

## ОЦЕНКА ЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА ПРИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

**Высоцкий Леонид Алексеевич**

студент, Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А. Н. Туполева – КАИ, РФ, г. Казань

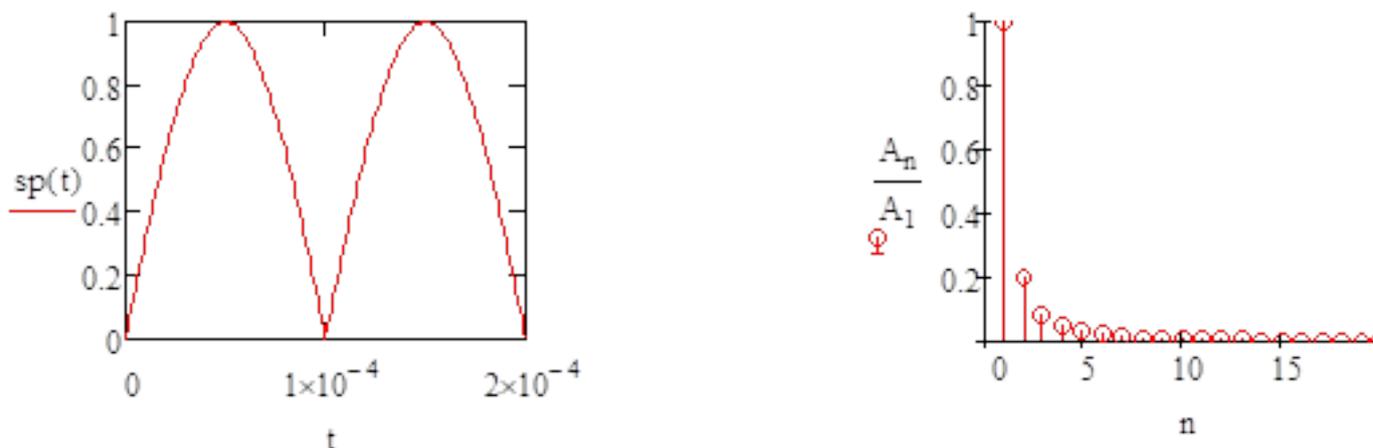
**Козлов Владимир Алексеевич**

научный руководитель, канд. техн. наук, доцент, Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А. Н. Туполева – КАИ, РФ, г. Казань

При работе всех систем передачи информации ставится задача не допустить значительных искажений передаваемого сигнала в процессе его распространения по системе. Эти искажения могут возникать вне устройств канала связи (работа других передающих устройств, атмосферные процессы электрической природы и т.д.) и в самих устройствах канала связи (нелинейные преобразования сигнала, несоответствие характеристик линейных блоков спектральным характеристикам сигнала и т.д.). В данной работе исследовалось искажение широкополосного сигнала в линейных блоках, связанных со спадом усиления в области верхних частот. Такой спад наблюдается у всех реальных линейных цепей по ряду причин, в частности в связи с паразитными параметрами элементов.

Была составлена программа в среде Mathcad, позволяющая проводить восстановление временной функции сигнала по его спектру, оценивать погрешность восстановления временной функции при ограниченной ширине спектра сигнала, проводить цифровую фильтрацию сигнала, строить графики временных функций и спектральных характеристик.

В качестве примера сигнала был рассмотрен вариант двухполупериодного выпрямления гармонического колебания. На рис. 1 представлены графики временной функции и амплитудного спектра этого сигнала:



## **Рисунок 1. График временной функции и амплитудного спектра**

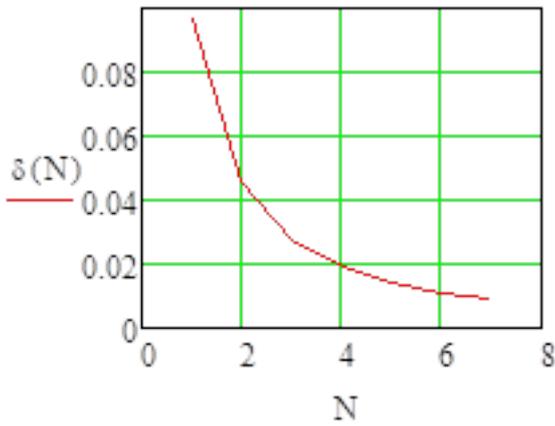
Восстановление сигнала по известным параметрам спектра производилось по формулам (1).

$$A_n := \frac{4E}{(4n^2 - 1) \cdot \pi}, \quad \psi_n := \pi, \quad A_0 := \frac{2 \cdot E}{\pi}$$

Восстановление сигнала проводилось с помощью ряда Фурье (2).

$$sv(t) := A_0 + \sum_{n=1}^{N1} [(A_n) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot n \cdot t - \psi_n)]$$

В реальной жизни говорить о сигналах с бесконечно широким спектром нельзя, так как даже если бы такие сигналы и существовали, то, проходя по реальным электрическим цепям с конечной полосой пропускания, они неизбежно превратились бы в сигналы с ограниченным спектром. Поэтому для сигналов нужно ограничить реальную ширину спектра. Конечно, исключение из рассмотрения каких-то частот скажется на точности представления временной функции. Но всегда можно выбрать верхнюю границу так, чтобы возникающая при этом погрешность не была слишком большой. Активной шириной спектра как раз и называют полосу частот, которая содержит основную информацию о сигнале [1]. Для оценки активной ширины спектра исследуемого сигнала рассчитывалась среднеквадратическая погрешность восстановления сигнала по ограниченному числу гармоник  $N$ . График этой зависимости приведен на рис 2.

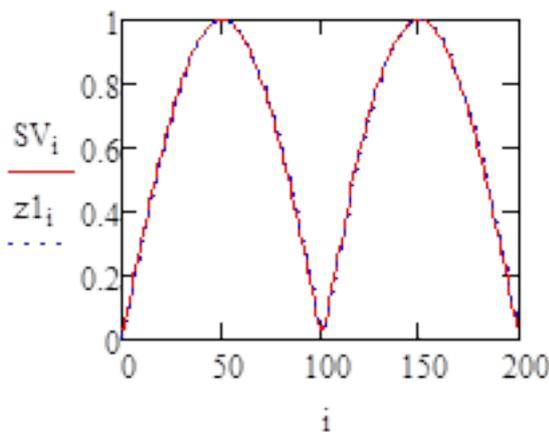


**Рисунок 2. Зависимость среднеквадратичной погрешности от числа гармоник**

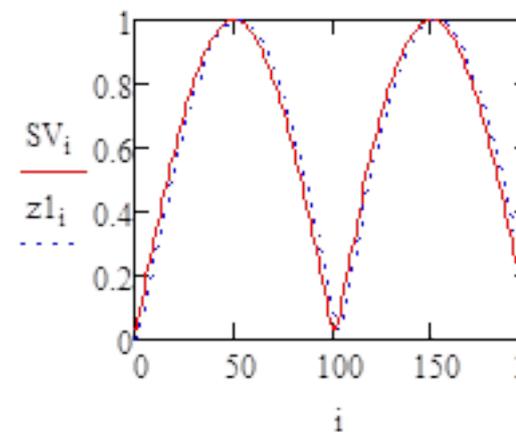
Из графика видно, что вначале рост числа суммируемых гармоник приводит к быстрому снижению погрешности восстановления, а затем погрешность уменьшается все медленнее. За

предельный уровень погрешности восстановления был выбран  $\delta_{\text{max}} = 0.01$ . Для достижения погрешности меньше указанной величины в синтезе должно участвовать 8 гармоник спектра. Поэтому активная ширина спектра исследуемого сигнала составит  $F_a = 8F$ , где  $F$  - частота первой гармоники в спектре сигнала.

Далее рассмотрим фильтрацию исследуемого сигнала цифровым фильтром нижних частот (ФНЧ) с частотой среза, равной  $F_a$ , большей  $F_a$ , и меньшей  $F_a$ .

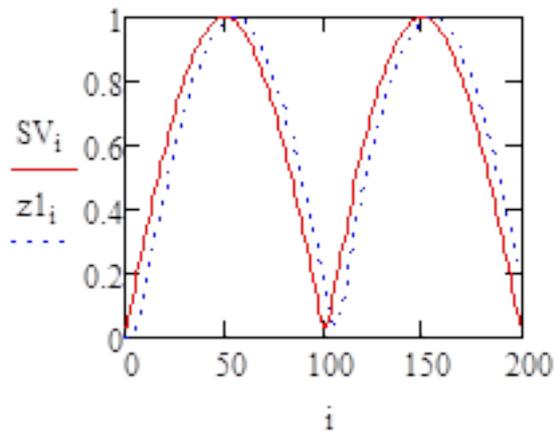


*a*

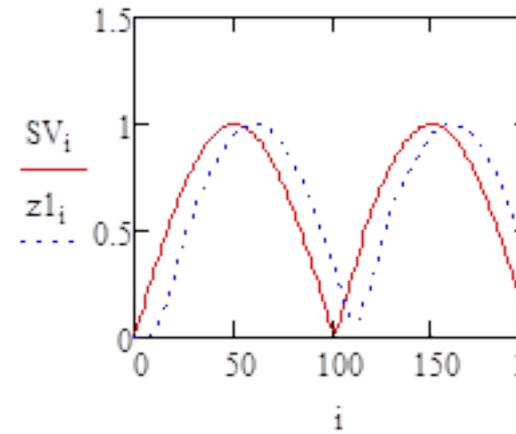


*б*

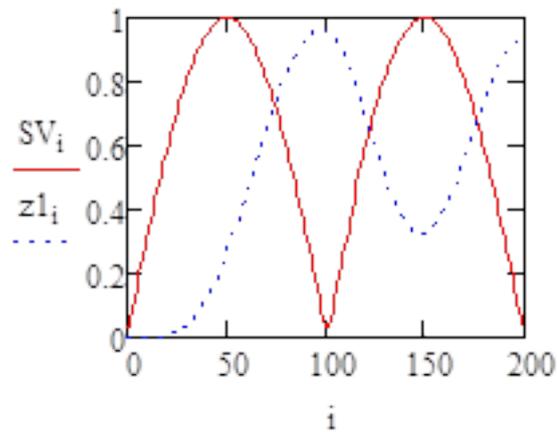
**Рисунок 3. График входного сигнала и отклика, а)  $F_c = 4F_a$ ; б)  $F_c = 2F_a$ ;**



**a**



**б**

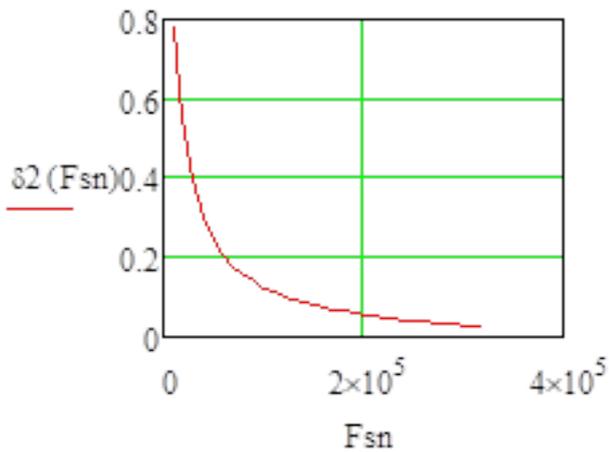


**в**

**Рисунок 4. График входного сигнала и отклика, а)  $F_c = F_a$ ; б)  $F_c = 0.5F_a$ ; в)  $F_c = 0.125F_a$**

Видно, что на всех графиках рис. 3 и рис. 4 сигнал на выходе фильтра запаздывает относительно входного и имеет место искажение графика в зоне максимально быстрого изменения функции. На рис. 3а и 3б этих изменений практически нет, на рис. 4а и 4б изменения все больше и больше. Стоит отдельно рассмотреть рис. 4в на котором видно, что, фильтр срезает все гармоники кроме первой и получаем сигнал, состоящий только из 1 гармоники с высокой погрешностью, запаздыванием, сильными искажениями в зоне максимально быстрого изменения функции.

Теперь можно рассмотреть на рис. 5 график ошибки восстановления сигнала отклика в зависимости от частоты среза фильтра.



## ***Рисунок 5. Зависимость ошибки восстановления от частоты среза***

По графику видно, что чем больше частота среза, тем лучше восстанавливается график. И в зависимости от ошибки восстановления можно подобрать нужную частоту среза, при этом учесть весь активный спектр сигнала.

Чтобы сигнал, проходя через устройство с ограниченной со стороны верхних частот полосой пропускания не испытывал заметных искажений, верхняя граничная частота полосы пропускания должна быть не менее активной ширины спектра сигнала, а желательно и выше.

### **Список литературы:**

1. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие / В.А. Козлов, Е.Ф. Базлов, Д.В. Шахтурин. - Изд. 2-е, испр., перераб. и доп. - Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2019. - 240 с.
2. Цифровые фильтры и их применение: Пер. с англ./В. Капеллини, А. Дж. Константи́нидис, П. Эмилиана. - М.: Энергоатомиздат, 1983 - 360 с. Ил.