

## Л и т е р а т у р а

1. Барсуков Ю.И., Болтянский А.А., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Методы преобразования, основанные на тестовых переходных процессах. Автоматизация экспериментальных исследований. КуАИ, 1975, с. 90-97.
2. Болтянский А.А., Пшеничников Ю.В., Скобелев О.П. Многоканальные аналого-цифровые преобразователи на основе тестовых переходных процессов в измерительных цепях. - Тезисы конференции по автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ "Системы сбора". Новосибирск, 1972, с.77-83.
3. Болтянский А.А., Васин Н.Н., Компанец В.К., Кондоров А.А., Райков Б.К., Секисов Ю.Н., Скобелев О.П. Структура многоканальных преобразователей, использующих тестовые переходные процессы. Автоматизация экспериментальных исследований. КуАИ, 1975, с. 97-105.
4. Каган Б.М., Воптелев А.И., Лукьянов Л.М. Системы связи УВМ с объектами управления в АСУ ТП. М., "Советское радио", 1978.

В.П.Глухов, Н.Л. Юмашева

О СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ  
РЕАЛИЗУЮЩЕЙ МЕТОД ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ

(Куйбышев)

При автоматизации экспериментальных исследований выдвигаются все более жесткие требования к точности устройств, входящих в состав автоматизированных систем управления экспериментом. Определяющими точность систем в целом являются аналоговые устройства, входящие в состав подсистем сбора информации.

Настоящая работа посвящена анализу случайной погрешности, снижение которой является наиболее сложной задачей при решении комплексной проблемы - достижении высокой точности. Достаточно

универсальными и гибкими по своей структуре являются подсистемы, реализующие метод постоянной времени [1 - 3]. В статье рассматривается случайная погрешность, обусловленная помехами, приведенными к входу операционного блока, сам операционный блок при этом считается идеальным. Помехи состоят из шума, наведенного на датчики и линии связи, а также поступившего на операционный блок по цепям питания. В качестве операционного блока в рассматриваемых подсистемах выступает устройство сравнения напряжений (УСН).

Задаваясь, что на элементы измерительной цепи наводится белый шум, можно считать сигнал шума, поступающий на вход УСН, марковским процессом. Это обусловлено прохождением сигнала шума через  $RLC$  -фильтры (линии связи, фильтры в цепях питания) перед попаданием на вход УСН. Закон распределения шума прием нормальным. Итак, считаем, что шум  $X(t)$  - стационарный гауссовский марковский случайный процесс с  $m_x(t) = 0$  и  $R(t) = \exp(-\frac{t}{\tau})$ , где  $\tau = \frac{1}{\alpha}$ ,  $\tau$  - постоянная времени измерительной цепи. Полагаем, что при  $t = 0$   $X(0) = 0$ , т.е. в качестве шума имеем условный марковский процесс:

$$\dot{X}_y(t) = X(t/x(0) = 0).$$

При этом весь переходный процесс в измерительной цепи с учетом информационного сигнала можно представить в виде

$$X_y(t) = X(t/X_y(0) = 0) + v_{ycm} [1 - \exp(-\alpha t)]. \quad (1)$$

Для достижения поставленной цели определения оптимального режима работы измерительной цепи, с точки зрения снижения влияния помех, необходимо определить среднее время (математическое ожидание) первого достижения случайным процессом  $X_y(t)$  поглощающей границы  $v_{on}$ , а также дисперсию времени первого достижения случайным процессом  $X_y(t)$  поглощающей границы  $v_{on}$ .

Для рассмотрения случайного процесса  $X_y(t)$  перейдем к новым координатам:

$$\dot{X}_y^*(t) = X_y(t) - v_{ycm}. \quad (2)$$

Подставляя в выражение (2) значение  $X_y(t)$  из (1), получим:

$$\dot{X}_y^*(t) = X(t/X_y(0) = 0) - v_{ycm} \exp(-\alpha t). \quad (3)$$

Из (3) следует, что  $\dot{X}_y^*(t)$  - условный гауссовский марковский

процесс с  $X_y(0) = -v_{ycm}$  и  $\alpha = \frac{1}{\tau}$ , поскольку  $v_{ycm} \exp(-\alpha t) = m_y y(t)$  — математическое ожидание такого процесса, а дисперсии процессов  $X(t/X_y(0) = 0)$  и  $\dot{X}_y(t) = X(t/X_y(0) = v_{ycm})$  совпадают.

В этом случае  $T^{(i)}$  — время первого достижения условным гауссовским марковским процессом

$$\dot{X}_y(t) = X(t/X_y(0) = -v_{ycm})$$

границы  $v_{on}^* = v_{on} - v_{ycm}$  интервала  $(-\infty, v_{on}^*)$ . Математическое ожидание случайной величины  $T^{(i)}$  определится выражением [4]

$$\bar{T}_1(-\infty, -v_{ycm}, v_{on}^*) = \sqrt{2\pi} \tau \left\{ J(-\infty, -\frac{v_{ycm}}{\sigma}) \int_{-\frac{v_{on}^*}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} [\Phi(y) - \Phi(-\infty)] e^{\frac{y^2}{2}} dy + J(-\frac{v_{ycm}}{\sigma}, \frac{v_{on}^*}{\sigma}) \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} [\Phi(y) - \Phi(-\infty)] e^{\frac{y^2}{2}} dy \right\} J^{-1}(-\infty, \frac{v_{on}^*}{\sigma}), \quad (4)$$

где  $\Phi(y)$  — интеграл вероятности

$$J(z_1, z_2) = \int_{z_1}^{z_2} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy.$$

Преобразуя выражение (4), получим:

$$\bar{T}_1(-\infty, -v_{ycm}, v_{on}^*) = \sqrt{2\pi} \tau \left\{ \left( \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{y^2}{2}} dy \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} \Phi(y) e^{\frac{y^2}{2}} dy \right) / \int_{-\infty}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{y^2}{2}} dy - \left( \int_{-\infty}^{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}} \Phi(y) e^{\frac{y^2}{2}} dy \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{y^2}{2}} dy \right) / \int_{-\infty}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{y^2}{2}} dy \right\}. \quad (5)$$

Отклонение математического ожидания  $\bar{T}_1$  от момента достижения опорного уровня  $v_{on}$  детерминированным переходным процессом в измерительной цепи  $v(t) = v_{ycm} [1 - \exp(-\alpha t)]$  относится к систематической составляющей погрешности преобразования.

Для оценки случайной погрешности преобразования необходимо знать дисперсию величины  $T^{(i)}$ . Последняя определяется выражением

$$(4) \quad D(-\infty, -v_{ycm}, v_{on}^*) = 2 \left\{ \left[ \int_{-\frac{v_{on}^*}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{z^2}{2}} \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} \left( \frac{d\bar{T}_1(x)}{dx} \right)^2 e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx dz \right] \times \left[ \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{z^2}{2}} dz \right] + \left[ \int_{-\frac{v_{on}^*}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{z^2}{2}} \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} \left( \frac{d\bar{T}_1(x)}{dx} \right)^2 e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx dz \right] \times \left[ \int_{-\frac{v_{on}^*}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{z^2}{2}} dz \right] \right\} \left[ \int_{-\frac{v_{on}^*}{\sigma}}^{\frac{v_{on}^*}{\sigma}} e^{\frac{z^2}{2}} dz \right]^{-1}. \quad (6)$$

После несложных преобразований уравнение (6) можно представить в виде

$$D(-\infty, -v_{ycm}, \dot{v}_{on}) = 2\tau^2 \left\{ \int_{-\infty}^{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{\dot{v}_{on}}{\sigma}} \frac{1}{\sigma^4} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \left[ \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \right]^2 dx dz - \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{\dot{v}_{on}}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \left[ \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \right]^2 dx dz \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{\dot{v}_{on}}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz \right\} \times \left[ \int_{-\frac{v_{on}}{\sigma}}^{\frac{\dot{v}_{on}}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz \right]^{-1} \quad (7)$$

Выражения (5) и (7) непригодны для практического использования, поскольку содержат в пределах интегрирования  $-\infty$ . Однако, каждое из этих выражений состоит из дробей, содержащих в числителе и знаменателе интегралы с бесконечными пределами интегрирования. Раскрывая неопределенности по правилу Лопиталья, получим:

$$\bar{T}_1(-\infty, -v_{ycm}, \dot{v}_{on}) = \sqrt{2\pi} \tau \int_{-\frac{v_{ycm}/\sigma}{\dot{v}_{on}/\sigma}}^{\frac{\dot{v}_{on}/\sigma}{\dot{v}_{on}/\sigma}} \varphi(y) e^{\frac{y^2}{2}} dy, \quad (8)$$

$$D(-\infty, -v_{ycm}, \dot{v}_{on}) = 2\tau^2 \int_{-\frac{v_{ycm}}{\sigma}}^{\frac{\dot{v}_{on}}{\sigma}} \frac{1}{\sigma^4} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \left[ \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \right]^2 dx dz. \quad (9)$$

В выражении (9) подынтегральная функция

$$e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \left[ \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \right]^2$$

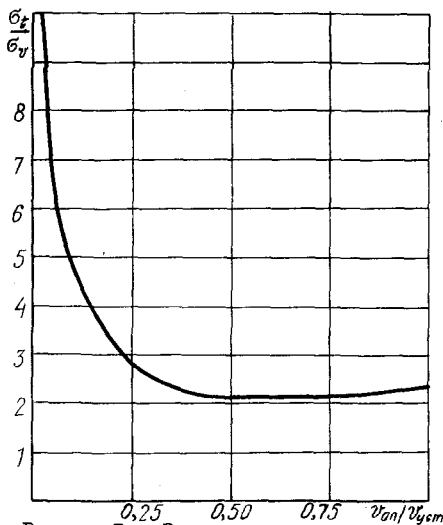
обращается в неопределенность вида  $(\infty \cdot 0)$  при устремлении  $x \rightarrow -\infty$ . Для того, чтобы определить сходимость интеграла, раскроем эту неопределенность, применив правило Лопиталья:

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \left[ \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy \right] = 0. \quad (10)$$

Значение предела (10) показало, что интеграл сходится, и выражение (9) может быть использовано для вычисления дисперсии времени первого достижения условным гауссовским марковским процессом поглощающей границы.

На рис. I представлена зависимость нормированной случайной погрешности  $\frac{\sigma_T}{\bar{T}_1} / \frac{\sigma_v}{v_{ycm}}$  от режима работы измерительной цепи, рассчитанная по выражениям (8) и (9).

Зная отношение "сигнал-шум" и выбрав доверительную вероят-



Р и с. 1. Зависимость нормированной случайной погрешности преобразования от режима работы измерительной цепи

ность с помощью полученной зависимости можно определить оценку относительной случайной погрешности преобразования по методу постоянной времени, обусловленную зашумленностью входного сигнала. Кроме того, из графика (см. рис. 1) видно, что существует оптимальный режим работы измерительной цепи, когда шум входного сигнала приводит к наименьшей относительной случайной погрешности. Этот режим соответствует соотношению  $\nu_{on}/\nu_{ycm} = 0,7$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. Барсуков Ю.И., Болтянский А.А., Глухов В.П., Компанец В.К., Кондоров А.А., Райков Б.К., Скобелев О.П. Групповые согласующие устройства для системы централизованного контроля и управления. - Тезисы докладов Всесоюзной конференции по измерительным информационным системам "ИИС-73", Ивано-Франковск, 1973.
2. Глухов В.П., Любимкин В.Г., Скобелев О.П. Подсистема сбора информации для индуктивных датчиков с малой постоянной времени. Информационный листок № 123-78, ЦНТИ, Куйбышев, 1978.
3. Компанец В.К., Райков Б.К., Скобелев О.П., Терских В.И. Подсистема сбора информации с резисторных датчиков температуры. Информационный листок № 137-78, ЦНТИ, Куйбышев, 1978.

М.А. Муханов, Ю.Н. Секисов, А.В. Шляхтин.

ПОДСИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ С ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ  
ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

(Куйбышев)

Подсистема сбора информации (ПСИ) использует один из импульсных методов преобразования параметров индуктивных датчиков в электрический сигнал - метод первой производной [1]. Метод позволяет снизить энергопотребление, уменьшить время преобразования, повысить точность и упростить структуру измерительной цепи [1, 2].

ПСИ может быть использована в сочетании с устройствами, способными воспринимать информацию в цифровом виде, и, в частности, с цифровой вычислительной машиной (ЦВМ). Возможно использование ПСИ в качестве измерительного прибора с визуальной индикацией результата на цифровом табло. Наиболее целесообразно применять ПСИ для регистрации импульсных однократных физических процессов, связанных с давлением и перемещением.

Функциональная схема ПСИ представлена на рис. 1. Возможны три режима работы ПСИ: непрерывный (положение 1 переключателя ПЗ), идущий с внутренним запуском от кнопки Н1 (положение 2 переключателя ПЗ), идущий с внешним запуском (положение 3 переключателя ПЗ).

Режим опроса датчиков определяется переключателем П2. В положении 2 реализуется циклический опрос, в положении 1 опрашивается датчик, номер которого устанавливается переключателем П1.

Процесс преобразования параметров датчика в цифровой код начинается с момента прихода импульса запуска  $U_1$  в устройство управления (УУ) (рис. 2). УУ вырабатывает сигналы  $V_2 - V_7$ , обеспечивающие функционирование ПСИ.

Кварцевый генератор G1 вырабатывает напряжение  $V_6$  частотой 10 мГц, используемое в ПСИ для заполнения счетчиков.

Мультивибратор S2 формирует импульс сброса  $V_7$  счетчиков