

Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

---

## Лабораторная работа №25

---

Баканова К.В., Б01-003  
март 2022 г.

## 1 Ознакомительные шаги

1. Откроем в Micro-Cap файл adm3p.cir, в котором подготовлены схемы лестничных фильтров порядка  $n = 3$ , реализующих входной адмиттанс. Ознакомимся со схемами фильтров нижних частот и результатами их преобразования в фильтры верхних частот, полюсовые и режекторные фильтры.
2. Далее ознакомимся с подготовленными графиками, открыв диалог Limits для режима AC. Запустим моделирование в режиме AC для обоих файлов. Убедимся, что топологически совершенно разные схемы в imp3p.cir и adm3p.cir демонстрируют тождественное поведение графиков.

## 2 Трехполосные лестничные фильтры

1. Откроем модель adm3p.cir и реализуем лестничные фильтры третьего порядка с параметрами:

$$R_0 = 50, \quad f_0 = 1MHz, \quad Q = 10.$$

Для этого вычислим эталонные значения:

$$L_0 = \frac{R_0}{2\pi f_0}, \quad C_0 = \frac{1}{2\pi f_0 R_0}$$

и установим на схеме номиналы компонентов  $f_0, Q, R_0, L_0, C_0$  (это уже было готово, поэтому переходим к следующему пункту).

2. Сравним частотные характеристики фильтров с теоретическими, удостоверимся в правильности расчетов. Также сменим интервал моделирования по частоте на 5Meg, 0
3. Сравним частотные характеристики по напряжению и по мощности. Измерим уровни затухания по мощности на границах полос пропускания, там где затухание по напряжению составляет 0.7. Запишем получившиеся данные в таблицу:

	ФНЧ	ФВЧ	Полосовой	Режекторный
Затухание по мощности	0,5	0,5	0,5	0,5

Исследуем степень деградации характеристик фильтра нижних частот при варьировании сопротивления источника  $RSL$  и нагрузки  $RLL$  от 25 до 75 с шагом 25, также запишем это в таблицу:

	RLL		RSL	
	Напряжение	Мощность	Напряжение	Мощность
25	0,33	0,44	0,66	1,77
50	0,5	1	0,5	1
75	0,6	1,43	0,4	0,625

4. Изучим фазовые характеристики фильтров, измерим значения фазовых сдвигов на нулевой и бесконечной частотах:

$\omega$	ФНЧ	ФВЧ	Полосовой	Режекторный
0	0	$-\pi/2$	$3\pi/2$	0
$\infty$	$-3\pi/2$	$-2\pi$	$-3\pi/2$	0

5. Выведем логарифмическую частотную характеристику фильтра нижних частот в диапазоне  $1\text{Meg}, 100\text{k}$  (логарифмическая шкала) и измерим по ней уровни затухания в децибелах на частотах  $0, f_0, 2f_0, 10f_0$ :

$f$	0	$f_0$	$2f_0$	$10f_0$
$K(f_0)$	-6	-9	-24,2	-66

6. Выведем логарифмическую частотную характеристику полосового фильтра в диапазоне  $1500\text{k}, 500\text{k}$  (линейная шкала) и измерим по ней уровень подавления на частоте  $f_0$ :

$$K(f_0) = -6 \text{ dB}.$$

Измерим одностороннюю ширину  $\Delta f$  полосы пропускания по уровню  $-3\text{dB}$  и уровень затухания при расстройках на  $2 \Delta f, 10 \Delta f$  от частоты  $f_0$ :

$$\Delta f = 49 \text{ k}$$

$$K(f_0 - 2 \Delta f) = -19 \text{ dB}, \quad K(f_0 + 2 \Delta f) = -16 \text{ dB}$$

$$K(f_0 - 10 \Delta f) = -69,7 \text{ dB}, \quad K(f_0 + 10 \Delta f) = -55 \text{ dB}$$

7. По логарифмической частотной характеристике режекторного фильтра в диапазоне частот  $1500, 500\text{k}$  измерим ширины полос по уровням  $-3\text{dB}, -43\text{dB}, -63\text{dB}$ :

$K(f_0 \pm \Delta f), \text{ dB}$	-3	-43	-63
$\Delta f$	50k	10k	4,5k

### 3 Фильтры низших частот высших порядков

1. Откроем модель batt.cir, в которой реализованы фильтры Баттерворта нижних частот с параметрами  $R_0 = 100, f_0 = 1\text{MHz} (L_0 = 15.916, C_0 = 1.592\text{n})$  порядков от 3 до 7. Изучим их частотные и переходные характеристики. По логарифмическим графикам в диапазоне  $10\text{Meg}, 100\text{k}$  измерим затухания на частотах  $f_0, 2f_0$  и  $10f_0$ :

Фильтр Баттерворта	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
$K(f_0), \text{ dB}$	-3.03	-3.04	-3.04	-3.04	-3.04
$K(2f_0), \text{ dB}$	-18.15	-24.13	-30.13	-36.15	-42.18
$K(10f_0), \text{ dB}$	-60.02	-80.03	-100.03	-120.03	-140.03


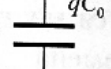
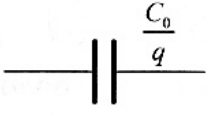
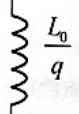
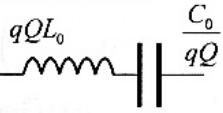
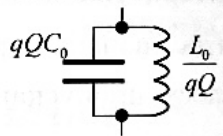
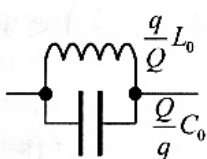
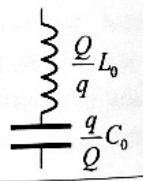
2. Повторим те же исследования для фильтров Чебышева с неравномерностями 0.5 dB (файл cheb0-5.cir) и 3 dB (файл cheb3-0.cir)

Фильтр Чебышева 0.5 dB	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
$K(2f_0), dB$	-19,2	-30,6	-42,1	-53,5	-64,9
$K(10f_0), dB$	-62,8	-88,9	-114,9	-140,9	-166,9
Фильтр Чебышева 3.0 dB	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
$K(2f_0), dB$	-28,3	-39,7	-51,2	-62,6	-74,1
$K(10f_0), dB$	-72,0	-98,0	-124,0	-150,0	-176

3. Вернемся к batt.cir и перенастроим фильтры на  $R_0 = 50$ ,  $f_0 = 10 MHz$ .

## 4 Фильтры пятого порядка

1. Настроим фильтры на  $Q = 5$ ,  $R_0 = 50$ ,  $f_0 = 1 MHz$  (полученные вычислениями значения:  $L_0 = 7,96 \mu$ ,  $C_0 = 3,18 n$ )
2. Превратим все 4 фильтра в нормализованные фильтры Баттерворта, Чебышева с неравномерностями 0,5 и 3,0 dB с помощью коэффициентов, представленных в таблице ниже. Убедимся, что частотные характеристики получившихся фильтров соответствуют теории.

Иммитанс	Реализация импедансом	Реализация адмиттансом
$q s$		
$\frac{q}{s}$		
$qQ \left( s + \frac{1}{s} \right)$		
$\frac{q}{Q \left( s + \frac{1}{s} \right)}$		

## 5 Семиполусной фильтр

1. Открыв заготовку *pb7p.cir* реализуем семиполусной фильтр Чебышева с неравномерностью 3 dB. для тракта усилителя промежуточной частоты приемника с параметрами  $R_0 = 600$ ,  $f_0 = 465 kHz$  и двухсторонней полосой  $\Delta f = 24 kHz$ ,  $Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 19.375$ . По логарифмической частотной характеристике измерим избирательность по соседнему каналу - уровень затухания при расстройках на  $\pm 24 kHz$  от  $f_0$ :

$+24kHz$	-72.294 dB
$-24kHz$	-75.923 dB

Аналогично посчитаем разрешающую способность для фильтра Чебышева 0.5 dB:

$+24kHz$	-63.173 dB
$-24kHz$	-66.802 dB

И для фильтра Баттерворта:

$+24kHz$	-40.655 dB
$-24kHz$	-43.798 dB