

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ)

УДК 621.398.694.3 : 531.787.913

Р. Г. ДЖАГУПОВ, Т. А. МЕЛИК-ШАХНАЗАРОВА

(Баку)

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗДЕЛЕННЫМИ ЦЕПЯМИ

Пьезоэлектрические измерительные преобразователи [1], отличающиеся простотой конструкции и высокоомным входным сопротивлением (10^{11} — 10^{15} ом), используются для создания различных недорогостоящих простых в эксплуатации и надежных [2] приборов, предназначенных для измерения напряжения маломощных источников (10^{-6} вт), например РН-метров, приборов для измерения сопротивления изоляции, напряженности электрического поля и т. д. Однако прямой принцип преобразования, рассмотренный в [3], не обеспечивает высокой точности и чувствительности. Поэтому представляется перспективным построение пьезоэлектрических измерительных преобразователей, в основу работы которых положен компенсационный принцип (рис. 1).

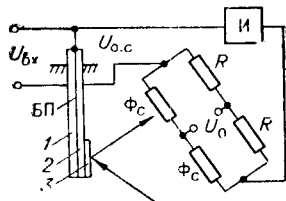


Рис. 1.

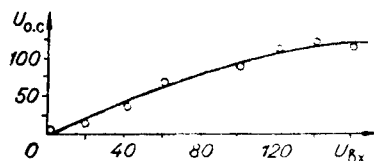


Рис. 2.

Хорошие практические результаты получаются при уравнивании биморфной пластинки (БП) двумя напряжениями (измеряемым $U_{вх}$ и обратной связи $U_{о.с}$), на электрически не связанных пьезоэлементах 1 и 2. Цепь обратной связи образуется за счет преобразования изгиба биморфной пластинки, происходящего при подключении прибора к измеряемому источнику, в напряжение обратной связи, снимаемое с фотоэлектрического моста ($\Phi_c R$), сопротивление которого изменяется за счет смещения светового луча, отраженного от зеркала 3. Измеряемая величина регистрируется индикатором (И).

С достаточной для практики точностью пьезоэлектрический измерительный преобразователь в статике описывается следующими уравнениями:

для моста с включенным фоторезистором

$$\beta = \frac{K_1}{E}; \quad E = \frac{K_2}{N}; \quad N = \frac{L}{l_1} \Delta; \quad U_{о.с} = \frac{U_0}{4} \beta; \quad (1)$$

для пьезоэлектрической биморфной пластинки [3, 4]

$$\Delta = 23,5 \cdot 10^{-13} \frac{\varepsilon^2 l_1^2 E_{\Pi} U_{\text{вх}}}{E_y l_2^2} \quad (2)$$

В (1) и (2) приняты обозначения: K_1, K_2 — коэффициенты пропорциональности, зависящие от типа фоторезистора [5]; E, E_{Π}, E_y — освещенность, напряженность поля поляризации и модуль упругости пьезокерамики; N, L — величина перемещения светового луча по фоточувствительной поверхности и кратчайшее расстояние между зеркалом и фоторезистором; l_1, l_2 — геометрические размеры пластинки; U_0 — напряжение питания моста; ε — относительная диэлектрическая постоянная.

Соотношения (1) соответствуют тому, что при отсутствии изгиба биморфной пластинки, т. е. тогда, когда измеряемое напряжение равно нулю, освещенность E фоторезистора максимальна, а относительное изменение сопротивления β минимально.

Совместное решение уравнений (1) и (2) дает зависимость между регистрируемым и измеряемым напряжениями, т. е.

$$U_{\text{о.с}} = K_0 U_{\text{вх}}; \quad (3)$$

$$K_0 = 5,8 \cdot 10^{-13} \frac{\varepsilon^2 l_1 L K_1 E_{\Pi} U_0}{K_2 E_y l_3^2} \quad (4)$$

Если, например, в приборе используем пьезоэлектрическую биморфную пластинку из ЦТС-19 ($L_1 = 6 \cdot 10^{-2}$ м; $L_2 = 1 \cdot 10^{-2}$ м; $L_3 = 5 \cdot 10^{-4}$ м) и фоторезистор ФС-К4 и имеем $\varepsilon = 1500$, $E_{\Pi} = 2 \cdot 10^6$ в/м, $E_y = 4 \cdot 10^{10}$ н/м², $K_1 = 4$, $K_2 = 0,8$ (мост уравновешен при освещенности $E = 200$ лк), то при питании моста $U_0 = 150$ в напряжению $U_{\text{вх}} = 1$ в соответствует $U_{\text{о.с}} = 0,9$ в.

На рис. 2 приведены результаты экспериментального исследования зависимости (3). Имеющиеся данные позволяют сделать вывод, что введение цепи обратной связи достаточно хорошо компенсирует нелинейность характеристики фоторезистора в области больших и малых освещенностей.

Рассматриваемый преобразователь имеет два инерционных звена (биморфную пластинку и фоторезистор), динамика которых рассмотрена в [4, 5]. Воспользовавшись этими данными и опуская вывод, передаточную функцию преобразователя и постоянные, входящие в ее состав, можно представить в виде

$$W(p) = K_0 \frac{(Tp + 1)}{[(\tau + T)p + 1]}, \quad (5)$$

где T, τ — постоянная времени биморфной пластинки и фоторезистора,

$$T = 2 \cdot 10^{-11} \frac{\varepsilon l_1 l_2 R_M}{l_3} \quad (6)$$

Здесь R_M — сопротивление диагонали моста, с которой напряжение подается на пьезоэлемент. Так, при $\tau = 0,02$ сек; $R_M = 10^6$ ом $T = 1,8 \cdot 10^{-2}$ сек.

На рис. 3 приведены экспериментальные амплитудно-фазовые характеристики преобразователя. Они позволяют установить среднее значение постоянной времени прибора, которое равно $T_0 = 0,031$ сек.

Для разомкнутой схемы точность преобразователя обуславливают две основные погрешности.

1. Погрешность пьезоэлектрической биморфной пластинки, которая включает три составляющие:

А. Погрешность за счет разброса констант, характеризующих физические свойства пьезоэлектрика и геометрических размеров биморфной пластинки:

$$\delta_1 = \left(\sqrt{4 \left(\frac{\delta \epsilon}{\epsilon} \right)^2 + \left(\frac{\delta E_n}{E_n} \right)^2 + \left(\frac{\delta E_y}{E_y} \right)^2 + 4 \left(\frac{\delta l_1}{l_1} \right)^2 + 4 \left(\frac{\delta l_3}{l_3} \right)^2} \right) \cdot 100\% \quad (7)$$

Статистический анализ параметров, входящих в эту формулу, показывает, что наибольший разброс относительно номинального значения имеют ϵ и ϵ_y . Это объясняется спецификой технологии синтеза шьезоке-

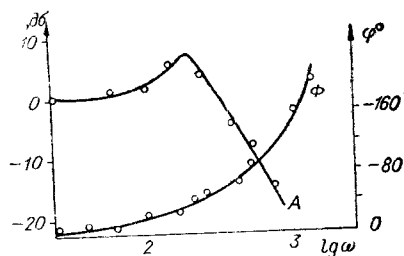


Рис. 3.

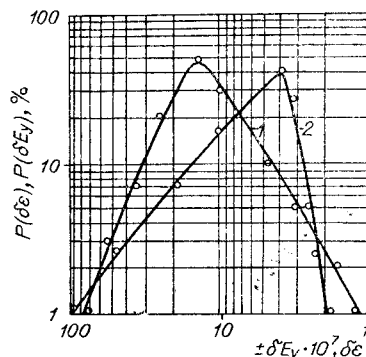


Рис. 4.

рамики, повышение требований к которой с целью уменьшения δ_1 сопряжено с целым рядом трудностей. На рис. 4 приведены экспериментальные данные для вероятностей появления абсолютных погрешностей этих величин (кривая 1 — для E_y , кривая 2 — для ϵ). Так как рассматриваемая погрешность не носит флюктуационного характера, то она может быть скомпенсирована во время настройки прибора.

Б. Погрешность, характеризующая отсутствие устойчивого нулевого положения биморфной пластинки в результате имеющейся остаточной деформации σ , возникающей при изгибе:

$$\delta_2 = \frac{\delta}{\Delta} \cdot 100\% \quad (8)$$

Результаты экспериментального исследования остаточной деформации биморфной пластинки из ЦТС-19 с $\Delta = 10^{-3}$ (рис. 5) дают возможность сделать вывод, что ее величина определяется геометрическими размерами пьезоэлементов. В частности, увеличение длины приводит к резкому возрастанию этой погрешности. Приведенные в [3] данные позволяют определить ее величину.

В. Погрешность, возникающая при изменении температуры и проявляющаяся в том, что одному и тому же напряжению, поданному на биморфную пластинку, соответствуют различные изгибы [3]:

$$\delta_3 = \frac{\Delta_{20} - \Delta_t}{\Delta_{20}} \cdot 100\% \quad (9)$$

где Δ_{20} , Δ_t — изгиб пластинки при нормальной и реальной температуре. Соответствующие экспериментальные данные

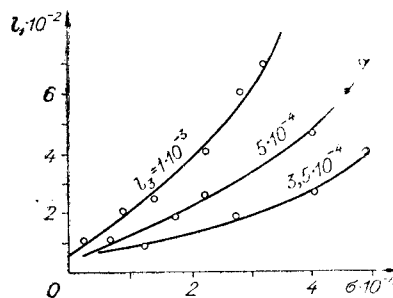


Рис. 5.

приведены на рис. 6. Таким образом, суммарная погрешность пьезоэлектрической биморфной пластинки описывается выражением

$$\delta_{п.п} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}. \quad (10)$$

2. Погрешность фоторезистора δ_{ϕ} состоит из погрешности, возникающей из-за разброса параметров, нелинейности и изменения температуры. Первая составляющая этой погрешности может быть скомпенсирована при настройке прибора.

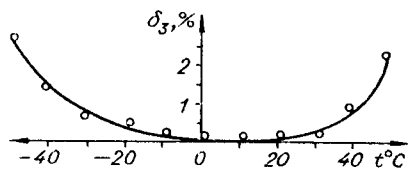


Рис. 6.

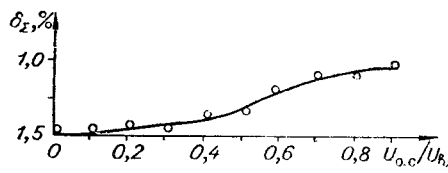


Рис. 7.

Общая погрешность равна

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{п.п}^2 + \delta_{\phi}^2}. \quad (11)$$

Введение отрицательной обратной связи существенно уменьшает погрешность преобразователя (рис. 7).

Один из основных параметров преобразователя — порог чувствительности — определяется тем минимальным напряжением, которое может быть преобразовано биморфной пластинкой, а соответствующий этому напряжению изгиб регистрируется фоторезистором. Порог чувствительности биморфной пластинки

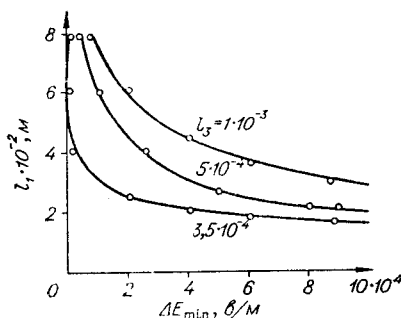


Рис. 8.

$$\Delta E_{вх \min} = \frac{U_{вх \min}}{l_3} \quad (12)$$

зависит от ее геометрических размеров, о чем свидетельствуют экспериментальные данные (рис. 8). Для фоторезисторов он характеризуется той минимальной освещенностью, при которой изменение сопротивления находится в пределах линейности [5]. Как показывает практика, в данном преобразователе порог чувствительности опреде-

ляется биморфной пластинкой. В частности, для рассматриваемого случая он равен $\Delta E_{вх \min} = 0,1 \div 0,2$ в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Г. Джагулов, В. И. Мамедов. Высоковольтный электростатический вольтметр. Авторское свидетельство № 155549.— БИ, 1963, № 3.
2. Р. Г. Джагулов. К вопросу о надежности пьезоэлектрического преобразователя.— Изв. ЛЭТИ им. В. И. Ульянова, вып. 56, ч. 2. Л., 1966.
3. Р. Г. Джагулов, Ю. В. Королев, Ю. С. Рагозин. Пьезоэлектрический вольтметр.— Приборостроение, 1966, № 1.
4. Ф. В. Седыкин, Р. Г. Джагулов, В. А. Захаров. Пьезоэлектрический преобразователь для электропневматического усилителя.— Приборы и системы управления, 1967, № 5.
5. В. И. Литвак. Фотоэлектрические датчики в системах контроля, управления и регулирования. М., [Б. И.], 1966.

Поступила в редакцию
19 мая 1970 г.