

## СИНТЕЗ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА

М. П. ФЕДОРИНЧИК

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»,  
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: fedorinchik@bsuir.by

**Аннотация.** На основе передаточной функции полосового фильтра второго порядка разработана структура фильтра и составлена принципиальная схема программно-управляемого фильтра с соответствующими параметрами. Проведено компьютерное моделирование принципиальной схемы фильтра.

**Abstract.** Based on the transfer function of a second-order bandpass filter, a filter structure is developed and a schematic diagram of a software-controlled filter is constructed taking into account parameters. Computer modeling of the filter circuit diagram was carried out.

### Введение

Применение программно-управляемых фильтров обусловлено необходимостью реализации сложных алгоритмов обработки сигналов при создании радиоэлектронной аппаратуры, а также для расширения её технических возможностей. Однако, в ряде случаев, когда из-за специфических ограничений невозможно использовать цифровые фильтры, необходимо применять перестраиваемые активные RC-фильтры. Поэтому задача синтеза таких фильтров является актуальной.

Известны два основных подхода к синтезу перестраиваемых фильтров [1]. Первый – синтез цепи с независимым управлением всеми коэффициентами передаточной функции. Второй – создание перестраиваемых схем на базе известных, с фиксированными характеристиками. Это позволяет использовать опыт реализаций фильтров с фиксированными параметрами для получения перестраиваемых схем. Такой подход эффективен при разработке фильтров всех типов с видами перестройки, наиболее широко распространенными на практике, что делает его применение целесообразным.

Основной сложностью при создании перестраиваемых активных RC-фильтров является необходимость синхронно, и с высокой точностью, изменять несколько частотно-задающих элементов. В связи с этим при разработке программно-управляемых фильтров наиболее остро стоит вопрос выбора такой топологии схемы и таких управляющих элементов, которые позволили бы создать сложные фильтры на существующей элементной базе [2]. В качестве управляющих элементов используют цифровые потенциометры, цифро-аналоговые преобразователи и переключаемые конденсаторы [2]. Однако, из-за ограничений по частотному диапазону и создаваемых помех переключаемыми конденсаторами, предпочтительнее использовать цифровые потенциометры, цифро-аналоговые преобразователи.

### Синтез структуры программно-управляемого по частоте полосового фильтра

Передаточная характеристика полосового фильтра второго порядка с единичным коэффициентом передачи описывается известным [2] выражением:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{Q}P}{1 + \frac{1}{Q}P + P^2}, \quad (1)$$

где  $U_2$  – выходное напряжение фильтра;  $U_1$  – входное напряжение фильтра;  $Q$  – добротность фильтра;  $P$  – комплексная частота.

Составим схему фильтра на основе метода аналогового моделирования по формуле (1). Для реализации потребуются дифференцирующие звенья, что нецелесообразно из-за их неустойчивости и большому уровню шумов и помех. Поэтому преобразуем (1) к следующему виду:

$$\frac{1}{P} \left( -\frac{U_2}{P} - \frac{U_2}{Q} + \frac{U_1}{Q} \right) = U_2. \quad (2)$$

Последнее выражение является неудобным для реализации, так как требует применения сумматора с двумя инвертирующими и одним неинвертирующим входами. Проще в реализации будет использование сумматора с тремя инвертирующими входами. С учетом этого замечания последнее выражение запишем в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} -\frac{U_2}{P} - \frac{U_2}{Q} - \frac{U_1}{Q} = U_3; \\ \frac{1}{P} U_3 = U_2. \end{cases} \quad (3)$$

Схема фильтра, реализующая данную систему уравнений, представлена на рисунке 1 и содержит инвертирующий сумматор на три входа на операционном усилителе X 1, а также два интегратора на операционных усилителях X 3, X 5. Управление постоянной времени интеграторов осуществляется двумя цифро-аналоговыми преобразователями R3, R4 и R6, R7. Цифро-аналоговые преобразователи включены в цепь обратной связи операционных усилителей X 2, X 4. Параметры фильтра: коэффициент передачи равен единице, добротность – двенадцать единиц, максимальная частота рабочего диапазона – 100кГц.

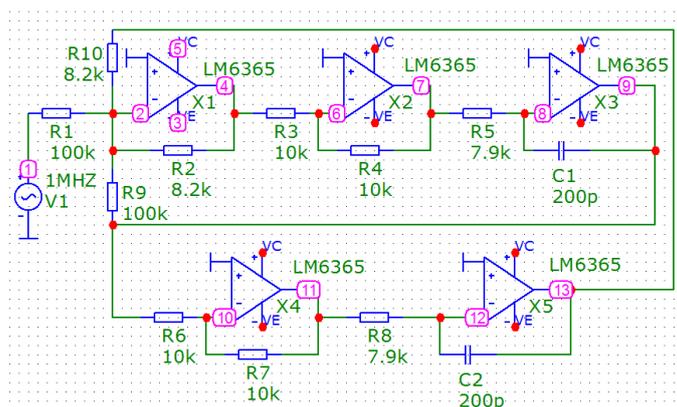


Рис.1 – Принципиальная схема программно-управляемого полосового фильтра

Результаты компьютерного моделирования АЧХ и ФЧХ фильтра в двух точках максимального диапазона частот представлены на рисунке 2 и соответствуют исходным параметрам.

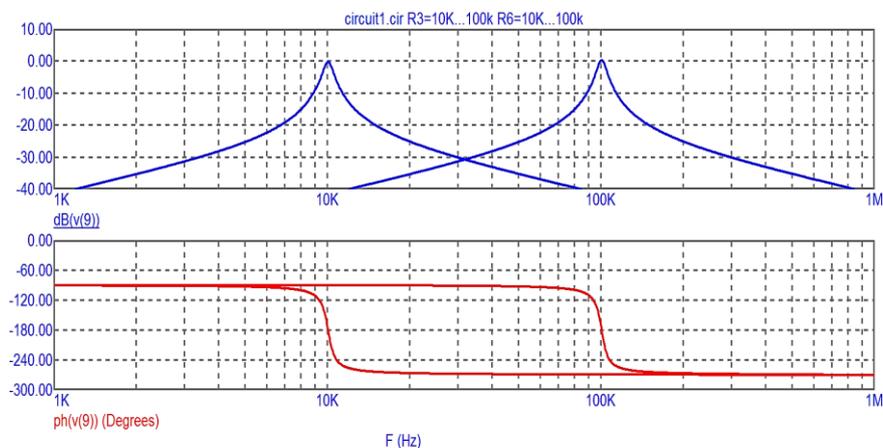


Рис. 2 – Графики АЧХ и ФЧХ фильтра для частот 100кГц и 10кГц

### Заключение

На основе передаточной функции полосового фильтра второго порядка синтезирована структура фильтра методом аналогового моделирования с использованием двух интегрирующих звеньев и одного трехвходового инвертирующего сумматора. Перестройка по частоте производится двумя резистивными цифро-аналоговыми преобразователями. Компьютерное моделирование схемы подтвердило правильность расчетов. Приведенный материал можно рекомендовать как для практического применения, так и в учебном процессе как пример методики синтеза аналоговых схем.

### Список использованных источников

1. Капустян, В.И. Активные RC-фильтры высокого порядка. Москва : Радио и связь, 1985. – 248 с.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : в 2 т. Т.2. Москва : ДМК Пресс, 2015. – 942 с.