

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/YH 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, MASTECH MY-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.