

УДК 620.9

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ БОЛЬШИХ ТОКАХ КЗ
DESIGN FEATURES OF ELECTRICAL DEVICES USED FOR HIGH
SHORT-CIRCUIT CURRENTS**

Траскевич Д.И.

Руководитель – А.Ю. Капустинский, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь
A.Kapustinski@yandex.by
Traskevich D.I.

Supervisor – A.Y. Kapustinski, Senior Lecturer
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье произведен обзор на особенности конструкции электрических аппаратов, применяемых при больших токах короткого замыкания, выделены основные параметры автоматических выключателей. А также раскрыта суть такого метода, как каскадирование.*

***Abstract:** This article provides an overview of the design features of electrical devices used at high short-circuit currents, the main parameters of circuit breakers are divided. And also the essence of such a method as cascading is revealed.*

***Ключевые слова:** автоматический выключатель, метод каскадирования, токоограничивающий автомат, короткое замыкание, коммутационные аппараты.*

***Keywords:** circuit breaker, cascading method, current limiting machine, short circuit, switching devices.*

Введение

Короткое замыкание (КЗ) – это критическое состояние электрической цепи, при котором происходит непредвиденное соединение проводников между фазами или фазными проводниками, замыкание фаз на землю (нулевой провод) в сетях с глухо и эффективно-заземленными нейтральными, а также витковые замыкания в электрических машинах.

В результате КЗ токи могут достигать значительных значений, превышающих номинальные значения, что может привести к повреждению оборудования и представлять опасность для людей.

В связи с быстро растущими уровнями токов КЗ, требования к коммутационной способности электрических аппаратов и стойкости элементов электротехнических устройств становятся все более высокими.

Для предотвращения возникновения КЗ используются специальные устройства и методы, такие как механизмы каскадирования и каскадного включения коммутационных аппаратов. Кроме того, создаются новые методы, позволяющие ограничивать не только величину тока короткого замыкания, но и продолжительность его действия. Поэтому, помимо применения и совершен-

ствования ранее применяемых методов и средств, разрабатываются новые, более эффективные способы предотвращения возникновения КЗ.

Основная часть

Для обеспечения правильной и надежной работы автоматического выключателя, необходимо обязательно определить значение тока короткого замыкания (КЗ), который возникает в процессе коммутации. Ток КЗ определяется как минимальное значение тока, при котором автоматический выключатель должен немедленно отключиться, чтобы защитить систему от повреждения.

Определение значения тока КЗ является важным шагом при проектировании электрических систем, поскольку это позволяет определить наиболее подходящий тип и настройки автоматического выключателя для конкретной системы. Он называется током наибольшей коммутационной способности.

Электрический ток, который может быть автоматически отключен однократно, но после этого может стать непригодным для мгновенного включения, определяется как ток предельной отключающей способности и обозначается как I_{cu} . Номинальная предельная отключающая способность I_{cu} - это способность отключения, при которой возможен необратимый обрыв цепи с возможным повреждением контактной системы.

В процессе работы автоматического выключателя важен и ток КЗ, *отключающийся неоднократно*, но при этом продолжающий свою работу. Если выключатель способен отключить данный ток *трижды подряд*, то его значение — ток наибольшей эксплуатационной отключающей способности. Его определяют как I_{cs} .

Отключающая способность, предполагающая способность данного выключателя длительно проводить свой номинальный ток, на основании с установленным циклом испытаний называется номинальной рабочей наибольшей отключающей способностью I_{cs} .

В эксплуатации необходимо учитывать ток короткого замыкания, который может быть автоматически отключен выключателем несколько раз, сохраняя при этом работоспособность.

Если выключатель способен отключить ток трижды подряд, то его значение называется током максимальной длительной отключающей способности и обозначается как I_{cs} . Номинальная максимальная длительная отключающая способность I_{cs} - это способность выключателя длительно поддерживать свой номинальный ток на основе установленного цикла испытаний.

Значение предельной отключающей способности и рабочей наибольшей отключающей способности устанавливается производителем и определяется в ходе проведенных исследований и проверок [2].

Что касается новейших автоматических выключателей, то их отключающая способность достигает до сотен килоампер. Выключатель, который имеет различные значения отключающей способности может быть одного и того же номинального тока.

Когда автоматический выключатель отключен и в защищаемой им цепи есть короткое замыкание, то включить его возможно только при образовании ударного тока в первом полупериоде переходного процесса. Если этот ток пре-

вышает в 1,5-2 раза действующее значение ожидаемого тока КЗ, то при замыкании контактов может произойти отброс электромагнитными силами с последующим замыканием. Если происходит отброс контактов, то возникает электрическая дуга и контакты могут в некоторых частях расплавиться, а в дальнейшем при замыкании свариться. Тогда наибольшей выключающей способностью тока $I_{ст}$ описывают возможность выключателя противостоять действию ударного тока КЗ.

Значение тока, указанное в спецификации, является максимальным значением тока, который способен выдержать аппарат в соответствии со стандартом. Однако, если устройства не имеют встроенной функции защиты, такой как, например, выключатели, то они должны выдерживать ток короткого замыкания, который определяется параметрами срабатывания присоединенного аппарата защиты. Значение и длительность тока короткого замыкания должны быть установлены в соответствии с параметрами срабатывания присоединенного аппарата защиты [1].

Метод каскадирования представляет собой инновационный подход к защите электрических цепей от короткого замыкания, при помощи токоограничивающего автоматического выключателя. Этот метод позволяет использовать коммутационные аппараты с гораздо меньшими отключающими способностями и термической и электродинамической устойчивостью. Это повышает эффективность работы электрических цепей, упрощает монтажные работы и снижает затраты.

В случае, если величина тока короткого замыкания является очень большой, выполняется снижение его значения за счет размыкания контактов токоограничивающего автоматического выключателя, в результате чего появляющаяся дуга увеличивает полное сопротивление цепи.

В современном мире короткое замыкание является серьезной проблемой, которая может привести к возникновению большого тока и нанести вред людям и оборудованию. Однако существуют специальные устройства и методы, которые позволяют предотвратить КЗ и обезопасить работу электрических цепей. Один из таких методов - каскадирование коммутационных аппаратов, который позволяет избежать ударного тока при коротком замыкании и ожидаемого действующего значения тока короткого замыкания. Для этого проводятся лабораторные испытания, результаты которых представляют производители в виде таблиц, что позволяет пользователям точно проектировать каскадирование выключателей на основе рекомендованных типов. Большинство национальных стандартов допускают использование этого метода, при условии, что количество энергии, проходящей через токоограничивающий автоматический выключатель, не превышает величину, которую могут выдержать все нижестоящие автоматические выключатели и элементы цепи. Использование каскадирования коммутационных аппаратов является надежным способом защиты электрических цепей от короткого замыкания и обеспечения безопасности работы.

Для ограничения тепловых и электродинамических эффектов от высоких значений токов короткого замыкания применяют токоограничивающие автома-

тические выключатели, которые отключаются менее чем за 0,01с до достижения максимального значения тока КЗ.

Такие выключатели имеют предельные значения отключающей способности, их значение тока I_{cu} являются ожидаемыми действующими значениями и никогда не достигаются в процессе отключения тока КЗ из-за ограничения тока сопротивлением дуги

При возникновении короткого замыкания в электрических сетях происходит замыкание фаз между собой или на землю. Токи, которые возникают при КЗ, могут быть опасными и требуют от электротехнических устройств высокой коммутационной способности и стойкости. Для ограничения токов КЗ используются различные методы и средства, которые позволяют не только ограничить величину тока, но и продолжительность его действия.

Метод каскадирования позволяет использовать в цепях коммутационные аппараты с меньшими отключающими способностями, а метод каскадного включения коммутационных аппаратов обеспечивает селективность работы системы защиты. Для более эффективного токоограничения размыкание контактов аппарата должно происходить еще до достижения током КЗ своего амплитудного значения. Осуществление быстрого размыкания контактов достигается за счет отталкивания контактов электромагнитными силами Ампера, создаваемыми при взаимодействии тока с магнитным полем близлежащих элементов токопровода в аппарате.

Улучшение электродинамической стабильности всех элементов сети и самого коммутатора происходит за счет того, что ограничения самого большого значения тока КЗ намного меньше ожидаемого значения. Пример зависимостей между ударным током при коротком замыкании и ожидаемым действующим значением тока короткого замыкания показан на рисунке 1.

Кроме того, значение интеграла Джоуля по току короткого замыкания уменьшается в несколько раз, поскольку временной интервал протекания тока составляет менее полупериода. Ограничение значения интеграла Джоуля за время означает ограничение энергии, которая будет выделена во время короткого замыкания в зоне контакта (т.е. электрической дуги) и во всех токоведущих элементах сети и автоматического выключателя. Пример зависимости между интегралом Джоуля от короткого замыкания и ожидаемым эффективным значением тока короткого замыкания показан на рисунке 2.

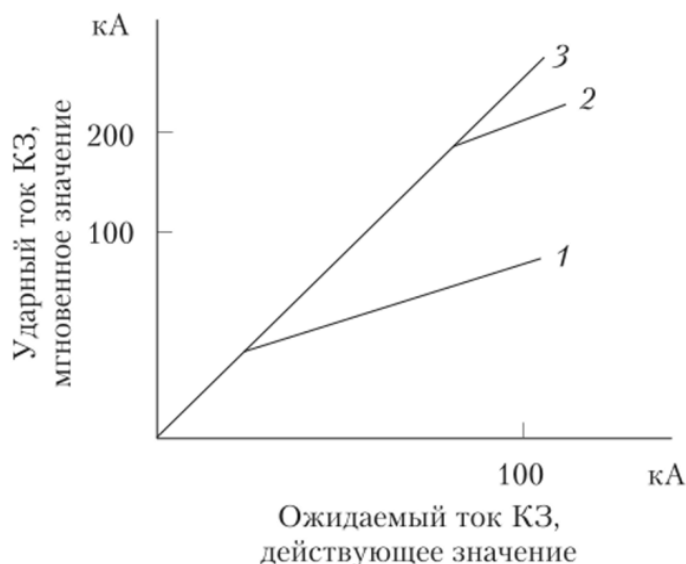


Рисунок 1. Ограничение ударного тока КЗ автоматическими выключателями:
 1 — выключатель с номинальным током 1000 А; 2 — выключатель с номинальным током 2500 А; 3 — аппараты без токоограничения

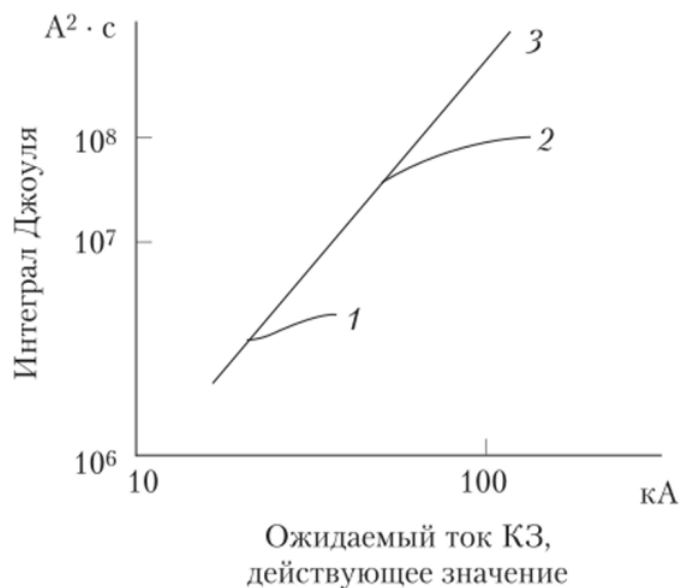


Рисунок 2. Ограничение значения интеграла Джоуля режима КЗ автоматическими выключателями:
 1 — выключатель с номинальным током 1000 А; 2 — выключатель с номинальным током 2500 А; 3 — аппараты без токоограничения

Заключение

Таким образом, способность автоматического выключателя осуществлять свое назначение в условиях наличия тока КЗ описывают такими параметрами, как предельная отключающая способность. Автоматический выключатель такой ток при КЗ должен пропускать (без отключения самим выключателем) в течение довольно короткого отрезка времени, который задан. Времятоковая характеристика автомата строго задана и известна производителю, а время от-

ключения известно для каждой точки. В зависимости от условий эксплуатации и требований к системе защиты, выбираются соответствующие выключатели и автоматы с определенными характеристиками. Кроме того, важно регулярно проводить проверки и обслуживание системы защиты, чтобы обеспечить ее надежную работу и предотвратить возможные аварии. В целом, правильно подобранная и обслуживаемая система защиты помогает обеспечить безопасность и надежность работы электрооборудования, а также предотвращает возможные аварии и повреждения оборудования.

Литература

1. Ограничение тока короткого замыкания автоматическими выключателями - ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ [Электронный ресурс]/. Режим доступа: https://studme.org/124241/tehnika/ogranichenie_toka_korotkogo_zamykaniya_avtomaticheskimi_vyklyuchatelyami/. – Дата доступа: 14.04.2023.
2. Предельная коммутационная способность автоматического выключателя таблица (lemzspb.ru) [Электронный ресурс]/. Режим доступа: <https://lemzspb.ru/predel-naya-kommutatsionnaya-sposobnost-avtomaticheskogo-vyklyuchatelya-tablitsa/>. – Дата доступа: 11.04.2023.