



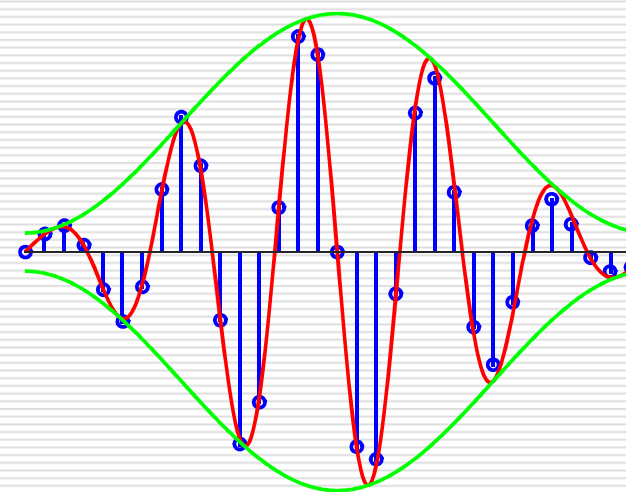
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
Кафедра теоретических основ
радиотехники



ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Тема 6

Многоскоростная обработка сигналов (Лекция 1)



Понятие многоскоростной обработки

- Многоскоростная (*MultiRate*) обработка:
 - *Разная частота дискретизации* в разных точках системы
- Примеры многоскоростной обработки
 - Собственно изменение частоты дискретизации
 - Многоканальная фильтрация (*банки фильтров*)

Изменение частоты дискретизации

- Причины для изменения частоты дискретизации:
 - Согласование различных стандартов
 - Audio-CD: $f_d = 44,1$ кГц
 - Звуковая дорожка видеозаписей: $f_d = 48$ кГц
 - Изменение частоты сигнала в процессе обработки
 - Модулированный радиосигнал: высокая f_d
 - Результат демодуляции: низкая f_d

Изменение частоты дискретизации

□ Разновидности операций

■ Прореживание (*Decimation*)

□ Уменьшение $f_{\text{д}}$ в целое число раз

■ Интерполяция (*Interpolation*)

□ Увеличение $f_{\text{д}}$ в целое число раз

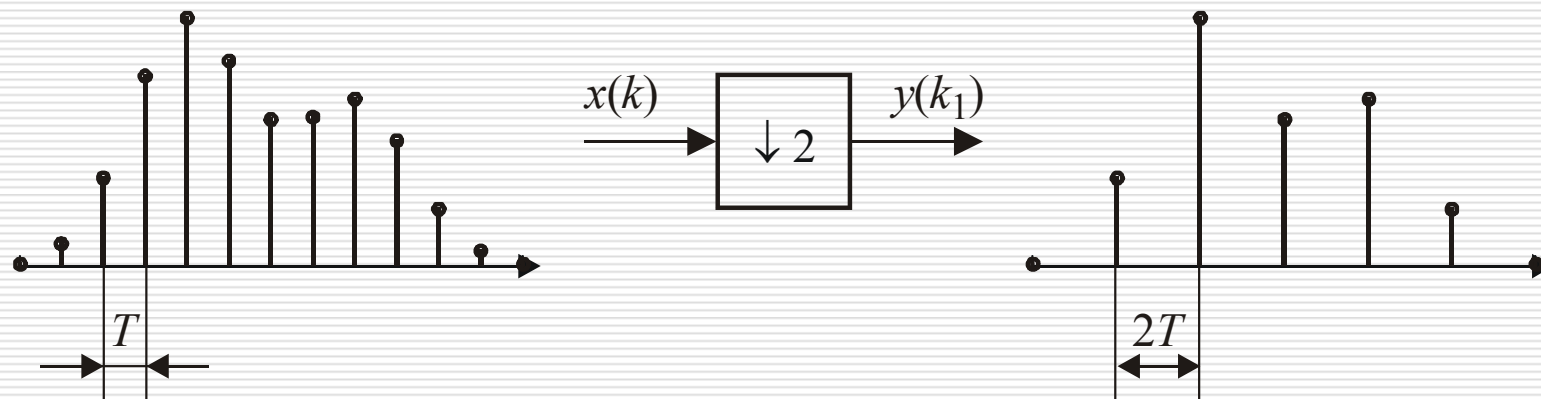
■ Передискретизация (*Resampling*)

□ Произвольное изменение $f_{\text{д}}$

■ Мы рассмотрим только изменение $f_{\text{д}}$
с рациональным коэффициентом

Прореживание (Decimation)

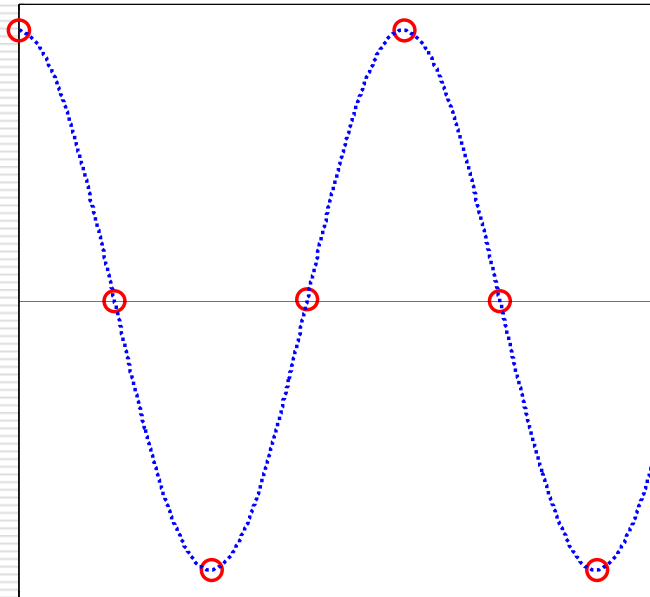
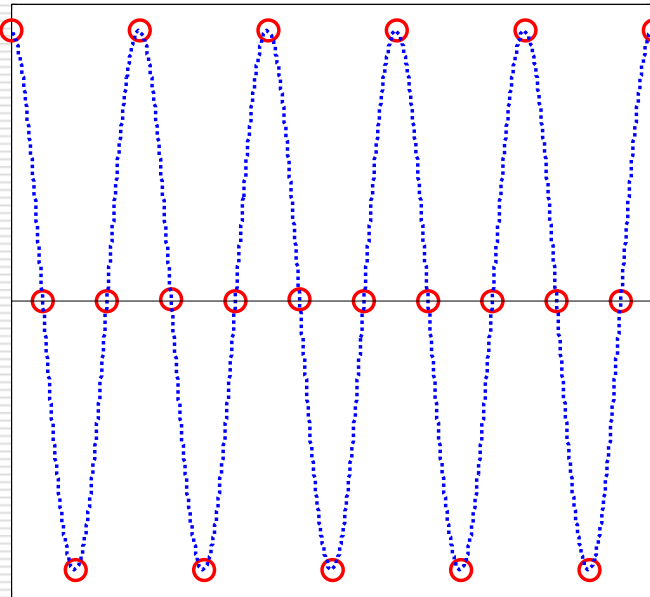
- Почему нельзя просто выкинуть лишние отсчеты?



- Эта операция называется *понижением частоты дискретизации* (*downsampling*)

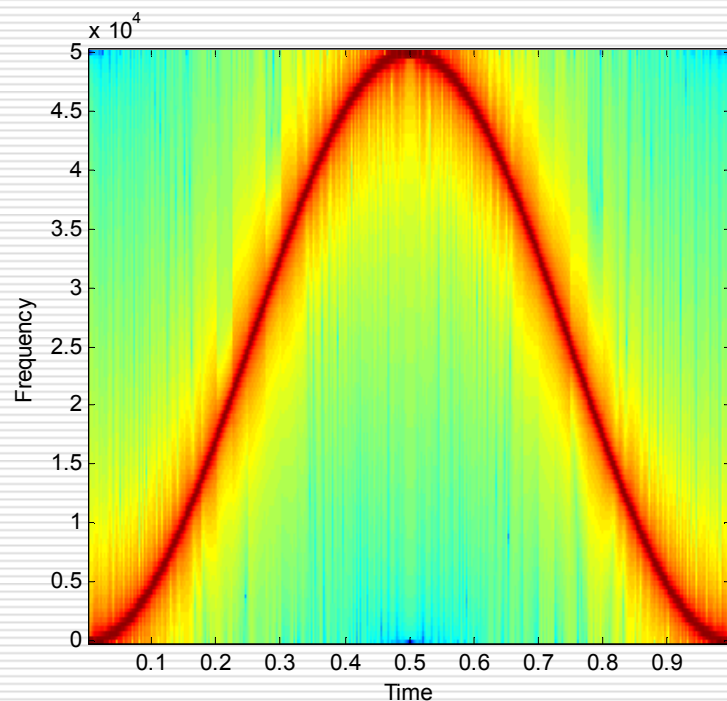
Прореживание (Decimation)

- Потому что при этом возможно появление ложных частот!



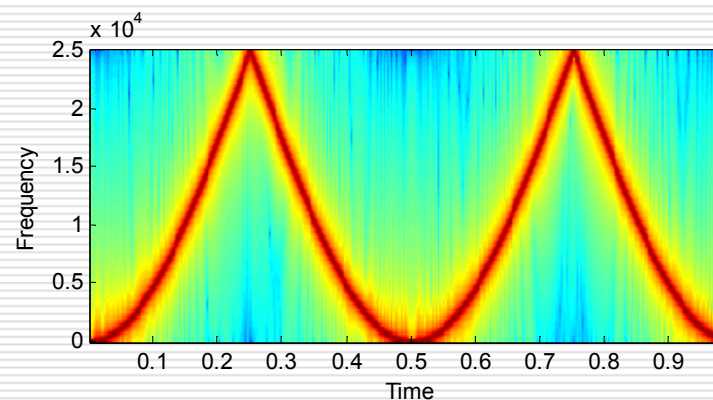
Прореживание (Decimation)

- ❑ Еще один пример ложных частот: сигнал с гармонической угловой модуляцией



Исходно: $f_{\text{д}} = 100$ кГц

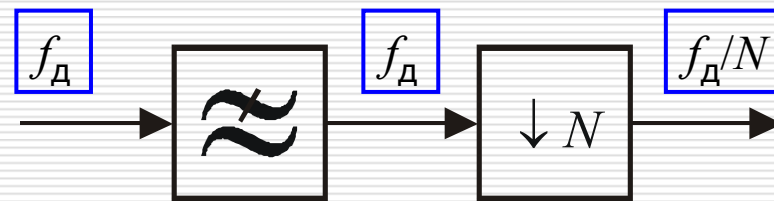
После понижения: $f_{\text{д}} = 50$ кГц



Прореживание (Decimation)

□ Ликвидация ложных частот:

- Использование ФНЧ перед понижением частоты дискретизации

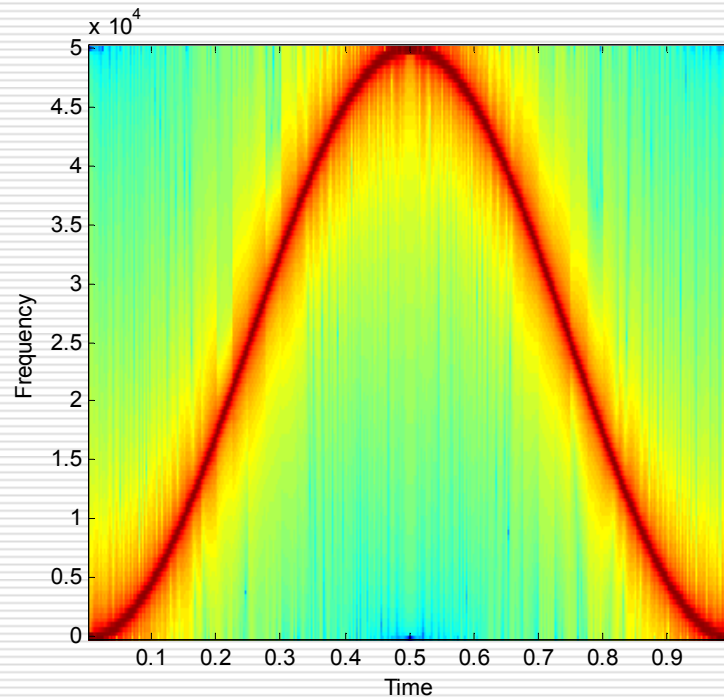


■ Требования к ФНЧ:

- Частота среза: не более $f_d/(2N)$ (это *новая* частота Найквиста)
- Коэффициент передачи в полосе пропускания: 1 (0 дБ)

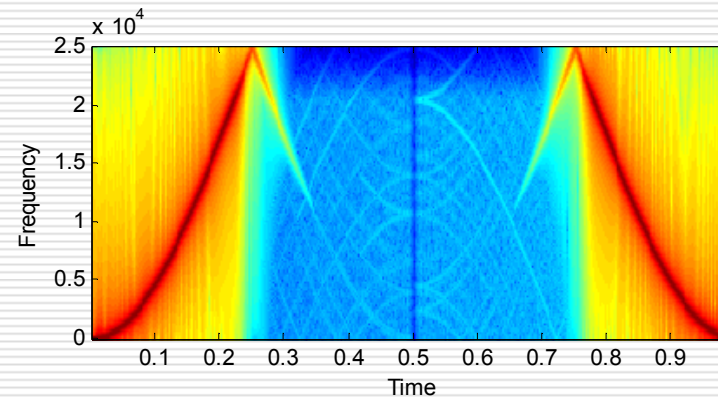
Прореживание (Decimation)

- Высокие частоты потеряны, но благодаря ФНЧ нет *ЛОЖНЫХ* частот



Исходно: $f_{\text{д}} = 100$ кГц

После понижения: $f_{\text{д}} = 50$ кГц

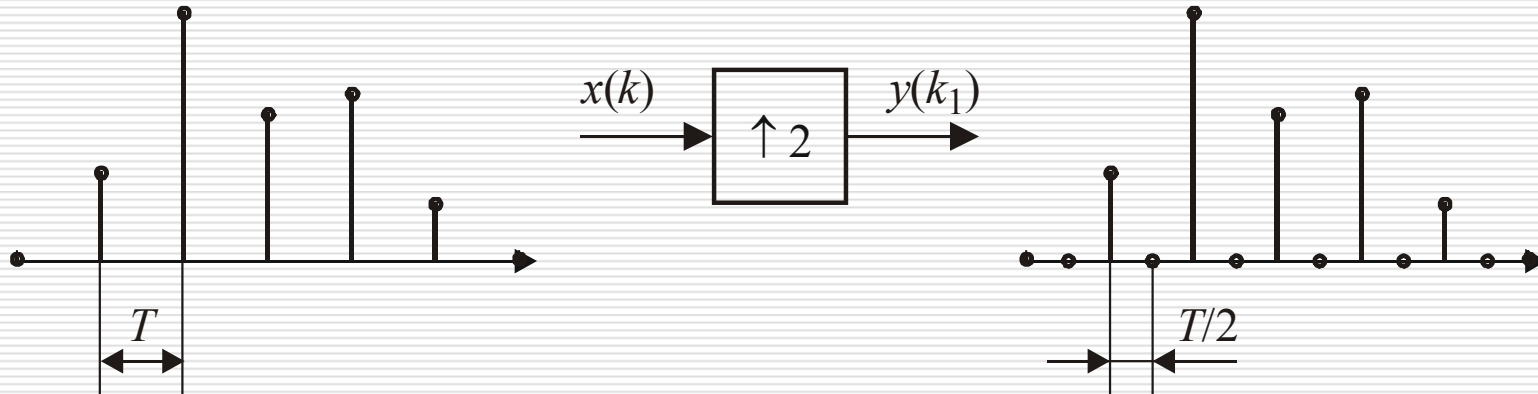


Прореживание (Decimation)

- Целесообразно использование *нерекурсивного* ФНЧ
 - Можно получить *строго линейную ФЧХ*
 - Можно вычислять *только нужные* выходные отсчеты, «заталкивая» в линию задержки входные отсчеты порциями по N штук
 - Достигается N -кратное *снижение* числа арифметических операций

Интерполяция (Interpolation)

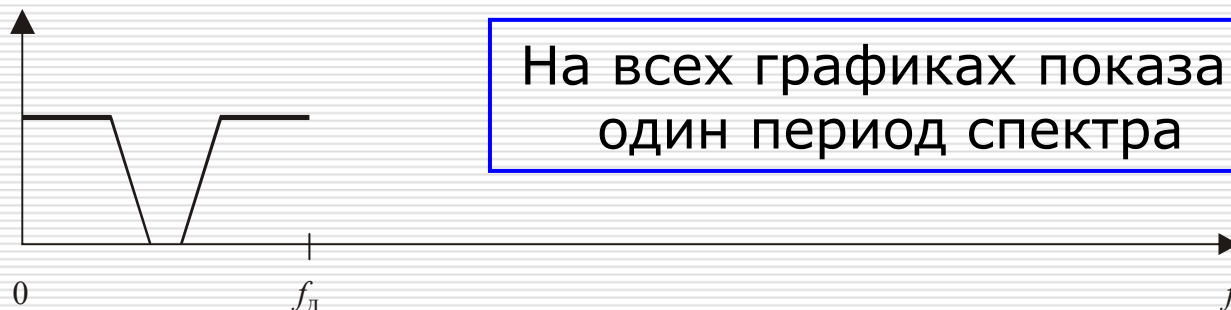
- Появляются новые отсчеты
 - Их значения нужно как-то вычислить
 - Первый этап — вставка $(N-1)$ нулей между отсчетами сигнала



- Эта операция называется *повышением частоты дискретизации* (*upsampling*)

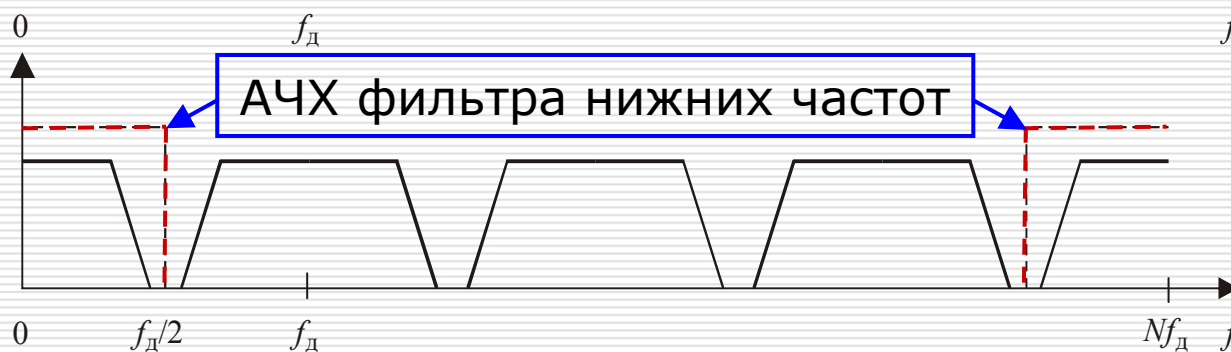
Интерполяция (Interpolation)

Спектр
исходного
сигнала



На всех графиках показан
один период спектра

Спектр
после
вставки
нулей

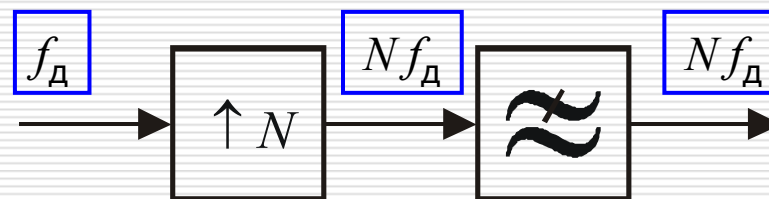


Спектр
после
ФНЧ



Интерполяция (Interpolation)

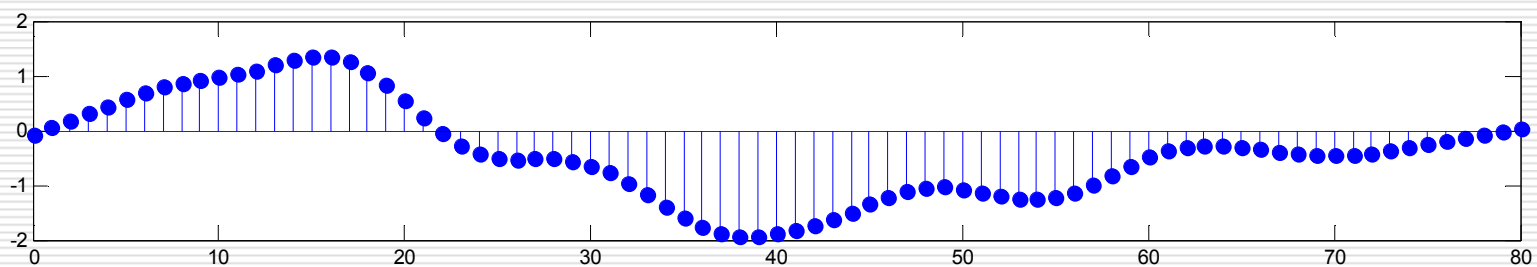
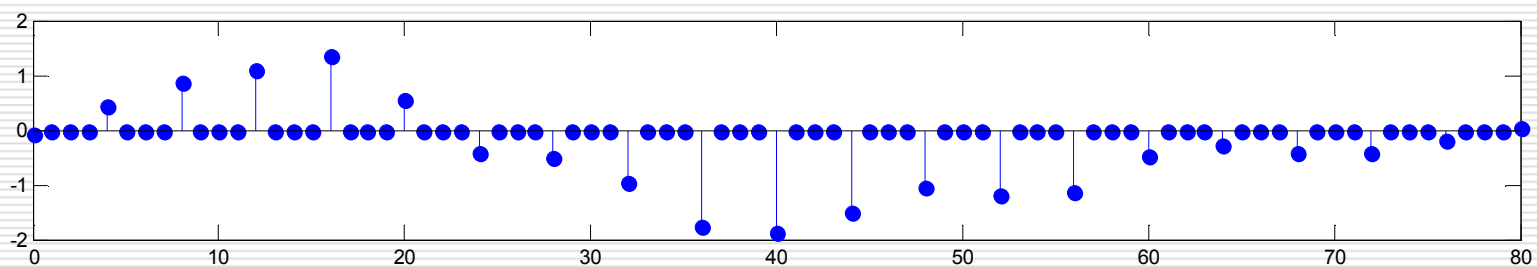
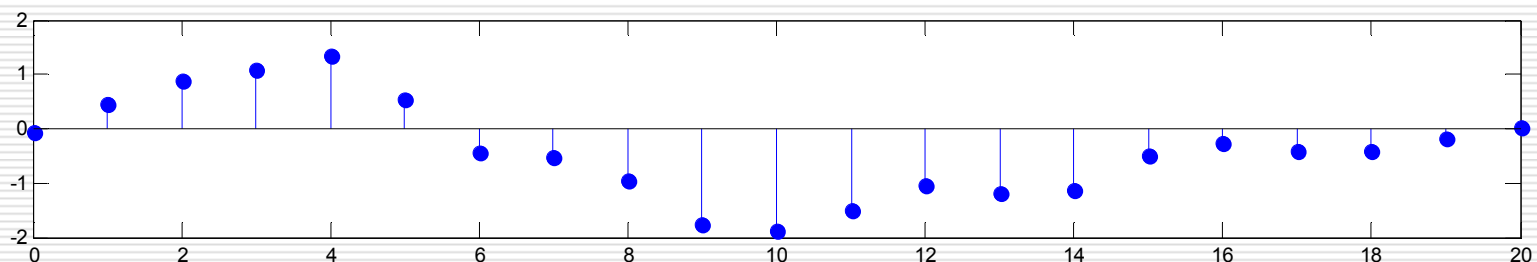
- Второй этап — выделение низкочастотной части спектра с помощью ФНЧ



- Требования к ФНЧ:
 - Частота среза: не более $f_d/2$
(это *исходная* частота Найквиста)
 - Коэффициент передачи в полосе пропускания: N

Интерполяция (Interpolation)

$N = 4$



Интерполяция (Interpolation)

- Целесообразно использование *нерекурсивного* ФНЧ
 - Можно получить *строго линейную ФЧХ*
 - В линии задержки фильтра в каждый момент находится много *нулевых отсчетов*, причем их положения *известны*
 - Можно *игнорировать* вычисления с этими нулевыми отсчетами
 - Достигается N -кратное *снижение* числа арифметических операций