



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 29/07 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2015129071, 06.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.12.2013

Дата регистрации:
25.01.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
17.12.2012 FR 1262155

(43) Дата публикации заявки: 25.01.2017 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 25.01.2018 Бюл. № 3

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 17.07.2015

(86) Заявка РСТ:
FR 2013/052985 (06.12.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/096617 (26.06.2014)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):

**ШАТЕЛЛЬЕ Жан-Ив Франсуа Роже (FR),
БРУССЕ-КОЛЕЛЛА Никола (FR),
ДЮВАЛЬ Жереми (FR),
МАРКИ Жереми Никола (FR),
МЕЙЕР Анн (FR)**

(73) Патентообладатель(и):
СНЕКМА (FR)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 5408882A, 25.04.1995. US
5824908A, 20.10.1998. DE 4233958A1,
14.04.1994. US 4515545A, 07.05.1985. RU
2280251C1, 20.07.2006.

(54) СПОСОБ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ДЕТАЛИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

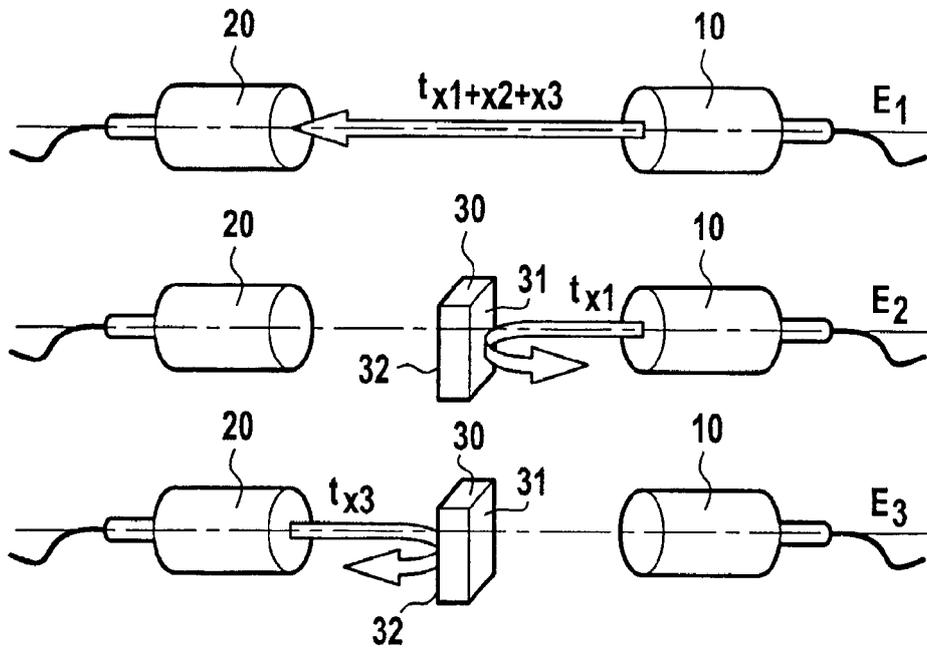
(57) Реферат:

Использование: для определения параметров деталей, изготовленных из композитного материала. Сущность изобретения заключается в том, что определяют характеристики продольной ультразвуковой волны, проходящей по пути внутри детали, при этом измеряют время прохождения продольной ультразвуковой волны,

пропускаемой деталью, и измеряют время прохождения прошедшей волны путем наблюдения начала волны. Технический результат: обеспечение возможности быстро и достоверно определять параметры деталей, изготовленных из композитного материала. 4 з.п. ф-лы, 10 ил.

RU 2 642 503 C2

RU 2 642 503 C2



ФИГ.2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 29/07 (2006.01)

(21)(22) Application: **2015129071, 06.12.2013**

(24) Effective date for property rights:
06.12.2013

Registration date:
25.01.2018

Priority:

(30) Convention priority:
17.12.2012 FR 1262155

(43) Application published: **25.01.2017** Bull. № 3

(45) Date of publication: **25.01.2018** Bull. № 3

(85) Commencement of national phase: **17.07.2015**

(86) PCT application:
FR 2013/052985 (06.12.2013)

(87) PCT publication:
WO 2014/096617 (26.06.2014)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**SHATELLE Zhan-Iv Fransua Rozhe (FR),
BRUSSE-KOLELLA Nikolya (FR),
DYUVAL Zheremi (FR),
MARKI Zheremi Nikolya (FR),
MEJER Ann (FR)**

(73) Proprietor(s):

SNEKMA (FR)

(54) **METHOD OF CHARACTERIZNG PART MANUFACTURED FROM COMPOSITE MATERIAL**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: characteristics of the longitudinal ultrasonic wave passing along the path inside the part are determined, while measuring the transit time of the longitudinal ultrasonic wave transmitted by the part and measuring the transit time of the transmitted wave by

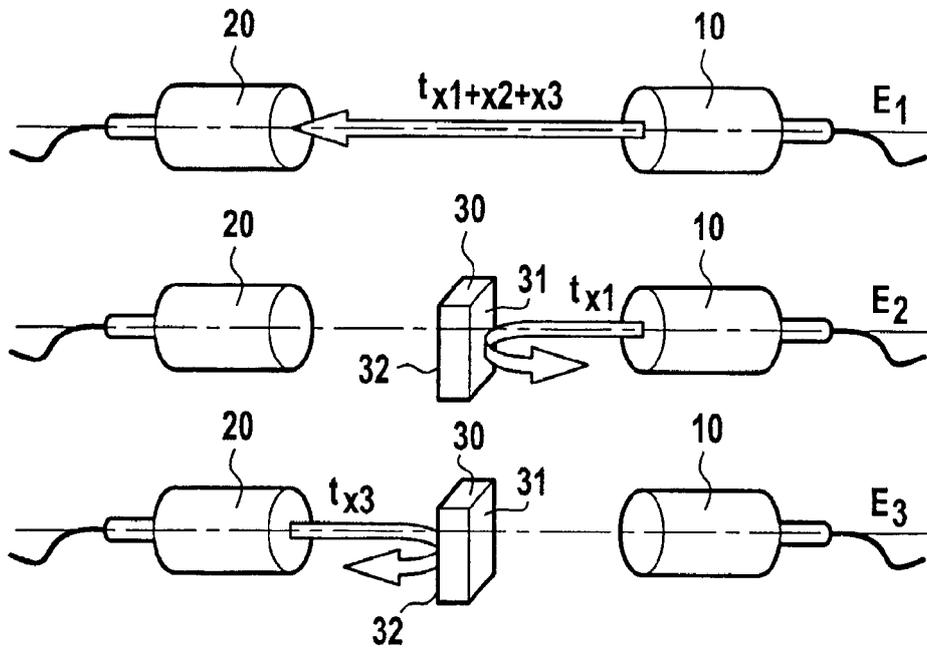
observing the wave beginning.

EFFECT: providing the ability to quickly and reliably determine the parameters of parts made of the composite material.

5 cl, 10 dwg

RU 2 642 503 C 2

RU 2 642 503 C 2



ФИГ.2

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение находится в области способов характеристики деталей, изготовленных из композитного материала, в машиностроении, в частности в авиационной промышленности.

5 Уровень техники

Наряду с тем, что заданная деталь разрабатывается, необходимо знать содержание волокна и содержание смолы в заданной зоне детали. Чтобы это сделать, как известно, измеряют скорость распространения и затухания продольной ультразвуковой волны, проходящей через деталь.

10 Одним способом измерения этих величин является использование ультразвукового преобразователя в приемопередающем режиме. Внимание тогда уделяют зоне детали, которая определяется взаимно параллельными, передней и задней поверхностями. Продольную волну направляют так, чтобы распространялась перпендикулярно двум поверхностям, частично отражаясь и, также, затухая в материале детали. Таким образом, 15 наблюдают первый сигнал (эхо), приходящий от передней поверхности, а также второй сигнал (эхо), приходящий от задней поверхности, и называемый отраженным сигналом. Преобразователь получает отраженную волну, и, тогда, возможно путем наблюдения двух отраженных компонентов проследить и скорость распространения, и затухание волны в материале.

20 Все-таки, такое решение является непригодным для материалов, которые сильно поглощают ультразвуковые волны. Это применяется, например, к трехмерным 3D тканевым композитам со структурой, которая является неомогенной и анизотропной. Для деталей промышленных толщин не видно никакого отраженного сигнала в записях, сделанных на таких материалах из-за сильного поглощения.

25 Таким образом, необходимо разработать способ, пригодный для применения к деталям, изготовленным из композитных материалов, и дающий возможность характеризовать большое число деталей независимо от их толщины или их поглотительной сущности.

Раскрытие изобретения

30 Изобретение относится к способу характеристики детали, изготовленной из композитного материала, причем способ включает в себя этап определения характеристики прохождения продольной ультразвуковой волны по пути внутри детали, и отличается тем, что измеряют время прохождения волны, пропущенной деталью.

35 С помощью этой технологии преодолевается проблема, связанная с отсутствием отраженного сигнала в измерениях в приемопередаточном режиме.

Согласно преимущественной характеристике, время прохождения пропущенной волны измеряют путем наблюдения начала волны.

40 С помощью этой характеристики возможно игнорировать значительно усиленные проблемы фазового сдвига и деформации синусоидального сигнала используемой ультразвуковой волны, вызванные толстыми материалами, или вызванные сложной неомогенной, а также анизотропной структурой определенных композитных материалов.

При осуществлении определяют скорость распространения продольной ультразвуковой волны, проходящей в детали.

45 Это обеспечивает информацию, которая полезна для определения содержания волокон и содержания смолы в композитном материале, информацию, которая может быть использована в разработке исследуемой детали.

В другом осуществлении, которое может быть скомбинировано с предыдущим

осуществлением, амплитуду прошедшей волны также измеряют, для того чтобы определять затухание по всей длине или единице длины, которому подвергается продольная ультразвуковая волна при прохождении в детали.

5 Это обеспечивает информацию, которая является полезной для определения содержания пор, которая может быть использована в разработке исследуемой детали.

Предпочтительно, измеряют время распространения ультразвуковой волны, прошедшей в отсутствие детали, в качестве времен распространения ультразвуковых волн, отраженных соответственно первой лицевой стороной детали и второй лицевой стороной детали, для того чтобы определять размер детали, пропуская продольную
10 ультразвуковую волну, проходящую по пути в детали.

С помощью этой характеристики, которая является оптимальной, лишь преимущественной, точное измерение получает размер детали, через который проходит прошедшая волна, а такой размер является довольно изменчивым в деталях, изготовленных из композитного материала, так, это может быть полезным, чтобы
15 знать точную величину для данной детали, для конкретного пути, сопровождаемого используемой ультразвуковой волной.

В частности, способ осуществляется для детали, изготовленной из 3D тканевого композитного материала.

Такие материалы являются особенно перспективными для характеристики из-за их
20 негомогенности и из-за их анизотропии. С помощью изобретения возможно исследовать их быстро и достоверно, особенно, когда детали находятся в разработке.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 показывает предварительное действие в контексте осуществления способа изобретения.

25 Фиг. 2 показывает три стадии этапа измерения толщины, осуществляемого в изобретении.

Фиг. 3-5 показывают сигналы, записанные во время трех стадий из Фиг. 2.

Фиг. 6 показывает стадию наблюдения прошедшей волны во время способа изобретения.

30 Фиг. 7 показывает сигнал, измеренный во время стадии из Фиг. 6.

Фиг. 8-10 показывают сигналы, полученные во время стадий из Фиг. 2-6 для проставки, изготовленной из композитного материала.

Осуществление изобретения

Как показано на Фиг. 1, два плоских ультразвуковых датчика, работающих в режиме
35 передачи, устанавливаются в положение на одной прямой. Это приведение в положение на одной прямой составляет предварительную стадию E0. Датчики разделены жидкостью, такой как вода. Преобразователь 10 работает в режиме излучения, а датчик 20 в режиме приема. Сигнал, полученный датчиком 20, проходит через максимум после последовательных юстировок осей O_y и O_z, а также углов θ и ϕ .

40 На Фиг. 2 представлено измерение толщины материала исследуемой детали, обозначенной 30. Это измерение должно быть с точностью до одного микрометра.

Первая стадия E1 состоит в измерении времени прохождения волны, прошедшей через воду между двумя преобразователями 10 и 20, в отсутствие детали. Вторая стадия состоит в измерении времени прохождения волны, отраженной первой лицевой
45 поверхностью, обозначенной 31, детали 30, преобразователем 10, работающим как приемопередатчик, обращенным к поверхности 31. Третья стадия состоит в измерении времени прохождения волны, отраженной второй поверхностью, обозначенной 32, детали 30, преобразователем 20, работающим, в свою очередь, как приемопередатчик,

и обращенным к поверхности 32.

Время распространения измеряют в каждом случае путем наблюдения начала сигнала, а не дуги сигнала. Это делает возможным для оператора игнорировать любое явление, связанное с возможным фазовым сдвигом сигнала. Конкретно, в присутствии многих отражений появляются фазовые сдвиги. Это также случается, когда после отражения сигнал изменяется по направлению. Форма дуг сигнала модифицируется, и трудно
5 получать точную величину времени распространения. Вот почему предлагается измерять сигнал путем наблюдения исключительно начала сигнала.

Поскольку скорость распространения волны в воде V_{water} является известной, то
10 возможно путем вычитания получить толщину детали из стадий E1, E2 и E3, путем использования формулы $X_2 = (t_{X1+X2+X3} - t_{X3} - t_{X1}) \times V_{\text{water}}$, где $X1$ – расстояние между преобразователем 10 и поверхностью 31, $X2$ – толщина детали в точке воздействия пучка, а $X3$ – расстояние между преобразователем 20 и поверхностью 32, и где $t_{X1+X2+X3}$,
15 t_{X1} и t_{X3} являются временами прохождения, измеренными во время стадий E1, E2 и E3 соответственно.

Фиг. 3-5 показывают графики, отображенные во время стадий E1, E2 и E3, соответственно, с водой при 22°C, волной с частотой 5 мегагерц (МГц) (дающей скорость распространения 1486,45 метров в секунду (м/с) в воде), для проставки, имеющей
20 толщину 76,20 миллиметров (мм) и изготовленной из титана ТА6V. Время прохождения волны измеряют на основе начала волны, данных соответствующими ссылками 100, 119 и 120.

Получены следующие результаты:

$$t_{X1+X2+X3} = 92,72 \text{ мкс}$$

$$25 \quad t_{X3} = 2,98/2 = 26,49 \text{ мкс}$$

$$t_{X1} = 26,49/2 = 14,97 \text{ мкс}$$

$$X2 = (t_{X1+X2+X3} - t_{X3} - t_{X1}) V_{\text{water}}$$

$$X2 = (92,72 \cdot 10^{-6} - 26,49 \cdot 10^{-6} - 14,97 \cdot 10^{-6}) \cdot 1486,54$$

$$30 \quad X2 = 76,20 \text{ мм}$$

Толщина, измеренная толщиномером, составляет в действительности 76,20 мм, т.е. 3".

Фиг. 6 показывает стадию E4, во время которой наблюдается волна, пропущенная деталью 30. Таким образом, преобразователь 10 является работающим в режиме
35 излучения, наряду с тем, что преобразователь 20 является работающим в режиме приема. Падающая волна обозначена 40 на фигуре, волна, распространяющаяся в детали 30, обозначена 41, а прошедшая волна обозначена 42.

Время прохождения волны в детали 30 выражается в виде $t'_{X2} = t - (t_{X1} + t_{X3})$. Зная $X2$, как определено заранее, скорость распространения волны в материале выражается в
40 виде $V_{\text{material}} = X2/t'_{X2}$.

Фиг. 7 показывает сигнал, наблюдаемый во время стадии E4 для пространственной проставки толщиной 76,20 мм, изготовленной из титана (ТА6V), даже с волной при 5 МГц. Время прохождения волны измеряют на основе начала волны, обозначенного
45 130.

Полученные величины являются следующими:

$$t = 53,80 \text{ мкс}$$

$$t'_{X2} = (53,80 \cdot 10^{-6} - 26,49 \cdot 10^{-6} - 14,97 \cdot 10^{-6})$$

$$t'_{X2} = 12,34 \text{ мкс}$$

$$V = 76,20 \cdot 10^{-3} / 12,34 \cdot 10^{-6}$$

И, в конце концов, численное значение скорости составляет $V = 6175,04 \text{ м/с}$. Эта величина подтверждена с помощью обычного измерения скорости распространения, для того чтобы проверить достоверность результатов способа.

Фиг. 8-10 показывают сканограммы, полученные для стадий E2, E3 и E4 для композитной ступенчатой проставки, имеющей толщину 47,09 мм с излучением преобразователя с 1 МГц. Время прохождения волны измерено на основе начал волн, данных соответствующими ссылками 140, 150 и 160.

Полученные величины являются следующими:

$$t_{X1+X2+X3} = 90,22 \text{ мкс}$$

$$t = 74,90 \text{ мкс}$$

$$t_{X3} = 52,42/2 = 26,41 \text{ мкс}$$

$$t_{X1} = 64,68/2 = 32,34 \text{ мкс}$$

$$X2 = (t_{X1+X2+X3} - t_{X3} - t_{X1}) V_{\text{water}}$$

$$X2 = (90,22 \cdot 10^{-6} - 26,21 \cdot 10^{-6} - 32,34 \cdot 10^{-6}) 1486,54$$

$$X2 = 31,67 \cdot 10^{-6} 1488,76$$

$$X2 = 47,078 \text{ мм}$$

$$t'_{X2} = t - (t_{X1} + t_{X3})$$

$$t'_{X2} = (74,90 \cdot 10^{-6} - 26,21 \cdot 10^{-6} - 32,34 \cdot 10^{-6})$$

$$t'_{X2} = 16,35 \text{ мкс}$$

$$V_{\text{composite}} = X2/t'_{X2}$$

$$V_{\text{composite}} = 47,078 \cdot 10^{-3} / 16,35 \cdot 10^{-6}$$

И, в конце концов, численное значение скорости составляет $V_{\text{composite}} = 2879,4 \text{ м/с}$.

Затем внимание уделено затуханию продольной волны в материале.

Выражение для амплитуды волны, прошедшей от излучателя к приемнику, записывается как следующее: $Y_1 = A_{\text{max}} e^{-\alpha_1(X1+X2+X3)}$, где A_{max} представляет максимальную амплитуду на поверхности преобразователя, и α_1 представляет собой затухание волны в воде.

Выражение для амплитуды волны, прошедшей от излучателя к приемнику после прохождения через материал, записано как следующее: $Y_2 = A_{\text{max}} e^{-\alpha_1(X1+X3)} e^{-\alpha_2 X2} t_{12} t_{21}$, где α_2 представляет собой затухание волны в материале, t_{12} является коэффициентом амплитудного пропускания от воды к материалу, а t_{21} является коэффициентом амплитудного пропускания от материала к воде.

Выражение для продукта $t_{12} t_{21}$ является функцией акустического импеданса материала $Z_2 = \rho_2 V_2$ и акустического импеданса воды $Z_1 = \rho_1 V_1$. В выражении акустического импеданса ρ представляет плотность и V представляет скорость распространения продольной волны с обсуждаемой частотой.

$$t_{12} t_{21} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Амплитудное отношение Y_1/Y_2 записывается как следующее:

$$\frac{Y_1}{Y_2} = \frac{e^{-\alpha_1 X_2}}{e^{-\alpha_2 X_2} t_{12} t_{21}}.$$

Из которой возможно вывести выражение для затухания в материале:

$$\alpha_2 = \frac{1}{X_2} \left(\operatorname{Ln} \left(\frac{Y_1}{Y_2} t_{12} t_{21} \right) + \alpha_1 X_2 \right).$$

Первое осуществление относится к проставке из композитного материала, имеющего толщину 47,09 мм, использующему волну с 2,25 МГц.

Численные значения для этого осуществления являются следующими:

$$\rho_2 = 1525,71 \text{ килограмм на кубический метр (кг/м}^3\text{)}$$

$$V_2 = 2946,75 \text{ м/с}$$

$$Z_2 = 4,39316 \text{ мегаом на переменном токе (М} \Omega \text{ас)}$$

$$\rho_{\text{water}} = 997,77 \text{ кг/м}^3$$

$$V_{\text{water}} = 1486,54 \text{ м/с}$$

$$Z_{\text{water}} = 1,48322 \text{ М} \Omega \text{ас}$$

$$t_{12} t_{21} = 0,75478$$

$$X_2 = 47,078 \text{ мм (точное ультразвуковое измерение)}$$

$$Y_1 = 643,2 \text{ милливольт (мВ)}$$

$$Y_2 = 15,885 \text{ мВ}$$

$$\alpha_{\text{water}2,25\text{МГц}} = 0,972 \text{ непера на метр (Нп/м)}$$

$$\alpha_2 = 73,61 \text{ Нп/м.}$$

Второе осуществление относится к проставке из композитного материала, имеющей толщину 47,09 мм, использующее волну с 1 МГц.

$$\rho_2 = 1525,71 \text{ кг/м}^3$$

$$V_2 = 2879,39 \text{ м/с}$$

$$Z_2 = 4,39311 \text{ М} \Omega \text{ас}$$

$$\rho_{\text{water}} = 997,77 \text{ кг/м}^3$$

$$V_{\text{water}} = 1486,54 \text{ м/с}$$

$$Z_{\text{water}} = 1,48322 \text{ М} \Omega \text{ас}$$

$$t_{12} t_{21} = 0,75479$$

$$X_2 = 47,078 \text{ мм (точное ультразвуковое измерение)}$$

$$Y_1 = 370,25 \text{ мВ}$$

$$Y_2 = 16,395 \text{ мВ}$$

$$\alpha_{\text{water}1\text{МГц}} = 0,682 \text{ Нп/м}$$

$$\alpha_2 = 60,92 \text{ Нп/м.}$$

Изобретение не ограничивается описанными реализациями, а распространяется на любой вариант в пределах объема формулы изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Способ характеристики детали, изготовленной из композитного материала (30), причем способ содержит этап определения характеристики продольной ультразвуковой

волны (41), проходящей по пути внутри детали (30), и отличается тем, что измеряют (E4) время прохождения продольной ультразвуковой волны (42), пропускаемой деталью (30), и измеряют время прохождения прошедшей волны (42) путем наблюдения начала волны (130, 160).

5 2. Способ характеристики по п. 1, в котором определяют скорость распространения продольной ультразвуковой волны (41) в детали (30) после прохождения пути в детали (30).

3. Способ характеристики по п. 1, в котором амплитуду прошедшей волны (42) также измеряют, чтобы определять затухание по всей длине или единице длины, которому
10 продольная ультразвуковая волна (41) подвергается при прохождении в детали (30).

4. Способ характеристики по п. 1, дополнительно содержащий этап измерения (E1) времени распространения ультразвуковой волны, прошедшей в отсутствие детали, и этап измерения (E2, E3) времен распространения ультразвуковых волн, отраженных соответственно первой лицевой стороной (31) детали и второй лицевой стороной (32)
15 детали, чтобы определять размер детали (30), при прохождении продольной ультразвуковой волны (41), проходящей по пути в детали.

5. Способ характеристики по п. 1, осуществляемый для детали, изготовленной из 3D тканевого композитного материала.

20

25

30

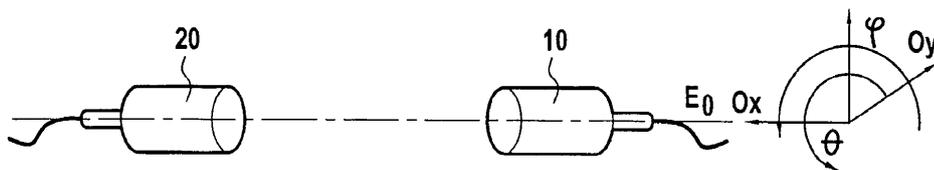
35

40

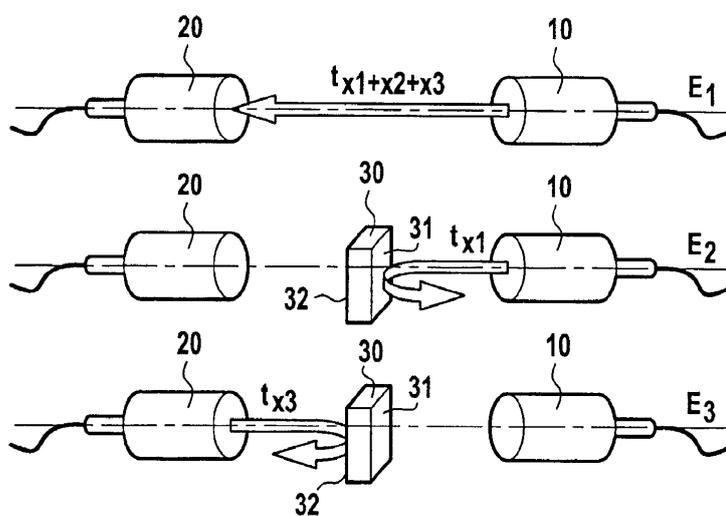
45

1/3

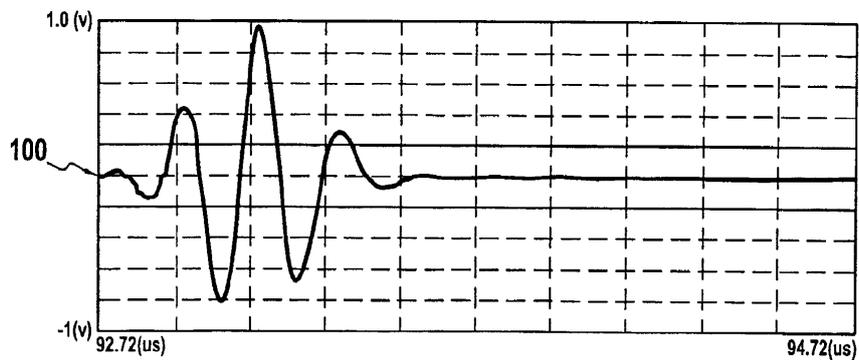
526185



ФИГ.1

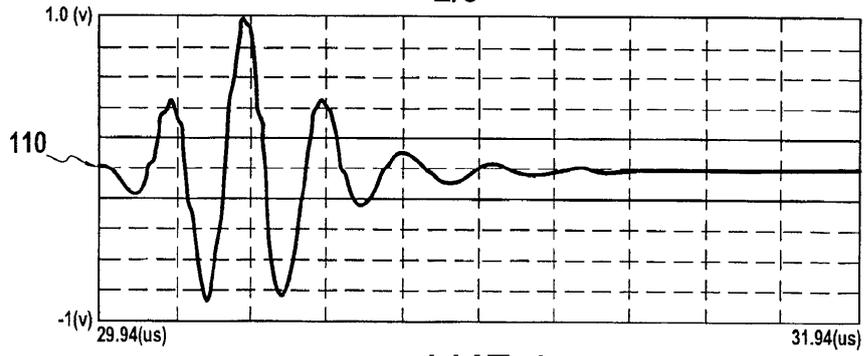


ФИГ.2

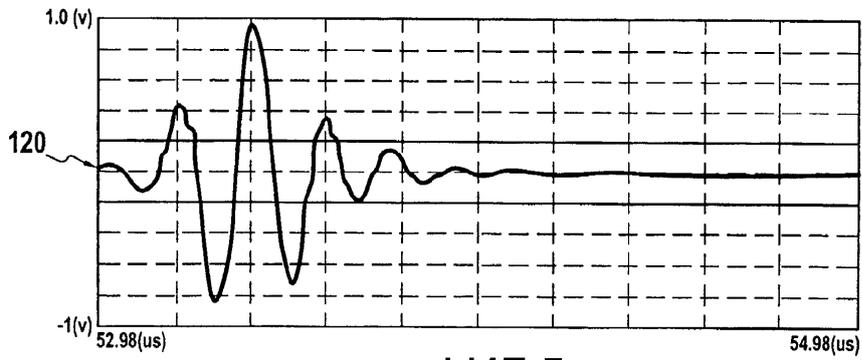


ФИГ.3

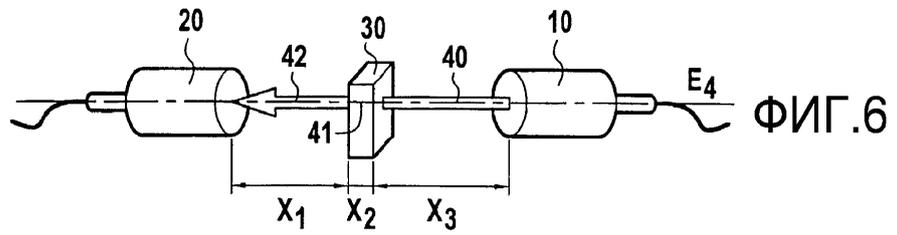
2/3



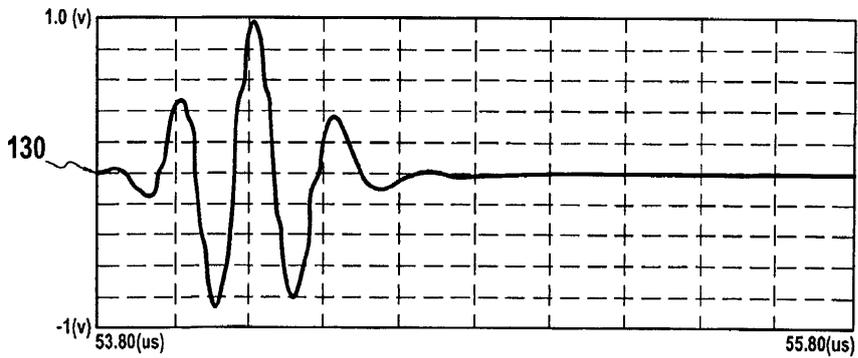
ФИГ.4



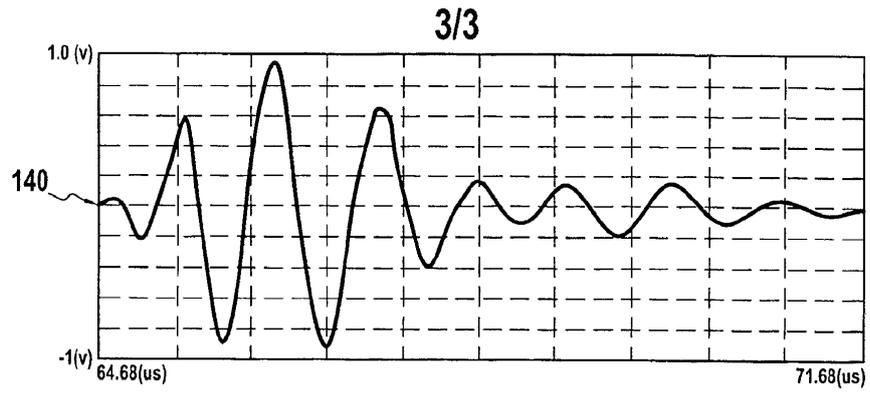
ФИГ.5



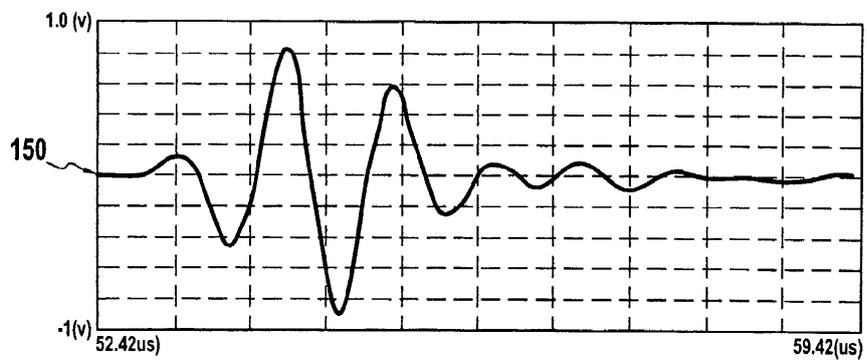
ФИГ.6



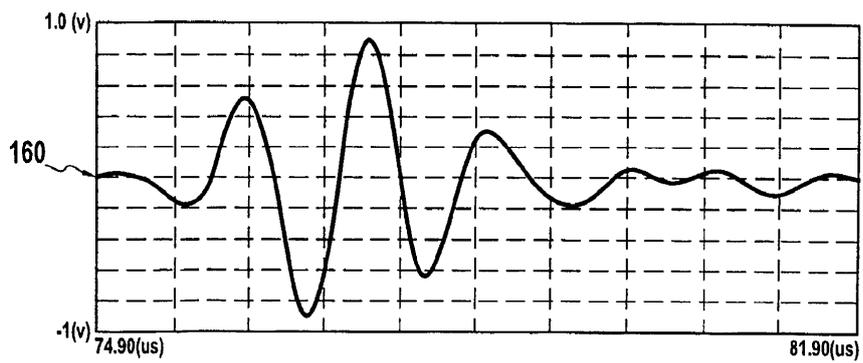
ФИГ.7



ФИГ.8



ФИГ.9



ФИГ.10