



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 33/14 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022132089, 08.12.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.12.2022

Дата регистрации:
03.05.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.12.2022

(45) Опубликовано: 03.05.2023 Бюл. № 13

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,
ФИЦ КНЦ СО РАН

(72) Автор(ы):

Клешнина Софья Андреевна (RU),
Подшивалов Иван Валерьевич (RU),
Боев Никита Михайлович (RU),
Горчаковский Александр Антонович (RU),
Соловьев Платон Николаевич (RU),
Изотов Андрей Викторович (RU),
Бурмитских Антон Владимирович (RU),
Крёков Сергей Дмитриевич (RU),
Грушевский Евгений Олегович (RU),
Негодеева Ирина Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2743340 C1, 17.02.2021. RU
2737677 C1, 02.12.2020. RU 2737030 C1,
24.11.2020. RU 2737677 C1, 02.12.2020. DE
1807810 A1, 26.06.1969. US 4940938 A1,
10.07.1990. US 3375440, 26.03.1968.

(54) Феррометр для тонких магнитных пленок

(57) Реферат:

Феррометр для тонких магнитных пленок предназначен для измерения и построения петель гистерезиса тонкопленочных ферромагнитных образцов. Сущность: феррометр содержит магнитную систему, предназначенную для формирования перемещающего поля, подключенную через датчик тока к низкочастотному генератору, измерительные катушки чувствительного элемента, включенные встречно-последовательно, расположенные горизонтально в центре магнитной системы и нагруженные на вход дифференциального усилителя, аналого-цифровые преобразователи, цифровой интегратор, цифровой осциллограф.

Оси измерительных катушек чувствительного элемента ортогональны осям катушек магнитной системы. Феррометр дополнительно содержит аналоговый сумматор, первый вход которого соединен с выходом дифференциального усилителя, и компенсационные катушки, расположенные соосно с катушками магнитной системы и нагруженные на два переменных резистора. Контакт движка первого переменного резистора соединен с дополнительным усилителем, нагруженным на второй вход аналогового сумматора. Контакт движка второго переменного резистора соединен с другим дополнительным усилителем, выход которого

соединен с входом блока дифференцирования сигнала, выход которого подключен к третьему входу аналогового сумматора. Феррометр содержит также детектор перехода через ноль, вход которого подключен к сети промышленной частоты, а выход через первый блок цифровой задержки - к входу цифрового блока памяти, имеющего также вход записи сигнала помехи. Выход цифрового сумматора подключен к блоку цифрового интегрирования, выход которого подключен к каналу вертикальной развертки «Y» цифрового осциллографа. На вход канала

горизонтальной развертки «X» осциллографа подключен выход второго блока цифровой задержки, вход которого соединен с выходом второго аналого-цифрового преобразователя, вход которого нагружен на датчик тока. Выход аналогового сумматора через первый аналого-цифровой преобразователь подключен к входу «+» цифрового сумматора и к входу цифрового блока памяти, выход которого подключен к входу «-» цифрового сумматора. Технический результат: повышение чувствительности. 3 ил.

RU 2795378 C1

RU 2795378 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 33/14 (2023.02)

(21)(22) Application: **2022132089, 08.12.2022**

(24) Effective date for property rights:
08.12.2022

Registration date:
03.05.2023

Priority:

(22) Date of filing: **08.12.2022**

(45) Date of publication: **03.05.2023** Bull. № 13

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,
FITS KNTS SO RAN**

(72) Inventor(s):

**Kleshnina Sofia Andreevna (RU),
Podshivalov Ivan Valerevich (RU),
Boev Nikita Mikhailovich (RU),
Gorchakovskii Aleksandr Antonovich (RU),
Solovev Platon Nikolaevich (RU),
Izotov Andrei Viktorovich (RU),
Burmitskikh Anton Vladimirovich (RU),
Krekov Sergei Dmitrievich (RU),
Grushevskii Evgenii Olegovich (RU),
Negodeeva Irina Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
nauchnoe uchrezhdenie «Federalnyi
issledovatel'skii tsentr «Krasnoiarskii nauchnyi
tsentr Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii
nauk» (RU)**

(54) **FERROMETER FOR THIN MAGNETIC FILMS**

(57) Abstract:

FIELD: electronics.

SUBSTANCE: ferrometer for thin magnetic films is designed to measure and build hysteresis loops of thin-film ferromagnetic samples. The ferrometer contains a magnetic system designed to form a switching field connected through a current sensor to a low-frequency generator, measuring coils of the sensitive element connected in series opposition, located horizontally in the center of the magnetic system and loaded at the input of a differential amplifier, A/D converters, digital integrator, digital oscilloscope. The axes of the measuring coils of the sensitive element are orthogonal to the axes of the coils of the magnetic system. The ferrometer additionally contains an analog adder, the first input of which is connected to the output of a differential amplifier, and compensation coils located coaxially with the coils of the magnetic system and loaded by two variable resistors. The slider contact of the first variable resistor is connected to an additional amplifier loaded on the second input of the analog

adder. The slider contact of the second variable resistor is connected to another additional amplifier, the output of which is connected to the input of the signal differentiation unit, the output of which is connected to the third input of the analog adder. The ferrometer also contains a zero-crossing detector, the input of which is connected to the industrial frequency network, and the output through the first digital delay unit is connected to the input of the digital memory unit, which also has an interference signal recording input. The output of the digital adder is connected to the digital integration unit, the output of which is connected to the vertical scan channel "Y" of the digital oscilloscope. The output of the second digital delay unit is connected to the input of the horizontal scan channel "X" of the oscilloscope, the input of which is connected to the output of the second A/D converter, the input of which is loaded on the current sensor. The output of the analog adder through the first A/D converter is connected to the "+" input of the digital adder and to the input of the

digital memory unit, the output of which is connected to the “-” input of the digital adder.

EFFECT: increased sensitivity.
1 cl, 3 dwg

R U 2 7 9 5 3 7 8 C 1

R U 2 7 9 5 3 7 8 C 1

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

Известно устройство для регистрации петель гистерезиса тонких магнитных пленок [Crittenden E.C., Smith C.S., and Olsen L.O. B-H Meter for Samples of Small Cross-Sectional Area // Rev. Sci. Instrum. 1946. Vol. 17. №10. P. 372-374.] и [Crittenden E.C., Hudimac A.A., and Strough R.I. Magnetization Hysteresis Loop Tracer for Long Specimens of Extremely Small Cross Section // Rev. Sci. Instrum. 1951. Vol. 22. №12. P. 872-877]. Прибор содержит перемагничивающие катушки, включенные последовательно и подключенные через амперметр и токоизмерительное сопротивление к автотрансформатору.

Автотрансформатор запитан от сети переменного тока напряжением 110 В и частотой 60 Гц. Внутри перемагничивающих катушек, соосно им расположены измерительные катушки, включенные встречно-последовательно. Внутри одной из измерительных катушек помещается исследуемый образец тонкой магнитной пленки. В силу того, что измерительные катушки не могут быть изготовлены абсолютно идентично и поле, создаваемое перемагничивающими катушками, не может быть идеально однородным, возникает необходимость в дополнительной компенсации сигнала помехи. Эта задача решена с помощью вариометра, состоящего из двух добавочных компенсационных катушек, коэффициент связи между которыми может плавно изменяться путем их взаимного вращения. Другим способом компенсации сигнала помехи является перемещение и вращение второй измерительной катушки. До помещения исследуемого образца тонкой магнитной пленки в первую измерительную катушку, вторую катушку перемещают и вращают внутри перемагничивающей системы в области неоднородного поля до тех пор, пока наблюдаемая на экране осциллографа линия не достигнет минимальной толщины. Сигнал с выхода измерительных катушек поступает на вход интегратора и усиливается, после чего подается на вход вертикальной развертки осциллографа. На вход горизонтальной развертки осциллографа подается сигнал с токоизмерительного сопротивления. Таким образом, на экране осциллографа наблюдают петлю гистерезиса исследуемого образца тонкой магнитной пленки.

Недостатком известного устройства является низкая чувствительность, что обусловлено отсутствием возможности компенсации сигнала квадратурной помехи, которая вызвана вторичными магнитными полями, создаваемыми токами Фуко в проводящих элементах конструкции измерительной системы.

Известен метод осциллографирования петель гистерезиса тонких магнитных пленок и устройство для его осуществления - петлескоп [Суку Р. Магнитные тонкие пленки / Пер. с англ. под ред. Р.В. Телеснина. Изд-во «Мир», Москва, 1967. С. 205-213]. Устройство содержит перемагничивающие катушки, подключенные последовательно через усилитель мощности и измерительное сопротивление к генератору звуковой частоты. Внутри перемагничивающих катушек расположены компенсирующая катушка и катушка образца (съёмная катушка), включенные встречно-последовательно и нагруженные на интегратор с усилителем. Сигнал для горизонтальной развертки осциллографа (или иного регистратора) снимается с безындукционного токоизмерительного сопротивления, включенного последовательно с перемагничивающими катушками. Этот сигнал прямо пропорционален величине перемагничивающего поля. На вертикальную развертку осциллографа сигнал подается с выхода интегратора. Исследуемый образец размещается внутри перемагничивающих катушек, вблизи катушки образца. Для компенсации сигнала помехи, создаваемого в катушке образца даже в отсутствие пленки, предусмотрена компенсационная катушка, включенная встречно-последовательно с катушкой образца. Подбором положения

компенсационной катушки при отсутствии образца, удается частично скомпенсировать сигнал помехи. В конструкции предусмотрен и другой способ компенсации помехи - путем введения в область измерений немагнитного проводящего бруска, например, из алюминия. В проводящем бруске наводятся токи Фуко, создающие вторичное магнитное поле. Положение и ориентацию бруска подбирают таким образом, чтобы минимизировать сигнал помехи на экране осциллографа. Сигнал с выхода встречно-последовательно соединенных компенсирующей катушки и катушки образца подается на вход интегратора и усилителя, а затем поступает на вход вертикальной развертки осциллографа. При необходимости ключ, параллельно включенный интегрирующей цепи, может быть замкнут, в этом случае на экране осциллографа напрямую наблюдают сигнал с чувствительного элемента петлескопа (дифференциальную кривую).

Недостатком известного устройства является низкая чувствительность, что вызвано сложностью компенсации сигнала квадратурной помехи. Изменением положения и ориентации компенсационной катушки добиваются компенсации сигнала синфазной помехи. Компенсация сигнала квадратурной помехи возможна только путем перемещения проводящего бруска. Однако этот способ является грубым и приводит к значительному ухудшению однородности перемагничивающего поля в области размещения исследуемого образца тонкой магнитной пленки.

Известна установка для контроля параметров петель гистерезиса отдельных тонких магнитных пленок и массивов тонкопленочных элементов, предназначенных для хранения данных в электронных вычислительных устройствах [Патент США, №3375440, опубл. 26.03.1968]. В известной установке исследуемый образец размещается внутри съемной катушки, в непосредственной близости от которой располагается компенсирующая катушка. Съемная и компенсирующая катушки расположены в центре перемагничивающей катушки и включены встречно-последовательно. В свою очередь перемагничивающая катушка расположена внутри большой компенсационной катушки, предназначенной для компенсации геомагнитного поля. Поскольку съемная и компенсационные катушки не могут быть сделаны абсолютно идентично и формируемое перемагничивающей катушкой поле не идеально однородно, а также в силу ряда других причин, полностью скомпенсировать сигнал помехи простым встречным включением катушек не удастся. Поэтому в схему введено дополнительное компенсирующее устройство, вычитающее из сигнала с катушек сигнал, пропорциональный величине перемагничивающего поля (квадратурная помеха), а также выполняющее балансировку съемной и компенсирующей катушек (синфазная помеха). Для реализации балансировочной схемы внутри компенсирующего устройства со съемной и компенсирующей катушек дополнительно снимается сигнал со средней точки. Компенсация сигнала помехи осуществляется в отсутствие образца с помощью двух переменных резисторов, регулирующих степень компенсации синфазной и квадратурной помех. При этом подавление синфазной помехи позволяет установить линию на экране осциллографа горизонтально, а подавление квадратурной помехи дает возможность компенсировать уширение линии. Сигнал частотой 1 кГц с выхода генератора поступает на усилитель мощности, а затем на перемагничивающую катушку, последовательно с которой включено токоизмерительное сопротивление. Напряжение с токоизмерительного сопротивления параллельно подается на схему компенсации помехи и фазовращатель, нагруженный на вход горизонтальной развертки осциллографа. Фазовращатель необходим для компенсации задержки сигнала в интегрирующем усилителе. Сигнал с выхода компенсирующего устройства поступает на интегрирующий усилитель, выход которого нагружен на вход вертикальной развертки

осциллографа. Таким образом, на горизонтальной оси осциллографа отображается сигнал, пропорциональный величине перемагничивающего поля, а на вертикальной оси - сигнал, пропорциональный изменению величины магнитного потока через исследуемый образец.

5 Недостатком известной конструкции является низкая чувствительность, что вызвано невозможностью компенсации помех, несинхронных с частотой перемагничивающего поля, например, помех на промышленной частоте 50/60 Гц.

Известен измеритель петель гистерезиса тонких магнитных пленок [Oguey H.J. Sensitive Flux Measurement of Thin Magnetic Films // Rev. Sci. Instrum. 1960. Vol. 31. №7. P. 701-709].
10 Устройство содержит генератор низких частот, нагруженный на мостовой усилитель. Два выхода мостового усилителя нагружены каждый на отдельное перемагничивающее кольцо Гельмгольца через конденсаторы. Вторые выводы колец соединены вместе через первичную обмотку трансформатора тока, средняя точка которой заземлена. Вторичная обмотка трансформатора тока нагружена на сопротивление и параллельно
15 на вход горизонтальной развертки осциллографа. Таким образом достигается симметричная схема питания колец Гельмгольца, что позволяет обеспечить симметричные условия возникновения паразитных емкостных связей перемагничивающих катушек с другими катушками. Внутри перемагничивающих колец располагается съемная катушка, параметры которой рассчитаны исходя из требований
20 получения оптимального отношения сигнал/шум. Компенсирующая катушка выполнена в виде кольца большего диаметра и, соответственно, с меньшим количеством витков, причем съемная катушка располагается точно в центре компенсирующей. Поскольку диаметр компенсирующей катушки значительно больше диаметра съемной катушки, только малая часть магнитного потока пленки пронизывает ее витки. Компенсирующая
25 катушка соединена встречно-параллельно со съемной катушкой. Последовательно через сопротивление катушки нагружены на вход интегрирующего усилителя. Для обеспечения высокой чувствительности измерительная система включает дополнительно две вспомогательные компенсационные катушки. Катушки включены встречно через
30 два переменных резистора, выходы движков которых подключены к входу интегрирующего усилителя через сопротивление у первого переменного резистора, а у второго через емкость. К полезному сигналу прибавляют сигналы первой и второй производных от поля по времени, причем амплитуды и знаки сигналов настраиваются пользователем с помощью переменных резисторов. Такое построение схемы
35 компенсации объясняется следующими причинами. Формируемое на съемных катушках напряжение помехи пропорционально первой производной от поля (синфазная помеха), которое может быть скомпенсировано сигналом, снимаемым с дополнительных компенсационных колец. Однако на практике наблюдается еще одна составляющая помехи, сдвинутая на 90° относительно первой (квадратурная помеха). Это составляющая вызвана возбуждением токов Фуко в металлических деталях
40 измерительной системы, в том числе в самих катушках. Токи Фуко пропорциональны первой производной от поля, а формируемое ими напряжение пропорционально второй производной. Таким образом, на входе интегрирующего усилителя происходит суммирование сигналов с трех источников. Выход интегрирующего усилителя подключен к входу вертикальной развертки осциллографа. Для борьбы с низкочастотными
45 помехами, которые вызывают вертикальные колебания петли гистерезиса на экране осциллографа, авторами предложена оригинальная схема восстановления постоянной составляющей. Принцип ее работы заключается в следующем. На краю петли гистерезиса в области насыщения образца выбирается точка, положение которой по вертикальной

оси запоминается. Далее при каждом перестроении петли происходит автоматическое изменение постоянной составляющей сигнала по вертикальной оси таким образом, чтобы положение выбранной точки сохранилось. За счет этого частично удается скомпенсировать влияние низкочастотных помех на процесс измерений петель гистерезиса. Кроме этого, начало процесса измерения петли гистерезиса синхронизировано с промышленной частотой 50/60 Гц.

Недостатком известного устройства является низкая чувствительность, что связано со сложностями реализации и низкой эффективностью схемы восстановления постоянной составляющей сигнала в аналоговом виде.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является феррометр для измерения характеристик тонких магнитных пленок [Патент РФ, №2743340, МПК G01R 33/14, опубл. 17.02.2021, бюл. №5 (прототип)]. Устройство содержит формирующую переменное магнитное поле развертки магнитную систему (кольца Гельмгольца), подключенную через датчик тока (токоизмерительный резистор) к выходу генератора тока низкой частоты. В центре колец Гельмгольца располагается 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 дифференциальный усилитель, аналоговый фильтр нижних частот, аналого-цифровой преобразователь, цифровой полосовой фильтр, цифровой интегратор и затем на вход вертикальной развертки осциллографа. Катушки чувствительного элемента включены встречно-последовательно и расположены горизонтально в центре колец Гельмгольца таким образом, что оси катушек ортогональны осям колец Гельмгольца. Компенсация наводимой в катушках чувствительного элемента синфазной помехи осуществляется с помощью механизма регулировки, изменяющего угол между кольцами Гельмгольца в небольших пределах.

Недостатком устройства-прототипа является низкая чувствительность, что связано с отсутствием возможности компенсации сигналов квадратурной и других помех.

Техническим результатом заявленного решения является повышение чувствительности феррометра для тонких магнитных пленок.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в феррометре для тонких магнитных пленок, содержащем магнитную систему, подключенную через датчик тока к низкочастотному генератору, катушки чувствительного элемента, включенные встречно-последовательно, расположенные в центре магнитной системы и нагруженные на вход дифференциального усилителя, аналого-цифровые преобразователи, цифровой интегратор, цифровой осциллограф, новым является то, что дополнительно содержит аналоговый сумматор, первый вход которого соединен с выходом дифференциального усилителя, и компенсационные катушки, нагруженные на два переменных резистора, причем контакт движка первого переменного резистора соединен с дополнительным усилителем, нагруженным на второй вход аналогового сумматора, а контакт движка второго переменного резистора соединен с другим дополнительным усилителем, выход которого соединен со входом блока дифференцирования сигнала, выход которого подключен к третьему входу аналогового сумматора, кроме этого устройство содержит детектор перехода через ноль, вход которого подключен к сети 230 В, 50/60 Гц и цифровой блок памяти, вход синхронизации которого подключен к выходу детектора перехода через ноль.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство

отличается наличием компенсационных катушек, сигнал с выхода которых поступает на переменные резисторы и усиливается. Причем сигнал с движка первого переменного резистора напрямую поступает на сумматор, а с движка второго переменного резистора - через блок дифференцирования. Это позволяет компенсировать синфазную и

5 квадратурную помехи.

Вторым существенным отличием является то, что устройство содержит детектор перехода через ноль, вход которого подключен к сети 230 В, 50/60 Гц. Выходной сигнал детектора используется для синхронизации процесса измерений с помехами промышленной частоты.

10 Третьим существенным отличием является то, что в устройстве дополнительно имеется блок памяти, в который записывают сигнал помехи. При проведении измерений сигнал помехи вычитают из измеряемого сигнала, за счет чего удается повысить чувствительность устройства.

Таким образом, перечисленные выше отличительные от прототипа признаки

15 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».

20 Данное изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 изображена функциональная схема феррометра для тонких магнитных пленок. На фиг. 2 показан внешний вид устройства. На фиг. 3 отображен результат измерения петли гистерезиса тонкой магнитной пленки пермаллоя.

Феррометр для тонких магнитных пленок содержит (фиг. 1) низкочастотный

25 генератор (1), нагруженный на магнитную систему (2), предназначенную для формирования перемагничивающего поля; измерительные катушки (3) и (4), включенные встречно-последовательно и нагруженные на вход дифференциального усилителя (5). Измерительные катушки (3) и (4) расположены горизонтально в центре катушек магнитной системы (2), причем оси катушек (3) и (4) ортогональны осям катушек магнитной системы (2). По центру над измерительными катушками (3) и (4) размещается

30 образец (6) исследуемой тонкой магнитной пленки. Соосно с катушками магнитной системы (2) расположены компенсационные катушки (7) и (8), один из выводов каждой катушки заземлен, а другой подключен параллельно к переменным резисторам (9) и (10). Средний вывод резистора (9) подключен ко входу усилителя (11), а средний вывод резистора (10) подключен ко входу усилителя (12). Выход усилителя (12) подключен к

35 блоку дифференцирования (13), выход которого соединен с одним из входов аналогового сумматора (14) с тремя входами. Выход усилителя (11) соединен со входом сумматора (14) напрямую. На третий вход сумматора (14) нагружен выход усилителя (5). Выход сумматора (14) подключен ко входу первого аналого-цифрового преобразователя (15),

40 а на вход второго аналого-цифрового преобразователя (16) нагружен датчик тока (17), соединенный последовательно с магнитной системой (2). Цифровой выход аналого-цифрового преобразователя (16) подключен к цифровому блоку задержки (18), а цифровой выход аналого-цифрового преобразователя (15) подключен к входам блока памяти (19), имеющего вход сигнала команды «Запись», и цифрового сумматора (20).

45 Вход детектора перехода через ноль (21) соединен с промышленной сетью 230 В, 50/60 Гц, а выход нагружен на блок цифровой задержки (22). Выход блока цифровой задержки (22) подключен на управляющие входы блока памяти (19) и цифрового сумматора (20). Выход цифрового сумматора подключен к блоку интегрирования (23), выход которого

подключен к каналу вертикальной развертки «Y» цифрового осциллографа (24) или другого регистрирующего устройства. На вход канала горизонтальной развертки «X» цифрового осциллографа (24) подключен выход блока задержки (18). Феррометр для тонких магнитных пленок состоит из двух блоков (фиг. 2): блока электроники (25) и измерительного блока (26). Исследуемый образец (6) тонкой магнитной пленки размещается на столике (27), между стоек (28) магнитной системы и над измерительными катушками (3) и (4). Сверху над столиком (27) закреплена видеокамера (29). Угол между стойками (28) может регулироваться винтами (30) с дифференциальной резьбой. На виде А показана измерительная часть со снятым столиком (27): над измерительными катушками (3) и (4) размещен образец (6).

Феррометр для тонких магнитных пленок работает следующим образом. Образец (6) исследуемой тонкой магнитной пленки размещают на столике (27) (фиг. 2) над измерительными катушками (3) и (4). Низкочастотный генератор (1) формирует (фиг. 1) с помощью магнитной системы (2) перемещающее поле в плоскости образца (6). Величина магнитного поля пропорциональна току в магнитной системе (2), который измеряется с помощью датчика тока (17) и преобразуется в цифровой вид аналого-цифровым преобразователем (16). Вертикальная составляющая линий магнитной индукции в области образца (6) создает в измерительных катушках (3) и (4) ЭДС индукции с противоположными знаками, а поскольку измерительные катушки включены встречно-последовательно - полезный сигнал складывается и усиливается дифференциальным усилителем (5), нагруженным на один из входов аналогового сумматора (14). Компенсационные катушки (7) и (8), нагруженные на переменные резисторы (9) и (10), формируют два компенсационных сигнала. Первый усиливается усилителем (11) и подается напрямую на вход сумматора (14), а второй усиливается усилителем (12) и подается на другой вход сумматора (14) через блок дифференцирования (13). Изменением положений движков переменных резисторов (9) и (10) производят компенсацию синфазной и квадратурной помех. С выхода сумматора (14) сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (15), цифровой выходной сигнал с которого подается на вход суммирования цифрового сумматора (20) и на вход блока памяти (19), выход которого подключен на вход вычитания цифрового сумматора (20). Блок памяти (19) и цифровой сумматор (20) имеют такой объем памяти типа FIFO, который позволяет хранить выборку данных длиной, соответствующей одному или нескольким периодам перемещающего поля. Кроме этого, блок памяти (19) и цифровой сумматор (20) имеют входы синхронизации, сигнал на которые подается от детектора перехода через ноль (21) через блок цифровой задержки (22). При переходе через ноль сетевого напряжения детектор (21) формирует сигнал, задерживаемый блоком (22) на заранее заданную величину, который синхронизирует момент начала записи одного периода перемещающего поля в блок памяти (19) и сумматор (20). При этом блок памяти (19) осуществляет запись сигнала только при наличии сигнала разрешения «Запись». Перед началом измерений некомпенсированный в аналоговом виде сигнал помехи записывается в память путем подачи сигнала разрешения «Запись». Важно отметить, что запись происходит всегда при определенной фазе сетевого сигнала 230 В, 50/60 Гц, что позволяет синхронизировать процесс измерений с помехами, синхронными промышленной частоте. Только после записи сигнала помехи на столик кладут исследуемый образец (6) тонкой магнитной пленки, тогда на суммирующем входе цифрового сумматора (20) появляется сумма полезного сигнала и сигнала помехи, а на вычитающем входе сумматора (20) остается записанный сигнал помехи. Выходной сигнал цифрового сумматора (20) через цифровой блок интегрирования (23) поступает

на вход вертикальной развертки «Y» цифрового осциллографа (24), на вход горизонтальной развертки «X» которого поступает цифровой сигнал с выхода аналого-цифрового преобразователя (16) через блок задержки (18), пропорциональный величине перемагничивающего поля. Таким образом, на экране цифрового осциллографа
5 наблюдают петлю гистерезиса исследуемого образца (6) тонкой магнитной пленки.

Экспериментальные исследования заявляемого феррометра для тонких магнитных пленок показали, что заявленный технический результат достигнут - чувствительность устройства повышена. На фиг. 3 показан пример измерения петли гистерезиса пленки пермаллоя толщиной 30 Å. Как видно из фиг. 3, для такого тонкого ферромагнитного
10 образца наблюдается высокое отношение сигнал/шум даже без накопления сигнала.

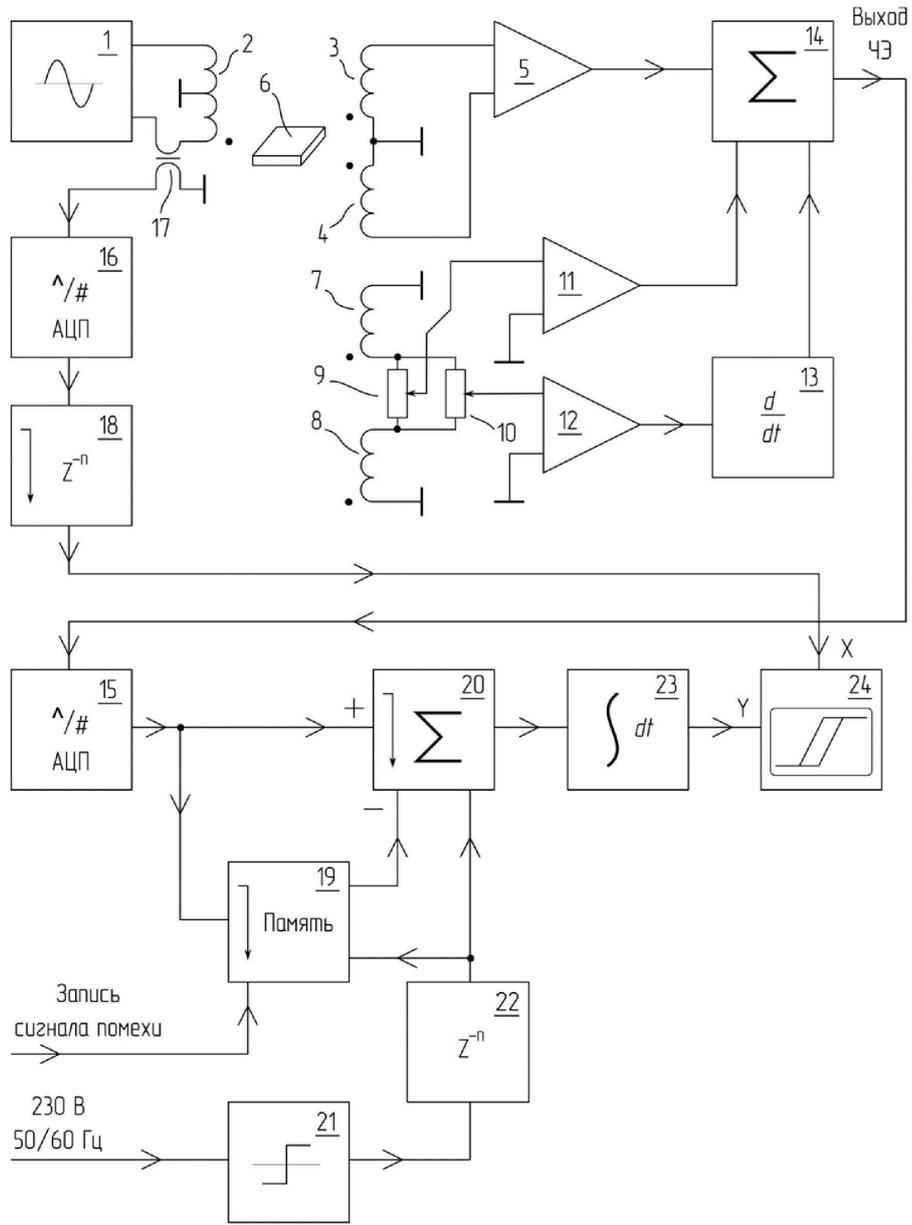
(57) Формула изобретения

Феррометр для тонких магнитных пленок, содержащий магнитную систему, предназначенную для формирования перемагничивающего поля, подключенную через
15 датчик тока к низкочастотному генератору, измерительные катушки чувствительного элемента, включенные встречно-последовательно, расположенные горизонтально в центре магнитной системы и нагруженные на вход дифференциального усилителя, причем оси измерительных катушек чувствительного элемента ортогональны осям катушек магнитной системы, аналого-цифровые преобразователи, цифровой интегратор,
20 цифровой осциллограф, отличающийся тем, что феррометр дополнительно содержит аналоговый сумматор, первый вход которого соединен с выходом дифференциального усилителя, и компенсационные катушки, расположенные соосно с катушками магнитной системы и нагруженные на два переменных резистора, причем контакт движка первого переменного резистора соединен с дополнительным усилителем, нагруженным на
25 второй вход аналогового сумматора, а контакт движка второго переменного резистора соединен с другим дополнительным усилителем, выход которого соединен с входом блока дифференцирования сигнала, выход которого подключен к третьему входу аналогового сумматора, кроме этого феррометр содержит детектор перехода через
30 ноль, вход которого подключен к сети промышленной частоты, а выход через первый блок цифровой задержки – к входу цифрового блока памяти, имеющего также вход записи сигнала помехи, выход цифрового сумматора подключен к блоку цифрового интегрирования, выход которого подключен к каналу вертикальной развертки «Y» цифрового осциллографа, на вход канала горизонтальной развертки «X» которого
35 подключен выход второго блока цифровой задержки, вход которого соединен с выходом второго аналого-цифрового преобразователя, вход которого нагружен на датчик тока, при этом выход аналогового сумматора через первый аналого-цифровой преобразователь подключен к входу «+» цифрового сумматора и к входу цифрового блока памяти, выход которого подключен к входу «-» цифрового сумматора.

40

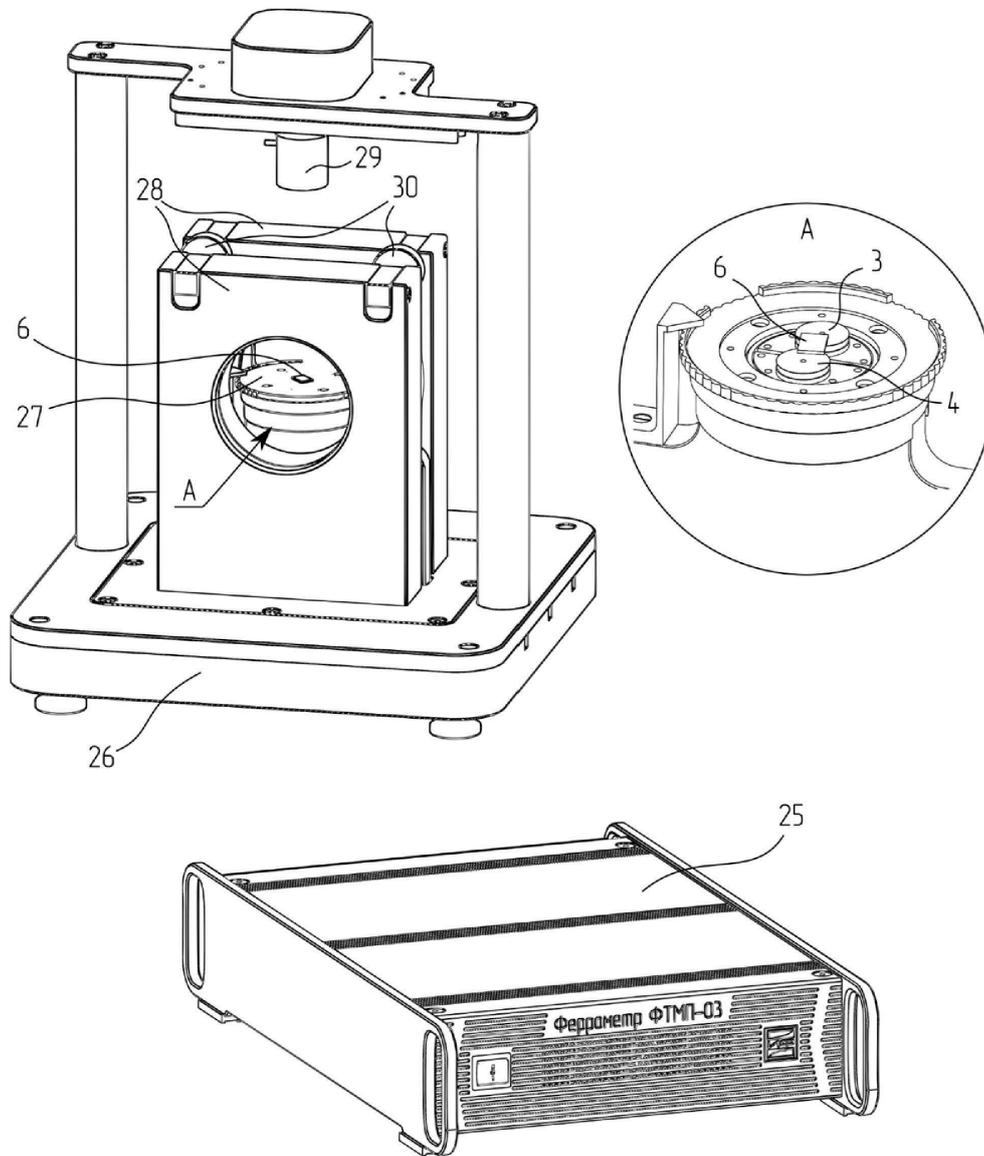
45

1

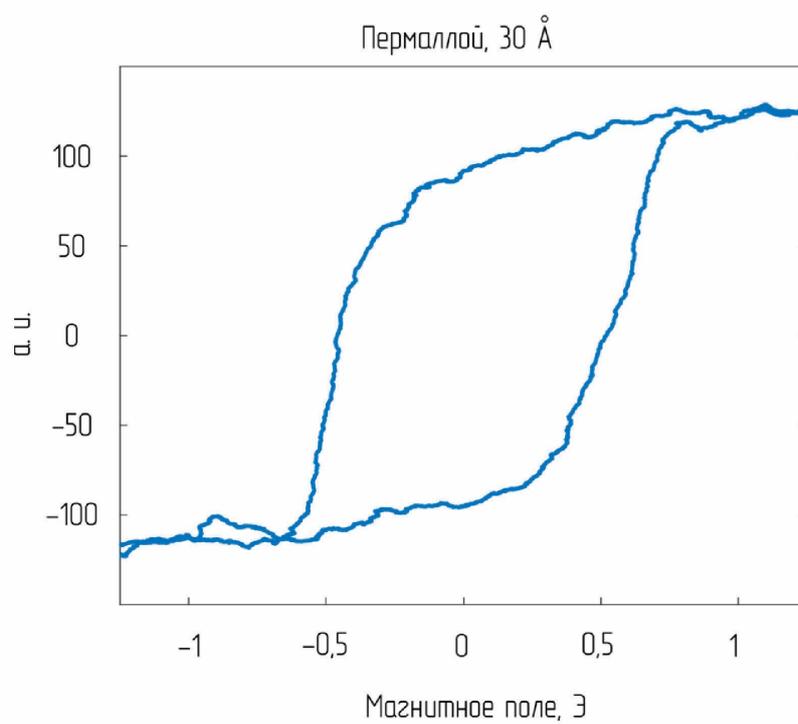


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3