

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕЛА

О.П. БАЛАШОВ

При оптимизации систем электробезопасности объектов сельского хозяйства основное внимание уделяется рассмотрению причин и факторов, ведущих к возникновению электропоражения человека в результате аварийного режима, вызванного действием токов короткого замыкания, в рамках применения различной номенклатуры аппаратов электрической защиты и заземляющих устройств.

Однако достижение высоких технических показателей системы невозможно без определения надежности технических защитных мер, которой в настоящий момент уделяется незначительное внимание.

К признанным критериям оценки электробезопасности относят показатели экономической и технической эффективности. В данном случае в роли экономических показателей выступают удельные приведенные затраты или суммарные приведенные затраты на систему электробезопасности, ущерб от недоотпуска электрической энергии, а так же ущербы, связанные с выходом из строя электрического оборудования. В качестве технических критериев: вероятность возникновения короткого замыкания и других аварийных режимов, частота прикосновения к оборудованию и вероятность электропоражения на объекте.

Сегодня с изменением нормативных актов в области электробезопасности, а именно с переходом на сети электроснабжения типа TN – S, TN – C – S и TT питания электропотребителей и увеличением номенклатуры выполнения защитных мер электробезопасности приводят к необходимости наряду с рассмотренными критериями электробезопасности использовать показатель надежности элементов электрической защиты.

Специфика действия электрической защиты заключается в наличии иерархической связи участков сети в зависимости от схемы электроснабжения объекта и потребителя. На основании этого факта для построения модели надежности используем топологический вероятностный подход. [1]

Будем рассматривать систему электрической защиты как техническую систему, в

которой протекает случайный процесс с дискретными состояниями, число которых конечно.

На основании топологического метода рассмотрим состояние системы с использованием графа состояний.

При построении графа состояния необходимо ввести нумерацию электрической сети, которая бы отражала связь между ними. Под номером участка будем понимать число узлов электрической схемы, предшествующих данному участку по ходу распространения электрической энергии. В общем случае координату участка можно записать в виде упорядоченного набора чисел  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \dots, a_m$ . Количество чисел в наборе (кортеж длины  $m$ ) равно номеру уровня участка, а значениями  $a_j$  могут быть любые натуральные числа, которые ограничены числом ответвлений в узлах электрической сети. На рис. 1 показан общий вид топологических координат участков для трех и четырехуровневой схемы и конкретные значения этих координат для участков заданной сети.

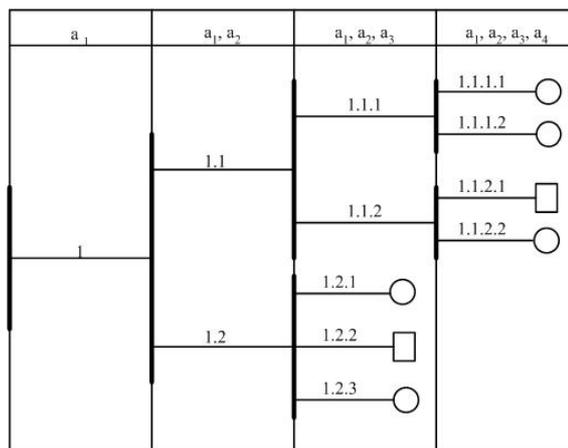


Рисунок 1 – Топологическая схема координат участков сети

Каждый участок сети защищен аппаратами защиты, которые позволяют отключить аварийные режимы в системе электроснабжения. Тогда для графа состояний введем ряд обозначений:

$S_0$  – источник графа, соответствует номинальному режиму работы системы электроснабжения;

$S_1$  – состояние графа, соответствующее аварийному режиму системы электроснабжения при котором электрическая защита на последнем участке сети у потребителя сработала;

$S_2$  – состояние графа, соответствующее аварийному режиму системы электроснабжения при котором электрическая защита на последнем участке сети неисправна, а на предыдущем сработала;

$S_i$  – состояние графа, соответствующее аварийному режиму системы электроснабжения при котором электрическая защита на участках  $i-1$  сети от потребителя неисправна, а на участке  $i$  от потребителя сработала;

$S_m$  – конечное (поглощающее) состояние графа из которого система самостоятельно выйти не может.

Граф состояния может быть представлен рис. 2.

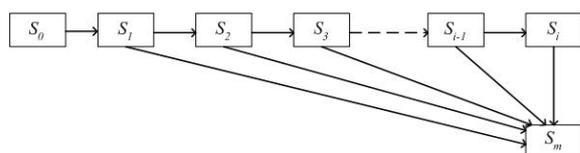


Рисунок 2 – Граф состояния системы электрической защиты на объекте

Для системы электрической защиты характерно то, что условная вероятность всех состояний  $S$  для любого момента времени зависит только от того, в каком состоянии  $S_i$  находится система в настоящем, но не зависит от того, когда и каким образом она пришла в это состояние. Такой случайный процесс с такими дискретными состояниями и непрерывным временем носит название марковского.

Будем считать, что переход системы из состояния  $S_{i-1}$  в состояние  $S_i$  осуществляется под воздействием пуассоновского потока событий с интенсивностью  $\lambda_{i-1 i}(t)$ , при этом переход из  $S_{i-1}$  в  $S_i$  происходит в момент, когда наступает первое событие потока.

Определим вероятность того, что за время  $\Delta t$  система  $S$  перейдет из состояния  $S_{i-1}$  в состояние  $S_i$ .

Вероятность перехода системы из состояния  $S_{i-1}$  в  $S_i$  в момент времени  $t$  определяется суммой двух вероятностных событий: первого, которое заключается в том, что данное событие уже произошло, и вероятностью, что в момент времени  $t$  происходит непосредственно переход системы  $S$  из состояния  $S_{i-1}$  в состояние  $S_i$ .

Согласно этому вероятность перехода определится:

$$P_i(t + \Delta t) = P_{i-1} \cdot \left[ 1 - \sum_{i-1}^m \lambda_{i-1 i}(t) \cdot \Delta t \right] + \sum_i P_{i-1}(t) \cdot \lambda_{i-1 i}(t) \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где  $P_{i-1}(t)$  – вероятность нахождения системы в состоянии  $i-1$ ;

$\Delta t$  – время перехода системы  $S$  из состояния  $i-1$  в состояние  $i$ ;

$\lambda_{i-1 i}$  – интенсивность потока перехода системы  $S$  из состояния  $i-1$  в состояние  $i$ .

Продифференцировав равенство (1) относительно  $\Delta t$  получаем уравнение Колмогорова, позволяющее описывать данный процесс системы с дискретным состоянием и непрерывным временем.

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{i-1}^m P_{i-1}(t) \cdot \lambda_{i-1 i}(t) - P_{i-1}(t) \times \sum_{i-1}^m \lambda_{i-1 i}(t). \quad (2)$$

Таким образом, используя построенный граф состояния системы и предлагаемый математический аппарат, основанный на системе дифференциальных уравнений Колмогорова, можно оценить вероятность безотказности работы системы электрической защиты объекта.

Применим данный математический аппарат для системы электрической защиты. Количество дифференциальных уравнений, входящих в систему будет определяться количеством иерархических связей участков сети объекта от источника питания до приемника.

Система уравнений, описывающая вероятность надежности системы электрической защиты примет вид:

$$\begin{cases} P'_1(t) = -P_1(t) \cdot \lambda_{12} \\ P'_2(t) = P_1(t) \cdot \lambda_{12} - P_2(t) \cdot (\lambda_{23} + \lambda_{2m}) \\ P'_3(t) = P_2(t) \cdot \lambda_{23} - P_3(t) \cdot (\lambda_{34} + \lambda_{3m}) \\ \vdots \\ P'_i(t) = P_{i-1}(t) \cdot \lambda_{i-1 i} - P_i(t) \cdot \lambda_{im} \end{cases} \quad (3)$$

Систему решают при начальных условиях, задающих вероятности состояния в начальный момент времени при  $t = 0$ . [2, 3]

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕЛА

$P_1(0), P_2(0), \dots, P_m(0)$ , где для любого момента времени  $t$  выполняется нормировочное условие:

$$\sum_{i=1}^m P_i(t) = 1 \quad (t \geq 0)$$

Это следует из того, что в любой момент времени  $t$  событие:  $(S(t) = S_1), (S(t) = S_2), \dots, (S(t) = S_m)$  образуют полную группу несовместных событий.

Определим составляющую этой вероятности:

вероятность нахождения системы в состоянии  $i - 1$ , будет определяться произведением вероятности отказа каждого предыдущего элемента защиты:

$$P_{i-1} = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_{i-2} = \prod_{j=1}^{i-2} q_j, \quad (4)$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_j$  – вероятность отказа первого, второго, ...,  $j$ -го элемента защиты.

Значение вероятности отказа элемента электрической защиты может быть охарактеризовано значением риска ( $R$ ) [4].

Тогда формульное выражение (4) примет вид:

$$P_{i-1} = \prod_{j=1}^{i-2} R_{Qj}. \quad (5)$$

Интенсивность потока перехода  $\lambda$  определяется значением отказа элементов технических защит, определяемым по статистическим данным системы.

Рассмотрим, каким образом определяется значение риска отказа системы при наличии совокупности технических средств.

Основными аварийными режимами при которых применяются: заземление, зануление и выравнивание потенциалов являются: короткие замыкания; занос опасного потенциала по металлическим конструкциям. Устройства защитного отключения срабатывают при прикосновении к ОПЧ, оказавшимся под напряжением.

Таким образом, ряд защитных мероприятий является резервированием и дополнением друг друга. Согласно этому, структурная схема надежности на  $i - m$  участке от потребителя будет представлять систему с параллельным соединением элементов. Следовательно, отказ такой системы происходит только в случае отказа всех ее элементов.

Согласно этому, вероятность отказа защиты при возникновении аварийного режима будет определяться произведением вероятностей отказа элементов от этого режима, в качестве которого выступает значение риска системы.

$$\Sigma R_Q = R_{Q1} \cdot R_{Q2} \cdot \dots = \prod_{i=1}^n R_{Q_i} \quad (6)$$

где  $R_Q$  – риск отказа одного элемента электрической защиты;

$n$  – количество элементов электрической защиты, от одного аварийного режима в системе.

Тогда вероятность безотказной работы ( $P_i(H)$ ) системы электрической защиты будет определяться вероятностью срабатывания на  $i - m$  участке системы совокупности технических элементов:

$$P_i(H) = \prod_{i=1}^n \left[ P'_{i-1}(t) \cdot (1 - R_i) \cdot \prod_{k=1}^i R_k \right] \quad (7)$$

Таким образом, вероятность безотказной работы ( $P_i(H)$ ) системы электрической защиты может быть использована как один из основных критериев оценки системы электробезопасности объекта.

Предлагаемая математическая модель позволяет проанализировать систему электрической защиты как систему, обладающую совокупностью составных элементов с наличием иерархической связи участков сети.

Использование данного критерия дает возможность учитывать номенклатуру и структуру защитных технических средств при оптимизации системы электробезопасности на объектах сельского хозяйства и инфраструктуры села.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сошников А.А., Дробязко О.Н. Определение критериев оптимизации систем сельского электроснабжения напряжением 0,38 кВ // Техника в сельском хозяйстве. – 1992. – №1. С. 21-24.
2. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерное приложение. – М.: Высшая школа, 2000. – 338 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Высшая школа, 2001. – 208 с.
4. Балашов О.П. Модель оценки качества элементов электрической защиты // Вестник АлтГТУ. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. – 2003. №1. – С. 230-232.