

## Генерирование и излучение СШП сигнала под требования эффективной маски ГКРЧ РФ

Е.П. Грахова, Г.И. Абдрахманова, А.Х.Султанов

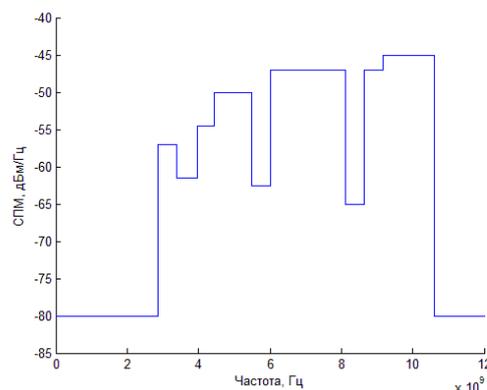
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12, [tk@ugatu.ac.ru](mailto:tk@ugatu.ac.ru)

*В статье рассмотрены основные блоки СШП системы связи, необходимые для формирования сигнала, соответствующего спектральной маске ГКРЧ РФ: формирователь импульсов, фильтр формы, передающая антенна. Предложены несколько моделей СШП импульсов и метод их генерации, а также Bug-антенна для их излучения. Рассмотрена эффективная маска ГКРЧ с учетом влияния антенны на передаваемый сигнал.*

*The main elements of UWB communication system, that are necessary for generating the pulse, which satisfies the SCRF spectral mask requirements, are considered. They include: pulse generator, shaping filter, radiating antenna. Several models of UWB pulses and the method of generating, and also the Bug-antenna for radiating are proposed. The effective SCRF mask, which takes into account the antenna influence, is discussed.*

В настоящее время сфера потенциального применения сверхширокополосных (СШП) беспроводных устройств расширяется за счет освоения промышленной, коммерческой и потребительской областей. В данном случае рассматриваются средства связи между портативными устройствами, такими как видекамеры, плазменные дисплеи высокой точности, DVD плееры, МФУ, устройства ввода/вывода информации [1]. Ввиду ограничений, наложенных Государственной комиссией по радиочастотам РФ (ГКРЧ, [2]), вопрос генерации и излучения СШП сигналов приобретает существенную сложность: спектральная плотность эффективной изотропно излучаемой мощности (СП ЭИИМ) СШП устройства должна иметь низкий уровень и быть неравномерной на разных частотах в соответствии со спектральной маской (рис. 1) для обеспечения электромагнитной совместимости с другими устройствами, работающими в данном диапазоне.



**Рис. 1. Маска СПМ по решению ГКРЧ для СШП устройств, работающих внутри помещений**

В данной работе предлагается исследовать особенности генерирования и излучения СШП сигнала в условиях ограничений ГКРЧ. Для этого будет рассмотрена следующая система связи (передающая часть, рис. 2), состоящая из формирователя СШП

импульса, фильтра формы и передающей антенны. Рассмотрим указанные блоки подробнее.

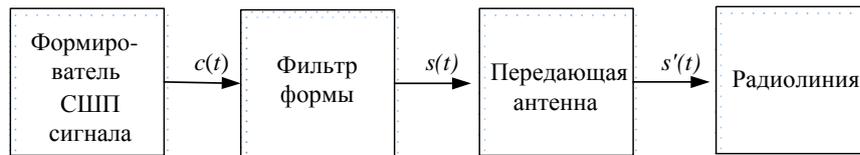


Рис. 2. Структурная схема СШП системы связи (передающая часть)

### Формирование СШП сигнала

В ходе предыдущих исследований задача формирования СШП радиоимпульса была решена применением функций Гаусса и Рэля [3], Эрмита и вейвлетов в качестве базовых компонентов оптимальных импульсов. При этом добивалось соответствие спектральной плотности мощности (СПМ) предложенного импульса спектральной маске ГКРЧ путем подбора коэффициентов форм ( $\sigma$ ,  $w$ ) и порядков производных, при соблюдении условий:

$$\int_0^{\infty} s_{opt}(t) dt = S(f)_{f=0} = 0, \quad (1)$$

$$P_{opt}(f) \leq P_{ГКРЧ}(f), \quad (2)$$

где  $P_{opt}$  – СПМ оптимального импульса;

$P_{ГКРЧ}$  – СПМ маски ГКРЧ.

В результате численных экспериментов по моделированию импульсов в среде MATLAB R2012b были предложены следующие варианты оптимальных импульсов:

- импульсы на основе производных импульса Гаусса и Рэля [3]. Данные импульсы характеризуются максимальным использованием выделенного диапазона частот, а также наибольшим, среди предложенных вариантов, значением СПМ (рис. 3). Однако для обеспечения соответствия маске ГКРЧ используются производные высоких порядков, что сильно усложняет техническую реализацию.

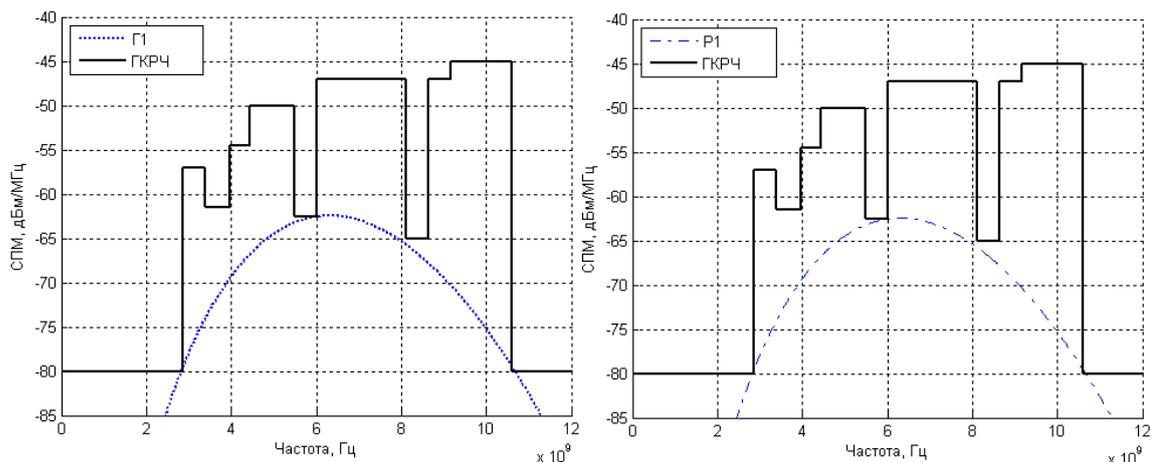
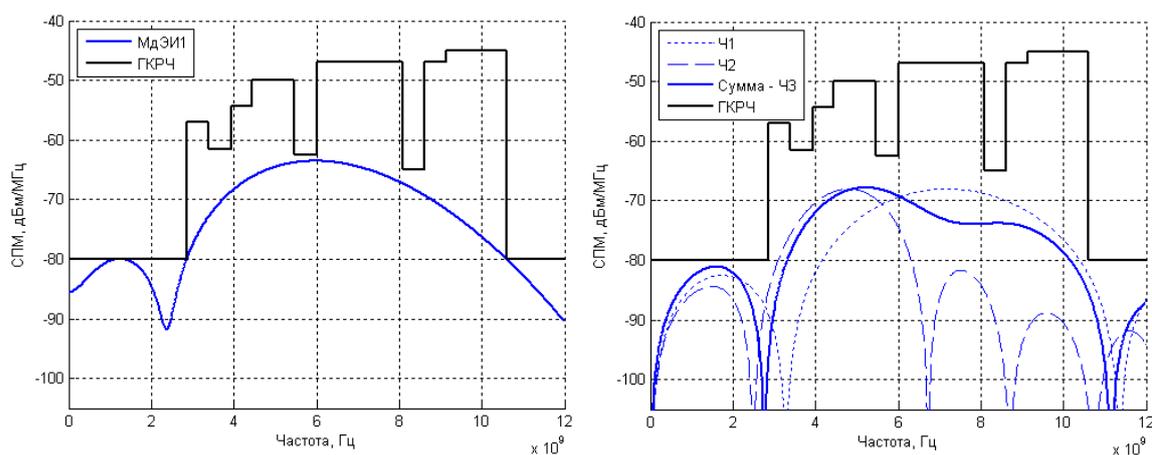


Рис. 3. СПМ оптимальных импульсов: Г1 – пятая производная импульса Гаусса,  $\sigma = 0,056$ нс; P1 – четвертая производная импульса Рэля,  $\sigma = 0,199$ нс

- импульсы на основе полиномов Эрмита и вейвлетов. Для предварительного моделирования были использованы модулированные эрмитовские импульсы (МдЭИ) первого порядка, а также комплекснозначные аналитические вейвлеты, построенные на

частотном В-сплайновом вейвлете (ЧБСВ). В результате эксперимента было выявлено, что наиболее соответствуют маске ГКРЧ МдЭИ первого порядка, а также ЧБСВ, сформированный как сумма двух импульсов с различными коэффициентами веса  $w$  (рис. 4). Данные импульсы характеризуются меньшим значением уровня максимальной СПМ, в сравнении с ранее предложенными. Основным же преимуществом предложенных видов функций над импульсами Гаусса и Рэлея является возможность использования производных только первого и третьего порядков, что значительно упрощает физическую реализацию.



**Рис. 4. СПМ оптимальных импульсов: МдЭИ1 – МдЭИ первого порядка; Ч1 – ЧБСВ,  $w = 1$ ; Ч2 – ЧБСВ,  $w = 0,5$ ; Ч3 – сумма Ч1 и Ч2**

Оценка эффективности предложенных импульсов была произведена по показателю коэффициента использования спектральной маски ГКРЧ – КИМ, определяемому выражением:

$$\text{КИМ} = \frac{S_{opt}}{S_{ГКРЧ}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $S_{opt}$  – площадь оптимального импульса по уровню  $-100$  дБм/МГц;

$S_{ГКРЧ}$  – площадь маски ГКРЧ по уровню  $-100$  дБм/МГц.

Расчетные значения показателя КИМ, а также значения мощности передаваемого сигнала  $P_1$  для предложенных импульсов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения рассчитанных параметров для оптимальных импульсов

Название импульса	КИМ, %	$P_1$ , мВт	$P_1$ , дБм
Маска ГКРЧ	100	0,112	-9,5
Импульс Г1	61,16	0,0685	-11,64
Импульс Р1	61,17	0,0685	-11,64
Импульс МдЭИ1	67,57	0,0756	-11,21
Импульс Ч3	54,43	0,0609	-12,15

В качестве формирователя СШП сигналов для предложенных импульсов предлагается использовать генератор сигналов произвольной формы M8190A, 12 Гвыб./с Keysight Technologies.

### Фильтр формы и передающая антенна

Фильтр формы предназначен для дополнительной фильтрации сигнала с выхода формирователя. Его передаточная функция рассчитана в соответствии со спектральной маской ГКРЧ и имеет строгие провалы в полосах заграждения.

Передающая антенна согласована с излучаемым сигналом по диапазону частот. В данном случае рассматривается Vug-антенна (рис. 5, [4]), диапазон частот которой составляет 3,1÷15 ГГц (рис. 6).

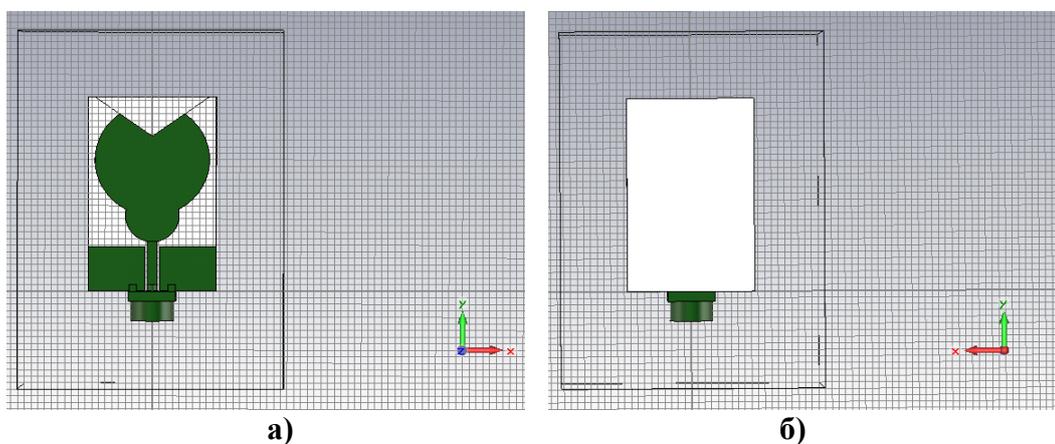


Рис. 5. Внешний вид Vug-антенны: а) лицевая сторона; б) оборотная сторона

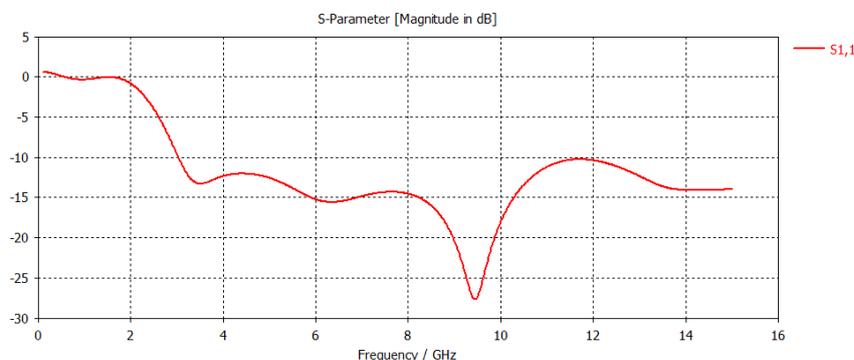


Рис. 6. Коэффициент отражения Vug-антенны

### Эффективная спектральная маска

Формирование СШП импульсов в условиях ограничений маски ГКРЧ, представленное в данной работе, было произведено без учета особенностей излучения сигнала в системе широкополосной радиосвязи. Спектральная маска ГКРЧ характеризует распределение максимальной СП ЭИИМ, которая зависит не только от СПМ сформированных импульсов, но и от частотной характеристики передающей антенны. ЭИИМ определяется выражением:

$$\text{ЭИИМ} = P_n(f)G_n(f), \quad (4)$$

где  $P_n(f)$  – СПМ импульса на выходе формирователя СШП сигналов,  
 $G_n(f)$  – коэффициент усиления передающей антенны.

Исходя из (4) можно сделать вывод, что формирование СШП импульса должно также зависеть от коэффициента усиления передающей антенны, учитывать который для каждой выбранной антенны удобнее через определение эффективной спектральной маски  $EM(f)$  ГКРЧ:

$$EM(f) = \frac{S_{\text{ГКРЧ}}(f) \cdot c}{4\pi r f \sqrt{G_o(f)}}, \quad (5)$$

где  $S_{\text{ГКРЧ}}(f)$  – спектральная маска ГКРЧ,  
 $c$  – скорость света,

$r$  – расстояние между передающей и приемной антеннами,  
 $G_o(f)$  – общий частотный отклик приемо-передающей пары.

Величина  $G_o(f)$  может быть измерена с помощью анализатора сетей.

Таким образом, формирование СШП импульсов, учитывающее характеристики передающей антенны, должно быть осуществлено в условиях ограничений эффективной спектральной маски по ГКРЧ.

### **Выводы**

В данной работе исследовались особенности генерирования и излучения импульсов для СШП систем связи. Была рассмотрена передающая часть системы, включающая формирователь импульсов, формирующий фильтр, передающую антенну и радиолинию. Были предложены СШП импульсы, отвечающие ограничениям ГКРЧ и характеризующиеся сравнительно большими показателями эффективности. Также был определен тип передающей антенны.

В результате исследования было выявлено, что для соответствия предложенных СШП импульсов ограничениям маски ГКРЧ должны быть учтены частотные характеристики передающей антенны, в том числе коэффициент усиления и передачи. Поэтому в дальнейших исследованиях предлагается определить эффективную спектральную маску ГКРЧ, включающую в себя эти показатели, которая и будет определять ограничения для СПМ сформированных импульсов.

Исследование формирования СШП радиоимпульсов в условиях ограничений маски ГКРЧ является эффективным средством увеличения производительности СШП систем связи в целом.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение о предоставлении субсидии № 14.574.21.0058. Уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57414X0058.*

### **Литература**

1. Рекомендация МСЭ-R SM.1755. Характеристики сверхширокополосной технологии, 2006. – 20 стр.
2. Приложение к решению ГКРЧ от 15 декабря 2009 г. № 09-05-02. Сверхширокополосные беспроводные устройства. – 2009. – 2 с.
3. Моделирование СШП радиоимпульсов на основе производных Гаусса и Рэля с учетом спектральной маски ГКРЧ / Грахова Е.П., Мешков И.К., Багманов В.Х., Виноградова И.Л. // Электротехнические и информационные комплексы и системы, №3, т. 10, 2014. – С. 62-69.
4. Сверхширокополосная система связи на основе новых моделей импульсов и антенн / Абдрахманова Г. И., Багманов В.Х. // Вестник УГАТУ, т. 17, №4 (57), 2013. Уфа. – С. 152-159.