напряжения в осциллограмме выходного импульса вблизи нуля (в моменты, когда триггер $Tp2$ устанавливается в нулевое положение).

В схеме управления использованы стандартные ячейки триггеров и мультивибраторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Цвикер, Р. Фельдкеллер. Ухо как приемник информации, изд. 2-е. М., «Связь», 1971.

2. С. Ф. Вайтулевич, В. А. Кожевников, А. П. Лебедев, В. И. Сорока. Электронный ключ с малым уровнем помех. «Приборы и техника эксперимента», 1965, № 5.

3. Г. С. Еремин. Представление звуковых сигналов. Сб. «Проблемы бионики», вып. 9. Изд-во Харьковск. ун-та, 1972.

4. Патент Японии. «Бюллетень патентных заявок Японии», сер. 6, вып. 1241, № 44-363 (1969).

5. Патент Японии. «Бюллетень патентных заявок Японии», сер. 6, вып. 1485, № 45-14001 (1970).

6. В. И. Долгопольская. Искусственное ухо, учитывающее активную составляющую сопротивления естественного уха. «Вопросы радиоэлектроники», сер. XI. Техника проводной связи», вып. I. М., 1964.

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТОЧНОСТИ И ИНФОРМАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

В. В. Тищенко

Математические модели сенсорной системы человека удобно исследовать с помощью ЭВМ [1], что дает возможность проводить эксперименты над описанными закономерностями функционирования анализаторов более совершенными средствами.

Однако правильность выбора ЭВМ и грамотное построение структурных схем электронных моделей еще не гарантируют совпадения результатов решения с реальными реакциями анализатора и соответствующих ему математических моделей. Это может быть объяснено аппаратурной погрешностью электронных моделей, их определенными информационными возможностями, временем запаздывания реакции и другими свойствами, обусловленными параметрами операционных устройств ЭВМ, которые и искажают результат.

Рассмотрим эти вопросы более подробно. Найти общую погрешность решения электронной модели весьма сложно, и этот процесс до конца не определен. Погрешность решения на АВМ можно находить путем составления системы интегральных характеристик, связанных с абсолютной погрешностью операций [2]. Однако проблема усложняется из-за возрастания структуры модели погрешностей по сравнению с моделью уравнения и за счет определения абсолютной погрешности операционных устройств, особенно для нелинейных структур.

В настоящей работе предлагается способ поиска минимальной погрешности решения путем уменьшения общей аппаратурной погрешности системы посредством изменения параметров и структуры схемы.

Чтобы точно и быстро решить уравнения сенсорной системы, необходимо использовать ЦИМ или АЦМ как наиболее эффективные в данном случае [3]. Модели, построенные на этих машинах, состоят из отдельных операционных устройств, выполняющих ту или иную операцию. Точность выполнения операции отдельным блоком может быть охарактеризована функционально-относительной погрешностью, зависящей от амплитуды и частоты входного сигнала:

$$\delta = \varphi\,[U,\ f], \tag{1}$$

где δ — относительная погрешность; $\varphi\,(U,\ f)$ — функция погрешности.

Определение такой зависимости для каждого операционного устройства не вызывает больших затруднений и в некотором смысле совпадает с понятием добротности [4]. Следовательно, работу каждого операционного устройства можно охарактеризовать относительной погрешностью в каждой точке выполнения операции над входным сигналом.

Пусть математическая модель сенсорной системы человека описана оператором, ставящим в однозначное соответствие каждому входному сигналу X выходной сигнал Y:

$$Y = F\,(x). \tag{2}$$

Тогда оператор электронной модели, выполняющий ту же функцию, вносит погрешность в решение и может быть описан в виде

$$Y^* = F\,(x) \pm F_0, \tag{3}$$

где F_0 — общая погрешность решения.

В общем случае оператор F и порождаемый им оператор погрешностей F_0 могут быть дифференциальными, интегральными или алгебраическими, состоящими из простейших операторов, которые описываются алгебраическими операциями. Как правило, F — кусочно-линейный оператор (кусочно-ступенчатый), определяемый характером восполнения операций на машинах.

Предположим, что f_i — элементарный оператор, выполняющий одну операцию. Тогда результат операции может быть описан в виде

$$Z^* = Z + \Delta Z = f\,(x) \pm f_0\,(S), \tag{4}$$

где $f\,(X)$ — операция над входным сигналом;

$f_0\,(S)$ — погрешность операции;

S — внутренний параметр операционного устройства;

ΔZ — абсолютная погрешность операции.

Очевидно, что абсолютная погрешность операции $\Delta Z = f_0\,(S)$.

Проведем преобразования, определив возмущение на входе устройства, вызывающее абсолютную погрешность ΔZ:

$$\Delta X = f_0^{-1}(\Delta Z), \tag{5}$$

где ΔX — приведенное к входу возмущение; f_0^{-1} — обратный оператор.

Тогда справедливо $Z = f(X \pm \Delta X)$ и $\Delta Z = 0$, а из (5) следует $\Delta Z = Z^* - Z = f_0(\Delta X)$. Следовательно, абсолютную погрешность операции можно считать функцией, зависящей от приведенного к входу возмущения (ΔX)*.

Рассмотрим более сложный оператор погрешностей F_0 — линейный в общем случае и зависящий от внутренних параметров S (неточность установок и погрешности элементов). Тогда $\Delta Y = F_0(S)$. Преобразуем к входу через обратный оператор:

$$\Delta m = F_0^{-1}(\Delta Y),$$

где Δm — приведенное к входу возмущение.

Если считать, что $\delta = \frac{\Delta m}{m_{\max}}$ или $\Delta m = \delta m_{\max}$, то $\delta m_{\max} = F_0^{-1}(\Delta Y)$ или $\Delta Y = m_{\max} F(\delta)$, где $m_{\max} = \text{const}$. Следовательно, если применить оператор преобразования F к относительной погрешности δ, то получим некую погрешность решения модели

$$\sigma = F_0(\delta). \tag{6}$$

Практика моделирования показывает, что в ходе определения общей погрешности решения (реакций модели) полезно придерживаться следующего порядка.

1. Определять относительную погрешность каждого операционного устройства как функцию частоты и амплитуды входного сигнала.

2. Если найдены основные операционные характеристики (относительные погрешности) устройств, входящих в группу электронной модели $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$, то по физическим критериям их можно разделить на погрешности линейных $\delta_л$ (сумматоров, интеграторов, блоков умножения на константу) и нелинейных $\delta_н$ (множительных устройств, функциональных преобразователей, вариаторов коэффициентов). В группе выделяются блоки с худшими параметрами.

3. Если оператор математической модели нелинеен, то из уравнения необходимо выделить линейную часть. Затем, подставив в качестве независимой переменной в обе части $\delta_л$ и $\delta_н$, решим уравнения погрешностей.

Если общая погрешность решения мала или равна нулю, то, очевидно, график решения будет параллелен оси времени или станет сливаться с ней. Во всех других случаях необходимо изменить параметры структуры модели и добиться уменьшения погрешности.

---

* Рассматриваются только систематические погрешности.

Таким образом, с помощью разработанных мер удается увеличить и оценить точность функционирования электронной модели.

Рассмотрим проблему времени реакции моделей. Как и в предыдущем вопросе, здесь полезно выделить реакцию во времени математической модели как идеальную и реакцию электронной модели, обладающей погрешностью времени реакции. Под погрешностью времени реакции моделей будем понимать несоответствие времени реакций математической и электронной моделей. Определить такой параметр необходимо потому, что несоответствие времени реакции моделей приводит к дополнительным погрешностям по амплитуде, частоте и фазы входного сигнала. Поэтому оценим погрешность во времени реакций модели отношением

$$S = \frac{\tau_м}{\tau_э},$$

где S — погрешность времени реакции;

$\tau_м$ — время реакции математической модели (анализатора человека);

$\tau_э$ — время реакции электронной модели.

Погрешность реакций во времени может принимать значения $S < 1$, $S > 1$ и $S = 1$. Реакции моделей во времени будут идентичны при $S = 1$, в остальных случаях необходимо корректировать постоянное время электронной модели. В приведенном соотношении время реакции математической модели (анализатора человека) определяется экспериментально, а время реакции электронной модели можно установить из передаточной функции $W(p)$ структуры с учетом распределенной емкости утечки и монтажа [5].

Рассмотрим информативность моделей. Этот параметр модели необходим для оценки количества информации моделей в целях определения степени достоверности реакции электронной модели по сравнению с математической. Количество информации непрерывного сигнала, как правило, определяется из выражения

$$I(X_k, Y_i) = \log \frac{P\left(\frac{Y_i}{X_k}\right)}{P(Y_i)},$$

где P — условная вероятность событий Y_i, X_k и их соотношения;

Y_i — выходной сигнал;

X_k — входной сигнал;

$I(X, Y)$ — количество информации в событии Y_i по отношению к X_k, а всякая непрерывная функция на входе и выходе модели может быть представлена в виде

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(t_k) \frac{\sin 2\pi F_0 (t - t_k)}{2\pi F_0 (t - t_k)},$$

где $f(t_k)$ — мгновенное значение сигнала;
F_0 — высшая гармоника, ограничивающая спектр;
$(t - t_k)$ — интервал времени.

Тогда под информативностью электронной модели будем понимать отношение при одинаковом спектре входного сигнала (X_k):

$$r = \frac{I(X, Y)_{\text{м}}}{I(X, Y)_{\text{э}}},$$

где r — информативность моделей;
$I(X, Y)_{\text{м}}$ — количество информации математической модели при X_k на входе;
$I(X, Y)_{\text{э}}$ — количество информации электронной модели при X_k на входе.

Обычно $I(X, Y)_{\text{м}} > I(X, Y)_{\text{э}}$. Это объясняется большей ограниченностью полосы частот электронной модели по сравнению с математической.

Итак, определение указанных параметров электронной модели и сравнение их с математическими полезно при исследовании моделей сенсорной системы человека техническими средствами для установления факта правильного отражения законов функционирования сенсорных анализаторов с помощью ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Мурашко. О технической реализации алгоритмов переработки информации в зрительной системе человека. Сб. «Проблемы бионики», вып. 2. Изд-во Харьковск. ун-та, 1969.
2. С. Эттерман. Математические машины непрерывного действия. М., Гостехтеоретиздат, 1956.
3. В. В. Тищенко. К вопросу об исследовании моделей вибрационного анализатора на ЭВМ. Сб. «Проблемы бионики», вып. 9. Изд-во Харьковск. ун-та, 1972.
4. М. Латенко. Аналоговые множительные устройства. М., «Наука», 1965.
5. Теория автоматического управления. Под ред. А. В. Нетушила. М., «Высшая школа», 1968.

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ОБУЧЕНИЯ РАСПОЗНАВАНИЮ ОБРАЗОВ

А. М. Пряницкий

Общую задачу распознавания можно сформулировать в следующем виде. Имеется произвольное множество сигналов G. В этом множестве выбирается конечная система непустых непересекающихся подмножеств $H_0, H_1, \ldots, H_{k-1}$, т. е. $H_i \subset G$ $(i = 0, 1, \ldots, k-1)$ и $H_i \cap H_j = \varnothing$ при $i \neq j$, где $\varnothing$ — пустое множество. Система $H_0, H_1, \ldots, H_{k-1}$, которая удовлетворяет вышеуказанным условиям, называется разбиением множества G. Разбиение $H_0, H_1, \ldots, H_{k-1}$ называется полным, если выполняется условие $G = H_0 \cup H_1 \cup \ldots \rightarrow$