

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СБОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.2.082

В.П.Глухов, С.Н.Наринян, О.П.Скобелев

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВХОДНОГО ПАРАМЕТРА В ЗАДАННОЙ ПОЛОСЕ

В I рассмотрена динамическая погрешность время-импульсного преобразователя с индуктивным датчиком, связанная с изменением измеряемой величины в процессе преобразования. В реальных условиях на датчик могут воздействовать различные мешающие факторы, например, вибрации, способные вызвать дополнительные изменения индуктивности датчика и выходного сигнала преобразователя.

В этом случае можно считать, что индуктивность датчика заключена в известной полосе, границы которой изменяются в функции времени /рис. 1б и в /:

$$L_1(t) \leq L(t) \leq L_2(t). \quad (I)$$

Можно предположить, что выходной сигнал преобразователя, а следовательно, величина динамической погрешности будут также находиться в некоторой полосе, нахождению которой посвящена настоящая работа.

Измерительная цепь время-импульсного преобразователя, реализующего метод постоянной времени, представляет собой аperiodический R контур /рис. 1) /, где L , Z_c - параметры индуктивного датчика, R - образцовое сопротивление, УСН - устройство сравнения напряжений. Напряжение питания обычно имеет прямоугольную форму, хотя может быть и пилообразным [2].

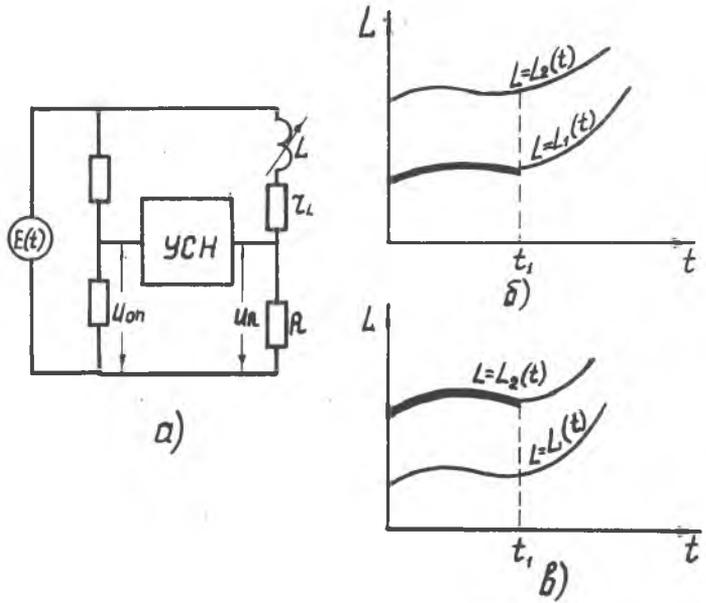


Рис.1. а) структурная схема измерительной цепи однона-
вального время-импульсного преобразователя с
индуктивным датчиком;
б) , в) полоса изменения индуктивности датчика.

В общем случае для произвольной функции возмущения $E(t)$, предполагая, что при $t \geq 0$ функции $L_1(t)$ и $L_2(t)$ непрерывны, причём $L_1(t) > 0$, а $L(t)$ дифференцируема, уравнение измерительной цепи можно представить в виде:

$$\frac{d}{dt} [L(t) \cdot i(t)] + (R + \alpha L) i(t) = E(t). \quad (2)$$

Интегрируя линейное уравнение первого порядка в пределах от до t_1 , получаем

$$i(t_1) = \frac{1}{L(t_1)} \int_0^{t_1} E(t) \cdot \exp[-(R + \alpha L) \int_t^{t_1} \frac{dt}{L(t)}] dt, \quad (3)$$

где t_1 - момент времени, в который определяется значение тока. Зафиксируем t_1 . Множитель перед внешним интегралом в (3) возрастает с заменой $L(t_1)$ меньшим числом. Показатель же экспоненты, а с ним внешний интеграл возрастает при замене $L(t)$ - при $t < t_1$ - большей функцией. Следовательно, в пределах полосы (I) ток минимизируется при подстановке в (3) функции

$$L(t) = L_*(t) = \begin{cases} L_1(t) & (t < t_1); \\ L_2(t) & (t = t_1), \end{cases}$$

и максимизируется при подстановке

$$L(t) = L^*(t) = \begin{cases} L_2(t) & (t < t_1); \\ L_1(t) & (t = t_1). \end{cases}$$

Эти функции $L_*(t)$ и $L^*(t)$ на рисунках изображены жирной линией и точкой, построенными по кривым $L = L_1(t)$ и $L = L_2(t)$.

В результате подстановки, получаются границы полосы тока, соответствующей полосе индуктивности*)

$$i_1(t) \leq i(t) \leq i_2(t), \quad (4)$$

где

$$i_{1,2}(t_1) = \frac{1}{L_{1,2}(t_1)} \int_0^{t_1} E(t) \cdot \exp[-(R + \alpha L) \int_t^{t_1} \frac{dt}{L_{1,2}(t)}] dt, \quad (5)$$

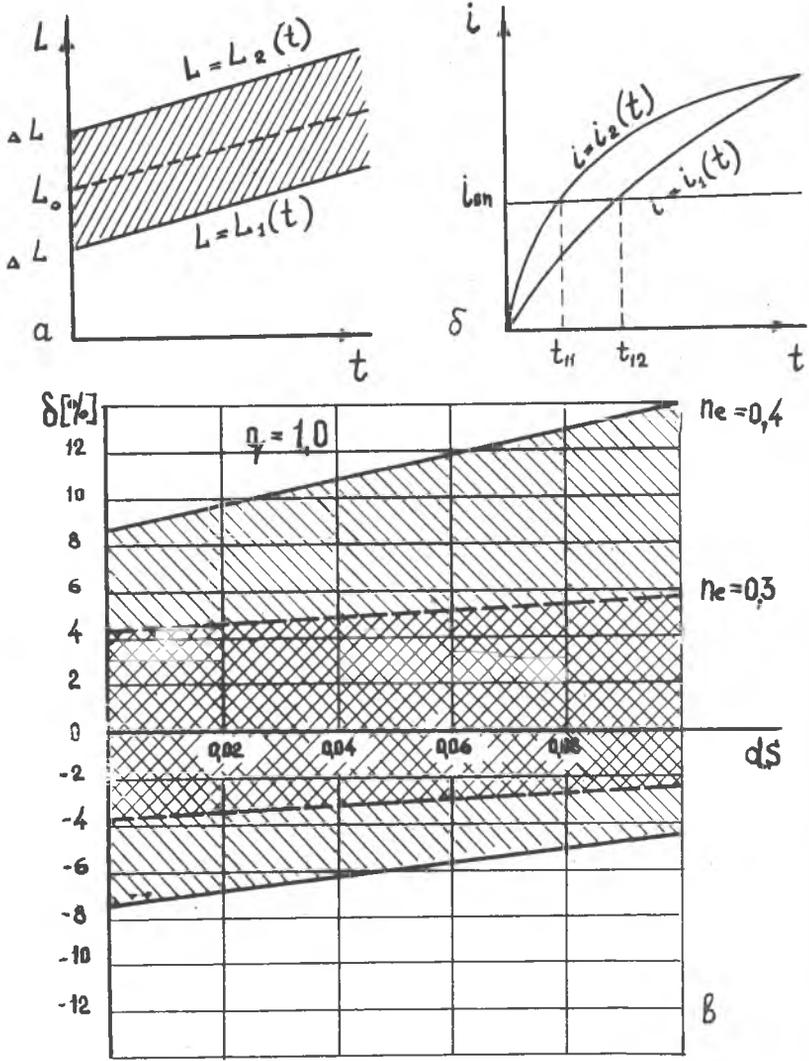


Рис. 2. а) полоса изменения индуктивности датчика с границами, изменяющимися по линейному закону; б) полоса реакций измерительной цепи; в) полоса динамических погрешностей преобразователя в зависимости от относительной скорости изменения входного параметра и режима работы измерительной цепи.

Первому индексу при $i(t_1)$ соответствуют первые индексы при $L(t)$ и второму, соответственно, - вторые. При $t=0$ обе границы равны 0 (рис. 2б).

В частности, когда

$$E(t) = \begin{cases} 10(t < 0); \\ E(t \geq 0). \end{cases}$$

а границы для $L(t)$ - параллельные прямые (рис. 2а):

$$L_{1,2}(t) = L_0 \mp \Delta L + \beta t \quad (\beta > 0), \quad (6)$$

после несложных преобразований, получим

$$i_{1,2}(t_1) = \frac{E[(L_0 \mp \Delta L + \beta t_1)^{n+1} - (L_0 \mp \Delta L)^{n+1}]}{(R + \alpha_i + \beta)(L_0 \pm \Delta L + \beta t_1)(L_0 \mp \Delta L + \beta t_1)^n}, \quad (7)$$

где $n = (R + \alpha_i) / \beta$. С целью получения безразмерных характеристик введем в (7) вместо индуктивности датчика L и сопротивления датчика α_i постоянную времени датчика $\tau = L / \alpha_i$ и преобразуем (7) к виду

$$i_{1,2}(t_1) = \frac{I_{уст} (q+1) [(C_0 \mp \Delta C + d \delta t_1)^{q+1} - (C_0 \mp \Delta C)^{q+1}]}{(q \delta + q+1)(C_0 \pm \Delta C + d \delta t_1)(C_0 \mp \Delta C + d \delta t_1)^q}, \quad (8)$$

где $I_{уст} = E / (R + \alpha_i)$ - установившееся значение тока в измерительной цепи при $L = \text{const}$, $q = \alpha_i / R$ - отношение, характеризующее режим работы измерительной цепи, $C_0 = L_0 / \alpha_i$ - среднее значение постоянной времени датчика из заданной полосы,

$K = (q+1) q \delta$, $d = dx/dt$ - скорость изменения контролируемого параметра x , $\delta = d\tau/dx$ - чувствительность датчика. В рассматриваемом преобразователе выходным сигналом временной интервал от момента подачи напряжения питания до сравнения напряжения на образцовом сопротивлении с заданным опорным уровнем. При изменении входного параметра в заданной полосе, задавая опорный

Аналогичный подход используется в [3] для определения полосы реакций электрической цепи на возмущение, изменяющееся в заданной полосе; в отличие от данной работы в [3] рассматривается цепь с постоянными параметрами.

уровень, получим полосу интервалов сравнения, ограниченную величинами $t_{н1}$ и $t_{н2}$ / рис. 26 /. Динамическая погрешность характеризуется отклонением интервалов сравнения из этой полосы от интервала сравнения, полученного при постоянстве индуктивности датчика в процессе преобразования, причём примем постоянную времени датчика, равной $\tau = \tau_0 + \Delta\delta \tau_{ср.см}$, где $\tau_{ср.см}$ - момент сравнения реакции цепи с опорным уровнем при постоянстве индуктивности. Реакция цепи на прямоугольный скачок напряжения при $L = const$ запишется в виде

$$i(t) = I_{ycm} \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{(\varrho + 1)t}{\varrho\tau} \right] \right\} \quad (9)$$

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} i_{1,2}(t_{ср})R = U_{он}; \\ i(t_{ср.см})R = U_{он}, \end{cases} \quad (10)$$

где $t_{ср} = t_{ср.см} + \Delta t$, получим значения $t_{ср}$ и $t_{ср.см}$, и определим погрешность, обусловленную полосой для индуктивности и изменением постоянной времени датчика за время преобразования в виде

$$\delta = \frac{t_{ср} - t_{ср.см}}{t_{ср}} \cdot 100\%.$$

Для $\Delta\delta = 0$ с помощью предельных переходов система (10) упрощается, и из неё можно найти

$$\begin{cases} t_{ср} = - \frac{\varrho(\tau_0 + \Delta\tau)}{\varrho + 1} \ln \left\{ 1 - \frac{(\tau_0 + \Delta\tau)(\varrho + 1)Re}{\tau_0 + \Delta\tau} \right\}; \\ t_{ср.см} = - \frac{\tau_0 \varrho \ln [1 - Re(\varrho + 1)]}{1 + \varrho}, \end{cases} \quad (11)$$

а затем δ для различных Re , ϱ . Значения δ при $\Delta\delta \neq 0$ определяются численными методами. В качестве примера для наиболее распространенного режима работы измерительной цепи ($\varrho = 1,0$) на рис. 2в) представлена зависимость погрешности δ от относительной скорости границ полосы $\gamma = \Delta\delta$ в диапазоне скоростей

$\gamma = 0 \div 0,1$, где $\gamma = 0,1$ соответствует скорости, при которой измеряемый параметр за время преобразования меняется на 10%. Полоса индуктивности принята равной $\pm 2\%$ от номинального значения. Расширение полосы, заключающей в себе динамическую погрешность, относительно полосы, в которой заключена индуктивность датчика, зависит от чувствительности схемы. Ширину полосы, заключающей в себе динамическую погрешность, а также влияние γ на величину этой погрешности можно снизить уменьшением τ_e , однако это приводит к снижению чувствительности преобразователя.

Как следует из рис. 2в, границы полосы погрешностей практически эквидистантно смещаются относительно $\delta(\gamma)$, найденной в [I]. Неэквидистантность верхней и нижней границ не превышает 0,5%. Подобное смещение границ наблюдается и при других значениях γ и τ_e , причём его величина приближённо может быть найдена из (II) при $L = \text{const}$ ($\alpha_5 = 0$).

Таким образом, исследования, проведённые в настоящей работе, подтвердили наличие полосы динамических погрешностей преобразования при изменении входного параметра в заданной полосе. Для частного случая, когда границы полосы входного параметра изменяются по линейному закону, удалось установить, что границы полосы погрешностей с достаточной точностью можно считать эквидистантными кривым $\delta(\gamma)$, найденным в [I]. Последнее обстоятельство позволяет, не прибегая к сравнительно сложному анализу, исключительно просто находить границы полосы погрешностей, пользуясь результатами исследований, полученными в [I], где не предполагалось предположение входного параметра в виде полосы.

Авторы выражают благодарность проф. Меньшикову Г.Г. за консультации и обсуждение результатов работы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Глухов В.П., Райков Б.К., Скобелев О.П. О динамической погрешности время-импульсного преобразователя с индуктивным датчиком. "Известия ВУЗов СССР. "Приборостроение", 1973, № II.
2. Бахмутовский В.Ф., Вдовиченко и др., Универсальные цифровые измерительные приборы. Современное состояние и перспективы развития. "Приборы и системы управления", 1972, № 2.

3. Меньшиков Г.Г. Линейные элементы импульсных устройств, Ленинградский электротехнический институт связи им. проф. М.А.Бонч-Бруевича, 1972 .

УДК 621.325

Н.Н.Васин, А.П.Тузов

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ КОММУТАЦИИ КЛЮЧА
НА ТОЧНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАЛЫХ ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Реальные ключевые элементы, применяемые в преобразователях малых постоянных напряжений, реализующих метод первой производной [1], имеют конечное время коммутации T . В течение T сопротивление ключа $R(t)$ при его заперении нарастает по неизвестному закону с минимального значения, которое с целью упрощения анализа может быть принято равным нулю, до некоторого максимального R_0 . В этом случае воздействие удобно задавать в виде полосы, поэтому и реакцию измерительной цепи на данное воздействие также следует искать в виде полосы [2]. Таким образом, требуется найти верхнюю и нижнюю границы выходного напряжения преобразователя, то есть получить следующее неравенство

$$m(t) \leq U(t) \leq M(t)$$

для любого t . Ширина полосы реакции и определит максимально возможную погрешность преобразователя вследствие конечного времени коммутации ключа.

Переходный процесс в измерительной цепи преобразователя (рис. 1) описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = \frac{E-U-IR(t)}{CR(t)} \\ \frac{dI}{dt} = \frac{U-zI}{L} \end{cases} \quad (1)$$

с начальными условиями $U = E$, $I = \frac{E}{z}$ при $t = 0$.

Искомое решение обозначим $U[R(t), t]$, $I[R(t), t]$. Предположим, что функция $R(t)$ - кусочно-непрерывна на отрезке времени