

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В.Н. Васильев

Рассматриваются вопросы моделирования надёжности системы городского электроснабжения.

Ключевые слова: принципиальная схема, моделирование, электрооборудование, трансформатор.

Для оценки надёжности схем систем электроснабжения (СЭС) широкое распространение получили элементные методы расчетов надёжности. В этих методах предполагается, что СЭС состоит из самостоятельных (в смысле анализа надёжности) элементов, исключаются из рассмотрения функциональные зависимости между параметрами отдельных элементов устройства [1-3].

Рассматриваемые СЭС состоят из линий электропередач, трансформаторов, выключателей, отделителей, разъединителей, автоматических выключателей и т.д.

Под узлами схемы будем понимать физические пункты СЭС, которые непосредственно связаны не менее чем с тремя направлениями передачи энергии, т.е. обычно это сборные шины или секции распределительных устройств и т. д.

Для СЭС в работе введены понятия: «отказ типа «обрыв цепи» и «отказ типа «короткое замыкание» (КЗ). В работе, кроме перечисленных видов отказов, предлагается учитывать и переход аварии через коммутационный аппарат. Факторы, которые целесообразно было бы учесть при расчетах надёжности СЭС, перечислены в [1]. В работе обосновано, что целесообразно делить отказы, которым подвергается электрооборудование в процессе эксплуатации более чем на три вида.

В данной работе рассматриваются следующие виды отказов элементов схемы: отказ типа «короткое замыкание», отказ типа «обрыв цепи» и отказ в срабатывании (скрытый отказ).

Все остальные отказы, которые встречались в СЭС газовых промыслов, появлялись на порядок реже отобранных и поэтому в расчетах не учитывались.

Перечисленные виды отказов следует относить к следующим типам электрооборудования.

1. Отказ типа «короткое замыкание». Такой вид отказа может происходить во всех элементах схемы, через которые проходит ток нагрузки в нормальном режиме работы. Короткие замыкания (КЗ) в таких элементах

отключаются основной релейной защитой, в зоне действия которой находится рассматриваемый элемент сети.

2. Для защитных коммутационных аппаратов будем учитывать два вида отказов:

а) отказ выключателя типа «обрыв цепи». К таким отказам будем относить ложные и излишние отключения выключателей в результате действия релейной защиты, которые ликвидируются с помощью ручного переключения (т.е. без средств автоматики), а также автоматические отключения выключателей в результате повреждений во вторичных цепях релейной защиты;

б) отказ выключателя в срабатывании. Эти отказы выявляются в результате профилактических осмотров выключателей: привода, дугогасительной камеры, контактной системы, оценивается возможность перекрытия изоляции при внешних и внутренних перенапряжениях, проверяются пути утечки тока. Проводится осмотр релейных защит, контактов самих реле, проверяются уставки защит, оперативные цепи питания, работа устройства автоматического повторного включения (АПВ), устройства автоматического ввода резерва (АВР) и т.д.

Все выявленные в результате профилактики отказы, которые могли бы привести к отказу в срабатывании выключателя при появлении КЗ в зоне действия его релейной защиты, заносятся в специальный журнал и эта информация используется для определения потока отказов системы отключения выключателя.

В качестве критерия отказа СЭС чаще всего используется критерий, который требует обеспечить непрерывность электроснабжения в ее основных узлах нагрузки, т.е. определить вероятность бесперебойного электроснабжения $R(t)$ потребителей, получающих электроэнергию в течение времени t от рассматриваемой секции шин, и среднее время $\tau_{сх}$ восстановления электроснабжения узла нагрузки [3].

Примем допущения, позволяющие реальный элемент системы электроснабжения представить его схемой замещения:

- элемент сети может находиться только в двух состояниях: 0 – работоспособное; 1 – отказавшее;

- защитные коммутационные аппараты могут отказывать двумя различными способами: отказ типа «обрыв цепи» и отказ в срабатывании;

- случайные интервалы времени между отказами элементов и длительности нахождения их в отказавшем состоянии не противоречат экспоненциальным функциям распределения вероятностей;

- каждый элемент СЭС характеризуется событиями: $x_{i,j}$ – i -й элемент работает, в нем не наблюдается отказ j -го вида; $\bar{x}_{i,j}$ – в i -м элементе произошел отказ j -го вида; $\lambda_{i,j}$ – i -й коммутационный аппарат работает и в нем не наблюдается отказ j -го вида; $\bar{y}_{i,j}$ – в i -м коммутационном аппарате про-

изошел отказ j -го вида. Каждое событие характеризуется параметром потока отказов $\lambda_{i,j}$ и параметром потока восстановлений $\mu_{i,j}$, где код i обозначает номер элемента в схеме, а код j обозначает вид отказов элемента ($j=1$ – короткое замыкание; $j=2$ – обрыв цепи; $j=3$ – отказ в срабатывании);

- устройства автоматического ввода резерва (АВР) и системы релейной защиты могут выходить из строя только тогда, когда они находятся в режиме ожидания. В данном случае авторы предполагают, что надежность АВР и средств защиты являются функциями времени, а не числа произведенных ими переключений или отключений;

- отказы АВР, средств защиты, систем отключения выключателей и самих выключателей обнаруживаются и устраняются только в результате профилактических проверок $\Theta_i, i = \overline{1,m}$;

- предполагается, что проверки Θ_i абсолютно надежные. После каждого отказа электрооборудования или средств защиты его работоспособность полностью восстанавливается;

- интервалы времени между отказами (поток отказов) электрооборудования (средств защиты) и длительность их восстановлений (поток восстановлений) взаимно независимы;

- восстановление электрооборудования неограниченное и полное, все работоспособное электрооборудование находится в работе, все отказавшее – в процессе восстановления;

- для элементов СЭС должно выполняться условие [1-3]

$$\frac{\lambda_{i,j}}{\mu_{i,j}} \leq 0,01 \quad (1)$$

- принятые допущения позволяют любое электрооборудование распределительной сети представить в виде элемента, характеризующегося двумя величинами: параметром потока отказов $\lambda_{i,j}$ и параметром потока восстановлений $\mu_{i,j}$.

Рассмотрим допущения и положения, позволяющие реальную схему СЭС при оценке ее надежности заменить на эквивалентную:

- выделяются вход и выход системы, т.е. точки, относительно которых определяется надежность электроснабжения. Все источники питания соединяются в одну точку, и эта точка принимается за абсолютно надежную [1,3,];

- учитываются только те повреждения элементов сети (линии электропередачи, сборные шины, трансформаторы и т.д.), которые сопровождаются КЗ;

- при расчете надежности схем систем электроснабжения учитываются только длительные аварийные отключения элементов сети. Отключения потребителей на время действия АПВ и АВР не учитываются [4];

- учитываются только двойные совпадающие в пространстве и времени отказы: короткое замыкание в защищаемой сети и отказ в срабатывании защитного коммутационного аппарата [2,3].

Принятые для расчета надежности СЭС допущения позволяют заменить ее на эквивалентную, совпадающую по структуре с принципиальной. Элементы схемы замещения входят в нее своими параметрами потока отказов и восстановлений.

В схемах замещения СЭС следует учитывать два несовместных вида отказов выключателей (отказ типа «обрыв цепи» и отказ в срабатывании), которые действуют на обеспечение надежности ее узлов различным образом. Отдельно составляются две схемы замещения СЭС, в одной учитываются отказы выключателей типа «обрыв цепи», в другой – отказы выключателей в срабатывании.

В первой схеме замещения учитываются отказы выключателей только типа «обрыв цепи», а в остальных элементах СЭС учитываются отказы типа КЗ. В этом случае схема замещения по структуре совпадает с принципиальной, без учета потребителей, получающих электроэнергию от соответствующих узлов нагрузки.

Эквивалентный параметр потока отказов λ_k и восстановлений μ_k системы, состоящей из n логически последовательного соединения элементов определяется следующим образом (учитывается отказ защитного коммутационного аппарата типа «обрыв цепи», а для защищаемого элемента повреждение типа КЗ), [1]:

$$\lambda_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (2)$$

$$\mu_k = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \quad (3)$$

где λ_j – параметр потока отказов i -го элемента; μ_i – параметр потока восстановлений i -го элемента; k – номер эквивалентного элемента; n – общее число логически последовательно соединенных элементов.

Эквивалентный параметр потока отказов λ_k и восстановлений μ_k системы, состоящей из m логически параллельного соединения элементов, определяются по следующим формулам:

$$\lambda_k = \sum_{i=1}^m \lambda_i, \quad (3)$$

$$\mu_k = \sum_{i=1}^m \mu_i, \quad (4)$$

где m – общее число логически параллельно соединенных элементов.

Для сложных по структуре схем замещения, имеющих в своем составе «мостиковую» структуру [1], для приведения ее к простой – последовательно - параллельной - целесообразно использовать преобразование «треугольник-звезда» [13].

Используя формулы (1)-(4), определяем схему замещения: λ_0 - параметр потока аварийных отключений узла нагрузки при учете отказа выключателя типа «обрыв цепи»; μ_0 - параметр потока восстановлений электроснабжения узла нагрузки при учете отказов выключателя типа “обрыв цепи” и отказов типа КЗ защищаемого элемента.

Построение второй схемы замещения, которая учитывает отказы в срабатывании коммутационных аппаратов и появление КЗ в зоне действия их релейных защит, можно показать на следующем примере (рис. 1, а). Аварийный перерыв в электроснабжении узла нагрузки (секции I) произойдет, например, КЗ в точке n и отказе в срабатывании коммутационного аппарата m , тогда КЗ в точке n будет отключено с выдержкой времени коммутационным аппаратом с номером $m+1$. Электроснабжение секции I восстановится после того, как будет обнаружен поврежденный участок линии и вручную отключен коммутационный аппарат m . После этого необходимо включить коммутационный аппарат $m+1$, и неповрежденные элементы получают электроэнергию. «Дерево», объясняющее причину обесточивания секции шин I, и схемы минимальных сечений аварийных событий приведены на рис. 1 б-в.

Параметр потока H_l аварийных отключений узла нагрузки (секция шин I, рис. 1) из-за отказов в срабатывании коммутационных аппаратов для принятых допущений можно определить по аналогичной формуле, полученной в [3]:

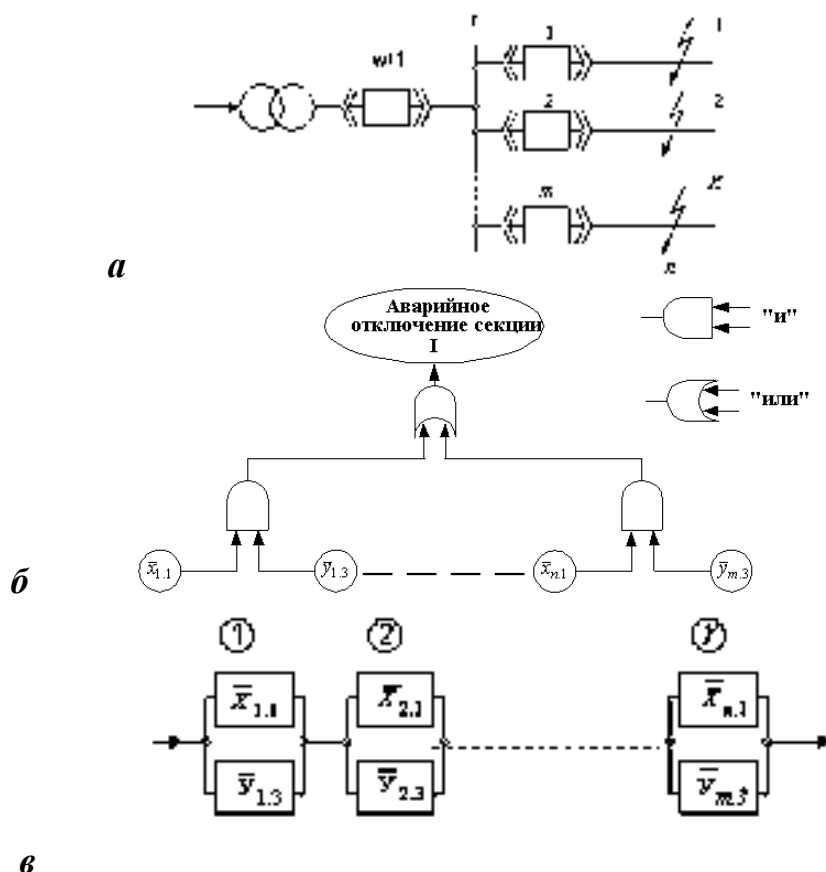
$$H_l = 0,5 \cdot \lambda_{n,1} \cdot \lambda_{m,3}^2 \cdot \Theta_m^2, \quad (6)$$

где $\lambda_{n,1}$ - параметр потока появления КЗ в n -й линии, отходящей от m -го коммутационного аппарата; $\lambda_{m,3}$ - параметр потока отказов в срабатывании ($j=3$) m -го коммутационного аппарата; Θ_m – интервал времени между проверками системы отключения и средств защиты m -го коммутационного аппарата.

Параметр потока аварийного отключения λ_s , секции шин I от КЗ в отходящих линиях и отказах в срабатывании определяется следующим образом:

$$\lambda_s = \sum_{l=1}^{\gamma} H_l, \quad (7)$$

где $l = \overline{1, \gamma}$ - номер минимального сечения; γ - число минимальных сечений полученных относительно данного узла схемы.



Пример схемы: а - принципиальная схема электроснабжения секции шин I; б - дерево, объясняющее аварийное отключение секции шин I; в - схема минимальных сечений аварийных событий

Параметр потока восстановления электроснабжения μ_s узла нагрузки в результате обнаружения поврежденных элементов, отключения их от сети и восстановления питания узла нагрузки с помощью оперативных переключений можно определить по следующей формуле:

$$\mu_s = \frac{\sum_{i=1}^{\gamma} H_i}{\sum_{l=1}^{\gamma} H_l \cdot \tau_{\gamma}}, \quad (8)$$

где τ_{γ} - среднее время, затрачиваемое на обнаружение поврежденного элемента сети $\gamma = \overline{1, n}$, отключение его и восстановление электроснабжения узла схемы с помощью оперативных переключений.

Определив параметры λ_0 , μ_0 и λ_s , μ_s для двух схем замещения, можно определить параметр потока отказов в электроснабжении узла нагрузки λ_{cx} и среднее время τ_{cx} перерыва его в электроснабжении:

$$\lambda_{cx} = \lambda_0 + \lambda_s, \quad (9)$$

$$\tau_{cx} = \frac{\lambda_0 \cdot \mu_s + \lambda_s \cdot \mu_0}{\mu_0 \cdot \mu_s (\lambda_0 + \lambda_s)}, \quad (10)$$

вероятность бесперебойного электроснабжения узла схемы

$$R(t) = e^{-\lambda_{cx} \cdot t} \approx 1 - \lambda_{cx} \cdot t, \text{ если } \lambda_{cx} \cdot t < 0,1, \quad (11)$$

где τ_{cx} - эквивалентный поток отказов схемы.

Средний интервал времени между аварийными перерывами электроснабжения узла нагрузки

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_0 + \lambda_s} = \frac{1}{\lambda_{cx}}. \quad (12)$$

Список литературы

1. Фокин Ю.А., Харченко А.М. Расчет надежности систем электроснабжения. Электричество. 1982. №8. С. 5 - 10.
2. Константинов Б.А., Лосев Э.А. Логико-аналитический метод расчета надежности восстанавливаемых систем электроснабжения // Электричество. 1971. № 12. С. 21 - 25.
3. Синьчугов Ф.И. Основные положения расчета надежности электроэнергетических систем // Электричество. 1980. № 4. С. 12 - 16.

Васильев Владислав Николаевич, магистр, vasiliev.vladislav.metallist@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

DEFINITION INDICATOR OF SYSTEMS OF CITY POWER SUPPLY

V.N. Vasilyev

The article questions of modeling of reliability of system of city power supply are considered.

Key words: schematic diagram, modeling, electric equipment, transformer.

Vasiluev Vladislav Nikolaevich, master, vasiliev.vladislav.metallist@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University