

Анализ динамических процессов полосовых фильтров четвертого и пятого порядков на основе НКЛФ

В работе рассматривается получение аналитических выражений динамических характеристик полосовых фильтров четвертого и пятого порядков на основе спектрального метода.

Комплексная передаточная функция фильтров четвертого и пятого порядков $M(j\omega)$, задана в виде

$$M(j\omega) = \prod_{\epsilon=1}^B \frac{1}{1 + j\lambda_{\epsilon}\omega T_{\epsilon}} * \frac{j\omega\epsilon_{\epsilon}T_{\epsilon}}{1 + j\omega\epsilon_{\epsilon}T_{\epsilon}},$$

где B – максимальное значение порядка ПФ, λ_{ϵ} и ϵ_{ϵ} – коэффициенты фильтров нижних и верхних частот, составляющих полосовой фильтр.

На вход устройства воздействует сигнал $x(t)$, спектр которого $X(j\omega)$. Тогда спектр отклика фильтра на воздействие $x(t)$:

$$Y(j\omega) = X(j\omega) \cdot M(j\omega).$$

Необходимо найти выходной сигнал во временной форме $y(t) \leftarrow Y(j\omega)$.

Общепринятый подход к решению поставленной задачи – применение формулы обратного преобразования Фурье. Данный расчет требует громоздких вычислений при сложной форме спектральной плотности, так как в данном случае интеграл не поддается аналитическому решению. Алгоритмы оптимизации на основе быстрого преобразования Фурье не позволяют получить обобщенные решения, поскольку ориентированы на численное решение задачи спектрального анализа.

Для нахождения временной функции $y(t) \leftarrow Y(j\omega)$, достаточно воспользоваться мнимой составляющей $Y_2(\omega)$, выражения для спектральной плотности выходного сигнала фильтров

$$y_1(t) = \frac{2}{\pi} \int_{0+}^{\infty} Y_2(\omega) \cos(\omega t) d\omega + \frac{1}{\pi} \int_{0-}^{0+} Y_2 \cos(\omega t) d\omega;$$

Результаты расчета временного отклика исследуемых полосовых фильтров для анализа только по действительным или только по мнимым составляющим спектральной плотности совпадают.

Рассматриваемый метод сокращает вычислительные затраты и позволяет получать аналитические выражения динамических характеристик фильтров, более удобные при исследовании, чем численные решения.

В результате исследования получены аналитические выражения динамических процессов полосовых фильтров четвертого и пятого порядков при входных сигналах следующего вида: ступенчатая функция, линейно нарастающее напряжение, импульсный сигнал.

Спектр выходного сигнала полосовых фильтров аппроксимируется на базе аппарата непрерывных кусочно–линейных функций. Получены аналитические выражения динамических процессов для трех наборов аппроксимирующих прямых -5, 7 и 9 линий. Определены погрешность аппроксимации и её зависимость от количества узлов аппроксимации, а так же от длины аппроксимируемого участка характеристики фильтров.

По результатам аналитических исследований построены графики динамических процессов полосовых фильтров четвертого и пятого порядков для пяти вариантов численных значений параметров составляющих звеньев.

Проводится сравнительное исследование продолжительности процесса установления выходных сигналов анализируемых фильтров для восьми значений постоянных времени звеньев, составляющих фильтры. Построены графики зависимости времени установления от λ_{ϵ} и ϵ_{ϵ} .

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-05542