

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТАНОВОЧНЫХ ПРОВОДКОВ

А.Ф. Костюков

Разработан ряд способов, позволяющих производить оценку работоспособности установочных электропроводок и определение времени их наработки на отказ при различных режимах нагрузки и условиях эксплуатации.

Ключевые слова: электропроводка, эксплуатация, время наработки на отказ, надежность, импеданс

Свыше трети всех пожаров в России происходит из-за неисправности установочных электропроводок и их соединений, внезапно возникших коротких замыканий, обрывов и тепловых разрушений [1;2]. В подавляющем числе случаев, неисправности установочных электропроводок, приводящие к поражениям электротоком людей и животных, за исключением летальных случаев, скрываются. Так называемые «мелкие» отказы работоспособности проводок (как правило, в бытовых помещениях, не имеющих устройств защитного отключения - УЗО) не регистрируются вообще [3;4]. Хотя количество подобных отказов на несколько порядков превышает количество регистрируемых [5].

Основное внимание уделяется не предупреждению несчастных случаев и пожаров, а компенсационным мероприятиям при их наступлении. [6].

Целью проводимого исследования является разработка методов текущего контроля состояния электропроводок и оценка вероятности их дальнейшей безотказной работы.

В этой связи, задачей проводимого исследования является разработка следующих вопросов:

- возможность использования изменения температурного режима проводящей и изолирующей составляющей проводок для оценки износа электропроводок;
- возможность метрологической оценки энергетической неравновесности открытой системы «проводка-открытая среда»;
- возможность оценки износа электропроводки по изменению импеданса линии при заданной частоте и температуре;
- возможность оценки износа электропроводки по изменению квазирезонансной частоты контролируемой линии;
- возможность оценки износа электропроводки сравнением параметров контролируемой линии с эталонной линией. Известно

[7,11-13], что сопротивление проводников при повышении температуры возрастает по следующему приближительному (достаточно точному до температуры порядка 1000°C) выражению

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1)$$

где

R_1 – сопротивление при температуре t_1 ,

R_2 - сопротивление при температуре t_2 ,

t_1 - начальная температура;

t_2 - конечная температура;

α – температурный коэффициент сопротивления $1/C_0$.

Аналогично может быть оценена изношенность изоляции проводки.

Указанные закономерности могут быть использованы для оценки износа электропроводки и прогнозирования времени ее безотказной работы.

В частности, при пассивном способе, измерением сопротивления линии и сравнением его с заданной уставкой. Для чего предварительно определяют нормативный срок эксплуатации линии и времени ее наработки на отказ до начала эксплуатации. Затем, измеряют температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки. Определяют длину контролируемой линии. Рассчитным путем определяют сопротивление линии при указанных условиях. Закорачивают один конец линии шиной, идентичной проводам линии по металлу и поперечному сечению проводника. На другом конце находят реальное сопротивление линии и ток утечки изоляционного покрытия. Вычисляют отношения измеренных значений к нормативным значениям. После чего, вычисляют произведение отношений сопротивлений и утечек. И, затем, по кривой вероятности безотказной работы, имеющей экспоненциальный характер, определяют остаточное время наработки линии на отказ.

Другой, активный, способ оценки износа электропроводки и прогнозирования ее работы на отказ подразумевает определение отношения температуры нагретого проводника к температуре не нагретого проводника.

Как известно [7], установившуюся температуру токоведущей части проводки можно найти из уравнения теплового равновесия

$$I_2 r = A (t_{уст} - t_{окр}) \quad (2)$$

где

$I_2 r$ – количество тепла, выделяемого сопротивлением токоведущей части, равное мощности, потребляемой сопротивлением r за одну секунду (Дж/с·град);

$t_{уст}$ – установившаяся температура токоведущей части °С;

$t_{окр}$ – температура окружающей среды °С.

Соответственно, теплоотдача проводника

$$A = A_0 S_{пр} = 10A_0 \pi d l \quad (3)$$

где

A_0 – теплоотдача 1 см² поверхности охлаждаемого проводника;

$S_{пр}$ – поверхность охлаждения проводника;

d – диаметр проводника;

l – длина проводника.

Отсюда, установившаяся температура проводника будет равна

$$t_{уст} = \rho \delta^2 d / 40 A_0 + t_{окр} \quad (4)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, $\delta = I/q$ – плотность тока в проводнике А/мм².

Как видно из выражения (4), установившаяся температура зависит от плотности тока в проводнике. Иначе говоря, чем выше износ проводника, тем выше плотность тока в нем при одной и той же нагрузке.

Для выявления износа определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный срок эксплуатации линии и времени наработки на отказ до начала эксплуатации. Находят температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки. Определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем определяют сопротивление линии при указанных условиях, а также температуру нагрева проводов линии при экономическом и реальном токах нагрузки. К линии подключают регулирующую нагрузку и, с помощью вводного устройства, подключают источник электроэнергии. Регулируя нагрузку, по показаниям амперметра, добиваются получения экономического значения тока в линии. Через про-

межутки времени, достаточный для установления температурного баланса между линией и окружающей средой, определяют температуру проводов линии. Регулируя нагрузку, по показаниям амперметра, добиваются получения реального значения тока в линии. Через промежутки времени, достаточный для установления температурного баланса между линией и окружающей средой, определяют температуру проводов линии и изоляции. Находят отношение расчетных значений к реальным. Все полученные справочные данные на проводку, расчетные и экспериментальные результаты, совместно с кривой вероятности безотказной работы, заносят в вычислительное устройство, с его помощью соотносят полученные результаты с кривой вероятности безотказной работы и оценивают остаточное время наработки линии на отказ.

Принципиально высокой точностью и оперативностью обладает импедансный способ оценки износа установочных электропроводок. На рисунке 1 показана блок-схема, реализующая способ, где 1 – контролируемая линия, 2 - генератора ВЧ-колебаний, 3 - комплексный измеритель импеданса, емкости, индуктивности и активного сопротивления, 4 - вычислительное устройство, 5 - устройство регистрации и отображения информации.

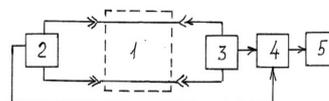


Рисунок 1 - Блок-схема устройства импедансного контроля

Последовательность реализации способа следующая. Определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия. Находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - нормативный ток утечки изоляции и нормативный срок эксплуатации линии, т.е. времени наработки на отказ до начала эксплуатации. Определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем определяют импеданс линии при заданной частоте и температуре. Данные помещают в вычислитель 4. На одном конце линии 1 включают ВЧ-генератор 2 и определяют, с помощью измерителя импеданса 3, размещенного на другом конце линии, комплексное сопротивление линии, в том числе - реальный ток утечки изоляционного покрытия. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы (например, экспоненциальная, Эрланга и др.), заносят в вычислительное устройство 4 и определяют вероятность безотказной работы линии,

при существующих условиях эксплуатации, с выводом результата на устройство отображения информации 5.

Более высокой точностью и оперативностью обладает квазирезонансный способ оценки работоспособности проводов. Для чего определяют трассировку и длину контролируемой линии. Расчетным путем определяют емкость, индуктивность, квазирезонансную частоту и активное сопротивление контролируемой линии при существующей температуре. Полученные данные помещают в вычислитель. На одном конце линии включают ВЧ-генератор, а на другом конце линии комплексный измеритель импеданса, емкости, индуктивности и активного сопротивления. Подстройкой частоты генератора добиваются квазирезонансного режима в линии, когда сопротивление линии имеет активный характер, и определяют, с помощью измерителя, размещенного на другом конце линии, комплексное сопротивление линии, в том числе – реальный ток утечки изоляционного покрытия. Все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы, заносят в вычислительное устройство и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации.

Способ сравнительного определения остаточного ресурса линий электропроводки, включающий определение нормативного срока эксплуатации линии из данного металла и нормативный ток утечки изоляционного покрытия для данной проводной пары, определяют металл электропроводки и материал изоляционного покрытия, находят паспортные данные на данную проводную пару, в том числе - время наработки на отказ до начала эксплуатации, определяют трассировку и длину контролируемой линии, находят расчетную температуру проводки в данной среде прокладки при отсутствии нагрузки, расчетным путем определяют рабочую, установившуюся, температуру изоляции и проводников при подаче через проводку максимального используемого тока, заданный отрезок новой электропроводной пары, идентичной контролируемой по материалу проводника, его сечению и изоляции помещают в среду, идентичную среде нахождения контролируемой проводки, пропускают в течение суток через указанный отрезок электрический ток, равный по режиму изменения суточному току контролируемой проводки, регистрируют на единице длины заданного отрезка суточные изменения падения напряжения, температуры проводника и изоляции, тока утечки изоляции, после чего на контролируемой

проводке регистрируют суточную динамику тока, падения напряжения, ток утечки изоляции, температуру проводки и изоляции, все данные, совместно с кривой вероятности безотказной работы заносят в вычислительное устройство и определяют вероятность безотказной работы линии, при существующих условиях эксплуатации.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Все основные исследования по электробезопасности проводились с целью выявления места и величины уже произошедшего нарушения электроснабжения, тогда как более злободневным является оперативная, функциональная оценка вероятности возникновения аварийной ситуации.

2. Функциональный контроль с использованием предлагаемых методов позволяет получать достоверную информацию о техническом состоянии электропроводок, выявлять основные факторы, влияющие на долговечность и количественные связи между диагностируемыми параметрами электропроводок и факторами нагрузки.

3. Функциональные испытания позволяют выявить основные виды повреждений, тем самым, оценить остаточный ресурс и дать его прогноз на заданный интервал времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л. Государственная политика в области регулирования природной и техногенной безопасности//Актуальные проблемы регулирования природной и техногенной безопасности в XXI веке. Материалы Международной научно-практической конференции. - М., 2005.- С.27-43.
2. ГОСТ 27.002 – 90. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.
3. ГОСТ 20911 – 89. Техническая диагностика. Термины и определения.
4. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86
5. ГОСТ Р 51901 – 2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.
- 6 Краевая программа «Повышение энергетической эффективности экономики Алтайского края и сокращение издержек в бюджетном секторе» на 2010 – 2014 годы и на перспективу до 2020 года (в ред. Постановления Администрации Алтайского края от 11.11.2010 № 496)
7. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н. Общая электротехника. – М.: Высш.шк., 1974. – 519 с.

Костюков А. Ф. - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», к.т.н., докторант,
E-mail: Kostjukovaf@mail.ru,
тел. (385-2) 36-71-29.