

ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ОТ ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

А. С. Котов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. А. Рудченко

Целью исследования данной работы является повышение уровня электробезопасности в электрических сетях напряжением 380 В с глухозаземленной нейтралью типа TN-C при однофазных коротких замыканиях на нулевой проводник и связанные с ним металлические конструкции.

Аварийная статистика показывает, что воздушные линии с неизолированными проводами являются менее надежными элементами электрической сети – в 65 % случаев повреждения на линиях являются наиболее опасными для жизни. Однофазные короткие замыкания на нулевой рабочий провод и связанные с ним металлические конструкции являются наиболее частым видом повреждений ВЛ-0,38 кВ. Возникающие при этом токи являются причиной возникновения пожаров.

Токовые защиты получили значительное распространение в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью типа TN-C для защиты от однофазных коротких замыканий, которые базируются на использовании плавких предохранителей и автоматических выключателей. Исследования показали, что зона действия защиты этими аппаратами передается только на начальную часть ВЛ-0,38 кВ и в остальных случаях не превышает 100–300 м в зависимости от мощности питающих трансформаторов, номинальных токов защитных аппаратов и сечения проводов. Результативность защиты можно повысить путем секционирования линии, т. е. деления ее на участки, в начале которых следует устанавливать рекомендованные защитные аппараты, что позволит увеличить чувствительность защит [3]. Тем не менее, сегодня отсутствуют методики расчета, выбора и расстановки автоматических выключателей

и плавких предохранителей по длине защищаемой линии, которые послужили бы гарантией ее защиты. Из описанного ранее следует, что проблема защиты от однофазных коротких замыканий на нулевой рабочий провод ВЛ-0,38 кВ с неизолированными проводами является актуальной.

В статье концепция построения представлена на примере защиты ВЛ-0,38 кВ длиной 500 м и сечением проводов 35 мм^2 , которая питается от трансформатора номинальной мощностью 160 кВА со схемой соединения обмоток Y/YN и защищается плавкими предохранителями с разными номинальными токами. Определение минимального тока однофазного короткого замыкания (ОКЗ) в электрической сети напряжением до 1 кВ – это начальный материал, на величину которого оказывает влияние достаточно большое количество факторов. В процессе эксплуатации возникают различного рода повреждения в электрических сетях напряжением 380 В с воздушными линиями с неизолированными проводами, которые обуславливают различные несимметричные режимы работы, из числа которых более часто встречаются: 1) однофазные короткие замыкания между фазным и нулевым проводами; 2) однофазные замыкания на землю; 3) обрывы фазного провода; 4) обрывы нулевого провода. Исследования процессов, проходящих при возникновении указанных несимметричных режимов, проводят с использованием математических, компьютерных, физических моделей. Но соответствие приобретенных на моделях результатов можно проверить путем исследований в реальной электрической сети. В то же время анализ данных, полученных в процессе исследований на компьютерной модели электрической сети, показывает, что воплощение отдельных аварийных режимов в действующей электрической сети может создать опасную ситуацию для электроприемников, а также людей и животных. Напряжение на поврежденной фазе может снижаться до нуля при искусственном создании однофазного короткого замыкания на воздушной линии, а напряжения здоровых фаз относительно нулевого провода имеют все шансы приблизиться к линейному значению. Например, в электрической сети с силовым трансформатором ТМГ-160/10/0,4 кВ экспериментальными исследованиями установлено, что при однофазном коротком замыкании в месте повреждения и далее по линии напряжение на поврежденной фазе снижается до 2,5–5 В, а на здоровых фазах возрастает до 310–324 В. Необходимо дополнить, что удаленные однофазные короткие замыкания могут абсолютно не отключаться защитными аппаратами либо отключаться в течение единиц и даже десятков секунд, следовательно, существует значительная возможность повреждения электрооборудования потребителей.

При обрыве нулевого провода напряжения фаз относительно земли зависят от степени несимметрии электрических фазных нагрузок. В крайнем случае, например, при отсутствии нагрузок на двух фазах и максимальной нагрузке на третьей фазе, напряжение на первых двух фазах может приближаться к линейному значению. Описанные два случая показывают, что проведение экспериментальных исследований в действующей электрической сети напряжением 380 В опасно для любых электроприемников, подключенных к этой сети. Из-за возникающих значительных повышений или понижений напряжения более чем на $\pm 5\text{--}10\%$ вероятно повреждение как бытовой, так и производственной техники. Помимо этого, амплитуда напряжения способна спровоцировать и возгорание жилых домов.

Ввиду того, что опытная электрическая сеть и подключенные к ней потребители электрической энергии не критичны к перенапряжениям, то в ней можно создавать самые различные несимметричные режимы работы воздушной линии в разных точках по ее длине, которые достаточно сложно или невозможно организовать в действующих электрических сетях, так как они опасны как для подключенных электроприем-

ников, так и для населения и животных, находящихся вблизи воздушных линий. Перечислим наиболее актуальные и характерные режимы работы электрической сети напряжением 380 В: 1) короткие замыкания одного, двух- или трехфазных проводов на нулевой провод; 2) двух- и трехфазные короткие замыкания; 3) одно-, двух- или трехфазные обрывы проводов, обрыв нулевого провода; 4) замыкания фазного или нулевого проводов на землю без их обрыва или с их обрывом; 5) сложные виды повреждений, например, обрыв нулевого провода с одновременным замыканием фазного провода на оборвавшийся нулевой провод со стороны потребителя; 6) нормальные и несимметричные режимы работы электрической сети с изменением в большом диапазоне фазных нагрузок потребителей электроэнергии; 7) изменения сопротивлений заземляющих устройств трансформаторной подстанции и потребителей, а также сопротивлений повторных заземлителей нулевого провода воздушной линии.

Для фиксации напряжений и токов подразумевается применение следующей измерительной техники: а) самопишущих цифровых осциллографов, позволяющих фиксировать непрерывные (аналоговые) изменения напряжений и токов, например АОС-5110; б) самопишущих цифровых комплектов, например «Ресурс-2UF2М», которые дают возможность производить запись измеряемых параметров с интервалами осреднения 0,02–3–60 с; фиксировать большое количество параметров, а именно: изменения напряжения, токов, активной, реактивной и полной мощностей, коэффициента мощности, симметричных составляющих напряжений и токов, а кроме того, наблюдаемые периоды времени; в) токовых клещей с диапазоном измерения токов от 4 мА до 100 А, позволяющих измерять как малые токи, протекающие по повторным заземлителям, так и токи, протекающие по фазным и нулевому проводам линии; г) различного вида мультиметров, например, МАСТЕЧН МУ-60. При этом предполагается, что комплекты измерительных и фиксирующих приборов можно устанавливать как в месте «создания» повреждения, так и в начале воздушной линии – в РУ-0,4 кВ ТП.

В опытной электрической сети можно проводить исследования по следующим направлениям: 1. Изменения токов, протекающих по фазным и нулевому проводам, по заземляющим устройствам трансформаторной подстанции и потребителей, по повторным заземлителям нулевого провода воздушной линии: 1) в нормальном режиме работы электрической сети при изменении несимметрии фазных нагрузок потребителей и изменении сопротивлений вышеуказанных заземляющих устройств электрической сети (исследования позволят определить и сформировать условия отстройки средств защиты); 2) при возникновении различного рода коротких замыканий, в том числе и однофазных замыканий на землю (исследования позволят проверить степень достоверности критериев распознавания различных видов повреждений воздушной линии, установленных в процессе проработок на компьютерной модели, и определить требования к токовым защитам, в частности, построенным с использованием плавких предохранителей, автоматических выключателей). 2. Исследования различных вариантов дифференциальных токов воздушной линии, к примеру, приобретенных по средствам векторного суммирования трех фазных токов или суммирования трехфазных токов и тока в нулевом проводе. Исследования дают возможность отчетливо выразить требования к различного рода защитам воздушной линии при однофазных коротких замыканиях и однофазных замыканиях на землю. 3. Исследования изменений фазных напряжений, напряжения несимметрии, симметричных составляющих напряжений сети при обрывах фазных и нулевого проводов. Данные исследования позволят опробовать критерии распознавания рассматриваемых режимов работы электрической сети, выявленных при изучении на компьютерной модели, и выразить требования к защитам. 4. Испытания

и исследования работы серийных и опытных образцов различного рода устройств защиты электрической сети. 5. Исследования условий электробезопасности электрической сети при моделировании различных режимов ее работы.

Л и т е р а т у р а

1. Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
2. Веников, В. А. Теория подобия и моделирование (применительно к задачам электроэнергетики) / В. А. Веников. – М. : Высш. шк., 1976. – 479 с.
3. Исследование аварийных режимов в сельских электрических сетях напряжением 380 В / А. М. Ершов [и др.] // Техника в сел. хоз-ве. – 2013. – № 6. – С. 18–21.