



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2007138217/09**, **14.02.2006**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.02.2006

(30) Конвенционный приоритет:
16.03.2005 US 11/081,267

(43) Дата публикации заявки: **27.04.2009**

(45) Опубликовано: **20.12.2010** Бюл. № **35**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6574225 B2**, **03.06.2003**. **RU 2204206 C2**, **10.05.2003**. **RU 2188504 C1**, **27.08.2002**. **EP 1471745 A1**, **27.10.2004**. **EP 1041758 A2**, **04.10.2000**. **GB 2305080 A**, **26.03.1997**. **US 6134276 A**, **17.10.2000**.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: **16.10.2007**

(86) Заявка РСТ:
US 2006/005134 (14.02.2006)

(87) Публикация РСТ:
WO 2006/101622 (28.09.2006)

Адрес для переписки:
**129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову,
рег.№ 595**

(72) Автор(ы):

КРЕГЕР Брайан (US)

(73) Патентообладатель(и):

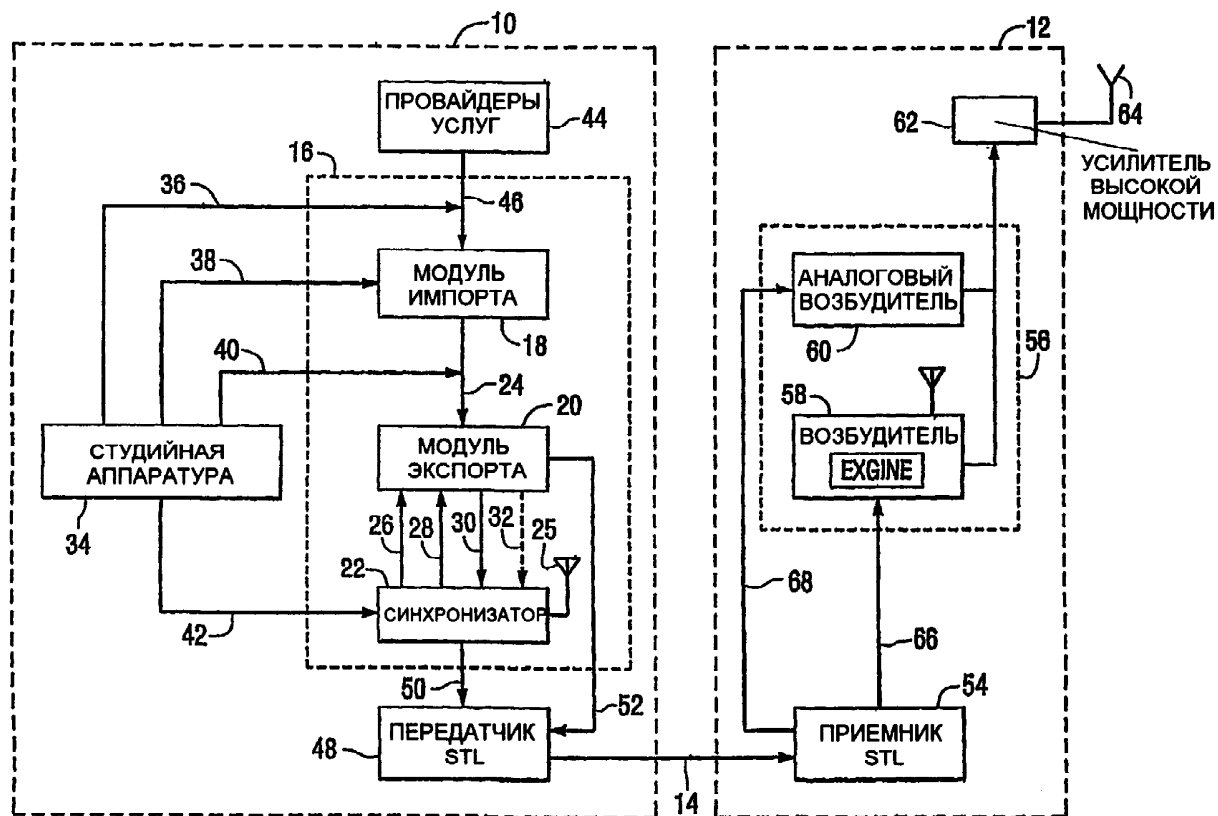
**АЙБИКВИТИ ДИДЖИТАЛ
КОРПОРЕЙШН (US)**

(54) СПОСОБ синхронизации тактовых сигналов модуля экспорта и возбудителя

(57) Реферат:

Изобретение относится к системам радиовещания и предназначено для синхронизации тактовых сигналов в студиях и передатчиках. Технический результат - повышение точности синхронизации. Способ синхронизации тактового сигнала возбудителя с кадровым тактовым сигналом модема в системе радиовещания ИВОС заключается в том, что принимают множество кадровых

импульсов модема, которые представляют начало модемных кадров аудиосигналов и сигналов данных, причем временные положения кадровых импульсов модема управляются кадровым тактовым сигналом модема, формируют тактовый сигнал возбудителя, подсчитывают импульсы, представляющие тактовый сигнал возбудителя для формирования отсчета, представляющего ошибку временного положения каждого



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

H04J 3/06 (2006.01)*H04L* 7/00 (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2007138217/09, 14.02.2006**(24) Effective date for property rights:
14.02.2006(30) Priority:
16.03.2005 US 11/081,267(43) Application published: **27.04.2009**(45) Date of publication: **20.12.2010 Bull. 35**(85) Commencement of national phase: **16.10.2007**(86) PCT application:
US 2006/005134 (14.02.2006)(87) PCT publication:
WO 2006/101622 (28.09.2006)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):

KREGER Brajan (US)

(73) Proprietor(s):

AJBIKVITI DIDZhITAL KORPOREJShN (US)**(54) METHOD OF SYNCHRONISING CLOCK SIGNALS OF EXPORT MODULE AND EXCITER**

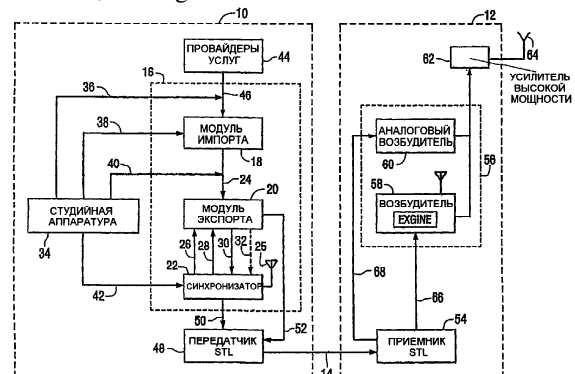
(57) Abstract:

FIELD: information technology.

SUBSTANCE: method of synchronising a clock signal of an exciter with a modem frame clock signal in an IBOC radio broadcasting system involves receiving multiple modem frame pulses which represent the onset of modem frames of audio signals and data signals. The time positions of the modem frame pulses are controlled by the modem frame clock signal. An exciter clock signal is generated. Pulses representing the exciter clock signal are counted so as to form a reading representing the error in the time position of each input modem frame pulse, and the exciter clock signal is controlled in response to this reading.

EFFECT: higher synchronisation accuracy.

15 cl, 11 dwg



Фиг. 1

Область техники

Настоящее изобретение относится к системам радиовещания, более конкретно, к способам и устройству для синхронизации тактовых сигналов в студиях и передатчиках.

Предпосылки изобретения

Система iBiquity Digital Corporation HD RadioTM предназначена для обеспечения плавной эволюции от современных аналоговых радиосистем с амплитудной модуляцией (АМ) и частотной модуляцией (ЧМ) к полностью цифровой системе In-Band On-Channel (IBOC - «в диапазоне, в канале»). Система доставляет цифровые услуги аудио и передачи данных на мобильные, портативные и стационарные приемники от территориальных передатчиков в существующих радиодиапазонах средних частот (СЧ) и очень высоких частот (ОВЧ). Вещательные компании могут продолжать передавать АМ и ЧМ одновременно с новыми высококачественными и более надежными цифровыми сигналами, обеспечивая возможность самим себе и своим слушателям выполнять преобразование из аналоговых радиопередач в цифровые радиопередачи при сохранении их существующего распределения частот.

Двумя основными компонентами архитектуры системы радиовещания являются модуль экспорта и возбудитель. Обычно модуль экспорта находится в студии на радиостанции, а возбудитель находится на стороне передачи, хотя ничто не мешает им располагаться совместно на стороне передачи. Интерфейс между модулем экспорта и возбудителем является однонаправленным (обычно по цифровой студийной линии передачи (STL)), в типовом случае с использованием сети Ethernet для линии связи с возбудителем.

Цифровые сигналы аудио и данных могут включать в себя множество услуг, включая услугу основной программы (MPS) и услугу информации станции (SIS). Модуль экспорта содержит программное обеспечение и аппаратные средства, требуемые для MPS и SIS. Он принимает аналоговое и цифровое аудио через аудиointерфейс, выполняет сжатие аудио и выдает сжатое аудио на возбудитель по однонаправленной линии связи возбудителя.

HD-кодек (HDC) может находиться в студии в модуле экспорта. Модуль экспорта выдает сигнал для тракта STL, который содержит как аудио, кодированное посредством HDC, так и все услуги передачи данных. Аналоговый аудиосигнал задерживается в модуле экспорта на время задержки доставки и выводится на частоте 44,1 кГц. Он может затем посылаться по существующей STL или повторно дискретизироваться с частотой 32 кГц и посылаться с потоком HDC по мультиплексированной STL, которая может располагаться в пределах распределения STL частоты 300 кГц. Секция РЧ модуляции находится на стороне передатчика. Это обеспечивает возможность реализации эффективного по ширине полосы битового потока.

Возбудитель может содержать подсистему механизма возбудителя (exgine) и необходимые аппаратные средства, требуемые для формирования сигнала типа HD RadioTM. Все сопряжение между модулем экспорта и exgine происходит по однонаправленной линии связи возбудителя. Сообщения линии связи возбудителя, которые передаются по линии, содержат данные логического канала, которые должны подвергаться модуляции посредством exgine, а также соответствующие команды и управление, необходимые между модулем экспорта и exgine.

Кодированные аудио и данные объединяются в единый транспортный поток, причем кодирование аудио и манипулирование данными выполняются в студии. Все

проходящее по линии связи возбуждителя основывается на сообщениях. Каждое сообщение имеет заголовок и тело сообщения. Заголовок включает в себя, по меньшей мере, идентификатор, тело, номер последовательности и биты циклической проверки избыточностью. Тела сообщений имеют специфический формат. Для
 5 однонаправленной линии связи тело является всегда командным сообщением, поскольку отсутствует обратный канал для передачи ответа.

Элементом системы *exgine* является модуль импорта. Модуль импорта реализован в программном обеспечении и управляет всеми данными, включая, например, данные
 10 третьей стороны, программно-ассоциированные данные (PAD) или вспомогательные каналы. Он мультиплексирует данные с кодированной HDC-информацией из цифрового ИВОС-сигнала и подает эту информацию единым битовым потоком в возбуждатель.

В некоторых системах HD RadioTM ЧМ-система HDC обеспечивает отклик на 20 кГц, в то время как АМ-система HDC обеспечивает отклик на 15 кГц. Для аудио отклика на 20 кГц для ЧМ HDC система STL должна использовать частоту дискретизации 44,1 кГц или выше, чтобы обеспечить пропускание верхних спектров. Поскольку система HDC требует задающего тактового сигнала на частоте 44,1 кГц, имеется
 15 некоторое преимущество использования цифровой системы STL, которая работает на частоте 44,1 кГц, поскольку это исключит необходимость в преобразователе частоты дискретизации (SRC). Однако системы STL, использующие дискретизацию на частоте 32 кГц или 48 кГц, также возможны.

Система HDC использует задающий тактовый сигнал для синхронизации всех компонентов на частоте дискретизации 44,1 кГц. Обработка может использовать две конфигурации: два отдельных блока (один для HDC и один для обычной передачи) или один процессор для объединения сдвоенного выхода, который обеспечивает специализированную обработку аудиосигнала для обоих каналов.
 25

Рассмотрим сначала влияния ошибок тактового сигнала на временную синхронизацию между модулем экспорта и *exgine*. Если тактовые сигналы в этих устройствах имеют разность ошибок порядка 10^{-6} (промилле, ppm), то ошибка в один тактовый импульс будет иметь место на каждый миллионный тактовый импульс. Это также можно охарактеризовать таким образом, что ошибка по времени равна одной
 30 миллионной всего прошедшего времени. Например, ошибка в 1 ppm приводит к смещению на 3,6 мс за час или 86,4 мс за сутки, что эквивалентно 159 тактовым импульсам или 3810 тактовым импульсам тактового сигнала аудио частоты 44,1 кГц за час или сутки соответственно. Если требуется допуск на выборку с частотой 44,1 кГц, равный одной выборке тактового импульса, то тактовые сигналы будут
 35 смещаться в заданных пределах только в 22,7 секундах при ошибке тактового сигнала, равной 1 ppm. Ясно, что необходим некоторый тип дополнительной синхронизации.

Тактовые сигналы на частоте 10 МГц с GPS-синхронизацией могут использоваться как на стороне модуля экспорта в студии, так и в *exgine* на стороне передачи для поддержания синхронизации между двумя местоположениями, если они связаны посредством STL-линии связи. Однако в некоторых случаях может оказаться затруднительным принимать GPS-сигнал в месте расположения передатчика ввиду
 40 высокого РЧ-шума.

Имеется потребность в альтернативном способе для генерации синхронного тактового сигнала на стороне передатчика.

Сущность изобретения

Изобретение предусматривает способ синхронизации тактового сигнала возбудителя с кадровым тактовым сигналом модема в системе радиовещания. Способ содержит этапы приема множества кадровых импульсов модема, которые представляют начало модемных кадров аудиосигналов и сигналов данных, причем временные положения кадровых импульсов модема управляются кадровым тактовым сигналом модема, формирования тактового сигнала возбудителя, подсчета импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя для формирования отсчета, представляющего ошибку временного положения каждого входящего кадрового импульса модема, и управления тактовым сигналом возбудителя в ответ на отсчет. Также заявлено устройство для осуществления способа.

В другом аспекте изобретение обеспечивает устройство для синхронизации тактового сигнала возбудителя с кадровым импульсом модема в системе радиовещания. Устройство содержит вход для приема множества кадровых импульсов модема, которые представляют начало модемных кадров аудиосигналов и сигналов данных, причем временные положения кадровых импульсов модема управляются кадровым тактовым сигналом модема, управляемый напряжением генератор для формирования тактового сигнала возбудителя, счетчик для подсчета импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя, для формирования отсчета, представляющего ошибку временного положения каждого входящего кадрового импульса модема, и контурный фильтр для управления тактовым сигналом возбудителя в ответ на отсчет.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 - блок-схема студии, передатчика и линии связи между студией и передатчиком для ЧМ радиостанции.

Фиг.2 - блок-схема студии, передатчика и линии связи между студией и передатчиком для АМ радиостанции.

Фиг.3 - функциональная схема части возбудителя на стороне передатчика.

Фиг.4 - блок-схема цепи синхронизации, выполненной в соответствии с изобретением.

Фиг.5 - блок-схема цепи, выполненной в соответствии с изобретением.

Фиг.6 - диаграмма линейной модели согласно изобретению.

Фиг.7a и 7b - диаграммы, иллюстрирующие постоянные времени моделей.

Фиг.8 - диаграмма цифровой модели согласно изобретению.

Фиг.9 - график отклика схемы ФАПЧ на первоначальное смещение в 1 мс и входные фазовые флуктуации с среднеквадратичным значением 1 мс.

Фиг.10 - график отклика схемы ФАПЧ на первоначальное смещение в 10 мс и входные фазовые флуктуации с среднеквадратичным значением 10 мс.

Детальное описание чертежей

На фиг.1 показана функциональная блок-схема соответствующих компонентов студийного модуля 10, передающего модуля 12 и линии связи между студией и передатчиком (STL) 14, выполненных в соответствии с изобретением. Студия содержит, в числе прочего, центр совместных операций (ЕОС) 16, который включает в себя модуль импорта 128, модуль экспорта 20 и синхронизатор 22. Модуль импорта и модуль экспорта связаны линией 24 передачи данных модуля экспорта.

Синхронизатор 22 включает в себя GPS-приемник, который соединен с антенной 25.

Модуль экспорта и синхронизатор обмениваются множеством сигналов, включая цифровое аудио услуги основной программы (MPS), аналоговое аудио услуги основной программы (MPS), задержанное аналоговое аудио услуги основной

программы (MPS), управление прохождением, как показано стрелками 26, 28, 30 и 32. Центр ЕОС принимает множество сигналов аудио и данных от студийной аудиоаппаратуры 34, включая услугу вспомогательных аудиоданных по линии 36, услугу вспомогательных аудиоданных по линии 38, данные услуги основной программы по линии 40 и аудио услуги основной программы по линии 42. Провайдеры 44 услуг передачи данных поставляют данные услуг в линию 46. Передатчик 48 линии связи между студией и передатчиком (STL) принимает задержанное аналоговое аудио MPS по линии 50 и данные линии связи модуля возбуждителя по линии 52.

Центр ЕОС форматирует различные сигналы в модемные кадры, и передатчик STL передает модемные кадры в форме скомпонованных в кадры данных в передающий модуль 12 посредством STL-линии связи 14. Модемные кадры обеспечивают последовательность импульсов синхронизации в возбуждители. Тактовый сигнал модемного кадра используется для управления временными характеристиками сигнала. Передающий модуль содержит STL-приемник 54, возбуждитель 56, который содержит подсистему engine 58 и аналоговый возбуждитель 60. Передающий модуль принимает аудио сигналы и сигналы данных и обрабатывает их для ширококвещательной передачи усилителем 62 высокой мощности и антенной 64. Данные линии связи возбуждителя подаются на подсистему engine, как показано стрелкой 66. Задержанное аналоговое MPS-аудио подается на возбуждитель, как показано стрелкой 68. Возбуждитель включает в себя тактовый генератор частоты 10 МГц и повышающий преобразователь.

На фиг.2 показана функциональная блок-схема релевантных компонентов студийного модуля 110, передающего модуля 112 и линии связи между студией и передатчиком (STL), выполненных в соответствии с изобретением. Студия содержит, в числе прочего, центр ЕОС 116, который включает в себя модуль импорта 118, модуль экспорта 120 и синхронизатор 122. Модуль импорта и модуль экспорта связаны линией 124 передачи данных модуля экспорта. Синхронизатор 122 включает в себя GPS-приемник, который соединен с антенной 125. Модуль экспорта и синхронизатор обмениваются множеством сигналов, включая цифровое аудио услуги основной программы (MPS), аналоговое аудио услуги основной программы (MPS) и управление обходным путем, как показано стрелками 126, 128 и 130. Центр ЕОС принимает множество сигналов аудио и данных от студийной аудиоаппаратуры 132, включая услугу вспомогательных аудиоданных по линии 134, услугу вспомогательных аудиоданных по линии 136, данные услуги основной программы по линии 138 и аудио услуги основной программы по линии 140. Провайдеры 142 услуг передачи данных поставляют данные услуг по линии 144. Передатчик 146 линии связи между студией и передатчиком (STL) принимает сигналы для передачи по линии 148 связи модуля возбуждителя.

Центр ЕОС форматирует различные сигналы в модемные кадры, и передатчик STL передает модемные кадры в форме последовательности импульсов в передающий модуль 112 посредством STL-линии связи 114. Тактовый сигнал модемного кадра используется для управления временными характеристиками сигнала. Передающий модуль содержит STL-приемник 150 и возбуждитель 152, который содержит подсистему engine 154. Передающий модуль принимает аудио сигналы и сигналы данных и обрабатывает их для ширококвещательной передачи усилителем 156 высокой мощности и антенной 158. Данные линии связи возбуждителя подаются на подсистему engine, как показано стрелкой 160. Возбуждитель включает в себя тактовый

генератор частоты 10 МГц и повышающий преобразователь.

Одно решение вопроса синхронизации основано на периодической передаче сигнала кадровой синхронизации по STL. Предполагается, что STL-тактирование является асинхронным по отношению к тактовому сигналу частотой 10 МГц в передатчике, так что STL-тактовый сигнал едва ли может быть кандидатом на использование в качестве опорного тактового сигнала в подсистеме engine. Однако периодические импульсы временной синхронизации, почти совпадающие с кадровой частотой модема, могут быть использованы для синхронизации тактового сигнала подсистемы engine. Хотя сигнал временной синхронизации может быть синхронизирован по частоте с опорным тактовым сигналом модуля экспорта в течение достаточно длительного промежутка времени, он имеет временные флуктуации между максимумами, например 1 мс, ввиду асинхронного STL-тактового сигнала и тактирования программного обеспечения. Также важно учитывать, что флуктуирующий шум, вероятно, является некоррелированным (белым) и может иметь большую периодичность или частоту биений. Если бы система с фазовой автоматической подстройкой частоты (ФАПЧ) использовалась в подсистеме engine для регенерации тактового сигнала частотой 10 МГц, то фазовый шум и частотная ошибка должны были оставаться в пределах технических требований в течение этих ступенчатых ошибок, если активизирована передача сигнала. Допуск по частоте, стабильность цепи ФАПЧ, диапазон захвата и постоянные времени, требуемые этой цепью ФАПЧ, устанавливают параметры проектирования для практической реализации. Необычно высокое умножение частоты (примерно, на 15 миллионов) кадрового тактового сигнала модема до 10 МГц вместе с флуктуациями на входе из STL приводят к необычному проектированию с очень высокими постоянными времени.

Другим фактором, который должен учитываться, является точность или временные флуктуации информации синхронизации. Статистическое усреднение обеспечивает средство для оценивания параметра (т.е. временного периода модемного кадра) из зашумленных выборок, искаженных флуктуациями (предполагая гауссовское некоррелированное распределение для анализа, чтобы получить оптимальную несмещенную оценку). Статистическая дисперсия среднего значения оценки равна дисперсии каждой выборки, деленной на число выборок. Или, эквивалентно, стандартное отклонение уменьшается в число раз, определяемое через квадратный корень числа выборок в среднем. Некоторый тип взвешенного усреднения может выполняться с использованием методов ФАПЧ.

На фиг.3 представлена функциональная схема части возбуждителей по фиг.1 и 2. Подсистема engine 180 формирует тактовый сигнал, имеющий частоту около 0,673 Гц в линии 182. Этот тактовый сигнал выводится из тактирования модемного кадра. Тактовый сигнал обеспечивается как сообщение синхронизации по STL-линии от модуля экспорта и затем декодируется для создания импульса, если сообщение синхронизации поступает периодически с частотой примерно 0,673 Гц. Этот сигнал служит в качестве входного сигнала для тактового генератора 184 частоты 10 МГц. Тактовый генератор частоты 10 МГц формирует тактовый сигнал частоты 10 МГц в линии 186, используемой для управления цифровым повышающим преобразователем 188. Цифровой повышающий преобразователь получает данные колебания из подсистемы engine, как показано стрелкой 190, и формирует сигнал HD Radio™ в линии 192.

На фиг.4 показана блок-схема тактового генератора частоты 10 МГц по фиг.3.

Сигнал тактового генератора частоты 0,673 Гц подается по линии 182, например, в программируемую вентильную матрицу (FPGA) 194. FPGA обрабатывает тактовый сигнал для формирования цифрового управляющего сигнала в линии 196. Цифро-аналоговый преобразователь 198 формирует сигнал аналогового напряжения в
 5 линии 200. Управляемый напряжением осциллятор (VCXO) 202 формирует тактовый сигнал частоты 10 МГц в линии 186 в ответ на аналоговое управляющее напряжение. Тактовый сигнал частоты 10 МГц подается назад в FPGA, как показано стрелкой 204.

Настоящее изобретение обеспечивает способ синхронизации тактового сигнала частоты 10 МГц подсистемы engine с кадровым тактовым сигналом модема из модуля экспорта. На фиг.5 показана блок-схема цепи фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), выполненная в соответствии с изобретением. В схеме по фиг.5 кадровые импульсы модема с периодом примерно 1,486 секунд (обратная величина частоты 0,673 Гц) подаются по линии 210 на схему 212 защелки (цифровую логическую
 15 микросхему промежуточного хранения). Кадровые импульсы модема указывают начало модемного кадра. Начальный синхросигнал в линии 214 подвергается логической операции «И» с кадровыми импульсами модема в логической схеме 216 для формирования сигнала сброса для счетчика 218 по модулю 2^{16} в линии 220.
 20 Различные способы могут использоваться для запуска начального захвата синхронизации. Один прототип использует командную кнопку для запуска поиска начальной синхронизации. Коммерческие аппаратные средства могут инициализировать это из компьютерного контроллера, где все параметры передачи контролируются с графического пользовательского интерфейса (GUI) или иного
 25 средства рассматриваемого изготовителем в качестве удобного. Отсчет со счетчика 218 сохраняется в схеме 212 защелки. Отсчет сохраняется в ответ на передний фронт кадрового импульса модема.

Отрицательное дополнение до 2 сохраненного отсчета определяется в блоке 222 для формирования сигнала ошибки, который подается в контурный фильтр 224 схемы ФАПЧ. Определение дополнения до 2 является удобным способом представления как положительной, так и отрицательной ошибок отсчета тактирования (относительно нулевой ошибки отсчета) в счетчике/фазовом детекторе. Этот отсчет (дополнение до 2) обеспечивает меру ошибки относительной фазы или тактирования между входными
 35 импульсами и регенерированным кадровым тактовым сигналом модема подсистемы engine. Схема ФАПЧ действует для снижения этого отсчета до нуля. Разрешение отсчета определяется выборками с тактовой частотой 44,1 кГц или около 23 мкс. В обычных схемах ФАПЧ используется двоичная схема защелки для создания длительности импульса ошибки для каждого импульса, которая равна разности времен импульса входного сигнала и разделенного сигнала обратной связи. Эта длительность импульса обычно обрабатывалась бы в контурном фильтре схемы ФАПЧ. Вместо этого в изобретении используется счетчик (вместо аналоговой
 40 длительности импульса) для указания ошибки тактирования каждого кадрового импульса модема. Этот метод позволяет сбрасывать счетчик в исходное состояние, чтобы обеспечить нахождение цепи ФАПЧ в пределах целевой ошибки фазы (времени) и ее более быстрой сходимости (хотя это все еще соответствует нескольким часам), однако в противном случае это потребовало бы нескольких суток для обеспечения
 50 сходимости. Этот сброс счетчика в исходное состояние позволяет реализовать функцию начального захвата синхронизации, что в противном случае было бы невозможным при использовании традиционного способа с аналоговой длительностью импульса. Чрезвычайно большое, в противном случае, время захвата

синхронизации является мотивацией для данного метода на основе счетчика/фазового детектора, хотя начальный захват синхронизации все еще является длительным (часы вместо суток).

Контурный фильтр схемы ФАПЧ содержит точки 226, 228 и 230 суммирования, ограничители 232 и 234, усилители 236 и 238 и элементы 240 и 242 обратной связи. Элементы обратной связи являются элементами задержки на одну выборку. Выход контурного фильтра схемы ФАПЧ ограничивается, как показано в блоке 244, и цифровой выходной сигнал ограничителя преобразуется в аналоговое управляющее напряжение в линии 245 с помощью цифроаналогового преобразователя 248. Управляемый напряжением осциллятор 250 формирует тактовый сигнал частоты 10 МГц в линии 252 в ответ на это управляющее напряжение.

Переменный делитель 254 по модулю используется для создания тактового сигнала частоты 44,1 кГц из тактового сигнала частоты 10 МГц. Переменный делитель 254 по модулю включает в себя счетчики 256 и 258 и детектор 260 и формирует тактовый сигнал частоты 44,1 кГц в линии 262. Частота 44,1 кГц удобна потому, что она используется для частоты дискретизации аудиосигнала и является точным кратным значением кадровой частоты модема. Переменный делитель по модулю эффективно умножает частоту 10 МГц тактового сигнала на коэффициент 441/00000. Тактовый сигнал частоты 10 МГц вводится в 16-битовый счетчик, который циклируется с кадровой частотой модема 44100/65536 или примерно 0,673 Гц, давая в результате кадровый период модема, примерно равный 1,486 секунды.

Счетчик 218 имеет разрешение 16 битов. Эти 16 битов представляют относительную разность фаз между виртуальным счетчиком кадров модема и входным опорным тактированием модемного кадра. Отсчет фиксируется по переднему фронту входного кадрового тактового сигнала модема. Этот отсчет (дополнение до 2) обеспечивает измерение ошибки относительной фазы или тактирования между входными импульсами и регенерированным кадровым сигналом модема подсистемы engine. Эта фазовая ошибка затем обрабатывается посредством контурного фильтра схемы ФАПЧ и ЦАП для управления мгновенной частотой управляемого напряжением осциллятора VCXO. Контурный фильтр ФАПЧ управляет характеристикой в целом схемы ФАПЧ.

Управляемый напряжением осциллятор VCXO определен таким образом, чтобы иметь номинальную частоту $10 \text{ МГц} \pm 0,5 \text{ ppm}$. Этот диапазон управляющего напряжения должен позволить частоте VCXO достигать значения $10 \text{ МГц} \pm 1,0 \text{ ppm}$. Кроме того, максимальный диапазон частот VCXO должен быть ограничен значением $10 \text{ МГц} \pm 1,5 \text{ ppm}$ при всех условиях. Это ограничение препятствует повышению частоты выше ее системного допуска для наихудшего случая $\pm 2 \text{ ppm}$.

Предполагается использование 16-битового ЦАП, хотя для адекватных характеристик необходимо только 8 старших (наиболее значимых) битов (например, 8-битовый ЦАП). Полный диапазон ЦАП ограничен $\pm 2^{15}$, что должно обеспечить управление VCXO, по меньшей мере, до диапазона $10 \text{ МГц} \pm 1,0 \text{ ppm}$, но не более чем $\pm 1,5 \text{ ppm}$, чтобы обеспечить соответствие системным техническим требованиям. Функции ограничения применимы в различных точках в тракте цифрового сигнала, чтобы предотвратить числовое переполнение или незаполнение.

Схема ФАПЧ по фиг.5 формирует тактовый выходной сигнал частоты 10 МГц в линии 252, и связанный делитель частоты используется для формирования виртуального периода модемного кадра длительностью примерно 1,486 секунд. Схема ФАПЧ синхронизируется по фазе с виртуальными периодами модемного кадра для

поступающих импульсов модемного кадра, обеспечивая то, что тактовый сигнал частоты 10 МГц в подсистеме engine когерентно связывается с входящими периодами модемного кадра в модуле экспорта.

Специальным признаком описываемого варианта осуществления является использование входного счетчика со сбросом в исходное состояние во входном фазовом детекторе. В известных схемах ФАПЧ двоичная схема защелки используется для создания длительности импульса ошибки для каждого входного импульса, которая равна разности по времени импульса входного сигнала и разделенного сигнала обратной связи. Эта длительность импульса обычно должна обрабатываться в контурном фильтре схемы ФАПЧ. Вместо этого изобретение использует счетчик со сбросом в исходное состояние для обеспечения того, чтобы схема ФАПЧ была в пределах ее целевой ошибки по фазе (времени) и достигала сходимости более быстро (хотя все еще в течение нескольких часов), в противном случае для достижения сходимости потребовалось бы несколько суток.

Стабильность, коэффициент затухания и другие параметры эффективности схемы ФАПЧ наиболее удобно анализировать в режиме установившегося состояния с использованием аппроксимации идеальной линейной модели схемы ФАПЧ. Линейная модель обеспечивает возможность обычными методами анализа теории следящего управления определять соответствующие параметры проектирования (в частности, контурного фильтра схемы ФАПЧ) для управления стабильностью и рабочими характеристиками в процессе работы. Эта модель, показанная на фиг.6, описывает частоту в единицах радиан в секунду и значения сигнала в вольтах.

На фиг.6 показана диаграмма линейной модели 270 схемы ФАПЧ по фиг.5. Модель включает в себя фазовый детектор 272, который принимает входные импульсы модемных кадров, как показано линией 274. Выход фазового детектора на линии 276 усиливается усилителем 278, имеющим усиление K_d вольт/радиан. Усиленный сигнал в линии 280 усиливается и интегрируется интегратором 282, имеющим усиление “b”, и усиливается усилителем 284, имеющим усиление “a”. Интегрированный сигнал в линии 286 суммируется с усиленным сигналом в линии 288 в точке 290 суммирования. Результирующий сигнал в линии 292 используется для управления управляемым напряжением осциллятором (фазовым интегратором) 294 для формирования выходного сигнала в линии 296, который подается назад в фазовый детектор. Контурная фильтрация схемы ФАПЧ, проиллюстрированная на фиг.6, может быть реализована в программном обеспечении и с использованием аппаратно реализованного управляемого напряжением кристаллического осциллятора (VCXO), управляемого цифроаналоговым преобразователем (ЦАП).

Значения усиления “a” и “b” в контурном фильтре схемы ФАПЧ могут быть определены с использованием обычных методов теории следящего управления, начиная с выведенных значений “a” и “b”, определенных полным анализом. Затем результирующие рабочие характеристики схемы ФАПЧ могут быть охарактеризованы с использованием этих предполагаемых значений. Согласно фиг.6 коэффициент передачи K_d фазового детектора формирует значение (напряжение), относящееся к фиксируемому в защелке значению счетчика 16 битов. Поэтому K_d вычисляется как:

$$K_d = \frac{2^{16}}{2 \cdot \pi} = 10430 \text{ вольт/радиан}$$

VCXO, включающий в себя делитель частоты, формирует прямоугольное колебание с периодом $P=1,486$ секунд ($f_0 \approx 0,672$ Гц). Изменение значения ЦАП на 2^{15} (вольт)

вызывает сдвиг частоты на 1 ppm. Тогда усиление K_0 VCXO вычисляется как:

$$K_0 = \frac{10^{-6} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0}{2^{15}} = 1.29 \cdot 10^{-10} \text{ радиан/сек - вольт.}$$

или:

$$K_0 = \frac{10^{-6} \cdot 2^{-15} \cdot 2 \cdot \pi}{P}, \text{ где } f_0 = 1/P.$$

Два коэффициента K_d и K_0 можно удобным образом выразить как один параметр K , где:

$$K = K_d \cdot K_0 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot f_0 = 1.3458 \cdot 10^{-6} \text{ сек}^{-1}$$

Передаточная функция $H(s)$ замкнутого контура линейной модели схемы ФАПЧ может быть использована для оценки рабочих характеристик и стабильности. Фиг.7а и 7b являются принципиальными схемами, показывающими обычные аналоговые цепи контурного фильтра, которые служат в качестве начальных схем проектирования, облегчающих использование общепринятой теории следящих цепей (преобразования Лапласа и т.д.). Затем эти схемы могут быть преобразованы в эквивалентную цифровую версию. На фиг.7а представлена схема 300, имеющая вход 302 и выход 304. Резисторы $R1$ соединяют вход с усилителями 306 и 308. Выходы усилителей суммируются в точке 310 суммирования. Конденсатор C обеспечивает обратную связь для усилителя 306. Резистор $R2$ обеспечивает обратную связь для усилителя 308.

На фиг.7b представлена схема 320, имеющая вход 322 и выход 324. Вход соединен с первым усилителем 326 и точкой 328 суммирования. Точка 328 суммирования соединена с вторым усилителем 330. Выходные сигналы усилителей суммируются в точке 332 суммирования. Импеданс 334 обеспечивает обратную связь для точки 328 суммирования. Постоянные времени для схем, показанных на фиг.7а и 7b, имеют вид:

$$\tau_1 = R1 \cdot C = \frac{P}{b}; \quad \text{и} \quad \tau_2 = R2 \cdot C = \frac{a \cdot P}{b}.$$

Передаточная функция $H(s)$ наилучшим образом описывается с использованием методов преобразования Лапласа следующим образом:

$$H(s) = \frac{K \cdot F(s)}{s + K \cdot F(s)},$$

где $F(s)$ - передаточная функция встроенного контурного фильтра. Идеальный контурный фильтр второго порядка имеет следующую передаточную функцию:

$$F(s) = -\left(\frac{1}{s \cdot C \cdot R1} + \frac{R2}{R1} \right).$$

Обычный анализ контурного фильтра описывает важные характеристики схемы ФАПЧ в терминах постоянных времени τ_1 и τ_2 . Эти постоянные времени относятся к свойствам интегратора и компонентам усиления в контурном фильтре, реализованном с RC-компонентами, используемыми в идеальной схеме ФАПЧ второго порядка. Соотношения между этими постоянными времени и их цифровыми эквивалентами иллюстрируются на фиг.7а и 7b.

Результирующая передаточная функция для схемы ФАПЧ может быть теперь переписана в виде:

$$H(s) = \frac{K \cdot F(s)}{s + K \cdot F(s)} = \frac{K \cdot (s \cdot \tau_2 + 1) / \tau_1}{s^2 + s \cdot (K \cdot \tau_2 / \tau_1) + K / \tau_1}.$$

Кроме того, передаточная функция может быть описана терминологией следящих систем в виде:

$$H(s) = \frac{2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2}{s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2}.$$

где ω_n - собственная частота и ζ - коэффициент затухания схемы ФАПЧ, и:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{\tau_1}} = \sqrt{\frac{K \cdot b}{P}} \quad \text{и} \quad \zeta = \frac{\tau_2 \cdot \omega_n}{2} = \frac{a \cdot P \cdot \omega_n}{2 \cdot b}.$$

Анализ, проектирование и характеристики моделирования схемы ФАПЧ дают желательное значение $a=512$ и $b=0,063$ ($b=1/16$). Собственная частота схемы ФАПЧ может быть вычислена как:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K \cdot b}{P}} \cong 2.38 \cdot 10^{-4} \text{ Гц.}$$

Результирующий коэффициент затухания тогда равен:

$$\zeta = \frac{a \cdot P \cdot \omega_n}{2 \cdot b} \cong 1.448.$$

Коэффициент затухания установлен на более высокое, чем типовое, значение (более типично между 0,7 и 1,0) для обеспечения дополнительного запаса по фазе для устойчивости. Дополнительный запас необходим для компенсации задержки в реализации дополнительного фильтра для тракта с усилением "b". Также запас обеспечивает стабильность и минимизирует перерегулирование, если реализованное усиление K_0 VCO несколько выше, чем прогнозировалось. Хотя аппроксимация на основе линейной модели полезна в получении некоторых параметров, как описано выше, в общем случае желательно некоторое дополнительное уточнение схемы с помощью методов цифрового моделирования.

На фиг.8 показана схема модели 350 цифрового моделирования согласно изобретению. Модель включает в себя вход 352, соединенный с точкой 354 суммирования. Точка суммирования соединена с контурным фильтром 356 в форме фильтра с бесконечным импульсным откликом (IIR), содержащего усилители 358 и 360, точки 362, 364 и 365 суммирования, ограничители 368 и 370 и импедансы 372 и 374. Выходной сигнал контурного фильтра ограничивается ограничителем 376. Результирующий ограниченный сигнал в линии 378 объединяется в точке 380 суммирования с сигналом частотного сдвига в линии 382 и сигналом обратной связи с цифрового фазового интегратора 384 в линии 386 для формирования тактового сигнала частотой 10 МГц в линии 388. Тактовый сигнал подается по обратной связи в точку 354 суммирования через усилитель 390.

Рабочие характеристики схемы ФАПЧ могут быть дополнительно оценены с использованием цифровой модели, показанной на фиг.8. Параметры проектирования, выведенные из линейной модели, используются в цифровой модели. Любые аналоговые компоненты, такие как VCO, преобразуются в их эквивалентную цифровую версию (например, цифровой фазовый интегратор для VCO). Цифровое моделирование может использоваться для характеристики эффектов нелинейностей и деталей, которые не просто преобразовать в упрощенные методы линейного анализа.

Одним уточнением при переходе от линейной модели к цифровой модели является модифицирование тракта с усилением "b" в контурном фильтре. Простое усиление b было заменено однополюсным фильтром IIR, имеющим усиление b постоянной составляющей. Это было сделано для сглаживания и ограничения пиков зашумленных выборок фазовой ошибки. Без этого фильтра шумовые выбросы в типовом случае были бы срезаны. Это срезание привело бы к ошибке смещения, если управляющее напряжение номинально не является нулевым, например, при захвате синхронизации. Фильтрация уменьшает значения выбросов и подавляет любое смещение в процессе

захвата синхронизации. Однако эта фильтрация в действительности снижает запас по фазе ввиду дополнительной задержки фильтра ПР по отношению к равномерному усилению b . Коэффициент затухания первоначально был установлен выше, чем в типовом случае, чтобы скомпенсировать этот ожидаемый эффект.

Данная схема была промоделирована, и результаты для типовых рабочих условий представлены на фиг.9 и 10. На фиг.9 показан график различных сигналов, когда вход был инициализирован ступенчатой ошибкой в 1 мс и при среднеквадратичном значении флуктуаций 1 мс. На фиг.10 представлены подобные результаты при значении первоначальной ступенчатой ошибки и среднеквадратичном значении фазовых шумов, установленных каждое на 10 мс.

Ошибка синхронизации между входящими импульсами модемного кадра и регенерированными импульсами схемы ФАПЧ может быть оценена из наблюдений выходного результата секции усиления ПР контурного фильтра. Этот фильтр ПР имеет постоянную времени около 512 периодов модемного кадра или примерно 12,7 минут, где выборки ошибок эффективно усреднялись при экспоненциально спадающем импульсном отклике. Среднее значение фильтра представляет усредненную ошибку входной синхронизации ($\pm 2^{15}$ полная шкала = 1 период), умноженную на усиление $a=512$. Поскольку фильтр ПР включает в себя функцию ограничения $\pm 2^{15}$, то выходной результат переходит в насыщение при значении входной ошибки $\pm 2^{15}/512=\pm 64$, что равно выходному результату $\pm 2^{15}$ фильтра ПР или приблизительно 2,9 мс. Это значение может быть использовано для определения того, не является ли ошибка первоначального захвата синхронизации слишком большой для продолжения обработки, и было бы предпочтительным повторно синхронизировать систему. В противном случае значение представляет кратковременную (12,7 минут) усредненную фазовую ошибку. Если флуктуации входной фазовой ошибки малы (менее 1 мс), то ошибка установившегося состояния спустя большой период установления (примерно 8 часов) должна достигнуть сходимости к среднеквадратичному значению менее 0,1 мс. При значении флуктуаций входной ошибки 10 мс результирующие флуктуации системной фазовой ошибки должны быть менее 1 мс в среднеквадратичном значении.

Схема ФАПЧ, использованная в описываемых цифровых системах аудиовещания, является необычной ввиду чрезвычайно высокого коэффициента умножения частоты около 15 миллионов (от 0,673 Гц до 10 МГц) вместе с относительно высокими флуктуациями фазы во входных импульсах, подаваемых по линии связи STL. Импульс входной частоты создается путем декодирования периодического сообщения из линии связи STL.

Выходной сигнал линии связи STL, несущий периодические модемные кадры, преобразуется в синхроимпульсы в начале каждого принятого модемного кадра. Входной сигнал ФАПЧ содержит периодические сообщения, причем входные импульсы указывают на начало модемного кадра. Поскольку выходной фазовый шум вычисляется как входной фазовый шум, умноженный на коэффициент умножения (15 миллионов), и фильтруется передаточной функцией контура, этот фазовый шум будет в общем случае очень большим за исключением случая, если ширина полосы контура будет сделана очень малой для формирования очень малых выходных фазовых шумов. В действительности ширина полосы контура настолько мала, что требуется несколько часов для достижения сходимости для фазовой ошибки (как показано на фиг.9 и 10). Это требует высокостабильного осциллятора и некоторых специальных параметров проектирования.

Параметры схемы ФАПЧ выбираются так, чтобы обеспечить требуемые рабочие характеристики при (необычных) описанных условиях (фазовый шум, время захвата синхронизации, коэффициент умножения). С использованием обычной терминологии следящих систем натуральная частота контура должна грубо соответствовать 1 часу, и контур достигает сверхкритического затухания с коэффициентом затухания около 1,5 для обеспечения стабильности с учетом запаса погрешности коэффициента передачи в вольтах на частоту для VCXO. Результирующие постоянные времени (t_1 и t_2 , описанные выше) вычисляются как ближайшие удобные значения в функции от собственной частоты и коэффициента затухания.

Хотя изобретение описано на примере различных вариантов осуществления, специалистам в данной области техники должно быть понятно, что различные изменения могут производиться в описанных вариантах осуществления без отклонения от объема изобретения, как определено формулой изобретения.

Формула изобретения

1. Способ синхронизации тактового сигнала возбудителя с кадровым тактовым сигналом модема в системе радиовещания, причем способ содержит этапы

приема множества кадровых импульсов модема, которые представляют начало модемных кадров, причем временные положения кадровых импульсов модема управляются кадровым тактовым сигналом модема,

формирования тактового сигнала возбудителя, подсчета импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя для формирования отсчета, представляющего ошибку временного положения каждого входящего кадрового импульса модема,

управления тактовым сигналом возбудителя в ответ на отсчет и сброса отсчета в ответ на комбинацию из сигнала синхронизации и кадровых импульсов модема.

2. Способ по п.1, дополнительно содержащий этап фиксации отсчета в ответ на кадровые импульсы модема.

3. Способ по п.1, дополнительно содержащий этап определения дополнения до 2 отсчета.

4. Способ по п.1, в котором импульсы, представляющие тактовый сигнал возбудителя, формируются с использованием переменного по модулю делителя.

5. Способ по п.1, в котором частота кадровых импульсов модема равна 0,673 Гц и частота тактового сигнала возбудителя равна 10 МГц.

6. Устройство для синхронизации тактового сигнала возбудителя с кадровым импульсом модема в системе радиовещания, содержащее:

вход для приема множества кадровых импульсов модема, которые представляют начало модемных кадров, причем временные положения кадровых импульсов модема управляются кадровым тактовым сигналом модема,

управляемый напряжением генератор для формирования тактового сигнала возбудителя,

счетчик для подсчета импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя, для формирования отсчета, представляющего ошибку временного положения каждого входящего кадрового импульса модема, контурный фильтр для управления тактовым сигналом возбудителя в ответ на отсчет, и

вход для сброса отсчета в ответ на комбинацию из сигнала синхронизации и кадровых импульсов модема.

7. Устройство по п.6, дополнительно содержащее защелку для фиксации отсчета в

ответ на кадровые импульсы модема.

8. Устройство по п.6, дополнительно содержащее схему для определения дополнения до 2 отсчета.

9. Устройство по п.6, дополнительно содержащее переменный по модулю делитель для формирования импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя.

10. Устройство по п.6, в котором частота кадровых импульсов модема равна 0,673 Гц и частота тактового сигнала возбудителя равна 10 МГц.

11. Устройство для синхронизации тактового сигнала возбудителя с кадровым импульсом модема в системе радиовещания, содержащее:

средство для приема множества кадровых импульсов модема, которые представляют начало модемных кадров, причем временные положения кадровых импульсов модема управляются кадровым тактовым сигналом модема,

средство для формирования тактового сигнала возбудителя, средство для подсчета импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя, для формирования отсчета, представляющего ошибку временного положения каждого входящего кадрового импульса модема,

средство для управления тактовым сигналом возбудителя в ответ на отсчет и

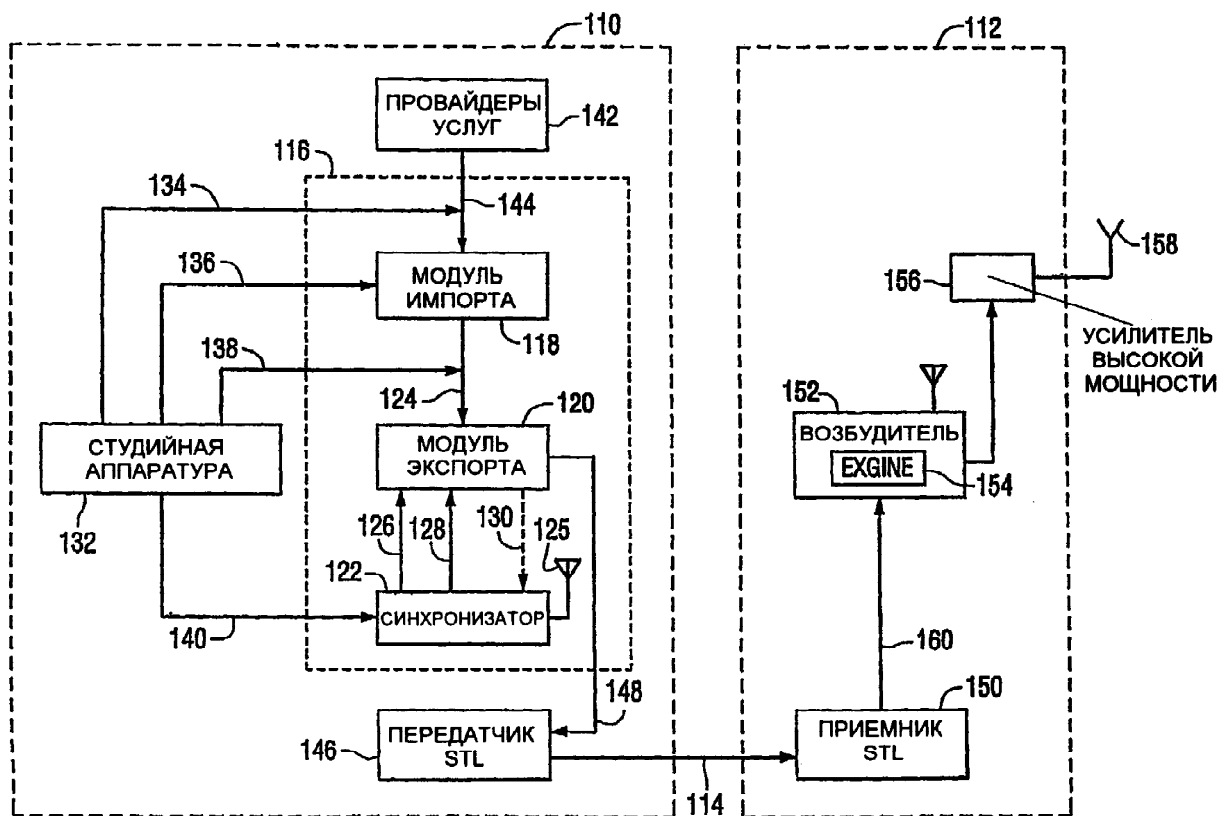
средство для сброса отсчета в ответ на комбинацию из сигнала синхронизации и кадровых импульсов модема.

12. Устройство по п.11, дополнительно содержащее средство для фиксации отсчета в ответ на кадровые импульсы модема.

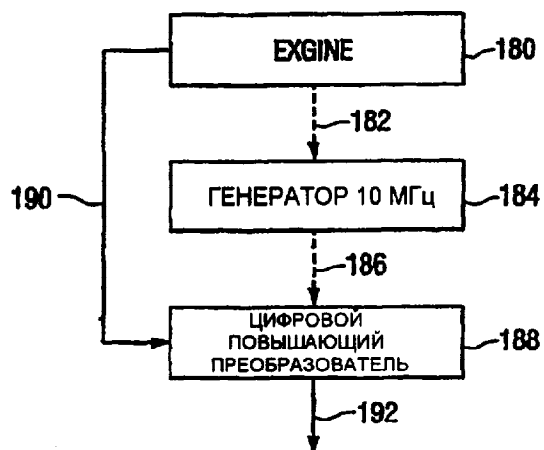
13. Устройство по п.11, дополнительно содержащее средство для определения дополнения до 2 отсчета.

14. Устройство по п.11, дополнительно содержащее средство для формирования импульсов, представляющих тактовый сигнал возбудителя.

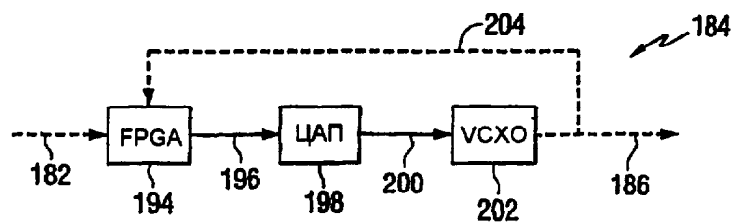
15. Устройство по п.11, в котором частота кадровых импульсов модема равна 0,673 Гц и частота тактового сигнала возбудителя равна 10 МГц.



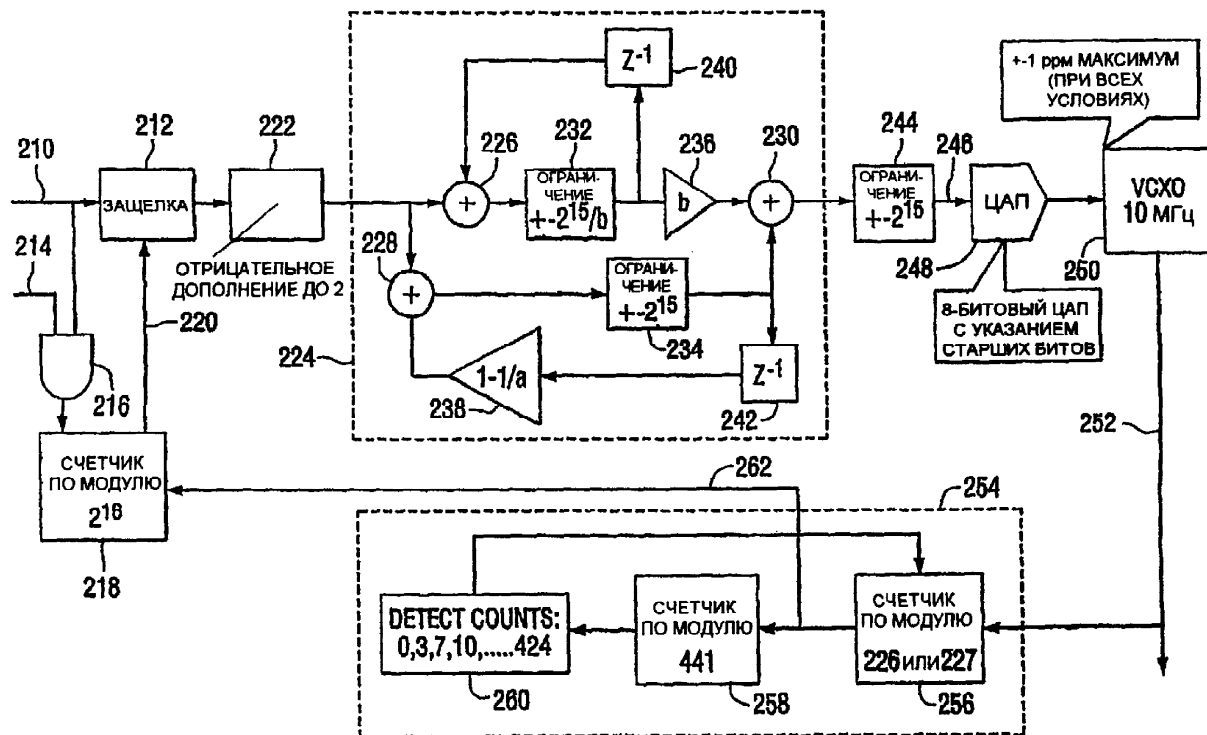
Фиг.2



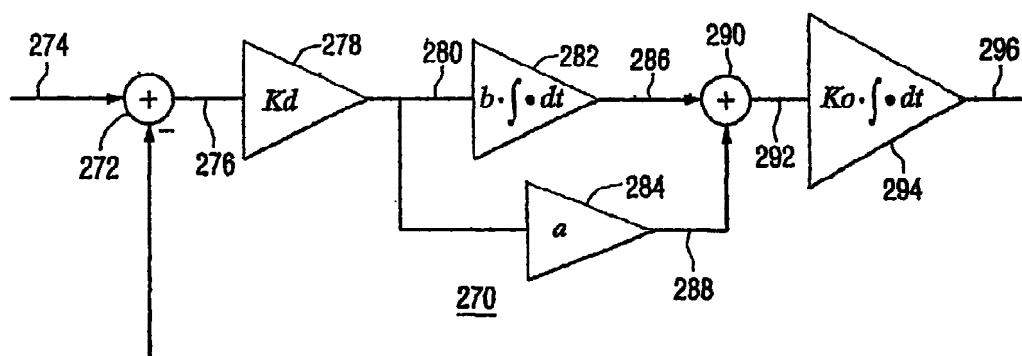
Фиг.3



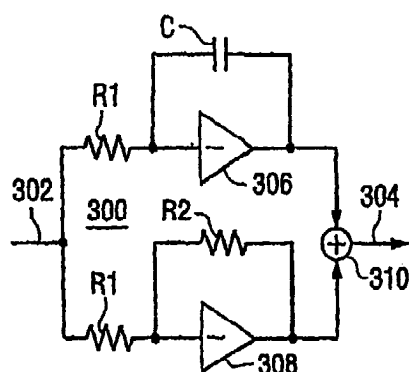
Фиг.4



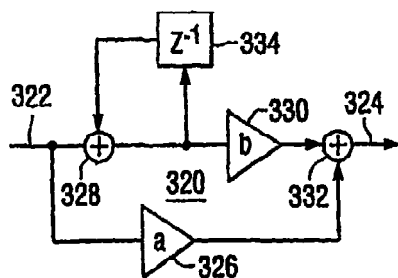
Фиг.5



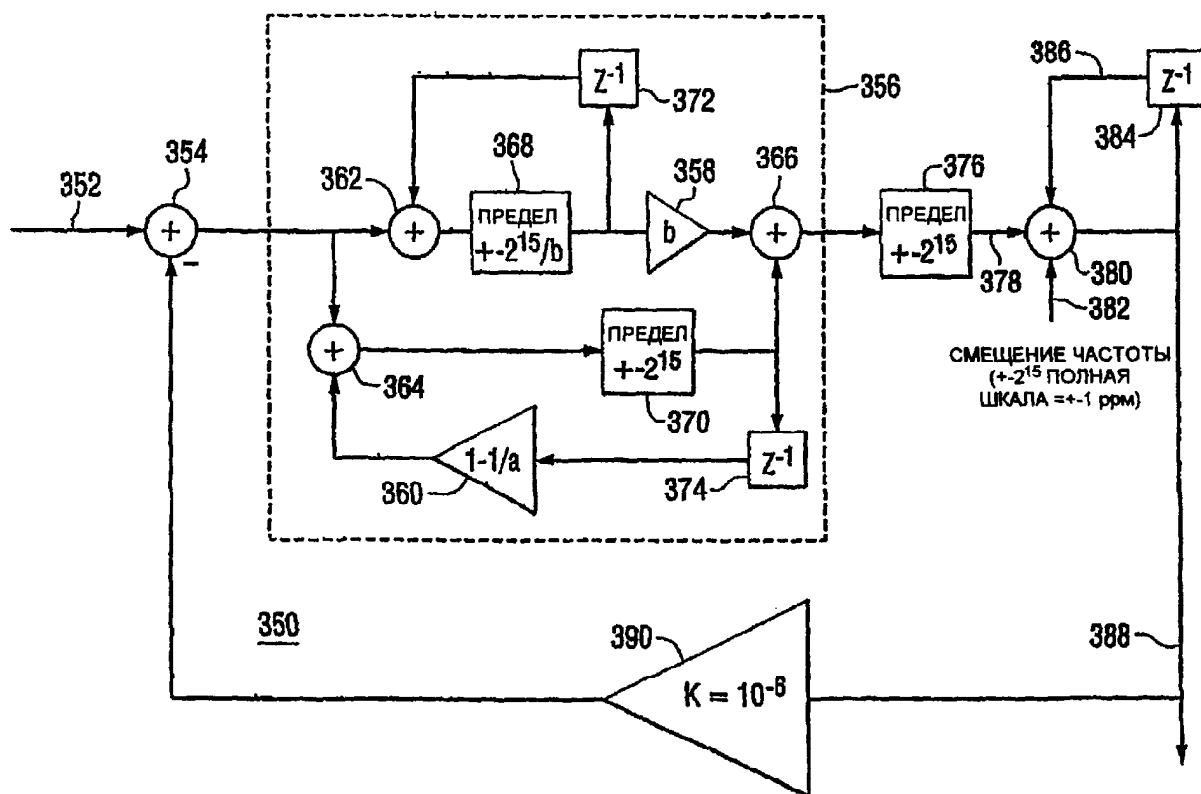
Фиг.6



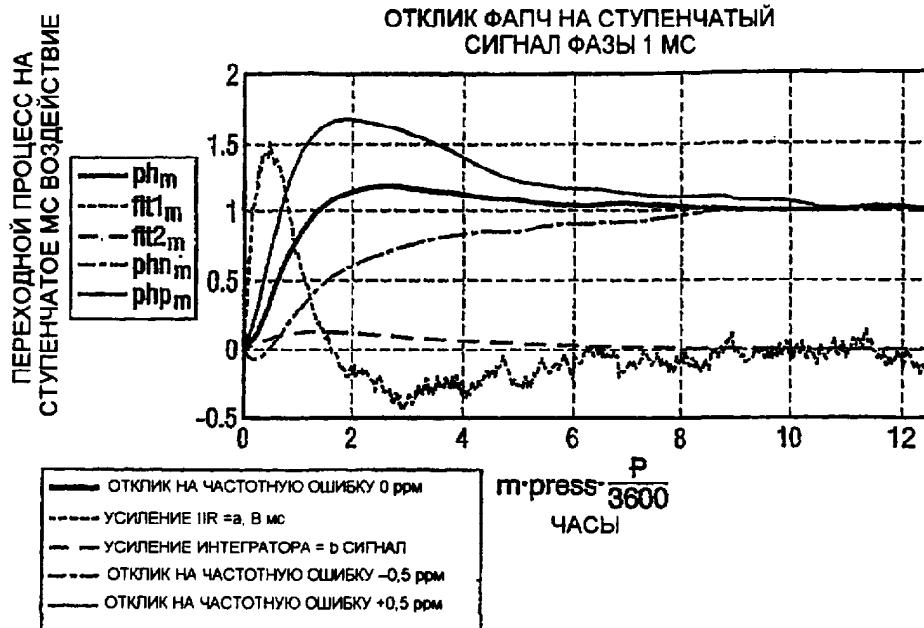
Фиг.7а



Фиг.7b

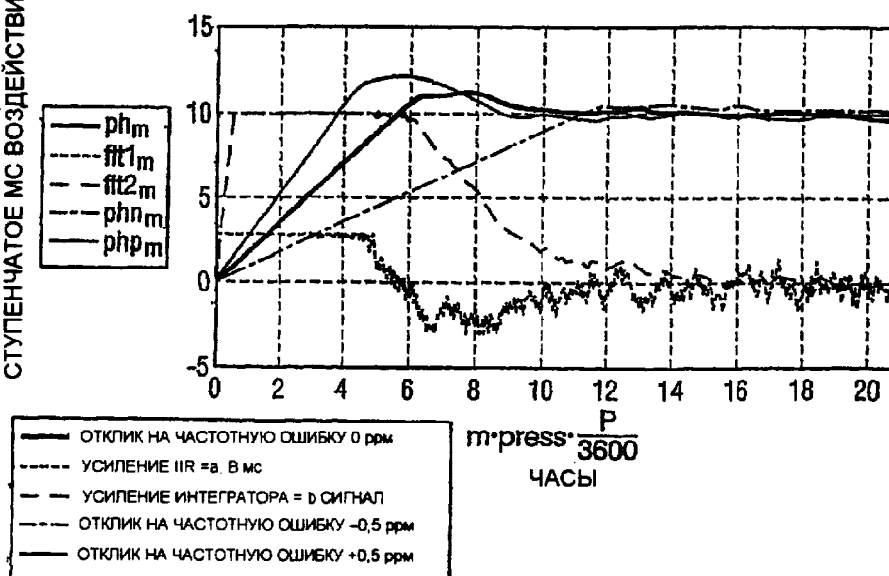


Фиг.8



Фиг.9

ПЕРЕХОДНОЙ ПРОЦЕСС НА
СТУПЕНЧАТОЕ МС ВОЗДЕЙСТВИЕ



Фиг.10