

Из данного графика видно, что при увеличении напряжения источника питания на 10% передаваемая активная мощность на расстояния от 60 км и более возрастает примерно на 10-12%.

Вывод: проведя данное исследование и сравнив зависимости двух графиков, можно сказать, что нельзя однозначно пользоваться рекомендуемой таблицей из [1], так как граница применения напряжения 110 кВ гораздо шире и передаваемую активную мощность на одну цепь можно брать гораздо больше.

Список литературы

1. Справочник по проектированию электрических сетей/Под ред. Д.Л. Файбисовича. М.: Изд-во ЭНАС, 2012 г.

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЭС

Потапов В.С.¹, Перминов Р.В.², Трофимов Н.А.³

¹Потапов Владислав Сергеевич – студент;

²Перминов Роман Валерьевич – студент;

³Трофимов Николай Андреевич – студент,
кафедра электроэнергетических систем,
Национальный исследовательский университет
Московский энергетический институт,
г. Москва

Аннотация: в статье представлены основные показатели структурной надежности для электроэнергетической системы.

Ключевые слова: показатели надежности, интенсивность отказов, вероятность отказов

При расчете показателей структурной надежности (СН) считается, что отказа электроснабжения узла нагрузки нет, если существует хотя бы один путь, связывающий данный узел с источником питания. Здесь принимается допущение о бесконечной пропускной способности межузловых связей и игнорируются ограничения режимных параметров. Основным математическим аппаратом при анализе СН ЭЭС является общая теория надежности технических систем. В надежности электрических систем, как свойстве выполнять функции бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией требуемого качества, можно условно выделить две составляющих. Одна из которых обусловлена структурой системы, то есть составом элементов, их взаимосвязями, пропускными способностями, без количественного учёта режимных особенностей выполнения ими функций в системе.

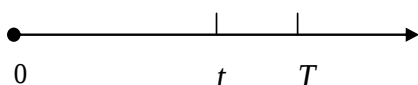
Показатели надежности

Показателем надежности (ПН) объекта энергетики называют количественную характеристику единичного или комплексного свойства надежности. Отсюда следует, что любой показатель, которым характеризуется надежность объекта энергетики, должен быть связан с одним или несколькими единичными свойствами надежности. В первом случае речь идёт о единичных показателях надежности, во втором — о комплексных. Система ПН в целом должна обеспечить возможность численной характеристики каждого из единичных свойств надежности. Потому как надежность СЭ характеризуется несколькими единичными свойствами, обычно численная оценка ее осуществляется комплексом ПН. Выбор ПН во многом зависит от назначения СЭ и характера ее функционирования. При выборе ПН следует иметь в виду, что эти показатели должны достаточно полно описывать надежность свойства системы, быть удобными для аналитического расчета и экспериментальной проверки по результатам испытаний, должны иметь разумный физический смысл и, наконец, допускать возможность перехода к показателям качества и эффективности.

Основные единичные показатели надежности

Показатели безотказности

1) *Вероятность безотказной работы.* Основной количественной характеристикой безотказности принято считать вероятность безотказной работы на заданном интервале времени, т.е. вероятность того, что наработка до первого отказа T превышает величину t . Таким образом, вероятность безотказной работы показывает с какой вероятностью можно утверждать, что на интервале времени t отказ не возникнет.



Вероятность безотказной работы выражается в долях единицы или в процентах и изменяется от единицы до нуля. Если принять момент первого включения за начало отсчета, то вероятность безотказной работы запишется в виде функции надежности:

$$P(t) = P(T \geq t)$$

Полагая, что в момент включения устройство работоспособно, т.е. $P(0)=1$, функция $P(t)$ монотонно убывает от 1 до 0 (рис.1.). При этом совершенно очевидно, что $P(\infty)=0$, т.е. любая СЭ при $t \rightarrow +\infty$ со временем откажет.

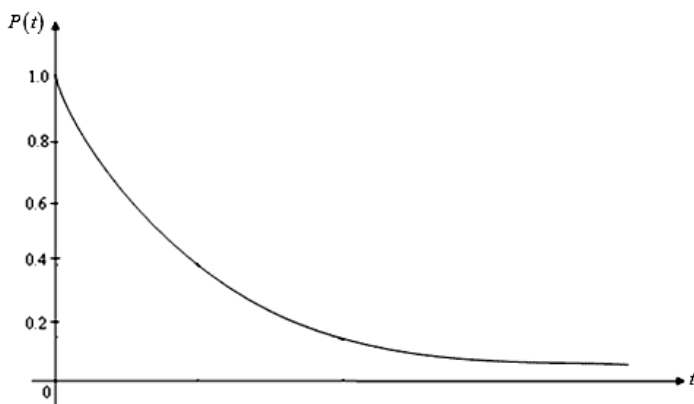
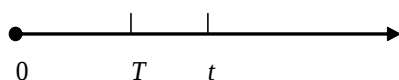


Рис. 1. Вероятность безотказной работы

2) Вероятность отказа (ненадежность) есть вероятность того, что отказ произойдет через время, не превышающее данной величины t . Другими словами – это вероятность того, что на заданном интервале времени при заданных условиях и режиме работы произойдет хотя бы один отказ:

$$Q(t) = P(T < t).$$



$$Q(t) = 1 - P(t); \quad Q(t) + P(t) = 1.$$

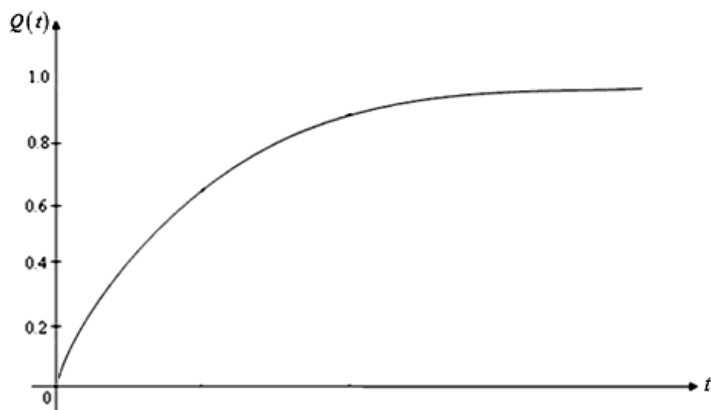


Рис. 2. Вероятность отказа

3) *Интенсивность отказов* $\lambda(t)$ - представляет собой условную плотность вероятности возникновения отказа для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Математическое определение:

$$\lambda(t) = \frac{1}{P(t)} \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt} = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{d}{dt} \ln P(t)$$

Физический смысл плотности вероятности отказа – это количество отказов элемента на протяжении какого-либо достаточно малого интервала времени.

Статистическое определение:
$$\lambda(t) = \frac{n}{N_0 \cdot \Delta t},$$

где n - число отказов, N_0 - количество исследуемых объектов, Δt - интервал времени исследований.

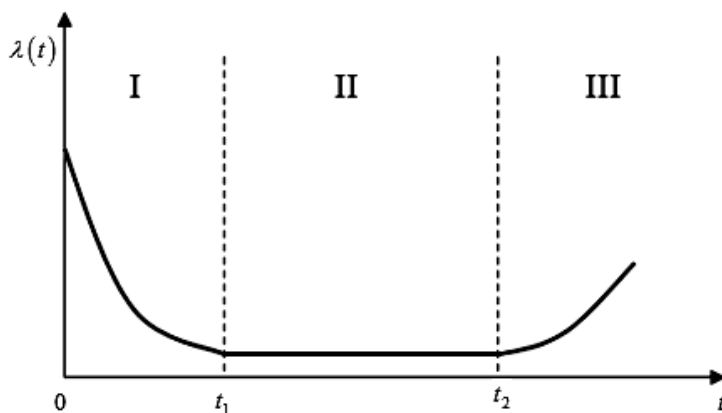


Рис. 3. Интенсивность отказов

Первая фаза — период приработки. Характеризуется снижением интенсивности отказов, выявлением скрытых дефектов, дефектов монтажа и обработки элементов. По мере их устранения интенсивность отказов падает. Данный период обычно невелик, примерно 1-2 года.

Вторая фаза — период нормальной работы. Для этого периода характерна постоянная интенсивность отказов. В этот период функция $\lambda(t)$ не зависит от времени начала наблюдения и описывается экспоненциальным распределением.

Третья фаза — период старения элемента. Характеризуется повышением интенсивности отказов, которое связано со старением и износом элемента. Условия, в которых работает элемент, - агрессивная среда, повышенная влажность, механические и электрические воздействия, - могут ускорить процесс старения. Износные отказы предотвращаются периодическими планово-предупредительными ремонтами.

Так как период нормальной работы является основным, то в расчётах надёжности принимается $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$. В этом случае при экспоненциальном законе распределения функция надёжности имеет вид:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Существенной особенностью экспоненциального закона является следующее: вероятность безотказной работы на данном интервале $[t_1, t_2]$ не зависит от времени предшествующей работы, а зависит только от длины интервала $\Delta t = t_2 - t_1$. Иными словами, если известно, что в данный момент объект исправен, то будущее его поведение не зависит от прошлого. Процессы, обладающие этим свойством, называют Марковскими:

$$P(t_2 / t_1) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt} = e^{-\lambda \Delta t} = P(\Delta t).$$

4) *Средняя наработка до отказа* $\bar{T}$ – среднее время работы элемента от периода пуска в эксплуатацию до отказа.

$$\text{Математическое определение: } \bar{T} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t dQ(t) = - \int_0^{\infty} t dP(t) = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

где t – время от начала работы объекта до его отказа.

Таким образом, средняя наработка до отказа равна площади, образованной кривой вероятности безотказной работы $P(t)$ и осями координат.

$$\text{Статистическое определение: } \bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \text{ где } N_0 - \text{число испытываемых объектов; } t_i -$$

наработка i -го объекта до отказа.

Для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы, когда $\lambda = \text{const}$, $\bar{T} = \frac{1}{\lambda}$.

В случае восстанавливаемых изделий среднее время работы до первого отказа, а также между первым и вторым, вторым и третьим и т.д. отказами могут оказаться разными. Поэтому надежность восстанавливаемых объектов оценивается наработкой на отказ T_2 : это среднее значение времени между соседними отказами при условии восстановления каждого отказавшего объекта. Статистически T_2 определяется следующим образом. Пусть испытания проводятся с одним изделием. Обозначим через n — число отказов за время испытания t , а через t_i — время безотказной работы между $i-1$ и i -м отказами. Тогда наработка на отказ определится выражением:

$$T_2 = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}$$

Если испытания проводятся с N_0 изделиями, то их наработка на отказ определится выражением, усредняющим по всему множеству изделий:

$$T_2 = \sum_{j=1}^J \frac{T_{2j}}{N_0}$$

где T_{2j} ($j=1, \dots, J$) — наработка на отказ j -ой группы изделий, вычисленная по предыдущей формуле.

Достоинствами рассмотренных характеристик надежности являются: наглядность, учет всех факторов, влияющих на надежность, способность отслеживать изменение надежности во времени и возможность использования до реализации системы, т.е. на этапе проектирования.

Основным недостатком является то, что оба показателя (3 и 4) описывают надежность системы только до первого отказа, т.е. достаточно полно характеризуют только невосстанавливаемые системы. Для многократно восстанавливаемых систем необходимо использовать другие показатели.

Основные комплексные показатели надежности.

Помимо единичных показателей, которые были описаны ранее и которые характеризуют только одно из свойств, входящих в понятие надёжности, существуют комплексные показатели.

Комплексные показатели надёжности характеризуют несколько свойств, составляющих надёжность объекта, и применяются для узлов нагрузки и систем в целом.

Перечислим основные комплексные показатели надёжности, учитывающие одновременно безотказность и работоспособность.

1) *Коэффициент готовности* $K_g(t)$ – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} K_r(t) = \frac{T_o}{T_o + T_b}$$

2) Коэффициент простоя $K_p(t)$ - вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени.

Статистически он определяется, как отношение времени вынужденного простоя к общему времени безотказной работы и вынужденных простоев системы, взятых за один и тот же календарный срок:

$$K_p = \lim_{t \rightarrow \infty} K_p(t) = \frac{T_b}{T_o + T_b}, K_r(t) + K_p(t) = 1.$$

3) Коэффициент оперативной готовности $K_{o.z}(t)$ - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и, начиная с этого момента (τ), будет работать безотказно в течение заданного интервала времени (t).

$$K_{o.z} = K_z \cdot e^{-\lambda \tau}$$

4) Коэффициент технического использования - этот показатель характеризует те же свойства, что и коэффициент готовности, но учитывает дополнительно предупредительные ремонты:

$$K_{ти} = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{ти}(t) = \frac{T_o}{T_o + T_b + T_{пл}}$$

5) Средний недоотпуск электроэнергии $\Delta \bar{\mathcal{E}}$ - математическое ожидание количества электроэнергии, недоотпущенной потребителям за заданный период времени: $\Delta \bar{\mathcal{E}} = M(\Delta \mathcal{E}) = \int_0^\infty \int_0^\infty t_d P_d f(t_d, P_d) dt_d dP_d$,

где P_d - дефицит мощности;

t_d - продолжительность существования дефицита мощности.

$f(t_d, P_d)$ - плотность вероятности этой системы случайных величин.

В расчётах недоотпуска электроэнергии случайные величины t_d и P_d часто принимают статистически независимыми, поэтому

$$\Delta \bar{\mathcal{E}} = \int_0^\infty t_d f(t_d) dt_d \int_0^\infty P_d f(P_d) dP_d = \bar{t}_d \cdot \bar{P}_d$$

$$\text{Эффективность работы системы: } \Phi = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E} - \Delta \mathcal{E}},$$

где $\mathcal{E}$ - отпущенная потребителю электроэнергия.

Средний недоотпуск электроэнергии - очень важный показатель надёжности, его оценка для узлов нагрузки системы и системы в целом является одной из конечных целей расчетов надёжности.

6) Экономический ущерб от ненадёжности. Этот показатель является наиболее комплексным. Он характеризует интегрально все свойства надёжности системы, включая режим ее загрузки и значимость потребителя электроэнергии. Важность каждого потребителя с экономической точки зрения характеризуется величиной удельного ущерба:

$$Y = y_0 \cdot \Delta \mathcal{E}.$$

Список литературы

1. Проектирование районной электрической сети: методические указания к курсовому проектированию / А.А.Глазунов, Г.В. Шведов. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 72 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Л.Д. Файбисовича. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2012 г.
3. Надёжность систем электроснабжения/ В.В. Зорин, В.В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер.: Издательство «Вища школа», 1984 г.