

УДК 621.3.019.34

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ
РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
МЕТОДОМ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ
CALCULATION OF THE RELIABILITY OF A NON-RESTORABLE
REDUNDANT ELECTRIC NETWORK BY THE FAULT TREE METHOD**

А.А. Ковзан

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Республика Беларусь

astarginsky@bntu.by

A. Kovzan

Supervisor – A. Starginsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье рассматриваются общие положения о резервировании систем и их возможное применение на практике в электроэнергетике с целью повышения надежности электроснабжения, являющейся одной из основных задач энергетической политики Республики Беларусь. Произведен расчет резервированной сети методом дерева отказов и сделан вывод об эффективности резервирования как метода повышения надежности.*

***Abstract:** General provisions of the redundant systems are discussed in this article. Also their possible application in power engineering in order to improve the reliability of power supply is mentioned. Reliability of power supply is one of the main tasks of the energy policy of the Republic of Belarus. The calculation of power supply schemes with redundancy have been made. A conclusion based on the performed calculation was made about the effectiveness of the redundancy.*

***Ключевые слова:** Надежность электрических сетей, резервирование.*

***Keywords:** Reliability of electrical grids, redundancy.*

Введение

Резервирование является распространенным методом повышения надежности электрических систем с одной стороны, а с другой – установка резервного оборудования приводит к дополнительным затратам и повышает сложность системы. Поэтому принятие решение о целесообразности резервирования должно основываться на сравнении эффективности работы электрической сети до и после проведения соответствующих мероприятий. В соответствии с теорией надежности все резервирование может быть классифицировано в следующем виде (рисунок 1).

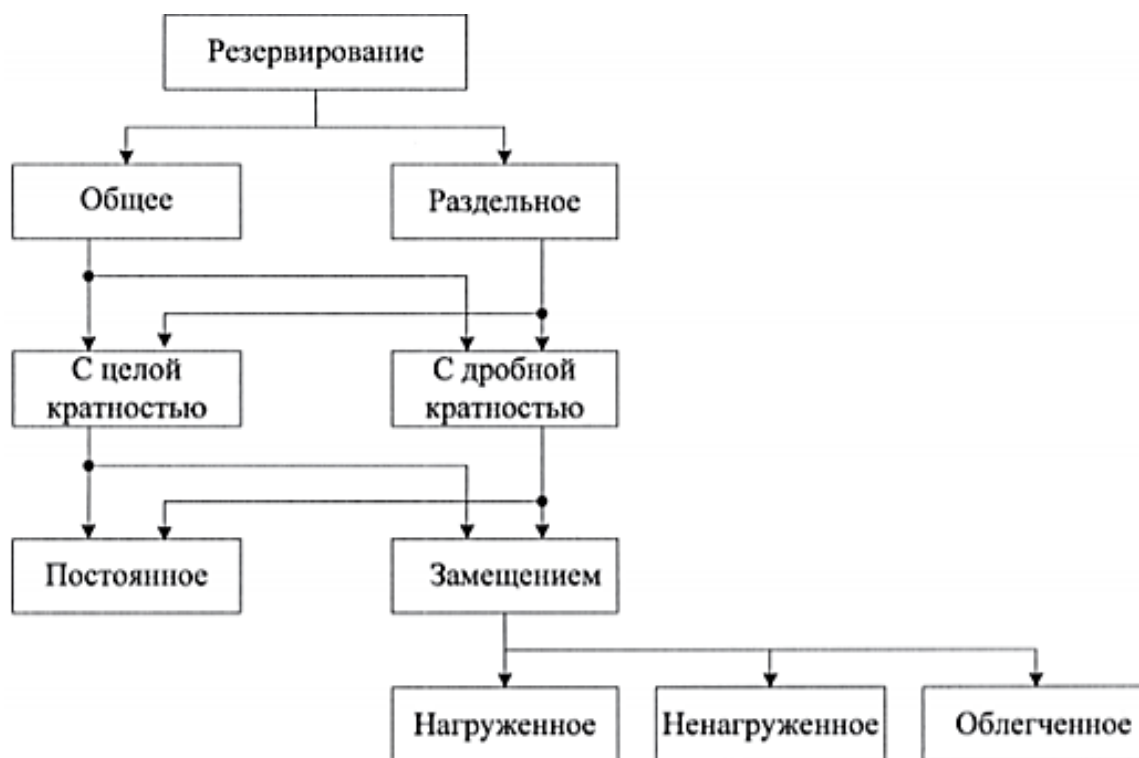


Рисунок 1 – Способы резервирования

В электроэнергетике для реализации системы резервного электроснабжения необходимо осуществить анализ технологического цикла работы потребителя, время его возможного нахождения без питания, а также последствия, к которым может привести не своевременный ввод резервного питания для потребителя данной группы. Основопологающим фактором, влияющим на выбор системы резервирования, будет количество потребителей 1-й и 2-й категорий, питающихся от данной системы электроснабжения, а также наличие потребителей особых категорий. При преобладании данного типа нагрузок используют автоматический ввод резерва (АВР). Это значит, что при пропадании напряжения на основной линии питания, в автоматическом режиме система перейдет на питание от другой системы (резервной) [1]. Иногда такое резервирование целесообразней применять не на подстанциях, а непосредственно в цехах, где имеются потребители 1-й категории. Питания к таким цехам подходит от разных подстанций (или от разных секций подстанции), а для переключений используют простейшие средства автоматики. Распределение нагрузок производится по категориям электроприемников, а не по цехам, что позволяет уменьшить расходы на резервирование источников питания [2].

Основная часть

Простейшим способом резервирования можно считать применение двухцепных линий электропередачи, нескольких трансформаторов на подстанции, а также использование кольцевых схем электроснабжения. В качестве примера рассмотрим вариант схемы, приведенный на Рисунок 2.

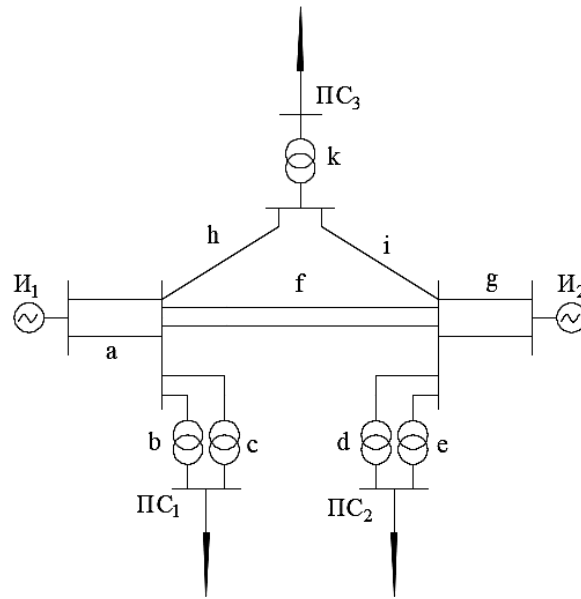


Рисунок 2 – Рассматриваемая схем электрической сети

Рассматриваемую сети можно считать отказавшей, если потребители подстанций ПС1, ПС2 и ПС3 теряют питание. При этом первичными событиями будут следующие события: а – отказ двухцепной линии а, b – отказ трансформатора b, с – отказ трансформатора с, d – отказ трансформатора d, e – отказ трансформатора е, f – отказ двухцепной линии f, g – отказ двухцепной линии g, h – отказ одноцепной линии h, i – отказ одноцепной линии i, k – отказ трансформатора k. К списку промежуточных событий относятся: А – потеря питания ПС1, В – потеря питания ПС2, С – потеря питания ПС3, D – потеря питания ПС1от источника И2, Е – выход из строя обоих трансформаторов на ПС1, F – потеря питания ПС2 от источника И1, G – выход из строя обоих трансформаторов на ПС2, Н – потеря питания ПС3 от источника И1, I – потеря питания ПС3 от источника И2.

На основе рассмотренных выше события строится дерево отказов, на котором наглядно видны логические связи между событиями. Дерево отказов приведено на рис. 4.

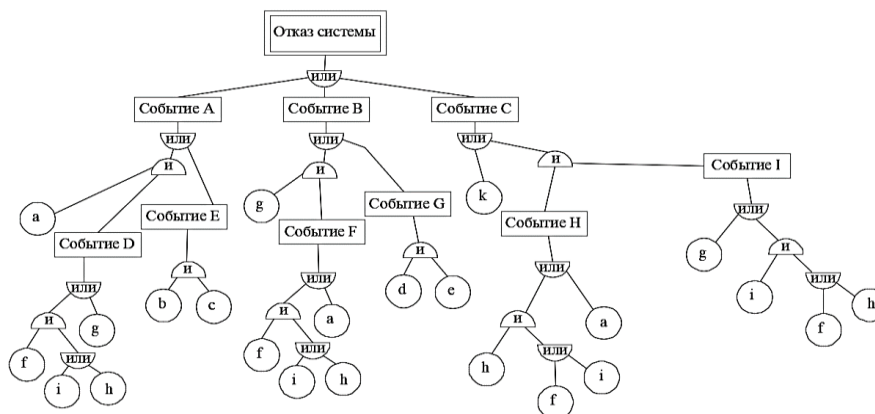


Рисунок 3 – Дерево отказов исследуемой сети

Для расчета итоговой функции отказов системы требуется определить минимальные сечения. Сечение – это множество элементов, удаление которых приводит к нарушению связи между входом и выходом схемы, в свою очередь минимальное сечение – сечение, удаление из которого хотя бы одного элемента приводит к тому, что остальное множество элементов не будет сечением. На каждом шаге анализа дерева отказов выявляются множества сечений. В результате функция отказов примет вид:

$$\bar{Y}_c = \bigcup_{k=1}^9 \quad \cdot de + ahf + afi + ag + gfi + gfh + hi; \quad (1)$$

где S_k – k -е минимальное сечение.

Исходные данные для расчет численного значения функции надежности приведены в табл. 1. При расчете принимается, что надежность сборных шин подстанций ПС1, ПС2 и ПС3 не влияет на результат расчета ввиду того, что повреждения шин происходят довольно редко. При вычислениях функции параметров надежности элементов считаются по экспоненциальному закону с расчетным временем в 1 год.

Таблица 1 – Исходные данные расчета

Элемент	Интенсивность отказов λ_0 , год ⁻¹
Воздушная линия 110 кВ одноцепная (10 км)	0,8
Воздушная линия 110 кВ двухцепная (15 км)	0,12
Трансформатор с высшим напряжением 110 кВ	0,03

Функции вероятности безотказной работы и вероятности отказа для элементов будут рассчитываться по формулам:

$$p(t) = e^{(-\lambda_0 t)}, \quad (2)$$

$$q(t) = 1 - p(t), \quad (3)$$

где λ_0 – интенсивность отказов, год⁻¹.

Расчитанные функции параметров надежности и их значения для $t = 1$ год приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры надежности элементов схемы

Элемент	Функция $p(t)$	Функция $q(t)$	Значение функции p (1)	Значение функции q (1)
Воздушная линия 110 кВ одноцепная (10 км)	$e^{-0,8t}$	$1 - e^{-0,8t}$	0,45	0,55
Воздушная линия 110 кВ двухцепная (15 км)	$e^{-0,12t}$	$1 - e^{-0,12t}$	0,87	0,13
Трансформатор с высшим напряжением 110 кВ	$e^{-0,03t}$	$1 - e^{-0,03t}$	0,97	0,03

Первичные события в формуле (1) отражают отказы соответствующих элементов. По формуле (1) вычислим функцию отказов:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_c &= \bigcup_{k=1}^9 \cdot de + ahf + afi + ag + gfi + gfh + hi = \\ &= 0,03 \cdot 0,03 + 0,03 + 0,03 \cdot 0,03 + 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,13 \cdot 0,13 + \\ &+ 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,13 \cdot 0,55 \cdot 0,13 + 0,55 \cdot 0,55 = 0,375; \end{aligned}$$

Заключение

Таким образом, значение итоговой функции свидетельствует о том, что для данной схемы могут быть еще предприняты мероприятия по повышению надежности как отдельных элементов сети, так и ее надежности в целом.

Литература

1. Резервное питание электроприемников [Электронный ресурс] / резервное питание электроприемников. – Режим доступа: <https://elenergi.ru/rezervnoe-pitanie-elektropriemnikov.html/>. – Дата доступа: 04.04.2021.
2. Резервное питание электроприемников [Электронный ресурс] / резервное питание электроприемников. – Режим доступа: <https://xn-ptbdbgnbdbgtdm2excr.xnp1ai/raznoe-2/rezervnoe-elektropitanie-vybor-rezervnogo-istochnika-dlya-doma.html>.