

Рис. 2.

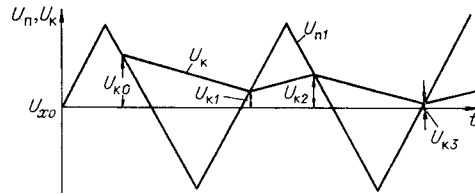


Рис. 3.

Величины  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  представляют собой члены геометрической прогрессии, сумма которых

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = \frac{\Delta_1}{C} \left[ 1 - \left( \frac{0,89 S_{\text{пmax}} - S_k}{0,89 S_{\text{пmax}} + S_k} \right)^{2n} \right]. \quad (2)$$

Используя (2), можно найти время переходного процесса, необходимое для изменения амплитудного значения компенсирующего напряжения от  $U_{k0}$  до  $U_{kn}$ :

$$t = T_n \frac{\log \left[ 1 - \frac{S_{\text{пmax}} (U_{k0} - U_{kn})}{U_{k0} S_{\text{пmax}} - 1,57 U_n S_k} \right]}{2 \log \frac{0,89 S_{\text{пmax}} - S_k}{0,89 S_{\text{пmax}} + S_k}}. \quad (3)$$

Например, при  $T_n = 0,2$  с,  $U_n = 1$  мВ,  $S_k = 6$  мВ/с,  $U_{k0} = 0,92$  мВ через 0,4 с  $U_{kn}$  становится равным 0,46 мВ.

Таким образом, используя комбинированные схемы автокомпенсаторов, сочетающие методы следящего преобразования и поразрядного кодирования, можно достаточно простым способом добиться подавления периодической помехи, наложенной на постоянный сигнал.

Поступило в редакцию  
12 мая 1970 г.,  
окончательный вариант —  
2 февраля 1971 г.

УДК 681.142.07 : 53.087.92(088.8)

Э. М. БРОМБЕРГ, В. С. ГОЛЬДМАН  
(Куйбышев)

### АВТОКОРРЕКТИРУЮЩИЙСЯ ИНДУКТИВНО-ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Частотно-цифровые преобразователи линейных перемещений с индуктивными первичными элементами находят широкое применение в устройствах информационной измерительной техники [1].

Основными недостатками известных индуктивно-частотных преобразователей являются: значительный уход частоты под влиянием дестабилизирующих факторов, в особенности температуры; неидентичность параметров отдельных элементов преобразователей, нелинейная зависимость частоты от перемещения, ограничивающая диапазон измерения.

Ниже изложен метод повышения точности индуктивно-частотного преобразователя за счет использования нового способа автокоррекции и описано устройство для измерения линейных перемещений, реализующее указанный способ [2, 3].

Характеристика любого индуктивно-частотного преобразователя на определенных участках с достаточной степенью точности может быть аппроксимирована некоторым числом отрезков гипербол, описываемых уравнениями:

$$f = \frac{k_i}{\delta}; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $n$  — число отрезков аппроксимации;  $k = \frac{df_i}{d\delta_i}$  — коэффициент чувствительности  $i$ -го участка аппроксимации;  $\delta$  — входное перемещение.

Нестабильность характеристики  $f(\delta)$  определяется нестабильностью коэффициента  $k_i$ , изменяющегося при вариациях внешних условий (температуры, влажности, напряжения и частоты питания), а также с течением времени. Последнее особенно сказывается при длительных измерениях.

Таким образом,

$$k_i = k_i(\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots, \nu_k, t),$$

где  $\nu_1, \dots, \nu_k$  — дестабилизирующие факторы;  $t$  — время.

Автокоррекция осуществляется за счет отработки устройством определенного алгоритма функционирования, что позволяет исключить влияние нестабильности коэффициента  $k$  на точность частотного преобразователя.

Структурная схема преобразователя представлена на рис. 1, а. Преобразователь состоит из индуктивного датчика 1, являющегося элементом задающего контура генератора с самовозбуждением 3, электронного коммутатора 2, преобразователя частоты в число импульсов 4, блока управления 5, арифметического устройства 6 и устройства регистрации 7.

Для осуществления автокоррекции используется специальная конструкция индуктивного датчика с открытой магнитной цепью. Обмотка датчика содержит три последовательно соединенные секции: среднюю — основную и две крайние — дополнительные. Крайние сетки идентичны друг другу.

Индуктивность датчика изменяется под воздействием измеряемой величины, смещающей сердечник относительно катушки. При этом осуществляется преобразование  $L = \Phi_1(\delta)$ . На выходе измерительного генератора 3 получаем  $f = \Phi_2(L)$ . К колебательному контуру автогенератора через управляемый коммутатор 2 подключены две из трех последовательно соединенных секций обмотки: средняя и одна из крайних (I и II или II и III) (см. рис. 1, б). Таким образом, одна из крайних секций всегда остается свободной, не влияя на индуктивность датчика и на значение выходной частоты измерительного генератора.

Сущность автокоррекции заключается в следующем. В процессе измерения электронный коммутатор 2 по команде, поступающей из блока управления 5, производит переключение секций датчика. К колебательному контуру оказываются подключенными средняя II и ранее свободная крайняя секция обмотки I. Секция III отключается.

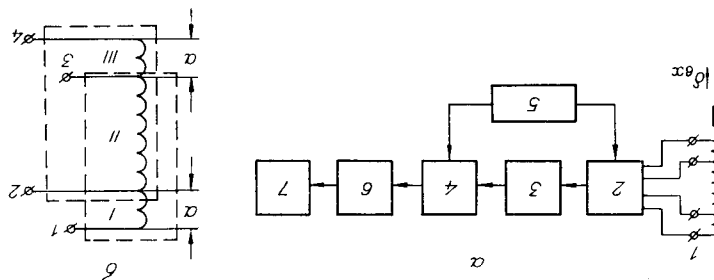


Рис. 1.

Указанное переключение эквивалентно перемещению сердечника внутри катушки на постоянную величину  $a$ , равную длине крайней секции датчика. На выходе измерительного генератора при этом происходит изменение частоты, соответствующее указанному перемещению сердечника

$$\Delta f_a = f_{\delta_i} - f_{\delta_i + a}$$

Время измерения  $t_n$  выбирается намного меньше периода  $T_{вх}$  изменения входной величины:  $t_n \ll T_{вх}$ . Поэтому с достаточной степенью точности режим измерения можно считать статическим, т. е.  $x_{изм} = \text{const}$  за  $\Delta t = t_n$ . Таким образом, за время измерения для

одного и того же значения входного перемещения за счет переключения секций датчика в колебательном контуре измерительного генератора имеем

$$f_1 = \frac{k_i}{\delta}; \quad f_2 = \frac{k_i}{\delta + a}. \quad (2)$$

Характеристика  $f(\delta)$  индуктивно-частотного преобразователя с соленоидальным датчиком представлена на рис. 2. Из ее рассмотрения следует, что уравнения (2) справедливы для всех точек характеристики, за исключением начального участка  $\Delta_{\text{нач}} \approx 0, \frac{2l_k}{d_k}$ , не являющегося рабочим за счет низкой чувствительности.

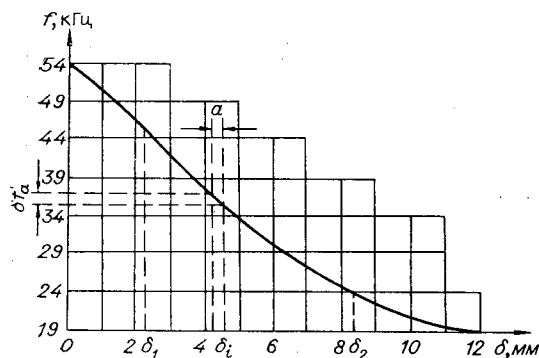


Рис. 2.

В преобразователе частоты в число импульсов  $f_1$  и  $f_2$  преобразуются в соответствующие числа импульсов  $N_1$  и  $N_2$ .

Некоторому  $\delta_i$ -му положению сердечника соответствуют определенные значения индуктивности ( $L_i$ ), частоты ( $f_i$ ) и числа импульсов ( $N_i$ ). Из системы

$$\begin{cases} N_1 = \frac{k_i}{\delta}; \\ N_2 = \frac{k_i}{\delta + a} \end{cases} \quad (3)$$

следует

$$\delta = \frac{N_2}{N_1 - N_2} a. \quad (4)$$

Алгоритм (4) реализуется арифметическим устройством 6 преобразователя. Длина  $a$  крайних секций обмотки датчика выбирается такой, чтобы смещение рабочей точки на характеристике  $f(\delta)$  при переключении секций находилось в пределах  $i$ -го участка аппроксимации. В этом случае  $k_i = \text{const}$  на участке  $[\delta_i, \delta_i + a]$ . Таким образом, коэффициент  $k$  не входит в конечное выражение для измеряемого перемещения, и точность измерения определяется только степенью идентичности крайних секций обмотки датчика и точностью аппроксимации рабочего участка характеристики преобразователя.

Результат измерения фиксируется в цифровой форме регистрирующим устройством 7.

Для измерения перемещений в диапазоне от 0 до 6 мм [рабочий участок характеристики равен  $(\delta_1, \delta_2)$ ] датчик имеет следующие параметры:  $l_k = 12$  мм;  $l_k/d_k = 3,5$ ;  $a = 0,5$  мм;  $w = 1200$ ;  $\omega_{\text{доп}} = 40$ . Материал сердечника — феррит 600НН. Рабочий участок характеристики 2,5–8,5 мм. Экспериментальные исследования показали, что изменения температуры в диапазоне  $20 \pm 50^\circ \text{C}$  и напряжения питания в пределах  $12 \text{ В} \pm 50\%$  не сказываются на результатах измерения. Погрешность преобразователя составляет 0,2%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Гольдман, Ю. М. Сахаров. Индуктивно-частотные преобразователи неэлектрических величин. М., «Энергия», 1968.
2. Э. М. Бромберг. Устройство для измерения линейных перемещений. Авторское свидетельство № 257032. — ОИПОТЗ, 1969, № 35.
3. Э. М. Бромберг, И. А. Шевченко. Самокорректирующийся цифровой вольтметр. Авторское свидетельство № 267748. — ОИПОТЗ, 1970, № 13.

Поступила в редакцию  
21 декабря 1970 г.