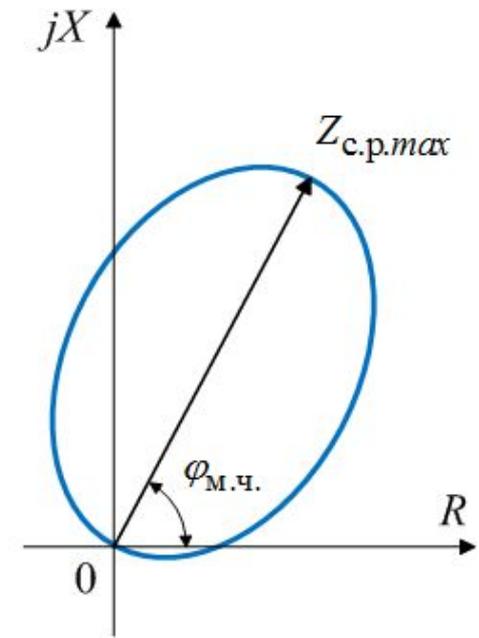
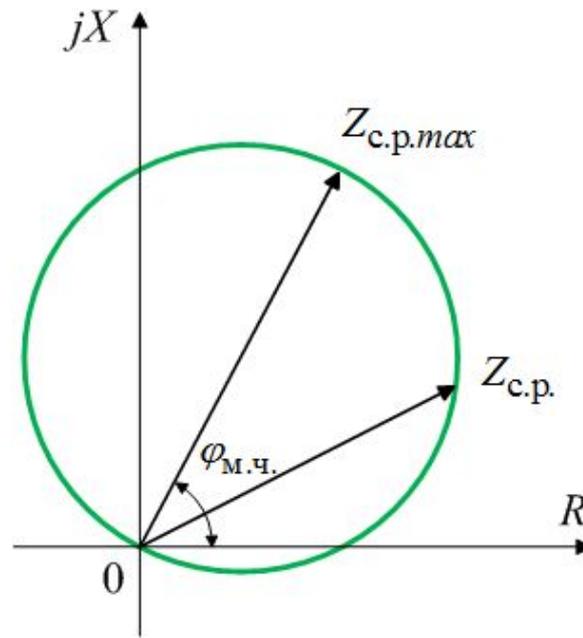
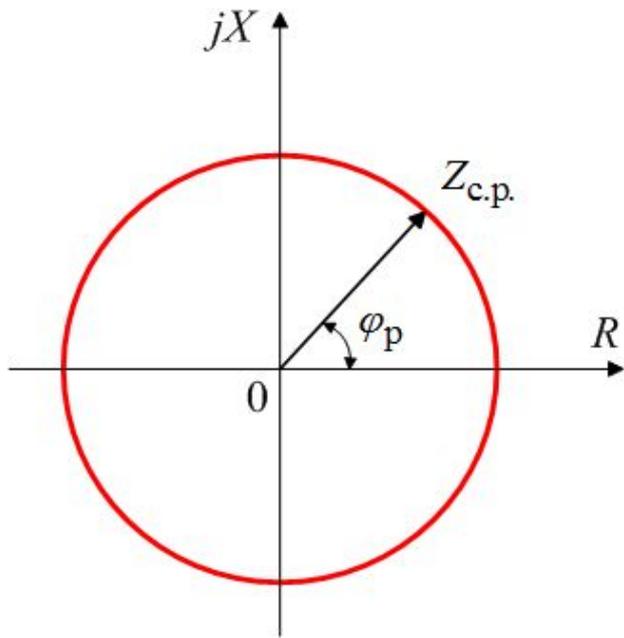


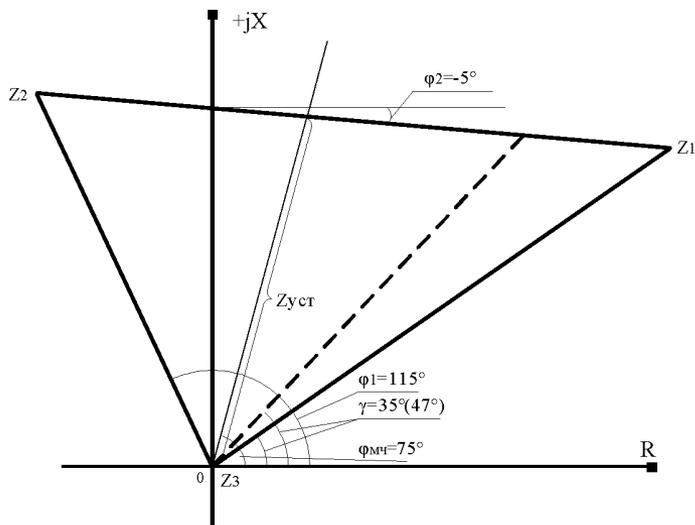
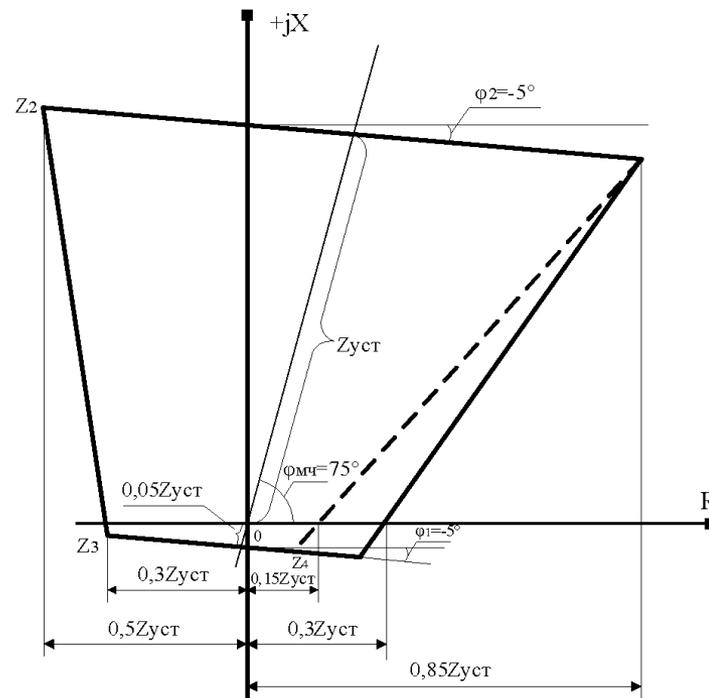
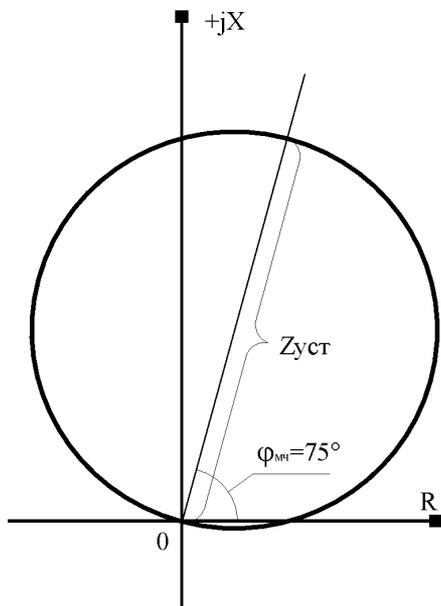
**Рекомендации для расчета уставок резервных  
защит и автоматики шкафов серии ШЭ2607  
линий электропередачи напряжением 110-220 кВ**

**Совместная работа ООО НПП «ЭКРА» и КГТУ (КАИ)**

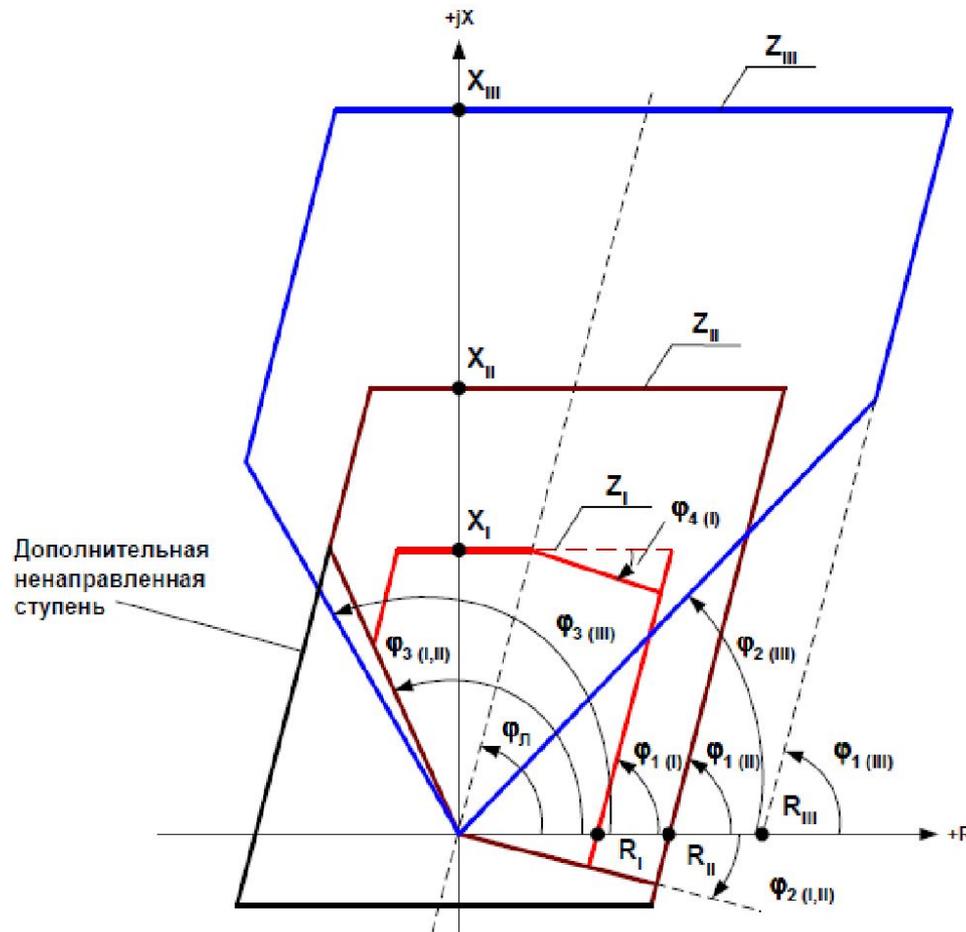
# Характеристики ИО сопротивления электрохимических ДЗ



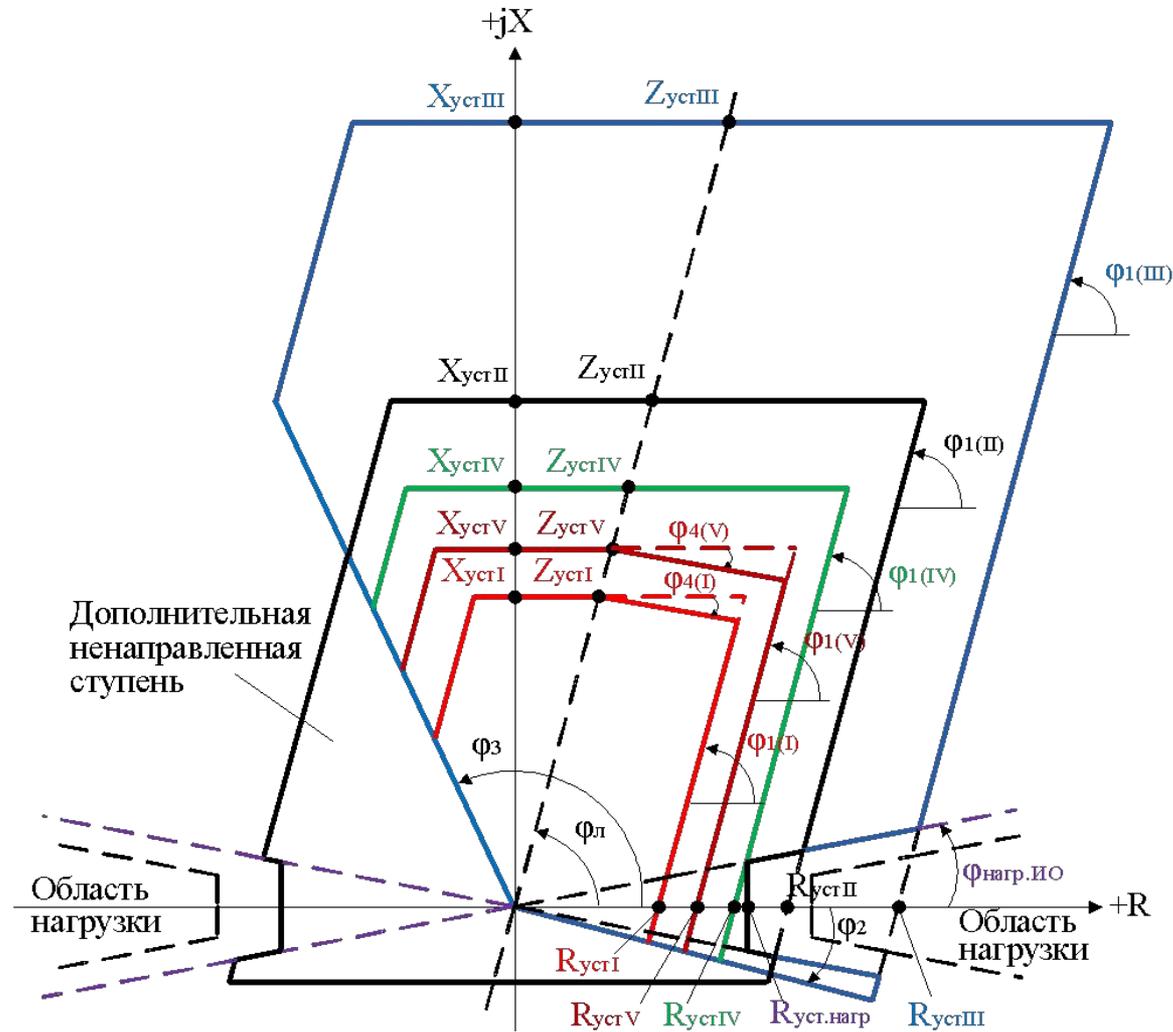
# Характеристики ИО сопротивления микроселективных ДЗ



# Характеристика срабатывания ИО сопротивления ДЗ (шкафы ШЭ2607, ранняя версия)



# Характеристика срабатывания ИО сопротивления ДЗ (шкафы ШЭ2607, поздняя версия)



## Дифференциальное уравнение напряжений и токов для ДЗ от междуфазных КЗ:

$$u_{\phi 1} - u_{\phi 2} = L_{\phi 1 - \phi 2} \left( \frac{di_{\phi 1}}{dt} - \frac{di_{\phi 2}}{dt} \right) + R_{\phi 1 - \phi 2} (i_{\phi 1} - i_{\phi 2}),$$

где  $\phi 1, 2, 3$  - фаза А, В, С;

$u_{\phi}, i_{\phi}$  - мгновенные значения напряжения и тока;

$R_{\phi}, L_{\phi}$  - активное сопротивление и индуктивность фазы линии  
электропередачи.

## Дифференциальное уравнение напряжений и токов для ДЗ от КЗ на землю :

$$u_{\phi} = L_{\phi} \left( \frac{di_{\phi}}{dt} + K_X \frac{d(3i_0)}{dt} + K_{\mu X} \frac{d(3i_{0\Pi})}{dt} \right) + R_{\phi} \left( i_{\phi} + K_R \cdot 3i_0 + K_{\mu R} \cdot 3i_{0\Pi} \right),$$

где  $KK_X = KK_X \cdot \frac{X_0 - X_1}{3X_1}$ ,  $KK_R = KK_R \cdot \frac{R_0 - R_1}{3R_1}$ ,  $K_{\mu X} = \frac{X_{\mu}}{3X_1}$ ,  $K_{\mu R} = \frac{R_{\mu}}{3R_1}$  - коэффициенты компенсации тока своей линии  $3I_0$  и тока параллельной линии  $3I_{0\Pi}$  по X и по R, соответственно;

$KK_X, KK_R$  - корректирующие множители коэффициента компенсации тока  $3I_0$  по X и R;

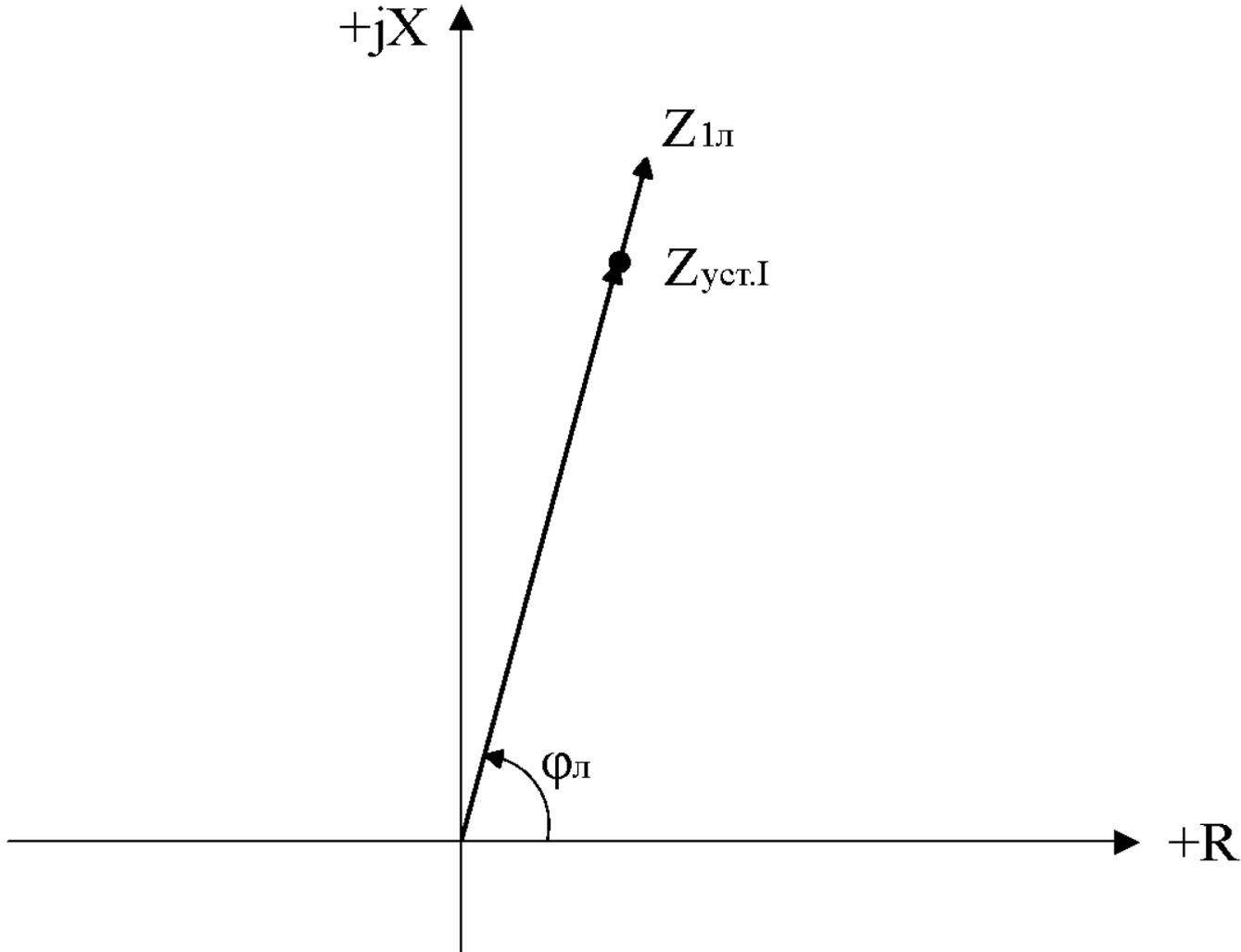
$X_0, R_0, X_1, R_1, X_{\mu}, R_{\mu}$  - удельные сопротивления нулевой, прямой последовательностей и взаимоиנדукции с параллельной линией.

## Перечень параметров характеристик ДЗ:

- уставки срабатывания ИО всех ступеней при угле максимальной чувствительности (угол защищаемой линии) -  $Z_{уст.N}$ ;
- уставки срабатывания ИО всех ступеней по оси X -  $X_{уст.N}$ ;
- уставки срабатывания ИО всех ступеней по оси R (учет переходного сопротивления в месте КЗ) -  $R_{уст.N}$ ;
- угол наклона правой боковой части характеристики ИО всех ступеней -  $\varphi_1(N)$ ;
- угол наклона нижней правой части характеристики ИО всех ступеней -  $\varphi_2$ ;
- угол наклона верхней правой части характеристики ИО I и V ступеней -  $\varphi_4(I)$ ,  $\varphi_4(V)$ ;
- угол наклона нижней левой части характеристики ИО всех ступеней -  $\varphi_3$ ;
- уставка срабатывания ИО всех ступеней по оси R для отстройки от максимальной нагрузки (вырез нагрузки) -  $R_{уст.нагр}$ ;
- углы наклона частей характеристики ИО для отстройки от нагрузки (вырез нагрузки) -  $\varphi_{нагр.ИО}$ ;
- корректирующий множитель коэффициента компенсации тока  $3I_0$  по R -  $KKR$ ;
- корректирующий множитель коэффициента компенсации тока  $3I_0$  по X -  $KKX$ .

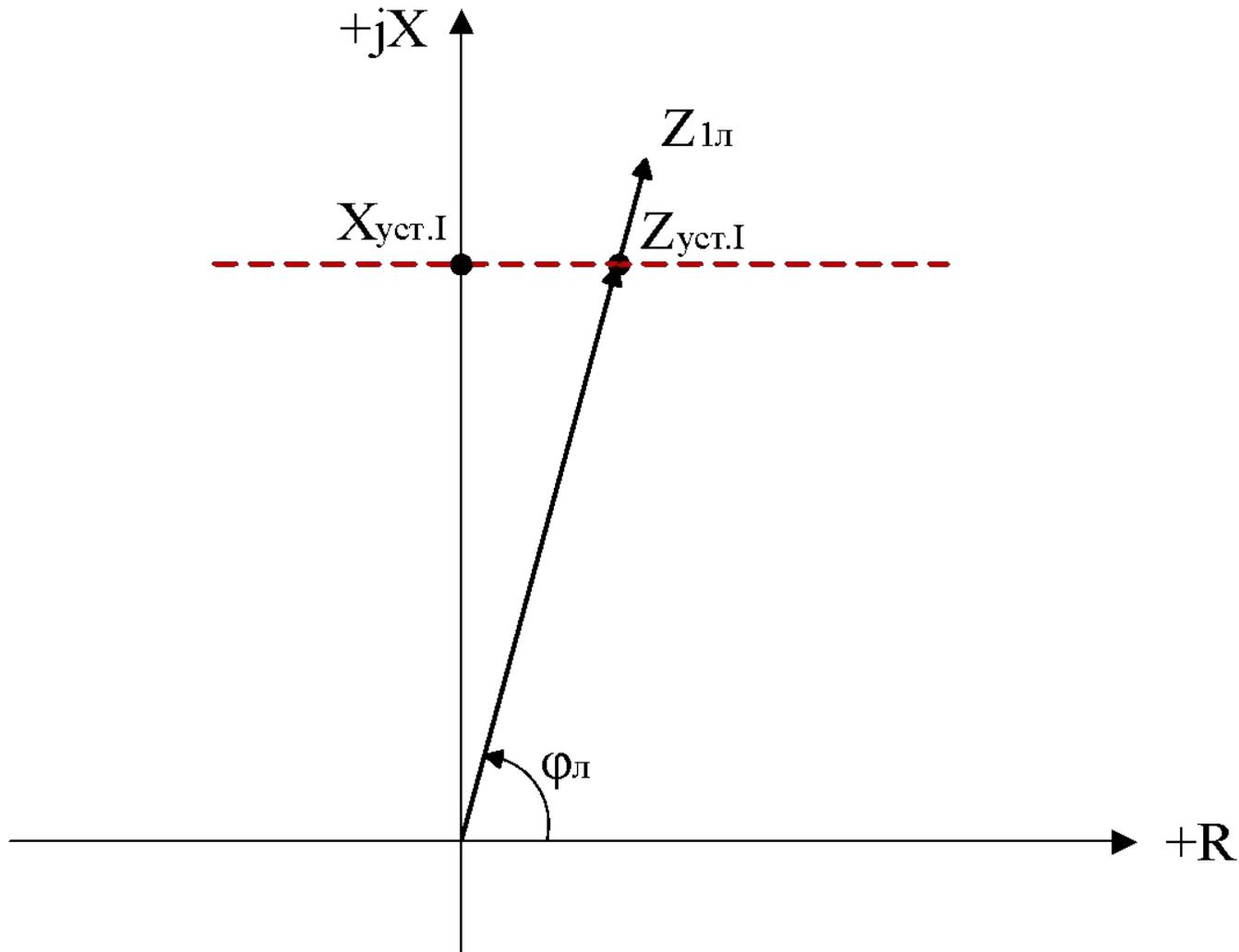
## Перечень параметров характеристик ДЗ

1. Уставка срабатывания ИО всех ступеней при угле максимальной чувствительности (угол защищаемой линии) -  $Z_{уст.N}$



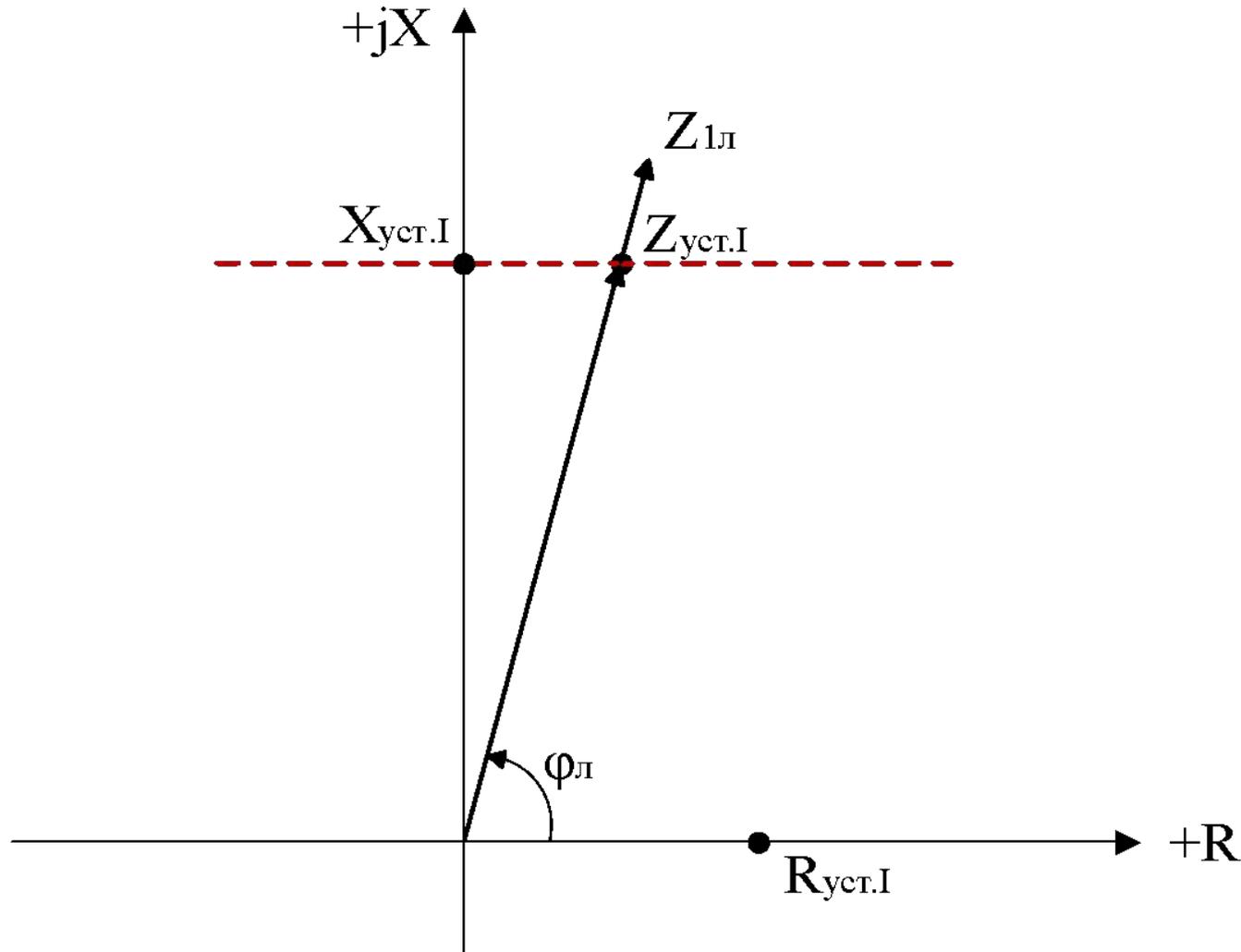
# Перечень параметров характеристик ДЗ

2. Уставка срабатывания ИО всех ступеней по оси X -  $X_{уст.I}$



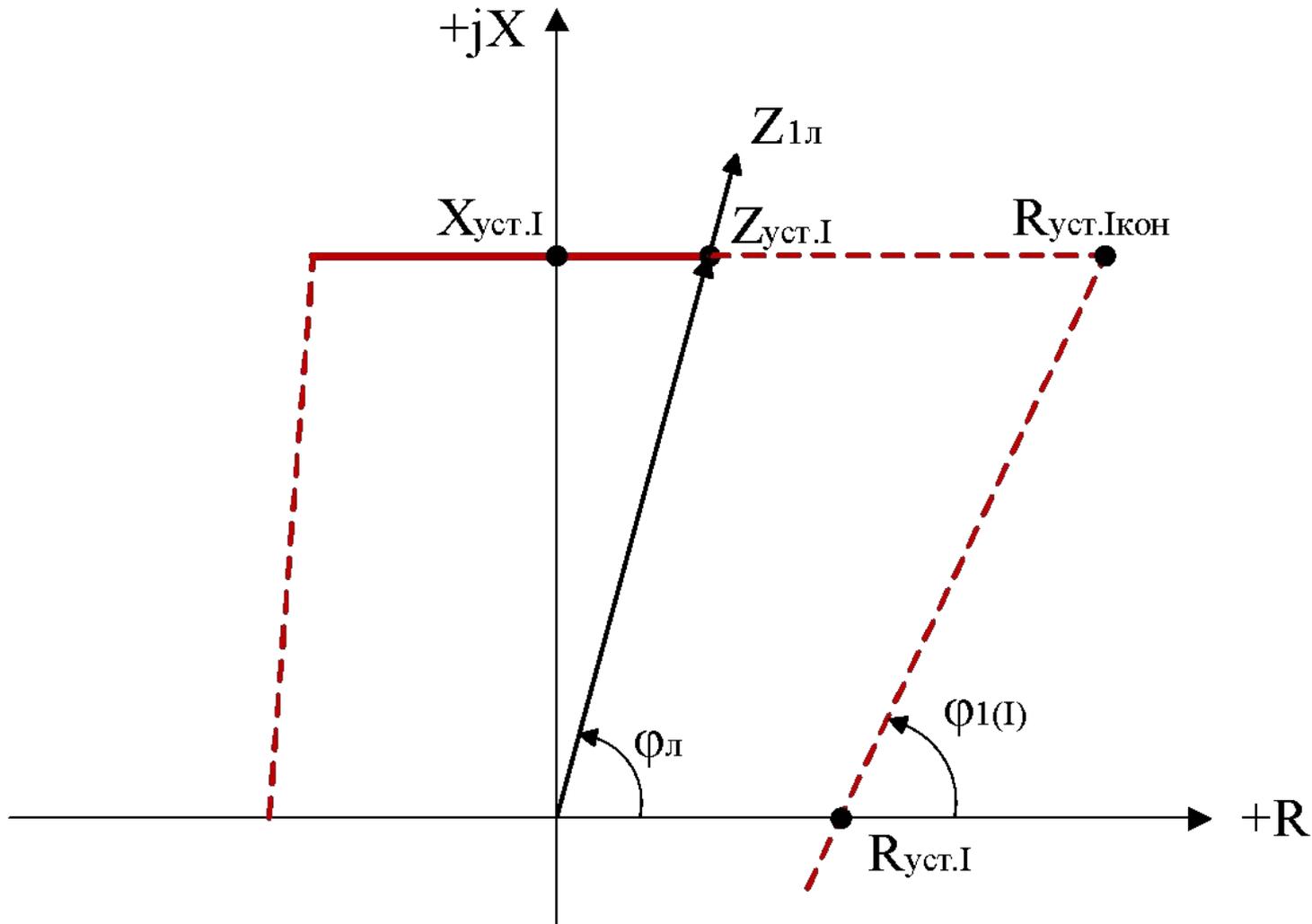
## Перечень параметров характеристик ДЗ

3. Уставка срабатывания ИО всех ступеней по оси R (учет переходного сопротивления в месте КЗ) -  $R_{уст.I}$



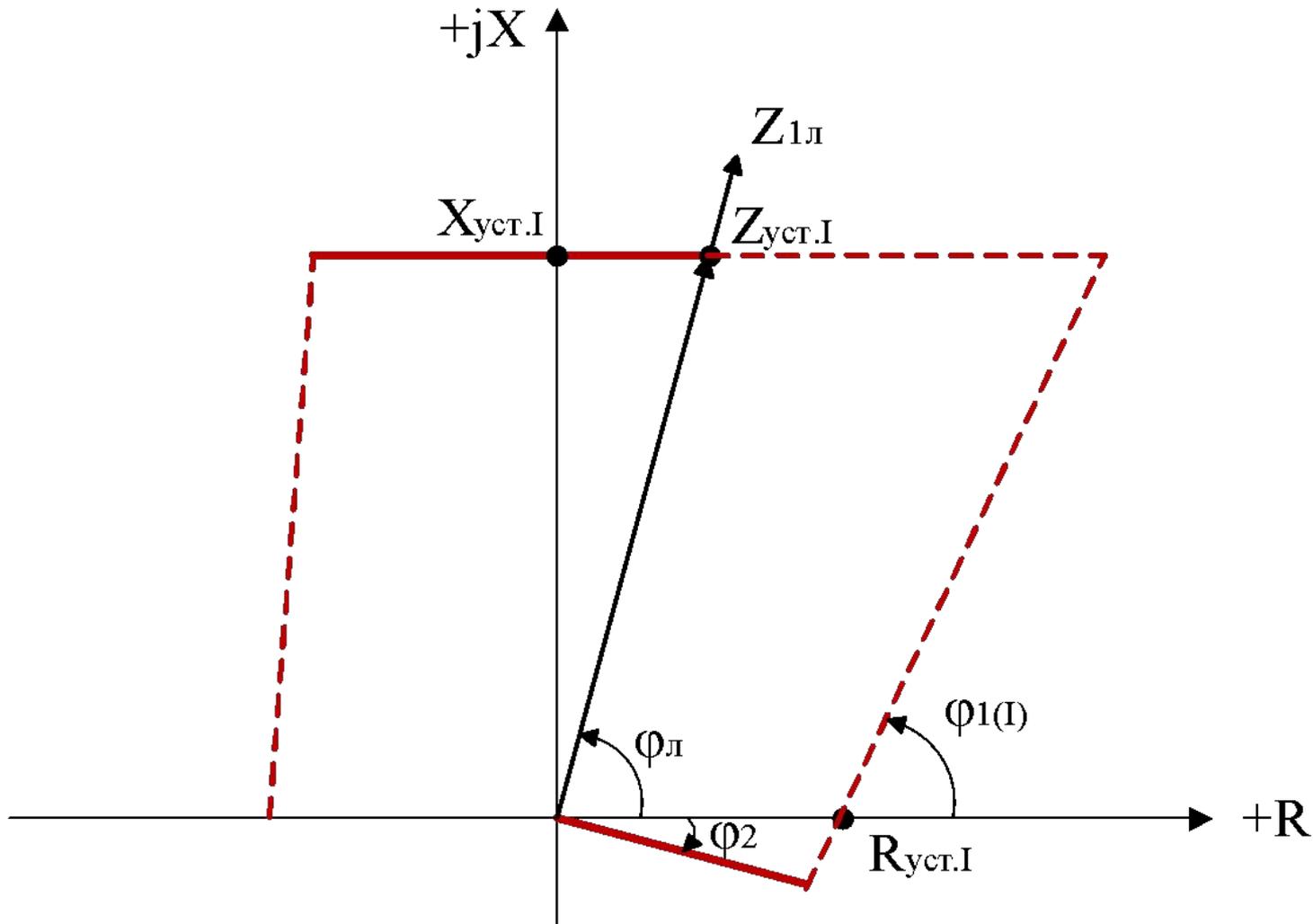
## Перечень параметров характеристик ДЗ

4. Угол наклона правой боковой части характеристики ИО всех ступеней -  $\varphi_1(N)$



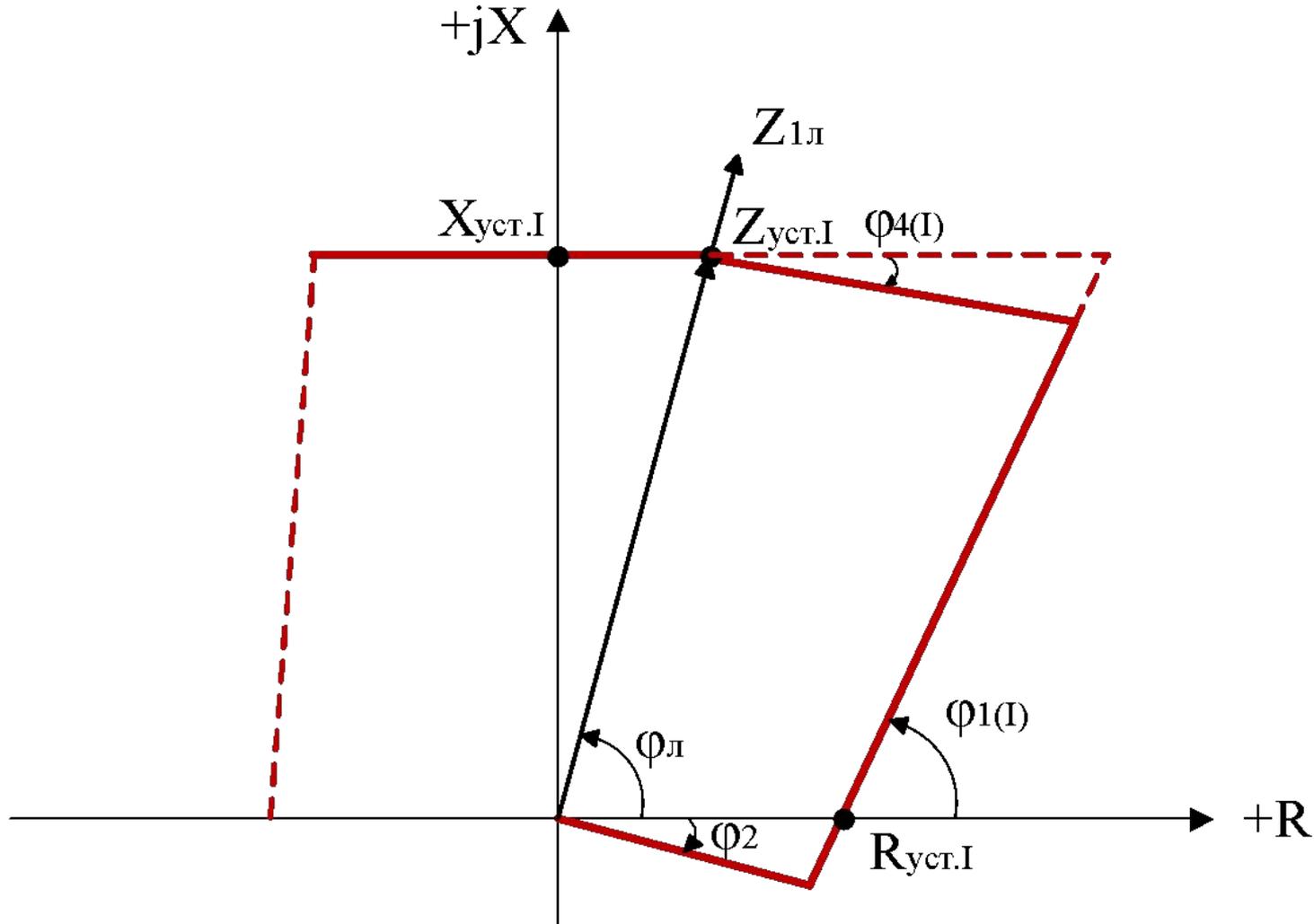
## Перечень параметров характеристик ДЗ

5. Угол наклона нижней правой части характеристики ИО всех ступеней -  $\varphi_2$



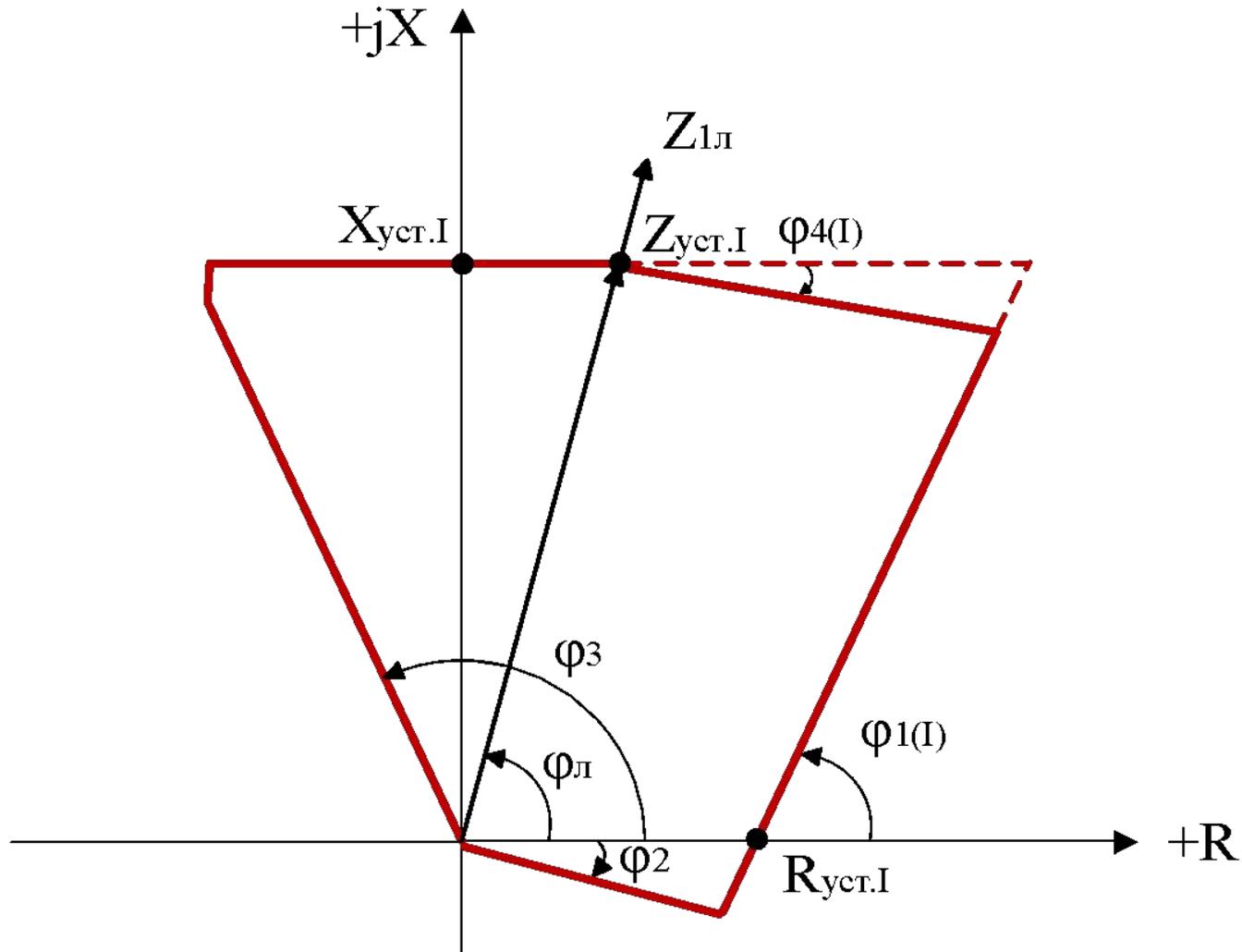
## Перечень параметров характеристик ДЗ

6. Угол наклона верхней правой части характеристики ИО I и V ступеней -  $\varphi_4(I)$ ,  $\varphi_4(V)$



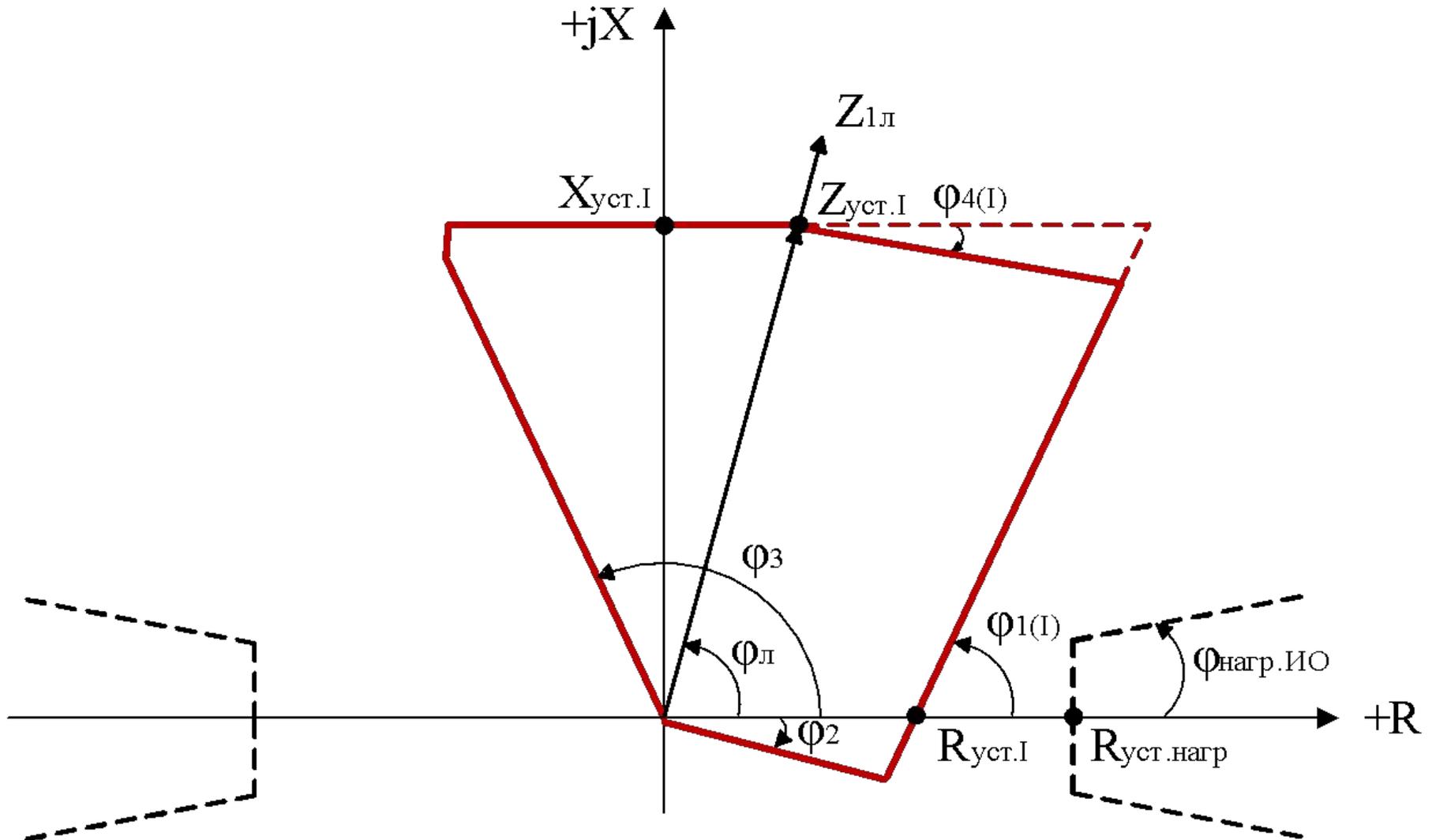
## Перечень параметров характеристик ДЗ

7. Угол наклона нижней левой части характеристики ИО всех ступеней –  $\varphi_3$



## Перечень параметров характеристик ДЗ

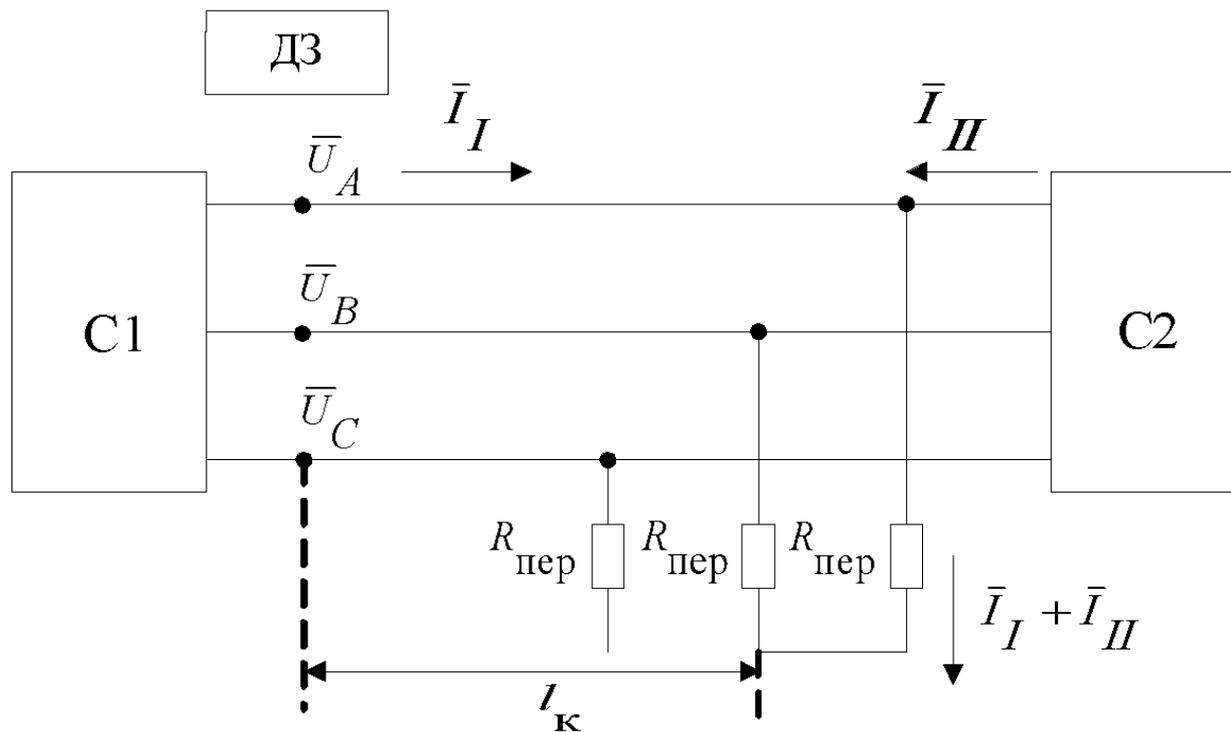
8. Уставка срабатывания ИО всех ступеней по оси R для отстройки от максимальной нагрузки (вырез нагрузки) -  $R_{уст.нагр}$ ; угол наклона частей характеристики ИО для отстройки от нагрузки (вырез нагрузки) -  $\varphi_{нагр.ИО}$



## Переходное сопротивление в месте двухфазного КЗ

$$R_{\text{пер}} = R_{\text{д}}/2,$$

где  $R_{\text{д}}$  – сопротивление электрической дуги.



## Сопротивление дуги:

$$1) R_{\text{д}} = \frac{1050 \cdot l_{\text{д}}}{I_{\text{д}}},$$

$$2) R_{\text{д}} = \frac{2500 \cdot l_{\text{д}}}{I_{\text{д}}},$$

$$3) R_{\text{д}} = \frac{2200 \cdot l_{\text{д}}}{I_{\text{д}}},$$

$$4) R_{\text{д.рез}} = R_{\text{д}} \left( 1 + \frac{5 \cdot V \cdot t}{l_{\text{д}}} \right),$$

$$5) R_{\text{д}} = \frac{28700 \cdot l_{\text{д}}}{I_{\text{д}}^{1,4}},$$

где  $I_{\text{д}}$  - ток, протекающий через дугу, А;

$l_{\text{д}}$  - длина дуги, м;

$V$  - скорость ветра;

$t$  - время горения дуги.

## Первичное сопротивление замера ИО сопротивления при двухфазном КЗ при одностороннем и двухстороннем питании:

$$\bar{Z}_{\text{зам}} = \bar{Z}_{1\text{к}} + 0,5\bar{U}_{\text{д}} / \bar{I}_I,$$

где  $\bar{Z}_{1\text{к}}$  - сопротивление прямой последовательности от места установки ДЗ до места КЗ;

$\bar{U}_{\text{д}} = \bar{U}_{\text{д}}^* l_{\text{д}}$  - вектор напряжения на дуге, совпадает по направлению с вектором тока через дугу;

$U_{\text{д}}^*$  - модуль напряжения дуги на единицу длины дуги;

$\bar{I}_I$  - вектор тока, который подается на ИО сопротивления.

При одностороннем питании:

$$R_{\text{пер}} = 0,5U_{\text{д}} / I_I.$$

При двухстороннем питании:

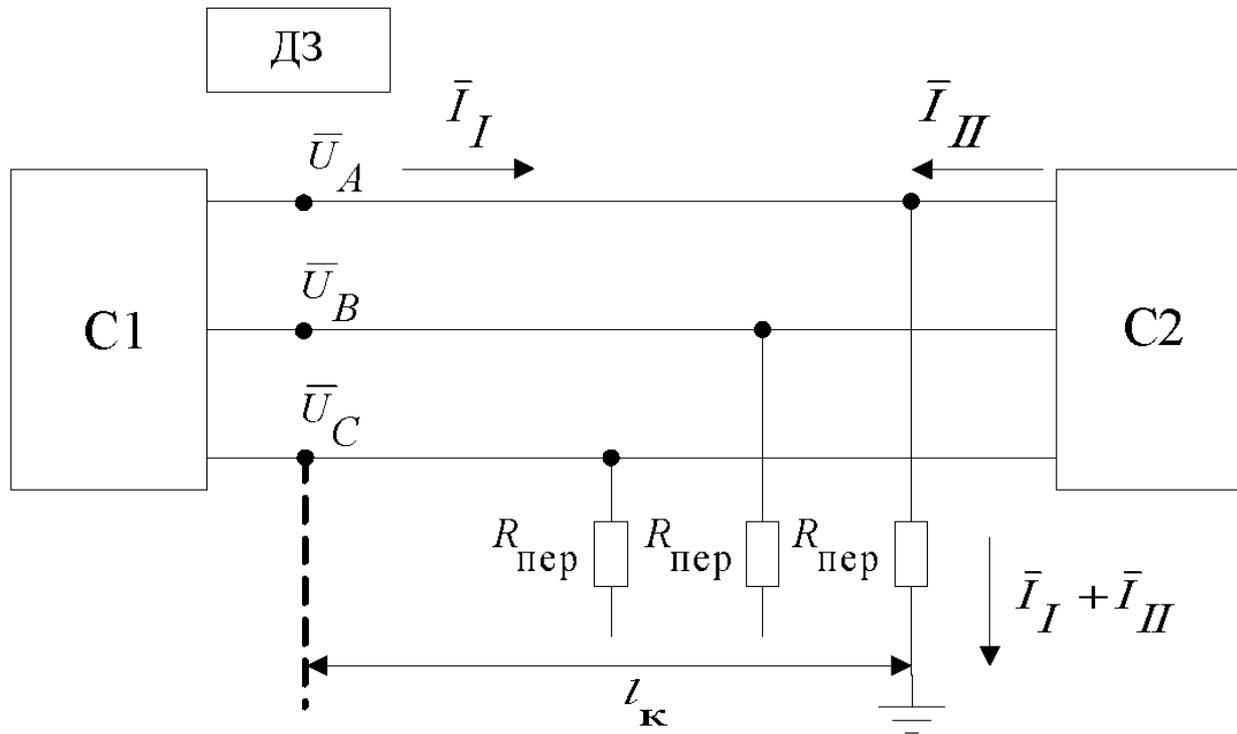
$$\bar{Z}_{\text{пер}} = 0,5U_{\text{д}} / I_I (\cos \delta_1 + j \sin \delta_1),$$

где  $\delta_1$  - угол между вектором тока, который подается на ИО сопротивления  $\bar{I}_I$  и вектором суммы токов через дугу  $\bar{I}_I + \bar{I}_{II}$ .

# Переходное сопротивление в месте однофазного КЗ на землю

$$R_{\text{пер}} = R_{\text{д}} + R_{\text{оп}},$$

где  $R_{\text{д}}$  – сопротивление электрической дуги;  
 $R_{\text{оп}}$  – сопротивление опоры и ее заземления.



## При однофазном КЗ через переходное сопротивление на линии с односторонним питанием:

$$X_{\text{зам.ф}} = \frac{\text{Im}\left(\frac{\bar{U}_{\phi}}{\bar{I}_{\phi}}\right)}{1+K_X} = X_{1к}, \quad R_{\text{зам.ф}} = \frac{\text{Re}\left(\frac{\bar{U}_{\phi}}{\bar{I}_{\phi}}\right)}{1+K_R} = R_{1к} + \frac{R_{\text{д}}+R_{\text{оп}}}{1+K_R}.$$

где  $X_{\text{зам.ф}}, R_{\text{зам.ф}}$  - индуктивное и активное сопротивления прямой последовательности, измеряемое ИО сопротивления ДЗ от КЗ на землю;

$X_{1к}, R_{1к}$  - индуктивное и активное сопротивления прямой последовательности до места КЗ;

$U_{\phi}, I_{\phi}$  - напряжение и ток, которые подаются на ИО сопротивления при однофазных КЗ;

$R_{\text{оп}}$  - сопротивление опоры и заземления опоры.

При однофазном КЗ через переходное сопротивление  
на линии с двухсторонним питанием:

$$X_{зам.\phi} = \frac{\operatorname{Im}\left(\frac{\bar{U}_\phi}{\bar{I}_\phi}\right)}{1+K_X} = X_{1к} + \frac{\left(\frac{U_D}{I_I} + R_{оп} \frac{|\bar{I}_I + \bar{I}_{II}|}{I_I}\right) \sin \delta_1}{1+K_X},$$

$$R_{зам.\phi} = \frac{\operatorname{Re}\left(\frac{\bar{U}_\phi}{\bar{I}_\phi}\right)}{1+K_R} = R_{1к} + \frac{\left(\frac{U_D}{I_I} + R_{оп} \frac{|\bar{I}_I + \bar{I}_{II}|}{I_I}\right) \cos \delta_1}{1+K_R}.$$

## Уставка срабатывания по оси R:

-для ИО сопротивления от междуфазных КЗ

$$R_{\text{уст(N)}} = 0,5 \frac{U_{\text{д}}^* 1,5l_{\text{д}}}{K_{\text{зан}} I_{\text{I}}} - \text{при одностороннем питании,}$$

$$R_{\text{уст(N)}} = 0,5 \frac{U_{\text{д}}^* 1,5l_{\text{д}}}{K_{\text{зан}} I_{\text{I}}} \cos \delta_1 - \text{при двухстороннем питании;}$$

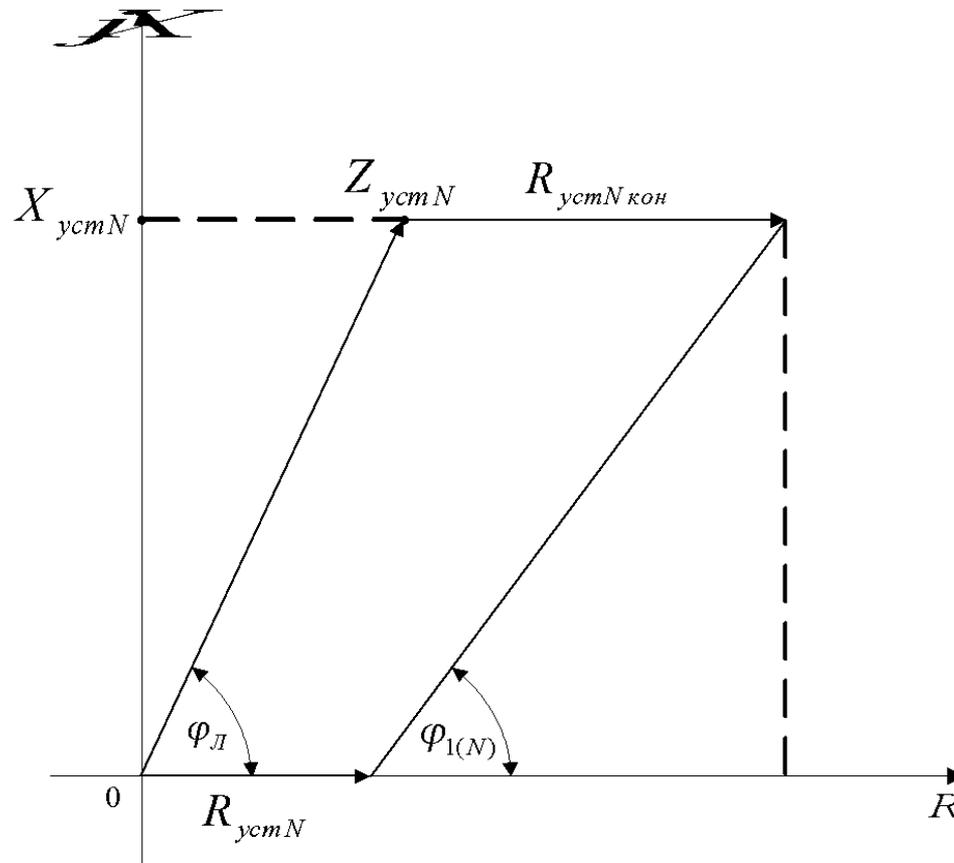
-для ОИ сопротивления от однофазных КЗ

$$R_{\text{уст(V)}} = \frac{U_{\text{д}}^* 1,5l_{\text{д}} + R_{\text{оп}}}{K_{\text{зан}} I_{\text{I}} (1 + K_{\text{R}})} - \text{при одностороннем питании,}$$

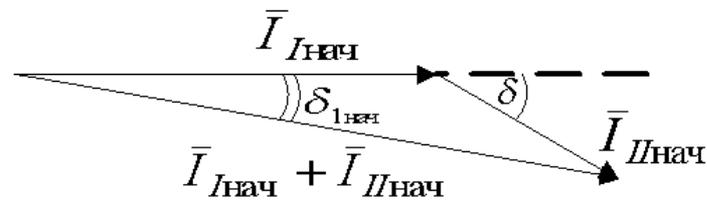
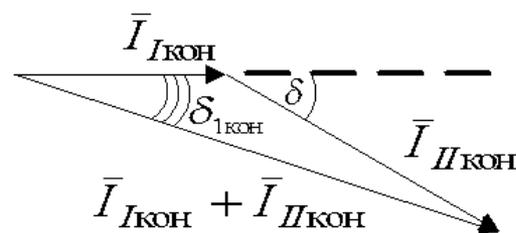
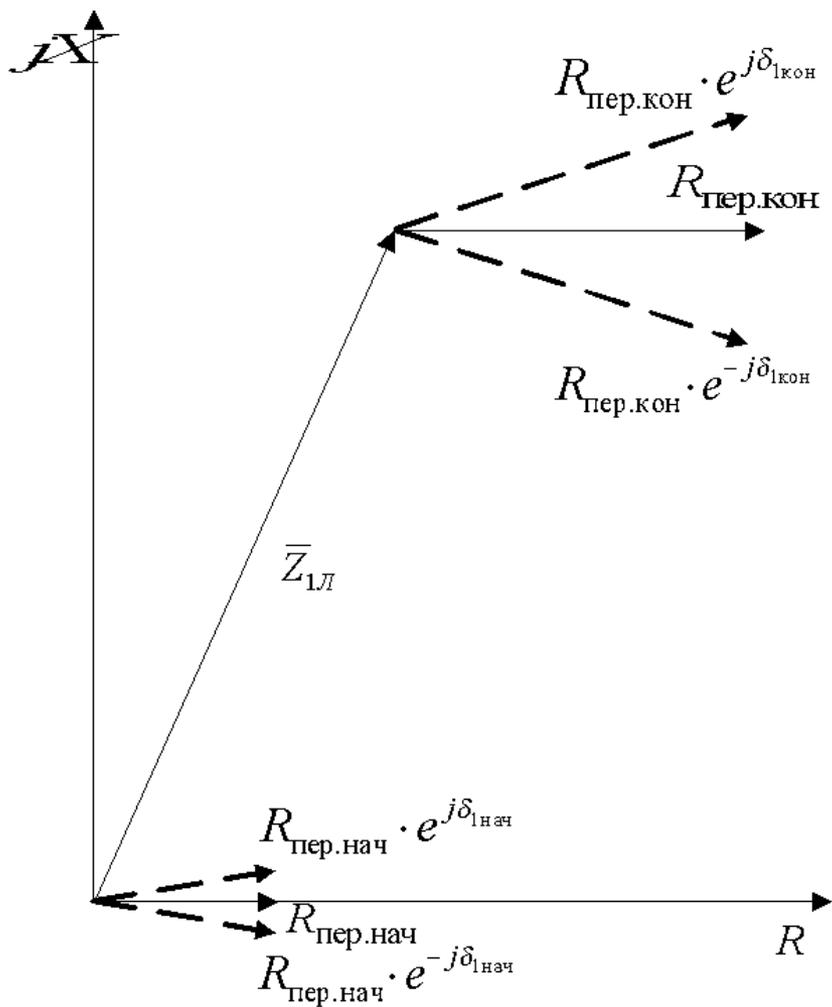
$$R_{\text{уст(V)}} = \frac{U_{\text{д}}^* 1,5l_{\text{д}} + R_{\text{оп}} |\bar{I}_{\text{I}} + \bar{I}_{\text{II}}|}{K_{\text{зан}} I_{\text{I}} (1 + K_{\text{R}})} \cos \delta_1 - \text{при двухстороннем питании.}$$

# Угол наклона правой боковой части характеристики ИО сопротивления $\varphi_{1(N)}$

$$\varphi_{1(N)} = \arctg \left[ \frac{X_{устN}}{\left| \bar{Z}_{устN} \cdot \cos \varphi_{Л} \right| + \left( R_{устNкон} - R_{устN} \right)} \right]$$



# Влияние угла передачи нагрузки на дистанционные измерения при КЗ через переходное сопротивление



## Угол наклона нижней правой части характеристики ИО сопротивления $\varphi_2$

-для ИО сопротивления от междуфазных КЗ

$$\varphi_{2(N)} \geq \delta_1,$$

-для ИО сопротивления от однофазных КЗ

$$\varphi_{2(V)} \geq \arctg \left( \frac{1 + K_R}{1 + K_X} \right) \operatorname{tg} \delta_1,$$

где  $\delta_1$  - угол между вектором тока, который подается на ИО сопротивления, и вектором тока через переходное сопротивление, то есть вектором суммарного тока КЗ с двух сторон питания.

$$\varphi_{2(N)} \leq \delta.$$

Угол наклона верхней правой части характеристики  
ИО сопротивления,  $\varphi_{4(I)}$  и  $\varphi_{4(V)}$

-для ИО сопротивления от междуфазных КЗ

$$\varphi_{4(I, V)} \geq \delta_1,$$

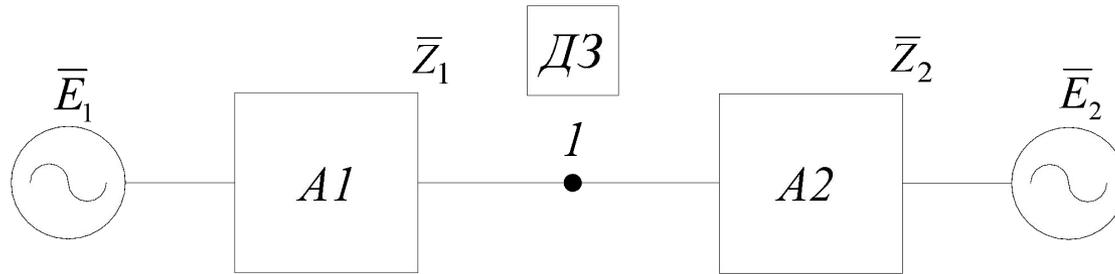
-для ИО сопротивления от однофазных КЗ

$$\varphi_{2(V)} \geq \arctg \left( (1 + K_R) / (1 + K_X) \right) \operatorname{tg} \delta_1,$$

где  $\delta_1$  - угол между вектором тока, который подается на ИО сопротивления, и вектором тока через переходное сопротивление, то есть вектором суммарного тока КЗ с двух сторон питания.

$$\varphi_{4(I, V)} \leq \delta.$$

## К анализу ДЗ в нагрузочном режиме



Ток нагрузки :

$$\bar{I}_H = \frac{\bar{E}_1 - \bar{E}_2}{\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1}.$$

Напряжение нагрузки:

$$\bar{U}_H = \frac{\bar{E}_1 \cdot \bar{Z}_2 - \bar{E}_2 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1}.$$

Сопротивление нагрузки:

$$\bar{Z}_H = \frac{\bar{U}_H}{\bar{I}_H} = \frac{\bar{E}_1 \cdot \bar{Z}_2 - \bar{E}_2 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{E}_1 - \bar{E}_2} = \frac{\bar{Z}_2 - \bar{q} \cdot \bar{Z}_1}{1 - \bar{q}}; \quad \bar{q} = \frac{\bar{E}_2}{\bar{E}_1}.$$

Области расположения вектора полного сопротивления замера  
ИО сопротивления в нагрузочном режиме определяются,  
исходя из двух ограничений:

1) соотношение ЭДС  $\bar{E}_1$  и  $\bar{E}_2$  по модулю не выходит за пределы:

$$q_1 \leq |\bar{q}| \leq q_2,$$

где  $q_1 < 1$ ,  $q_2 > 1$ ; реальные значения:  $q_1 = 0,9$ ;  $q_2 = 1,1$ .

2) угол передачи  $\delta = \arg \bar{q}$  из условия устойчивости энергосистемы  
не должен выходить за пределы:

$$\alpha_1 \leq \arg \bar{q} \leq \alpha_2,$$

где  $\alpha_1 > -90^\circ$ ;  $\alpha_2 < 90^\circ$ ; реальные значения:  $\alpha_1 = -60^\circ$ ;  $\alpha_2 = 60^\circ$ .

# Области расположения вектора полного сопротивления замера ИО сопротивления в нагрузочном режиме

$$1) \bar{q} = \frac{\bar{Z}_H - \bar{Z}_2}{\bar{Z}_H - \bar{Z}_1}, \quad |\bar{q}| \geq q_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{q_1} \left| \frac{\bar{Z}_H - \bar{Z}_2}{\bar{Z}_H - \bar{Z}_1} \right| \geq 1.$$

Параметры окружности (на рисунке дуга окружности 1):

$$\bar{Z}'_0 = \frac{\bar{Z}_2 - q_1^2 \cdot \bar{Z}_1}{1 - q_1^2} - \text{координаты центра окружности,}$$

$$R'_0 = \frac{|\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1| \cdot q_1}{|1 - q_1^2|} - \text{радиус окружности.}$$

$$|\bar{q}| \leq q_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{q_2} \left| \frac{\bar{Z}_H - \bar{Z}_2}{\bar{Z}_H - \bar{Z}_1} \right| \leq 1.$$

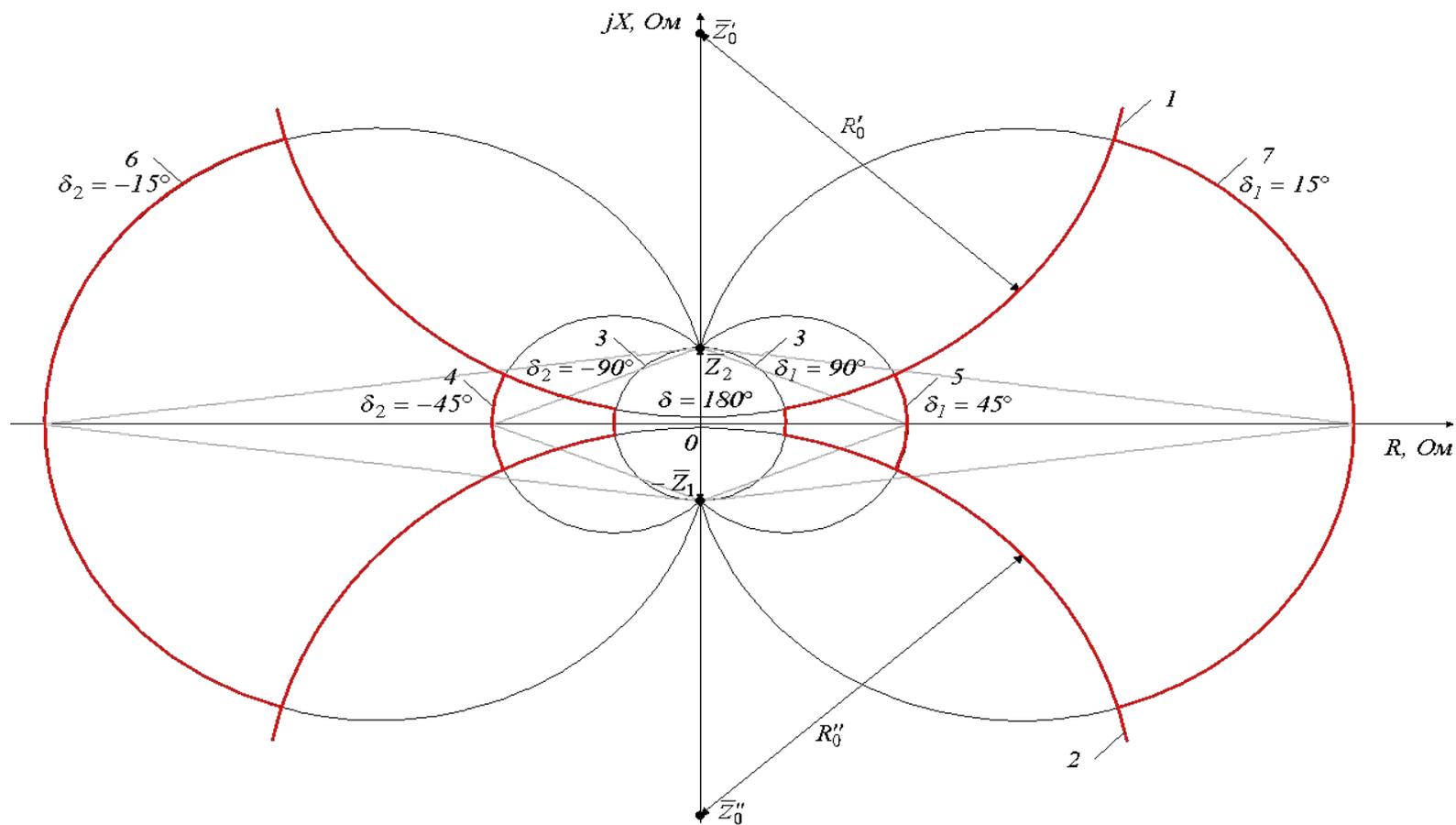
Параметры окружности (на рисунке дуга окружности 2):

$$\bar{Z}''_0 = \frac{\bar{Z}_2 - q_2^2 \cdot \bar{Z}_1}{1 - q_2^2}; \quad R''_0 = \frac{|\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1| \cdot q_2}{|1 - q_2^2|}.$$

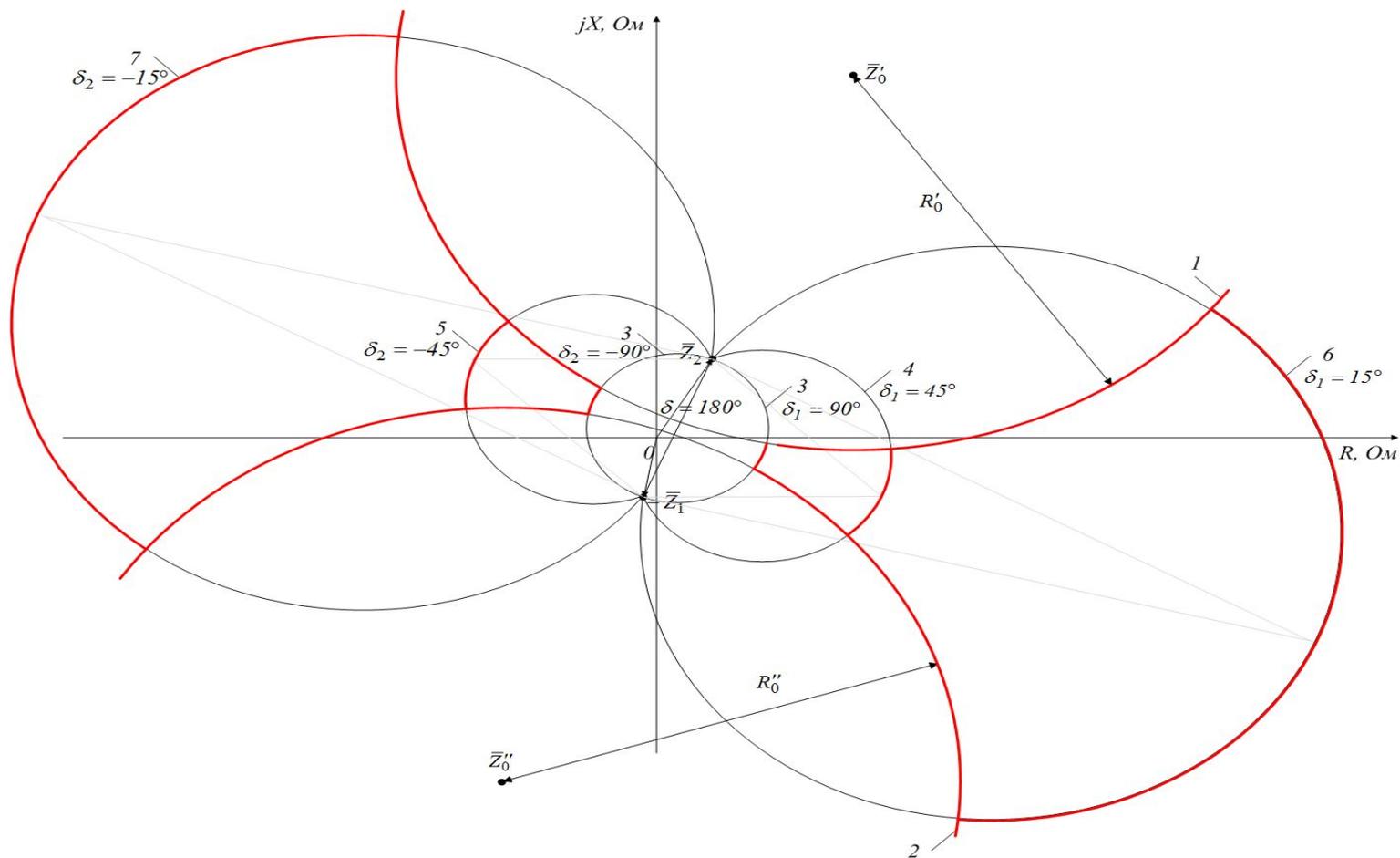
$$2) \alpha_1 \leq \arg \bar{q} \leq \alpha_2 \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 \leq \arg \frac{\bar{Z}_H - \bar{Z}_2}{\bar{Z}_H - \bar{Z}_1} \leq \alpha_2$$

(на рисунке окружность 3, дуги окружностей 4 и 5, 6 и 7).

# Области расположения вектора замера ИО сопротивления ДЗ в нагрузочных режимах (идеальный случай)



# Области расположения вектора замера ИО сопротивления ДЗ в нагрузочных режимах (реальный случай)



## Уставка срабатывания ИО сопротивления по оси R для отстройки от нагрузки (вырез нагрузки) $R_{уст.нагр}$

-исходя из расчета минимального сопротивления как

$$R_{нагр.мин} = \frac{|\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1|}{2 \cdot tg(\delta / 2)},$$

$$R_{уст.нагр} = k_{отс} R_{нагр.мин} = k_{отс} \cdot \frac{|\bar{Z}_2 - \bar{Z}_1|}{2 \cdot tg(\delta / 2)};$$

- исходя из заданного режима передачи максимальных активной и реактивной мощности по линии электропередачи (задается службой режимов предприятия энергетики);

-исходя из минимального сопротивления нагрузки:

$$\bar{Z}_{нагр.мин} = \frac{\bar{U}_{нагр.мин}}{\bar{I}_{нагр.макс}},$$

где  $\bar{U}_{нагр.мин}$  ,  $\bar{I}_{нагр.макс}$  - минимальное напряжение и максимальный ток при максимально возможной нагрузке, с учетом запуска или самозапуска электродвигателей.

Угол наклона частей характеристики ИО сопротивления  
для отстройки от нагрузки (вырез нагрузки)  $\varphi_{\text{нагр.ИО}}$

$$\varphi_{\text{нагр.ИО}} = \pm (\varphi_{\text{нагр}} + (5-10)^\circ) - \text{ в I и IV квадрантах;}$$

$$\varphi_{\text{нагр.ИО}} = 180^\circ \pm (\varphi_{\text{нагр}} + (5-10)^\circ) - \text{ во II и III квадрантах.}$$

Угол наклона нижней левой части  
характеристики ИО сопротивления  $\varphi_3$

$$\varphi_3 = 180^\circ - (\varphi_{\text{нагр}} + (5-10)^\circ).$$

## Определение корректирующих множителей коэффициентов компенсации тока НП ККХ и ККР

$$\bar{Z}_{0экв} = \bar{Z}_{0уд} + \bar{Z}_{\muуд} - \text{две линии в работе;}$$

$$KK_X = 1 + \frac{X_{\muуд}}{X_{0уд} - X_{1уд}} \frac{0.85}{1.15}, \quad KK_R = 1 + \frac{R_{\muуд}}{R_{0уд} - R_{1уд}} \frac{0.85}{1.15}.$$

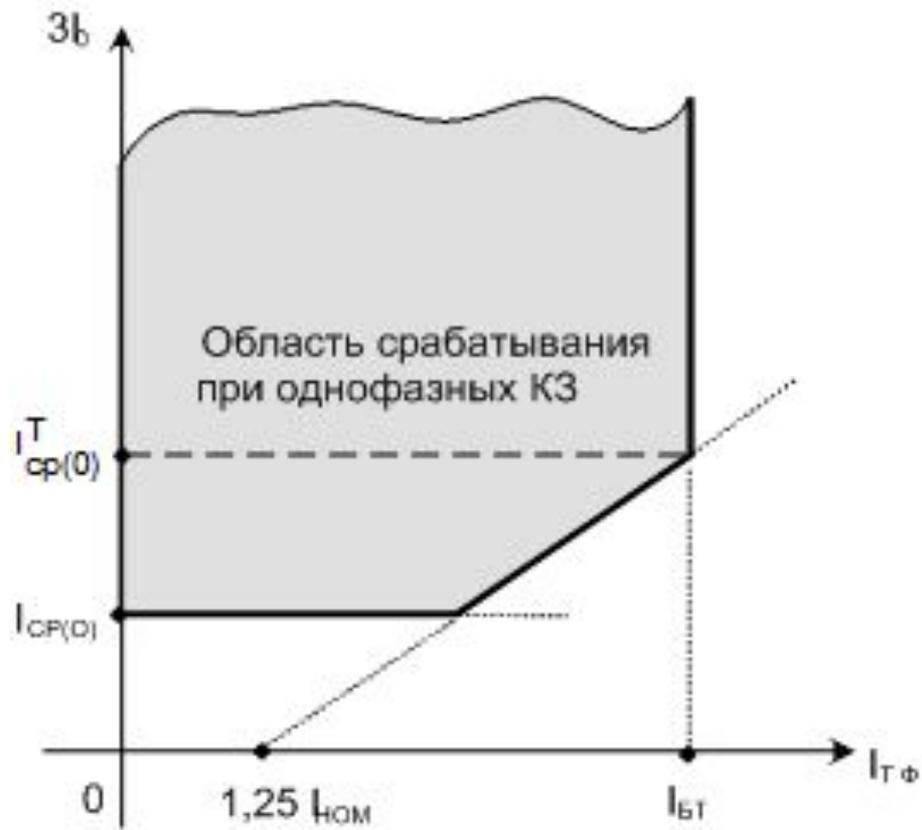
$$\bar{Z}_{0экв} = \bar{Z}_{0уд} \quad - \text{одна линия отключена;}$$

$$KK_X = 1, \quad KK_R = 1.$$

$$\bar{Z}_{0экв} = \bar{Z}_{0уд} - \frac{\bar{Z}_{\muуд}^2}{\bar{Z}_{0уд}} - \text{одна линия отключена и заземлена на двух концах;}$$

$$KK_X = 1 - \frac{X_{\muуд}}{X_{0уд} - X_{1уд}} \frac{X_{\muуд}}{X_{0уд}}, \quad KK_R = 1 - \frac{R_{\muуд}}{R_{0уд} - R_{1уд}} \frac{R_{\muуд}}{R_{0уд}}.$$

# ОВП. Зависимость порога срабатывания ИО тока НП от тормозного тока



$$I_{cp}^T = \text{Макс} [ I_{cp}^{(0)}, K_T * (I_{T\Phi} - 1,25 * I_{ном}) ],$$

где  $K_T$  - коэффициент торможения;

$I_{cp}^{(0)}$  - ток срабатывания ИО тока НП при отсутствии торможения;

$$\text{Макс} (I_A, I_B, I_C) > I_{T\Phi} > \text{Мин} (I_A, I_B, I_C),$$

где  $\phi$  - фаза А, В, С.

## Ток срабатывания ПО по току нулевой последовательности при отсутствии торможения $I_{0ПО}$

$$I_{0ПО} \geq \frac{k_{отс}}{k_B} (I_{0нб} + 3I_{0н.р}),$$

Где  $k_{отс}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность терминала, ошибки расчета и необходимый запас, рекомендуется принимать равным 1,25;

$k_B$  - коэффициент возврата реле, равный не менее 0.8;

$I_{0нб}$  - первичный ток небаланса в нулевом проводе ТТ в максимальном нагрузочном режиме;

$3I_{0н.р}$  - утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе.

## Напряжение срабатывания ПО по напряжению НП $U_{0ПО}$

$$U_{0ПО} \geq \frac{k_{отс}}{k_B} (U_{0нб} + 3U_{0н.р}),$$

Где  $k_{отс}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность терминала, ошибки расчета и необходимый запас, рекомендуется принимать равным 1,25;

$k_B$  - коэффициент возврата реле, равный не менее 0,9;

$U_{0нб}$  - первичное напряжение небаланса на реле в нормальном нагрузочном режиме;

$3U_{0н.р}$  - утроенное напряжение нулевой последовательности, обусловленное несимметрией в системе.

## Ток срабатывания ПО максимального тока $I_{БТ}$

$$I_{БТ} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{\Sigma 3} + Z_{(I)})},$$

где  $U_{НОМ}$  - номинальное значение первичного напряжения рассматриваемой линии;

$Z_{\Sigma 3}$  - результирующее сопротивление до места установки рассматриваемой защиты со стороны питания при двухфазном КЗ в конце зоны, защищаемой 1 ст. ДЗ;

$Z_{(I)}$  - уставка срабатывания ИО 1 ступени ДЗ на угле максимальной чувствительности.

Ток срабатывания по току нулевой последовательности  $I_{\text{CP}(0)}^T$   
ИО тока НП, соответствующий  $I_{\text{Т.Ф}} = I_{\text{Б.Т}}$

$$I_{\text{CP}(0)}^T = k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{пер}} \cdot I_{0\text{нб.у}}$$

где  $k_{\text{отс}}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность терминала, ошибки расчета и необходимый запас, принимается равным 1,25;

$k_{\text{пер}}$  - коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, может быть принят равным 2,0;

$I_{0\text{нб.у}}$  - первичный ток небаланса в нулевом проводе ТТ в установившемся режиме при металлическом двухфазном КЗ в конце зоны, защищаемой 1 ступенью ДЗ.

## Коэффициент торможения $K_T$

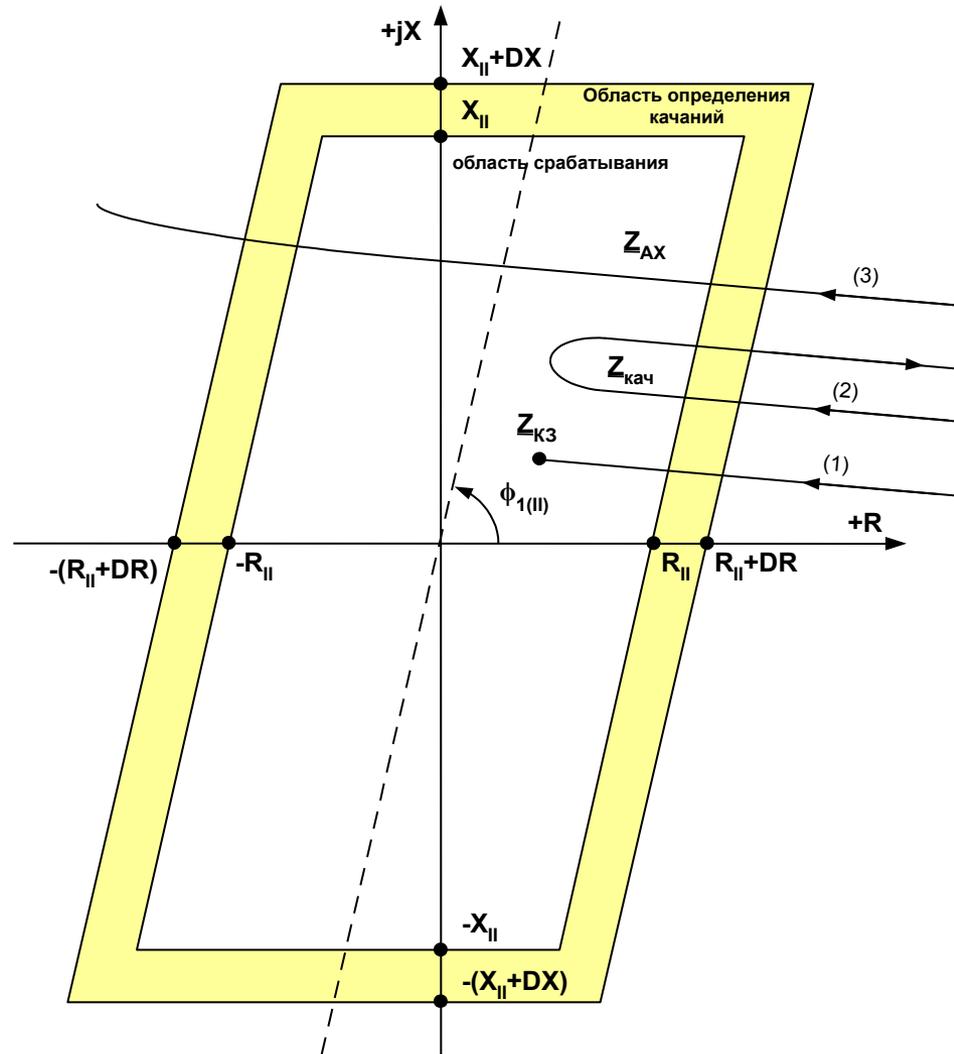
$$K_T = \frac{I_{\text{ср}(0)}^T}{I_{\text{Б.Т}} - 1.25 \cdot I_{\text{НОМ}}},$$

где  $I_{\text{ср}(0)}^T$  - ток срабатывания по току нулевой последовательности  
 $I_{\text{ср}}^T$  ИО РТНП, соответствующий  $I_{\text{Т.Ф}} = I_{\text{Б.Т}}$ ;

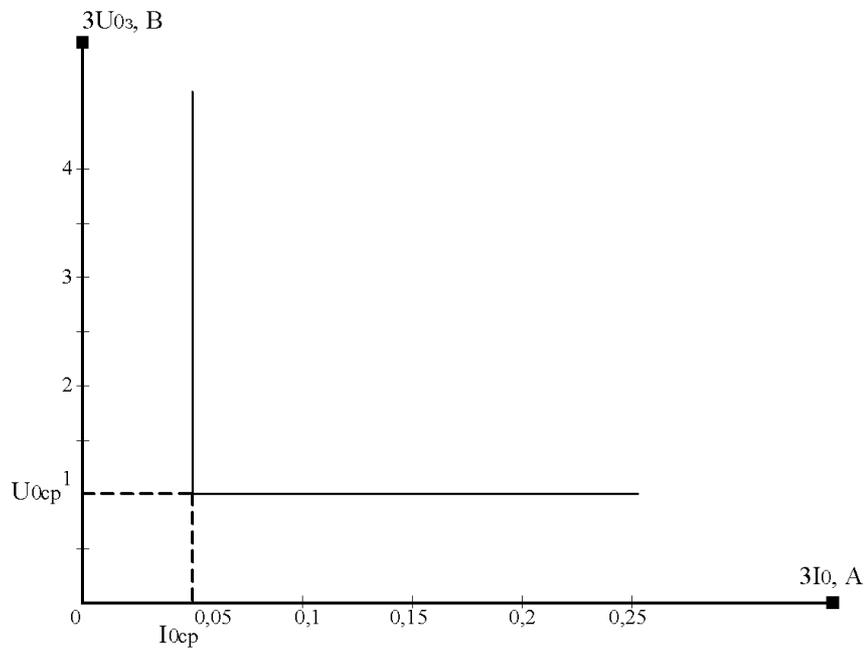
$I_{\text{БТ}}$  - ток срабатывания ПО максимального тока;

$I_{\text{НОМ}}$  - номинальный ток ТТ.

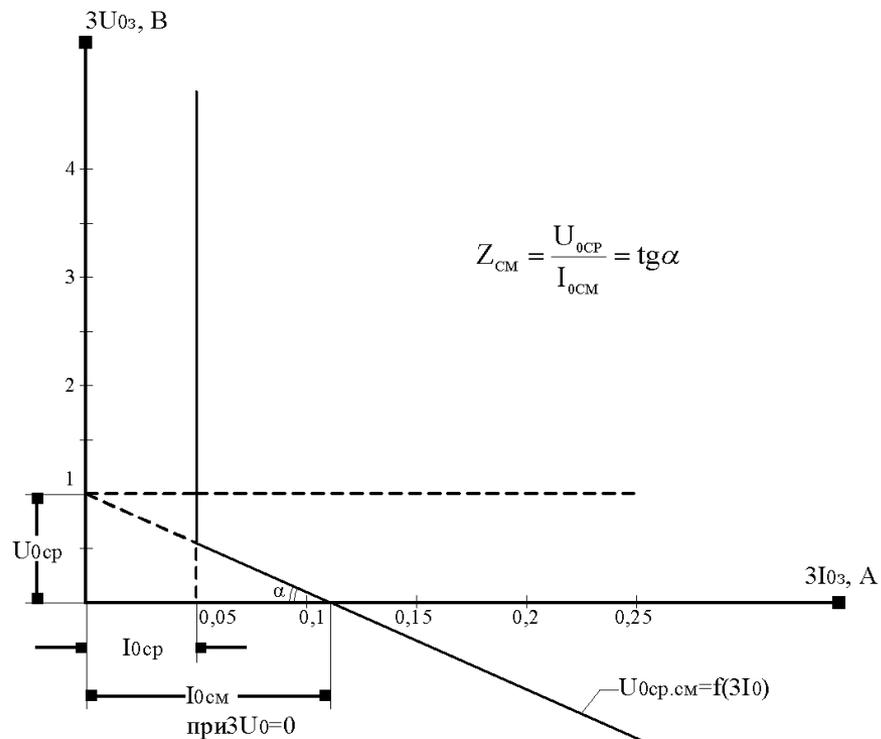
# Область срабатывания при качаниях



# ТЗНП. Вольтамперная характеристика разрешающего ИО НМНП



без смещения



со смещением

## Ток срабатывания разрешающего ИО НМНП

$$I_{\text{ср.разр.РНМ}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \left( I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}} \right),$$

где  $k_{\text{отс}}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность терминала, ошибки расчета и необходимый запас, принимается равным 1,25;

$k_{\text{в}}$  - коэффициент возврата реле, равный не менее 0.9;

$I_{0\text{нб}}$  - первичный ток небаланса в нулевом проводе ТТ, протекающий в нормальном нагрузочном режиме;

$3I_{0\text{н.р}}$  - утроенный ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе.

## Напряжение срабатывания разрешающего ИО НМНП

$$U_{\text{ср.разр.РНМ}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \left( U_{0\text{нб}} + 3U_{0\text{н.р}} \right),$$

где  $k_{\text{отс}}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность терминала, ошибки расчета и необходимый запас, принимается равным 1,25;

$k_{\text{в}}$  - коэффициент возврата реле, равный не менее 0,9;

$U_{0\text{нб}}$  - первичное напряжение небаланса на реле в нормальном нагрузочном режиме;

$3U_{0\text{н.р}}$  - утроенное напряжение нулевой последовательности, обусловленное несимметрией в системе.

## Сопротивление смещения $Z_{\text{см}}$

$$1) \quad Z_{\text{см}} \geq \frac{K_{\text{ТТ}}}{K_{\text{ТН}} \cdot I_{0\text{с.з}}} \left( U_{\text{ср.разр.РНМ}} \cdot k_{\text{ч}} - 3U_{0\text{з}} \right),$$

где  $K_{\text{ТТ}}$  - коэффициент трансформации ТТ;

$K_{\text{ТН}}$  - коэффициент трансформации ТН;

$I_{0\text{с.з}}$  - первичный ток срабатывания наиболее

чувствительной ступени;

$U_{\text{ср.разр.РНМ}}$  - первичное напряжение срабатывания разрешающего ИО НМНП;

$k_{\text{ч}}$  - коэффициент чувствительности, принимается равным 1,2;

$3U_{0\text{з}}$  - утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при КЗ в конце зоны наиболее чувствительной ступени защиты.

## Сопротивление смещения $Z_{\text{см}}$

$$2) \quad Z_{\text{см}} < \frac{K_{\text{ТТ}}}{K_{\text{ТН}}} \cdot \frac{\frac{U_{\text{ср.разр.РНМ}}}{k_{\text{отс}}} - 3U_{0з}}{3I_{0\text{макс}}},$$

где  $K_{\text{ТТ}}$  - коэффициент трансформации ТТ;

$K_{\text{ТН}}$  - коэффициент трансформации ТН;

$U_{\text{ср.разр.РНМ}}$  - первичное напряжение срабатывания разрешающего ИО НМНП;

$k_{\text{отс}}$  - коэффициент отстройки, принимается равным 1,15;

$3U_{0з}$  - утроенное напряжение НП в месте установки защиты при КЗ на шинах подстанции;

$3I_{0\text{макс}}$  - максимальное значение утроенного тока нулевой последовательности, протекающего через защиту при КЗ на шинах п/ст, где установлена защита.

## Ток срабатывания блокирующего ИО НМНП

$$1) I_{\text{ср.бл.РНМ}} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \left( I_{0\text{нб}} + 3I_{0\text{н.р}} \right) - \text{аналогично разрешающему ИО НМНП;}$$

$$2) \frac{I_{0\text{с.з}}}{K_{\text{ТТ}}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ср.бл.РНМ}},$$

где  $I_{0\text{с.з}}$  - ток срабатывания наиболее чувствительной ступени защиты;

$K_{\text{ТТ}}$  - коэффициент трансформации ТТ;

$k_{\text{отс}}$  - коэффициент отстройки, принимается равным 1,2;

$I_{\text{ср.бл.РНМ}}$  - ток срабатывания блокирующего ИО НМНП.

## Напряжение срабатывания блокирующего ИО НМНП

$$3U_{0з} \geq \frac{k_{отс} \cdot U_{ср.бл.РНМ} \cdot K_{ТН} \cdot 3I_{0з}}{I_{0с.з}},$$

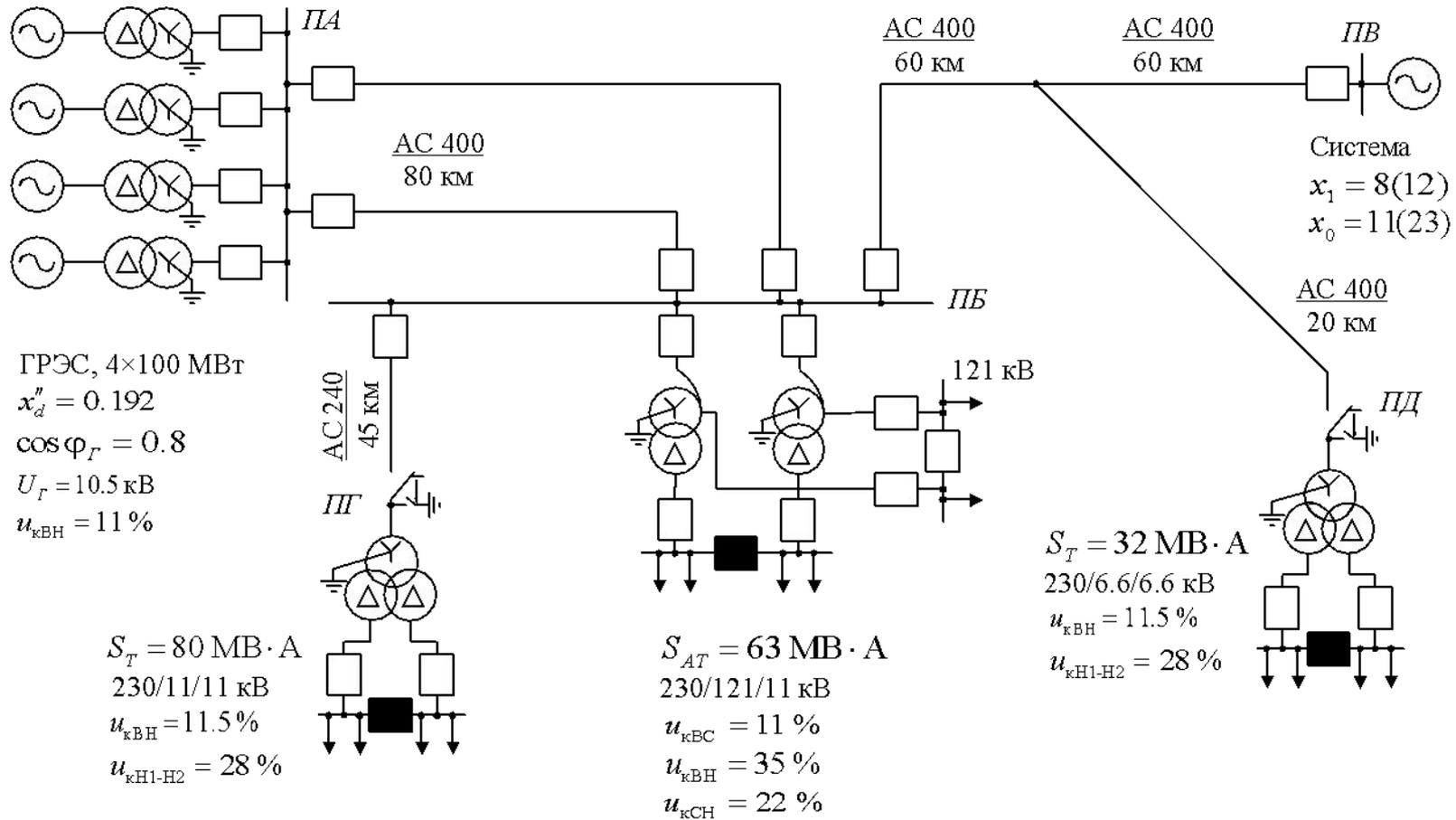
где  $3U_{0з}$  - утроенное напряжение нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю в направлении, противоположном защищаемому, то есть напряжение в месте установки рассматриваемой защиты в режиме протекания по линии тока, равного току срабатывания наиболее чувствительной ступени защиты;

$k_{отс}$  - коэффициент отстройки, принимается равным 1,15;

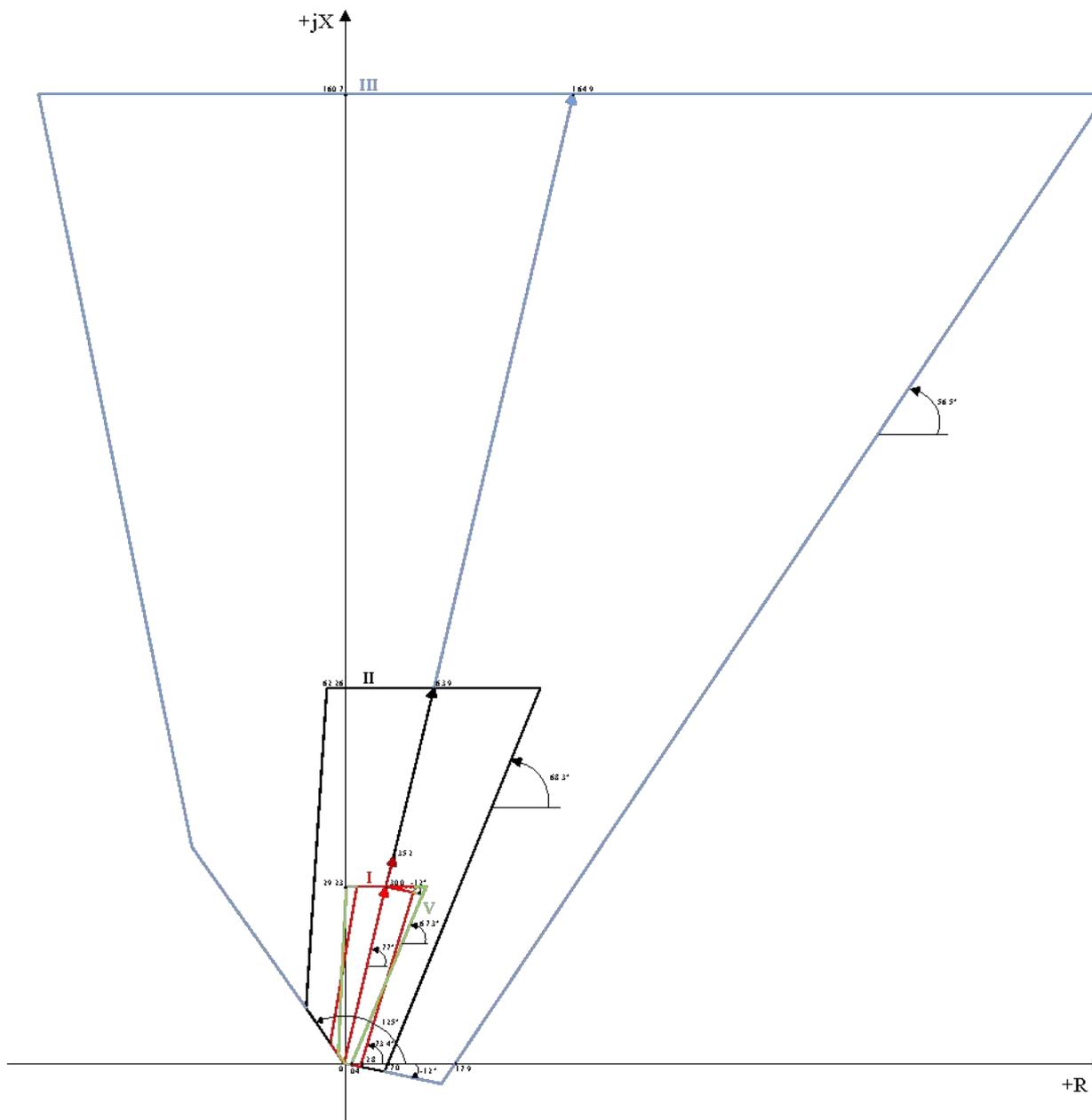
$U_{ср.бл.РНМ}$  - напряжение срабатывания блокирующего ИО

НМНП, принимается равным 0.5 В.

# Исходная схема участка сети к примеру расчета



# Характеристики срабатывания ИО сопротивления ступеней ДЗ



## Литература:

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып.7. Дистанционная защита линий 35 - 330 кВ. –М. Энергия, 1966.
2. Руководящие указания по релейной защите. Вып.7 (дополнение). Дистанционная защита линий 35 - 330 кВ.–М.: Энергия, 1968.
3. Руководящие указания по релейной защите. Вып.12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ. - М.: Энергия, 1980.
4. Чернобровов Н. В. Релейная защита. М.: Энергия, 1971.
5. Федосеев А. М. Релейная защита электрических систем. М.: Энергия, 1976.
6. Фабрикант В. Л. Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики. М.: Высшая школа, 1968.
7. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. Перевод с англ. Под ред. Дьякова А. Ф. - М.: Энергоиздат. 2005.
8. Шнеерсон Э. М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007.
9. Рекомендации для расчета уставок шкафов резервных защит и автоматики серии ШЭ2607 линий электропередачи напряжением 110 – 220 кВ.

**Спасибо за внимание!**