

УДК 621.3

Надежность ЭЭС

Сидорова Д.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПЕТРУША Ю.С.

Проблема надежности электрических систем относится к задачам определения и оптимизации их показателей на этапах планирования, проектирования, сооружения и эксплуатации. Надежность - свойство объекта или технического устройства выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. (ГОСТ 27.002-83).

Объект - предмет целевого назначения, рассматриваемый в период проектирования, производства, эксплуатации, изучения, исследования и испытания на надежность (объектами могут быть системы и их элементы, в частности сооружения, установки, технические изделия, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали [1]).

В технике надежность имеет точное значение. Она может быть определена, рассчитана, оценена, измерена, испытана, распределена между отдельными частями системы, объекта, аппаратуры.

В практической деятельности инженеру-энергетику приходится принимать различные решения. Например, выбирать проектный вариант энергосистемы или ее части, производить реконструкцию ее сетей и станций, назначать режимы. В энергетике на выбор решения влияет большое количество факторов. Одни из них можно численно проанализировать и сократить область вариантов решения. Другие не имеют теоретической ясности для количественного описания. Появляется неопределенность, преодолеть ее помогают знания, опыт, интуиция, качественный анализ. Появляется риск выбора неоптимальных и некачественных решений. Среди других факторов, надежность имеет особое место, ее надо учитывать всегда. Последствия от ненадежности такие серьезные, что требуется постоянное совершенствование методов проектирования, строительства, эксплуатации энергосистем, позволяющих полнее учитывать надежность. Основной задачей энергосистем является снабжение потребителей электроэнергией в нужном количестве и при необходимом качестве. На это влияют непредвиденные причины - отказы или аварии в энергосистемах, перебои в топливоснабжающей системе, нерегулярное поступление топлива, гидроресурсов и т.п. Известны различные средства, повышающие надежность энергосистем: релейная защита от коротких замыканий, автоматические повторные включения, автоматический ввод резерва, автоматическое регулирование возбуждения, автоматическая частотная разгрузка, автоматическое регулирование частоты и мощности, автоматизация генераторов, автоматическое отключение генераторов на гидростанциях. Кроме этого, специальные схемные и режимные мероприятия по повышению надежности (неполнофазные режимы, плавка гололеда, дублирование генераторной мощности, увеличение пропускной способности межсистемных связей, трансформаторных подстанций, специальное автоматическое отключение нагрузки при системных авариях, резервирование мощности). Деление потребителей на категории по надежности и рекомендации по построению схем способствует обеспечению структурной надежности энергосистем [1].

Показатели надежности

Показателями надежности называют количественные характеристики одного или нескольких свойств электрической системы (ЭС) составляющих ее надежность.

К таким характеристикам относят, например, временные понятия - наработку элемента электрической системы до отказа, наработку между отказами, срок службы, время восстановления [5].

Значения этих показателей получают по результатам испытаний или эксплуатации.

Основные показатели безотказности:

- вероятность безотказной работы $P(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ ЭС или ее элемента не возникают;
- среднее время безотказной работы (средняя наработка до отказа) (T) - математическое ожидание наработки ЭС или ее элемента до первого отказа;
- средняя наработка на отказ (τ, τ_{cp}) - отношение суммарной наработки восстанавливаемого элемента ЭС к математическому ожиданию числа его отказов;
- интенсивность отказов (λ) - условная плотность вероятности возникновения отказа элемента ЭС, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Этот показатель относится к невосстанавливаемым элементам ЭС.

Рассмотрим более детально основные показатели (параметры) надежности:

1. **Вероятность безотказной работы** $P(t)=R(t)$ - вероятность того, что в заданном интервале времени не произойдет отказ

$$P(t)=1-q(t); 0 \leq P(t) \leq 1; P(0)=1; P(\infty)=0;$$

С другой стороны: $P(t)=1-F(t)$;

$F(t)=q(t)$ - вероятность появления отказа в течении времени «t»;

$P(t)$ – монотонно убывающая функция;

$F(t)$ - монотонно возрастающая функция;

Статистическая оценка:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1.1)$$

где N_0 - общее количество элементов для испытания или эксплуатируемых;

$n(t)$ - число элементов, отказавших за время «t»;

$P(t)$ - вероятность безотказной работы.

Безотказность - свойство системы сохранять работоспособность в течение заданного интервала времени без вынужденных перерывов. Если « t_p » - время безотказной работы, то $P(t)=P(t_p > t)$ - вероятность того, что время безотказной работы $> t$. Зависимость $P(t)$ - закон распределения надежности.

На практике более удобная характеристика - вероятность отказов (вероятность неисправной работы).

Эта характеристика более удобна, в частности, для сравнения резервируемых и нерезервируемых ЛЭП и т.п.

Исправная работа и отказ - несовместимые и противоположные события.

$$q(t)=1-P(t)=F(t) \quad (3.2)$$

где $q(t)$ – функция распределения времени безотказной работы, представляющая вероятность появления отказа в течении времени «t».

Отказ - нарушение работоспособности (способности системы выполнять заданные функции с требуемыми режимными параметрами).

Таким образом интегральная функция распределения вероятностей безотказной работы $p(t)$ численно равна доле начального количества объектов $N_0(t=0)$, не отказавших до произвольного, но фиксированного момента времени "t" это $n(t_{отк} > t)$ объектов.

$$p(t)=p(t_{отк} > t) = \frac{p(t_{отк} > t)}{N(t=0)} = \begin{cases} 0, & t = \infty \\ 1, & t = 0 \end{cases}, \quad (1.2)$$

Графически имеем для "i" объекта (элемента)

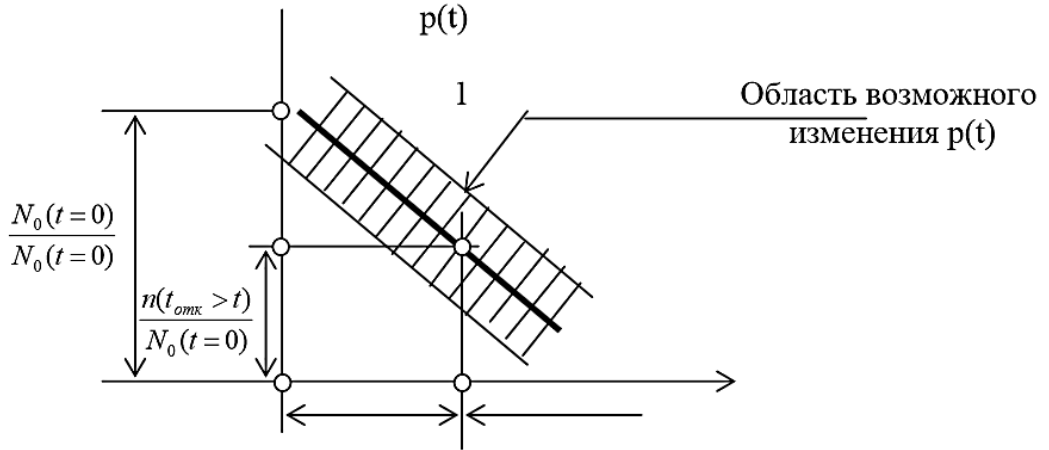


Рисунок 1 – Графическая зависимость интегральной функции распределения вероятностей отказа

2. **Среднее время безотказной работы или средняя наработка до отказа (τ, T_{ср}, T₀)** - математическое ожидание случайной величины времени безотказной работы элемента до первого отказа: т.е. математическое ожидание наработки до первого отказа.

$$T = \tau = T_{cp} = T_0 = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{+\infty} t \cdot a(t) dt, \quad (1.3)$$

где $f(t)=a(t)$ - плотность распределения наработки до отказа, частота отказов;

Это выражение (1.3) путём интегрирования по частям может быть преобразовано следующим образом:

$$\int_0^{\infty} t \cdot a(t) dt = \int_0^{\infty} p(t) dt, \quad (1.4)$$

Учитывая, что $t \geq 0$, $p(0)=1$ и $p(\infty)=0$, окончательно получаем:

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (1.5)$$

Для экспоненциального закона распределения времени безотказной работы имеем:

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.6)$$

Таким образом, среднее время наработки элемента(объекта) на отказ численно равно средней, по множеству объектов, продолжительности безотказной работы (между двумя соседними отказами), приходящейся на один элемент (объект), т.к. $\lambda(t)=const$, то и $T=const$ т.е. эти величины могут быть вычислены для всех элементов ЭС и сведены в таблицы, остальные показатели надёжности определяются через эти величины.

По статистическим данным среднее время наработки элемента ЭС до отказа определяется из выражения:

$$\tau^* = T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (1.7)$$

где t_i - время безотказной работы i -го элемента ЭС;

N_0 - общее число элементов взятых для испытания.

3. **Интенсивность отказов (λ).** Эта величина представляет собой вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник. Численно она равна среднему числу отказов в единицу времени на один объект из количества объектов $n(t_{отк}>t)$ не отказавших до произвольного, но фиксированного времени "t".

$$\lambda(t) = \frac{n(t_{отк}>t \leq t + \Delta t)}{n(t_{отк}>t) \cdot \Delta t}, \quad (1.8)$$

Понятие интенсивность отказов устройства в единицу времени используется как количественная характеристика для математического определения надёжности. Эта величина измеряется в среднем обычно числом отказов за один час. Обратная величина "λ" - наработка до первого отказа в часах - отношение общего времени испытания к общему числу отказов. В литературе часто встречается следующее определение интенсивности отказов: это

условная плотность распределения времени безотказной работы для момента времени t при условии, что до этого момента отказа не произошел.

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}, \quad (1.9)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы элемента ЭС

$a(t)$ - частота отказов элемента ЭС.

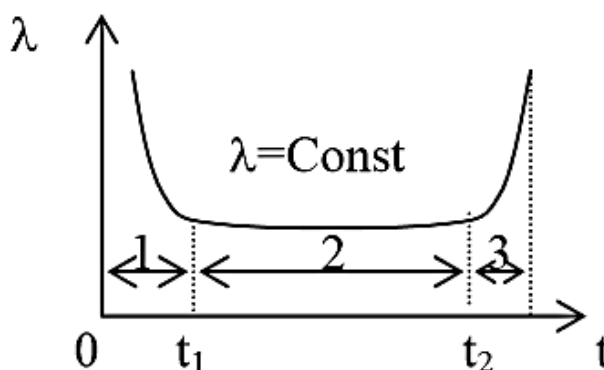
Со статистической точки зрения интенсивность отказов $\lambda(t)$ - отношение числа отказавших элементов ЭС за некоторый промежуток времени к числу работоспособных элементов в начале этого промежутка.

$$\lambda^*(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (1.10)$$

где Δt - интервал времени;

$\Delta n(t)$ - число элементов, отказавших за Δt ;

$N(t)$ - число элементов, исправно работающих к началу промежутка времени.



зона 1 - период приработки элемента ЭС; зона 2 - период нормальной эксплуатации элемента ($\lambda = \text{const}$); зона 3 - период износа элемента ЭС.

Рисунок 2 – Типичная зависимость $\lambda(t)$

Если $\lambda = \text{const}$, то имеем - экспоненциальное распределение (наиболее часто используемое в энергетике для периода нормальной работы элементов ЭС).

Таким образом, для характеристики надежности надо знать величину $\lambda(t)$ – среднее число отказов в единицу времени.

4. **Наработка на отказ T_0** - среднее время безотказной работы невозстанавливаемых элементов до отказа или восстанавливаемого элемента между соседними отказами.

$$T_0^* = \frac{t}{n} = \frac{\sum_{i=1}^h t_i}{N_0}, \quad (1.11)$$

где

n - число отказов за время испытания (эксплуатации) элемента ЭС;

t - общее время исправной работы элемента ЭС;

t_i - время исправной работы элемента ЭС между $(i-1)$ и i отказами.

5. **Частота отказов (a)** - плотность распределения времени безотказной работы или производная от вероятности безотказной работы

$$a(t) = q'(t) = -p'(t), \quad (1.12)$$

Для определения величины $a(t)$ используется следующая статистическая оценка:

$$a^*(t) \approx \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (1.13)$$

где $n(\Delta t)$ – общее количество элементов взятых для испытания или эксплуатируемых;

N_0 – число отказавших элементов в интервале времени от $(t - \frac{\Delta t}{2})$ до $(t + \frac{\Delta t}{2})$;

Δt – интервал времени.

6. На практике в качестве оценки надёжности чаще используют среднее квадратическое отклонение (σ):

$$\sigma(T) = \sqrt{D[T]}, \quad (1.14)$$

где

T – время жизни элемента ЭС.

Достоинства и недостатки показателей надёжности

1) Вероятность безотказной работы $p(t)$,

Достоинства:

- a) характеризует изменение надёжности во времени;
- b) даёт возможность наглядно судить о надёжности;
- c) показатель может быть использован для расчёта надёжности новых систем до их реализации;
- d) $p(t)$ характеризует стоимость изготовления и эксплуатации систем;
- e) показатель охватывает большинство факторов, влияющих на надёжность.

Недостатки:

- a) показатель характеризует надёжность восстанавливаемых систем до первого отказа и является достаточно полной характеристикой только систем разового пользования;
- b) показатель не даёт характеристики между временными составляющими цикла эксплуатации;
- c) эта величина не всегда удобна для оценки надёжности простых элементов при отсутствии старения; г. по этому показателю довольно трудно найти другие показатели надёжности.

2) Среднее время безотказной работы ($T_{ср}$) этот показатель надёжности является одним из более наглядных количественных характеристик надёжности но как математическое ожидание не полностью характеризует надёжность восстанавливаемых систем, надо ещё знать дисперсию времени отказов. Величина $T_{ср}$ характеризует работу системы до первого отказа.

3) Нарботка на отказ (T) Этот показатель надёжности характеризует восстанавливаемую систему.

4) Частота отказов «а» или «f» -позволяет судить о количестве элементов, выходящих из строя в промежутке времени для невосстанавливаемой системы и довольно просто вычислить количество отказавших систем в интервале « Δt », но по её величине нельзя судить о надёжности.

5) Интенсивность отказов (λ).

Достоинства:

a. $\lambda(t)$ -функция времени и позволяет наглядно установить характерные участки работы системы.

Это даёт возможность наметить пути по повышению надёжности.

b. показателю $\lambda(t)$ -просто довольно найти другие характеристики надёжности

Недостатки: показатель используется для невосстанавливаемых систем (элементов).

Заключение

Электроэнергетические системы являются динамическими системами сложного типа, состоящими из большого числа составляющих элементов (генератора, трансформатора, линии электропередач и тд.). При этом сложность системы определяется не только числом элементов, но главным образом наличием связей между ними. Для ЭЭС сложность функционально связаны единством процесса производства, распределения и потребления электрической энергии.

Электроэнергетика является основой развития промышленности, транспорта, коммунального и сельского хозяйства и служит базой для повышения технико-экономического потенциала страны. От надёжной работы электрических станций и

электроэнергетических систем зависит надежность электроснабжения потребителей, которая в конечном счете влияет на функционирование всей экономики страны.

Проблема оценки и выбора рациональной степени надежности электрических станций и электроэнергетических систем является одной из наиболее важных проблем на современном уровне развития электроэнергетики. Этим и определяется повышенный интерес к проблеме надежности в последние годы как в нашей стране, так и за рубежом.

Литература

1. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. - М.: Высш. шк., 1989. - 149 с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. - Ленинград.: Энергоатомиздат, 1990. - 206 с.
3. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Ленинград.: Энергоатомиздат, 1988. - 220 с.
4. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения, - М.: Энергоиздат, 1981. - 224 с.
5. Руденко Ю.Н., Чельцов М.В. Надежность и резервирование в электроэнергетических системах (методы исследования).- Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1974. - 261 с.
6. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах надежности систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.