

## Секция IV ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

---

### ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В СИСТЕМЕ ПОИСКА ВНУТРИТРУБНЫХ СНАРЯДОВ

С. В. Болденко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Кухаренко

Избирательный усилитель является частью поисковой системы и предназначен для предварительной обработки и усиления сигнала, поступающего с магнитной антенны. В соответствии с назначением и результатами предварительных испытаний усилитель должен обладать рядом технических характеристик.

Разработка полосового фильтра (ПФ) производилась с учетом следующих требований:

а) необходимо сохранить форму прямоугольной огибающей пачки радиосигнала, состоящей из 8 периодов колебаний с частотой 22 Гц. Данное требование определяет полосу пропускания, где сосредоточено около 80–90 % энергии спектра сигнала, и относительно равномерную амплитудно-частотную характеристику в полосе пропускания. Полоса пропускания ПФ должна составлять  $\Delta f = 22\text{--}25$  Гц;

б) с учетом достаточной относительной ширины полосы пропускания ПФ ее целесообразно обеспечить последовательным соединением фильтров верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот;

в) в области нижних частот от 0 Гц до 6 Гц необходимо обеспечить подавление сигнала не менее чем на 40 дБ, это обеспечит подавление помех, наведенных перемещением приемной антенны в магнитном поле земли и тепловыми шумами;

г) в области верхних частот необходимо обеспечить эффективное подавление помехи промышленной частоты 50 Гц (не менее 60 дБ). Требуемую крутизну характеристики целесообразно обеспечить путем каскадного соединения фильтрующих звеньев 1-го и 2-го порядка;

д) для получения наилучших результатов при конструировании и упрощения настройки фильтра схемы отдельных каскадов (звеньев) в ФНЧ и ФВЧ должны быть одинаковыми по топологии, но с различными номиналами элементов.

Ориентировочно порядок фильтра определяется требуемой шириной переходной области амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра с учетом того, что избирательное звено 1-го порядка позволяет получить подавление в 20 дБ/дек. Поэтому, с учетом требований, изложенных в пп. в и г, полосовой фильтр был реализован схемой 18-го порядка (2 ФНЧ 6-го порядка + 1 ФВЧ 6-го порядка). Функциональная схема такого решения приведена на рис. 1.

В качестве звеньев (каскадов) ФНЧ и ФВЧ выбраны схемы Саллен-Ки (Sallen-Key), реализующие ФНЧ и ФВЧ 2-го порядка. Принципиальные схемы этих фильтров приведены на рис. 2.

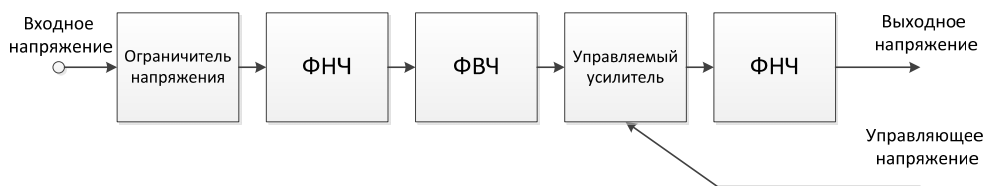


Рис. 1. Функциональная схема избирательного усилителя

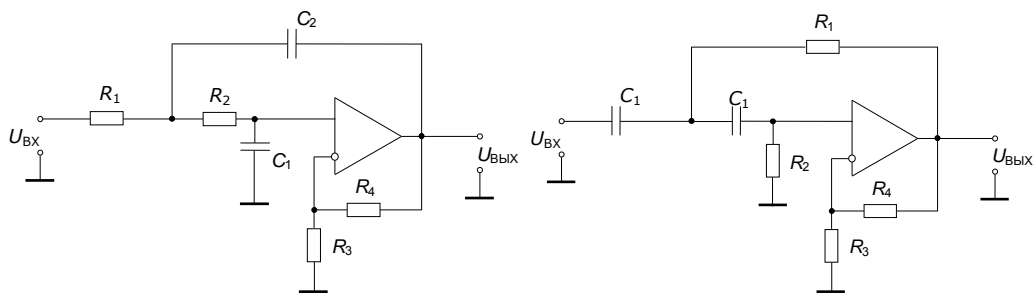


Рис. 2. Схема Саллен-Ки ФНЧ 2-го порядка и ФВЧ 2-го порядка

Коэффициенты передачи этих фильтров определяются выражениями:

$$W_{\text{ФНЧ}}(p) = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \frac{1}{p^2 + p \left( \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} - \frac{R_4}{R_2 R_3 C_1} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}; \quad (1)$$

$$W_{\text{ФВЧ}}(p) = \frac{\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) p^2}{p^2 + p \left( \frac{2}{R_2 C_1} - \frac{R_4}{R_1 R_3 C_1} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1^2}}. \quad (2)$$

Путем моделирования было принято решение реализовать полосовой фильтр Чебышева, который имеет более узкую переходную область, но при этом некоторую неравномерность АЧХ в полосе пропускания. С целью подтверждения теоретических расчетов было выполнено макетирование схемы приемного модуля на основе избирательного усилителя (рис. 3).

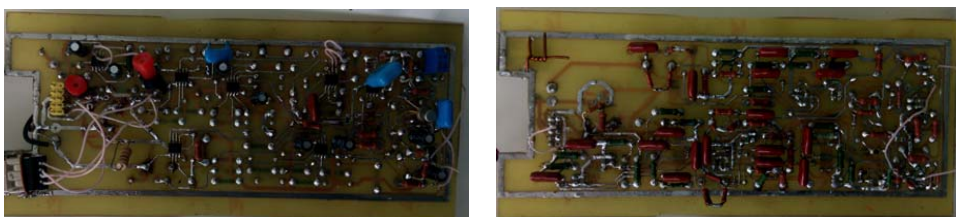


Рис. 3. Макет схемы приемного модуля на основе избирательного усилителя (top view, bottom view)

Структурная схема лабораторного стенда для проведения испытаний приведена на рис. 4.

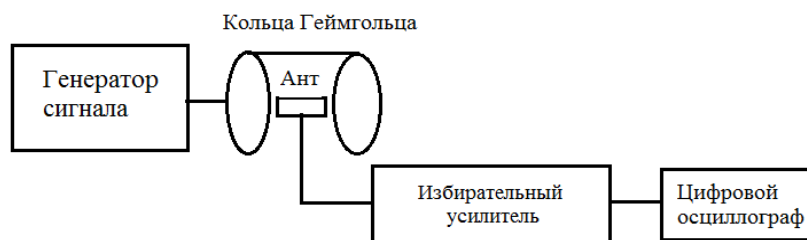


Рис. 4. Схема лабораторного стенда для проведения испытаний

Для исследования приемной части наземного устройства в качестве источника магнитного поля, имитирующего магнитный индуктор, использованы кольца Гельмгольца. В кольцах Гельмгольца генерируется магнитное поле от сигнала генератора. Магнитоприемник располагается между кольцами и принимает магнитное поле как колец, так и от сторонних источников. Результаты измерений, а также сравнение теоретической и полученной АЧХ представлены на рис. 5.

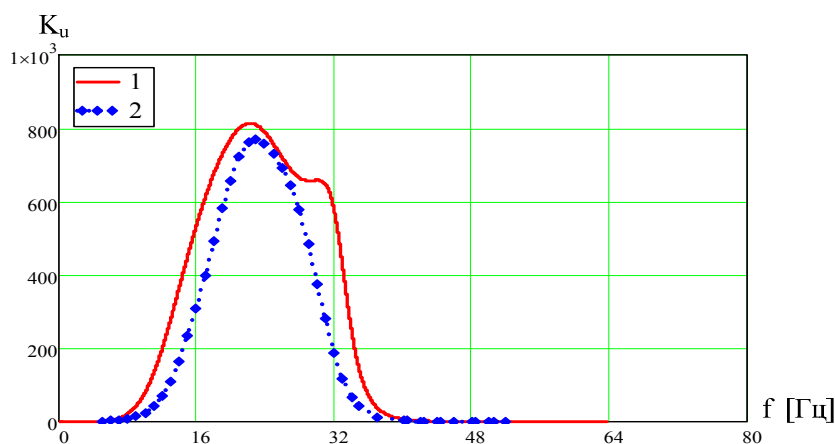


Рис. 5. Результирующая амплитудно-частотная характеристика ПФ:  
1 – теоретическая; 2 – измеренная

В ходе проведенных испытаний практическим путем была подтверждена теоретическая модель избирательного усилителя для приемопередающего устройства в системе поиска внутритрубных снарядов.

#### Литература

1. Картер, Б. Операционные усилители для всех / Б. Картер, Р. Манчини. – М. : Додэка, 2016. – 305 с.
2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Бином, 2014. – 278 с.