

Л. Б. Майстровский, В. Б. Гуменников

## МИНИАТЮРИЗАЦИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ИХ ПОГРЕШНОСТИ

Прецизионные преобразователи линейных перемещений (ИДП), применяемые в автоматических приборах, подробно описаны в литературе [1]. В данной статье рассмотрены погрешности этих преобразователей и вопросы их миниатюризации.

Основной погрешностью ИДП является погрешность нелинейности выходной статической характеристики преобразователей, которая вызывает погрешность автокомпенсационного прибора.

Приведенная погрешность от изменения линейности характеристики определяется формулой

$$\gamma_{л} = \frac{E_{и} - E_{ист}}{E_{max} - E_{min}}, \quad (1)$$

где  $E_{ист}$  — значение  $E_{и}$ , соответствующее данному значению при идеальной линейности характеристики.

Для дифференциальных преобразователей  $E_{max} = -E_{min}$ .

$$\gamma_{л} = \frac{E_{и} - E_{ист}}{2E_{max}}. \quad (2)$$

Основная погрешность ИДП является величиной случайной и зависит, как правило, от точности изготовления и сборки деталей преобразователя, для уменьшения ее нужно строго выдерживать параллельность створки зазора, увеличивать зазор, с высокой точностью выполнять вторичную обмотку.

Дополнительные погрешности ИДП вызваны изменением температуры окружающей среды, напряжения и частоты сети, наличием внешних магнитных полей.

Изменение чувствительности ИДП, вызванное этими фактора-

ми, можно скомпенсировать при определенных схемах включения преобразователей в измерительную цепь, поэтому интерес представляет рассмотрение влияния указанных выше факторов на линейность выходной статической характеристики ИДП.

Колебания температуры окружающей среды вызывают погрешность в результате изменения: а) геометрических размеров ИДП; б) активного сопротивления обмоток; в) магнитного сопротивления стали.

Погрешность от изменения геометрических размеров определяется изменением магнитной проводимости потока  $\Phi_p$ , пронизывающему вторичную обмотку на площади  $S_x$ , и выражается формулой

$$\gamma_{r.t} = \alpha_n \cdot \Theta, \quad (3)$$

где  $\alpha_n$  — температурный коэффициент расширения изоляционной платы;  $\Theta$  — изменение температуры окружающей среды.

Поскольку  $\alpha_n$  — весьма малая величина ( $\alpha_n \leq 10^{-7}$  1/град. для стекловолкнита), температурная погрешность от изменения геометрических размеров будет практически ничтожной.

Температурная погрешность от изменения активного сопротивления обмотки возбуждения определится из выражения

$$\gamma_{tk} = \frac{\alpha_k \cdot \Theta}{1 + \alpha_k \cdot \Theta}, \quad (4)$$

где

$$\alpha_k = \frac{\alpha \cdot R_b}{\sqrt{R_b^2 + \omega^2 \omega_b^4 \cdot G_0^2}}. \quad (5)$$

Здесь  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления меди.

При этом изменение фазы  $E_q$

$$\Delta \varphi_{tk} = \frac{R_b \cdot \alpha \cdot \Theta}{\omega \cdot \omega_b^2 \cdot G_0}. \quad (6)$$

Из выражения (4, 5, 6) видно, что основной путь для уменьшения погрешности  $\gamma_{tk}$  и  $\varphi_{tk}$  — уменьшение отношения  $\frac{R_b}{\omega W_n G_0}$ . При этом уменьшение активного сопротивления ограничивается величиной тока, допускаемой сечением токопроводов.

Погрешность от изменения магнитного сопротивления стали конденсатора под действием колебания температуры пренебрежимо мала, т. к. температурный коэффициент изменения магнитного сопротивления

$$\alpha_\mu \approx 10^{-3}.$$

Колебания напряжения возбуждения не приводят к изменению линейности, а влияют лишь на изменение чувствительности ИДП, которое легко может быть устранено при использовании стабилизированного питания.

Обычно ИДП работает в режиме  $U_b = \text{const}$ .

В этом случае частотная погрешность выражается формулой

$$\gamma_{\omega} = \frac{\partial E_{\text{н}}}{\partial \omega} \cdot \Delta \omega \cdot \frac{1}{E_{\text{н}}} = \frac{1}{1 + \frac{\omega^2 \cdot w_b^4 \cdot G_0^2}{R_b^2}} \cdot \frac{\Delta \omega}{\omega} \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что частотная погрешность уменьшается при увеличении частоты питающего напряжения. Повышение частоты напряжения возбуждения целесообразно также с точки зрения увеличения чувствительности.

Дополнительную погрешность ИДП вызывают также внешние магнитные поля. Они наводят во вторичной обмотке э. д. с. пропорциональную разности площадей встречно включенных секций вторичной обмотки вне области конденсатора, т. к. площадь вторичной обмотки, пронизываемая потоком  $\Phi_p$ , экранирована конденсатором от внешних магнитных полей. Наведенная внешним полем э. д. с. выразится как

$$E = -j\omega W_{\text{н}} \cdot B_n \cdot S_x, \quad (8)$$

где  $\omega$  — частота изменения индукции;

$B_n$  — составляющая индукции внешнего поля, нормальная к плоскости вторичной обмотки;

$S_x$  — площадь вторичной обмотки, пронизываемая внешним магнитным полем.

Для определения погрешности от внешних магнитных полей ИДП испытывался в переменном магнитном поле частотой 50 гц и напряженностью  $H=400$  а/м. Необходимая величина напряженности магнитного поля контролировалась с помощью измерения э. д. с., наводимой в измерительной рамке (зонде), помещенной в магнитное поле катушки и определяемой по формуле

$$E_{\text{max}} = -j\omega \cdot \Phi_p \cdot W^a \quad (9)$$

$$\text{или } E_{\text{max}} = -j\omega \mu_0 \cdot H \cdot S \cdot w_1, \quad (10)$$

где  $S$  — площадь зонда, пронизываемая потоком от внешнего магнитного поля.

В результате экспериментального исследования влияния магнитного поля напряженностью  $H=400$  а/м на неэкранированный ИДП были получены следующие данные:

максимальная приведенная погрешность показаний ИДП

$$\gamma_{\text{н}} = 0,6 \%;$$

максимальная погрешность по фазе  $\Delta\varphi$ , определяемая, как

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{н}=0} - \varphi_{\text{н}=400 \text{ а/м}}, \quad (11)$$

$$\Delta\varphi \leq 1^\circ.$$

не превышает  $1^\circ$ .

С целью уменьшения погрешности по модулю и фазе ИДП был помещен в экран из пермаллоя 79НМ толщиной  $h=0,35$  мм. При этом были получены данные:

$$\gamma_{н.э} = 0,18\%,$$

$$\Delta\varphi \leq 10'$$

Следует отметить, что дальнейшего уменьшения влияния внешнего магнитного поля можно достичь увеличением толщины экрана, но к этому вопросу нужно подходить осторожно, так как уве-

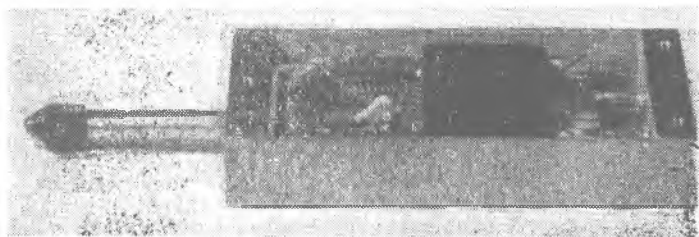


Рис. 1.

личение толщины экрана приводит к ухудшению линейности характеристики ИДП необходимости увеличивать зазор между экраном и датчиком.

К существенным недостаткам известных преобразователей [1] следует отнести наличие гибких токоподводов, снижающих надежность работы ИДП. С целью устранения этих недостатков гибкие токоподводы заменены упругими пружинами, обеспечивающими одновременно перемещение вторичной обмотки и снятие с нее выходной э. д. с. Конструкция подобного миниатюрного прецизионного преобразователя (МПП) приведена на рис. 1.

По сравнению с выпускаемыми в настоящее время преобразователями данная конструкция имеет следующие преимущества.

1. Повышена надежность преобразователя за счет устранения гибких токоподводов.

2. Уменьшены габариты и вес преобразователя при сохранении первоначальной длины перемещения, что имеет большое значение при серийном производстве.

3. Разработанная конструкция технологична и проста в изготовлении.

4. Исключена возможность перекосов платы со вторичной обмоткой.

Электрические характеристики разработанного преобразователя МПП аналогичны соответствующим характеристикам существующих и поэтому в связи с указанными выше преимуществами

МПП могут быть успешно использованы в автокомпенсационных системах, что будет способствовать дальнейшей миниатюризации автоматических информационно-измерительных приборов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский, Л. А. Бровкин, Б. Я. Лихтциндер. Автоматические приборы с бесконтактными компенсирующими преобразователями. «Энергия», 1967.

2. Л. Ф. Куликовский. Автоматические информационно-измерительные приборы. «Энергия», 1966.

