

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202392989

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.02.05

(22) Дата подачи заявки
2022.05.26

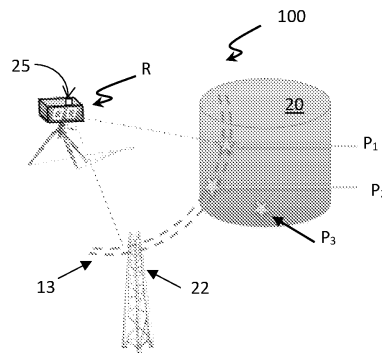
(51) Int. Cl. G01S 7/40 (2006.01)
G01S 7/41 (2006.01)
G01S 13/50 (2006.01)
G01S 13/75 (2006.01)
G01S 13/88 (2006.01)

(54) РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И СПОСОБ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ИЛИ ДЕФОРМАЦИЙ ОБЪЕКТОВ/КОНСТРУКЦИЙ

(31) 102021000014027
(32) 2021.05.28
(33) IT
(86) PCT/IB2022/054968
(87) WO 2022/249126 2022.12.01
(71) Заявитель:
ЭНИ С.П.А. (IT)

(72) Изобретатель:
Серена Алессандро, Джунта
Джузеппе, Монти-Гуарньери Андреа
Вирджилио, Манцони Марко (IT)
(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Рефлектометрическая система и способ для измерения ($d^i(nT)$) деформаций и/или вибраций объекта/конструкции (20). Система содержит радиолокационное устройство (R), подходящее для передачи радиолокационного сигнала (S_{IN}) по меньшей мере к одной цели, ассоциированной с объектом/конструкцией (20), цель является вибрирующей целью (P_i, P_i') с механическим вибрационным механизмом, оснащенный группой 3 электромоторов для формирования самоиндуцированного движения относительно объекта/конструкции (20), упомянутая по меньшей мере одна вибрирующая цель (P_i, P_i') вибрирует со своей собственной частотой ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, упомянутая по меньшей мере одна вибрирующая цель (P_i, P_i') модулирует радиолокационный сигнал (S_{IN}) по меньшей мере на основе упомянутой своей собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, чтобы формировать обратный сигнал (S_{OUT}), который принимается упомянутым радиолокационным устройством (R) как часть комплексного сигнала ($s(nT)$). Комплексный сигнал ($s(nT)$) обрабатывается, чтобы определять идентификационный сигнал ($S_i(nT)$) каждой вибрирующей цели (P_i, P_i') с помощью своей собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации; показатель ($d^i(nT)$) деформаций и/или вибраций определяется для каждой вибрирующей цели (P_i, P_i') на основе значения фазы ($\phi_i(nT)$), извлеченного из упомянутого идентификационного сигнала ($S_i(nT)$).



202392989

A1

A1

202392989

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-579441ЕА/019

РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И СПОСОБ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ИЛИ ДЕФОРМАЦИЙ ОБЪЕКТОВ/КОНСТРУКЦИЙ

Настоящее изобретение относится к рефлектометрической системе для измерения вибраций или деформаций объектов/конструкций.

Изобретение, в частности, относится к рефлектометрической системе, содержащей радиолокационное устройство, которое передает радиолокационный сигнал, по меньшей мере, к одному принимающему устройству или цели, ассоциированной с объектом/конструкцией.

Настоящее изобретение также относится к способу измерения вибраций или деформацией объектов/конструкций.

Описанные способ и система предоставляют показатели вибраций или деформации с субмиллиметровой точностью и чувствительностью и со временами реакции до миллисекунд. Возможными областями применения являются, например: промышленные установки для производства энергии, такие как ветровые турбины, нефтехимические заводы, газокompрессорные станции, теплоэлектростанции, дамбы и шлюзы, морские платформы, нефтеперерабатывающие заводы, резервуары для хранения, мосты и виадуки, памятники, исторические здания и т.д.

Предшествующий уровень техники

Различные системы и способы являются известными для наблюдения и предоставления точных показателей вибрации или деформации больших объектов/конструкций. Эти действия по наблюдению могут выполняться с помощью устройств, которые, размещенные удаленно относительно объекта или конструкции, которая должна наблюдаться, предоставляют возможность обнаружения изображений, акустических сигналов или оптических сигналов.

Хорошо известным в случае объектов/конструкций, таких как резервуары, мосты, морские конструкции и другие аналогичные конструкции большого размера, является наблюдение посредством рефлектометрических методов, которые основываются на передаче радиолокационных сигналов к объекту/конструкции и на анализе обратных сигналов. С этой целью, отражающие или целевые устройства также используются, которые могут быть активными или пассивными, и которые, ассоциированные с конструкцией, предоставляют возможность, по меньшей мере, локально, улучшения видимости объекта или конструкции и отражения принимаемых радиолокационных сигналов. Содействие принимающих устройств должно быть отделено от сигналов помех, формируемых мешающими конструкциями или объектами, которые должны быть проанализированы посредством радиолокационного устройства обнаружения. В случае принимающих устройств или целей, размещенных в одинаковой клетке растра, т.е., на одинаковом расстоянии от радиолокационного устройства обнаружения, как показано схематично на фиг. 1 и 2, существует перекрытие обратных сигналов - по модулю и фазе.

Следовательно, обратные сигналы каждой цели не могут быть легко отделены и, при наличии сигналов помех, также в той же клетке растра, сложность отделения увеличивается.

Известное решение для обработки обратного сигнала описывается в европейском патенте № EP2937710B1, выданном 14 марта 2018 года и зарегистрированном настоящим Заявителем, относящемся к кинематическому способу калибровки для измерения смещений и вибраций объектов/конструкций. Метод калибровки отделяет сигналы помех от отраженного сигнала посредством индуцирования, в отраженном сигнале, в течение предварительно определенного периода времени, вибрации известной продолжительности и частоты, которая предоставляет возможность расчета сигналов помех посредством статистического метода на основе члена фазы индуцированной вибрации.

Другие решения используют отражатели, такие как транспондеры с кодами, радиочастотными метками или RFID-метками, которые предоставляют возможность используемым системам и способам анализировать обратные сигналы, которые могут быть идентифицированы по фазе или амплитуде относительно сигналов, передаваемых радиолокаторами.

Даже эти решения, хоть и являются удовлетворительными в различных аспектах, имеют некоторые недостатки. Фактически, в некоторых случаях, чувствительность систем и способов подвержена дополнительным задержкам вследствие используемых электронных компонентов, которые имеют значительное влияние на полученные показатели измерений. Кроме того, упомянутые системы и способы анализа часто являются сложными и дорогостоящими.

Целью настоящего изобретения является придумывание и предоставление системы и способа эффективного и быстрого расчета показателя деформаций и вибраций объекта/конструкции, даже при наличии двух или более отражающих устройств, размещенных в той же клетке растра, с желаемыми характеристиками чувствительности и точности и со структурными и функциональными характеристиками, такими, чтобы решать высвеченные технические проблемы, таким образом, преодолевая недостатки, упомянутые со ссылкой на предшествующий уровень техники.

Краткая сущность изобретения

Идеей решения, лежащей в основе настоящего изобретения, является расчет показателя деформации или вибрации объекта/конструкции посредством наложения известных вибраций на упомянутые отражающие устройства или цели.

На основе этой идеи решения настоящее изобретение относится к рефлектометрической системе для измерения вибраций или деформаций объекта/конструкции, система оснащается радиолокационным устройством, подходящим для передачи радиолокационного сигнала, по меньшей мере, к одной цели, ассоциированной с объектом/конструкцией, упомянутая, по меньшей мере, одна цель является вибрирующей целью, содержащей вибрационный механизм, оснащенный группой электромоторов для формирования самоиндуцированного движения

относительно упомянутого объекта/конструкции со своей собственной частотой индуцированной вибрации, упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель модулирует упомянутый радиолокационный сигнал, по меньшей мере, на основе упомянутой своей собственной частоты индуцированной вибрации, чтобы формировать обратный сигнал; радиолокационное устройство соединяется с блоком обработки для приема и обработки комплексного сигнала, содержащего упомянутый обратный сигнал, и для извлечения, из упомянутого комплексного сигнала, идентификационного сигнала для упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели на основе упомянутой своей собственной частоты индуцированной вибрации, упомянутый блок обработки рассчитывает упомянутый показатель деформаций и/или вибраций на основе значения фазы упомянутого идентификационного сигнала, по меньшей мере, одной вибрирующей цели.

Преимущественно, упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель содержит блок управления, оснащенный микропроцессором, чтобы управлять своей собственной частотой индуцированной вибрации, которая индуцируется посредством группы электромоторов, упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель дополнительно содержит отражающее устройство, которое имеет тип пассивного отражателя или тип активного отражателя, содержащий блок усиления.

Удобно, вибрационный механизм конфигурируется, чтобы определять самоиндуцированное движение с диапазоном полуклебания больше нуля и не больше 0,2 длины волны упомянутого радиолокационного сигнала, предпочтительно диапазон полуклебания не больше 0,1 длины волны радиолокационного сигнала.

Упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель содержит измерительный модуль, оборудованный, по меньшей мере, одним датчиком состояния окружающей среды, акселерометром и/или инклинометром, и/или содержит беспроводной модуль, сконфигурированный, чтобы принимать/отправлять сигналы от/к упомянутому блоку обработки, упомянутый измерительный модуль и/или упомянутый беспроводной модуль управляются посредством блока управления.

Удобно, блок обработки содержит модуль обработки, оснащенный ветвью обработки для каждой из упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели, каждая ветвь обработки содержит:

- блок фильтрации, оснащенный полосовым фильтром, который фильтрует упомянутый комплексный сигнал на основе своей собственной частоты индуцированной вибрации, формируя упомянутый идентификационный сигнал; и

- модуль расчета фазы, содержащий блок извлечения члена фазы, подходящий для извлечения члена фазы упомянутого идентификационного сигнала, и блок развертки, который предоставляет возможность определения расчетного значения упомянутого показателя из упомянутого члена фазы.

Изобретение также относится к способу измерения смещений, вибраций или деформаций объекта/конструкции, содержащему этап измерения, который обеспечивает

передачу, по меньшей мере, одного радиолокационного сигнала от радиолокационного устройства, по меньшей мере, к одной цели, ассоциированной с упомянутым объектом/конструкцией, способ обеспечивает:

- оснащение упомянутой, по меньшей мере, одной цели вибрационным механизмом, содержащим группу электродвигателей, для формирования, по меньшей мере, одной вибрирующей цели с самоиндуцированным движением относительно упомянутого объекта/конструкции, упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель имеет свою собственную частоту индуцированной вибрации;

- формирование обратных сигналов посредством модулирования упомянутого радиолокационного сигнала, по меньшей мере, на основе упомянутой своей собственной частоты самоиндуцированной вибрации упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели;

- прием и обработку комплексного сигнала, содержащего упомянутый обратный сигнал;

- извлечение из упомянутого комплексного сигнала идентификационного сигнала для каждой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели на основе упомянутой своей собственной частоты индуцированной вибрации;

- определение значения фазы упомянутого идентификационного сигнала для каждой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели; и

- расчет упомянутого показателя деформаций и/или колебаний в соответствии с каждой, по меньшей мере, одной вибрирующей целью на основе упомянутого определенного значения фазы.

Преимущественно, способ предоставляет управление упомянутой своей собственной частотой индуцированной вибрации упомянутой группы электродвигателей посредством блока управления, оснащенного микропроцессором, и снабжение упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели отражающим устройством, которое имеет тип пассивного отражателя или тип активного отражателя, содержащий блок усиления.

Удобно, способ предоставляет определение самоиндуцированного движения с диапазоном полукосинуса больше нуля и не больше 0,2 длины волны упомянутого радиолокационного сигнала, предпочтительно, диапазоном полукосинуса не больше 0,1 длины волны радиолокационного сигнала.

Способ содержит: отдельную обработку упомянутого комплексного сигнала для каждой из упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели посредством обеспечения:

- фильтрации упомянутого комплексного сигнала с помощью полосового фильтра на основе упомянутой своей собственной частоты индуцированной вибрации, чтобы формировать упомянутый идентификационный сигнал;

- извлечения члена фазы упомянутого идентификационного сигнала и идентификации непрерывного профиля упомянутого члена фазы посредством блока

развертки.

Способ обеспечивает определение члена фазы посредством извлечения ряда (N_c) последовательных выборок из упомянутого идентификационного сигнала и максимизации повернутого в противоположном направлении идентификационного сигнала упомянутой фазы в действительной части, возведенной в квадрат.

Способ предоставляет расчет упомянутого показателя посредством обработки двух или более вибрирующих целей, принадлежащих одной и той же клетке разрешения.

Характеристики и преимущества рефлектометрической системы и способа согласно изобретению будут получены в результате последующего описания предпочтительного варианта осуществления, приведенного в качестве указания, а не ограничения со ссылкой на прилагаемые чертежи.

Краткое описание чертежей

На таких чертежах:

- Фиг. 1 и 2 показывают, схематично и соответственно, рефлектометрическую систему с двумя целями в одинаковой клетке разрешения и представление в комплексной плоскости двух обратных сигналов, отправленных двумя целями в одно и то же время (t);
- Фиг. 3 схематично показывает рефлектометрическую систему, выполненную согласно настоящему изобретению;
- Фиг. 4 и 5 показывают, с помощью блок-схем, первый и второй вариант осуществления цели, выполненные согласно настоящему изобретению;
- Фиг. 6 схематично показывает три примера обратных сигналов, отраженных или переданных целью, созданной согласно настоящему изобретению;
- Фиг. 7 и 8 показывают, соответственно, блок-схему и представление, в комплексной плоскости, некоторых этапов способа согласно настоящему изобретению;
- Фиг. 9 показывает с помощью блок-схемы моделирование способа на фиг. 7;
- Фиг. 10-18 показывают некоторые графики, относящиеся к моделированию способа согласно настоящему изобретению;
- Фиг. 19-21 показывают, в соответствующих схематичных видах, некоторые примеры использования системы и способа согласно настоящему изобретению.

Подробное описание

Со ссылкой на чертежи, рефлектометрическая система и способ для измерения вибраций или деформаций объекта/конструкции 20 описываются, согласно настоящему изобретению. Система содержит, по меньшей мере, одно радиолокационное устройство R и множество целей, ассоциированных с объектом/конструкцией 20. Согласно настоящему изобретению и, как станет яснее в последующем описании, цели вибрируют или являются механически активными с вибрирующим движением, индуцированным со своей собственной частотой $f_{v,i}$ индуцированной вибрации. Кроме того, цели также являются отражающими P_i или электронно усиливающими P_i' . В случае усиливающих вибрирующих целей P_i' сигнал, отправляемый радиолокационным устройством R , также усиливается по амплитуде перед передачей.

Фаза обработки сигналов, принимаемых радиолокационным устройством R , имеет место с выполнением анализа, который позволяет различать или отделять вклады каждой интересующей вибрирующей цели P_i или P_i' , используя априорное знание различных и собственных частот $f_{v,i}$ индуцированных вибраций или колебаний. Показатель деформаций и/или вибраций объекта/конструкции 20, следовательно, определяется на основе расчета значения фазы для вклада каждой интересующей вибрирующей цели P_i .

Рефлектометрическая система 100, иллюстрированная на фиг. 3, содержит объект/конструкцию 20, которая является большим резервуаром, наблюдаемым посредством радиолокационного устройства R посредством трех целей P_1 - P_3 , ассоциированных с внешней поверхностью резервуара 20. Две из трех целей являются изо-диапазоном, т.е., размещены в одинаковой клетке 13 разрешения. Цель P_3 является внешней по отношению к клетке 13 разрешения и, следовательно, не мешает показателю измерения, получаемому от целей P_1 и P_2 . Вибрирующие цели изо-диапазона, P_1 и P_2 , вибрируют с соответствующей и собственной частотой, $f_{v,1}$ и $f_{v,2}$, индуцированной вибрации. Каждая вибрирующая цель, P_1 и P_2 , отражает или передает, усиливая, радиолокационные сигналы S_{IN} , отправленные радиолокационным устройством R , формируя обратные сигналы, S_{OUT1} и S_{OUT2} . Обратные сигналы, S_{OUT1} и S_{OUT2} , модулируются на основе индуцированного вибрационного смещения. В частности, обратные сигналы, S_{OUT1} и S_{OUT2} , имеют соответствующие фазы $\phi_1(t)$ и $\phi_2(t)$, которые относятся к их индуцированной частоте, f_1 и f_2 , и к моментальной позиции цели, P_1 и P_2 , относительно резервуара 20. Комплексный сигнал $s(t)$, принятый во время t принимающим радиолокационным устройством R , представляется векторной суммой в комплексной плоскости обратных сигналов, S_{OUT1} и S_{OUT2} , как схематично показано на фиг. 2.

В примере на фиг. 3, сетчатая структура 22 или дополнительные отражающие структуры, включенные в одинаковую клетку 13 разрешения, могут формировать отраженные сигналы W в качестве внесений помех в обратные сигналы, S_{OUT1} и S_{OUT2} , и, следовательно, рассматриваемые как шум/искажение. Упомянутые мешающие отраженные сигналы W лишены индуцированного вибрационного движения.

В первом варианте осуществления, показанном на фиг. 4, цель P_i имеет вибрационно-отражательный тип и содержит отражающее устройство или пассивный отражатель 50, который предоставляет возможность отражения радиолокационных сигналов S_{IN} , отправленных радиолокационным устройством R . Пассивный отражатель 50 показан как дополнительный элемент, однако, пассивный отражатель 50 может быть заводской табличкой или фрагментом самой цели P_i , при условии, что она имеет отражающую поверхность.

Вибрационно-отражающая цель, P_i , содержит блок 1 управления, блок 2 подачи мощности и, вставленный между ними, механический вибрационный механизм, оборудованный группой 3 электромоторов. Блок 1 управления может содержать микропроцессор и конфигурируется, чтобы управлять частотой вибрации, индуцируемой

посредством группы 3 электромоторов.

Кроме того, цель, P_i , может содержать измерительный модуль 5, с датчиками 6 состояния окружающей среды, такими как датчики температуры, влажности и давления, и может дополнительно содержать акселерометр 7 и/или инклинометр 8. Датчики измерительного модуля 5 ассоциируются с вибрирующей целью, P_i , и управляются посредством блока 1 управления по шине связи. Таким образом, группа 3 электромоторов может управляться посредством блока 1 управления аккуратным и точным образом, поддерживая свою собственную частоту $f_{v,i}$ индуцированной вибрации или колебания постоянной, также в отношении окружающих условий, реального ускорения, обнаруживаемого посредством акселерометра 7, и данных, обнаруживаемых посредством инклинометра 8.

В одном варианте осуществления, датчики измерительного модуля 5 могут быть выполнены посредством одного или более MEMS-устройств (акроним для микроэлектромеханической системы), предоставляющих возможность уменьшения эффекта помех, формируемых в каждой цели P_i .

Группа 3 электромоторов может быть, например, мотором с печатной обмоткой, РСТ-мотором или мотором с платой печатного монтажа.

Согласно настоящему изобретению, группа 3 электромоторов конфигурируется таким образом, чтобы определять самоиндуцированное вибрационное движение с диапазоном $a_{v,i}$ полуколебания больше нуля и не больше $0,2$ длины волны λ радиолокационного сигнала S_{IN} . Предпочтительно, самоиндуцированное вибрационное движение имеет диапазон $a_{v,i}$ полуколебания, не превышающий $0,1$ длины волны λ радиолокационного сигнала S_{IN} . Полуамплитуда колебания $a_{v,i}$ ссылается на колебание от 0 до пикового значения.

Вибрирующая цель P_i может содержать беспроводной модуль с беспроводным блоком 10, который оборудуется Wi-Fi антенной 11 и который управляется посредством блока 1 управления. Беспроводной блок 10 конфигурируется, чтобы принимать/отправлять сигналы от/к микропроцессору блока 25 обработки, который, в одном варианте осуществления, соединяется и обменивается данными с радиолокационным устройством R. Блок 25 обработки содержит запоминающие устройства, регистры и/или базы данных, в которых виртуальные операционные данные для каждой вибрирующей цели P_i хранятся, особенно данные, относящиеся к вибрационному движению и ее собственной частоте $f_{v,i}$ индуцированной вибрации.

Сигналы, принимаемые беспроводным модулем 10, содержат виртуальные данные, относящиеся к параметрам работы и управления группы 3 электромоторов. Согласно одному варианту осуществления, блок 1 управления может модифицировать свою собственную частоту $f_{v,i}$ индуцированной вибрации или он может индуцировать и управлять регулируемым по времени зажиганием группы 3 электромоторов, чтобы формировать свои собственные индуцированные вибрационные движения, диверсифицированные в предварительно определенных временных интервалах.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 5, вибрирующая цель P_i' является электронно-усиливающей целью. Вибрационно-усиливающая цель, P_i' , содержит активное отражающее устройство вместо пассивного отражателя 50. Активное отражающее устройство содержит блок 9 усиления, чтобы усиливать амплитуду радиолокационного сигнала S_{IN} , прежде чем он передается в качестве обратного сигнала S_{OUT} .

Вибрационно-усиливающая цель P_i' может содержать устройство Rx-Tx приемопередатчика или, как показано, может содержать первую приемную антенну Rx и вторую передающую антенну Tx. Вибрационно-усиливающие цели P_i' предоставляют возможность усиления обратных сигналов S_{OUT} , улучшая их видимость по сравнению с вибрационно-отражающими целями P_i .

В одном варианте осуществления, блок 9 усиления является практически полосовым усилителем, содержащим три усилителя A1, A2 и A3, соединенных в цепь с фазовой устойчивостью. Цепочечный усилитель 9 конфигурируется, чтобы предоставлять усиление приблизительно 20 дБ в K-диапазоне, который находится между 18-26 ГГц, или усиление приблизительно 50 дБ в W-диапазоне, который находится между 75-111 ГГц. В предпочтительном варианте осуществления, усиление равно приблизительно 50 дБ в W-диапазоне между 77-81 ГГц.

На фиг. 6, показаны примеры трех различных обратных сигналов, сформированных посредством трех различных индуцированных вибрационных движений, которые конфигурируются, чтобы определять сдвиги как во временной области, так и в частотной области, как очевидно в показанных сигналах S_{OUT10} , S_{OUT20} и S_{OUT30} . Согласно настоящему изобретению, радиолокационный сигнал S_{IN} перед отправкой, отражением или передачей в качестве обратного сигнала S_{OUT} , посредством вибрирующей цели P_i или P_i' , модифицируется по фазе, на основе своей собственной индуцированной вибрации, $f_{v,i}$, сформированной посредством электромотора 3 вибрационного механизма, который определяет смещение относительно резервуара 20. Кроме того, радиолокационный сигнал S_{IN} может быть усилен посредством блока 9 усиления.

Естественно, каждый обратный сигнал, S_{OUT} , принятый радиолокационным устройством R, также модулируется по фазе посредством деформации или вибрации резервуара 20 в соответствии с вибрирующей целью, P_i или P_i' , которая определяет интересующий член показателя, $d^i(nT)$.

Полная процедура способа определения показателя, $d^i(nT)$, деформаций и/или вибраций резервуара 20 предусматривает следующее:

- фазу измерения, во время которой радиолокационные сигналы, S_{IN} , отправленные радиолокационным устройством R, принимаются двумя или более вибрационно-отражающими целями P_i или вибрационно-усиливающими целями P_i' , включающими в себя изо-диапазон, ассоциированными с упомянутым резервуаром 20. Эти две или более вибрирующих цели создаются согласно тому, что было ранее описано.

Следовательно, упомянутые вибрирующие цели формируют соответствующие обратные сигналы, S_{OUT1} и S_{OUT2} , модулирующие, т.е., отражающие или передающие

усиленные приняты радиолокационные сигналы, S_{IN} , по меньшей мере, на основе их собственной частоты, $f_{v,i}$, индуцированной вибрации.

Способ подразумевает фазу получения, в которой единый комплексный сигнал принимается и обрабатывается принимающим радиолокационным устройством R. Комплексный сигнал содержит обратные сигналы, S_{OUT1} и S_{OUT2} , в дополнение к каким-либо сигналам W помех или обратным сигналам S_{OUT3} неинтересующих вибрирующих целей (или со своей собственной частотой, $f_{v,i}$, равной нулю, и, следовательно, не вибрирующих и рассматриваемыми как сигналы шума или помех). Комплексный сигнал в непрерывном времени указывается как функция $s(t)$, а в дискретном времени он указывается как $s(nT)$, где T является периодом выборки, а n является целым числом.

Комплексный сигнал $s(nT)$ затем обрабатывается блоком 25 обработки, который ассоциируется с радиолокационным устройством R, в реальном времени в течение фазы получения или впоследствии. Обработка подразумевает извлечение из комплексного сигнала $s(nT)$ идентификационного сигнала $S_i(nT)$, ассоциированного с каждой вибрирующей целью, P_i и P_i' , на основе упомянутой собственной частоты $f_{v,i}$ индуцированной вибрации.

Способ предоставляет определение значения фазы, $\phi_i(nT)$, для каждого извлеченного идентификационного сигнала, $S_i(nT)$, и расчет упомянутого показателя $d^i(nT)$ деформаций и/или вибраций резервуара 20 в соответствии с каждой вибрирующей целью, P_i и P_i' , на основе соответствующего значения фазы, $\phi_i(nT)$, которое определено.

В одном варианте осуществления, показанном на фиг. 7, блок 25 обработки содержит модуль 30 обработки, оснащенный N ветвями обработки для соответствующего количества N интересующих вибрирующих целей, P_i и P_i' и облучаемый одними и теми же S_{IN} радиолокационными сигналами. Каждая ветвь обработки содержит блок 31 фильтрации, оборудованный полосовым фильтром, и модуль 32 расчета фазы, который предоставляет возможность для определения, в качестве выходного значения, расчетного значения 35 показателя $d^i(nT)$ деформации или вибрации резервуара 20 для каждой P_i и P_i' вибрирующей цели.

С помощью полосового фильтра блок 31 фильтрации отвечает за извлечение, из комплексного сигнала $s(nT)$, содействия или идентификационного сигнала $S_i(nT)$, ассоциированного с каждой вибрирующей целью, P_i и P_i' . Извлеченные компоненты являются симметричными компонентами с частотой, равной $\pm f_{v,i}$, на основе виртуального значения собственной частоты, $f_{v,i}$, индуцированной вибрации каждой вибрирующей цели, P_i и P_i' , которое хранится посредством блока 25 обработки.

Модуль 32 оценки фазы содержит блок 33 извлечения фазы, подходящий для извлечения члена фазы идентификационного сигнала $S_i(nT)$, и блок 34 развертки, который определяет непрерывный профиль с множителями 2π и который предоставляет возможность определения, в качестве выходного значения, расчетного значения 35 интересующего показателя, $d^i(nT)$.

В частности, комплексный сигнал $s(nT)$, принимаемый радиолокационным

устройством R, в момент времени, nT , может быть представлен формулой:

$$s(nT) = \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}(R_0 + a_{v,i} \sin(2\pi f_{v,i} nT) + d_i(nT))} \quad (1)$$

где:

T является периодом выборки, также называемым PRI (акроним для интервала повторения импульсов), и является значением по умолчанию;

N является числом интересующих вибрирующих целей P_i , облучаемых, т.е., в поле обзора, т.е., в той же клетке 13 разрешения относительно радиолокационного устройства R;

ρ_i является комплексным коэффициентом отражения цели P_i ;

λ является длиной волны радиолокационного сигнала S_{IN} ;

R_0 является первоначальным расстоянием от радиолокационного устройства R до вибрирующей цели, P_i или P_i' , неподвижной, т.е., с нулевым индуцированным вибрационным движением;

$a_{v,i}$ является полуамплитудой вибрационного движения, индуцируемого группой 3 электромоторов соответствующей вибрирующей цели;

$f_{v,i}$ является собственной индуцированной частотой вибрации для каждой вибрирующей цели, P_i и P_i' ;

$d_i(nT)$ является показателем деформации или вибрации, измеренной в течение времени nT посредством соответствующей вибрирующей цели.

В одном варианте осуществления, рассмотрим для каждой вибрирующей цели, P_i или P_i' , синусоидальное движение в качестве индуцированного вибрационного движения, обратный сигнал $S_{OUTi}(nT)$ предоставляется посредством суммы бесконечных синусоид с частотой, кратной своей собственной индуцированной частоте $f_{v,i}$, и амплитудой, наложенной посредством возможного усиления, индуцированного посредством блока 9 усиления.

Обратный сигнал $S_{OUTi}(nT)$ для каждой вибрирующей цели P_i или P_i' может быть описан следующим образом:

$$S_{OUTi}(nT) = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}d_i(nT)} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k(\beta) e^{jk\omega_i nT} \quad (2)$$

где:

$$\beta = \frac{4\pi}{\lambda} a_{v,i}$$

$$\omega_i = 2\pi f_{v,i}$$

$J_k(\beta)$ представляет амплитуду спектрального компонента с частотой $kf_{v,i}$,

определенной в β и сопоставленной для каждой вибрирующей цели, P_i или P_i' . Член, пропорциональный усилению и затуханию вследствие распространения, не был включен в формулу 2, как ясно специалисту в области техники.

Следовательно, с N вибрирующими целями, P_i и P_i' , в одной и той же клетке 13 разрешения, комплексный сигнал $s(nT)$, принимаемый радиолокатором R , может быть представлен суммой N обратных сигналов $S_{OUTi}(nT)$, т.е.:

$$s(nT) = e^{-j\phi_1(nT)}J_0(\beta) + e^{-j\phi_1(nT)}J_1(\beta)e^{j\omega_1 nT} + e^{-j\phi_1(nT)}J_2(\beta)e^{j2\omega_1 nT} + \dots \\ e^{-j\phi_2(nT)}J_0(\beta) + e^{-j\phi_2(nT)}J_1(\beta)e^{j\omega_2 nT} + e^{-j\phi_2(nT)}J_2(\beta)e^{j2\omega_2 nT} + \dots \quad (3)$$

Для простоты, формула (3) сообщается для N , равного двум, первой вибрирующей цели P_1 , первого ряда, и второй вибрирующей цели P_2 второго ряда. Для каждой вибрирующей цели, P_i и P_i' , интересующий показатель $d^{\wedge}i(nT)$ связывается с концом фазы соответствующего извлеченного идентификационного сигнала $S_i(nT)$, с учетом основной гармоники, согласно следующему уравнению:

$$\phi_i(nT) = \frac{4\pi}{\lambda} d_i(nT) \quad (4)$$

В одном варианте осуществления, блок 33 извлечения члена фазы рассматривает число N_c последовательных выборок, с постоянным значением фазы $\phi_i(nT)$, и максимизирует, относительно фазы ϕ , идентификационный сигнал $s_i(nT)$, повернутый в противоположном направлении на значение ϕ , в действительной части, возведенной в квадрат согласно следующей функции:

$$\phi(\bar{nT}) = \operatorname{argmax}_{\phi} \frac{1}{N_c} \sum_{i=n-N_c/2}^{n+N_c/2} (\operatorname{Re}\{s_i(iT)e^{j\phi}\})^2 \quad (5)$$

Следовательно, расчетное значение 35 интересующего показателя измерения $d^{\wedge}i(nT)$ получается с учетом непрерывного профиля (посредством функции развертки) расчетного значения члена фазы $\phi_i(nT)$, посредством:

$$\bar{d}_i(\bar{nT}) = \frac{\lambda}{4\pi} \phi_{iu}(nT) \quad (6)$$

Преимущественно, для каждой вибрирующей цели формула (5) усредняет значения N_c выборок, предоставляя возможность устранять медленное смещение или вибрационное смещение, индуцированное вибрацией самой вибрирующей цели P_i и P_i' .

Согласно настоящему изобретению, самоиндуцированное движение каждой вибрирующей цели, P_i и P_i' , имеет диапазон $a_{v,i}$ полукосебания больше нуля и не больше $0,2$ длины волны λ радиолокационного сигнала S_{IN} . Предпочтительно, этот диапазон $a_{v,i}$ полукосебания не больше $0,1$ длины волны λ радиолокационного сигнала S_{IN} . Таким образом, первая гармоника упомянутого выходного сигнала $S_{OUTi}(nT)$ является доминирующей гармоникой.

В одном варианте осуществления, полосовой фильтр 31 может быть FIR или IIR-фильтром, акронимы для конечной импульсной характеристики и бесконечной импульсной характеристики, соответственно, и с шириной полос порядка нескольких Гц.

Преобразование Фурье для полосового фильтра является симметричным и предоставляет возможность вам извлекать компоненты $k=1$ и $k=-1$ в уравнении 2), указанном выше.

В частности, каждый отфильтрованный идентификационный сигнал $s_i(nT)$ может быть представлен посредством:

$$s_i(nT) = e^{-j\phi_1(nT)} J_1(\beta_1) e^{j\omega_1 nT} + e^{-j\phi_2(nT)} J_1(\beta_1) e^{-j\omega_1 nT} + w_F(nT) \quad (7)$$

где $\phi_1(nT)$ представляет член фазы, который должен наблюдаться и быть связан с интересующим показателем $d^i(nT)$,

$$e^{j\omega_1 nT} \text{ и } e^{-j\omega_1 nT} \text{ представляют компоненты первой гармоники для } k=1 \text{ и } k=-1;$$

$w_F(nT)$ представляет отфильтрованный шум.

Как очевидно специалисту в области техники, фильтрованный идентификационный сигнал $S_i(nT)$ (уравнение 7) может быть представлен графически в комплексной плоскости Re-Im и для фиксированного момента времени nT , как иллюстрировано на фиг. 8. Два фазирующих устройства, F_1 и F_2 , вращаются с угловой скоростью ω_1 : одно по часовой стрелке, а другое против часовой стрелки. Векторная сумма фазирующих устройств, F_1 и F_2 , определяет вектор F , который представляет идентификационный сигнал $S_i(nT)$.

Для неподвижной вибрирующей цели, P_b , т.е., с вибрационным смещением, но без деформации объекта/структуры 20, сумма фазирующих устройств, F_1 и F_2 , идет по биссектрисе A . С деформацией или вибрацией объекта/конструкции 20, существует наклон линии A , и этот наклон коррелирует с вышеупомянутым интересующим показателем измерения, $d^i(nT)$. Следовательно, обработка с помощью блока 32 оценки предоставляет возможность оценки показателя деформации или вибрации в динамике по времени, по существу, определяя уклон прямой линии, заданный суммой двух фазирующих устройств, F_1 и F_2 . Как очевидно, предыдущее уравнение (5) состоит во вращении в противоположных направлениях вектора F , заданного суммой двух вращающихся фазирующих устройств, пока угол вращения в противоположных направлениях, который максимизирует действительную часть возведенного в квадрат сигнала, не будет найден.

Интересующий показатель измерения, $d^i(nT)$, определяемый с помощью настоящего изобретения, преимущественно является свободным от помех от других неподвижных или вибрирующих объектов с неинтересующими частотами. Следовательно, измерительная система и способ были найдены очень точными и многофункциональными.

Посредством системы и способа, согласно настоящему изобретению, возможно определять, был ли интересующий расчетный показатель, $d^i(nT)$ сформирован посредством события, внешнего по отношению к объекту/конструкции 20, и, в этом случае, исправлять или компенсировать расчетное значение интересующего показателя. Посредством измерительного модуля 5 датчики 6 состояния окружающей среды обнаруживают данные, такие как температура, влажность и давление, например, во

временной последовательности и, в известном режиме, могут быть включены в обратный сигнал S_{OUTi} , который затем должен быть обработан посредством блока 25 обработки.

Кроме того, согласно настоящему изобретению, возможно определять временный источник деформации или вибрации объекта/конструкции 20 с помощью взаимной корреляции и математической модели. Например, посредством датчика температуры модуля 6 и/или дополнительных датчиков температуры, ассоциированных внутренне с резервуаром 20, с тем, чтобы наблюдать за температурой содержащейся текучей среды, возможно обнаруживать температуры и сопоставлять эти обнаруженные значения с расчетными значениями интересующих показателей $d^i(nT)$, полученными посредством настоящего изобретения. Например, возможно сопоставлять температуру текучей среды, содержащейся в резервуаре 20, с деформацией стали, из которой сделан сам резервуар 20.

Дополнительно, также возможно рассчитывать задержку каждого обратного сигнала S_{OUTi} вследствие атмосферных возмущений на дистанции от радиолокационного устройства R до цели, P_i . Фаза обратного сигнала, S_{OUTi} , в заданное время t , может быть выражена следующей функцией:

$$\phi_P(t) = \phi_{0,P} + \frac{4\pi}{\lambda} (R_P(t) + R_{atm,P}(t)) \quad (8)$$

где: $\phi_{0,P}$ является фазой обратного рассеяния цели (P);

$R_P(t)$ является геометрическим расстоянием между радиолокационным устройством R и целью P;

$R_{atm,P}(t)$ является дополнительной атмосферной задержкой, которая может быть выражена как функция параметров: температура, влажность и давление, согласно известным формулам. Дополнительная атмосферная задержка может считаться постоянной в анализируемом пространстве и с учетом N коэффициента преломления атмосферы, мы имеем $N(P,t) = N(t)$. Следовательно, дополнительная атмосферная задержка может быть выражена следующим образом:

$$R_{atm,P}(t) = 10^{-6} \int N(t) dl = 10^{-6} N(t) R_P \quad (9)$$

После того как значение $R_{atm,P}$ было определено для каждого пикселя и для каждого обнаруженного изображения, возможно определять фазу с помощью функции

$$\phi_{atm,P}(t) = \frac{4\pi}{\lambda} R_{atm,P}(t) \quad (10)$$

и затем определять компенсированную фазу с помощью следующего:

$$\phi_{comp}(t) = \phi_P(t) - \phi_{atm,P}(t) \quad (11)$$

Моделирование

Заявитель выполнил различные моделирования, чтобы подтвердить функциональность и добротность способа и предложенной системы. Фиг. 9 показывает схему моделирования, использованную с тремя целями, P_1 - P_3 , изо-диапазоном, ассоциированным с объектом/конструкцией, и сконфигурированную, чтобы обнаруживать

соответствующие деформации. Вибрационное движение индуцируется в каждой цели, P_1 - P_3 , с предварительно определенной индуцированной частотой, f_1 , f_2 и f_3 . Каждая цель, P_1 - P_3 , отражает или передает радиолокационную волну, S_{IN} , к принимающему радиолокационному устройству R . Принятый комплексный сигнал, $s(nT)$, включает в себя обратные сигналы, S_{OUT1} - S_{OUT3} , и может также включать в себя сигналы W помех и, среди последних, также шум с гауссовой амплитудой и постоянным спектром, т.е., белый гауссов шум.

Дополнительные спецификации моделирования являются следующими:

- радиолокационное устройство (R) имеет значение PRF Radar 500 Гц и время моделирования 1 час.

- вибрирующие цели имеют характеристики, показанные в следующей таблице:

	Средняя скорость деформации [мкм/с]	Собственная частота $f_{v,i}$ вибрации [Гц]	Амплитуда вибрации [мм]
Вибрирующая цель P_1	-0.5	78	0.26
Вибрирующая цель P_2	0.2	100	0.28
Вибрирующая цель P_3	0	0	0

Вибрирующая цель P_3 имеет ноль в качестве своей собственной частоты $f_{v,i}$ индуцированного вибрационного движения; таким образом, она была рассмотрена как неинтересующая для расчета показателя, $d^i(nT)$.

Моделирование с помощью модуля 30 обработки предоставляет возможность определения значений расчетных показателей $d^1(nT)$, $d^2(nT)$. Фиг. 10 показывает смоделированную деформацию каждой вибрирующей цели P_1 - P_3 в динамике по времени (d_1 , d_2 , d_3 как для фиг. 9). Кривая c_1 деформации вибрирующей цели P_1 представляет перемещение цели от радиолокационного устройства R . Между тем, кривая c_2 деформации относительно цели, P_2 , представляет перемещение цели, приближающейся к радиолокационному устройству R .

Фиг. 11 показывает комплексный сигнал $s(nT)$ в частотной области с частотными компонентами 0 Гц, 78 Гц и 100 Гц, первой гармоникой и последующих гармоник. Фиг. 12 и 13 показывают, соответственно, сигнал, отфильтрованный через полосовой фильтр 31 около 100 Гц и 78 Гц. В частности, FIR-фильтр порядка 256 был использован, в котором полоса равна 6 Гц, а полоса затухания равна 180 дБ.

Фиг. 14 и 16 соответственно показывают кривые расчетных значений для показателей $d^i(nT)$ и реальных значений измерений, относящихся к вибрирующим целям, P_1 и P_2 . По существу, две кривые показаны перекрывающимися, таким образом, подтверждая эффективность процесса обработки согласно настоящему изобретению. Эта эффективность также подтверждается трендом, по времени, остатков расчетных значений для показателей $d^i(nT)$, показанных на фиг. 15 и 17.

Ретроспективная оценка точности расчета интересующего показателя, $d^i(nT)$, согласно настоящему изобретению, анализируется посредством вычисления остаточного

стандартного отклонения, с помощью следующей формулы:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\widehat{d}_i(nT) - d_i(nT))^2} \quad (12)$$

где:

$\widehat{d}_i(nT)$ является расчетным показателем;

$d_i(nT)$ является фактическим показателем измерения;

N является суммарным числом выборок, рассмотренных в формуле (5).

Фиг. 18 показывает стандартное отклонение расчетного значения показателя, $\widehat{d}_i(nT)$, как функцию соотношения сигнал/шум (SNR). С увеличением в соотношении сигнал/шум расчетное значение показателя $\widehat{d}_i(nT)$ улучшается, пока оно не достигнет мкм значений. Было подмечено, что, с соотношением сигнал/шум, равным 13 дБ, вероятность ложной тревоги равна 10^{-5} , а вероятность корректного обнаружения равна 0,9, и, следовательно, расчет значения интересующего показателя $\widehat{d}_i(nT)$ приблизительно равен 10 мкм.

Фиг. 19-21 показывают некоторые примеры, в которых система и способ, согласно настоящему изобретению, используются. На фиг. 19, система используется на ветровой электростанции; на фиг. 20, система наблюдает за ректификационной колонной, используемой на нефтеперерабатывающем заводе, в то время как на фиг. 21, система используется для перекрестного мониторинга решетчатых опорных конструкций двух объектов.

Было обнаружено, что задуманные система и способ достигли предназначенной цели и задач и подходят для экстраполяции, из комплексного сигнала, принимаемого от радиолокационного устройства, сигнала, передаваемого каждой целью, даже в случае изодиапазона на основе механической модуляции, индуцируемой посредством группы электромоторов, активизируемой в каждой вибрирующей цели. Это предоставляет возможность легкого отделения принимаемых сигналов с помощью интерферометрического метода, получения расчетных значений интересующих показателей, относящихся к вибрациям или деформациям объекта/конструкции, которые являются все более точными и исполняемыми.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Рефлектометрическая система для измерения ($d^i(nT)$) деформаций и/или вибраций объекта/конструкции (20), система оснащается радиолокационным устройством (R), подходящим для передачи радиолокационного сигнала (S_{IN}), по меньшей мере, к одной цели, ассоциированной с упомянутым объектом/конструкцией (20),

- упомянутая, по меньшей мере, одна цель является вибрирующей целью (P_i, P_i'), которая содержит вибрационный механизм, оснащенный группой (3) электродвигателей для формирования самоиндуцированного движения относительно упомянутого объекта/конструкции (20) со своей собственной частотой ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель (P_i, P_i') модулирует упомянутый радиолокационный сигнал (S_{IN}), по меньшей мере, на основе упомянутой своей собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, чтобы формировать обратный сигнал (S_{OUTi});

- упомянутое радиолокационное устройство (R) соединяется с блоком (25) обработки, который конфигурируется, чтобы принимать и обрабатывать комплексный сигнал ($s(nT)$), содержащий упомянутый обратный сигнал (S_{OUTi}), и извлекать из упомянутого комплексного сигнала ($s(nT)$) идентификационный сигнал ($S_i(nT)$) для упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i') с помощью своей собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации,

- упомянутый блок (25) обработки конфигурируется, чтобы извлекать значение фазы ($\varphi_i(nT)$) из идентификационного сигнала ($S_i(nT)$) каждой вибрирующей цели (P_i, P_i') и рассчитывать упомянутый показатель ($d^i(nT)$) деформаций и/или вибраций на основе значения фазы ($\varphi_i(nT)$), извлеченного из упомянутого идентификационного сигнала ($S_i(nT)$) каждой вибрирующей цели (P_i, P_i').

2. Система по п. 1, характеризуемая тем, что упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель (P_i, P_i') содержит блок (1) управления, оснащенный микропроцессором, чтобы управлять своей собственной частотой ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, которая индуцируется посредством группы (3) электродвигателей, упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель (P_i, P_i') дополнительно содержит отражающее устройство (50, 9), упомянутое отражающее устройство имеет тип пассивного отражателя (50) или тип активного отражателя, содержащий блок (9) усиления.

3. Система по п. 1, характеризуемая тем, что упомянутый вибрационный механизм (3) конфигурируется, чтобы определять самоиндуцированное движение с диапазоном ($a_{v,i}$) полук колебания больше нуля и не больше 0,2 длины волны (λ) упомянутого радиолокационного сигнала (S_{IN}); предпочтительно упомянутый диапазон ($a_{v,i}$) полук колебания не больше 0,1 длины волны (λ) радиолокационного сигнала (S_{IN}).

4. Система по п. 2, характеризуемая тем, что упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель (P_i, P_i') содержит измерительный модуль (5), оснащенный, по меньшей мере, одним датчиком (6) состояния окружающей среды, акселерометром (7) и/или инклинометром (8), и/или фактом того, что она содержит беспроводной модуль (10, 11),

сконфигурированный, чтобы принимать/отправлять сигналы от/к упомянутому блоку обработки, измерительный модуль (5) и беспроводной модуль (10, 11) управляются посредством блока (1) управления.

5. Система по п. 1, характеризуемая тем, что упомянутый блок (25) обработки содержит модуль (30) обработки, оснащенный ветвью обработки для каждой из упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i'), каждая ветвь обработки содержит:

- блок (31) фильтрации, оснащенный полосовым фильтром, который фильтрует упомянутый комплексный сигнал ($S(nT)$) на основе упомянутой собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, формируя упомянутый идентификационный сигнал ($S_i(nT)$); и
- модуль (32) расчета фазы, содержащий блок (33) извлечения члена фазы, подходящий для извлечения члена фазы ($\phi_i(nT)$) упомянутого идентификационного сигнала ($S_i(nT)$), и блок (34) развертки, который предоставляет возможность определения расчетной оценки (35) упомянутого показателя ($d^{\wedge}i(nT)$) из упомянутого члена фазы ($\phi_i(nT)$).

6. Способ измерения деформаций и/или вибраций объекта/конструкции (20), содержащий фазу измерения, которая подразумевает передачу, по меньшей мере, одного радиолокационного сигнала (S_{IN}) от радиолокационного устройства (R), по меньшей мере, к одной цели, ассоциированной с упомянутым объектом/конструкцией (20), способ содержит этапы, на которых:

- оснащают упомянутую, по меньшей мере, одну цель вибрационным механизмом, содержащим группу (3) электромоторов, для формирования, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i') с самоиндуцированным движением относительно упомянутого объекта/конструкции (20), упомянутая, по меньшей мере, одна вибрирующая цель (P_i, P_i') имеет свою собственную частоту ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации;

- формируют обратные сигналы (S_{OUTi}) посредством модулирования упомянутого радиолокационного сигнала (S_{IN}), по меньшей мере, на основе упомянутой собственной частоты ($f_{v,i}$) самоиндуцированной вибрации упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i');

- принимают и обрабатывают комплексный сигнал ($s(nT)$), содержащий упомянутый обратный сигнал (S_{OUTi});

- извлекают из упомянутого комплексного сигнала ($s(nT)$) идентификационный сигнал ($S_i(nT)$) для каждой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i') на основе упомянутой своей собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации;

- извлекают значение фазы ($\phi_i(nT)$) посредством обработки упомянутого идентификационного сигнала ($S_i(nT)$) каждой вибрирующей цели (P_i, P_i'); и

- рассчитывают упомянутый показатель ($d^{\wedge}i(nT)$) деформаций и/или вибраций на основе упомянутого значения фазы ($\phi_i(nT)$), извлеченного из упомянутого идентификационного сигнала ($S_i(nT)$) каждой вибрирующей цели (P_i, P_i').

7. Способ по п. 6, характеризуемый управлением упомянутой своей собственной

частотой ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации упомянутой группы (3) электромоторов посредством блока (1) управления, оснащенного микропроцессором, и снабжением упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i') отражающим устройством (50, 9), упомянутое отражающее устройство является пассивным отражателем (50) или активным типом отражателя, содержащим блок (9) усиления.-

8. Способ по п. 6, характеризуемый определением упомянутого самоиндуцированного движения с диапазоном ($a_{v,i}$) полукосебания больше нуля и не больше $0,2$ длины волны (λ) упомянутого радиолокационного сигнала (S_{IN}), предпочтительно диапазоном ($a_{v,i}$) полукосебания не больше $0,1$ длины волны (λ) радиолокационного сигнала (S_{IN}).

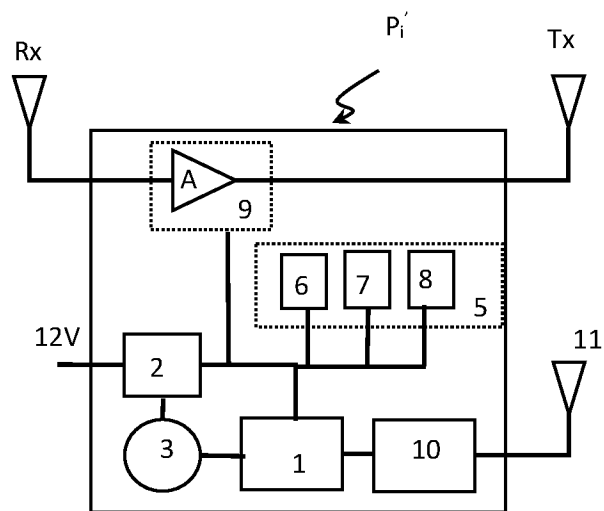
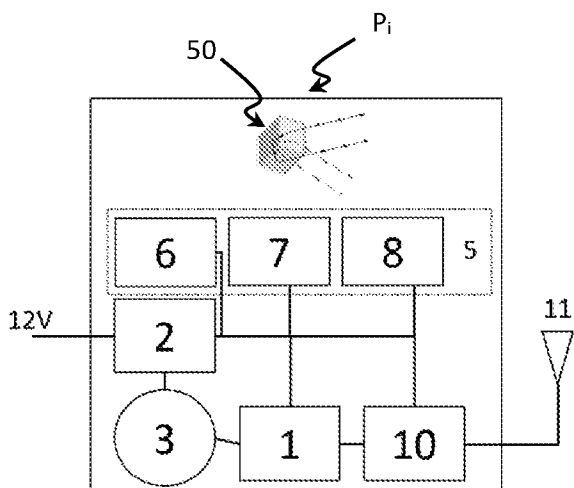
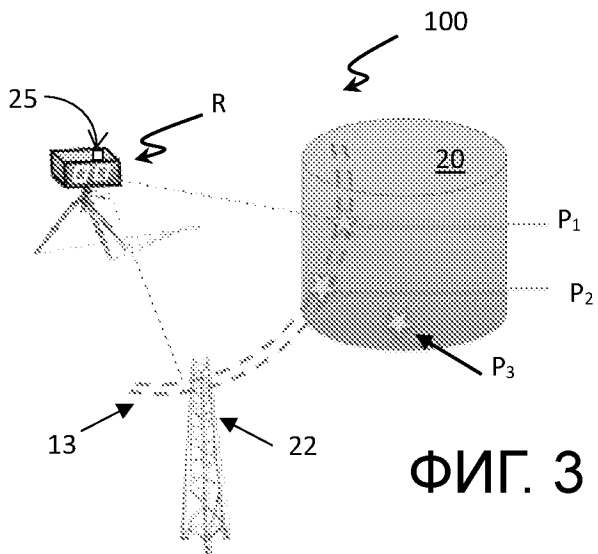
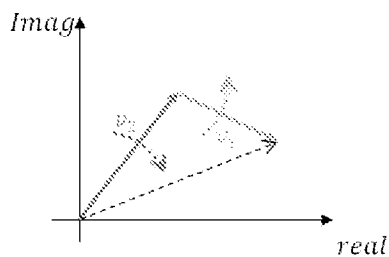
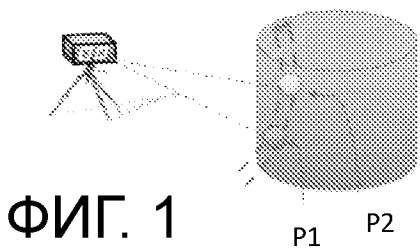
9. Способ по п. 6, характеризуемый обработкой отдельно упомянутого комплексного сигнала ($S(nT)$) для каждой из упомянутой, по меньшей мере, одной вибрирующей цели (P_i, P_i'), содержащей этапы, на которых:

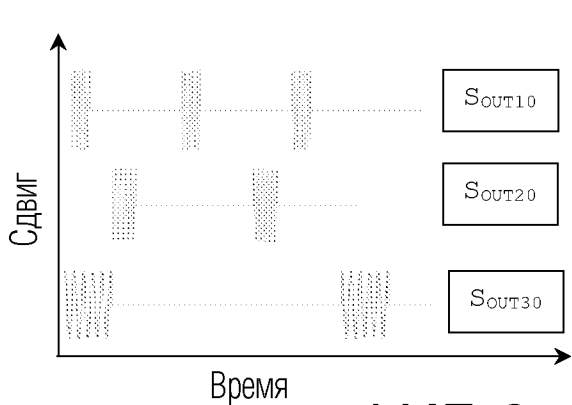
- фильтруют упомянутый комплексный сигнал ($S(nT)$) с помощью полосового фильтра (31) на основе упомянутой собственной частоты ($f_{v,i}$) индуцированной вибрации, чтобы формировать упомянутый идентификационный сигнал ($S_i(nT)$);

- извлекают член фазы ($\phi_i(nT)$) упомянутого идентификационного сигнала ($S_i(nT)$) и идентифицируют непрерывный профиль упомянутого члена фазы ($\phi_i(nT)$) посредством блока (34) развертки.

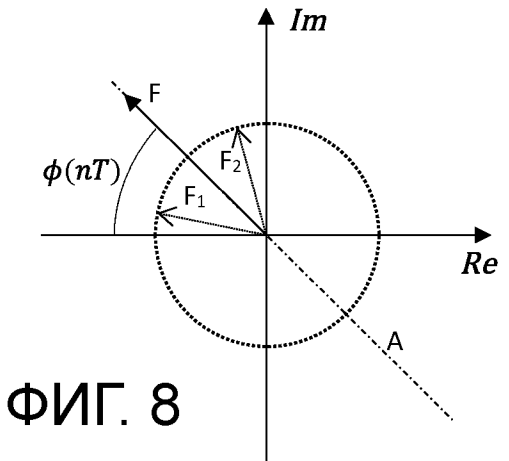
10. Способ по п. 6, характеризуемый определением члена фазы ($\phi_i(nT)$), извлекающего число N_c последовательных выборок и максимизирующего упомянутый идентификационный сигнал ($S_i(nT)$), повернутого в противоположном направлении по фазе ϕ , в действительной части, возведенной в квадрат согласно следующей функции:

$$\widehat{\phi}(nT) = \underset{\phi}{\operatorname{argmax}} \frac{1}{N_c} \sum_{i=n-N_c/2}^{n+N_c/2} (\operatorname{Re}\{s_i(iT)e^{j\phi}\})^2$$

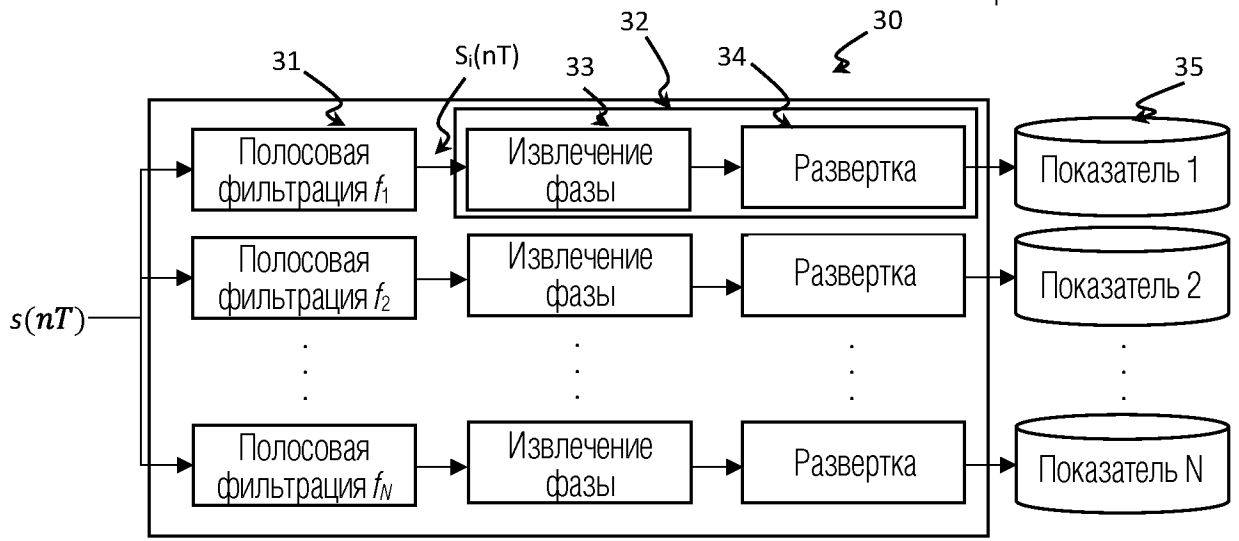




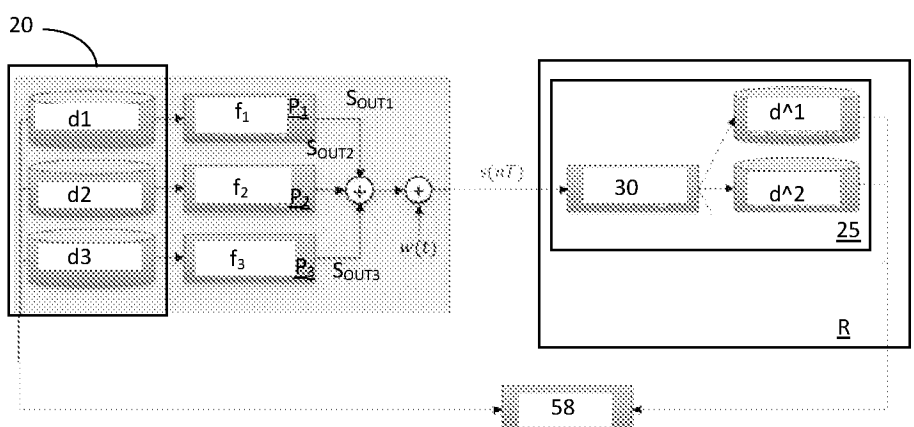
ФИГ. 6



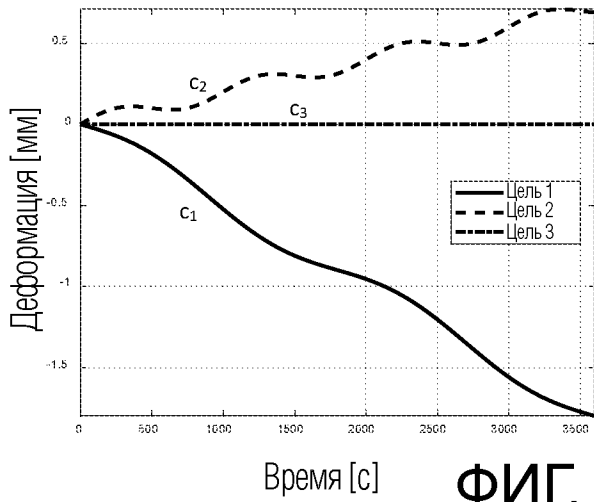
ФИГ. 8



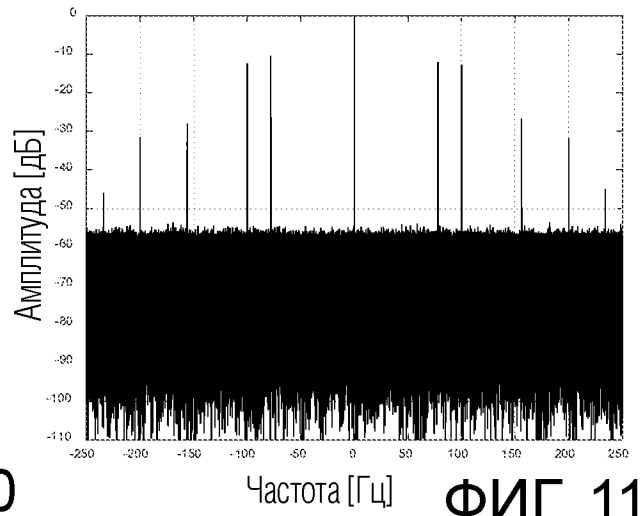
ФИГ. 7



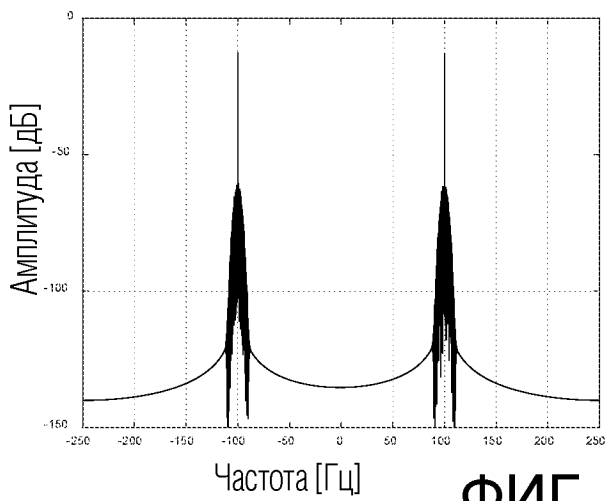
ФИГ. 9



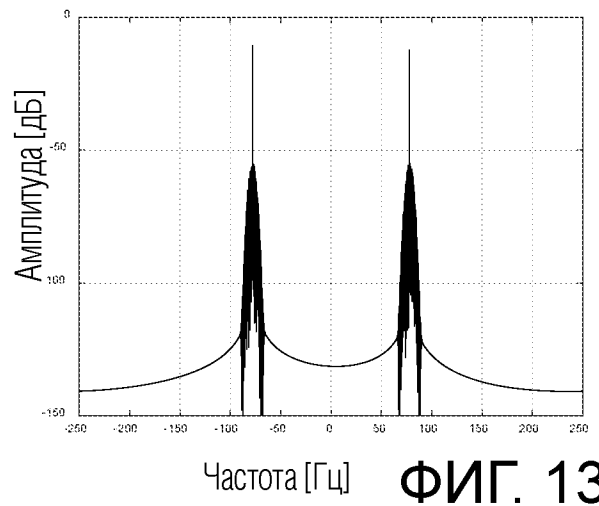
ФИГ. 10



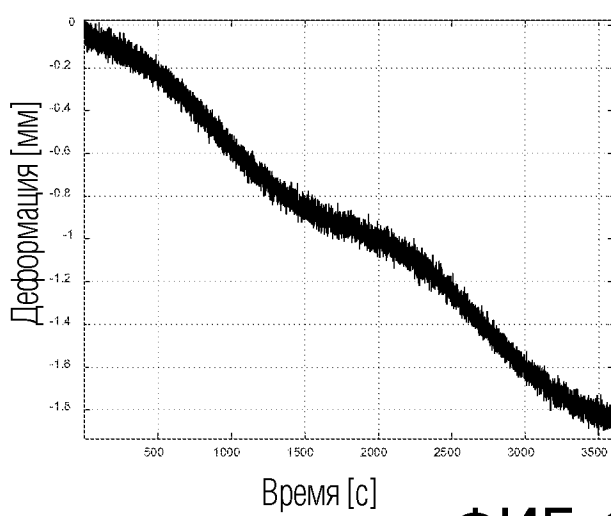
ФИГ. 11



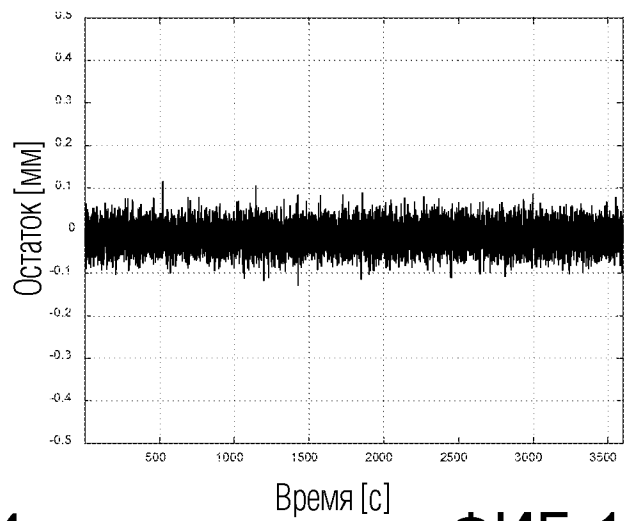
ФИГ. 12



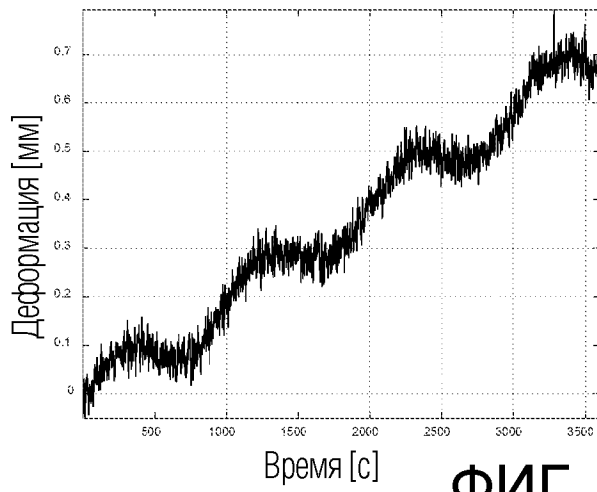
ФИГ. 13



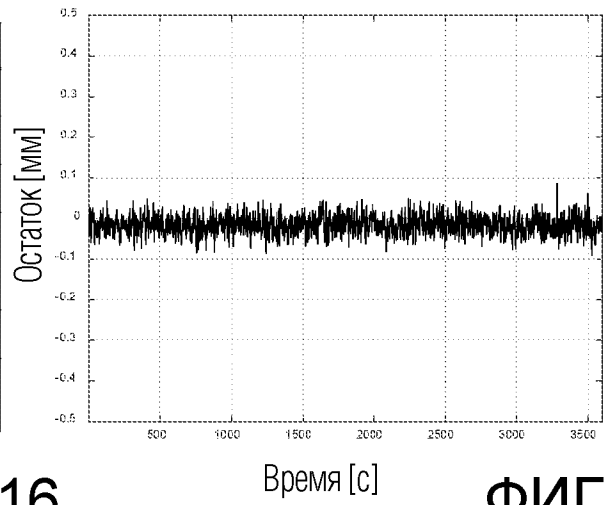
ФИГ. 14



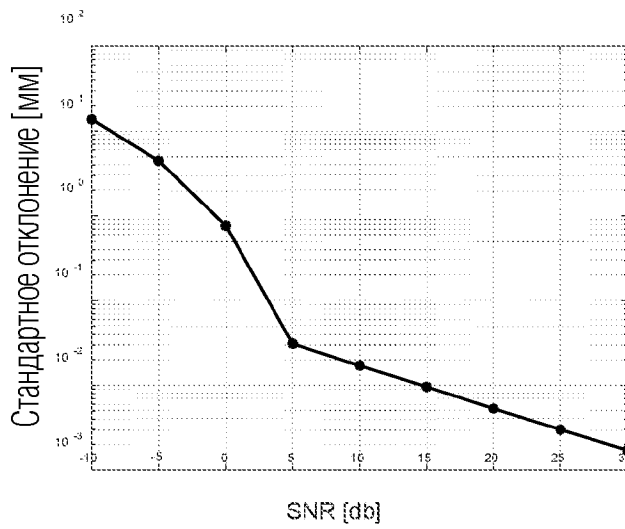
ФИГ. 15



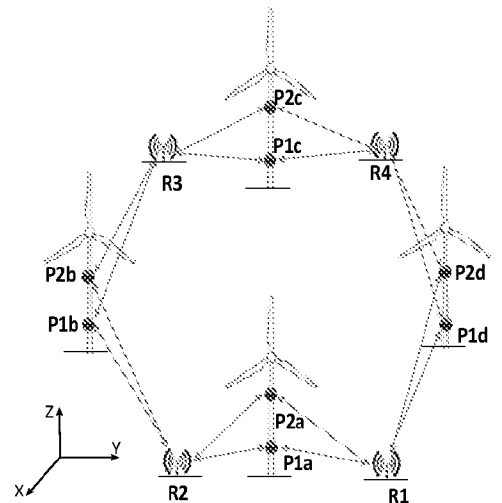
ФИГ. 16



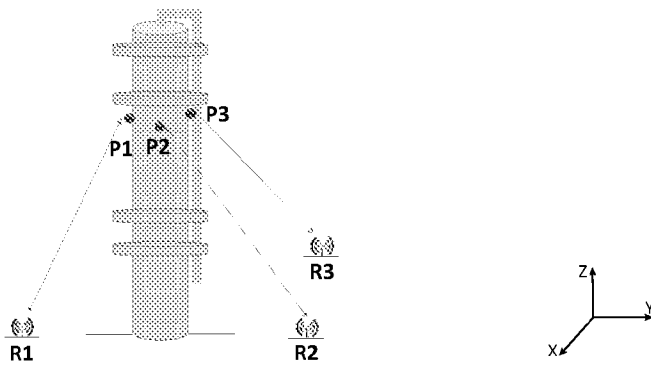
ФИГ. 17



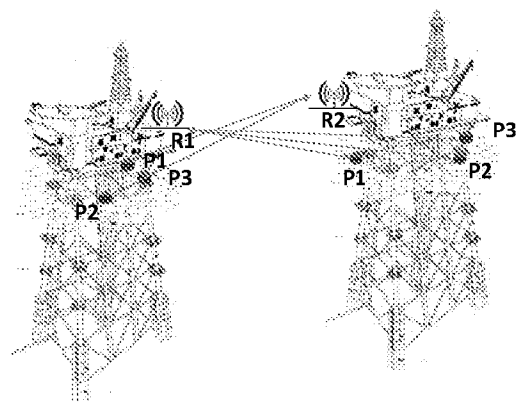
ФИГ. 18



а) ФИГ. 19



ФИГ. 20



ФИГ. 21