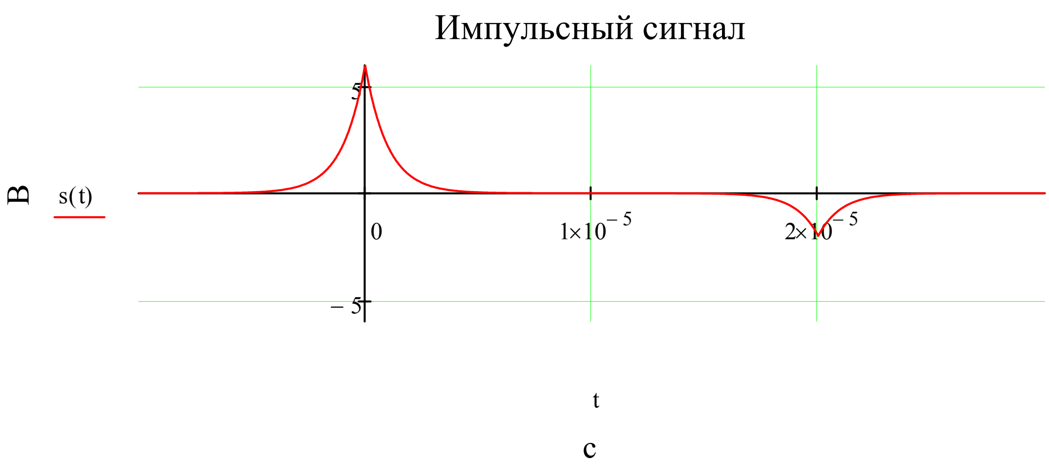
Часть 1
Дискретизация одиночных аналоговых сигналов

№ 1. Определить ширину спектра, заданного одиночного сигнала s(t), соответствующего приблизительно 95 % энергии сигнала.

$A1 := 6 \quad (В) \qquad A2 := -2 \quad (В) \qquad T := 40 \cdot 10^{-6} \quad с \qquad τз := 20 \cdot 10^{-6} \ (с) \qquad τ0 := 1 \cdot 10^{-6} \quad (с)$

$$s(t) := A1 \cdot e^{\frac{t}{τ0}} \cdot Φ(-t) + A1 \cdot e^{\frac{-t}{τ0}} \cdot Φ(t) + A2 \cdot e^{\frac{(t-τз)}{τ0}} \cdot Φ(-t + τз) + A2 \cdot e^{\frac{-(t-τз)}{τ0}} \cdot Φ(t - τз)$$



Спектральня плотность:

$$S(f) := \frac{\left(A2 \cdot τ0 \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot π \cdot f \cdot τз} - A2 \cdot e^{\frac{-τз}{τ0}} + A1 \cdot τ0\right)}{1 - i \cdot 2 \cdot π \cdot f \cdot τ0} + \frac{A2 \cdot τ0 \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot π \cdot f \cdot τз} + A1 \cdot τ0}{1 + i \cdot 2 \cdot π \cdot f \cdot τ0}$$

$E_s := \left(A1^2 + A2^2\right) \cdot τ0 = 4 \times 10^{-5}$ Выражение для энергии

Полоса частот ΔF=2F содержит энергию:

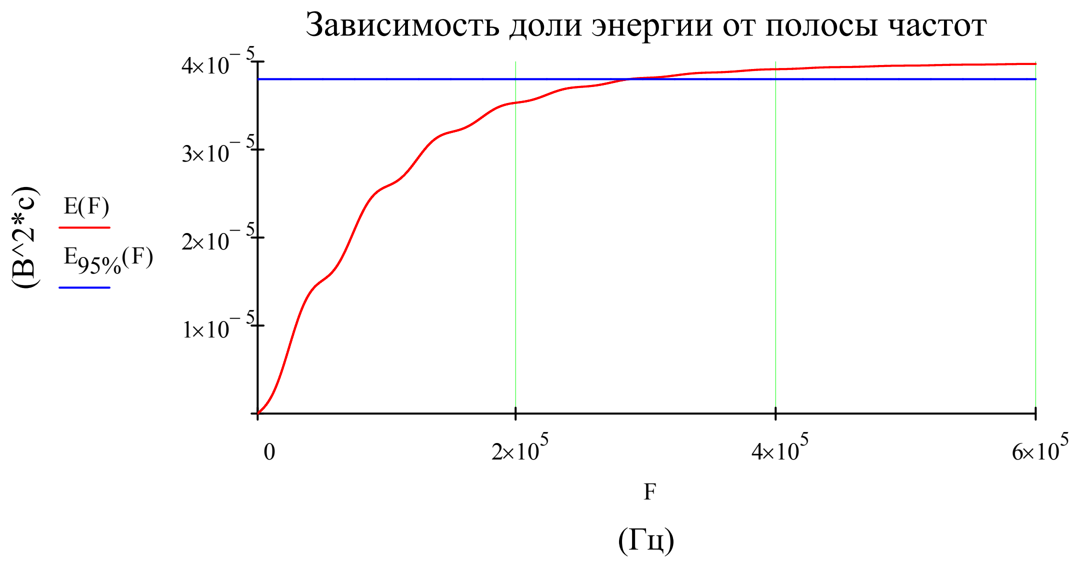
$$E(F) := \int_{-F}^{F} \left(|S(f)|\right)^2 df$$

$E_{95\%}(F) := 0.95 \cdot E_s$

Учитывая, что амплитудный спектр чётный, можно записать:

$$E(F) := 2 \cdot \int_0^F \left(|S(f)|\right)^2 df$$

$F := 0, 5 .. 10^5 \cdot 6$



Из графика выбираем частоту соответствующую 95 % энергии :

$F_{95\%} := 3 \cdot 10^5$ Гц

№ 2. Задаться частотой дискретизации, равной удвоенной частоте F95%

$F_{Д1} := 2 \cdot F_{95\%} = 6 \times 10^{5}$ Гц

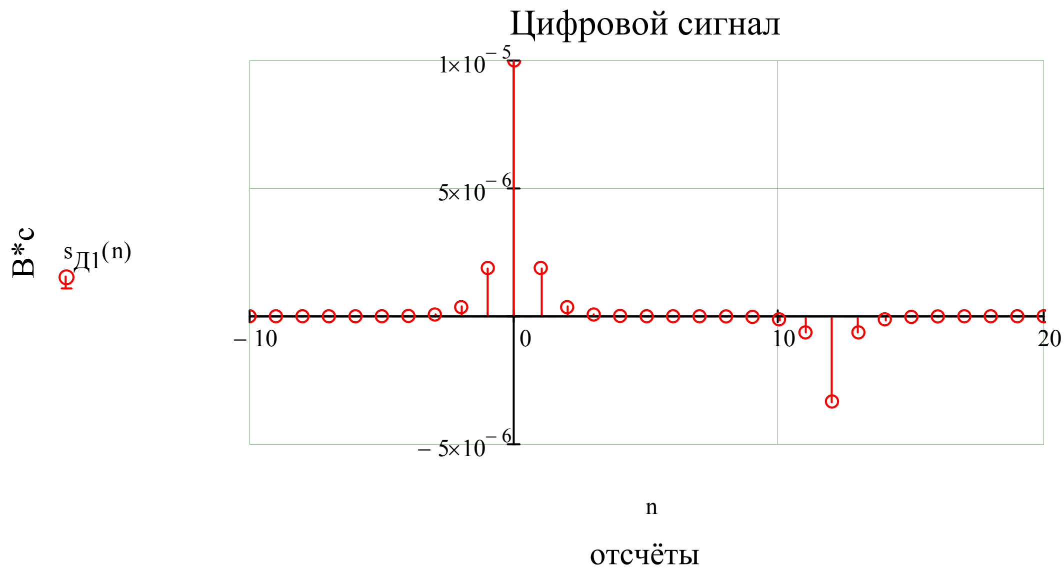
№ 3. В качестве дискретизатора использовать идеальный дискретизатор.с периодом:

$T_{Д1} := \dfrac{1}{F_{Д1}} = 1.667 \times 10^{6}$ с

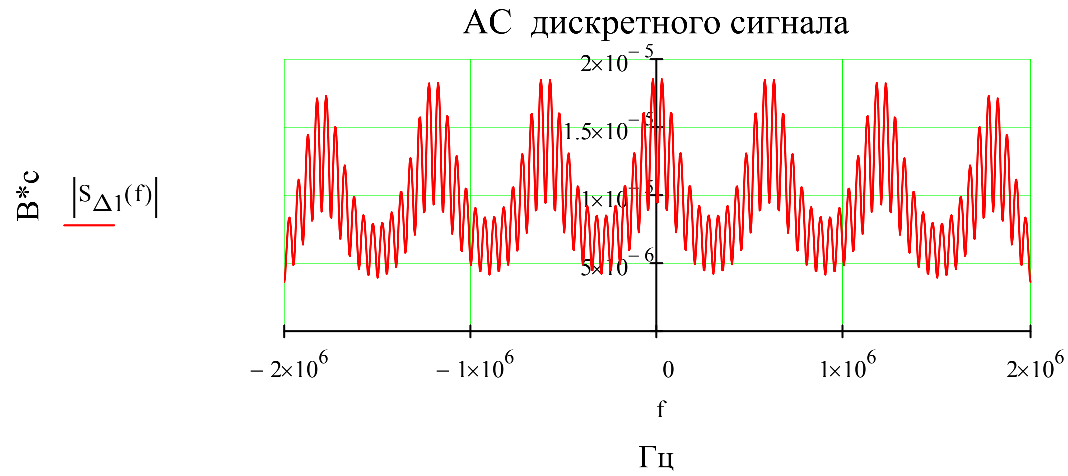
№ 4. Определить и построить дискретный сигнал и его спектр по известному спектру одиночного аналогового сигнала

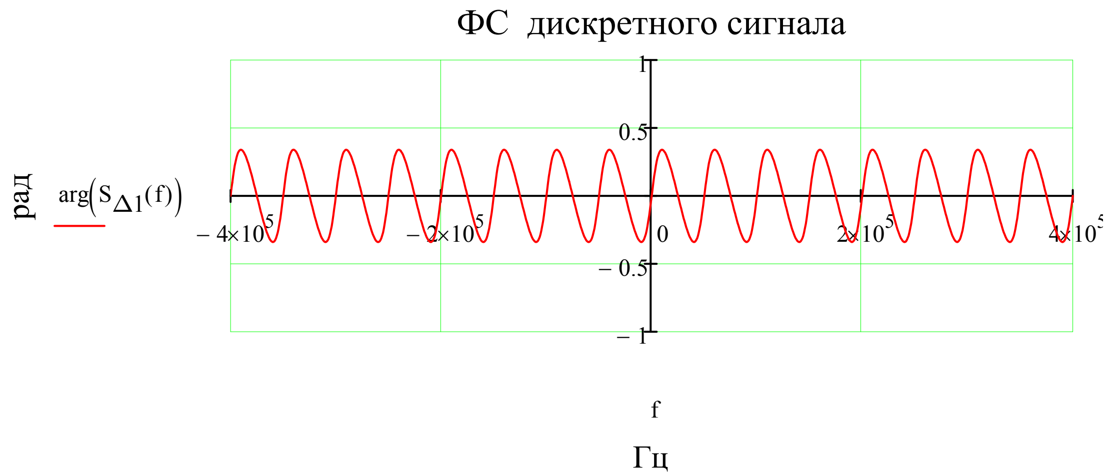
$s_{Д1}(n) := T_{Д1} \cdot s\left(n \cdot T_{Д1}\right)$

$n := -50 .. 50$



$$S_{\Delta 1}(f) := \sum_{m=-3}^{3} S\left(f - m \cdot F_{Д1}\right)$$



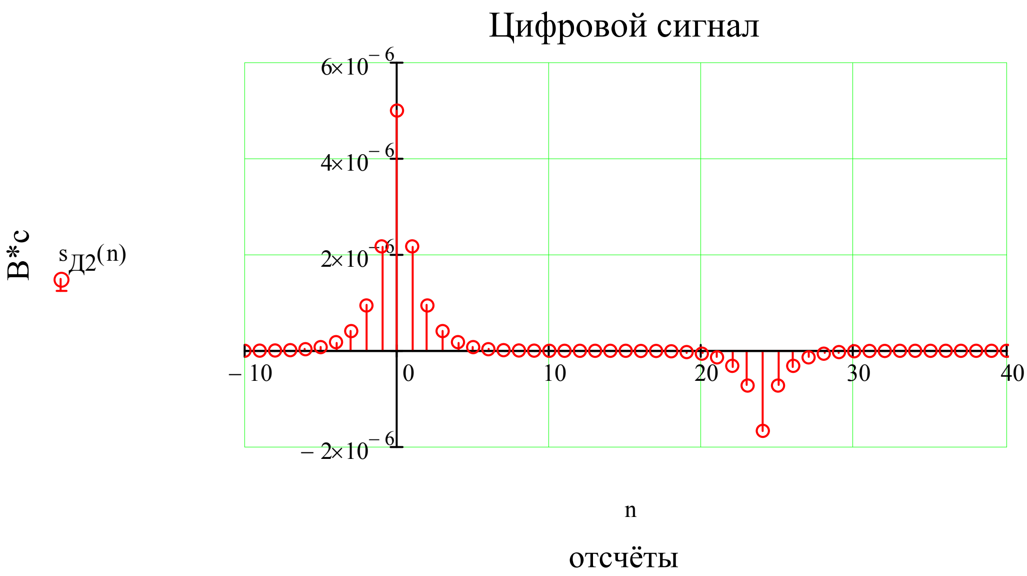


№ 5. Изменить частоту дикретизации в 1.5-2 раза. Выполнить № 4 с новой частотой дискретизации.

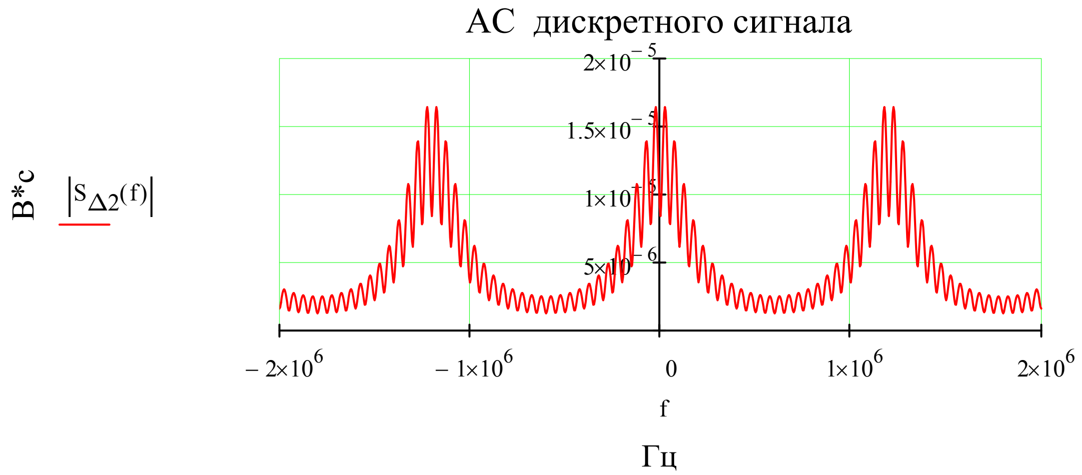
$F_{Д2} := 4 \cdot F_{95\%} = 1.2 \times 10^{6}$ Гц

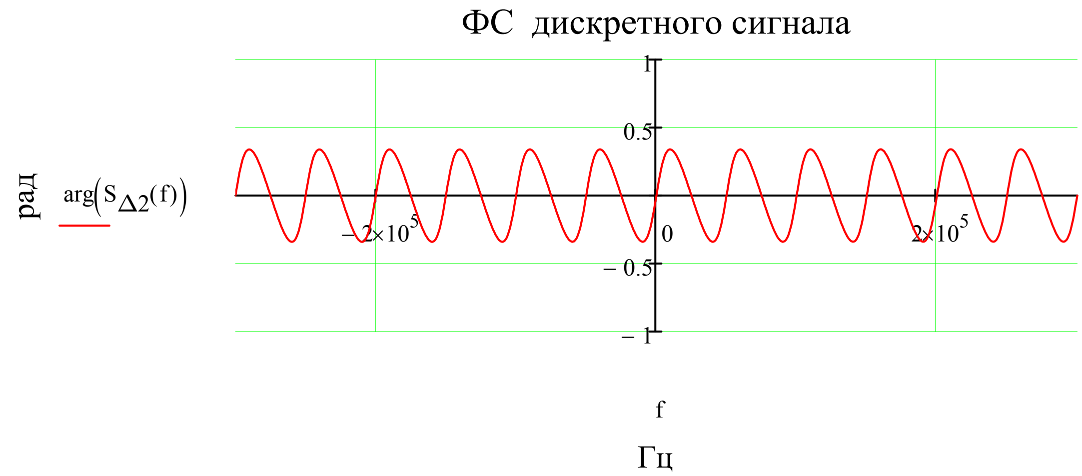
$T_{Д2} := \frac{1}{F_{Д2}} = 8.333 \times 10^{-7}$ с

$s_{Д2}(n) := T_{Д2} \cdot s\left(n \cdot T_{Д2}\right)$



$$S_{\Delta 2}(f) := \sum_{m=-5}^{5} S\left(f - m \cdot F_{Д2}\right)$$





<u>№ 6. Проанализировать полученные результаты и спектры. Сранить их и сделать выводы.</u>

Спектр дискретного сигнала можно получить путём суммирования сдвинутых на m*Fд копий спектра аналогового сигнала.

При увеличении частоты дискретизации в 2 раза, расстояние между копиями спетра увеличивается в 2 раза. Количество отсчётов в цифровом сигнале увеличивается (расстояние между отсчётами- уменьшается).

Часть 2
Восстановление одиночных аналоговых сигналов по дискретным сигналам

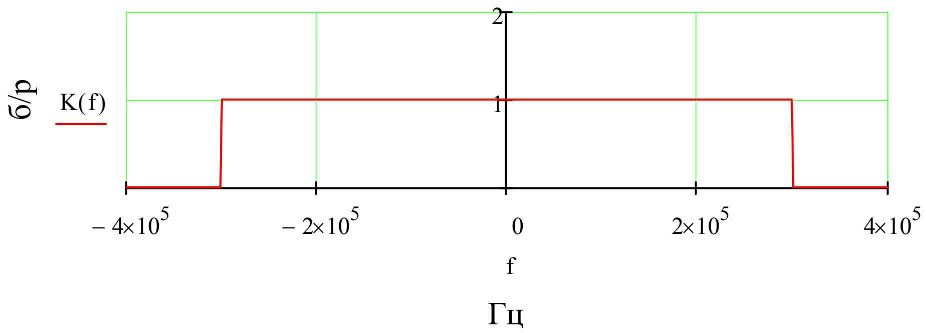
№ 1. Определить и построить сигналы и спектры на выходе идеального восстанавливающего ФНЧ с граничной частотой, равной половине частоты дискретизации. Выполнить задание во временной и частотной областях.

$Ko := 1 \qquad F_{гр1} := \frac{F_{Д1}}{2} = 3 \times 10^{5}$ Гц

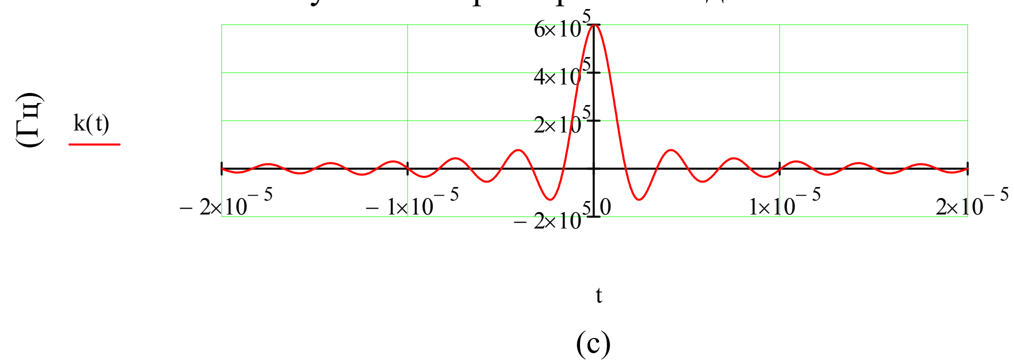
$K(f) := Ko \cdot \Phi(f + F_{гр1}) - Ko \cdot \Phi(f - F_{гр1})$ АЧХ идеального восстанавливающего ФНЧ

$k(t) := \frac{Ko}{\pi \cdot t} \cdot \sin(2\pi \cdot F_{гр1} \cdot t)$ ИХ идеального ФНЧ

АЧХ идеального ФНЧ



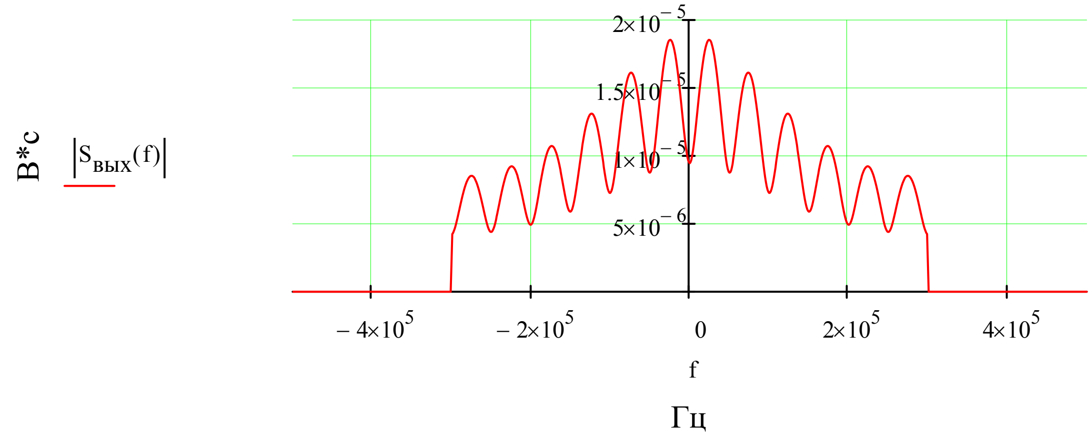
Импульсная характеристика идеального ФНЧ



Решение в частотной области :

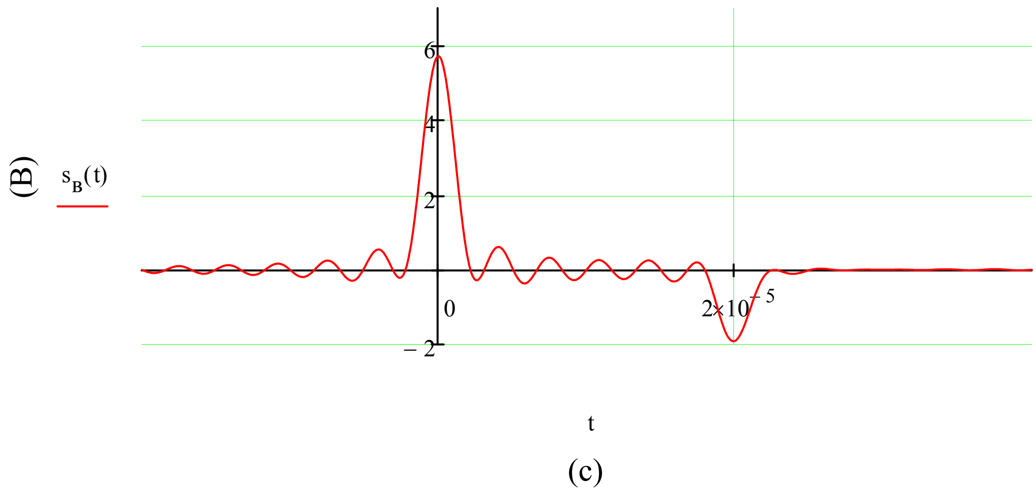
$S_{вых}(f) := S_{\Delta 1}(f) \cdot K(f)$ Спектр сигнала на выходе идеального ФНЧ

АС сигнала на выходе идеального ФНЧ



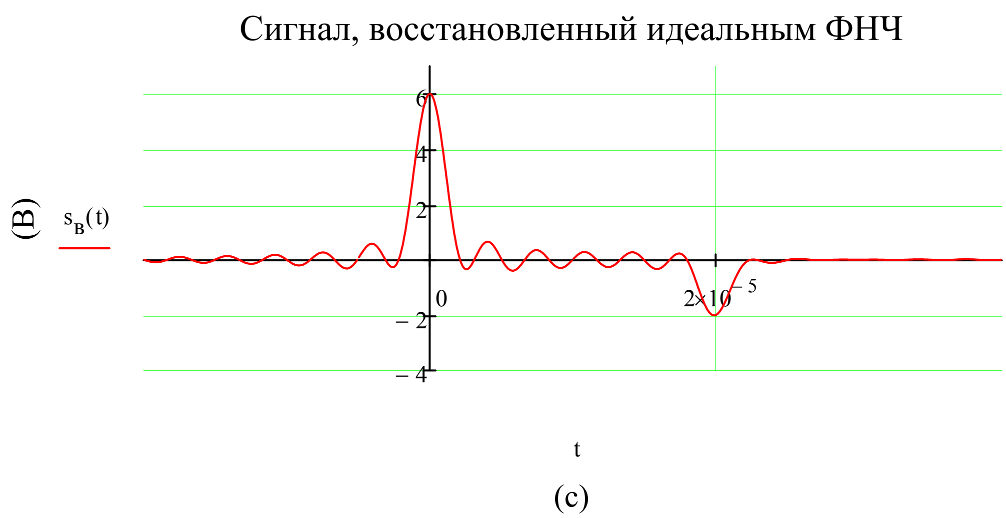
$$s_{в}(t) := \int_{-F_{гр1}}^{F_{гр1}} S_{вых}(f) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} \, df$$ Обратное преобразование Фурье

Сигнал, восстановленный идеальным ФНЧ



Решение во временной области :

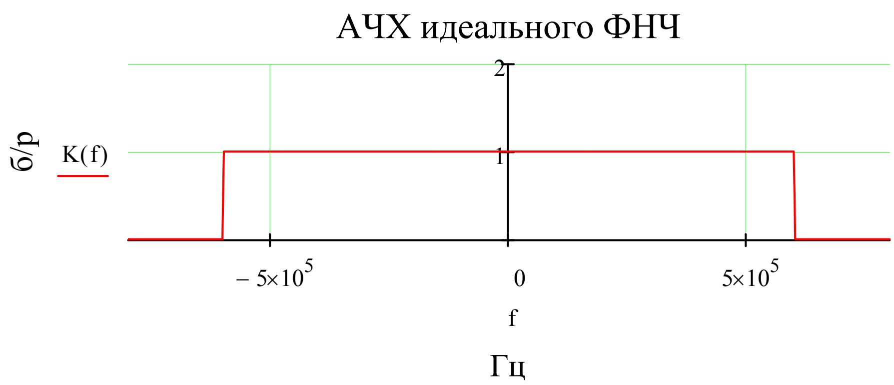
$$s_в(t) := \sum_{n=-30}^{30} \left(\left(s_{Д1}(n)\cdot k\left(t - n\cdot T_{Д1}\right)\right)\right)$$



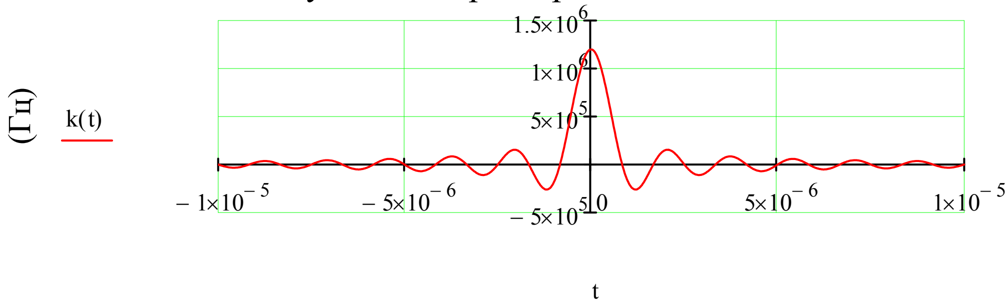
$$F_{гр2} := \frac{F_{Д2}}{2} = 6 \times 10^5 \quad Гц$$

$K(f) := Ko\cdot\Phi\left(f + F_{гр2}\right) - Ko\cdot\Phi\left(f - F_{гр2}\right)$ АЧХ идеального восстанавливающего ФНЧ

$k(t) := \frac{Ko}{\pi\cdot t}\cdot\sin\left(2\pi\cdot F_{гр2}\cdot t\right)$ ИХ идеального ФНЧ



Импульсная характеристика идеального ФНЧ

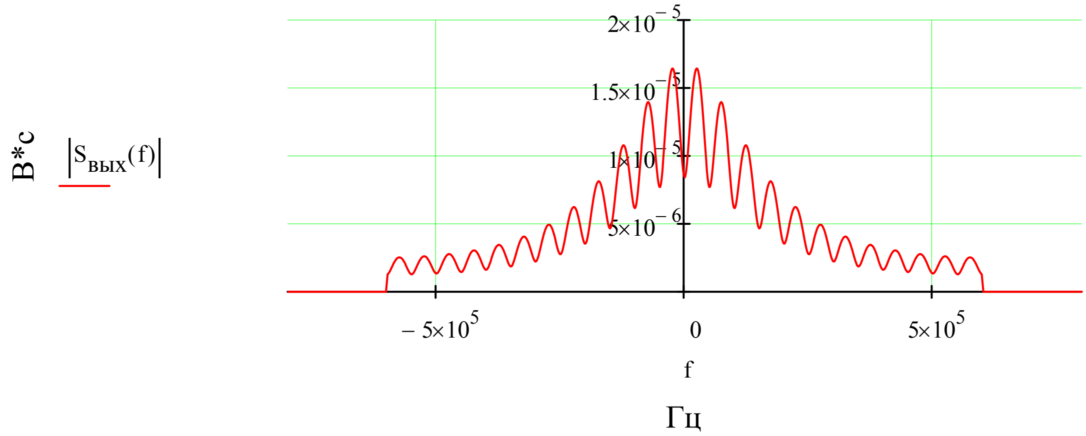


(c)

Решение в частотной области :

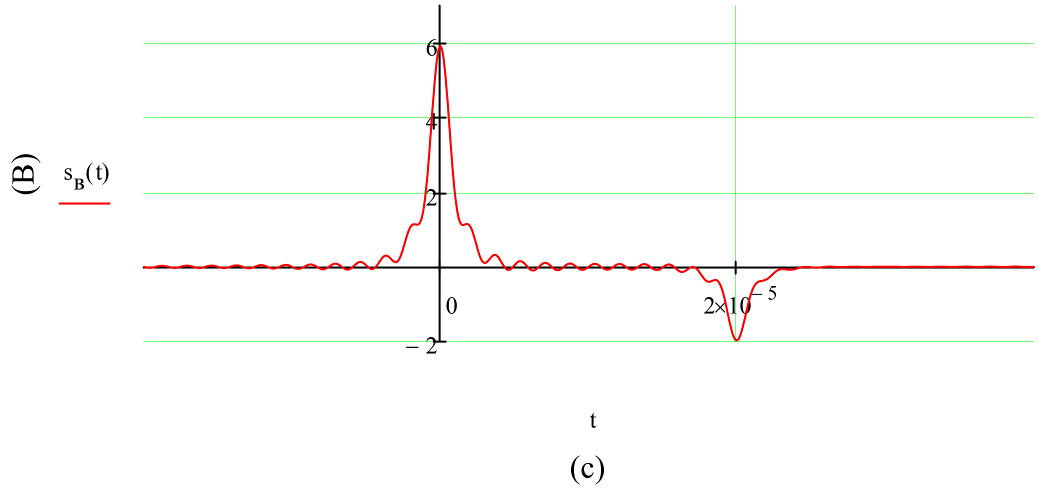
$S_{вых}(f) := S_{\Delta 2}(f) \cdot K(f)$ Спектр сигнала на выходе идеального ФНЧ

АС сигнала на выходе идеального ФНЧ



$s_в(t) := \int_{-F_{гр2}}^{F_{гр2}} S_{вых}(f) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} df$ Обратное преобразование Фурье

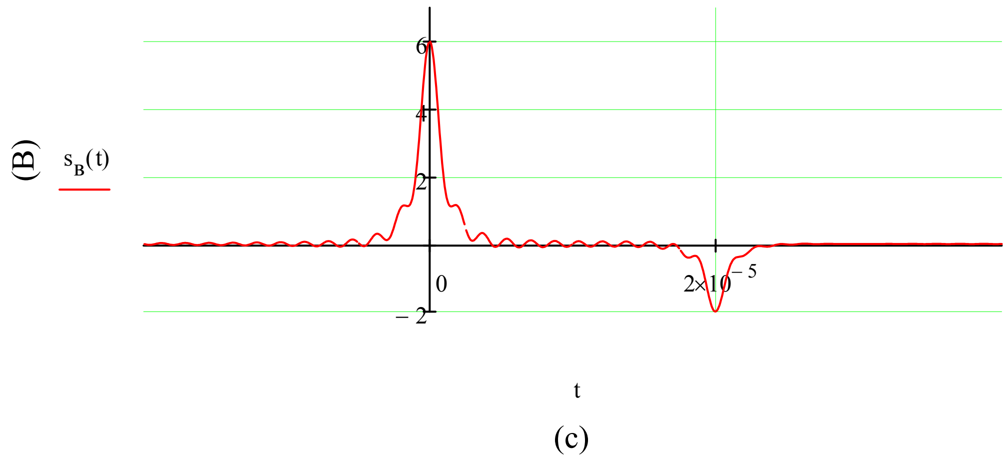
Сигнал, восстановленный идеальным ФНЧ



Решение во временной области :

$$s_в(t) := \sum_{n=-30}^{30} \left(\left(s_{Д2}(n)\cdot k\left(t - n\cdot T_{Д2}\right)\right)\right)$$

Сигнал, восстановленный идеальным ФНЧ



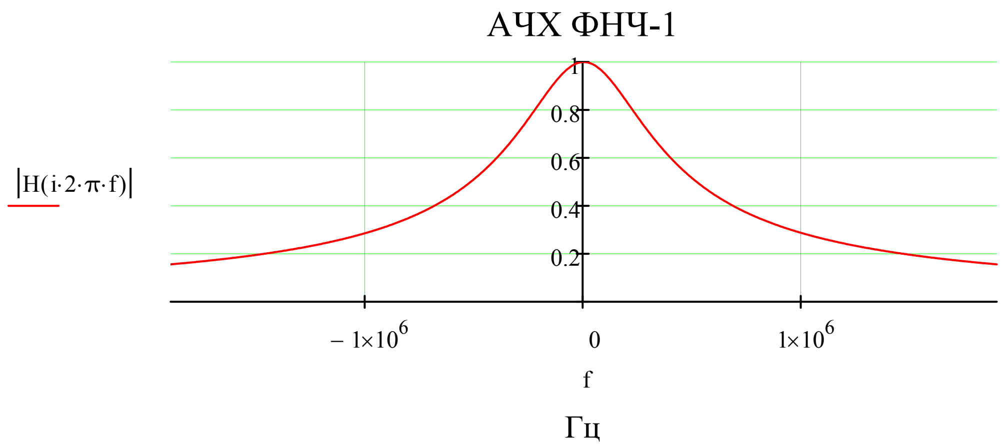
№ 2. Определить и построить импульсную и частотную характеристики восстанавливающих ФНЧ-1 для двух разных граничных частот.

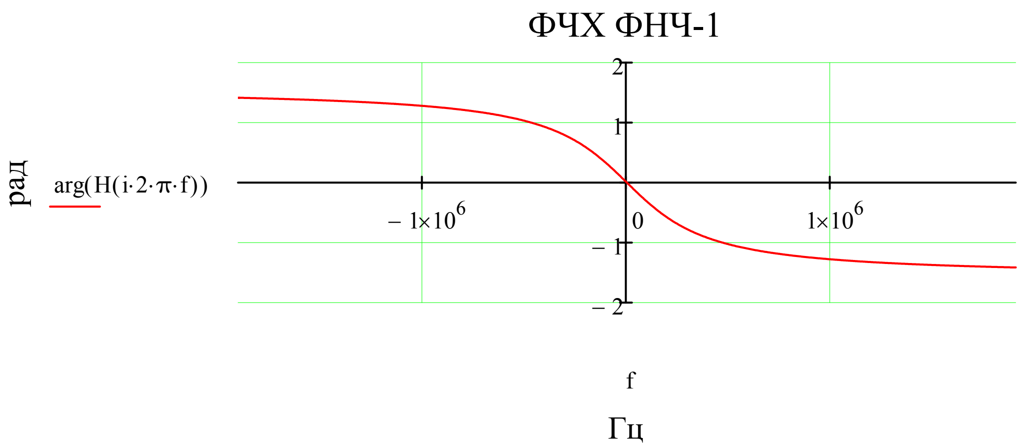
а) $F_{гр1} := \dfrac{F_{Д1}}{2} = 3 \times 10^{5}$ Гц

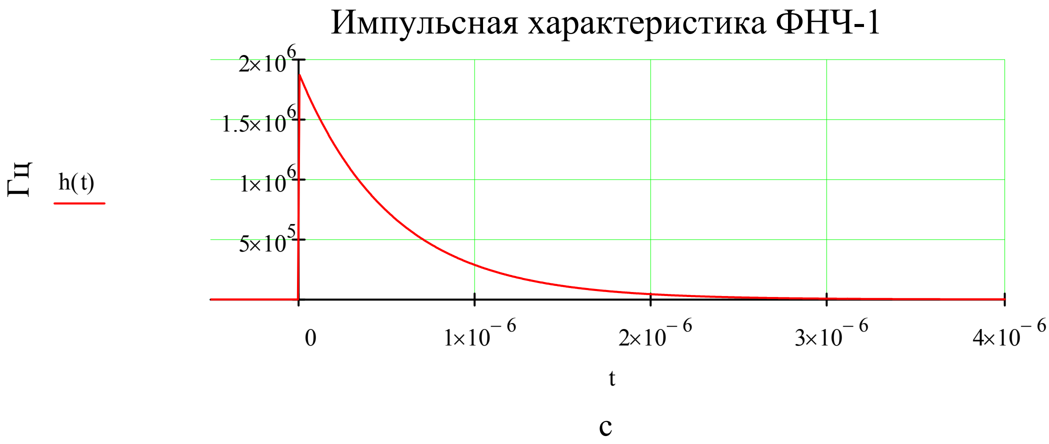
$\alpha := 2 \cdot \pi \cdot F_{гр1} = 1.885 \times 10^{6}$ $\dfrac{рад}{с}$

$H(p) := \dfrac{\alpha}{p + \alpha}$ Системная функция ФНЧ-1

$h(t) := \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \Phi(t)$ Импульсная характеристика ФНЧ-1





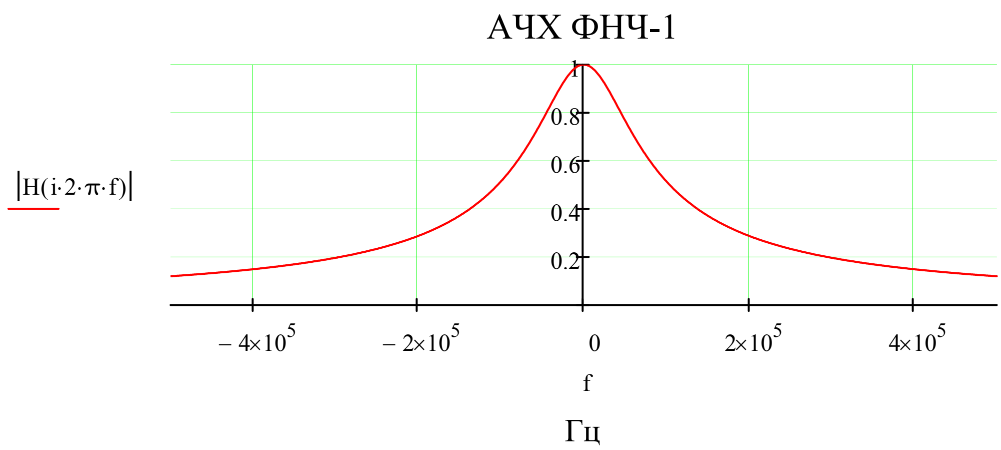


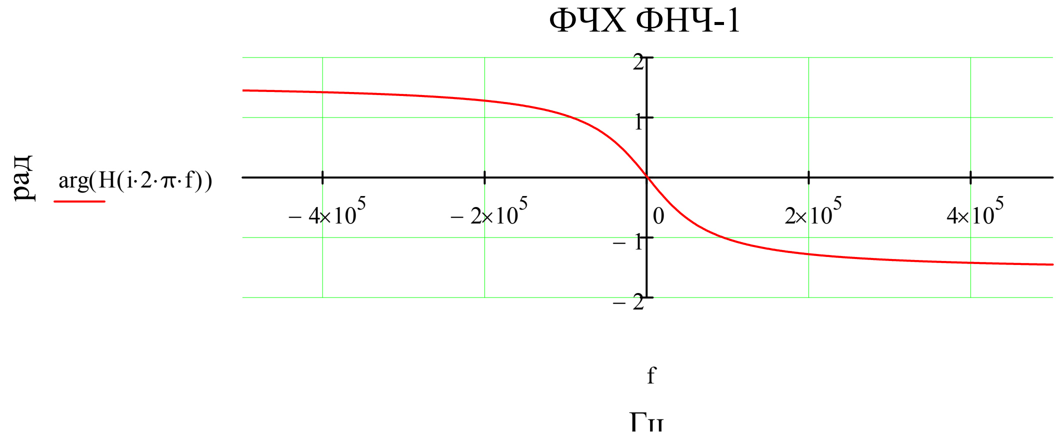
б) $F_{гр2} := \frac{F_{гр1}}{5} = 6 \times 10^{4}$ Гц

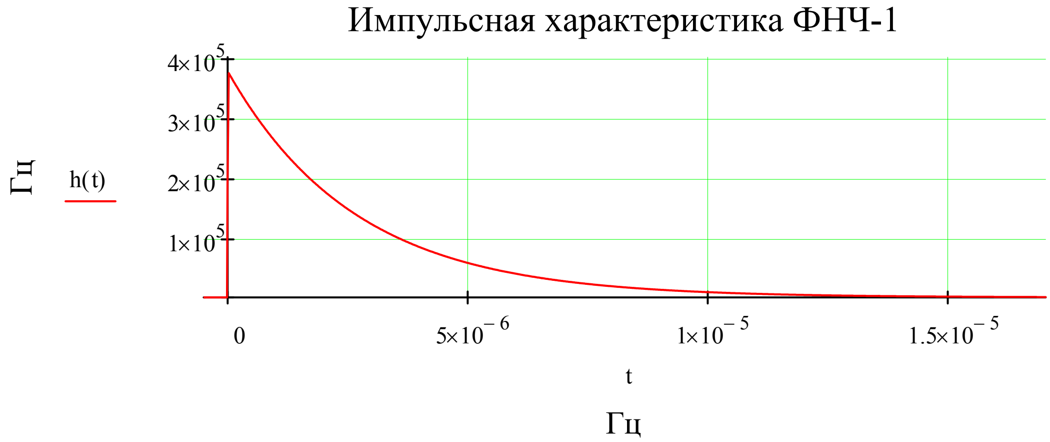
$\alpha := 2\cdot\pi\cdot F_{гр2} = 3.77 \times 10^{5}$ $\frac{рад}{с}$

$H(p) := \frac{\alpha}{p + \alpha}$ Системная функция ФНЧ-1

$h(t) := \alpha\cdot e^{-\alpha\cdot t}\cdot\Phi(t)$ Импульсная характеристика ФНЧ-1







<u>№ 3. Определить и построить сигналы и их спектры на выходе восстанавливающих ФНЧ- 1</u>

Для первой частоты дискретизации:

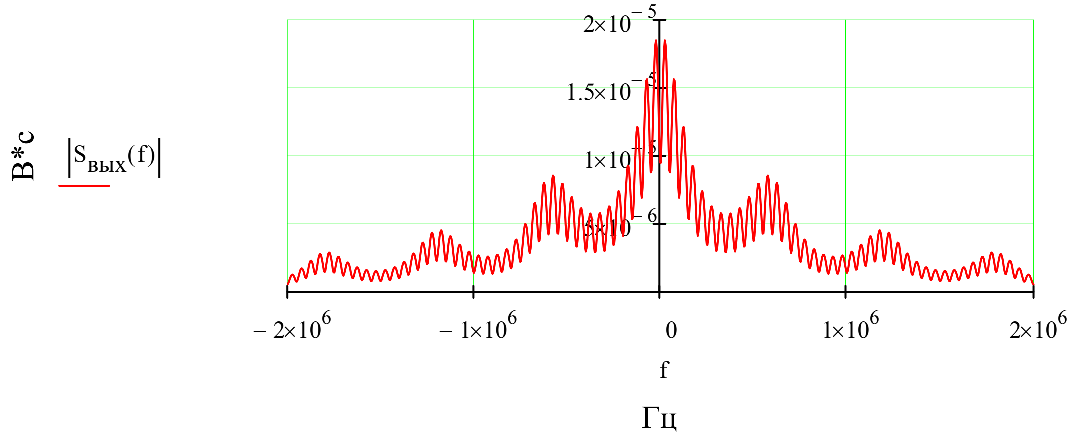
а) $F_{гр1} := F_{95\%} = 3 \times 10^{5}$ Гц $\alpha := 2 \cdot \pi F_{гр1} = 1.885 \times 10^{6}$ $\frac{рад}{с}$

Решение в частотной области :

$H(p) := \frac{\alpha}{p + \alpha}$ Системная функция ФНЧ-1 $h(t) := \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \Phi(t)$ Импульсная характеристика ФНЧ-1

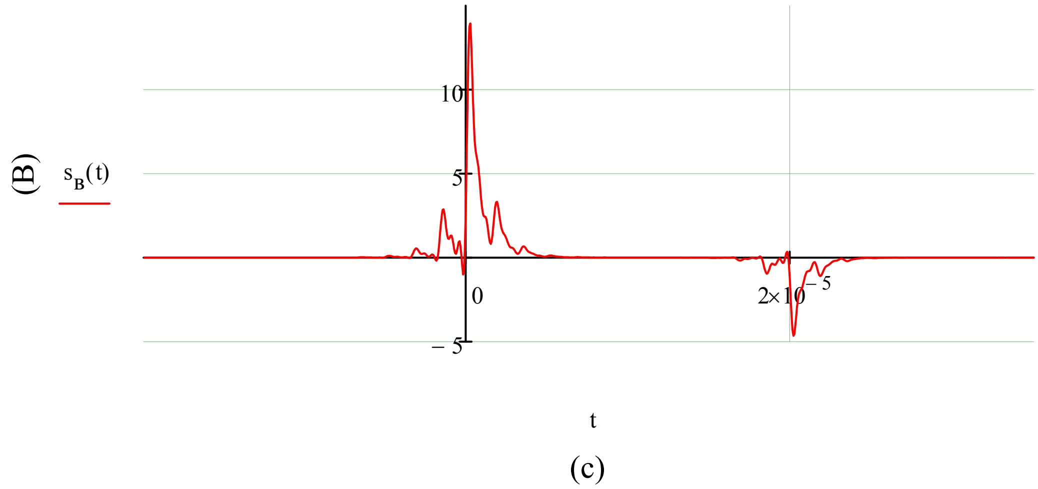
$S_{вых}(f) := S_{\Delta 1}(f) \cdot H(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f)$ Спектр сигнала на выходе реального ФНЧ-1

АС сигнала на выходе идеального ФНЧ



$$s_в(t) := \int_{-10 \cdot F_{гр1}}^{10 \cdot F_{гр1}} S_{вых}(f) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t}\, df$$ Обратное преобразование Фурье

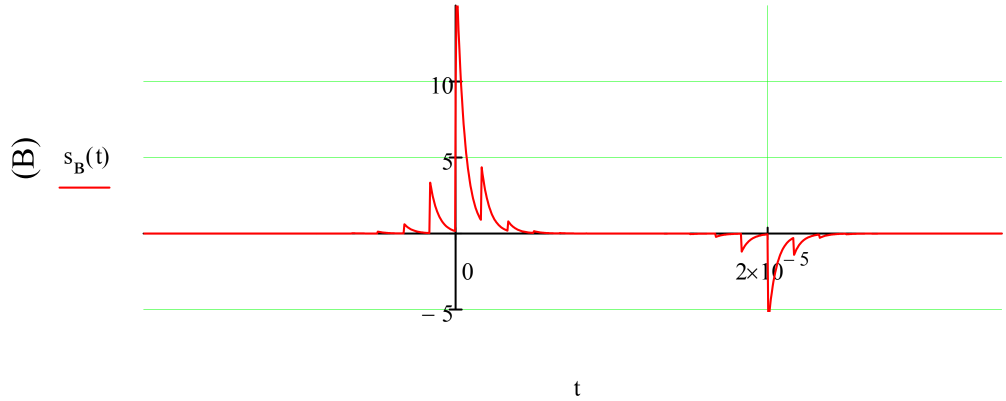
Сигнал, восстановленный реальным ФНЧ-1



Решение во временной области :

$$s_в(t) := \sum_{n=-50}^{50} \left(\left(s_{Д1}(n) \cdot h\left(t - n \cdot T_{Д1}\right) \right) \right)$$

Сигнал, восстановленный реальным ФНЧ-1



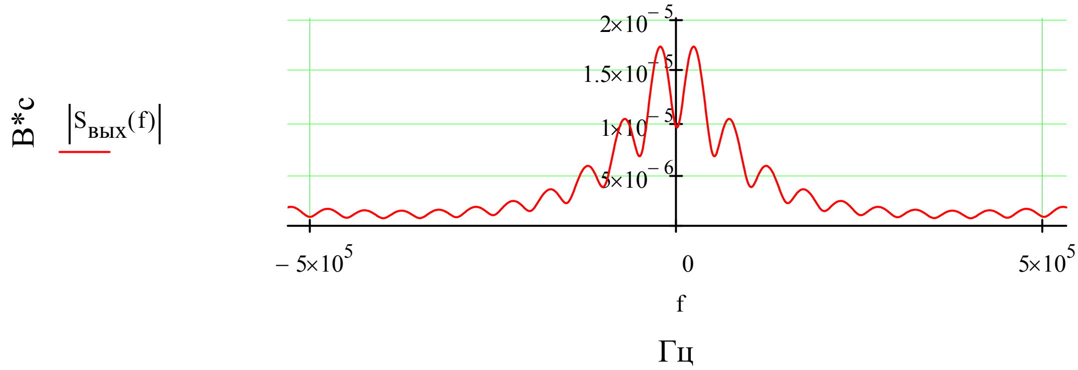
б) $F_{гр2} = 6 \times 10^4$ Гц $\alpha := 2\cdot\pi F_{гр2} = 3.77 \times 10^5$ $\frac{рад}{с}$

Решение в частотной области :

$H(p) := \frac{\alpha}{p+\alpha}$ Системная функция ФНЧ-1 $h(t) := \alpha\cdot e^{-\alpha\cdot t}\cdot\Phi(t)$ Импульсная характеристика ФНЧ-1

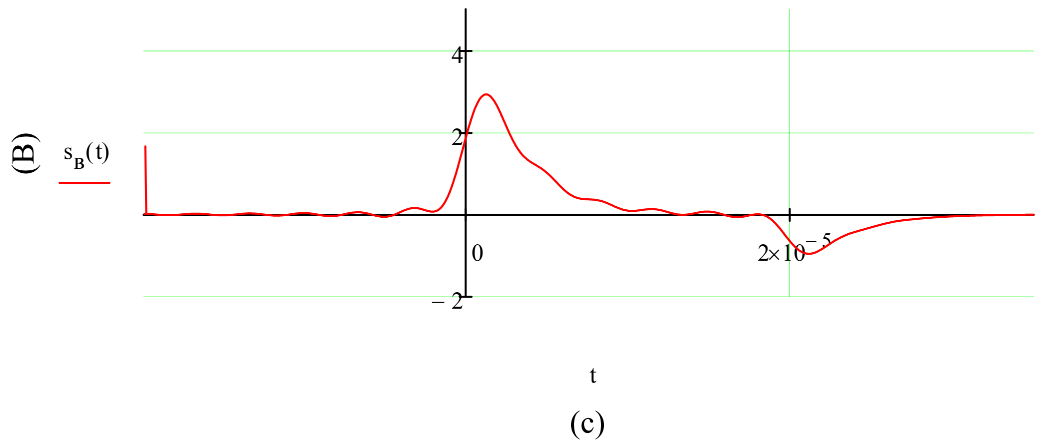
$S_{вых}(f) := S_{\Delta 1}(f)\cdot H(i\cdot 2\cdot\pi\cdot f)$ Спектр сигнала на выходе реального ФНЧ-1

АС сигнала на выходе идеального ФНЧ



$$s_{в}(t) := \int_{-5\cdot F_{гр2}}^{5\cdot F_{гр2}} S_{вых}(f)\cdot e^{i\cdot 2\cdot \pi\cdot f\cdot t}\,df$$ Обратное преобразование Фурье

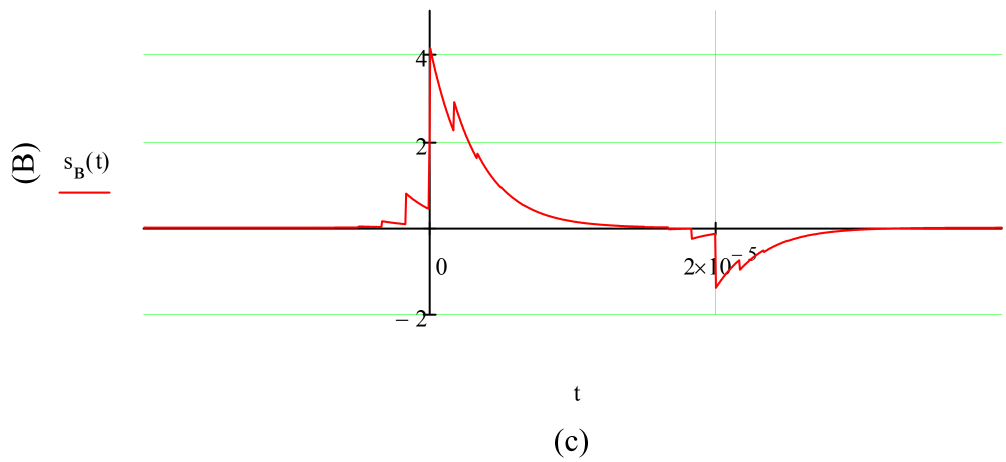
Сигнал, восстановленный реальным ФНЧ-1



Решение во временной области :

$$s_{в}(t) := \sum_{n=-50}^{50} \left(\left(s_{Д1}(n)\cdot h\left(t - n\cdot T_{Д1}\right)\right)\right)$$

Сигнал, восстановленный реальным ФНЧ-1



Для второй частоты дискретизации:

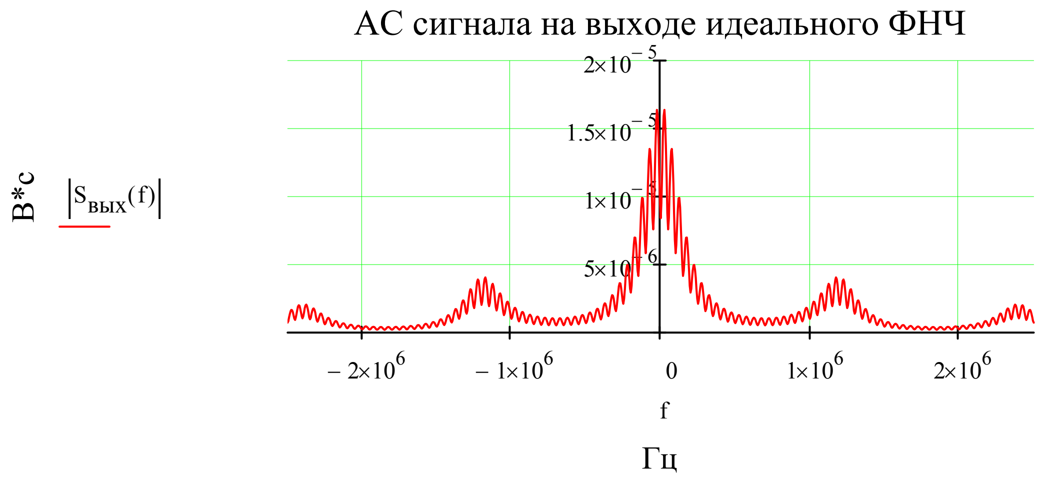
а) $\alpha := 2\cdot\pi\cdot F_{гр1} = 1.885 \times 10^{6}$ $\frac{рад}{с}$

Решение в частотной области :

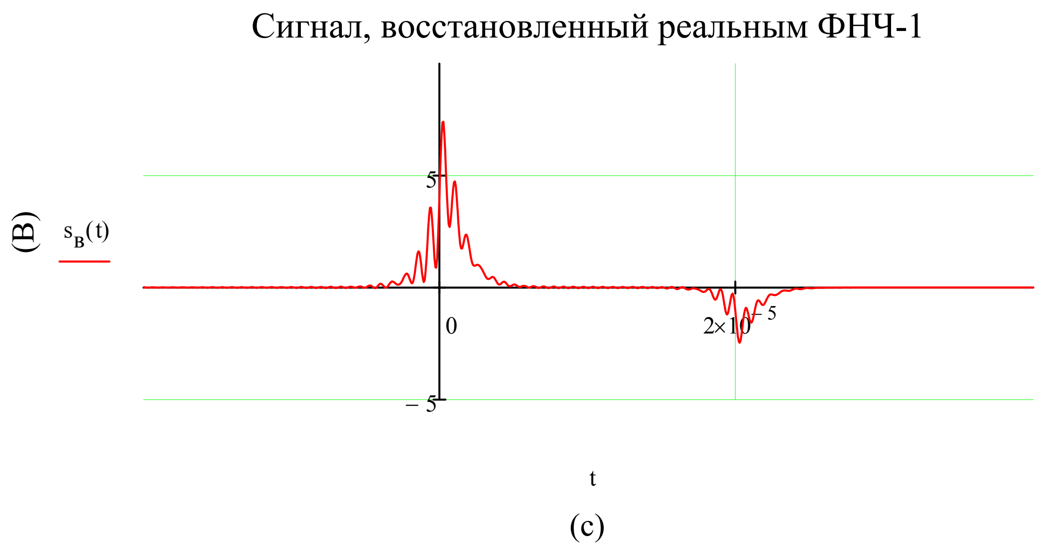
$H(p) := \frac{\alpha}{p+\alpha}$ Системная функция ФНЧ-1

$h(t) := \alpha\cdot e^{-\alpha\cdot t}\cdot\Phi(t)$ Импульсная характеристика ФНЧ-1

$S_{вых}(f) := S_{\Delta 2}(f)\cdot H(i\cdot 2\cdot\pi\cdot f)$ Спектр сигнала на выходе реального ФНЧ-1

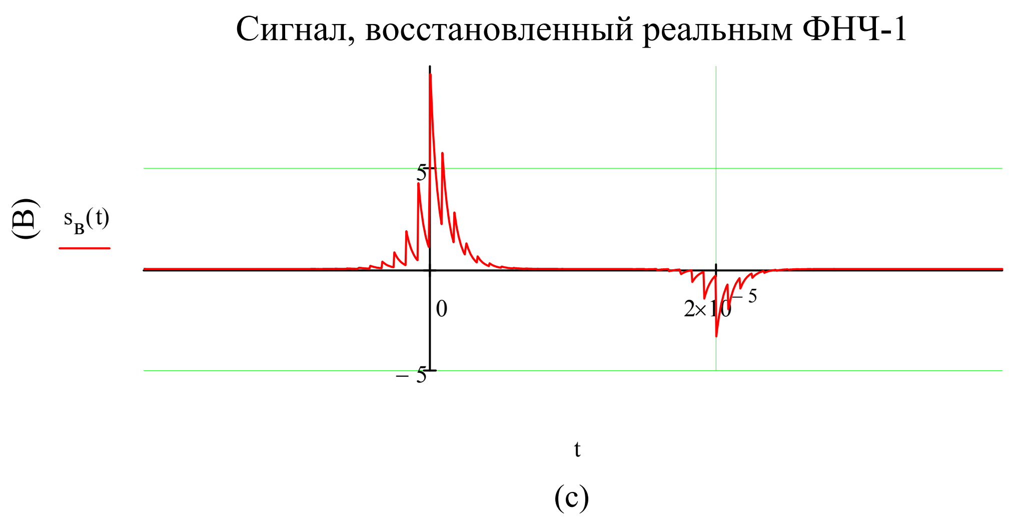


$$s_{в}(t) := \int_{-5\cdot F_{гр1}}^{5\cdot F_{гр1}} S_{вых}(f)\cdot e^{i\cdot 2\cdot\pi\cdot f\cdot t}\,df$$ Обратное преобразование Фурье



Решение во временной области :

$$s_в(t) := \sum_{n=-50}^{50} \left(\left(s_{Д2}(n) \cdot h\left(t - n \cdot T_{Д2}\right) \right) \right)$$



б) $\alpha := 2 \cdot \pi \, F_{гр2} = 3.77 \times 10^{5}$ $\frac{рад}{с}$

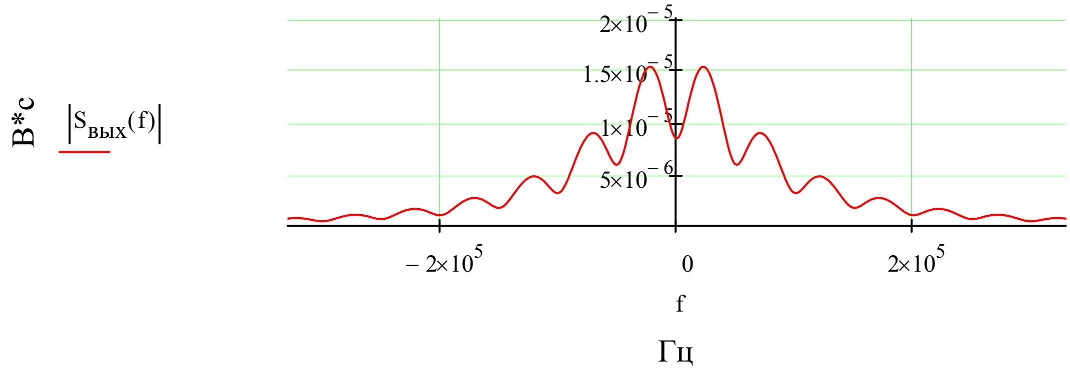
Решение в частотной области :

$H(p) := \dfrac{\alpha}{p+\alpha}$ Системная функция ФНЧ-1

$h(t) := \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \Phi(t)$ Импульсная характеристика ФНЧ-1

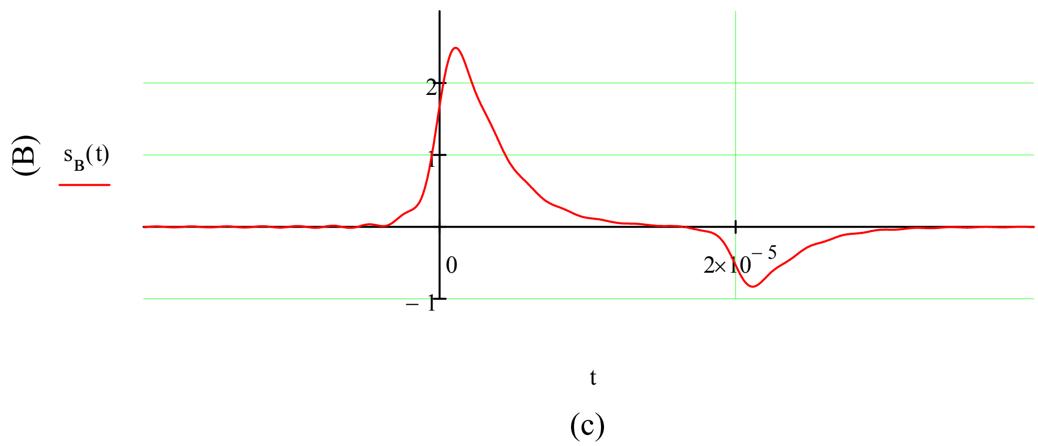
$S_{вых}(f) := S_{\Delta 2}(f) \cdot H(i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f)$ Спектр сигнала на выходе реального ФНЧ-1

АС сигнала на выходе идеального ФНЧ



$$s_в(t) := \int_{-7 \cdot F_{гр2}}^{7 \cdot F_{гр2}} S_{вых}(f) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} \, df$$ Обратное преобразование Фурье

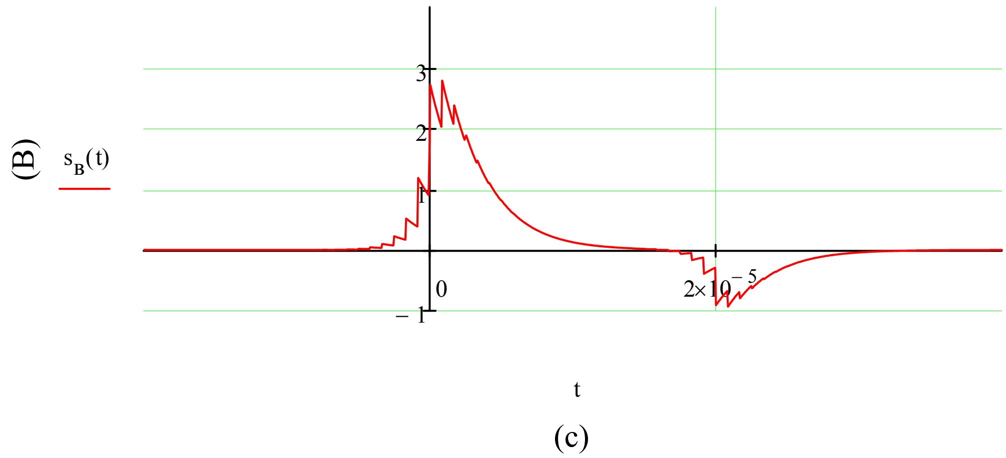
Сигнал, восстановленный реальным ФНЧ-1



Решение во временной области :

$$s_{В}(t) := \sum_{n=-50}^{50} \left(\left(s_{Д2}(n)\cdot h\left(t - n\cdot T_{Д2}\right)\right)\right)$$

Сигнал, восстановленный реальным ФНЧ-1



<u>№ 4. Проанализируйте полученные сигналы и спектры, сравните их между собой и с исходным одиночным аналоговым сигналом. Сделайте выводы.</u>

Восстановленные сигналы идеальным ФНЧ с очень большой точностью отображак исходный аналоговый сигнал. Некоторая погрешность в этом случае обусловлена тем, что ширина спектра данного сигнала бесконечна (так как сигнал имеет конечную длительності во времени), а при выборе частоты дискретизации мы ограничились шириной, соответствующей 95 % энергии.

Реальный ФНЧ-1 восстанавливает сигнал с большей погрешностью, чем идеальнь ФНЧ, так как АЧХ реального ФНЧ не идеальна. За счет этого спектр на выходе искажается пропускаются высшие частоты, потому что АЧХ реально фильтра не ограничена.

Таким образом идеальный ФНЧ восстанавливает практически со 100 % точностью если выполнена Т. Котельникова) , однако на практике идеальный фильтр не реализуем. Т как нарушается принцип каузальности. Импульсная характеристика отлична от нуля при t<(что не возможно, так как реакиция в виде дельта функции возникает по определению ИХ в нулевой момент времени.

Часть 3
Определение дискретного во времени преобразования Фурье(ДВПФ) одиночных дискретных сигналов

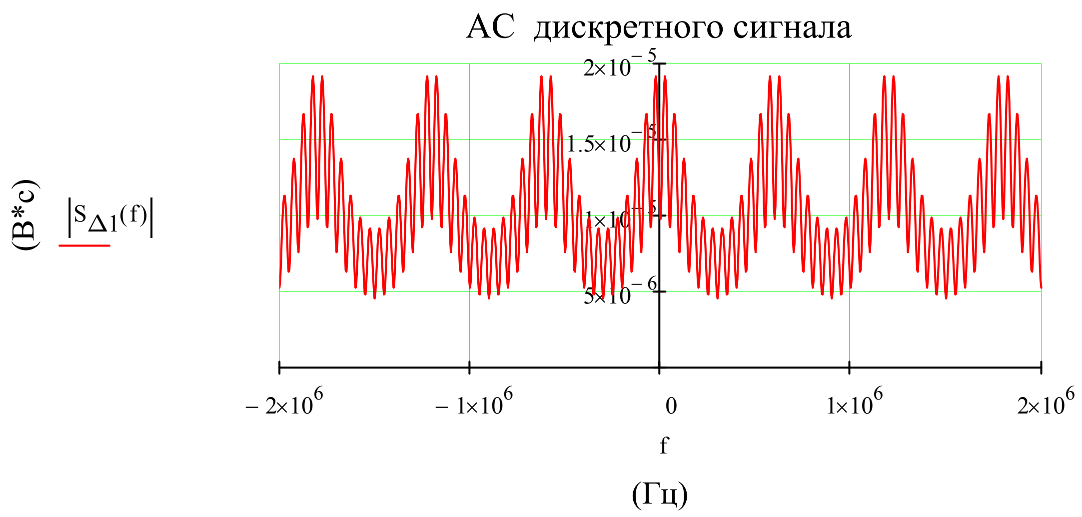
№ 1. Определить и построить спектры одиночных дискретных сигналов с помощью ДВПФ

а) Для первой частоты дискретизации

$$S_{\Delta}(f) := \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(s_{Д}(n) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot n \cdot T_{Д}} \right) \qquad \text{ДВПФ}$$

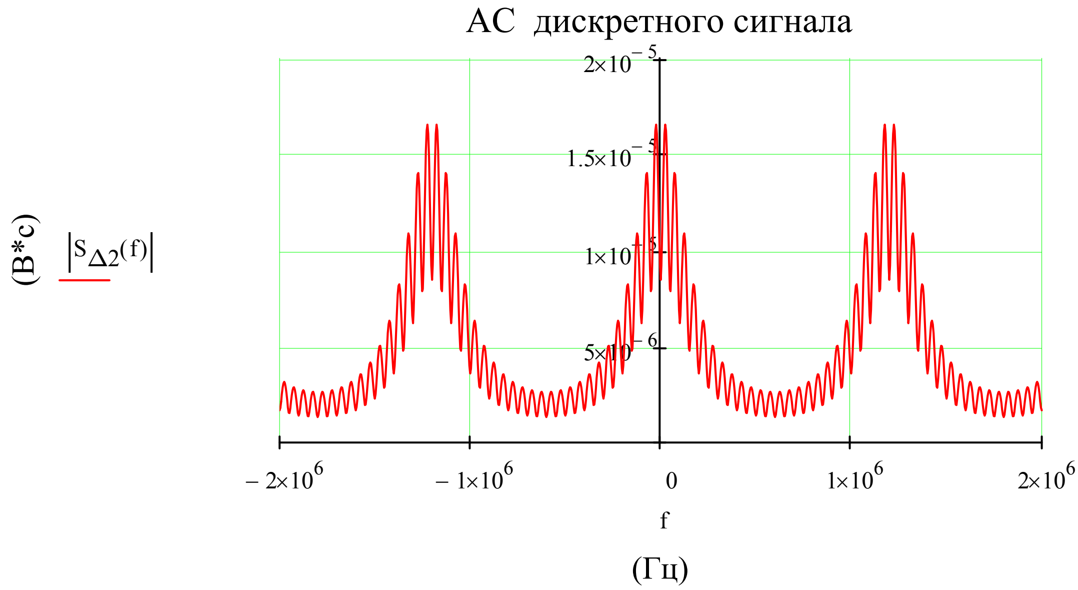
Для построения спектра возьмём конечные пределы суммирования:

$$S_{\Delta 1}(f) := \sum_{n=-200}^{200} \left(s_{Д1}(n) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot n \cdot T_{Д1}} \right)$$



б) Для второй частоты дискретизации

$$S_{\Delta 2}(f) := \sum_{n=-100}^{100} \left(s_{Д2}(n) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot n \cdot T_{Д2}} \right)$$



№ 2. Сравните полученные спетры со спетрами, полученными в части 1. Сделайте выводы.

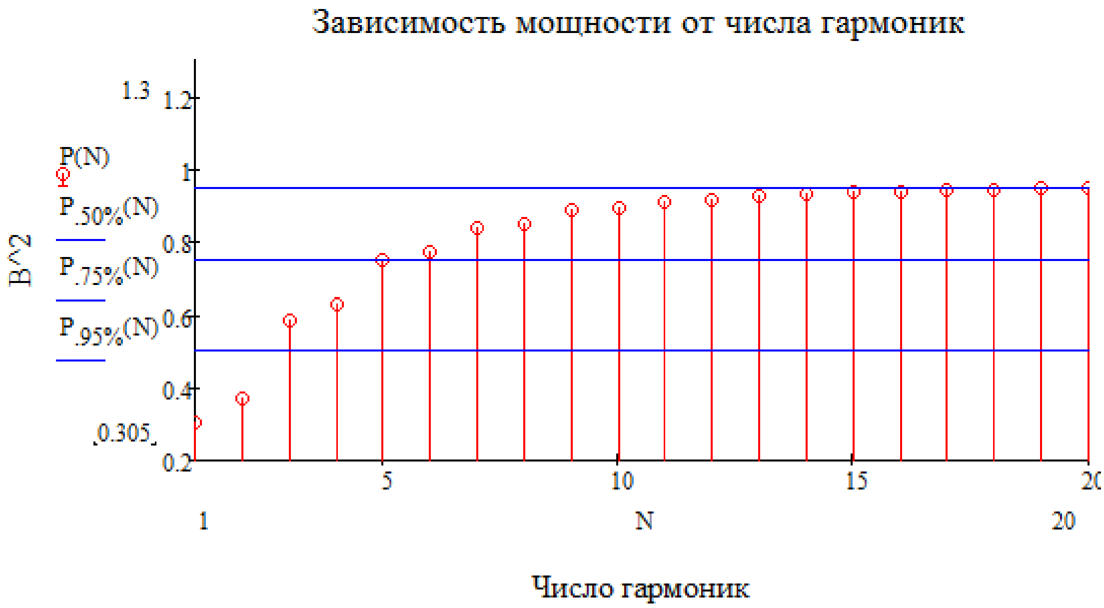
Спектры дискретного сигнала, полученные с помощью ДВПФ и с использование спектра аналогового сигнала, совпадают.

Эти 2 способа вычисления спектра дискретного сигнала- равносильны!

Часть 4
Дискретизация периодических аналоговых сигналов

№ 1. Определить ширину спектра заданного периодического аналогового сигнала по уровн порядка 95 % мощности переменной составляющей сигнала.

Используем данные из РГР прошлого семестра :



По данному графику было определено, что для обеспечения 95 % мощности необходимо 35 гармоник.

Полоса частот F(95%)= [$\frac{-18}{T} = -4.5 \times 10^5$ Гц; $\frac{18}{T} = 4.5 \times 10^5$ Гц

Тогда ширина спектра периодического равна:

$F_{пер95\%} := 4.5 \times 10^5$ Гц

№ 2. Задаться частотой дискретизации, равной удвоенной частоте $F_{пер95\%}$. Частота дискретизации должна быть кратной частоте повторения периодического сигнала

$$F_{перД1} := 2 \cdot F_{пер95\%} = 9 \times 10^{5} \qquad Гц \qquad T_{перД1} := \frac{1}{F_{перД1}} = 1.111 \times 10^{-6} \quad с$$

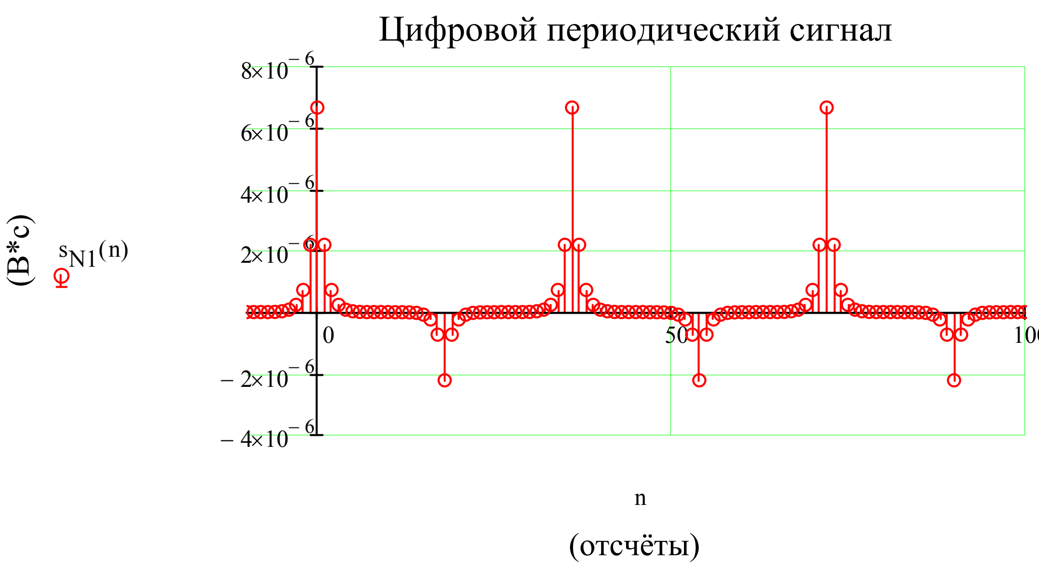
$N_1 := F_{перД1} \cdot T = 36$ Целое число. Условие кратности выполнено!

№ 3. Определить и построить дискретный периодический сигнал и его спектр по спектру одиночного дискретного сигнала

$n := -500 .. 500$

$$s_T(t) := \sum_{n=-4}^{4} s(t - n \cdot T)$$ Периодический аналоговый сигнал

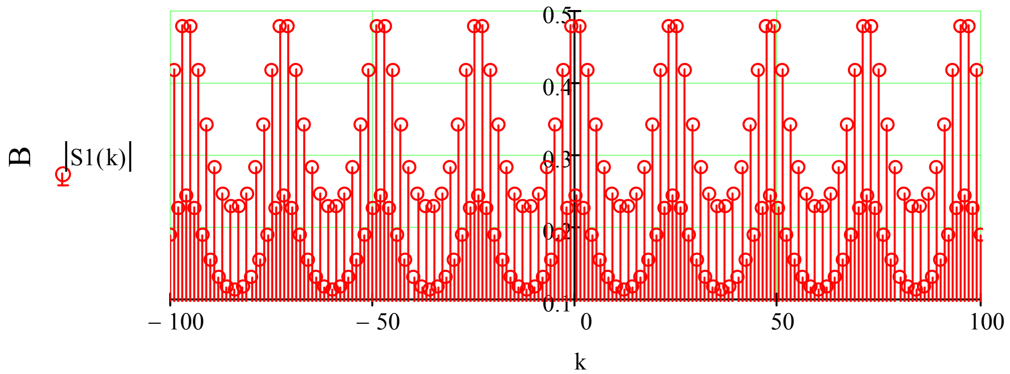
$$s_{N1}(n) := T_{перД1} \cdot s_T\left(n \cdot T_{перД1}\right)$$ Периодический цифровой сигнал



$k := -200 \,..\, 200$

$S1(k) := \frac{1}{T} \cdot S_{\Delta 1}\left(\frac{k}{T}\right)$ Связь спектра периодического дискретного сигнала и спектра одиночного дискретного сигнала

Спектр дискретного периодического сигнала



отсчёты

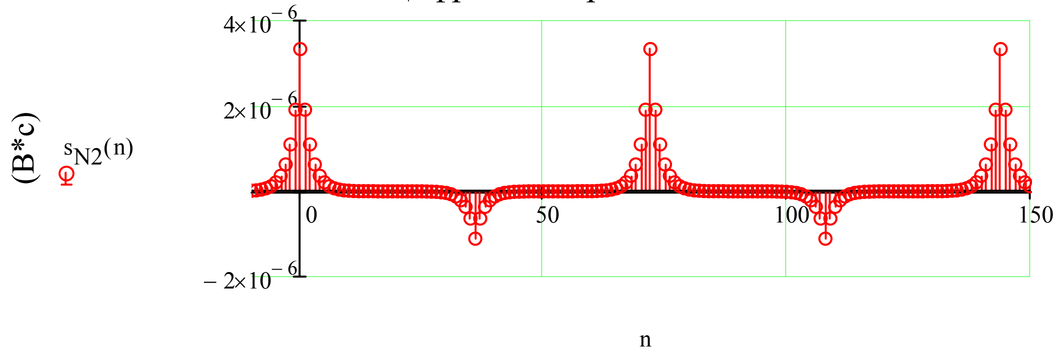
№ 4. Изменить частоту дискретизации в полтора-два раза, сохраняя её кратной частоте периодического сигнала. Выполнить № 3 с новой частотой дискретизации.

$F_{перД2} := 4 \cdot F_{пер95\%} = 1.8 \times 10^{6}$ Гц $\qquad T_{перД2} := \frac{1}{F_{перД2}} = 5.556 \times 10^{-7}$ с

$N_2 := F_{перД2} \cdot T = 72$ Целое число. Условие кратности выполнено!

$s_{N2}(n) := T_{перД2} \cdot s_T\left(n \cdot T_{перД2}\right)$ Периодический цифровой сигнал

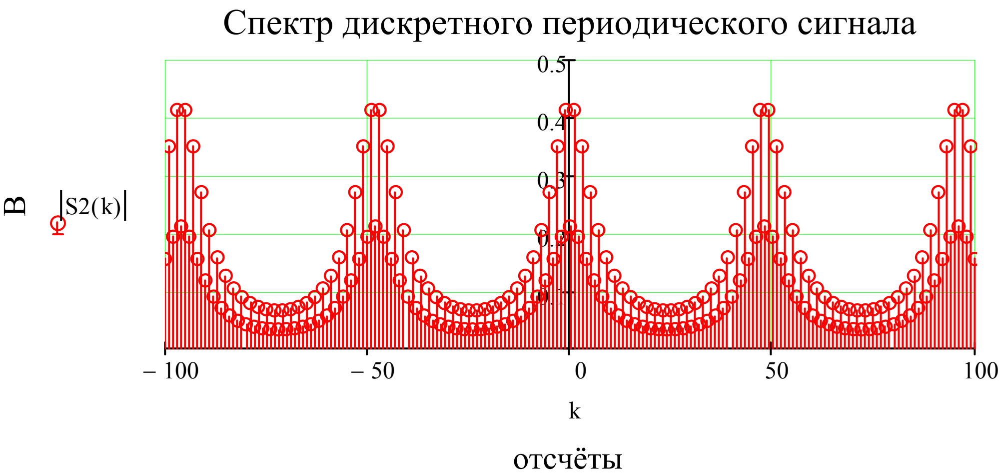
Цифровой периодический сигнал



(отсчёты)

$$S2(k) := \frac{1}{T} \cdot S_{\Delta 2}\left(\frac{k}{T}\right)$$

Связь спектра периодического дискретного сигнала и спектра одиночного дискретного сигнала



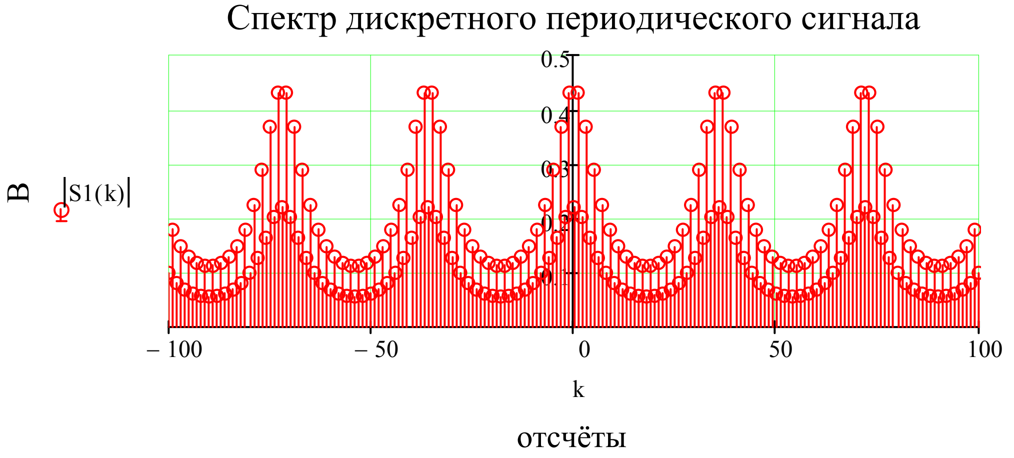
<u>№ 5. Проанализировать полученные спектры, сравнить их и сделать выводы.</u>

Спектр дискретного периодического сигнала является дискретной копией спектра дискретного одиночного сигнала. Спектр дискретного периодического сигнала-периодический и дискретный.

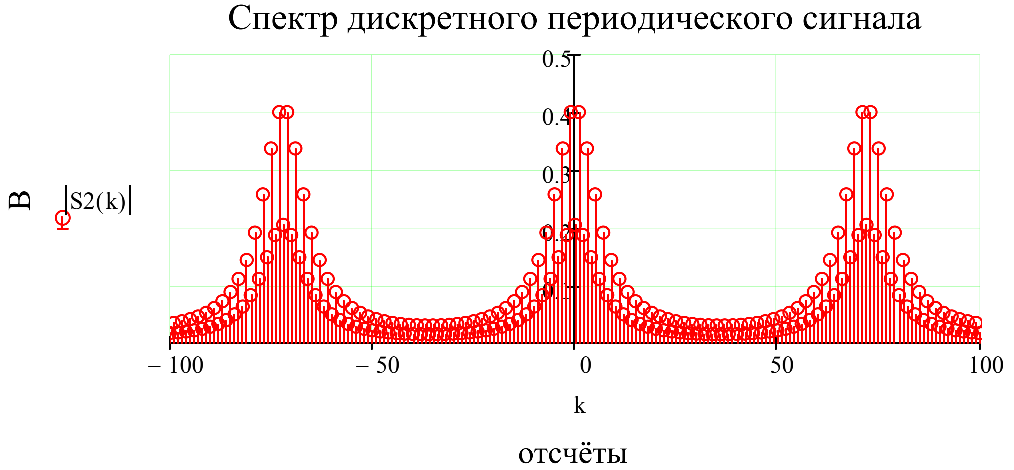
При увеличении частоты дискретизации плотность спектральных линий не изменяется, составляющие спектра удаляются.

№ 6. Определить и построить спектры дискретных сигналов с помощь ДПФ.

$$S1(k) := \frac{1}{T} \cdot \sum_{n=0}^{N_1-1} \left(s_{N1}(n) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k \cdot n}{N_1}} \right)$$



$$S2(k) := \frac{1}{T} \cdot \sum_{n=0}^{N_2-1} \left(s_{N2}(n) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k \cdot n}{N_2}} \right)$$

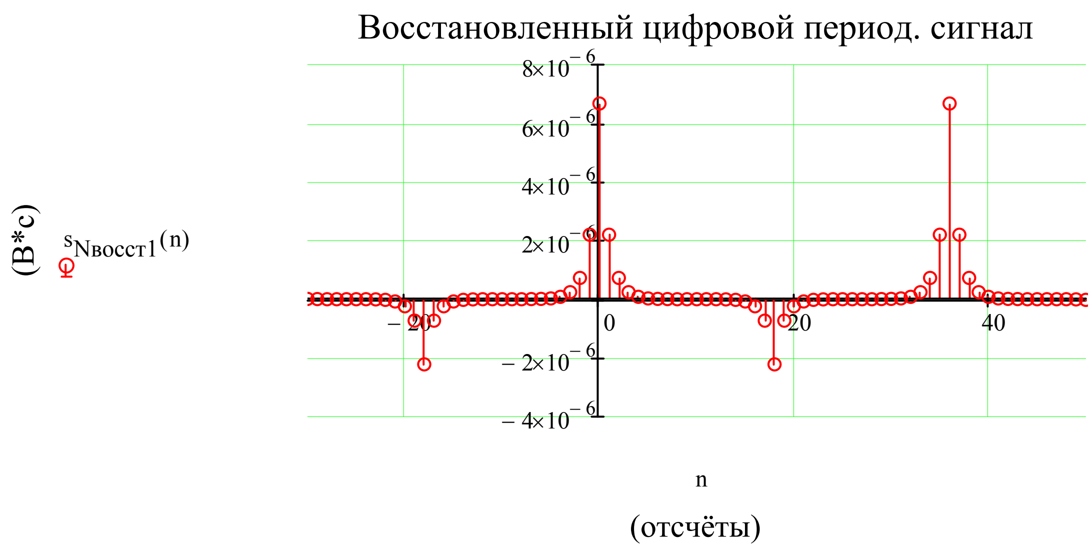


№ 7. Сравнить ДПФ со спектрами, полученными в п. 3 и 4 части 4. Сделать выводы.

Спектры , полученные с помощью ДПФ и в № 3-4 различаются. Различие объясняется тем, что выбраны разные частоты дискретизации для одиночного и периодического сигналов.

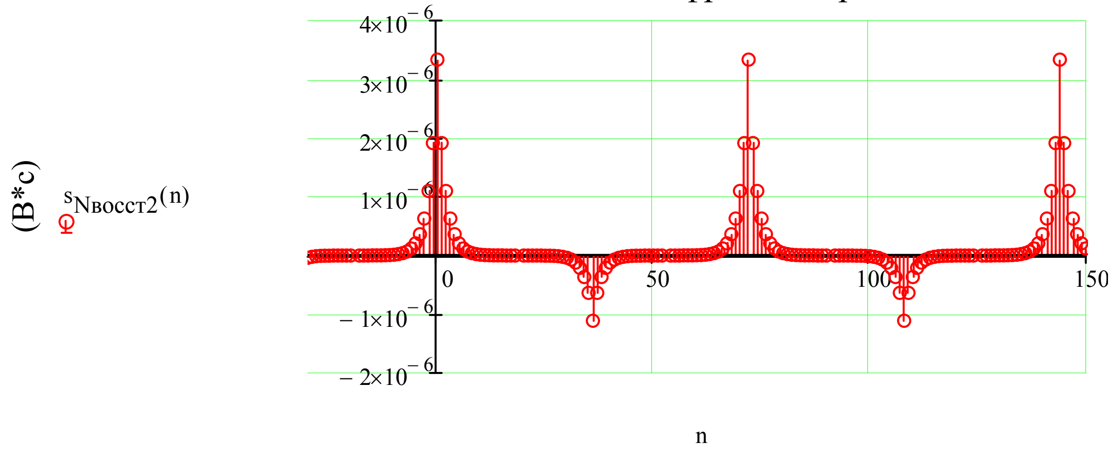
№ 8. Определить и построить дискретные сигналы по их спектрам с помощью ОДПФ. Сравнить их с исходным дискретным периодическим сигналом. Сделать выводы.

$$s_{N\text{восст}1}(n) := T_{\text{перД}1} \cdot \sum_{k=0}^{N_1-1} \left(S1(k) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k \cdot n}{N_1}} \right)$$



$$s_{N\text{восст}2}(n) := T_{\text{перД}2} \cdot \sum_{k=0}^{N_2-1} \left(S2(k) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k \cdot n}{N_2}} \right)$$

Восстановленный цифровой период. сигнал



Восстановленные сигнала путём ОДПФ с большой точностью схожи с исходным дискретным сигналом.

Это даёт возможность на практике убедиться, что ДПФ и ОДПФ взаимо-обратные операции над дискретным сигналом.

Часть 5
Восстановление периодических аналоговых сигналов по дискретным сигналам.

№ 1. Определить и построить сигналы и их спектры на выходе идеально-восстанавливающе ФНЧ с граничной частотой, равной половине частоты дискретизации. Выполнить задание во временной области и в частотной.

Для первой частоты дискретизации:

Решение во временной области:

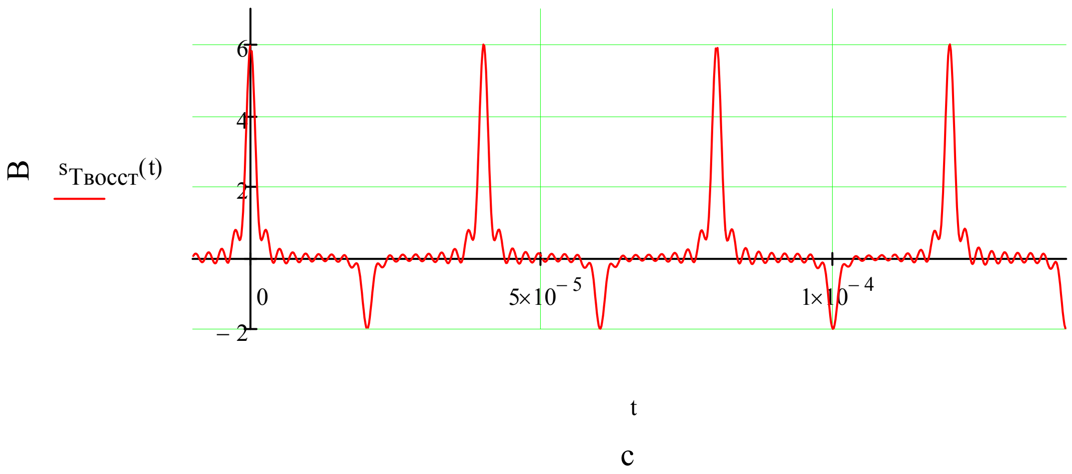
$$F_{гр1} := \frac{F_{перД1}}{2} = 4.5 \times 10^{5} \qquad Гц$$

$$K(f) := Ko \cdot \Phi\left(f + F_{гр1}\right) - Ko \cdot \Phi\left(f - F_{гр1}\right)$$ АЧХ идеального восстанавливающего ФНЧ

$$k(t) := \frac{Ko}{\pi \cdot t} \cdot \sin\left(2\pi \cdot F_{гр1} \cdot t\right)$$ ИХ идеального ФНЧ

$$s_{Твосст}(t) := \sum_{n=0}^{N_1-1} \left(s_{N1}(n) \cdot \sum_{q=-1}^{4} k\left(t - n \cdot T_{перД1} - q \cdot T\right) \right)$$

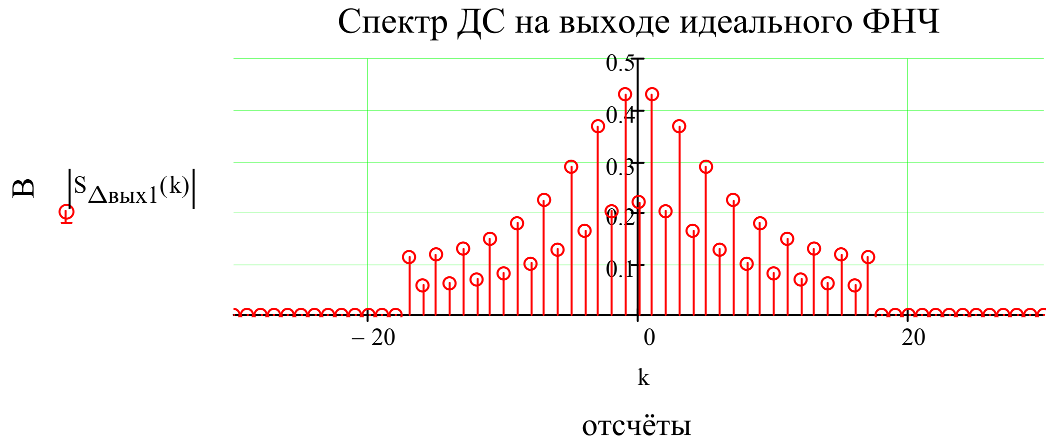
Восстановленный период. аналоговый сигнал



Решение в частотной области :

$$S_{\Delta вых1}(k) := S1(k) \cdot K\left(\frac{k}{T}\right)$$

$$k := -200 .. 200$$



$$s_{восстT}(t) := \sum_{k=-40}^{40} \left(S_{\Delta вых1}(k) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k \cdot t}{T}} \right)$$

Для второй частоты дискретизации:

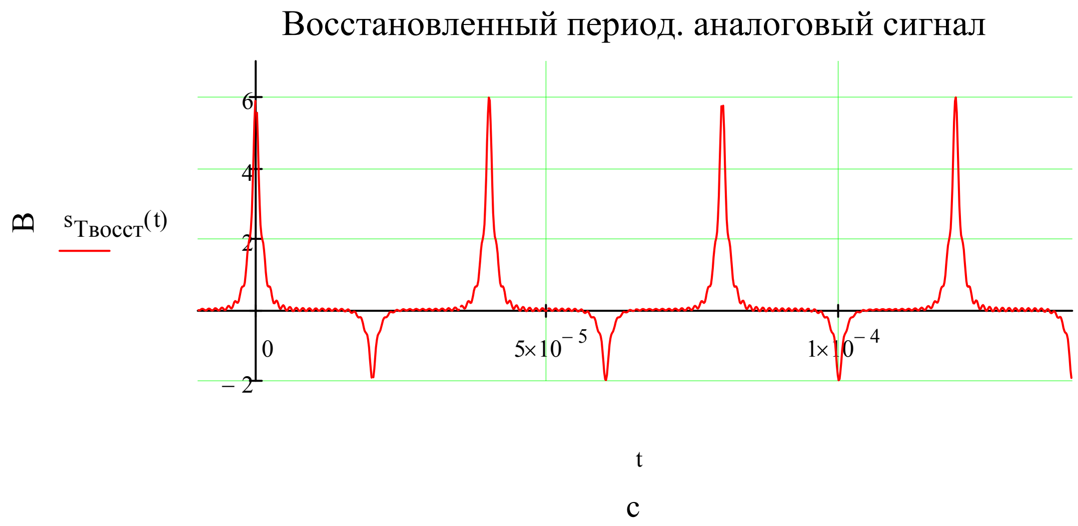
Решение во временной области:

$$F_{гр2} := \frac{F_{перД2}}{2} = 9 \times 10^{5} \qquad Гц$$

$$K(f) := Ko \cdot \Phi(f + F_{гр2}) - Ko \cdot \Phi(f - F_{гр2})$$ АЧХ идеального восстанавливающего ФНЧ

$$k(t) := \frac{Ko}{\pi \cdot t} \cdot \sin(2\pi \cdot F_{гр2} \cdot t)$$ ИХ идеального ФНЧ

$$s_{Твосст}(t) := \sum_{n=0}^{N_2-1} \left(s_{N2}(n) \cdot \sum_{q=-1}^{4} k(t - n \cdot T_{перД2} - q \cdot T) \right)$$

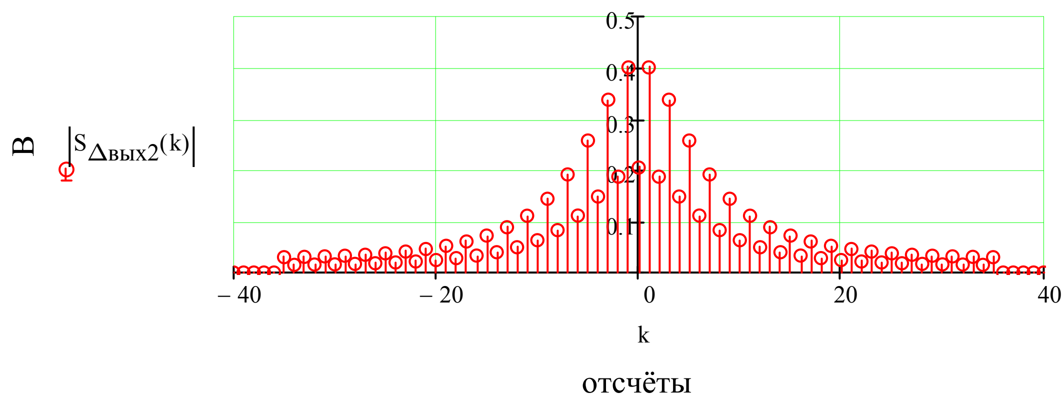


Решение в частотной области :

$$S_{\Delta вых2}(k) := S2(k) \cdot K\left(\frac{k}{T}\right)$$

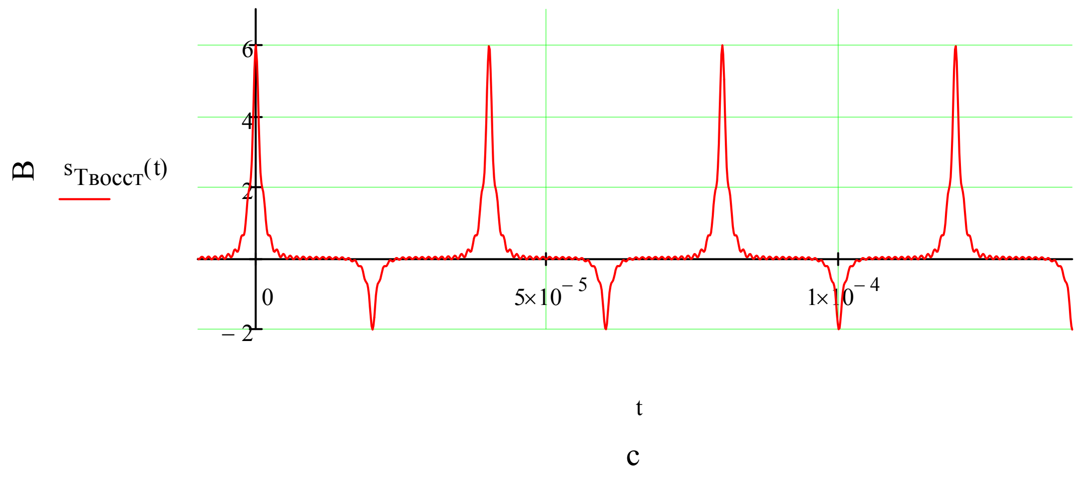
$$k := -200 .. 200$$

Спектр ДС на выходе идеального ФНЧ



$$s_{Tвосст}(t) := \sum_{k=-40}^{40} \left(S_{\Delta вых2}(k) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{k \cdot t}{T}} \right)$$

Восстановленный период. аналоговый сигнал



<u>№ 2. Проанализировать полученные сигналы и спектры, сравнить их между собой и с исходным периодическим аналоговым сигналом. Сделать выводы.</u>

Сигналы, восстановленные в частотной и временной областях схожи между собой и с исходным аналоговым сигналом.

Погрешность восстановления обусловлена бесконечным спектром исходного сигнала и тем, что восстановление проиводилось в ограниченной полосе частот.