


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2009126827/28, 15.07.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.07.2009

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
15.07.2008 EP 08405180.4(43) Дата публикации заявки: **20.12.2011** Бюл. № 35(45) Опубликовано: **10.12.2013** Бюл. № 34(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 7394243 B2, 01.07.2008. US 20070200700 A1, 30.08.2007. DE 3438998 C, 10.12.1992. JP 2004119370 A, 15.04.2003. SU 1837153 A1, 30.08.1993.**

Адрес для переписки:

117342, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 65, корп. 4, кв. 34, И.Л. Стояченко

(72) Автор(ы):

**ДЕ УУ Марк (СН),
ВЕНЬЕ Филипп (СН),
ХЕЙМЛИХЕР Петер (СН),
РЕМ Шарль (СН)**

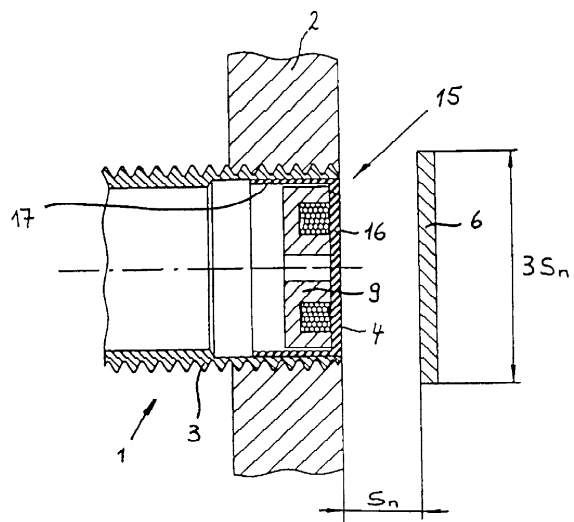
(73) Патентообладатель(и):

Оптосис СА (СН)**(54) ВСТРАИВАЕМЫЙ ИНДУКТИВНЫЙ СЕНСОР СБЛИЖЕНИЯ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к индуктивному сенсору сближения, выполненному с возможностью встраивания в монтажную плату (2), выполненную из мягкой стали. Сенсор включает корпус (16) с лицевой стенкой, выполненной из синтетического материала и образующей чувствительную поверхность (4), осциллятор (10), включающий воспринимающую обмотку (7) с сердечником (9), расположенный внутри корпуса за лицевой стенкой (16) таким образом, чтобы незамкнутая часть сердечника (9) была направлена к чувствительной поверхности (4), пустотелый цилиндрический металлический элемент (3), расположенный перпендикулярно

чувствительной поверхности (4) и окружающий сердечник (9), а также измерительный контур (11), приспособленный для измерения затухания колебаний осциллятора (10), возникающего из-за наличия вихревых токов. Сердечник (9) радиально окружен слоем металла, имеющим низкое удельное электрическое сопротивление менее 15 мкОм·см и толщину менее 40 мкм. В альтернативном варианте выполнения этот тонкий металлический слой может быть исключен, если удельное электрическое сопротивление металлического элемента (3) находится в диапазоне от 15 мкОм·см до 50 мкОм·см. Технический результат: улучшение встраиваемости сенсора без ущерба для дальности действия. 4 н. и 11 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 4



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21)(22) Application: **2009126827/28, 15.07.2009**(24) Effective date for property rights:
15.07.2009

Priority:

(30) Convention priority:
15.07.2008 EP 08405180.4(43) Application published: **20.12.2011 Bull. 35**(45) Date of publication: **10.12.2013 Bull. 34**

Mail address:

**117342, Moskva, ul. Miklukho-Maklaja, 65, korp.
4, kv. 34, I.L. Stojachenko**

(72) Inventor(s):

**DE UU Mark (CH),
VEN'E Filipp (CH),
KhEJMLIKhER Peter (CH),
REM Sharl' (CH)**

(73) Proprietor(s):

Optosis SA (CH)**(54) EMBEDDED INDUCTIVE APPROACH SENSOR AND METHOD OF MAKING SAID SENSOR**

(57) Abstract:

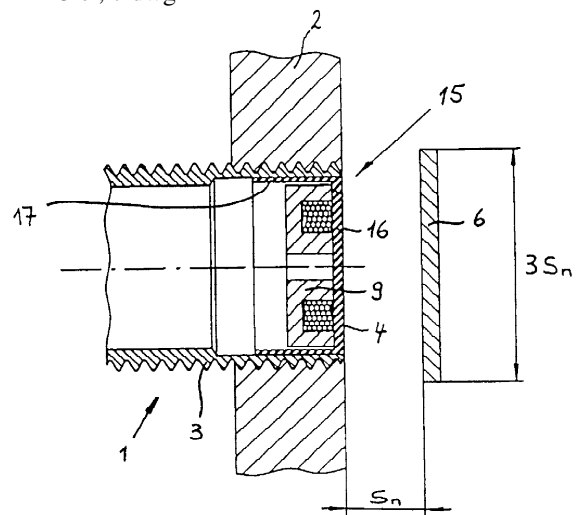
FIELD: physics.

SUBSTANCE: sensor has a housing (16) with a front wall made of synthetic material and forming a sensitive surface (4), an oscillator (10), having a sensor coil (7) with a core (9), situated inside the housing behind the front wall (16) such that the open part of the core (9) is directed towards the sensitive surface (4), a hollow cylindrical metal element (3) lying perpendicular to the sensitive surface (4) and surrounding the core (9), as well as a measuring circuit (11) for measuring damping of oscillations of the oscillator (10) arising from presence of eddy currents. The core (9) is radially surrounded by a metal layer having low resistivity of less than 15 mOm-cm and thickness of less than 40 mcm. In an alternative version, this thin metal layer can be excluded if resistivity of the metal element (3) is in the range of 15-50 mOm-cm.

EFFECT: improved embeddability of the sensor

without detriment to operating range.

15 cl, 7 dwg

**Фиг. 4**

Изобретение относится к индуктивному сенсору сближения, который может быть установлен в металлическую монтажную плату, выполненному согласно ограничительной части пункта 1 или 9 формулы изобретения, а также к способу его изготовления.

Сенсоры сближения включают RLC-осциллятор (резистивно-индуктивно-емкостный осциллятор) с воспринимающей обмоткой, магнитное поле которой генерирует в заданном объекте вихревые токи. Потери энергии, вызванные вихревыми токами, представляют собой нагрузку, влияющую на осциллятор, которая увеличивается по мере уменьшения расстояния между сенсором и объектом, тем самым вызывая затухание колебаний в осцилляторе.

Показателем, характеризующим интенсивность рассеивания накопленной осциллятором энергии, является добротность Q , которая рассчитывается как умноженное на 2π отношение накопленной энергии к энергии, рассеянной за один цикл. Максимальное значение добротности $Q_{\max}$ осциллятора индуктивного сенсора сближения измеряют в невстроенном состоянии и в отсутствие объекта. В рабочем состоянии добротность Q уменьшается из-за наличия потерь энергии на вихревые токи, возникающие в монтажной плате и (или) в объекте. При нормировании добротности Q на максимальное значение добротности $Q_{\max}$ можно получить относительную добротность Q_{rel} :

$$Q_{\text{rel}} = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (1)$$

Если вблизи сенсора отсутствуют тела, оказывающие воздействие на поле, то значения Q и $Q_{\max}$ равны, и, таким образом, значение Q_{rel} равно 1. Упомянувшееся выше в отношении добротности Q относится также и к относительной добротности Q_{rel} : ее значение уменьшается по причине того, что количество энергии, рассеянной за один цикл, увеличивается из-за наличия потерь энергии на вихревые токи, возникающие в монтажной плате и (или) в объекте.

Степень этого уменьшения характеризует затухание колебаний осциллятора:

$$\text{Затухание} = 1 - Q_{\text{rel}} = \frac{Q_{\max} - Q}{Q_{\max}} \quad (2)$$

Контур сенсора включает измерительный контур, приспособленный для генерирования выходного сигнала, зависящего от величины затухания.

Индуктивные сенсоры сближения подразделяют на переключающиеся и аналоговые. Измерительный контур переключающегося сенсора сближения выполнен таким образом, что выходной сигнал переключается из одного состояния в другое, как только затухание достигает заданного порога, который в данном контексте также называется порогом срабатывания, тогда как измерительный контур аналогового сенсора сближения выполнен таким образом, что генерируемый выходной сигнал при затухании, превышающем заданный порог, является монотонной функцией затухания колебаний осциллятора.

Внешняя поверхность корпуса сенсора включает чувствительную лицевую поверхность, на которую посредством сердечника наводится магнитное поле воспринимающей обмотки. Под расстоянием до объекта понимается расстояние от чувствительной лицевой поверхности до объекта, а дальность действия сенсора представляет собой расстояние, на которое необходимо приблизить объект (к чувствительной лицевой поверхности) для изменения выходного сигнала сенсора. Определенная таким образом дальность действия сенсора в случае переключающегося сенсора сближения называется расстоянием срабатывания. Дальность действия,

указанная в перечне технических характеристик сенсора, называется номинальной дальностью действия. Фактическая дальность действия сенсора может отличаться от номинального значения вследствие, например, наличия производственных допусков.

Измерение и определение дальности действия сенсора осуществляется в соответствии с международным стандартом IEC 60947-5-2, в котором указаны размер и материал используемого объекта. Стандартный объект представляет собой квадратную пластинку из мягкой стали толщиной 1 мм, длина ребра которой равна наибольшему значению из диаметра чувствительной лицевой поверхности и утроенной номинальной дальности действия сенсора.

Дальность действия индуктивного сенсора сближения и возможность его встраивания связаны обратной зависимостью. Чем больше расстояние до объекта, тем меньше потери энергии на вихревые токи в объекте, в результате чего увеличивается вклад потерь энергии на вихревые токи в монтажной плате в суммарные потери энергии на вихревые токи, которые приводят к затуханию колебаний осциллятора.

С целью увеличения дальности действия сенсора уменьшают его порог срабатывания. В приведенной ниже таблице сравниваются номинальные значения расстояния срабатывания встраиваемых переключающихся сенсоров сближения согласно стандарту IEC 60947-5-2, которые могут быть достигнуты при значении порога срабатывания приблизительно 35%, с фактическими значениями расстояния срабатывания, измеренными для современных переключающихся сенсоров сближения соответствующих размеров, у которых значение порога срабатывания составляет только 10%:

Размер сенсора	Расстояние срабатывания	
	Стандарт IEC	Порог 10%
M5	-	1,2 мм
M8	1 мм	2,2 мм
M12	2 мм	3,7 мм
M18	5 мм	6,5 мм
M30	10 мм	13,0 мм

В этой таблице размер сенсора определяется по диаметру гильзы с внешней резьбой, представляющей собой корпус сенсора.

Сенсор сближения с большой дальностью действия характеризуется порогом срабатывания 10% и менее. Снижая порог срабатывания до значений меньше 10%, можно реализовать сенсоры с еще большей дальностью действия. Из уровня техники известны сенсоры с большой дальностью действия, у которых порог срабатывания меньше 5%. На основе значений, приведенных в правой колонке вышеприведенной таблицы, по приведенной формуле можно приблизительно рассчитать минимальную дальность действия $S_{\min}$ датчика с большой дальностью действия:

$$S_{\min} = 0,14 + 0,114 * d^{1,4} \quad (3)$$

где d - внешний диаметр гильзы корпуса сенсора в миллиметрах, а $S_{\min}$ - дальность действия сенсора в миллиметрах.

Обыкновенные сенсоры с большой дальностью действия не могут быть полностью встроены в стальную монтажную плату, потому что затухание, вызываемое монтажной платой при нахождении сенсора во встроеном состоянии, практически совпадает или превышает порог срабатывания сенсора, тем самым приводя практически любой переключающийся сенсор сближения в неработоспособное состояние.

Для ослабления влияния монтажной платы в заявке на выдачу патента

Германии DE 3438998 A1 предложено использовать защитный слой, окружающий обмотку и сердечник, с целью предотвращения распространения поля сенсора в монтажную плату. Металлический слой приспособлен для того, чтобы выполнять функцию экрана по отношению к переменному магнитному полю, его толщина равна или, предпочтительно, превышает глубину проникновения поля в материал слоя при действующей частоте колебаний поля. Глубина проникновения поля в материал рассчитывается по формуле:

$$\text{глубина проникновения} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}} \quad (4)$$

где ρ - сопротивление материала, $\Omega \cdot \text{м}$, f - круговая частота поля, Гц, μ_0 - магнитная проницаемость вакуума, Н/А^2 , μ_r - относительная магнитная проницаемость материала.

Например, глубина проникновения поля для меди при частоте 1 МГц составляет 66 мкм. С целью достижения большой дальности действия рабочая частота сенсоров, включающих обмотку с сердечником, предпочтительно, превышает 50 кГц, тем не менее она, как правило, меньше 1 МГц, и, поэтому, слой меди, окружающий сердечник, должен быть еще толще для того, чтобы выполнять функцию экрана.

Целью настоящего изобретения является улучшение встраиваемости сенсоров сближения без ущерба для дальности действия сенсора.

Цель достигается при использовании встраиваемого сенсора сближения согласно п.1 или 10 формулы изобретения и при использовании способа изготовления сенсора согласно п.14 или 15 формулы изобретения.

Предпочтительные признаки изобретения описаны в соответствующих зависимых пунктах.

Далее приводится подробное описание изобретения, к которому приложены изображения предпочтительных вариантов выполнения изобретения.

На фиг.1 показан вид в перспективе индуктивного сенсора сближения, установленного заподлицо в монтажную плату.

На фиг.2 схематично показана компоновка, включающая сенсор, установленный в монтажной плате, как показано на фиг.1, и объект, расположенный перед сенсором.

На фиг.3 показан график зависимости относительной добротности Q_{rel} осциллятора сенсора, показанного на фиг.2, от расстояния до объекта x .

На фиг.4 показана компоновка, включающая сенсор, монтажную плату и объект, задающие геометрические параметры модели для моделирования методом конечных элементов (FEM-моделирования).

На фиг.5 показана диаграмма суммарных потерь энергии на вихревые токи, рассчитанных посредством моделирования сенсора с использованием метода конечных элементов (FEM) с геометрическими параметрами, заданными на фиг.4.

На фиг.6 в увеличенном масштабе показан продольный разрез лицевой части индуктивного сенсора сближения.

На фиг.7 показана лицевая часть альтернативного варианта выполнения сенсора, показанного на фиг.6.

На фиг.1 показан индуктивный сенсор сближения 1, установленный в монтажной плате 2. Корпус сенсора, по существу, состоит из цилиндрической гильзы 3, выполненной из неферромагнитного металла, имеющей внешнюю резьбу и ввинченной в соответствующее резьбовое отверстие в монтажной плате 2 таким образом, что чувствительная лицевая поверхность 4 корпуса, перпендикулярная оси

гильзы, находится заподлицо с передней поверхностью 5 монтажной платы 2. Термин "заподлицо" используется здесь и далее в качестве синонима термина "встроенный" и подразумевает, что отверстие в монтажной плате не расширяется вблизи передней поверхности 5 монтажной платы, и, таким образом, свободное пространство вокруг

5 передней части сенсора 1 отсутствует.

На фиг.2 схематично показана компоновка, включающая индуктивный переключающийся сенсор сближения 1, встроенный в монтажную плату 2, как показано на фиг.1, и выполненный в виде пластинки объект 6, расположенный перед

10 чувствительной лицевой поверхностью 4. Сенсор включает электрический и магнитный контуры, показанные по отдельности. Электрический контур с воспринимающей обмоткой 7 представлен в виде блок-схемы, а магнитный контур представлен линиями магнитного поля 8 и различными участками материала, которые

15 подвергаются воздействию магнитного поля, а именно незамкнутым броневым сердечником 9 воспринимающей обмотки 7, гильзой корпуса 3, радиально окружающей сердечник 9, монтажной платой 2 и объектом 6. Эти участки показаны в разрезе в плоскости разреза, проходящей через центр гильзы 3, которая выполнена цилиндрической и имеет круглое сечение. Электрический контур связан с магнитным

20 контуром посредством воспринимающей обмотки 7.

Электрический контур, называемый также сенсорным контуром, включает RLC-осциллятор 10, индуктивный элемент L которого образован воспринимающей обмоткой 7 и сердечником 9 этой обмотки. Сердечник 9 выполнен из материала с относительной магнитной проницаемостью больше 1, как правило, из феррита.

25 Магнитное поле воспринимающей обмотки порождает вихревые токи в объекте 6, а вызываемые этими вихревыми токами потери энергии представляют собой нагрузку, которая вызывает затухание колебаний осциллятора 10, которое увеличивается по мере уменьшения расстояния между чувствительной лицевой поверхностью 4 и

30 объектом 6, которое представляет собой расстояние до объекта х.

Сенсорный контур дополнительно включает измерительный контур 11 и выходной контур 12. Измерительный контур 11 приспособлен для измерения затухания колебаний осциллятора с использованием электрической величины, являющейся монотонной функцией затухания. В зависимости от конструкции электронной схемы

35 осциллятора этой величиной может служить, например, амплитуда колебаний осциллятора или выходной ток усилителя с обратной связью, входящего в состав осциллятора. Измерительный контур включает блок преобразования сигнала 14, перед которым может находиться выпрямитель 13. Блок преобразования сигнала 14

40 переключающегося сенсора сближения представляет собой компаратор, приспособленный для сравнения затухания с заранее заданным пороговым значением, которое в данном контексте также называется порогом срабатывания. Напротив, блок преобразования сигнала 14 аналоговых сенсоров сближения выполняет функцию преобразования и приспособлен для того, чтобы генерировать

45 выходной сигнал измерительного контура, который представляет собой линейную функцию расстояния до объекта х в диапазоне значений от нуля до расстояния, на котором затухание соответствует заданному порогу.

Выходной сигнал блока преобразования сигнала 14 определяется выходным контуром 12 и формирует выходной сигнал сенсора, поступающий наружу корпуса

50 посредством проводника сигнала.

Расстояние до объекта х, на котором объект стандартных размеров, описанный выше, вызывает затухание колебаний осциллятора до заранее заданного порогового

значения, определяет дальность действия сенсора. Дальность действия переключающегося сенсора называют также расстоянием срабатывания.

На фиг.3 показан график зависимости относительного затухания колебаний осциллятора Q_{rel} от расстояния до объекта. Заданный порог сенсора с большой дальностью действия превышает 90%. В этом рабочем режиме кривая является достаточно пологой, поэтому даже незначительное затухание колебаний, вызванное монтажной платой, оказывает значительное воздействие на дальность действия сенсора. Тем не менее, сенсор сближения с большой дальностью действия, встраиваемый в металлическую монтажную плату (обычно в монтажную плату из мягкой стали), может быть разработан, поскольку геометрия и удельное электрическое сопротивление проводящих элементов, радиально окружающих сердечник воспринимающей обмотки, могут быть выполнены так, что дальность действия сенсора, встроенного в монтажную плату, будет равна дальности действия невстроенного сенсора (дальности действия того же сенсора в отсутствие монтажной платы).

Чем ближе дальности действия до и после встраивания, тем лучше характеристика встраиваемости сенсора. Индуктивный сенсор сближения считается встраиваемым, если его дальность действия во встроенном состоянии незначительно отличается от дальности действия в невстроенном состоянии. Расхождение первого и последнего значений более чем на 30% считается значительным. Предпочтительно это расхождение не должно превышать 20%, наиболее предпочтительно это расхождение не должно превышать 10%.

Проводящий элемент может быть частью корпуса или может располагаться внутри корпуса. Как правило, в качестве одного из проводящих элементов, окружающих сердечник воспринимающей обмотки, выступает металлическая гильза корпуса 3. В качестве других элементов могут выступать металлические прослойки, расположенные на внутренней и/или на внешней поверхности гильзы, или один, или несколько элементов, расположенных радиально между гильзой и сердечником.

Радиальное расположение элементов вокруг сердечника означает, что эти элементы находятся снаружи сердечника в радиальном направлении и рядом с сердечником в осевом направлении, таким образом, они, по крайней мере, частично подвергаются воздействию магнитного поля воспринимающей обмотки во встроенном и/или в невстроенном состоянии сенсора. К числу таких элементов относятся те, которые в осевом направлении располагаются частично или полностью перед сердечником, поскольку магнитное поле сердечника направлено к передней части корпуса. И наоборот, геометрия задней части гильзы 3, которая не подвергается воздействию магнитного поля и в которой не возникают вихревые токи, не оказывает влияния на потери энергии на вихревые токи, возникающие при определенных расположениях сенсора и объекта. Вследствие этого из электропроводящих элементов, окружающих сердечник, достаточно принимать во внимание только те, которые находятся в передней части гильзы, представляющей собой пустотелый металлический элемент цилиндрической формы, окружающий сердечник. В общем случае можно не принимать во внимание все, что располагается сзади сердечника в осевом направлении.

Толщина всех проводящих элементов, окружающих сердечник, в радиальном направлении меньше значения глубины проникновения поля для соответствующего материала на рабочей частоте осциллятора, таким образом, они не обладают экранирующим действием. Если радиальная толщина проводящего элемента

непостоянна, то это правило применяется к самому тонкому месту этого элемента. Например, в данном контексте толщина гильзы корпуса с внешней резьбой считается равной ее толщине в самой глубокой точке резьбы.

На фиг.4 показан сенсор 1, встроенный в монтажную плату 2. Корпус сенсора, по существу, представляет собой металлическую гильзу 3 цилиндрической формы с резьбой на внешней поверхности. Передняя часть гильзы 3 закрыта пластмассовым колпачком 15. Чувствительной лицевой поверхностью 4 передней части корпуса является внешняя поверхность нижней части 16 пластмассового колпачка 15, которая образует переднюю стенку 16 корпуса. Чувствительная лицевая поверхность 4 выполнена заподлицо с передней частью гильзы 3. Незамкнутый броневой сердечник 9 воспринимающей обмотки 7 расположен внутри гильзы за передней стенкой 16, а его незамкнутая сторона направлена в сторону чувствительной лицевой поверхности 4. В данном примере единственным электропроводящим элементом, окружающим сердечник 9 в радиальном направлении и расположенным в пространстве, ограниченном внешней поверхностью корпуса, является передняя часть гильзы 3. Такая конструкция может быть использована в сенсорах различных размеров, вплоть до диаметра гильзы, по крайней мере, М50.

Далее будет описан метод, с помощью которого можно соответствующим образом подобрать проводящие элементы посредством РЕМ-моделирования (FEM - метод конечных элементов). Если из набора, включающего сенсор 1, объект 6, находящийся перед чувствительной лицевой поверхностью 4 сенсора на номинальном расстоянии S_n , и монтажную плату 2, в которую встроен сенсор (например, как показано на фиг.4), можно удалить монтажную плату 2 без изменения величины суммарных потерь энергии на вихревые токи, то дальность действия встроенного сенсора считается совпадающей с дальностью действия того же сенсора в невстроенном состоянии. Для проверки выполнения этого условия с помощью имитационного моделирования методом конечных элементов определяют потери энергии на вихревые токи.

При имитационном моделировании указанного набора каждый элемент магнитного контура характеризуется геометрическими параметрами, магнитной проницаемостью и удельным электрическим сопротивлением. Стандартный объект представляет собой квадратную пластинку толщиной 1 мм, длина стороны которой в три раза превышает номинальную дальность действия S_n сенсора. Задание геометрических параметров гильзы можно производить только для передней части гильзы, при этом для получения точных результатов, предпочтительно, задают точную геометрию ее внешней резьбы. К остальным параметрам, которые необходимо задать для имитационного моделирования методом конечных элементов, относятся число витков воспринимающей обмотки, рабочая частота осциллятора и интенсивность (постоянного) тока в обмотке или напряжение на обмотке и сопротивление обмотки.

На основе этой имитационной модели с помощью численного имитационного моделирования методом конечных элементов рассчитывают суммарные потери энергии на вихревые токи для указанного набора. Имитационное моделирование выполняют сначала для набора, включающего монтажную плату, а затем для того же набора, не включающего монтажную плату, после чего определяют расхождение значений суммарных потерь энергии на вихревые токи. Если это расхождение не находится близко к нулю, то в имитационной модели немного изменяют характеристики проводящих элементов, окружающих сердечник, и повторяют моделирование для того, чтобы вновь вычислить расхождение между значениями

суммарных потерь энергии на вихревые токи, вычисленными для набора, включающего и не включающего монтажную плату. Поскольку в рассматриваемом примере единственным проводящим элементом, окружающим сердечник, является металлическая гильза, то, предпочтительно, пошагово изменяют ее удельное электрическое сопротивление. Наблюдая за динамикой изменения указанного расхождения при пошаговом изменении электрического сопротивления гильзы, можно довести это удельное сопротивление до значения, при котором расхождение суммарных потерь энергии на вихревые токи при наличии и в отсутствие монтажной платы близко к нулю.

Это относится к случаю, когда суммарные потери энергии на вихревые токи при наличии и в отсутствие монтажной платы одинаковы. В электрическом контуре суммарные потери энергии на вихревые токи могут быть представлены в виде эквивалентного сопротивления в параллельном эквивалентном контуре воспринимающей обмотки. С этой точки зрения удельное сопротивление металлической гильзы подобрано так, что эквивалентное сопротивление, воспринимаемое обмоткой, одно и то же при наличии и в отсутствие монтажной платы.

На фиг.5 показано графическое представление зависимости суммарных потерь энергии на вихревые токи P_{tot} , рассчитанных для набора, показанного на фиг.4, включающего сенсор размером М8 с номинальной дальностью действия S_n 3 мм, от удельного электрического сопротивления ρ_s гильзы 3 корпуса. Черными точками обозначены соответствующие значения для невстроенного состояния (в отсутствие монтажной платы), а незаштрихованными кружками обозначены соответствующие значения для встроенного состояния (при наличии монтажной платы). Потери энергии в сердечнике приняты постоянными и небольшими, таким образом, их учет приводит только к смещению графика зависимости, которым можно пренебречь для того, чтобы упростить вычисления.

Можно заметить, что кривые суммарных потерь энергии при наличии монтажной платы и в ее отсутствие пересекаются. В точке пересечения удельное электрическое сопротивление металлической гильзы равно 18 мОм·см. Если гильза сенсора выполнена из металла с таким удельным электрическим сопротивлением, что соответствует исходным данным модели, использованной для имитационного моделирования, то диапазон датчика, встроенного в монтажную плату из мягкой стали, будет в точности равен диапазону этого датчика в невстроенном состоянии.

Было показано, что такой метод конструирования индуктивных сенсоров сближения, встраиваемых в металлическую монтажную плату, особенно полезен при конструировании сенсоров с большой дальностью действия, у которых порог срабатывания составляет 10% и менее или у которых номинальная дальность действия превышает минимальную дальность действия, определяемую по формуле (3), приведенной выше.

Так как металл, из которого выполнена гильза, выбирается по его удельному электрическому сопротивлению, то выбранный металл может не обладать достаточной химической стойкостью в определенных условиях использования, в связи с этим может потребоваться нанесение на внешнюю поверхность гильзы покрытия из другого металла, например из хрома. Такое покрытие представляет собой дополнительный элемент, выполненный из проводящего материала, окружающий сердечник, его характеристики следует учесть в модели для имитационного РЕМ-моделирования для того, чтобы определить требуемое удельное электрическое

сопротивление гильзы.

Если единственным проводящим элементом, окружающим сердечник сенсора, является лицевая часть гильзы корпуса, не считая защитного покрытия из подходящего металла, например из хрома, которое может быть нанесено на внешнюю поверхность гильзы, то значение удельного электрического сопротивления неферромагнитного металла гильзы, требуемое для выравнивания суммарных потерь энергии на вихревые токи при наличии и в отсутствие монтажной платы, находится в диапазоне между 15 мкОм·см и 50 мкОм·см. Типичным металлом такого типа является сплав, содержащий медь, никель и цинк.

Эти значения удельного электрического сопротивления, а также все остальные значения, приведенные в настоящем документе, относятся к соответствующим материалам, находящимся при температуре 20°C.

На фиг.6 показана лицевая часть альтернативного варианта выполнения индуктивного сенсора сближения. Воспринимающая обмотка 7, ее сердечник 9 и геометрия корпуса, включающего металлическую гильзу 3, идентичны элементам сенсора, показанного на фиг.4, за исключением того, что покрытие 18 нанесено на внутреннюю поверхность лицевой части гильзы. Гильза 3' выполнена из неферромагнитного металла со значением удельного электрического сопротивления, превышающим значение, при котором достигается наилучшая встраиваемость сенсора, рассчитываемое с использованием метода, описанного выше со ссылками на фиг.4 и 5. Гильзу изготавливают, предпочтительно, из нержавеющей стали, поскольку этот материал обладает достаточной химической стойкостью. Повышенное удельное электрическое сопротивление гильзы можно компенсировать путем нанесения покрытия 18 с более низким удельным электрическим сопротивлением.

В зависимости от материала, геометрии и точного расположения покрытия 18 разность между дальностью действия сенсора во встроеном состоянии и дальностью действия сенсора в невстроенном состоянии может быть положительной или отрицательной, при этом только при одном определенном значении толщины покрытия эта разность равна нулю. Для определения этой толщины можно использовать имитационное FEM-моделирование, как описано выше со ссылкой на фиг.4. В этом случае при переходе от одного цикла имитационного моделирования к другому, предпочтительно, изменяют характеристики покрытия 18, а именно его толщину или его удельное электрическое сопротивление.

Если удельное электрическое сопротивление покрытия меньше 15 мкОм·см, то, вне зависимости от материала гильзы, максимально возможной толщиной покрытия для сенсоров любого стандартного размера, вплоть до, по крайней мере, M50, считается 40 мкм.

В сущности, чем тоньше покрытие, тем меньше должно быть удельное электрическое сопротивление материала покрытия, необходимого для того, чтобы обеспечить равенство дальности действия сенсора во встроеном состоянии и дальности действия сенсора в невстроенном состоянии. Если удельное электрическое сопротивление покрытия меньше 10 мкОм·см (например, латунь), то максимально возможной толщиной покрытия считается 30 мкм, а если удельное электрическое сопротивление покрытия меньше 5 мкОм·см, то максимально возможной толщиной покрытия считается 20 мкм (например, медь, алюминий, золото). Фактически толщина металлического покрытия меньше соответствующего максимального значения, ее определяют с учетом особенностей конкретного сенсора, предпочтительно, с помощью метода, описанного выше со ссылкой на фиг.4.

Следует отметить, что способы оптимизации встраиваемости сенсоров сближения, показанных на фиг.4 (без металлического покрытия 18) и фиг.6 (с металлическим покрытием 18), основаны на одном физическом принципе: электропроводящие элементы, окружающие сердечник воспринимающей обмотки, подбираются таким образом, чтобы во встроеном состоянии суммарные потери энергии на вихревые токи, возникающие в объекте, монтажной плате и проводящих элементах корпуса сенсора, были равны суммарным потерям энергии на вихревые токи в невстроенном состоянии, то есть в отсутствие монтажной платы. По существу, металлическое покрытие 18 не выполняет функцию экрана. Фактически, металлическое покрытие, эффективно экранирующее монтажную плату от воздействия воспринимающей обмотки и сердечника, согласно изобретению не может выступать в качестве средства, регулирующего распределение потерь энергии на вихревые токи. Поэтому толщина металлического покрытия 18, предпочтительно, должна быть меньше половины глубины проникновения поля в материал покрытия при рабочей частоте осциллятора, более предпочтительно она должна быть меньше 30% глубины проникновения.

Как указано выше, для обеспечения достаточно большой дальности действия сенсора рабочая частота должна быть, предпочтительно, выше 50 кГц.

На фиг.7 показана лицевая часть сенсора, которая аналогична показанной на фиг.6. Отличие состоит в том, что металлическое покрытие 18" наносится не на внутреннюю поверхность гильзы, а на внутреннюю поверхность периферической стенки 17 пластикового колпачка 15, который вставляется в пространство между гильзой 3" и сердечником 9. Еще одно отличие заключается в том, что пластиковый колпачок 15 немного выступает за лицевую часть металлической гильзы 3".

Не выходя за рамки настоящего изобретения может быть предложено множество альтернативных вариантов выполнения и модификаций изобретения.

Вместо покрытий 18 и 18" можно использовать тонкую металлическую пленку.

Покрывтия 18, 18" или пленка могут быть расположены в других местах, предпочтительно в пространстве между сердечником и гильзой, покрытие или пленка могут быть расположены, в том числе, на внутренней поверхности гильзы (как показано на фиг.6) или радиально на внешней поверхности сердечника.

Поверхность, на которую наносится покрытие или пленка (тонкий металлический слой), предпочтительно, должна иметь, по существу, цилиндрическую форму, тем не менее, допустимы отклонения от цилиндрической формы, например форма несущей поверхности может быть конусообразной, при этом металлическое покрытие, нанесенное на такую поверхность, имеет конусообразную форму.

Вместо броневого сердечника можно использовать Е-образный или U-образный сердечник. Все эти сердечники объединяет одна общая особенность - с одной стороны они не замкнуты, вследствие чего магнитное поле воспринимающей обмотки распространяется, в основном, в одном направлении.

В альтернативных вариантах выполнения, показанных на фиг.4 и 6, колпачок 15 можно не использовать, вместо него, для того чтобы прикрыть лицевую часть гильзы 3, можно использовать синтетическую пластмассу. В этом случае слой пластмассы, покрывающий сердечник, образует лицевую стенку корпуса.

Вместо резьбовой гильзы 3 можно использовать металлическую гильзу с гладкой внешней поверхностью. Форма поперечного сечения металлической гильзы 3 необязательно должна быть круглой. Например, можно использовать гильзу с квадратно-цилиндрической внешней формой.

В заключение, вместо металлической гильзы 3 можно использовать синтетический

корпус. В этом случае сердечник 9 окружен пустотелым цилиндрическим металлическим элементом, расположенным внутри синтетического корпуса перпендикулярно чувствительной поверхности 4. Наличие металлического элемента кольцеобразной формы является достаточным для достижения цели настоящего изобретения, при этом этот металлический элемент можно использовать в сочетании с металлическим слоем аналогично тому, что описано в связи с металлическим элементом, выполненным в виде гильзы, со ссылкой на фиг.6.

Формула изобретения

1. Индуктивный сенсор сближения (1), выполненный с возможностью встраивания в металлическую монтажную плату (2), включающий корпус с лицевой стенкой (16), выполненной из синтетического материала и образующей чувствительную поверхность (4), расположенную в лицевой части корпуса, осциллятор (10), включающий воспринимающую обмотку (7) с сердечником (9), выполненным из материала с относительной магнитной проницаемостью больше 1, предпочтительно из феррита, и расположенный внутри корпуса за лицевой стенкой (16) таким образом, чтобы незамкнутая часть сердечника (9) была направлена к чувствительной поверхности (4) таким образом, чтобы магнитное поле обмотки было направлено на объект (6), расположенный перед чувствительной поверхностью (4), пустотелый цилиндрический металлический элемент, расположенный перпендикулярно чувствительной поверхности (4) и окружающий сердечник (9), а также измерительный контур (11), приспособленный для измерения затухания колебаний осциллятора (10), возникающего из-за наличия вихревых токов, отличающийся тем, что сердечник (9) радиально окружен металлическим слоем (18, 18"), удельное электрическое сопротивление которого меньше 15 мкОм·см, а толщина меньше 40 мкм.

2. Сенсор сближения по п.1, отличающийся тем, что слой (18, 18") выполнен из неферромагнитного материала.

3. Сенсор сближения по п.1, отличающийся тем, что слой (18, 18") расположен между металлическим элементом и сердечником.

4. Сенсор сближения по п.1, отличающийся тем, что металлический элемент выполнен в виде металлической гильзы (3), при этом сердечник (9) расположен внутри гильзы (3).

5. Сенсор сближения по п.4, отличающийся тем, что лицевая стенка представляет собой нижнюю часть (16) колпачка (15), при этом периферическая стенка (17) колпачка (15) вставлена в пространство между гильзой (3, 3") и сердечником (9), а слой (18") нанесен на внутреннюю поверхность стенки (17).

6. Сенсор сближения по п.1, отличающийся тем, что слой (18, 18") является металлическим покрытием.

7. Сенсор сближения по п.1, отличающийся тем, что толщина слоя (18, 18") меньше половины глубины проникновения поля в материал слоя при рабочей частоте осциллятора (10), предпочтительно меньше 30% глубины проникновения.

8. Сенсор сближения по п.1, отличающийся тем, что измерительный контур (11) приспособлен для изменения выходного сигнала контура сенсора в момент превышения затуханием колебаний заранее заданного порога срабатывания, соответствующего значению затухания 0,1 (10%) или менее.

9. Сенсор сближения по п.8, отличающийся тем, что толщина металлического слоя (18, 18") выбрана таким образом, чтобы при использовании объекта (6), выполненного из мягкой стали, расстояние между чувствительной поверхностью (4) и

объектом (6), на котором затухание колебаний, вызываемое вихревыми токами, соответствует порогу срабатывания, во встроенном состоянии сенсора отличалось от того же расстояния в невстроенном состоянии сенсора не более чем на 30%, предпочтительно не более чем на 20%.

10. Индуктивный сенсор сближения (1), выполненный с возможностью встраивания в металлическую монтажную плату (2), включающий корпус с лицевой стенкой (16), выполненной из синтетического материала и образующей чувствительную поверхность (4), расположенную в лицевой части корпуса, осциллятор (10), включающий воспринимающую обмотку (7) с сердечником (9), выполненным из материала с относительной магнитной проницаемостью больше 1, предпочтительно из феррита, и расположенный внутри корпуса за лицевой стенкой (16) таким образом, чтобы незамкнутая часть сердечника (9) была направлена к чувствительной поверхности (4) таким образом, чтобы магнитное поле обмотки было направлено на объект (6), расположенный перед чувствительной поверхностью (4), пустотелый цилиндрический металлический элемент, расположенный перпендикулярно чувствительной поверхности (4) и окружающий сердечник (9), а также измерительный контур (11), приспособленный для измерения затухания колебаний осциллятора (10), возникающего из-за наличия вихревых токов, отличающийся тем, что металлический элемент (3) выполнен из неферромагнитного металла с удельным электрическим сопротивлением от 15 мкОм·см до 50 мкОм·см.

11. Сенсор сближения по п.10, отличающийся тем, что металлический элемент выполнен в виде металлической гильзы (3), при этом сердечник (9) расположен внутри гильзы (3).

12. Сенсор сближения по п.10, отличающийся тем, что измерительный контур (11) приспособлен для изменения выходного сигнала контура сенсора в момент превышения затуханием колебаний заранее заданного порога срабатывания, соответствующего значению затухания 10% или менее.

13. Сенсор сближения по п.12, отличающийся тем, что удельное электрическое сопротивление той части гильзы, которая окружает сердечник (9), выбрано таким образом, чтобы при использовании объекта (6), выполненного из мягкой стали, расстояние между чувствительной поверхностью (4) и объектом (6), на котором затухание колебаний, вызываемое вихревыми токами, соответствует порогу срабатывания, во встроенном состоянии сенсора отличалось от того же расстояния в невстроенном состоянии сенсора не более чем на 30%, предпочтительно не более чем на 20%.

14. Способ изготовления сенсора сближения по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что с использованием набора, включающего сенсор (1) и объект (6), выполненный из мягкой стали и расположенный на фиксированном расстоянии от чувствительной поверхности (4) сенсора, затухание колебаний осциллятора (10) определяют во встроенном состоянии сенсора (1) и в невстроенном состоянии сенсора (1), при этом если измеренные значения затухания в этих состояниях различаются, то пошагово увеличивают толщину металлического слоя (18, 18"), эти стадии повторяют один или несколько раз до тех пор, пока не найдут такую толщину слоя (18, 18"), при которой затухание во встроенном состоянии будет, по существу, равно затуханию в невстроенном состоянии.

15. Способ изготовления сенсора сближения по любому из пп.10-13, отличающийся тем, что с использованием набора, включающего сенсор (1) и объект (6), выполненный из мягкой стали и расположенный на фиксированном расстоянии от

чувствительной поверхности (4) сенсора, затухание колебаний осциллятора (10) определяют во встроенном состоянии сенсора (1) и в невстроенном состоянии сенсора (1), при этом если измеренные значения затухания в этих состояниях различаются, то пошагово увеличивают удельное электрическое сопротивление металлического элемента, окружающего сердечник (9), эти стадии повторяют один
5 или несколько раз до тех пор, пока не найдут такое удельное электрическое сопротивление металлического элемента, при котором затухание во встроенном состоянии будет равно затуханию в невстроенном состоянии.

10

15

20

25

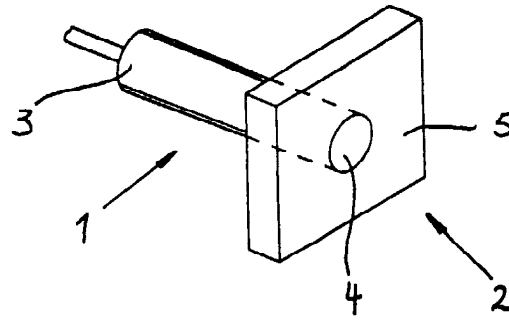
30

35

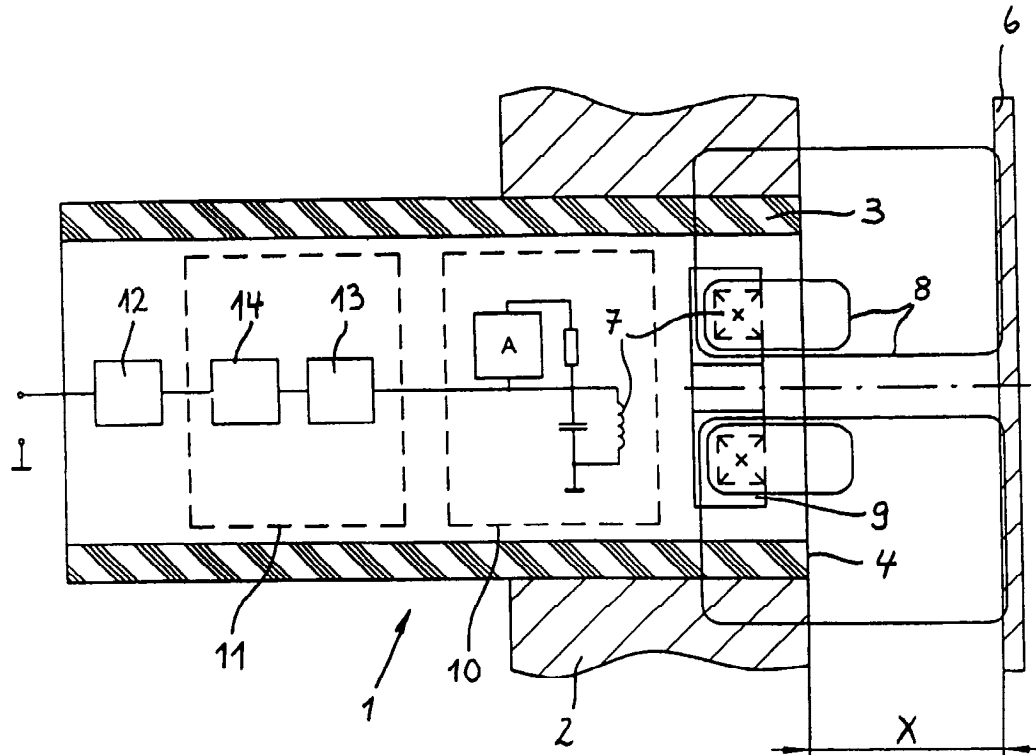
40

45

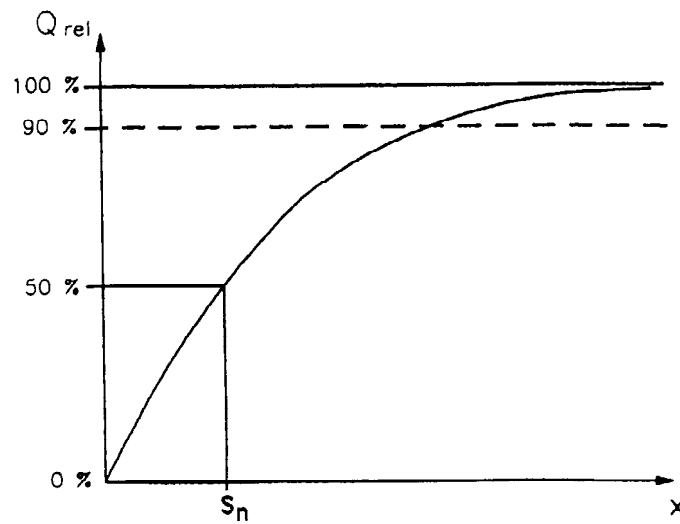
50



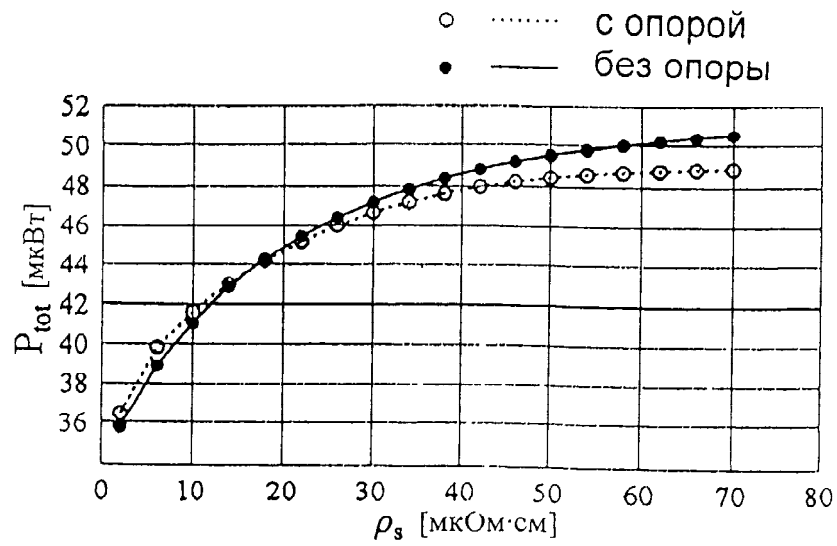
Фиг. 1



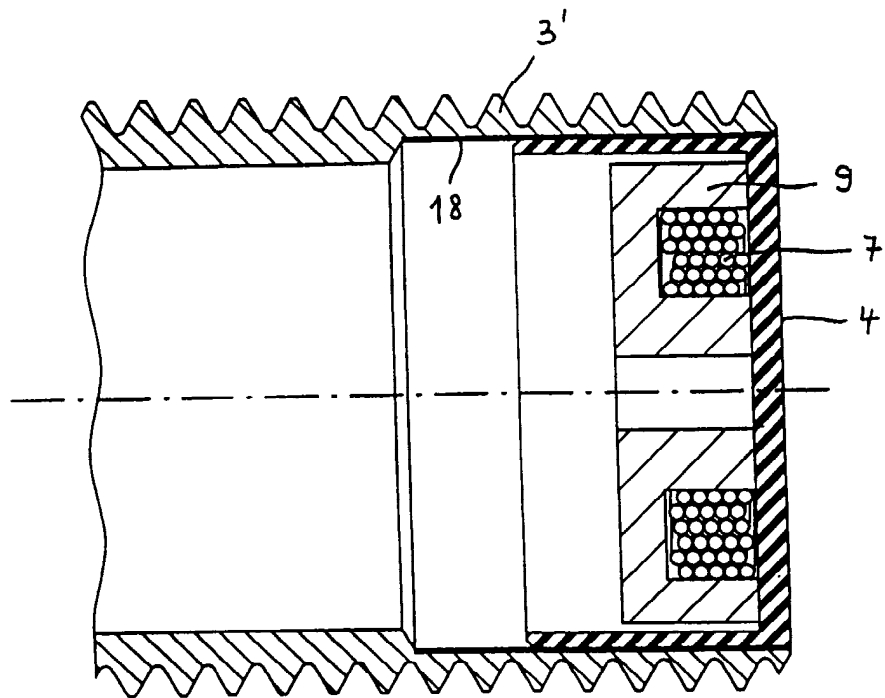
Фиг. 2



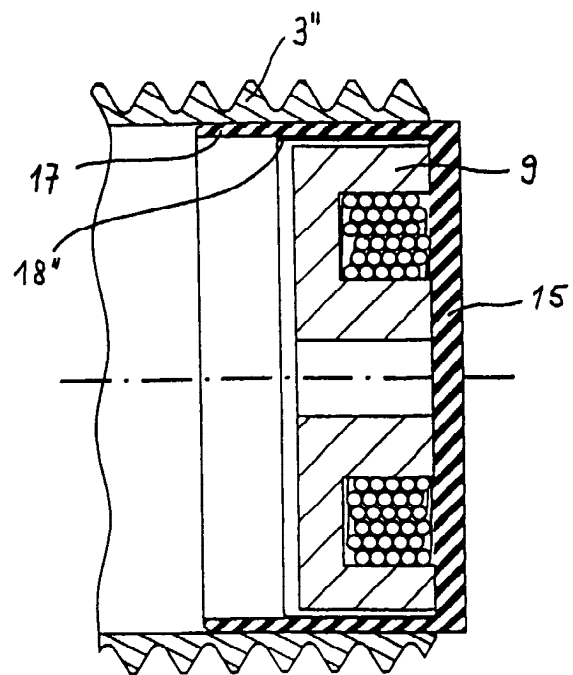
Фиг. 3



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7