

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ФИЛЬТРАЦИЯ СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЯ

Целью выполнения лабораторной работы является формирование практических навыков выполнения фильтрации синусоидальных сигналов с различными значениями параметров.

Основными задачами выполнения лабораторной работы являются:

1. задать параметры синусоидальных сигнала;
2. выполнить фильтрацию трех синусоидальных сигналов с разными частотами, используя четыре вида фильтров (Баттерворта, [Чебышева 1 рода](#), [Чебышева 2 рода](#), [эллиптического](#)).

Результатами работы являются:

- коды программ;
- графики составляющих исходного сигнала;
- графики АЧХ фильтров;
- графики отфильтрованных сигналов;
- подготовленный отчет.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ РАЗНОВИДНОСТИ ФИЛЬТРОВ ФИЛЬТР БАТТЕРВОРТА

Функция передачи фильтра-прототипа Баттерворта не имеет нулей, а ее полюсы равномерно расположены на s -плоскости в левой половине окружности единичного радиуса. Формула для АЧХ фильтра Баттерворта:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}}$$

где ω_0 - частота среза (для фильтра-прототипа она равна 1 рад/с), n — порядок фильтра.

В MATLAB расчет аналогового фильтра-прототипа Баттерворта производится с помощью функции `butter`:

`[z, p, k] = butter(n);` где n — это порядок фильтра.

ФИЛЬТР ЧЕБЫШЕВА ПЕРВОГО РОДА

АЧХ фильтра Чебышева первого рода описывается следующим образом:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2(\omega/\omega_0)}}$$

Где ω_0 — частота среза, $T_n(x)$ — полином Чебышева n -го порядка, n — порядок фильтра, ε — параметр, определяющий величину пульсаций АЧХ в полосе пропускания.

В MATLAB фильтр-прототип Чебышева первого рода рассчитывается с помощью функции `cheblap`:

`[z, p, k] = cheblap(n, Rp)`

Здесь n — порядок фильтра, R_p — уровень пульсаций в полосе пропускания.

ФИЛЬР ЧЕБЫШЕВА ВТОРОГО РОДА

Фильтры Чебышева второго рода называют инверсными фильтрами Чебышева. АЧХ фильтра Чебышева второго рода описывается следующим образом:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon^2}{T_n^2(\omega/\omega_0)}}$$

Здесь ω_0 - частота среза, $T_n(x)$ — полином Чебышева n -го порядка, n — порядок фильтра, ε — параметр, определяющий величину пульсаций АЧХ в полосе задерживания.

В MATLAB фильтр-прототип Чебышева второго рода рассчитывается с помощью функции `cheb2ap`

$$[z, p, k] = \text{cheb2ap}(n, R_s)$$

Здесь n — порядок фильтра, R_s — уровень пульсаций в полосе задерживания (в децибелах).

ЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР

Эллиптические фильтры (фильтры Кауэра; английские термины — elliptic filter, Cauer filter) в некотором смысле объединяют в себе свойства фильтров Чебышева первого и второго рода, поскольку АЧХ эллиптического фильтра имеет пульсации заданной величины как в полосе пропускания, так и в полосе задерживания. За счет этого удастся обеспечить максимально возможную (при фиксированном порядке фильтра) крутизну ската АЧХ, то есть переходной зоны между полосами пропускания и задерживания.

АЧХ эллиптического фильтра описывается следующей формулой:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 R_n^2(\omega/\omega_0, L)}}$$

Здесь ω_0 — частота среза, n — порядок фильтра, $R_n(\dots)$ — рациональная функция Чебышева n -го порядка, ε и L — параметры, определяющие величину пульсаций в полосах пропускания и задерживания.

В MATLAB эллиптический фильтр-прототип рассчитывается с помощью функции `ellipar`:

`[z, p, k] = ellipar(n, Rp, Rs)`

Здесь n — порядок фильтра, R_p — уровень пульсаций в полосе пропускания, R_s — уровень пульсаций в полосе задерживания. Уровни пульсации указываются в децибелах.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

На выполнение лабораторной работы отводится 6 академических часа: 5 часов на выполнение и сдачу лабораторной работы и 1 час на подготовку отчета.

Порядок выполнения:

1. Изучить краткий теоретический материал.
2. Задать три синусоидальных сигнала (S_1 , S_2 , S_3) с разными частотами (частота каждого сигнала задана в таблице вариантов).
3. Используя четыре вида фильтров (Баттерворта, Чебышева 1 рода, Чебышева 2 рода, эллиптический) осуществить фильтрацию сигналов $S_1 + S_2$ и $S_1 + S_2 + S_3$. Вид АЧХ фильтра и номер составляющих, подлежащих фильтрации, приведены в таблице вариантов.
4. Построить графики в одном графическом окне: каждую составляющую исходного сигнала (S_1 , S_2 , S_3), полный сигнал ($S_1 + S_2$ или $S_1 + S_2 + S_3$), АЧХ фильтра, отфильтрованный сигнал.
5. Оформить отчет.
6. Защитить выполненную работу у преподавателя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Для параметров фильтров следует принимать **приблизительно** следующие значения:

1. n (порядок фильтра) ≥ 4 ;

2. R_p (уровень пульсаций в полосе пропускания) $\leq 0,1$;
3. R_s (уровень пульсаций в полосе задерживания) ≥ 40 .

ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

№	Значения частот			Вид фильтра и составляющие сигнала, подлежащие фильтрации для двух видов сигналов (верхняя строка для сигнала $S_1 + S_2$, нижняя строка для $S_1 + S_2 + S_3$)			
	S_1	S_2	S_3	Баттерворта	Чебышева 1 рода	Чебышева 2 рода	Эллиптический
1	25	40	60	ФНЧ, S_1	ФВЧ, S_2	ПФ, S_1	РФ, S_2
				ПФ, $S_1 + S_2$	РФ, S_1	ФНЧ, S_1	ФВЧ, S_3
2	15	25	45	РФ, S_1	ФНЧ, S_1	ФВЧ, S_2	ПФ, S_2
				ФВЧ, $S_2 + S_3$	ПФ, $S_2 + S_3$	РФ, $S_1 + S_2$	ФНЧ, S_1
3	50	70	90	ПФ, S_2	РФ, S_1	ФНЧ, S_1	ФВЧ, S_2
				ФНЧ, $S_1 + S_2$	ФВЧ, S_3	ПФ, $S_2 + S_3$	РФ, S_1
4	100	120	140	ФВЧ, S_2	ПФ, S_2	РФ, S_1	ФНЧ, S_1
				РФ, S_1	ФНЧ, $S_1 + S_2$	ФВЧ, $S_2 + S_3$	ПФ, S_2
5	30	50	70	ФНЧ, S_1	ПФ, S_1	ФВЧ, S_3	РФ, S_1
				РФ, $S_1 + S_3$	ФВЧ, S_3	ПФ, S_2	ФНЧ, $S_1 + S_2$
6	20	50	60	РФ, S_1	ФНЧ, S_1	ПФ, S_1	ФВЧ, S_2
				ФНЧ, S_1	РФ, $S_1 + S_3$	ФВЧ, $S_2 + S_3$	ПФ, $S_1 + S_2$
7	25	40	60	ФВЧ, S_2	РФ, S_1	ФНЧ, S_1	ПФ, S_2

				$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\text{P}\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi\text{B}\Psi, S_3$
8	15	25	45	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$
				$\Phi\text{B}\Psi, S_3$	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$
9	30	50	70	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Pi\Phi, S_1$	$\text{P}\Phi, S_2$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$
				$\text{P}\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi\text{B}\Psi, S_3$	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$
10	20	50	60	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Pi\Phi, S_2$	$\text{P}\Phi, S_2$
				$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\text{P}\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi\text{B}\Psi, S_3$	$\Pi\Phi, S_1 + S_2$
11	50	70	90	$\text{P}\Phi, S_2$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Pi\Phi, S_2$
				$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{B}\Psi, S_3$
12	100	120	140	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\text{P}\Phi, S_2$	$\Pi\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$
				$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\Pi\Phi, S_1 + S_2$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2 + S_3$	$\text{P}\Phi, S_1 + S_3$
13	30	50	70	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\Pi\Phi, S_1$	$\text{P}\Phi, S_2$
				$\Pi\Phi, S_1 + S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Phi\text{B}\Psi, S_3$
14	20	50	60	$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\Pi\Phi, S_2$
				$\Phi\text{B}\Psi, S_2 + S_3$	$\Pi\Phi, S_2 + S_3$	$\text{P}\Phi, S_1 + S_2$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$
15	25	40	60	$\Pi\Phi, S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$
				$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\Phi\text{B}\Psi, S_3$	$\Pi\Phi, S_2 + S_3$	$\text{P}\Phi, S_1$
16	15	25	45	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\Pi\Phi, S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$
				$\text{P}\Phi, S_1$	$\Phi\text{H}\Psi, S_1 + S_2$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2 + S_3$	$\Pi\Phi, S_2$
17	50	70	90	$\Phi\text{H}\Psi, S_1$	$\Pi\Phi, S_1$	$\Phi\text{B}\Psi, S_2$	$\text{P}\Phi, S_1$

				$P\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi B\Upsilon, S_3$	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$
18	100	120	140	$P\Phi, S_1$	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_1$	$\Phi B\Upsilon, S_2$
				$\Phi H\Upsilon, S_1$	$P\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi B\Upsilon, S_2 + S_3$	$\Pi\Phi, S_1 + S_2$
19	25	40	60	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$P\Phi, S_1$	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_2$
				$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$P\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi B\Upsilon, S_3$
20	15	25	45	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$P\Phi, S_1$	$\Phi H\Upsilon, S_1$
				$\Phi B\Upsilon, S_3$	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$P\Phi, S_1$
21	50	70	90	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_1$	$P\Phi, S_2$	$\Phi B\Upsilon, S_2$
				$P\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi B\Upsilon, S_3$	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$
22	100	120	140	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_2$	$P\Phi, S_2$
				$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$P\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi B\Upsilon, S_3$	$\Pi\Phi, S_1 + S_2$
23	30	50	70	$P\Phi, S_2$	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_2$
				$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$P\Phi, S_1$	$\Phi B\Upsilon, S_3$
24	20	50	60	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$P\Phi, S_2$	$\Pi\Phi, S_1$	$\Phi H\Upsilon, S_1$
				$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$\Pi\Phi, S_1 + S_2$	$\Phi B\Upsilon, S_2 + S_3$	$P\Phi, S_1 + S_3$
25	25	40	60	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$P\Phi, S_1$	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_2$
				$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$P\Phi, S_1 + S_3$	$\Phi B\Upsilon, S_3$
26	15	25	45	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi B\Upsilon, S_2$	$P\Phi, S_1$	$\Phi H\Upsilon, S_1$
				$\Phi B\Upsilon, S_3$	$\Pi\Phi, S_2$	$\Phi H\Upsilon, S_1 + S_2$	$P\Phi, S_1$
27	30	50	70	$\Phi H\Upsilon, S_1$	$\Pi\Phi, S_1$	$P\Phi, S_2$	$\Phi B\Upsilon, S_2$

				РФ, $S_1 + S_3$	ФВЧ, S_3	ПФ, S_2	ФНЧ, $S_1 + S_2$
28	20	50	60	ФВЧ, S_2	ФНЧ, S_1	ПФ, S_2	РФ, S_2
				ФНЧ, $S_1 + S_2$	РФ, $S_1 + S_3$	ФВЧ, S_3	ПФ, $S_1 + S_2$
29	50	70	90	РФ, S_2	ФВЧ, S_2	ФНЧ, S_1	ПФ, S_2
				ПФ, S_2	ФНЧ, $S_1 + S_2$	РФ, S_1	ФВЧ, S_3
30	100	120	140	ПФ, S_2	РФ, S_1	ФНЧ, S_1	ФВЧ, S_2
				ФНЧ, $S_1 + S_2$	ФВЧ, S_3	ПФ, $S_2 + S_3$	РФ, S_1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Перечислите параметры, которыми определяется [фильтр Чебышева первого рода](#).
2. Опишите параметры, которыми характеризуется [фильтр Чебышева второго рода](#).
3. Охарактеризуйте параметры [эллиптического фильтра](#).
4. Составьте алгоритм построения фильтров, реализованных в ходе выполнения лабораторного исследования.

ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Номер варианта студенту выдается преподавателем. Отчет на защиту предоставляется в печатном виде.

Структура отчета (на отдельном листе(-ах)):

- титульный лист;
- цели и задачи работы;
- формулировка задания (вариант);
- код программы согласно заданию;
- графики согласно заданию;
- выводы.