

## Лабораторная работа №6 Дискретизация непрерывных сигналов

**Цель работы:** изучение вопросов дискретизации и восстановления непрерывных сигналов.

### Порядок выполнения работы

#### Замечание

В данной лабораторной работе для моделирования процессов дискретизации и восстановления используется алгоритм быстрого преобразования Фурье. По этой причине, для корректного отображения спектра периодических сигналов величина  $TF_d$  привязана к степеням 2, причём отрезок времени  $T$  выбран единичным.

#### Внимание!

В лабораторной работе исследуются вопросы дискретизации и восстановления ограниченных и не ограниченных по спектру сигналов. Перед выполнением очередного пункта не забудьте выбрать соответствующий сигнал в меню выбора сигналов (номер варианта выбирается в соответствии с номером рабочего места). Обратите внимание, что для удобства восприятия предусмотрена возможность переключать отображение спектра сигнала со сплошного на линейчатый. В работе для моделирования ограниченных по спектру сигналов используется сумма гармонических сигналов с кратными частотами, которая имеет линейчатый спектр. Для моделирования не ограниченных по спектру сигналов используются случайные сигналы со сплошным спектром. Переключение отображения никак **не влияет** на результат! Оно нужно лишь для улучшения восприятия!

Следует помнить, что для представления чисел с плавающей точкой в ЭВМ используется нормализованная запись числа. Например, число 0,03 будет представлено в виде  $0.3E-01$ , т.е.  $0,3 \cdot 10^{-1}$ .

**Задание 1.** Исследование временных и спектральных характеристик дискретных сигналов

- В меню «Выбор сигнала» выбрать сигнал 1 в соответствии с номером варианта.
- В меню «Отображение спектра» выбрать «Сплошной» (т.к. исследуемый сигнал является непериодическим, а его спектр – сплошным).

- Записать номинальное значение частоты дискретизации  $F_d$ , указанное в названии сигнала.
1. Зарисовать (схематично) временные и спектральные диаграммы исходного непрерывного сигнала. **Внимание! Все** диаграммы следует зарисовывать так, как они расположены на экране, т.е. в левой части – временные диаграммы, в правой – спектральные.
  2. Установить значение частоты дискретизации  $F_d$  равным половине от номинального значения. Зарисовать (схематично) временные и спектральные диаграммы дискретного сигнала. Определить период повторения в спектре дискретного сигнала, отметить эту величину на спектральной диаграмме дискретного сигнала.
  3. Установить значение частоты дискретизации  $F_d$  равным номинальному значению. Зарисовать (схематично) временные и спектральные диаграммы дискретного сигнала. Определить период повторения в спектре дискретного сигнала, отметить эту величину на спектральной диаграмме дискретного сигнала.
  4. Установить значение частоты дискретизации  $F_d$  равным удвоенному номинальному значению. Зарисовать (схематично) временные и спектральные диаграммы дискретного сигнала. Определить период повторения в спектре дискретного сигнала, отметить эту величину на спектральной диаграмме дискретного сигнала.
  5. Сделать вывод о свойствах спектра дискретного сигнала.

**Задание 2.** Восстановление непрерывного сигнала по дискретному

1. Установить коэффициент сглаживания ФНЧ  $K = 0$  (идеальный ФНЧ).
2. Установить значение частоты дискретизации  $F_d$  равным номинальному значению. Значение частоты среза ФНЧ установить равным  $F_c = F_d/2$ . Зарисовать (схематично) ИХ и АЧХ фильтра-восстановителя, временные и спектральные диаграммы восстановленного сигнала.
3. Установить значение частоты дискретизации  $F_d$  равным половине от номинального значения. Значение частоты среза ФНЧ установить равным  $F_c = F_d/2$ . Зарисовать (схематично) ИХ

и АЧХ фильтра-восстановителя, временные и спектральные диаграммы восстановленного сигнала.

4. Сравнить зарисованные в задании 1 временные и спектральные диаграммы исходного непрерывного и дискретного сигнала с временной и спектральной диаграммами восстановленного сигнала (при соответствующих значениях частоты дискретизации  $F_d$ ). Сделать вывод о возможности восстановления непрерывного сигнала по дискретному. Объяснить причины возникновения погрешности при восстановлении сигнала в случае, когда частота дискретизации  $F_d$  равна половине от номинального значения.

**Задание 3.** Исследование погрешностей восстановления ограниченного по спектру сигнала

- В меню «Выбор сигнала» выбрать сигнал 2 в соответствии с номером варианта.
  - В меню «Отображение спектра» выбрать «Линейчатый» (т.к. исследуемый сигнал является периодическим, а его спектр – линейчатым).
1. Используя идеальный ФНЧ с переменной частотой среза  $F_c$ , определить частоты дискретных составляющих в спектре сигнала, для чего:
    - Установить максимально возможное значение частоты дискретизации  $F_d$ .
    - Установить коэффициент сглаживания ФНЧ  $K = 0$  (идеальный ФНЧ).
    - Установить минимально возможное значение частоты среза  $F_c$  ФНЧ. Обратите внимание, что в спектре восстановленного сигнала нет ни одной частотной составляющей, а сам восстановленный сигнал равен нулю.
    - Плавно увеличивая частоту среза  $F_c$  ФНЧ добиться появления в спектре восстановленного сигнала первой составляющей. Записать значение  $F_c$ , которое в этом случае будет равно частоте первой дискретной составляющей исходного непрерывного сигнала.
    - Продолжать увеличивать  $F_c$  до появления второй составляющей. Записать значение  $F_c$ , равное частоте второй дискретной составляющей исходного непрерывного сигнала.

- Повторять процедуру до тех пор, пока не будут измерены частоты всех составляющих спектра (пока спектр восстановленного сигнала не будет в точности повторять спектр исходного непрерывного сигнала).
  - Зарисовать исходный непрерывный сигнал и его спектр, указать измеренные частоты составляющих спектра. Определить и записать значение верхней (наибольшей) частоты в спектре сигнала –  $F_v$ .
2. Выбрать значение частоты дискретизации  $F_d$  в 4 раза большее, чем  $F_v$  (если полученного значения  $F_d$  нет среди допустимых значений, следует взять ближайшее (но большее!) к нему допустимое значение  $F_d$ ). Зарисовать временную и спектральную диаграммы дискретного сигнала. Установить коэффициент сглаживания ФНЧ  $K = 0$  (идеальный ФНЧ). Плавно изменяя частоту среза  $F_c$  ФНЧ от 1 до  $F_d$ , снять зависимость погрешности восстановления  $\varepsilon$  от  $F_c$ . Зависимость свести в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость погрешности восстановления  $\varepsilon$  от частоты среза  $F_c$  ФНЧ

$F_c$	0	...	$F_d$
$\varepsilon$			

3. По результатам из табл. 1 изобразить график зависимости  $\varepsilon = f(F_c)$ . На оси частот отметить измеренные частоты дискретных составляющих спектра исходного непрерывного сигнала. Объяснить характер полученной зависимости.

**Задание 4.** Исследование погрешностей восстановления неограниченного по спектру сигнала

- В меню «Выбор сигнала» выбрать тот же сигнал, что и в задании 1.
  - В меню «Отображение спектра» выбрать «Сплошной» (т.к. исследуемый сигнал является непериодическим, а его спектр – сплошным).
1. Выбрать значение частоты дискретизации  $F_d$  равным

номинальному значению (см. п. 1). Установить коэффициент сглаживания ФНЧ  $K = 0$  (идеальный ФНЧ). Плавно изменяя частоту среза  $F_c$  ФНЧ от 1 до  $F_d$ , снять зависимость погрешности восстановления  $\varepsilon$  от  $F_c$ . Зависимость свести в табл. 2.

Таблица 2. Зависимость погрешности восстановления  $\varepsilon$  от частоты среза  $F_c$  ФНЧ

$F_c$	0	...	$F_d$
$\varepsilon$			

2. Записать оптимальное значение  $F_c$  (то значение, при котором погрешность восстановления  $\varepsilon$  минимальна).
3. По результатам из табл. 2 изобразить график зависимости  $\varepsilon = f(F_c)$ . Объяснить характер полученной зависимости.

**Задание 5.** Исследование влияния характеристик ФНЧ на погрешность восстановления

- В меню «Выбор сигнала» выбрать тот же сигнал, что и в задании 3.
  - В меню «Вид спектра» выбрать «Линейчатый» (т.к. исследуемый сигнал является периодическим).
1. Задать значение частоты дискретизации  $F_d$  таким же, как в п. 2 задания 3. Значение частоты среза  $F_c$  ФНЧ выбрать равным половине  $F_d$ . Плавно изменяя коэффициент сглаживания  $K$  в диапазоне от 0 до 1, снять зависимость погрешности восстановления  $\varepsilon$  от  $K$ . Зависимость свести в табл. 3.

Таблица 3. Зависимость погрешности восстановления  $\varepsilon$  от коэффициента сглаживания  $K$

$K$	0	...	1
$\varepsilon$			

2. По результатам из табл. 2 изобразить график зависимости  $\varepsilon = f(K)$ . Объяснить характер полученной зависимости.
3. Зарисовать (схематично) спектр исходного сигнала, спектр

дискретного сигнала, АЧХ фильтра и спектр восстановленного сигнала для случаев  $K=0$  и  $K=1$ . Объяснить причины возникновения погрешности восстановления.

### **Содержание отчёта:**

1. Название и цель работы.
2. Выполненное домашнее задание.
3. Диаграммы и выводы по заданию 1.
4. Диаграммы и выводы по заданию 2.
5. Таблица, график и выводы по заданию 3.
6. Таблица, график, оптимальное значение  $F_c$  и выводы по заданию 4.
7. Диаграммы, таблица, график и выводы по заданию 5.

### **Контрольные вопросы**

1. В чём состоит суть процесса дискретизации непрерывной функции?
2. Выведите выражение для спектра дискретного сигнала. Как связаны между собой спектры дискретного и исходного непрерывного сигналов?
3. Нарисуйте спектр исходного непрерывного сигнала и спектры дискретных сигналов для случаев  $F = F_b$ ,  $F = F_b/2$ ,  $F = 2F_b$ .
4. Сформулируйте и докажите теорему Котельникова.
5. Что называется базисом Котельникова? Как выглядят базисные функции ряда Котельникова? Какими свойствами они обладают?
6. Расскажите о восстановлении непрерывного сигнала по его дискретным отсчётам с использованием ряда Котельникова.
7. Расскажите о восстановлении непрерывного сигнала по его дискретным отсчётам с использованием фильтра нижних частот.
8. Опишите погрешности, возникающие при дискретизации и восстановлении сигнала с неограниченным спектром.
9. Опишите погрешности восстановления сигнала, возникающие при усечении ряда Котельникова (цифровой реализации ФНЧ).
10. Опишите погрешности восстановления сигнала, возникающие при использовании для восстановления неидеального аналогового ФНЧ.
11. Объясните характер зависимости погрешности восстановления  $\varepsilon$  от частоты среза  $F_c$  ФНЧ, снятой в задании 3.
12. Объясните характер зависимости погрешности восстановления  $\varepsilon$  от частоты среза  $F_c$  ФНЧ, снятой в задании 4.

13. Объясните характер зависимости погрешности восстановления  $\varepsilon$  от коэффициента сглаживания  $K$  ФНЧ, снятой в задании 5.
14. Как зависит погрешность восстановления от частоты дискретизации для случаев ограниченного и неограниченного по спектру сигнала?

### **Литература**

1. **Теория** электрической связи: Учебник для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998.

2. **Кловский Д.Д., Шилкин В.А.** Теория электрической связи. Сб. задач и упражнений. – М.: Радио и связь, 1990.