

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Магистерская программа «Электроэнергетические системы, сети,
электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность»
Методическое обеспечение РПД Б1.В.ДВ.02.02 «Особые режимы
электроэнергетических систем»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Направление подготовки (специальность): 13.03.02 «Электроэнергетика и
электротехника»

Магистерская программа «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их
режимы, устойчивость и надежность»

Уровень высшего образования: магистратура

Нормативный срок обучения: 2 года

Форма обучения: очная

Год набора: 2022

Смоленск

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Магистерская программа «Электроэнергетические системы, сети,
электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность»
Методическое обеспечение РПД Б1.В.ДВ.02.02 «Особые режимы
электроэнергетических систем»



Методические материалы составил:

подпись

к.т.н., доц.

Р.В. Солопов

ФИО

« 26 » июня 2021 г.

Зам. заведующего кафедрой «Электроэнергетические системы»:

подпись

к.т.н. Е.С. Андреев

ФИО

« 02 » июля 2021 г.

*Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Магистерская программа «Электроэнергетические системы, сети,
электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность»
Методическое обеспечение РПД Б1.В.ДВ.02.02 «Особые режимы
электроэнергетических систем»*



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**

**Методическое обеспечение лекций и самостоятельного изучения
дополнительных разделов по дисциплине**

ОСОБЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Смоленск

Математические модели надежности элементов.

Надежность - это свойство объекта выполнять необходимые функции на требуемом уровне в течение заданного времени и в определенных условиях эксплуатации.

Выполнение заданных функций подразумевает работоспособное состояние объекта. Событие нарушения работоспособности называется отказом.

- **Безотказность** - это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени. Она характеризуется закономерностями возникновения отказов.
- **Исправным состоянием** является такое состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации, включая, например, и эстетические требования.
- **Неисправное состояние** возникает при нарушении хотя бы одного требования. Например, автомобиль с царапинами на кузове может считаться неисправным, но работоспособность его сохраняется.
- **Восстанавливаемость (ремонтпригодность)** – это свойство объекта в приспособленности к обнаружению и устранению отказов путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Она характеризуется закономерностями устранения отказов.
- **Долговечность** – это свойство объекта длительно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.
- **Сохраняемость** – это свойство объекта непрерывно сохранять исправное или только работоспособное состояние в течение и после хранения и (или) транспортировки.
- **Устойчивоспособность** – это свойство объекта непрерывно сохранять устойчивость в течение некоторого времени. Дело в том, что главной особенностью электроэнергетики, отличающей ее от других отраслей промышленности, является обязательный баланс между произведенной и потребленной электроэнергией в любой момент времени. Современная технология производства, распределения и потребления электроэнергии не располагает эффективными способами накопления и сохранения электрической энергии. Если баланс между производимой и потребляемой электроэнергией нарушается, возникает переходный процесс, который при определенных условиях приводит к нарушению устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС), следствием чего будет отключение части генераторов электрических станций и потребителей.
- **Режимная управляемость** – это свойство объекта поддерживать нормальный режим посредством управления. Это свойство определяет эффективность управления объектом с целью сохранения или восстановления нормального режима его работы.
- **Живучесть** – это свойство объекта ЭЭС противостоять возмущениям, не допуская их каскадного развития с массовым нарушением электроснабжения потребителей. Этим

понятием часто обозначают свойство надежности объекта, но не вообще, а в экстремальных условиях. Причем, важность имеет величина последствий для ЭЭС.

- Безопасность – это свойство объекта ЭЭС не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

Классификация видов отказов

| Признак классификации | Вид отказов |
|--|---|
| По характеру процесса возникновения отказа | Внезапные Постепенные |
| По признакам проявления | Явные Неявные |
| По взаимосвязи между собой | Независимые Зависимые |
| По степени влияния на работоспособность | Полные Частичные |
| По времени существования | Устойчивые Временные Перебегающие |
| По объему и характеру восстановления | Расстройки Повреждения Аварии |
| По времени возникновения | При испытаниях При эксплуатации |
| По возможности устранения | Устранимые Неустранимые |

Основные общетехнические показатели надежности

| Свойства | Показатель |
|-------------------------------------|---|
| Безотказность | 1. Вероятность безотказной работы 2. Среднее время безотказной работы 3. Средняя наработка между отказами 4. Интенсивность отказов 5. Параметр потока отказов |
| Ремонтопригодность | 1. Среднее время восстановления 2. Интенсивность восстановления 3. Вероятность восстановления |
| Долговечность | 1. Средний ресурс 2. Средний срок службы |
| Сохраняемость | 1. Средний срок сохраняемости |
| Безотказность и ремонтнопригодность | 1. Коэффициент готовности 2. Коэффициент простоя |

Математическая модель – количественное соотношение между исследуемыми критериями надежности (целевые функции) и другими значимыми факторами (независимые переменные), которое описывает реальный процесс с определенной степенью точности. Модель – представление реального объекта или процесса в упрощенной форме, в особенности отражающее его существенные черты [15].

Возможность отказа системы электроснабжения при протекании процесса восстановления и профилактики оборудования маловероятна. Модель надежности – математическое описание совокупности этих маловероятных процессов.

Марковский процесс (поток без последствий) – процесс при котором состояние системы в будущем зависит только от состояния системы на данный момент времени и не зависит от пути, который система проделала к этому состоянию. Описанный процесс характерен при экспоненциальном законе распределения наработки на отказ и времени восстановления (т.е. для элементов у которых наблюдается с постоянными интенсивностями отказы и восстановления $\lambda_i = const$ и $\mu_i = const$).

Модель восстанавливаемого элемента

Существует всего два состояния, в которых может находиться элемент: E_1 – работоспособное, E_0 – неработоспособное. Для постройки модели нужны еще два параметра: μ – интенсивность восстановления (отношение вероятности восстановления незавершенного по времени работоспособного состояния объекта, в рассматриваемый момент времени, к продолжительности этого интервала), ω – параметр потока отказов восстанавливаемой системы (отношение количества отказов системы, зафиксированных по истечении определенного интервала времени к этому промежутку времени). На рисунке 3.1 изображен граф вероятности перехода из одного состояния в другое и наоборот.

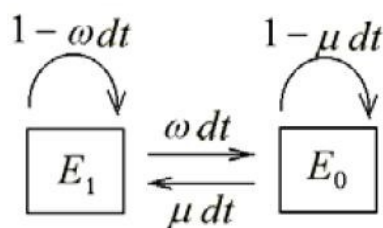


Рисунок 3.1 – Граф вероятности перехода работоспособного состояния в неработоспособное и наоборот.

Данный граф позволяет построить систему дифференциальных уравнений, которая описывает состояния каждого элемента (формула (3.1))

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -\omega P_1(t) + \mu P_0(t) \\ \frac{dP_0}{dt} = \omega P_1(t) - \mu P_0(t) \end{cases} \quad (3.1)$$

где $P_1(t)$ – вероятность застать установку в состоянии E_1 ;

$P_0(t)$ – вероятность застать установку в состоянии E_0 .

Если принять в качестве начальных условий $P_1(0)=1$, $P_0(0)=0$ и учесть, что $P_0(t)+P_1(t)=1$, то решение системы (формула (3.2)) будет иметь вид

$$\begin{cases} P_1(t) = \frac{\mu}{\omega + \mu} \left(1 + \frac{\omega}{\mu} \exp(-t(\omega + \mu)) \right) \\ P_0(t) = \frac{\omega}{\omega + \mu} \left(1 - \exp(-t(\omega + \mu)) \right) \end{cases} \quad (3.2)$$

На рисунке 3.2 показаны временные зависимости вероятностей $P_1(t)$ при разных значениях параметра μ . Если $\mu=0$, то элемент не восстанавливаемый, а если $\mu=\infty$, то он абсолютно надежный.

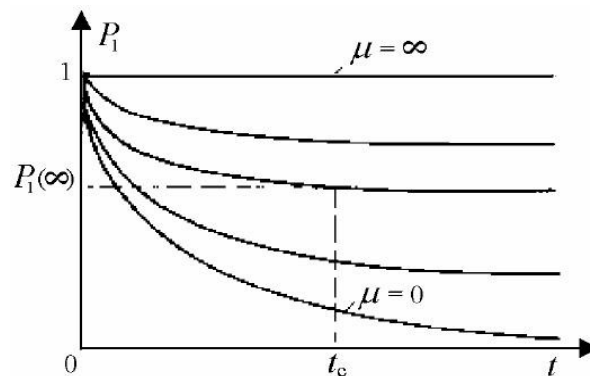


Рисунок 3.2 – Временные зависимости вероятностей $P_1(t)$

Если t достаточно большое ($t \rightarrow \infty$), то вероятности $P_1(t)$ и $P_0(t)$ и зависимость от времени проходит. Они начинают стремиться к коэффициенту готовности (формула (3.3)) и коэффициенту вынужденного простоя (формула (3.4)).

$$P_1(\infty) = \frac{\mu}{\omega + \mu} = K_2 \quad (3.3)$$

$$P_0(\infty) = 1 - K_2 = K_n \quad (3.4)$$

Коэффициент вынужденного простоя – вероятность нерабочего состояния системы, а коэффициент готовности – рабочего.

Время наработки на отказ намного больше времени восстановления, поэтому оно зависит только от среднего времени восстановления элемента (формула (3.5)).

$$\omega + \mu = \frac{1}{T} + \frac{1}{t_g} \approx \frac{1}{t_g} \quad (3.5)$$

Нестационарный коэффициент готовности (рисунок 3.3 и 3.4) и вынужденного простоя наблюдается только в течение времени t , сравнимом с t_g .

При $P_1(0)=1, P_0(0)=0, K_2(t)=K_2+K_n \exp\left(\frac{-t}{t_g}\right), K_n(t)=K_n--K_n \exp\left(\frac{-t}{t_g}\right)$

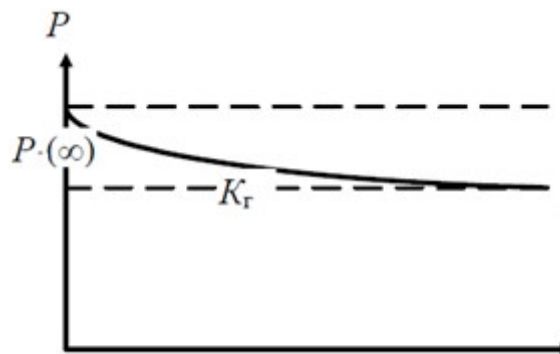


Рисунок 3.3 – Нестационарный коэффициент готовности при $P_1(0)=1$ и $P_0(0)=0$

При $P_1(0)=0, P_0(0)=1, K_2(t)=K_2-K_2 \exp\left(\frac{-t}{t_g}\right), K_n(t)=K_n++K_2 \exp\left(\frac{-t}{t_g}\right)$

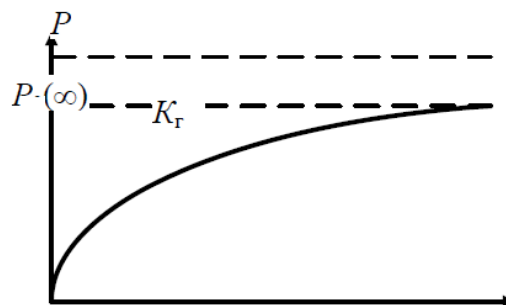


Рисунок 3.4 – Нестационарный коэффициент готовности при $P_1(0)=0$ и $P_0(0)=1$

Как правило, эти коэффициенты учитываются только при проведении плановых ремонтов системы, т.к. среднее время планового ремонта сравнимо со средним временем аварийного ремонта. Во время работы элемента, когда время наработки на отказ намного больше времени восстановления, достаточно использовать постоянные значения коэффициентов (формулы 3.6 и 3.7).

$$P_1(\infty) = K_2 = \omega t_g \quad (3.6)$$

$$P_0(\infty) = K_n = 1 - \omega t_g \quad (3.7)$$

Справочные данные о надежности элементов

1. Среднее число отказов в единицу времени ω (год^{-1}), т.е. параметр потока отказов одного элемента.
2. Среднее время восстановления $T_{\text{в}}$ (час на одно восстановление) вызванное заменой или аварийным ремонтом.
3. Параметр потока преднамеренных отключений элемента $\omega_{\text{пл}}$, год^{-1} .
4. Среднее время одного запланированного отключения элемента $T_{\text{пл}}$ (час на одно отключение) вызванное профилактическими и капитальными ремонтами.

С помощью справочных данных можно вычислить:

- по формуле (3.8) определяем коэффициент вынужденного простоя

$$K_{\text{в}} = \frac{\omega T_{\text{в}}}{8760} \quad (3.8)$$

- по формуле (3.9) определяем коэффициент планового ремонта

$$K_{\text{р}} = \frac{\omega_{\text{пл}} T_{\text{пл}}}{8760} \quad (3.9)$$

Структурные схемы надежности

Структурная надежность технической системы – результирующая надежность системы при заданной схеме (известны порядок соединения и значения надежности всех составляющих ее элементов). Логически анализируя работу, строят структурные схемы.

Допущения, принимаемые на практике:

1. Перерывы электроснабжения по длительности отключений делятся на два вида: длительные – вызванные ремонтными работами, кратковременные – ликвидируемые путем оперативных переключений в схеме.
2. Если ликвидация перерывов электроснабжения происходит под действием АПВ и АВР, то данное устранение перерыва не учитывается. К безотказным формированиям относятся устройства релейной защиты.
3. Для каждого потребителя или группы потребителей происходит составление расчетных схем всех видов отключений по отдельности.
4. Потребитель или группа потребителей, у которых происходит моментальное отключение под действием устройств релейной защиты, представляют собой расчетные схемы кратковременных отключений. Как правило, данные расчетные схемы представляют собой последовательную цепь.

5. Расчетные схемы, состоящие из источников питания, линий электропередач, трансформаторов, сборных шин и коммутационных аппаратов, предназначенные для длительных отключений состоят как из последовательных, так и из параллельных цепей.

6. Равнозначная замена параллельных цепей связана с необходимостью учета возможности совпадения отказа элементов одной цепи с аварийными и плановыми отключениями другой. Возможен вывод из расчетной схемы параллельных цепей, если их больше двух, в связи с малой вероятностью отказа трех и более цепей одновременно.

На данный момент существует три способа соединения элементов: последовательное, параллельное и смешанное.

Последовательное соединение элементов

Последовательное (рисунок 3.5) соединение элементов системы – соединение элементов, при котором отказ одного элемента вызывает отказ всей системы.

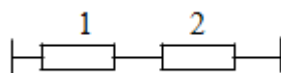


Рисунок 3.5 – Последовательное соединение элементов

При помощи структуры последовательных элементов можно моделировать надежность электрических цепей, которые представляют собой последовательное соединение электрических аппаратов, трансформаторов, кабелей и воздушных линий, а также вторичные цепи управления, которые содержат обмотки и контакты реле, резисторы, тиристоры, катушки индуктивности и электронные приборы.

Элемент, являющийся эквивалентной заменой последовательно соединенных элементов, обладает следующими параметрами:

- по формуле (3.10) определяем частоту аварийных ремонтов

$$\omega_{12} = \omega_1 + \omega_2 \quad (3.10)$$

- по формуле (3.11) определяем коэффициент вынужденного простоя

$$K_{B12} = K_{B1} + K_{B2} \quad (3.11)$$

- по формуле (3.12) определяем время восстановления

$$T_{B12} = \frac{8760 K_{B12}}{\omega_{12}} \quad (3.12)$$

С учетом того, что плановый ремонт последовательно соединенных элементов можно организовать одновременно, параметры эквивалентного элемента имеют вид:

- по формуле (3.13) определяем частоту плановых ремонтов

$$\omega_{nl12} = \max(\omega_{nl1}, \omega_{nl2}) \quad (3.13)$$

- по формуле (3.14) определяем коэффициент плановых ремонтов

$$K_{nl12} = \max(K_{nl1}, K_{nl2}) \quad (3.14)$$

- по формуле (3.15) определяем время планового ремонта

$$T_{nl12} = \frac{8760 K_{nl12}}{\omega_{nl12}} \quad (3.15)$$

Параллельное соединение элементов

Параллельное (рисунок 3.6) соединение элементов структурной схемы технической системы – соединение элементов, при котором отказ системы наступает при отказе всех элементов.

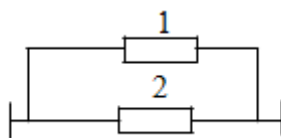


Рисунок 3.6 – Параллельное соединение элементов

Эквивалентный элемент, заменяющий два последовательно соединенных элементов, имеет следующие параметры:

- по формуле (3.16) определяем частоту аварийных ремонтов

$$\omega_{12} = \omega_1 K_{B2} + \omega_2 K_{B1} \quad (3.16)$$

- по формуле (3.17) определяем коэффициент вынужденного простоя

$$K_{B12} = K_{B1} K_{B2} \quad (3.17)$$

- по формуле (3.18) определяем время восстановления

$$T_{B12} = \frac{8760 K_{B12}}{\omega_{12}} \quad (3.18)$$

При плановом ремонте параллельно соединенных элементов частоту и коэффициент планового ремонта не рассчитывают, т.к. данный ремонт проходит при отключенной системе. Однако при плановом ремонте происходит влияние на коэффициент и частоту аварийного отключения. По формулам 3.19 и 3.20 рассчитываются добавочные значения.

$$\omega_{(12)} = \omega_2 \left(1 - \exp\left(\frac{-T_{н11}}{T_{в2}}\right) \right) K_{н11} + \omega_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-T_{н12}}{T_{в1}}\right) \right) K_{н12} \quad (3.19)$$

$$K_{(12)} = K_{B2} \left(1 - \exp\left(\frac{-T_{н11}}{T_{в2}}\right) \right) K_{н11} + K_{B1} \left(1 - \exp\left(\frac{-T_{н12}}{T_{в1}}\right) \right) K_{н12} \quad (3.20)$$

Упрощенные формулы 3.21 и 3.22, не учитывающие нестационарный характер надежности системы, имеют вид:

$$\omega_{(12)} = \omega_1 K_{н11} + \omega_2 K_{н12} \quad (3.21)$$

$$K_{(12)} = K_{B2} K_{н11} + K_{B1} K_{н12} \quad (3.22)$$

Учитывая плановый ремонт, эквивалентный элемент будет иметь следующие параметры:

- по формуле (3.23) определяем частоту аварийных ремонтов

$$\omega_{12} = \omega_{12} + \omega_{(12)} \quad (3.23)$$

- по формуле (3.24) определяем коэффициент вынужденного простоя

$$K_{B12} = K_{B12} + K_{(12)} \quad (3.24)$$

- по формуле (3.25) определяем время восстановления

$$T_{B12} = \frac{8760 K_{B12}}{\omega_{12}} \quad (3.25)$$

Так как параллельные цепи с тремя и более элементами считаются абсолютно надежными, то обобщать приведенные выше формулы нецелесообразно.

Смешанное соединение элементов

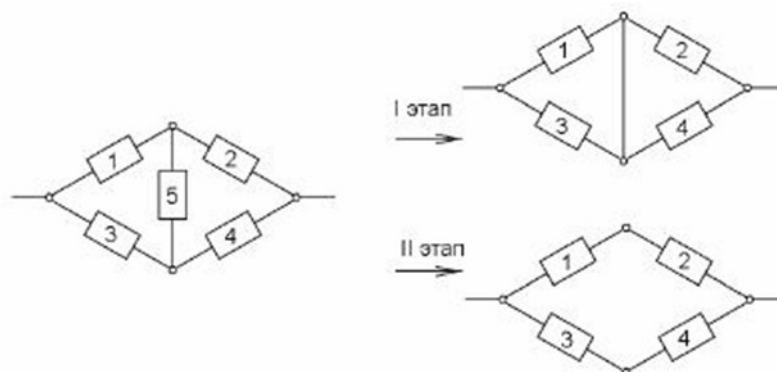


Рисунок 3.7 – Смешанное соединение элементов

Расчет смешанного соединения структурной схемы элементов (рисунок 3.7) делится на два этапа. Первым делом в схеме полностью исключаются один или несколько элементов, которые образуют поперечные связи. Рассматриваются два случая: выбранные элементы

абсолютно надежны (происходит их замена постоянной связью) либо выбранные элементы абсолютно ненадежны (виден разрыв между двумя узлами). После для составленных структурных схем происходит определение вероятности безотказной работы – K_{max} и K_{min} . По формуле 3.26 происходит расчет результирующей вероятности безотказной работы системы:

$$K = K_{min} + 0,5 (K_{max} - K_{min}) (K_{max} + K_{min}) \quad (3.26)$$

Абсолютная надежность структурных схем смешанных соединений ставится под вопрос, поскольку при инженерных расчетах наблюдаются одновременные отказы одного или двух элементов.

2. Методы расчета надежности

На сегодняшний день существует четыре метода расчета надежности электроэнергетических систем:

1. метод аналитического расчета на основе вероятностных моделей;
2. логико-вероятностный метод;
3. таблично-логический метод;
4. метод статического моделирования (метод Монте-Карло).

Опишем поочередно каждый из этих методов [16].

Аналитический метод

Рассматриваемый метод используется для сетей с радиальной и магистральной схемой, которая питает потребителей.

Перед расчетом аналитическим методом происходит замена объектов системы структурной схемой (схемой замещения) по надежности. Данная схема состоит из n элементов, которые по своим функциям связаны между собой. Все элементы схемы замещения находятся в одном из двух состояний – работоспособное состояние либо состояние отказа (рисунок 3.8).

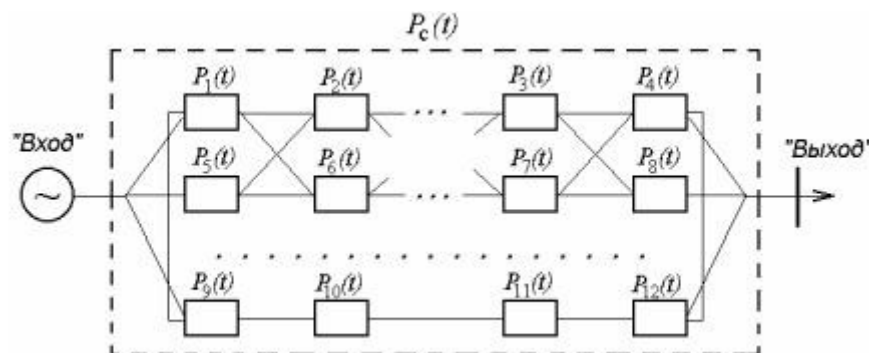


Рисунок 3.8 – Структурная схема для расчета надежности системы аналитическим методом

Аналогом структурной схемы расчета надежности для электрических сетей представляют собой схемы соединения реальных элементов. Если представить образованные связи между элементами схемы электроснабжения как последовательные и параллельные соединения, то возможно описание отказа электроснабжения. Отказ может быть результатом повторения отказов одной цепи с ремонтами элементов в другой либо совокупностью отказов элементов цепи, в которой происходит питание элементов. При составлении расчетных схем разных видов отключений нередко учитывается их различная длительность.

Преобразование схемы замещения из последовательно и параллельно соединенных элементов в один эквивалентный элемент позволяет оценить показатели надежности данной схемы.

Так как практически невозможно представление точного решения данного типа задачи, то на практике используется ряд допущений, практически все из которых описаны в структурной схеме надежности (пункты 1 – 6). В том числе, если в области нахождения параллельных цепей есть перемычка, расчетные схемы составляют как для режимов, где перемычка включена (рассматривается ее абсолютная надежность), так и где она отключена (находится в плановом или аварийном ремонте).

Логико-вероятностный метод расчета надежности с использованием дерева отказа

Логико-вероятностный метод – метод, характеризующийся применением законов теории вероятности к функциям алгебры логики. Алгеброй логики называется раздел математики, который занимается вычислением высказываний (предложения являющиеся истинными либо ложными). Высказывание принимает одно из двух значений – «истина» либо «ложь». Из выше сказанного делается вывод, что метод действует от общего к частному (дедуктивный метод) и применяется при малом количестве разных отказов системы.

После анализа системы происходит строительство дерева отказов. Структура дерева отражает алгоритмы, которые вычисляют вероятность отказа системы. Дерево отказов, описывающее причины отказа, упрощает переход от общего к частным определениям отказов и режимов, в которых работают ее элементы. Описанный переход понятен абсолютно всем разработчикам дерева.

Зная частоту и вероятности отказов, при помощи логической функции можно получить формулы аналитического расчета частоты и вероятности отказов системы. Расчет показателей надежности при помощи аналитических выражений делает возможным применение формул теории точности, которые оценивают среднеквадратические погрешности результатов.

Высказывания делятся на конечные, промежуточные, первичные, простые и сложные. Простое высказывание – событие или состояние, которое не является сочетанием других событий или состояний. Сложное высказывание – дизъюнкция (конъюнкция) нескольких выражений (простые или сложные) обозначаемые оператором «ИЛИ» («И»), которая связывает высказывания низшего уровня с высказываниями высшего уровня (рисунок 3.9).

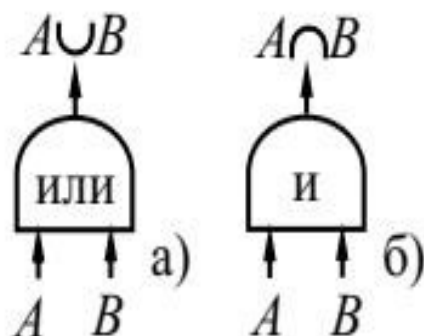


Рисунок 3.9 – Элементы представления логических схем:

- а) – оператор «ИЛИ» (дизъюнкция);
- б) – оператор «И» (конъюнкция).

Как правило, для высказываний придумывается определенный код, по которому можно было бы судить о его расположении, логике и т.д.

Дерево – связный граф, который не имеет замкнутых контуров. Дерево отказа – логическое дерево (рисунок 3.10), где дуги являются событиями отказов на уровне системы подсистем и элементов, а вершины являются логическими операциями, соединяющие исходные события и события, в результате которых происходит отказ.

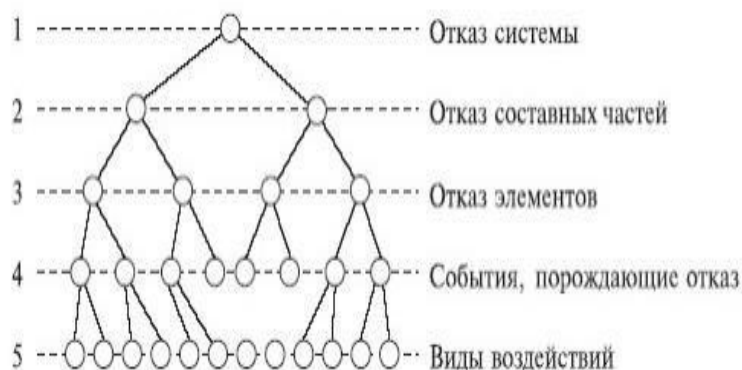


Рисунок 3.10 – Дерево отказов

Дерево отказов начинает строиться с последнего высказывания об отказе системы. Конечное высказывание является событием, приводящим к нарушению функционирования в

анализируемом интервале времени, при исходных данных. Такой вид высказывания является характеристикой безотказности системы и характеристикой готовности.

Таблично-логический метод

Таблично-логический метод – индуктивный метод анализа надежности схем электрических соединений, применяемый в тех случаях, где наблюдается большое количество различных отказов схемы. До проведения каких-либо действий невозможно определить, какие виды аварий и отказов могут произойти при каких либо внутренних и внешних воздействиях.

С помощью данного метода можно выяснить все возможные виды аварий, которые возникают при совпадении событий отказов и повреждения главной схемы во время ремонтных и эксплуатационных режимов. Аварии отличаются структурой оставшихся в работе элементов и их повреждаемостью. Также возможно выявление всех видов аварий при росте отказов в рассматриваемых режимах, происходящих из-за отказов срабатывания коммутационных аппаратов и устройств противоаварийной автоматики. Аварии характеризуются частотой их возникновения и средней длительностью устранения. Благодаря этим данным можно определить условный недоотпуск энергии потребителям и снижение производства энергии станции, что в свою очередь ведет к определению ущерба.

Отказы элементов электроустановок в разных режимах описываются определенными кодами аварий, которые нарушают работу установки:

- потеря генераторов;
- потеря трансформаторов;
- погашение секций;
- погашение линий;
- уменьшение имеющейся или передаваемой мощности;
- появление нехватки мощности;
- сочетания разного вида выше описанных аварий с нарушениями

работоспособности.

Аварии по длительности устранения их результатов делятся на кратковременные (оперативные переключения) и длительные (восстановительный ремонт). Существуют еще аварии, особого типа (отказы срабатывания), к которым относятся устранение последствий отказа релейной защиты и автоматики (РЗА) при повреждениях элементов РУ в разных режимах.

Алгоритм расчета:

1. Прописываем, отличающиеся друг от друга составом оборудования, расчетные режимы работы системы электроснабжения;

2. По формуле 3.27 находим относительную длительность всех режимов:

$$q_i = \frac{t_i}{8760} \quad (3.27)$$

где t_i – длительность i -го режима в часах, которая определяется средней продолжительностью плановых и аварийных ремонтов.

По формуле 3.28 определяем относительную длительность нормального режима:

$$q_n = 1 - \sum_{i=1}^n q_i \quad (3.28)$$

Пусть $j=1,2,\dots,m$ – расчетные события, которые привели к авариям. К таким событиям относятся повреждения элементов схемы и отказ устройств РЗА.

3. Составляем таблицу, в которой записываются все возможные виды аварий в каждом из режимов.

4. По формуле 3.29 определяем средние интенсивности аварий:

$$\lambda(k) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^n q_i \cdot \lambda_{ij} \cdot L(i, j, k) \quad (3.29)$$

где по формуле 3.30 вычисляется коэффициент:

$$L(i, j, k) = \begin{cases} 1, & \text{если } j \wedge i = k \\ 0, & \text{если } j \wedge i \neq k \end{cases} \quad (3.30)$$

Если пересечение i – й строки и j – го столбца в таблице расчетных связей равняется номеру k , то значение коэффициента $L(i, j, k)$ равно 1, в ином случае 0.

5. По формуле 3.31 рассчитываем среднее время восстановления нормального режима работы после k – й аварии:

$$\tau(k_{в.р}) = \frac{1}{\lambda(k_{в.р})} \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^n q_i \cdot \lambda_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot L(i, j, k_{в.р}) \quad (3.31)$$

где τ_{ij} – время восстановления нормальной работы при повреждении i – го элемента в j – м режиме.

Ранее описанные методы позволяют находить надежность системы с помощью построения математических моделей, то есть определить формальную связь между исходными условиями операции, которые характеризуются показателями эффективности. При появлении случайных процессов показатель эффективности становится вероятностью какого-то события либо математическим ожиданием случайной величины. В некоторых случаях можно построить аналитическую модель случайного процесса (система дифференциальных уравнений, учитывающая вероятности состояния либо алгебраическая модель, учитывающая предельные вероятности).

Когда построить аналитическую модель трудно применяется метод статического моделирования (метод Монте-Карло). Методом статического моделирования называется метод, который основан на получении большого количества результатов случайного процесса, формируемые так, чтобы его вероятностные параметры соответствовали значениям решаемой задачи. Данный метод стал применяться после появления ЭВМ, так как он характеризуется трудоемкими расчетами.

В сложных системах метод Монте-Карло представляет собой математическо-вероятностную модель, которая отражает в реальном масштабе все происходящие события системы. ЭВМ множество раз моделирует процесс функционирования системы и по результатам моделирования устанавливаются искомые статистические характеристики рассматриваемого процесса (показатели надежности). Множество факторов, влияющих на надежность, учитывается данным методом – зависимые отказы, произвольные законы распределения случайных величин и т.п.

При статическом моделировании в сложной системе проводят эксперимент и имитацию на модели, учитывая исходные данные, так как результат невозможно предсказать.

Задачи, решаемые рассматриваемым методом, при моделировании сложных систем:

1. Поставленная задача не закончена, происходит познание объекта моделирования.
2. Статистическое моделирование более простой способ решения поставленной задачи, в отличие от других методов.
3. Необходимо проанализировать поведение сложной системы в течение определенного периода времени.
4. Имитационный способ моделирования – единственный способ исследовать сложную систему.

5. Необходимо в сложной системе производить ускорения и замедления в ходе имитации.
6. Подготовка специалистов, освоение ранее не изученной техники.
7. Ситуации сложной системы мало известны или абсолютно неизвестны.
8. Модель предсказывает «узкие места» функционирования сложной системы при рассмотрении ее последовательности событий.

Метод Монте-Карло применяется при расчете произвольной плоской фигуры. Ее граница – криволинейна, задана графически или аналитически, состоит из нескольких кусков. Для примера рассмотрим фигуру на рисунке 3.11.

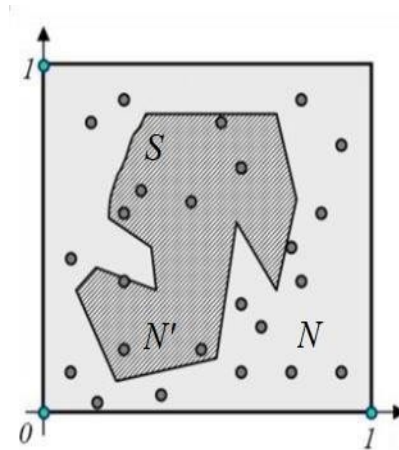


Рисунок 3.11 – Иллюстрация примера

Вся фигура находится внутри квадрата. Пусть N – число случайных точек в квадрате, тогда N' – число точек, попавших внутрь фигуры S .

$$S = \frac{N'}{N} \cdot l^2 \text{ – приближенная площадь фигуры.}$$

Чем больше числа точек, попавших внутрь фигуры S , тем больше точность оценки.

Особенности метода Монте-Карло:

1. Простота алгоритма вычисления.
2. Ошибка вычислений, как правило, пропорциональна формуле 3.32

$$\varepsilon \approx \frac{1}{\sqrt{N}} \tag{3.32}$$