



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012143923/08, 15.10.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.10.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.10.2012

(45) Опубликовано: 20.05.2014 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 101842 U1, 27.01.2011. RU 64386  
U1, 27.06.2007 . RU 2431852 C2, 20.10.2011 .  
US 2006017599 A1, 26.01.2006. US 5294926 A,  
15.03.1994. US 2009181629 A1, 16.07.2009

Адрес для переписки:

150000, г.Ярославль, ул. Советская, 14,  
Ярославский государственный университет им.  
П.Г. Демидова, Управление научных  
исследований и инноваций

(72) Автор(ы):

Кренев Александр Николаевич (RU),  
Ботов Владимир Александрович (RU),  
Горюнцов Илья Сергеевич (RU),  
Погребной Дмитрий Сергеевич (RU),  
Топорков Виктор Константинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Ярославский государственный университет  
им. П.Г. Демидова" (RU),  
Общество с ограниченной ответственностью  
"РТС" (RU),  
Общество с ограниченной ответственностью  
"ИМТ" (RU)

## (54) СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ ОЦЕНКИ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ

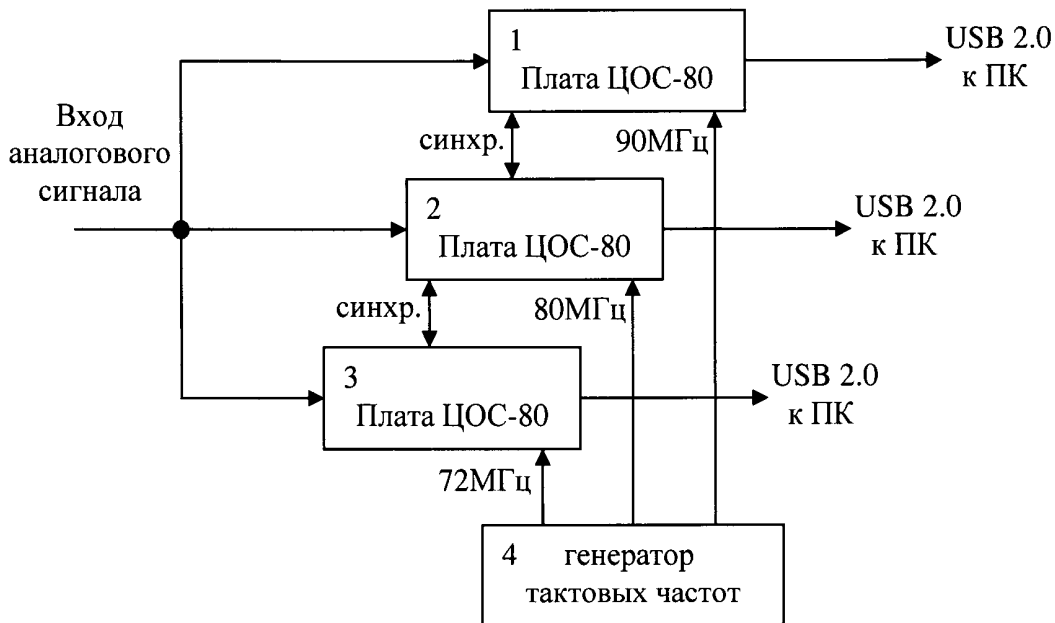
(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике. Техническим результатом является расширение полосы анализа сигналов и возможность проведения анализа в режиме реального времени. Сущность способа заключается в том, что используют обработку исходного сигнала параллельно на нескольких аналого-цифровых преобразователях с различными частотами дискретизации, вычисляют амплитудный спектр по каждой оцифрованной последовательности, далее производят развертку полученных спектров

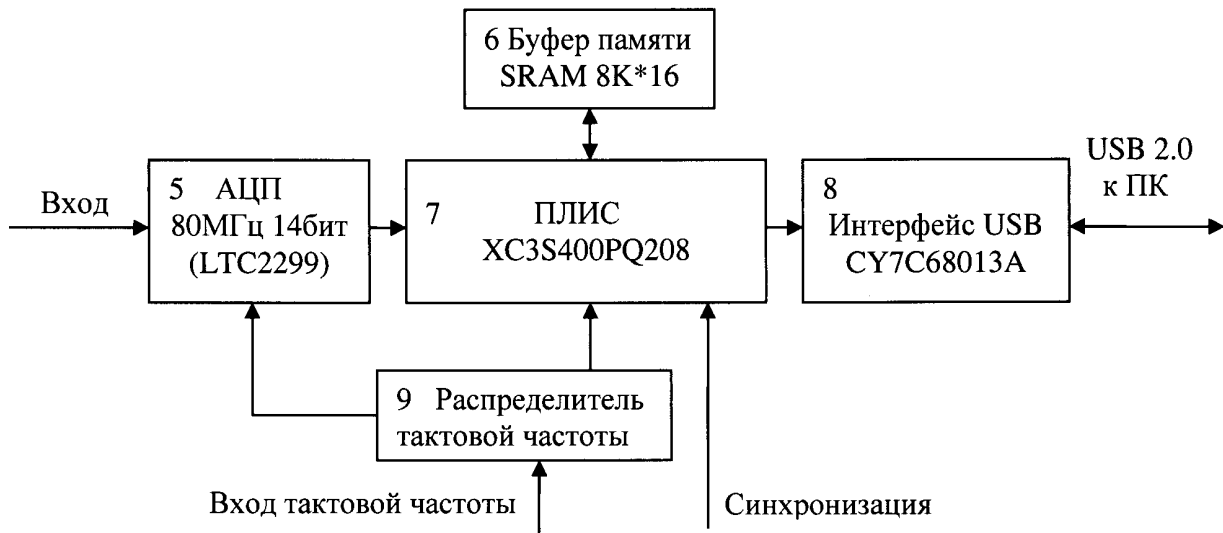
на единую ось частот в зоны Найквиста в порядке, обратном их наложению при дискретизации, выделяют сигналы в спектральной области путем сравнения с заданным порогом амплитудных спектров от каждого АЦП, выбирают спектральные линии от всех АЦП, совпадающих по частотному положению; принятие решения о существовании на этой частоте узкополосного сигнала производят при нахождении линий, совпадающих по положению на частотной оси от всех АЦП. 4 ил.

RU 2 516 763 C1

RU 2 516 763 C1



б)



Структурная схема макета экспериментальной проверки способа расширения полосы частот оценки спектров сигналов (а);  
структурная схема платы цифровой обработки сигналов ЦОС-80 (б)

Фиг. 3

RU 2516763 C1

RU 2516763 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H03M 1/08* (2006.01)  
*G01R 23/16* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012143923/08, 15.10.2012

(24) Effective date for property rights:  
15.10.2012

Priority:

(22) Date of filing: 15.10.2012

(45) Date of publication: 20.05.2014 Bull. № 14

Mail address:

150000, g.Jaroslavl', ul. Sovetskaja, 14, Jaroslavskij gosudarstvennyj universitet im. P.G. Demidova, Upravlenie nauchnykh issledovanij i innovatsij

(72) Inventor(s):

**Krenev Aleksandr Nikolaevich (RU),  
Botov Vladimir Aleksandrovich (RU),  
Gorjuntsov Il'ja Sergeevich (RU),  
Pogrebnoj Dmitrij Sergeevich (RU),  
Toporkov Viktor Konstantinovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Jaroslavskij gosudarstvennyj universitet im. P.G. Demidova" (RU),  
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "RTS" (RU),  
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "IMT" (RU)**

(54) **METHOD OF EXPANDING SIGNAL SPECTRUM ESTIMATION BANDWIDTH**

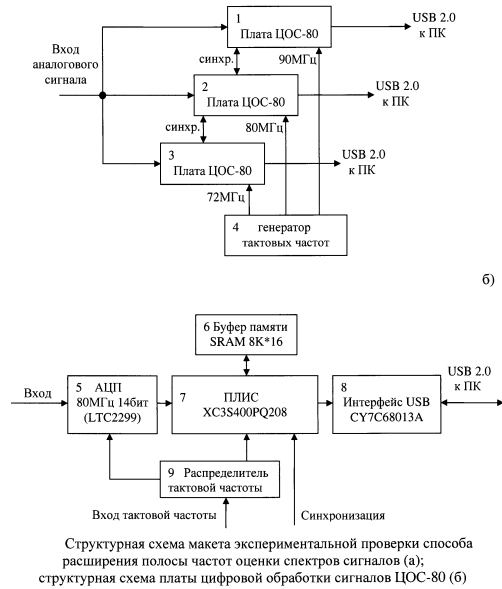
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: method employs original signal processing concurrently on multiple analogue-to-digital converters (ADC) with different sampling frequencies; calculating the amplitude spectrum on each digitised sequence; further scanning the obtained spectra on a single frequency axis in the Nyquist zone in an order which is inverse to the arrangement thereof during sampling; selecting signals in the spectral range by comparing with a given threshold of amplitude spectra from each ADC; selecting spectral lines from all ADC matching on frequency position; a decision on the existence of a narrow-band signal at said frequency is made by finding lines which match on the position on the frequency axis from all ADC.

EFFECT: wider signal analysis band and performing real-time analysis.

4 dwg



Фиг. 3

RU 2 516 763 C1

RU 2 516 763 C1

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано при проведении радиоконтрольных мероприятий, выделении узкополосных сигналов на фоне шумов в широкой полосе частот.

5 Существует несколько способов расширения полосы частот анализа радиоспектра. Наиболее близким к предлагаемому изобретению выбран способ увеличения частоты  
 10 взятия выборок на основе системы из нескольких аналого-цифровых преобразователей (АЦП) с временным интерливингом, описанный в статье «Blind Equalization of Time Errors in a Time-Interleaved ADC System» [IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 53, NO.4, APRIL 2005], включающий подачу входного сигнала на набор из  $M$   
 15 пронумерованных от 1 до  $M$  АЦП, каждый из которых работает с выборочным интервалом  $MT_S$ , где  $T_S$  - выборочный интервал, который требуется обеспечить на выходе всей системы, на каждый АЦП с номером  $i$  подается сигнал синхронизации по времени, задержанный на величину  $iT_S$ . Таким образом, получается, что каждый АЦП  
 20 работает на одной частоте дискретизации, но с разными сдвигами фазы.

Недостатками прототипа являются:

- необходимость точной временной синхронизации АЦП;
- ограничения на наличие спектральных составляющих сигналов вблизи границ зон Найквиста;

20 - вычислительная сложность алгоритмов оценки и выравнивания временных сдвигов тактовой синхронизации нескольких АЦП.

Указанные недостатки являются причиной того, что анализ спектров сигналов нельзя производить в режиме реального времени.

Технический результат заявляемого способа - расширение полосы анализа и  
 25 возможность проведения анализа в режиме реального времени.

30 Для достижения указанного технического результата в способе расширения полосы частот оценки спектров сигналов производится выбор порога обнаружения; прием сигнал; аналого-цифровое преобразование широкополосного сигнала одновременно как минимум на двух аналого-цифровых преобразователях, причем аналого-цифровые преобразователи имеют различные частоты дискретизации; вычисление амплитудного  
 35 спектра каждой оцифрованной последовательности; сравнение спектральных составляющих с величиной порога обнаружения; развертка спектров на единую ось частот; сравнение амплитуд полученных составляющих с величиной порога, при превышении порога производится выбор составляющих спектров, совпадающих по частоте, от всех АЦП; при нахождении спектральных составляющих, совпадающих по  
 40 частотному положению во всех спектрах и превышающих по амплитуде заданный порог, принимается решение о существовании на данной частоте узкополосного сигнала.

Изобретение основано на идее использования алгоритмов, позволяющих распараллеливать задачу спектрального анализа на несколько устройств и работающих с АЦП с зонами Найквиста меньше полосы входных сигналов.

40 Благодаря новой совокупности существенных признаков в заявленном способе обеспечивается возможность выделения множества узкополосных сигналов в широкой полосе частот в режиме реального времени.

Заявленный способ поясняется чертежами, на которых показаны:

45 фиг.1. Вид спектра узкополосного сигнала на входе АЦП (а), вид спектра дискретизированного сигнала для нескольких зон Найквиста (б);

фиг.2. Сравнение спектров для 3-х АЦП с разными частотами дискретизации  $f_{d1}$ (а),  $f_{d2}$ (б) и  $f_{d3}$ (в) и определение истинного положения спектральной линии;

фиг.3. Структурная схема макета экспериментальной проверки способа обнаружения множества узкополосных сигналов в широкой полосе частот (а), структурная схема платы цифровой обработки сигналов ЦОС-80 (б);

фиг.4. Спектр сигнала от 3-х АЦП в полосе 220 МГц (а), восстановленный спектр в 5 полосе 220 МГц (б).

Способ расширения полосы частот оценки спектров радиосигнала осуществляется следующим образом:

Задается порог обнаружения сигналов. Заявляемый способ предназначен для выделения множества узкополосных сигналов, резко выделяющихся на фоне помех. 10 Производится прием сигнала, оцифровывается одновременно как минимум на двух АЦП с различными частотами дискретизации. При этом должно быть соблюдено условие - аналоговая полоса частот АЦП больше, чем половина частоты дискретизации. Выбор частот дискретизации зависит от интересующего диапазона частот анализа и ширины полосы частот обнаруживаемых сигналов. Основное условие при выборе 15 частот дискретизации - частоты должны отличаться не менее чем на максимальную допустимую ширину полосы частот обнаруживаемых сигналов, чтобы последние обнаруживались однозначно и не вызывали ложных обнаружений.

После аналого-цифрового преобразования по каждой из оцифрованных последовательностей вычисляется амплитудный спектр, при этом спектры содержат 20 наложение всех зон Найквиста, т.к. аналоговая полоса частот АЦП больше, чем половина частоты дискретизации. Полученные спектры разворачиваются на единую ось частот в интересующие зоны Найквиста, в порядке, обратном их наложению при дискретизации. Если сетки частот разных спектров не совпадают, производится передискретизация в общую сетку частот (например, при помощи интерполяции).

После этого выбираются составляющие спектра, которые присутствуют во всех 25 спектрах на одной и той же частоте. Эти составляющие сравниваются с заданным порогом, и при превышении составляющей над порогом принимается решение о существовании на данной частоте узкополосного сигнала.

Возможность достижения заявленного технического результата подтверждена 30 экспериментально. Для постановки эксперимента был собран макет, структурная схема которого изображена на фиг.3а, представляющий собой соединение трех одинаковых плат, представленных на фиг.3б. На каждой плате установлен АЦП 5 с номинальной тактовой частотой 80 МГц и разрядностью 14 бит. По сигналу синхронизации данные с АЦП 5 накапливаются в буфере памяти 6 размером 2000 выборок и затем передаются 35 в ЭВМ по интерфейсу USB 8. Тактовая частота АЦП 5 подается с внешнего генератора через распределитель тактовой частоты 9. Также на плате ЦОС-80 установлена программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) 7, выполняющая функцию управления процессами чтения-записи данных.

Исследуемый сигнал подается на вход макета (фиг.3а), где аналоговый сигнал 40 разветвляется и подается на вход плат 1, 2, 3, где дискретизируется с помощью АЦП на различных тактовых частотах. Тактовые частоты АЦП задаются с помощью внешнего генератора 4 и составляют 72 МГц, 80 МГц и 90 МГц. Запуск процесса записи сигнала начинается синхронно по команде с ЭВМ (входы синхронизации плат объединены). После окончания записи по 2000 выборок с плат передаются в ЭВМ, где 45 производится их обработка и вычисление спектра в нескольких зонах Найквиста. Плата ЦОС-80 имеет полосу по входу АЦП порядка 220 МГц по уровню -3 дБ, что для тактовой частоты АЦП 72 МГц соответствует примерно 6 зонам Найквиста:  $220/(72 \cdot 0.5) = 6.1$ .

Реализованный алгоритм расширения полосы спектрального анализа при использовании различных частот дискретизации АЦП позволяет обнаруживать узкополосные сигналы во всей входной полосе АЦП (220 МГц и 6 зон Найквиста). В ходе эксперимента на макет подавался гармонический сигнал с генератора на частоте 28 МГц без фильтрации. Так как фильтрация отсутствовала, то в спектре сигнала генератора помимо основной составляющей присутствовали ее гармоники, что усложнило сигнальную обстановку. Относительный уровень второй гармоники генератора составлял порядка -30 дБ.

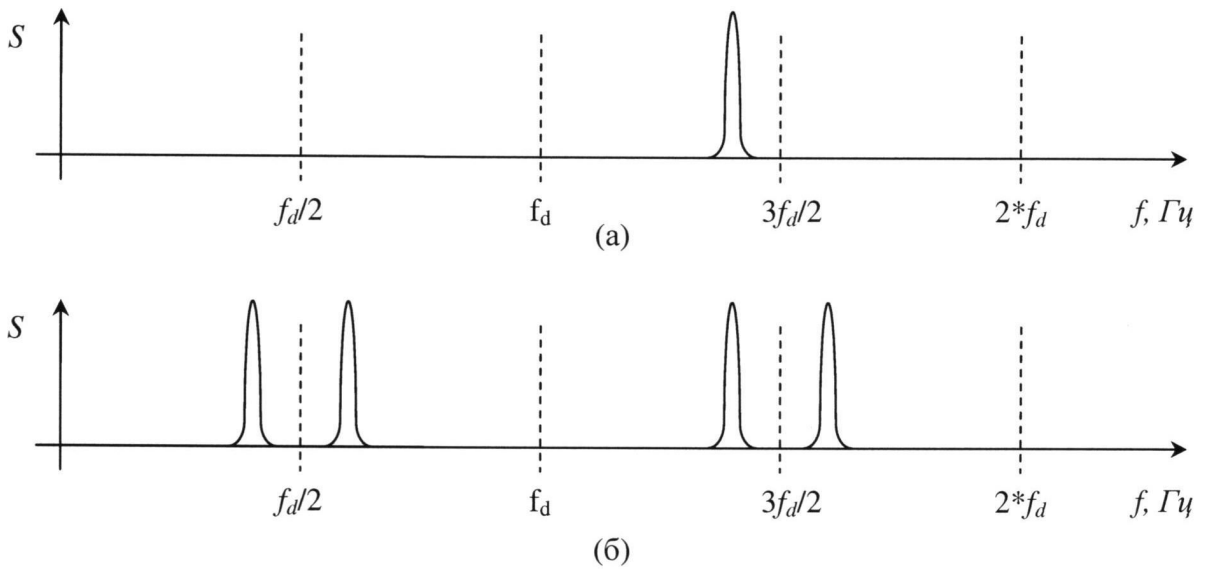
Амплитудный спектр от данных, полученных с трех АЦП с тактовыми частотами 72 МГц, 80 МГц, 90 МГц, представлен на фиг.4а. В спектре присутствует достаточно большое количество спектральных составляющих, обусловленных наличием гармоник генератора и их переносом из старших зон Найквиста.

На фиг.4б приведен амплитудный спектр сигнала, восстановленный с помощью алгоритма расширения полосы спектрального анализа при использовании различных частот дискретизации АЦП. Видно, что неоднозначность положения спектральных составляющих полностью устранена. На спектре присутствуют основная спектральная линия генератора на частоте 28 МГц и ее гармоники. Спектральная линия на частоте 17 МГц также является паразитной составляющей генератора.

Таким образом, заявленный способ действительно позволяет достичь заявленного технического результата.

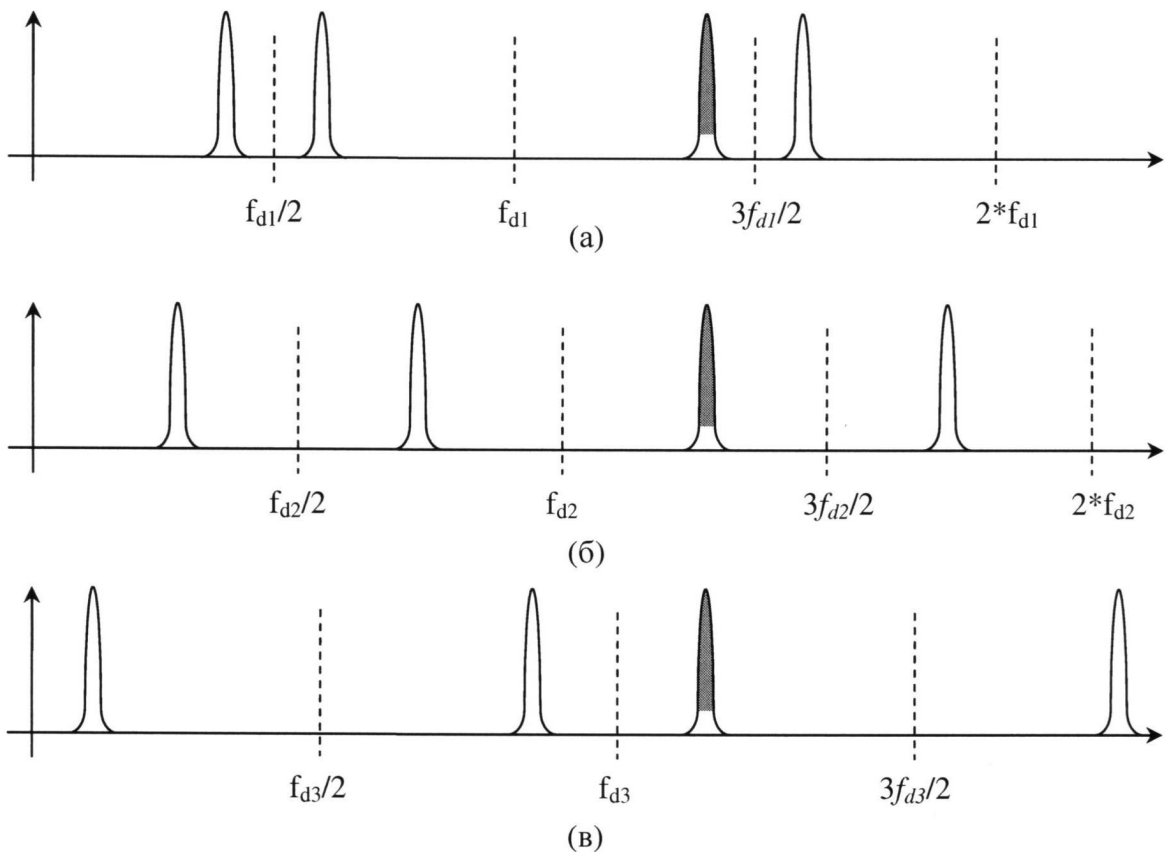
#### Формула изобретения

Способ расширения полосы частот оценки спектров сигналов, включающий выбор порога обнаружения приема сигнала, аналого-цифровое преобразование сигнала одновременно на как минимум двух аналого-цифровых преобразователях, вычисление амплитудного спектра оцифрованного сигнала, сравнение амплитуд спектральных составляющих с величиной порога обнаружения, отличающийся тем, что аналого-цифровое преобразование производится параллельно по крайней мере на двух аналого-цифровых преобразователях (АЦП) с различными частотами дискретизации, вычисление амплитудного спектра производится по каждой оцифрованной последовательности, далее производится развертка полученных спектров на единую ось частот в зоны Найквиста в порядке, обратном их наложению при дискретизации, выделение сигналов в спектральной области путем сравнения с заданным порогом амплитудных спектров от каждого АЦП, выбор спектральных линий от всех АЦП, совпадающих по частотному положению, принятие решения о существовании на этой частоте узкополосного сигнала производится при нахождении линий, совпадающих по положению на частотной оси от всех АЦП.



Вид спектра узкополосного сигнала на входе АЦП (а); вид спектра дискретизированного сигнала для нескольких зон Найквиста (б).

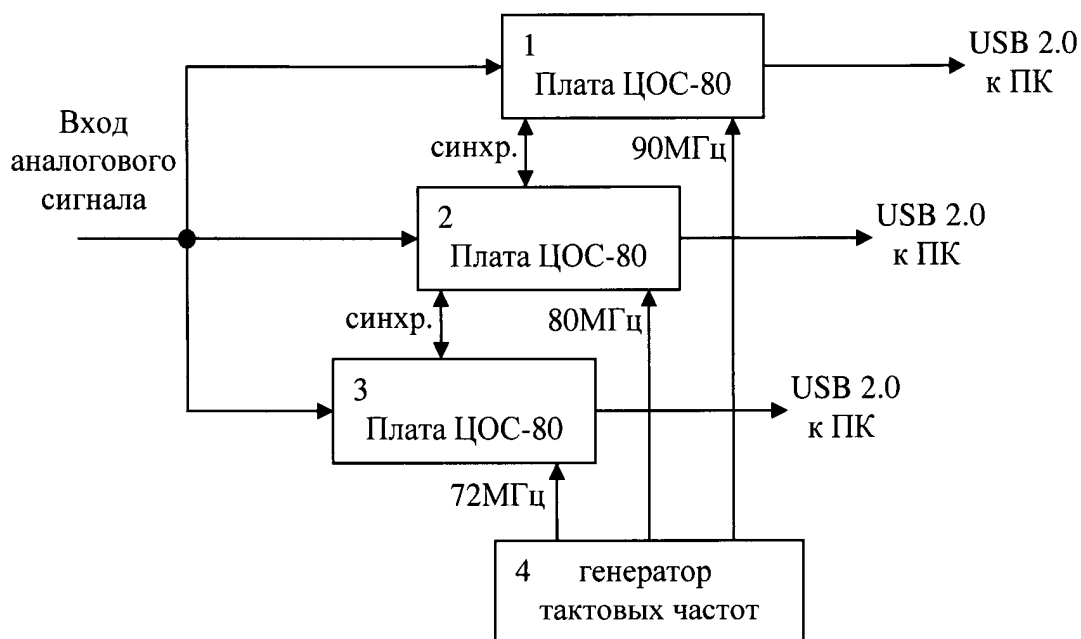
Фиг. 1



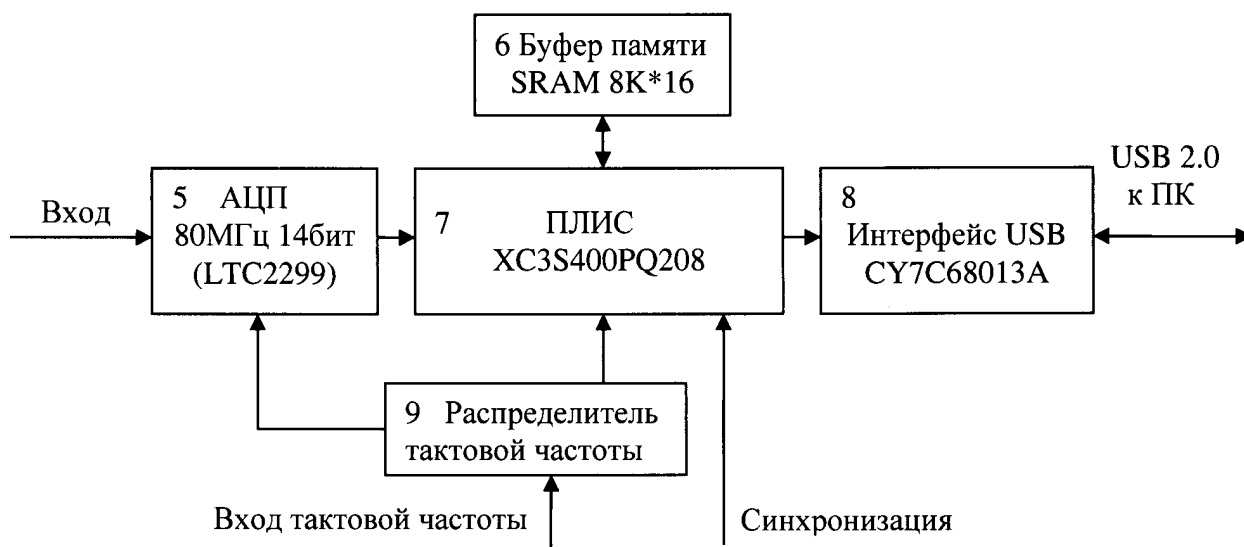
Сравнение спектров для 3-х АЦП с разными частотами дискретизации:  $f_{d1}$  (а),  $f_{d2}$  (б) и  $f_{d3}$  (в) и определение истинного положения спектральной линии.

Фиг. 2

a)



б)



Структурная схема макета экспериментальной проверки способа расширения полосы частот оценки спектров сигналов (а);  
структурная схема платы цифровой обработки сигналов ЦОС-80 (б)

Фиг. 3