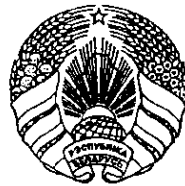


**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) **ВУ** (11) **2563**  
(13) **C1**  
(51)<sup>6</sup> G 01D 5/22

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАТЕНТНЫЙ  
КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

(54) **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНОГО ДАТЧИКА  
В ЦИФРОВОЙ КОД**

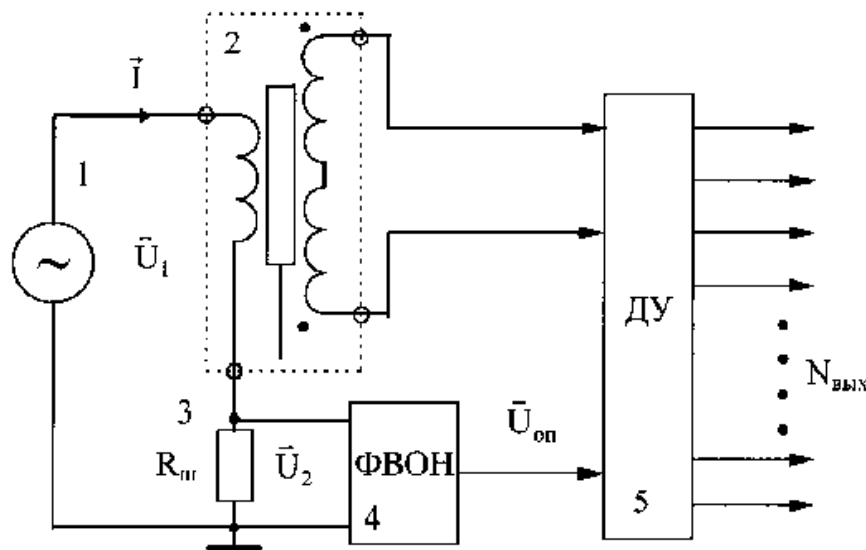
(21) Номер заявки: 960316  
(22) 24.06.1996  
(46) 30.12.1998

(71) Заявитель: Гомельский политехнический институт (ВУ)  
(72) Авторы: Абарин Е.Г., Изотов П.П. (ВУ)  
(73) Патентообладатель: Гомельский политехнический институт (ВУ)

(57)

1. Преобразователь выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика в цифровой код, содержащий источник переменного напряжения, первый выход которого соединен с шиной нулевого потенциала, **отличающийся** тем, что снабжен формирователем вектора опорного напряжения, делительным устройством, резистором, первый вывод которого соединен с первым выводом первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, второй вывод – с первым выходом источника переменного напряжения, второй выход которого соединен со вторым выводом первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, при этом первый и второй входы делительного устройства соединены с первым и вторым выводами вторичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика соответственно, а третий вход – с выходом формирователя вектора опорного напряжения, первый и второй входы которого подключены к выводам резистора, причем выходы делительного устройства являются выходами преобразователя.

2. Преобразователь по п. 1, **отличающийся** тем, что формирователь вектора опорного напряжения выполнен в виде усилителя, инверсный вход которого через последовательно включенные первый резистор и конденсатор соединен с источником входного сигнала и через второй резистор - с выходом усилителя, а неинвертирующий вход соединен с шиной нулевого потенциала.



Фиг. 1

# BY 2563 C1

3. Преобразователь по п. 1, **отличающийся** тем, что делительное устройство состоит из интегрирующего формирователя управляющего сигнала, компаратора и аналого-цифрового преобразователя, первый вход которого соединен с источником опорного напряжения, второй вход подключен через формирователь управляющего сигнала к первому входу, а третий вход соединен с выходом компаратора, первый вход которого подключен к первому выходу аналого-цифрового преобразователя, а второй - к вторичной обмотке дифференциально-трансформаторного датчика.

(56)

1. Патент США 2439891, МПК G01D 5/22, 1948.

2. А.с. СССР 864241, МПК G05B 5/01, 1981 (прототип).

Изобретение относится к области автоматики и может быть использовано в устройствах автоматического регулирования, управления и контроля, в частности в устройствах, где используется дифференциально-трансформаторный преобразователь перемещения в электрический сигнал.

Известно устройство, содержащее операционный усилитель, первый вход которого через первый резистор подключен к первому выходу источника переменного напряжения и через конденсатор - к выходу источника переменного напряжения и шине нулевого потенциала [1]. Недостатком данного устройства является низкая точность, т.к. выходной сигнал устройства зависит от сопротивления первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика и величины питающего напряжения.

Наиболее близким по технической сущности является устройство для преобразования сигнала дифференциально-трансформаторного датчика [2], содержащее интегратор, первый вход которого соединен с первым выходом источника переменного напряжения, второй вход - со вторым выходом источника переменного напряжения и шиной нулевого потенциала, выход - с первым входом преобразователя напряжение-ток, второй вход которого соединен с шиной нулевого потенциала, а выход подключен к первичной обмотке дифференциально-трансформаторного датчика, вторичная обмотка соединена с приемником выходного сигнала.

Рассматриваемое устройство обладает рядом недостатков, выяснить которые можно, используя математическое описание выходного напряжения дифференциально-трансформаторного датчика.

Выходное напряжение дифференциально-трансформаторного датчика  $\bar{U}_d$  определяется выражением:

$$\bar{U}_d = I \cdot \omega \cdot [M_3 \cdot \cos(\epsilon) \cdot e^{j(90^\circ - \epsilon)} + M_0 \cdot e^{-j\epsilon}],$$

где  $I$  - ток первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика;

$M_3$  - эквивалентное значение взаимной индуктивности, определяемое положением плунжера и является единственным информативным параметром дифференциально-трансформаторного датчика;

$M_0$  - остаточная взаимная индуктивность, соответствующая положению плунжера на магнитной нейтрали;

$\epsilon$  - угол потерь дифференциально-трансформаторного датчика;

$\omega$  - угловая частота питающего напряжения.

Для данного устройства ток первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика:

$$I = -\frac{U_1 \cdot K}{j\omega \cdot C \cdot R},$$
 где  $R$  - первый резистор 3;  $C$  - конденсатор 4;  $K$  - коэффициент передачи преобразователя

напряжение - ток, состоящего из транзистора 7, второго и третьего резистора 8 и 9;  $U_1$  - напряжение источника переменного напряжения. При этом

$$\bar{U}_d = \frac{U_1 \cdot K}{C \cdot R} \cdot [M_3 \cdot \cos(\epsilon) \cdot e^{j(90^\circ - \epsilon)} + M_0 \cdot e^{-j\epsilon}].$$

Таким образом, выходное напряжение дифференциально-трансформаторного датчика  $\bar{U}_d$  зависит от напряжения  $U_1$  и угла потерь  $\epsilon$  и не равно нулю при нулевом значении информационного параметра  $M_3$ . Результатом этого является низкая точность известного устройства.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в повышении точности устройства путем формирования выходного сигнала устройства, зависящего только от информационного параметра дифференциально-трансформаторного датчика - эквивалентного значения взаимной индуктивности  $M_3$ .

Решение поставленной задачи достигается за счет того, что в известный преобразователь выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика, содержащий источник переменного напряжения, первый вывод которого соединен с шиной нулевого потенциала, согласно изобретению введены: формирователь вектора опорного напряжения, делительное устройство, резистор, первый вывод которого соединен с первым выводом первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, второй вывод - с первым выходом источника переменного напряжения, второй выход которого соединен со вторым выводом первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, при этом первый и второй входы делительного устройства соединены с первым и вторым выводами вторичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика соответственно, а третий вход - с выходом формирователя вектора опорного напряжения, первый и

# BY 2563 C1

второй входы которого подключены к выводам резистора, причем выходы делительного устройства являются выходами преобразователя.

Благодаря тому, что в известный преобразователь выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика введен формирователь вектора опорного напряжения достигается то, что выходной цифровой код не зависит от частоты питающего напряжения и угла потерь дифференциально-трансформаторного датчика; введено делительное устройство, которое позволяет избавиться от изменения амплитуды питающего напряжения, а также вследствие фазочувствительных свойств делительного устройства получить на выходе преобразователя «чистый ноль»; введен резистор, который позволяет получить сигнал пропорциональный питающему току дифференциально-трансформаторного датчика, в следствии чего можно получить выходной цифровой код, независимый от изменения активного сопротивления первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, которое неизбежно при изменении температуры окружающей среды.

На фиг. 1 приведена блок-схема преобразователя выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика в цифровой код; на фиг. 2 - принципиальная схема устройства формирователя вектора опорного напряжения; на фиг. 3 - блок - схема делительного устройства; на фиг. 4 - принципиальная схема делительного устройства; на фиг.5 - временные диаграммы работы делительного устройства; на фиг. 6 - схема замещения первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, для случая, когда вторичная обмотка на холостом ходу; на фиг. 7 - векторная диаграмма токов первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика, для случая, когда вторичная обмотка на холостом ходу.

Схема преобразователя выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика в цифровой код (фиг. 1) содержит источник переменного напряжения 1, дифференциально-трансформаторный датчик 2, резистор 3, формирователь вектора опорного напряжения 4, делительное устройство 5.

Схема делительного устройства (фиг. 3) содержит интегрирующий формирователь управляющего сигнала 6, аналогово-цифровой преобразователь 7, компаратор 8.

Первый выход источника переменного напряжения 1 соединен с первым выводом первичной обмотки дифференциально-трансформаторного датчика 2, второй вывод которого соединен через резистор 3 с шиной нулевого потенциала и вторым выходом источника переменного напряжения 1. Сигнал с резистора 3 подается на первый и второй входы формирователя вектора опорного напряжения 4, выход которого соединен с третьим входом делительного устройства 5. Два других входа делительного устройства 5 подключены ко вторичной обмотке дифференциально-трансформаторного датчика 2.

Первый вход аналогово-цифрового преобразователя 7 и второй его вход через интегрирующий формирователь управляющего сигнала 6 подключены к источнику опорного напряжения 4, а третий вход соединен с выходом компаратора 8, первый выход которого соединен с первым выходом аналогово-цифрового преобразователя 7, а второй - подключен ко вторичной обмотке дифференциально-трансформаторного датчика 2.

В описании приняты обозначения:

$\vec{U}_1$  - вектор напряжения источника переменного напряжения;

$\vec{U}_2$  - вектор падения напряжения на резисторе  $R_{ш}$ ;

$\vec{U}_{оп}$ ,  $U_{оп}$  - вектор и мгновенное значение опорного напряжения делительного устройства;

$\vec{U}_д$ ,  $U_д$  - вектор и мгновенное значение выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика;

$U_{дкв}$ ,  $U_{дс}$  - мгновенное значение квадратурной и синфазной составляющей  $U_д$  соответственно;

$\vec{U}_{инт}$ ,  $U_{инт}$  - вектор и мгновенное значение выходного сигнала интегратора;

$U_{ти}$  - тактовые импульсы;

$\vec{I}$  - вектор тока первичной цепи дифференциально-трансформаторного датчика;

$\vec{I}_L$ ,  $\vec{I}_T$  - векторы составляющих тока  $I$ ;

$\epsilon$  - угол потерь дифференциально-трансформаторного датчика.

Принцип действия устройства заключается в следующем. Ток  $\vec{I}$ , протекая по первичной обмотке дифференциально-трансформаторного датчика и сопротивлению  $R_{ш}$ , создают выходной сигнал дифференциально-трансформаторного датчика  $\vec{U}_д$  и падение напряжения  $\vec{U}_2$ :

$$\vec{U}_а = I \cdot \omega \cdot [M_y \cdot \cos(\epsilon) \cdot e^{j(90^\circ - \epsilon)} + M_0 \cdot e^{-j\epsilon}],$$

$$\vec{U}_2 = I \cdot R_{ш}$$

( $R_0 \ll$  входного сопротивления формирователя вектора опорного напряжения). Напряжение  $\vec{U}_2$  поступает на вход формирователя вектора опорного напряжения, принципиальная схема которого приведена на

## BY 2563 C1

Фиг.2. Передаточная функция формирователя:  $W(p) = \frac{p \cdot R_2 \cdot C_1}{1 + p \cdot R_1 \cdot C_1}$ , а комплексный коэффициент пере-

дачи:  $W(j\omega) = \frac{j\omega \cdot R_2 \cdot C_1}{1 + j\omega \cdot R_1 \cdot C_1}$ . Модуль которого равен:  $W(j\omega) = \frac{\omega \cdot R_2 \cdot C_1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot R_1 \cdot C_1)^2}}$ , а аргумент:

$\varphi(\omega) = \text{arctg}\left(\frac{1}{\omega \cdot R_1 \cdot C_1}\right)$ . Введем обозначение:  $\omega \cdot R_1 \cdot C_1 = \text{tg}(\beta)$ , где  $\beta$  - недосдвиг до  $90^\circ$  фазы выходного сиг-

нала формирователя вектора опорного напряжения по отношению к фазе сигнала, поступающего на его вход. Тогда  $1 + (\omega \cdot R_1 \cdot C_1)^2 = 1 + \text{tg}^2(\beta) = \frac{1}{\cos^2(\beta)}$  и можно записать:  $W(\omega) = \omega \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot \cos(\beta)$ , а  $\varphi(\omega) = \text{arctg}[\text{tg}(90-$

$\beta)]$ . Выходной сигнал формирователя вектора опорного напряжения:

$$\vec{U}_{оп} = W(j\omega) \cdot \vec{U}_2 = U_2 \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot \cos(\beta) \cdot e^{j(90^\circ - \beta)} = I \cdot R_{ш} \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot \cos(\beta) \cdot e^{j(90^\circ - \beta)}.$$

Делительное устройство ДУ преобразует синфазную составляющую вектора переменного напряжения  $\vec{U}_д$  в цифровой код  $N_{\text{а\ddot{a}o}}$ . Примером его конкретной реализации может служить устройство, блок-схема, принципиальная схема которого приведена на фиг. 3 и фиг. 4. Временные диаграммы, поясняющие работу делительного устройства, изображены на фиг. 3. Тактовые импульсы  $U_{тн}$  поступают на динамический вход синхронизации АЦП типа K572ПВ1 и обеспечивают преобразование сигнала в моменты, когда квадратурная составляющая этого сигнала равна нулю. Таким образом, выходной код  $N_{\text{а\ddot{a}o}}$  делительного устройства определяется выражением:

$$N_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{дс}}}{U_{оп}} = \frac{I \cdot \omega \cdot M_3 \cdot \cos(\epsilon) \cdot e^{j(90^\circ - \epsilon)}}{I \cdot \omega \cdot R_{ш} \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot \cos(\beta) \cdot e^{j(90^\circ - \beta)}}.$$

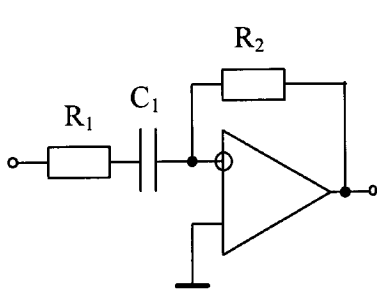
Угол потерь дифференциально-трансформаторного датчика  $\epsilon$  определяется параметрами первичной обмотки, т.к. вторичная обмотка используется в режиме холостого хода. Схема замещения первичной обмотки приведена на Фиг.6, где  $R$  - активное сопротивление первичной обмотки;  $r$  - потери в сердечнике;  $L$  - индуктивность первичной обмотки, и векторная диаграмма токов на фиг. 7.

Угол потерь дифференциально-трансформаторного датчика:  $\epsilon = \text{arctg}\left(\frac{I_r}{I_L}\right) = \text{arctg}\left(\frac{\omega \cdot L}{r}\right)$ . Величина угла  $\beta$  определяется выражением:  $\beta = \text{arctg}(\omega \cdot R_1 \cdot C_1)$ . Очевидно, в случае если  $\beta = \epsilon$ , что достигается подстройкой угла  $\beta$   $\left(R_1 \cdot C_1 = \frac{L}{r}\right)$ ,  $N_{\text{вых}} = \frac{M_3}{R_{ш} \cdot R_2 \cdot C_1} = K_1 \cdot M_3$ , где  $K_1 = \text{const} = \frac{1}{R_{\text{о}} \cdot R_2 \cdot \tilde{N}_1}$ .

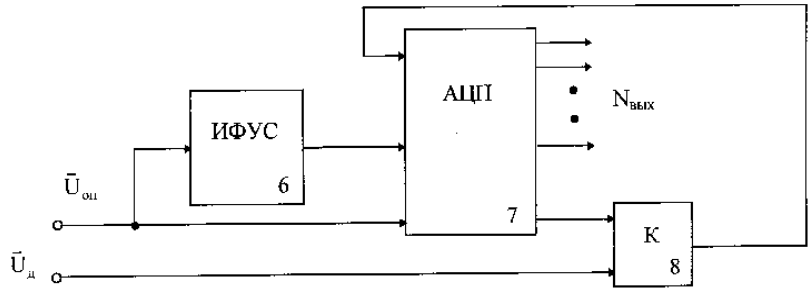
Таким образом, выходной сигнал устройства  $N_{\text{вых}}$  не зависит от питающего напряжения  $U_1$  и угла потерь дифференциально-трансформаторного датчика  $\epsilon$ , а определяется только информационным параметром - значением взаимной индуктивности  $M_3$ , - и равен нулю при  $M_3=0$ .

Используя резистор  $R$ , формирователя опорного напряжения ФВОН, делительное устройство ДУ с соответствующими связями выгодно отличает данное устройство от известного устройства для преобразования выходного сигнала дифференциально-трансформаторного датчика, т.к. исключает влияние питающего напряжения и угла потерь дифференциально-трансформаторного датчика, т.е. повышает точность устройства.

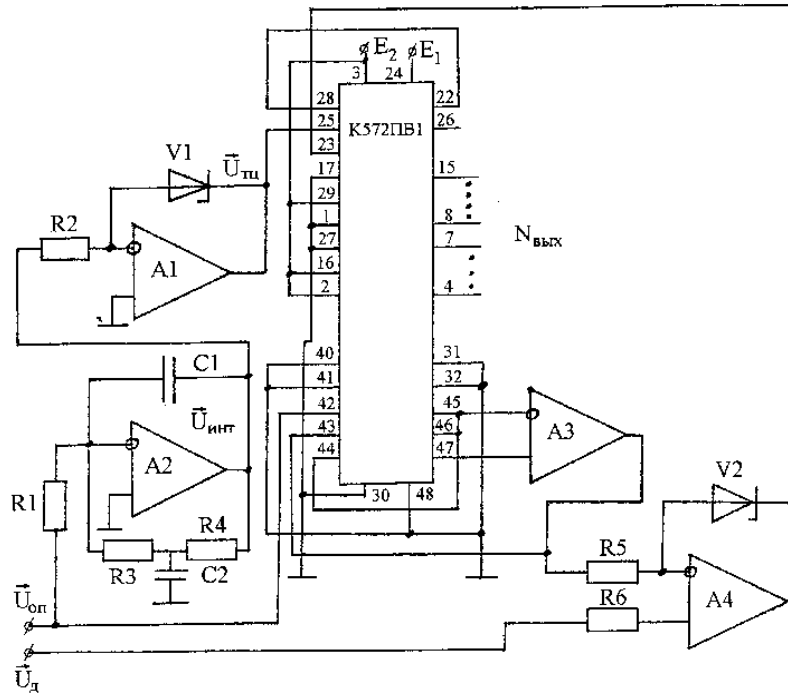
# BY 2563 C1



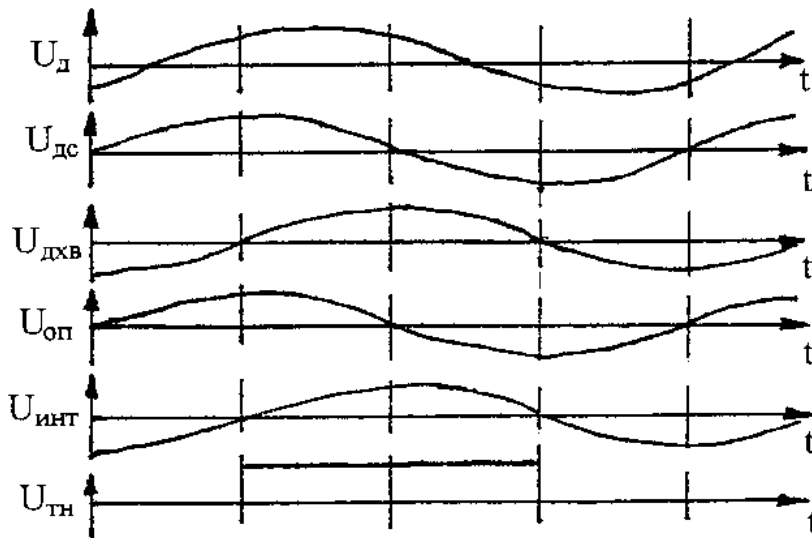
Фиг. 2



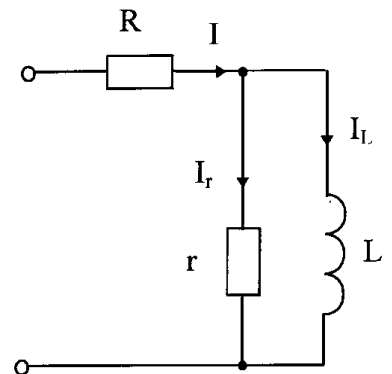
Фиг. 3



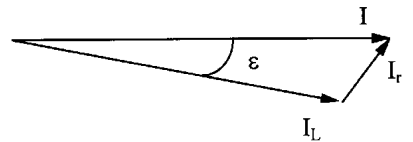
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

Составитель С.В. Лазарчук  
 Редактор В.Н. Позняк  
 Корректор Т.Н. Никитина