

Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

---

Лабораторная работа №19  
Задание 3

---

Баканова К.В., Б01-003  
февраль 2022 г.

**Цель работы:**

познакомиться с поведением фильтров Чебышева и Баттерворта, эллиптическим фильтром и посмотреть, как они ведут себя при преобразовании в полосовые фильтры.

**В работе используются:**

matlab v.8 для анализа поведения фильтров.

**Ход работы**

1. Посмотрим на поведение фильтра Баттерворта при увеличении количества полюсов ( $n$ ). На АЧХ можем видеть, что скорость затухания на декаду увеличивается пропорционально  $20n$ , что совпадает с теорией. Также можем заметить, что когда количество полюсов нечетное - один из них лежит на вещественной оси, а когда четное - нет.

Перейдем к фильтру Чебышева. Заметим, что при увеличении количества полюсов они начинают сдвигаться в сторону мнимой оси на комплексной плоскости. На АЧХ с увеличением полюсов увеличивается количество колебаний в полосе пропускания. При уменьшении параметра неравномерности ( $\varepsilon$ ), ширина полосы неравномерности (на АЧХ) уменьшается, если для  $\varepsilon = 1$  полоса имела ширину в 3dB, то при  $\varepsilon = 0.1$  полоса имеет ширину  $\ll 1$  dB. Также при уменьшении  $\varepsilon$  расстояние между полюсами и мнимой осью в комплексной плоскости увеличивается.

Наконец рассмотрим эллиптический фильтр. При увеличении количества полюсов на самой мнимой оси появляются нули. На АЧХ увеличивается величина затухания на декаду. При уменьшении неравномерности уменьшается скорость затухания на декаду (график на АЧХ сужается), а на комплексной плоскости расстояние между полюсами и мнимой осью увеличивается. При уменьшении селективности ( $\eta$ ) график сужается к оси  $y$ , а на комплексной плоскости нули сдвигаются в сторону вещественной оси. Также можем подтвердить, что при нечетном количестве полюсов эллиптический фильтр имеет нули в бесконечности, а при четном, нет.

2. Найдем уровень затухания фильтра Чебышева при параметрах  $n = 7, \varepsilon = 1, \eta = 2$ :

$$20 \log_{10} |H(s)| = -74dB$$

Тот же уровень затухания достигается у фильтра Баттерворта с параметрами  $n = 7, \eta = 3.4$ .

3. Уровень затухания фильтра Чебышева с параметрами  $n = 7, \varepsilon = 1, \eta = 1.5$  будет равен  $stoplevel \simeq 421.5(52.5dB)$ . Такое же затухание будет у фильтра Баттерворта при  $n = 15, \eta = 1.5$ .
4. Уровень затухания эллиптического фильтра с параметрами  $n = 7, \varepsilon = 1, \eta = 1.1$  будет равен  $stoplevel \simeq 608.5(55.7dB)$ . Такое же значение затухания достигается фильтром Чебышева с  $n = 7, \varepsilon = 1$  и селективностью  $\eta = 1.55$ .
5. Преобразуем фильтр Баттерворта порядка 7 в фильтр верхних частот. Видим, что все нули переходят из бесконечности в нуль. Для полосового фильтра, число нулей удваивается, причем половина остается в нуле, а другая в бесконечности. При увеличении параметра  $Q$  полюса смещаются в сторону мнимой оси.

Определим максимальные добротности полюса полосовых фильтров Баттерворта и Чебышева с  $Q = 10, n = 9, \varepsilon = 1$ . Для преобразованного фильтра Чебышева  $Q_{max} = 578$ , а для преобразованного фильтра Баттерворта  $Q_{max} = 57.7$ .

6. Вычислим созвездия и характеристики эллиптического фильтра  $ellp(7, 1, 1.5)$ . Преобразуем его в фильтр верхних частот с параметрами  $n = 7, \varepsilon = 1, \eta = 1.5$  и полосовой фильтр с параметрами  $n = 7, \varepsilon = 1, \eta = 1.5$  и меняющейся добротностью  $Q = 2; 5; 10$ . Для всех  $Q$  измерим максимальные добротности полосового фильтра:

	Фильтр верхних частот	Полосовой фильтр		
$Q$		2	5	10
$Q_{max}$	23.48	97.97	238.94	476.14

7. Возьмем полосовой фильтр с параметрами  $Q = 20, \varepsilon = 1, \eta_1 = 10^4$  (80dB). Оценим селективность  $\eta$ , которую обеспечивает эллиптический фильтр порядка  $n = 7$  с таким затуханием:  $\eta = 1.36$ . Подберем порядок фильтра Чебышева, который обеспечит сопоставимое с ним значение селективности:  $n = 12$ .

Преобразуем эти фильтры в полосовые с  $Q = 20$ , сравним максимальные добротности полюсов:

	Фильтр Чебышева	Фильтр Баттерворта
$Q_{max}$	2084.96	1049.39