



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009144382/28, 30.11.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.11.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.11.2009

(45) Опубликовано: 27.07.2011 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2351945 C1, 10.04.2009. RU 2105993 C1,  
27.02.1998. RU 2350982 C2, 27.03.2009. US  
4916455 A, 10.04.1990. CN 201234272,  
06.05.2009.

Адрес для переписки:

195271, Санкт-Петербург, Кондратьевский  
пр-кт, 72, Открытое акционерное общество  
"Авангард", Бюро по изобретательской,  
патентной работе и сертификации

(72) Автор(ы):

Дикарев Виктор Иванович (RU),  
Шубарев Валерий Антонович (RU),  
Мельников Владимир Александрович (RU),  
Скворцов Андрей Геннадьевич (RU)

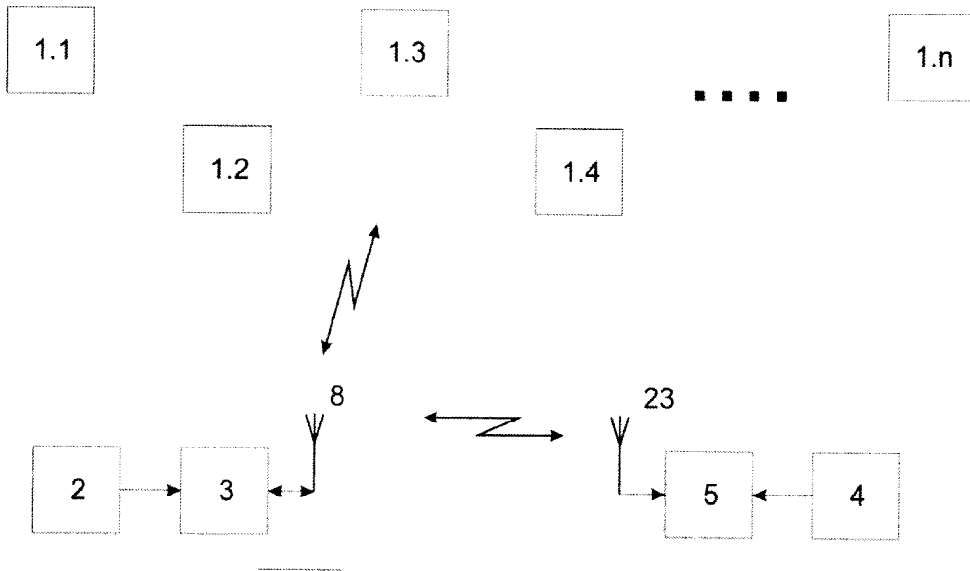
(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество  
"Авангард" (RU)(54) СПОСОБ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
МЕТРОПОЛИТЕНА И СИСТЕМА ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

(57) Реферат:

Система для мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена содержит электронные идентификаторы  $Li(i=1, 2, \dots, n)$ , считыватель 2, передающий радиомодем 3, с приемопередающей антенной 8, приемный радиомодем 5 с приемной антенной 23, подключенный к ЭВМ 4. Электронный идентификатор  $Li(i=1, 2, \dots, n)$  содержит пьезокристалл 18, микрополосковую антенну 19, электроды 20, шины 21.1 и 21.2, набором отражателей 22.1 и чувствительный элемент 22.2. Считыватель 2 содержит задающий генератор 6, циркулятор 7, усилитель 9 высокой частоты, фазовый детектор 10, удвоитель 30 фазы, делителя 31 фазы на два и узкополосный фильтр 32. Передающий модем 3 содержит линии

задержки 11 и 40 генератора 12 псевдослучайной последовательности, сумматор 13, перемножитель 14, узкополосный фильтр 15, фазовый манипулятор 16, усилитель 17 мощности, фазометр 33, аналого-цифровой преобразователь 34, блок 35 формирования эталонного фазового сдвига, блок 36 сравнения кодов, ключи 37, 38 и 39, блок 41 памяти и переключатель 42. Приемный радиомодем 5 содержит ЭВМ 4, усилитель 24 высокой частоты, перемножители 26 и 27, узкополосный фильтр 28 и фильтр 29 нижних частот. Перемножители 26 и 27, фильтр 29 нижних частот и узкополосный фильтр 28 образуют демодулятор 25 ФМн-сигнала. Техническим результатом изобретения является повышение достоверности и надежности. 2 н.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

RU 2 4 2 5 3 9 6 C 1

RU 2 4 2 5 3 9 6 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*G01S 13/75* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2009144382/28, 30.11.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**30.11.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **30.11.2009**

(45) Date of publication: **27.07.2011 Bull. 21**

Mail address:

**195271, Sankt-Peterburg, Kondrat'evskij pr-kt,  
72, Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo  
"Avangard", Bjuro po izobretatel'skoj, patentnoj  
rabote i sertifikatsii**

(72) Inventor(s):

**Dikarev Viktor Ivanovich (RU),  
Shubarev Valerij Antonovich (RU),  
Mel'nikov Vladimir Aleksandrovich (RU),  
Skvortsov Andrej Gennad'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Avangard"  
(RU)**

**(54) METHOD OF MONITORING STATE OF UNDERGROUND METROPOLITAN STRUCTURES AND SYSTEM FOR REALISING SAID METHOD**

(57) Abstract:

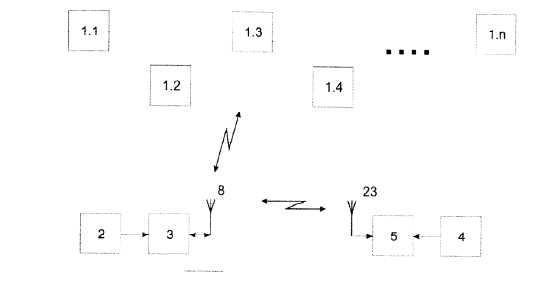
FIELD: physics.

SUBSTANCE: system for monitoring the state of underground metropolitan structures has electronic identifiers  $1.i(i=1,2,\dots,n)$ , a reader 2, a transmitting wireless modem 3, with a transceiving antenna 8, a receiving wireless modem 5 with a receiving antenna 23, connected to a computer 4. The electronic identifier  $1.i(i=1,2,\dots,n)$  contains a piezoelectric crystal 18, a microstrip antenna 19, electrodes 20, buses 21.1 and 21.2, a set of reflectors 22.1 and a detecting element 22.2. The reader 2 contains a driving generator 6, a circulator 7, a high frequency amplifier 9, a phase detector 10, a phase doubler 30, a phase halver 31 and a narrow band-pass filter 32. The transmitting modem 3 contains delay lines 11 and 40, a pseudorandom sequence generator 12, an adder 13, a multiplier 14, a narrow band-pass filter 15, a phase manipulator 16, a power amplifier 17, a phase metre 33, an analogue-to-digital converter 34, a unit for generating reference phase shift 35, a

code comparator 36, switches 37, 38 and 39, a memory unit 41 and a switch 42. The receiving wireless modem 5 has a computer 4, a high frequency amplifier 24, multipliers 26 and 27, a narrow band-pass filter 28 and a low-pass filter 29. Multipliers 26 and 27, low-pass filter 29 and narrow band-pass filter 28 form a phase-shift keyed signal demodulator 25.

EFFECT: high reliability.

2 cl, 5 dwg



Фиг. 1

RU 2 4 2 5 3 9 6 C 1

RU 2 4 2 5 3 9 6 C 1

Предлагаемые способ и система относятся к автоматике и вычислительной технике и могут быть использованы при построении систем автоматизированного контроля состояния подземных сооружений метрополитена.

Известны способы определения координат подвижного объекта в закрытых помещениях (патенты РФ №№2013785, 2248235, 2284542, 2286486, 2351945; патенты США №№4916455, 6044256, 7151447; патент Великобритании №2256730; патент Франции №2630565; патент WO №98/53431;

Бурлаков В. Радиочастотная идентификация. Электронные компоненты, 2005, №5, с.50-60 и другие).

Из известных способов и систем наиболее близкими к предлагаемым являются «Способ определения координат подвижного объекта в закрытых помещениях и система для его реализации» (патент РФ №2351945, G01S5/00, 2007), которые и выбраны в качестве базовых объектов.

Известные технические решения обеспечивают повышение достоверности и надежности мониторинга подвижного объекта в закрытых помещениях путем использования сложных сигналов с фазовой манипуляцией и надежных радиочастотных идентификаторов на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Однако известные способ и система не позволяют достоверно и надежно контролировать подземные сооружения метрополитена.

Следует отметить, что решение транспортной задачи в крупных мегаполисах возможно только путем создания разветвленной сети метрополитена. При этом чем более сложной и разветвленной становится сеть метро, чем масштабнее становится строительство подземных сооружений, чем больше становится количество пассажиров, чем плотнее движение подвижного состава, тем более и более важной становится проблема обеспечения безопасности как пассажиров, так и подземных сооружений метрополитена как на этапе строительства, так и на этапе эксплуатации.

Аварии в эксплуатируемых туннелях, связанные с внезапным общим и частичным повреждением конструкций и оборудования, пожарами и взрывами, загазованностью воздуха, затоплением водой, часто приводят к длительному прекращению их функционирования, приводят к значительным затратам на восстановление функционирования, а в некоторых случаях приводят к травматизму и гибели людей.

В настоящее время, когда вопросами технической безопасности уделяется все больше внимание, необходимо оснащать ответственные объекты системами постоянного мониторинга с целью обеспечения конструкционной, газовой, пожарной и других видов безопасности.

С использованием таких систем контроля значительная часть аварийных ситуаций может быть предотвращена при условии своевременного обнаружения зарождающихся дефектов, заблаговременного выявления условий для возникновения аварий. Использование современных средств технического контроля как оборудования тоннельных сооружений, так и самих строительных конструкций может в существенной степени сократить количество аварий за счет заблаговременного проведения профилактических мероприятий.

Технической задачей изобретения является повышение достоверности и надежности мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена путем использования надежных радиочастотных идентификаторов на поверхностных акустических волнах с чувствительными элементами.

Поставленная задача решается тем, что способ мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена с использованием электронных идентификаторов и

считывателей, согласно которому в соответствии с ближайшим аналогом считыватель закрепляют на подвижном объекте, а электронные идентификаторы закрепляют на элементах конструкции помещения, при приближении к электронному идентификатору подвижного объекта его считывателем считают код электронного идентификатора и вместе с кодом подвижного объекта передают через радиомодем на радиомодем электронно-вычислительной машины (ЭВМ), при этом положение электронных идентификаторов определяется сеткой с постоянным шагом, нанесенной на план помещения, коды электронных идентификаторов и коды координат их положения запоминают в ЭВМ, в которой определяют координаты подвижного объекта, и отображают его положение на мониторе совместно с планом помещения, в качестве электронного идентификатора используют пьезокристалл с нанесенным на его поверхность алюминиевым встречно-штыревым преобразователем, связанным с микрополосковой антенной, и набором отражателей, при приближении к электронному идентификатору подвижного объекта его считывателем облучают электронный идентификатор гармоническим колебанием несущей частоты  $\omega_1$ , принимают его на электронном идентификаторе, преобразуют в акустическую волну, обеспечивают ее распространение по поверхности пьезокристалла и обратное отражение, преобразуют отраженную акустическую волну опять в сложный сигнал с фазовой манипуляцией, внутренняя структура которого соответствует структуре встречно-штыревого преобразователя, переизлучают его в эфир, принимают считывателем подвижного объекта, усиливают по амплитуде, осуществляют синхронное детектирование на частоте  $\omega_1$ , выделяют низкочастотное напряжение, соответствующее коду электронного идентификатора, задерживают его на время, равное длительности кода электронного идентификатора, суммируют с кодом подвижного объекта, перемножают гармоническое колебание несущей частоты само на себя, выделяют гармоническое колебание несущей частоты  $\omega_2=2\omega_1$ , сформированный сложный сигнал с фазовой манипуляцией излучают в эфире и принимают радиомодемом ЭВМ, отличается от ближайшего аналога тем, что усиленный по амплитуде сложный сигнал с фазовой манипуляцией на частоте  $\omega_1$  умножают и делят по фазе на два, выделяют гармоническое колебание на частоте  $\omega_1$  и используют его в качестве опорного напряжения для синхронного детектирования принимаемого сложного сигнала с фазовой манипуляцией на частоте  $\omega_1$ , и для сравнения по фазе с гармоническим колебанием несущей частоты  $\omega_1$ , измеряют фазовый сдвиг, обусловленный воздействием параметров внешней среды на чувствительный элемент электронного идентификатора, преобразуют его в код, сравнивают с эталонным кодом и по результатам сравнения формируют управляющее напряжение, которое используют для разрешения дальнейшей обработки кодов подвижного объекта, электронного идентификатора и фазового сдвига, задерживают код фазового сдвига на время, равное сумме длительностей кодов подвижного объекта и электронного идентификатора, суммируют задержанный код фазового сдвига с задержанным кодом электронного идентификатора и кодом подвижного объекта, запоминают суммарный код и в момент остановки электропоезда на конечной станции метро манипулируют им по фазе гармоническое колебание несущей частоты  $\omega_2=2\omega_1$ , причем в качестве помещения используют транспортный тоннель метрополитена, а в качестве подвижного объекта используют кабину машиниста электропоезда, приемный радиомодем и ЭВМ размещают на конечной станции метро, электронные идентификаторы снабжают чувствительным элементом, который размещают на пьезокристалле между встречно-штыревым преобразователем и

набором отражателей.

Поставленная задача решается тем, что система для мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена, содержащая в соответствии с ближайшим аналогом электронные идентификаторы, размещенные на элементах конструкции помещения, считыватель, закрепленный на подвижном объекте, передающий радиомодем, связанный со считывателем, и приемный радиомодем, подключенный к электронно-вычислительной машине (ЭВМ), при этом положение электронных идентификаторов определяется сеткой с постоянным шагом, нанесенной на план помещения, коды электронных идентификаторов и коды координат их положения запоминают в ЭВМ, в которой определяют координаты подвижного объекта и отражают его положение на мониторе совместно с планом помещения, считыватель выполнен в виде последовательно включенных задающего генератора, циркулятора, вход-выход которого связан с приемопередающей антенной, усилителя высокой частоты и фазового детектора, передающий радиомодем выполнен в виде генератора псевдослучайной последовательности, последовательно включенных первой линии задержки и сумматора, последовательно подключенных к выходу задающего генератора перемножителя, второй вход которого соединен с выходом задающего генератора, первого узкополосного фильтра, фазового манипулятора и усилителя мощности, выход которого соединен с вторым входом циркулятора, приемный радиомодем выполнен в виде узкополосного фильтра, ЭВМ и последовательно включенных приемной антенны и усилителя высокой частоты, электронный идентификатор выполнен в виде пьезокристалла с нанесенным на его поверхность алюминиевым тонкопленочным встречно-штыревым преобразователем, связанным с микрополосковой антенной, и набором отражателей, встречно-штыревой преобразователь содержит два гребенчатые системы электродов, электроды каждой из гребенок соединены друг с другом шинами, связанными с микрополосковой антенной, отличается от ближайшего аналога тем, что считыватель снабжен удвоителем фазы, делителем фазы на два и вторым узкополосным фильтром, причем к выходу усилителя высокой частоты последовательно подключены удвоитель фазы, делитель фазы на два и второй узкополосный фильтр, выход которого соединен с вторым входом фазового детектора, передающий радиомодем снабжен фазометром, аналого-цифровым преобразователем, блоком формирования эталонного фазового сдвига, блоком сравнения кодов, тремя ключами, второй линией задержки, блоком памяти и переключателем, причем к выходу задающего генератора последовательно подключены фазометр, второй вход которого соединен с выходом второго узкополосного фильтра, аналого-цифровой преобразователь, блок сравнения кодов, второй вход которого соединен с выходом блока формирования эталонного фазового сдвига, первый ключ, второй вход которого соединен с выходом аналого-цифрового преобразователя, вторая линия задержки, сумматор, блок памяти и переключатель, выход которого соединен с вторым входом фазового манипулятора, вход первой задержки через второй ключ соединен с выходами фазового детектора и блока сравнения кодов, третий вход сумматора через третий ключ соединен с выходами генератора псевдослучайной последовательности и блока сравнения кодов, приемный радиомодем снабжен двумя перемножителями и фильтром нижних частот, причем к выходу усилителя высокой частоты последовательно подключены первый перемножитель, второй вход которого соединен с выходом фильтра нижних частот, узкополосный фильтр, второй перемножитель, второй вход которого соединен с выходом усилителя высокой частоты, и фильтр нижних частоты, выход которого

соединен с ЭВМ, электронный идентификатор снабжен чувствительным элементом, который размещается на пьезокристалле между встречно-штыревым преобразователем и набором отражателей, в качестве помещения использован транспортный тоннель метрополитена, а в качестве подвижного объекта  
5 использована кабина машиниста электропоезда, приемный радиомодем размещен на конечной станции метро.

Структурная схема системы, реализующей предлагаемый способ, представлена на фиг.1. Функциональная схема электронного идентификатора изображена на фиг.2.

10 Структурная схема считывателя и передающего радиомодема 3 представлена на фиг.3.

Структурная схема приемного радиомодема 5 представлена на фиг.4. Временные диаграммы, поясняющие работу системы, показаны на фиг.5.

15 Система для мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена содержит электронные идентификаторы  $l.i$  ( $i=1, 2, \dots (n)$ ), считыватель 2, передающий радиомодем 3 с приемопередающей антенной 8, приемный радиомодем 5 с приемной антенной 23, подключенный к ЭВМ (фиг.1)

Электронные идентификаторы  $l.i$  ( $i=1, 2, \dots n$ ) закрепляют на элементах конструкции подземных сооружений метрополитена, считыватель 2 и передающий радиомодем 3 с приемопередающей антенной 8 размещают в кабине машиниста электропоезда,  
20 приемный радиомодем 5 с приемной антенной 23 и ЭВМ 4 размещают на конечной станции метрополитена.

Электронный идентификатор  $l.i$  ( $i=1, 2, \dots n$ ) выполнен в виде пьезокристалла 18 с нанесенным на его поверхность алюминиевым тонкопленочным встречно-штыревым преобразователем (ВШП), связанным с микрополосковой антенной 19, набором отражателей 22.1-й чувствительных элементам 22.2. ВШП поверхностных акустических волн (ПАВ) содержит две гребенчатые системы электродов 20,  
25 шины 21.1 и 21.2, которые соединяют электроды 20 каждой из гребенок между собой.

30 Шины 21.1 и 21.2 в свою очередь связаны с микрополосковой антенной 19 (фиг.2)

Считыватель 2 выполнен в виде последовательно включенных задающего генератора 6, циркулятора 7, вход-выход которого связан с приемопередающей антенной 8, усилителя 9 высокой частоты, удвоителя 30 фазы, делителя 31 фазы на два, второго узкополосного фильтра 3 и фазового детектора 10, второй вход которого  
35 соединен с выходом усилителя 9 высокой частоты.

Передающий радиомодем 3 выполнен в виде последовательно подключенных к выходу задающего генератора 6 перемножителя 14, второй вход которого соединен с выходом задающего генератора 6, первого узкополосного фильтра 15, фазового манипулятора 16 и усилителя 17 мощности, выход которого соединен с вторым входом циркулятора 7, последовательно подключенных к выходу задающего генератора 6 фазометра 33, второй вход которого соединен с выходом второго узкополосного фильтра 32, аналого-цифрового преобразователя 34, блока 36 сравнения кодов, второй вход которого соединен с выходом блока 35 формирования эталонного фазового сдвига, первого ключа 37, второй вход которого соединен с выходом аналого-цифрового преобразователя 34, второй линии задержки 40, сумматора 13,  
45 блока 41 памяти и переключателя 42, выход которого соединен с вторым входом фазового манипулятора 16. К выходу фазового детектора 10 последовательно подключены второй ключ 38, второй вход которого соединен с выходом блока 36 сравнения кодов, и первая линия 11 задержки, выход которой соединен с вторым входом сумматора 13, третий вход которого через третий ключ 39 соединен с выходом генератора 12 псевдослучайной последовательности и блока 36 сравнения кодов.  
50

Приемный радиомодем 5 выполнен в виде последовательно подключенных к выходу приемной антенны 23 усилителя 24 высокой частоты, первого перемножителя 26, второй вход которого соединен с выходом фильтра 29 нижних частот, узкополосного фильтра 28, второго перемножителя 27, второй вход которого соединен с выходом усилителя 24 высокой частоты, и фильтра 29 нижних частот, выход которого подключен к ЭВМ 4.

Перемножители 26 и 27, узкополосный фильтр 28 и фильтр 29 нижних частот образуют демодулятор фазоманипулируемого сигнала.

Способ мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена реализуется следующим образом.

Составляется (или берется готовый) план транспортного тоннеля между станциями метро. Замеряются расстояния по этому плану между электронными идентификаторами  $1.i(i=1, 2, \dots n)$ , которые должны служить отметками координат.

При движении электропоезда по транспортному тоннелю (фиг.1) задающим генератором 6 считывателя 2 формируется высокочастотное колебание (фиг.5,а)  

$$u_1(t) = U_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \varphi_1), 0 \leq t \leq T_1,$$

где  $U_1, \omega_1, \varphi_1, T_1$  - амплитуда, несущая частота, начальная фаза и длительность высокочастотного колебания, которое через циркулятор 7 поступает в антенну 8, излучается ею в эфир и облучает ближайший электронный идентификатор  $1.i(i=1, 2, \dots n)$ . Высокочастотное гармоническое колебание на частоте  $\omega_1$  улавливается микрополосковой антенной 19, настроенной на частоту  $\omega_1$ , преобразуется встречно-штыревым преобразователем в акустическую волну, которая распространяется по поверхности пьезокристалла 18 со скоростью  $V$ , которая примерно на пять порядков меньше скорости  $C$  распространения электромагнитных волн ( $V \ll C$ ). Акустическая волна проходит через чувствительный элемент 22.2, отражается от отражателей 22.1 и опять преобразуется в сложный сигнал с фазовой манипуляцией (ФМн) (фиг.5, в)

$$u_2(t) = U_2 \cdot \cos[\omega_1 t + \varphi_{k1}(t) + \varphi_1 + \Delta\varphi], 0 \leq t \leq T_1,$$

где  $\varphi_{k1}(t) = \{0, \pi\}$  - манипулированная составляющая фазы, отображающая закон фазовой манипуляции в соответствии с модулирующим кодом  $M1(t)$  (фиг.5, б), отражающим координаты электронного идентификатора, причем  $\varphi_{k1}(t) = \text{Const}$  при  $kt \leq t < (k+1)t$  и может изменяться скачками на  $\pi$  при  $t = kt$ , т.е. на границах между элементарными посылками ( $k=1, 2, \dots N-1$ );

$t$ ,  $N$  - длительность и количество элементарных посылок, из которых составлен сигнал длительностью  $T_1 (T_1 = N t)$ ;

$\Delta\varphi$  - фазовый сдвиг, обусловленный воздействием на чувствительный элемент внешней среды.

В качестве чувствительного элемента 22.2 может быть использован датчик какой-либо физической величины (давления, деформации, температуры, освещенности и загазованности), который отражает воздействие различных параметров внешней среды на подземные сооружения метрополитена. Например, в качестве чувствительного элемента 22.2 может использоваться тонкая мембрана, на которую воздействует внешнее давление вызывающее ее деформацию. Вследствие деформации скорость  $V$  ПАВ в области мембраны изменится и фаза отраженной от отражающей решетки 22.1 волны также изменится. Это изменение может быть измерено и использовано для получения полезной переменной информации о состоянии подземных сооружений метрополитена. Реально в настоящее время таким образом могут быть реализованы датчики давления, деформации, температуры, освещенности, загазованности и др.

При этом внутренняя структура сформированного сложного ФМн-сигнала  $u_2(t)$  (фиг.5, в) определяется топологией встречно-штыревого преобразователя, имеет индивидуальный характер и содержит информацию о местоположении электронного идентификатора в соответствующем сооружении.

Таким образом, предложенная пассивная идентификационная метка на поверхностных акустических волнах с чувствительным элементом является устройством для совместного измерения параметров внешней среды и идентификации самого устройства.

Сформированный сложный ФМн-сигнал  $u_2(t)$  (фиг.5,в) излучается микрополоковой антенной 19 в эфир, улавливается приемопередающей антенной 8 и через циркулятор 7 и усилитель 9 высокой частоты поступает на первый (информационный) вход разового детектора 10 и на вход удвоителя 30 фазы.

На выходе последнего образуется гармоническое колебание.

$$u_3(t) = U_3 \cdot \cos(2\omega_1 t + 2\varphi_1 + 2\Delta\varphi), \quad 0 \leq t \leq T_1$$

$$\text{где } U_3 = \frac{1}{2} U_2^2$$

Так как  $2\varphi_{k1}(t) = \{0, 2\pi\}$ , то в данном колебании манипуляция фазы уже отсутствует. Это колебание делится по фазе на два в делителе 31 фазы и выделяется узкополосным фильтром 32 (фиг.5, г)

$$u_4(t) = U_4 \cdot \cos(\omega_1 t + \varphi_1 + \Delta\varphi), \quad 0 \leq t \leq T_1$$

Полученное гармоническое колебание используется в качестве опорного напряжения и подается на второй (опорный) вход фазового детектора 10. В результате синхронного детектирования на выходе фазового детектора 10 образуется низкочастотное напряжение (фиг.5,д)

$$u_{н1}(t) = U_{н1} \cdot \cos\varphi_{k1}(t), \quad 0 \leq t \leq T_1$$

$$\text{где } U_{н1} = \frac{1}{2} U_2 \cdot U_4;$$

пропорционально модулирующему коду  $M_i(t)$  (фиг.5, б).

Одновременно гармоническое колебание  $u_4(t)$  поступает на первый вход фазометра 33, на второй вход которого подается высокочастотное колебание  $u_1(t)$  с выхода задающего генератора 6. Фазометр 33 измеряет фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$ , пропорциональный, например, внешнему давлению  $P$ , который преобразуется аналого-цифровым преобразователем 34 в соответствующий код  $M_3(t)$  и поступает на первый вход блока 36 сравнения кодов, на второй вход которого подается код  $M_3(t)$ , соответствующий эталонному фазовому сдвигу  $\Delta\varphi_3$ , с выхода блока 35 формирования эталонного фазового сдвига.

Эталонный код  $M_3(t)$  соответствует условиям нормальной эксплуатации, когда параметры внешней среды, воздействующие на чувствительный элемент, не выходят за допустимые пределы.

Если коды  $M_3(t)$  и  $M_3(t)$  равны [ $M_3(t) = M_3(1)$ ], то на выходе блока 36 сравнения кодов напряжение отсутствует. Это обстоятельство соответствует условию нормальной эксплуатации подземных сооружений метрополитена.

Если коды  $M_3(t)$  и  $M_3(t)$  не равны [ $M_3(t) \neq M_3(t)$ ], то на выходе блока 36 сравнения кодов формируется управляющее напряжение, которое поступает на управляющие входы ключей 37, 38 и 39, открывая их. В исходном состоянии указанные ключи всегда закрыты.

Данная ситуация соответствует условию зарождения дефектов в подземных сооружениях метрополитена, которые могут привести к аварии, и требует проведения профилактических мероприятий с целью обеспечения конструкционной, газовой,

пожарной и других видов безопасности.

Низкочастотное напряжение  $u_{н1}(t)$  (фиг.5,д), пропорционально модулирующему коду  $M_1(t)$  (фиг.5,б), с выхода фазового детектора 10 через открытый ключ 38 поступает на вход линии 11 задержки, где задерживается на время  $\tau_{3,1}$ , равное 5  
длительности  $\tau_1$  модулирующего кода  $M_1(t)$  ( $\tau_{3,1}=\tau_1$ ), и поступает на первый вход сумматора 13. На второй вход последнего подается код  $M_2(t)$  подвижного объекта с выхода генератора 12 псевдослучайной последовательности (ПСП) длительностью  $\tau_2$  через открытый ключ 39. Код  $M_3(t)$  фазового сдвига  $\Delta\varphi$  с выхода аналого-цифрового преобразователя 34 через открытый ключ 37 поступает на вход линии 40 задержки, где 10  
задерживается на время  $\tau_{3,3}$ , равное сумме длительностей кодов электронного идентификатора  $M_1(t)$  ( $\tau_1$ ) и подвижного объекта  $M_2(t)$  ( $\tau_2$ ) ( $\tau_{3,3}=\tau_3=\tau_1+\tau_2$ ), и поступает на третий вход сумматора 13. На входе сумматора 13 формируется суммарный 15  
модулирующий код  $M_\Sigma(t)$  (фиг.5,ж):

$$M_\Sigma(t)=M_1(t)+M_2(t)+M_3(t),$$

длительностью  $\tau_\Sigma$

$$\tau_\Sigma=\tau_1+\tau_2+\tau_3,$$

который запоминает в блоке 41 памяти.

Высокочастотное колебание  $u_1(t)$  (фиг.5,а) с выхода задающего генератора 6 20  
одновременно поступает на два входа перемножителя 14, на выходе которого образуется следующее колебание (фиг.5,е)

$$u_5(t)=U_5 \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2), \quad 0 \leq t \leq T_1,$$

$$\text{где } U_2 = \frac{1}{2} U_1^2;$$

$$\omega_2 = 2\omega_1; \quad \varphi_2 = 2\varphi_1.$$

Это колебание выделяется узкополосным фильтром 15 и поступает на первый вход фазового манипулятора 16. При остановке электропоезда на конечной станции по 30  
окончании рабочего дня замыкается переключатель 42 и суммарный код  $M_\Sigma(t)$  (фиг.5,ж) с выхода блока 41 память через замкнутый переключатель 42 подается на второй вход фазового манипулятора 16. На выходе манипулятора 16 формируется сложный ФМн-сигнал (фиг.5,з)

$$u_6(t)=U_6 \cdot \cos[\omega_2 t + \varphi_{к2}(t) + \varphi_2], \quad 0 \leq t \leq T_1,$$

где  $\varphi_{к2}(t)=\{0, \pi\}$ -манипулированная составляющая фазы, отображающая закон 35  
фазовой манипуляции в соответствии с модулирующим кодом  $M_\Sigma(t)$  (фиг.5,ж),

который после усиления в усилителе 17 мощности через циркулятор 7 поступает в приемопередающую антенну 8, излучается ею в эфир, улавливается приемной 40  
антенной 23 и через усилитель 24 высокой частоты поступает на вход демодулятора 25 ФМн-сигнала, состоящего из перемножителей 26 и 27, узкополосного фильтра 28 и фильтра 29 нижних частот.

На второй вход перемножителя 27 с выхода узкополосного фильтра 28 поступает опорное напряжение (фиг.5,и)

$$u_0(t)=U_0 \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2), \quad 0 \leq t \leq T_1.$$

На входе перемножителя 27 образуется следующее напряжение:

$$u_7(t)=U_{н2} \cdot \cos\varphi_{к2}(t) + U_{н2} \cdot \cos[2\omega_2 t + \varphi_{к2}(t) + 2\varphi_2], \quad 0 \leq t \leq T_1,$$

$$\text{где } U_{н2} = \frac{1}{2} U_6 \cdot U_0,$$

из которого фильтром 29 нижних частот выделяется низкочастотное напряжение 50  
(фиг.5, к)

$$U_{н2}(t)=U_{н2} \cdot \cos\varphi_{к2}(t), \quad 0 \leq t \leq T_1,$$

которое пропорционально сумматорному коду  $M_\Sigma(t)$  (фиг.5,ж) и поступает в ЭВМ 4

и на второй вход перемножителя 26. На выходе последнего образуется напряжение (фиг.5,и)

$$u_0(t)=U_7 \cdot \text{Cos}(w_2t+\varphi_2)+U_7 \cdot \text{Cos}[w_2t+2\varphi_{k2}(t)+\varphi_2]=U_7 \cdot \text{Cos}(w_2t+\varphi_2)+U_7 \cdot \text{Cos}(w_2t+\varphi_2)=U_0 \cdot \text{Cos}(w_2t+\varphi_2), 0 \leq t \leq T_1,$$

где  $U_7=1/2 U_6 \cdot U_{H2}$ ;  $U_0=2U_7$ ,

которое выделяется узкополосным фильтром 28 и используется в качестве опорного напряжения.

Предлагаемый модулятор ФМн-сигнала обеспечивает выделение опорного напряжения, необходимого для синхронного детектирования ФМн-сигнала, непосредственно из самого принимаемого ФМн-сигнала, обладает высокой достоверностью и помехоустойчивостью, а также лишен такого недостатка, как явление «обратной работы», присущего всем известным демодуляторам ФМн-сигналов (схемы Пистолькорса А.А., Сифорова В.И., Костаса Д.Ф., Травика Г.А.).

На мониторе ЭВМ 4, установленной вместе с приемным радиомодемом 5 и приемной антенной 23 на конечной станции метро, отображаются код подвижного объекта и только те электронные идентификаторы, установленные на подземных сооружениях метрополитена, у которых развиваются дефекты, приводящие к аварии.

Сложные сигналы с фазовой манипуляцией открывают большие возможности в технике передачи сообщений. Они позволяют применять структурную селекцию. Это значит, что появляется возможность разделять сигналы, действующие в одной и той же полосе частот и в одни и те же промежутки времени.

С точки зрения обнаружения сложные ФМн-сигналы обладают высокой энергетической и структурной скрытностью.

Энергетическая скрытность сложных ФМн-сигналов обусловлена их высокой сжимаемостью во времени и по спектру при оптимальной обработке, что позволяет снизить мгновенную излучаемую мощность. Вследствие этого сложный ФМн-сигнал в точке приема может оказаться замаскирован шумами и помехами. Причем энергия ФМн-сигнала отнюдь не мала, она просто распределена по частотно-временной области так, что в каждой точке этой области мощность сигнала меньше мощности шумов и помех.

Структурная скрытность сложных ФМн-сигналов обусловлена большим разнообразием их форм и значительными диапазонами изменения значений параметров, что затрудняет оптимальную или хотя бы квазиоптимальную обработку сложных ФМн-сигналов априорно неизвестной структуры с целью повышения чувствительности приемного устройства.

Для развязки радиочастотных идентификаторов выбраны разные частоты  $w_1$  и  $w_2=2w_1$ .

Таким образом, предлагаемые способы и система по сравнению с базовыми объектами и другими техническими решениями аналогичного назначения обеспечивают повышение достоверности и надежности постоянного мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена. Это достигается использованием электронных идентификаторов на поверхностных акустических волнах с чувствительным элементом. В качестве чувствительного элемента могут быть использованы датчики каких-либо физических величин (давления, деформации, температуры, освещенности и загазованности).

Указанные датчики, установленные на подземных сооружениях метрополитена, позволяют вести постоянный контроль за их состоянием с целью обеспечения конструкционной, газовой, пожарной и других видов безопасности. Причем контроль

осуществляется визуально на мониторе ЭВМ, размещенной на конечной станции метро.

Предлагаемый способ и система позволяют своевременно обнаружить зарождающиеся дефекты в подземных сооружениях метрополитена, заблаговременно провести соответствующие профилактические мероприятия и в существенной степени сократить количество аварий, случаев травматизма и гибели людей.

#### Формула изобретения

1. Способ мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена с использованием электронных идентификаторов и считывателей, согласно которому считыватель закрепляют на подвижном объекте, а электронные идентификаторы закрепляют на элементах конструкции помещения, при приближении к электронному идентификатору подвижного объекта его считывателем считывают код электронного идентификатора и вместе с кодом подвижного объекта передают через радиомодем на радиомодем электронно-вычислительной машины (ЭВМ), при этом положение электронных идентификаторов определяется сеткой с постоянным шагом, нанесенной на план помещения, коды электронных идентификаторов и коды координаты их положения запоминают в ЭВМ, в которой определяют координаты подвижного объекта и отображают его положение на мониторе совместно с планом помещения, в качестве электронного идентификатора используют пьезокристалл с нанесенным на его поверхность алюминиевым встречно-штыревым преобразователем, связанным с микрополосковой антенной, и набором отражателей, при приближении к идентификатору подвижного объекта его считывателем облучают электронный идентификатор гармоническим колебанием несущей частоты  $w_1$ , принимают его на электронном идентификаторе, преобразуют в акустическую волну, обеспечивают ее распространение по поверхности пьезокристалла и обратное отражение, преобразуют отраженную акустическую волну опять в сложный сигнал с фазовой манипуляцией, внутренняя структура которого соответствует структуре встречно-штыревого преобразователя, переизлучают его в эфир, принимают считывателем подвижного объекта, осуществляют синхронное детектирование на частоте  $w_1$ , выделяют низкочастотное напряжение, соответствующее коду электронного идентификатора, задерживают его на время, равное длительности кода электронного идентификатора, суммируют с кодом подвижного объекта, перемножают гармоническое колебание несущей частоты  $w_1$  само на себя, выделяют гармоническое колебание несущей частоты  $w_2=2w_1$ , сформированный сложный сигнал с фазовой манипуляцией на частоте  $w_2$  излучают в эфир и принимают радиомодемом ЭВМ, отличающийся тем, что усиленный по амплитуде сложный сигнал с фазовой манипуляцией на частоте  $w_1$  умножают и делят по фазе на два, выделяют гармоническое колебание на частоте  $w_1$  и используют его в качестве опорного напряжения для синхронного сложного сигнала с фазовой манипуляцией на частоте  $w_1$ , и для сравнения по фазе с гармоническим колебанием несущей частоты  $w_1$  измеряют фазовый сдвиг, обусловленный воздействием параметров внешней среды на чувствительный элемент электронного идентификатора, преобразуют его в код, сравнивают с эталонным кодом и по результатам сравнения формируют управляющие напряжения, которое используют для разрешения дальнейшей обработки кодов подвижного объекта, электронного идентификатора и фазового сдвига, задерживают код фазового сдвига на время, равное сумме длительностей кодов подвижного объекта и электронного идентификатора, суммируют задержанный код фазового сдвига с задержанным кодом

электронного идентификатора и кодом подвижного объекта, запоминают суммарный код и в момент остановки электропоезда на конечной станции метро манипулируют по фазе гармоническое колебание несущей частоты  $w_2=2w_1$  и усиливают по мощности, причем в качестве помещения используют транспортный тоннель метрополитена, в качестве подвижного объекта используют кабину машиниста электропоезда, приемный радиомодем и ЭВМ размещают на конечной станции метро, электронные идентификаторы снабжают чувствительным элементом, который размещают на пьезокристалле между встречно-штыревым преобразователем и набором отражателей.

2. Система для мониторинга состояния подземных сооружений метрополитена, содержащая электронные идентификаторы, размещенные на элементах конструкции помещения, считыватель закрепленный на подвижном объекте, передающий радиомодем, связанный со считывателем, и приемный радиомодем, подключенный к электронно-вычислительной машине (ЭВМ), при этом положение электронных идентификаторов определится сеткой с постоянным шагом, нанесенной на план помещения, коды электронных идентификаторов и коды координат их положения запоминаются в ЭВМ, в которой определяются координаты подвижного объекта и отображается его положение на мониторе совместно с планом помещения, считыватель выполнен в виде последовательно включенного задающего генератора, циркулятора, вход-выход которого связан с приемопередающей антенной, усилителя высокой частоты и фазового детектора, передающий радиомодем выполнен в виде генератора псевдослучайной последовательности, последовательно включенных первой линии задержки и сумматора, последовательно подключенных к выходу задающего генератора перемножителя, второй вход которого соединен с выходом задающего генератора, первого узкополосного фильтра, фазового манипулятора и усилителя мощности, выход которого соединен с вторым входом циркулятора, приемный радиомодем выполнен в виде узкополосного фильтра, ЭВМ и последовательно включенных приемной антенны и усилителя высокой частоты, электронный идентификатор выполнен в виде пьезокристалла с нанесенным на его поверхность алюминиевым тонкопленочным встречно-штыревым преобразователем, связанным с микрополосковой антенной, и набором отражателей, встречно-штыревой преобразователь содержит две гребенчатые системы электродов, электроды каждой из гребенок соединены друг с другом шинами, связанными с микрополосковой антенной, отличающаяся тем, что считыватель снабжен удвоителем фазы, делителем фазы на два и вторым узкополосным фильтром, причем к выходу усилителя высокой частоты последовательно подключены удвоитель фазы, делитель фазы на два и второй узкополосный фильтр, выход которого соединен с вторым входом фазового детектора, передающей радиомодем снабжен фазометром, аналого-цифровым преобразователем, блоком формирования эталонного фазового сдвига, блоком сравнения кодов, тремя ключами, второй линией задержки, блоком памяти и переключателем, причем к выходу задающего генератора последовательно подключены фазометр, второй выход которого соединен с выходом второго узкополосного фильтра, аналого-цифровой преобразователь, блок сравнения кодов, второй вход которого соединен с выходом блока формирования эталонного сдвига, первый ключ, второй вход которого соединен с выходом аналого-цифрового преобразователя, вторая линия задержки, сумматор, блок памяти и переключатель, выход которого соединен с вторым входом фазового манипулятора, вход первой линии задержки через второй ключ соединен с выходами фазового детектора и блока сравнения кодов, третий вход сумматора через третий ключ соединен с выходами

генератора псевдослучайной последовательности и блока сравнения кодов, приемный радиомодем снабжен двумя перемножителями и фильтром нижних частот, причем к выходу усилителя высокой частоты последовательно подключен первый  
5 перемножитель, второй вход которого соединен с выходом фильтра нижних частот, узкополосный фильтр, второй перемножитель, второй вход которого соединен с  
10 выходом усилителя высокой частоты, и фильтр нижних частот, выход которого соединен с ЭВМ, электронный идентификатор снабжен чувствительным элементом, который размещается на пьезокристалле между встречно-штыревым преобразователем и набором отражателей, в качестве помещения использован транспортный тоннель метрополитена, а в качестве подвижного объекта использована кабина машиниста электропоезда, приемный радиомодем размещен на конечной станции метро.

15

20

25

30

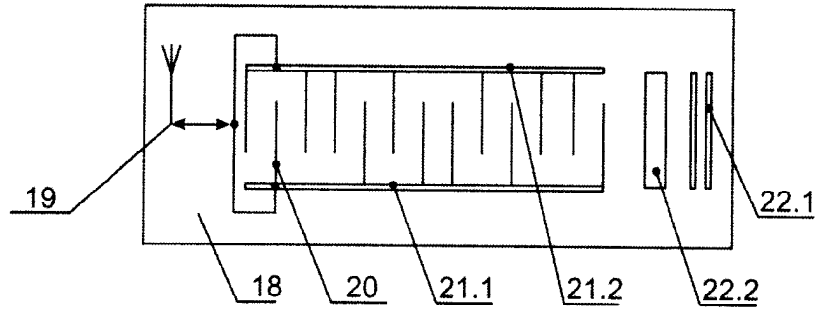
35

40

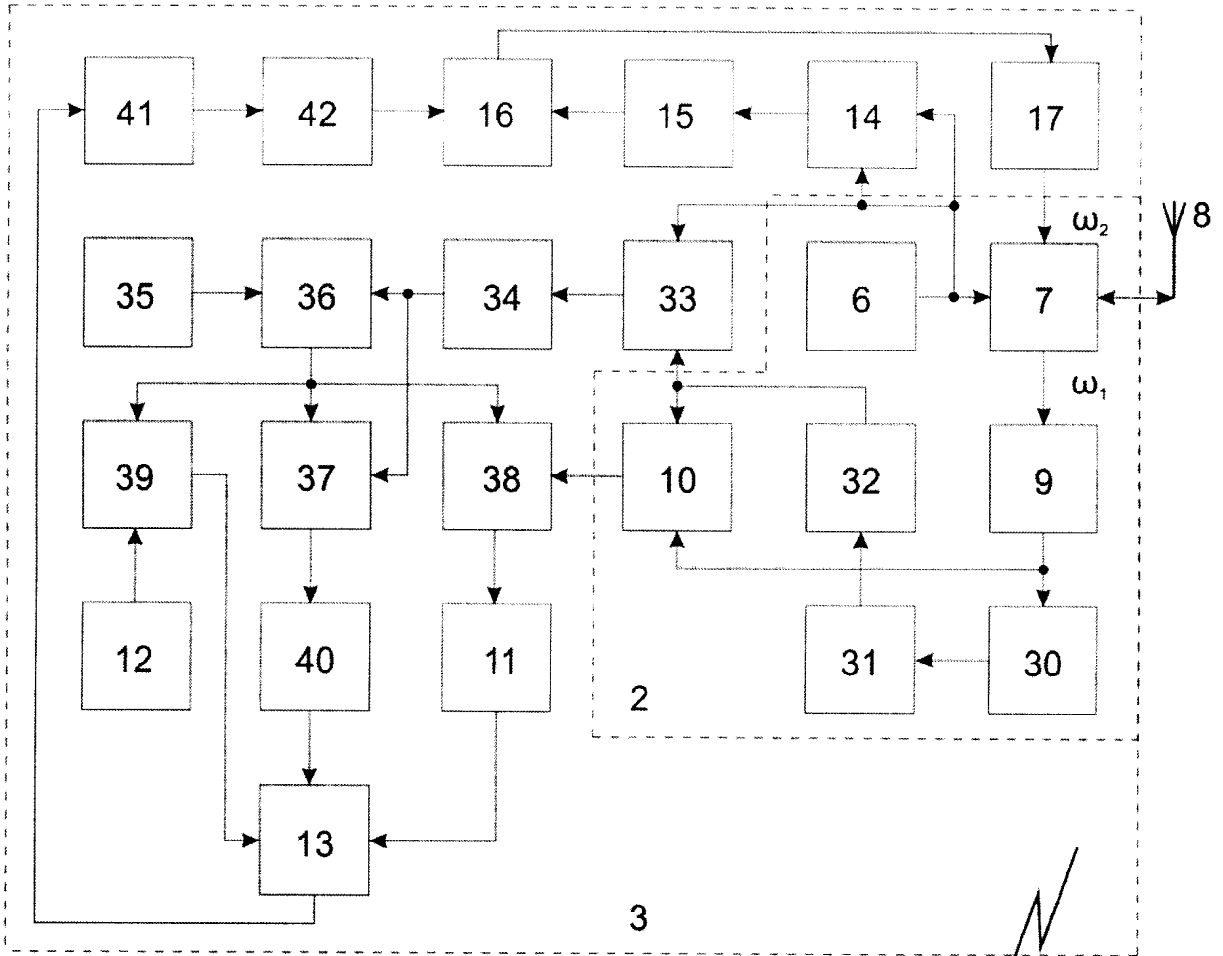
45

50

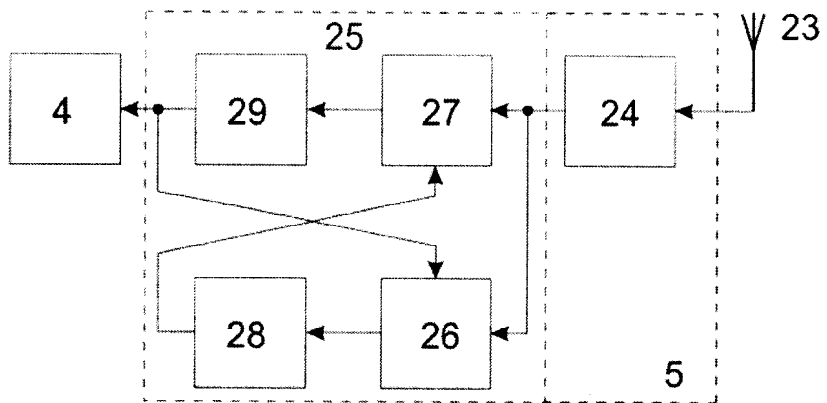
1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0



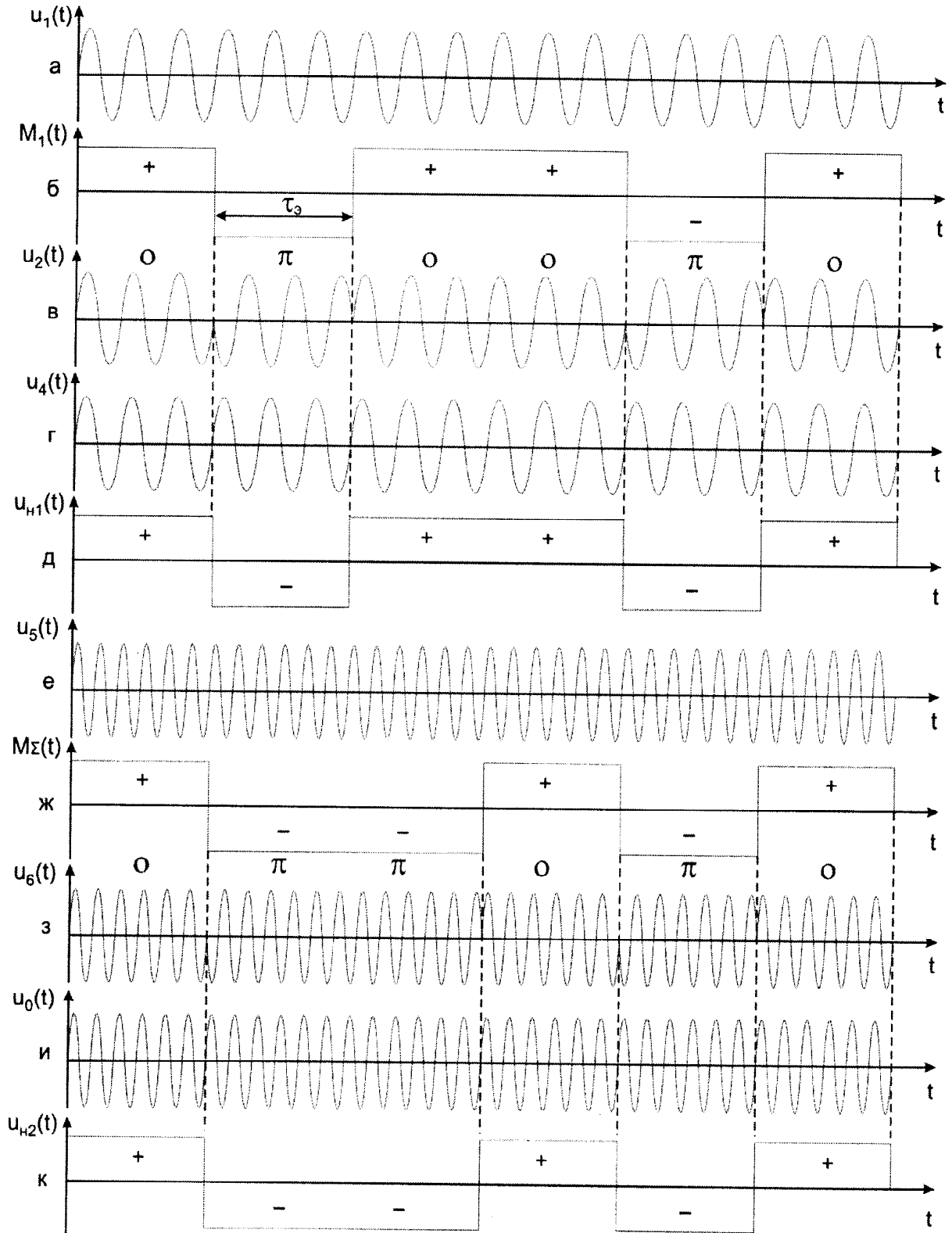
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5