

## ПОРЯДОК ПРИЕМА МАТЕРИАЛОВ ДОКЛАДОВ

Содержание доклада (статьи) должно соответствовать тематике выбранной секции.

Направляемый в оргкомитет конференции материал доклада (статьи) должен содержать:

1. код УДК (см. по ссылке <https://teacode.com/online/udc/>);
2. название доклада (статьи), фамилии и инициалы авторов, названия учреждения, города и страны где работают авторы (или где выполнялась работа) - на русском и английском языках;
3. почтовые электронные адреса авторов (или одного из них);
4. аннотацию и ключевые слова - на русском и английском языках. Аннотация должна содержать краткое и четкое изложение цели и основных результатов работы. Не допускается использовать в аннотации формулы и ссылки на литературу. Объем аннотации на русском и английском языках – примерно 500 печатных знаков. Англоязычная аннотация является для иностранных читателей основным источником информации о статье, поэтому она должна быть информативной (не содержать общих слов, увеличивающих объем), содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты работы), написанной научно-профессиональным английским языком. Англоязычная аннотация не должна быть дословным переводом с русскоязычной, необходимо избегать сложных грамматических конструкций, которые трудно перевести на английский язык. При написании аннотации на английском языке используйте стиль научных публикаций. Недопустимо использование программ-переводчиков при подготовке англоязычной аннотации.
5. библиографический список – на оригинальном авторском языке.

**Внимание!** На заявленный доклад (статью) необходимо заранее подготовить экспертное заключение о возможности открытой публикации содержательных материалов от организации, где работают авторы (или где выполнялась работа).

При формировании заявки на сайте конференции <http://forum.mirea.ru/> в выбранную секцию необходимо направлять два файла: материал доклада в формате **\*.doc** или **\*.docx** и электронную цветную сканированную копию экспертного заключения о возможности открытой публикации материалов доклада в формате **\*.pdf**.

1) В названии файла с докладом необходимо придерживаться следующим правилам его наименования:

- для участников конференции «РадиоИнфоКом»:  
(номер секции).(Ф.И.О. первого автора).doc.

Например: **2.Иванов И.П..doc**

- для участников «Школы молодых ученых»:  
(номер секции).SCHOOL.(Ф.И.О. первого автора).doc.

Например: **5.SCHOOL.Петров П.И..doc**

2) В названии файла с экспертным заключением необходимо придерживаться следующим правилам его наименования:

- для участников конференции «РадиоИнфоКом»:  
(номер секции).Э.(Ф.И.О. первого автора).pdf.

Например: **2.Э.Иванов И.П..pdf**

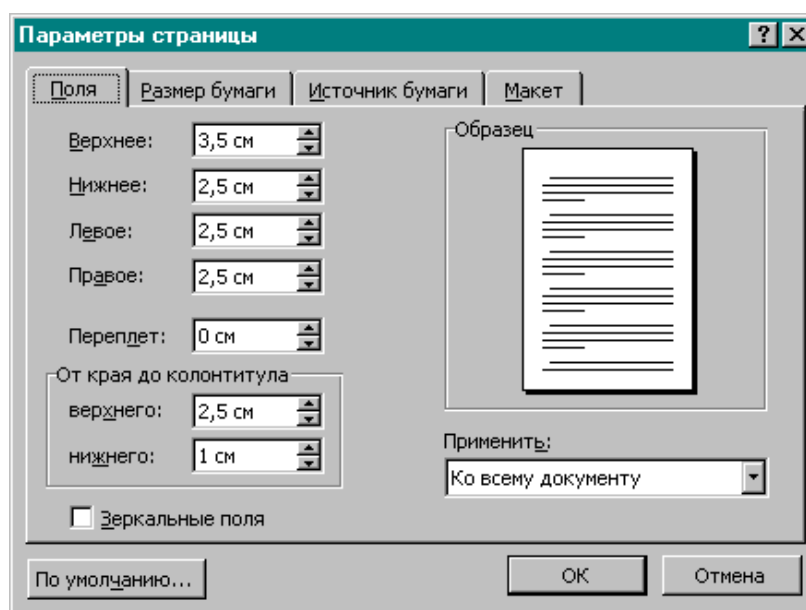
- для участников «Школы молодых ученых»:  
(номер секции).Э.SCHOOL.(Ф.И.О. первого автора).pdf.

Например: **5.Э.SCHOOL.Петров П.И..pdf**

**Внимание!** Оргкомитет конференции не заключает договор с авторами о передаче прав, авторское право сохраняется за авторами. Оргкомитет конференции сохраняет оригинальное авторство материалов за докладчиками. Материалы принятых докладов (статей) издаются в электронном издании на цифровых CD-носителях в авторской редакции.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ДОКЛАДОВ

1. Текст доклада набирается в редакторе Word и прикрепляется к заявке.
2. Формат страницы – А4. Поля страницы: правое, левое и нижнее – 25 мм, верхнее – 35 мм.



3. Стили и размер шрифта согласно п. 3.1 ... 3.5.

3.1 Указание кода **УДК**: шрифт Times New Roman 14 pt (полужирный), выравнивается по левому краю страницы (см. приложение 1).

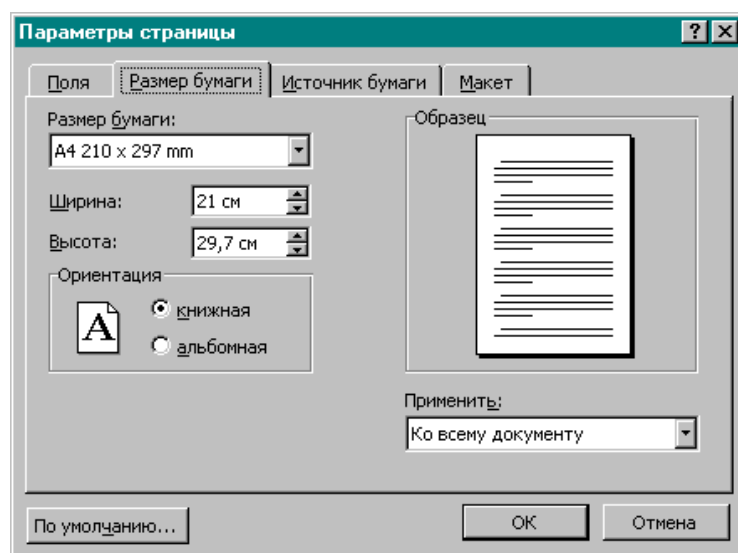
3.2 Название доклада (статьи): шрифт Times New Roman 14 pt (полужирный, прописной); выравнивается по центру (см. приложение 1).

3.3 Указание авторов, наименование организации, города, страны: шрифт Times New Roman 14 pt (полужирный, курсивный), выравнивается по центру; адрес эл. почты – шрифт Times New Roman 14 pt (курсивный), выравнивается по центру (см. приложение 1).

3.4 Основной материал набирается одним шрифтом Times New Roman 14 pt (отступления от этого размера возможны только для заголовков структурных частей – см. п.12, для вставляемых в текст символов в редакторе формул).

3.5 Слова «**Аннотация**» и «**Ключевые слова**» выделяются полужирным шрифтом (см. приложение 1).

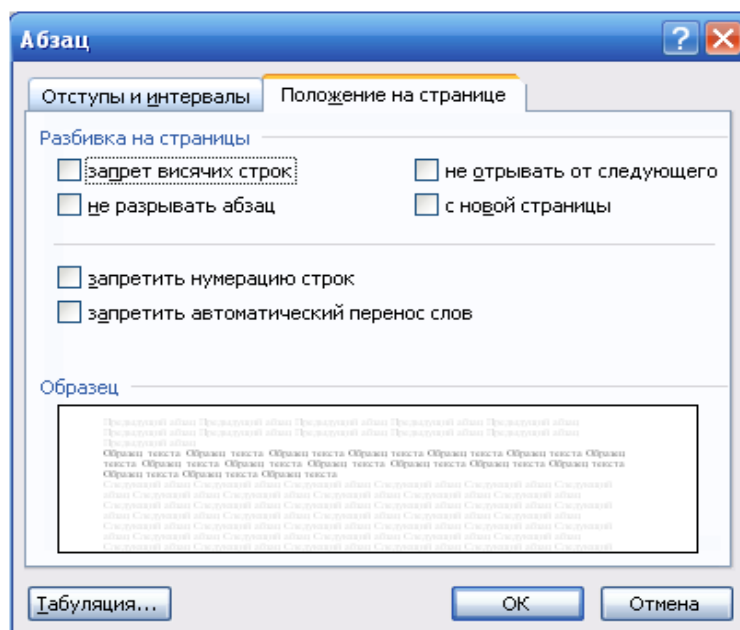
При установке параметров страницы следует выбрать только книжную ориентацию страницы. Если все же необходимо сделать так, чтобы таблица или рисунок читались в альбомной ориентации, надписи в таблице или рисунке необходимо повернуть на 90°.



4. Межстрочный интервал – одинарный.

5. Отступ красной строки – 1,25 см.

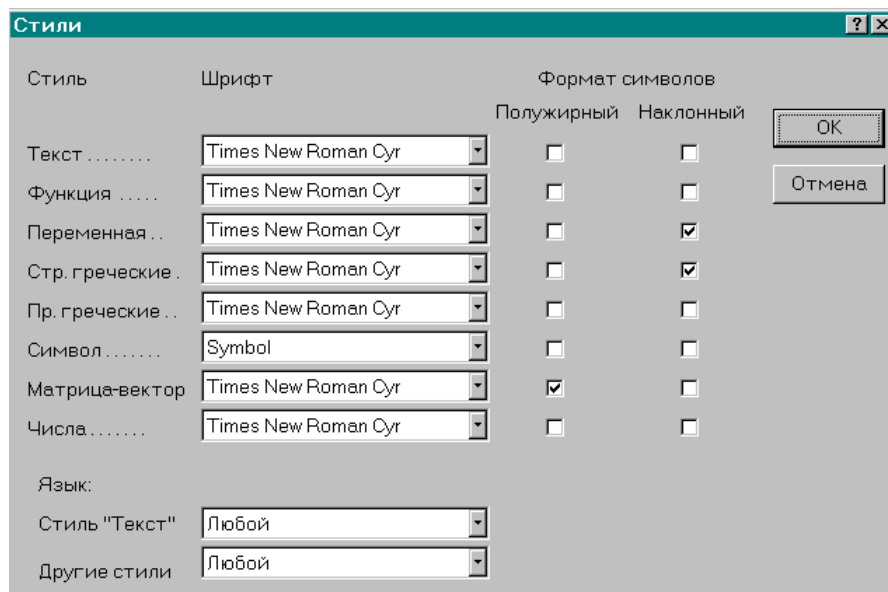
6. Основной текст должен быть выровнен по ширине, включена автоматическая расстановка переноса слов и убран запрет висячих строк (формат → абзац → положение на странице надо убрать все галочки).



7. Нумерация страниц не указывается.

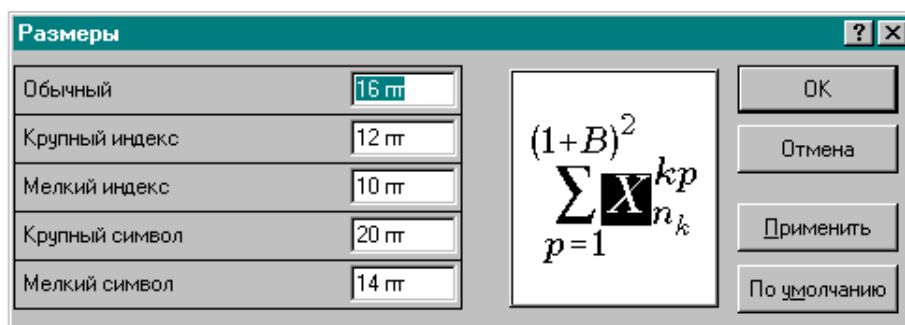
8. **Объем доклада (статьи)** должен быть не менее 3 и не более 15 стр.

9. Формулы нумеруются в круглых скобках и выравниваются по центру (номера формул – по правому краю). Нумерация формул по усмотрению авторов может быть как сквозной по всему материалу, так и самостоятельной внутри каждого раздела (например, (1.1.1)).



В редакторе формул следует установить размеры символов, не меняя названий применяемых шрифтов (Times New Roman & Symbol):

- обычный – 16 pt ,
- крупный индекс – 12 pt,
- мелкий индекс – 10 pt,
- крупный символ – 20 pt,
- мелкий символ – 14 pt.



10. Ссылки на литературу выполняются в квадратных скобках – [1].

11. Библиографический список оформляется согласно ГОСТ 7.1 – 2008.

12. Заголовки разных уровней выполняются полужирным шрифтом, отделяются от текста не более, чем одной пустой строкой с интервалом 8...16 пт, и снабжаются номерами: 1., 1.1., 1.1.1. и т.д. Использование символа § в заголовках не допускается. При оформлении заголовков применять шрифты Times New Roman по центру.

13. **Рисунки** следует вставлять как картинки с разрешением не менее 300 dpi. Рисунки должны быть четкими, аккуратными и информативными. Нумерация рисунков по усмотрению авторов может быть как сквозной по всему материалу, так и самостоятельной внутри каждого раздела (например, Рис.1.1.1). Если автор использует подрисуночные подписи, то этими подписями должны быть снабжены все рисунки.

**Требования к подрисуночным надписям** следующие: шрифт Times New Roman 14 pt (курсивный), выравнивается по центру страницы (см. приложение 1).

14. **Таблицы** следует вставлять непосредственно в текст. Таблица сверху и снизу отделяется от основного текста одной пустой строкой, интервалом 8...16 пт. Таблица обязательно должна быть в книжном формате. Нумерация таблиц по усмотрению авторов может быть как сквозной по всему материалу, так и самостоятельной внутри каждого раздела (например, Таблица 1.1.1). Если в состав материала входит только одна таблица, она не нумеруется.

**Требования к оформлению названий таблиц** следующие: шрифт Times New Roman 14 pt (курсивный), название указывается над таблицей и выравнивается по левому краю страницы, например:

*Таблица 3. Радиофизические параметры среды.*

№	Параметр	Единица измерения	Диапазон изменяемых значений	Условия наблюдений
1.				
2.				
...				

**Внимание!** Интервалы между заголовками, рисунками и таблицами должны быть одинаковыми по всему тексту.

15. Ссылки на таблицы и рисунки по тексту даются с сокращениями слов «таблица» и «рисунок» (например: в табл.1.1 приведены результаты ..., на рис.2.1 показана зависимость ...).

16. Доклад должен иметь следующую примерную структуру содержания:

- Введение (*как заголовок не указывается*);
- Основные содержательные разделы и подразделы (разделы нумеруются 1., 1.1., ..., 2., 2.1., ... и т.д.);
- Заключение (*как заголовок не указывается*);
- Библиографический список (*раздел не нумеруется*).

17. Англоязычная форма данных (*название доклада (статьи), фамилии и инициалы авторов, названия учреждений, города и страны где работают авторы (или где выполнялась работа), почтовые электронные адреса авторов, аннотация и ключевые слова*) указываются в конце основного материала.

**Внимание!** Образец оформления доклада (статьи) можно посмотреть в приложении 1.

УДК 621.374.33

## ТЕХНОЛОГИЯ АТАКОВОЙ ОЦИФРОВКИ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В РАДИОФОТОННЫХ СИСТЕМАХ РЕВЕРСНОГО ИНЖИНИРИНГА

© *И.Ф. Будагян, М.С. Костин*

*Московский технологический университет, Москва, Россия*

*e-mail: budif@yandex.ru, mihailkos@mail.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены принципы высокоскоростной атактовой оцифровки импульсов субнаносекундного диапазона в границах лазерной инфракрасной и радиочастотной областях. Показано, что технология строб-фрейм-дискретизации позволяет с высоким временным разрешением восстанавливать профиль сверхкороткого импульса. Предложенная технология позволяет решать задачи радиотонного зондирования и реверсного инжиниринга на базе субнаносекундной импульсной локации.

**Ключевые слова.** Атактовая оцифровка, строб-фрейм-дискретизация, субнаносекундный импульс, радиотонное зондирование.

Применение гибридных радиотонных устройств локационного сканирования в границах инфракрасного (ИК) и радиочастотного диапазонов позволило существенно расширить возможности мобильных, стационарных, бортовых и спутниковых систем дистанционного лазерного и радиоволнового зондирования. Главным преимуществом применения импульсных радиотонных локаторов является их универсальность и возможность за счет использования импульсов субнаносекундного диапазона исследования ряда свойств облучаемых сред и объектов [1]. Поэтому ключевой задачей на пути применения сверхкоротких импульсов (СКИ) в радиотонных локаторах является поиск принципиально новых методов и технологий их эффективной обработки, полагая, что лазерный ИК-импульс легко преобразовать в радиочастотный сигнал, если принимать его быстродействующим фотоэлектрическим приемником, например на базе ФЭУ.

Технология строб-фрейм-дискретизации (СФД) во многом компенсирует недостатки классического аналого-цифрового приема и технологии масштабно-временной трансформации и не требует

высокочастотного тактирования для получения временного разрешения [1]. Электрическая схема на базе технологии СФД не нуждается в весомых затратах на энергопотребление, характеризуется высоким быстродействием и позволяет получить пикосекундное разрешение сигнала во времени. Это соответствует реализуемой на практике частоте выборки от 40 до 100 Гвыб/с. В то же время современные сверхскоростные АЦП параллельного преобразования способны обеспечивать до 3 Гвыб/с, а стробоскопические осциллографы – до 40...80 Гвыб/с при полосе пропускания существенно ниже предельной частоты дискретизации и сложном схемотехническом исполнении [1].

### 1. Строб-фрейм-дискретизация

Атактовая оцифровка, положенная в основу технологии СФД, предполагает селективное тактирование цифровых элементов схемы устройства. Понятие «атактовая оцифровка» («асlock digitizing») впервые упомянута в работе [2] и предполагает, что частота дискретизации принимаемых радиоимпульсов не зависит от частоты стробирования, задаваемой генератором тактовых импульсов. Атактовая оцифровка СКИ осуществляется за серию стробоскопических циклов (радиоприемов) с частотой на порядки ниже частоты селективного тактирования (частоты дискретизации), так как собственно частота дискретизации СКИ формируется периодом линейной цепочки аналоговых пикосекундных линий задержки (ЛЗ), а серия атактовых импульсов в узлах ЛЗ формируется из одного строб-импульса. Таким образом, принимаемый СКИ может быть восстановлен за цикл из серии радиоприемов, что существенно упрощает стабилизацию частоты строб-импульсов в мега- или килогерцовой области. На рис.1 представлена схема СФД, выполненная на базе ПЛИС (FPGA) (рис.1) [1]. Так, принятый приемным устройством СКИ поступает в цепь двухпорогового энергетического, либо корреляционного обнаружителя  $\text{corD}$ , как показано на рис.1, и далее на высокоскоростной компаратор DA1, реализованный на базе быстродействующей КМОП-технологии. Предполагается, что пороговое значение компаратора задается динамической пороговой надстройкой уровней. При каждом текущем пороговом состоянии на выходе компаратора формируется последовательный непрерывный набор из единиц и нулей динамического вектора вида [11001011001...] по принципу однобитной оцифровки. При этом каждый элемент вектора в определенный момент времени с некоторым удержанием одновременно поступает на массив параллельных счетчиков, на входе которых установлены быстродействующие  $D$ -триггеры, определяющие разрешение или запрет счета. Причем в каждом счетчике формируется свой сэмпл – поток



мгновенных значений единичных дискретов [3]. Двухступенчатые  $D$ -триггеры работают в режиме ждущих мультивибраторов и служат в качестве элементов согласования быстродействующей логики с логикой среднего быстродействия, выполняя роль устройств скоростного захвата – «защелки». Объем линейного массива счетчиков может содержать до 1000 элементов 32 разрядных счетчиков, реализованных на базе ПЛИС. Линейный массив счетчиков в каждый цикл стробирования образует фрейм или временное окно дискретов – количество всех выборок сигнала за период сканирования. Полный цикл атактовой оцифровки носит название матричного фрейм-сэмплирования. Количество задействованных счетчиков, период массива ЛЗ, а также шаг квантования могут регулироваться в зависимости от требуемой точности восстановления радиоимпульса.

## 2. Формирование фрейма выборки данных

Формирование фрейма осуществляется следующим образом. Перед началом дискретизации строб-импульс задерживается при помощи временной задержки фрейма (глобальной задержки), образуя серию атактовых импульсов в узлах соединения линейного массива пикосекундных ЛЗ с входами данных  $D$ -триггеров. По линейному массиву ЛЗ строб-импульс проходит, минуя каждый триггер с небольшим смещением во времени, равным эффективному шагу дискретизации  $T_D$ . Текущий уровень компаратора, подаваемый одновременно на вход данных (*data*) всех  $D$ -триггеров определяет разрешение или запрет счета в момент времени, когда счетный импульс фрейма минует  $i$ -ый  $D$ -триггер. Таким образом, когда текущее мгновенное значение радиоимпульса превышает установленный динамический порог компаратора, на вход данных всех  $D$ -триггеров поступает «1», передний фронт атактового импульса, бегущего по массиву ЛЗ, «опрокидывает»  $D$ -триггер и счетчик, соответствующий некоторому моменту времени, пополняется. При этом значение «0» на выходе компаратора (отсутствие превышения динамического порога) будет соответствовать запрету счета. К строб-импульсу не предъявляются строгих требований по крутизне фронтов и минимизации длительности, как это принято в методе масштабно-временной трансформации, поскольку имеется возможность подстройки его первоначального – «пускового» положения при помощи глобальной ЛЗ.

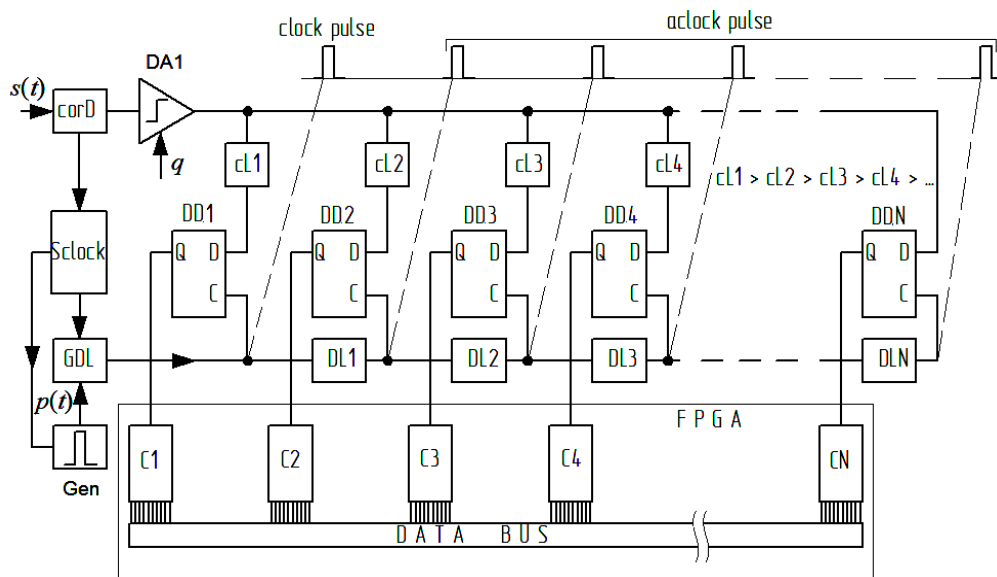
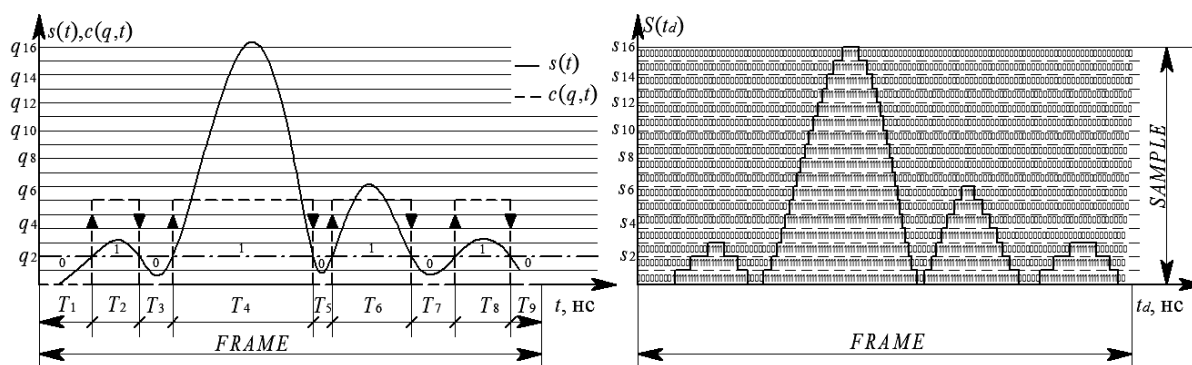


Рис.1. Структурная схема фрейм-дискретизатора: DA1 – высокоскоростной компаратор; DD1...DDN – двухступенчатые D-триггеры; C1...CN – цифровые счетчики; FPGA – ПЛИС; DATA BUS – шина данных; Gen – тактовый генератор строб-импульсов (clock pulse); GDL – глобальная ЛЭ; DL1...DLN – линейный массив пикосекундных ЛЭ, образующих серию атактовых импульсов (aclock pulse); Sclock – блок синхронизации; corD – корреляционный обнаружитель; cL1...cLN – корректирующие ЛЭ.

Поэтому длительность строб-импульса может быть достаточно длительной относительно величины фрейма во времени и ограничивается периодом цикла стробирования. Так, на рис.2,слева приведены временные диаграммы реализации атактовой технологии СФД при восстановлении субнаносекундного радиоимпульса  $s(t)$  произвольной формы в окне фрейма из 164 счетчиков за 16 циклов ( $q_1...q_{16}$  порогов квантования) стробирования. На рис.2,справа представлена матрица фреймов и восстановленный СКИ с периодом дискретизации 25 пс (зависимость суммарного сэмпла  $S(t_d)$  от дискретного времени) – огибающая единичных записей строк матрицы размером  $16 \times 164$ .

В высокоскоростном компараторе аналоговый сигнал радиоимпульса от периода к периоду стробирования последовательно сравнивается с динамическими урвневными состояниями порогов  $q_1...q_{16}$  и, к примеру, относительно уровня  $q_5$  принимает непрерывные значения 010101010 (рис.2, слева). Временные интервалы  $T_1...T_9$  состояний удержания компаратором непрерывных значений соответствуют пересечениям эпюры СКИ с установленным пороговым уровнем. При этом сумма интервалов  $T_i$  равна длительности фрейма, тогда как  $i$ -ый интервал состояния удержания состоит из суммы эффективных шагов дискретизации  $m$ , попавших в его

границы:  $m \cdot t_{d(i)} \approx T_i$ . Процесс сравнения с одним порогом соответствует единичному циклу. За  $N$  циклов в каждом счетчике формируется свой суммарный сэмпл. Так, при эффективном шаге дискретизации 25 пс, соответствующем периоду формирования задержки в массиве ЛЗ или атактовой частоте дискретизации 40 Гвыб/с и 164 задействованных счетчиков, длительность фрейма составит 4,1 нс.



*Рис.2. Временные диаграммы атактовой оцифровки СКИ: принимаемый радиоимпульс  $s(t)$  (непрерывная кривая) и сигнал на выходе компаратора  $c(q,t)$  (пунктирная кривая) – слева; восстановленный радиоимпульс – ступенчатая функция суммарного сэмпла  $S(td)$ , представленная огибающей единичных записей строк матрицы фреймов – справа.*

Объем логических единиц сэмпла, пересчитанный в весовые значения шага  $q$  порогового квантователя компаратора, определяет мгновенное значение сигнала во временном дискрете – сэмпле.

Таким образом, проектирование фрейм-дискретизатора ограничивается использованием двух элементов быстродействующей логики: высокоскоростного компаратора и согласующего устройства, позволяющего преобразовать импульс пикосекундной в импульс наносекундной длительности, достаточной для того, чтобы его можно было обработать при помощи цифровой логики среднего быстродействия [1,4]. Массив счетчиков и ядро управляемого микроконтроллера реализуются на базе ПЛИС. Подробнее результаты исследования на базе программной модели фрейм-дискретизатора, реализованной в среде Simulink, приведены в работе [4].

### Библиографический список

1. Будагян И.Ф., Костин М.С. Атактовая оцифровка сверхкоротких импульсов в гибридных системах радиофотонного сканирования. Журнал радиоэлектроники //

[электронный ресурс], 2016. - №3. – URL: <http://jre.cplire.ru/mac/mar16/5/text.html> (дата обращения 15.04.2016).

2. Будагян И.Ф., Костин М.С. Технология высокоскоростной оцифровки радиоимпульсов субнаносекундного диапазона. // Сб. публ. науч. журнала «Globus» по мат. IV межд. науч.-практ. конф. «Достижения и проблемы современной науки». – СПб.: Научный журнал «Globus», 2015. – С.83-87.
3. Будагян И.Ф., Костин М.С. Фрейм-дискретизация сверхкороткоимпульсных сигналов // Сб. науч. тр. II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем». – М.: МГТУ МИРЭА, 2015. Ч.1. – С.393-398.
4. Будагян И.Ф., Костин М.С. Субнаносекундная радиоволновая виброметрия. Методы и технологии. – Саарбрюккен, Германия.: Palmarium Academic Publishing, 2015. – 107 С.

## ACLOCK TECHNOLOGY DIGITIZATION ULTRA SUBNANOSECOND PULSE IN THE RADIOPHOTONIC SYSTEMS OF ENGINEERING

© *I.F. Budagyan, M.S. Kostin*  
*Moscow Technological University, Moscow, Russia*  
*e-mail: budif@yandex.ru, mihailkos@mail.ru*

**Abstract.** The principles of a high-speed aclock digitization of the pulses subnanosecond range within the boundaries of infrared laser and radiofrequency range are considered. It is shown that the strobe-frame-sampling technology allows high-speed, spatial and temporal resolution to restore the shape of the energy profile of the pulse in the time domain. The proposed technology allows to solve problems radiophotonic probing and reverse engineering on the basis of sub-nanosecond pulse locations.

**Keywords.** Aclock digitization, strobe-frame-sampling, subnanosecond pulse, radiophotonic probing.