

# КУРСОВАЯ РАБОТА

по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы» на тему  
**«Цифровая обработка сигналов»**

ПУНКТЫ СО «\*» ВЫПОЛНЯЮТСЯ ПО ЖЕЛАНИЮ СТУДЕНТА.

## **Часть I. Выбор частоты дискретизации**

1. Выберите значения параметров заданного импульсного сигнала (амплитуда, длительность, и др.)
2. Запишите аналитическое выражение и постройте график импульсного сигнала.
3. Выберите период повторения сигнала  $T$ . Значение периода следует выбрать больше длительности (или другого характерного времени) сигнала в целое число раз (рекомендуется в 3 – 8).
4. Запишите аналитическое выражение и постройте график периодического сигнала.
5. Определите аналитическое выражение для спектра импульсного сигнала, постройте график амплитудного и фазового спектра.
6. Определите полную энергию импульсного сигнала. Постройте график зависимости доли энергии, заключённой в полосе частот. Определите по этому графику значения частот, соответствующие 75% и 95%:  $F_{75\%}$  и  $F_{95\%}$ .
7. Пользуясь т. Котельникова, выберите два значения частоты дискретизации  $F_{\partial 1}$  и  $F_{\partial 2}$  близкие (но не меньшие) по величине удвоенным значениям  $F_{75\%}$  и  $F_{95\%}$  соответственно. При этом период дискретизации  $T_{\partial}=1/F_{\partial}$  должен быть таким, что на выбранном (в п. 3) периоде повторения сигнала  $T$  укладывается целое число  $N$  периодов дискретизации ( $T=N \cdot T_{\partial}$ ).

## **Часть II. Дискретизация импульсных аналоговых сигналов**

1. Определите аналитическое выражение и постройте график цифрового сигнала, полученного в результате дискретизации аналогового импульсного сигнала с выбранной частотой дискретизации  $F_{\partial 1}$ .
2. Определите связь между спектрами аналогового и дискретного сигналов. Постройте графики амплитудного и фазового спектров, вычисленного по спектру аналогового сигнала.
3. Определите спектр дискретного сигнала с помощью ДВПФ от цифрового сигнала.
4. Повторите п.п.1-3 для значения частоты дискретизации  $F_{\partial 2}$ .
5. Проанализируйте полученные сигналы и спектры, сравните их и сделайте выводы.

## **Часть III. Восстановление импульсных аналоговых сигналов по дискретным сигналам**

1. Задайте аналитические выражения и постройте графики для частотной и импульсной характеристики идеального восстанавливающего фильтра (ВФ), соответствующего частоте дискретизации  $F_{\partial 2}$ .
2. Определите и постройте сигнал на выходе восстанавливающего фильтра, полученный во временной области: свёрткой дискретного сигнала с ИХ ВФ. Вычислите

среднеквадратическую ошибку восстановленного сигнала по отношению к заданному аналоговому сигналу.

3. Определите и постройте спектр на выходе восстанавливающего фильтра, полученный в частотной области как произведение спектра дискретного сигнала и ЧХ ВФ.
4. Восстановите с помощью обратного преобразования Фурье сигнал на выходе ВФ по спектру, полученному в п. 3.
5. \* Задайте два восстанавливающих ФНЧ первого порядка. Для этого определите аналитические выражения для ИХ и ЧХ ФНЧ для двух разных граничных частот  $F_{cp1} \approx F_{\partial 2}/2$  и  $F_{cp2} < F_{\partial 2}/2$  ( $F_{cp2} \sim 1/3 \cdot F_{\partial}/2$ ). Постройте графики ИХ, АЧХ, ФЧХ.
6. \* Определите с помощью свёртки и постройте сигналы на выходе каждого восстанавливающего фильтра. Определите соответствующие им спектры. Вычислите среднеквадратическую ошибку каждого из восстановленных сигналов по отношению к заданному аналоговому сигналу.
7. Проанализируйте полученные сигналы и спектры, сравните их между собой и с исходным одиночным аналоговым сигналом, сделайте выводы.

#### **Часть IV. Дискретизация периодических аналоговых сигналов**

1. Определите выражение и постройте график периодического цифрового сигнала, полученного в результате дискретизации периодического аналогового сигнала с выбранной частотой дискретизации  $F_{\partial 1}$ .
2. \* Определите связь между спектрами аналогового и дискретного сигналов. Постройте графики амплитудного и фазового спектров по известному спектру периодического сигнала.
3. Определите спектр дискретного сигнала с помощью ДПФ от цифрового сигнала.
4. \* Восстановите сигнал с помощью ОДПФ по его спектру, полученному в п. 2.
5. Повторите п.п. 1-4 для другого значения частоты дискретизации  $F_{\partial 2}$ .
6. Проанализируйте полученные сигналы и спектры, сравните их и сделайте выводы.

#### **Часть V. Восстановление периодических аналоговых сигналов по дискретным сигналам**

1. Определите и постройте сигнал с частотой дискретизации  $F_{\partial 2}$  на выходе идеального восстанавливающего фильтра, полученный во временной области: циклической (круговой) свёрткой дискретного сигнала с ИХ ВФ. Вычислите среднеквадратическую ошибку восстановленного периодического сигнала по отношению к заданному периодическому аналоговому сигналу.
2. \* Определите выражение и постройте график спектр на выходе восстанавливающего фильтра, полученный в частотной области произведением спектра дискретного периодического сигнала и ЧХ ВФ.
3. \* Восстановите с помощью ряда Фурье сигнал по его спектру, полученному в п. 3. Сравните с сигналом, найденным в п. 2.
4. Проанализируйте полученные сигналы и спектры, сравните их и сделайте выводы.

## Часть VI. Синтез цифровых фильтров

Для заданного аналогового фильтра синтезируйте два цифровых фильтра с использованием двух различных методов пересчёта. Исходный аналоговый фильтр может быть задан:

1. Диаграммой нулей и полюсов (ДНП).
2. Графиком желаемой идеальной частотной характеристики (ЧХ).

### Вариант 1 (ДНП).

1. По заданной системной функции аналогового фильтра определите и постройте частотную характеристику (ЧХ) и импульсную характеристику (ИХ) аналогового фильтра.
2. Проведите синтез цифрового фильтра методом ИИХ (инвариантной импульсной характеристики). Для этого для частоты дискретизации  $F_{d2}$  определите импульсную характеристику цифрового фильтра, отсчеты которой совпадают со значениями импульсной характеристики аналогового фильтра в дискретные моменты времени  $nT_{d2}$ .
3. По импульсной характеристике цифрового фильтра:
  - найдите системную функцию (в виде выражения);
  - постройте диаграмму нулей и полюсов на  $z$ -плоскости;
  - найдите и постройте частотную характеристику;
  - составьте структурную схему фильтра в канонической форме;
  - получите разностное уравнение.
4. \* Пересчитайте системную функцию аналогового фильтра в системную функцию цифрового фильтра по методу билинейного преобразования (метод трапеций), сделав замену:

$$p = \frac{2}{T_d} \frac{z-1}{z+1}.$$

5. \* Для цифрового фильтра по найденной системной функции определите и постройте все характеристики, указанные в п. 3, включая импульсную характеристику.
6. Сопоставьте временные и частотные характеристики аналогового и каждого из цифровых фильтров. Сравните соответствующие характеристики двух цифровых фильтров между собой. Сделайте выводы.

### Вариант 2 (ЧХ).

1. По заданной желаемой частотной характеристике аналогового фильтра определите аналитическое выражение и постройте график импульсной характеристики аналогового фильтра.
2. Проведите синтез цифрового фильтра методом ИИХ (инвариантной импульсной характеристики). Для этого для частоты дискретизации  $F_{d2}$  определите импульсную характеристику цифрового фильтра, отсчеты которой совпадают со значениями импульсных характеристик аналоговых фильтров в дискретные моменты времени  $nT_{d2}$ . По импульсной характеристике цифрового фильтра найдите и постройте частотную характеристику с помощью ДВПФ, также найдите все остальные возможные характеристики цифрового фильтра.
3. Сопоставьте временные и частотные характеристики аналогового и каждого из цифровых фильтров. Сравните соответствующие характеристики двух цифровых фильтров между собой. Сделайте выводы.

### **Часть VII. Фильтрация одиночного дискретного сигнала**

1. Определите и постройте одиночные цифровые сигналы и их спектры на выходе синтезированных цифровых фильтров (ч. VI) во временной области (с помощью линейной дискретной свертки) и в частотной области.
2. \* Восстановите и постройте одиночные аналоговые сигналы и их спектры на выходе синтезированных цифровых фильтров с помощью идеальных ФНЧ.
3. \* Определите и постройте импульсный аналоговый сигнал на выходе заданного аналогового фильтра.
4. Опишите качественное преобразование сигнала в цифровых фильтрах. Проанализируйте полученные дискретные и аналоговые сигналы, сравните их между собой и с одиночным аналоговым сигналом на выходе заданного аналогового фильтра.

### **Часть VIII. Фильтрация периодического дискретного сигнала**

1. Определите и постройте периодические цифровые сигналы и их спектры на выходах синтезированных цифровых фильтров (ч. VI) во временной области (с помощью круговой дискретной свертки) и в частотной области.
2. \* Восстановите и постройте периодические аналоговые сигналы и их спектры на выходе синтезированных цифровых фильтров с помощью идеальных ФНЧ.
3. \* Определите и постройте периодический аналоговый сигнал на выходе заданного аналогового фильтра.
4. Проанализируйте полученные периодические дискретные и аналоговые сигналы, сравните их между собой и с периодическим аналоговым сигналом на выходе заданного аналогового фильтра.