

ВЫБОР ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

А.А. Сошников, В.С. Германенко

При построении систем комплексной безопасности электроустановок важным этапом является процедура выбора одной оптимальной стратегии из множества альтернативных. Этой процедурой предусматривается последовательное сравнение показателей эффективности, вычисленных для каждого варианта. Автоматическая генерация таких альтернатив невозможна из-за отсутствия универсальных алгоритмов их формирования. Поэтому процедура оптимального выбора должна предусматривать эвристическое задание множества возможных стратегий и использование методов сплошного перебора с проверкой выполнения заданных ограничений. Выбор совокупности задаваемых вариантов является достаточно сложной задачей, требующей учета комплекса нормативных, технических и экономических требований применительно к условиям конкретного объекта защиты. При этом нормативные требования далеко не во всех случаях определяют однозначную техническую реализацию. Поэтому возникла необходимость обоснования возможных вариантов построения систем безопасности электроустановок.

По классификации Международной электротехнической комиссии и в соответствии с ГОСТ Р 50571.2 – 94 (МЭК 364-3-93) и 7-м изданием Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [1] электрические сети подразделяют в зависимости от способа заземления на следующие: **TN-S**, **TN-C**, **TN-C-S**, **TT**, **IT**. При рассмотрении вопросов повышения безопасности в первую очередь должен быть решен вопрос выбора системы электроснабжения. Необходимо учитывать, что электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы **TN** [1]. Большинство существующих систем выполнены по типу **TN-C** (с объединенным рабочим и защитным нулевым проводником), а перспективным направлением их развития является система **TN-C-S** (с частичным разделением нулевого проводника на рабочий и защитный). Использование системы **TT** (без зануления) допускается только в тех случаях,

когда условия безопасности в системе **TN** не могут быть обеспечены. Системы **TN-C-S** позволяют применять устройства защитного отключения (УЗО), а в системе **TT** их применение является обязательным.

После выбора системы электроснабжения должен быть решен вопрос о мерах защиты людей и животных при косвенном прикосновении, к которым в общем случае относятся активные (автоматическое отключение питания) и пассивные средства защиты: защитное заземление, уравнивание и выравнивание потенциалов, малое напряжение, защитное электрическое разделение цепей, изолирующие площадки. На действующих объектах электроснабжения уже имеется защита от косвенного прикосновения и вопрос, как правило, сводится только к обоснованию необходимости применения системы уравнивания потенциалов. При этом требования к применению пассивных мер защиты, а также их сочетанию с активными средствами, достаточно полно регламентируются ПУЭ [1].

Более сложным является вопрос выбора параметров традиционной активной электрической защиты на основе предохранителей и автоматических выключателей. Как показывает практика, во многих случаях электрические сети, несмотря на формальное наличие такой защиты, по существу, от пожароопасных режимов не защищены. В соответствии с действующими методиками выбора защиты от коротких замыканий (к.з.) необходимая чувствительность защиты обеспечивается, если величина тока к.з. не менее чем в 3 раза превышает номинальный ток плавкой вставки предохранителя или теплового расцепителя автоматического выключателя. При минимально допустимой кратности тока время срабатывания аппаратов защиты может достигать десятков секунд. Высокая кратность токов к.з. по отношению к параметрам защиты в электроустановках зданий обеспечивается достаточно редко, что приводит к возможности длительного существования пожароопасных режимов.

Другой причиной низкой эффективности электрической защиты является не учитываемый действующими методиками пережигающий эффект электрической дуги, как пра-

вило, возникающей при коротких замыканиях. Температура в месте воздействия дуги достигает 5 ... 8 тыс. градусов, что аналогично воздействию электросварки. При этом провода могут пережигаться быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов, связанных с развитием электрической дуги, искрообразованием, воспламенением изоляции и других горючих материалов и т.п.

Прогнозирование последствий коротких замыканий и оценка эффективности электрической защиты возможны на основе сопоставления характеристик срабатывания аппаратов защиты (предохранителей или автоматических выключателей) и характеристик перегрева электропроводки электрической дугой [2]. Характеристики перегрева медных и алюминиевых проводов различного сечения, соответствующие непрерывному (без затухания) действию электрической дуги получены в Алтайском государственном техническом университете [2]. Они используются для прогнозирования последствий коротких замыканий, а также оценки вероятности возникновения пожара, например, в результате воспламенения электропроводки.

Расчетные выражения вероятности загорания изоляции при к.з. на участке сети получены на основе сопоставления характеристик перегрева провода (в общем случае, с учетом возможного периодического затухания электрической дуги) и срабатывания защиты этого участка. Загорание изоляции с рассчитываемой вероятностью возможно для тех значений токов к.з., которые попадают в незащищенную зону.

Рассмотренный подход позволяет оценивать вероятность пожара при к.з. на объектах электроснабжения при различных вариантах сочетания защитных средств и выбирать параметры защиты и внутренние электропроводки по условию минимальной вероятности возникновения пожара.

Статистика электропоражений людей и животных, а также проведенные расчеты показывают, что эффективность автоматического отключения для обеспечения электробезопасности также может быть значительно повышена. Для этого необходимо учитывать вероятности электропоражений, рассматриваемых как случайные события. При рассмотрении электропоражений, вызванных прикосновением людей к нетоковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением, такое событие, имеет место при

совпадении во времени прикосновений человека к корпусу работающей электроустановки с появлением на ее корпусе напряжения вследствие пробоя изоляции и свершением ряда других событий.

На основе проведенного анализа известных методов оценки уровня электробезопасности при рассмотрении эффективности электрозащиты за основу принят метод, разработанный в АлтГТУ [3]. К его достоинствам следует отнести доведение до уровня методики, позволяющей производить компьютерные расчеты эффективности систем электрозащиты на реальных и проектируемых объектах. В отличие от большинства других методик (предполагающих совпадение момента прикосновения человека к корпусу электроустановки и момента однофазного короткого замыкания на корпус) здесь учитывается реальная длительность существования опасного напряжения на корпусе, определяемая временем срабатывания аппарата максимальной токовой защиты. Такая длительность обычно соизмерима со временем прикосновения (а в отдельных случаях и превышает это время). Методика позволяет учитывать достаточно большие длительности времени срабатывания аппаратов защиты, входящих в состав реальных систем зануления различных объектов и реализует вероятностно-детерминированный метод расчета. При этом детерминированными величинами являются длительность существования напряжения на корпусе электроустановки, длительность прикосновения человека к корпусу, длительность включенного состояния электроустановки (а также факт совпадения во времени прикосновения и работы электроустановки). Средствами теории вероятностей описывается возможность возникновения однофазного к.з. на корпус электроустановки, а также момент его возникновения.

На практике человек может несколько раз касаться корпуса определенной электроустановки на протяжении интервала периодичности (причем длительности прикосновений могут быть как одинаковыми, так и различными). Поэтому вероятность электропоражения может быть определена как сумма вероятностей электропоражений, подсчитанных для каждого из таких прикосновений (учитывающего как рассматриваемую, так и соседние электроустановки, связанные по системе зануления).

Предложенные модели электробезопасности позволяют по заданным параметрам множества людей, множества электроустано-

вок и системы электрической защиты рассчитывать значения вероятностей электропоражений каждого из людей. На базе этих вероятностей рассчитываются другие показатели, интегрально оценивающие электробезопасность всего множества людей, например средняя вероятность электропоражения людей на объекте.

Анализ результатов расчетов, проведенных в АлтГТУ показывает, что принципиально возможно существенное (до 5-8 раз) снижение опасности электропоражений людей и пожаров от электроустановок только за счет изменения параметров максимальной токовой защиты [3, 4].

В соответствии с рекомендациями [5] будем называть системы защиты на основе предохранителей и автоматических выключателей с параметрами, выбранными без учета предложенной методики, **традиционными ПА-системами безопасности электроустановок**, а по предложенной методике – **оптимальными ПА-системами**. Таким образом, при выборе параметров предохранителей и автоматических выключателей могут быть созданы как **традиционные**, так и **оптимальные ПА-системы**.

В настоящее время наиболее действенной электрозащитной мерой, позволяющей снизить число электропоражений и пожаров от электроустановок является применение устройств защитного отключения (УЗО). Как показал зарубежный опыт и проведенные в России исследования, при массовом внедрении УЗО возможно снижение количества пожаров от электротехнических причин в 5...7 раз [6]. При этом вероятность электропоражений людей может быть снижена на один-два порядка [7, 8]. Однако в действующих нормативных документах четкая регламентация применения УЗО отсутствует. Возможны различные варианты оснащения этими аппаратами одного и того же объекта. В соответствии с рекомендациями [5] системы безопасности с применением УЗО будем называть **ПАУ-системами**. УЗО могут применяться в сочетании как с традиционными, так и оптимальными ПА-системами. При этом может быть различной как конфигурация оснащения объекта УЗО (места установки, количество защитных аппаратов, наличие дополнительной ступени защиты), так и их типы и параметры.

Многообразие типов УЗО обусловлено рядом отличительных признаков, определяемых их классификацией [9].

По принципу реализации отключающей функции:

- энергонезависимые (электромеханические);
- энергозависимые (электронные).

По функциональному назначению:

- однофункциональные (некомбинированные), выполняющие только прямую функцию УЗО;
- многофункциональные (комбинированные), дополнительно обладающие функциями защиты от перегрузки и (или) коротких замыканий на основе тепловых и (или) электромагнитных расцепителей.

Многофункциональные УЗО, кроме того, могут иметь функцию предупредительной сигнализации опасного режима электроустановки, а также многоступенчатую регулирующую уставку срабатывания.

Некомбинированные УЗО могут использоваться только в сочетании с традиционной аппаратурой защиты от коротких замыканий и перегрузок. Их применение целесообразно в качестве головного аппарата при групповой защите или в случае установки на реконструируемом объекте, где уже имеется электрическая защита от коротких замыканий и перегрузок.

Комбинированные УЗО выполняют дополнительно функции автоматического выключателя, поэтому могут использоваться автономно. Их применение целесообразно в качестве аппарата индивидуальной защиты или защиты одной группы потребителей.

Комбинированные УЗО с дополнительными функциями (многоступенчатой уставкой или предупредительной сигнализацией опасного режима электроустановки), целесообразно использовать в качестве головной защиты групп электроприемников, имеющих в своем составе электронагреватели и предъявляющих повышенные требования к надежности электроснабжения.

В соответствии со стандартом МЭК 898 и стандартами ведущих европейских стран [10, 11] комбинированные УЗО в зависимости от вида защитной характеристики разделяются на следующие типы, каждому из которых соответствует рекомендуемая область применения:

А – защита от сверхтока электрических цепей специального назначения с полупроводниковыми приборами и электропроводок большой протяженности;

В – защита от сверхтока электрических цепей в жилых зданиях;

С – защита от сверхтока электрических цепей, в которых возможны большие токи

включения, например, электродвигателей, электрических светильников и др.;

D – защита от сверхтока электрических цепей, в которых могут быть большие импульсные токи, появляющиеся при включении трансформаторов, электромагнитных клапанов, емкостных нагрузок и др.

По виду контролируемого тока:

- реагирующие только на переменный ток (тип «АС»);
- реагирующие на переменный и пульсирующий постоянный токи (тип «А»);
- реагирующие на сглаженный постоянный ток (тип «В»).

В России в настоящее время нашли применение УЗО типов «А» и «АС», причем наибольшее распространение получили последние, ввиду их меньшей стоимости.

По наличию выдержки времени срабатывания:

- с выдержкой времени срабатывания (селективные);
- без выдержки времени срабатывания (неселективные).

Селективные УЗО должны применяться в качестве аппаратов головной защиты при двухступенчатой системе защиты. В остальных случаях применяются неселективные УЗО.

По количеству коммутируемых полюсов:

- однофазные (двухполюсные);
- трехфазные (трехполюсные и четырехполюсные).

Трехфазные УЗО применяются в трехфазных или двухфазных сетях, а также используются в качестве головного аппарата при одноступенчатой и двухступенчатой защите, когда невозможно использование однофазных УЗО.

К одному из важнейших параметров УЗО, выбираемых проектировщиками, относится номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка срабатывания).

Таким образом, проектируемые ПАУ-системы могут отличаться:

- по конфигурации оснащения УЗО;
- по типам применяемых УЗО с учетом различия функциональных возможностей;
- по параметрам используемых УЗО.

В общем случае для выбора рационального сочетания составляющих систем безопасности необходимо учитывать не только нормативные требования, но и расчетные показатели эффективности электрической защиты, а также ограничения материального и социального характера. Решение этой задачи возможно с помощью разработанных в АлтГТУ программных комплексов типа

«АРИАС» и его модификаций [3], а также «СКБЭ-оптима» [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Главы 7.5, 7.6, 7.10. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. - 176 с.
2. Сошников А.А., Шелепов О.П. Развитие технологий обеспечения пожарной безопасности электроустановок низкого напряжения / Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. - 2000. - № 3. - С. 50-54.
3. Сошников А.А., Дробязко О.Н. Создание оптимальных систем комплексной электробезопасности в электроустановках до 1000 В / Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. - 2000. - № 3. - С. 27-36.
4. Сошников А.А. Пожарная безопасность электроустановок зданий: Проблемы и перспективы / Ползуновский альманах. - 1999. - №3. - С. 31-33.
5. Сошников А.А., Дробязко О.Н. Развитие определений и терминов области систем безопасности электроустановок напряжением до 1 кВ / Техника в сельском хозяйстве. - 2003. - № 5. - С. 26-30.
6. Сошников А.А. Защита систем сельского электроснабжения 0,38 кВ от аварийных режимов.: Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. - М., 1992. - 33 с. В надзаг.: Моск. ин-т инж. с.-х. производства им. В.П. Горячкина.
7. Якобс А.И., Вайнберг М.Е., Кузилин А.В. Анализ электрозащитной эффективности зануления и устройств защитного отключения применительно к бытовым электроприборам, питаемым от однофазных сетей 220 В жилых и общественных зданий / Промышленная энергетика. - 1996. - №2. - С. 35-43.
8. Слободкин А.Х. Анализ влияния УЗО на электробезопасность в сетях 380/220 В с заземленной нейтралью / Промышленная энергетика. - 1997. - № 5.
9. Никольский О.К., Сошников А.А., Полонский А.В. Системы обеспечения безопасности электроустановок до 1000 В: Методические рекомендации по расчету, проектированию, монтажу и эксплуатации электрической защиты. 2-е изд., перераб. и доп. - Барнаул, 2001. - 126 с.
10. DIN VDE 0641-Teil 11.
11. Государственный стандарт РФ. ГОСТ Р 50345 - 92 (МЭК 898-87). Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения.
12. Дробязко О.Н., Гусельников С.С. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2003610372 от 12 февраля 2003 г. «Выбор оптимальной стратегии создания систем комплексной безопасности электроустановок (СКБЭ-оптима).