



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01R 33/14 (2020.08)*

(21)(22) Заявка: 2020114025, 03.04.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.04.2020

Дата регистрации:  
17.02.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.04.2020

(45) Опубликовано: 17.02.2021 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,  
КНЦ СО РАН, отдел патентной и  
изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Беляев Борис Афанасьевич (RU),  
Клешнина Софья Андреевна (RU),  
Боев Никита Михайлович (RU),  
Изотов Андрей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Федеральный  
исследовательский центр "Красноярский  
научный центр Сибирского отделения  
Российской академии наук" (ФИЦ КНЦ СО  
РАН, КНЦ СО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: SU 386357 A1, 14.06.1973. SU 386355  
A1, 14.06.1973. RU 2026566 C1, 09.01.1995. US  
3358224 A, 12.12.1967. US 4816761 A1, 28.03.1989.

(54) **ФЕРРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК**

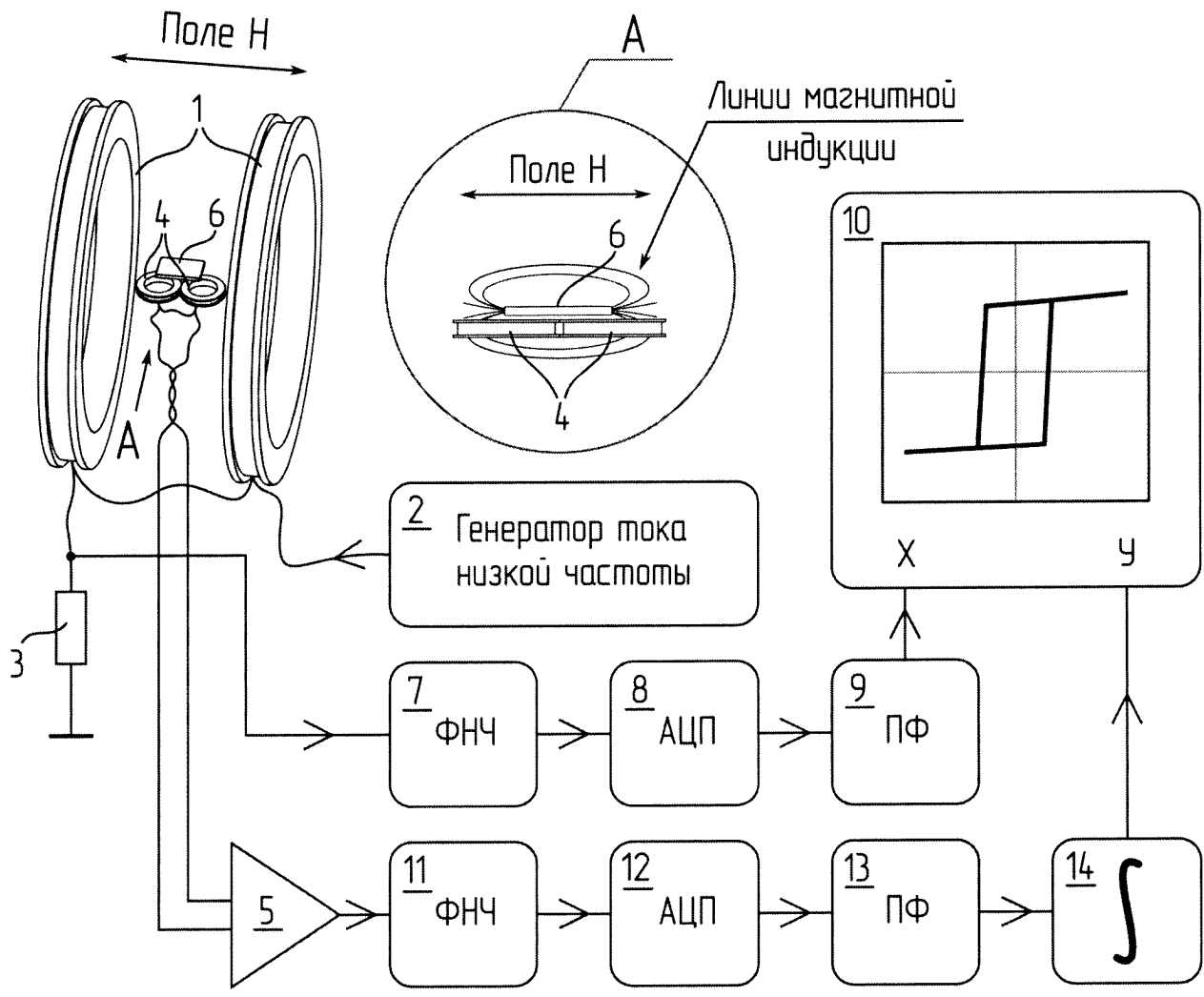
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для регистрации петель гистерезиса тонких ферромагнитных образцов. Феррометр для измерения характеристик тонких магнитных пленок содержит формирующие переменное магнитное поле развертки кольца Гельмгольца, подключенные через токоизмерительный резистор к выходу генератора тока низкой частоты. В центре колец Гельмгольца расположен исследуемый образец. Снимаемый сигнал с токоизмерительного резистора последовательно поступает на

аналоговый фильтр нижних частот, аналого-цифровой преобразователь, цифровой полосовой фильтр и затем на вход горизонтальной развертки осциллографа. Сигнал с катушек чувствительного элемента последовательно поступает на аналоговый фильтр нижних частот, аналого-цифровой преобразователь, цифровой полосовой фильтр, цифровой интегратор и затем на вход вертикальной развертки осциллографа. Технический результат – повышение чувствительности устройства. 6 ил.

RU  
2 743 340  
C1

RU  
2 743 340  
C1



Фиг. 1

RU 2743340 C1

RU 2743340 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 743 340** <sup>(13)</sup> **C1**(51) Int. Cl.  
*G01R 33/14* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC  
*G01R 33/14 (2020.08)*(21)(22) Application: **2020114025, 03.04.2020**(24) Effective date for property rights:  
**03.04.2020**Registration date:  
**17.02.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **03.04.2020**(45) Date of publication: **17.02.2021** Bull. № 5

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,  
KNTS SO RAN, otdel patentnoj i izobretatelskoj  
raboty**

(72) Inventor(s):

**Belyaev Boris Afanasevich (RU),  
Kleshnina Sofya Andreevna (RU),  
Boev Nikita Mikhajlovich (RU),  
Izotov Andrej Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe  
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj  
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj  
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii  
nauk" (FITS KNTS SO RAN, KNTS SO RAN)  
(RU)**(54) **FERROMETER FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF THIN MAGNETIC FILMS**

(57) Abstract:

FIELD: measurement.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and is intended for detection of hysteresis loops of thin ferromagnetic samples. Ferrometer for measuring characteristics of thin magnetic films contains a variable magnetic field of scanning the Helmholtz ring connected through a current-measuring resistor to the output of a low-frequency current generator. Analysed sample is placed in the centre of Helmholtz rings. Picked-up signal from the current-measuring resistor is connected in series to an analogue

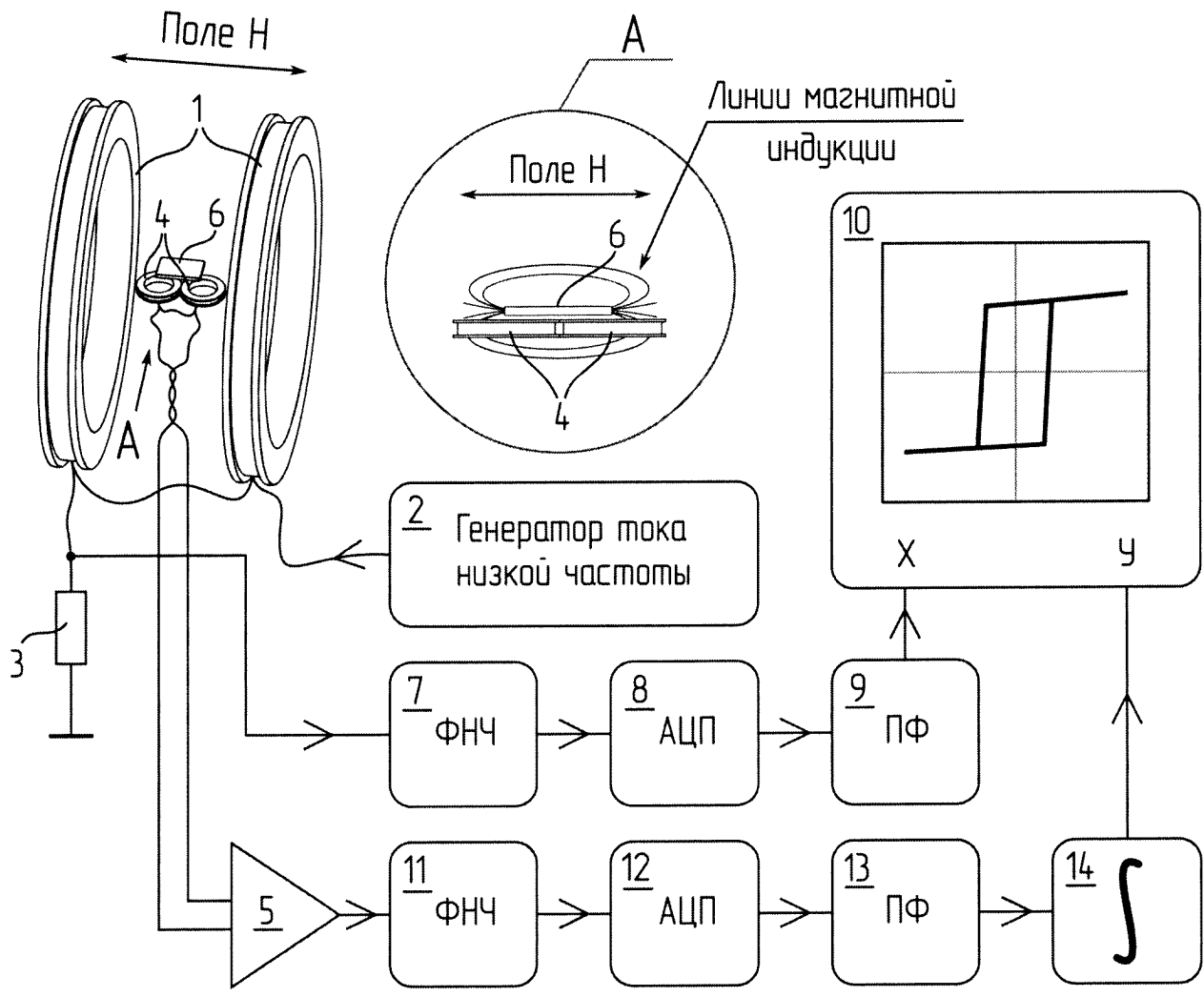
low-pass filter, an analogue-to-digital converter, a digital band-pass filter and then to an input of a horizontal sweep of the oscilloscope. Signal from coils of sensitive element is sequentially supplied to analogue low-pass filter, analogue-to-digital converter, digital band-pass filter, digital integrator and then to input of vertical scanning of oscillograph.

EFFECT: technical result is higher sensitivity of device.

1 cl, 6 dwg

**1 C 1**  
**0 4 0**  
**2 7 4 3 3 4 0**  
**R U**

**R U**  
**2 7 4 3 3 4 0**  
**C 1**



Фиг. 1

RU 2743340 C1

RU 2743340 C1

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для регистрации петель гистерезиса тонких ферромагнитных образцов.

Известен метод осциллографирования петель гистерезиса тонких магнитных пленок и устройство для его осуществления - петлескоп [Суку, Р. Магнитные тонкие пленки. - М.: Мир, 1967, стр. 205]. Петлескоп представляет собой устройство, с помощью которого наблюдают на экране осциллографа зависимость изменения магнитного момента тонкопленочного образца от приложенного к нему магнитного поля. Устройство содержит продольно намагничивающие исследуемый тонкопленочный образец катушки, поперечно намагничивающие катушки, катушки компенсации вертикальной составляющей магнитного поля Земли, измерительную катушку - чувствительный элемент и компенсирующую катушку. Намагничивающие катушки охватывают исследуемый образец, а измерительная катушка находится непосредственно вблизи исследуемого тонкопленочного образца. Компенсирующую и измерительную катушки размещают симметрично относительно центра установки и соединяют их последовательно навстречу друг другу. Напряжение от генератора звуковых сигналов подается через усилитель мощности на намагничивающие катушки, последовательно с которыми включено токоизмерительное сопротивление. Петлю гистерезиса наблюдают на экране осциллографа. Напряжение, снимаемое с токоизмерительного сопротивления, подается на горизонтальную развертку осциллографа. Сигнал от включенных последовательно компенсирующей и измерительной катушек поступает на интегратор, выход которого подключен к вертикальной развертке осциллографа. Горизонтальная шкала осциллографа калибруется в единицах измерения намагничивающего поля, а вертикальная шкала калибруется по «эталонному» образцу с известным значением магнитного момента. Магнитные характеристики исследуемого тонкопленочного образца определяются по форме петли гистерезиса.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является устройство для измерения магнитных свойств тонких ферромагнитных образцов [Авт. свидетельство СССР, №386357, МПК G01R 33/14, опубл. 14.06.1973, бюл. №26 (прототип)]. Устройство содержит источник переменного магнитного поля, исследуемый образец и измерительную обмотку. Исследуемый образец размещается в области однородного переменного магнитного поля в непосредственной близости от измерительной обмотки. Измерительная обмотка подключена через предварительный усилитель и интегратор к каналу вертикального отклонения осциллографа. Канал горизонтального отклонения осциллографа связан с источником переменного магнитного поля. В процессе работы устройства переменное магнитное поле перемагничивает образец, в результате чего в измерительной обмотке наводится э.д.с., являющаяся сигналом перемагничивания, который усиливается и интегрируется соответствующими блоками. С выхода интегратора сигнал, пропорциональный магнитному потоку образца, поступает на вход вертикального отклонения осциллографа. На вход горизонтального отклонения осциллографа подается сигнал, пропорциональный магнитному полю источника. В результате на экране осциллографа наблюдают петлю гистерезиса исследуемого образца.

Общим недостатком известного устройства и устройства-прототипа является низкая чувствительность, что обусловлено влиянием низкочастотных шумов и внешних помех. Техническим результатом заявленного решения является повышение чувствительности устройства.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в феррометре для измерения характеристик тонких магнитных пленок, содержащем источник переменного

магнитного поля, катушки чувствительного элемента, новым является то, что переменное магнитное поле создается кольцами Гельмгольца, подключенными через токоизмерительный резистор к выходу генератора тока низкой частоты, а выход токоизмерительного резистора подключен последовательно к аналоговому фильтру нижних частот, аналого-цифровому преобразователю, цифровому полосовому фильтру и затем ко входу горизонтальной развертки цифрового осциллографа, а выход катушек чувствительного элемента последовательно подключен к аналоговому дифференциальному усилителю, аналоговому фильтру нижних частот, аналого-цифровому преобразователю, цифровому полосовому фильтру, цифровому интегратору и затем ко входу вертикальной развертки цифрового осциллографа, при этом катушки чувствительного элемента включены встречно и расположены в одной плоскости в центре измерительной системы с возможностью точной регулировки их углового положения с помощью регулировочных винтов, а исследуемый образец размещают сверху над катушками чувствительного элемента.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием дополнительных блоков аналоговой низкочастотной фильтрации сигнала, аналого-цифрового преобразования, цифровой полосовой фильтрации, цифрового интегратора и цифрового осциллографа. Существенным отличием является то, что устройство содержит механизм точной регулировки углового положения катушек чувствительных элементов. Указанные отличия позволяют значительно снизить влияние шумов и внешних помех на работу устройства и, как следствие, повысить его чувствительность.

Таким образом, перечисленные выше отличительные от прототипа признаки позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Данное изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 изображена функциональная схема феррометра для измерения характеристик тонких магнитных пленок. На фиг. 2 показан внешний вид измерительной части устройства. На фиг. 3 показан чертеж измерительной части устройства с разнесенными частями. На фиг. 4 показан чертеж области чувствительного элемента устройства с разнесенными частями. На фиг. 5 показаны экспериментально зафиксированные осциллограммы сигналов в устройстве. На фиг. 6 показаны полученные экспериментально дифференциальная кривая и петля гистерезиса для образца тонкой ферромагнитной пленки пермаллоя.

Феррометр для измерения характеристик тонких магнитных пленок содержит (фиг. 1) кольца Гельмгольца (1), подключенные к выходу генератора тока низкой частоты (2) последовательно с токоизмерительным резистором (3). В центре колец Гельмгольца (1) расположены в одной плоскости катушки чувствительного элемента устройства (4), подключенные ко входу дифференциального усилителя (5), причем катушки (4) включены встречно (восьмеркой). Сверху над катушками (4) размещают исследуемый образец тонкой магнитной пленки (6) таким образом, чтобы края образца находились внутри катушек чувствительного элемента (4). Токоизмерительный резистор (3) подключен ко входу аналогового фильтра нижних частот (ФНЧ) (7), выход которого подключен ко входу аналого-цифрового преобразователя (8). Выход аналого-цифрового преобразователя (8) подключен к цифровому полосовому фильтру (ПФ) (9), который, в свою очередь, подключен своим выходом ко входу горизонтальной развертки

цифрового осциллографа (10). Выход дифференциального усилителя (5) подключен к аналоговому фильтру нижних частот (11), выход которого подключен к аналого-цифровому преобразователю (12). Выход аналого-цифрового преобразователя (12) подключен к цифровому полосовому фильтру (13), который, в свою очередь, подключен своим выходом к цифровому интегратору (14). Выход цифрового интегратора (14) подключен ко входу вертикальной развертки цифрового осциллографа (10). При необходимости цифровой интегратор (14) может быть исключен из цепи (шунтирован) для наблюдения на экране цифрового осциллографа (10) дифференциальной кривой перемагничивания исследуемого образца.

Исследуемый образец тонкой магнитной пленки (6) размещают (фиг. 2) на вращающемся столике (15), который вместе с кольцами Гельмгольца (1) зафиксирован на стойке (16), установленной на подставке (17). В верхних частях колец Гельмгольца (1) закреплены гайка (18) с левой резьбой и гайка (19) с правой резьбой. В гайки (18) и (19) вкручен регулировочный винт (20), имеющий соответственно с одной стороны левую резьбу, с другой - правую.

Под вращающимся столиком (15) на печатных платах (21) размещены катушки чувствительного элемента (4) устройства (фиг. 3). Печатные платы (21) закрепляются (фиг. 4) на основании (22) с помощью регулировочных винтов (23) через резиновые колечки (24). Основание (22) имеет возможность вращения вокруг оси и может быть зафиксировано с помощью винтов (25).

Устройство работает следующим образом. Сигнал от генератора тока низкой частоты (2) поступает (фиг. 1) на кольца Гельмгольца (1), создающие в области магнитной пленки (6) магнитное поле  $H$ . Последовательно с кольцами Гельмгольца (1) включен токоизмерительный резистор (3), напряжение на котором прямо пропорционально протекающему через кольца Гельмгольца (1) току  $i$ , соответственно, магнитному полю  $H$ . При этом катушки чувствительного элемента (4) расположены в одной плоскости и отрегулированы таким образом, что магнитное поле  $H$  направлено строго в их плоскости  $i$ , как следствие, на входе дифференциального усилителя (5), при отсутствии исследуемого образца, отсутствует помеха, создаваемая переменным магнитным полем развертки. За счет этого достигается повышение чувствительности устройства, и появляется возможность расширения диапазона развертки магнитного поля  $H$ . Регулировка положения катушек (4) осуществляется с помощью регулировочных винтов (23) (фиг. 4) в процессе настройки феррометра. Дополнительно при работе устройства возможна компенсация наводимой в катушках чувствительного элемента (4) помехи с помощью регулировочного винта (20), изменяющего угол между кольцами Гельмгольца (1). Магнитное поле  $H$ , создаваемое кольцами Гельмгольца (1), вызывает перемагничивание исследуемого образца тонкой магнитной пленки (6). Создаваемое пленкой (6) магнитное поле рассеяния имеет максимум абсолютного значения вертикальной составляющей в области катушек чувствительного элемента (4) (фиг. 1), причем встречное включение катушек (4) позволяет суммировать противофазный полезный сигнал. Напряжение с токоизмерительного резистора (3) поступает через аналоговый фильтр нижних частот (7) на вход аналого-цифрового преобразователя (8), цифровой сигнал с выхода которого через полосовой фильтр (9) подается на вход горизонтальной развертки цифрового осциллографа (10). Выходное напряжение дифференциального усилителя (5) через аналоговый фильтр нижних частот (11) поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (12), цифровой выходной сигнал с которого через цифровой полосовой фильтр (13) поступает на цифровой интегратор (14). Цифровой сигнал с выхода цифрового интегратора (14) подается на вход

вертикальной развертки цифрового осциллографа (10). Реализация интегратора в цифровом виде позволяет избавиться от недостатков, присущих аналоговым интеграторам. При необходимости параметры блоков цифровой обработки сигналов могут изменяться в процессе работы устройства для обеспечения его максимальной чувствительности. Например, нижняя граница полосы частот цифровых полосовых фильтров может опускаться до нуля герц при проведении измерений многослойных образцов с магнито жестким слоем, у которых петля гистерезиса имеет постоянное смещение относительно нуля координат. Верхняя граница частот цифровых полосовых фильтров для образцов с высоким коэффициентом прямоугольности петли гистерезиса должна быть выше 10 кГц, а для образцов с низким коэффициентом прямоугольности верхняя частотная граница может быть снижена с целью минимизации интегральных шумов в полосе частот измерительного тракта.

На фиг. 5 показаны экспериментально измеренные осциллограммы сигналов феррометра для измерения характеристик тонких магнитных пленок. На верхней осциллограмме показан сигнал на входе цифрового интегратора (14), этот сигнал пропорционален сигналу с катушек чувствительного элемента устройства (4). Далее приведен выходной сигнал цифрового интегратора (14), подаваемый на вход вертикальной развертки цифрового осциллографа (10). Нижняя осциллограмма отображает сигнал, пропорциональный величине магнитного поля  $H$ , создаваемого кольцами Гельмгольца (1). Этот сигнал подается на вход горизонтальной развертки цифрового осциллографа (10).

На фиг. 6 показаны экспериментально измеренные дифференциальная кривая и петля гистерезиса для тонкой магнитной пленки размерами 4×9 мм, состоящей из двух слоев по 800 Å состава  $Ni_{80}Fe_{20}$ .

Экспериментальные исследования (фиг. 6) заявляемого феррометра для измерения характеристик тонких магнитных пленок показали, что, по сравнению с устройством аналогичного назначения (прототип), заявляемое устройство обеспечивает значительно более высокую чувствительность.

Феррометр может быть использован для оперативной диагностики параметров тонких магнитных пленок. В частности, по измеренным зависимостям магнитного момента образцов от величины и направления приложенного магнитного поля в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения на персональном компьютере могут быть определены угловые зависимости основных магнитных характеристик тонкопленочных образцов, например: магнитного момента, намагниченности насыщения; остаточного магнитного момента; коэрцитивной силы; поля анизотропии.

#### (57) Формула изобретения

Феррометр для измерения характеристик тонких магнитных пленок, содержащий источник переменного магнитного поля, катушки чувствительного элемента, отличающийся тем, что переменное магнитное поле создается кольцами Гельмгольца, подключенными через токоизмерительный резистор к выходу генератора тока низкой частоты, а выход токоизмерительного резистора подключен последовательно к аналоговому фильтру нижних частот, аналого-цифровому преобразователю, цифровому полосовому фильтру и затем ко входу горизонтальной развертки цифрового осциллографа, а выход катушек чувствительного элемента последовательно подключен к аналоговому дифференциальному усилителю, аналоговому фильтру нижних частот, аналого-цифровому преобразователю, цифровому полосовому фильтру, цифровому



интегратору и затем ко входу вертикальной развертки цифрового осциллографа, при этом катушки чувствительного элемента включены встречно и расположены в одной плоскости в центре измерительной системы с возможностью точной регулировки их углового положения с помощью регулировочных винтов, а исследуемый образец  
5 размещают сверху над катушками чувствительного элемента.

10

15

20

25

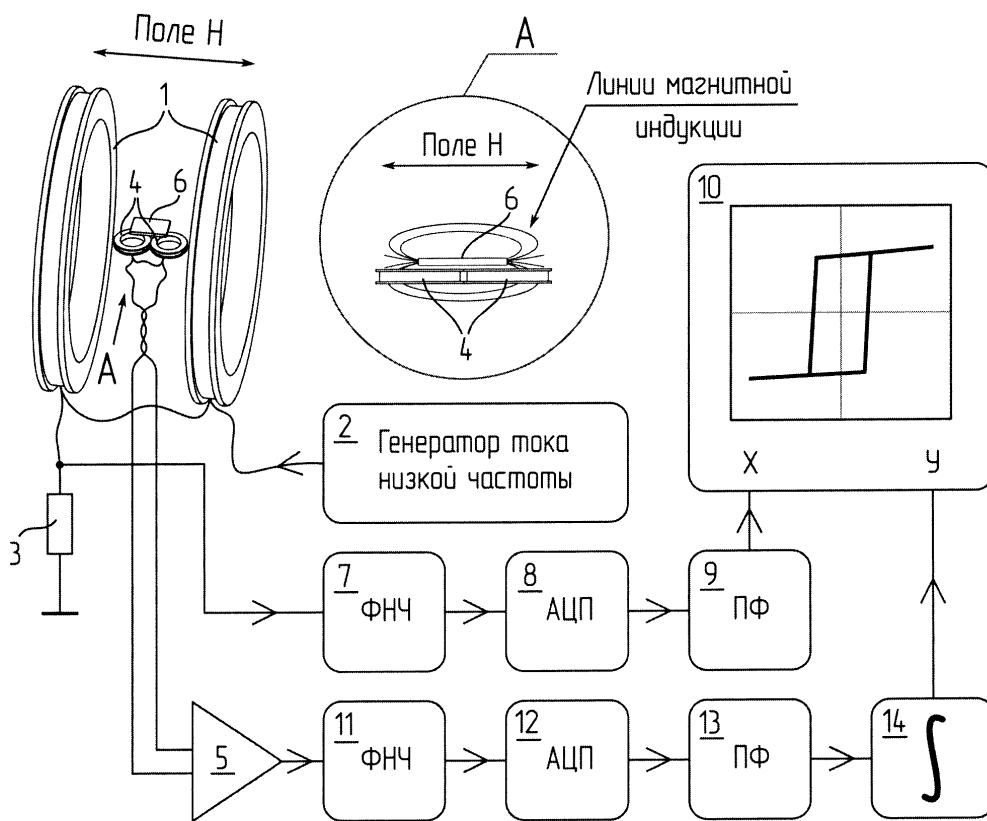
30

35

40

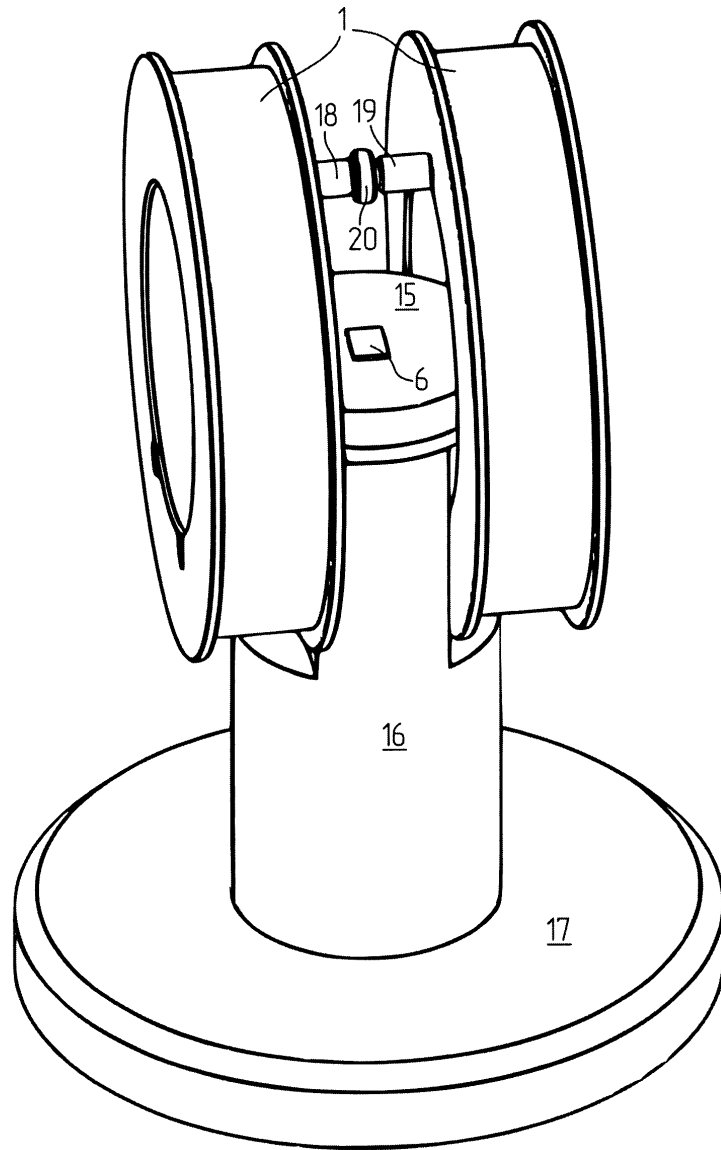
45

1

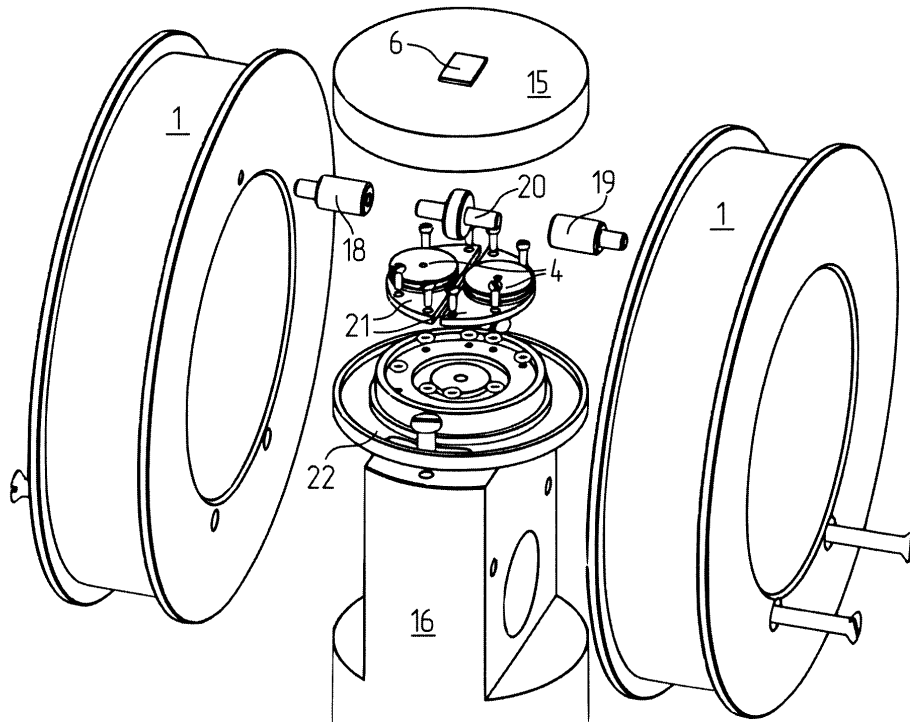


Фиг. 1

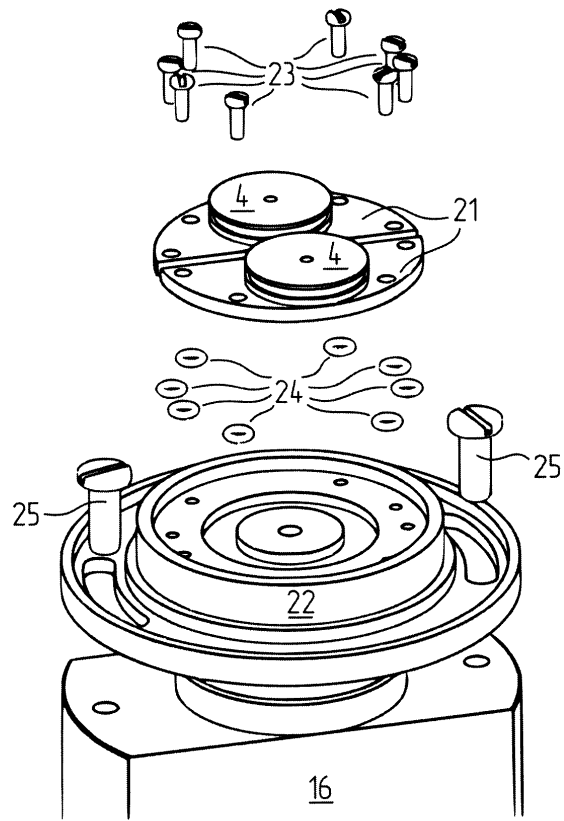
2



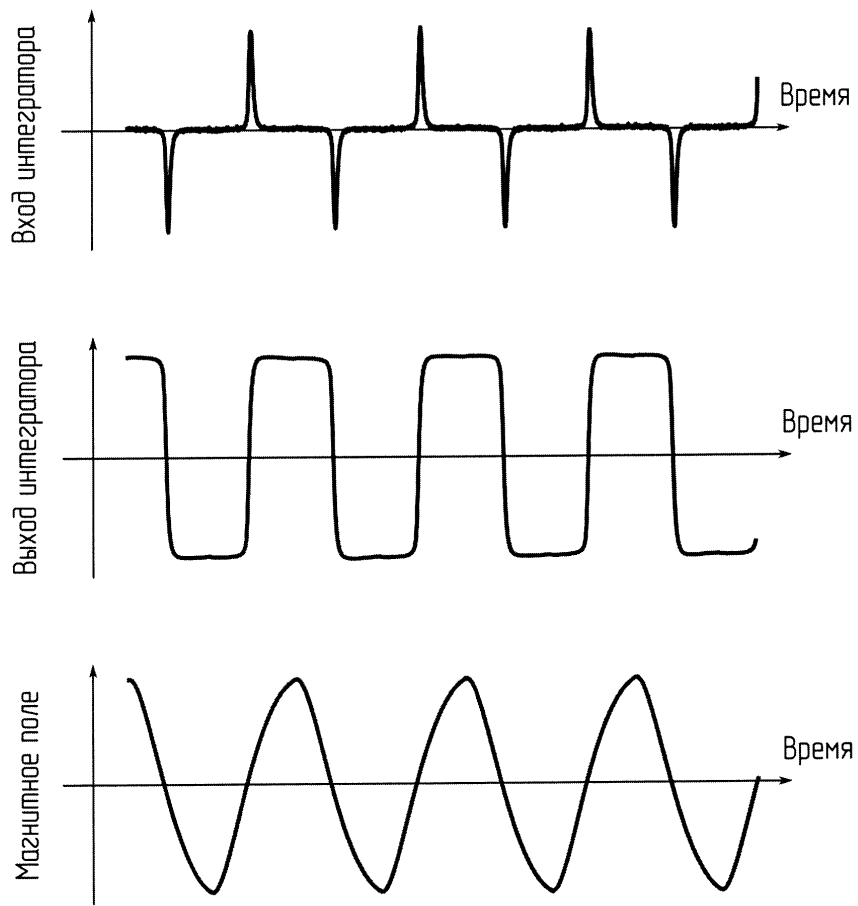
*Фиг. 2*



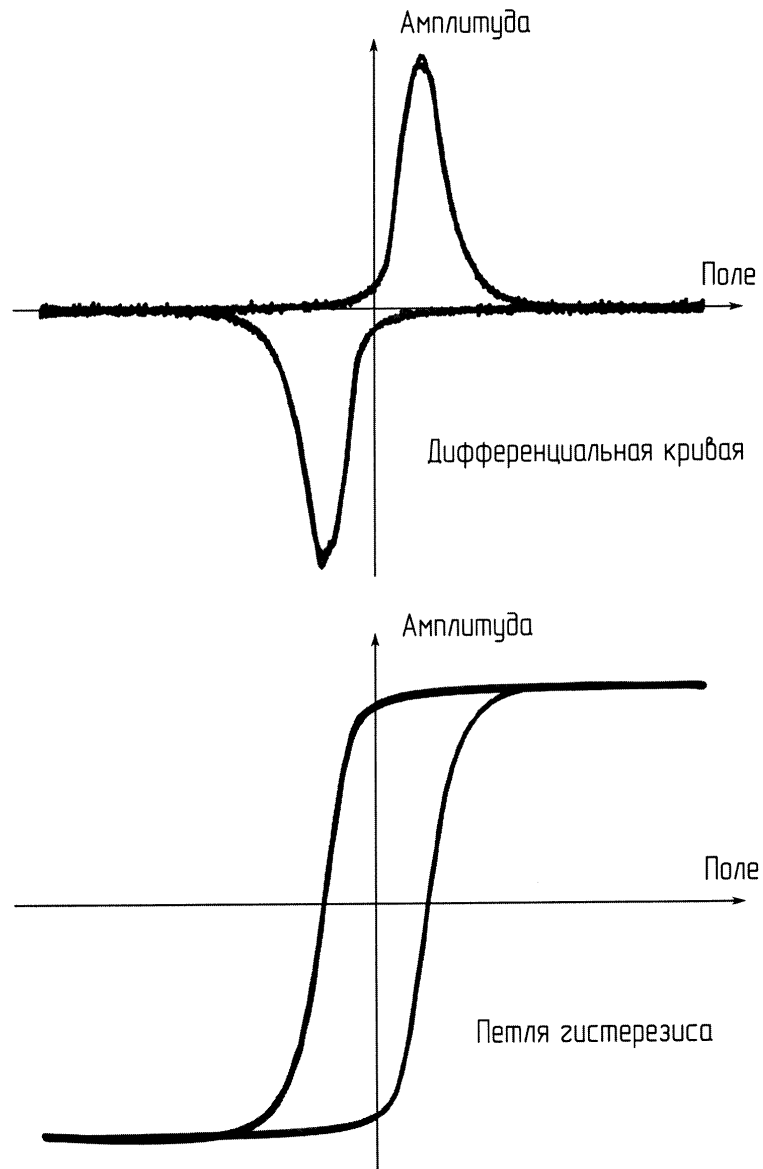
*Фиг. 3*



*Фиг. 4*



*Фиг. 5*



Фиг. 6