

О ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10-0,4 кВ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ковалев А. П., Муха В. П., Шевченко О. А., Журавель Е. А.

Донецкий государственный технический университет

olga@elf.dgtu.donetsk.ua

The mathematical model is offered which allow to define necessary reliability of the system of switching-off of the protective switching device so that probability of fires from short circuit in a cable network was minimal. The design formula is received.

Анализ пожаров, происшедших в Донецкой области за период с 1986-1995 гг в кабельных сетях 10-0,4 кВ, питающих различные потребители электроэнергии, показал следующее. Если сроки эксплуатации кабеля превышают 10-12 лет, то пожар от КЗ в нем происходит при отказе в срабатывании ближайшего к месту КЗ защитного коммутационного аппарата, через который прошел сквозной ток КЗ. Отключения тока КЗ резервной защитой с выдержкой времени не предотвращает пожар. Следовательно, можно предположить, что пожар в таких кабельных сетях наступает всякий раз при совпадении в пространстве и времени двух случайных событий: КЗ в кабельной сети; отказ в срабатывании основного защитного коммутационного аппарата, через который прошел сквозной ток КЗ.

Задача данной работы состоит в следующем. Определить, какой надежностью должна обладать система отключения защитного коммутационного аппарата вместе с релейной защитой, чтобы вероятность совпадения описанных выше событий была минимальной, т. е. соответствовала бы норме $H = 1,14 \cdot 10^{-10} \frac{1}{4}$, обеспечивающей пожарную безопасность элемента сети [1].

Изменение состояния рассматриваемого участка кабельной сети рассмотрим в виде марковского случайного процесса $\xi(t)$, с параметрами λ_1 и μ_1 , который может принимать два значения: 0-безопасное состояние, интервалы времени между появлениями КЗ в защищаемой сети и 1-опасное состояние - в сети произошло КЗ, длительность которого равна времени срабатывания средств защиты. Аналогичной функцией $\eta(t)$ с параметрами λ_2 и μ_2 описывается состояние защитного коммутационного аппарата: 0 - система защиты находится в исправном состоянии; 1- система защиты находится в отказавшем состоянии. Пожар от КЗ в кабельной сети наступит в том случае, когда $\xi(t)=1$ и $\eta(t)=1$. Выразим значение среднего времени τ_1 до появления пожара из-за КЗ в кабельной сети, через известные параметры процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$. Для этого совокупность этих процессов рассмотрим как процесс маркова с четырьмя состояниями и непрерывным временем. Поведение во времени такой системы полностью описывается матрицей вероятностей переходов (1)

$$P = \begin{pmatrix} 1 - (\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 \\ \mu_1 & 1 - (\mu_1 + \lambda_2) & 0 & \lambda_2 \\ \mu_2 & 0 & 1 - (\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $\lambda_1 = \frac{1}{d_1}$; $\mu_1 = \frac{1}{d_1}$; $\lambda_2 = \frac{1}{d_2}$; $\mu_2 = \frac{1}{d_2}$.

\bar{d}_1 , d_1 - средний интервал времени между появлениями КЗ в защищаемой кабельной сети и средняя длительность существования тока КЗ (среднее время срабатывания защиты);

\bar{d}_2 , d_2 - средний интервал времени между отказами системы защиты и среднее время нахождения ее в необнаруженном отказавшем состоянии.

Используя систему уравнений [2] и матрицу (1), среднее время до первого пожара τ_1 можно определить следующим образом:

$$\tau = (I - Q)^{-1} \cdot \xi; \quad (2)$$

где I - единичная матрица; Q - матрица, полученная из матрицы (1) путем исключения поглощающего состояния; ξ - вектор-столбец, все элементы которого равны 1;

$$\tau = [\tau_i]_{i=1}^3, \quad i = 1, 2, 3 - \text{вектор-столбец.}$$

Из (2) находим

$$\tau_1 = \frac{\lambda_1(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_2(\lambda_2 + \mu_1) + (\lambda_1 + \mu_2)(\lambda_2 + \mu_1)}{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)} \quad (3)$$

Среднее время нахождения системы защиты в необнаруженном отказавшем состоянии, если задан срок профилактики Θ , можно определить следующим образом [3].

$$d_2 = \Theta - \bar{d}_2 \left(1 - \exp \left[- \left(\frac{\Theta}{\bar{d}_2} \right) \right] \right) \quad (4)$$

В случае если $\frac{\Theta}{\bar{d}_2} < 0,1$, тогда формула (4) примет вид:

$$d_2 \cong \frac{\Theta^2}{2 \cdot \bar{d}_2} \quad (5)$$

Подставляя формулу (5) в формулу (3) и учитывая, что $\bar{d}_1 \gg d_1$; $\bar{d}_2 \gg d_1$; $d_2 \gg d_1$, получим:

$$\tau_1 = \frac{2\bar{d}_1(\bar{d}_2)^2}{\Theta^2} + \bar{d}_1 + \bar{d}_2 \quad (6)$$

Интенсивность пожаров можно определить, воспользовавшись теоремой восстановления [4].

$$H = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{H(T)}{T} = \frac{1}{\tau_1} \quad (7)$$

Используя формулу (6) и (7), определяем среднее время безотказной работы системы отключения коммутационного аппарата \bar{d}_2 , при котором будет обеспечена пожарная безопасность сети, т. е. $H = 1,14 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{ч}}$.

$$2H\bar{d}_1(\bar{d}_2)^2 + \Theta^2 H \bar{d}_2 + \Theta^2 (H\bar{d}_1 - 1) = 0 \quad (8)$$

Корни уравнения (8) ищутся в виде:

$$\bar{d}_2 = \frac{-\Theta^2 H \pm \sqrt{\Theta^4 H^2 - 8H\bar{d}_1\Theta^2(H\bar{d}_1 - 1)}}{4H\bar{d}_1} \quad (9)$$

Из двух полученных по формуле (9) корней выбирается положительный. Формула (9) позволяет на этапе проектирования защитного коммутационного аппарата задавать среднее время безотказной работы его системы отключения вместе с релейной защитой, при которой будет обеспечиваться нормируемый уровень пожарной безопасности защищаемой кабельной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
2. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова-М.: Наука, 1970.-271с.
3. Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов.-Электричество, 1991, №8.
4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности-М.: Наука, 1965.-524с.