



УДК 621.396

SYNTHESIS OF TWO-PARAMETRIC TRUNCATED SELECTIVE SIGNALS СИНТЕЗ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИХ УСЕЧЕННЫХ СЕЛЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ

Вуков Р. Г./ Биков Р. Г.

State University of Intelligent Technologies and Communications,

Odessa, Kuznechna, 1, 65029

Государственный университет интеллектуальных технологий и связи,

Одесса, Кузнечная, 1, 65029

Аннотация. Основным свойством селективного сигнала является отсутствие межсимвольной интерференции (МСИ) в моменты регистрации его отсчетов. Такие сигналы обладают бесконечной длительностью, и поэтому на практике не подходят для использования в телекоммуникационных системах. В работе исследован один из способов синтеза усеченных селективных сигналов с несколькими параметрами с использованием ортогонального базиса функций Уолша и сглаживающего фильтра нижних частот (ФНЧ). Приведены расчетные формулы для определения коэффициентов составляющих аппроксимированного сигнала. Показано изменение формы спектра сигнала с увеличением размерности ортогонального базиса. Сделаны выводы о характере влияния основных параметров сглаживающего ФНЧ на погрешность аппроксимации по D -критерию минимума МСИ.

Ключевые слова: селективные сигналы, усеченные сигналы, аппроксимация, МСИ, D -критерий.

Вступление.

Использование селективных сигналов или импульсов Найквиста [1] в цифровых системах связи определяется отсутствием МСИ в моменты регистрации отсчетов импульса. Данное свойство, известное как первый критерий Найквиста, в частотной области выражается в нечетной симметрии спектра в переходной области. При изучении свойств селективных сигналов предполагается, что они обладают финитным спектром. Следствием такого подхода является бесконечная длительность импульсов. Для практического применения их следует ограничить во времени.

В работе исследуется один из способов синтеза усеченных селективных сигналов, состоящий из двух этапов: аппроксимации усеченного сигнала с помощью ортогональной системы функций Уолша и его сглаживания с помощью ФНЧ.

Представление усеченного селективного сигнала в ортогональном базисе функций Уолша.

В качестве примера был выбран двухпараметрический сигнал Найквиста [2], спектральная плотность которого имеет вид:

$$|G(j\omega)| = \begin{cases} UT, 0 \leq |\omega| < \omega_A; \\ UT(k\omega + b), \omega_A \leq |\omega| < \omega_B; \\ 0, |\omega| \geq \omega_B, \end{cases} \quad (1)$$

где U – значение селективного сигнала при $t = 0$; T – длительность тактового интервала; $\omega_A = (1 - \alpha)\omega_C$, $\omega_B = (1 + \alpha)\omega_C$ – границы переходной области;



$\omega_C = \pi / T$ – средняя частота переходной области;
 $0 \leq \alpha \leq 1$ и $0 \leq \beta \leq 1$ – параметры импульса; $k = (2\beta - 1) / 2\alpha\omega_C$;
 $b = (\alpha + 1 - 2\beta) / 2\alpha$.

Добавление новых параметров для аппроксимации переходной области спектра можно рассматривать, как увеличение числа степеней свободы, что позволяет решать различные задачи оптимизации. Например, создавать сигналы, содержащие максимальную энергию в области главного лепестка и пр.

Зависимость значений сигнала со спектральной плотностью (1) от времени определяется с помощью следующего выражения:

$$g(t) = \frac{U}{\omega_C t} \left[\beta \cdot \sin(\omega_A t) + \beta \cdot \sin(\omega_B t) - k / t \cdot \cos(\omega_A t) + k / t \cdot \cos(\omega_B t) \right]. \quad (2)$$

Усеченная версия сигнала может быть представлена с помощью (2) следующим образом:

$$g(t, a) = \begin{cases} g(t), & |t| \leq a; \\ 0, & |t| > a, \end{cases} \quad (3)$$

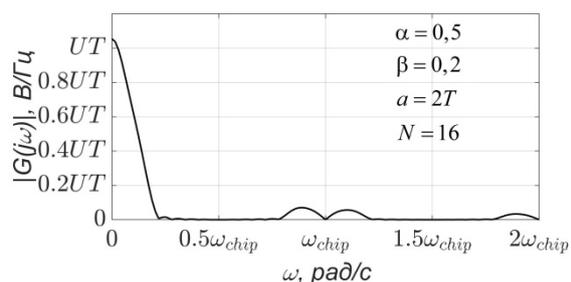
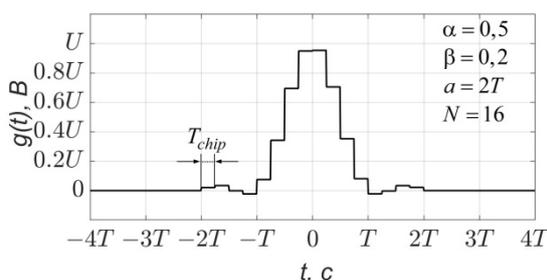
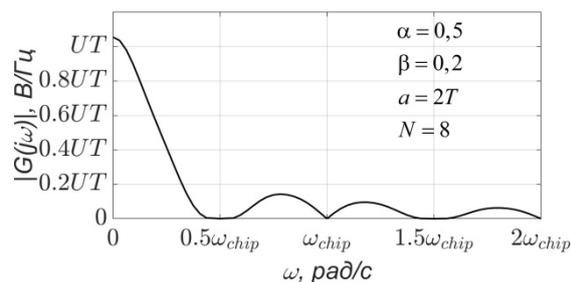
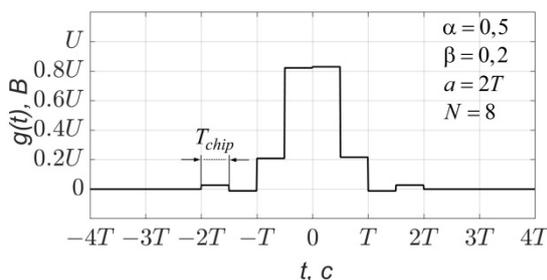
где a – граница усеченного импульса.

Первый этап синтеза усеченного импульса Найквиста – это его разложение в обобщенный ряд Фурье на основе ортогональной системы функций Уолша.

$$\hat{g}(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cdot u_n(t);$$

$$c_n = \frac{1}{E_n} \int_{-a}^a g(t) u_n(t) dt,$$

где N – количество функций Уолша, c_n – коэффициент n -ой функции Уолша, $u_n(t)$ – n -ая функция Уолша, E_n – энергия n -ой функции Уолша.



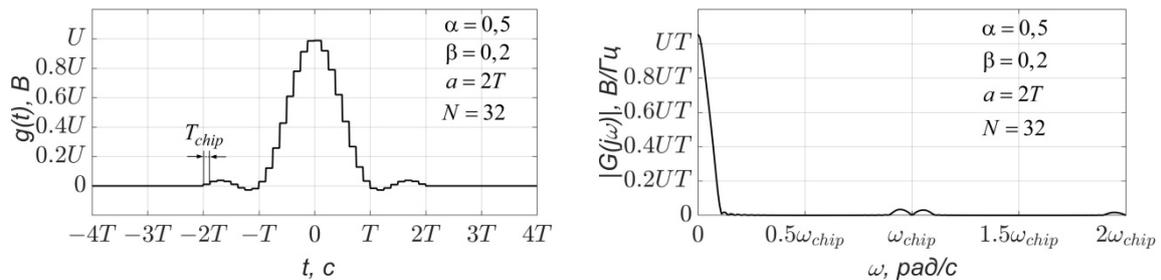


Рисунок 1 – Аппроксимация усеченного селективного сигнала с помощью ортогональных систем функций Уолша разной размерности

Анализ рисунка 1 показывает, что увеличение размерности ортогональной системы функций Уолша приводит к увеличению частотного промежутка между спектральными составляющими аппроксимированного усеченного селективного сигнала. Таким образом, увеличение размерности ортогонального базиса при синтезе импульса позволяет увеличить ширину переходной области ФНЧ, а соответственно, уменьшить порядок фильтра. С другой стороны, возрастает вычислительная сложность при определении коэффициента каждой из составляющих функций системы.

Влияние параметров ФНЧ на величину ошибки синтезированного сигнала.

В работе исследовано влияние частоты среза и порядка фильтра на величину ошибки при восстановлении исходного сигнала. Для моделирования сглаживания ступенчатого сигнала в среде MATLAB был выбран ФНЧ Баттерворта (рисунок 2), поскольку он обладает максимально гладкой амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) в полосе пропускания [3].

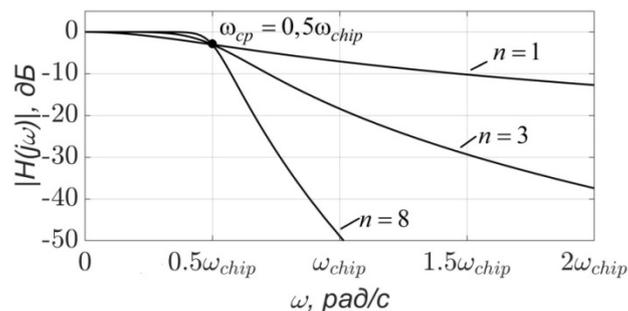


Рисунок 2 – Передаточная характеристика ФНЧ Баттерворта

В результате фильтрации должен получиться сигнал $\tilde{g}(t)$, максимально приближенный к сигналу (3). В качестве показателя сглаживания использован D -критерий, отображающий значение результирующей МСИ на выходе фильтра.

$$D = \frac{1}{\tilde{g}(0)} \sum_{\substack{i=-4 \\ i \neq 0}}^4 \left| \frac{\tilde{g}(iT)}{\tilde{g}(0)} \right|,$$

где $\tilde{g}(iT)$ – значение сглаженного сигнала в i -й тактовый интервал.

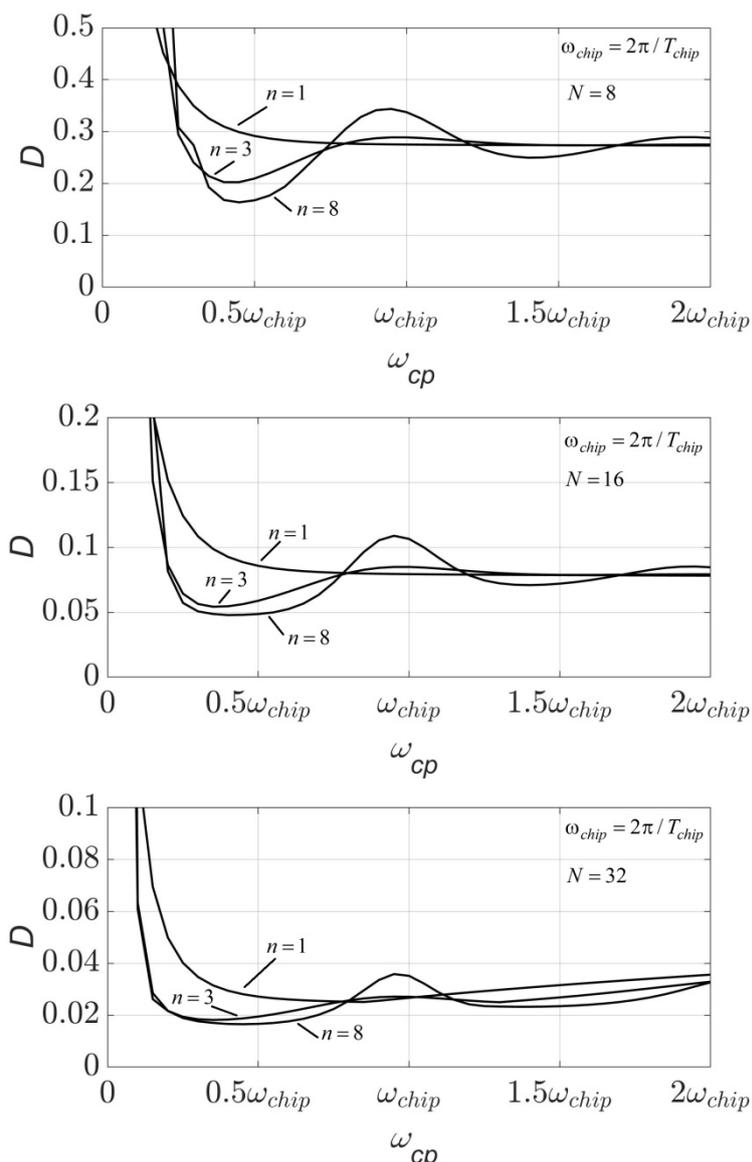


Рисунок 3 – Зависимость МСИ от порядка и частоты среза фильтра при различных размерностях ортогонального базиса функций Уолша

Выводы

В работе исследован метод синтеза одного из классов усеченных импульсов Найквиста с помощью системы ортогональных функций Уолша и сглаживающего ФНЧ типа Баттерворта. Выполнена оценка влияния частоты среза и порядка фильтра на погрешность восстановленного сигнала. Результат показал, что минимальный уровень МСИ наблюдается при частоте среза $0,5\omega_{chip}$, где $\omega_{chip} = 2\pi / T_{chip}$ (T_{chip} – длительность чипа функции Уолша). Увеличение порядка фильтра оказывает незначительное влияние на степень снижения МСИ. Кроме параметров фильтра на МСИ влияет количество функций Уолша, используемых для аппроксимации усеченного селективного сигнала (рисунок 3). Так, при $N = 8$ минимальное значение МСИ составляет 0,17; при $N = 32$, это значение уменьшается в 10 раз.

Помимо предложенного в статье, существуют и другие способы синтеза селективных сигналов, например, с использованием ортогональной системы



функций Хаара, однако их изучение уже является предметом дальнейших исследований.

Литература:

1. Сукачев Э. А. Введение в теорию сигналов Найквиста: монография / Э. А. Сукачев. – Одесса: Освіта України, 2016. – 108 с.
2. Быков Р. Г. Анализ усеченных во времени двухпараметрических селективных импульсов / Р. Г. Быков, Э. А. Сукачев // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє, Одеса, 2020. – С. 71-73.
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.

***Abstract.** Main feature of selective signals is absence of inter-symbol interference in clock interval instants. Such signals have infinite duration and thus can't be used in telecommunication systems. One of methods to synthesize truncated selective signals has been investigated in this paper. In section 1 there are provided expressions that allow representing truncated selective signal in orthogonal basis of Walsh functions. In section 2 it is shown how parameters of low-pass filter influence on ISI. Program has been created in MATLAB that allows to illustrate simulation results.*

***Key words:** selective signals, truncated signals, approximation, ISI, D-criterion.*

Статья отправлена: 08.06.2021 г.
Быков Р. Г.