

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 20073

(13) С1

(46) 2016.04.30

(51) МПК

G 01N 27/72 (2006.01)

(54) СПОСОБ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА

(21) Номер заявки: а 20131084

(22) 2013.09.17

(43) 2015.04.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Павлюченко Владимир Васильевич; Дорошевич Елена Сергеевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 16816 С1, 2013.

ВУ 11266 С1, 2008.

ВУ 6102 С1, 2004.

ВУ 8826 С1, 2006.

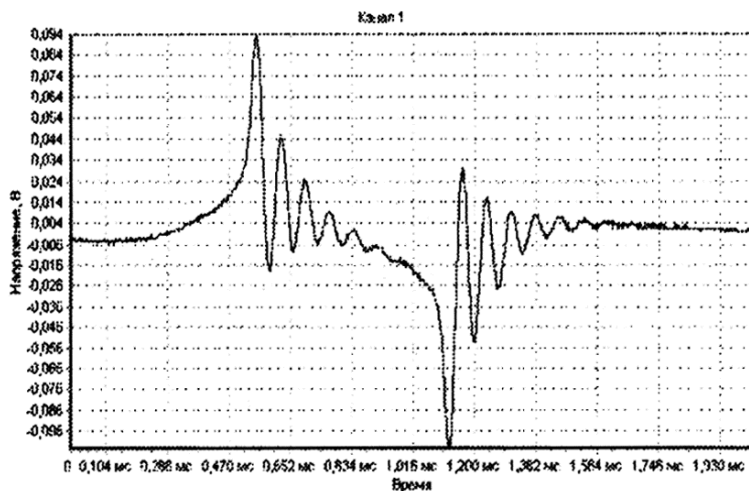
RU 2118816 С1, 1998.

SU 1573410 А1, 1990.

WO 2005/064268 А1.

(57)

Способ магнитного контроля физических свойств объекта из электропроводящего магнитного материала, в котором на поверхность контролируемого объекта, размещенного параллельно оси линейного индуктора, накладывают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными полосами, воздействуют на объект последовательностью одиночных импульсов магнитного поля чередующейся прямой и обратной полярности с разными временами нарастания и амплитудами, убывающими от импульса к импульсу и подобранными исходя из требований максимальной точности контроля, затем сканируют носитель поперек указанных полос по линии замера, совпадающей с проекцией оси индуктора на указанную поверхность, перемещаемым с заданной



Фиг. 2

ВУ 20073 С1 2016.04.30

скоростью считывающим устройством, собственная рабочая частота электромагнитных колебаний которого за счет параметров индуктивных, емкостных и активных элементов, а также связей между ними как в нем самом, так и в его измерительной цепи близка к величине, равной отношению указанной скорости к шагу расположения магнитных полос носителя, находят распределение электрического сигнала на выходе считывающего устройства, формируют оптическое изображение этого распределения, визуализирующее распределение тангенциальной составляющей магнитного поля носителя по линии замера, далее многократно перемещают объект относительно индуктора и аналогичным образом формируют множество оптических изображений, каждое из которых соответствует своей линии замера, совмещают все сформированные изображения друг с другом для получения изображения распределения тангенциальной составляющей магнитного поля по всей поверхности носителя, а затем определяют искомые свойства объекта путем сравнения изображений, соответствующих заданным линиям замера, или изображения для всей поверхности носителя целиком с соответствующими изображениями, полученными при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами.

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано для контроля качества изделий из электропроводящих и магнитных материалов.

Известен магнитоимпульсный способ контроля материалов [1], заключающийся в том, что на контролируемый объект воздействуют периодически повторяющимися импульсными магнитными полями и по параметрам взаимодействия этих полей со структурой материала определяют физико-механические свойства материала. Однако этот способ не обладает достаточной точностью.

Известен магнитоимпульсный способ контроля материалов [2], заключающийся в том, что на контролируемый объект воздействуют сериями импульсов магнитного поля и по параметрам взаимодействия этих импульсов со структурой материала определяют физико-механические свойства материала. Однако этот способ не обладает достаточной точностью.

Известен способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [3], заключающийся в том, что на поверхность объекта воздействуют импульсами магнитного поля с разным временем нарастания, находят распределение максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля $H_{i_{тм}}$ по линии замера для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде растра, измеряют $H_{i_{тм}}$, по значению которой определяют величину удельной электропроводности σ материала объекта и величину его магнитной проницаемости μ по предварительно найденным зависимостям величины напряженности магнитного поля от удельной электропроводности, магнитной проницаемости и времени нарастания импульса поля, а наличие дефектов - по виду растра. Однако этот способ обладает недостаточной точностью.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [4], заключающийся в том, что на поверхность объекта, размещенную параллельно оси линейного индуктора, устанавливают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, воздействуют на объект серией из трех последовательных одиночных импульсов магнитного поля соответственно прямой, обратной и снова прямой полярности с разными временами нарастания и с амплитудой, убывающей от импульса к импульсу, сканируют носитель считывающим устройством вдоль линии замера, совпадающей с проекцией оси индуктора на указанную поверхность, находят распределение электрического напряжения на выходе считывающего устройства вдоль линии замера, пропорционального в каждой точке этой

линии максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля носителя, и формируют оптическое изображение указанного распределения, затем многократно перемещают образец относительно индуктора, и аналогичным образом получают множество оптических изображений указанного распределения вдоль всего множества линий замера, и совмещают все указанные изображения друг с другом для формирования растрового изображения указанного распределения для всей поверхности магнитного носителя, а затем находят искомые свойства объекта путем сравнения полученных оптических изображений или растрового изображения целиком с соответствующими изображениями, полученными при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами, при этом амплитуды всех импульсов магнитного поля подбирают, исходя из условия максимальной чувствительности величин указанного электрического напряжения на выходе считывающего устройства к изменению искомым свойств объекта относительно свойств эталонных объектов. Однако этот способ также обладает недостаточной точностью.

Задачей изобретения является повышение точности контроля электрических и магнитных свойств и параметров дефектов объектов из электропроводящих и магнитных материалов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе магнитного контроля физических свойств объекта из электропроводящего магнитного материала, в котором на поверхность контролируемого объекта, размещенного параллельно оси линейного индуктора, накладывают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными полосами, воздействуют на объект последовательностью одиночных импульсов магнитного поля чередующейся прямой и обратной полярности с разными временами нарастания и амплитудами, убывающими от импульса к импульсу и подобранными исходя из требований максимальной точности контроля, затем сканируют носитель поперек указанных полос по линии замера, совпадающей с проекцией оси индуктора на указанную поверхность, перемещаемым с заданной скоростью считывающим устройством, собственная рабочая частота электромагнитных колебаний которого за счет параметров индуктивных, емкостных и активных элементов, а также связей между ними как в нем самом, так и в его измерительной цепи близка к величине, равной отношению указанной скорости к шагу расположения магнитных полос носителя, находят распределение электрического сигнала на выходе считывающего устройства, формируют оптическое изображение этого распределения, визуализирующее распределение тангенциальной составляющей магнитного поля носителя по линии замера, далее многократно перемещают объект относительно индуктора и аналогичным образом формируют множество оптических изображений, каждое из которых соответствует своей линии замера, совмещают все сформированные изображения друг с другом для получения изображения распределения тангенциальной составляющей магнитного поля по всей поверхности носителя, а затем определяют искомые свойства объекта путем сравнения изображений, соответствующих заданным линиям замера, или изображения для всей поверхности носителя целиком с соответствующими изображениями, полученными при тех же условиях посредством контроля аналогичных эталонных объектов с известными свойствами.

Сущность изобретения поясняется графиками на фиг. 1-8, где изображены зависимости величины электрического напряжения, снимаемого с индукционной магнитной головки (считывающее устройство), сканирующей дискретный магнитный носитель с записями магнитных полей, от времени (горизонтальная ось), соответствующего расстоянию до выбранной точки отсчета. В качестве излучателя импульсного магнитного поля использован линейный индуктор (проводник), ось которого располагали параллельно поверхности магнитного носителя. Ось линейного излучателя ориентировали параллельно осям магнитных полос дискретного магнитного носителя, который в данном случае состоял из одной или двух магнитных полос, укрепленных на гибкой немагнитной подложке.

В результате пересечения магнитной головкой краев намагниченных магнитных полос возникают пики напряжения (эдс), амплитуда которых прямо пропорциональна остаточной намагниченности этих магнитных полос. Зависимости 1, 3, 5, 7 получены при воспроизведении магнитной головкой без возбуждения, а зависимости 2, 4, 6, 8 - с возбуждением. Изображения на фиг. 1-8 получены на экране монитора с использованием цифрового осциллографа, подключенного к компьютеру, при воздействии на магнитный носитель импульсом магнитного поля длиной в полволны с последующим выбросом магнитного поля обратного направления.

Ширина магнитной полосы на указанных фигурах следующая: фиг. 1, 2 - $1,6 \cdot 10^{-3}$ м; фиг. 3, 4 - $0,45 \cdot 10^{-3}$ м; фиг. 5, 6 - $0,25 \cdot 10^{-3}$ м. На фиг. 7 и 8 изображены зависимости величины электрического напряжения, снимаемого с индукционной магнитной головки, сканирующей дискретный магнитный носитель, состоящий из двух магнитных полос с зазором между ними: магнитная полоса шириной $0,3 \cdot 10^{-3}$ м, воздушный зазор $1,0 \cdot 10^{-3}$ м, магнитная полоса шириной $0,4 \cdot 10^{-3}$ м. Из сравнения зависимостей, изображенных на фиг. 1 и 2, следует, что амплитуда напряжения на выходе считывающего устройства при считывании магнитной головкой с возбуждением, по сравнению с амплитудой при считывании без возбуждения, увеличивается в 1,25 раз для магнитной полосы шириной $1,6 \cdot 10^{-3}$ м. Из анализа зависимостей, изображенных на фиг. 3 и 4, на фиг. 5 и 6, следует, что амплитуда напряжения на выходе магнитной головки с возбуждением по сравнению с амплитудой при считывании без возбуждения, увеличивается соответственно в 1,4 раза (ширина магнитной полосы $0,45 \cdot 10^{-3}$ м) и в 1,86 раз (ширина магнитной полосы $0,25 \cdot 10^{-3}$ м).

Увеличение амплитуды напряжения при считывании с возбуждением магнитной головки зависит от ширины полосы. Это увеличение может быть значительно больше, например равным пяти или десяти. Для определения величины напряженности магнитного поля указанные зависимости следует расшифровывать путем их сравнения с эталонными зависимостями для известных распределений магнитных полей и известных параметров дискретных датчиков магнитного поля (магнитных свойств материала датчика, ширины магнитных полос и расстояния между ними). Так, из сравнения фиг. 7 и 8, где изображены распределения напряжения двух магнитных полос с зазором, следует, что при считывании магнитной головкой с возбуждением амплитуда напряжения увеличивается в 1,72 раза. Сравнение проведено по первым пикам зависимостей на фиг. 7 и 8.

Применение возбужденного считывающего устройства при использовании дискретного магнитного носителя повышает чувствительность и точность определения величины напряженности магнитного поля в несколько раз и значительно повышает точность контроля. При этом существенно изменяются оптические изображения зависимостей, что также позволяет повысить точность измерений за счет получения дополнительной информации о величине максимумов и минимумов и расстояний между ними.

В связи с тем, что амплитуда напряжения на выходе магнитной головки при считывании в возбужденном состоянии не прямо пропорциональна величине напряженности магнитного поля носителя, начальное измерение следует производить в невозбужденном состоянии считывающего устройства. Измерение начинают с наименьшей чувствительности считывающего устройства, соответствующей его невозбужденному состоянию, находят зависимости амплитуды напряжения от времени, то есть от пространственной координаты вдоль выбранной линии замера, и записывают соответствующие им оптические изображения на элементы памяти. Эти распределения электрического напряжения полностью соответствуют распределениям максимальной напряженности магнитного поля при воздействии на датчик импульсом поля без выбросов. Однако чувствительность этих измерений и их точность невелики. Поэтому изменяют параметры измерительной цепи считывающего устройства, приближая собственную частоту электромагнитных колебаний считывающего устройства с элементами измерительной цепи к рабочей частоте дискретного датчика, и находят соответствующее ему распределение напряжения. Полу-

ченное распределение записывают на элементы памяти, сравнивают с эталонным распределением для известных объектов, найденным при той же собственной частоте считывающего устройства с элементами измерительной цепи, корректируют величину напряженности магнитного поля и получают распределения магнитного поля с большей точностью, чем точность предыдущего распределения, полученного при невозбужденном состоянии считывающего устройства.

Для увеличения точности измерений снова изменяют собственную частоту электромагнитных колебаний считывающего устройства, приближая ее к рабочей частоте датчика, повторяют указанные действия и находят распределения магнитных полей в соответствии с необходимыми точностью и условиями контроля свойств объектов.

Изобретение осуществляют следующим образом.

На поверхности контролируемого объекта устанавливают магнитный носитель и выбирают линию замера. Воздействуют на объект одиночным импульсом магнитного поля длиной в полволны с выбросом поля обратного направления. Снимают магнитный носитель с поверхности объекта, сканируют его индукционной магнитной головкой и получают на экране монитора изображение распределения электрического напряжения вдоль линии замера в виде геометрической фигуры. Находят величину напряжения, снимаемого с магнитной головки в точках, соответствующих проекции оси индуктора, и пропорционального максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля выброса с учетом максимальной напряженности поля основного импульса.

При сканировании дискретного магнитного носителя вращающейся магнитной головкой рабочая частота колебаний дискретного магнитного носителя численно равна расстоянию L , проходимому магнитной головкой за одну секунду, деленному на шаг магнитного носителя h , равный суммарной ширине магнитной и немагнитной полос. Расчетная рабочая частота магнитного носителя с учетом скорости движения магнитной головки и параметров дискретного датчика в данном случае порядка $1 \cdot 10^4$ Гц. Из фиг. 2 следует, что период собственных колебаний считывающего устройства при данных параметрах цепи измерения приблизительно равен $7 \cdot 10^{-5}$ с, что соответствует собственной частоте $1,43 \cdot 10^4$ Гц. Собственная частота электромагнитных колебаний измерительной цепи определяется параметрами считывающего устройства (индукционной магнитной головки), а также величиной индуктивности, емкости и активного сопротивления элементов измерительной цепи. Если собственная частота измерительной цепи близка к рабочей частоте дискретного датчика, то повышается чувствительность считывающего устройства и происходит увеличение амплитуды напряжения на его выходе. Кроме того, в результате сложения колебаний с близкими частотами возникают "биения" колебаний, что и видно из фиг. 6 и 8. Для определения величины напряженности магнитного поля полученные зависимости следует расшифровывать путем сравнения их с эталонными зависимостями для известных распределений магнитных полей и известных параметров дискретных датчиков магнитного поля (магнитных свойств материала датчика, ширины магнитных полос и расстояния между ними). Таким образом, точность измерений может быть повышена за счет многократного увеличения амплитуды колебаний и получения большого объема дополнительной информации о свойствах объекта в виде резко отличающихся распределений напряжения считывающего устройства для объектов с близкими электрическими и магнитными свойствами, а также для объектов с мало отличающейся толщиной.

Амплитуды всех импульсов магнитного поля подбирают исходя из условия максимальной чувствительности величины электрического напряжения на выходе считывающего устройства к изменению искомым свойств объекта относительно свойств эталонных объектов, при этом путем выбора параметров считывающего устройства и параметров индуктивности, емкости и активного сопротивления измерительной цепи считывающего устройства и выбором способов их соединения между собой и с этим устройством, а также путем введения новых элементов измерительной цепи предварительно добиваются то-

го, чтобы собственная частота электромагнитных колебаний считывающего устройства с элементами измерительной цепи была близкой к рабочей частоте дискретного датчика магнитного поля.

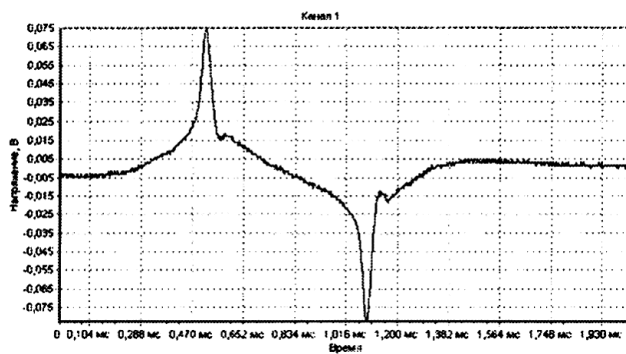
Так, при отсутствии обратных выбросов величина напряженности магнитного поля пропорциональна величине электрического напряжения и может быть найдена по градуировочной характеристике магнитного носителя. Идентификацию искомым свойствам осуществляют сравнением параметров полученных фигур с параметрами эталонных фигур для объектов с известными свойствами.

Изображениям геометрических фигур распределения напряженности магнитного поля ставят в соответствие оптические изображения по линии замера, например в виде распределения яркостного сигнала (по уровням сигнала) или сигнала цветности, и формируют полосу растра по линии замера. При этом на поверхность объекта воздействуют импульсами магнитного поля с разным временем нарастания, находят распределение электрического напряжения по линии замера для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде растра, по которому определяют величину удельной электропроводности σ материала объекта и величину его магнитной проницаемости μ путем сравнения предварительно найденных зависимостей величины напряженности магнитного поля от удельной электропроводности, магнитной проницаемости и времени нарастания импульса поля, а наличие дефектов определяют по виду растра. Дефекты в объекте под выбранной полосой замера вносят изменение в распределение электрического напряжения в тех участках строки разложения в растр, которые соответствуют выходу на поверхность объекта магнитных полей рассеяния этих дефектов. Измерения начинают с наименьшей чувствительности считывающего устройства, соответствующей его невозбужденному состоянию. Находят зависимость амплитуды напряжения от времени, соответствующую зависимости напряжения от пространственной координаты вдоль выбранной линии замера, записывают ее на элементы памяти, сравнивают с эталонными распределениями для объектов с известными свойствами, находят соответствующее этой зависимости распределение магнитных полей и записывают его на элементы памяти. После этого последовательно изменяют собственную частоту электромагнитных колебаний считывающего устройства, приближая ее к рабочей частоте датчика, повторяют указанные действия и находят распределения магнитных полей в соответствии с заданной точностью контроля свойств объектов.

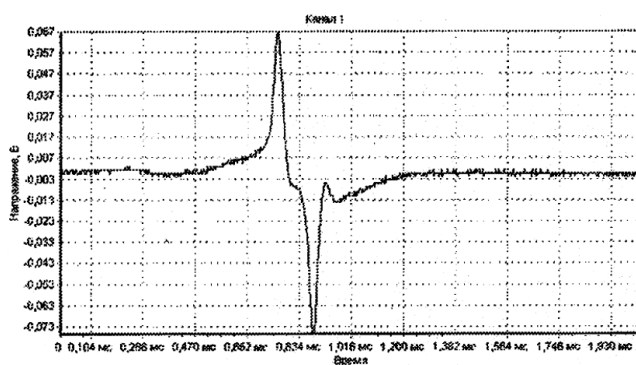
Амплитуду импульса магнитного поля и амплитуды выбросов магнитного поля выбирают такими, чтобы величина электрического напряжения в точках магнитного носителя, соответствующих проекции оси индуктора, и параметры получающихся геометрических фигур распределения электрического напряжения по линии замера имели максимальные отличия для измерений в заданном диапазоне толщин объектов и в заданных диапазонах контролируемых электрических и магнитных свойств материалов объектов.

Источники информации:

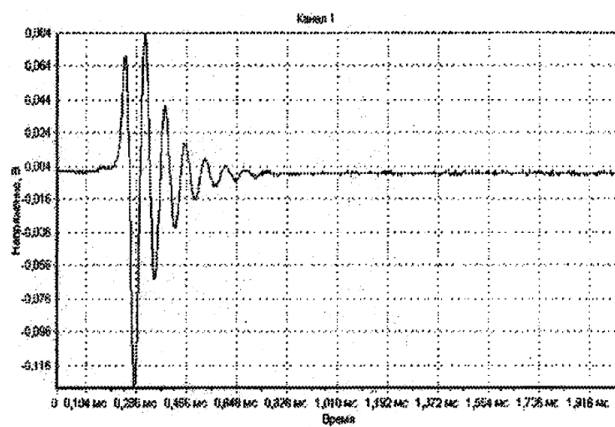
1. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Шарпа. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412.
2. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. - Минск: Наука и техника, 1980. - С. 157-162.
3. Патент BY 10464, МПК G 01N 27/00, 2008.
4. Патент BY 16816, МПК G 01N 27/72, 2013 (прототип).



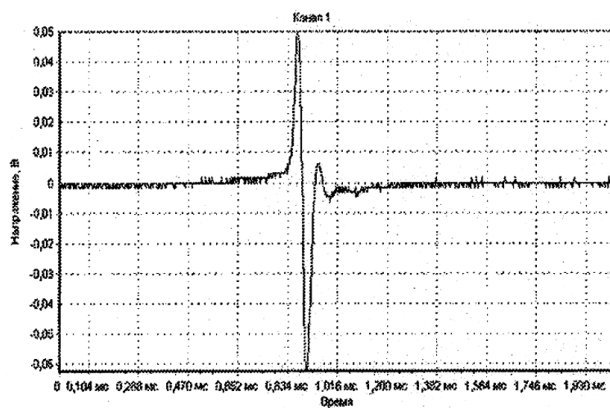
Фиг. 1



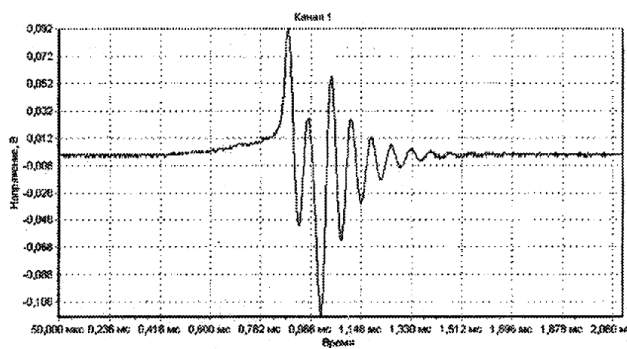
Фиг. 3



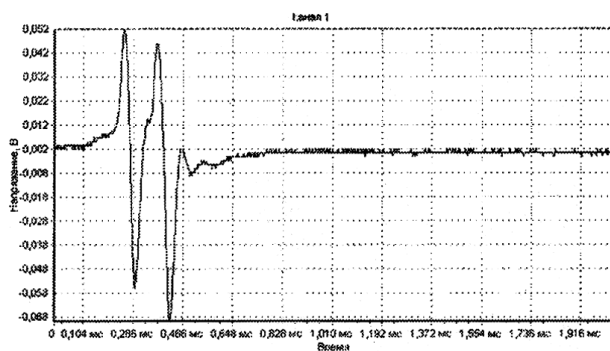
Фиг. 4



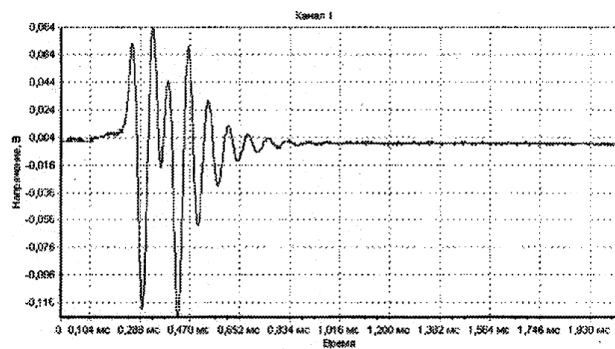
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8