РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **214 164**(13) **U1**

(51) МПК
G11C 5/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G11C 5/00 (2022.02)

(21)(22) Заявка: **2021120341, 09.07.2021**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.07.2021

Дата регистрации:
13.10.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **09.07.2021**

(45) Опубликовано: **13.10.2022** Бюл. № **29**

Адрес для переписки:
123458, Москва, ул. Твардовского, 8, ООО "ТрейсЛайн", Казанов Артем Андреевич

(72) Автор(ы):
Казанов Артем Андреевич (RU),
Судаков Иван Иванович (RU),
Коваленко Анна Александровна (RU),
Сарайкин Андрей Павлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
ООО "ТрейсЛайн" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 134631 U1, 20.11.2013. SU 1562700 A1, 07.05.1990. SU 1772623 A1, 30.10.1992. CN 103529131 A, 22.01.2014.**

(54) Измерительный элемент для магнитострикционного датчика линейных перемещений

(57) Реферат:

Полезная модель относится к измерительной технике и может быть использована в магнитострикционных датчиках для измерений и контроля линейных перемещений и положения различных механизмов.

Измерительный элемент для магнитострикционного преобразователя линейных перемещений выполнен в виде катушки возбуждения, намотанной на диэлектрическую трубку, вдоль которой может свободно двигаться магнитный позиционер (один или несколько), обладающий возможностью механической связи с контролируемым объектом. Внутри диэлектрической трубки размещен волновод из материала с выраженным магнитострикционным эффектом, который появляется при намагничивании волновода магнитным полем катушки возбуждения. На одном из концов волновода закреплена концентрирующая накладка и пьезоэлемент, образующие электроакустический преобразователь, который преобразует ультразвуковой сигнал, вызванный продольным колебанием волновода, в электрический сигнал с целью дальнейшей обработки.

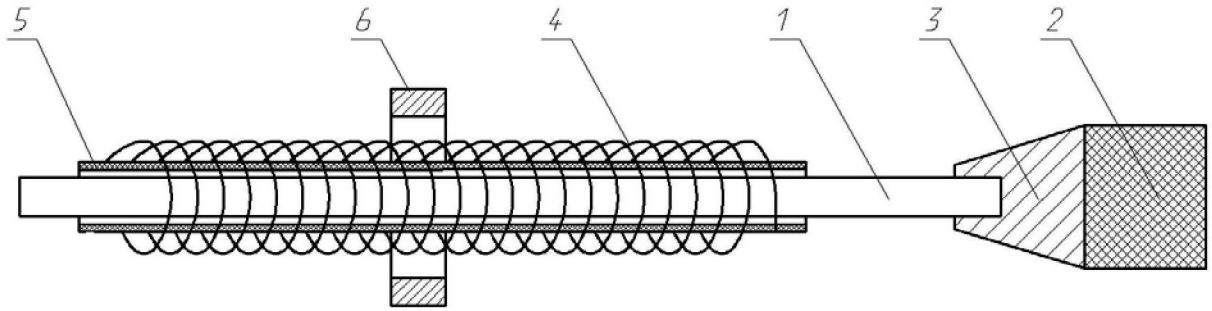
Сущность полезной модели заключается в использовании в качестве материала волновода металлического стержня из стали ферритного класса марки 12Х17 по ГОСТ 5632-2014, который значительно улучшает магнитострикционные свойства волновода по сравнению с прототипом, за счет повышения коэффициента эффективности отклика системы и снижения соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом.

Технический результат полезной модели состоит в существенном повышении точности измерений в магнитострикционных датчиках линейных перемещений, работающих на основе принципа продольных колебаний, с использованием заявляемого измерительного элемента, за счет подбора сплава для волновода на основе хромистой стали ферритного класса марки 12Х17 по ГОСТ 5632-2014. При использовании данного сплава в качестве волновода измерительного элемента снижается погрешность измерений линейных перемещений

RU 214164 U1

RU 214164 U1

по сравнению с прототипом, что позволяет создавать магнитострикционные датчики линейных перемещений на основе заявляемой полезной модели измерительного элемента с точностью измерений от ±0,1 мм, то есть в 10 раз точнее существующих устройств на основе запатентованных технологий.



1 – Волновод;

2 – Пьезоэлемент;

3 – Концентрирующая накладка;

4 – Катушка возбуждения;

5 – Трубка полиэтиленовая;

6 – Магнит постоянный кольцевой (наружный диаметр 24 мм; внутренний диаметр 18 мм; высота 3 мм)

Фиг. 1

RU 214164 U1

RU 214164 U1

Область техники

Полезная модель относится к измерительной технике и может быть использована в магнитострикционных датчиках для измерений и контроля линейных перемещений и положения различных механизмов.

Уровень техники

Известны аналоги, предназначенные для измерений перемещений, основанные на магнитострикционном эффекте.

Известен измерительный элемент для магнитострикционного датчика линейных перемещений, описанный в патенте [1], содержащий волновод из магнитострикционного материала с демпферами на концах, опрашивающую и выходную обмотки, размещенные на волноводе, постоянный магнит, связанный с объектом перемещения.

Недостатком устройства [1] является отсутствие указанного материала звуковода, а также его влияния на точность измерений.

Известен измерительный элемент для магнитострикционного датчика [2], содержащий звукопровод из магнитострикционного материала, в качестве которого выбрана проволока со значительным магнитоупругим эффектом - низкоуглеродистая сталь 10 или 20. При этом отсутствует обоснование выбора материала звукопровода и оценка его влияния на точность измерений.

Известны измерительные элементы для магнитострикционных датчиков угловых перемещений, описанные в патентах [3] и [4], которые содержат звуковод в виде проволоки, сечением 1,0 мм, из прецизионных ферромагнитных сплавов 44НХТЮ, 42НХТЮ или им подобным, применение которых в известных устройствах гарантирует заданную точность измерений в известном интервале температур.

Известен магнитострикционный датчик угловых перемещений [5], в котором обосновано использование звуковода из недорогостоящих элинварных ферросплавов, применение которых гарантирует заданную точность измерений в более широком диапазоне температур, по сравнению с ферросплавами 44НХТЮ, 42НХТЮ.

При этом в устройствах [3], [4], [5] также отсутствует исследование влияния материала волновода на точность измерений.

Наиболее близким аналогом, взятым за прототип, является измерительный элемент для магнитострикционного преобразователя линейных перемещений [8], выполненный в виде катушки возбуждения, намотанной на диэлектрическую трубку, вдоль которой может свободно двигаться магнитный позиционер (один или несколько), имеющий возможность соединения с контролируемым объектом, внутри диэлектрической трубки размещен звукопровод из материала с выраженным магнитострикционным эффектом, а на одном из концов звукопровода закреплен пьезоэлемент, выполненный в виде электроакустического преобразователя. В качестве материала звукопровода в прототипе применяется низкоуглеродистая сталь 10.

Недостатком прототипа, как и устройств [1], [2], [3], [4] и [5] является отсутствие обоснования выбора материала звуковода (волновода) и оценки его влияния на точность измерений. Применяемые в данных устройствах сплавы для волноводов имеют существенные недостатки, связанные с магнитострикционным эффектом, которые ограничивают повышение точностных характеристик магнитострикционных преобразователей перемещений.

В известных работах [6] и [7] исследованы свойства магнитострикционных преобразователей перемещений, которые определяются волноводом (звуководом), как основным преобразующим элементом, связанным с измерением физических параметров движения. Эксплуатационные и метрологические свойства магнитострикционных

преобразователей перемещений напрямую зависят от физико-механических, электрических и магнитных характеристик материалов волноводов, которые, в свою очередь, чувствительны к химическому составу материала, наличию примесей и технологии изготовления.

Известные работы [6] и [7] позволяют рассмотреть задачу увеличения точности измерений линейных перемещений с учетом влияния магнитоупругих свойств материала волновода.

Предлагаемая полезная модель обеспечивает решение технической проблемы существенного повышения точности измерений линейных перемещений магнитострикционным преобразователем, за счет выбора сплава волновода, сочетающего оптимальные механические, электрические и магнитные характеристики.

Раскрытие сущности полезной модели

Измерительный элемент для магнитострикционного датчика линейных перемещений выполнен в виде катушки возбуждения, намотанной на диэлектрическую трубку, вдоль которой может свободно двигаться магнитный позиционер (один или несколько), обладающий возможностью механической связи с контролируемым объектом. Внутри диэлектрической трубки размещен волновод из материала с выраженным магнитострикционным эффектом, который появляется при намагничивании волновода магнитным полем катушки возбуждения. На одном из концов волновода закреплена концентрирующая накладка и пьезоэлемент, образующие электроакустический преобразователь, который преобразует ультразвуковой сигнал, вызванный продольным колебанием волновода, в электрический сигнал с целью дальнейшей обработки.

Общий вид измерительного элемента для магнитострикционного датчика линейных перемещений приведен на фиг.1.

На основе проведенных авторами исследований различных сплавов, а также с учетом анализа имеющихся литературных данных, был выбран сплав, который значительно улучшает магнитострикционные свойства волновода по сравнению с прототипом, за счет повышения коэффициента эффективности отклика системы и снижения соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом. Сущность полезной модели заключается в использовании в качестве материала волновода металлического стержня из стали ферритного класса марки 12Х17 по ГОСТ 5632-2014, обеспечивающего существенное снижение погрешности измерений линейных перемещений по сравнению с прототипом.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 приведен общий вид полезной модели - измерительного элемента для магнитострикционного датчика линейных перемещений, где обозначены позиции:

1 – волновод,

2 – пьезоэлемент,

3 – концентрирующая накладка,

4 – катушка возбуждения,

5 – трубка полиэтиленовая,

6 – магнит постоянный кольцевой.

На фиг. 2 представлена схема испытательной установки для испытаний образцов волноводов из различных материалов, где обозначены позиции:

7 – генератор постоянных импульсов (Г5-63),

8 – осциллограф (Rohde & Schwarz RTC1002),

9 – операционный усилитель с усилением сигнала 40:1.

На фиг. 3 представлена осциллограмма для расчета соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом.

На фиг. 4 изображены осциллограммы выходного импульса сигнала, снятые с прототипа и с заявляемой полезной модели.

Осуществление полезной модели

Полезная модель содержит катушку возбуждения 4, намотанную на диэлектрическую трубку 5, вдоль которой может свободно двигаться постоянный магнит 6 (один или несколько). Внутри диэлектрической трубки 5 размещен волновод 1, выполненный из стали марки 12Х17 по ГОСТ 5632-2014. На одном из концов волновода 1 закреплена концентрирующая накладка 3 и пьезоэлемент 2, образующие электроакустический преобразователь.

Авторами данного технического решения полезной модели проведены исследования большого количества сплавов, подходящих по магнитным и эксплуатационным характеристикам для применения в качестве волновода для измерительного элемента в магнитострикционном датчике линейных перемещений, основанном на принципе продольных колебаний, а также проведен анализ имеющихся литературных данных для выбора химического состава сплава, который значительно улучшает магнитострикционные свойства волновода, за счет повышения коэффициента эффективности отклика системы ($К_{ЭОС}$) и уменьшения коэффициента соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом ($К_{Н/ПС}$).

При подборе материала волновода, кроме электромагнитных характеристик, учитывались следующие дополнительные факторы: доступность материала необходимого сортамента (и его качества) на российском рынке; свойства материала, имеющие отношения к эксплуатационным характеристикам приборам (коррозионная стойкость, прочность и т. д).

Для подбора материала волновода проведены испытания образцов, различающихся по химическому составу. Для проверки образцов была создана испытательная установка. Схема установки приведена на фиг. 2. Волновод (1) диаметром 1 мм и длиной 1000 мм с установленным на него пьезоэлементом (2) поместили в полиэтиленовую трубку (3) с намотанной на неё, витком к витку, катушкой индуктивности (4). На катушку установили постоянный кольцевой магнит и несколько раз переместили по всей длине волновода (от края среза волновода до точки крепления пьезоэлемента) для снятия намагниченности, которая может быть в состоянии поставки материала, после чего кольцевой магнит устанавливается примерно на середине измерительного элемента. На катушку с генератора (7) подается короткий электрический импульс, заданной амплитуды и длительности, а на осциллографе (8) фиксируется амплитуда электрического сигнала, сформированного пьезоэлементом в результате преобразования акустического импульса упругой деформации, возникшего в точке воздействия на волновод (1) постоянного кольцевого магнита (6). Для возможности полноценно фиксировать импульс, сформированный пьезоэлементом, он усиливается с коэффициентом 40:1 операционным усилителем (9).

Измерительный элемент работает следующим образом: на катушку (4) подается импульс возбуждения амплитудой 10 В, который вызывает магнитострикционный эффект в волноводе (1). В момент подачи импульса в катушку внешней схемой управления запускается таймер, который начинает отсчет времени. В точке взаимодействия постоянного кольцевого магнита (6) и волновода (1) возникает

акустический импульс, который перемещается по волноводу и, достигая электроакустического преобразователя (2), преобразуется в электрический сигнал, после чего таймер выключается, а измеренное время используется для вычисления расстояния от постоянного кольцевого магнита (6) до электроакустического преобразователя (2). В данной испытательной установке время (Т) измеряется осциллографом (8) и пересчитывается в единицы длины (L) вручную, с использованием формулы:

$$L = V_{ЗВ} \cdot T \quad (1)$$

где $V_{ЗВ}$ - скорость распространения ультразвуковых колебаний в волноводе.

В прототипе в качестве волновода использовался металлический стержень диаметром 1 мм из стали 10 по ГОСТ 1050 без термической обработки (в состоянии поставки).

Подавая на катушку сигнал амплитудой Uвх = 10 В, получили амплитуду выходного сигнала на пьезоэлементе (усиленную) Uвых = 2 В.

Значение коэффициента эффективности отклика системы ($К_{ЭОС}$) для прототипа, при этом:

$$K_{эос} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 0{,}2 \quad (2)$$

Для расчета соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом ($К_{Н/ПС}$), на осциллограмме измеренный уровень полезного сигнала ($U_{ПС}$) соотнесли с измеренным уровнем остаточной намагниченности ($U_{Н}$) (фиг.3) .

При полученном выходном сигнале Uвых = 2 В, измеренная амплитуда уровня намагниченности для прототипа составляет $U_{Н}$ = 0,3 В. Коэффициент соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом, составляет:

$$K_{н/пс} = \frac{U_{н}}{U_{вых}} = 0{,}15 \quad (3)$$

Задачей заявляемой полезной модели является увеличение точности измерений в магнитострикционных датчиках линейных перемещений, в работе которых реализован принцип продольных колебаний, за счет значительного улучшения магнитных свойств волновода измерительного элемента по сравнению с прототипом.

Технический результат достигается путем подбора сплава, имеющего минимальное значение $К_{Н/ПС}$, при максимальном значении $К_{ЭОС}$.

На первом этапе исследования были проведены испытания измерительных элементов с волноводами из материалов со специальными магнитными свойствами, широко применяемых в магнитострикционных устройствах. Характеристики испытанных сталей приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики сталей со специальными магнитными свойствами

Марка сплава	Коэрцитивная сила, Нс (А/м)	Остаточная намагниченность, Вс (Тл)
65К	100	2,20
НП2	80	1,60
44НХТЮ	0,28	47,75
42НХТЮ	0,18	47,75

Результаты испытаний и расчета по формулам (2) и (3) для сталей из таблицы 1

приведены в таблице 2. Для удобства анализа в таблицу 2 занесены и данные стали 10, используемой в прототипе.

Таблица 2 - Результаты испытаний и расчета $К_{ЭОС}$ и $К_{Н/ПС}$ для сталей со специальными магнитными свойствами

Марка сплава	Ампли-туда вход-ного сигнала, Uвх, В	Ампли-туда вы-ход-ного сигна-ла, Uвых, В	Амплиту-да сигна-ла, сформи-рованно-го остаточ-ной на-магни-чен-ностью, Uш, В	Коэффи-циент эф-фек-тивности от-клика системы, $К_{ЭОС}$	Соотношение амплитуды сиг-нала, сформирован-ного оста-точной намагни-ченностью, к амплитуде выходного сиг-на-ла, $К_{Н/ПС}$
10 (прототип)	10	2,0	0,3	0,20	0,15
65К	10	3,2	0,5	0,32	0,16
НП2	10	5,0	3,0	0,50	0,60
44НХТЮ	10	4,4	2,1	0,44	0,48
42НХТЮ	10	4,8	2,0	0,48	0,43

Полученные данные по коэффициентам $К_{ЭОС}$ и $К_{Н/ПС}$ для специальных сплавов не позволяют выбрать один из них в качестве материала волновода, так как несмотря на более высокий коэффициент $К_{ЭОС}$, коэффициент $К_{Н/ПС}$ также увеличен, по сравнению с данными по прототипу, что не позволит существенно улучшить выходной сигнал. По ключевому показателю $К_{Н/ПС}$ материал прототипа оказался значительно лучше специальных марок стали, предназначенных для магнитострикционных устройств.

На втором этапе исследования были выбраны и испытаны марки конструкционной стали, доступные на российском рынке, с наименьшим значением остаточной намагниченности по [6]. Выбранные марки стали и их характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Магнитные характеристики конструкционных сталей

Сталь	Коэрцитивная сила, Нс (А/м)	Остаточная намагниченность, Вс (Тл)
10 (прототип)	240	0,8
20	320	1,17
08Х17Т	400	0,41
12Х17	230	0,3
20Х13	1110	0,58

В соответствии с таблицей 3 наименьшей остаточной намагниченностью обладает сталь марки 12Х17. В таблице 4 приведены данные испытаний, а также рассчитанные значения $К_{ЭОС}$ и $К_{Н/ПС}$.

Таблица 4 - Результаты испытаний и расчета $К_{ЭОС}$ и $К_{Н/ПС}$ для сталей

Марка сплава	Ампли-туда вход-ного сигнала, Uвх, В	Ампли-туда вы-ход-ного сигнала, Uвых, В	Ампли-туда сигнала, сформи-рованного остаточ-ной намаг-ничен-ностью, Uш, В	Коэффи-циент эф-фек-тивности откли-ка системы, $К_{ЭОС}$	Соотношение амплитуды сиг-нала, сформирован-ного остаточной намагни-ченно-стью, к амплитуде выходного сиг-нала, $К_{Н/ПС}$
10	10	2,0	0,30	0,20	0,15
65К	10	3,2	0,50	0,32	0,16
НП2	10	5,0	3,00	0,50	0,60
44НХТЮ	10	4,4	2,1	0,44	0,48
42НХТЮ	10	4,8	2,0	0,48	0,43
12Х17	10	3,0	0,15	0,3	0,05

В соответствии с результатами испытаний волновод из стали ферритного класса марки 12Х17 по ГОСТ 5632-2014 имеет коэффициент эффективности отклика системы

($К_{ЭОС}$) выше, чем у прототипа, а коэффициент соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом ($К_{Н/ПС}$), существенно ниже, что позволят считать сталь с содержанием 16-18% хрома, остальное железо, с минимальным содержанием других примесей в составе, лучшим материалом волновода (из исследованных) для измерительного элемента в составе магнитострикционного датчика линейных перемещений, в работе которого реализован принцип продольных колебаний, с повышенной точностью измерений.

На фиг. 4 приведена осциллограмма выходного сигнала для испытуемого измерительного элемента с волноводом в виде стержня из стали марки 12Х17 по ГОСТ 5632-2014 (фиг. 4б) и осциллограмма прототипа (фиг. 4а).

Результатом применения нового материла волновода, отраженным на осциллограммах, является снижение влияния остаточной намагниченности на формирование полезного сигнала, которое происходит в процессе интерференции (сложения) двух типов акустических волн, образующихся в волноводе во время измерительного цикла. При этом один тип волн возникает единовременно по всей длине волновода в результате остаточной намагниченности последнего, а другой тип возникает в точке взаимодействия волновода с постоянным кольцевым магнитом и является полезным сигналом. Явление интерференции, возникающее при взаимодействии данных типов волн, вызывает искажение фронтов полезного сигнала, используемых в качестве точек отсчета для измерения времени (и как следствие, линейного расстояния). В результате неоднородности импульсов, вызываемых остаточной намагниченностью, как по амплитуде, так и по времени возникновения, компенсировать погрешность методом калибровки и введением поправочных коэффициентов практически невозможно. Таким образом, снижение погрешности реализуется при помощи снижения коэффициента соотношения амплитуды сигнала, сформированного остаточной намагниченностью, к амплитуде полезного сигнала, сформированного магнитом ($К_{Н/ПС}$), что практически достигается выбором материала волновода с наименьшей остаточной намагниченностью, при наибольшем значении коэффициента эффективности отклика системы ($К_{ЭОС}$).

При оценке влияние коэффициента $К_{Н/ПС}$ на точность измерений линейных перемещений установлено, что в случае использования сплавов из таблицы 1, погрешность измерения составляет от ±0,5 до ±1,0 мм, что подтверждается отсутствием на рынке датчиков линейных перемещений, работающих на основе принципа продольных колебаний, с погрешностью измерений линейных перемещений менее, чем ±1 мм. В случае применения стали 12Х17 по ГОСТ 5632-2014 погрешность уменьшается до значения ±0,1 мм.

Технический результат полезной модели состоит в существенном повышении точности измерений в магнитострикционных датчиках линейных перемещений, работающих на основе принципа продольных колебаний, с использованием заявляемого измерительного элемента, за счет подбора сплава для волновода на основе хромистой стали. При использовании данного сплава в качестве волновода измерительного элемента снижается погрешность измерений линейных перемещений по сравнению с прототипом, что позволяет создавать магнитострикционные датчики линейных перемещений на основе заявляемой полезной модели измерительного элемента с точностью измерений от ±0,1 мм, то есть в 10 раз точнее существующих устройств на основе запатентованных технологий. При этом используемый в качестве волновода стержень из стали 12Х17 по

ГОСТ 5632-2014 сочетает оптимальные механические, электрические, магнитные и эксплуатационные характеристики.

Источники информации

1. Патент RU 2 121 658 C1, кл. G 01 B 17/00, 1998.

2. Патент RU 2 222 786 C1, кл. G 01 F 23/28, 2004.

3. Патент RU 2 343 645 C2, кл. H 04 R 15/00, G 01 B 17/00, 2009.

4. Патент RU 2 452 918 C2, кл. G 01 B 17/00, 2012.

5. Патент RU 2 032 179 C1, кл. G 01 P 3/481, 1995.

6. Материалы для чувствительных элементов магнитострикционных преобразователей параметров движения / Э.А. Артемьев, В.Н. Прошкин // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: 2012 – Т. 2 – С. 258.

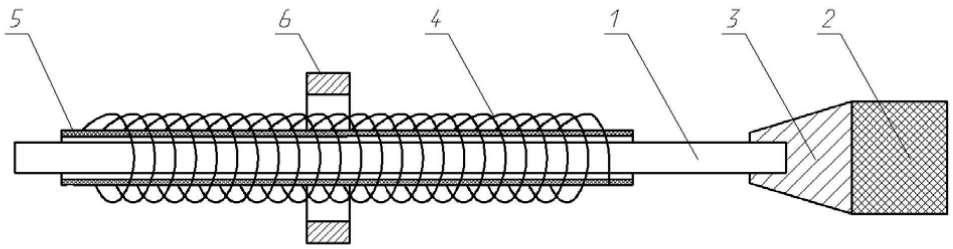
7. Артемьев Э.А. Материалы для звукопроводов волноводных трактов магнитострикционных преобразователей перемещений. // Уч. пос. – Астрахань: АГТУ, 1997. – 93 с.

8. Патент RU 134 631 U1, кл. G 01 B 17/00, 2013 - прототип.

(57) Формула полезной модели

Измерительный элемент для магнитострикционного датчика линейных перемещений, выполненный в виде катушки возбуждения, намотанной на диэлектрическую трубку, внутри которой размещен волновод, выполненный из хромистых сталей с содержанием хрома от 15 до 19%, остальное железо, с минимальным содержанием других примесей в составе, при этом на одном из концов волновода закреплена концентрирующая накладка и пьезоэлемент, образующие электроакустический преобразователь.

1



1 – Волновод;

2 – Пьезоэлемент;

3 – Концентрирующая накладка;

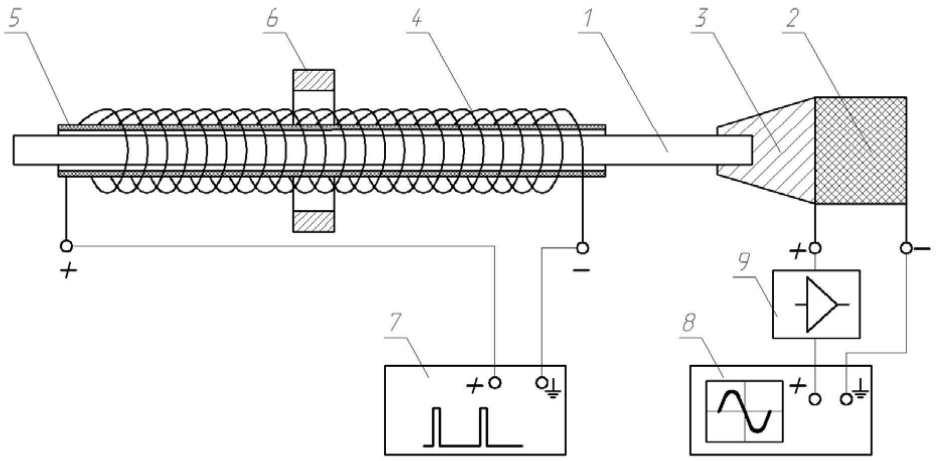
4 – Катушка возбуждения;

5 – Трубка полиэтиленовая;

6 – Магнит постоянный кольцевой (наружный диаметр 24 мм; внутренний диаметр 18 мм; высота 3 мм)

Фиг. 1

2



1 – Волновод;

2 – Пьезоэлемент;

3 – Концентрирующая накладка;

4 – Катушка возбуждения;

5 – Трубка полиэтиленовая;

6 – Магнит постоянный кольцевой (наружный диаметр 24 мм; внутренний диаметр 18 мм; высота 3 мм)

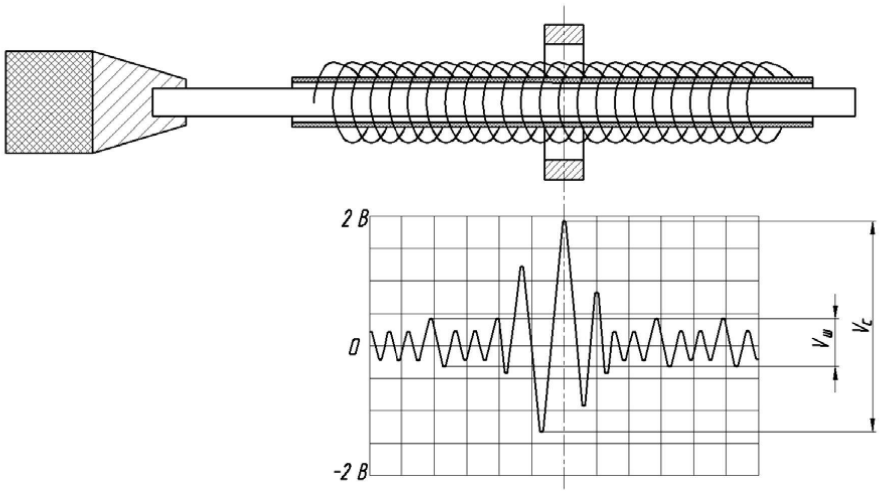
7 – Генератор постоянных импульсов (Г5-63);

8 – Осциллограф (Осциллограф Rohde & Schwarz RTC1002);

9 – Операционный усилитель с усилением сигнала 40:1.

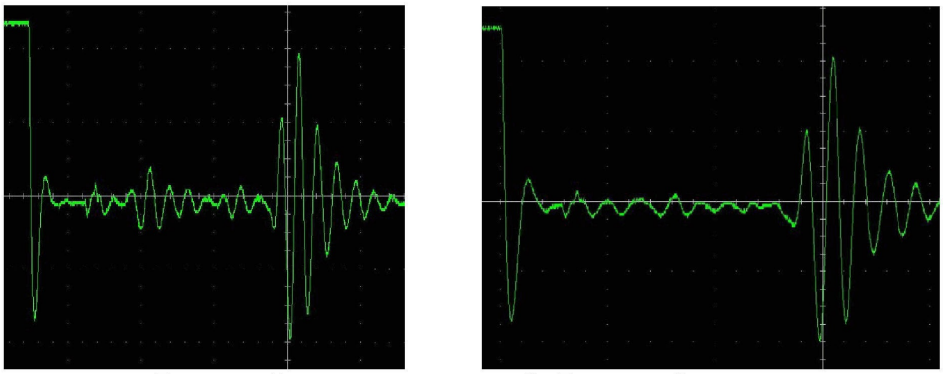
Фиг. 2

3



Фиг. 3

4



а - Выходной сигнал прототипа

б - Выходной сигнал хромистого сплава

Фиг. 4