где v_{max} и s_{min} относятся к идеальному состоянию системы. Так как $A^* \geqslant A$ для всех возможных последовательностей d и z, то в качестве весовой функции можно взять разность

$$W = A^* - A.$$

Эту весовую функцию можно также использовать для построения оптимальных процедур поиска при статической диагностике.

Во многих случаях, в частности для систем измерения и связи, нельзя установить цену «изделий». Поэтому необходимо каким-то иным способом оценивать «продукцию» системы. Например, можно упорядочить состояния системы в зависимости от качества выпускаемой «продукции». Для построения такого упорядочения можно воспользоваться субъективными оценками специалистов, подобными тем, которые применяются для предсказания надежности [3]. Однако при этом необходимо учитывать, используется ли исследуемая система для достижения одной заданной цели или для достижения нескольких целей. В первом случае такая субъективная оценка специалистов может дать очень хорошие результаты. Но даже после упорядочения состояний системы остается трудная задача определения «цены» отдельных состояний системы, а также «цены» проверок и ремонтов.

Во многих случаях можно не учитывать денежной стоимости проверки $c(d_i)$ и ремонта $c(z_i)$. Это относится к таким системам, которые ремонтируются в собственных мастерских или лабораториях и для которых запасные детали относительно дешевы. Данная ситуация возникает, например, при применении измерительных приборов в научно-исследовательских работах. В таких случаях в качестве весовой функции можно использовать суммарную продолжительность простоя.

Суммарная продолжительность простоя применяется в качестве весовой функции даже тогда, когда нельзя пренебречь стоимостями $c(d_i)$ и $c(z_i)$. Однако такая весовая функция может привести к неправильным результатам, в частности, в тех случаях, когда временные продолжительности двух процедур различаются незначительно, а денежная стоимость более короткой процедуры [ее $c(d_i)$ и $c(z_i)$] значительно выше второй. С другой стороны, возможна ситуация, когда продолжительность простоя является более важным показателем, чем стоимость процедур диагностики и ремонта. Примером является бортовая аппаратура, которую необходимо привести в работоспособное состояние до момента старта.

Из приведенных примеров следует, что правильный выбор весовой функции и выбор критерия оптимальности диагностической процедуры является довольно сложной проблемой, решение которой зависит от технических и экономических условий поиска неисправностей и ремонта системы как в случае динамической, так и в случае статической диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Ullrich, L. Kubát. A Generalized Approach to Fault-Finding Procedures.— Kybernetika, 1966, № 1.
2. L. Kubát, M. Ullrich. Ceneral Approach to Dynamic Diagnosis Procedures.— Kybernetika, 1967, № 3.
3. S. R. Calabro. Reliability Principles and Practices (гл. 12). New York, Mc Graw-Hill, 1962.

Поступила в редакцию
19 сентября 1966 г.

УДК 621.372.44

Р. Д. БАГЛАЙ
(Новосибирск)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Измерение величины коэффициентов, характеризующих нелинейные зависимости, является одной из часто встречающихся задач в измерительной технике.

Поведение нелинейной зависимости $y(x)$ обычно оценивают значениями коэффициентов:

$$\varphi(x) = \frac{dy}{dx}; \quad \psi(x) = \frac{y}{x},$$

их отношением

$$z(x) = \frac{\varphi(x)}{\psi(x)} = \frac{d \ln y}{d \ln x} \text{ и др.}$$

Здесь x — входной сигнал или собственный параметр системы, например, усиле-
трудно: необходимо реализовать операцию деления значений $y(x)$ на соответствующие значения аргумента. В этом случае $\psi(x)$ можно определить через $\varphi(x)$ и, как будет показано, уменьшить технические трудности, связанные с выполнением операции деления. Если к тому же экспериментальные данные о функции $y(x)$ неполны (известны лишь результаты измерения в характерных ее точках какого-либо одного коэффициента), приходится прибегать к численному или графическому определению искомого коэффициента.

Для дифференцируемых $y(x)$ соотношение

$$\varphi(x) = \frac{d\,[\psi(x)\,x]}{dx} = \psi(x) + x\,\frac{d\,\psi(x)}{dx}, \qquad (1)$$

связывающее коэффициенты $\varphi(x)$ и $\psi(x)$, выполняется тождественно в области определения $\psi(x)$.

При изучении пассивных нелинейных цепей, исходя из физических соображений, выражение (1) можно доопределить: $y(0)=0$, причем $\varphi(0)$ и $\psi(0)$ ограничены.

Поскольку функция $y(x)$ может быть неизвестной, а $\varphi(x)$ представлена сигналом или измерена (задана) лишь в некоторых точках x_i, $i = 1, 2, 3, \ldots$, необходимо искать решение $\psi(x)$ уравнения (1), предварительно выбрав способ приближения функции $\varphi(x_i)$.

Решение $\psi(x)$ можно представить в виде

$$\psi(x) = x^{-1}\left[\int \varphi(x)\,dx + C\right]. \qquad (2)$$

Для однозначных дифференцируемых $y(x)$, удовлетворяющих условию $y(0)=0$, и при ограниченном $\psi(0)$ постоянная C тождественно равна нулю при $x=0$. Следовательно, если $\varphi(x)$, представленную сигналом, подать на вход устройства, описываемого уравнением (1), выходной сигнал будет представлять коэффициент $\psi(x)$. При указанных условиях в такого рода устройствах не возникает переходный процесс ($C \equiv 0$), приводящий обычно к большим погрешностям в начальный промежуток времени после подключения входного сигнала**. В качестве простейшего примера возможной технической реализации укажем на ненагруженную RC-цепь, величина динамической емкости которой линейно возрастает от нуля, причем так, что постоянная времени цепи увеличивается в реальном масштабе времени с коэффициентом пропорциональности, равным единице. Ясно, что величина статической емкости этой цепи при прочих равных условиях должна линейно расти с тангенсом угла наклона, вдвое меньшим.

Когда же $\varphi(x)$ измерена в ряде точек x_i и в качестве приближающей для $\varphi(x_i)$ можно принять ломаную линию (при этом функция $y(x)$ на отдельных участках будет приближаться квадратичным трехчленом), то уравнение (1) на произвольном отрезке $[x_i, x_{i+1}]$ при $\varphi_{i+1}(x) = a_{i+1}x + b_{i+1}$ удовлетворяется, если

$$\psi_{i+1}(x) = \frac{a_{i+1}}{2}\,x + b_{i+1} + \frac{C_i}{x}, \quad x_i \leqslant x \leqslant x_{i+1}. \qquad (3)$$

---

* Г. А. Аксенов, Р. Д. Баглай. Воспроизведение вольт-амперной характеристики при автоматическом измерении параметров нелинейного элемента.— Автометрия, 1965, № 6.

** Можно показать, что и в преобразователе, описываемом уравнением типа (1), т. е. уравнением Эйлера, не более высокого порядка, переходный процесс не возникает при указанных выше условиях.

Чтобы «припасовать» решения $\psi_{i+1}(x)$ и $\psi_i(x)$ в точке x_i, потребуем выполнения условия

$$\psi_i(x_i) = \frac{a_{i+1}}{2} x_i + b_{i+1} + \frac{C_i}{x_i},$$

откуда постоянная интегрирования

$$C_i = [\psi_i(x_i) - \psi^*_{i+1}(x_i)]\, x_i, \tag{4}$$

где $\psi^*_{i+1}(x_i)$ — значение $\psi_{i+1}(x)$ в точке x_i при $C_i = 0$ легко находится по заданному $\varphi_{i+1}(x)$.

Значение $\psi_i(x_i)$, как нетрудно убедиться, можно вычислить при заданных $\varphi(x_i)$ x по формуле приближенного интегрирования

$$\psi_i(x_i) = \frac{1}{2x_i}\left\{\sum_{k=1}^{i-1} x_k [\varphi(x_{k-1}) - \varphi(x_{k+1})] + x_i [\varphi(x_{i-1}) + \varphi(x_i)]\right\} \tag{5}$$

с погрешностью, определяемой обычным для этого случая образом. Следовательно, когда применяются численные методы, значение $\psi_{i+1}(x)$ при кусочно-линейной аппроксимации $\varphi(x_i)$ выражается рекуррентным соотношением

$$\psi_{i+1}(x) = \frac{1}{2x}\left\{\sum_{k=1}^{i-1} x_k [\varphi(x_{k-1}) - \varphi(x_{k+1})] + x_i [\varphi(x_{i-1}) + \varphi(x_i)]\right\} - \frac{x_i}{x} \psi^*_{i+1}(x_i) + \psi^*_{i+1}(x), \quad x_i \leqslant x \leqslant x_{i+1}, \tag{6}$$

для любой точки отрезка $[x_i, x_{i+1}]$.

Поступила в редакцию
23 ноября 1966 г.

УДК 620.1.088.328 : 612.822.3

А. Н. ПОКРОВСКИЙ
(Новосибирск)

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЛАТЕНТНОГО ПЕРИОДА ОТВЕТА НА РАЗДРАЖЕНИЕ ПРИ МИКРОЭЛЕКТРОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕЙРОНОВ ЦНС

Спонтанную активность нейрона часто можно рассматривать как стационарный случайный поток; поток этот всегда ординарный (вследствие рефрактерности нейрона) и, вообще говоря, с последействием. Кратковременное раздражение какой-либо структуры, прямо или косвенно связанной с данным нейроном, вызывает изменение активности нейрона либо в виде более или менее выраженного залпа импульсов, либо в виде прекращения активности нейрона на некоторое время с последующим восстановлением активности. Латентный период ответа нейрона определяют обычно как среднее время (по нескольким раздражениям) между моментом нанесения раздражения и первым из импульсов.

Такое определение латентного периода дает возможность уверенно оценивать искомую величину при хорошо выраженном ответе в виде залпа импульсов; при слабо