

УДК 621.315.2

О ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10 кВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

А. С. Грачёв

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

В работе обосновывается необходимость перевода кабельных распределительных трехфазных сетей 10 кВ с бумажно-масляной изоляцией на трехфазные одножильные кабели из сшитого полиэтилена по условиям безотказности методом несовместимых гипотез.

The article is aimed at grounding the basis for the necessity of transferring cable distributive three-phase networks of 10 sq with paper-oil insulation into three-phase single-conductor cables made of sutured polyethylene under the conditions of their reliability using the method of incompatible hypotheses.

Ключевые слова: кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), событие, условия вероятности гипотез, условная вероятность, полная вероятность, гипотеза.

Кабельная линия состоит из большого числа элементов, как восстанавливаемых, так и невосстанавливаемых. Структура такого объекта представляется в виде схемы, показывающей их взаимодействие при реализации поставленной задачи, а именно, безотказной подачи энергии от источника к потребителю. Можно рассчитать вероятность безотказной работы любой сложной кабельной линии, схема которой с точки зрения надежности сводится к последовательно-параллельному соединению элементов.

В нашей работе рассматривается кабельная линия, состоящая из элементов, схема соединения которых, с точки зрения надежности, не приводится к схеме с последовательным или параллельным соединением элементов. Для таких объектов находит применение логико-вероятностный метод расчета надежности [2]. При этом структура исследуемого объекта и особенности его функционирования описываются средствами математической логики, а количественная оценка надежности осуществляется с помощью теории вероятностей. Логическая связь между элементами при решении поставленных задач выражается знаками конъюнкции \wedge и дизъюнкции \vee . Условия работоспособности записываются, формализовано с помощью функций алгебры логики (ФАЛ), которые связывают состояния элементов (двоичных переменных) с состоянием системы, образуя функции работоспособности:

$$y = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_m) = y \mathcal{K} \vec{x}$$

где X – вектор состояния объекта.

Для расчета показателей надежности таких объектов используется метод несовместимых гипотез [1].

По показателям надежности сравниваются две кабельные линии распределительных сетей 10 кВ. Трехфазная кабельная линия с бумажно-масляной изоляцией и трехфазная кабельная линия с изоляцией из

сшитого полиэтилена и отдельно проложенными в земле жилами.

Представим трехфазную кабельную линию с бумажно-масляной изоляцией распределительной сети 10 кВ как электрическую сеть, состоящую из двух жил (для наглядности выводов). Это обосновано тем, что в распределительной сети 10 кВ с изолированной нейтралью отказ одной фазы не приводит к прекращению подачи электроэнергии потребителям. Электрическая схема по условиям надежности в таком случае будет выглядеть так, как она изображена на рисунке 1.

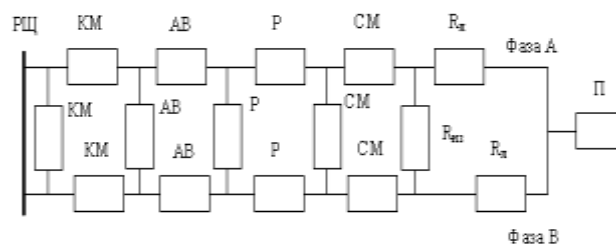


Рис. 1. Электрическая схема трехфазной электрической сети:

10 кВ с бумажно-масляной изоляцией по условиям надежности

РЩ – распределительный щит; КМ – концевая муфта;

АВ – автоматический выключатель; Р – разъединители;

СМ – соединительная муфта; $R_{л}$ – сопротивление линии;

$R_{ин}$ – сопротивление изоляции линии; П – потребитель электроэнергии

Схема считается работоспособной, если потребитель получает энергию хотя бы по двум жилам кабеля (при нашем рассмотрении по одной).

На данной схеме группа однотипных элементов представлена как один прямоугольник. Также группа однотипных элементов представлена соединенной как последовательно, так и параллельно. Это означает, что, например, в автоматическом выключателе может быть неисправность как одного полюса, и тогда произойдет отказ одной фазы, так и межполюсное замыкание,

и тогда произойдет отказ двух фаз кабеля и потеря питания потребителями. Сопротивление линии в отношении надежности рассматривается как обрыв фазы, а сопротивление изоляции – как комплексное сопротивление, включающее в себя сопротивление тока утечки, сопротивление включений, емкость неоднородного диэлектрика, геометрическую емкость диэлектрика [1].

Элементы КМ, АВ, Р, СМ, фазы А можно объединить, как последовательно включенные с показателями безотказности соответственно

$$P_A(t) = P_{KM}(t) \cdot P_{AB}(t) \cdot P_P(t) \cdot P_{CM}(t)$$

и отдельно сопротивление линии $R_{ЛА}$ с показателем безотказности $P_{R_{ЛА}}(t)$. Аналогично по фазе В. Межфазные элементы кабельной линии КМ, АВ, Р, СМ, $R_{ИЗ}$ можно объединить как последовательно включенные с показателями безотказности

$$P_0(t) = P_{KM}(t) \cdot P_{AB}(t) \cdot P_P(t) \cdot P_{CM}(t) \cdot P_{R_{ИЗ}}(t)$$

Функциональная схема примет вид (рис. 2).

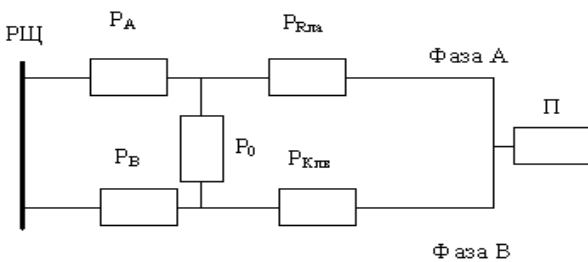


Рис. 2. Функциональная схема кабельной линии с бумажно-масляной изоляцией

Из рисунка 2 видно, что схема не является последовательно-параллельной.

Тогда формулируются две несовместные гипотезы относительно элемента P_0 :

H_1 – элемент P_0 абсолютно надежен;

H_2 – элемент P_0 отказал.

Для гипотезы H_1 структурная схема надежности имеет вид (рис. 3)

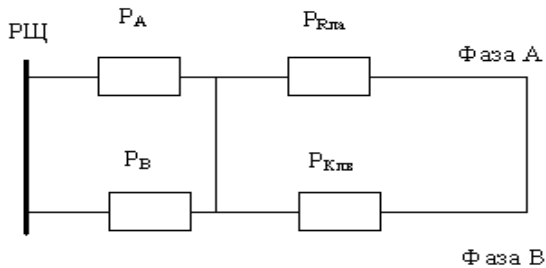


Рис. 3. Структурная схема надежности

Условие работоспособности формулируется в этом случае в виде:

$$Y_1 = P_A \vee P_B \wedge P_{R_{ЛА}} \vee P_{R_{ЛВ}}$$

Для гипотезы H_2 структурная схема надежности имеет вид (рис. 4):

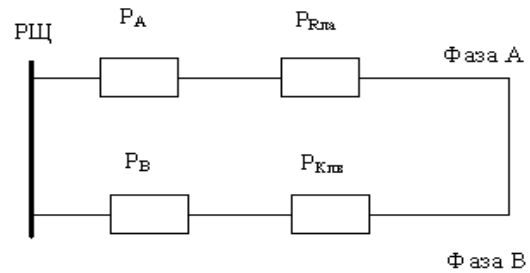


Рис. 4. Структурная схема надежности

Условие работоспособности формулируется в этом случае в виде:

$$Y_2 = P_A \wedge P_{R_{ЛА}} \vee P_B \vee P_{R_{ЛВ}}$$

Вероятность безотказной работы объекта при использовании метода несовместных гипотез определяется выражением:

$$P_{\#} = \sum_i P_{H_i} \cdot P_{Y_i}$$

где P_{H_i} – вероятность выполнения i -ой гипотезы;

P_{Y_i} – вероятность выполнения условий работоспособности при справедливости i -ой гипотезы.

Тогда вероятность безотказной работы определяется как

$$P_{\#} = P_{H_1} \cdot P_{Y_1} + P_{H_2} \cdot P_{Y_2}$$

Для данного примера:

– вероятность гипотезы H_1 : $P_{H_1} = P_{P_0}$ – вероятность безотказной работы межфазных элементов кабельной линии КМ, АВ, Р, СМ, $R_{ИЗ}$;

– вероятность гипотезы H_2 : $P(H_2) = Q(P_0) = 1 - P(P_0)$ – вероятность отказа межфазных элементов кабельной линии КМ, АВ, Р, СМ, $R_{ИЗ}$;

– вероятность выполнения условий работоспособности при справедливости гипотезы H_1 :

$$P_{Y_1} = 1 - [1 - P_A] - [1 - P_B] - [1 - P_{R_{ЛА}}] - [1 - P_{R_{ЛВ}}]$$

где $P_A, P_B, P_{R_{ЛА}}, P_{R_{ЛВ}}$ – вероятности безотказной работы элементов кабельной линии;

– вероятность выполнения условий работоспособности при справедливости гипотезы H_2 :

$$P_{Y_2} = 1 - [1 - P_A \cdot P_{R_{ЛА}}] - [1 - P_B \cdot P_{R_{ЛВ}}]$$

В окончательном виде формула расчета примет вид:

$$P_{\#} = P_{P_0} [1 - [1 - P_A] - [1 - P_B] - [1 - P_{R_{ЛА}}] - [1 - P_{R_{ЛВ}}] + [1 - P_{P_0}] [1 - [1 - P_A \cdot P_{R_{ЛА}}] - [1 - P_B \cdot P_{R_{ЛВ}}]]$$

Примем условно, что вероятности безотказной работы всех элементов кабельной линии равны 0,8. Тогда вероятность безотказной работы кабельной линии при таких начальных заданных условиях будет равна $P_{\#} = 0,2771$.

Теперь представим трехфазную кабельную линию с изоляцией из сшитого полиэтилена распределительной

сети 10 кВ как электрическую сеть, состоящую из двух жил, отдельно проложенных друг от друга.

Электрическая схема, по условиям надежности, в таком случае будет выглядеть так, как она изображена на рисунке 5.

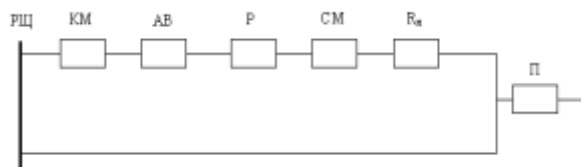


Рис. 5. Электрическая схема трехфазной электрической сети

10 кВ с изоляцией из СПЭ по условиям надежности:

РЩ – распределительный щит; КМ – концевая муфта;

АВ – автоматический выключатель; Р – разъединители;

СМ – соединительная муфта; R_л – сопротивление линии;

R_и – сопротивление изоляции линии; П – потребитель электроэнергии

На данной схеме группа однотипных элементов представлена как один прямоугольник. На данной схеме нет параллельных ветвей, поскольку все элементы являются однофазными и электрическая цепь состоит из последовательно соединенных элементов.

Вероятность безотказной работы определится как:

$$P_{\text{н}} = \prod_{i=1}^n p_i,$$

где n – число последовательно соединенных элементов.

При тех же заданных условиях, что и для кабеля с бумажно-масляной изоляцией:

$$P_{\text{н}} = \prod_{i=1}^n p_i = 0,3277.$$

Вывод: Вероятность безотказной работы кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена с отдельно проложенными в земле жилами выше безотказности кабеля с бумажно-масляной изоляцией. Таким образом, по показателю надежности эксплуатации кабельных линий, целесообразнее переходить на кабели с изоляцией из СПЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калявин В. П., Рыбаков Л. М. Надежность и диагностика элементов электроустановок: учеб. пособие. – СПб.: Элмор, 2009. – 336 с.
2. Рябинин И. А. Надежность и безотказность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.