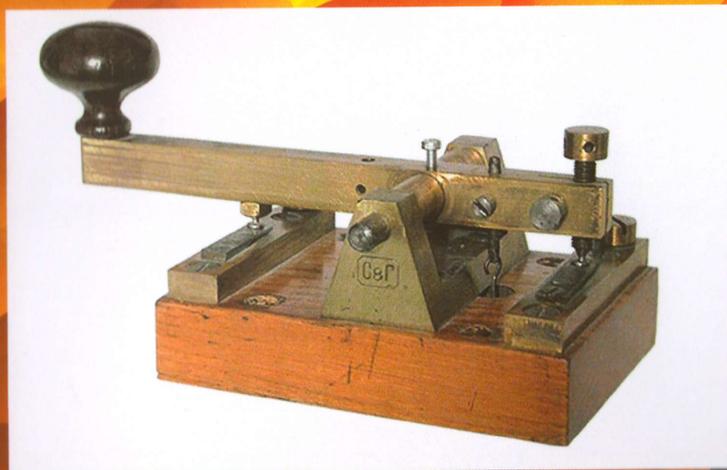


**Доклады Омского
научного семинара**

**Современные
проблемы
радиофизики
и радиотехники**

Выпуск 6



Омск 2017

Омский научно-исследовательский институт приборостроения
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского

Современные проблемы радиофизики и радиотехники

Сборник докладов Омского научного семинара

Выпуск 6

Омск – 2017

УДК 621.396+654.02+681.2
ББК 32.95+32.97
С56

Ответственный редактор *С. В. Кривальцевич*

С56 **Современные проблемы радиофизики и радиотехники** : сборник докладов Омского научного семинара. Выпуск 6 / отв. ред. С. В. Кривальцевич. – Омск : ОНИИП, 2017. – 84 с.

ISBN 978-5-9909318-3-1

В сборнике представлены доклады участников Омского научного семинара «Современные проблемы радиофизики и радиотехники», сделанные в 2016–2017 годах. Семинар проводится на базе Омского государственного университета имени Ф. М. Достоевского с января 2010 года. Докладчики и участники семинара – студенты, аспиранты, сотрудники и преподаватели омских вузов, учреждений РАН, сотрудники омских предприятий.

УДК 621.396+654.02+681.2
ББК 32.95+32.97

ISBN 978-5-9909318-3-1

© АО «ОНИИП», 2017
© Авторы, 2017

Содержание

Вступительное слово.....	4
Александров Г.В. Исследование алгоритмов тактовой синхронизации сигналов в системах цифровой связи	6
Антонов И.В. Передающее устройство для работы в сети WSPRnet	14
Баландин В.В. Первый вид цифровой связи – код Морзе и телеграфные ключи	18
Валл А.П. Варианты исполнения антенн СВ диапазона для приводных радиомаяков.....	40
Иванов А.В., Калижников Ю.В. Интеллектуальный миникомпьютер «ZETTA-10»	44
Зимбович В.А. Декодирование LDPC кодов	52
Коваленко Д.А., Калижников Ю.В. Наручный персональный микрокомпьютер «SMACS»	55
Кожухметова К. Д. Разработка и исследование характеристик ПАВ фильтра на основе пленок AlN	62
Кожухметова К. Д. Свойства тонких пленок оксида цинка в зависимости от способа их получения	65
Мироненко К.В. Особенности контроля параметров вторичных источников питания с узлами коррекции коэффициента мощности	68
Митрохин В.Е., Занкин С.Н. Проблемы расчета параметров коаксиального кабеля в широком диапазоне частот	71
Юрьев А.Н., Кузнецов Д.И. Особенности организации дуплексной КВ системы радиосвязи	79

Вступительное слово

Омский научный семинар «Современные проблемы радиофизики и радиотехники» начал свою работу в январе 2010 года в Омском государственном университете им. Ф. М. Достоевского. Семинар проводится на базе кафедры экспериментальной физики и радиофизики и кафедры моделирования радиоэлектронных систем (базовая кафедра в АО «ОНИИП») ОмГУ им Ф. М. Достоевского.

Основными целями научного семинара являются:

- создание благоприятной среды для обмена опытом;
- обсуждение новых идей и подходов в радиофизике и радиотехнике;
- привлечение молодых специалистов к научной и преподавательской деятельности в области радиофизики и радиотехники.

В настоящее время работа семинара организована по следующим предметным секциям:

- «Радиофизическое зондирование»;
- «Антенно-фидерные устройства»;
- «Моделирование процессов и устройств»;
- «Цифровая обработка сигналов»;
- «Разработка, конструирование и производство аппаратуры»;
- «Техника СВЧ»;
- «Перспективные технологии в производстве РЭА».

Плановые заседания семинара проводятся в последнюю субботу каждого месяца (за исключением июля) с 11:30. Место проведения: пр. Мира, 55а (1-й корпус ОмГУ, ауд. 301). Регламент проведения семинара: доклад – 15 мин., вопросы – 15 мин., обсуждение – 25–35 минут.

Участниками и докладчиками научного семинара являются студенты, магистранты, аспиранты, преподаватели и научные сотрудники ОмГУ им. Ф. М. Достоевского, ОмГТУ, ОмГПУ, ОмГУПС, ОАК им. Н. Е. Жуковского и других вузов и сузов; сотрудники ОНЦ СО РАН, специалисты и научные сотрудники АО «ОНИИП», АО «ЦКБА», АО «ОмПО «Иртыш» и других радиоэлектронных предприятий Омска и других городов РФ.

В 2010–2016 годах состоялось 85 заседаний семинара, на которых был заслушан 241 доклад.

Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Кол-во заседаний	12	11	11	14	12	11	14	8
Кол-во докладов	31	28	31	39	30	36	46	19

Продолжается работа семинара и в 2017 году: с января по сентябрь состоялось 8 заседаний, на которых заслушано 19 докладов.

Забота о сайте семинара (www.радиосеминар.рф) лежит целиком и полностью на Александре Леонидовиче Ворожцове, сотруднике АО «ЦКБА». Его усилиями разработан и поддерживается сайт семинара, на котором всегда можно ознакомиться с программой предстоящего заседания, отчетами о предыдущих заседаниях, новостями о конференциях и семинарах, проводимых в

городе Омске. Также на сайте размещаются фотографии с заседаний семинара, презентации докладов и иные материалы, представленные авторами.

Благодарим за поддержку семинара декана физического факультета ОмГУ им. Ф. М. Достоевского Марию Геннадьевну Потуданскую, заместителя начальника отдела 20 АО «ОНИИП» Дмитрия Евгеньевича Зачатейского, директора ДЮТ имени Ю. А. Гагарина Черноголовина Бориса Анатольевича. И, конечно, огромное спасибо всем докладчикам и участникам семинара.

Издание данного сборника, как и пяти предыдущих, осуществлено благодаря поддержке генерального директора АО «ОНИИП» Владимира Александровича Березовского.

Приглашаем на наш семинар всех желающих поделиться результатами своих научных достижений. По всем вопросам участия в семинаре и тематики его проведения вы можете обратиться непосредственно к руководителю семинара.

*С. В. Кривальцевич,
руководитель Омского научного семинара
«Современные проблемы радиофизики и радиотехники»
kriser2002@mail.ru*

Исследование алгоритмов тактовой синхронизации сигналов в системах цифровой связи

Г. В. Александров, магистрант

В докладе рассматриваются методы символьной синхронизации, приводятся построенные по результатам проведенного математического моделирования графики оценки ошибки тактовой синхронизации с выхода детектора. Метод, реализуемый при моделировании, включает использование для детектора алгоритма, предложенного Гарднером, отличается инвариантностью к виду манипуляции и к начальной фазе несущей частоты принимаемого сигнала.

Ключевые слова: тактовая синхронизация, цифровые сети связи, символьная синхронизация, зашумленный сигнал, детектор.

Тактовая синхронизация (далее в тексте ТС) является одним из видов синхронизации, который гарантирует функционирования цифровых систем передачи и коммутации за счет проектирования точного временного соответствия между принимаемым сигналом и последовательностью тактовых импульсов. В данном случае под тактовыми импульсами понимают повторяющиеся с определенным периодом импульсы, с частотой, равной частоте повторения символов (битов) в информационном сигнале[1].

Интерес к ТС в России вызван стремительным формированием цифровых сетей связи, которые не могут эффективно функционировать без надежно эксплуатируемых систем синхронизации.

Применение ТС в радиосвязи позволяет в значительной мере нивелировать плохие условия распространения сигнала и некачественный прием. За счет уменьшения необходимой ширины полосы пропускания, увеличения дальности связи и прироста КПД, в перспективе повышается производительность и достигается универсальность.

Использование синхронизации также является одним из путей повышения качества радиосвязи, позволяя снизить влияние разнообразных флуктуаций, возникающих, например, при паразитном расширении полосы частот передаваемого сигнала (сплэттер) из-за несовершенства антенно-фидерных устройств. В случае передачи информации с помощью радиосигнала, уместно говорить о символьной синхронизации, при которой необходима возможность генерации копии части сигнала в приемнике, а именно – синхронизированной по скорости передачи символа меандровой волны. В цифровой системе связи выход демодулятора должен периодически стробироваться со скоростью передачи символов в точно выбранных моментах $t_m = mT + \tau$, где T -символьный интервал, а τ - номинальное время задержки, которое определяется временем распространения сигнала от передатчика к приёмнику. Чтобы выполнять это периодическое стробирование, требуется таймерный сигнал в приемнике. Процесс получения такого таймерного сигнала в приёмнике также называется восстановлением отсчётов времени и, по сути, является тактовой синхронизацией. Приемники цифровой связи должны быть синхронизированы с переходами поступающих цифровых символов, обеспечивая, таким образом, оптимальную демодуляцию.

Таймерный сигнал можно также извлечь из принимаемого информационного сигнала. Имеется определенное число различных методов, которые можно использовать в приёмнике, чтобы достичь самосинхронизации. Выше вводится величина τ , равная минимальному времени задержки при распространении сигнала.

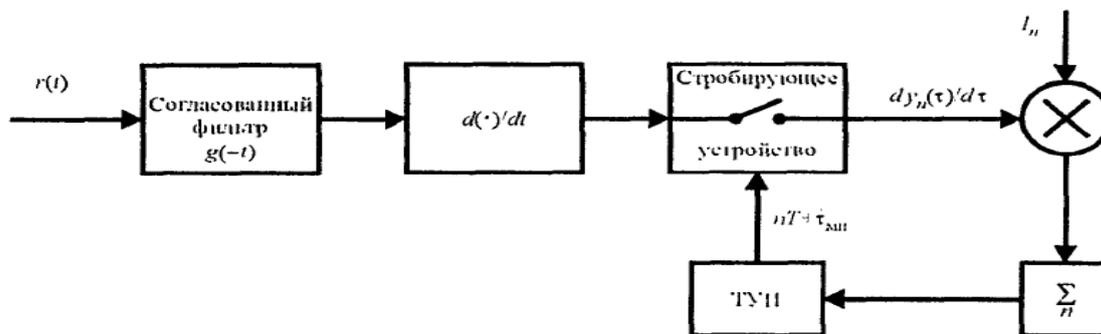


Рис. 1. Отслеживающая петля

Необходимое условие, при котором τ является максимально правдоподобной (МП) оценкой, имеет вид:

$$\frac{d\Lambda_L(\tau)}{d\tau} = \sum_n I_n \frac{d}{d\tau} \int_{T_0} r(t)g(t - nT - \tau) dt = \sum_n I_n \frac{d}{d\tau} [y_n(\tau)] = 0,$$

где $\Lambda_L(\tau)$ – логарифм функции правдоподобия, τ – величина задержки, I_n – символ информационной последовательности $\{I_n\}$, $r(t)$ – принимаемый сигнал, $r(t)g(t - nT - \tau)$ – представление сигнала для амплитудной модуляции.

Данная формула подсказывает реализацию посредством отслеживающей петли, показанной на рис. 1. Необходимо отметить, что суммирование в петле обеспечивается петлевым фильтром, полоса которого управляется длиной скользящего окна при суммировании. Выход петлевого фильтра подаётся на таймер, управляемый напряжением (ТУН), или на генератор, управляемый напряжением, который управляет интервалом стробирования на входе петли. Поскольку детектируемая информационная последовательность $\{I_n\}$ используется при оценке τ , оценка оказывается управляемой решениями. Имея дело с эквивалентной низкочастотной формой сигналов, описанную выше технику для МП оценивания параметра задержки базового сигнала АМ можно непосредственно распространить на форматы модулированных сигналов КАМ и ФМ. Таким образом, проблема МП оценки символьной синхронизации очень похожа на формулировку проблемы для базовых сигналов АМ [5]. Также можно получить МП оценивание времени задержки для базового сигнала АМ, неуправляемое решениями в случае, например, синхронизаторов с окнами на задержку-опережение. Один из оценивателей времени задержки, неуправляемый решениями, использует симметричные свойства сигнала на выходе согласованного фильтра или коррелятора. Чтобы описать этот метод, рассмотрим прямоугольный импульс $S(t)$, $0 \leq t \leq T$, показанный на рис. 2 (а). Выход фильтра, согласованного с $s(t)$, получает свое максимальное значение в точке $t=T$, как показано на рис. 2 (б). Таким образом, выход согласованного фильтра является временной функцией корреляции импульса $s(t)$. Очевидно, что это положение

справедливо для произвольной огибающей импульса, так что описываемый подход применим, в общем, к произвольному сигнальному импульсу. При рассмотрении ясно, что хорошая точка для взятия отсчёта на выходе согласованного фильтра для получения максимального выхода - это $t=T$, т.е. точка на пике корреляционной функции.

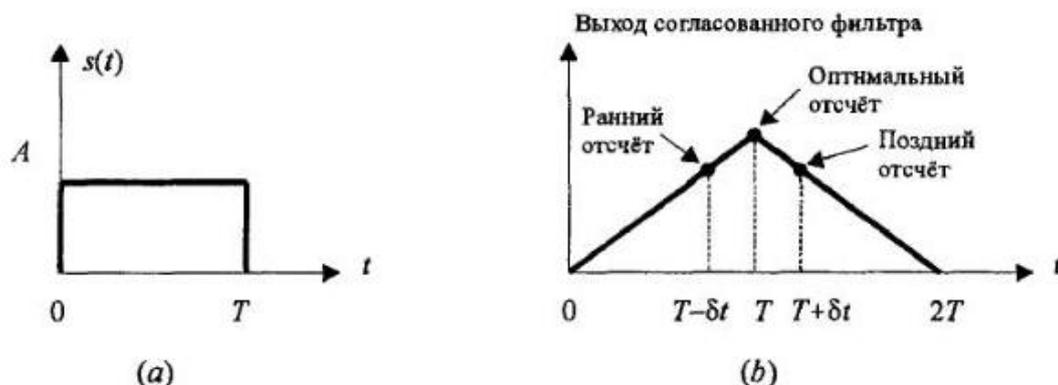


Рис. 2. Прямоугольный импульс сигнала (а) и выход согласованного с ним фильтра (б)

В присутствии шума идентификация пикового значения сигнала затруднена. Допустим, что вместо стробирования сигнала в точке пика отсчёт будет взят раньше (в точке $t=T-\delta$) и, соответственно, позже (в точке $t=T+\delta$). Абсолютные значения ранних отсчётов $|y(m(T-\delta))|$ и поздних отсчетов $|y(m(T+\delta))|$ будут меньше (в среднем в присутствии шума), чем абсолютное значение в пике $|y(mT)|$. Поскольку автокорреляционная функция четна относительно оптимального времени взятия отсчетов $t=T$, абсолютные значения корреляционной функции в точке $t=T-\delta$ и $t=T+\delta$ равны. С учетом этого условия хорошая точка отсчёта - средняя точка между $t=T-\delta$ и $t=T+\delta$. Это условие образует основу синхронизатора с окнами на задержку-опережение [2]. Рисунок 7 иллюстрирует блок-схему синхронизатора с окнами на задержку-опережение. На этом рисунке корреляторы используются вместо эквивалентных согласованных фильтров. Два коррелятора интегрируют по символьному интервалу T , но один коррелятор начинает интегрирование на δ секунд раньше относительно оцениваемого оптимального времени отсчёта, а второй интегратор начинает интегрирование на δ секунд позже относительно оцениваемого оптимального времени отсчета. Сигнал ошибки формируется путем взятия разности между абсолютными значениями выходов двух корреляторов. Чтобы сгладить влияние шума на отсчеты сигналов, сигнал ошибки пропускается через фильтр нижних частот. Если время отсчёта отличается от оптимального времени отсчета, усредненный сигнал ошибки на выходе фильтра нижних частот не равен нулю, и таймерная последовательность смещается в сторону отставания или опережения, в зависимости от знака ошибки. Таким образом, сглаженный сигнал ошибки используется для управления ТУН, чей выход является желательным таймерным сигналом, который используется для стробирования. Выход ТУН также используется как таймерный сигнал для генератора символьного сигнала, который выдает ту же базовую форму импульса, что на выходе фильтра передатчика. Эта форма импульса смещается во времени на δ в сторону опережения и отставания, и полученные образцы ожидаемого

сигнала поступают на два коррелятора, как видно на рис. 3. Следует отметить, что, если сигнальные импульсы прямоугольные, нет необходимости в наличии сигнального импульса внутри петли отслеживания.

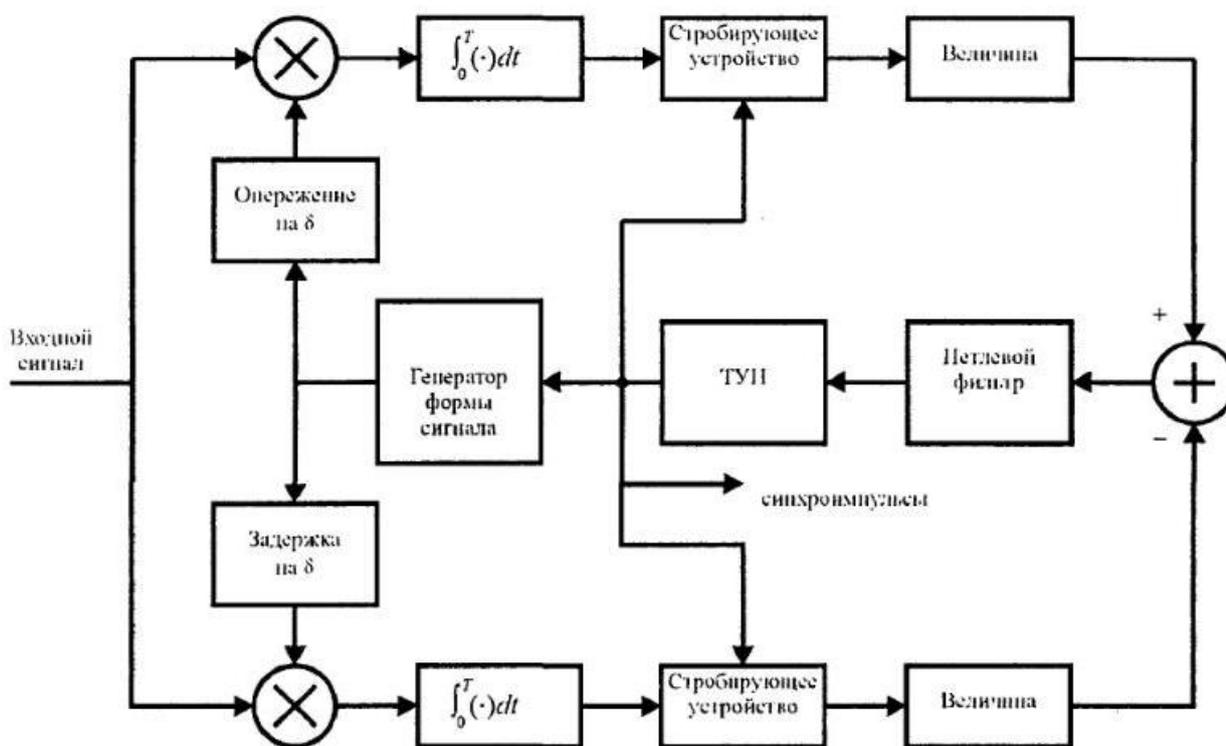


Рис. 3. Блок-схема синхронизатора с окнами на задержку-опережение.

Синхронизатор с окнами на задержку-опережение имеет в своей основе систему замкнутого петлевого управления, чья полоса относительно узка по сравнению со скоростью передачи символов $1/T$. Узкополосная петля обеспечивает большее усреднение по аддитивному шуму и, таким образом, улучшает качество оцениваемых отсчётных величин в предположении, что время распространения в канале неизменно и таймерный генератор на передаче не дрейфует со временем (или дрейфует очень медленно во времени). нижних частот[3].

Построенный в ходе моделирования детектор использует алгоритм, предложенный Гарднером[4].

Алгоритм в основном описывается формулой:

$$e(k) = \{y[(k-1)T + \tau_{k-1}] - y(kT + \tau_k)\} y(kT - T/2 + \tau_{k-1}),$$

где T – период, k – номер отсчета, y – полезный сигнал.

В условиях полного подавления несущего колебания и его восстановления на приемной стороне возникает проблема фазовой неоднозначности. В некоторых случаях несущее колебание может быть восстановлено как синфазное колебанию передатчика. В ходе моделирования в среде MATLAB проводилось задание сигнала и уровня зашумленности для него. На рис.4 приводится сигнал (обозначен непрерывной черной линией) на выходе детектора, на вход которого подается сигнал синусоидального вида, при отсутствии шумов и график оценки ошибки синхронизации с детектора при тех же условиях.

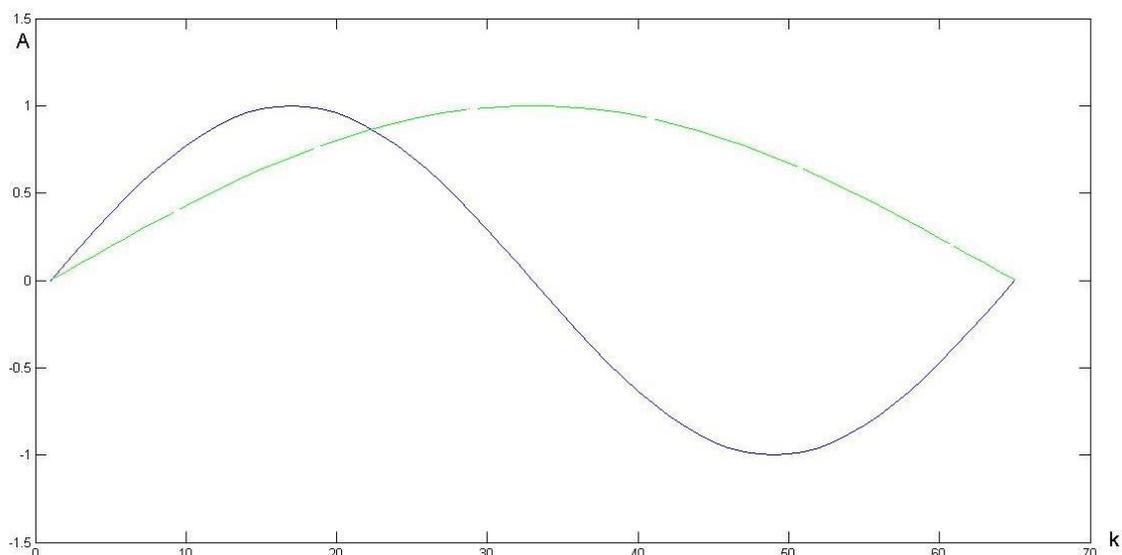


Рис. 4. Сигнал и ошибка на выходе детектора в отсутствии шумов.

Также, отчетливо видно, что на полный период сигнала приходится только половина периода ошибки, таким образом, ошибка имеет период в 2 раза больше периода сигнала. При возрастании шумов до более значительного уровня происходит искажение вида оценки, однако ее вид легко аппроксимируется до исходной синусоиды, что доказывает высокую устойчивость алгоритма к шумам, среднеквадратичное отклонение (СКО) также остается на приемлемом уровне вплоть до высоких значений шумов. Степень искажения сигнала по мере возрастания зашумленности иллюстрируется на рис.5-8. На рис.9-12 приводятся построенные графики для СКО, соответствующие сигналам при указанном уровне шумов.

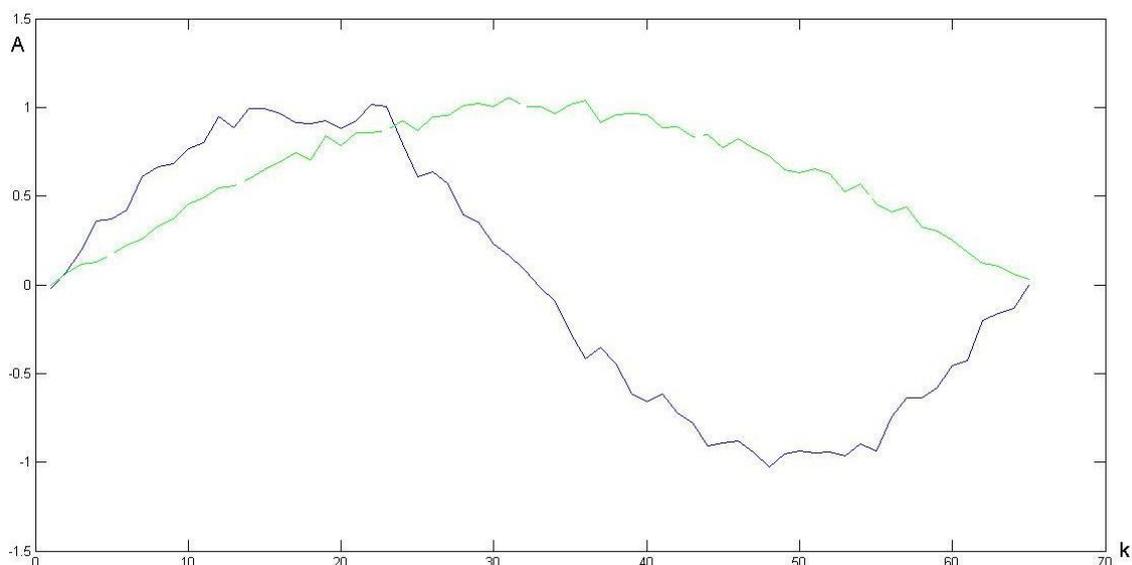


Рис. 5. Сигнал и ошибка на выходе детектора при ОСШ – 30дБ.

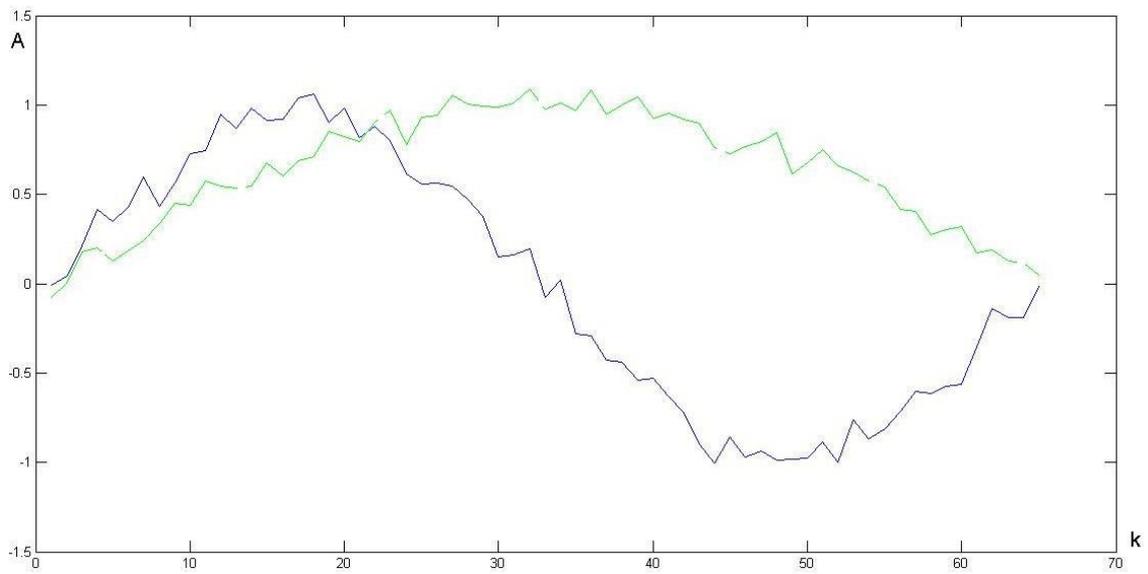


Рис. 6. Сигнал и ошибка на выходе детектора при ОСШ – 25дБ.

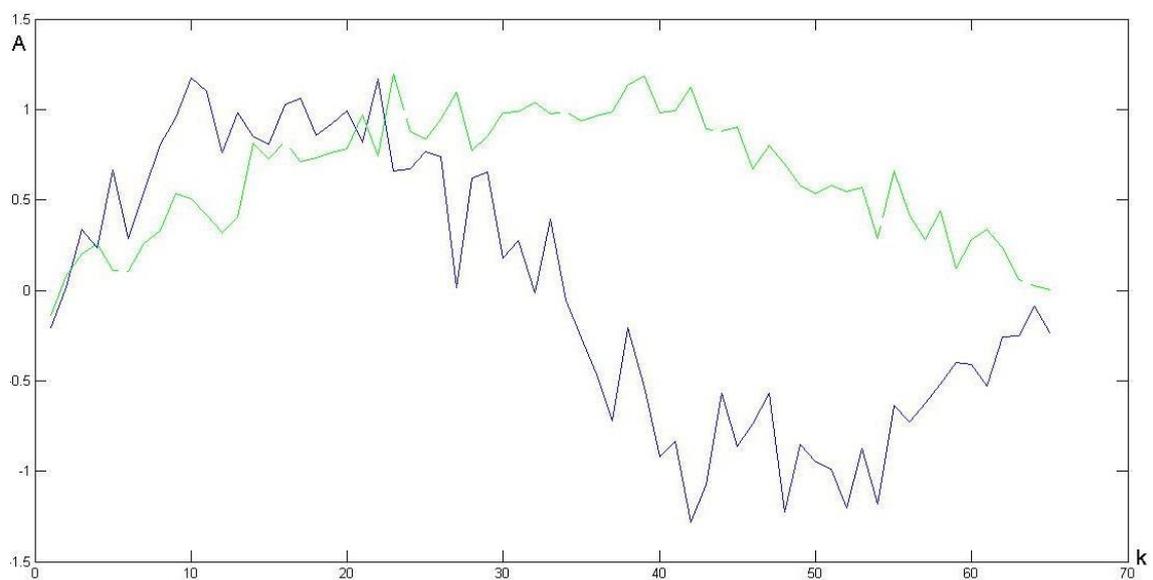


Рис. 7. Сигнал и ошибка на выходе детектора при ОСШ – 20дБ.

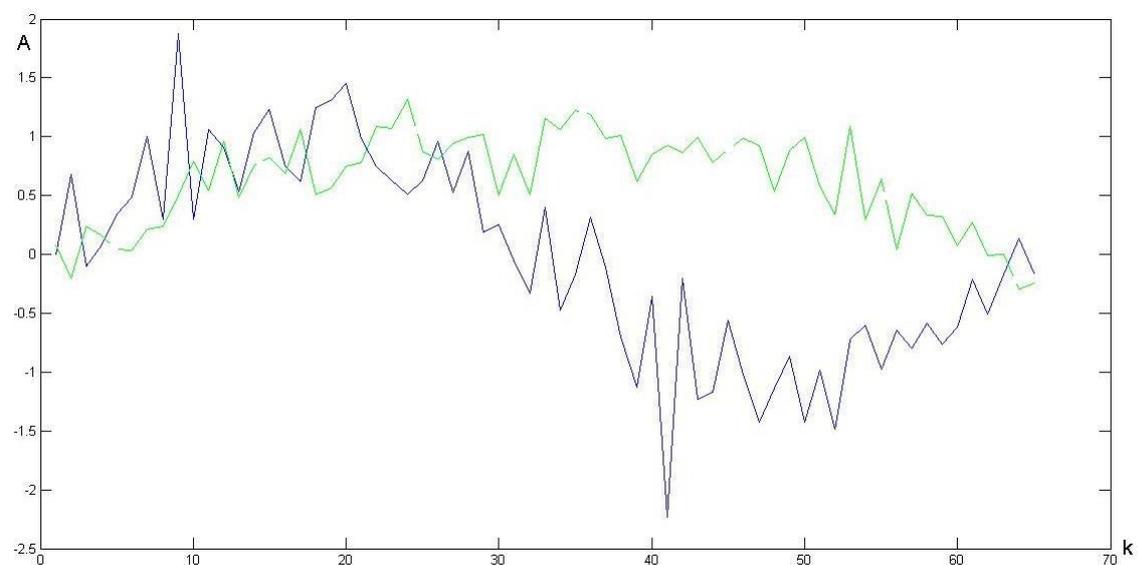


Рис. 8. Сигнал и ошибка на выходе детектора при ОСШ – 15дБ.

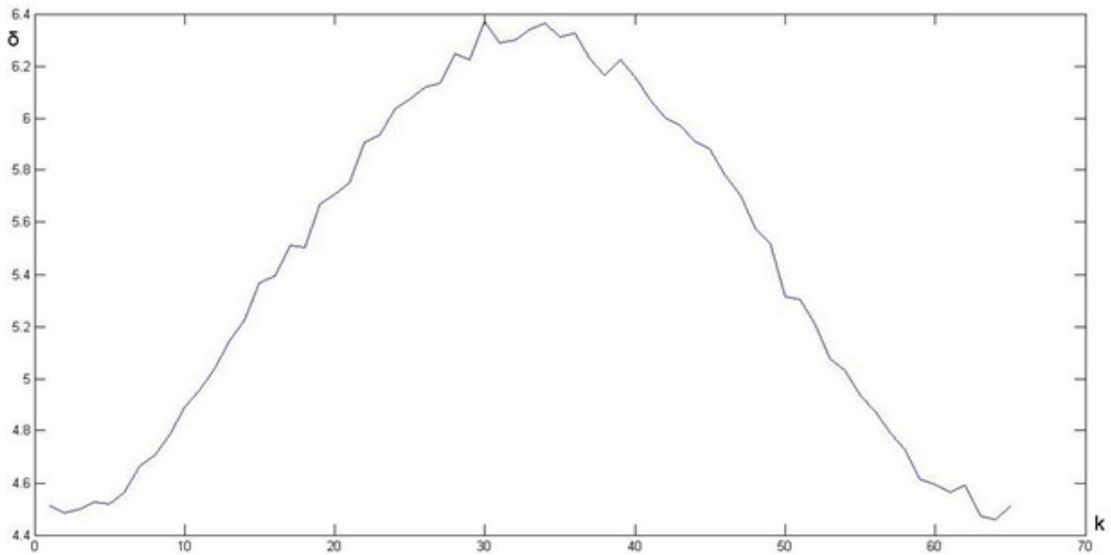


Рис. 9. СКО ошибки на выходе детектора при ОСШ – 30дБ.

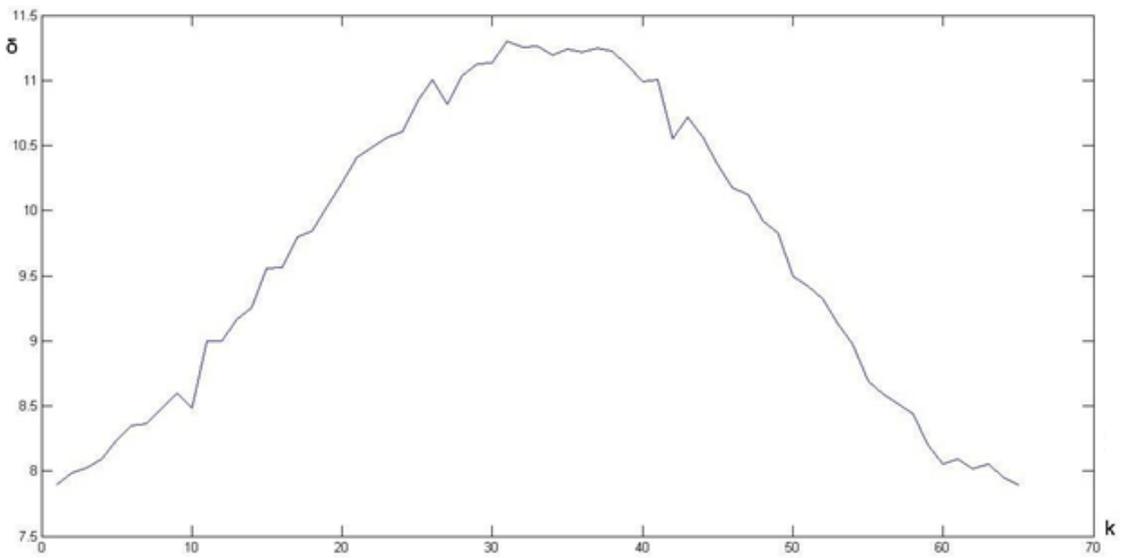


Рис. 10. СКО ошибки на выходе детектора при ОСШ – 25дБ.

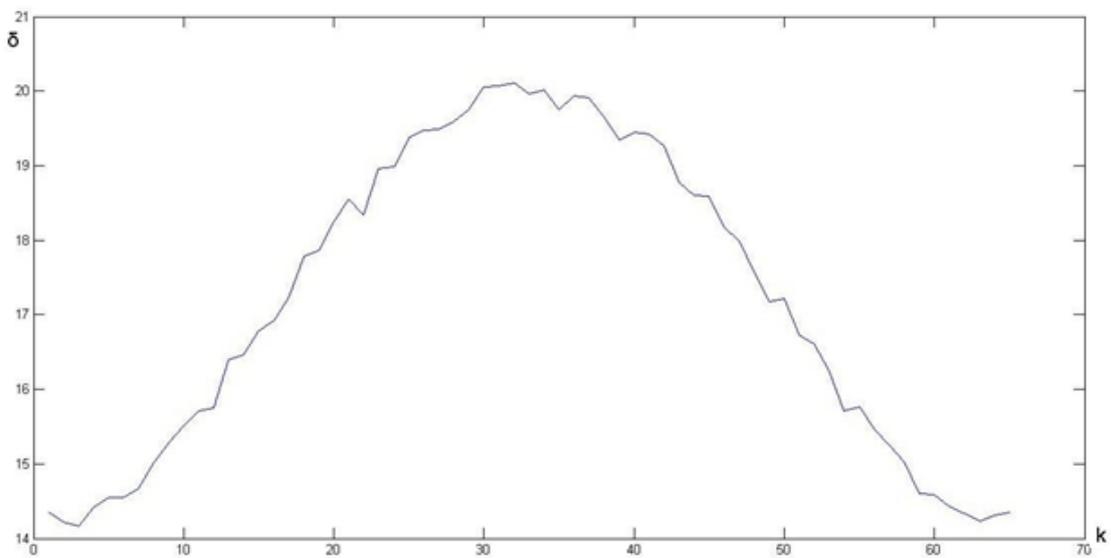


Рис. 11. СКО ошибки на выходе детектора при ОСШ – 20дБ.

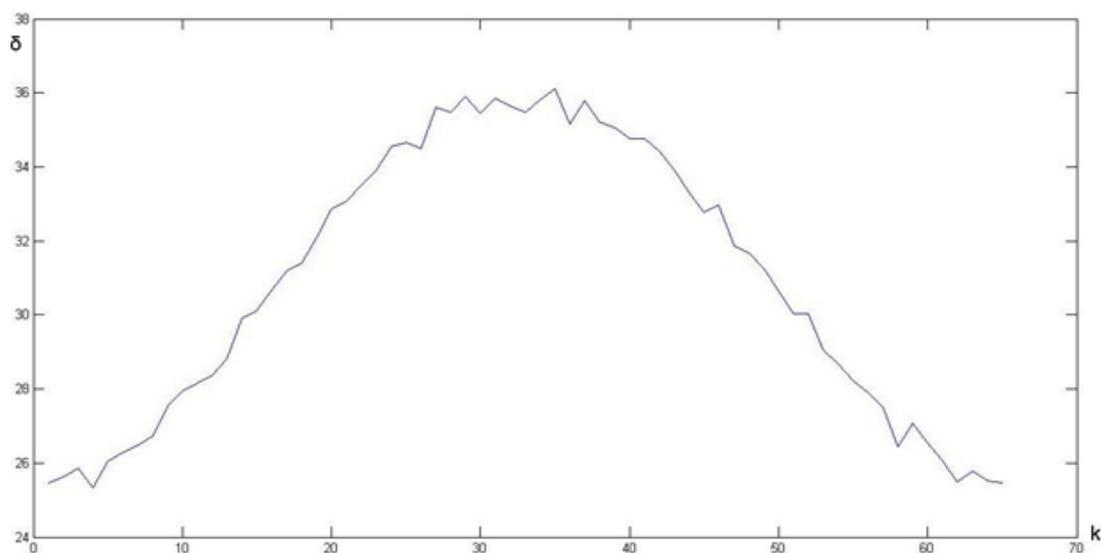


Рис. 12. СКО ошибки на выходе детектора при ОСШ – 15дБ.

Благодаря наличию графиков, можно, в частности, отчетливо видеть возрастание СКО, обратно пропорциональное ОСШ.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация. – М.: Эко-Трендз, 2004.-205 с.:ил.
- [2] Прокис Дж. Цифровая связь.-М.:Радио и связь, 2000.
- [3] Скляр Б. Цифровая связь.теоретические основы и практическое применение.: Пер. с англ.-М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.-1104 с.:ил.
- [4] Mengali U., Aldo N. Synchronization Techniques for Digital Receivers ,1997.

Георгий Валентинович Александров, ОмГУ им. Ф.М. Достоевского, 644077, г. Омск, пр. Мира 55-А, georg_al94@mail.ru

Передающее устройство для работы в сети WSPRnet

И. В. Антонов, инженер-конструктор

В статье дается краткое описание глобальной радиоловительской сети мониторинга распространения слабых сигналов WSPRnet, а так же приводится описание автономного передающего устройства собственной разработки.

Ключевые слова: КВ радиосвязь, распространение радиоволн, радиосеть, WSPR, WSPRnet.

Введение

В настоящее время технологии радиосетей активно внедряются в КВ диапазоне [1].

Задача построения КВ радиосети усложнена за счет плохой предсказуемости условий распространения сигналов на скачковых трассах. Точность прогноза ухудшается с ростом возмущенности геомагнитного поля Земли и в переходное время суток. Кроме того, реальная ионосфера отличается от используемых в моделировщиках ионосферы моделей за счет наличия практически непредсказуемых неоднородностей.

Проведение претендующих на статистически-значимые результаты собственных натуральных экспериментов в области КВ радиосетей является достаточно дорогостоящим мероприятием, т.к. требуется охватить большую площадь, наблюдая за работой радиосети на в периоде нескольких месяцев или лет. Большая площадь требуется для учета различных условий распространения на различных радиотрассах, а также для отработки автоматической маршрутизации и ретрансляции на многоскачковых радиотрассах. Большая протяженность наблюдений во времени требуется для учета зависимости условий распространения от солнечной активности.

Цель данной работы – рассмотреть опыт создания передающего автономного устройства для работы в сети WSPRnet.

Общие принципы работы сети WSPRnet

Сеть работает в радиоловительских участках радиочастотного спектра. Наибольшее число связей регистрируется в КВ диапазоне, где используется по одному фиксированному участку частот шириной 200 Гц в каждом из радиоловительских диапазонов (160, 80, 60, 40, 30, 20, 17, 15, 12 и 10 метров). При этом около 75% от всех связей приходится на три диапазона – 20, 30 и 40 метров, что обусловлено особенностями распространения КВ радиоволн.

Работа сети привязана к системе единого времени. Каждые две минуты в 00 секунд передающие корреспонденты начинают передачу 50 битного информационного сообщения длительностью 110,6 секунд. В сообщении закодирована следующая информация:

- позывной корреспондента (до 6 знаков);
- QTH локатор с точностью до 4 или 6* знаков;

– заявленный уровень мощности в диапазоне от 1 до 60 дБм (от 1 мВт до 1 кВт).

Пользователь может заявить QTH локатор с точностью до 4 или 6 знаков. Для 4 знаков это обеспечивает привязку к квадрату размером 1x2 градуса широты/долготы; для 6 знаков – 2,5x5 угловых минут.

На приемной стороне осуществляется декодирование сигнала и оценка соотношения сигнал/шум. Результаты публикуются на сервере [2].

В большинстве случаев, при работе в КВ диапазоне корреспонденты WSPRnet используют мощность от десятков милливатт до 5 Вт, но существуют отдельные корреспонденты в диапазоне мощностей от 1 мВт до 1 кВт.

Для работы в сети WSPRnet требуется привязка к системе единого времени с погрешностью не более ± 1 секунды. Наиболее распространенным решением является синхронизации времени через Internet используя открытые NTP-сервера по протоколу NTP или посредством приемников ГНС (ГЛОНАСС, NAVSTAR и т.п.).

Передающее устройство может быть реализовано на базе микроконтроллера и перестраиваемого по частоте генератора тонального сигнала, либо на базе серийного трансивера/передатчика, управляемого ЭВМ.

Существует несколько реализаций маяка на микроконтроллере, как разработанных радиолюбителями, так и выпускаемых мелкими сериями. Самое популярное в мире решение Ultimate3S выпускается ф. Qrp-labs[3].

Вычислительным устройством этого маяка является 8-битный микропроцессор ATmega328, работающий на частоте 20МГц обладающий вычислительной мощностью до 20 MIPS, оснащенный 32КБ Flash.

Применение относительно простого и дешевого синтезатора на базе микросхемы Si5351A. позволило легко реализовать модуляцию 4-FSK с шагом 1.46 Гц с удовлетворительным качеством синтезируемого сигнала при соблюдении относительно не высокой выходной мощности. Выходной каскад Ultimate3S выполнен на трех транзисторах BS170 обеспечивает предельную выходную мощность до 250 мВт.

Стоимость маяка Ultimate3S составляет порядка 33 USD за набор для самостоятельной сборки. Производитель предлагает различные опции к набору, расширяющие его возможности – термокомпенсированный опорный генератор, перестраиваемые полосовые фильтры, GPS приемник и некоторые другие.

Для работы в сети WSPRnet была разработана и изготовлена собственная реализация передающего устройства.

Вычислительным центром устройства является 8-битный микропроцессор pic18f2550, работающий на частоте 48МГц, обладающий вычислительной мощностью до 12 MIPS, оснащенный 32КБ Flash, и широким набором периферии, включающим USB контроллер.

USB интерфейс используется в устройстве для тестового управления и загрузки радиоданных. Работа с USB интерфейсом на стороне компьютера реализована с помощью бесплатной кроссплатформенной библиотеки libusb [4]. В операционной системе микропроцессор pic18f2550 определяется HID устрой-

ством, не требующим дополнительных драйверов для работы с ним. Хранение радиоданных осуществляется на SPI-флеш памяти S25FL064P емкостью в 8Мб.

Для формирования радиочастотного сигнала применена DDS AD9951 ф. Analog Devices. AD9951 – это синтезатор прямого цифрового синтеза (DDS, direct digital synthesizer) с 14-разрядным ЦАП. AD9951 использует комбинацию технологии DDS и интегрированного быстродействующего, высококачественного ЦАП, которая образует полнофункциональный высокочастотный синтезатор с цифровым программированием, способный генерировать выходные аналоговые синусоидальные сигналы на частоте до 200 МГц с возможностью быстрой перестройки. AD9951 поддерживает быструю скачкообразную перестройку частоты и высокое разрешение настройки, необходимое для работы в сети WSPRnet (точность настройки частоты в сотые Гц). Управляющие слова и данные настройки частоты загружаются в AD9951 через SPI - последовательный порт ввода/вывода.

Усилитель мощности выполнен по двухтактной схеме на радиочастотных транзисторах rd16hhf1 с предусилителем выполненным так же по двухтактной схеме на радиочастотных на транзисторах BFG591. Мощность при КСВ до 3 порядка 5 Вт в диапазоне частот от 1,5 до 30 МГц. Допустима настройка оконечного каскада на мощность 35 Вт только изменением коэффициента трансформации ШПТ, однако, следует учитывать избыточность такой мощности при работе в сети WSPRnet на полноразмерные антенны.

Для синхронизации с системой единого времени и формирования сигнала синхронизации времени PPS применен модуль GPS-Глонасс u-blox 7m.

Для тактирования синтезатора AD9951 выбран термокомпенсированный генератор управляемый напряжением с частотой 10 МГц и нестабильностью частоты за год до $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$. Использование управляемого высокостабильного генератора в связке с приемником ГНС, выдающим сигнал синхронизации времени PPS, позволило использовать технологию GPS Disciplined Oscillator и обеспечило получение точного и стабильного опорного сигнала для узкополосной радиосвязи даже на высоких частотах.

Описанное устройство позволило за продолжительное время собрать значительную статистику, использованную при написании статьи [5].

Анализ полученных результатов и предложения по использованию сети WSPRnet в профессиональных целях

Создание собственного передающего узла позволит контролировать энергетику как с точки зрения подводимой к антенне мощности, так и точки зрения эффективности антенны в диапазоне частот и телесных углов. Кроме того, возможно создание многоканального передатчика, работающего сразу во всех диапазонах частот, либо использование циклического обхода обычным одноканальным передатчиком по известному расписанию.

Создание собственного передатчика может иметь не только научный интерес, но и практический, например, можно использовать его при сравнении эффективности различных антенн, т.к. приемные узлы сети работают во всем КВ диапазоне, находясь на различном удалении и различных азимутах, что поз-

волит получить сравнительную оценку эффективности антенн во всем диапазоне частот и телесных углов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] High Frequency Industry Association [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hfindustry.com> (дата обращения 29.08.2017).

[2] WSPRnet [Электронный ресурс]. URL: <http://wspnnet.org> (дата обращения 29.08.2017).

[3] Qrp-labs [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qrp-labs.com/ultimate3> (дата обращения 29.08.2017).

[4] Libusb [Электронный ресурс]. URL: <http://libusb.info> (дата обращения 29.08.2017).

[5] Антонов И.В., Пукса Д.О., Романов Ю.В. Радиосеть мониторинга распространения слабых сигналов WSPRnet и примеры работы в ней // Техника радиосвязи. 2017. Вып. 3 (34). С. 7-18.

Иван Викторович Антонов АО «ОНИИП», г. Омск, ул. Масленникова, 231

Первый вид цифровой связи - код Морзе и телеграфные ключи

В. В. Баландин, педагог дополнительного образования

Во время возвращения из Европы американского художника Самуэля Морзе на пароходе в 1832 году какой-то пассажир в ходе беседы о недавно изобретённом электромагните сказал: «Если электрический ток можно сделать видимым на обоих концах провода, то я не вижу никаких причин, почему сообщения не могут быть им переданы». Хотя идея электрического телеграфа выдвигалась и до Морзе, он полагал, что был первым.

После экспериментов первые удачные результаты с передачей сообщений Самуэлем Морзе были получены уже в 1837г. [6]

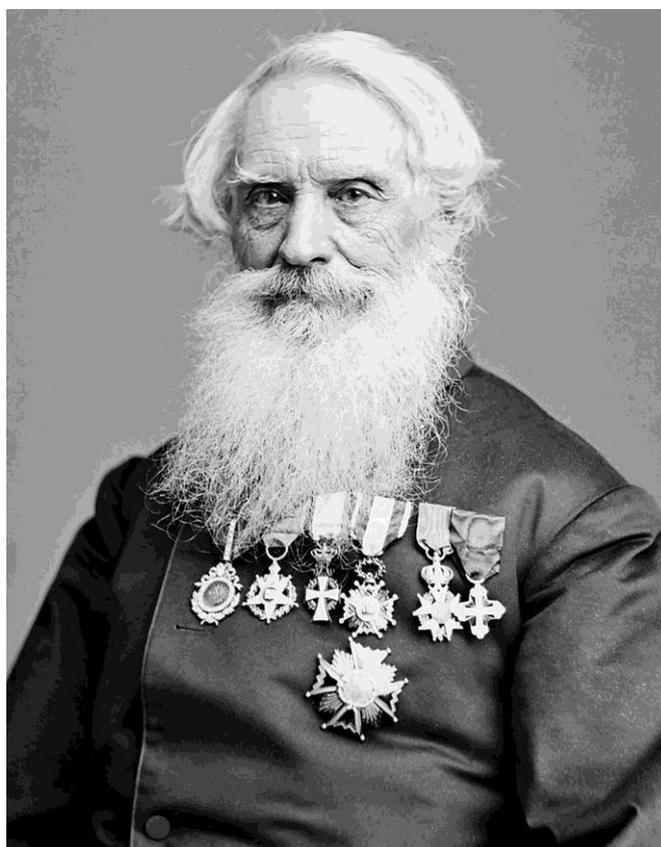


Рис.1. Самуэль Морзе

В том же году в одной из аудиторий университета, где Морзе демонстрировал свой электрический телеграф, оказался Альфред Льюис Вейл.

Вейл предложил Морзе свою помощь и поддержку, в том числе и материальную. Это и сыграло решающую роль в судьбе изобретения Морзе. Он заключил с Вейлом договор о том, что тот изготовит в мастерских отца полный комплект техники и оплатит патенты в обмен на долю в правах Морзе на телеграф.

Следуя идее Морзе, Вейл разработал тип кода, который можно было принимать как на пишущее устройство, которое он изобрёл ещё в 1837 году, так и на слух.

Альфред Вейл изобрёл и сделал первый телеграфный ключ в 1844 году. Он назвал его «Correspondent».



Рис.2. Альфред Льюис Вейл

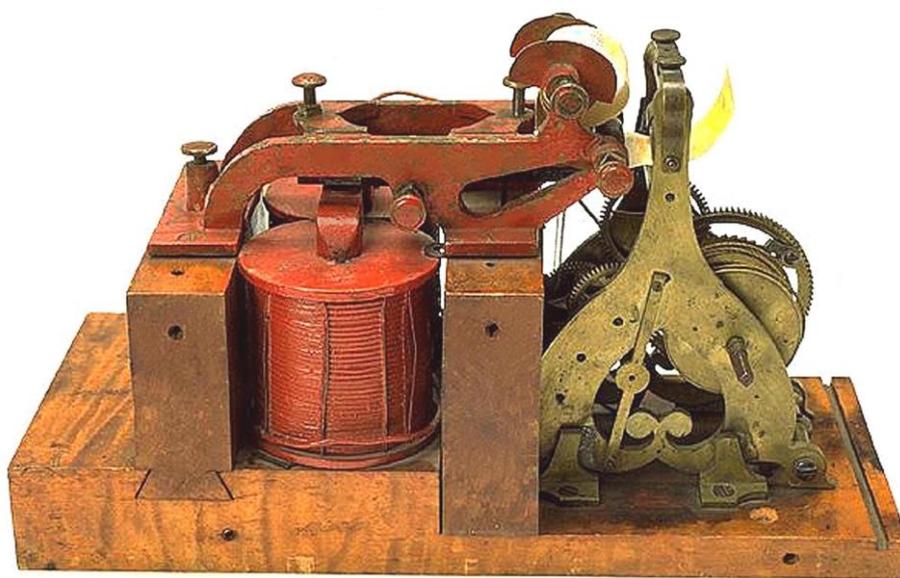


Рис.3. Электрический телеграф Альфреда Льюис Вейла

24 мая 1844 г было передано сообщение Семюэлем Морзе ключом Вейла на линии связи Вашингтон-Балтимор и принято на телеграфное регистрирующее устройство, разработанное также Вейлом.

Оригинальным кодом Морзе можно было передавать только цифры, где за каждой цифрой была закреплена определённая комбинация импульсов и пауз. На приёмном устройстве они фиксировались на бумажной ленте, а затем декодировались с помощью сложного словаря. Вейл присвоил каждой цифре, букве и знаку препинания определённую комбинацию тире точек и пробелов, и после доработки этот код стал называться Американский проводной код Морзе. [1]

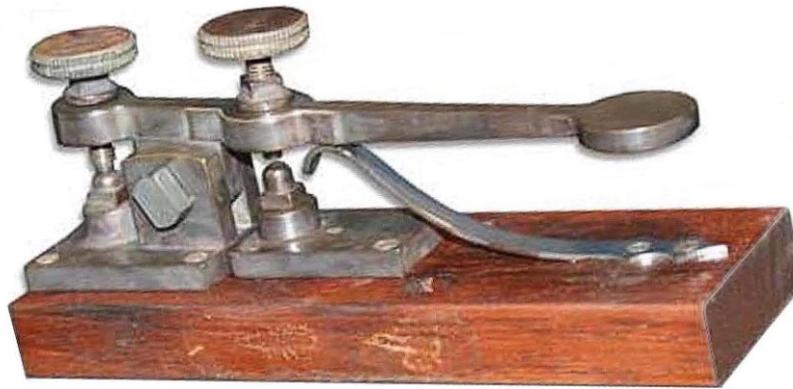


Рис.4. Первый телеграфный ключ

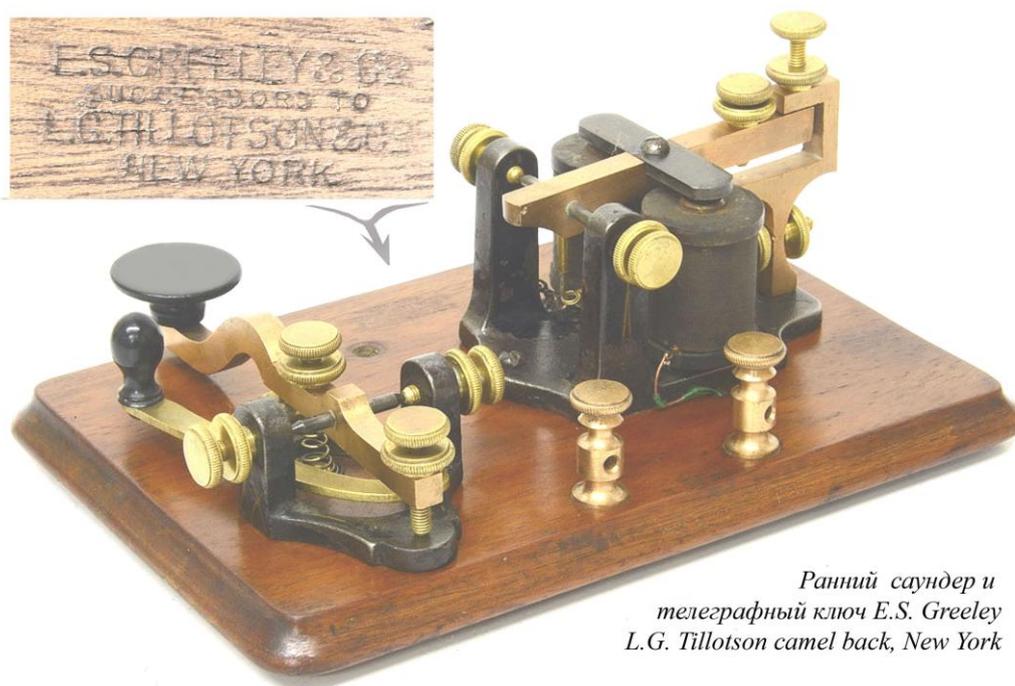
	American (Morse)	Continental (Gerke)	International (ITU)
A	• —	• —	• —
Ä		• — • —	
B	— • • •	— • • •	— • • •
C	• • •	— • — •	— • — •
CH		— • — • —	
D	— • •	— • •	— • •
E	•	•	•
F	• — •	• • — •	• • — •
G	— • — •	— • — •	— • — •
H	• • • •	• • • •	• • • •
I	• •	• •	• •
J	— • — • •	• — • — • —	• — • — • —
K	— • — •	— • — •	— • — •
L	— • —	• — • •	• — • •
M	— • —	— • —	— • —
N	— • •	— • •	— • •
O	• •	• — • • •	• — • • •
Ö		— • — • • •	
P	• • • • •	— • — • •	• — • — •
Q	• • • • •	— • — • — •	— • — • — •
R	• • • •	• — • — •	• — • — •
S	• • • •	• • • •	• • • •
T	— •	— •	— •
U	• • •	• • — •	• • — •
Ü		• • — • —	
V	• • • •	• • — • —	• • — • —
W	• • • •	• — • — •	• — • — •
X	• • • • •	• • — • — •	• • — • — •
Y	• • • • •	— • — • — •	— • — • — •
Z	• • • • •	— • — • — •	— • — • — •
1	• • — • • •	• • — • • •	• • — • • •
2	• • • — • •	• • • — • •	• • • — • •
3	• • • • — •	• • • • — •	• • • • — •
4	• • • • •	• • • • •	• • • • •
5	— • — • •	— • — • •	— • — • •
6	• • • • •	• • • • •	• • • • •
7	— • — • •	— • — • •	— • — • •
8	• • • • •	• • • • •	• • • • •
9	— • — • •	— • — • •	— • — • •
0	— — — — —	— — — — —	— — — — —
0 (alt)	—		—

Рис.5. Варианты кода Морзе

Но и в этом коде были тире разной длины и паузы внутри знаков. Азбуку Морзе, что называется, довел до ума, немецкий инженер Фридрих Клеменс Герке (Friedrich Clemens Gerke), который существенно упростил и упорядочил её. [7]

Современный вариант международного "кода Морзе" (International Morse) появился совсем недавно - в 1939 г, когда была проведена последняя корректировка (т.н. "континентального" варианта), коснувшаяся в основном знаков препинания. Звучит ещё невероятнее, но факт - первоначальный вариант "кода Морзе" кое-где использовался на железных дорогах до середины 60-х годов XX века! [14]

В 1848 г появился ключ camelback, который был снабжён эбонитовой ручкой, что делало работу на нём более удобной.



*Ранний саундер и
телеграфный ключ E.S. Greeley
L.G. Tillotson camel back, New York*

Рис.6. Ключ camelback

В 1860 г компания Western Union ввела пружинный регулятор настройки жёсткости ключа.

В 1881 Джесси Баннел, один из сильнейших телеграфистов, ветеран гражданской войны США получил патент за свой стальной рычаг (коромысло) ключа, делавшийся штамповкой из стальной пластины, что требовало минимальной механической доработки. Столь успешное решение конструкции используется и в наши дни, и эта форма и размеры коромысла ключа применялось во многих других конструкциях ключей разных стран в 20 веке.

Электрический проводной телеграф быстро получил распространение во всём мире. Железнодорожные станции оборудуются телеграфными линиями связи, появляются почтовые телеграфные компании, первые телеграфные агентства.

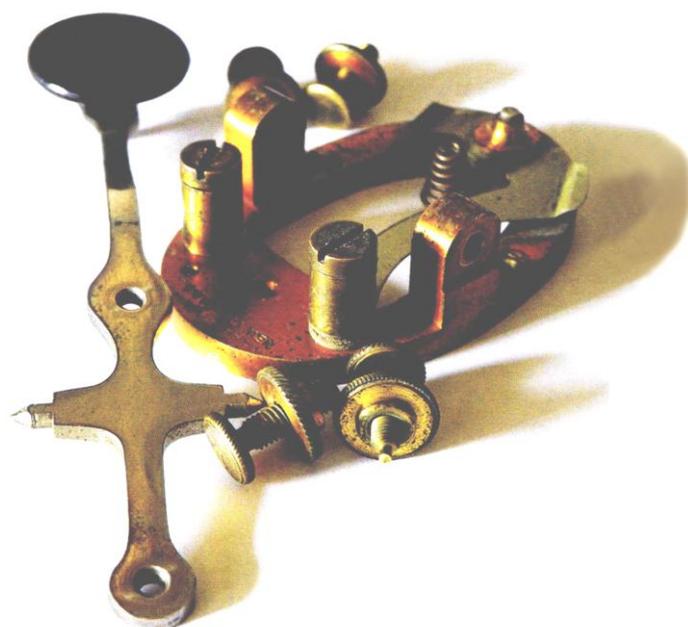


Рис.7. Ключ со «штампованным» коромыслом

В Америке телеграфные аппараты даже устанавливались в виде соответствующим более поздним телефонным будкам. В этих случаях приём производился не печатанием на ленту, а на слух, на встроенный зуммер. [3]



Рис.8. Уличный телеграфный аппарат

Уже в 1898 г количество слов, передававшихся оператором за одну смену, достигало 20- 22 тысяч! При больших объёмах тексты принимались на пишущую машинку, либо на телеграфный аппарат, а передавались в ручную, манипулируя кистью руки. Естественно, при длительной передаче большого количества информации рука устаёт, и если оператор не найдёт возможность немно-

го отдохнуть, хотя бы снизив скорость передачи, может произойти так называемый «срыв руки». Этот термин получил медицинское определение, как «мышечный туннельный синдром». Радист уже не владеет своей рукой, принимать его почерк, понять его совершенно сложно, предстоит очень трудное и долгое переучивание, необходимо заново «ставить» руку, легче научиться работать другой рукой.

К концу 19 века телеграфист был не просто человек, работающий на ключе, а новатор, находящийся в поисках новых решений, открывающих возможности повышения скорости приёма и передачи сообщений. [1]

В 1888 году Баннел представил свой ключ с «удвоенной скоростью», который получил название «sideswiper» и практически решил проблему «срыва» руки. [1] На этом конструктивно новом ключе передача осуществляется в горизонтальной плоскости, почти без участия кисти. В СССР такой ключ был более известен, как «пила», поскольку зачастую изготавливался из обломка пилки по металлу. Однако добиться хорошего качества почерка на таком ключе сложнее, широкого распространения в СССР он не нашёл, частично использовался моряками и полярниками.

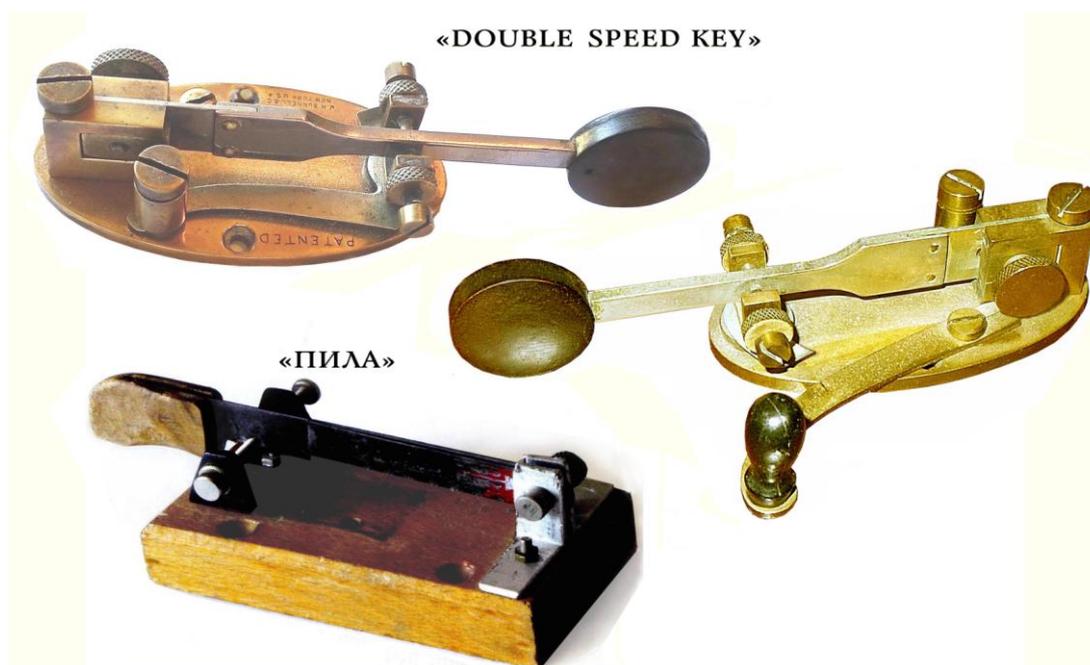


Рис.9. Варианты телеграфных ключей«sideswiper» - «пила»

В России в связи преимущественно с оптического телеграфа использовались термины «депеша» и «сигналист». С 1852 г по предложению американского репортёра Смита слово «депеша» стала заменяться словом «телеграмма», а слово «сигналист» - на слово «телеграфист». В России эти замены начали вводиться с 1855 г.

В Омске телеграфная станция была открыта в 1862 г., имелось 4 телеграфных аппарата, время телеграфного действия 24 часа, разряд станции – 3-й. В 1884 г на Омской телеграфной станции действующих телеграфных аппаратов: Морзе- 8; Юза -2. [2]



Рис.10. Временная телеграфная станция Омской железной дороги. 1895 г. Фото из [8]

Известно, что уже с середины 19 века разрабатывались и применялись телеграфные аппараты на проводных линиях связи. И надо понимать, что телеграфный аппарат вещь дорогая, устанавливалась только там, где передавалось много информации, и принимает, регистрирует он всё то, что на него передашь, а вот оператор и переспросить может, и исправить, да и пишет он всё таки буквами, либо на печатную машинку.

Затем подошло время беспроводного радио. В 1896 году, на сессии Русского физико-химического общества с помощью аппаратуры А.С. Попова его ассистентом Рыбкиным по эфиру на расстояние 250 метров была передана первая текстовая телеграмма: HEINRICH HERTZ. [5]

Таким образом, первым профессиональным радиотелеграфистом можно назвать Рыбкина Петра Николаевича.

А одним из первых радиотелеграфистов-любителей в России можно назвать В.М. Петрова, именно он передавал телеграфным ключом на тогда ещё незаконной [16] радиостанции R1FL Фёдора Лбова.

Но первое время в России говорили «беспроводной телеграф», «беспроводной телеграфист», а уж потом появились термины радиотелеграф, радиотелеграфист, в сокращении – радист.

В 1903 году в Берлине состоялась Первая Международная конференция по беспроволочному телеграфированию, на которой довольно часто употреблялись слова с приставкой «радио». На конференции был рекомендован для употребления в литературе термин «радиотелеграфия». Лишь через три года в Берлине на очередной Международной конференции по радиотелеграфу термин «радио» всё же был предложен для обозначения беспроволочных передач. [9]



Александр Степанович Попов (1859-1906) Рыбкин Пётр Николаевич(1864—1948)

Рис.11. Попов А.С. и Рыбкин П.Н.



Нижегородский радилюбитель В.М. Петров — первый оператор-коротковолновик



Рис.12. Петров В.М. и Лбов Ф. фото из [17]

В 1898 г в России было учреждено акционерное общество электротехнических заводов «Сименс и Гальске», производившее, в частности и телеграфные ключи к аппаратам Морзе.

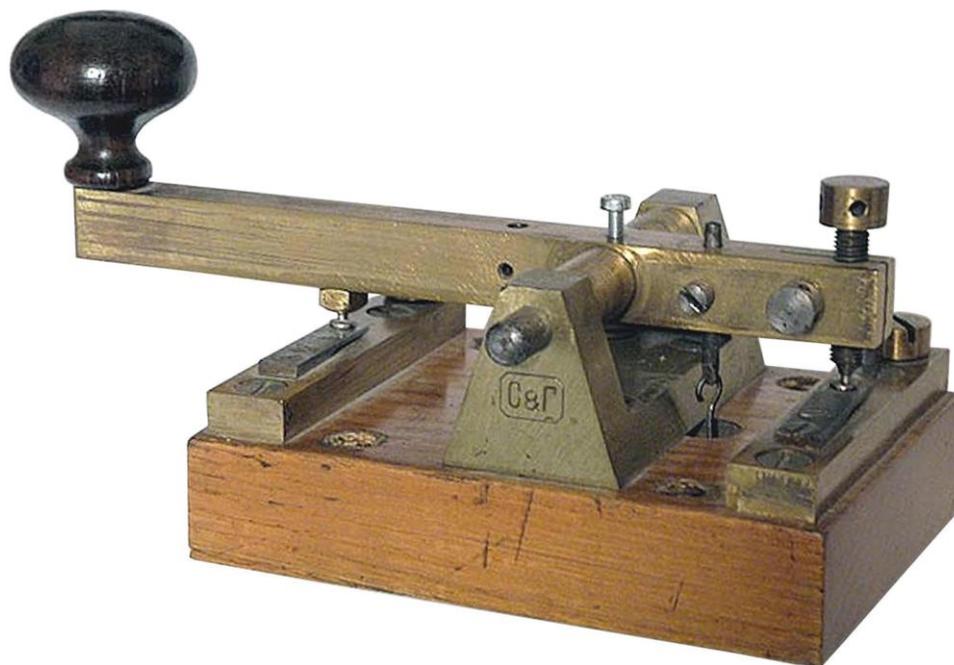


Рис.13. Телеграфный ключ «Сименс и Гальске»



ПРИЕМЪ РАДИОГРАММЫ НА СТАНЦИИ БЕЗПРОВОЛОЧНАГО ТЕЛЕГРАФА НАШЕГО КРЕЙСЕРА.

Рис.14. Фотография периода Русско-Японской войны



Телеграфная рота 9 – Сибирской стрелковой дивизии на первой мировой 1915 г
Рис.15. Фотография периода Русско-Японской войны. Фото из [4]



Рис.16. Фотография периода Русско-Японской войны

В 1870 г В Москве Варшаве, Риге и других крупных городах Российской империи учредили телеграфные школы. В начале 20 века профессии телеграфиста обучали в специальных классах при женских и мужских гимназиях. [1]

В Советском Союзе обучение велось при школах ДОСААФ, при ведомственных специализированных училищах и институтах.

СВИДѢТЕЛЬСТВО.

Дано сіе ВЛАДИВОСТОКСКОЙ КРѢПОСТНОЙ ВОЕННО-ТЕЛЕГРАФНОЙ РОТЫ. *представилъ Никита Александровичъ Вил. Владимировичъ*.....
въ томъ, что онъ обучался въ телеграфномъ классѣ роты и на окончательномъ испытаніи оказалъ успѣхи:

- Въ Законѣ Божиемъ. *очень хорошо (45)*...
- " Русскомъ языкѣ. *отлично (5)*.....
- " Арифметикѣ .. *отлично (5)*.....
- " Практической геометріи и черченіи. *очень хорошо (4)*.....
- " Физикѣ. *отлично (5)*.....
- " Телеграфіи. *отлично (5)*.....
- " Телефоніи. *отлично (5)*.....
- " Воинскихъ Уставахъ. *хорошо (4)*.....

что свидѣтельствуется надлежащей подписью и приложеніемъ казенной печати.

Кр. Владивостокъ. *10* снт. 20. дня 1914 года:

Командиръ роты,

ПОЛКОВНИКЪ *Дуровъ Сид.*

Адъютантъ роты,

ПОРУЧИКЪ *Мухомовъ*

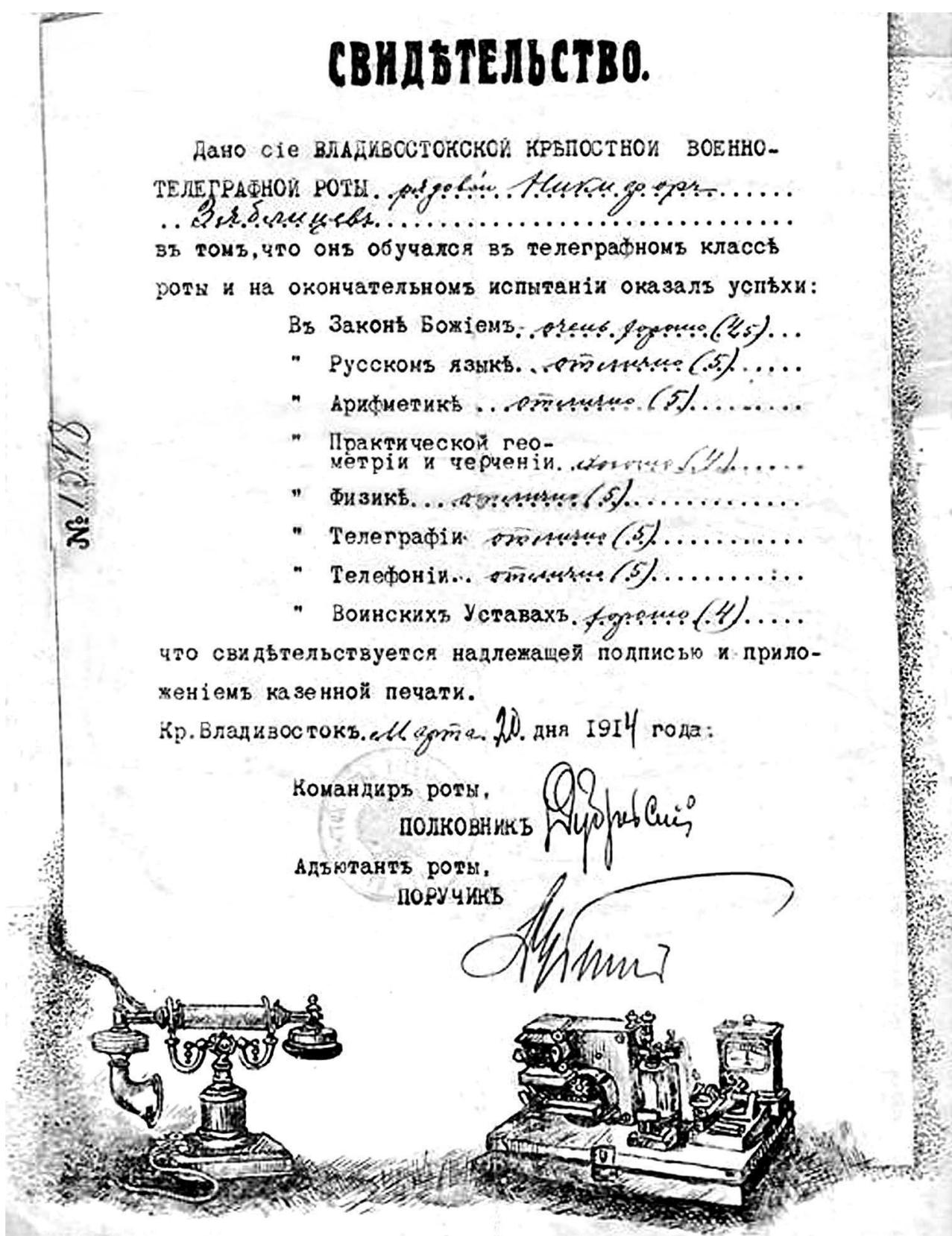


Рис.17. Свидетельство об окончаніи Владивостокскихъ телеграфныхъ курсовъ 1914 г.
Фото из [4]



Рис.18. Свидетельство об окончании курсов радиотелеграфистов Омского ДОСААФ 1961 г



Рис.19. Диплом радиста Иртышского речного пароходства МРФ 1979 г

С появлением беспроводного телеграфа им оборудуются мощные правительственные радиостанции, военные корабли и крупные морские лайнеры.

Мощность передатчика могла быть несколько киловатт, и она манипулировалась ключом перед антенной. Металлические части ключа могли быть смертельно опасными.

Так на ручке ключа появилась «юбочка», служащая ограждением от металла, а вовсе не для удобства руки оператора.



*Военно - морской ключ США для искровых передатчиков. Модель 68А.
Конец 1890-х - начало 1900-х г.г.
Большие серебрянные контакты.
“Юбочка” на ручке защищала радиста от высокого напряжения.
Продавался на E-Bay за US \$1 500,00*

Рис.20 Фотография «военно-морского» ключа (США) с защитной «юбочкой» искрового передатчика



Ключ крейсера "Аврора"

*из: центральный военно-морской музей
[http //www.qth.spb.ru/modules.php?name=coppermine&file=displayimage&album=7&pos=0](http://www.qth.spb.ru/modules.php?name=coppermine&file=displayimage&album=7&pos=0)*

Рис.21. Фотография ключа крейсера «Аврора»



Рис.22. Ключ фирмы Маркони

Ключ фирмы Маркони, подобный тому, что был на «Титанике». Имеет аварийный выключатель (рубильник) на левой стороне, который использовался, чтобы прервать (в частности, с помощью веревки к другому оператору, перекинутый через блок с потолка) ВЧ цепь, если контакты сварятся высокими токами, а радист сам попадёт под напряжение. [10]

Один из сильнейших телеграфистов США начала 20 века, Горас Мартин (Horace G. Martin) выяснил, что существует спрос на небольшой, простой, портативный передающий механизм, который бы сохранил достоинства, но не недостатки старого ключа Морзе. Он много экспериментировал, и в 1904 г. получил патент на изобретение, которое назвал «Vibroplex». [1]

И это был прорыв! Стоит коснуться манипулятора, и передаётся серия точек за счёт вибрации грузика-маятника на вертикальной плоской пружины. Скорость вибрации меняется перемещением грузика на оси, являющейся продолжением плоской пружины. Точки снимаются через U-образный контакт, а тире выводятся в ручную, как на «пиле».

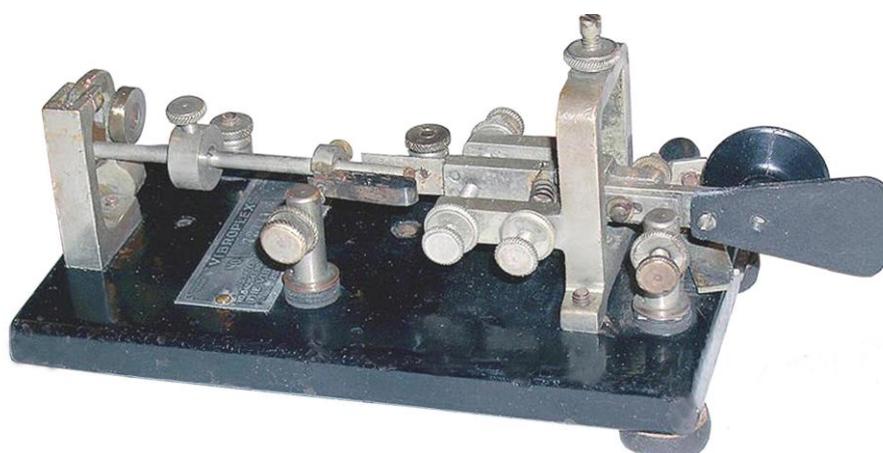


Рис.23. Ранний Vibroplex-Original и логотип 1921г.

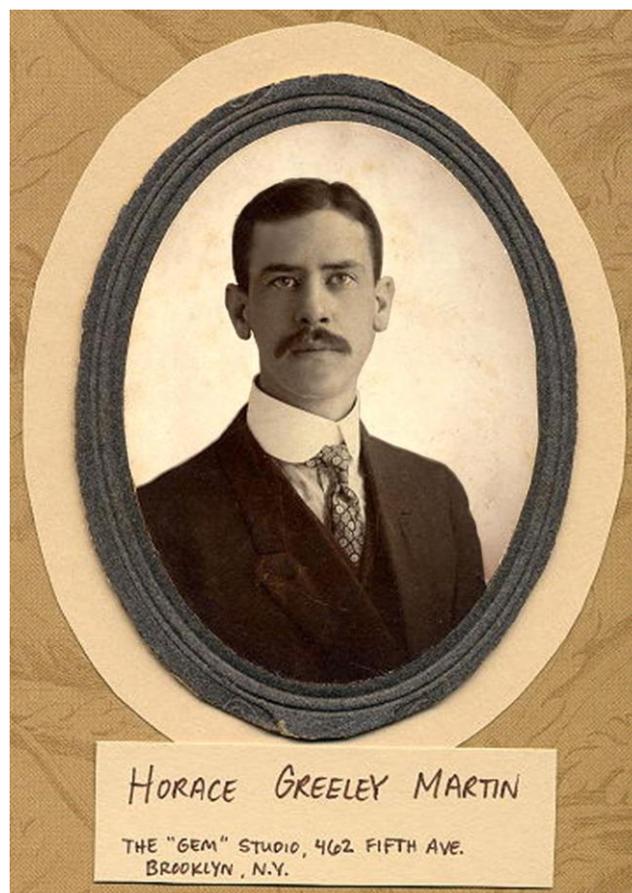


Рис.24. Горас Мартин

На таком полуавтоматическом механическом ключе операторы при некоторой сноровке легко могли передавать скорость знаков 200-300 в минуту. Но качественное соотношение тире к точкам как 3 : 1 получить сложно, обычно операторы на таком ключе затягивают тире, тогда почерк становится тяжело читабельным. Хотя всё дело в практике.

В 1921 году появился новый логотип торговой марки виброплекса – в овале жук (bug). С тех пор механические полуавтоматические телеграфные ключи даже других производителей стали называть bug.

Известный российский коллекционер телеграфных ключей Валерий Пахомов, УАЗАО по пятницам собирает любителей механических полуавтоматов пообщаться на них в любительском эфире, на так называемом bug-net.

А идея не осталась незамеченной. На рынке начали появляться другие производители, выпускающие полуавтоматические и даже автоматические механические ключи. Изменялись конструкции, юридически вводились новые модели. Мартин и его деловой партнёр Олбрайт успешно подавали в суд. В итоге многие из моделей были лицензированы за отдельную плату. [15]

Мекограф. William Coffe запатентовал полуавтоматический ключ “Mecograph” в то же время, что и Мартин свой виброплекс. Мартин подал в суд, и проиграл, поскольку механизмы слегка отличаются, а запатентованы в одно время.



Рис.25. полуавтоматический ключ «Мекограф» Вильяма Кофе

Automorse

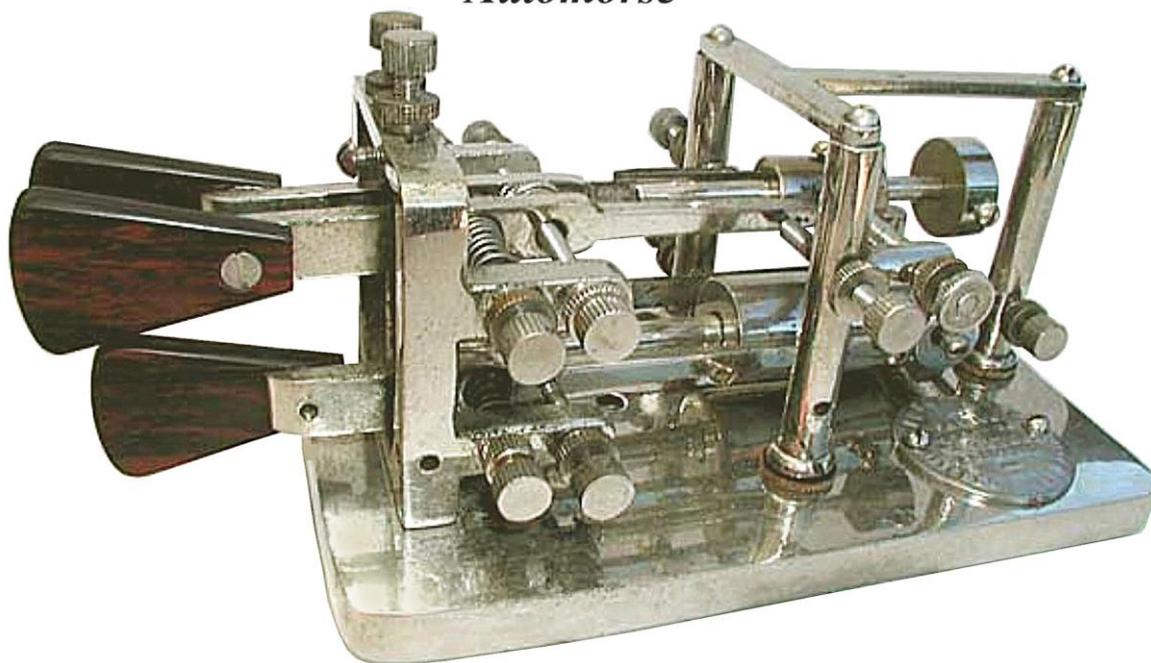


Рис.26. Полностью автоматический механический ключ “Automorse”

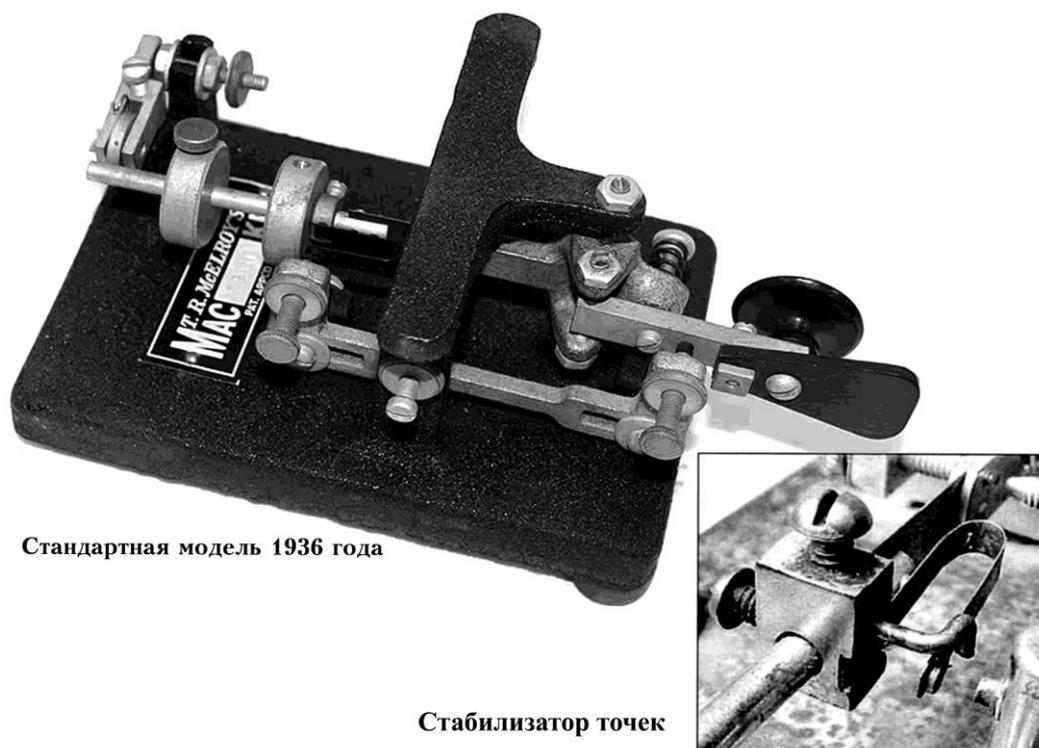
Этот сложный ключ имеет три рычага, которые позволяют использовать его в качестве полного автоматического, полуавтоматического, и “sideswiper” «пила» ключа. Изобрёл австралийский телеграфист Norman Percy Thomas в 1918 г. [10, 11].

Огромный след в развитии телеграфных ключей оставил Теодор Рузвельт Мак Элрой (Theodore Roosevelt McElroy), неоднократный чемпион в соревнованиях по скоростному приёму. В конце 30-х Мак Элрой много путешествовал по стране с демонстрацией возможностей скоростного приёма сообщений, передаваемых кодом Морзе. Его излюбленным трюком было прекратить запись передаваемого на большой скорости текста, выпить стакан воды, и продолжить запись на машинке, ни сделав при этом ни одного пропуска!



Рис.27. Теодор Рузвельт Мак Элрой (Theodore Roosevelt McElroy)

В 1934 г Тэд начал свой бизнес по производству телеграфного оборудования. Лучшим из его ключей была модель 1936 года. Основание и стойки вылиты, как одна деталь, это был массивный ключ, который редко требовал дополнительной настройки. Одним из множества совершенствований, сделанных Мак Элроем, был стабилизатор точек. Маленькое устройство, закреплённое на шпильке маятника, слегка поджимало U-контакт, что исключало его дребезг и улучшало качество передаваемых точек. [1],[13]



Стандартная модель 1936 года

Стабилизатор точек

Рис.28. Модель полуавтоматического ключа Мак Элроя 1936 года и стабилизатор точек

В Советском Союзе подобные полуавтоматы в ограниченном виде выпускал московский завод «Электроточприбор».

У гражданских радистов (моряков, речников, геологов) всегда ценился красивый персональный почерк. Для военных радистов большое значение имеет не просто качественный почерк, а практически без индивидуальных особенностей, как автоматический. Ведь если военный радист с определённым почерком работал с одного местонахождения, а потом вдруг с другого, то противник мог делать определённые выводы.

В СССР после некоторых исследований стали устанавливать вторую ручку для полуавтоматических ключей спецслужб, которая позволяла передавать последовательность «тире» с равномерностью, близкой к автоматической передаче.

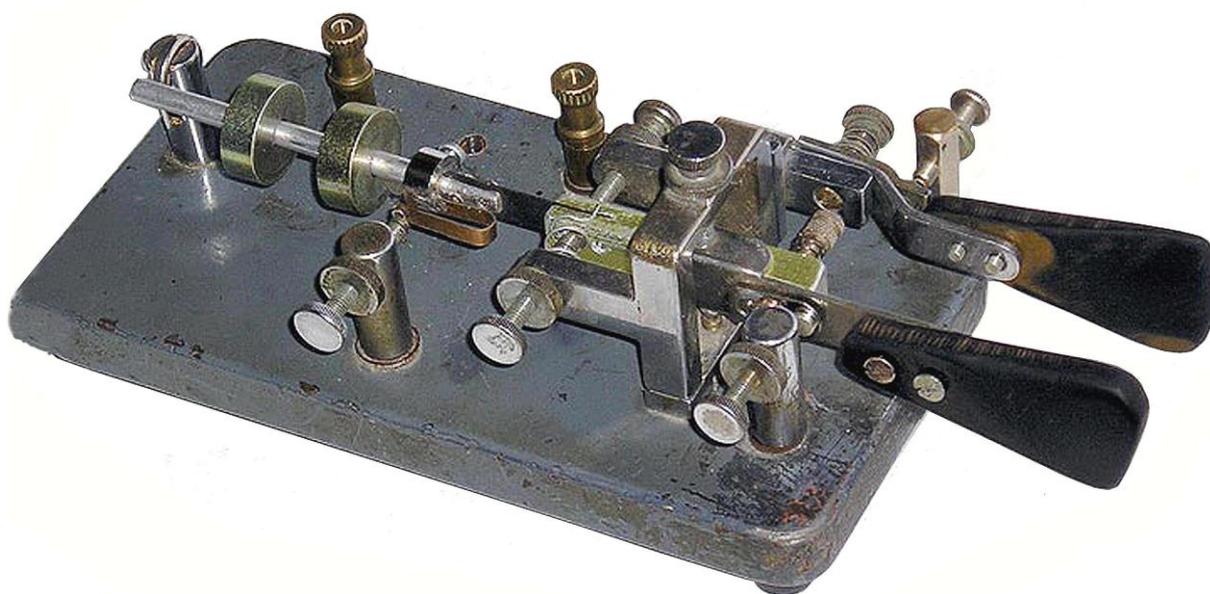


Рис.29. «Двурукий» полуавтомат спецслужб

Такие «двурукие» полуавтоматы эффективно применялись в спецрадиослужбах СССР до конца 80-х гг. [1]

Во время войны требовались такие устройства для работы кодом Морзе, которые могли обеспечить скрытность ведения радиопередач и скорость. Особую значимость это приобрело во время работы с территориями, подконтрольных противнику.

Самое простое устройство, которое отвечало в некоторой мере этим требованиям – это «спичка». Название своё оно получило из-за внешнего сходства латунного щупа со спичкой и способа передачи чирканьем. Передавались только короткие цифровые сообщения. Для передачи цифры достаточно было быстро чиркнуть щупом по соответствующей канавке.

Скорость передачи отдельно взятой цифры могла достигать 1000 знаков в минуту. [1]



Рис.30. «Спичка»

Ключи редко изготавливались просто так, обычно они шли в комплекте с радиостанцией, и выполняли вместе с ней свои специфические задачи.

WITP: Немецкий первой мировой войны авиационный ключ. От искры герметизированные маслом контакты. Имеет очень высокую и толстую ручку, которая была проста для использования радистов в авиационных толстых перчатках при низких температурах на больших высотах в открытой кабине самолёта.



Рис.31. Авиационный ключ (Германия, первая мировая война)

Ключ для корабельного прожектора. США

Military Type J-51



Рис.32. Ключ для корабельного прожектора (США)

Для морского флота изготавливались специальные ключи для манипулирования морзянкой прожекторов. На море такая связь возможна в пределах прямой видимости, но известны случаи, когда сигнальщики кораблей проводили связь и вне прямой видимости – отражением сигналов прожектора от облаков.[1] А провод между прожектором и ключом с оператором делали длинный, поскольку прожектор – лёгкая мишень. [10]

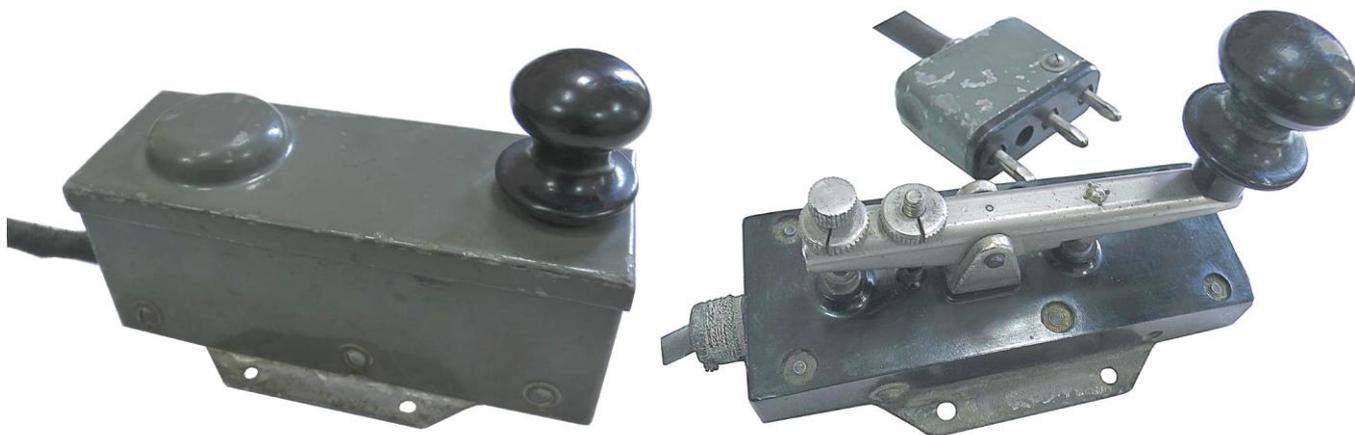


Рис.33. Ключ из комплекта радиостанции «10РТ

Ключ из комплекта радиостанции «10РТ», с 1942 г выпускал Омский приборостроительный завод им. Козицкого. Устанавливался на САУ, танках Т-34-85 и Т-44. Пристёгивался лямками к ноге радиста. Фото сделано автором в Омском музее воинской славы.



Рис.34. Телеграфный ключ из кабины тренажёра космического корабля «Восток», на котором проходили подготовку Ю. Гагарин и Г. Титов.
Фото автора в музее космонавтики в Москве

С развитием радиотехники появились полностью автоматические электронные ключи, где в качестве манипулятора используется простой механизм типа той же «пилы», либо более сложный, с различными регулировками.



*Ключ ЭКМ-3
электронный,
морской, советский,
конец 1970-х - начало 1980-х.
Есть реверс точек - тире и
регулировка тона и громкости
самоконтроля.*

Рис.35. Морской автоматический электронный ключ ЭКМ-3. СССР.

Затем появились клавиатурные датчики Морзе, которые широко используются в армии.



Рис.36. Клавиатурный датчик Морзе Р-010

Сейчас с небольшими доработками можно легко подключать клавиатуру от компьютера, как датчик кода Морзе. Существуют как устройства, так и программы Морзе ридеры, читающие автоматически переданный телеграф. (Fldigi, cw skimmer, mixw, cwget). Но ручной, даже качественный почерк не всякая программа может читать.

В 90-х годах 20 века с появлением компьютеров, интернета, сотовых телефонов и спутниковой связи необходимость в радиосвязи и телеграфной передаче данных резко сокращается.

Но в стороне от цивилизации радио является единственным легко доступным средством приёма и передачи информации. На флоте, в войсках продолжают использовать коротковолновую связь. И обучение азбуке Морзе, как надежного резервного средства связи продолжается в нашей стране до сих пор. В частности, в институте военно-технического образования при военной кафедре ОмГТУ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пахомов В.А. «Ключи, соединившие континенты» М. Люберецкое информагенство 2013
- [2] Гердович О.А. На связи Омск Омское книжное издательство 2002 г
- [3] «Телеграфные ключи - два века истории» adionostalgia.club/Articles/Telegraph/key.html
- [4] http://www.belovo42.ru/city/kraevedenie/Zemlya_Belovskaya/
- [5] Меркулов В. «Изобретение радио. Кто был первым?»
- [6] Википедия
- [7] «Преодоление медленности, или Немецкий соавтор азбуки Морзе» - <http://www.dw.com/ru/>
- [8] <http://mib55.livejournal.com/215743.html>
- [9] «Рассказ о том как появилось радио» <http://radiostorage.net/?area=news/1665>
- [10] <http://w1tp.com/im8000b.html> , <http://w1tp.com/iperkco2.htm>
- [11] The frustrakian telegraph office by Ron McMullen <https://australiantelegraph.wordpress.com/contents>
- [12] Horace G. Martin <http://www.telegraph-history.org/horace-g-martin/hgmp1.htm>
- [13] Theodore Roosevelt McElroy <http://www.telegraph-office.com/pages/mcelroy.html>
- [14] «К вопросу о возникновении телеграфа» Г. Члиянц (UY5XE)
- [15] <http://www.zianet.com/SPARKS/index.html>
- [16] «Первые опыты на коротких волнах в СССР – России». Валентин Иванов - RX1AG http://rx1ag.narod.ru/HISTORY/R1FL/r1fl_rh_01.htm
- [17] Ходов В.В. «Дороги за горизонт» М. Мысль 1981

Вадим Валентинович Баландин, UA9MCM, БОДУ «Омская областная станция юных техников» (ДДТ «Нефтяник»)

Варианты исполнения антенн СВ диапазона для приводных радиомаяков

А. П. Валл, инженер-конструктор, аспирант

В данной работе рассмотрены различные варианты построения антенн приводных радиомаяков их достоинства и недостатки. Так же проведён анализ путей улучшения массогабаритных и электрических характеристик антенн СВ диапазона частот.

Ключевые слова: антенна зонтичного типа, антенна мачта, согласующие цепи, статическая ёмкость антенны, входной импеданс, диаграмма направленности.

Для ближнего (до 50 км) и дальнего (до 150 км) радиопривода самолётов и вертолётов применяют радиомаяки, работающие в диапазоне частот от 150 до 1750 кГц. Для обеспечения радиолинии протяжённостью до 150 км в данном диапазоне частот используют поверхностные (земные) волны. Антенны применяемые в радиомаяках должны иметь круговую диаграмму направленности в азимутальной плоскости максимум которой прижат к плоскости земли. Для предотвращения замираний в точки приёма вследствие интерференции земной и ионосферной волн диаграмма направленности в угломестной плоскости должна иметь провал в высоких углах излучения.

К антеннам, используемых в приводных радиомаяках, предъявляются следующие основные тактико-технические требования:

1) Уровень напряжённости вертикальной составляющей электромагнитного поля на высоте 1000 м над поверхностью земли на расстоянии 150 км от места размещения антенны должен быть не менее 50 мкВ/м.

2) Величина подводимой к антенне мощности от 500 до 1000 Вт.

Наиболее часто применяемой антенной является Т-образная проволочная антенна, внешний вид которой приведён на рисунке 1.

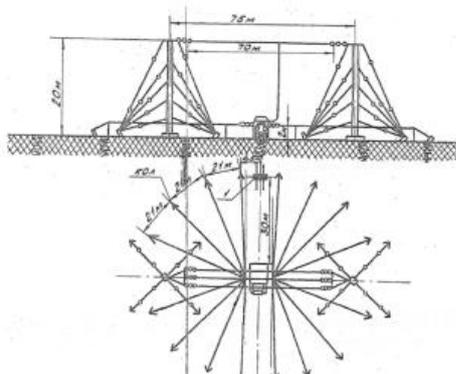


Рис. 1. Внешний вид Т-образной антенны.

Излучающая часть представляет собой вертикальный провод (систему параллельно соединённых проводов) нижний конец которого подключается к согласующему устройству радиопередающего устройства, а верхней к центральной точки емкостной нагрузки. Емкостная нагрузка представляет собой

горизонтально расположенное полотно, состоящее из нескольких параллельно соединённых проводов. Полотно емкостной нагрузки растягивается между двумя мачтами, высота которых составляет 20 метров, расстояние между мачтами 20 метров.

В последнее время в приводных радиомаяках широкое применение получили антенны мачты с верхней емкостной нагрузкой. Излучающим элементом в данном типе антенн является мачтовое устройство, установленное на изоляторе. Для повышения эффективности в верхней части излучающего элемента устанавливается емкостная нагрузка. На рисунке 2 приведён пример антенн мачт с верхней емкостной нагрузкой.

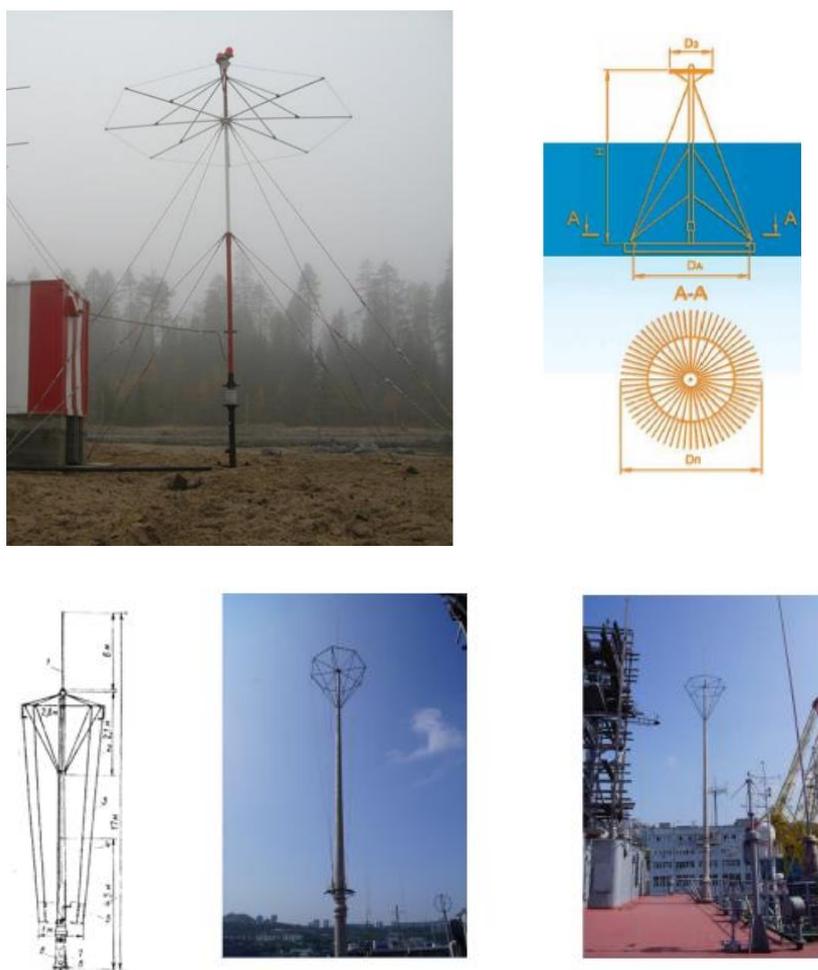


Рис. 2. Антенны мачты с верхней емкостной нагрузкой

Основные недостатки СВ антенн используемых в приводных радиомаяках

1) Высокий уровень напряжения на входном изоляторе. При величине подводимой мощности 500-1000 Вт уровень напряжения на входе антенны достигает величины равной 20 кВ.

2) Полоса пропускания в нижней части диапазона рабочих частот менее 3 кГц вследствие чего требуется постоянная подстройка антенны на резонансную частоту. Узкая полоса пропускания ограничивает возможность применения

данных антенн для передачи речевых сообщений (ширина спектра речевых сообщений 3,1 кГц).

3) Большая площадь, требуемая для монтажа и наличие оттяжек, что не приемлемо для антенн, устанавливаемых на надводных кораблях.

Уменьшения масса-габаритных характеристик и снижения уровня напряжения на входном изоляторе можно достичь путём параллельного включения сосредоточенной ёмкости в точки подключения антенны (Рисунок 3).

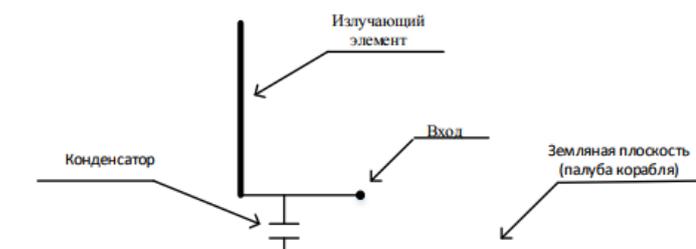


Рис. 3. Антенна со встроенной сосредоточенной ёмкостью

Сосредоточенная емкость, установленная на входных зажимах, шунтирует входной импеданс антенны, вследствие чего снижается эффективность и уменьшается полоса пропускания.

Для расширения рабочей полосы излучателя могут быть применены согласующие устройства, которые дополняют эквивалентную схему антенны до схемы полосового фильтра, причем полоса пропускания фильтра больше рабочей полосы излучателя. Излучатель может быть представлен в виде RLC-контура, элементы которого в свою очередь являются элементами полосового фильтра. Тип фильтра и его элементы подбираются таким образом, чтобы обеспечить согласование сопротивления антенны R с волновым сопротивлением фидера или согласующего трансформатора в максимально широкой полосе. Схема согласования приведена на рисунке 4.

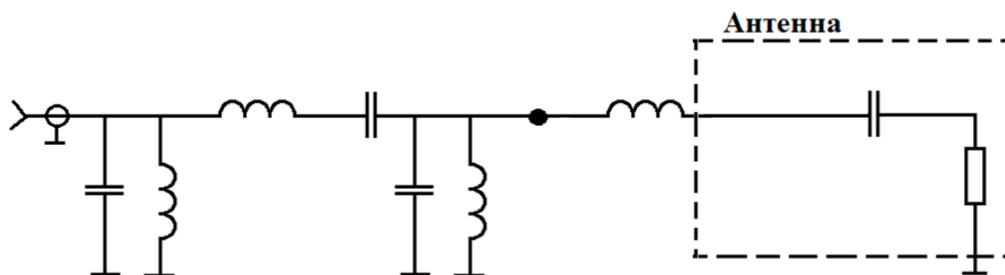


Рис. 4. Схема согласования на основе полосовых фильтров.

Результаты моделирования излучателя с обычным согласующим устройством и согласующим устройством построенного на основе полосовых фильтров приведены на рисунке 5.

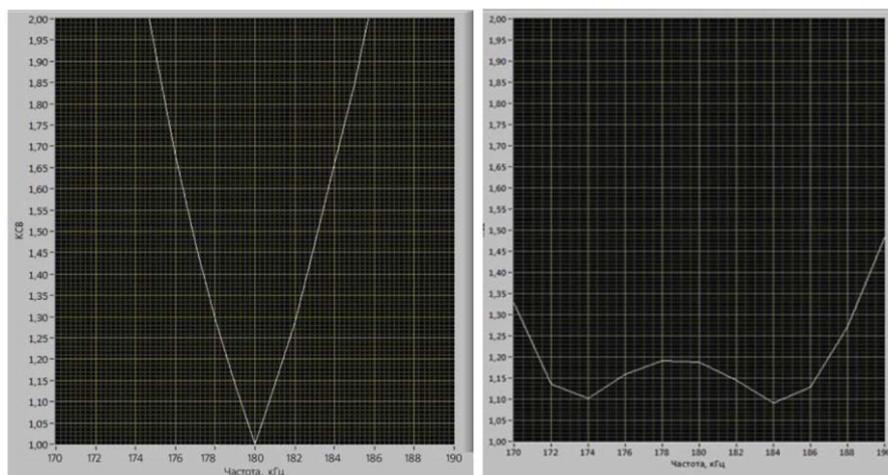


Рис. 5. КСВН антенны с разными типами согласующих устройств.

Таким образом, при незначительном усложнении согласующего устройства может быть обеспечено расширение полосы в два и более раза, что позволяет применять данные антенны не только в качестве приводных радиомаяков, но и в качестве связных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Судовые антенны / М.В. Вершков – 5-е изд, перераб. и доп. – С-П.:2008. - 416 с, ил.
- [2] Р.М. Фано «теоретические ограничения полосы согласования произвольных импедансов». – М.: Советское радио, 1965 – 67с.
- [3] Маттей Д.Л., ЯнгЛ., Джонс Е.М.Т «Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, т.1», М.: Связь, 1971 – 438с.
- [4] Balanis Constantine A. «Antenna theory. Analysis and designs» 2016. 4th edition John Wiley & Sons, Ltd.

Андрей Петрович Валл, инженер конструктор АО «ОНИИП», аспирант ОмГУ им. Ф.М. Достоевского.

Интеллектуальный миникомпьютер «ZETTA-10»

А. В. Иванов учащийся

Ю. В. Калижников, педагог дополнительного образования

В повседневной жизни мы часто встречаемся и пользуемся высокотехнологическим оборудованием, в которое входят телефоны, компьютеры, телевизоры и многое другое. Использование такого оборудования стало неотъемлемой частью нашей жизни. Есть люди, которые разбираются и создают подобные системы. Для создания подобных систем нужны наукоемкие знания и опыт работы с менее сложными системами. Люди, создающие подобные проекты, как правило, имеют высшее образование. Высокотехнологическое оборудование редко создаётся в одиночку, над ними может работать целое предприятие или институт. Возникают вопросы: «Может ли человек в одиночку создать высокотехнологическое оборудование?», «Будет ли стоимость самодельного оборудования превышать стоимость аналогов на рынке?» и «Самодельное оборудование будет иметь преимущества или недостатки по сравнению с аналогами?». Данные вопросы ещё долго останутся актуальными и будут зависеть от окружающей среды и внутренней экономики. Ответы на эти вопросы помогут в дальнейшем, создавать более практичные изделия, а также узнать возможности человека, имеющего цель.

Целью данной работы является изучение возможностей изготовленного компьютера «Zetta-7» с целью создания более функционально расширенного модуля.

Задачи работы:

- Провести анализ существующей проблемы.
- Изучить перспективы использования функций разрабатываемого компьютера.
- Изготовить опытный образец отладочного модуля и проверить функциональные возможности различных датчиков и устройств.

В Zetta 10, как и любом современном вычислительном устройстве, используются электронные компоненты, которые объединены в модули. Существует 2 типа модулей. Если убрать один модуль первого типа из системы, то вся система будет неработоспособна. Если мы уберём модуль второго типа, то какая-то часть в системе перестанет работать. В Zetta 10 многие модули взаимозаменяемы, но не все. Отладочный компьютер Zetta 10 в чём-то похож на обычный ПК. Рассмотрев устройство ПК, приведённое ниже, можно заметить похожее разбиение на модули.

Устройство ПК:

Материнская плата (Системная плата) - это плата, на которой устанавливаются основные компоненты компьютера, т.е. она содержит и согласует все устройства, которые находятся непосредственно на ней или установленные в её слоты (разъёмы);

Процессор (CPU) - самая главная микросхема, устанавливается на

материнскую плату;

Видеоплата - это блок, который отвечает за изображение на мониторе, именно к ней подключается монитор. В наше время высоких технологий этот блок не всегда располагается на отдельной плате, а может находиться на материнской плате и процессоре;

Звуковая плата - это блок, который отвечает за многоканальный вывод звука на колонки, работу с микрофоном и линейным входом. Эта плата в современных компьютерах интегрирована в материнскую плату. Если функций интегрированной платы недостаточно, то можно установить отдельную с более широкими возможностями по работе со звуком;

Сетевая плата - это блок, который отвечает за обмен информацией между компьютерами по компьютерной сети. Эта плата обычно интегрирована в материнскую плату, и можно при необходимости установить дополнительную;

Память ОЗУ - (ОЗУ - оперативно запоминающее устройство) это память, которую используют запущенные программы для решения своих задач;

Видео память - это память на видеоплате, которая используется при обработке данных выводимых на монитор;

Диски - это, в некотором понимании, тоже память, но намного медленнее тех, что рассмотрены выше и используется для хранения данных в виде файлов (см. ниже). Диски бывают съёмные, несъёмные. Для съёмных дисков на компьютер устанавливают дисководы. Дисководы бывают для гибких дисков (дискет или флоппи дисков) и для лазерных дисков. Несъёмный диск называют Винчестер или HDD (Hard Disk Drive - накопитель на жестких магнитных дисках, НЖМД, жесткий диск, "винт", "хард");

Периферийные устройства (ПУ) – периферийными или внешними устройствами называют устройства, размещенные вне системного блока: принтеры, сканеры, модемы и др.

Периферийные устройства, как правило, подключаются к портам материнской платы:

COM - Последовательный порт;

LPT - Параллельный порт;

USB - USB (англ. Universal Serial Bus – «универсальная последовательная шина») – последовательный интерфейс передачи данных для периферийных устройств в вычислительной технике.

PS/2 - тип порта компьютера «IBM PS/2» для подключения клавиатуры и мыши;

Монитор – устройство, предназначенное для визуального отображения информации;

Компьютерная клавиатура – одно из основных устройств ввода информации от пользователя в компьютер. Стандартная компьютерная клавиатура, также называемая клавиатурой PC/AT или AT-клавиатурой (поскольку она начала поставляться вместе с компьютерами серии IBM PC/AT), имеет 101 или 102 клавиши. Расположение клавиш на AT-клавиатуре подчиняется единой общепринятой схеме, спроектированной в расчёте на английский алфавит;

Манипулятор «мышь» (просто «мышь» или «мышка») — механический манипулятор, преобразующий механические движения в движение курсора на экране.

Программная часть

В отличие от ПК, где действия выполняет один процессор, Zetta 10 имеет 7 модулей, которые содержат контроллеры и схемы для их питания. Процессор ПК соединён с оперативной памятью, в Zetta 10 не существует единой оперативной памяти. Каждый контроллер имеет свою оперативную память. Также в Zetta 10 нет единой долговременной памяти. Отладочный компьютер, далее ОК, работает за счёт распределения нагрузки между контроллерами. И любой контроллер может запросить у другого любые данные из всех видов памяти. Один контроллер может обратиться к другому контроллеру не только напрямую, но и через другой контроллер, а также через ПК. Максимальное количество переадресаций – 21. Есть один главный контроллер, он взаимодействует с пользователем и имеет высший приоритет при запросе информации с других контроллеров.

В ОК есть 2 интерпретируемых языка программирования. Zetta Auto System Core – язык является частью «Умного Ядра», именно на этом языке общаются контроллеры между собой, данный язык похож на ассемблер, в нём порядка 200 функций, каждая ссылка на функция (команда языка) занимает 3 байта. Zetta Operated High Speed поддержку этого языка имеет только главный контроллер, язык исполняет программы написанные пользователями.

«Умное Ядро» – результат усердной работы 5 месяцев. Оно объединяет всю систему Zetta 10. Благодаря нему контроллеры выполняют свою работу. «Умное Ядро» превращает отдельные контроллеры с разной тактовой частотой и разрядностью в единый процессор.

ОС Zetta10 classic – операционная система. Она построена на «Умном Ядре». Операционная система является интерфейсом между Zetta10 и пользователя, также ОС позволяет работать в двух режимах, многозадачный и режим, в котором одновременно будет работать только одна программа. Из окна операционной системы можно выбрать программы для запуска.

Nativ – программы выполняемые аппаратно.

Как и на обычном ПК, в Zetta 10 вы можете выбирать и запускать программы. Изначально существовали только nativ программы – программы созданные и записанные в контролер авторами, но теперь пользователи сами могут писать программы на интерпретируемом языке Zetta Operated High Speed. Интерпретируемые программы запускаются с карты памяти или специального чипа.

Память: EEPROM, FLASH и RAM.

Большинство современных микроконтроллеров имеют Гарвардскую архитектуру и содержат 3 вида памяти: память программ FLASH, оперативная память (ОЗУ) SRAM (Static RAM), энергонезависимая память данных EEPROM.

Адресные пространства указанных видов памяти, как правило, разделены.

Способы адресации и доступа к этим областям памяти также различны. Такая структура позволяет центральному процессору работать одновременно как с памятью программ, так и с памятью данных, что существенно увеличивает производительность. Каждая из областей памяти данных (SRAM и EEPROM) также расположена в своем адресном пространстве.

Память программ. Память программ представляет собой электрически стираемое ППЗУ (FLASH) и может поддерживать команды с разрядностью больше 8 бит. Память программ чаще всего является электрически перепрограммируемой, количество циклов перезаписи превышает 10 тысяч. Большинство микроконтроллеров поддерживают внутрисхемное программирование, т.е. загрузку программы в микроконтроллер можно осуществлять после монтажа на плату посредством специального разъема программирования.

В памяти программ также находится вектор сброса - в момент подачи питания микроконтроллер начинает выполнение программы с этого адреса, и здесь размещается команда перехода к началу исполняемой программы. Кроме того, память программ содержит таблицу векторов прерываний. При возникновении прерывания после сохранения в стеке текущего значения счетчика команд происходит выполнение команды, расположенной по адресу соответствующего вектора. Поэтому по данным адресам располагаются команды перехода к подпрограммам обработки прерываний. Положение вектора сброса и таблицы векторов прерываний может быть перенесено из секции прикладных программ в секцию загрузчика.

В некоторых случаях память программ может использоваться не только для хранения кода программы, но и для хранения различных констант.

Оперативная память. Оперативная память, как правило, содержит 3 области: регистры общего назначения, служебные регистры, память для хранения данных.

Регистры общего назначения (РОН) находятся в непосредственной близости к АЛУ. Однако в микроконтроллерах некоторых фирм (в частности, PIC фирмы Microchip) имеется только один рабочий регистр, играющий роль одного из операндов в командах.

Применение набора регистров общего назначения в сочетании с конвейерной обработкой позволяет АЛУ выполнять одну операцию (извлечение операндов из набора регистров, выполнение команды и запись результата обратно в регистр) за один такт.

Служебные регистры имеют свои имя, адрес и назначение. Они предназначены для конфигурации и обслуживания периферийных узлов микроконтроллера. Краткая характеристика служебных регистров должна быть приведена в руководстве по использованию микроконтроллера (Data Sheet).

Среди служебных регистров есть, как правило, один регистр, используемый наиболее часто в процессе выполнения программ. Это регистр состояния. Он содержит набор флагов, показывающих текущее состояние микроконтроллера. Большинство флагов автоматически устанавливаются в «1» или сбрасываются в «0» при наступлении определенных событий (в

соответствии с результатом выполнения команд). Все биты этого регистра доступны как для чтения, так и для записи. Эта информация анализируется при выполнении условных переходов. При возникновении прерываний содержимое регистра состояния необходимо сохранять программно (чаще всего это является "заботой" компилятора).

Остальная часть оперативной памяти предназначена для хранения пользовательских данных.

Энергонезависимая память. Энергонезависимая память данных (EEPROM) организована таким образом, что содержимое каждого байта отдельно может быть считано или записано. Количество циклов перезаписи энергонезависимой памяти превышает 100 тысяч. Энергонезависимая память предназначена для хранения настроек и конфигурации программы, то есть тех данных, которые должны сохраняться при пропадании питания.

Внешняя память

Несмотря на огромные преимущества использования внутренней встроенной памяти, в некоторых случаях необходимо подключение к микроконтроллеру дополнительной внешней памяти (как памяти программ, так и данных). Существует два основных способа подключения внешней памяти. Первый способ - подключение внешней памяти к микроконтроллеру, как к микропроцессору. Многие микроконтроллеры содержат специальные аппаратные средства для такого подключения. Второй способ состоит в том, чтобы подключить память к устройствам ввода-вывода и реализовать обращение к памяти через эти устройства программными средствами. Такой способ позволяет использовать простые устройства ввода-вывода без реализации сложных шинных интерфейсов. Выбор наилучшего из этих способов зависит от конкретного приложения.

В Zetta 10 предусмотрено подключение внешней памяти и дополнительных контроллеров, для расширения возможностей. Внешней памятью ОК может быть карта памяти, чип 24lc***, w25q80bv. Но внешняя память не используется для хранения native программ. Подключаемая память может превышать объём собственной памяти.

Несмотря на то, что EEPROM не предназначен для хранения в памяти программ, Zetta Operated High Speed может исполнять программу из EEPROM.

Контроллеры

После написания программы для контроллера на компьютере, программу необходимо загрузить память контроллера. Существует несколько способов загрузки программы в контроллер. Первый способ загрузки в контроллер – это с помощью программатора. Это самый эффективный способ. Второй способ — это загружать программу через бутлоадер. Этот способ менее эффективный, но более простой.

Бутлоадер – это изначально зашитая маленькая программа, располагающаяся где-то в конце флеш-памяти, которая может установить связь с внешним компьютером и загрузить обновление основной прошивки по любому каналу связи. При сбросе или старте микроконтроллера, сначала запускается программа бутлоадера. Бутлоадер проверяет наличие условий на

принудительный запуск программы загрузки. Таких условий три:

1) если управление на программу бутлоадера было передано из основной программы;

2) если загрузка прошивки не была завершена должным образом;

3) если при запуске выполняется некоторое внешнее условие (определённый логический уровень на одной из ножек, или перемычка между парой ножек).

Программатор – это аппаратно-программное устройство, предназначенное для записи/считывания информации в постоянное запоминающее устройство.

Многие модули из Zetta 10, содержащие контроллеры, программируются на языке Arduino и имеют бутлоадер, из-за чего существует потеря в производительности.

Arduino

Arduino — торговая марка аппаратно-программных средств для построения простых систем автоматики и робототехники, ориентированная на непрофессиональных пользователей. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратная часть представляет собой набор смонтированных печатных плат, продающихся как официальным производителем, так и сторонними производителями. Полностью открытая архитектура системы позволяет свободно копировать или дополнять линейку продукции Arduino.

Arduino может использоваться как для создания автономных объектов автоматики, так и подключаться к программному обеспечению на компьютере через стандартные проводные и беспроводные интерфейсы.

Контроллер с программой, написанной на Arduino работает медленнее в сравнение с аналогичной программой, которая написана в CodeVisionAVR на C++.

В современной, повседневной жизни мы используем высокотехнологичное оборудование. Для выполнения ряда задач нам необходимы дополнительные приборы и устройства, с помощью которых мы придем к поставленной цели. Но такие приборы и устройства не всегда доступны по ряду причин: цена, ограниченный допуск к использованию или такого оборудования вообще не существует.

Целью проекта было создание высокотехнологичного оборудования, которое помогало бы при разработке следующих проектов. Для этих целей был создан отладочный стенд для программирования на базе процессора ARDUINO., названный «Zetta-10».

«Zetta-10» – это интеллектуальный миникомпьютер на базе процессора Arduino имеющий выходы для подключения различных датчиков, сенсоров, отдельных модулей.

Все составляющие «Zetta-10» находятся в одном корпусе. Входное напряжение питания $U=5В$. Система имеет небольшое тепловыделение. Вентиляторы в ней отсутствуют, что делает её практически бесшумной. Стандартный ввод данных осуществляется через матричную клавиатуру. После

включения, пользователь должен авторизоваться, введя пароль.

Миникомпьютер «Zetta-10» позволяет работать с несколькими программами, которые находятся в двухмерном массиве. Количество доступных программ, для авторизованного человека, зависит от статуса его учётной записи. Существует 4 вида учётных записей: пользователь, администратор, предприятие и создатель. Создание программ, редактирование операционной системы и ядра может осуществляться только из учётной записи создателя. Программное обеспечение «Zetta-10» активно дорабатывается.

Миникомпьютер «Zetta-10» должен уметь: хранить время и дату с календарём, измерять ускорение свободного падения, измерять собственную угловую скорость, измерять магнитную напряжённость, измерять температуру, измерять атмосферное давление, измерять влажность воздуха, генерировать частоту, измерять частоту, напрямую работать с SD картами (считывание-запись-стирание-уничтожение), напрямую работать с микросхемой 24L*** (считывание-запись-стирание-уничтожение), работать с RFID системой (считывание-запись-стирание), работать с IButton системой (считывание-перезапись), работать с IR системой (приём, передача), работать с Wi-Fi (приём, передача), работать с Bluetooth (приём, передача), работать по протоколу с 2G и 3G и GPS, узнавать о присутствии человека рядом с собой, измерять расстояние от своих боковых стенок, являться устройством USB ввода-вывода в ПК (клавиатура, мышь, джойстик, геймпад, консумер, MIDI, аудиоустройство, COM, RAW, mass storage), иметь Ethernet порт (http, ftp, Z10P), иметь VGA и TV выход с NTSC, принимать данные с подключённой USB и PS/2 (mimiDIN) клавиатуры.

Заключение

Zetta-10 – отладочный компьютер, имеющий много возможностей. Основная задача Zetta-10 – упрощение отладки различных устройств и управление системами, а также упрощение повседневной жизни. Создание Zetta-10 – это попытка создания одного инструмента для решения множества задач.

На данном этапе миникомпьютер имеет следующие возможности: может выполнять роль часов с календарём до 2100 года; измерять: гравитацию, вращение, магнитное поле; температуру, давление, влажность. Выполнять чтение и запись RFID меток; определять расстояние до 4 метров с точностью +/- 2 см; также позволяет работать с картами памяти, осуществлять редактирование информации на них; принимать информацию с инфракрасного пульта ДУ. Можно использовать функцию осциллографа; аудио-проигрывателя. Имеет полную совместимость с ПК, - компьютер определяет «Zetta-10», как джойстик, мышку, клавиатуру, геймпад, запоминающее устройство, аудиоустройство, usbRAW и COM порт. Миникомпьютер имеет usb host для подключения usb периферии; Ethernet вход.

Для графического экрана создан псевдотрёхмерный драйвер. В настоящее время разрабатываются драйвера телеметрии для WI-FI, Bluetooth, 433 МГц, GPS, GSM, 2.4ГГц.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Портал «pc-user.ru». Статья «Персональный компьютер, его представление и теория хранения информации в компьютере» http://www.pc-user.ru/view_post.php?id=99

[2] Блог Дмитрия Погребняка. Статья «UART-Бутлоадер для AVR размером 512байт» <https://www.drive2.ru/b/2878717/>

[3] Материал из Википедии – свободной энциклопедии «Arduino» <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino>

[4] Портал «Радиолобитель – Radio-stv.ru». Статья «Устройство микроконтроллера: АЛУ и организация памяти» <http://radio-stv.ru/mikrokontrolleri/ustroystvo-i-programmirovaniye-mikrokontrollerov-dlya-nachinayushhih/ustroystvo-mikrokontrollera-alu-i-organizatsiya-pamyati>

Арсений Витальевич Иванов, ученик 11 В класса (2016/2017 уч.г.), лицей №145, учащийся ДЮТ им. Ю.А. Гагарина

Юрий Владимирович Калижников педагог дополнительного образования ДЮТ им. Ю.А. Гагарина

Декодирование LDPC кодов

В. А. Зимбович, магистрант

Данная работа была посвящена рассмотрению LDPC кода. Рассматривалось его применение, преимущества, а также декодирование.

Ключевые слова: LDPC код, DVB-S2, проверочная матрица, модуляция, декодирование.

Коды с малой плотностью проверок на четность (LDPC-код от англ. Low-density parity-check code, низкоплотностный код) были впервые предложены Р. Галлагером и позднее исследовались во многих научных работах [1].

В течение долгого времени LDPC-коды были практически исключены из рассмотрения из-за сложности реализации алгоритма. Новая волна интереса к LDPC кодам возникла в ответ на открытие так называемых турбо-кодов. Это связано с тем, что, обладая малым минимальным расстоянием, коды с малой плотностью, тем не менее, обеспечивают высокую степень исправления ошибок при весьма малой сложности их декодирования.

LDPC коды становятся востребованными в системах передачи информации, требующих максимальной скорости передачи при ограниченной полосе частот [1]. Высокая вычислительная эффективность LDPC кодов заключается в использовании сильно прореженных проверочных матриц, тогда как энергетическая эффективность достигается за счет использования итеративных алгоритмов декодирования. В настоящее время LDPC коды широко применяются на практике в стандарте DVB-S2 [2].

DVB-S2 – это второе поколение стандарта для спутникового вещания, разработанное Комитетом DVB в 2003 году. В этом стандарте используются самые последние разработки в области канального кодирования (LDPC коды) в сочетании с различными форматами модуляции (QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK). Когда используются интерактивные приложения, такие как доступ в Интернет (Спутниковый интернет), имеется возможность применять адаптивное кодирование (Adaptive Coding & Modulation), оптимизируя, таким образом, параметры передачи для каждого пользователя в зависимости от условий приема. Стандарт DVB-S2 предусматривает использование четырех типов модуляции – QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK. Первые две используются в вещательных сетях. В них передатчики транспондеров работают в нелинейных режимах, близких к насыщению. Две другие используются, как правило, в профессиональных приложениях, но могут использоваться также и для целей вещания. В этом случае требуется более высокое соотношение сигнал\шум на приеме, а на передающей стороне должно использоваться предискажение сигнала, чтобы компенсировать нелинейность транспондера. Эти типы модуляций требуют больших затрат мощности, зато они дают большую эффективность по использованию спектра. По сравнению с предшественником DVB-S, DVB-S2 отличается улучшенной модуляцией 32APSK (амплитудная и фазовая манипуляция), увеличенной скоростью трафика и специальным транспортным механизмом для передачи IP-пакетов данных, включая потоки видео и аудио MPEG-4. DVB-S2

достигает гораздо лучшего использования полосы частот, нежели предшественники. Повышается максимальный битрейт на той же полосе частот спутника. Измеренная производительность DVB-S2 превышает DVB-S на 30% при прочих равных полосе частот и мощности передаваемого сигнала. В качестве внешнего кода в стандарте используется код Боуза-Чоудхури-Хоквингема, а в качестве внутреннего – LDPC код, который позволяет максимально близко подойти к пределу Шеннона для каналов с адаптивным «белым», гауссовским, шумом. Для достижения компромисса между излучаемой мощностью и спектральной эффективностью, в DVB-S2 предусматривается расширенное число скоростей кодирования (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 и 9/10) при различных форматах модуляции (QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK). Так, скорости кодирования 1/4, 1/3 и 2/5 были введены для работы в комбинации с QPSK модуляцией для наихудших условий связи, когда уровень сигнала ниже уровня шума[3].

Будем рассматривать полученную нами информацию как вектор $r=v+e$, где v – кодовое слово, e – вектор ошибок. Упрощенная блок-схема декодера приведена на рисунке 1:



Рис. 1. Упрощенная блок-схема декодера

Процедура декодирования состоит из следующих шагов:

1) Вычисляется синдром $S = rH$. В случае когда $S = 0$, вектор $e = 0$, следовательно $r = v$ и сигнал принят без искажений.

2) Для вычисленного синдрома S найти наиболее вероятный вектор ошибок e и вычесть его (по модулю два в двоичном случае) из принятого вектора.

Таким образом, декодирование в общем виде сводится к поиску решения уравнения $S = rH$.

Декодер вычисляет все проверки и затем изменяет бит на любой из позиций, содержащихся в большем некоторого заданного порога числе неудовлетворенных проверочных уравнений. Проверки снова вычисляются для новых значений символов и процесс продолжается, пока не удовлетворятся все проверки. Под выполненной проверкой понимается скалярное произведение вектора кодового слова на строку проверочной матрицы H равное 0.

Помимо нового класса кодов Р. Галлагер в своей работе предложил близкий к оптимальному алгоритм декодирования, названный им алгоритмом «распространения доверия» (алгоритм РД, АД, belief propagation – BP), также известного как алгоритм «сумма-произведение» (алгоритм СП, АСП, sum-product algorithm – SPA). Самым существенным недостатком предложенного Галлагером алгоритма является высокая сложность его реализации. Следует отметить

тот факт, что АД имеет вероятностное описание, однако, как указал Галлагер, возможна интерпретация в терминах логарифмических отношений правдоподобия (ЛОП, log likelihood ratios, LLR). Такой подход проще в реализации, за счет отсутствия необходимости в нормировании вероятностей на каждой итерации алгоритма, и алгоритм становится численно стабильнее.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gallager R.G. Low-density parity-check codes // Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1963.

[2] ETSI EN 302 307-1 V1.4.1 (2014-11) “Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1: DVB-S2”.

[3] DVB-S2 low density parity check codes with near Shannon limit performance Mustafa Ero, Feng Wen Sun and Lin-Nan Lee Hughes Network Systems, 11717 Exploration Lane, Germantown, MD 20876, U.S.A.

Валентин Анатольевич Зимбович, Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского, физический факультет, 644077, Омск, пр. Мира 55-А, valentin.zimbovich@mail.ru.

Наручный персональный микро-компьютер «SMACS»

Д. А Коваленко, учащийся

Ю. В. Калижников, педагог дополнительного образования

Карманный персональный компьютер (КПК, англ. *Personal Digital Assistant, PDA* — «личный цифровой секретарь») — портативное вычислительное устройство, обладающее широкими функциональными возможностями. КПК часто называют *наладонником* (англ. *palmtop*) из-за небольших размеров. Изначально КПК предназначались для использования в качестве электронных органайзеров. С «классического» КПК невозможно совершать звонки, и КПК не является мобильным телефоном, поэтому к настоящему времени классические КПК практически полностью вытеснены *коммуникаторами* — КПК с модулем сотовой связи и смартфонами.

В английском языке словосочетание «карманный ПК» (*Pocket PC*) является торговой маркой фирмы Microsoft, то есть относится лишь к одной из разновидностей КПК, а не обозначает весь класс устройств. Словосочетание *Palm PC* («наладонный компьютер») также является конкретной торговой маркой. Для обозначения всего класса устройств в английском языке используется аббревиатура *PDA*.

Эволюция дисплеев

К 1975 году калькуляторы уже были распространены по всему миру. Благодаря конкуренции среди производителей цены постоянно снижались, а функциональность увеличивалась. Основная проблема тех калькуляторов — большое энергопотребление, в основном из-за использования LED-дисплеев. Их конкурентами были жидкокристаллические индикаторы (*LCD*), которые появились в 1973-75 годах. Пионером в области *LCD* была японская фирма Sharp (бывшая *Hayakawa Electric*). Калькулятор того времени с LED-дисплеем работал от батареек всего пару часов, в то время как *LCD*-калькулятор — до 100. Но самое главное то, что *LCD*-дисплеи позволяли отражать произвольный рисунок. А произвольный рисунок — это текст и графика, а от них и недалеко до multifunctional устройств, способных не только считать цифры, рисунок 1.



Рис.1. Поколение «клавиатурников».

Флагманом производителей КПК является английская компания «Psion». В 1984 году она выпускает свой первый электронный органайзер (Psion Organizer 1) – революционное в своем роде устройство. Внешне он походил на "кирпичик" и умещался в ладони, имел процессор с тактовой частотой 0,92 МГц, 2 кб памяти и два гнезда для установки картриджей расширения, 16-символьный алфавитно-цифровой экран, 37-клавишную клавиатуру. В комплекте поставки присутствовал широкий круг программ – от органайзера до простенького языка программирования. Устройство сразу же приобрело огромную популярность, ведь впервые на рынке появился не просто мощный калькулятор, а машина для накопления и обработки информации. Если первый Psion все же оставался игрушкой, то Psion Organizer II стал первым полноценным PDA, объединяющим функции сразу нескольких устройств: часов, калькулятора и записной книжки. Выпускалось 3 линейки устройств: SM, XP и LZ, отличавшихся количеством строк на экране: одна и две в SM и XP, четыре в LZ — теперь можно было гораздо легче управляться в редакторах электронных таблиц и текстовых редакторах. Значительно увеличился объем встроенной памяти (от 8 до 64 кб). Также был добавлен вход для сетевого кабеля, последовательный порт и телефонное наборное устройство.

В сентябре 1991 года мир увидел новый карманный компьютер от Psion. 3-я серия была сделана в форм-факторе ноутбука и имела 128 или 256 килобайт встроенной памяти, обладала встроенным языком программирования OPL. За 3-ей серией последовала серия 3a, компьютеры этой серии значительно превосходили своих предшественников (в 4 раза был увеличен экран, в 2 раза — частота процессора, обновлено программное обеспечение), что вызывало негодование со стороны прессы, считавшей, что для таких улучшений мало лишь добавления постфикса “a” в название серии. После были серии 3c и 3mx, значительно усовершенствованные по сравнению с предыдущими поколениями. В них было встроено от 1 до 2 Мбайт памяти, инфракрасный порт, более быстрый последовательный порт, а “mx” обладал к тому же более быстрым процессором. Всего в мире было продано более полтора миллионов устройств этой серии.

Цель работы: Изучение возможностей изготовленного авторами наручного микро-компьютера.

Задачи работы:

1. Провести анализ существующей проблемы.
2. Изучить перспективы использования функций разрабатываемого микро-компьютера.
3. Изготовить опытный образец наручного микро-компьютера и проверить его функциональные возможности.

Первое письменное упоминание сверхпортативного вычислительного устройства, которое умещалось в кармане, можно найти в одной из статей журнала *Review of the International Statistical Institute* (V. 37:3) за 1969 год.

В нем описывается машина, придуманная изобретателями Эдом Торпом и Клодом Шенноном. Она была миниатюрной аналоговой ЭВМ, предназначенной для предсказания результатов игры в рулетку. Совершенно очевидно, что такое устройство по своей сути должно было быть очень

небольшим. Первую модель выпустили в 1969 году, потом было создано еще несколько моделей, но в серийное производство, по понятным причинам, устройство не вышло.

Примерно в середине 90-х появляется тенденция создания гибридных устройств, объединяющих в себе функции мобильного телефона и КПК, – так называемых коммуникаторов.

Одним из первых устройств стала Nokia 9000, выпущенная в 1996 году – массивное устройство, снаружи которого находился несоразмерно маленький дисплей. Но при раскрытии корпуса коммуникатора обнаруживался большой черно-белый экран с разрешением 640x240 точек. На второй откидной части была расположена клавиатура.

Коммуникатор предоставлял многие функции, несвойственные телефону того времени. Это отправка и получение факсов, возможность работы с электронной почтой, интернетом. Все это стало возможно благодаря процессору Intel 386 и своей собственной ОС – GEOSTM 3.0. Хотя были и недостатки: большой размер и вес (173x64x38 мм, 397 грамм) и малое время работы от аккумулятора (35 часов в режиме ожидания и 3 – при разговоре). Без использования функций коммуникатора телефон мог проработать до 3-4 дней. Но зато по количеству памяти гибрид опережал свое время — 8 мегабайт для того времени было очень немало.

Первоначально коммуникатор предназначался для работы в сетях GSM900. Но в течение года после выпуска добавилась поддержка GSM1800, GSM1900. В 2000 году был представлен новый коммуникатор от Nokia – 9210. На нем была установлена новая ОС – Symbian и процессор RISC ARM9. В этом коммуникаторе была заметно усовершенствована система синхронизации данных с ПК. Одним из главных преимуществ новой модели перед предшественниками являлось большое время работы: 4-10 часов в режиме разговора и 80-230 – в режиме ожидания. Также был улучшен дисплей – теперь он отображал 4096 цветов.

В этом году был анонсирован новый коммуникатор от Nokia – 9500. Это устройство – новый этап развития мобильных телефонов и КПК. 9500 – шаг от коммуникаторов обратно к КПК. В него добавлено большинство существующих на данный момент видов коммуникации мобильных устройств. Это и GPRS, WAP, IrDA, Bluetooth, USB, Wi-Fi. Тенденция эта заметна не только в среде устройств под управлением Symbian – все современные коммуникаторы как на PalmOS (PalmOne Treo 600/650), так и на Windows Mobile и PocketPC (Eten и прочие) гораздо ближе к КПК, чем к телефонам.

Исследовательская часть

Arduino Due – плата микроконтроллера на базе процессора Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 (описание). Это первая плата Arduino на основе 32-битного микроконтроллера с ARM ядром. На ней имеется 54 цифровых вход/выхода (из них 12 можно задействовать под выходы ШИМ), 12 аналоговых входов, 4 UARTa (аппаратных последовательных порта), а генератор тактовой частоты 84 МГц, связь по USB с поддержкой OTG, 2 ЦАП

(цифро-аналоговых преобразователя), 2 TWI, разъем питания, разъем SPI, разъем JTAG, кнопка сброса и кнопка стирания - рисунок 2.

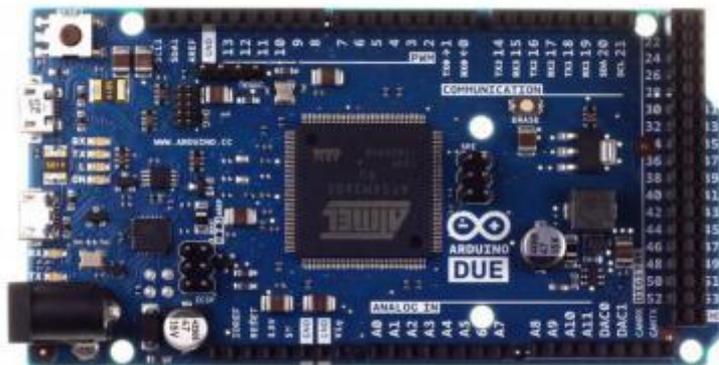


Рис. 2. Arduino Due, вид спереди

Плата содержит все, что необходимо для поддержки микроконтроллера. Чтобы начать работу с ней, достаточно просто подключить её к компьютеру кабелем микро-USB, либо подать питание с AC/DC преобразователя или батарейки. Due совместим со всеми платами расширения Arduino, работающими от 3,3 В, и с цоколевкой Arduino 1.0.

Расположение выводов Due повторяет цоколевку Arduino 1.0:

- TWI: Выводы SDA и SCL расположены рядом с выводом AREF.
- Вывод IOREF, который позволяет с помощью правильной конфигурации адаптировать присоединенную плату расширения к напряжению, выдаваемому Arduino. Благодаря этому платы расширения могут быть совместимы и с 3,3-вольтовыми платами типа Due и с платами на базе AVR, работающими от 5 В.
- Неподключенные выводы, зарезервированные для использования в будущем.

Преимущества ядра ARM

На Due установлено 32-битное ARM ядро, превосходящее по производительности обычные 8-битные микроконтроллеры. Наиболее значимые отличия: 32-битное ядро, позволяющее выполнять операции с данными шириной 4 байта за 1 такт (более подробную информацию смотри на странице int type).

- частота процессора (CPU) 84 МГц.
- 96 КБ ОЗУ.
- 512 КБ флеш-памяти для хранения программ.
- контроллер DMA, который разгружает центральный процессор от выполнения интенсивных операций с памятью

Концепция рассматриваемого в данной работе устройства выполнена в виде игрового наручного кпк `rip_boy`

Пип-бой — это поощрительный аксессуар для инженера. Представляет собой наручный компьютер с зелёным светящимся монохромным экраном,

кнопками и регуляторами. Устройство основано по образцу Пип-боя 3000, производящегося вымышленной компанией «RobCo Industries» в серии видеоигр Fallout.

При ношении, Пип-бой стилизует дисплеи КПК и Озарения под стиль устройства в Fallout. Предметом высшей пробы были награждены игроки, купившие Fallout: New Vegas до 8 августа 2011 г. Он также был выдан в уникальном качестве всем игрокам, приобретшим Quakecon Bundle до 21:00 6 августа 2012.



Рис. 3.

Измерение пульса – существуют различные способы измерения частоты сокращений сердечной мышцы, одним из которых является фотоплетизмография.

Фотоплетизмография — метод непрерывной регистрации изменения объема крови для анализа динамики наполнения сосудов исследуемого органа или части тела человека. В основе данного метода лежит принцип измерения оптической плотности исследуемого объекта.

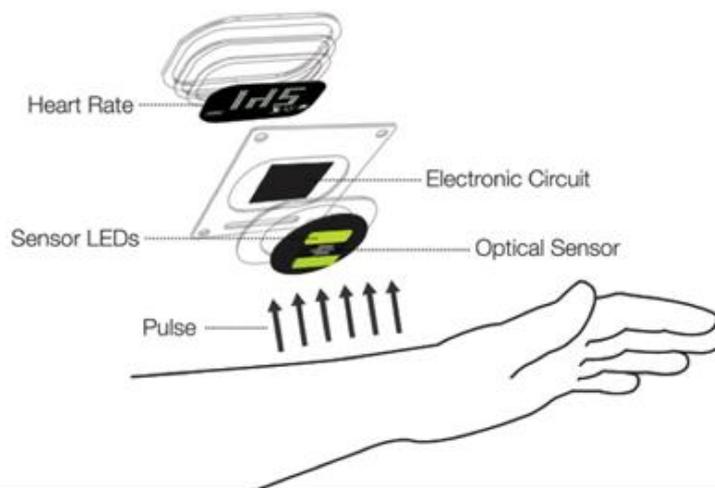


Рис. 4.

Измерение оптической плотности осуществляется с помощью фотоприемника и источника излучения, в частности светодиода. Измерение

производится с пальца руки либо мочки уха. При разной наполненности исследуемой части тела кровью будет различная интенсивность регистрируемого излучения. По интенсивности свечения источника можно сделать вывод о текущем объеме крови в пальце либо мочке уха. Схематичное изображение простейшего фотоплетизмографа представлено на рисунке.

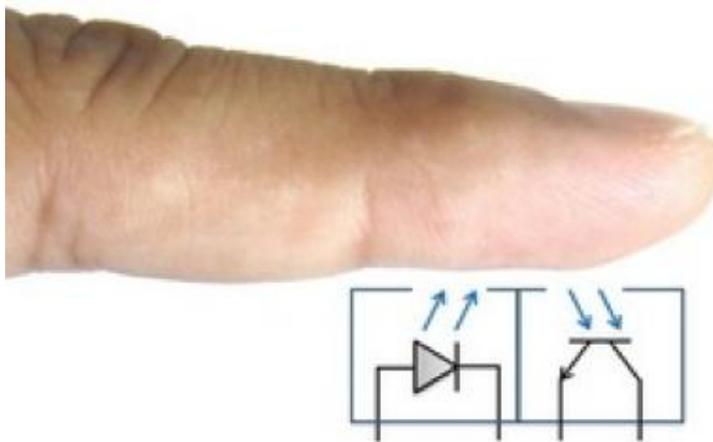


Рис. 5.

Изображение сигнала, представленное на рисунке называется фотоплетизмограммой или PPG-диаграммой. В последней версии датчиков пульса, которые можно приобрести, усиливается исходный сигнал и нормализуется волна относительно точки центрального уровня $V/2$ (в середине напряжения). Двухканальный датчик пульса реагирует на относительные изменения интенсивности света. Если количество света, падающего на датчик остается постоянным, величина сигнала будет оставаться вблизи середины диапазона АЦП. Если регистрируется большая интенсивность излучения, то кривая сигнала идет вверх, если меньше интенсивность, то, наоборот, кривая идет вниз.

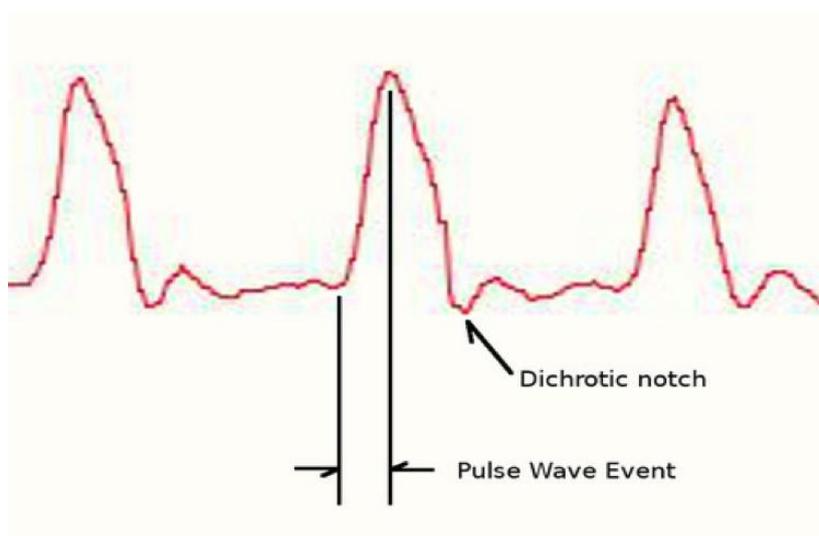


Рис. 6.

Основная задача – это найти последовательные моменты мгновенного сердечного ритма и измерить время между ними, т.е. выявить удары сердца.

Решение данной задачи заключается в исследования формы волны PPG. Существуют различные мнения, относительно того, в какой момент необходимо снимать измерение импульса. Одни исследователи считают, что удар сердца происходит в момент 25% от уровня амплитуды импульса, другие на 50% либо пока сигнал растет вверх.

Заключение и выводы

«SMACS» – наручный персональный микрокомпьютер, имеющий много функциональных возможностей. Основная задача «SMACS» – универсальное мобильное многофункциональное устройство, позволяющее считывать и обрабатывать информацию с различных подключенных датчиков, управлять периферийными устройствами.

Создание «SMACS» – это попытка создания одного инструмента для решения множества задач. На данном этапе миникомпьютер имеет следующие возможности: может выполнять роль часов с календарем до 2100 года; измерять: гравитацию, вращение, магнитное поле; температуру, давление, влажность. Выполнять чтение и запись RFID меток; определять расстояние до 4 метров с точностью +/- 2 см; также позволяет работать с картами памяти, осуществлять редактирование информации на них; принимать информацию с инфракрасного пульта ДУ. Можно использовать функцию осциллографа; аудио- проигрывателя. Имеет полную совместимость с ПК, – компьютер определяет «SMACS», как джойстик, мышку, клавиатуру, геймпад, запоминающее устройство, аудиоустройство, usb RAW и COM порт. Мини Компьютер имеет usb host для подключения usb периферии; Ethernet вход.

Полноценная ориентация в пространстве благодаря 3-х осевому гироскопу, акселерометру и модулю навигации, которые вносят свои коррективы и поправки основному контроллеру для отслеживания на карте.

Полное взаимодействие со всеми интерфейсами начиная с UART, RS-485 заканчивая CAN, MIDI, DMX512.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Литвиненко Н. А. – Технология программирования на C++ http://www.proklondike.com/books/cpp/technology_of_programming_on_cplusplus.html
- [2] Коплиен Дж. - Мультипарадигменное проектирование для c++ http://www.proklondike.com/books/cpp/multiparadigmennoe_project_cplusplus.html
- [3] Энтони Уильямс-Параллельное программирование на C++ в действии http://www.proklondike.com/books/cpp/Paralelnie_programirovanie.html
- [4] Павловская Т.А., Щупак Ю.А. - C и C++ Структурное программирование

Дмитрий Алексеевич Коваленко, ученик 9 Г класса, лицей №145 ДЮТ им. Ю.А. Гагарина
Калижников Юрий Владимирович, педагог дополнительного образования ДЮТ им. Ю.А. Гагарина

Разработка и исследование характеристик ПАВ фильтра на основе пленок AlN

К. Д. Кожяхметова, магистрант

В работе рассмотрены, фильтры на поверхностно-акустических волнах. Особое внимание уделено фильтрам на основе пленок нитрида алюминия (AlN). Описаны основные свойства данного материала, приведены теоретические расчеты характеристик фильтров на поверхностно-акустических волнах. Результатом исследования является характеристики фильтры на поверхностно-акустических волнах, полученных в лабораторных условиях.

Ключевые слова: поверхностно-акустическая волна (ПАВ), ВШП (встречно штыревой преобразователь), AlN (нитрид алюминия), ВЧ магнетронное распыление.

Современный этап развития твердотельной электроники характеризуется широким внедрением акустоэлектронных устройств в системах связи и обработки информации. Важным классом акустоэлектронных устройств являются фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ), широко применяющиеся в телевидении, сотовой и мобильной связи, а также в системах обработки сигнала.

Нитрид алюминия AlN является пьезоэлектрическим материалом с высокой скоростью продольной акустической волны (~5600 м/с), большой теплопроводностью, высокой температурной и химической стойкостью. В таблице 1 также представлены некоторые свойства AlN.

Таблица 1. Основные свойства нитрида алюминия

Свойство	Значение
Ширина запрещенной зоны E_g , эВ	6,3
Плотность ρ , г/см ³	3,3
Прочность, кг/мм ²	2
Теоретическая теплопроводность, Вт/(м·К)	320
Коэффициент теплового расширения α , 1/К	$5,3 \cdot 10^{-6}$
Напряженность критического поля E_p , мВ/см	6-20
Коэффициент отражения, n	2,15
Скорость поверхностной акустической волны v , м/с	5500-5650

Расчет фильтров ПАВ производится на материале AlN. В настоящее время существует целый ряд практических методов расчета устройств на ПАВ, позволяющих с различной степенью точности прогнозировать частотные характеристики устройств. Мы рассмотрим один из них.[1]

Однородный преобразователь

Под однородным преобразователем будем понимать ВШП, у которого период и перекрытие соседних электродов неизменны.

$$R_A(\omega) = 4k_{\text{вшп}}^2 / (\omega_0 C_2 W \pi)$$

где W – апертюра электродов C_2 – погонная емкость пары электродов, равная

$$C_2 = 0,0885((\epsilon_1 + \epsilon_2)/2) W C_{12}$$

$$C_2 = 965 \cdot 10^{-6} \text{ пФ}$$

C_{12} – емкость пары электродов на единицу их длины.

$$C_{12} = 1,56 + 0,31 \lg(b_1 b_2) / a^2$$

где $b_1 = b_2 = 50 \text{ мкм}$, $a = 50 \text{ мкм}$

$$C_{12} = 2 \text{ пФ}$$

Коэффициент электромеханической связи $k_{эм}^2$ это важная характеристика материала и определяет максимальную величину входной проводимости преобразователя при выбранной апертуре.[2]

Определение числа электродов в ВШП.

Приблизненно число электродов ВШП можно оценить по соотношению[2]

$$N \approx 2f_0 / \Delta f$$

$$N = 20$$

где Δf – заданная полоса частот устройства по уровню –3 дБ.

Определяем расстояние h между соседними электродами

$$h = \frac{\lambda}{2},$$

где $\lambda = \frac{v}{f_0}$ – длина волны.

$$\lambda = \frac{v}{f_0} = \frac{5,67 \cdot 10^3}{150 \cdot 10^6} = 40 \text{ мкм}$$

$$h = \frac{\lambda}{2} = \frac{37,8 \cdot 10^{-6}}{2} = 20 \text{ мкм},$$

Функция аподизации

Простейшая весовая функция, часто используемая при проектировании ПАВ-устройств, имеет вид.[2]

$$W_k = \sin(x) / x.$$

Пленки А1N получали с использованием модернизированных промышленных и лабораторных установок ВЧ магнетронного распыления, оснащенных специально разработанными планарными и цилиндрическими магнетронами. Пленки А1N выращивали на подложках из аморфных и кристаллического материала ситалл СТ-51-1.

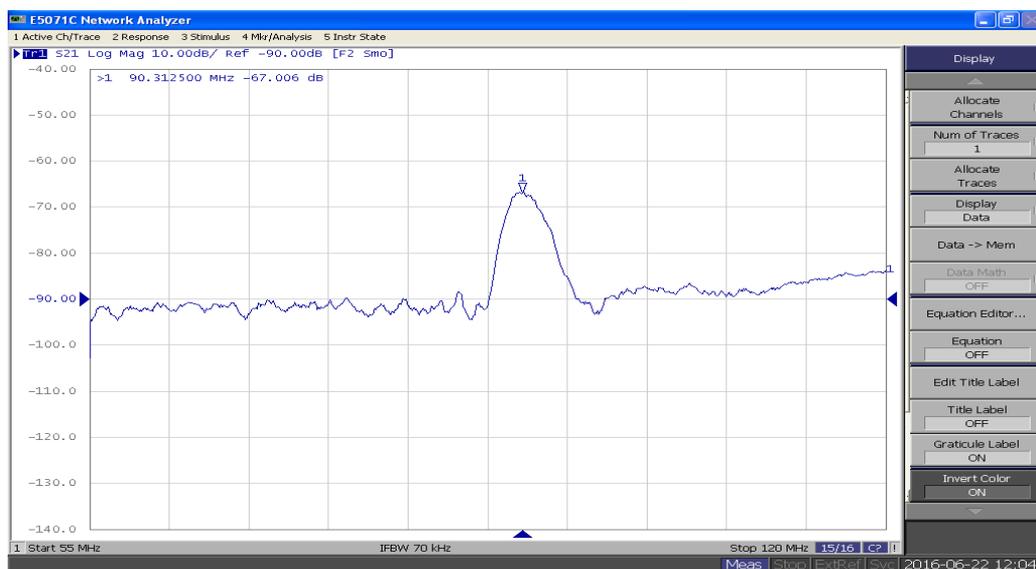


Рис.1. АЧХ ПАВ фильтра на материале А1N

Исследовались с помощью ВЧ анализатора цепей Agilent E5071C с использованием зонтов G-S-G (рис.1). Экспериментально получено на ситалловой подложке фазовая скорость ПАВ фильтра на AlN $V_{\phi}=3620$ м/с. при центральной частоте 90 МГц.

Произведен расчет конструкции ВШП параметров: расстояние между соседними электродами $h=20$ мкм, апертуры $W=800$ мкм, числа электродов $N_1=20$ пар и $N_2=10$ пар, исходя из погонной емкости $C_2=965 \cdot 10^{-6}$ пФ.

Технологией получения ПАВ фильтра выбрано: ВЧ магнетронное распыление и структуры металл-пьезоэлектрик-ситалл СТ-50-1; фотолитография электродов.

Экспериментально получено на ситалловой подложке, фазовая скорость ПАВ фильтра на AlN $V_{\phi}=3620$ м/с. при центральной частоте 90 МГц.

Из результатов видно, что фазовая скорость AlN ($V_{\phi}=3620$ м/с) оказалась ниже чем теоретическая ($V_{\phi}=5600$ м/с) это связано с тем что большие вносимые потери могут быть вызваны неправильным выбором толщины пленок, несогласованности входа сопротивления ВШП с измерительным прибором, несоответствия, выбора штырей и апертуры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гумаров Г.Г. ионно-лучевые методы получения тонких пленок. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета // Казань,2010.- 87 с. Издание 2-е, исправленное и дополненное.
- [2] Дмитриев В.Ф. Устройство интегральной электроники: Акустоэлектроника. Основы теории, расчета и проектирования учеб пособие/ГУАП.-СПб.,2006.

Кагира Даулетовна Кожяхметова, магистрант ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», физический факультет.

Свойства тонких пленок оксида цинка в зависимости от способа их получения

К. Д. Кожяхметова, магистрант

В работе рассмотрены методики получения пленок оксида цинка и его свойства. Рассмотрены характеристики нескольких методов получения пленок оксида цинка.

Ключевые слова: ПАВ фильтр, ZnO (оксид цинка), ВЧ магнетронное распыление, триодное распыление, метод распыления ионным пучком.

В настоящее время большое внимание во всем мире уделяется исследованиям в области физики волновых процессов в многослойных тонкопленочных пьезокристаллических структурах, служащих основой для создания акустоэлектронных устройств нового поколения, работающих в сверхвысокочастотном диапазоне частот от 2 до 30 ГГц.

Акустоэлектронные устройства - это базовые элементы всех систем мобильной и сотовой связи, навигации, радиолокации, медицины, мониторинга окружающей среды, робототехники, микросенсорики.

Работа традиционных акустоэлектронных устройств (фильтров, резонаторов и т.д.) на поверхностных акустических волнах (ПАВ), как известно, ограничивается частотным диапазоном до 3 ГГц, что связано с технологическими сложностями изготовления встречно-штыревых систем, служащих для возбуждения и приема ПАВ в пьезокристаллах .

До недавнего времени, наиболее распространенными СВЧ электронными устройствами, использующими прямой и обратный пьезоэффект для преобразований между электрическими и механическими волнами, были преобразователи и резонаторы на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Схематично преобразователь на ПАВ показан на рис. 1.

Он представляет собой пленку пьезоэлектрика, нанесенную на подложку. Для ввода и снятия электрического сигнала используются группы параллельных электродов, как правило, организованные в виде встречно-штыревого преобразователя (ВШП). Такой преобразователь представляет собой две вложенные гребенки из электродов. При вводе сигнала между ними прикладывается разность потенциалов, что приводит к соответствующим деформациям пленки пьезоэлектрика. Обычно прикладываемый сигнал является периодическим, что приводит к возникновению на поверхности пьезоэлектрика волн деформаций. Эти волны подчиняются определенным законам дисперсии и, распространяясь, подвергаются определенным изменениям. В конечном счете, они достигают приемного ВШП, где по симметричному принципу преобразуются в электрический сигнал. С точки зрения внешней цепи, такое устройство может работать как СВЧ фильтр. [1]



Рис.1. Преобразователь на поверхностных акустических волнах

Пленки оксида цинка обладают хорошими пьезоэлектрическими и электролюминесцентными характеристиками и могут применяться в качестве функциональных слоев в приборах на поверхностных акустических волнах, источниках и детекторах ультрафиолетового и инфракрасного излучения, оптических затворах, элементах нелинейной оптики.

Наиболее широко используемым в настоящее время методом формирования тонких слоев ZnO является реактивное магнетронное распыление. Метод позволяет в широких диапазонах варьировать условия осаждения пленки, определяющие электрофизические и структурные свойства наносимого покрытия. К недостаткам метода следует отнести сложность получения стехиометричных слоев без нагрева подложек.

Свойства тонких пленок оксида цинка в зависимости от способа получения

1. Магнетронное реактивное распыление мишени из ZnO на постоянном токе

Использовались мишени из ZnO (99,99%). Скорость осаждения не зависела от давления газа в вакуумной камере в диапазоне 2×10^{-2} -1,33 Па. Полученные пленки были текстурированы по $\langle 0001 \rangle$ (разориентация зерен относительно оси текстуры $2,9$ - $5,4^\circ$). Пленки имели волокнистое строение, размер кристаллитов 31-42 нм. Воспроизводимость структурных параметров достигалась при давлении 0,4-0,8 Па. При отдельных диапазонах давление газов смеси (2×10^{-2} - $9,31 \times 10^{-2}$ и 0,93-4 Па) помимо зерен, ориентированных по $\langle 0001 \rangle$, получали зерна, ориентированных параллельно поверхности подложки плоскостями $(10\bar{1}0)$ и $(10\bar{1}1)$. Перераспределение концентрации зерен, ориентированных по $(10\bar{1}0)$ и $(10\bar{1}1)$, менялось с изменением давления. Диэлектрическая проницаемость полученных пленок 8-11. [2]

2. Получение пленок ZnO методом распыления ионным пучком

В работе пленки ZnO получали в сложной системе ионного распыления, включающей три различных способа ионно-пучкового распыления, достигаемых за счет использования одного или двух ионных источников. Полученные указанными методами пленки ZnO характеризуется следующими параметрами: $\rho = 10^6 \text{ Ом} \times \text{см}$, диэлектрическая проницаемость 10 ± 1 .

Пленки ZnO формировались следующим образом: при нанесении ZnO пленки со скоростью 0,14-0,21 мкм/ч при комнатной температуре путем распыления Al пучком ионов Ar^+ она бомбардировалась ионами N_2^+ (100-500эВ). [2]

3. Триодное распыление

В работе проведено сравнение свойств кристаллов и пленок ZnO, приведены условия распыления ZnO мишени в триодной системе на постоян-

ном токе: ток разряда 40-70 мА, напряжение разряда 2000-2400 В, давление $\text{Ag}+10\text{об.}\%\text{O}_2$ газовой смеси 0,4 Па, расстояние мишень - подложка — 50-70 мм, $T_{\text{п}}=473-573$ К, скорость осаждения — 1,5-2,5 мкм/ч. По применению триодного распыления для формирования пленок ZnO опубликовано значительное число работ [2].

Заключение

Проведен анализ литературы, обоснован выбор технологии формирования ПАВ структур; показано, что метод ВЧ магнетронного реактивного распыления алюминиевой мишени в азотосодержащей среде является оптимальными для низкотемпературного получения ПАВ структур на основе оксида цинка.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пташник С.В. Электрические перестраиваемые резонаторы на объемных акустических волнах в структурах, содержащие слои сегнетоэлектрика в параэлектрическом состоянии: дис. канд. физ-мат наук. СПбГЭТУ имени В.И. Ульянова. Санкт-Петербург 2014г.
- [2] Белянин А.Ф. «выращивание плазменными методами пленок алмаза и родственных материалов (алмазоподобных, AlN, ZnO) и применение многослойных структур на основе этих пленок в микро- и акустоэлектронике»: дис. д-ра тех. наук. Центр. научно-исслед. технологич. ин-т "Техномаш" Москва 2002г.

Кагира Даулетовна Кожрахметова, магистрант ФГБОУ ВО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского», физический факультет.

Особенности контроля параметров вторичных источников питания с узлами коррекции коэффициента мощности

К. В. Мироненко, инженер-конструктор

Рассмотрены основные методы управления корректорами коэффициента мощности. Проведен анализ режимов работы выбранных методов. Сформулированы требования к измерительной аппаратуре.

Ключевые слова: Корректор коэффициента мощности, ККМ, контроль параметров.

Реактивная нагрузка в практически любой системе распределения энергии вызывает появление фазовых сдвигов между током и напряжением, что влечет за собой потери, обусловленные реактивной составляющей мощности. Действительно, несовпадение векторов тока и напряжения приводит не только к энергетическим потерям, но и к генерированию высших гармоник в элементах системы электропитания, вызывающих некорректное функционирование подключенных к системе устройств [1].

При обеспечении синфазности колебаний тока и напряжения имеет место концентрация всей мощности в основной частоте, при этом амплитуды гармоник стремятся к нулю. Режим коррекции коэффициента мощности (ККМ) обеспечивает управление током таким образом, чтобы он совпадал с напряжением по форме и фазе, способствуя повышению извлекаемой из источника доступной активной мощности за счет преобразования реактивной составляющей нагрузки в активную.

К настоящему времени наибольшее распространение получили схемы корректоров на основе повышающего преобразователя напряжения, при этом по режиму работы индуктора ККМ имеют либо прерывистый режим работы, либо непрерывный режим работы [2].

На основании анализа режимов работы дросселя можно выделить несколько методов управления корректорами коэффициента мощности важнейшими из которых являются метод «граничного» управления, метод управления по пиковому значению тока, метод управления по среднему значению тока, и метод разрывных токов с использованием ШИМ [3].

На рисунке 1 приведена структурная схема ККМ, реализующая метод управления по среднему значению тока, к преимуществам которой следует отнести постоянство частоты переключения, режим непрерывных токов и высокая устойчивость к коммутационным помехам. К сожалению, схема весьма сложна в реализации и требует введения датчика тока с высокими метрологическими характеристиками в цепь дросселя, при этом имеет место «жесткое» закрывание диода.

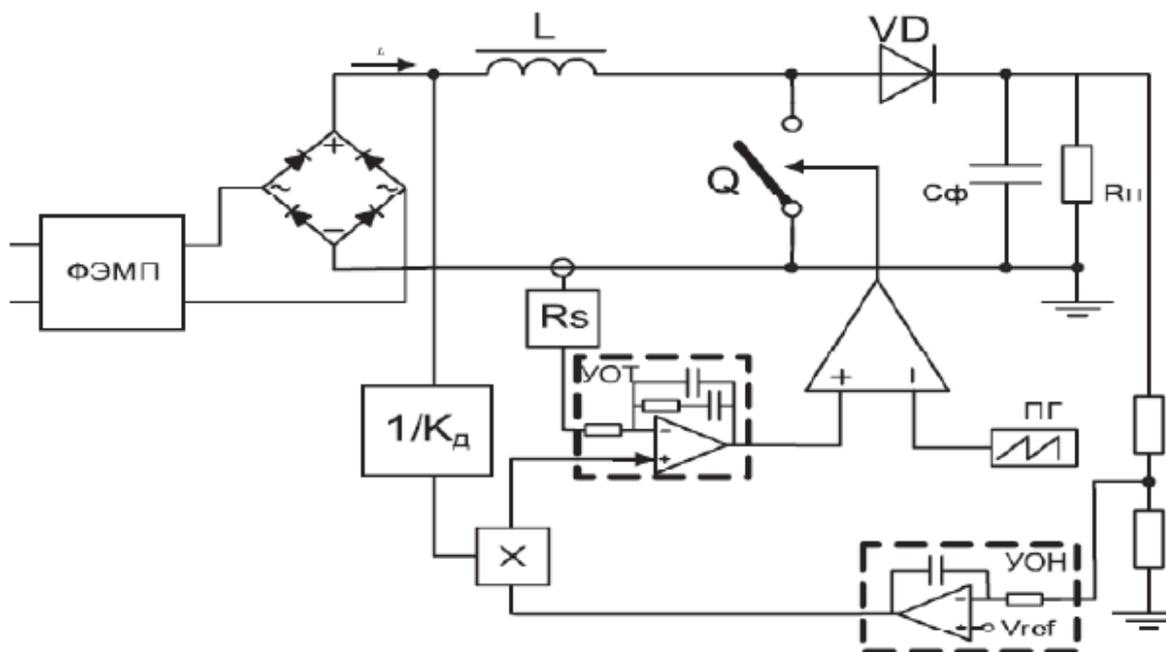


Рис.1 Структурная схема КМ с управлением по среднему значению тока

На рисунке 2 приведена структурная электрическая схема КМ на основе метода разрывных токов с использованием широтно-импульсной модуляции. К несомненным преимуществам данной структуры следует отнести постоянство как частоты переключения, так и постоянство времени нахождения ключа в открытом состоянии. Кроме упомянутого, схема имеет простой в реализации алгоритм ШИМ-управления и «мягкое» переключение силового диода.

Очевидно, что режим прерывистых токов в сочетании с не всегда приемлемыми массогабаритными характеристиками фильтра ограничивают область применения.

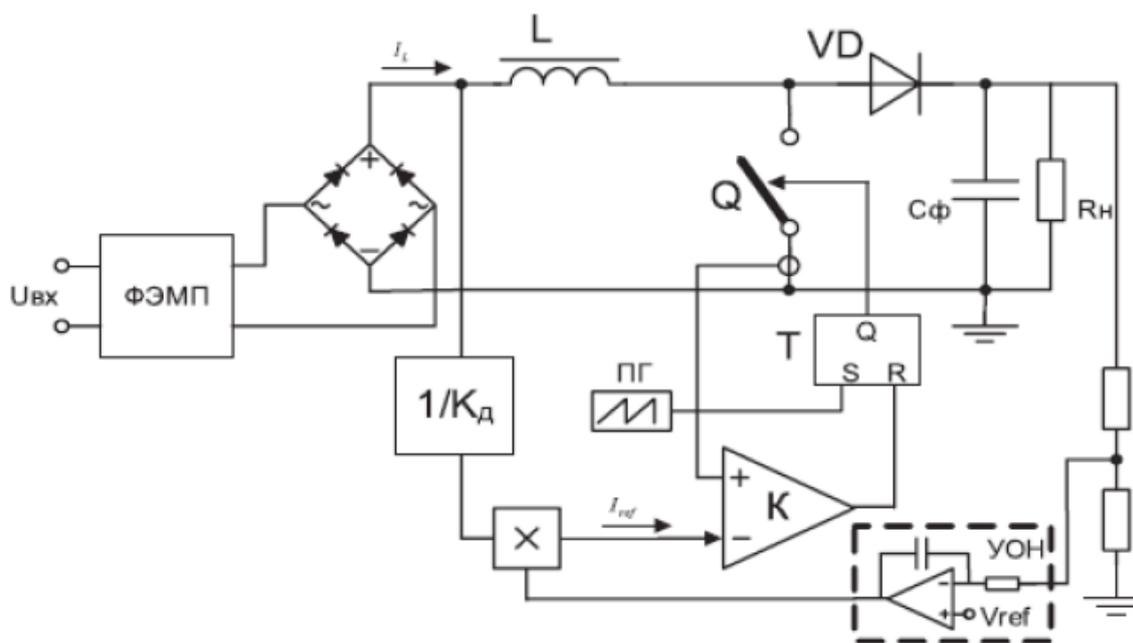


Рис. 2. Структурная схема КМ, реализующая метод разрывных токов

При оценке метрологических характеристик измерительных устройств необходимо учитывать весьма высокую частоту коммутации силового ключа, достигающую значений в сотни килогерц. При этом будет иметь место излучение высокочастотных помех в сеть при эксплуатации, а использование метода «граничного» управления и метода разрывных токов, который характеризуется режимом прерывистого тока дросселя, вызывает значительные по амплитуде токовые выбросы, что будет создавать дополнительную нагрузку на сеть.

Вопросы исследования данного типа устройств с позиции обеспечения требований по электромагнитной совместимости [4-6] предполагают создание измерительной аппаратуры, что представляет несомненный научный интерес.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника
- [2] Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями.
- [3] Чаплыгин Е.Е. Однофазные корректоры коэффициента мощности.
- [4] ГОСТ Р 513.18.14.1 – 2006. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений (ЭМС)
- [5] ГОСТ Р 513.17.3.2 – 2006. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы измерений (ЭМС)
- [6] ГОСТ Р 513.17.6.2-2007 (МЭК 61000-6-2:2005) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний.

Кирилл Владимирович Мироненко, инженер-конструктор АО «ОНИИП» (Омск).
E-mail: info@oniip.ru.

Проблемы расчета параметров коаксиального кабеля в широком диапазоне частот

В. Е. Митрохин, профессор
С. Н. Занкин, старший научный сотрудник

Приведены результаты анализа известных методик расчета собственных параметров коаксиального кабеля, в том числе, при моделировании на основе уравнений Максвелла. Выполнено сравнение значений параметров кабелей РК 50-7-28 и RG142, полученных расчетными методами с результатами измерений, полученных с помощью анализатора цепей и данными справочника [1]. По результатам сравнительного анализа получены оценки точности моделирования кабельных линий на основе известных методик, демонстрирующие необходимость их доработки с целью более корректного учета затуханий в кабеле в диапазоне частот выше 100 МГц.

Ключевые слова: коаксиальный кабель, функции Бесселя, коэффициент затухания, волновое сопротивление.

Любая система радиосвязи содержит в своем составе антенно-фидерную подсистему или антенно-фидерное устройство (АФУ). Большая часть антенно-фидерных линий создается с использованием коаксиальных кабелей [2], которые благодаря своей конструкции являются достаточно помехоустойчивыми.

Несмотря на большое количество данных о параметрах коаксиальных кабелей, приведенных в соответствующих справочниках [1], актуальной остается задача учета параметров кабеля при разработке новых АФУ, проведении соответствующих расчетов и анализа характеристик антенно-фидерных систем с использованием средств вычислительной техники.

Известные методы расчета параметров кабельных линий [3], [4], как показано в работе [5], позволяют вычислять параметры кабельных линий для частот в пределах сотен мегагерц. Вопросы корректности применения этих методов для более высоких частот методически проработаны недостаточно.

Таким образом, верификация существующих методик расчета является актуальной задачей, решение которой позволяет корректно использовать данные методики при разработке соответствующих моделей и программ для выполнения радиотехнических расчетов.

Целью данной работы является демонстрация выявленных несоответствий в результатах расчета и натурального эксперимента при использовании известных расчетных методов в высокочастотном диапазоне.

Как известно, коаксиальный кабель, состоит из внутреннего (жилы) и внешнего (экран) проводников, заключающих между собой диэлектрик, а также диэлектрической оболочки, покрывающей экран. Благодаря поглощению заземленным экраном внешних электромагнитных помех, способных влиять на передаваемый по жиле сигнал, коаксиальный кабель предпочтительнее применять в антенно-фидерных устройствах, нежели проводные фидерные линии.

В рассматриваемой в статье модели коаксиального кабеля полагаем, что внутренний проводник выполнен однородным стержнем постоянной толщины, внешний – цилиндрическим слоем.

Условия передачи электрических сигналов по коаксиальному кабелю определяются электромагнитным полем, представляющее собой единство двух составляющих – электрического (E) и магнитного (H) полей создаваемым током в проводниках и диэлектрике, описываемым уравнениями Максвелла для гармонических колебаний [3].

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \sigma \vec{E} + i\omega \varepsilon_a \vec{E}, \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -i\omega \mu_a \vec{H}, \end{aligned} \quad (1)$$

где σ - проводимость, ε_a – относительная диэлектрическая проницаемость, μ_a – относительная магнитная проницаемость среды.

Справедливы вспомогательные уравнения:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho, \operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$\vec{D} = \varepsilon_a \vec{E}$ - электрическая индукция;

$\vec{B} = \mu_a \vec{H}$ - магнитная индукция;

ρ - плотность электрического заряда.

Для решения уравнений принято выбрать цилиндрическую систему координат (рисунок 1) и считать изменение во времени напряженностей электрического и магнитного полей гармоническим.

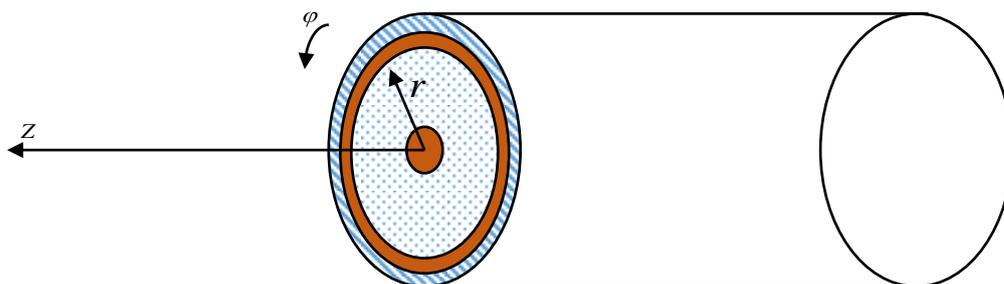


Рис. 1. Коаксиальный кабель в цилиндрической системе координат

Изменение электромагнитного поля не зависит от угла φ , следовательно отсутствует угловая составляющая E_φ .

В уравнениях отсутствуют продольная H_z и радиальная H_r .

Так электромагнитное поле коаксиальной кабельной конструкции в системе цилиндрических координат полностью определяется уравнениями [4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} + \frac{H_\varphi}{r} &= E_z \left(\frac{1}{\rho} + i\omega \varepsilon_a \right) \\ \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} &= E_r \left(\frac{1}{\rho} + i\omega \varepsilon_a \right) \\ \frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} &= -i\omega \mu_a H_\varphi \end{aligned} \quad (3)$$

Электрическое поле характеризуется двумя составляющими: радиальной E_r (обуславливает собой наличие тока смещения в диэлектрике и совпадает по направлению с вектором его плотности) и продольной E_z (вызывающей ток проводимости в проводниках кабеля). Электромагнитное поле снаружи внеш-

него проводника коаксиального кабеля отсутствует (силовые линии электрического поля замыкаются между противоположными зарядами, располагающимися на внешней поверхности внутреннего провода (одного знака) и на внутренней поверхности внешнего провода (обратного знака).

Полное (комплексное) сопротивление внутреннего проводника Z_a , отнесенное к единице длины [5]:

$$Z_a = R_a + i\omega L_a = \frac{E_z}{I} = \frac{\rho_a}{\pi r_a^2} \frac{\sqrt{i}\Gamma_a r_a}{2} \frac{I_0(\sqrt{i}\Gamma_a r_a)}{I_1(\sqrt{i}\Gamma_a r_a)} \quad (4)$$

Где r_a – радиус внутреннего проводника (рисунок 2);

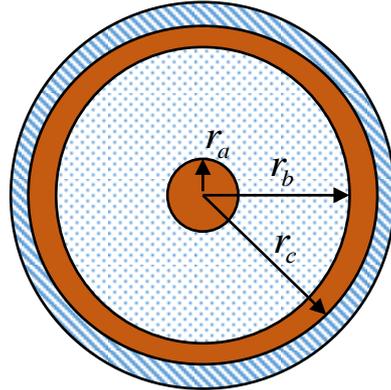


Рис. 2. Геометрические параметры коаксиального кабеля

$\Gamma_a = \sqrt{\frac{\omega\mu_a}{\rho_a}}$; $I_0(z), I_1(z)$ - модифицированные функции Бесселя нулевого и первого порядка соответственно, находящиеся из уравнений [6]:

$$I_\nu(z) = e^{-\frac{\nu\pi i}{2}} J_\nu\left(ze^{\frac{\pi i}{2}}\right), \quad (5)$$

где ρ_a – удельное электрическое сопротивление материала внутреннего проводника; μ_a – удельная магнитная проницаемость материала внутреннего проводника; $\omega = 2\pi f$ - угловая частота.

Полное (комплексное) сопротивление внешнего проводника Z_b , отнесенное к единице длины [5]:

$$Z_b = R_b + i\omega L_b = \frac{E_z(r_b)}{I} \frac{\sqrt{i}\Gamma_b \rho_b}{2\pi r_b} \cdot \frac{I_0(\sqrt{i}\Gamma_b r_b)K_1(\sqrt{i}\Gamma_b r_c) + K_0(\sqrt{i}\Gamma_b r_b)I_1(\sqrt{i}\Gamma_b r_c)}{I_1(\sqrt{i}\Gamma_b r_c)K_1(\sqrt{i}\Gamma_b r_b) - K_1(\sqrt{i}\Gamma_b r_c)I_1(\sqrt{i}\Gamma_b r_b)}, \quad (6)$$

где r_b и r_c – соответственно внутренний и внешний радиусы внешнего проводника.

$K_0(z), K_1(z)$ - модифицированные функции Бесселя [6].

$$K_\nu(z) = \frac{\pi i}{2} e^{\frac{\nu\pi i}{2}} H_\nu^{(1)}\left(ze^{\frac{\pi i}{2}}\right), \quad (7)$$

где $H_\nu^{(1)}(z)$ - функции Ганкеля (функции Бесселя 3-го рода).

Вычислительные возможности ядер некоторых программ математического моделирования ограничены вычислением значений, превышающих 10^{307} , что не позволяет выполнять расчеты с помощью непосредственного применения

функций Бесселя для частот выше 1 ГГц. Достаточно точное приближение получается при замене самих функций первыми двумя членами их разложения в асимптотические ряды. Тогда полные комплексные сопротивления можно вычислить по следующим формулам [4]:

$$Z_a = \frac{\sqrt{i}}{r_a} \sqrt{\frac{\rho_a \mu_a f}{2\pi} + \frac{\rho_a}{4\pi r_a^2}} \quad (8)$$

$$Z_b = \frac{\sqrt{i} \Gamma_b \rho_b}{2\pi r_b} \left(\operatorname{cth} \left(\sqrt{i} \Gamma_b t \right) \frac{1}{8\sqrt{i} \Gamma_b} \left(\frac{3}{r_c} + \frac{1}{r_b} \right) \right), \quad (9)$$

где $t = r_c - r_b$ - толщина внешнего проводника.

При расчете полного метрического сопротивления кабеля следует учесть межпроводниковую индуктивность $L_{\text{вн}}$, зависящую от магнитного потока в пространстве между проводниками [5].

$$L_{\text{вн}} = \frac{\mu_{\partial}}{2\pi l} \int_{r_a}^{r_b} I \frac{dr}{r} = \frac{\mu_{\partial}}{2\pi} \ln \frac{r_b}{r_a} \quad (10)$$

Полное сопротивление кабеля на единицу длины (метр):

$$Z = R + i\omega L = R_a + R_b + i\omega(L_a + L_b + L_{\text{вн}}) \quad (11)$$

При расчете учитывается междупроводниковая индуктивность $L_{\text{вн}}$, зависящая от магнитного потока в пространстве между проводниками.

Магнитное поле в диэлектрике коаксиальной цепи создается только током, протекающим во внутреннем проводнике.

Значение полной проводимости изоляции коаксиальной цепи представлено формулой [4]:

$$Y = G + i\omega C = \frac{2\pi \left(\frac{1}{\rho_{\partial}} + i\omega \varepsilon_{\partial} \right)}{\ln \frac{r_b}{r_a}} \quad (12)$$

Коэффициент распространения определяется формулой [4]:

$$\gamma = \alpha + i\beta = \sqrt{i\omega \mu_a (\sigma + i\omega \varepsilon_a)}, \quad (13)$$

где α - коэффициент затухания; β - коэффициент фазы.

Коэффициент затухания кабеля определяется потерями в проводниках и диэлектрике.

Потери в проводниках зависят от рабочей частоты, так как вследствие скин-эффекта ток течет лишь в тонком поверхностном слое проводников. Потери в диэлектрике зависят лишь от тангенса угла диэлектрических потерь, который характеризует затраты энергии электромагнитного поля на переориентацию молекул.

На территории АО «ОНИИП» были проведены измерения параметров коаксиальных кабелей РК-50-7-28 и RG142. Для измерений применялись анализаторы цепей ZVL R&S и Agilent E5071C, позволяющие определять параметры кабеля с точностью не хуже 1%. Результаты данных измерений стали основой для проведения верификации методик расчета параметров коаксиального кабеля.

Целью эксперимента являлась проверка соответствия экспериментальных и расчетных значений параметров кабелей РК 50-7-28 и RG142.

Данные для расчета параметров радиочастотного кабеля РК 50-7-28:

$r_a = 1,25$ мм – радиус внутреннего проводника;

$r_b = 3,63$ мм – внутренний радиус внешнего проводника;

$r_c = 3,93$ мм – внешний радиус внешнего проводника*;

* - внешняя изоляция выполнена двумя оплетками из медных проволок диаметром 0,15 мм: внутренняя изоляция – посеребренная.

В качестве изолятора в выбранном кабеле применяется диэлектрик политетрафторэтилен (фторопласт-4).

$\rho = 0,0175 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ - удельное сопротивление медного проводника;

$\mu_a = \mu_b = 1$ - удельная магнитная проницаемость меди;

$\rho_d = 10^{17} \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$ - удельное сопротивление диэлектрика;

$\varepsilon_r = 2,0$ - относительная диэлектрическая проницаемость;

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

f , МГц	$R(f), \frac{\text{Ом}}{\text{м}}$	$L(f) \cdot 10^{-7}, \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$	$\beta(f), \frac{\text{рад}}{\text{м}}$	$\alpha(f), \frac{\text{дБ}}{100 \text{ м}}$	$\alpha'(f), \frac{\text{дБ}}{100 \text{ м}}$	$Z(f), \text{Ом}$
1	0,064	2,541	0,032	0,406	0,251	49,311
2	0,09	2,512	0,064	0,575	0,323	49,085
3	0,11	2,499	0,095	0,706	0,385	48,986
4	0,126	2,492	0,127	0,816	0,516	48,927
6	0,154	2,483	0,19	1,002	0,612	48,856
8	0,178	2,477	0,253	1,160	0,812	48,815
10	0,199	2,473	0,316	1,299	1,161	48,786
20	0,28	2,464	0,631	1,852	2,323	48,715
30	0,343	2,46	0,946	2,282	3,032	48,684
40	0,395	2,458	1,261	2,649	3,484	48,666
50	0,442	2,456	1,575	2,975	3,871	48,653
100	0,624	2,452	3,148	4,283	5,677	48,621
200	0,882	2,452	6,292	6,207	8,516	48,599
300	1,08	2,449	9,436	7,744	10,840	48,589
400	1,247	2,448	12,579	9,079	12,900	48,583
500	1,394	2,447	15,722	10,287	14,650	48,579
600	1,527	2,447	18,865	11,403	16,264	48,576
700	1,649	2,446	22,008	12,405	18,061	48,574
800	1,763	2,446	25,151	13,443	19,355	48,572
900	1,87	2,445	28,293	14,390	20,907	48,571
1000	1,971	2,445	31,436	15,301	22,393	48,569
2000	2,786	2,444	62,86	23,145	35,421	48,562
3000	3,412	2,444	94,283	29,763	45,941	48,559
4000	3,94	2,444	125,704	35,746	56,650	48,557
5000	4,404	2,444	157,125	41,324	66,135	48,556

Как видно из расчетов, значения волнового сопротивления отличаются от номинала кабеля (50 Ом) не более, чем на 3%.

Отличие расчетного (97,1 пФ/м) и справочного (94,0 пФ/м) значения электрической емкости, также не превышает 3%.

Сравнительная характеристика значений коэффициента затухания, полученных эмпирически и расчетным методом, отображена на графике, приведенном на рисунке 3.

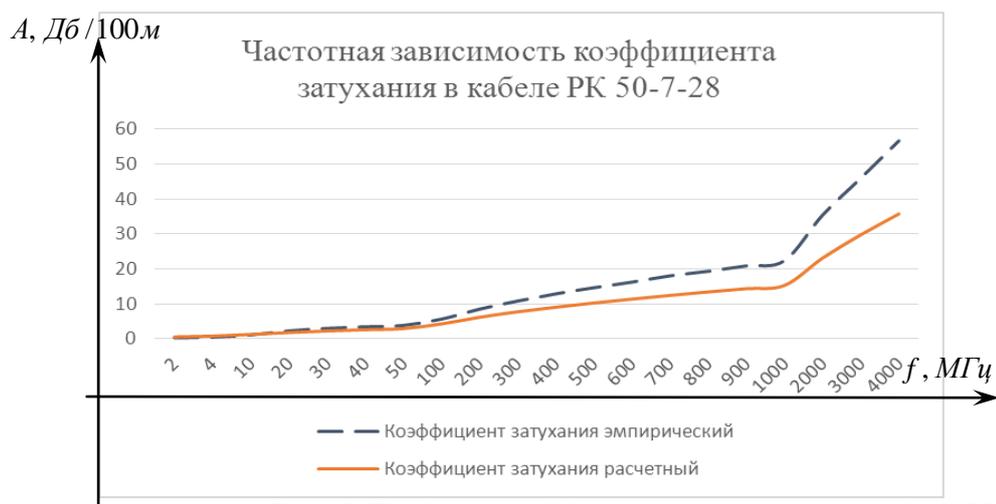


Рис. 3. Графики коэффициентов затухания кабеля РК 50-7-28.

При расчете параметров коэффициента затухания радиочастотного кабеля RG142 аналогичной конструкции со следующими геометрическими размерами, мм: $r_a=0,47$, $r_b=1,48$, $r_c=1,8$, применяется методика, описанную выше, а также приближенная формула для коаксиального кабеля с медными проводниками,

$\frac{Дб}{100 м}$ [3]:

$$\alpha = \frac{2,6 \cdot 10^{-4} \sqrt{\varepsilon \cdot f}}{\lg \frac{D}{d}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) + 9,08 \cdot 10^{-6} f \sqrt{\varepsilon} \operatorname{tg} \delta, \quad (14)$$

где d, D – диаметры внутреннего и внешнего проводника соответственно,

$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma_d}{\omega \varepsilon \varepsilon_0}$ - тангенс угла диэлектрических потерь.

Отображая полученные в результате расчета значения на графике, приведенном на рисунке 4, наблюдаем похожую тенденцию расхождения значений коэффициентов затухания.



Рис. 4. Графики коэффициентов затухания кабеля RG142.

Представленные на рисунке 4 частотные зависимости коэффициента затухания «коэффициент затухания расчетный 1» и «коэффициент затухания расчетный 2» получены из формул (13) и (14), соответственно.

Выводы

Как показала верификация существующей методики расчета параметров коаксиальных кабелей, моделирование дает удовлетворительное (с точностью до 3%) соответствие между такими параметрами, как погонная индуктивность и волновое сопротивление.

Вместе с тем, при расчете коэффициента затухания выявлены существенные расхождения между расчетными и экспериментальными данными для участка частотного спектра выше 100 МГц. Что говорит о проблеме связанной с необходимостью выявления дополнительных параметров, влияющих на корректность расчетов характеристик АФУ в высокочастотном диапазоне.

Упрощенные методы расчета позволяют выполнять расчет параметров кабеля с меньшим числом входных параметров, не прибегать к аппарату функций Бесселя, однако при этом также наблюдается расхождение эмпирических и расчетных значений коэффициента затухания в области высоких частот. Это говорит о том, что выявленная проблема носит системный характер и требует проведения дополнительных исследований с целью установления зависимости некоторых физических параметров кабеля от частоты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] RF&MICROWAVE CABLE ASSEMBLIES Справочник кабелей и соединителей.
- [2] Б.Г. Шадрин, Б.С. Баганков, Д.Е. Зачатейский Применение технологии ММО в системах КВ-радиосвязи// Техника радиосвязи №3-2016.
- [3] Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. М., Радио и связь, 1988 с. 88 – 108.

[4] Парфенов Ю.А. Кабели электросвязи, М., Экотрендгиз, 2003 с. 56 – 75.

[5] Митрохин В.Е., Занкин С.Н. «Методика расчета параметров коаксиального кабеля в широком диапазоне частот»// приборостроение и информационные технологии//Тезисы докладов IX ежегодной научно-практической конференции, Омск 2017 с. 81 – 86.

[6] Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. М., Наука, 1968 с. 178 – 247.

Валерий Евгеньевич Митрохин д.т.н., профессор, профессор ОмГУПС

Сергей Николаевич Занкин старший научный сотрудник АО «ОНИИП»

Особенности организации дуплексной КВ системы радиосвязи

*А.Н. Юрьев, старший научный сотрудник
Д.И. Кузнецов аспирант, инженер-программист*

Методом имитационного моделирования рассмотрена возможность организации дуплексного информационного обмена, а также возможность использования режима с разделением времени приема и передачи для организации радиосвязи в коротковолновом диапазоне, определена требуемая для организации дуплексной системы связи скорость цифрового потока.

Ключевые слова: дуплекс, информационный обмен, коротковолновый диапазон, ofdm-модем, tdd-режим, скорость цифрового потока, вокодер.

Режим одновременных передачи и приема (дуплексный обмен) в коротковолновом диапазоне основан на разнесении частот приёма и передачи, при одновременном пространственном разнесении антенн, либо приемного и передающего центров для многоканальных систем связи большой мощности. Пространственное разнесение приёмной и передающей антенн на расстояния порядка (0,2 ÷ 1) км требует дуплексного разнесения частот в радиосистеме не менее 10% от значения несущей частоты (в некоторых системах от 20 до 50%), при этом значительная часть диапазона применимых рабочих частот не может быть использована радиосистемой. Пространственное разнесение передающего и приемного центров на расстояния (30 ÷ 50) км позволяет снизить требуемый дуплексный разнос до минимума. Однако, такой метод требует единой системы управления разнесёнными частями радиосистемы и линии связи, соединяющей приёмный и передающий центр, что усложняет и удорожает инфраструктуру радиосистемы.

Использование частотного разнесения в КВ системах связи не позволяет проводить одновременную работу приемника и передатчика на одну антенну даже при пониженных мощностях передатчика, т.к. реализация дуплексного фильтра в КВ диапазоне практически невозможна. Это не позволяет реализовать дуплексный режим обмена в КВ диапазонах частот в портативных радиостанциях (1...20 Вт) и в работающих на ходу мобильных радиостанциях (10...200 Вт), что значительно сокращает область применения режима дуплексного обмена.

Между тем, развивающаяся стремительными темпами в УКВ диапазоне мобильная радиосвязь (сотовые и транкинговые системы связи), уже давно предлагает в качестве основного дуплексный режим работы. В аналоговых мобильных системах связи 1-го поколения (AMPS, NMT-450 и др.) использовался режим с частотным доступом (FDMA), при этом дуплекс обеспечивался разнесением частот каналов приема и передач (режим FDD). В системах 2-го поколения (D-AMPS, GSM, TETRA и др.), которые были уже полностью цифровыми, использовались системы с временным доступом (TDMA), при этом дуплекс обеспечивался разнесением по времени каналов приёма и передачи (режим TDD). В мобильных сетях 3G (CDMA2000, DECT и др.) и 4G (WiMAX, LTE) поддерживаются оба вида разнесения – FDD и TDD.

Рассмотрим реализацию режима TDD, когда на одной частоте размещен только один дуплексный канал. В связи с малой полосой пропускания КВ канала (3,1 кГц), размещение на одной частоте нескольких дуплексных каналов представляется проблематичным.

На рисунке 1 изображены временные диаграммы работы двух радиостанций, осуществляющих в режиме TDD обмен телефонными сигналами в процессе ведения связи.



Рис. 1 – Временные диаграммы радиостанций, работающих в режиме TDD T – длительность цикла; $T_{прд1}$ и $T_{прд2}$ – время передачи посылки 1-ой и 2-ой радиостанциями; $T_{прм1}$ и $T_{прм2}$ – время приема посылки 1-ой и 2-ой радиостанциями; τ_p – время распространения сигнала по радиоканалу; $\tau_з$ – защитный интервал; $T_{зад}$ – время задержки сигнала от источника до получателя.

Поскольку в режиме TDD непрерывная речь длительностью T должна быть передана за время $T_{прд}$, то должно обеспечиваться сжатие речи.

В работе [1] предложен способ дуплексного радиообмена, применимый в КВ диапазоне, в соответствии с которым используется режим TDD совместно с линейным временным сжатием телефонного сигнала. Аналоговый телефонный сигнал разделяется на слоты длительностью T и подвергается оцифровке с частотой дискретизации f_d , отсчеты записываются в память. Затем отсчеты считываются с частотой $k \cdot f_d$ и подаются на ЦАП, при этом получается кусочный аналоговый сигнал, который и передается в радиоканал. На приеме производится обратное преобразование, т.е. оцифровка принятого сигнала с частотой дискретизации $k \cdot f_d$, затем считывание с частотой дискретизации f_d и шивание кусочков сигнала. Указанный способ позволяет для проведения дуплексных сеансов связи использовать симплексную КВ радиостанцию. Недостатком способа является расширение полосы сигнала при временном сжатии сигнала. Для реализации способа требуется использовать либо двухполосную модуляцию с независимыми боковыми полосами, либо использовать два соседних канала по 3,1 кГц.

Время задержки принимаемой телефонной информации по данному способу составляет

$$T_{зад} = T_{прд} + 3\tau_p + 2\tau_з + T_{синх} = T_{кв} + 3\tau_p + 2\tau_з + 2T_{синх} \quad (1)$$

Сжатие речевого сигнала может быть реализовано также с использованием вокодера. На рисунке 2 представлена структурная схема цифровой дуплексной КВ радиостанции.

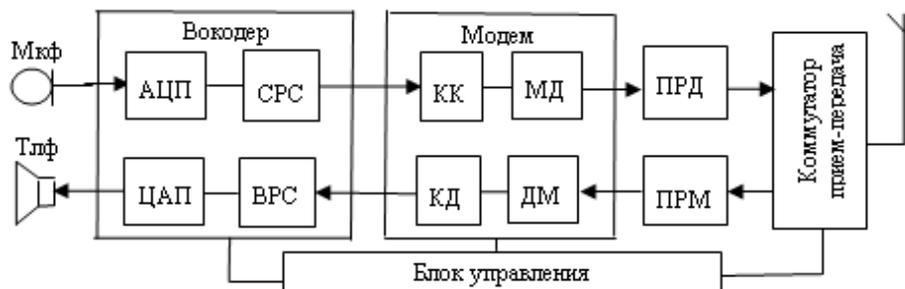


Рис. 2 – Структурная схема цифровой дуплексной КВ радиостанции СРС – блок сжатия ТЛФ сигнала; ВРС – блок восстановления ТЛФ сигнала; КК – каналный кодер; КД – каналный декодер; МД – модулятор; ДМ – демодулятор; ПРД – передатчик; ПРМ – приемник; ФЦ – формирователь цикла.

Время задержки, если используется параллельный модем равно

$$T_{зад} = T + T_{кв} + t_{синх} + T_{обр.прд} + t_p + T_{обр.прм} \quad (2)$$

где t_p – время распространения сигнала от передатчика до приемника.

В работе [2] предложен способ реализации зоновой КВ системы связи, в соответствии с которым метод TDD реализуется не только на абонентских радиостанциях, но и на базовой станции, что позволяет существенно упростить построение базовой станции.

В работе [3] проведено имитационное моделирование цифровой КВ радиосистемы передачи речи со сжатием сигнала вокодером. Моделирование показало, что приемлемые результаты обеспечиваются при сжатии сигнала до скоростей цифрового потока менее 1200 бит/с. Результаты моделирования представлены в таблице.

Таблица 1– Отношения сигнал/шум [дБ] (E_b/N_0), требуемые для достижения вероятности ошибки $2 \cdot 10^{-2}$

Скорость вокодера, бит/с	Тип модуляции	Информационная скорость СКК, бит/с	R	Тип канала по ITU-R		
				АБГШ канал	Хорош. канал	Плох. канал
600 (1536)	DBPSK	1847	2/3	5,6	8,7	9,9
		2078	3/4	5,6	9,3	11,4
1200 (3072)	DQPSK	2770	1/2	5,0	7,4	8,0
		3694	2/3	5,4	8,4	9,8
	4155	3/4	5,6	9,5	11,6	
2400 (6144)	DPSK-8	4155	1/2	6,5	9,0	10,3
		6232	3/4	8,0	11,5	19,2
	QAM-16	7387	2/3	9,8	15,7	-
QAM-32	6925	1/2	11,4	17,4	-	

Таким образом, метод TDD может быть применён при построении дуплексных систем и сетей передачи данных, как с равноправными радиостанциями, так и радиальных сетей с базовыми станциями.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Юрьев, А.Н. Способ дуплексного радиообмена телефонными сигналами / А.Н. Юрьев, Б.Н. Ярошевич // Патент РФ № 2208910, приоритет от 23.02.2000.
- [2] Юрьев, А.Н. Способ зонной дуплексной связи с временным разнесением каналов приема и передачи / А.Н. Юрьев, В.Л. Хазан // Патент РФ № 2507683, приоритет от 23.04.2012.
- [3] Юрьев, А.Н. Выбор сигнально-кодовой конструкции для цифровых КВ систем связи с временным разнесением приёма и передачи / А.Н. Юрьев, И.С. Землянов // Техника радиосвязи / Омский НИИ приборостроения, 2015. - Вып. 4, - С. 48-59.
-

Юрьев Александр Николаевич, к.т.н., старший научный сотрудник, Омский НИИ Приборостроения, 644009, Россия, г. Омск, ул. Масленникова, 231. +7-913-979-13-91, yurev47@mail.ru

Кузнецов Дмитрий Игоревич, аспирант, АиСУ, Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Россия, г. Омск, пр. Маркса, 35. Инженер-программист, Омский НИИ Приборостроения, 644009, Россия, г. Омск, ул. Масленникова, 231. +7-950-780-5752, kuznecov.dmitri@gmail.com

Для заметок

Научное издание

Современные проблемы радиофизики и радиотехники

*Сборник докладов
Омского научного семинара*

Выпуск 6

Ответственный редактор *С. В. Кривальцевич*

В авторской редакции

Дизайн обложки *С. Г. Машинская*

Подписано в печать 25.10.2017
Формат 60x84 1/16. Бумага типографская.
Усл. печ. л. 5,0 Уч.-изд. л. 5,2 Тираж 50 экз.

Отпечатано на полиграфической базе АО «ОНИИП»
644009, Омск, ул. Масленникова, 231

ISBN 978-5-9909318-3-1



9 785990 931831