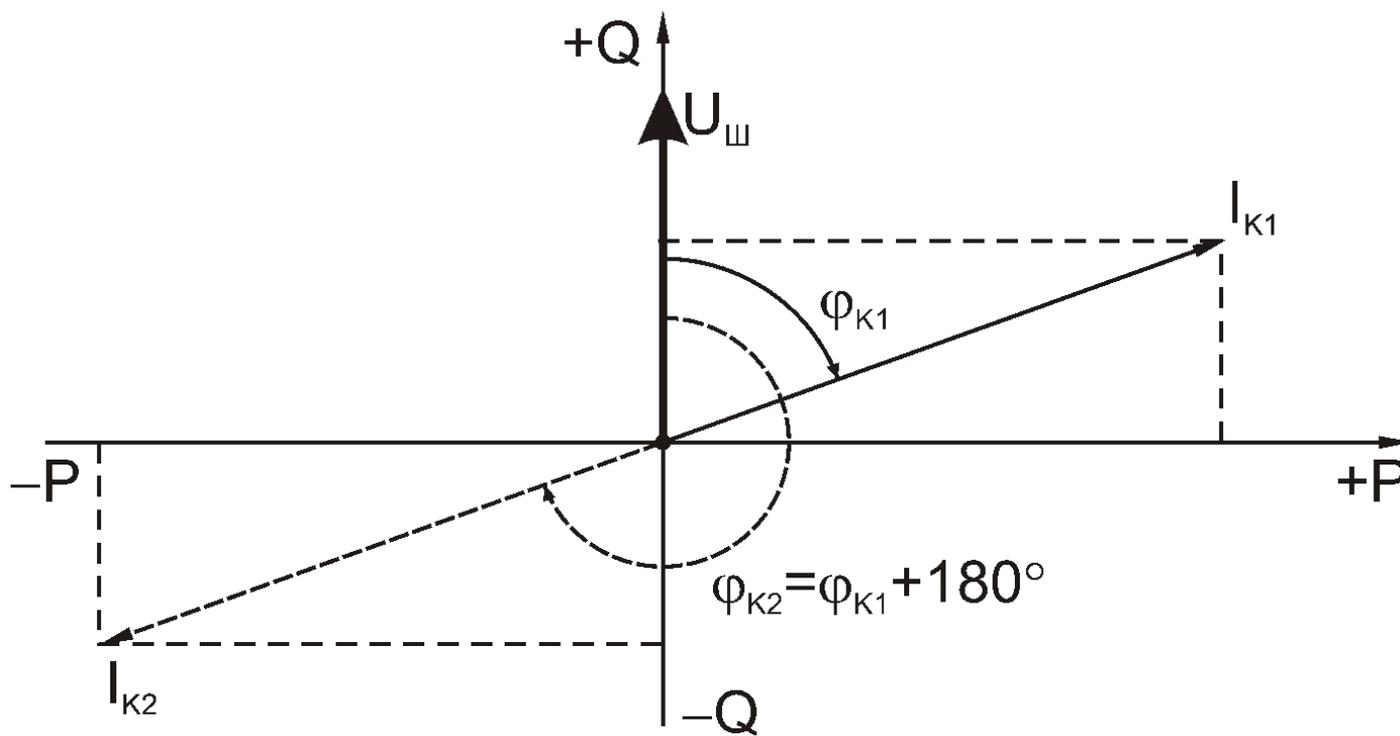
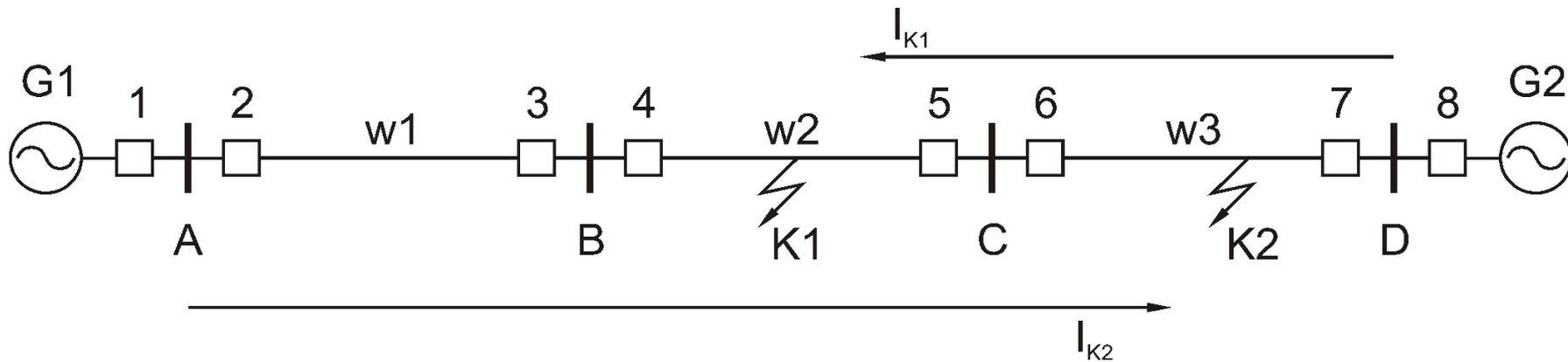


$$t_{C31} = t_{C33} + \Delta t \quad t_{C33} = t_{C35} + \Delta t \quad t_{C35} = t_{C3H4} + \Delta t$$

$$t_{C36} = t_{C34} + \Delta t \quad t_{C34} = t_{C32} + \Delta t \quad t_{C32} = t_{C3H1} + \Delta t.$$



При КЗ в точке К1:

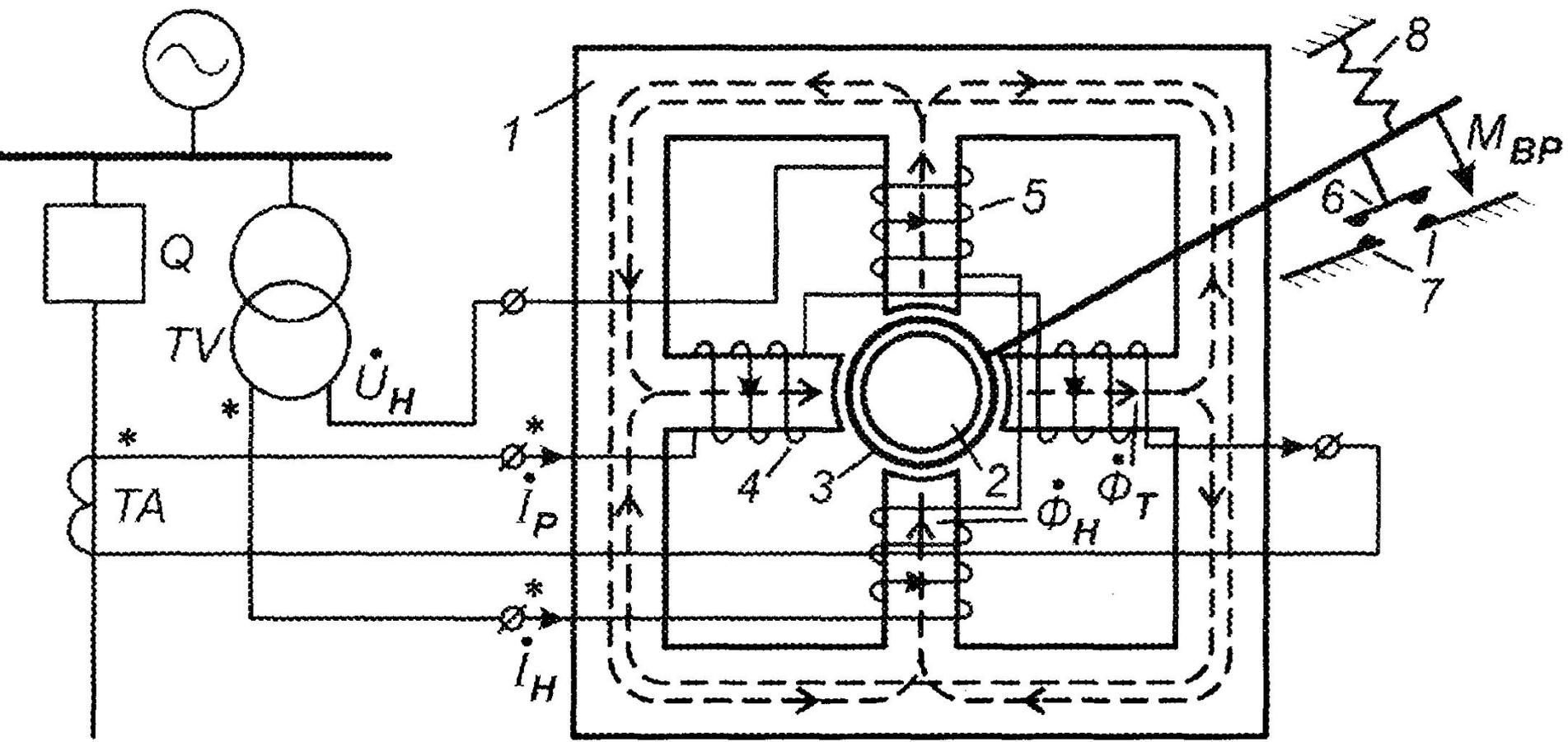
$$t_{C32} \prec t_{C34} \prec t_{C36}$$

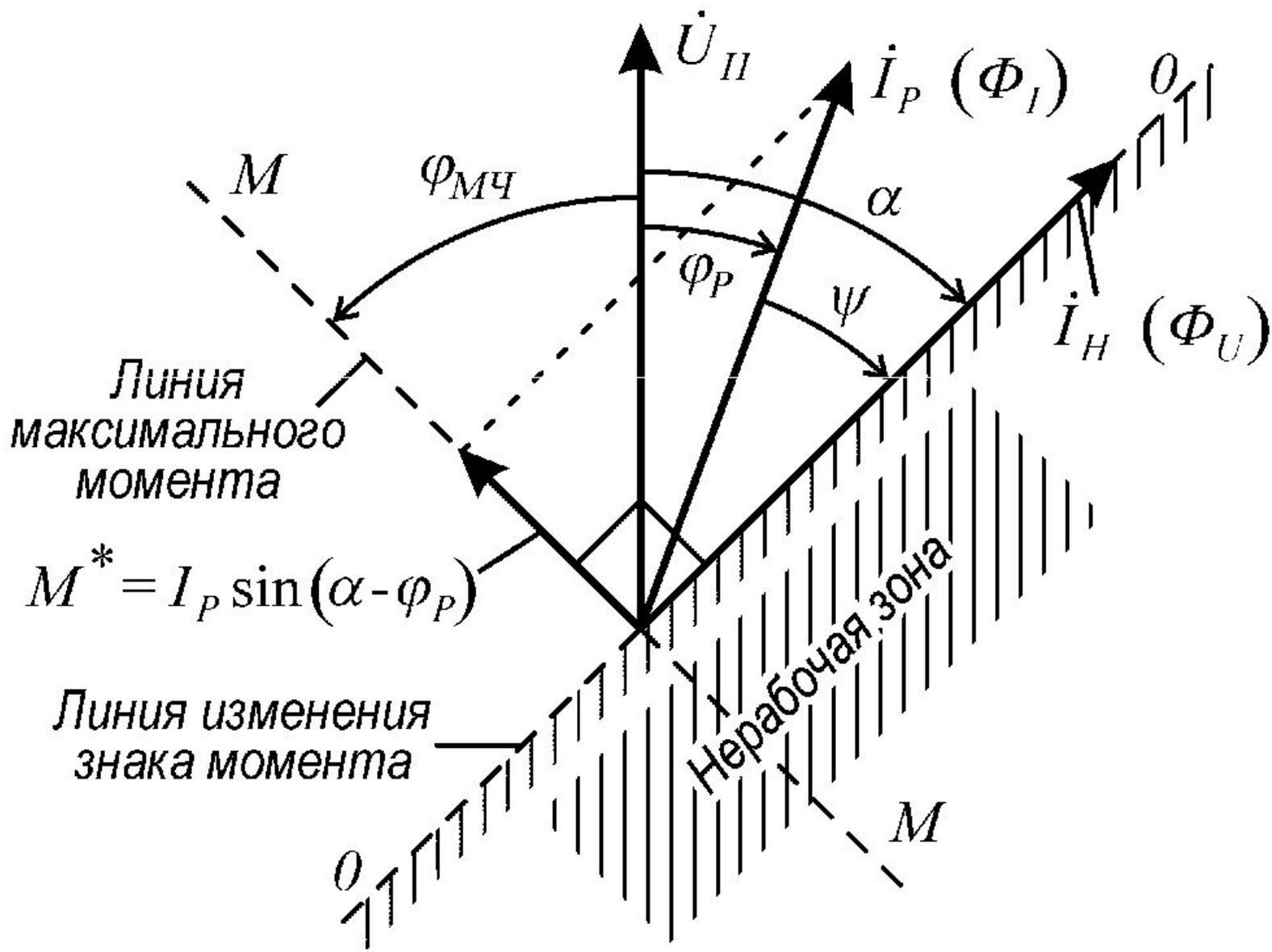
При КЗ в точке К2:

$$t_{C31} \succ t_{C31} \succ t_{C33} \quad \text{и} \quad t_{C34} \prec t_{C34} \prec t_{C36}$$

При КЗ в точке К3:

$$t_{C31} \succ t_{C33} \succ t_{C35}$$





$I_H = U_P / Z_H$ – ток, протекающий по поляризующей обмотке;

α – угол внутреннего сдвига реле, определяется индуктивным и активным сопротивлениями поляризующей обмотки;

ϕ_P – угол сдвига по фазе между током и напряжением, подведенными к обмоткам реле, зависит от внешних параметров сети;

ψ – угол между токами, протекающими по $I_P \angle I_H$ ($\Phi_T \angle \Phi_H$). $\psi = \alpha - \phi_P$.
обмоткам реле,

$$M_{\text{э}} = k \Phi_H \Phi_T \sin \psi, \quad \Phi_H \cong I_H \cong U_P, \quad \Phi_T \cong I_P, \quad \psi = \alpha - \phi_P$$

$$M_{\text{э}} = k_1 U_P I_P \sin(\alpha - \phi_P) = k_1 S_P,$$

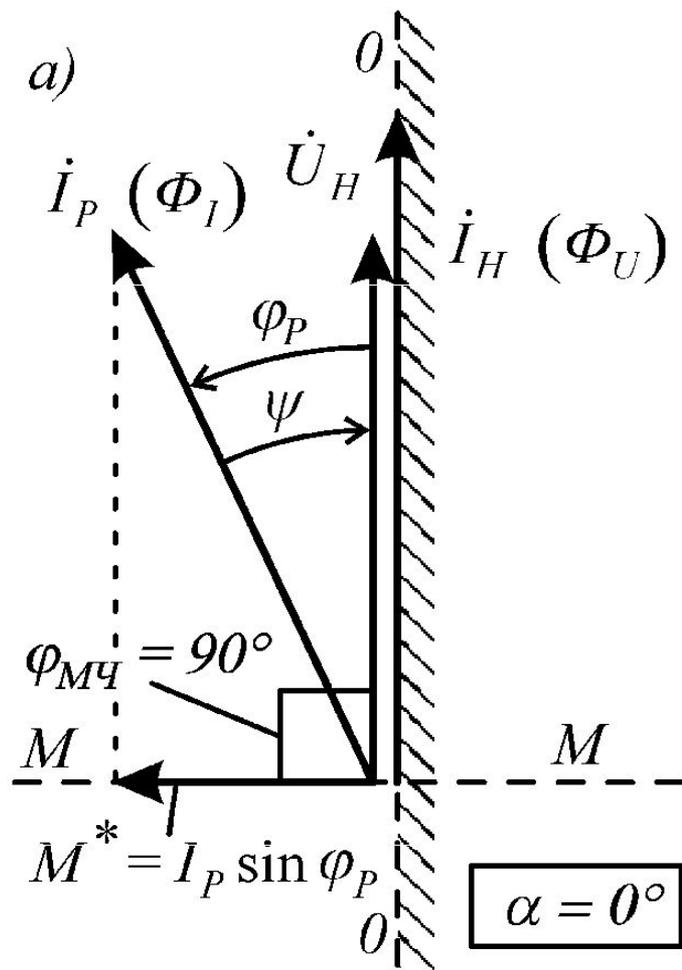
$S_P = U_P I_P \sin(\alpha - \phi_P)$ – мощность, подведенная к реле.

Электромагнитный момент $M_{\text{Э}}$ положителен, когда $\psi = \alpha - \phi_{\text{Р}}$ – в пределах от 0 до 180° .

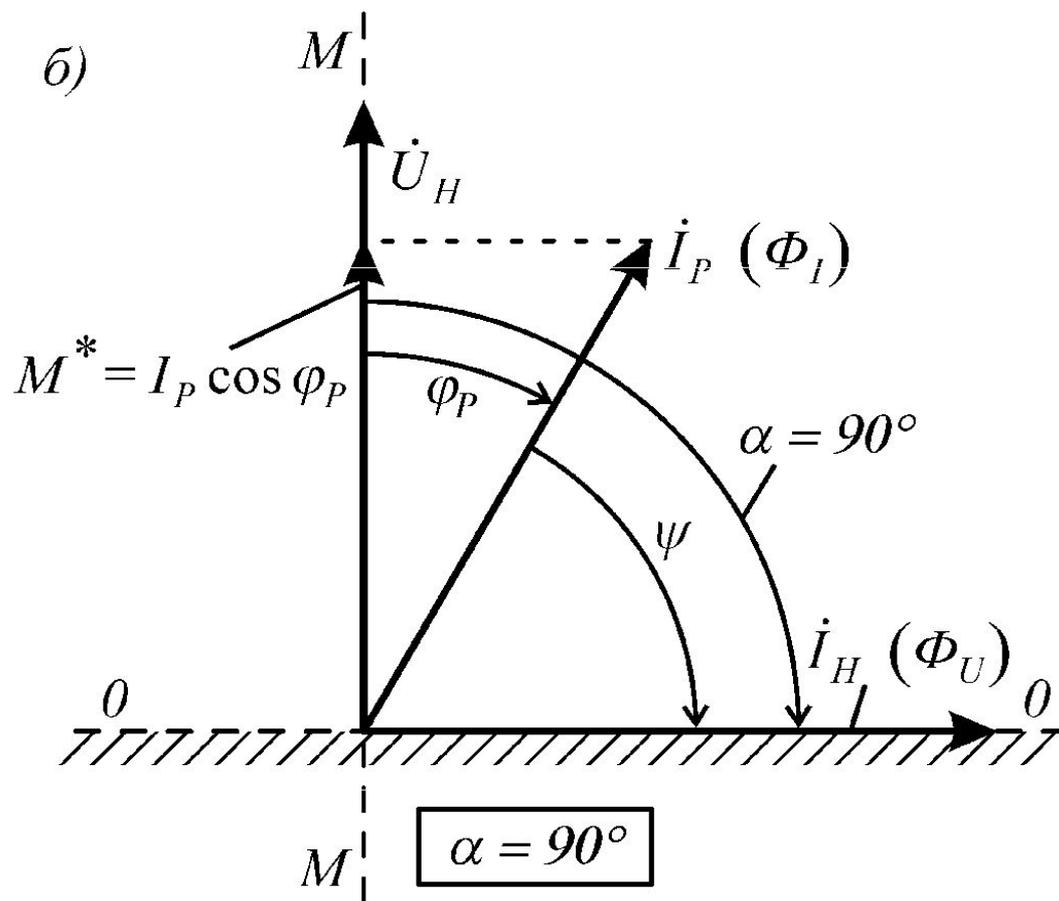
Момент $M_{\text{Э}}$ отрицателен, когда ψ – от 180 до 360° .

При $\alpha - \phi_{\text{Р}} = 90^\circ$ – $M_{\text{Э}}$ максимален.

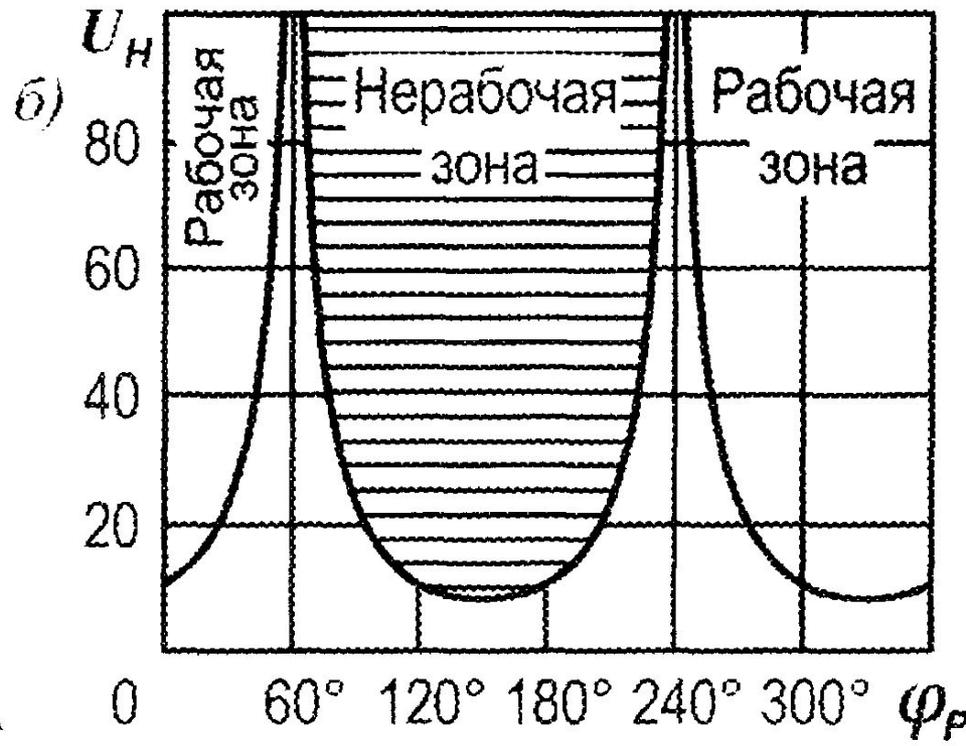
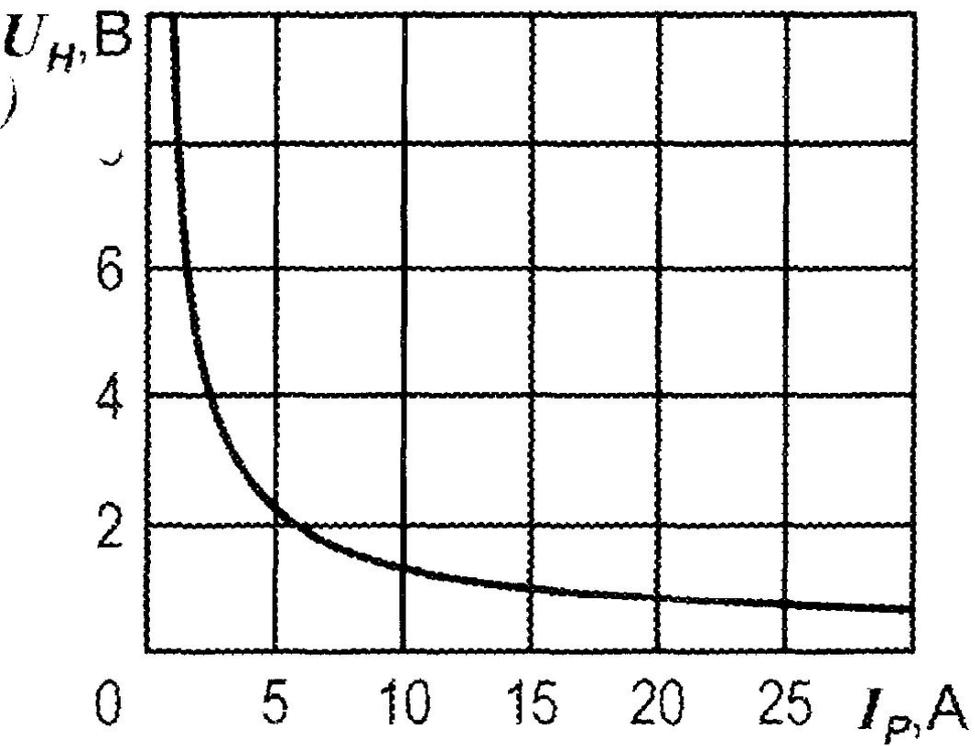
Угол, при котором $M_{\text{Э}}$ максимален, обозначается $\phi_{\text{М.ч.}}$ – угол максимальной чувствительности, $\phi_{\text{М.ч.}} = \alpha - 90^\circ$.

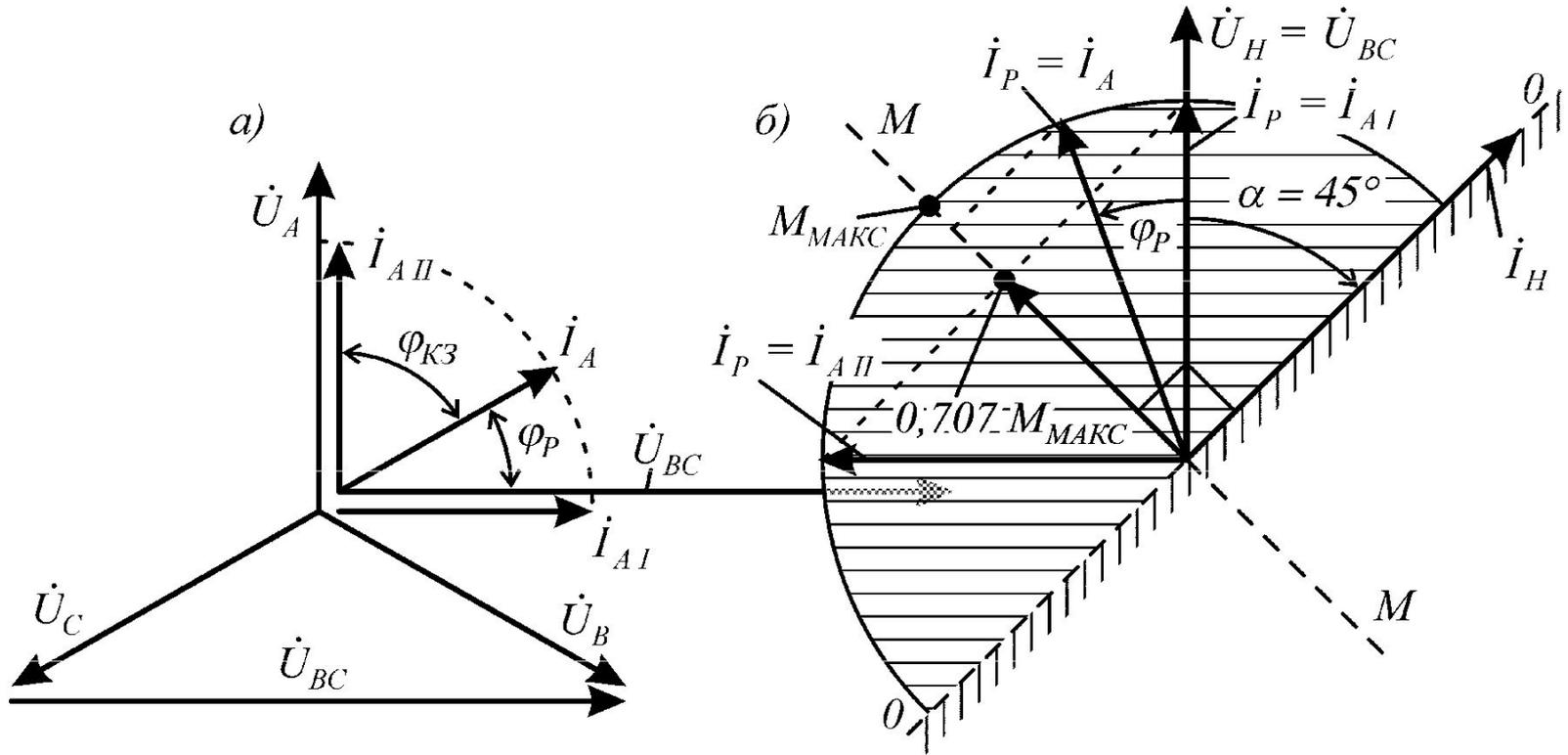


$$M_{\dot{U}} = k_1 U_P I_P \sin(\varphi_P),$$

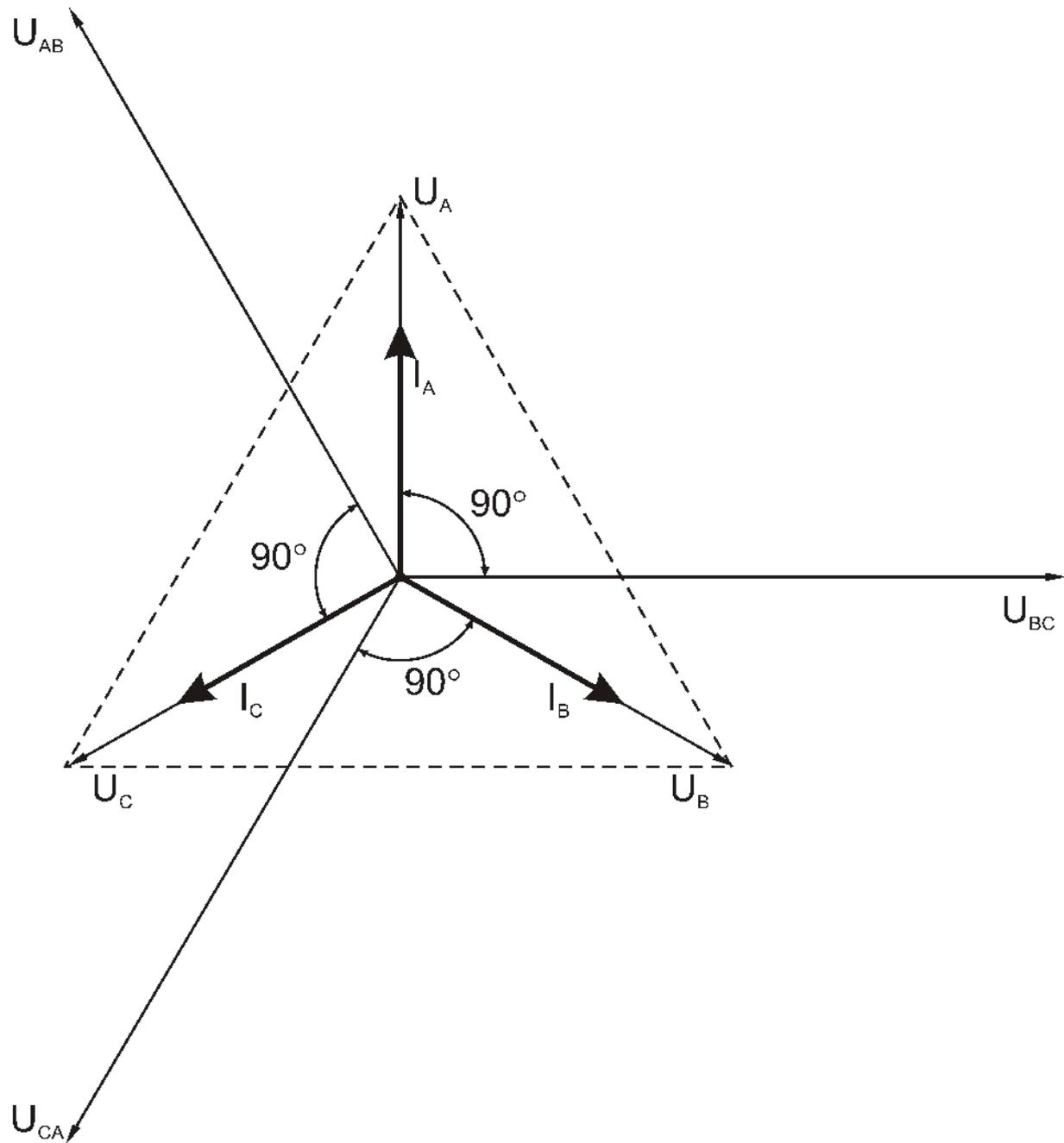


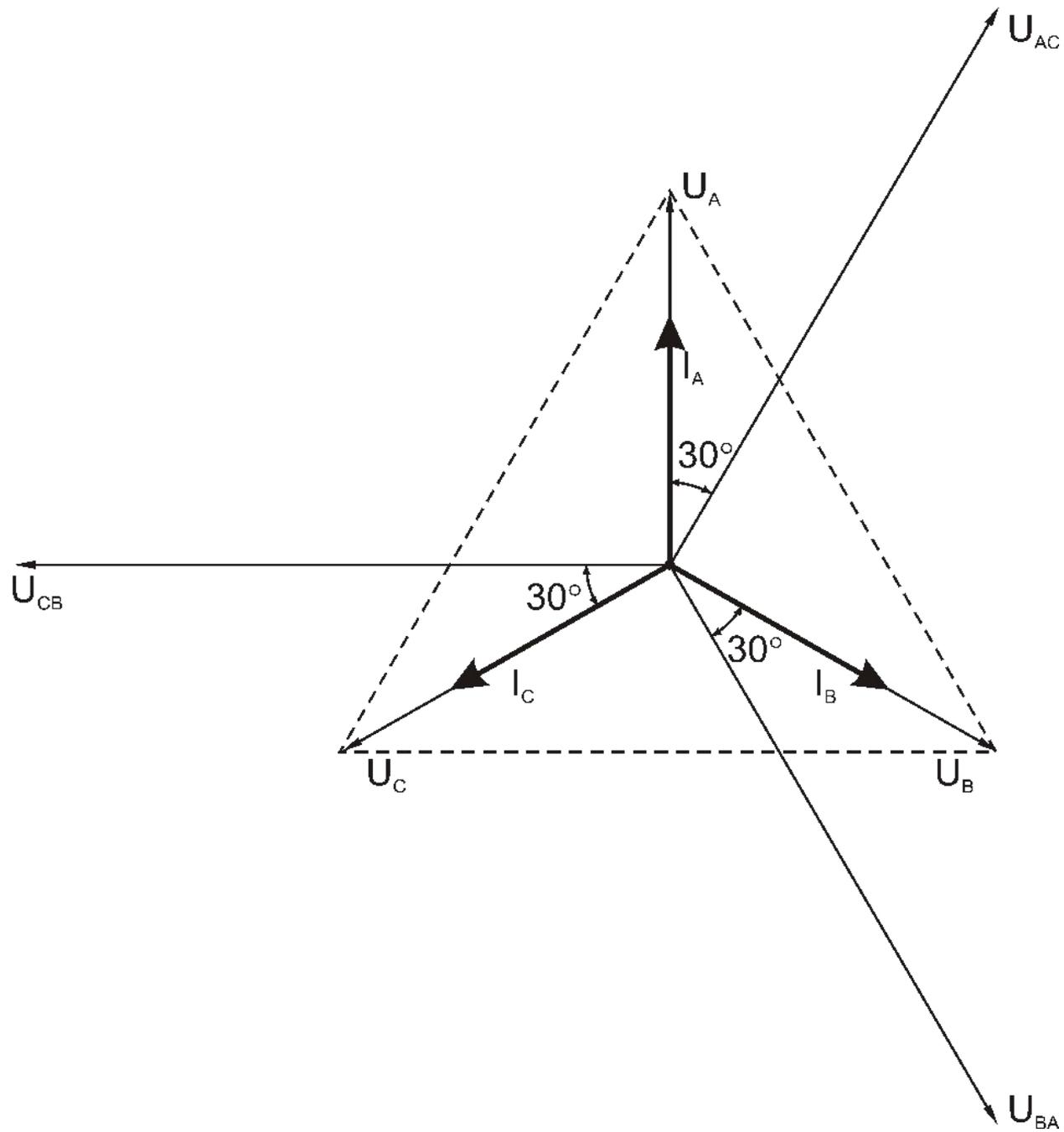
$$M_{\dot{U}} = k_1 U_P I_P \sin(90^\circ - \varphi_P) = k_1 U_P I_P \cos \varphi_P,$$

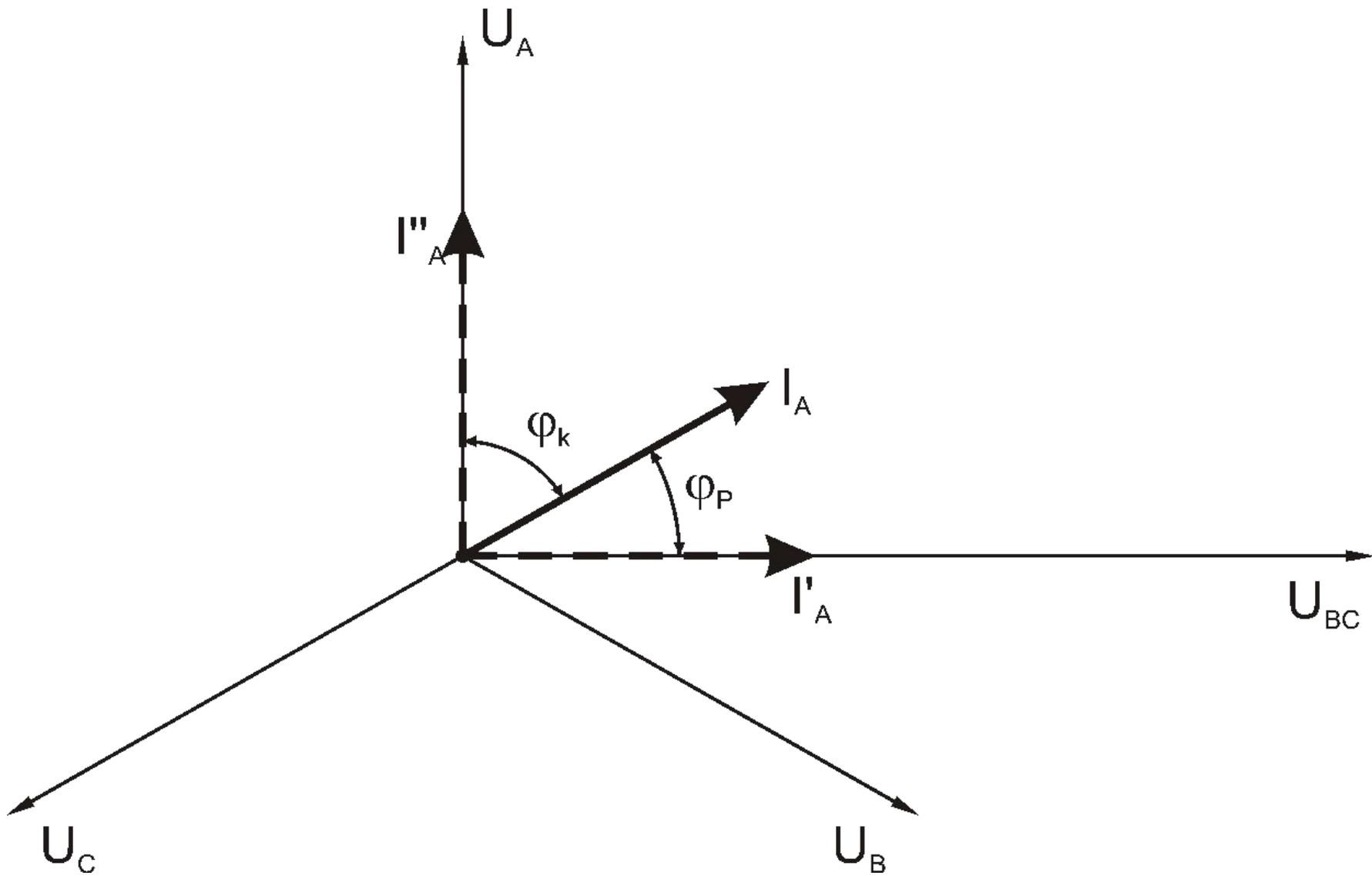




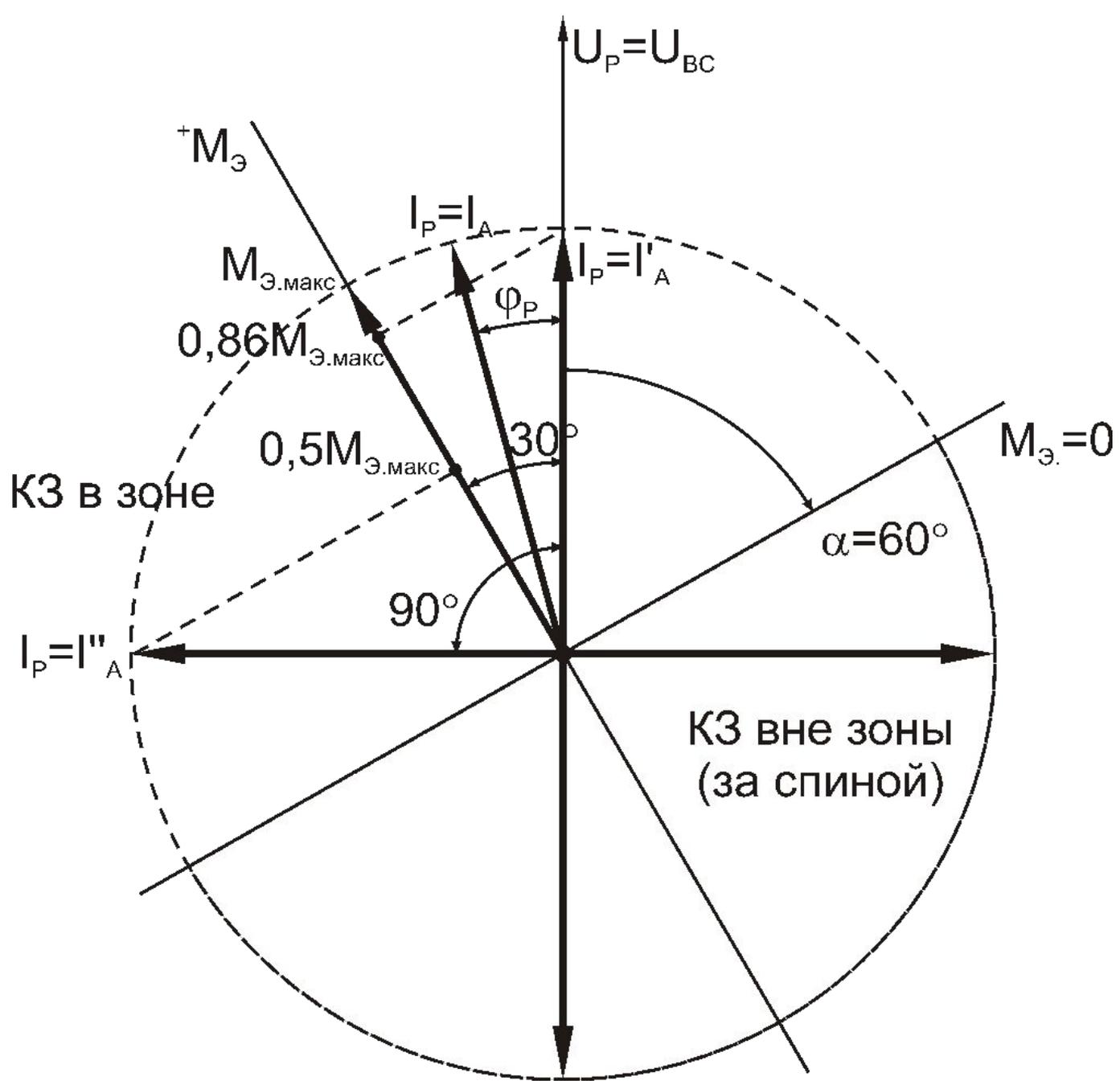
	90° схема		30° схема	
Рел е	I_P	U_P	I_P	U_P
1	I_A	U_{BC}	I_A	U_{AC}
2	I_B	U_{CA}	I_B	U_{BA}
3	I_C	U_{AB}	I_C	U_{CB}







Трёхфазное КЗ на линии



1. МТЗ необходимо отстраивать от максимальных рабочих токов

$$I_{СЗ} = \frac{k_3}{k_B} \cdot I_{СЗП} = \frac{k_3 \cdot k_{СЗП}}{k_B} \cdot I_{РАБ МАХ} .$$

2. Отстройка от токов, возникающих в неповрежденных фазах при КЗ на землю в сети с глухозаземленной нейтралью.

$$I_{СЗ} = k_3 \cdot I_{НФ} ,$$

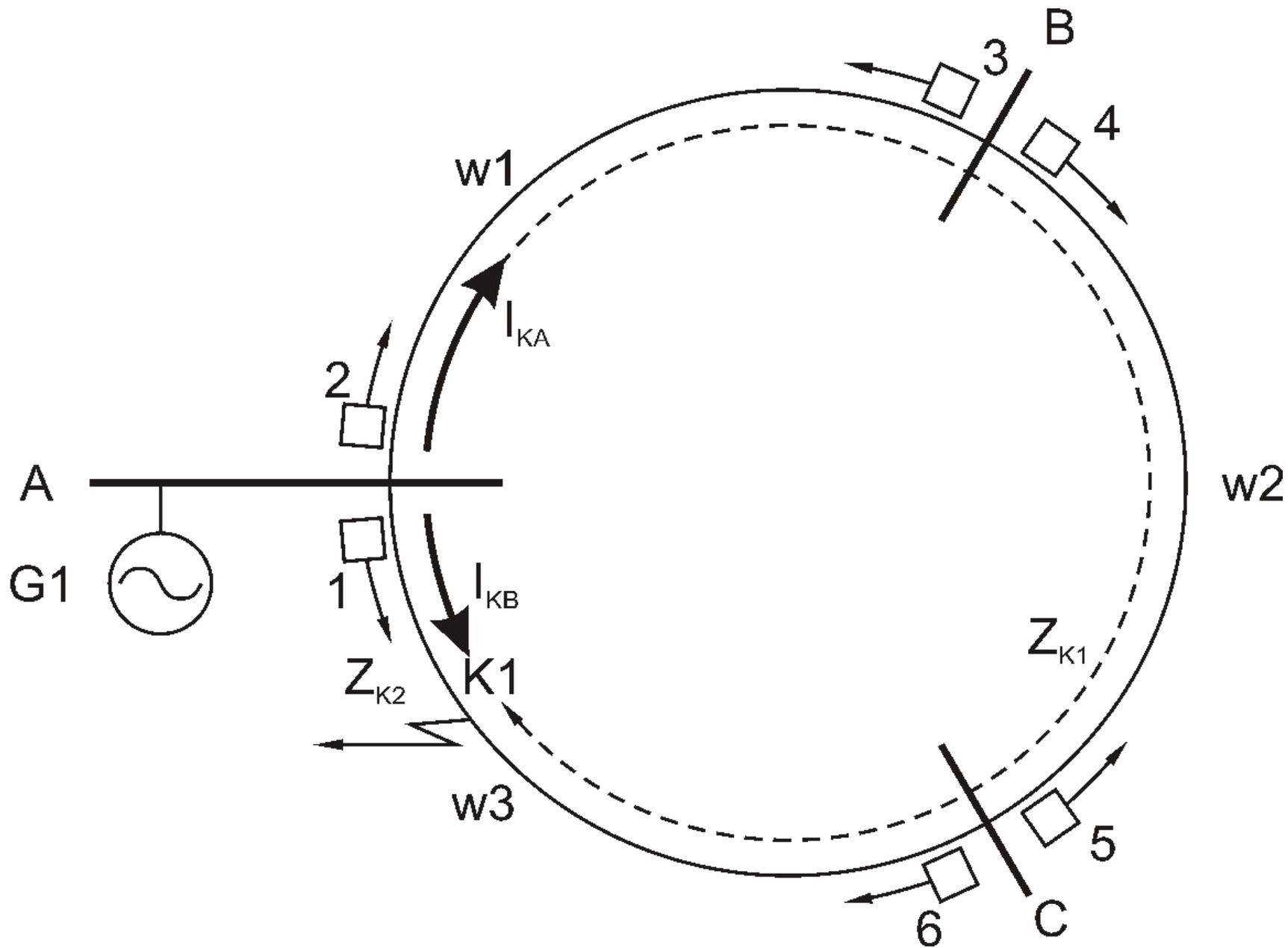
где k_3 – коэффициент запаса ($k_3 = 1,15 \div 1,3$):

$$I_{НФ} = I_{РАБ МАХ} + k_0 \cdot I_{К0} \quad \text{– максим-}$$

мальное значение тока в неповрежденной фазе; k_0 – доля тока КЗ в неповрежденной фазе $k_0 < 1$; $I_{К0}$ – максимальное значение тока при однофазном или двухфазном КЗ на землю.

$$\begin{aligned}t_{\text{СЗ}1} &= t_{\text{СЗ}3} + \Delta t; t_{\text{СЗ}3} = t_{\text{СЗ}5} + \Delta t; t_{\text{СЗ}5} = t_{\text{СЗН}4} + \Delta t; \\t_{\text{СЗ}6} &= t_{\text{СЗ}4} + \Delta t; t_{\text{СЗ}4} = t_{\text{СЗ}2} + \Delta t; t_{\text{СЗ}2} = t_{\text{СЗН}1} + \Delta t.\end{aligned}$$

$t_{\text{СЗН}1}$ и $t_{\text{СЗН}4}$ – время срабатывания защит, установленных на присоединениях Н1 и Н4 соответственно.



Пояснение к рисунку

Рассмотрим действие защит в представленной сети при КЗ

в точке **К1**:

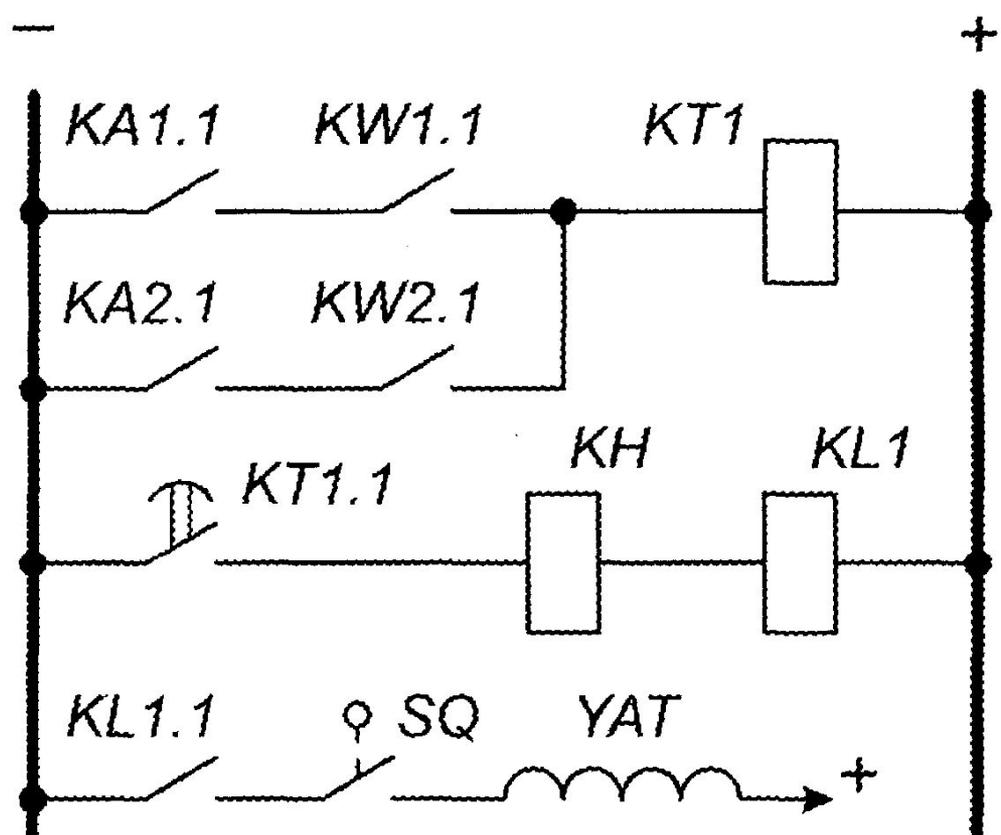
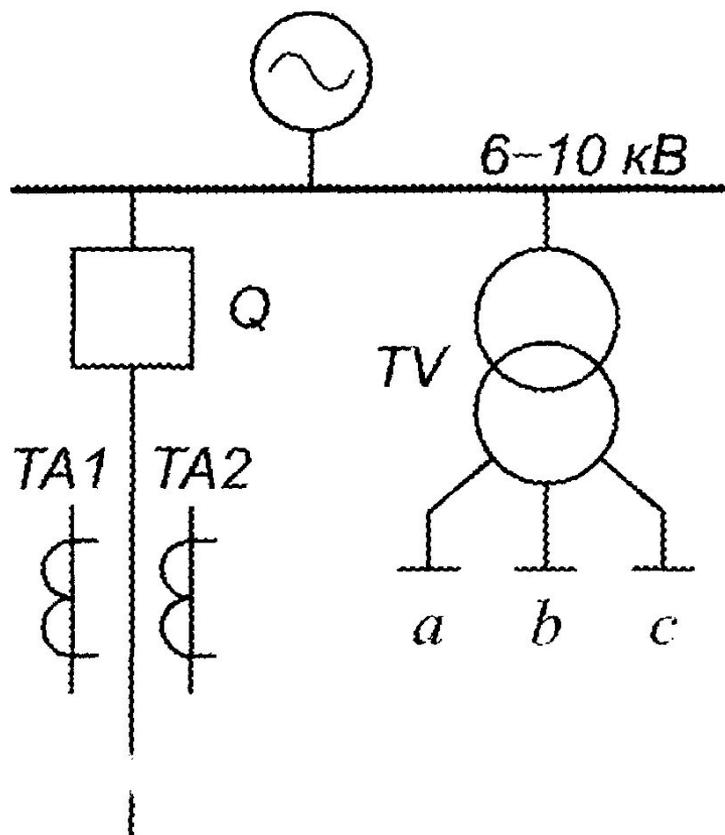
$$\frac{I_{КА}}{I_{КВ}} = \frac{Z_{К2}}{Z_{К1}}, \text{ отсюда следует, что } I_{КВ} \gg I_{КА}.$$

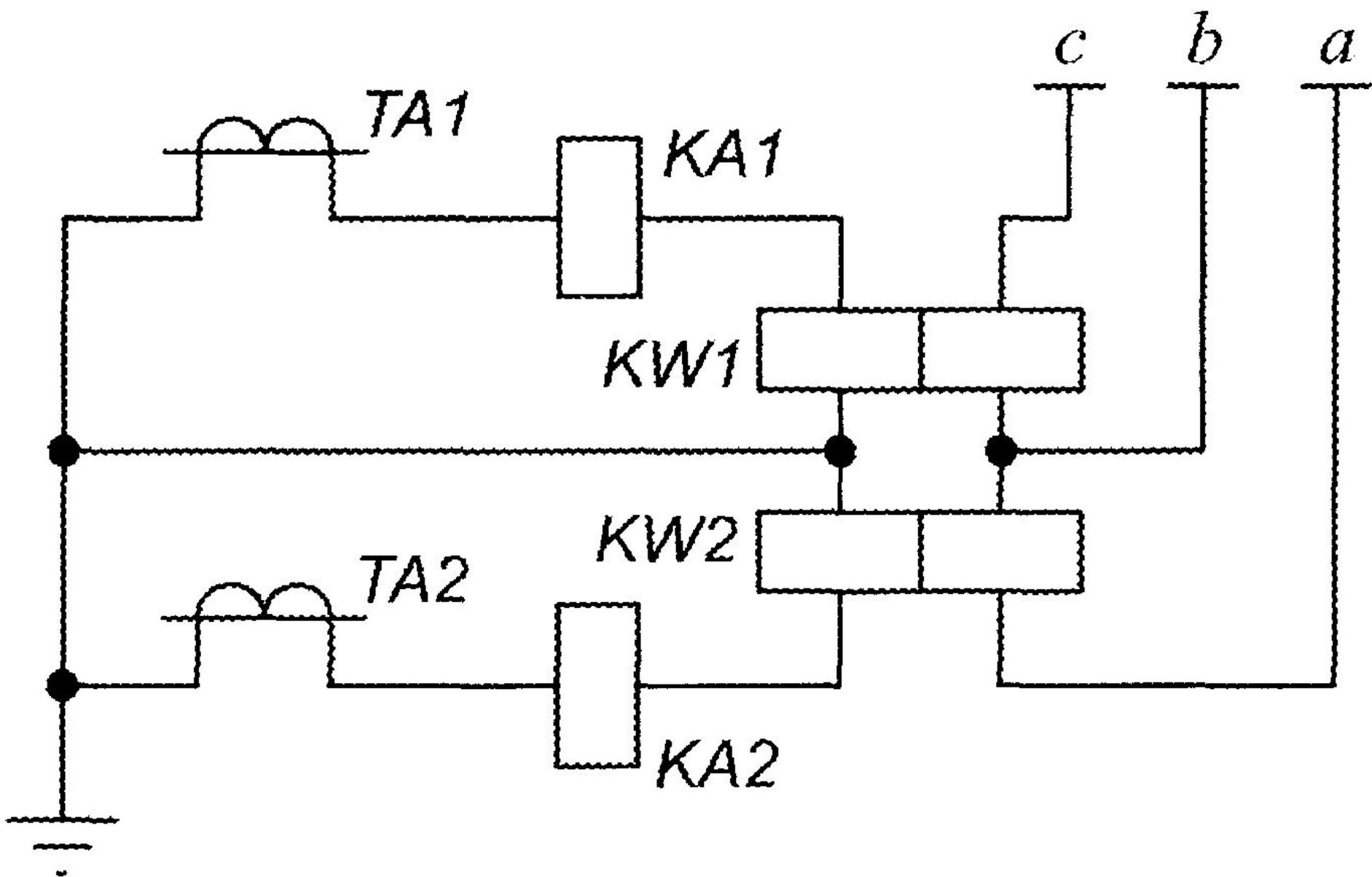
Короткое замыкание должно быть устранено срабатыванием защит 1 и 6.

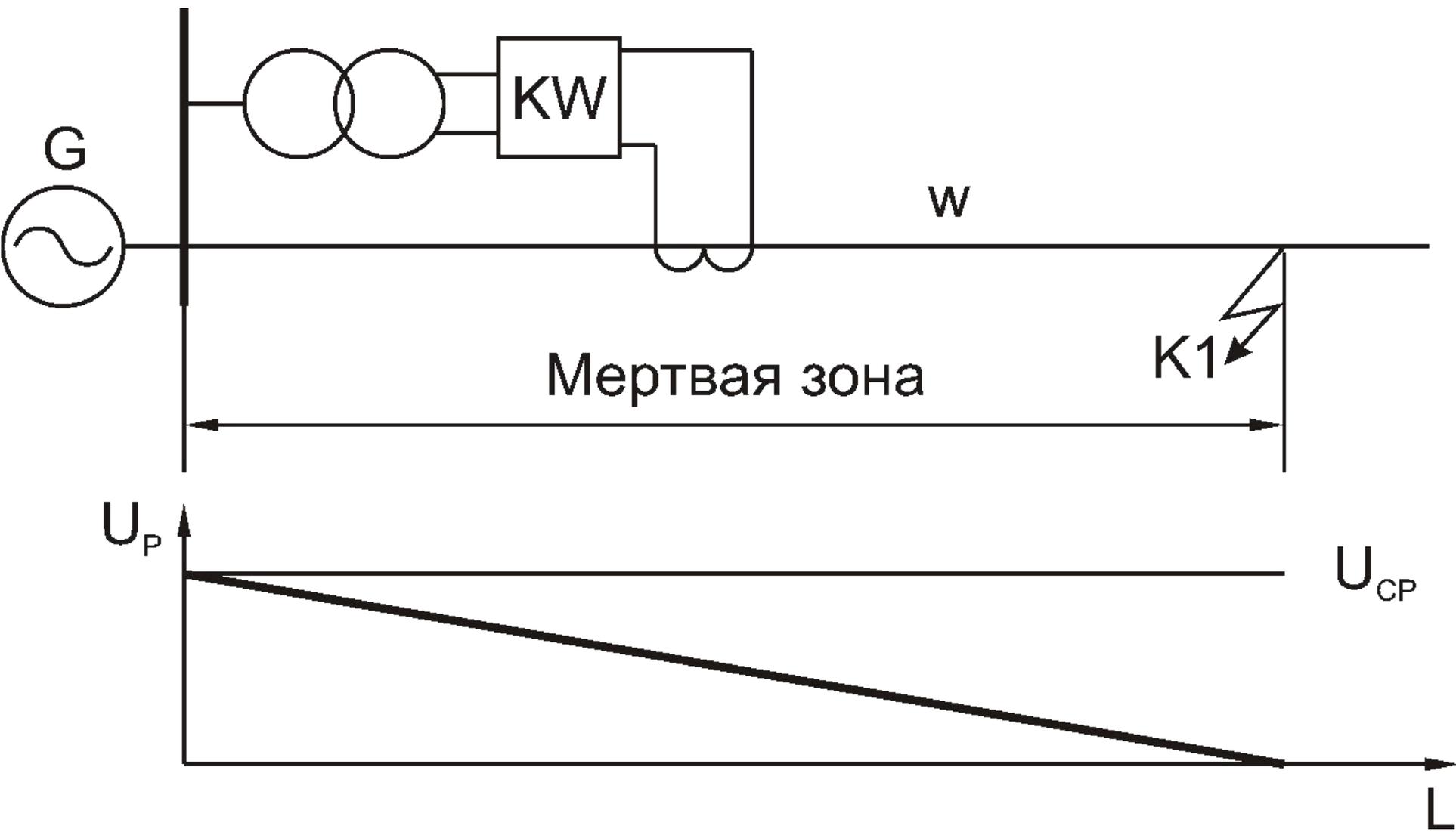
. Однако действие защит будет каскадным. $I_{КВ} > I_{с.3.1}$, $I_{КА} < I_{с.3.6}$ вначале сработает защита 1, после отключения выключателя 1 ток $I_{КА}$ резко возрастет, превысив $I_{с.3.6}$ – сработает защита 6.

$$I_{с.3.6} < I_{с.3.4} < I_{с.3.2}$$

Разница в величине тока срабатывания двух смежных защит должна составлять 10%.







$$U_{CP} = \frac{S_{CP}}{I_{PK} \cdot \sin(\alpha - \varphi_P)}$$

Здесь I_{PK} – значение тока в токовой катушке реле при повреждении в начале контролируемого объекта (в месте установки защиты); φ_P – угол между векторами тока и напряжения, подведенными к реле.

При 90-градусной схеме включения реле $\varphi_P = -(90^\circ - \varphi_{K3})$. Угол φ_{K3} между векторами тока и напряжения в первичной цепи определяется соотношением удельных реактивного ($x_{уд}$) и активного ($r_{уд}$) сопротивлений контролируемого объекта:

$$\varphi_{K3} = \arctg\left(\frac{x_{уд}}{r_{уд}}\right)$$

Первичное фазное напряжение срабатывания реле:

$$U_{C3\Phi} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3}} \cdot k_{TH},$$

Сопротивление мертвой зоны:

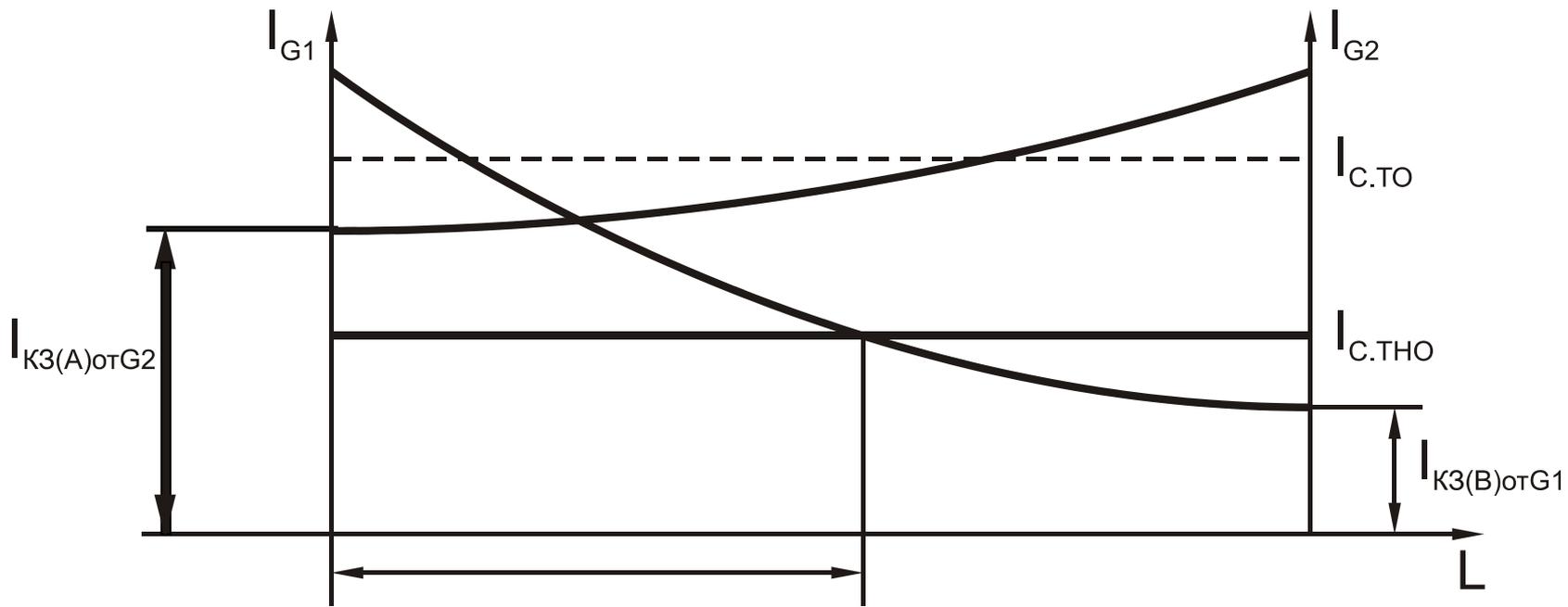
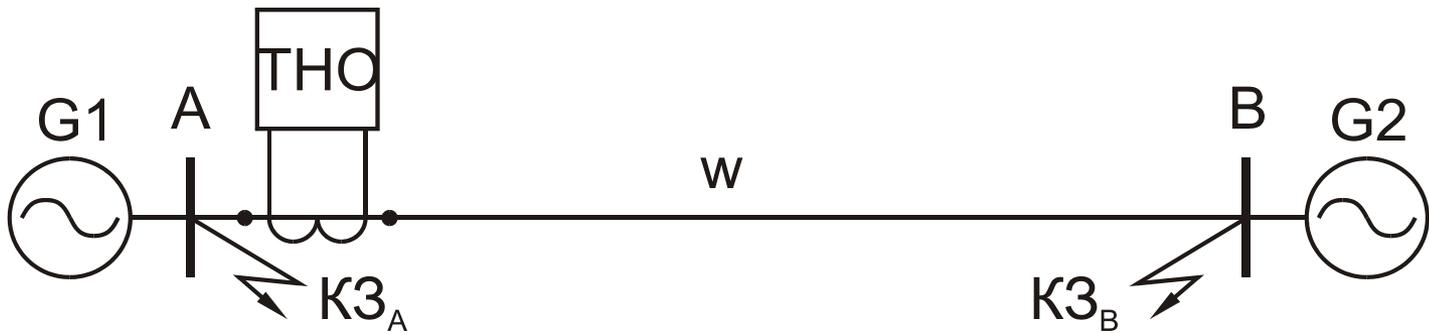
$$z_M = \frac{U_{C3\Phi}}{I_{K3}^{(3)}}$$

Здесь $I_{K3}^{(3)}$ – значение первичного тока в месте установки защиты при трехфазном КЗ в начале контролируемого объекта (в месте установки защиты).

Тогда протяженность мертвой зоны:

$$\varnothing_M = \frac{z_M}{z_{уд}}$$

где $z_{уд} = \sqrt{x_{уд}^2 + r_{уд}^2}$ – удельное полное сопротивление контролируемого объекта.



Зона действия
отсечки

$I_{C.THO}$ - ток срабатывания токовой направленной отсечки

$I_{C.TO}$ - ток срабатывания обычной токовой отсечки