

11 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Измерение совокупности ДП, определяющих работоспособность, позволяет судить об этом состоянии на данный момент. Как долго продлится это состояние, не выйдет ли РЭС из строя в последующий определенный временной интервал - ответ на этот вопрос дает прогнозирование ТС РЭС по данным диагностирования. Прогнозирование состояния РЭС, таким образом, может рассматриваться как одна из частных задач диагностики и контроля. В простейшем случае, определив техническое состояние и не имея никаких данных о предыдущем состоянии, мы всегда можем предположить, что в системе проявляется экспоненциальный закон надежности и вероятность безотказной работы на последующий временной интервал T определяется выражением:

$$P = \exp\left(-\frac{T}{T_0}\right).$$

Наличие дополнительной информации о состоянии РЭС, например о

производных совокупности ДП $U_p(U_1 \dots U_n)$, $\dot{U}_p(\dot{U}_1 \dots \dot{U}_n)$ по времени, о предварительном изменении ДП за наблюдаемый интервал, позволяет получить возможность судить о будущем состоянии на основе более глубоких закономерностей, чем экспоненциальный закон надежности.

Количественный прогноз состояния РЭС в силу случайного характера процессов, в них протекающих, и условий работы всегда подчиняется случайным закономерностям. Но прогнозирующие оценки имеют всегда детерминированную и случайную составляющие, что и определяет совокупность ДП в будущем:

$$U(t - T_{пр}) = U_{дет}(t - T_{пр}) + U_{сл}(t - T_{пр})$$

где $T_{пр}$ - период прогнозирования.

Для количественных оценок стадий и этапов жизненного цикла РЭС прогнозирование состояния и выбор совокупности прогнозирующих параметров играют большую роль. Особенно важным представляется прогнозирование при внедрении в эксплуатацию стратегии ТО РЭС по состоянию. Чем полнее наша информация и достовернее прогноз, тем эффективнее применение этой стратегии.

На основе проведения предварительного прогнозирования должны решаться такие задачи, как: определение периодичности проведения диагностирования; определение оптимальной частной совокупности ДП для различных периодов диагностирования; определение неснижаемого резерва запасных частей, блоков, узлов РЭС (ЗИП); корректировка и даже оптимизация алгоритмов поиска места отказа, например, по критерию "время - безотказность"; организация наиболее рациональных режимов хранения РЭС; сокращение времени проведения различного типа испытаний сложных

систем; правильное планирование выпуска изделий техники, а также РЭС для диагностики и контроля; определение влияния различных факторов и условий работы РЭС, а также деградационных процессов на стадиях создания систем; совершенствование стратегий ТО и др.

Несмотря на разнообразие задач, решаемых путем прогноза, алгоритм прогнозирования технического состояния может быть представлен определенной устойчивой последовательностью операций. В общем виде эта последовательность содержит: определение прошлого состояния РЭС - $S(t-T_{кз})$ -техническая генетика ($T_{из}$ - интервал изучения); определение предыдущего состояния РЭС - $S(t-T_{набл})$ за определенный интервал $T_{набл}$; техническое диагностирование и контроль $S(t_0)$ в данный момент, обработку результатов по данным $S(t-T_{из})$, $S(t-T_{набл})$, $S(t_0)$ определение закономерности изменения состояния; прогнозирующий расчет и определение $S(t-T_{пр})$ на прогнозируемом временном интервале. При проведении прогнозирования обязательным представляется определение вида технического состояния, т. е. контроль. Поэтому часто прогнозирование называют прогнозирующим контролем (ПК). Этот термин будет использован в последующем.

Методы обработки результатов прогнозирования, выбор совокупности прогнозирующих параметров определений траекторий их будущих изменений весьма разнообразны, различны по идее и структуре. Операции прогнозирования можно разделить на две большие группы: операции интерполяции по обработке известных данных и операции экстраполяции - по определению будущих траекторий изменения процессов, т. е. собственно прогноз.

Результаты прогнозирования наиболее часто представляют в двух видах:

1. в той же размерности, что и диагностируемые параметры, т. е. целью прогнозирования является вычисление величины контролируемого параметра в будущем. Это так называемое аналитическое прогнозирование;
2. в виде определения вероятности выхода (невыхода) характеристик диагностируемого параметра за границы допуска во временной интервал. Эта группа методов называется вероятностным прогнозированием.

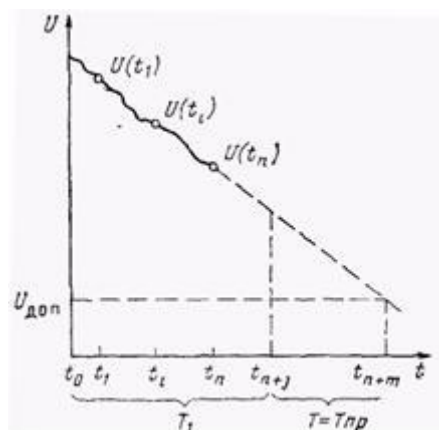


Рисунок 11.1 - Аналитическое прогнозирование величины диагностического параметра $U(t)$

Оба принципа следует отнести к математическому прогнозированию, ибо в обоих случаях результат прогноза осуществляется на базе математической обработки результатов диагностики и контроля.

Помимо рассмотренных принципов на практике встречаются методы аппаратного прогнозирования.

В общем виде аналитическое прогнозирование реализуется следующим образом: параметр, характеризующий техническое состояние РЭУ, меняется во времени, причем это изменение является монотонной функцией $U(t)$ (рис. 11.1). Значение параметра $U(t)$ известны на временном интервале T . В результате прогноза по известным значениям $U(t_i) \dots U(t_n)$ необходимо найти значения $U(t_{n+i}) \dots U(t_{n+m})$ и определить временной интервал работоспособного состояния изделия в будущем $T_{пр}$. Решение этой задачи может базироваться на одном из методов численного анализа: функцию $U(t)$ заменяют функцией $A(t)$ таким образом, что на интервале T_i выполняются условия:

$$\begin{aligned}U(t_1) &= A(t_1), \\U(t_2) &= A(t_2), \\&\dots\dots\dots \\U(t_{n-1}) &= A(t_{n-1}),\end{aligned}$$

А на интервале $T_2=T_{пр}$:

$$\begin{aligned}U(t_n) - A(t_n) &< \varepsilon_0, \\U(t_{n+1}) - A(t_{n+1}) &< \varepsilon_1, \\&\dots\dots\dots \\U(t_{n+m}) - A(t_{n+m}) &< \varepsilon_m.\end{aligned}$$

где $U(t_{1+m}) \dots U(t_{n+m})$ - неизвестные значения функции, а ε_i - наперед заданные положительные числа.

Функция $A(t)$ чаще всего должна представлять собой алгебраический многочлен. При аналитическом прогнозировании используются прежде всего методы численного анализа - такие как аппарат рядов и приближенных функций.

В процессе анализа решаются задачи:

1. **интерполирования** - нахождение значений функции $U(t)$ для промежуточных значений аргумента $t_i < t < t_{i+1}$, где $i=0 \dots n$. При этом мы

оперируем функцией $A(t)$, которая называется интерполирующей и отыскивается в виде алгебраического многочлена;

2. экстраполирования - заключающаяся в определении значений функции $U(t)$ в области $T_2 = T_{np}$, т. е. вне области известных значений аргумента. При этом многочлен $A(t)$ степени n , удовлетворяющий условию $A(t_i) = U(t_i)$, должен удовлетворять и неравенству:

$$|U(t_{n+j}) - A(t_{n+j})| < \varepsilon_j,$$

Многочлен этот называют экстраполяционным. Он может быть получен путем преобразования интерполяционного многочлена.

Но между этими многочленами имеются существенные различия, которые необходимо отчетливо представлять. Для интерполяционного многочлена справедливо, что чем больше степень полинома μ тем более точно воспроизводится функция $U(t)$ с помощью функции $A(t)$. Для экстраполяции, цель которой - прогнозирование деградационных процессов, желательно, чтобы $\mu \ll n$, так как в противном случае составляющие полинома t_n, t_{n-1} в области T_2 дадут слишком большое приращение $A(t)$; следовательно, характер изменения деградационных процессов может быть описан полиномом с малыми степенями. Специфичность и многообразие деградационных процессов требуют также использования в качестве экстраполяционных выражений полиномов различных степеней в сочетании с адаптационными коэффициентами.

Общий вид экстраполирующего многочлена для этого случая приобретает вид:

$$A_{\varphi}(t) = \sum_{k=1}^{\mu} a_k \varphi_k(t),$$

где $a_k = f[U(t_i)]$ - неизвестные коэффициенты, $\varphi_k(t)$ - функция простейшего вида от текущего значения аргумента t .

Коэффициенты в выражении для $A_{np}(t)$ определяются из условия:

$$\sum_{i=1}^n [U(t_i) - A(t_i)]^2 \rightarrow \min.$$

На практике в качестве экстраполяционных полиномов могут быть использованы интерполяционные полиномы после их модификации.

Полином Лагранжа:

$$A(t) = \sum_{i=1}^{\mu} L_i U(t_i),$$

где L_i - коэффициенты Лагранжа, значения которых табулированы.

Формула Ньютона:

$$A(t) = U(t_n) + \Delta U_{n-1} N_1 + \Delta^2 U_{n-2} N_2 + \dots,$$

где N_k - табулированные коэффициенты Ньютона; $\Delta^2 U_{n-k}$ - конечные разности k -го порядка. Ряд Тейлора:

$$A(t) = U(t_n) + U'(t_n)\theta_1 + \frac{U''(t_n)}{2!}\theta_2 + \dots + \left(\frac{d^k U(t)}{dt^k}\right)\theta_k,$$

где $\theta_k = \frac{m^k}{k!}$ - коэффициенты Тейлора.

Вероятностные методы прогнозирования базируются на использовании математического аппарата теории случайных функций. Основным результатом вероятностного прогноза - это определение вероятности сохранения работоспособного состояния или наступления неработоспособного состояния - отказа.

Поскольку условия жизни РЭС, определяющие деградационные процессы в нем, многофакторные, то изменение параметров подчиняется случайным закономерностям, и их совокупность представляет собой совокупность случайных величин.

Функция распределения случайной величины U : $F_t(U) = P[U(t) < U]$. Если для контролируемого параметра $U(t)$ функция $F_t(U)$ известна, то можно определить вероятность попадания значений функции в любой заданный интервал оси U рисунка 11.2. Прогнозируя изменение значений $F_t(U)$, можно определить вероятность выхода параметра за допустимый предел U_{gr} .

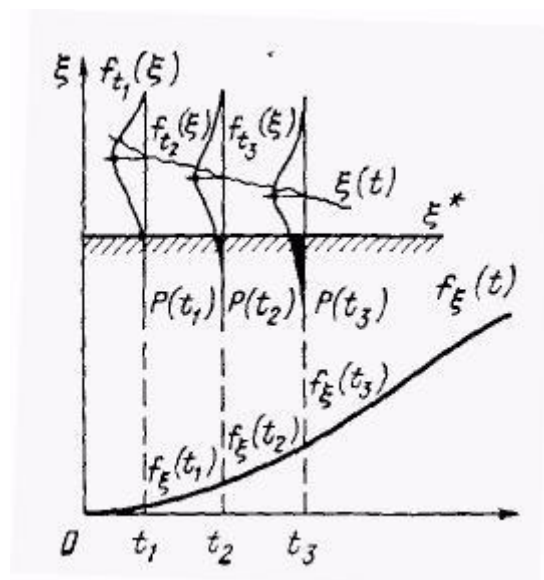


Рисунок 11.2 - Вероятное прогнозирование сохранения работоспособности РЭС

Таким образом, в определенном классе задач прогнозирование плотности распределения вероятностей $W_t(U)$ сводится к прогнозированию изменения величин $U(t)$ и $\sigma_t(U)$.

Путь решения задачи усложняется, но принципиально не изменяется, если вместо одномерной плотности распределения вероятностей рассматривается многомерная плотность.

Выбор прогнозирующих измеряемых параметров, наблюдение за которыми дает возможность реализовать прогноз, является одной из основных задач диагностики и прогнозирующего контроля.

Практически в каждом отдельном случае задачу выбора прогнозирующего параметра следует решать индивидуальным путем. Одним из рациональных путей является метод, учитывающий производные параметры. Если состояние многопараметрического изделия РЭС описывается вектором:

$$U(t) = [U_1(t), U_2(t), \dots, U_n(t)],$$

то оценив величины $U_i(t)$, можно определить, изменение каких параметров следует пренебречь по сравнению с другими.

Количество информации, которую несет параметр U_j о состоянии системы:

$$I_j(U_j, \Sigma) = H_\Sigma - H_j\left(\frac{\Sigma}{U_j}\right), \quad \text{где} \quad H_\Sigma = \sum_{j=1}^k H_j(U)$$

- энтропия состояния диагностируемого изделия РЭС, а $H(\Sigma/U_j)$ - условная энтропия состояния изделия после контроля параметра U_j . Выбор параметров для прогноза следует начинать с того, который несет максимальное количество информации $I_{\max}$.

В свою очередь, энтропия j -го параметра:

$$H_j = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

где P_i - вероятность попадания U_j в i -ый интервал диапазона его изменения.

Параметры можно выбирать и по критерию минимума величины $H_j(U)$. Если принять, что распределение $W(U_j)$ подчиняется нормальному закону, то энтропия отдельного параметра:

$$H_j(U) = \log_2 \sqrt{2\pi e D_U},$$

где D_U - дисперсия распределения параметра U .

Параметры по степени информативности можно ранжировать по величине дисперсии распределения каждого параметра. Этот метод следует применять при вероятностном прогнозировании, когда вычисляются и анализируются величины дисперсий компонентов прогнозируемого процесса.

Прогнозирующие параметры в ряде практических случаев можно выбирать, основываясь на инженерной логике: например, температура поверхности отдельных узлов РЭС весьма чувствительна к увеличению мощности рассеяния, а косвенно о температуре можно судить, измеряя сопротивление обмоток трансформатора.

Ток холостого хода трансформатора является параметром, чувствительным к отклонению от нормального рабочего режима и к нагрузкам выходных цепей. К некоторым часто встречающимся Дефектам чувствительными оказываются отношения прямого и обратного сопротивления диодов, ток базы транзисторов, ток сетки электронных ламп, ток утечки конденсаторов.

Покаскадный контроль усилителя с разомкнутым контуром АРУ позволяет выяснить момент приближающегося повреждения. Измерение коэффициента стоячей волны у выходного конца волновидной линии, ведущей к нагрузке, дает информацию о ряде тепловых повреждений.

Контрольные вопросы к 11 разделу

1. Результаты прогнозирования наиболее часто представляют в каких двух видах?
2. Какой многочлен называют экстраполяционным ?
3. На практике в качестве экстраполяционных полиномов могут быть использованы интерполяционные полиномы после чего?
4. Параметры по степени информативности можно ранжировать по чему?