

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УДК 681.335.8(088.8)

М. Ф. ЗАРИПОВ, М. А. УРАКСЕЕВ

(Ташкент)

МНОГООБОРОТНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

В многооборотных функциональных устройствах для воспроизведения заданной функции используются многооборотные реостатные преобразователи [1]. Недостатком этих устройств является наличие контактов, снижающих надежность и точность воспроизведения заданной характеристики [2]. Известны также многооборотные бесконтактные устройства [3], позволяющие воспроизвести, однако, только линейную функцию. Это обстоятельство ограничивает область применения многооборотных бесконтактных преобразователей.

Авторами статьи разработаны многооборотные бесконтактные функциональные преобразователи [4], обеспечивающие воспроизведение функциональных зависимостей вида $y = \pm k_1 x^2 \pm k_2 x$, у которых степень воспроизведения заданной функции повышается с расширением диапазона изменения аргумента x . Причем функция y реализуется в форме выходной величины преобразователя — трансформаторной э. д. с. $E_{и1}$, а аргумент x — в форме входной величины преобразователя — углового

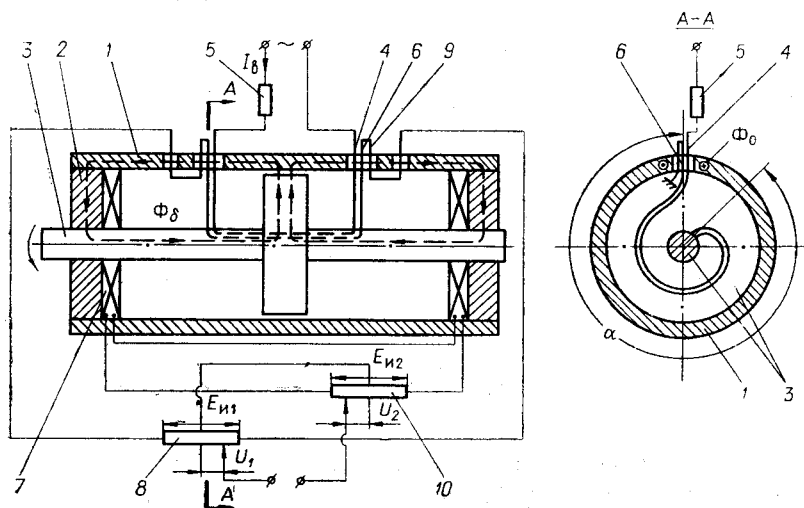


Рис. 1. Дифференциальная конструкция многооборотного функционального преобразователя.

перемещения α . Таким образом, статическая характеристика разработанных преобразователей имеет вид $E_n = \pm K_1 \alpha^2 \pm K_2 \alpha$.

Одна из дифференциальных конструкций многооборотных функциональных преобразователей представлена на рис. 1. Неподвижная часть магнитопровода преобразователя состоит из полого цилиндра 1 и двух дисков 2, выполненных из ферромагнитного материала. Подвижная часть представляет собой ферромагнитную ось с диском 3 посередине.

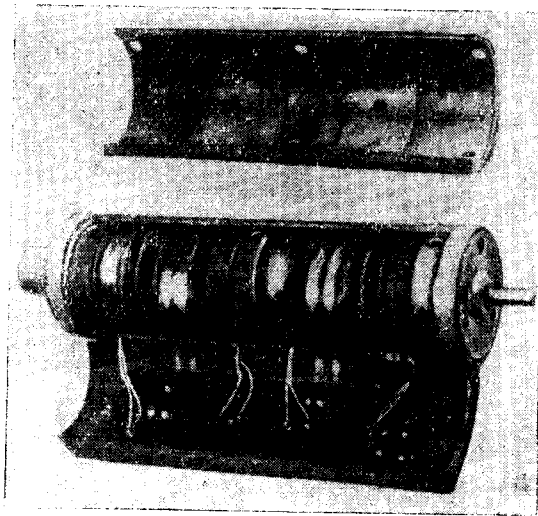


Рис. 2. Внешний вид преобразователя.

как и обмотка возбуждения, является наматываемой и состоит из двух секций, соединенных между собой через отверстие в подвижном диске 3 последовательно и согласно, вторая обмотка 7, также состоящая из двух секций, является неподвижной.

В качестве наматываемых обмоток используются разработанные в последние годы специальные пленочные многовитковые обмотки, представляющие собой проводники, нанесенные на гибкую пленку из синтетического материала. Применение пленочных наматываемых обмоток значительно повышает надежность многооборотных функциональных преобразователей.

На рис. 2 показан внешний вид описанного преобразователя с откинутым клеммником и снятым ферромагнитным полуцилиндром. При протекании переменного тока I_v по обмотке возбуждения создается магнитный поток, путь которого показан на рис. 1 штриховыми линиями. Величина потока, замыкающегося через подвижную ферромагнитную ось, зависит линейно от угла поворота подвижной части α :

$$\Phi_\delta = \frac{i_v W_v}{\rho_\mu \frac{l_{ст}}{S_{ст}} + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}} \frac{\alpha}{2\pi}, \quad (1)$$

где W_v — число одновременно наматываемых витков обмотки возбуждения; ρ_μ — комплексное удельное магнитное сопротивление стали; $l_{ст}$ — средняя длина силовых линий индукции в стальной части пути потока; $S_{ст}$ — средняя площадь поперечного сечения стали на пути

намотки 4. Обмотка возбуждения преобразователя подключается к стабилизированному источнику синусоидального тока. В простейшем случае для поддержания постоянства величины тока при вращении подвижной части преобразователя достаточно обмотку возбуждения включить через балластное сопротивление 5.

Преобразователь имеет две измерительные обмотки, одна из которых 6, так же как и обмотка возбуждения, является наматываемой и состоит из двух секций, соединенных между собой через отверстие в подвижном диске 3 последовательно и согласно, вторая обмотка 7, также состоящая из двух секций, является неподвижной.

В качестве наматываемых обмоток используются разработанные в последние годы специальные пленочные многовитковые обмотки, представляющие собой проводники, нанесенные на гибкую пленку из синтетического материала. Применение пленочных наматываемых обмоток значительно повышает надежность многооборотных функциональных преобразователей.

На рис. 2 показан внешний вид описанного преобразователя с откинутым клеммником и снятым ферромагнитным полуцилиндром. При протекании переменного тока I_v по обмотке возбуждения создается магнитный поток, путь которого показан на рис. 1 штриховыми линиями. Величина потока, замыкающегося через подвижную ферромагнитную ось, зависит линейно от угла поворота подвижной части α :

$$\Phi_\delta = \frac{i_v W_v}{\rho_\mu \frac{l_{ст}}{S_{ст}} + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}} \frac{\alpha}{2\pi}, \quad (1)$$

где W_v — число одновременно наматываемых витков обмотки возбуждения; ρ_μ — комплексное удельное магнитное сопротивление стали; $l_{ст}$ — средняя длина силовых линий индукции в стальной части пути потока; $S_{ст}$ — средняя площадь поперечного сечения стали на пути

потока; δ — суммарный воздушный зазор на пути рабочего потока; S_δ — средняя площадь поперечного сечения зазора на пути потока.

Наматываемая измерительная обмотка пересекается только частью потока Φ_δ^1 :

$$\dot{\Phi}_n = \dot{\Phi}_\delta \frac{\alpha}{2\pi}. \quad (2)$$

Здесь W_{n1} — число одновременно наматываемых витков подвижной измерительной обмотки. Подвижная измерительная обмотка подключается к делителю напряжения — потенциометру реостатного типа δ , с которого снимается напряжение

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_{n1} (\mp K_{d1}) = \pm j \omega \frac{I_B W_B W_{n1} K_{d1} \alpha^2}{\left(\dot{\rho}_\mu \frac{I_{ст}}{S_{ст}} + \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta} \right) 4\pi^2} = \pm K_1 \alpha^2, \quad (4)$$

где K_{d1} — коэффициент делителя напряжения δ ; K_1 — коэффициент пропорциональности.

С увеличением числа оборотов вращения подвижной части α точность воспроизведения заданной характеристики повышается. Объясняется это тем, что основные источники неточности воспроизведения заданной характеристики для каждого последующего оборота подвижной части остаются одними и теми же. В то же время диапазон вращения подвижной части растет и относительная величина степени невоспроизведения заданной характеристики, приведенная к максимуму общего угла поворота, уменьшается.

Помимо указанного, многооборотный функциональный преобразователь обеспечивает практически постоянную фазу выходной э. д. с. на всем диапазоне вращения подвижной части, что следует из выражения (4).

Следует заметить, что, кроме потока Φ_δ , витки наматываемой измерительной обмотки пересекает поток, образующийся вокруг отверстий в магнитопроводе, через которые проходят выводные концы подвижных обмоток. На выходе при $\alpha=0$ возникает напряжение \dot{U}_{10} , отличное от нуля. Однако поток Φ_0 практически не зависит от угла поворота подвижной части, и поэтому э. д. с. взаимной индукции от этого потока может быть легко скомпенсирована с помощью компенсационной обмотки \mathcal{J} , включенной последовательно и встречно с подвижной измерительной обмоткой и размещенной на поверхности неподвижного ферромагнитного цилиндра. Э. д. с. в компенсационной обмотке индуктируется только потоком Φ_0 , и поэтому фазы компенсирующей и постоянной составляющей э. д. с. одинаковы.

Иногда на практике требуется воспроизвести характеристику

$$E_n = \pm K_3 \pm K_1 \alpha^2.$$

В этом случае, регулируя число витков компенсационной обмотки, можно получить любое значение $K_3 \equiv \dot{U}_{10}$.

Когда необходимо воспроизвести характеристику вида $E_{и} = \pm K_1 \alpha^2 \pm K_2 \alpha$, можно использовать неподвижную двухсекционную измерительную обмотку 7.

Поток возбуждения индуцирует в последней э. д. с., значение которой пропорционально углу поворота подвижной части α :

$$\dot{E}_{и2} = -j \omega W_{и2} \dot{\Phi}_{\delta} = -j \omega \frac{I_B W_B W_{и2}}{\left(\rho_{\mu} \frac{l_{ст}}{S_{ст}} + \frac{\delta}{\mu_0 S_{\delta}} \right) 2\pi} \alpha, \quad (5)$$

где $W_{и2}$ — число витков обеих секций неподвижной измерительной обмотки.

С выхода делителя напряжения 10, к которому подсоединена неподвижная измерительная обмотка, снимается напряжение

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_{и2} (\mp K_{д2}) = \pm j \omega \frac{I_B W_B W_{и2}}{\left(\rho_{\mu} \frac{l_{ст}}{S_{ст}} + \frac{\delta}{\mu_0 S_{\delta}} \right) 2\pi} \alpha = \pm K_2 \alpha, \quad (6)$$

где $K_{д2}$ — коэффициент делителя напряжения 10; K_2 — коэффициент пропорциональности.

Соединив последовательно делители напряжений 8 и 10, на общем выходе всей схемы будем иметь

$$E_{и} = \pm K_1 \alpha^2 \pm K_2 \alpha. \quad (7)$$

На рис. 3 приведены статические характеристики многооборотного функционального преобразователя, имеющего следующие технические

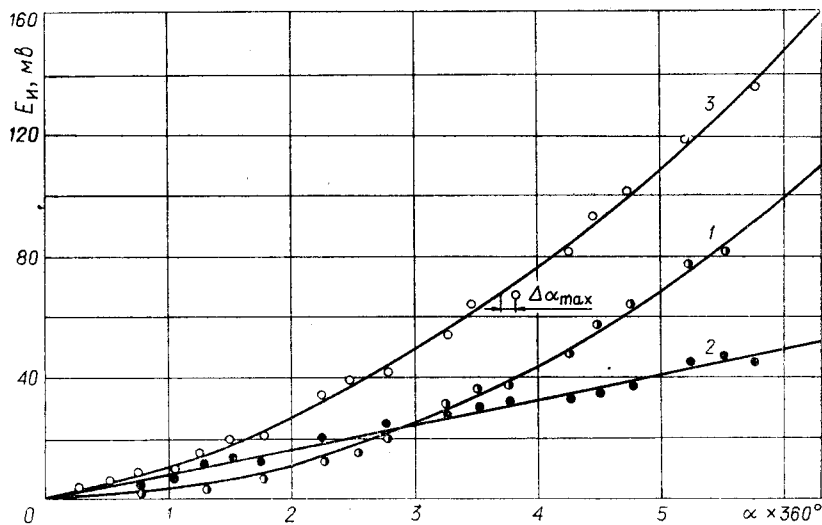


Рис. 3. Статические характеристики преобразователя:

1 — квадратичная, 2 — линейная, 3 — результирующая (теоретические зависимости показаны сплошной линией, экспериментальные данные — кружками).

данные: габариты $\varnothing 30 \times 100$ мм; $I_B = 0,1$ а; $W_B = 20$; $W_{и1} = 30$; $W_{и2} = 100$; $W_k = 30$; $\alpha_{\max} = 6 \times 360^\circ$. Как следует из рис. 3, степень невоспроизведения статической характеристики преобразователя, определяемая из выражения $\varepsilon = \frac{\Delta \alpha_{\max}}{\alpha_{\max}} \cdot 100\%$, не превосходит величины 3%.

Анализ источников дополнительной погрешности многооборотного бесконтактного функционального преобразователя показал, что колебания частоты питающего тока вносят погрешность, пропорциональную изменению самой частоты. Причем следует учесть, что для обеспечения квадратичной зависимости необходимо поддерживать ток возбуждения неизменным по частоте, амплитуде и форме кривой.

Следовательно, целесообразным является работа на невысоких частотах, так как при этом уменьшается мощность, потребляемая балластным сопротивлением в цепи обмотки возбуждения.

Когда преобразователь работает в условиях значительных колебаний частоты питающего тока, для уменьшения погрешности вместо активного балластного сопротивления включают индуктивное балластное сопротивление. В этом случае погрешность от колебаний частоты будет тем меньше, чем меньше индуктивное сопротивление обмотки возбуждения по сравнению с балластным индуктивным сопротивлением.

Колебания внешней температуры также вносят погрешности преобразования, изменяя величину суммарного воздушного зазора и комплексного магнитного сопротивления стали ρ_m и требуют специального исследования. Можно, однако, заметить, что эти погрешности могут быть скомпенсированы как за счет усложнения схемы соединения обмоток, так и за счет изменения конструкции самого преобразователя.

Внешнее магнитное поле не вносит существенных погрешностей в работу преобразователя из-за дифференциальной и астатической конструкции преобразователя и экранирования обмоток наружным ферромагнитным цилиндром 1.

Основную погрешность, вызванную непостоянством воздушного зазора по окружности в местах соприкосновения подвижной и неподвижной частей магнитопровода, можно значительно уменьшить за счет увеличения числа секций подвижных обмоток, вывод каждой из которых производится через отверстия, сдвинутые по окружности внешнего цилиндра относительно друг друга [5].

Описанный многооборотный функциональный преобразователь был использован в автокомпенсационной системе для измерения температуры взамен контактного реохорда. Это привело к повышению надежности и практически равномерной шкале прибора во всем диапазоне измеряемых температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Мандельблат. Реостатные функциональные преобразователи. Киев, «Техника», 1965.
2. Н. И. Чеботарев, Ю. Д. Щербина, Е. А. Кузнецов. Надежность потенциометрических датчиков. М., «Машиностроение», 1966.
3. М. Ф. Зарипов, Л. Ф. Куликовский, Л. А. Бровкин, Э. М. Гашпар. Многооборотный бесконтактный потенциометр трансформаторного типа. Авторское свидетельство № 162767.— Бюллетень изобретений, 1964, № 10.
4. М. Ф. Зарипов, М. А. Ураксеев, Э. М. Гашпар. Многооборотное бесконтактное функциональное устройство. Авторское свидетельство № 209857.— ИПОТЗ, 1968, № 5.
5. Э. М. Гашпар, Л. А. Бровкин, Л. Ф. Куликовский, М. Ф. Зарипов. Многооборотный бесконтактный потенциометр трансформаторного типа. Авторское свидетельство № 182228.— ИПОТЗ, 1966, № 11.

*Поступила в редакцию
10 октября 1968 г.,
окончательный вариант —
10 марта 1969 г.*