

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СРОКОВ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Ковалев А.П., д.т.н., профессор, Соленая О.Я., аспирант, Стопник А.Е., студент
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Актуальность вопроса. По данным МЧС Украины за период с 2002 по 2011 гг. от электротехнических причин в жилом секторе в сетях до 1 кВ произошло 123169 пожаров, материальный ущерб от которых составил свыше 1638 тыс. гр. В это число пожаров входят и те, которые происходили в сетях 0,38 кВ из-за нагрева силовых контактных соединений (розетки, выключатели, вводные щиты и т.д.). Пожар в квартирах от случайного появления ослабленного и опасно искрящего контактного соединения может произойти из-за увеличения с течением времени переходного сопротивления между контактирующими поверхностями. Количество тепла, которое выделяется в контактном соединении, зависит от его конструкции и частоты обработки контактирующих поверхностей [1].

Интенсивное выделение тепла в электрическом контактном соединении ведет к нагреву изоляции проводника, на котором может находиться пожароопасная пыль и при достижении температуры самовоспламенения пыль загорается.

Для обеспечения надежной работы контактных соединений, предотвращения перегрева, окисления, деформации (старения), необходимо своевременно производить проверку их состояния.

Поэтому задача, связанная с определением оптимальных с точки зрения пожарной безопасности сроков диагностики силовых электрических контактных соединений является актуальной.

Цель работы. Разработать математическую модель для оценки оптимальных с точки зрения пожарной безопасности сроков диагностики силовых контактных соединений (СКС).

Результаты исследования. Под безопасным состоянием СКС будем понимать такое состояние, при котором температура их нагрева рабочими токами находится в допустимых пределах.

Для определения интервала времени между диагностикой контактного соединения примем ряд допущений:

- время нахождения СКС в опасном состоянии можно определить только в результате диагностики;
- диагностика абсолютно надежна;
- длительность диагностики $\theta \ll \tau$ (где τ - интервал времени между последующими диагностическими проверками СКС).

Обозначим через $\xi(t)$ процесс изменения состояния СКС. Предположим, что $\xi(t)$ принимает соответственно два значения: 0 и 1, где 0 – безопасное состояние СКС; 1 – опасное состояние СКС (искрит, нагрето до недопустимой температуры).

Рассмотрим $\xi(t)$ как случайную функцию, которая имеет следующий характер изменения во времени. Существуют чередующиеся отрезки времени

$$\xi_0^{(0)}, \xi_1^{(0)}, \dots, \xi_i^{(0)}, \dots, \xi_n^{(0)},$$

на которых $\xi(t) = 0$ и отрезки $\xi_1^{(1)}, \dots, \xi_i^{(1)}, \dots, \xi_m^{(1)}$, на которых $\xi(t) = 1$.

Для СКС промежутки $\xi_i^{(0)}$ являются безопасными, а $\xi_i^{(1)}$ - опасными (рис. 1).

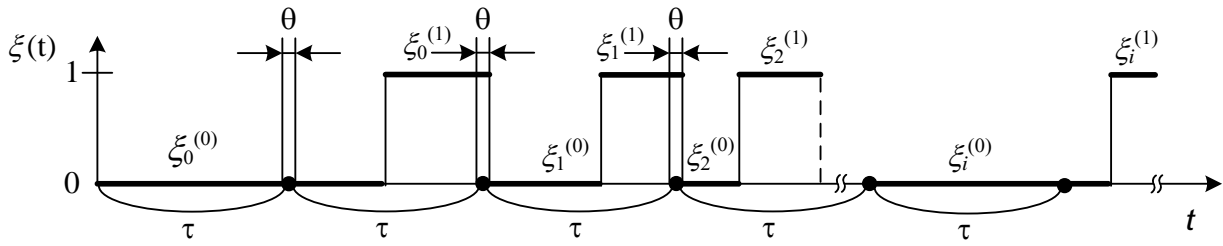


Рисунок 1 – Случайный процесс изменения состояния СКС

Пусть $\xi_i^{(0)}$ имеют одно и то же распределение:

$$F(t) = P(\xi_i^{(0)} < t) = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (1)$$

Все величины $\xi_i^{(0)}$ и $\xi_i^{(1)}$ взаимонезависимые [2].

Рассмотрим поведение СКС между проверками. В момент t с вероятностью $P(t) = \exp(-\lambda t)$ СКС будет находиться в безопасном состоянии, а с вероятностью $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ – в опасном.

Среднее время безопасного состояния СКС в интервале $(0, \tau)$:

$$T = \int_0^{\tau} [1 - F(t)] dt. \quad (2)$$

Обозначим через $K(\tau)$ отношение $(\tau + \theta) / T$.

Среднее время нахождения СКС в необнаруженном отказавшем состоянии окажется минимальным в том случае, когда $K(\tau)$ принимает минимальное значение:

$$\min_{\tau} K(\tau) = \min_{\tau} \frac{\tau + \theta}{T} = \min_{\tau} \frac{\tau + \theta}{\int_0^{\tau} \exp(-\lambda t) dt}. \quad (3)$$

Дифференцируя выражение (3) по τ и приравнявая производную нулю, получаем уравнение вида:

$$\exp(-\lambda \tau) - 1 - \tau \lambda - \lambda \theta = 0. \quad (4)$$

Для СКС низковольтных электрических сетей всегда выполняется условие [3]:

$$\lambda \tau < 0,1.$$

Разложим экспоненциальную функцию $\exp(-\lambda \tau)$ в ряд Маклорена в окрестности точки $\tau = 0$. Подставив три первых члена разложения в уравнение (4) и решив его относительно τ , получим:

$$\tau = \sqrt{\frac{2\theta}{\lambda}}. \quad (5)$$

Подставляя вместо λ значение, выраженное через число выхода из строя СКС n (за время наблюдения t) и общее число СКС N , за которыми было установлено наблюдение, преобразуем формулу (5) в следующий вид:

$$\tau = \sqrt{\frac{2\theta N t}{n}}. \quad (6)$$

Используя формулу (2) при заданном интервале времени между проверками τ_0 можно определить среднее время d нахождения СКС в необнаруженном отказавшем состоянии:

$$d = \tau_0 - T = \tau_0 - \int_0^{\tau_0} \exp(-\lambda t) dt = \tau_0 - \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda \tau_0)]. \quad (7)$$

В случаях, когда $\lambda \tau_0 < 0,1$, формула (7) имеет вид:

$$d = \frac{\tau_0^2 \lambda}{2}. \quad (8)$$

Если интервал времени между проверками СКС выбирать используя формулу (5), т.е. считать, что $\tau_0 = \tau$, то значение d будет минимальным. Подставив значение τ , полученное из формулы (5) в формулу (8), получим:

$$d = \theta.$$

Пример. Под наблюдением по плану [NMt] в течение времени $T = 1$ год находилось $N = 2200$ силовых контактных соединений в системе электроснабжения 100-квартирного дома. За это время в системе электроснабжения квартир вышло из строя $n = 15$ контактных соединений (сопротивление контактов увеличилось в 3 раза). Длительность одной проверки $\theta = 1$ час. Определить, через сколько времени необходимо проверять состояние силового контактного соединения, чтобы время нахождения контакта в дефектном состоянии было минимальным.

Решение.

$$\tau = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 2200 \cdot 8760}{15}} = 1603 \text{ ч.}$$

Таким образом, для того, чтобы после отказа силового электрического контактного соединения время его нахождения в опасном (отказавшем) состоянии было минимальным, достаточно производить их диагностику для данного примера путем контроля температуры нагрева каждые 1600 ч., т.е. приблизительно 5 раз в год.

Перечень ссылок

1. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок / Г.И. Смелков. – М: Кабель, 2009. – 328 с.
2. Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 486 с.
3. Ковалев А.П., Шевченко А.В., Муха В.П., Белоусенко И.В. О выборе сроков профилактики автоматических средств защиты // Промышленная энергетика № 2, 1994. - С. 9-10.