

**М. И. ЛЕВИН, Ю. И. СЕМКО**  
(Москва)

**ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ  
И ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  $M$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$   
ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ПИТАНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ\***

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования метода цифрового преобразования выходных сигналов параметрических датчиков с помощью аналого-цифрового преобразователя постоянного тока при импульсном питании измерительных цепей.

В современных цифровых системах централизованного контроля и управления для получения информации о состоянии контролируемого объекта широко применяют датчики параметрической группы, выходными величинами которых являются параметры электрической цепи: взаимная индуктивность  $M$ , индуктивность  $L$ , емкость  $C$  или сопротивление  $R$ . При этом возникает проблема преобразования параметров  $M$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$  в цифровой код. Существующие методы аналого-цифрового преобразования величин  $M$ ,  $L$ ,  $C$  и  $R$  обеспечивают сравнительно низкую скорость обегания датчиков в системах контроля и управления — единицы — десятки точек в секунду, в то время как требуемая во многих случаях скорость обегания составляет сотни и более точек в секунду при погрешности цифрового измерения выходных параметров датчиков порядка десятых долей процента. Для увеличения темпа обегания часто применяются индивидуальные для каждого датчика измерительные усилители, что усложняет систему в целом, увеличивает погрешности измерения, объем системы, потребление ею энергии и т. п.

В связи с этим в настоящее время актуальной задачей является разработка и исследование новых методов цифрового преобразования параметров  $M$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$ , которые могли бы обеспечить необходимые быстродействие и точность в случае использования их в системах централизованного контроля и не вносили бы при этом указанных выше усложнений.

Данная статья, являясь развитием и обобщением [1], содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований одного из таких методов.

Смысл рассматриваемого метода сводится к осуществлению питания датчиков типа  $M$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$  импульсами специальной формы, что позволяет

\* Материал доложен на VII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1965 г. в Новосибирске.

получать на выходе датчиков прямоугольные импульсы напряжения (тока), амплитуда которых пропорциональна значению изменяющегося параметра датчика  $M$ ,  $L$ ,  $C$  или  $R$ . Цифровое преобразование амплитуды выходного напряжения датчиков производится в течение длительности одного импульса быстродействующим аналого-цифровым преобразователем (АЦП) постоянного тока — наиболее совершенным из существующих АЦП.

Необходимо отметить, что применительно к датчикам  $R$  этот метод, хотя он и не получил еще широкого распространения, не является новым: в [2] описана 24-канальная цифровая система обтекающего контроля, в которой мостовые цепи с датчиками  $R$  питаются прямоугольными импульсами тока, а измерение амплитуды прямоугольных импульсов, возникающих на выходе мостовых схем, производится АЦП постоянного тока.

Возможны различные способы использования импульсного питания. В частности, импульсное питание применяется для возбуждения частотных датчиков типа  $L$  и  $C$  [3]. В этом случае величина параметров  $L$  и  $C$  преобразуется в частоту. Но здесь существенным является то, что измерение частоты наиболее простым счетным методом занимает много времени: при  $f_{\min} = 1000$  гц и погрешности измерения частоты 0,2% время измерения равно 0,5 сек. Это время может быть уменьшено при переходе к измерению периода колебаний. Но и в этом случае для получения погрешности 0,1—0,2% необходимо производить измерение в течение 3—10 периодов [3]. С учетом длительности возбуждающего импульса (2—4 мсек) полное время измерения ориентировочно оценивается величиной 5—15 мсек, что в среднем обеспечивает темп обегания порядка 100 точек в сек.

Как указано в [3], практически использовать этот метод трудно из-за низкой добротности электрических колебательных контуров и влияния параметров линий связи на частоту колебаний. Помимо этого характеристика частотных датчиков нелинейна и не проходит через начало координат.

Импульсное питание датчиков применяется также в некоторых телеизмерительных системах [4, 5]. Здесь параметры датчиков  $R$  и  $C$  преобразуются в длительность импульсов.

Известны и другие варианты применения импульсного питания в технике электрических измерений [6—10].

Однако цифровое преобразование параметров  $M$ ,  $L$  и  $C$  с помощью АЦП постоянного тока при питании датчиков типа  $M$ ,  $L$ ,  $C$  пилообразными импульсами тока (напряжения) в целях получения на выходе датчиков (или цепей, в которые включены датчики) прямоугольных импульсов напряжения, насколько можно судить по отечественной и зарубежной литературе, до настоящего времени не применялось.

В данном случае выбор АЦП постоянного тока обусловлен, во-первых, тем, что наибольшие успехи в области цифрового преобразования непрерывных электрических величин достигнуты при измерении именно постоянных токов (напряжений) и, во-вторых, тем, что многие широко распространенные датчики генераторной группы, без которых не обходится практически ни одна система централизованного контроля, имеют выходную величину в виде постоянного тока или напряжения (э. д. с.) постоянного тока; для цифрового измерения последних применяют АЦП постоянного тока.

Для получения на выходе датчиков прямоугольных импульсов напряжения, э. д. с. или тока их питание необходимо осуществлять импульсами следующих видов:

- а) питание датчиков типа  $M$  и  $L$  — пилообразными импульсами тока  $i_1(t) = k_i(t)$ ,  $0 \leq t \leq t_n$  ( $t_n$  — длительность импульсов);  
 б) питание датчиков типа  $C$  — пилообразными импульсами напряжения  $u_1(t) = k_u(t)$ ,  $0 \leq t \leq t_n$ ;  
 в) питание датчиков типа  $R$  — прямоугольными импульсами тока  $i_1(t) = a_i$ ,  $0 \leq t \leq t_n$ .

При этом амплитуда выходного сигнала  $A_x$  будет пропорциональна величине измеряемого параметра датчика  $\Pi_x$  ( $M_x$ ,  $L_x$ ,  $C_x$  или  $R_x$ ), а также значению соответствующего параметра импульса питания  $\Pi_n$  (крутизне нарастания импульса  $k_i$ ,  $k_u$  или его амплитуде  $a_i$ ):

$$A_x = \Pi_x \Pi_n. \quad (1)$$

Для датчиков разных типов общее выражение (1) принимает конкретную форму:

$$E_M = -M_x k_i \text{ — э. д. с. во вторичной обмотке датчика } M;$$

$$U_L = L_x k_i \text{ — падение напряжения на индуктивности датчика } L;$$

$$I_C = C k_u \text{ — ток в датчике } C;$$

$$U_R = R a_i \text{ — падение напряжения на сопротивлении датчика } R.$$

В основу построения цифровых преобразователей  $M$ ,  $L$ ,  $C$  и  $R$ , использующих импульсное питание датчиков, могут быть положены два принципа — мостовой и компенсационный. При использовании первого принципа опорной (эталонной) величиной  $\Pi_0$ , с которой производится сравнение измеряемой величины  $\Pi_x$  является один из параметров  $M_0$ ,  $L_0$ ,  $C_0$  или  $R_0$  (рис. 1, а), при использовании второго принципа — стабильное напряжение постоянного тока  $U_0$  (см. рис. 1, б).

В схеме рис. 1, а питание измерительного датчика  $\Pi_x$ , на который действует контролируемая неэлектрическая величина  $X$ , и опорного элемента  $\Pi_0$  осуществляется от одного источника — генератора питающих импульсов ГПИ. Отношение выходных сигналов  $A_x = \Pi_x \Pi_n$  и  $A_0 = \Pi_0 \Pi_n$  равно

$$\frac{A_x}{A_0} = \frac{\Pi_x}{\Pi_0}, \quad (2)$$

т. е. не зависит от параметра импульсов питания  $\Pi_n$ .

На вход АЦП постоянного тока с поразрядным уравниванием поступает выходной сигнал  $A_x$  измерительного датчика. Питание дискретного делителя аналого-цифрового преобразователя производится импульсами  $A_0$ , поступающими от опорного элемента  $\Pi_0$ . В этом случае код  $n$  на выходе АЦП пропорционален отношению сигналов  $A_x$  и  $A_0$ :

$$n = q \frac{A_x}{A_0} N_0, \quad (3)$$

где  $q$  — коэффициент пропорциональности;  
 $N_0$  — максимальный код АЦП.

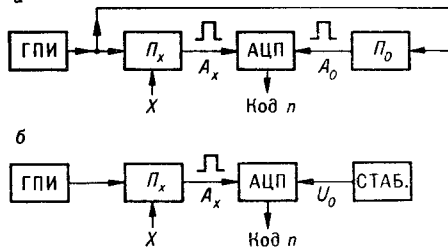


Рис. 1.

Из (2) и (3) следует, что код на выходе АЦП не зависит от параметров импульсов питания  $\Pi_n$ , а определяется лишь отношением измеряемого  $\Pi_x$  и опорного  $\Pi_0$  параметров

$$n = q \frac{\Pi_x}{\Pi_0} N_0. \quad (4)$$

В схеме рис. 1, б питание дискретного делителя АЦП производится стабильным напряжением (током)  $U_0(I_0)$ . Код на выходе АЦП зависит от параметров питающих импульсов  $\Pi_n$ :

$$n = q \frac{A_x}{U_0} N_0 = q \Pi_x \frac{\Pi_n}{U_0} N_0. \quad (5)$$

Если  $\Pi_n = \text{const}$  и  $U_0 = \text{const}$ , то код  $n$  однозначно определяется величиной измеряемого параметра  $\Pi_x$ .

Анализ выражений (4) и (5) показывает, что в первом случае питание измерительной цепи, состоящей из  $\Pi_x$ ,  $\Pi_0$  и АЦП, может осуще-

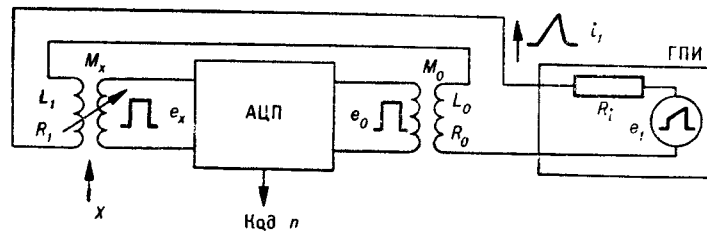


Рис. 2.

ствляться пилообразными или прямоугольными импульсами, параметры которых ( $k_i$ ,  $k_u$ ,  $a_i$ ) не стабилизированы, ибо значение  $\Pi_n$  не входит в уравнение (4). Во втором случае величины  $\Pi_n$  и  $U_0(I_0)$  должны быть стабилизированными.

Схемная реализация мостового метода применительно к датчикам  $M$ ,  $L$ ,  $C$  и  $R$  показана на рис. 2, 4—6.

В блок-схеме цифрового преобразователя  $M$  (см. рис. 2) [1] питание измерительного датчика  $M_x$  и опорной катушки  $M_0$  осуществляется от генератора пилообразных импульсов, внутреннее сопротивление которого равно  $R_i$ , а э. д. с. имеет вид

$$e_1(t) = \begin{cases} a + kt; & 0 \leq t \leq t_n; \\ 0; & t > t_n. \end{cases} \quad (6)$$

При этом ток первичной цепи в интервале времени  $0 \dots t_n$  определяется следующим выражением:

$$i_1(t) = \frac{k}{R} t + \frac{1}{R} (a - k\tau) \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (7)$$

где  $\tau = \frac{L_1 + L_0}{R}$ ;  $R = R_1 + R_0 + R_i$ .

Э. д. с. во вторичных обмотках  $M_x$  и  $M_0$  равны:

$$e_x = -M_x \left[ \frac{k}{R} + \frac{1}{L} (a - k\tau) e^{-\frac{t}{\tau}} \right]; \quad (8)$$

$$e_0 = -M_0 \left[ \frac{k}{R} + \frac{1}{L} (a - k\tau) e^{-\frac{t}{\tau}} \right]. \quad (9)$$

Если в (7)—(9) принять

$$a = k\tau,$$

то переходные процессы в цепи удается исключить. Ток в интервале времени  $0 \dots t_u$  представляет собой пилообразный импульс

$$i_1(t) = \frac{k}{R} t = k_i t, \quad (11)$$

а  $e_x$  и  $e_0$  — прямоугольные импульсы э. д. с.:

$$e_x = -M_x \frac{k}{R} = -M_x k_i; \quad (12)$$

$$e_0 = -M_0 \frac{k}{R} = -M_0 k_i. \quad (13)$$

Форма импульсов  $i_1$ ,  $e_x$  и  $e_0$  при различных соотношениях параметров  $a$ ,  $k$  и  $\tau$  представлена на рис. 3.

При  $a < k\tau$  и  $a > k\tau$  в цепи возникают переходные процессы, затухающие к моменту времени  $t_n$ , начиная с которого может производиться цифровое преобразование. При  $a = k\tau$  переходные процессы в цепи отсутствуют.

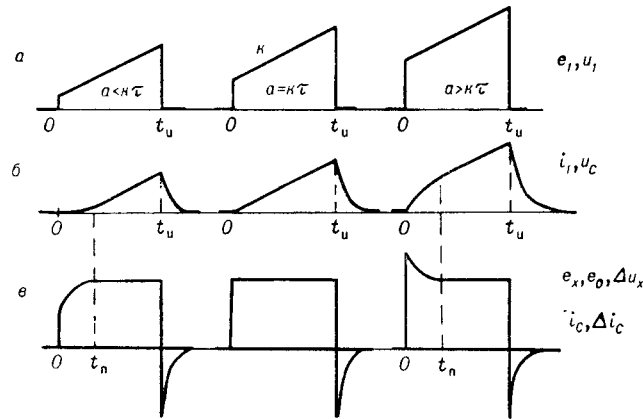


Рис. 3.

Из (8)—(9) и (12)—(13) следует, что отношение  $e_x$  и  $e_0$  не зависит от параметров питающих импульсов э. д. с.  $a$  и  $k$ :

$$\frac{e_x}{e_0} = \frac{M_x}{M_0}. \quad (14)$$

Сигнал  $e_x$  поступает на вход АЦП. Питание дискретного делителя напряжения АЦП осуществляется импульсами  $e_0$ , снимаемыми со вторичной обмотки опорной катушки взаимной индуктивности  $M_0$ . В этом случае в соответствии с (3) и (4) выходной код  $n$  АЦП. Схему преобразования в цифровой код приведена на рис. 4. В зависимости от вида датчик (с одной, двумя или четырьмя катушками) включается в одно или несколько (два, четыре) плеч неравновесного моста  $ab\delta\gamma$ . Питание измерительной цепи осуществляется импульсами э. д. с. вида (6).

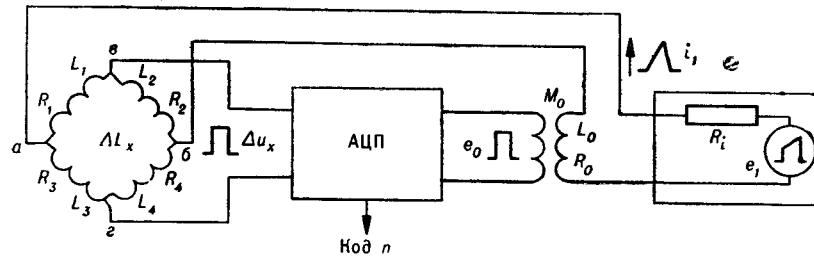


Рис. 4.

Переходные процессы в схеме могут быть полностью устранены и на выходе моста могут быть получены прямоугольные импульсы напряжения, если выполнена следующая система условий:

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 0; \\ l_1^2 &= 4l_0l_2; \\ a &= k \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \frac{l_2}{l_0}, \end{aligned} \quad (16)$$

где

$$\lambda_0 = R_1R_4 - R_2R_3;$$

$$\lambda_1 = L_1R_4 + L_4R_1 - L_2R_3 - L_3R_2;$$

$$\lambda_2 = L_1L_4 - L_2L_3;$$

$$l_0 = (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + (R_0 + R_i) \sum_{s=1}^{s=4} R_s;$$

$$l_1 = (L_1 + L_2)(R_3 + R_4) + (L_3 + L_4)(R_1 + R_2) + (R_0 + R_i) \sum_{s=1}^{s=4} L_s + L_0 \sum_{s=1}^{s=4} R_s;$$

$$l_2 = (L_1 + L_2)(L_3 + L_4) + L_0 \sum_{s=1}^{s=4} L_s.$$

При этом во вторичной обмотке катушки  $M_0$  переходные процессы тоже не возникают и э. д. с.  $e_0$  в интервале  $0 \dots t_n$  представляет собой постоянную величину

$$e_0 = -M_0 k i = \text{const.} \quad (17)$$

Когда третье условие из (16) не выполнено, в цепи возникают переходные процессы (см. рис. 2), затухающие, однако, к моменту времени  $t_n$ , с которого начинается цифровое преобразование.

Если датчик типа  $L$  имеет две катушки, изменяющие индуктивности на величины  $+\Delta L$  и  $-\Delta L$ , и эти катушки включаются в плечи 1—2 или 3—4 моста *абвг*, то выходное напряжение моста при соблюдении условий (16) равно

$$\Delta u_x = 0,5 \Delta L k i. \quad (18)$$

Код на выходе АЦП пропорционален  $\Delta L$  и не зависит от параметров питающих импульсов э. д. с.:

$$n = q \frac{\Delta u_x}{e_0} N_0 = 0,5 \Delta L q \frac{N_0}{M_0}. \quad (19)$$

Если датчик типа  $L$  содержит 4 катушки, индуктивности которых изменяются на одинаковую величину  $\Delta L_1 = \Delta L_3 = -\Delta L_2 = -\Delta L_4$ , то выходное напряжение моста и код на выходе АЦП соответственно равны:

$$\Delta u_x = \Delta L k i; \quad (20)$$

$$n = \Delta L q \frac{N_0}{M_0}. \quad (21)$$

Аналогичным образом производится цифровое преобразование емкости  $C$  или изменения емкости  $\Delta C$  датчика типа  $C$ . При питании последовательно включенных конденсатора  $C$  и сопротивления  $R$  импульсами э. д. с. вида (6) напряжение на конденсаторе и ток в цепи в интервале времени  $0 \dots t_n$  определяются выражениями:

$$u_C = kt + (a - k\tau) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right); \quad (22)$$

$$i_C = kC + \frac{1}{R} (a - k\tau) e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (23)$$

При выполнении условия  $a = k\tau$ , где  $\tau = RC$ , переходные процессы в цепи полностью исключаются;  $u_C$  — пилообразный импульс напряжения, а  $i_C$  — прямоугольный импульс тока, амплитуда которого пропорциональна  $C$  (см. рис. 3):

$$u_C = kt; \quad (24)$$

$$i_C = kC. \quad (25)$$

В блок-схеме преобразователя (рис. 5) датчик типа  $C$  включается в одно или несколько плеч моста  $abvg$ , выходной величиной которого является ток в измерительной диагонали  $\Delta i_x$ . Питание АЦП производится от опорной катушки  $M_0$  (или от  $C_0$ ). Питание всего устройства осуществляется импульсами э. д. с. вида (6). При выполнении в данной цепи условий, аналогичных (16), переходные процессы устраняются и код на выходе АЦП прямо пропорционален  $\Delta C$ .

Блок-схема цифрового преобразователя  $R$  (или  $\Delta R$ ) при питании датчика, включенного в цепь моста  $abvg$ , прямоугольными импульсами

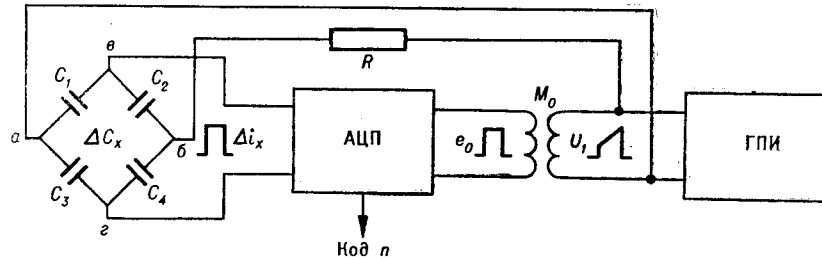


Рис. 5.

тока, изображена на рис. 6. Принцип работы преобразователя ясен из предыдущего. Код на выходе АЦП пропорционален изменению сопротивления датчика  $\Delta R$  [2].

Переход от непрерывного или квазинепрерывного питания измерительных цепей с параметрическими датчиками к импульсному питанию во многих случаях позволяет значительно увеличить чувствительность цепей по току  $S^i$ , напряжению  $S^u$  и мощности  $S^p$  путем повышения напряжения питания измерительных цепей без нарушения нормального режима работы датчиков и других элементов схем. В частности, для

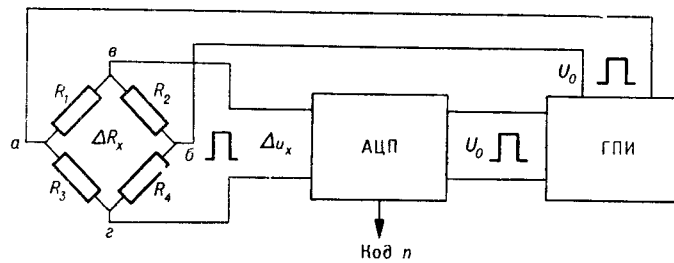


Рис. 6.

схем с датчиками  $R$ ,  $M$  или  $L$  увеличение чувствительности при неизменной в обоих случаях температуре датчика определяется следующим образом:

$$\frac{S_{\text{имп}}^i}{S_{\text{непр}}^i (\text{квн})} = \frac{S_{\text{имп}}^u}{S_{\text{непр}}^u (\text{квн})} = \sqrt{\eta}; \quad \frac{S_{\text{имп}}^p}{S_{\text{непр}}^p (\text{квн})} = \eta, \quad (26)$$

где  $\eta$  — коэффициент тепловой нагрузки датчика.



Для датчиков типа  $R$  при питании цепей прямоугольными импульсами тока выражение для  $\eta$  имеет вид [11]

$$\eta_R = \frac{1 - e^{-\beta_1}}{1 - e^{-\beta_1 \gamma_n}}, \quad (27)$$

где  $\beta_1 = \frac{T}{T_1}$ ;  $\gamma_n = \frac{t_n}{T}$ ;

$T$  — период следования импульсов;

$T_1$  — тепловая постоянная времени датчика;

$t_n$  — длительность питающих импульсов.

При  $\beta_1 \rightarrow 0$  и  $t_n \ll T$  из (27) следует частный случай [6] и [10], а именно:

$$\lim \eta_R = \frac{1}{\gamma_n}.$$

Для датчиков  $M$  и  $L$  при питании цепей пилообразными импульсами тока коэффициент  $\eta$  при некоторых допущениях равен

$$\eta_{M, L} = \frac{1 - e^{-\beta_1}}{1 - \frac{2}{\beta_1 \gamma_n} + \frac{2}{(\beta_1 \gamma_n)^2} (1 - e^{-\beta_1 \gamma_n})}. \quad (28)$$

При переходе от квазинепрерывного питания датчиков  $M$  и  $L$  к их импульсному питанию значение  $\eta$  выражается формулой

$$\eta_{M, L} = \frac{1}{8\pi^2} \frac{\gamma_{\sin}^2}{\gamma_n^2} \frac{1 - e^{-\beta_1 \gamma_{\text{квн}}}}{1 - \frac{2}{\beta_1 \gamma_n} + \frac{2}{(\beta_1 \gamma_n)^2} (1 - e^{-\beta_1 \gamma_n})}, \quad (29)$$

где  $\gamma_{\sin} = \frac{T_{\sin}}{T}$  — относительное ( $T_{\sin}$  — абсолютная) величина периода синусоидального тока;

$\gamma_{\text{квн}} = \frac{t_{\text{квн}}}{T}$  — относительное ( $t_{\text{квн}}$  — абсолютное) время подключения датчика к источнику синусоидального тока (напряжения);

$T$  — период обегания датчиков.

Из (26) — (29) видно, что переход от непрерывного или квазинепрерывного питания измерительных цепей с параметрическими датчиками к импульсному питанию допускает увеличение чувствительности цепей по току, напряжению и мощности в десятки — сотни и более раз. Благодаря этому для преобразования выходных сигналов датчиков могут непосредственно (без предварительного усиления) применяться быстродействующие АЦП постоянного тока среднего уровня (номинальное значение входного сигнала 0,5—1 в).

Для экспериментальной проверки основных теоретических положений разработана специальная аппаратура, основными узлами которой являются генератор питающих импульсов (ГПИ), быстродействующий АЦП постоянного тока (номинальный входной сигнал 0,5 в, полное время преобразования 1 мсек), источник питания дискретного делителя АЦП — опорная катушка взаимной индуктивности  $M_0$  — и согласующее устройство с большим входным и малым выходным сопротивлениями\*, которое включается между  $M_0$  и АЦП.

\* В разработке аппаратуры, ее наладке, экспериментальном исследовании метода принимали участие Ю. С. Солодов, Е. В. Михайлов, В. Н. Кочетов, А. В. Лепорский, В. И. Диденко.

В экспериментах использовано два типа датчиков ( $M$  и  $L$ ) шести различных видов: серийно выпускаемые дифференциально-трансформаторные датчики (типа  $M$ ); ферродинамические датчики (типа  $M$ ); дифференциальный индуктивный двухкатушечный датчик (типа  $L$ ); дифференциальный индуктивный четырехкатушечный датчик (типа  $L$ ). Всего было испытано около 30 датчиков.

Выбор для экспериментов датчиков типа  $M$  и  $L$  обусловлен, во-первых, исключительно широким распространением их во всех областях контроля и измерений и, во-вторых, тем, что реализация метода импульсного питания с помощью именно этих датчиков вызывает наибольшие трудности.

Экспериментальная проверка метода применительно к датчикам  $R$  не проводилась, так как в настоящее время опубликованы работы, посвященные как питанию датчиков  $R$  прямоугольными импульсами тока [4—10], так и цифровому преобразованию значений  $R$  с помощью АЦП постоянного тока при импульсном питании измерительных цепей [2]. Для датчиков  $C$  исследована возможность кодирования значений в условиях импульсного питания лишь теоретически.

Экспериментальное исследование процессов в цепях с датчиками  $M$  и  $L$  при импульсном питании показало хорошее совпадение опытных данных с теоретическими. Экспериментально подтверждено, что выполнение условия (10) для датчиков  $M$  и условий (16) для датчиков  $L$ , т. е. согласование параметров импульсов питания и параметров цепи, приводит к почти полному устранению переходных процессов в исследуемых цепях. В реальных датчиках имеет место влияние таких паразитных параметров и явлений, как емкости, индуктивности, сопротивления утечки, а также вихревые токи и т. п. Поэтому получить на выходе датчиков строго прямоугольные импульсы даже при выполнении условий (10) и (16) не удается. В связи с этим цифровое преобразование необходимо начинать после завершения переходных процессов, вызванных перечисленными факторами [1]. Однако эти переходные процессы довольно быстро затухают: время их завершения в цепях с датчиками  $M$  и  $L$  составляет 1—2 мсек.

Нарушение условий (10) или (16) вызывает появление переходных процессов, течение которых хорошо согласуется с теоретическими зависимостями, представленными на рис. 3.

Экспериментально установлено, что основная погрешность преобразования выходных параметров датчиков  $M$  и  $L$  в цифровой код не превышает  $\pm 0,5\%$ .

Исследование влияния линий связи показало, что эквивалент четырехпроводной линии связи длиной  $l_{л.с} = 200$  м не вносит погрешности в результаты измерений. При  $l_{л.с} = 1$  км и  $l_{л.с} = 5$  км максимальные погрешности цифрового преобразования соответственно равны  $-1,2$  и  $-2,5\%$ .

У дифференциально-трансформаторных датчиков, имеющих разомкнутую магнитную систему, магнитное поле напряженностью  $400$  а/м с частотой  $50$  гц вызывает погрешность, зависящую от длины линий связи: при  $l_{л.с} = 200$  м максимальная погрешность цифрового преобразования составляет  $\pm 0,8\%$ , при  $l_{л.с} = 1$  км и  $l_{л.с} = 5$  км соответственно —  $\pm 1,7$  и  $\pm 1,9\%$ .

Максимальная погрешность цифрового преобразования при изменении напряжения питания на  $\pm 10\%$  равна  $\pm 0,8\%$ .

Изменение задержки начала работы АЦП ( $t_3 = 2$  мсек) на  $\pm 25\%$  дополнительной погрешности не вызывает.

В экспериментах с датчиками  $M$  и  $L$  длительность питающих импульсов составляет 3—4 мсек. Амплитуда выходных прямоугольных импульсов датчиков изменяется в пределах 0—0,5 в при изменении входной величины датчиков от 0 до номинального значения.

Для датчиков  $C$  и  $R$ , по данным расчета, а также результатам работ [7—10], время завершения паразитных переходных процессов составляет при импульсном питании сотни микросекунд. Следовательно, полное время цифрового преобразования  $C$  и  $R$  при импульсном питании не должно превышать 2 мсек. По данным [2], время цифрового преобразования  $R$  равно 2 мсек при погрешности преобразования  $\pm 0,5\%$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Питание датчиков  $M$ ,  $L$ ,  $C$  пилообразными, а датчиков  $R$  прямоугольными импульсами тока (напряжения) позволяет получать на выходе датчиков или измерительных цепей, в которые включены датчики, прямоугольные импульсы напряжения (тока). Их амплитуда может в десятки — сотни раз превосходить величину выходных сигналов при непрерывном питании схем.

Для цифрового преобразования амплитуды этих импульсов можно непосредственно (без предварительного усиления) применять быстродействующие АЦП постоянного тока среднего уровня (номинальное значение входного сигнала 0,5—1 в). При этом основная погрешность цифрового преобразования параметров  $M$ ,  $L$ ,  $C$  и  $R$  не превышает  $\pm 0,5\%$ .

Применяемый для всех типов параметрических датчиков общий АЦП постоянного тока можно использовать и для датчиков генераторной группы, выходной величиной которых является постоянный ток (э. д. с., напряжение) различных уровней — низкого (с предварительным усилением), среднего (непосредственно) и высокого (при наличии делителя). Для этого питание АЦП должно производиться стабильным напряжением постоянного тока.

Переход к импульсному питанию дает возможность значительно снизить общее время цифрового преобразования величин  $M$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$  (до 3—4 мсек и менее) за счет резкого сокращения длительности переходных процессов в цепях, содержащих реактивные элементы.

В некоторых случаях (например, для объектов с ограниченными ресурсами) импульсное питание может оказаться полезным благодаря снижению энергии, потребляемой измерительными цепями.

Импульсное питание параметрических датчиков типа  $M$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $R$  может быть применено в цифровых системах централизованного контроля и управления. При этом можно ожидать улучшения характеристик этих систем — быстродействия (до 300 и более точек в секунду без применения индивидуальных усилителей-преобразователей) и точности (основная погрешность порядка  $\pm 0,5\%$ ), а также существенного уменьшения сложности систем и их стоимости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Левин, Ю. И. Семко, Ю. С. Солодов, Е. В. Михайлов. Кодирование выходных сигналов датчиков типа  $M$ -var при импульсном питании.— Измерительная техника, 1965, № 2.
2. O. W. Hammarström. Multichannel Digital Data Acquisition System.— Instruments and Measurements, v. 2. New York and London, Academy Press Publishers, 1961.

3. Д. И. Агейкин. Частотные и время-импульсные датчики для систем обогачающего контроля.— Приборы и средства автоматизации, 1962, № 11.
4. В. А. Ильин. Системы телемеханики для рассредоточенных объектов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
5. В. А. Ильин. Импульсные устройства с мостовыми элементами. М.—Л., изд-во «Энергия», 1965.
6. Е. Е. Юдин. Анализ импульсной мостовой схемы.— Автоматика и телемеханика, 1962, т. XXIII, № 3.
7. О. Хорна. Тензометрические мосты. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
8. Л. В. Каменев. Мостовые и импульсные схемы для измерения электропроводности и диэлектрической проницаемости.— В сб. «Автоматизация химических производств», вып. 1, 1962.
9. Г. М. Захаров, Т. И. Никитинская, А. Г. Халачев. Импульсный метод измерения больших сопротивлений.— Приборы и техника эксперимента, 1960, № 4.
10. Применение импульсного питания в схемах с тензодатчиками сопротивления. Экспресс-информация, серия «Испытательные приборы и стенды», 1963, № 38 (303).
11. Я. З. Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. М., Физматгиз, 1963.

*Поступила в редакцию  
16 сентября 1965 г.  
окончательный вариант —  
13 ноября 1965 г.*

---