

Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

Тема:

Токовые защиты

Схемы защит

Принципиальная (полная) схема дает полное представление об электрическом устройстве данного прибора. На принципиальной схеме в виде условных графических обозначений показываются все электрические элементы, входящие в состав прибора.

Структурные схемы, не выявляя существа работы, показывают лишь структуру устройства и взаимосвязь между отдельными частями. Структурные схемы устройств РЗА разбиваются на отдельные части, которые изображаются в виде прямоугольников с соответствующими обозначениями.

Схемы защит

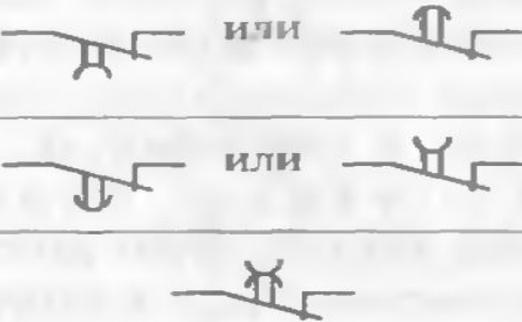
Функциональная схема помогает понять процессы, происходящие в отдельных узлах (блоках) устройства. Она является переходной от структурной к принципиальной. На ней подробно изображаются те части, которые необходимы для понимания описываемых процессов, а второстепенные элемент или узлы изображаются в виде прямоугольников.

Монтажная схема – это схема, которая показывает внешние и внутренние соединения между конструктивно законченными узлами изделия. На монтажных схемах реле, приборы, зажимы и соединяющие их провода располагаются, как на панели, и маркируются.

Графические обозначения реле и контактов

Наименование	Обозначение
Обмотка реле	
Контакты замыкающие: без выдержки времени с выдержкой времени: на замыкание на размыкание на размыкание и замыкание	  или   или   или 
Контакты размыкающие: без выдержки времени	

Графические обозначения реле и контактов

Наименование	Обозначение
<p>с выдержкой времени:</p> <p>на размыкание</p> <p>на замыкание</p> <p>на размыкание и замыкание</p>	 <p>The diagrams show three types of time delay symbols: 1) a normally open contact with a horizontal line above it and a vertical line below it, with a horizontal line extending from the vertical line to a vertical bar; 2) a normally closed contact with a horizontal line above it and a vertical line below it, with a horizontal line extending from the vertical line to a vertical bar; 3) a change-over contact with a horizontal line above it and a vertical line below it, with a horizontal line extending from the vertical line to a vertical bar.</p>
Контакты переключающие	 <p>The diagram shows a switching contact symbol, which is a horizontal line with a vertical line extending from its right end to a vertical bar.</p>
Контакты переключающие без размыкания цепи	 <p>The diagram shows a switching contact symbol with a small circle at the end of the vertical line, indicating that the circuit is not interrupted during switching.</p>
Контакты замыкающие и размыкающие без самовозврата	 <p>The diagrams show two types of latching contacts: 1) a normally open contact with a small circle at the end of the vertical line; 2) a normally closed contact with a small circle at the end of the vertical line.</p>
Контакты замыкающие кратковременно (импульсные)	 <p>The diagram shows an impulse contact symbol, which is a horizontal line with a vertical line extending from its right end to a vertical bar, with a small circle at the end of the vertical line.</p>
Контакты замыкающие и размыкающие путевого выключателя	 <p>The diagrams show two types of railway switch contacts: 1) a normally open contact with a small circle at the end of the vertical line; 2) a normally closed contact with a small circle at the end of the vertical line.</p>

Обозначение элементов на схемах РЗ

КА – реле тока.

КV – реле напряжения.

КТ – реле времени.

KL – промежуточное реле.

КН – указательное реле.

KW – реле мощности.

КF – реле частоты.

УАС – электромагнит включения.

УАТ – электромагнит отключения.

SQ – вспомогательный контакт выключателя.

Токовые защиты

Токовые защиты приходят в действие при увеличении тока в защищаемом элементе сверх определенного значения. В качестве реле, реагирующих на возрастание тока, служат максимальные токовые реле.

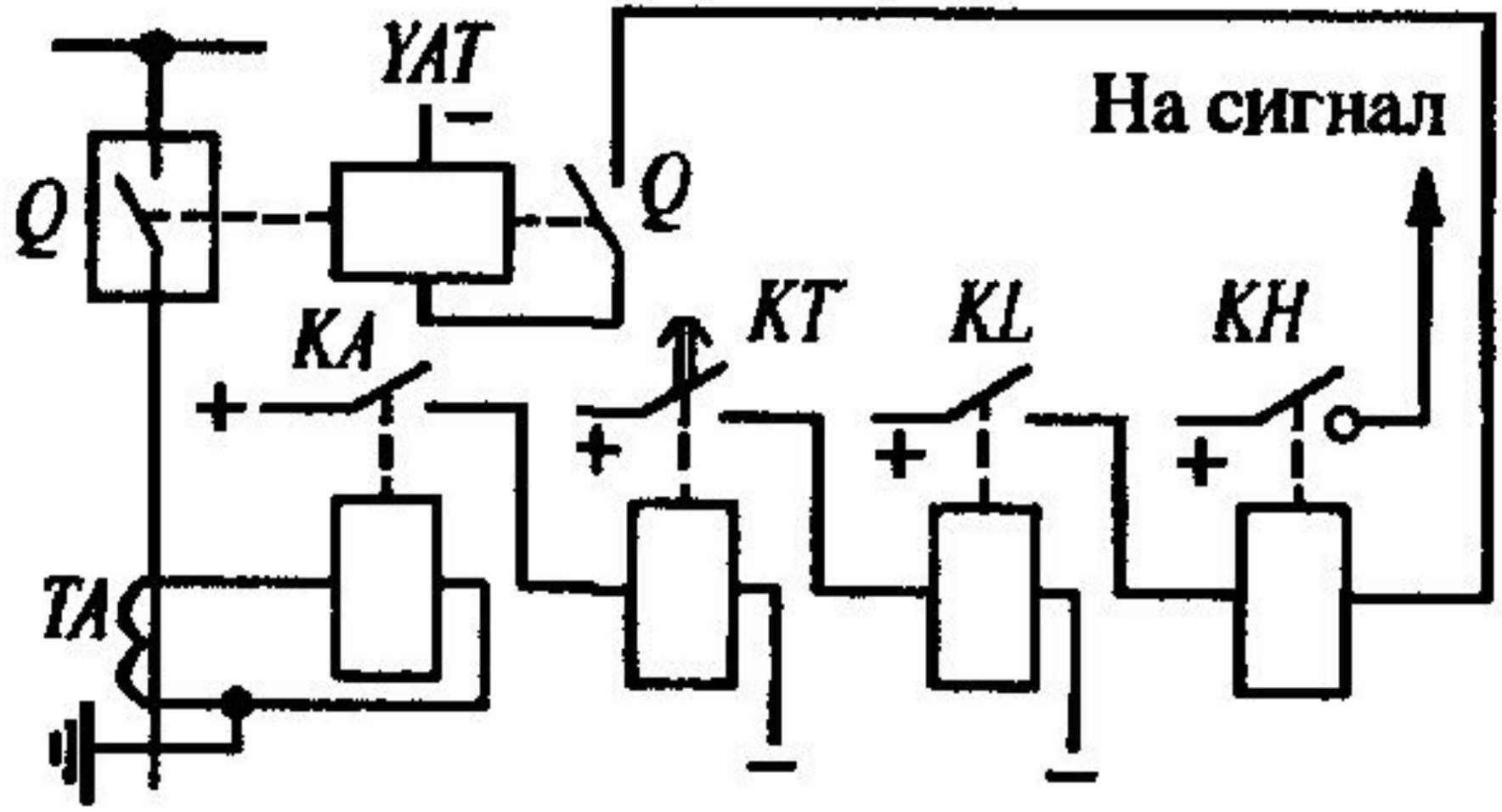
Токовая защита ЛЭП выполняется, как правило, трехступенчатой:

1-я ступень: токовая отсечка без выдержки времени (мгновенная токовая отсечка – МТО).

2-я ступень: токовая отсечка с выдержкой времени (ТО ВВ).

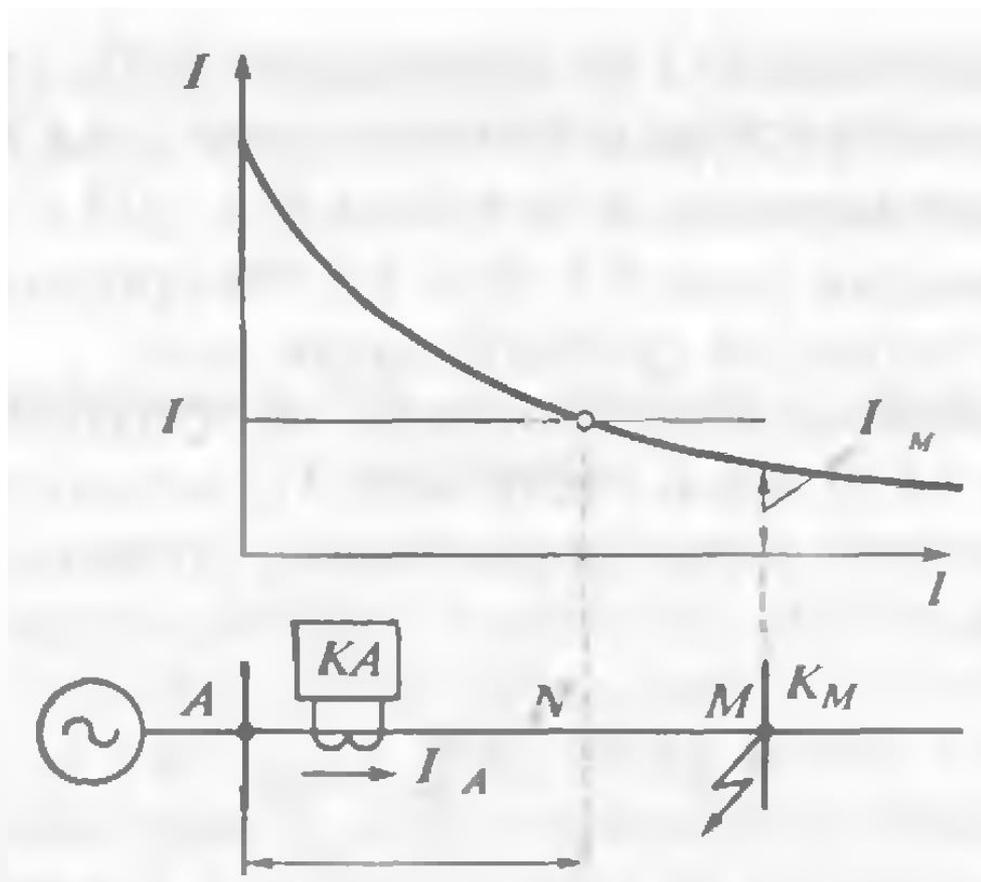
3-я ступень: максимальная токовая защита (МТЗ).

Структурная схема ТОКОВЫХ ЗАЩИТ



Токовая отсечка без выдержки времени

Токовые отсечки – это быстродействующие защиты максимального типа, селективность действия которых обеспечивается за счет ограничения зоны действия.



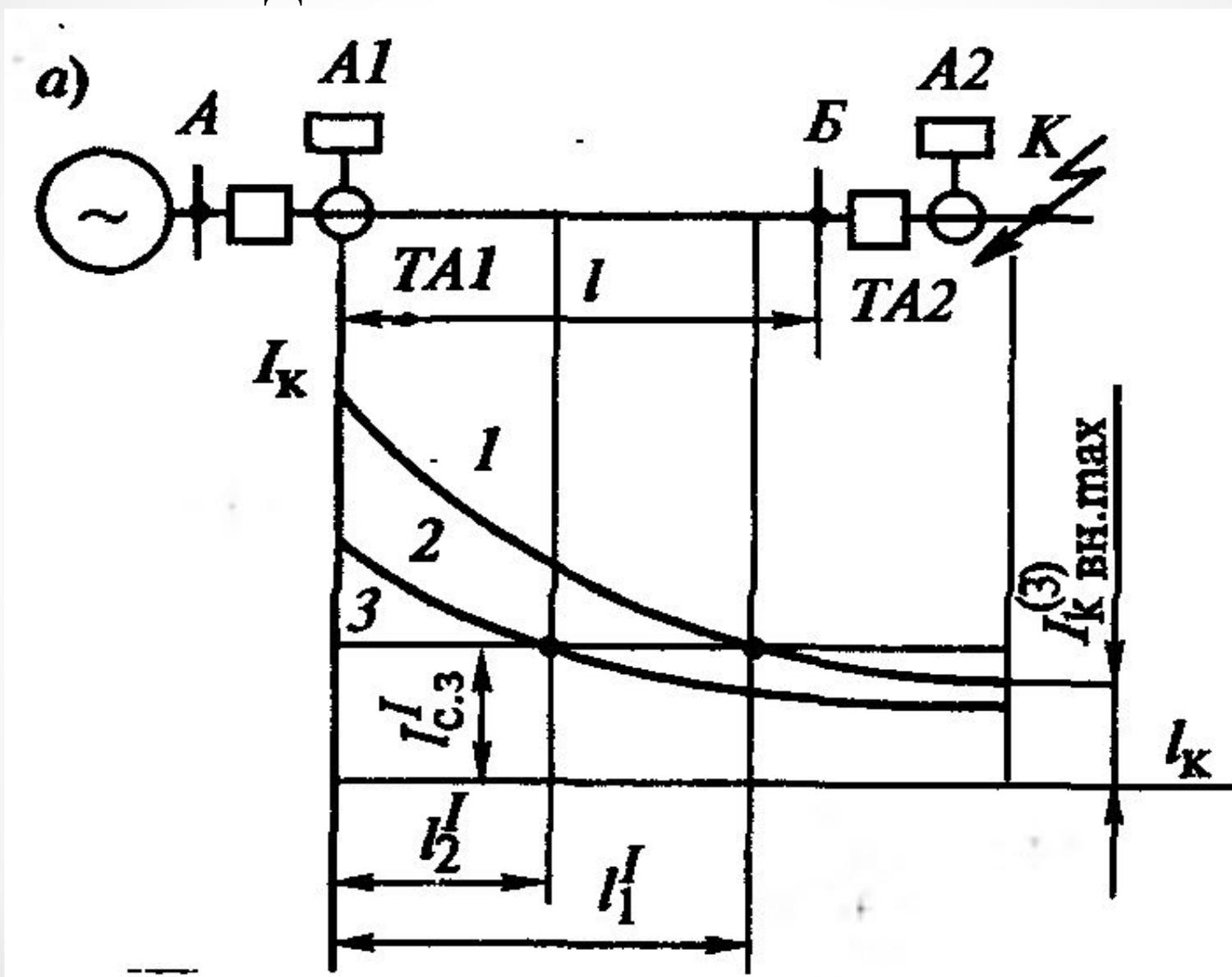
Выбор тока срабатывания токовой отсечки для радиальной линии с односторонним питанием

$$I_{с.з.}^I = k_{отс}^I I_{к.вн\ max}^{(3)}$$

$$I_{с.р.}^I = k_{отс}^I k_{сх}^{(3)} I_{к.вн\ max}^{(3)} / K_I$$

где $I_{с.з.}^I, I_{с.р.}^I$ – ток срабатывания защиты и реле первой ступени комплекта токовых защит, соответственно; $k_{отс}^I$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность в расчете тока КЗ, погрешность реле и наличие апериодической составляющей тока КЗ; $I_{к.вн\ max}^{(3)}$ – начальное действующее значение периодической составляющей тока внешнего КЗ при КЗ на шинах подстанции Б; $k_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы для трехфазного КЗ; K_I – коэффициент трансформации.

Зоны действия токовой отсечки



Чувствительность токовой отсечки

$$l_1^I = \frac{1}{k_{\text{отс}}^I} \left[l - \frac{(k_{\text{отс}}^I - 1)X_{1c}}{X_{1\text{лг}}} \right] \quad l_2^I = \frac{1}{k_{\text{отс}}^I} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} l - \frac{\left(k_{\text{отс}}^I - \frac{\sqrt{3}}{2} \right) X_{1c}}{X_{1\text{лг}}} \right]$$

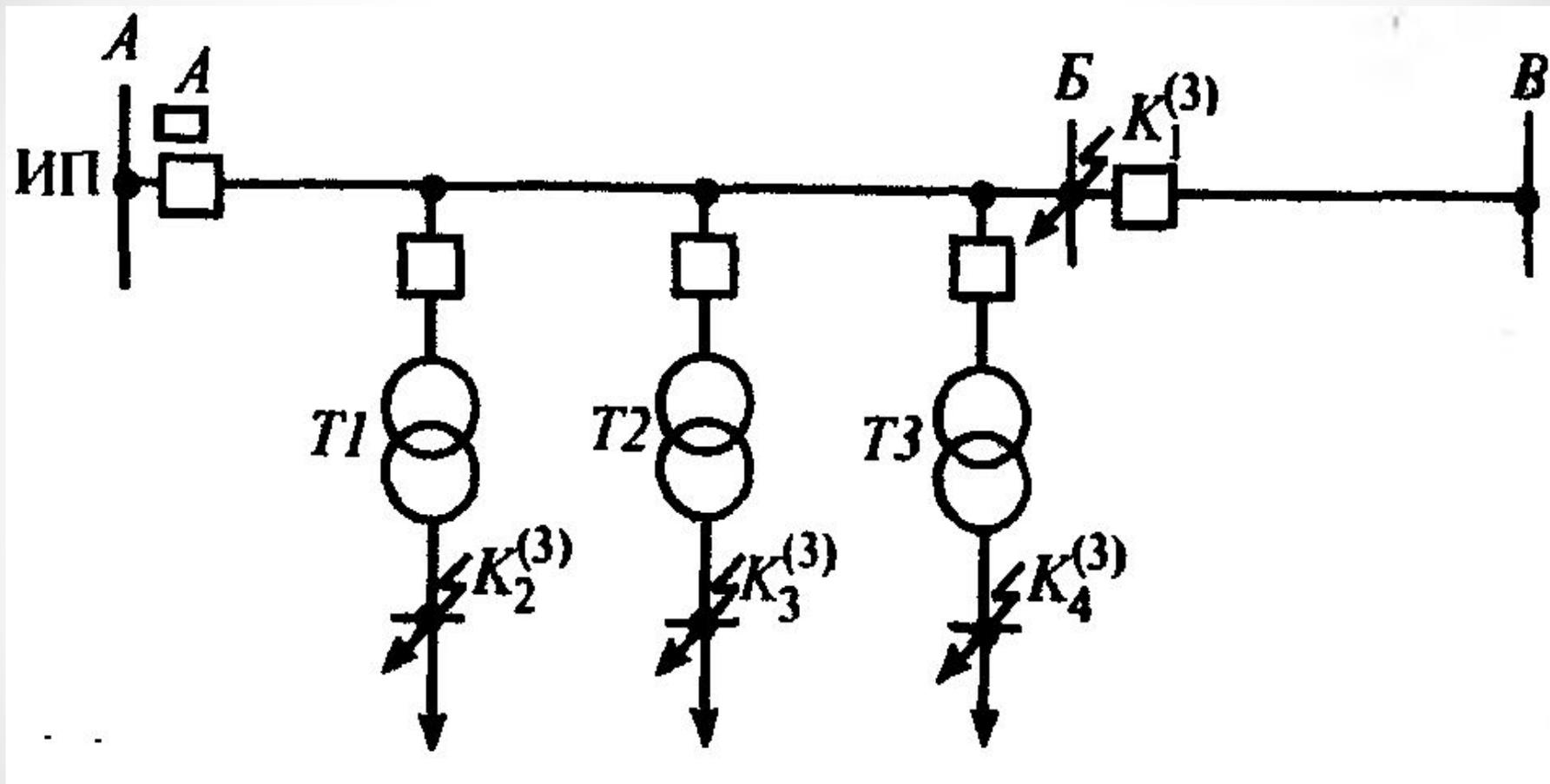
где X_{1c} – сопротивление прямой последовательности системы; $X_{1\text{лг}}$ – погонное сопротивление прямой последовательности защищаемой линии. l_1^I соответствует трехфазному КЗ, l_2^I – двухфазному КЗ.

$$K_{\text{ч}}^I = I_{\text{к}}^{(2)} / I_{\text{с.з.}}^I$$

где $I_{\text{к}}^{(2)}$ – минимальный ток КЗ в конце защищаемой зоны (ток двухфазного КЗ при минимальном режима работы системы электроснабжения).

$$K_{\text{ч}}^I \geq 1,5$$

Выбор тока срабатывания токовой отсечки для магистральной линии

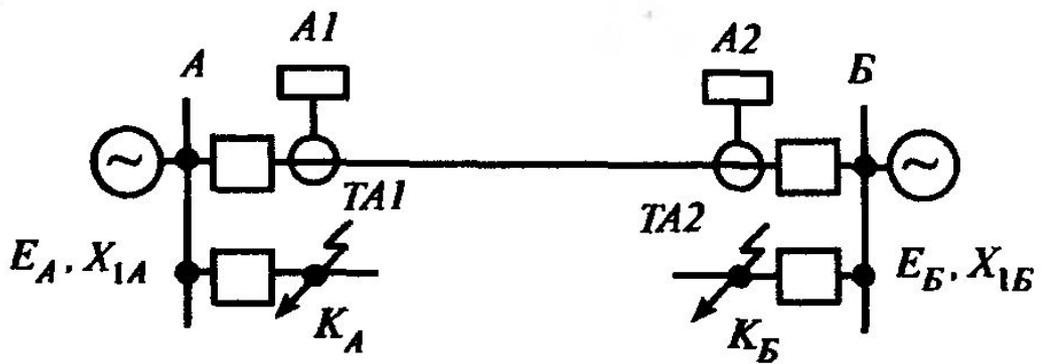


$$I_{\text{бр.нам}} = k \sum I_{\text{Т.НОМ}}$$

$$I_{\text{с.з.}}^I = k_{\text{отс}}^I I_{\text{бр.нам}}$$

Выбор тока срабатывания токовой отсечки для линии с двусторонним питанием

a)



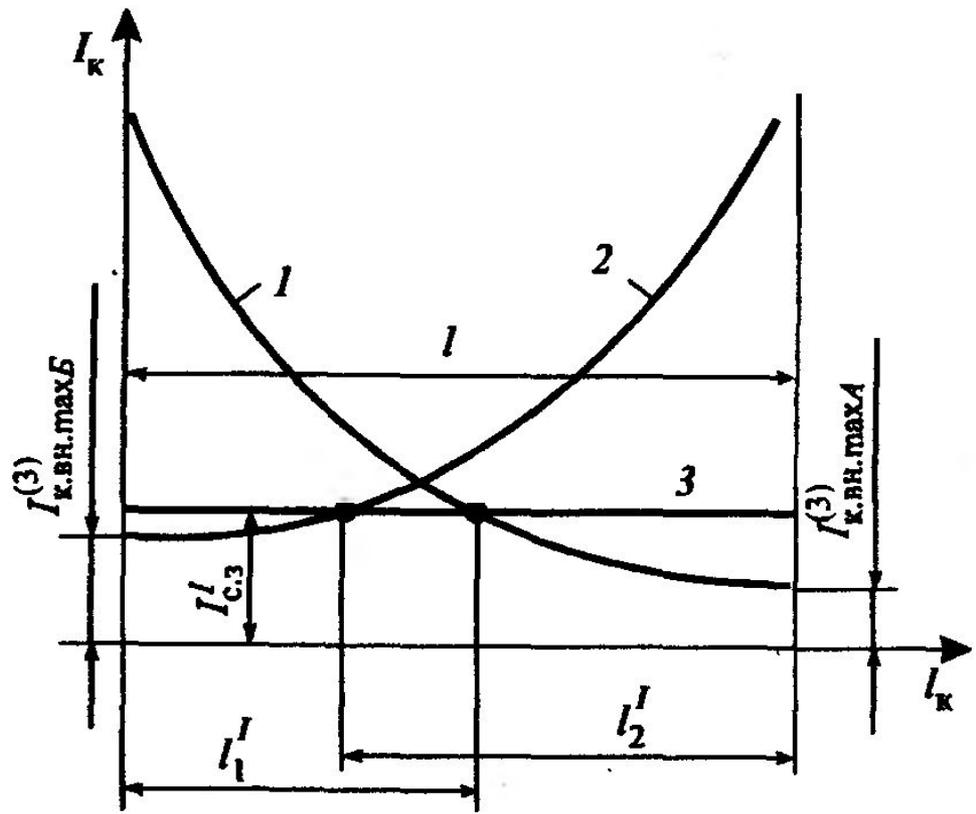
Первое условие:

$$I_{с.з.1}^I = I_{с.з.2}^I \geq k_{отс}^I I_{к.вн.махА(Б)}^{(3)}$$

Второе условие:

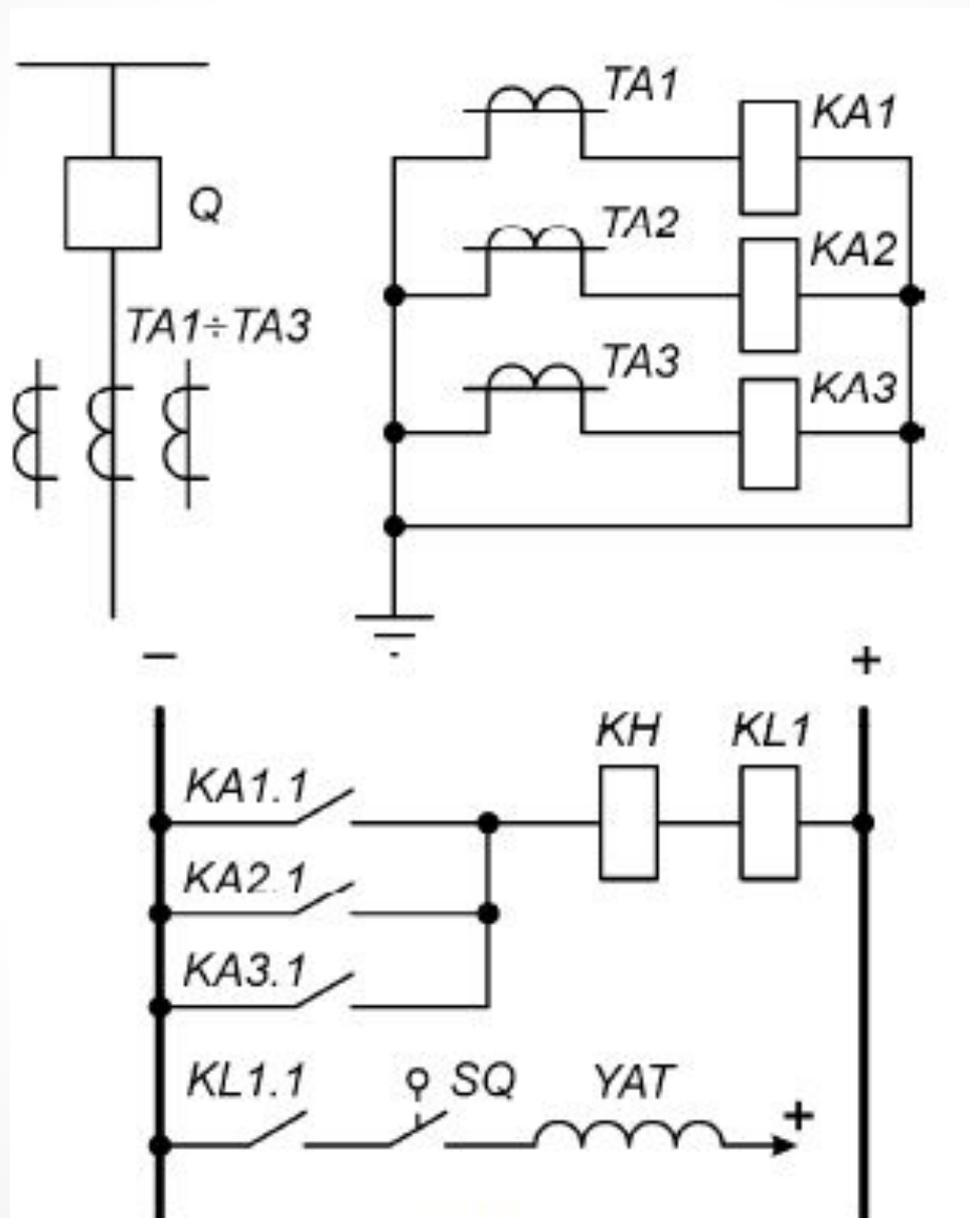
$$I_{с.з.1}^I = I_{с.з.2}^I \geq k_{отс}^I I_{ур.мах}$$

б)



в)

Схема токовой отсечки без выдержки времени



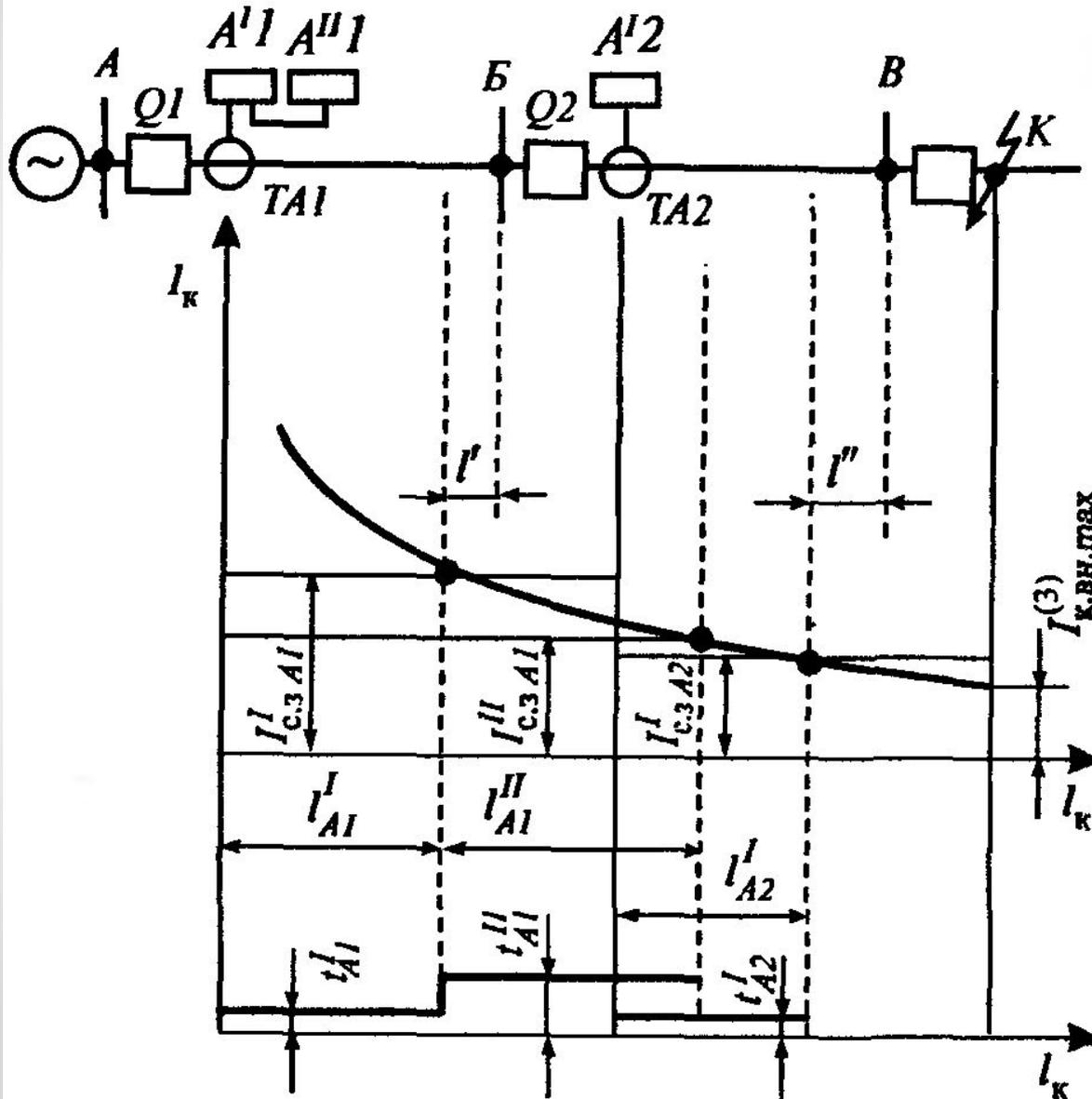
Токовая отсечка с выдержкой времени

Неселективные отсечки – это токовые защиты максимального типа, которые могут действовать при повреждениях не только в пределах контролируемого объекта, но и за его пределами. Селективность действия обеспечивается за счет ограничения зоны действия и введения выдержки времени.

Применяется в качестве 2-й ступени токовой защиты.

Основное назначение токовой отсечки с ВВ – обеспечение защиты всей линии и шины приемной подстанции совместно с первой ступенью токовой защиты.

Расчет токовой отсечки с выдержкой времени



Условие согласования отсечек по времени:

$$t_{A1}^{II} = t_{A2}^I + \Delta t$$

Ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.А1}^{II} = k_{отс}^{II} I_{с.з.А2}^I$$

Расчет токовой отсечки с выдержкой времени

Степень селективности:

$$\Delta t = t_{o.в.} + t_{п1} + t_{п2} + t_{зап}$$

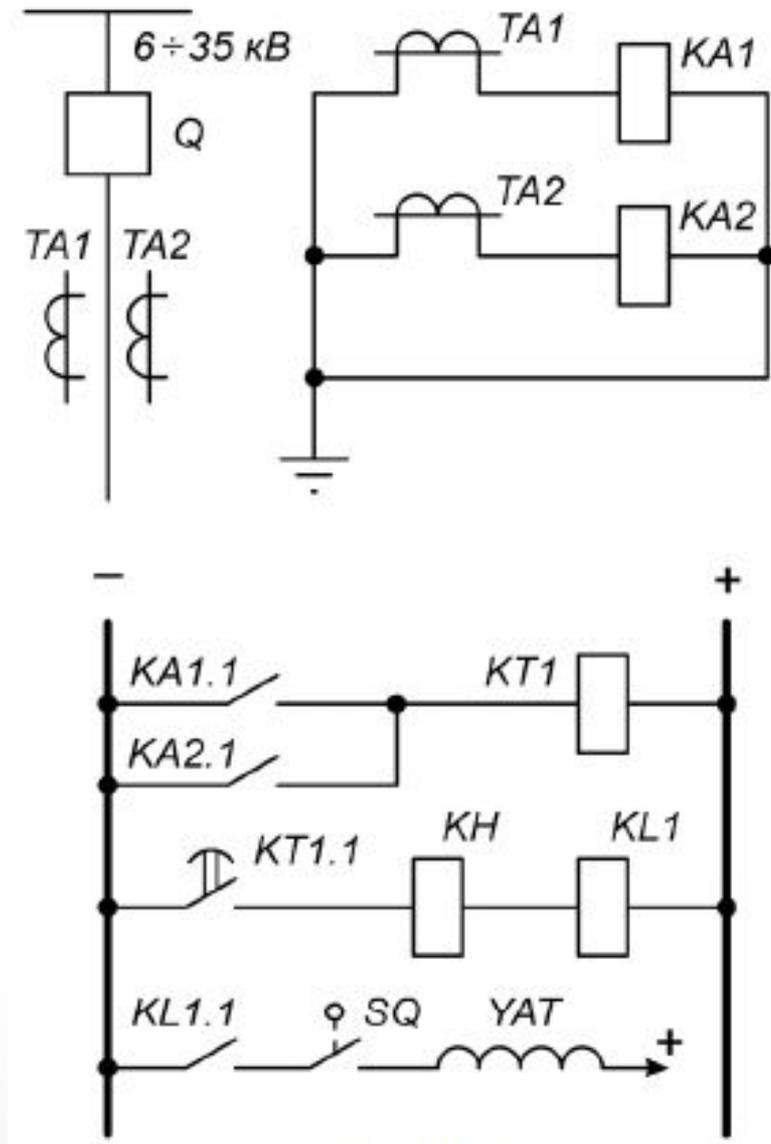
где $t_{o.в.}$ — время отключения выключателя;

$t_{п1}$, $t_{п2}$ — погрешности во время действия

защиты А1 и А2; $t_{зап}$ — время запаса.

$$\Delta t = 0,3 \dots 0,6 \text{ с}$$

Схема токовой отсечки с выдержкой времени



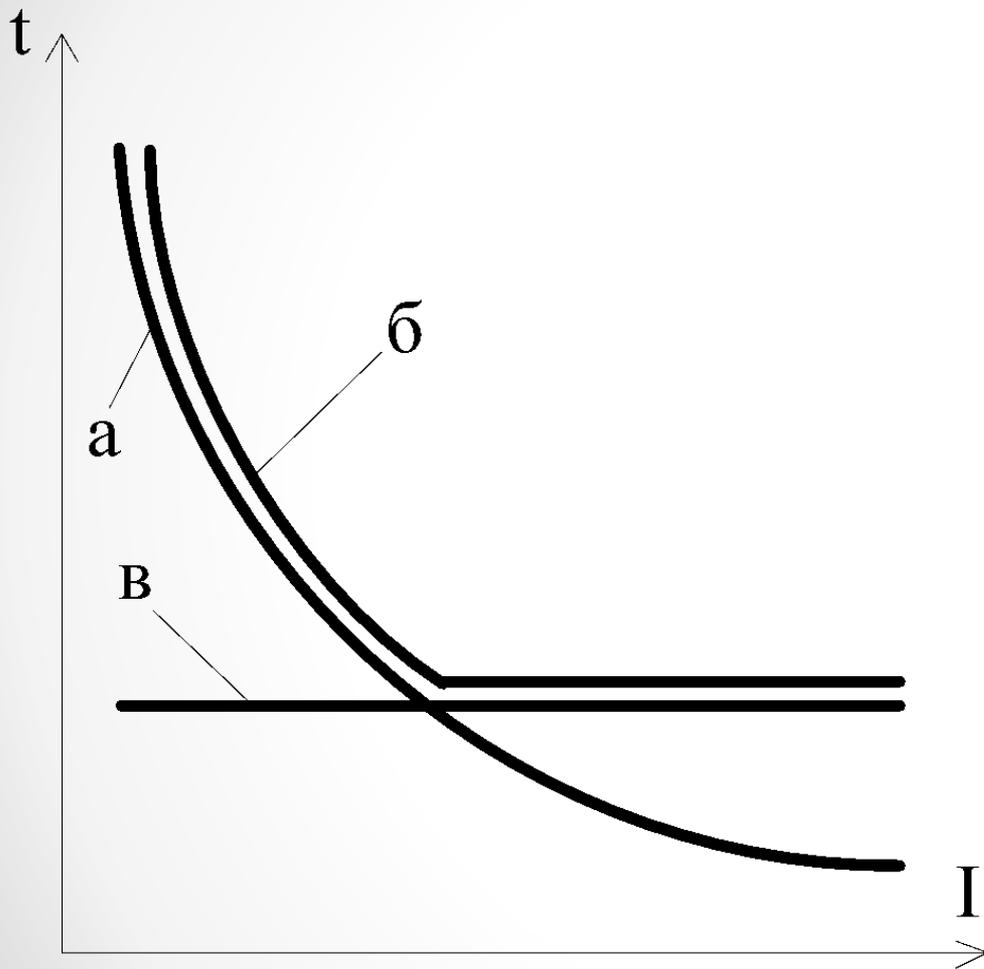
Максимальная токовая защита

Применяется в качестве 3-й ступени токовой защиты.

Максимальная токовая защита предназначена для ближнего и дальнего резервирования.

Селективность ее действия обеспечивается выбором выдержки времени.

Выбор выдержки времени МТЗ



Выдержки
времени МТЗ:

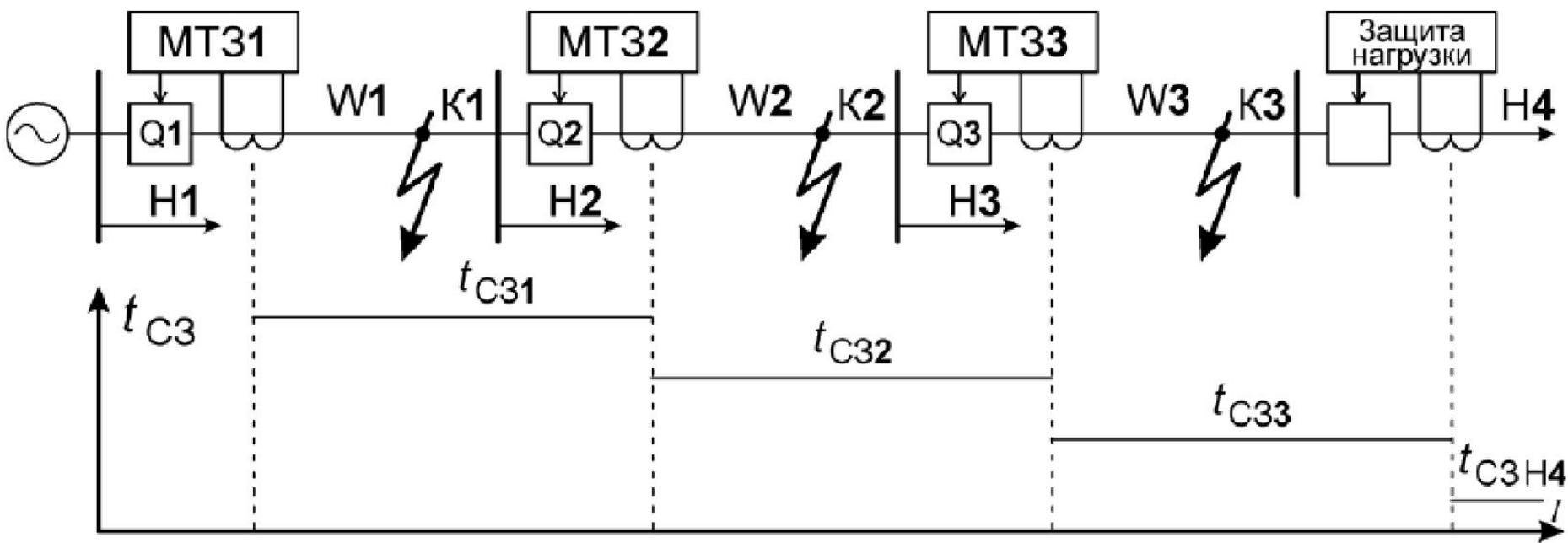
а — зависящая;

б — ограниченно
зависящая;

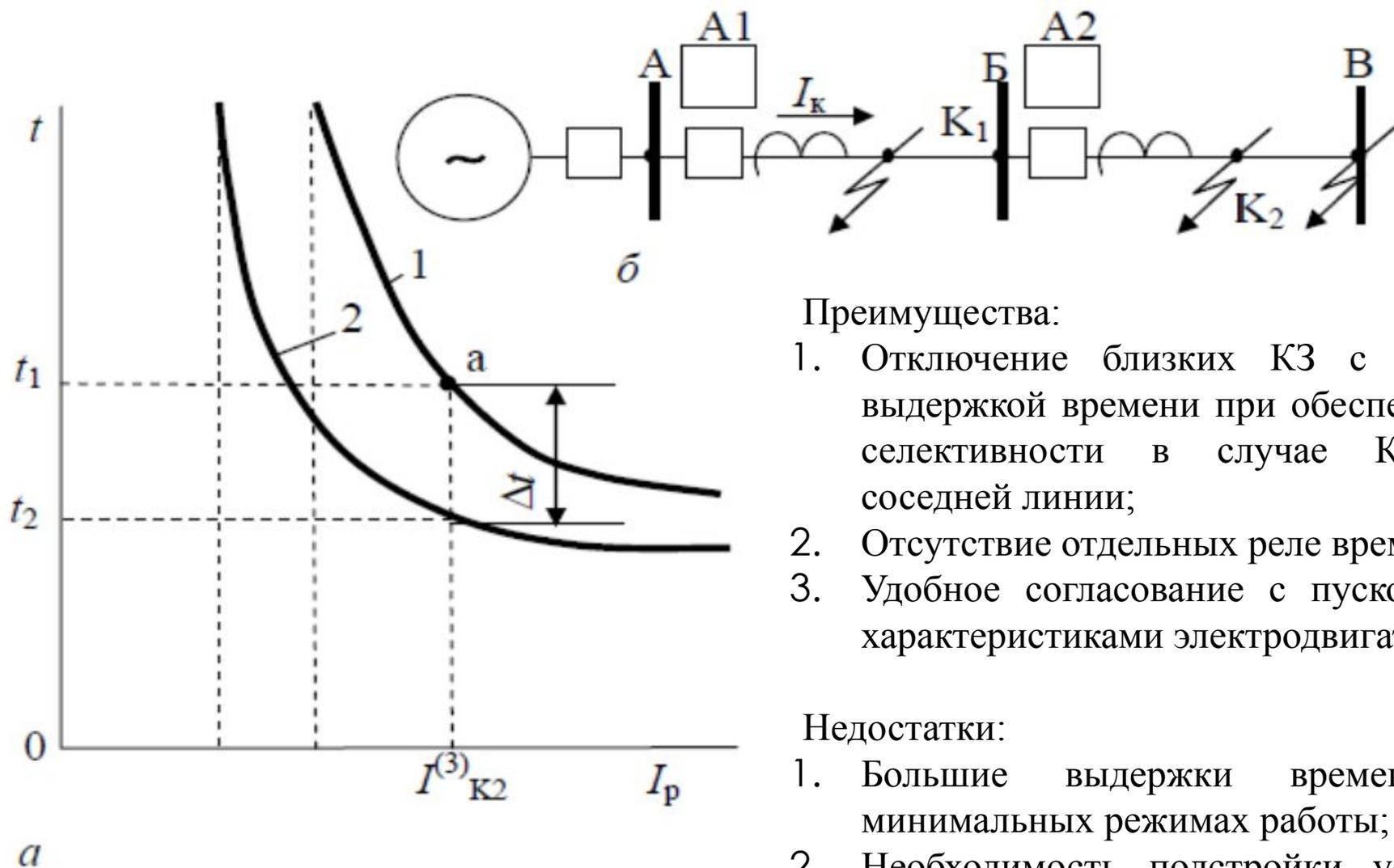
в — независимая.

Выбор выдержки времени МТЗ с независимой времятоковой характеристикой

Выдержки времени МТЗ с независимой характеристикой выбираются по ступенчатому принципу, с увеличением выдержки времени по мере приближения к источнику питания.



Выбор выдержки времени МТЗ с ограниченно-зависимой времятоковой характеристикой



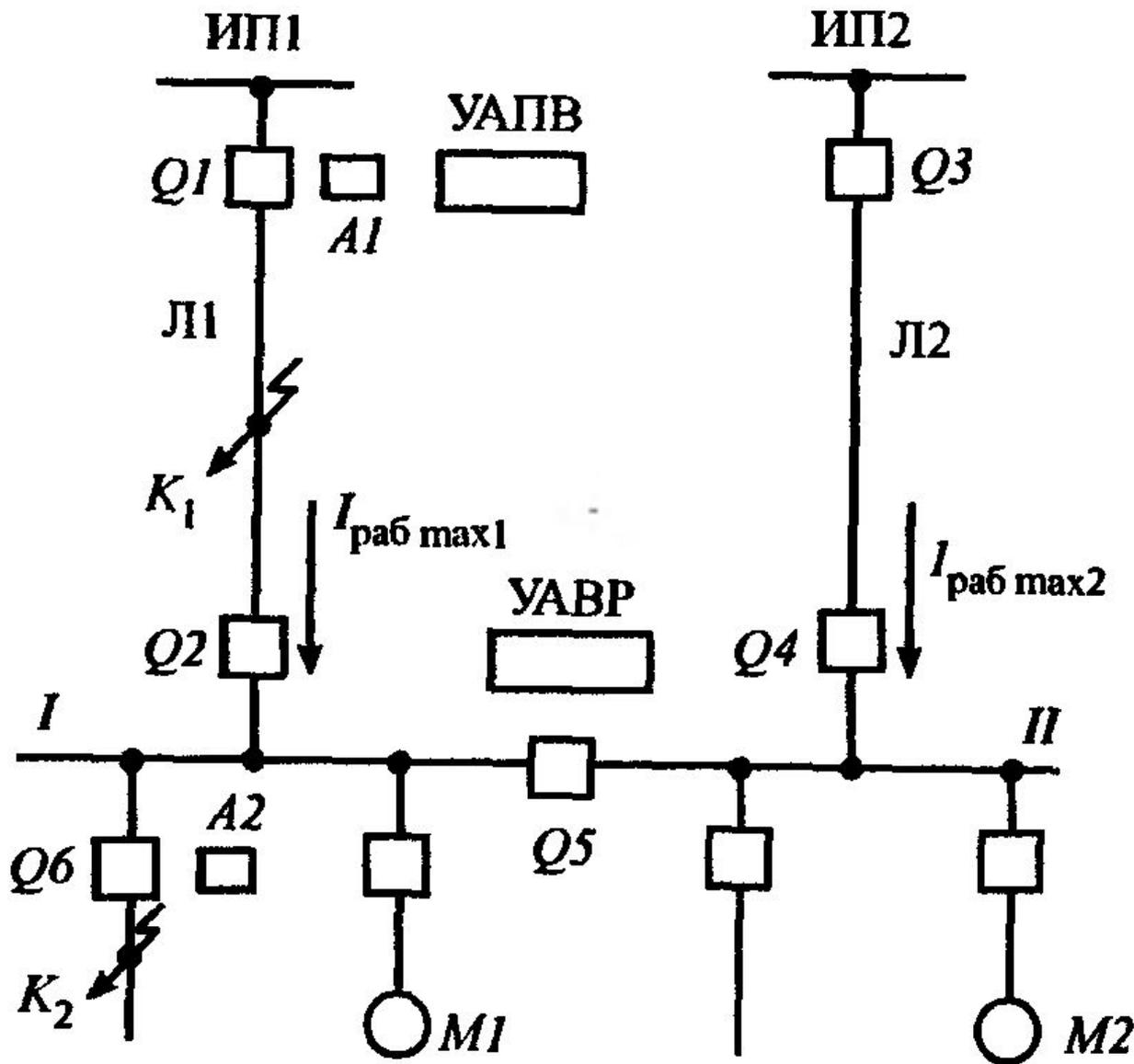
Преимущества:

1. Отключение близких КЗ с малой выдержкой времени при обеспечении селективности в случае КЗ на соседней линии;
2. Отсутствие отдельных реле времени;
3. Удобное согласование с пусковыми характеристиками электродвигателей.

Недостатки:

1. Большие выдержки времени в минимальных режимах работы;
2. Необходимость подстройки уставок защит по мере развития СЭС.

Выбор тока срабатывания МТЗ



Рассмотрим выбор тока срабатывания МТЗ на примере защиты А1, установленной на линии Л1.

УАПВ – устройство автоматического повторного включения.

УАВР – устройство автоматического включения резерва.

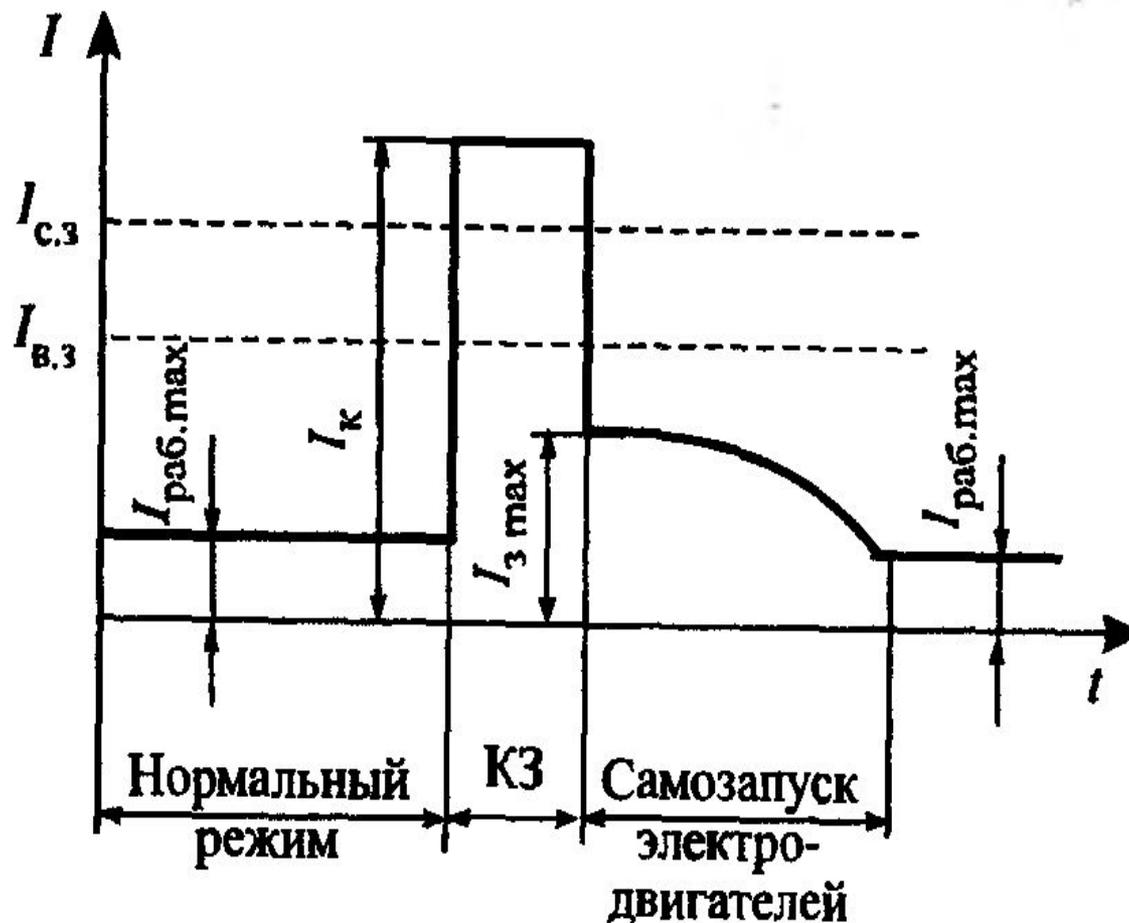
Выбор тока срабатывания МТЗ

Уставки МТЗ должны обеспечивать:

1. несрабатывание защиты на отключение защищаемой линии при послеаварийных перегрузках;
2. согласование действия с защитами последующих и предыдущих элементов;
3. необходимую чувствительность.

Выбор тока срабатывания МТЗ

а) Отключение с выдержкой времени близкого трехфазного КЗ на отходящем элементе (КЗ в точке K_2).



Выбор тока срабатывания МТЗ

Самозапуском называется восстановление нормальной работы электропривода без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения или глубокого снижения напряжения.

Увеличение рабочего тока при самозапуске учитывается *коэффициентом самозапуска*

$k_{\text{сзп}}$.

$$k_{\text{сзп}} = \frac{I_{\text{з max}}}{I_{\text{раб max}}}$$

Выбор тока срабатывания МТЗ

Ток возврата – максимальный ток в обмотке реле, при котором оно возвращается в исходное состояние.

$$I_{в.з.}^{III} = k_{отс}^{III} I_{з\max} = k_{отс}^{III} k_{сзп} I_{раб\max}$$

Коэффициент возврата:

$$k_{в} = \frac{I_{в.р.}}{I_{с.р.}}$$

Выбор тока срабатывания МТЗ

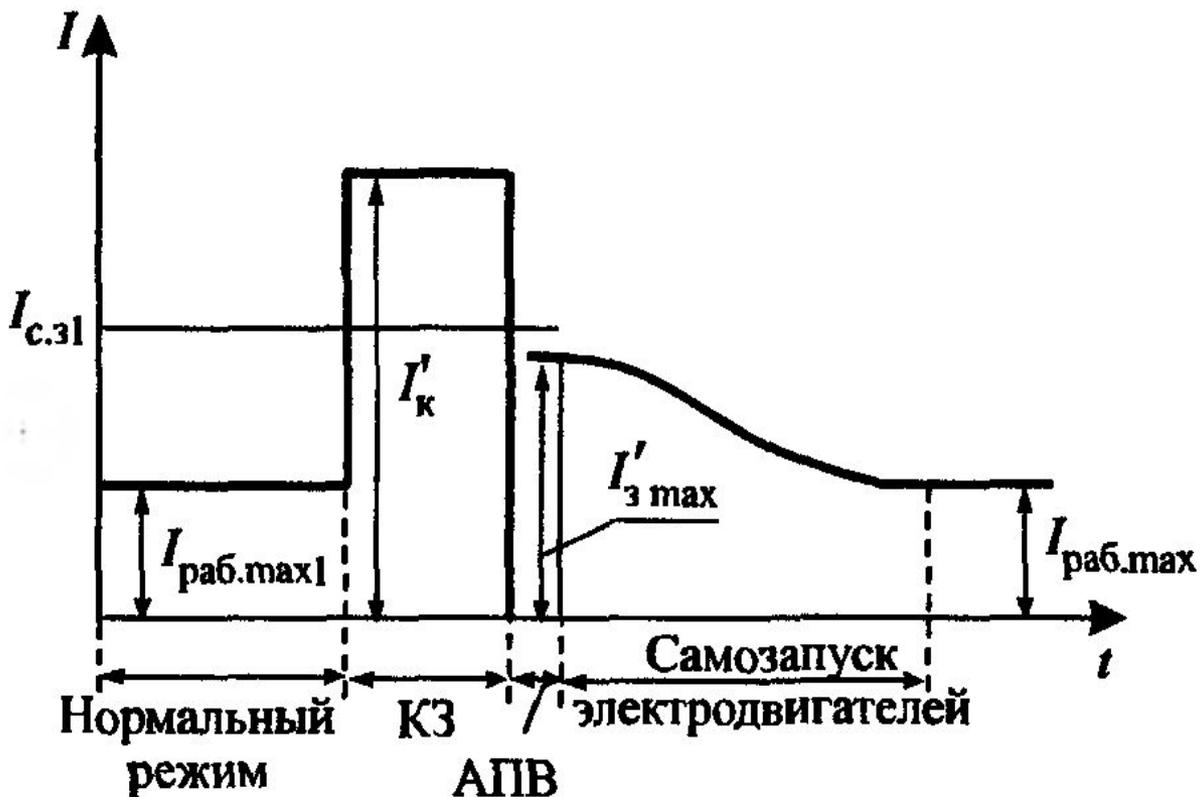
Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р.}}^{\text{III}} = \left(k_{\text{отс}}^{\text{III}} k_{\text{сзп}} / k_{\text{в}} \right) k_{\text{сх}}^{(3)} \left(I_{\text{раб max}} / K_I \right)$$

где $k_{\text{отс}}^{\text{III}}$ – коэффициент отстройки; $k_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска; $k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата; $k_{\text{сх}}^{(3)}$ – коэффициент схемы для трехфазного КЗ; K_I – коэффициент трансформации ТТ; $I_{\text{раб max}}$ – максимальный рабочий ток защищаемой линии.

Выбор тока срабатывания МТЗ

б) Восстановление питания действием АПВ после бестоковой паузы (КЗ в точке K_1 с успешным АПВ).



$$I_{\text{с.р.}}^{\text{III}} = k_{\text{отс}}^{\text{III}} k_{\text{сзп}} k_{\text{сх}}^{(3)} \left(I_{\text{раб.мах}} / K_I \right)$$

Выбор тока срабатывания МТЗ

в) Автоматическое включение дополнительной нагрузки при срабатывании АВР (отключение Л2).

$$I_{с.р.}^{III} \geq \frac{k_{отс}^{III}}{k_B} (k'I_{раб\ max\ 1} + k_{сзп} I_{раб\ max\ 2})$$

$k_{сзп} I_{раб\ max\ 2}$ – дополнительная нагрузка, подключаемая к Л1 с учетом самозапуска затормозившихся электродвигателей Л2 при перерыве питания;

$k'I_{раб\ max\ 1}$ – нагрузка линии Л1 с учетом самозапуска затормозившихся электродвигателей Л1 при провале напряжения.

Выбор тока срабатывания МТЗ

Чувствительность КЗ проверяется по выражению:

$$K_{\text{ч}}^{\text{III}} = I_{\text{кз min}}^{\text{III}} / I_{\text{с.з.}}^{\text{III}}$$

где $I_{\text{кз min}}^{\text{III}}$ – минимальный ток КЗ (металлическое двухфазное КЗ при минимальном режиме работы СЭС) при КЗ:

- в конце основной зоны защиты (защищаемая линия Л1, КЗ в точке К1, ближнее резервирование) $K_{\text{ч}} \geq 1,5$.
- в конце резервной зоны защиты (смежная линия, КЗ в точке К2, дальнее резервирование) $K_{\text{ч}} \geq 1,2$.

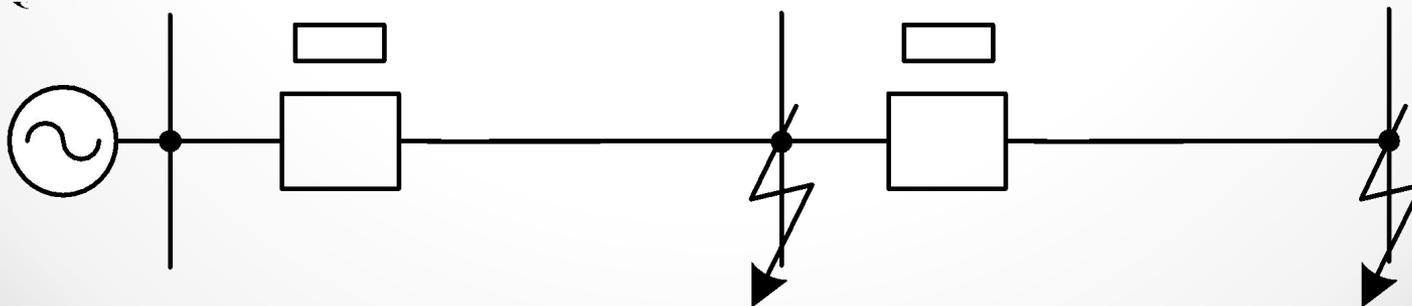
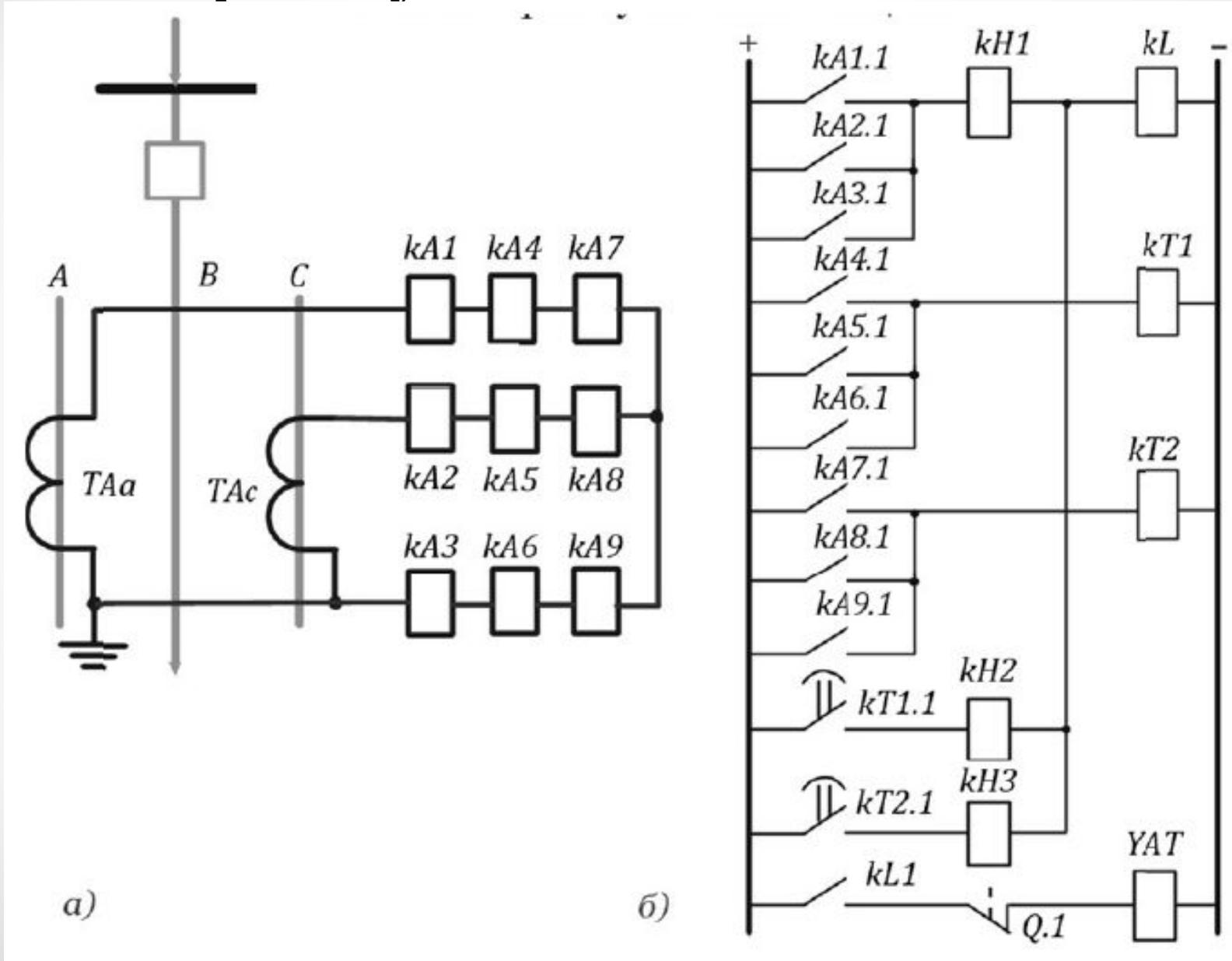


Схема трехступенчатой токовой защиты



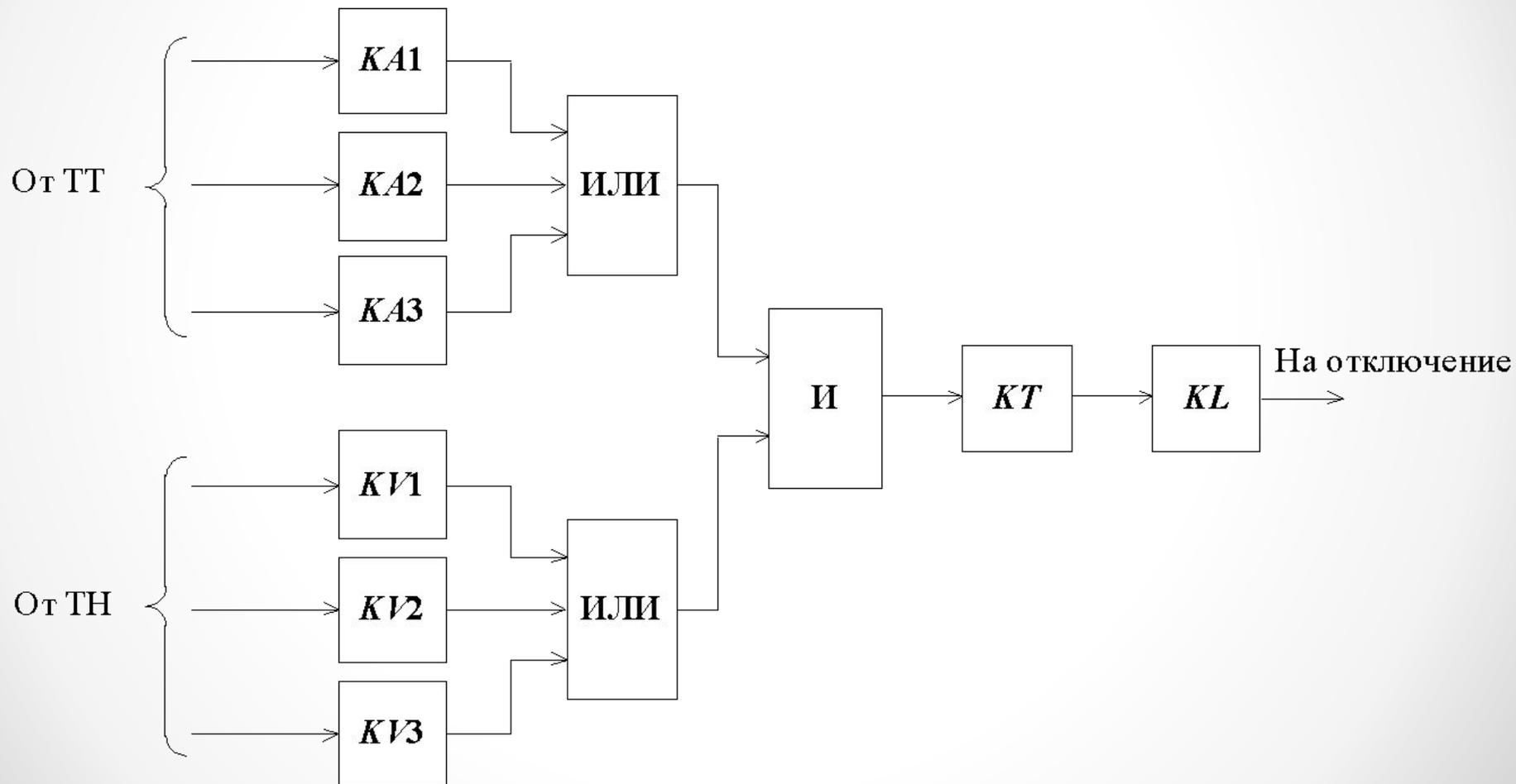
Порядок работы трехступенчатой токовой защиты

Трехфазное КЗ в зоне действия первой ступени защиты (токовая отсечка без выдержки времени):

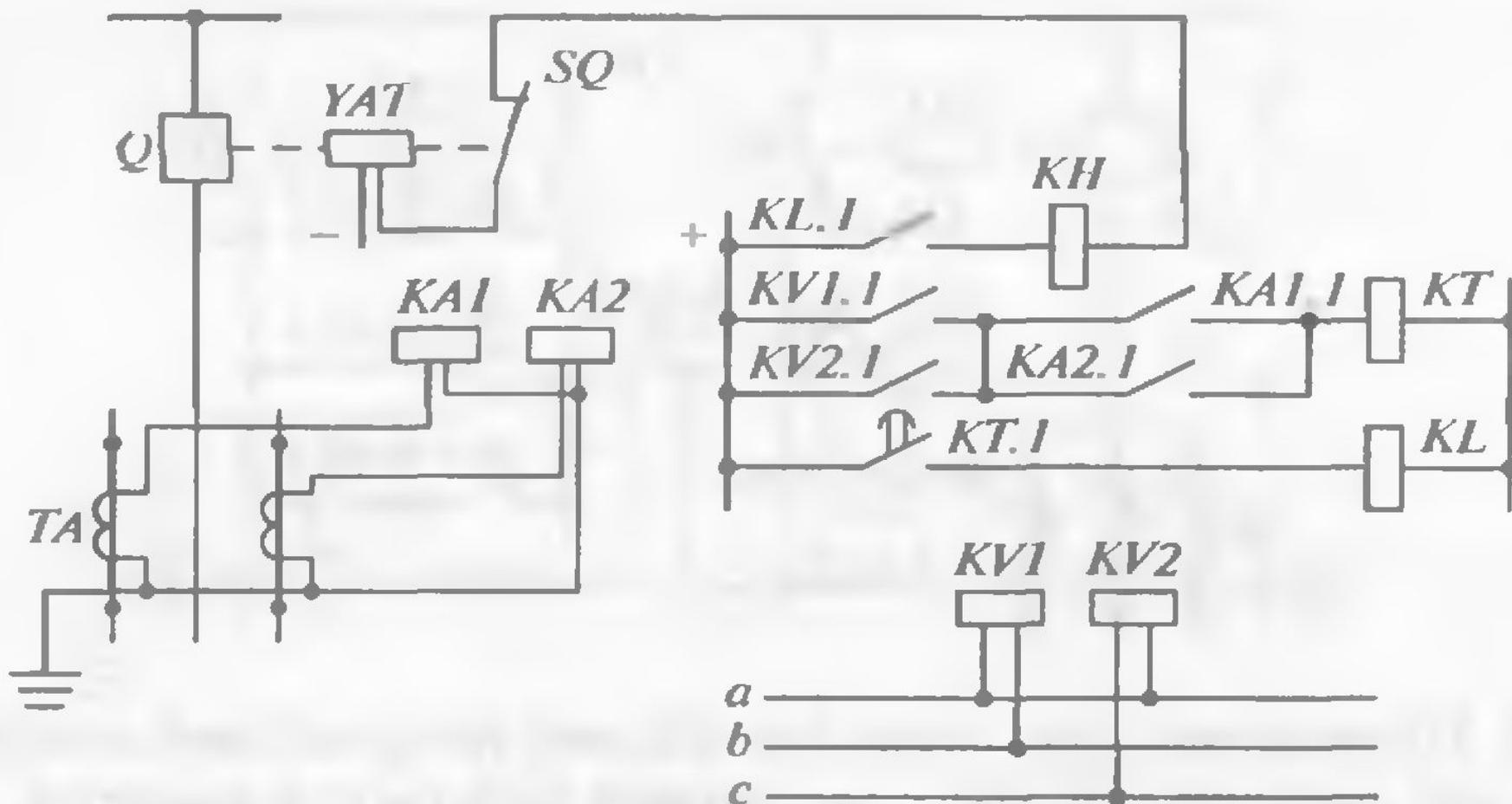
1. Срабатывают пусковые органы всех ступеней защиты КА1-9 и замыкают свои контакты КА1.1-1.9.
2. Замыкаются цепи питания реле КЛ, КТ1, КТ2.
3. Срабатывает реле КЛ (т.к. имеет наименьшее время срабатывания по сравнению с КТ1, КТ2) и замыкает свои контакты КЛ1.
4. Замыкается цепь питания электромагнитна отключения выключателя УАТ.
5. Выключатель отключается.
6. Ток уменьшается до 0 (защищаемое присоединение отключено) и пусковые органы защит КА1-9 возвращаются в исходное состояние (размыкаются контакты КА1.1-1.9), реле КТ1, КТ2 обесточиваются, не успев доработать свои выдержки времени.

МТЗ с блокировкой (пуском) по напряжению

Алгоритм работы:



МТЗ с блокировкой (пуском) по напряжению



Выводы

1. Токовые отсечки реагируют на увеличение тока контролируемого объекта.
2. Селективность токовых отсечек обеспечивается за счет ограничения их зоны действия.
3. Токовые ступенчатые защиты, представляющие собой сочетания токовых отсечек и максимальной токовой защиты, обеспечивают быстрое отключение коротких замыканий.
4. По принципу действия токовые ступенчатые защиты не обеспечивают требование селективности в кольцевых сетях и в радиальных сетях с несколькими источниками питания.
5. Принцип действия максимальной токовой защиты основан на фиксации увеличения тока при возникновении аномального режима или короткого замыкания.
6. Селективность МТЗ обеспечивается введением выдержки времени на срабатывание.
7. МТЗ отличается простотой, надежностью, невысокой стоимостью.
8. В качестве характерных недостатков МТЗ следует отметить:
 - малое быстродействие;
 - недостаточная чувствительность в сильно нагруженных и протяженных линиях;
 - невозможность правильной работы в кольцевых сетях и в радиальных сетях с несколькими источниками питания.