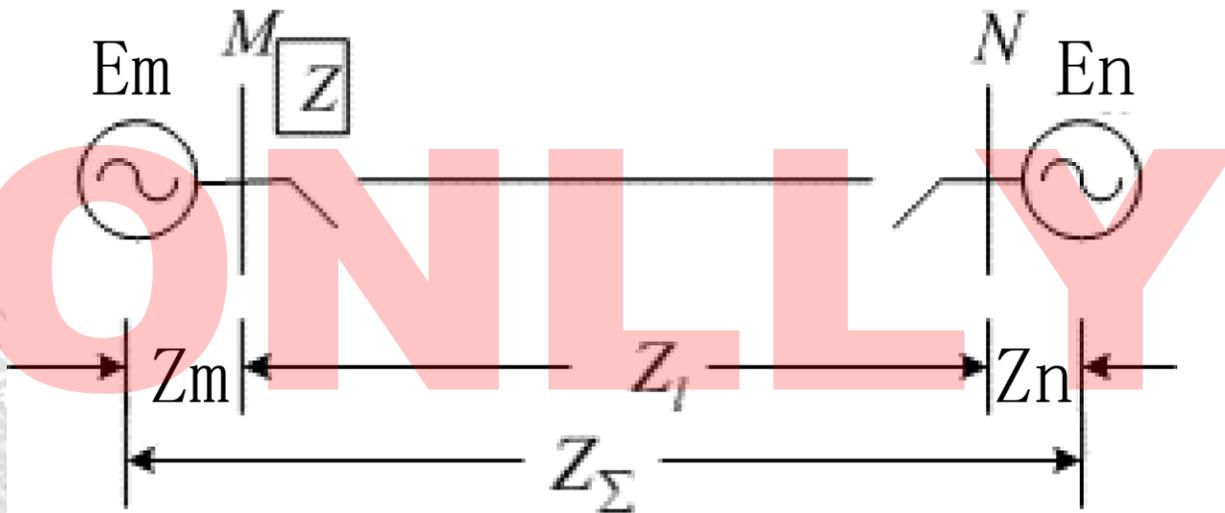
$$X'_d = X_c - X_r$$

$$X_d = X_c + X_r$$



- 由于送电网络不断扩大，大机组一般与变压器成单元接线，使发电机和变压器的阻抗值相对增大，而系统的等效阻抗值相对下降，因此振荡中心常落在发电机端或升压变压器的范围内，使振荡过程对机组的影响趋于严重。机端电压周期性地严重下降，对发电机组的安全运行极为不利，有可能将造成机组损坏。特别对汽轮发电机轴可能发生扭转振荡，使大轴遭受机械损伤，甚至造成严重事故。
- 300MW及以上发电机宜装设失步保护，在短路故障、系统同步振荡、电压回路断线等情况下，保护不应误动作。
- 通常保护动作于信号，当振荡中心在发电机变压器组内部，失步运行时间超过整定值或电流振荡次数超过规定值时，保护还动作于解列，并保证断路器断开时的电流不超过断路器允许开断电流。

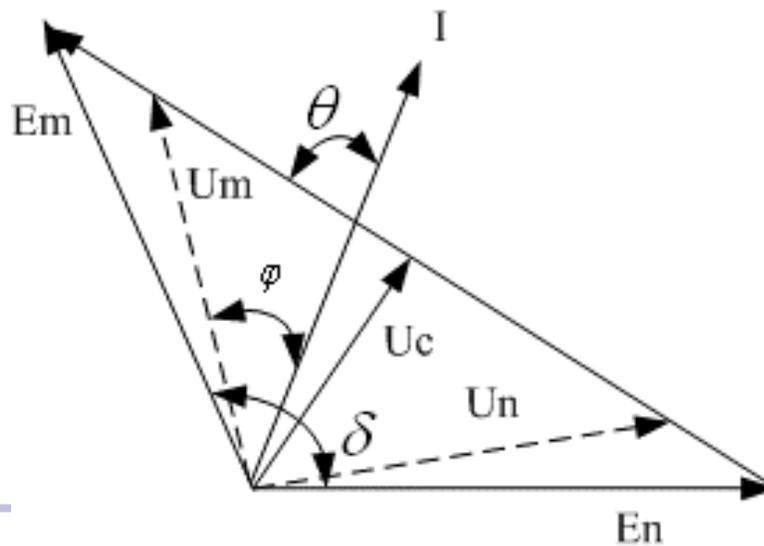
- 电力系统失步时，等效模型：



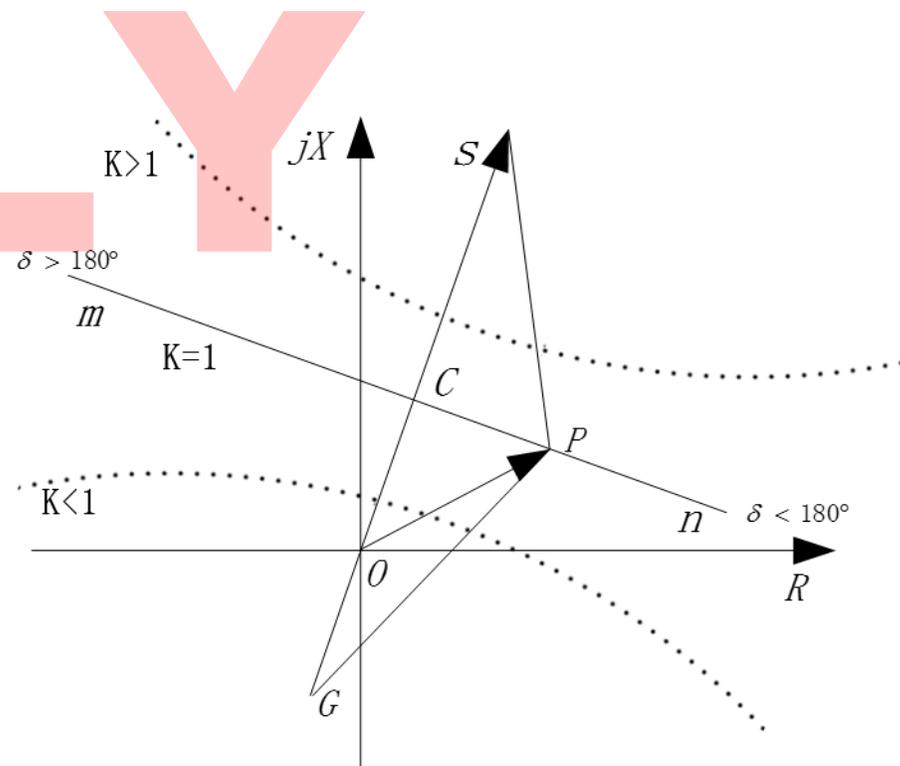
- 发电机失步前，保护安装处为送电端， E_m 超前 E_n ，假设两侧电动势幅值相等，则 $\dot{E}_m = \dot{E}_n e^{-j\delta}$ ，夹角 δ 由线路传输的有功功率决定。

- 此时发电机机端电流为：
$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_m - \dot{E}_n}{Z_\Sigma} = \frac{\dot{E}_m(1 - e^{-j\delta})}{Z_\Sigma}$$
- 当 $\delta=0^\circ$ 时，振荡电流为零；当 $\delta=180^\circ$ 时，振荡电流最大
- 发电机机端电压为：
$$\dot{U} = \dot{E}_m - \dot{I}Z_m = \dot{E}_m - (\dot{E}_m - \dot{E}_n) \frac{Z_m}{Z_\Sigma}$$
- 发电机失步时，系统中电压最低的一点C，称作振荡中心。图中垂直于 $(\dot{E}_m - \dot{E}_n)$ 的相量 \dot{U}_c 电压最低，即为振荡中心。
- 发电机出口处测量阻抗为：

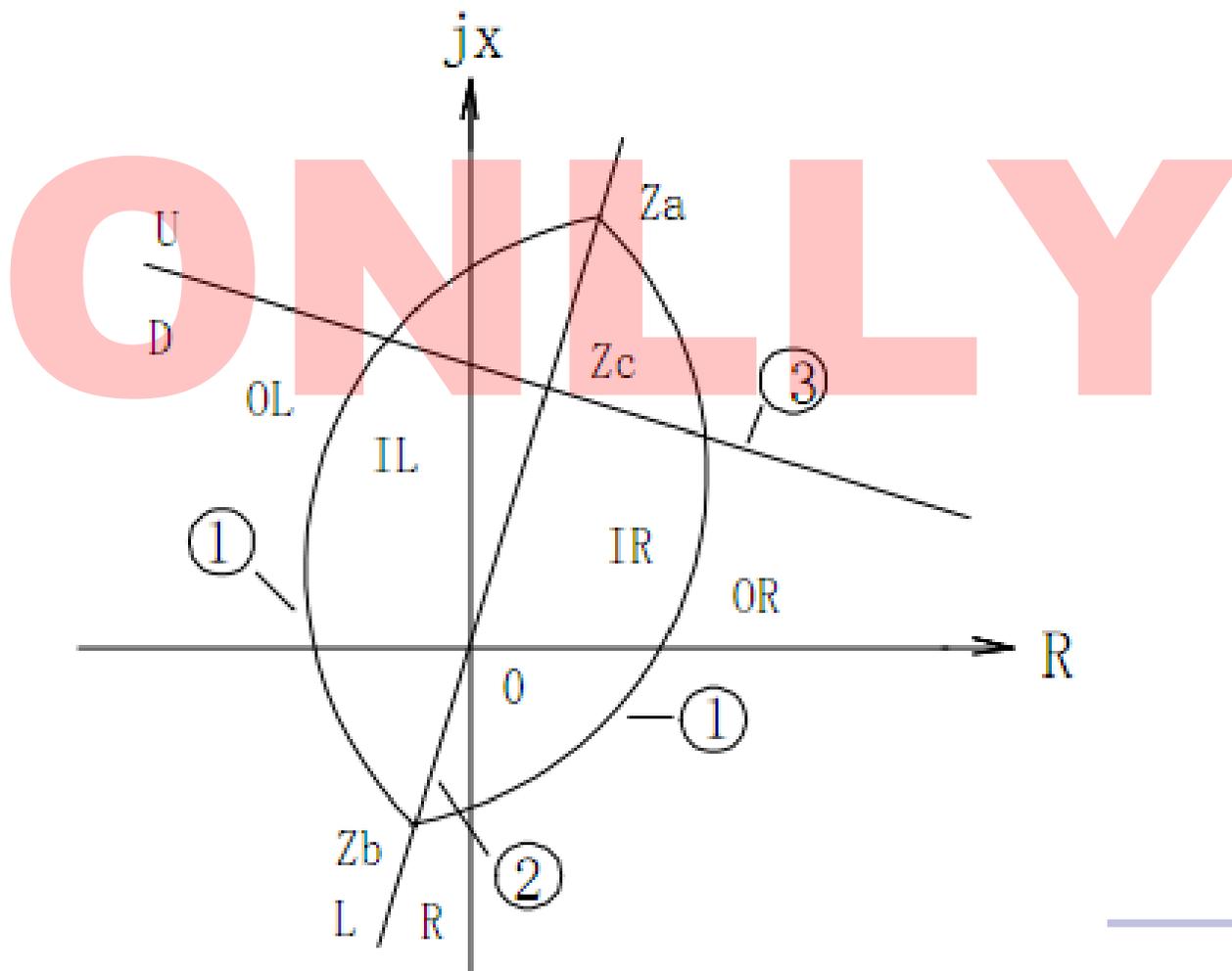
$$Z = \frac{\dot{U}_g}{\dot{I}}$$



- 随着两侧电动势夹角 δ 的变化，继电器测量阻抗相量端点的变化轨迹画在阻抗复平面上如图中所示。图中，GS为两侧电动势间的总阻抗 Z_{Σ} ，GO为发电机阻抗 Z_g ，OS为发电机与系统间等值阻抗 Z_s 。
- 由 $|\dot{E}_g / \dot{E}_s| = GP / SP = K$ ，可知
- 当 $K=1$ 时，测量阻抗端点P位于系统电气的中点C处，P点的轨迹为直线；
- 当 $K>1$ 时，测量阻抗端点P的轨迹为包含S点的一个圆；
- 当 $K<1$ 时，测量阻抗端点P的轨迹为包含G点的一个圆。



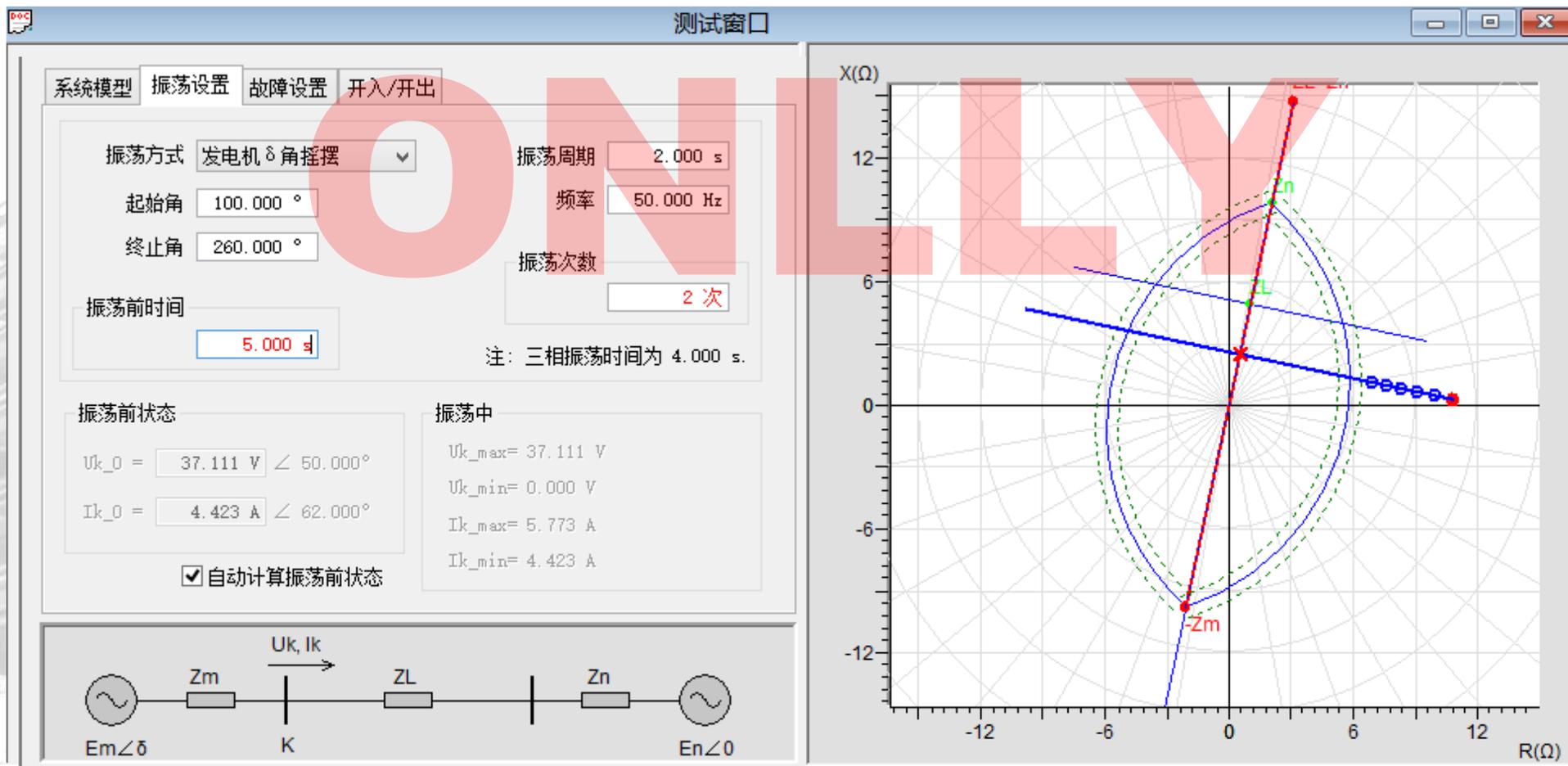
- RCS-985系列发变组失步保护动作特性



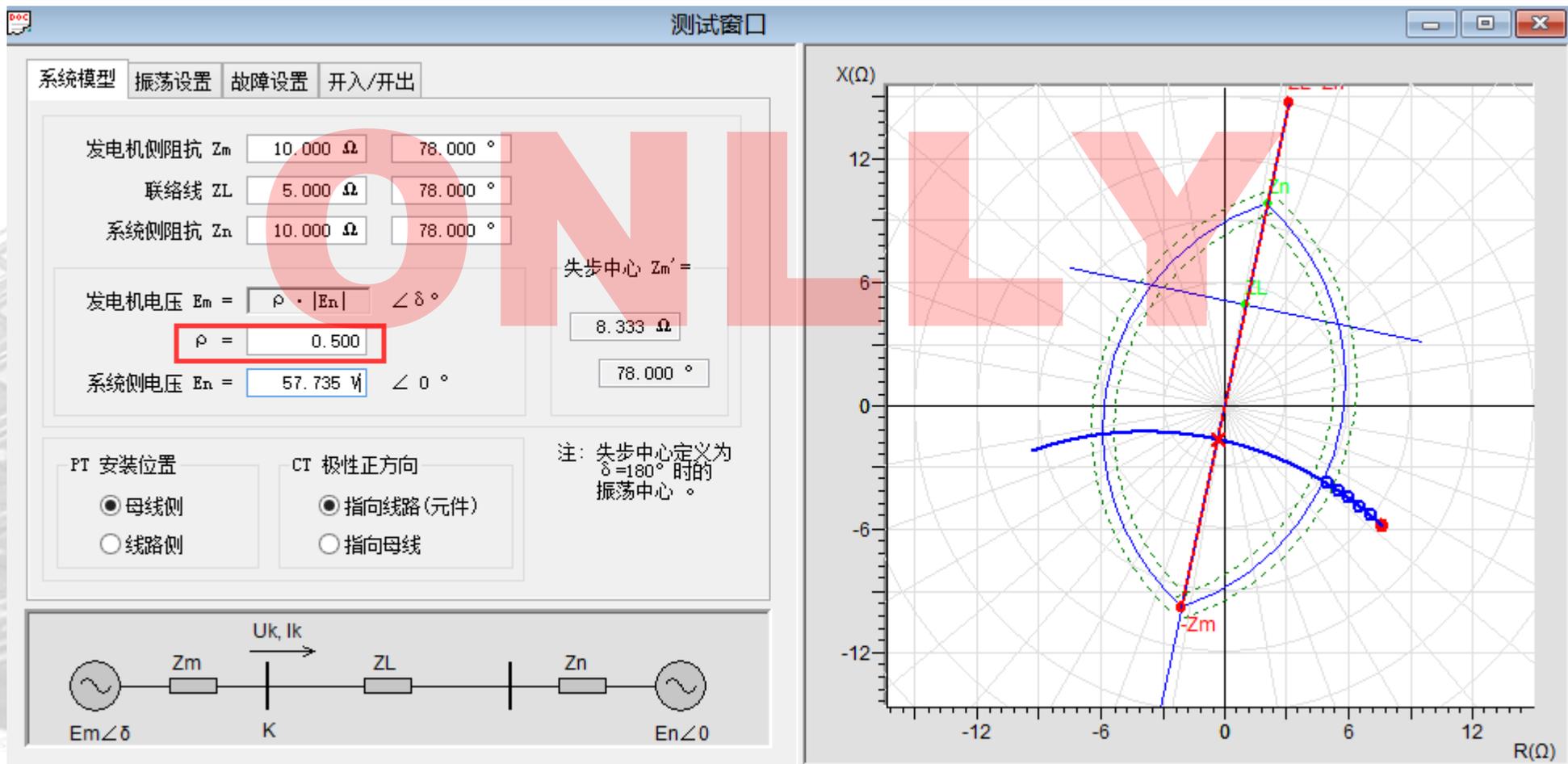
发电机失步保护

ONLY
1994

- 失步故障模拟
 - K=1时，区内失步振荡轨迹测试



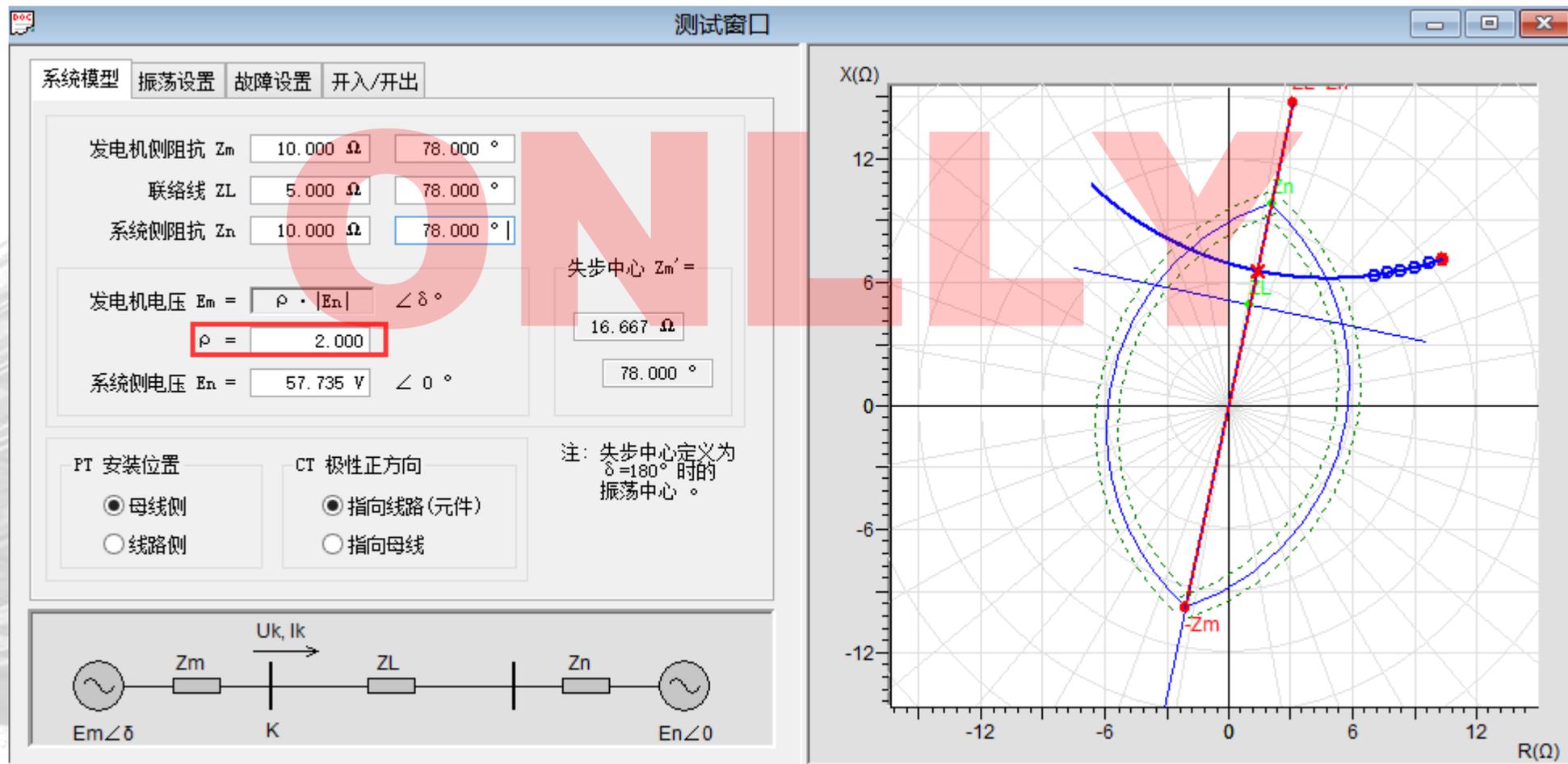
- $K < 1$ 时，区内失步振荡轨迹测试



发电机失步保护

ONLY
1994

- $K > 1$ 时，区外失步振荡轨迹测试



谢谢大家!

www.onlyly.com



ONLLY 1994

欲知产品详情，欢迎登陆公司网站

www.onlly.com



广东昂立电气自动化有限公司

Guangdong ONLLY Electrical & Automation Co.,Ltd.

注册地址：广州市天河区天河路594号B座1409单元 (510630)

电话传真：020-85589497 020-85212552 电子邮件：only@onlly.com

通讯地址：广州市番禺区番禺大道北555号番禺节能科技园发展大厦1006单元 (511400)

电话：020-39211818 39211819 传真：020-39211673 市场部：020-22883532

技术支持：020-39211672 13711118864 服务热线：13501477558 13602825169

客户QQ群：559969 市场部电子邮件：onlymarket@onlly.com

2015
Collections



广州营销服务中心

电话：020-22883531 13609047517 传真：020-39388587 电子邮件：onlyguangzhou@onlly.com

地址：广州市番禺区番禺大道北555号番禺节能科技园科技产业大厦1座1001单元 (511400)

北京营销服务中心

电话：010-82784508 13632449786 传真：010-82899706 电子邮件：onlybeijing@onlly.com

地址：北京市海淀区上地三街9号嘉华大厦B座909单元 (100085)

南京营销服务中心

电话：025-52070626 18963640033 传真：025-52070627 电子邮件：onlynanjing@onlly.com

地址：江苏省南京市江宁区秦淮路100号海通大厦13层 (211100)

武汉营销服务中心

电话：020-88863358 18986260033 电子邮件：onlywuhan@onlly.com

地址：湖北省武汉市东湖高新区滨湖路26号佩尔中心2栋15楼(430200)