

УДК 681.3

С.П.Скобелев

ОБОВЩЕННЫЕ МОДЕЛИ НЕИДЕАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ
В МЕТОДАХ ТЕСТОВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

(г. Куйбышев)

Методы тестовых переходных процессов (МТП) применяются при создании средств сбора измерительной информации, в частности, при построении групповых преобразователей сигналов параметрических датчиков /1/. Для анализа МТП используются модели в виде дифференциальных уравнений второго порядка, которые описывают переходный процесс в различных по физической природе преобразователях (тепловых, электрических, электромагнитных) /2/. В операторной форме такие модели можно представить выражением

$$\bar{y}_0(p) = \frac{1}{p^2 + 2\delta p + \omega_0^2}, \quad (1)$$

где $\bar{y}_0(p)$ - изображение нормированной реакции $\bar{y}_0(t)$ на тестовое ступенчатое возмущение, δ - декремент затухания, ω_0 - собственная частота.

Модель (1) - традиционна и широко применяется для описания динамических свойств измерительных преобразователей /3/. Вместе с тем, универсальность модели (1) явилась причиной некоторых нежелательных упрощений и отклонений в исходных эквивалентных схемах измерительных цепей с индуктивными и емкостными датчиками в сравнении с общепринятыми. Их можно избежать в том случае, когда ряд обобщаемых преобразователей ограничен более однородным видом датчиков или измерительных цепей. В статье ставится задача определения такой модели, которая предназначена для преобразования сигналов только параметрических датчиков (индуктивного, емкостного и резисторного). Ведется анализ полученной модели, учитывающей как информативные, так и неинформативные параметры датчиков, оказывающих влияние на преобразование с помощью МТП.

В табл. I изображены эквивалентные схемы измерительных цепей, в которых ключевые элементы идеальны, а операционный блок (ОБ), реа-

Идеализованные эквивалентные схемы измерительных цепей с неидеальными датчиками

Номер схемы	Вид схемы	Обозначение
1		L_x - вых. параметр индуктивного датчика R_d - его сопротивление C_x - собств. емкость E - ЭДС источника R_i - его внутреннее сопротивление
2		C_x - вых. параметр емкостного датчика R_{sc} - сопротивление токоподв. L_{sc} - их индуктивность R_{rc} - сопротивление утечки потерь R - режимное сопротивление I - источник тока R_i - его внутреннее сопротивление
3		R_x - вых. параметр датчика L_R - собств. индуктивность C_R - собств. емкость C - режимная емкость R - входное сопротивление I - источник тока R_i - его внутреннее сопротивление

лизующий тот или иной вариант МТШ, имеет токовый вход с нулевым сопротивлением (схема 1) или вход напряжений с входным сопротивлением R (схемы 2,3). Неидеальность датчиков учитывается собственными неинформативными параметрами: C, R_L (схема 1), L_C, R_{SC}, R_{PC} (схема 2), L_R, C_R (схема 3).

Обобщенная модель измерительных цепей, приведенных в табл.1, имеет вид

$$Y(p) V(p) = \frac{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{p^2 + b_1 p + b_0}, \quad (2)$$

где $Y(p), V(p)$ - изображения реакции и возмущения, a_2, a_1, a_0, b_1, b_0 - коэффициенты, значения которых приведены в табл.2

Полагая $b_1 = 2\delta$, а $b_0 = \omega_0^2$, можно записать

$$Y(p) = V(p) \frac{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{p^2 + 2\delta p + \omega_0^2}. \quad (3)$$

Характер переходного процесса, как и в традиционной модели (1), определяет коэффициент успокоения $\beta = \frac{\delta}{\omega_0}$. Реальные соотношения параметров эквивалентных схем в табл.2 таковы, что $\beta \gg 1$, и тестовый переходный процесс в измерительных цепях имеет явно выраженный апериодический характер, причем оригиналы (1) и (3) могут быть представлены одним выражением вида

$$\bar{y}(t) = A_0 + A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}, \quad (4)$$

где $\bar{y}(t) = \frac{y(t)}{V(t)}$, $p_{1,2} = -\omega_0(\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 1})$ - корни характеристического уравнения,

а коэффициенты A_0, A_1, A_2 для оригинала модели (3) имеют вид

$$A_0 = \eta^2, \quad A_1 = \frac{a_2(-\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) + \beta^* - \eta^2(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1})}{2\sqrt{\beta^2 - 1}},$$

$$A_2 = \frac{a_2(\beta + \sqrt{\beta^2 - 1}) - \beta^* + \eta^2(\beta - \sqrt{\beta^2 - 1})}{2\sqrt{\beta^2 - 1}},$$

причем $\beta^* = \frac{a_1}{\omega_0}$ - безразмерный параметр, аналогичный коэффициенту успокоения, $\eta = \frac{\omega_0}{\omega_0^*}$ - безразмерный параметр (частота), где $(\omega_0^*)^2 = \frac{a_0}{a_2}$.

Выражения для коэффициентов A_0, A_1, A_2 в традиционной модели существенно отличаются. Различие особенно заметно, если представить оригинал (3) в виде

Параметры моделей измерительных цепей

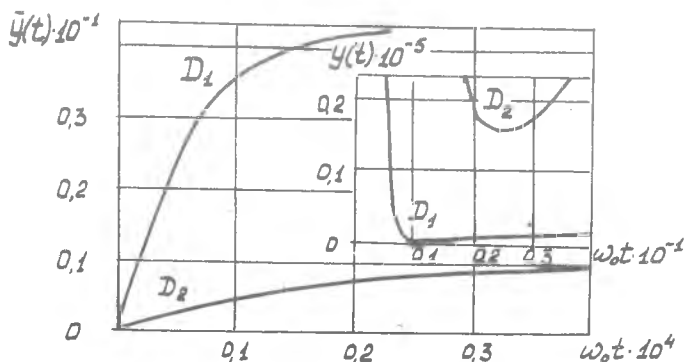
Номер схемы		
1	2	3
$Q_0 = \frac{1}{L_x C_L}, Q_1 = \frac{1}{T_L}, Q_2 = 1,$ $\beta_1 = \frac{1}{T_L} + \frac{1}{T_C},$ $\beta_0 = \frac{1}{T_L T_C} \left(1 + \frac{R_L}{R_U} \right),$ $T_L = \frac{L_x}{R_L}, T_C = R_L C_L,$ $y(t) = i(t), Y = \frac{E}{R_L}$	$Q_2 = 1, Q_1 = \frac{1}{T_C} + \frac{1}{T_B}, Q_0 = \frac{1}{C_x L_{Sc}}$ $\beta_1 = \frac{1}{T_C} + \frac{1}{T_{B_L}} + \frac{1}{T_{L,R}},$ $\beta_0 = Q_0 \left(-\frac{R}{R_{PC}} + 1 \right),$ $T_C = C_x R_{PC}, T_{B_L} = \frac{L_{Sc}}{R_{Sc}},$ $T_{L,R} = \frac{L_{Sc}}{R}$ $y(t) = V(t), Y = L \cdot R$	$Q_2 = 0, Q_1 = \frac{1}{T_C}, Q_0 = \frac{1}{T_L T_C} = \frac{1}{L_p C_p} R$ $\beta_1 = \frac{1}{T_C} + \frac{1}{T_L}, \beta_0 = \frac{1}{C_p L_p} \left(1 + \frac{R_x}{R} \right)$ $T_L = \frac{L_p}{R_x}, T_C = R C_p$ $C_p = C_R C,$ $g(t) = V(t), Y = IR$

$$\bar{y}(t) = a_2 \frac{d^2 y^*(t)}{dt^2} + \beta^* \omega_0 \frac{dy^*(t)}{dt} + \eta^2 \bar{y}_0(t), \quad (5)$$

где $y^*(t) = \frac{1}{\omega_0^2} \bar{y}_0(t)$, а $\bar{y}_0(t)$ - оригинал модели (I).

Из выражения (5) следует, что оригинал рассматриваемой модели отличается двумя слагаемыми, содержащими первую и вторую производные оригинала модели (I). Это видно и из сравнения числителей моделей (I) и (3).

Анализ показывает, что при $t \rightarrow 0$ $\bar{y}(t) \rightarrow a_2$. В схемах I, 2 $\bar{y}(t) \rightarrow 1$, причем определяющим является первое слагаемое в выражении (5). В схеме 3 $\bar{y}(t) \rightarrow 0$. При $t \rightarrow \infty$ $\bar{y}(t) \rightarrow \eta^2$. Очевидно, что характер изменений $\bar{y}(t)$ в промежуточные моменты времени зависит не только от β и ω_0 , но и от параметров β^* и η . На рис. I изображены характеристики $\bar{y}(t)$ для индуктивных датчиков, параметры которых приведены в табл. 3.



Р и с. I. Реакция измерительной цепи $\bar{y}(t)$ и ее начальный участок

Т а б л и ц а 3

Вид датчика	$L_x 10^{-3}, \text{Гн}$	$R_L, \text{Ом}$	$C_2 10^{-12}, \text{Ф}$	$\omega_0 10^7, \frac{1}{\text{с}}$	$\beta 10^2$	$\beta^* 10^{-3}$	η
D_1	1,0	20,0	50,0	1,48	3,37	0,674	0,213
D_2	150,00	70,0	120,0	0,141	14,73	0,165	0,118

От реакции идеальных измерительных цепей функции $\bar{y}(t)$ отличаются импульсным выбросом при $t \rightarrow 0$, который быстро затухает при малых $\omega_0 t$. Аналогичный характер имеет $\bar{y}(t)$ в цепи с емкостным датчиком. В цепи с резисторным датчиком импульсный выброс отсутствует.

При времени $t_{min} = \frac{1}{p_1 - p_2} \ln \frac{A_2 p_2}{|A_1| p_1}$ функция $\bar{y}(t)$ достигает минимума, при $t > t_{min}$ — монотонно возрастает, имея перегиб, которому соответствует максимум производной $\frac{d\bar{y}(t)}{dt}$.

Импульс в начале переходного процесса препятствует реализации метода постоянной времени /1/. Необходимы специальные меры по блокировке сравнивающего устройства или фильтрации $\bar{y}(t)$. Реализация метода возможна при $t > t_{min}$.

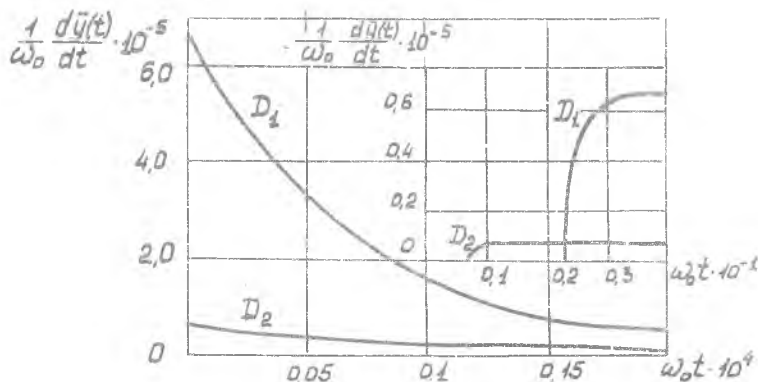
В соответствии с методом первой производной /1,2/ измеряется максимальное значение $\frac{d\bar{y}(t)}{dt}$ в момент перегиба функции $\bar{y}(t)$:

$$\left. \frac{d\bar{y}(t)}{dt} \right|_{max} = A_1 p_1 e^{p_1 t_{max}} + A_2 p_2 e^{p_2 t_{max}}$$

где

$$t_{max} = \frac{1}{p_1 - p_2} \ln \frac{A_2 p_1^2}{|A_1| p_2^2}$$

На рис.2 представлены производные $\bar{y}(t)$ для датчиков D_1, D_2 .



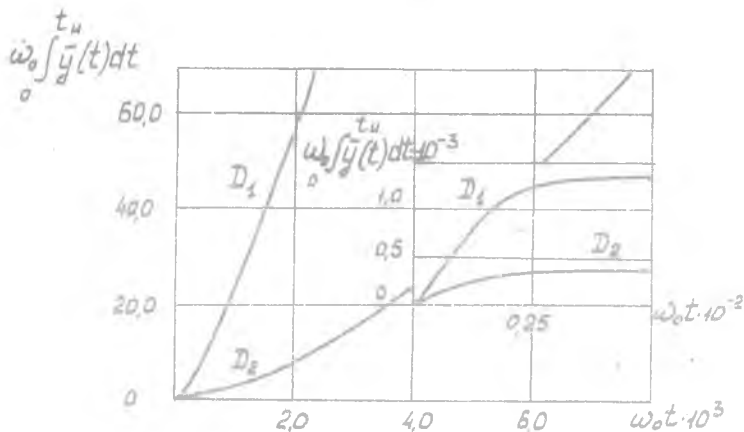
Р и с. 2. Безразмерная производная реакции и ее начальный участок

Время t_{max} ограничивает динамические возможности метода. Кроме того, смещение максимума на t_{max} ухудшает свойство подавления диссипативных параметров, что подробно рассматривалось /2/.

И наконец, при использовании метода интегрирующего преобразования фиксируется интеграл от реакции $\bar{y}(t)$ в заданное время t_n :

$$\int_0^{t_n} \bar{y}(t) dt = A_0 t_n + \frac{A_1}{\rho_1} (1 + e^{\rho_1 t_n}) + \frac{A_2}{\rho_2} (1 + e^{\rho_2 t_n}).$$

Интегрирование начального импульса $\bar{y}(t)$ приводит к его сглаживанию (рис.3).



Р и с. 3. Безразмерный интеграл реакции и его начальный участок

Таким образом, получена обобщенная модель измерительных цепей с параметрическими датчиками, на основе которой выявлен ряд ограничений МТПП, связанных с влиянием собственных неинформативных параметров. Модель может быть эффективно использована для определения чувствительности к информативным и неинформативным параметрам. Результаты расчета полезны при проектировании преобразователей сигналов датчиков, инвариантных к мешающим факторам и обладающих высокими метрологическими показателями.

Л и т е р а т у р а

1. Скобелев О.П. Методы преобразования и устройства сбора измерительной информации - Куйбышев, 1980. - 83 с.

2. Метод начальной производной в первичных преобразователях /А.А.Болтянский, Д.Н.Секисов, О.П.Скобелев, Н.М.Старобинский. - Измерительная техника, 1972, № 8, с. 29-32.

З. Н у б е р т Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. -Ленинград: Энергия, 1970. - 360 с.

УДК 53.087.4

В.Г.Гадников, А.В.Логвинов

О РАЗРАБОТКЕ В СТАНДАРТЕ КАМАК
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

(г. Куйбышев)

Многоканальные системы измерения физических параметров в стандарте КАМАК обычно включают в себя внекрейтовые нормализаторы выходных сигналов датчиков и типовые модули КАМАК: коммутаторы, АЦП, регистры и т.д. Измерение и контроль параметров вакуумного оборудования требует применения различных вакуумных датчиков, датчиков давления в охлаждающей системе, датчиков температуры. Состояние исполнительных механизмов индицируется с помощью конечных выключателей, выдающих дискретные сигналы. Количество измеряемых физических параметров исчисляется десятками, а количество дискретных параметров доходит до нескольких сотен. Реализация такой системы на основе типовых модулей КАМАК имеет ряд недостатков. Использование внекрейтовых нормализаторов по числу датчиков приводит к разнотипности и громоздкости аппаратных средств. Для измерения только 16-ти вакуумных параметров потребуются следующие аппаратные затраты: шестнадцать промышленных вакуумметров, обеспечивающих включение и питание датчиков, и в которых предусмотрен нормализованный выходной сигнал, один коммутатор в стандарте КАМАК, один АЦП в стандарте КАМАК.

Измерение таким же образом других параметров вакуумного оборудования приводит к аналогичным аппаратным затратам. При реализации программного обеспечения такой системы трудно достигнуть независимости его от конкретной конфигурации оборудования.

В КуАИ разработана серия специализированных многоканальных модулей КАМАК для измерения различных физических параметров. Из ее состава для контроля вакуумного оборудования могут быть использованы следующие модули:

ПСВД - 26-канальный модуль измерения вакуума;

ПСИД - 16-канальный модуль измерения давления с помощью индуктивных датчиков;