

Л. Ф. КУЛИКОВСКИЙ, И. И. ВОЛКОВ,  
В. К. МОРОЗОВ, Ю. Ф. ЧУБАРОВ

## УСИЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ГАЛЬВАНОМАГНИТНОГО ТИПА

Гальванометрические устройства все шире используются в качестве унифицированных элементов в системах информационно-измерительной техники [1]. Основной частью их являются гальванометрические усилители ГУ, включающие в себя чувствительный элемент и преобразователь перемещения подвижной части чувствительного элемента в напряжение.

В настоящее время наибольшее распространение получили ГУ, в которых чувствительным элементом является гальванометр магнитоэлектрического типа с подвижной рамкой, отклонение которой с помощью оптической системы и фотоспротивлений преобразуется в напряжение [2].

Приборы подобного рода обладают высокой чувствительностью и эффективно используются для измерения слабых сигналов постоянного тока. Наличие фотооптической системы, а также осветительной лампы значительно понижает надежность прибора.

Эффективно применение индукционных или термических преобразователей [3, 4], но это усложняет конструкцию ГУ.

В предлагаемой статье описаны некоторые типы ГУ с преобразователями на датчиках Холла и датчиках магнитосопротивления. При использовании этих преобразователей в схеме прибора достигается высокая чувствительность и малое выходное сопротивление, упрощается конструкция и настройка\*.

Схема ГУ с элементом Холла показана на рис. 1. С рамкой магнитоэлектрического гальванометра 1 жестко связан датчик Холла 2, находящийся в магнитном поле, создаваемом током  $J_B$ , который протекает по обмотке возбуждения 3. Управляющая цепь датчика подключена к источнику питания схемы. Напряжение,

---

\*Подобного рода приборы разработаны в проблемной лаборатории кафедры «Информационно-измерительная техника» Куйбышевского политехнического института.

возникающее на выходе датчика Холла, определяется следующим образом [5]:

$$U_{\text{вых}} = k \cdot I_y \cdot B \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $k$  — чувствительность датчика Холла;

$I_y$  — ток управления;

$B$  — индукция магнитного поля в воздушном зазоре магнитной системы;

$\alpha$  — угол между плоскостью датчика и направлением магнитной индукции, равный углу поворота рамки гальванометра.

Для малых углов поворота (в гальванометрических усилителях)  $\sin \alpha \approx \alpha$  и поэтому можно записать

$$U_{\text{вых}} = k \cdot I_y \cdot B \cdot \alpha. \quad (2)$$

С другой стороны:

$$\alpha = S \cdot U_x, \quad (3)$$

где  $S$  — чувствительность гальванометра.

Подставляя (3) в (2), получаем

$$U_{\text{вых}} \approx s \cdot I_y \cdot B \cdot k \cdot U_x. \quad (4)$$

Отсюда видно, что выходное напряжение однозначно определяет входную величину, то есть является ее мерой.

Если датчик Холла питается постоянным током, то есть  $I_y = I_{y=}$ , то при переменном поле возбуждения  $B = B_m \sin \omega t$  на выходе датчика Холла возникает переменное напряжение.

$$U_{\text{вых}} \approx k \cdot I_{y=} \cdot B_m \cdot \alpha \cdot \sin \omega t. \quad (5)$$

Амплитуда этого напряжения пропорциональна углу поворота  $\alpha$  рамки гальванометра, а фаза зависит от направления вращения.

Постоянное напряжение на выходе датчика Холла можно получить, питая датчик и обмотку возбуждения постоянным током. Но в этом случае появится большая погрешность от неэквипотенциальности холловских электродов, которую трудно скомпенсировать. Целесообразнее датчик Холла и обмотку возбуждения питать переменными токами так, чтобы ток  $I_y$  и индукция  $B$  совпадали по фазе. В этом случае, если  $I_y = I_m \sin \omega t$  и  $B = B_m \sin \omega t$ , то

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{2} k I_m \cdot B_m \cdot \alpha - \frac{1}{2} k \cdot I_m \cdot B_m \cdot \alpha \cdot \cos 2\omega t. \quad (6)$$

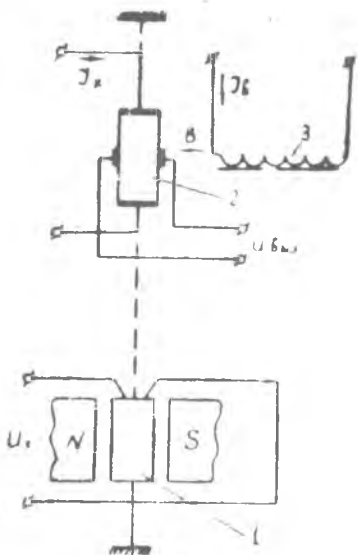


Рис. 1. ГУ с преобразователем на датчике Холла.

Из последнего равенства видно, что постоянная составляющая выходного напряжения по величине пропорциональна углу отклонения  $\alpha$ , а по знаку — направлению вращения.

Таким образом, достоинством ГУ с преобразователем на датчике Холла является возможность получения на его выходе переменного и постоянного напряжений.

Кроме ГУ с преобразователем, на датчике Холла разработан гальванометрический усилитель, использующий датчик в качестве регулируемого сопротивления. Схема устройства представлена на рис. 2.

Подвижная часть прибора состоит из рамки гальванометра 1 и жестко с ней связанного датчика Холла 2, который находится в воздушном зазоре электромагнита 3. Датчик Холла с катушкой электромагнита 3 образует одно плечо моста, три других плеча составлены из активных сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$ . Мост питается постоянным напряжением  $E$ , которое включено так, чтобы разность потенциалов  $U_{AC}$  между точками  $A$  и  $C$  была направлена

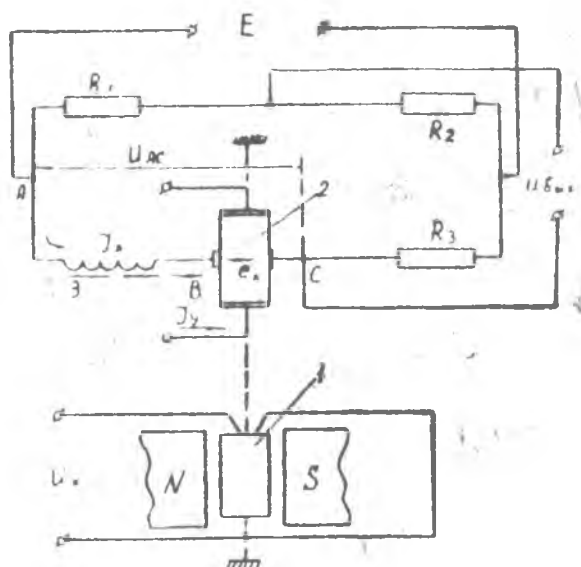


Рис. 2. ГУ с преобразователем, использующим датчик Холла в качестве регулируемого сопротивления.

на на встречу э. д. с. Холла  $e_x$  [6]. Для этого случая

$$U_{AC} = I_x (R_x + R) - e_x = I_x (R_x + R) - k \cdot I_y \cdot B \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

где  $R_x$  — выходное сопротивление датчика Холла;

$R$  — сопротивление обмотки электромагнита 3;

$I_x$  — ток, протекающий через обмотку электромагнита и датчик Холла.

Так как магнитное сопротивление воздушного зазора во много раз больше сопротивления стали магнитопровода, то магнитная индукция в воздушном зазоре будет равна:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_x, \quad (8)$$

где  $\mu_0$  — магнитная проницаемость воздуха;

$\omega$  — число витков обмотки возбуждения электромагнита 3;

$\delta$  — величина воздушного зазора в магнитопроводе.

Подставив (8) в (7) получим

$$U_{AC} = I_x(R_x + R) - k \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_y \cdot I_x \cdot \sin \alpha. \quad (9)$$

Сопротивление между точками А и С равно:

$$R_{AC} = \frac{U_{AC}}{I_x} = (R_x + R) - k \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_y \cdot \sin \alpha. \quad (10)$$

Как следует из формулы (10), значение сопротивления  $R_{AC}$  не зависит от тока  $I_x$ . Если поддерживать величину тока  $I_y$  постоянной, то сопротивление  $R_{AC}$  будет зависеть от угла поворота датчика. При малых углах поворота, полагая  $\sin \alpha \approx \alpha$ , можно записать

$$R_{AC} = (R_x + R) - k \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_y \cdot \alpha. \quad (11)$$

Из формулы (11) следует, что при малых углах отклонения сопротивление  $R_{AC}$  линейно зависит от  $\alpha$ . При  $\alpha=0$   $R_{AC}=R_x+R$ , мост находится в равновесии и  $U_{вых}=0$ . При повороте датчика Холла в одном направлении сопротивление  $R_{AC}$  будет уменьшаться, а при повороте в противоположном направлении увеличиваться. Это вызовет разбаланс моста и появление на его выходе напряжения

$$U_{вых} = k_m \cdot E \cdot \Delta R_{AC}. \quad (12)$$

Здесь  $k_m$  — коэффициент преобразования мостовой схемы;  
 $E$  — напряжение питания.

Учитывая, что  $\Delta R_{AC} = k \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_y \cdot \alpha$ , выражение (12) примет вид

$$U_{вых} = k_m \cdot k \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_y \cdot E \cdot \alpha. \quad (13)$$

Чувствительность преобразователя угла отклонения в напряжение для данного случая определяется выражением

$$s_{\pi} = \frac{dU_{вых}}{d\alpha} = k_m \cdot k \frac{\mu_0 \cdot \omega}{\delta} \cdot I_y \cdot E. \quad (14)$$

Зависимость выходного напряжения от входного будет выражаться формулой

$$U_{вых} = s \cdot s_{\pi} \cdot U_x. \quad (15)$$

### Гальванометрический усилитель с преобразователем на датчиках магнитосопротивления

Показанный на рис. 3 ГУ включает гальванометр магнитоэлектрической системы 1 и преобразователь угла отклонения в напряжение. Последний состоит из магнитопровода 6 с катушкой возбуждения 5 и двух датчиков магнитосопротивления 3 и 4, помещенных в зазор магнитной системы и приклеенных к одному из полюсов. С рамкой гальванометра жестко связан флажок 2 из ферромагнитной фольги. Флажок находится в зазоре магнитопровода над дат-

чиками магнитосопротивления и может свободно перемещаться в нем. Датчики магнитосопротивления включаются в дифференциальную схему согласно рис. 3.

В начальном состоянии, когда  $U_x = 0$ , флажок 2 экранирует от действия магнитного поля по половине площади каждого из магнитосопротивлений  $R_{\mu_1}$  и  $R_{\mu_2}$ . В этом случае [5]

$$R_{\mu_1} = R_{\mu_2} = R_0(1 + A \cdot \mu^2 \cdot H^2), \quad (16)$$

где  $R_0$  — величина сопротивления датчика при  $H=0$ ;

$A$  — численный коэффициент;

$\mu$  — подвижность носителей тока;

$H$  — напряженность магнитного поля, в котором находятся датчики магнитосопротивления.

Измеряемое напряжение  $U_x$  вызывает отклонение рамки гальванометра и флажка 2 на угол  $\alpha$ . При этом ферромагнитный флажок уменьшает магнитный поток, пронизывающий один датчик магнитосопротивления, и увеличивает магнитный поток, пронизывающий другой.

Это влечет за собой увеличение сопротивления одного датчика и уменьшение другого. Сопротивления становятся соответственно равными

$$R'_{\mu_1} = R_0 + R_0 \cdot A \cdot \mu^2 (H + \Delta H)^2, \quad (17)$$

$$R'_{\mu_2} = R_0 + R_0 \cdot A \cdot \mu^2 (H - \Delta H)^2. \quad (18)$$

Так как углы поворота незначительны, можно считать, что изменение напряженности магнитного поля

$$\Delta H = k_1 \cdot \alpha, \quad (19)$$

где  $k_1$  — коэффициент пропорциональности.

Выходное напряжение схемы с учетом (17), (18), (19) определяется следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = \frac{2 \cdot A \cdot \mu^2 \cdot H \cdot k_1 \cdot E}{1 + A \cdot \mu^2 \cdot H^2} \cdot \alpha, \quad (20)$$

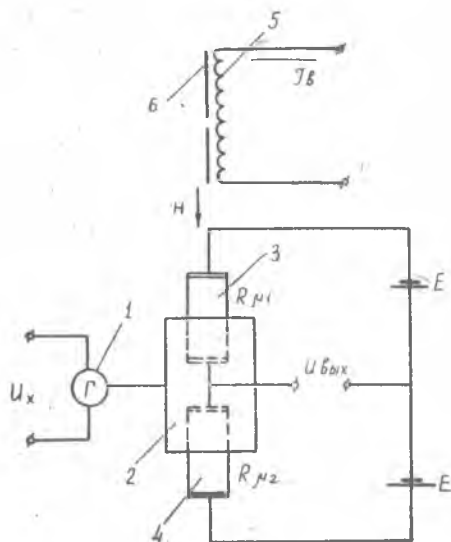


Рис. 3. ГУ с преобразователем на датчиках магнитосопротивления

где  $E$  — напряжение питания.

Отсюда следует, что при малых углах отклонения гальванометра выходное напряжение линейно зависит от угла отклонения, и, следовательно, от входного напряжения  $U_x$ .

При этом чувствительность преобразователя

$$S_{\Pi} = \frac{dU_{\text{вык}}}{d\alpha} = \frac{2 \cdot A \cdot \mu^2 \cdot H \cdot k_1 \cdot E}{1 + A \cdot \mu^2 \cdot H^2} \quad (21)$$

Экспериментальное исследование ГУ с элементами Холла и магнитосопротивления подтверждает основные положения теории. На рис. 4 приведены экспериментальные характеристики разработанных приборов. Полученные зависимости  $U_{\text{вык}} = f(\alpha)$  с достаточной степенью приближения представляют прямую линию.

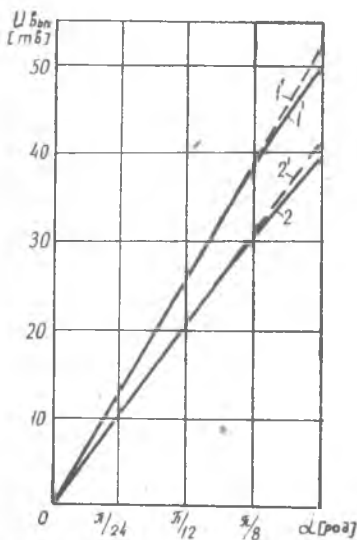


Рис. 4. 1 и 1' — экспериментальная и расчетная зависимости  $U_{\text{вык}} = f(\alpha)$  для преобразователя на датчике Холла; 2 и 2' — экспериментальная и расчетная зависимости  $U_{\text{вык}} = f(\alpha)$  для преобразователя использующего датчик Холла в качестве регулируемого сопротивления.

Определенные расчетным путем коэффициенты преобразования оказываются равными для ГУ с датчиком Холла —  $0,1 \text{ в/рад}$ ; для ГУ с датчиком Холла в качестве регулируемого сопротивления —  $0,08 \text{ в/рад}$ ; для ГУ с магнитосопротивлением —  $5,9 \text{ в/рад}$ .

Приборы могут эффективно использоваться в качестве унифицированных элементов для построения прецизионных стабилизаторов, вектормеров, модуляторов. Их основными достоинствами являются простота конструкции и надежность работы. На базе описанных преобразователей предоставляется возможность создания высокочувствительных усилителей постоянного тока, не имеющих электронных ламп, обладающих малым дрейфом нуля и линейностью характеристик в широком диапазоне измеряемых величин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский, А. М. Мелик-Шахназаров, С. Г. Рабинович, Б. А. Селибер. Гальванометрические компенсаторы. «Энергия», 1964.

2. М. Б. Минц, С. Г. Рабинович, Б. А. Селибер, А. Н. Ткаченко. Новая серия фотокомпенсационных приборов. «Приборостроение», № 11, 1961.

3. А. М. Мелик-Шахназаров. Автокомпенсационная система постоянного тока с индукционным преобразователем. «Измерительная техника», № 1, 1957.

4. М. И. Левин, В. Ф. Семенов, К. Н. Цепляков. Измерительный гальванометрический усилитель с полупроводниковыми термосопротивлениями, «Измерительная техника», № 6, 1960.

5. В. Н. Богомолов. Устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. Госэнергоиздат, 1961.

6. А. П. Пинскер. Применение полупроводниковых генераторов Холла, Гостехиздат, УССР, 1961.

---