

# Селективность коммутационных аппаратов.

## Определения и классификации

Определение селективности приведено в ГОСТ Р 50030.1 "Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1: Общие требования и методы испытаний."

**"Селективность по сверхтокам (2.5.23)** Координация рабочих характеристик двух или нескольких устройств для защиты от сверхтоков с таким расчетом, чтобы в случае возникновения сверхтоков в пределах указанного диапазона срабатывало только устройство, предназначенное для оперирования в данном диапазоне, а прочие не срабатывали", при этом под сверхтоком понимается ток с более высоким значением, чем номинальный ток, вызванный любой причиной (перегрузка, короткое замыкание и т.д.). Таким образом, существует селективность между двумя последовательными автоматическими выключателями в отношении сверхтока, который протекает через оба выключателя, причем автоматический выключатель со стороны нагрузки размыкается, обеспечивая защиту цепи, а автоматический выключатель со стороны питания остается замкнутым, обеспечивая подачу питания остальной части установки. Определения полной и частичной селективности, с другой стороны, приведено в Части 2 того же ГОСТ Р 50030.2 "Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2: Автоматические выключатели."

**"Полная селективность (2.17.2)** Селективность по сверхтокам, когда при последовательном соединении двух аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки осуществляет защиту без срабатывания второго защитного аппарата."

**"Частичная селективность (2.17.3)** Селективность по сверхтокам, когда при последовательном соединении двух аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки осуществляет защиту до определенного уровня сверхтока без срабатывания второго защитного аппарата." Можно говорить о **полной селективности**, когда обеспечивается селективность для любого значения сверхтока, возможного в установке. О полной селективности между двумя автоматическими выключателями говорят, когда обеспечивается селективность до меньшего из значений  $I_{cu}$  двух автоматических выключателей, так как максимальный ожидаемый ток короткого замыкания ( $I_{k3}$ ) установки в любом случае будет ниже или равным наименьшему значению  $I_{cu}$  двух автоматических выключателей.

О **частичной селективности** говорят, когда обеспечивается только селективность до определенного значения тока  $I_s$  (предельный ток селективности). Если ток превышает это значение, то селективность между двумя автоматическими выключателями более не может быть обеспечена. О частичной селективности между двумя автоматическими выключателями говорят, когда обеспечивается селективность до определенного значения  $I_s$ , которое ниже значений  $I_{cu}$  двух автоматических выключателей. Если максимальный ожидаемый ток  $I_{k3}$  установки ниже или равен току селективности  $I_s$ , говорят о полной селективности.

## Что такое зона перегрузки, зона КЗ в селективности защит.

Под **"зоной перегрузки"** понимают диапазон значений тока и, следовательно, соответствующую часть кривых срабатывания автоматического выключателя между номинальным током самого автоматического выключателя и значением, которое в 8-10 раз выше номинального тока. Это зона, в которой обычно вызывается срабатывание тепловой защиты для термомагнитных расцепителей и защиты L для электронных расцепителей. Эти токи обычно соответствуют цепи с перегрузкой. Вероятность возникновения данного события более высокая по сравнению с появлением КЗ.

Под **"зоной КЗ"** понимают диапазон значений тока и, следовательно, соответствующую часть кривых срабатывания автоматического выключателя, которые в 8-10 раз выше номинального тока автоматического выключателя. Это зона, в которой обычно вызывается срабатывание магнитной защиты для термомагнитных расцепителей или защит S, D и I для электронных расцепителей. Эти значения тока обычно соответствуют повреждению в цепи питания. Это событие менее вероятно, чем простая перегрузка.

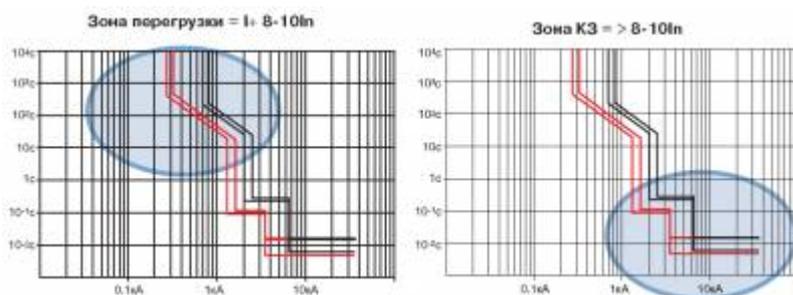


Рисунок-1. Значения токов в зоне перегрузки и в зоне тока КЗ.

## Методы обеспечения селективности.

В зоне перегрузки с применением устройств защиты обычно реализуется **времятоковый** тип селективности. В зоне КЗ с применением устройств защиты обычно могут использоваться различные методы обеспечения селективности. В частности, в нижеследующих разделах будут рассмотрены:

**Токовая селективность**

**Временная селективность**

**Энергетическая селективность**

**Зонная селективность.**

**Времятоковая селективность.** В общем следует отметить, что устройства защиты от перегрузки имеют времятоковую характеристику, срабатывают ли они посредством теплового расцепителя или посредством функции L электронного расцепителя. Времятоковая характеристика является характеристикой срабатывания, причем по мере возрастания тока время срабатывания автоматического выключателя уменьшается. Когда имеются устройства защиты с характеристиками такого типа, то применяемый метод селективности " это времятоковая селективность. Времятоковая селективность обеспечивает селективность срабатывания путем регулировки устройств защиты таким образом, что защита со стороны нагрузки при всех возможных значениях сверхтока срабатывает быстрее, чем автоматический выключатель со стороны питания. При анализе времени срабатывания двух автоматических выключателей необходимо учитывать: " допуски порогов и времен срабатывания " действительные токи, протекающие в автоматических выключателях.

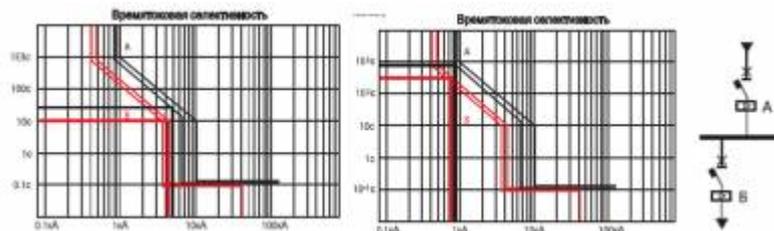


Рисунок -2. Времятоковая селективность.

Срабатывание расцепителя, показано на рисунке-2, двумя кривыми, одна из которых указывает наибольшее время срабатывания (верхняя кривая), а другая " наименьшее время срабатывания (нижняя кривая). Для корректного анализа селективности необходимо рассмотреть наихудшие условия, т.е.:

" автоматический выключатель со стороны питания срабатывает в соответствии со своей нижней кривой

" автоматический выключатель со стороны нагрузки срабатывает в соответствии со своей верхней кривой

В отношении действительных токов, протекающих в автоматических выключателях:

" если по автоматическим выключателям пропускается одинаковый ток, достаточно, чтобы не было перекрытия между кривой автоматического выключателя со стороны питания и кривой автоматического выключателя со стороны нагрузки;

" если по двум автоматическим выключателям пропускаются различные токи, необходимо выбрать ряд показательных точек на кривых и убедиться в том, что величины времени срабатывания защиты со стороны питания всегда выше соответствующих величин времени защиты со стороны нагрузки. В частности, в случае автоматических выключателей, оснащенных **электронными расцепителями**, поскольку ход кривых при  $I_2t = \text{const}$ , для правильного выполнения проверки достаточно проверить два значения тока:

1,05 x I<sub>11</sub> автоматического выключателя со стороны питания (значение, ниже которого защита со стороны питания никогда не срабатывает)

1,20 x I<sub>13</sub> (или I<sub>2</sub>)<sup>2</sup> автоматического выключателя со стороны нагрузки (значение, выше которого защита со стороны нагрузки обязательно срабатывает, обеспечивая защиту от короткого замыкания)

**1,05 x I<sub>1</sub> автоматического выключателя со стороны питания** Допуская, что  $I_A = 1,05 x I_1$ , с учетом сказанного о действительных токах, которые проходят в автоматических выключателях, на стороне нагрузки получаем ток **I<sub>B</sub>**. Значения времени срабатывания двух устройств выводятся из времятоковых кривых

**1,20 x I<sub>13</sub> (или I<sub>2</sub>) автоматического выключателя со стороны нагрузки.** Допуская, что **I<sub>B</sub> = 1,20 x I<sub>13</sub> (или I<sub>2</sub>)**, получают таким же образом ток **I<sub>A</sub>** на стороне питания, а из времятоковых кривых двух устройств получают время срабатывания двух устройств. Если следующее условие справедливо для обоих рассмотренных пунктов: **t<sub>A</sub> > t<sub>B</sub>** тогда обеспечивается селективность в зоне перегрузки.

**1** 1,05 является минимальным определенным значением несрабатывания, указанным в ГОСТ Р 50030.2. Для некоторых типов автоматических выключателей это значение может варьироваться (см. дополнительную информацию в техническом каталоге).

**2** 1,2 является максимальным определенным значением срабатывания для защиты от КЗ, указанным в ГОСТ Р 50030.2. Для некоторых типов автоматических выключателей это значение может быть ниже (см. дополнительную информацию в техническом каталоге).

**Токовая селективность.** Этот тип селективности основан на положении о том, что чем ближе точка замыкания к источнику питания установки, тем выше ток КЗ. Поэтому можно определить зону, в которой случилось замыкание, путем уставки мгновенных устройств защиты на различные значения тока. Полную селективность обычно можно получить в конкретных случаях только там, где ток замыкания невысокий, и где между двумя устройствами защиты имеется элемент с высоким полным электрическим сопротивлением (трансформатор, очень длинный кабель или кабель с уменьшенным поперечным сечением и т.д.) и, следовательно, велика разница между значениями токов КЗ. Поэтому данный тип согласования используется, в первую очередь, в конечных распределительных щитах (низкие значения номинального тока и тока КЗ, и высокое полное электрическое сопротивление соединительных кабелей). Для этого анализа обычно используются времятоковые кривые срабатывания устройств защиты. Он, по своему существу, является быстродействующим (мгновенным), прост в реализации и экономичен. Однако: предельный ток селективности обычно низок, и, таким образом, селективность часто является только частичной; уровень уставки защиты от сверхтоков быстро растет; резервирование защиты, обеспечивающее быстрое отключение поврежденной линии в случае, если одно из устройств защиты неисправно, является невозможным. Это тип селективности, который может быть также реализован между автоматическими выключателями одинакового размера и без функции защиты от КЗ с задержкой (S).

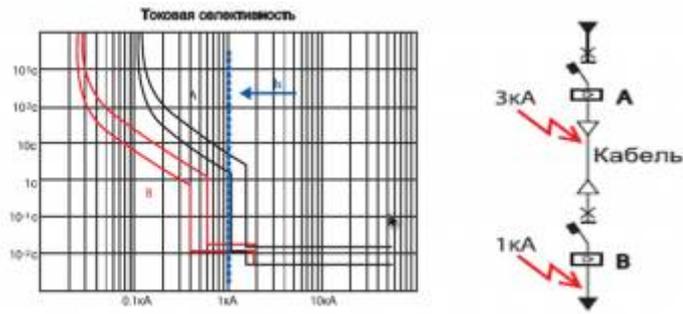


Рисунок-3. Токвая селективність.

Уставка защиты от КЗ автоматического выключателя со стороны питания **A** будет установлена на значение, не допускающее его срабатывания при КЗ, которые возникают на стороне нагрузки устройства защиты **B**. (В примере на рисунке  $I_{3\text{мина}} > 1\text{kA}$ )

Уставка защиты автоматического выключателя со стороны нагрузки **B** будет установлена так, чтобы она срабатывала при КЗ, которые возникают на его стороне нагрузки. (В примере на рисунке  $I_{3\text{макс}} < 1\text{kA}$ ) Естественно, уставки устройств защиты должны учитывать действительные токи, протекающие в автоматических выключателях.

Значение предельного тока селективности, которое может быть получено, равно порогу мгновенного срабатывания защиты со стороны питания без какого-либо допуска.  $I_s = I_{3\text{мина}}$

**Временная селективность.** Этот тип селективности представляет собой развитие предыдущего. В данном типе согласования кроме порога срабатывания по току определяется также время срабатывания: определенное значение тока вызывает срабатывание устройств защиты после определенного времени задержки, что позволяет обеспечить срабатывание любых устройств защиты, расположенных ближе к точке замыкания, исключая область, в которой произошла неисправность. Поэтому стратегия уставки заключается в постепенном повышении порогов тока и задержек срабатывания по мере приближения к источникам питания (уровень уставки, непосредственно соотносится с иерархическим уровнем). Пороги срабатывания с задержкой должны учитывать допуски двух устройств защиты и действительные токи, которые протекают в этих устройствах. Разница между задержками, установленными для последовательных устройств защиты, должна учитывать время обнаружения замыкания и время срабатывания устройства на стороне нагрузки, а также время инерции устройства на стороне питания (временной интервал, во время которого устройство защиты может сработать даже после пропадания тока короткого замыкания). Как и в случае с токовой селективностью, анализ проводится путем сравнения времятоковых кривых срабатывания защитных устройств. Обычно этот тип согласования: "легко анализировать и реализовать;" не очень дорогостоящий в отношении системы защиты;" позволяет получить высокие значения предела селективности (если значение  $I_{\text{св}}$  высокое);" позволяет обеспечить резервирование устройств защиты. Однако: "время срабатывания и уровни энергии, пропускаемые защитными устройствами, особенно близко расположенными к источникам, являются значительными. Это тип селективности, который может быть также реализован между автоматическими выключателями одинакового размера, оснащенными электронными расцепителями с защитой от КЗ, срабатывающей с задержкой.



Рисунок-4. Временная селективность.

Параметры функций защиты от КЗ у двух автоматических выключателей должны быть установлены: " с порогами срабатывания  $I_2$  функций защиты от КЗ с задержкой, отрегулированные таким образом, что не создается перекрытия зон срабатывания, с учетом допусков и действительных токов, протекающих в автоматических выключателях.

" со временем срабатывания  $t_2$ , отрегулированным таким образом, что автоматический выключатель со стороны нагрузки **В** отключает ток замыкания, в то время как автоматический выключатель со стороны питания **А**, который все еще находится в фазе ожидания, способен "увидеть" отключение тока и, следовательно, остается в замкнутом состоянии.

Полученный предельный ток селективности равен: порогу мгновенного срабатывания защиты со стороны питания, если эта функция включена, за вычетом допуска:

$I_s = I_{3\text{мина}}$  значению  $I_{cw}$  для воздушных автоматических выключателей со стороны питания, если функция мгновенной защиты установлена в положение OFF (выкл.).

**Энергетическая селективность.** Согласование энергетического типа является специфическим типом селективности, который основан на токоограничивающих характеристиках автоматических выключателей в литом корпусе. Отмечается, что токоограничивающий автоматический выключатель является "автоматическим выключателем с чрезвычайно малым временем отключения, в течение которого ток короткого замыкания не успевает достичь своего максимального значения" (ГОСТ Р 50030.2). На практике, все автоматические выключатели в литом корпусе серий  $I_{so}$ max и  $T_{max}$ , модульные автоматические выключатели и воздушные токоограничивающие автоматические выключатели E2L E3L, выпускаемые АББ, имеют более или менее выраженные токоограничивающие характеристики. В условиях КЗ эти автоматические выключатели имеют чрезвычайно высокое быстродействие (время срабатывания порядка нескольких миллисекунд) и размыкаются при наличии значительной апериодической составляющей. Поэтому для анализа данного согласования невозможно использовать времятоковые кривые срабатывания автоматических выключателей, полученные с учетом действующих значений периодических составляющих. Эти явления, в основном, динамические (из-за пропорциональности квадрату значения мгновенного тока) и существенно зависят от взаимодействия между двумя последовательными устройствами. Поэтому значения энергетической селективности не могут быть определены конечным пользователем. Производители предоставляют таблицы, счетные линейки и программы расчета, в которых указаны значения предельного тока селективности  $I_s$  при КЗ между различными комбинациями автоматических выключателей. Эти значения определяются путем теоретического объединения результатов испытаний, проведенных в соответствии с указаниями Приложения А ГОСТ Р 50030.2.

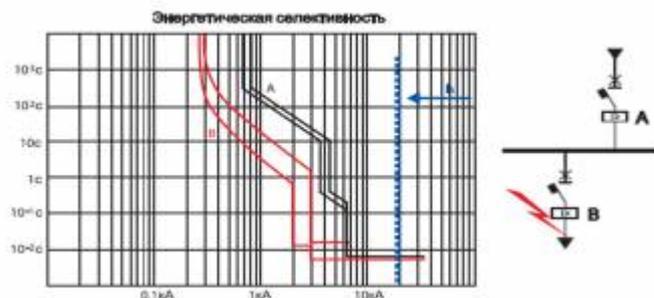


Рисунок-5. Энергетическая селективность.

Защитные устройства от КЗ двух автоматических выключателей должны учитывать условия, указанные ниже.

" **Расцепитель термоманитного типа со стороны питания**

пороги магнитного срабатывания должны быть такими, чтобы не создавать перекрытия зон срабатывания, с учетом допусков и действительных токов, протекающих в автоматических выключателях; магнитный порог срабатывания автоматического выключателя со стороны питания должен быть равен или выше  $10 \times I_n$  или быть установленным на максимальное значение, если оно регулируется.

## " Расцепитель электронного типа со стороны питания

все функции защиты от КЗ с задержкой  $S$  должны быть отрегулированы в соответствии с теми же указаниями, которые действительны в отношении селективности по времени; функция мгновенной защиты  $I$  автоматических выключателей со стороны питания должна быть выключена  $I3=OFF$ . Полученный предельный ток селективности  $I_s$  " это ток, указанный в таблицах, которые АББ предоставляет клиенту.

**Зонная селективность.** Этот тип селективности представляет собой развитие временной селективности. В общем, зонная селективность реализуется с помощью диалога между токоизмерительными устройствами, что при обнаружении превышения порога срабатывания установки позволяет точно определить зону неисправности и отключить подачу электропитания только в эту зону. Она может быть реализована двумя способами: измерительные устройства направляют информацию о превышении порога уставки тока системе контроля, и последняя определяет, какое устройство должно сработать; когда имеются значения тока, которые выше соответствующих уставок, то каждое защитное устройство направляет сигнал блокировки посредством прямого соединения или шины на иерархически более высокий уровень защиты (на стороне питания по отношению к направлению потока мощности) и, до срабатывания, проверяет, что аналогичный сигнал блокировки не поступил от защитного устройства со стороны нагрузки. Таким образом, вмешивается только защита, расположенная непосредственно со стороны питания источника от точки неисправности. Второй случай обеспечивает определенно меньшее время срабатывания. По сравнению с временной селективностью, более не требуется повышать намеренную задержку по мере приближения к источнику питания. Задержка может быть уменьшена на время, требующееся для приема возможного сигнала блокировки от защитного устройства со стороны нагрузки. Этот тип селективности подходит для радиальных сетей и, в сочетании с направленной защитой, подходит также для узловых сетей. По сравнению с временной селективностью, зонная селективность обеспечивает: " сокращение времени срабатывания (оно может быть ниже сотни миллисекунд); " снижение как степени повреждения, вызываемого замыканием, так и вмешательства в систему электропитания; " снижение тепловых и динамических нагрузок на части установки; " получение очень большого количества уровней селективности. Однако: " Она более обременительна как с точки зрения стоимости, так и сложности установки; " она требует наличия дополнительного источника питания. Поэтому данное решение, в основном, используется в системах с высоким номинальным током и высокими значениями тока КЗ, с обязательными требованиями безопасности и непрерывности эксплуатации: В частности, имеется много примеров логической селективности в коммутационно-распределительных устройствах, стоящих непосредственно со стороны нагрузки трансформаторов и генераторов.

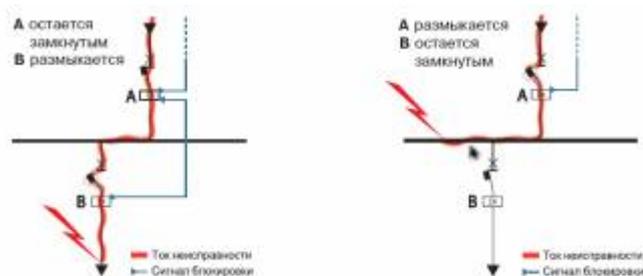


Рисунок-6. Зонная селективность.

Этот тип селективности может быть реализован: " между воздушными автоматическими выключателями Emax ABB, оснащенными расцепителями PR122 и PR123. Предельный ток селективности, который может быть получен, равен  $I_{cw} I_s = I_{cw}$  " между автоматическими выключателями в литом корпусе Tmax T4L, T5L и T6L, оснащенными расцепителями PR223 EF. Предельный ток селективности, который может быть получен, составляет 100 кА  $I_s = 100$  кА. Тогда, с помощью дополнительного модуля **IM210**, можно создать цепь зонной селективности между выключателями серий Tmax и Emax. также можно реализовать цепь селективности, включая аппараты защиты СН компании АББ.

Принцип действия зонной селективности между автоматическими выключателями **АББ** следующий: При значениях тока выше своих уставок каждое защитное устройство направляет сигнал блокировки через прямое соединение или шины на иерархически более высокий уровень защиты (на стороне питания по отношению к направлению потока мощности) и, до срабатывания, проверяет, что аналогичный сигнал блокировки не поступил от устройства защиты со стороны нагрузки. Таким образом, срабатывает только защита, расположенная непосредственно со стороны питания от места замыкания.