

УДК 621.311.2.014.7 + 621.316.1

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

С.Н. Трофимова

Рассмотрены основные требования, предъявляемые к работе систем электроснабжения сельских населенных пунктов, проведен анализ распределения токов однофазного замыкания на землю, определена плотность вероятности экспоненциального распределения токов однофазного замыкания в сельских электрических сетях.

Ключевые слова: сельские электрические сети, надежность, однофазное замыкание на землю.

Распределительные сети 6–35 кВ обеспечивают электроснабжение потребителей промышленных объектов, потребителей собственных нужд электростанций, сельскохозяйственных потребителей, объектов коммунального хозяйства и т.д.

Надёжность работы электрических сетей 6–35 кВ в значительной мере определяет безаварийность электроснабжения потребителей, и эта задача является актуальной в современных условиях не идеального технического состояния воздушных электрических сетей, в том числе и сельских.

Сельскими электрическими сетями считаются сети, которые снабжают электроэнергией преимущественно (более 50 %) сельскохозяйственных потребителей, объекты мелиорации и водного хозяйства [1]. В отличие от городов, особенности электроснабжения в сельской местности заключаются в охвате электрическими сетями большой территории с малыми плотностями электрических нагрузок, составляющими 1–15 кВт/км² [2]. Подвод электроэнергии осуществляется к большому количеству сравнительно маломощных рассредоточенных объектов. Сельским сетям свойственно наличие сезонных потребителей, существенное изменение нагрузок в течение суток, в течение года, причем в зависимости от времени года нагрузка потребителей изменяется в широких пределах.

Специфика электроснабжения сельских населенных пунктов определяется большим количеством электроприемников относительно небольшой мощности, которые разбросаны на большой площади, преобладанием электроприемников второй категории по требованиям надежности электроснабжения в жилых районах, отсутствием постоянного дежурного персонала на трансформаторных подстанциях и распределительных пунктах.

Сельские электрические сети не всегда способны справляться с возрастающими электрическими нагрузками как на этапе передачи, так и на этапе распределения электрической энергии потребителям. На современном

этапе важное значение приобретают требования к надежности работы сельских электрических сетей. Уровень надежности их работы определяется такими показателями, как вероятность отказа, или средний коэффициент вынужденного простоя, параметр потока отказов, среднее время восстановления элементов сети, а также относительное значение недоотпуска электроэнергии потребителям [3].

Электрические сети в сельской местности снабжают потребителей преимущественно по воздушным линиям электропередачи, следовательно, повышение надёжности сельских электрических сетей может быть обеспечено, в первую очередь, повышением надёжности ВЛ.

Анализ отказов в работе 117 сельских электрических сетей 6–35 кВ ОАО «МРСК Урала» филиала Челябэнерго структурного подразделения «Златоустовские электрические сети» показал, что основное число отказов в этих сетях по различным причинам является следствием повреждения воздушных линий (76 %), значительная доля из которых приходится на провода ВЛ – 36 % всех нарушений работы сети (табл.), что определяется спецификой построения сельских электрических сетей и большой протяженностью ВЛ.

Таблица

Распределение отказов в работе сельских электрических сетей

Наименование оборудования	Повреждаемость, %
Провод ВЛ	35,89
Опора	16,86
Изолятор	12,35
Прочие элементы ВЛ	8,51
Разъединитель	5,84
Трансформатор силовой	4,84
Шины	4,01
Прочие	11,69
Всего	100,00

Как правило, отказы в работе электрических сетей сопровождаются однофазными замыканиями на землю, которые заканчиваются пробоем изоляции в ее ослабленных местах. Кроме того, в режиме ОЗЗ в сельских электрических сетях, работающих в режиме изолированной нейтрали источника питания, распределенные по всей сети активные и емкостные токи утечки сосредотачиваются в месте замыкания, под действием выделяемой активной мощности может произойти увеличение температуры нагрева и создаться пожароопасная ситуация. Помимо этого, преобразование части энергии в тепло приводит к увеличению потерь электрической энергии. Все это неблагоприятно сказывается на надежности работы электроснаб-

жения сельских потребителей, поэтому для анализа надежности работы сельских электрических сетей был проведен анализ распределения токов однофазного замыкания на землю.

Сельские электрические сети 6–35 кВ характеризуются токами однофазного замыкания на землю, как правило, до 5–10 А [4]. Эксплуатируемым сельским электрическим сетям свойственна относительно большая степень несимметрии напряжений из-за большой доли однофазных нагрузок (до 5 %) [5], что накладывает определенные условия как на применение систем компенсации емкостных токов ОЗЗ, так и на производство измерений емкостных токов в таких сетях. Определение числа групп значений токов однофазного замыкания на землю $I_{\text{ОЗЗ}}$ осуществлялось математическим путем с использованием формулы Стерджесса:

$$n = 1 + 3,322 \cdot \lg N, \quad (1)$$

где n – число групп; N – число единиц совокупности.

Величина интервала определялась по формуле:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}, \quad (2)$$

где x_{\max} и x_{\min} – максимальное и минимальное значение признака в совокупности; n – число групп.

Для определения закона распределения токов ОЗЗ в электрических сетях 6–35 кВ данные по величинам токов ОЗЗ были отнесены к законам вероятностных распределений непрерывных величин и проверено соответствие статистических данных с ожидаемыми частотами в теоретическом распределении в принятой гипотезе с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 при заданном уровне значимости α .

Хорошо согласующаяся гипотеза распределения $I_{\text{ОЗЗ}}$ в сельских электрических сетях – экспоненциальное распределение вероятности величины $I_{\text{ОЗЗ}}$, которое описывается плотностью:

$$P(x) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases},$$

где λ – параметр распределения:

$$\lambda = \frac{1}{M}.$$

Согласно выдвинутой гипотезе об экспоненциальном распределении токов ОЗЗ в сельских электрических сетях 6–35 кВ, математическое ожидание появления $I_{\text{ОЗЗ}}$ при возникновении в сельских сетях ОЗЗ, определяемое по [6], составит $M = 5,02$, а дисперсия $D = 25,25$.

Анализ эмпирических и теоретических частот с помощью критерия Пирсона показал, что наблюдаемое значение χ^2 с числом степеней свободы $S=4$ для уровня значимости $\alpha=0,01$ не превышает критического значения $\chi_{кр}^2$:

$$\chi^2 = 11,55 < \chi_{кр}^2.$$

Следовательно, данные наблюдений согласуются с этой гипотезой. Тогда закон плотности распределения (рис. 1) вероятности появления I_{033} при возникновении в сельских электрических сетях ОЗЗ будет описываться уравнением:

$$P = 0,199 \cdot e^{-0,199 \cdot I_{033}},$$

а функция распределения этого закона:

$$F = 1 - e^{-0,199 \cdot I_{033}}.$$

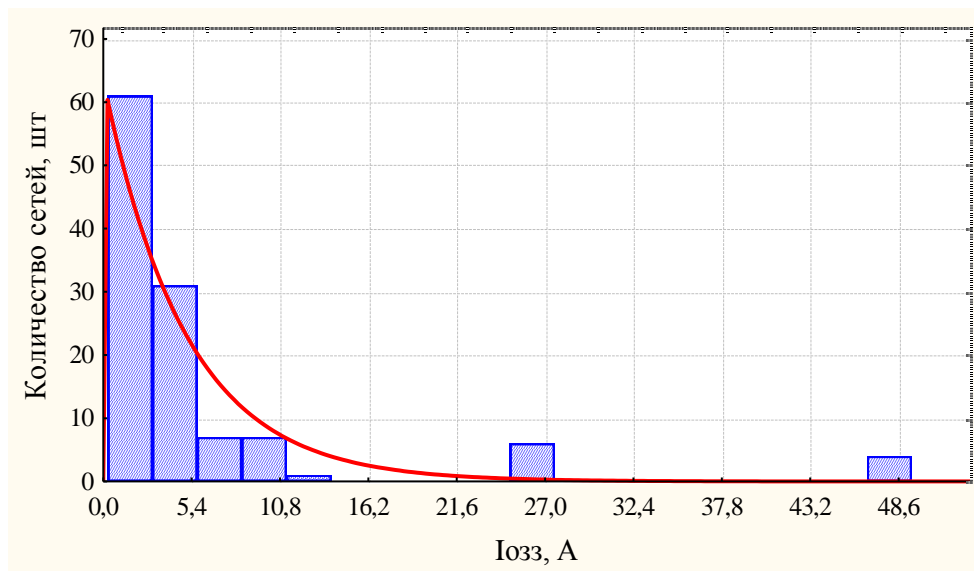


Рис. 1. Плотность вероятности экспоненциального распределения I_{033} в сельских электрических сетях

Несмотря на то, что при токах до 5А открытые электрические дуги, которыми сопровождаются однофазные замыкания в электрических сетях с изолированной нейтралью источника питания, горят неустойчиво и в большинстве случаев самоустраиваются, изоляция восстанавливает свою электрическую прочность и сеть восстанавливает нормальный режим работы, такие значения токов представляют опасность для живого организма. Опасности поражения электрическим током в результате шагового напряжения или напряжения прикосновения может подвергаться электротехнический персонал при осмотрах линии, население, а также животные, находящиеся вблизи места однофазного замыкания на землю.

Кроме того, длительная работа сети в режиме ОЗЗ может привести к выходу из строя некоторых типов трансформаторов напряжения (ТН), к перерастанию однофазного замыкания на землю в двухфазные или трехфазные КЗ, а также к значительным повреждениям электротехнического оборудования. Малые токи замыкания на землю (до 5А) в сельских сетях не позволяют обеспечить достаточный уровень токовой защиты нулевой последовательности от однофазных замыканий на землю. Применение ТН типа НАМИ в сетях с изолированной нейтралью 6–35 кВ позволяет решить вопрос обеспечения надежности ТН к феррорезонансу при однофазных дуговых замыканиях. Кроме того, повышение надежности может быть обеспечено применением резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6–35кВ, позволяющем существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ и исключить феррорезонансные процессы.

Библиографический список

1. Федосенко, Р.Я. Эксплуатационная надежность электросетей сельскохозяйственного назначения / Р.Я. Федосенко, Л.Я. Мельников. – М.: Энергия, 1977. – 320 с.
2. Федин, В.Т. Принятие решений при проектировании развития электроэнергетических систем / В.Т. Федин. – Минск: Технопринт, 2000. – 165 с.
3. Трофимова, С.Н. Повышение надёжности электроснабжения при резистивном заземлении нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ / С.Н. Трофимова // *Электробезопасность*. – 2009. – № 2–3.– С. 3–8.
4. Нагорный, П.Д. Измерительные трансформаторы напряжения и контроль изоляции в сетях 6–35 кВ / П.Д. Нагорный, В.В. Назаров // *Промышленная энергетика*. – 2002. – № 3. – С. 22–23.
5. *Электротехнический справочник*. В 4 т. Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского и др. – 8-е изд., испр. и доп. – Изд-во МЭИ, 2002. – 964 с.
6. Сидоров, А.И. Исследование причин нарушений в работе сельских электрических сетей 6–35 кВ / А.И. Сидоров, С.Н. Трофимова // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 2009. – № 4. – С. 29–31.

[К содержанию](#)