

Оглавление

Построение простейших фильтров на ПАИС	2
Теоретические сведения	3
Пассивный фильтр нижних частот первого порядка	3
Активный фильтр нижних частот второго порядка.....	6
Лабораторное задание.....	7
1) Построить пассивный фильтр низких частот первого порядка с заданной частотой среза.	7
2) Построить активный фильтр второго порядка с заданной частотой среза.	7
Порядок выполнения работы	9
Общие указания	9
Блоки, используемые в лабораторной работе.....	10
Усилительный блок 1-го типа.....	11
Блок ввода/вывода	11
Конденсатор с фиксированной емкостью.....	11
Резистор с настраиваемым сопротивлением	11
Общий вывод.....	12
5400TP035_core – блок параметров моделирования	12
Моделирование.....	13
Автоматическая трассировка схемы.....	15
Прошивка и измерения.....	16
Контроль результатов.....	18

Построение простейших фильтров на ПАИС

Цель работы: продолжение изучения особенностей работы с ПАИС. Знакомство с блоком пассивных компонентов. Изучение и повторение теории по простейшим активным и пассивным фильтрам.

Оборудование: микросхема 5400TP035, отладочная плата, программатор, комплект интерфейсных проводов, персональный компьютер, генератор электрических сигналов, осциллограф, блок питания.

Программное обеспечение: ПО программатора «DCSProg-1», САПР «DCSElectric».

Продолжительность работы: 4 академических часа.

Теоретические сведения

Пассивный фильтр нижних частот первого порядка.

Фильтр нижних частот (ФНЧ) является схемой, которая без изменений передает сигналы нижних частот, а на высоких частотах обеспечивает затухание сигналов и запаздывание их по фазе относительно входных сигналов. Рисунок 1 изображена схема простейшего RC-фильтра нижних частот первого порядка.

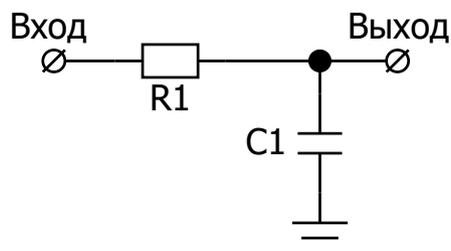


Рисунок 1. Схема пассивного фильтра нижних частот первого порядка.

Выражение для частоты среза f_{cp} пассивного ФНЧ:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Коэффициент передачи в комплексном виде может быть выражен формулой:

$$K(j\omega) = \frac{U_{\text{вых}}(j\omega)}{U_{\text{вх}}(j\omega)} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (1)$$

Отсюда получим формулы для АЧХ и ФЧХ:

$$|K| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}, \varphi = \text{arctg}(\omega RC)$$

$$|K| = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_{cp} RC)^2}}$$

Фазовый сдвиг на этой частоте составляет -45° .

$|K| = 1 = 0$ дБ на нижних частотах $f \ll f_{cp}$.

На высоких частотах $f \gg f_{cp}$ согласно формуле (1), $|K| \approx 1/(\omega RC)$, то есть коэффициент передачи обратно пропорционален частоте. При увеличении частоты в 10 раз, коэффициент усиления уменьшается в 10 раз, то есть он уменьшается на 20 дБ на декаду.

Отношение выходного сигнала к входному при изменении входного сигнала по гармоническому закону, называется частотной передаточной функцией $W(j\omega)$.

$W(j\omega)$ есть комплексная функция, поэтому:

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega),$$

где $P(\omega)$ – вещественная частотная характеристика, $Q(\omega)$ – мнимая частотная характеристика, $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), $\varphi(\omega)$ – фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

АЧХ показывает отношение амплитуд выходного и входного сигнала, ФЧХ – сдвиг по фазе выходной величины относительно входной:

$$A(\omega) = \frac{U_m}{Y_m} = \sqrt{P(\omega)^2 + Q(\omega)^2};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}.$$

Также широко используются логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ): логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) (Рисунок 2), логарифмическая фазо-частотная характеристика (Рисунок 3).

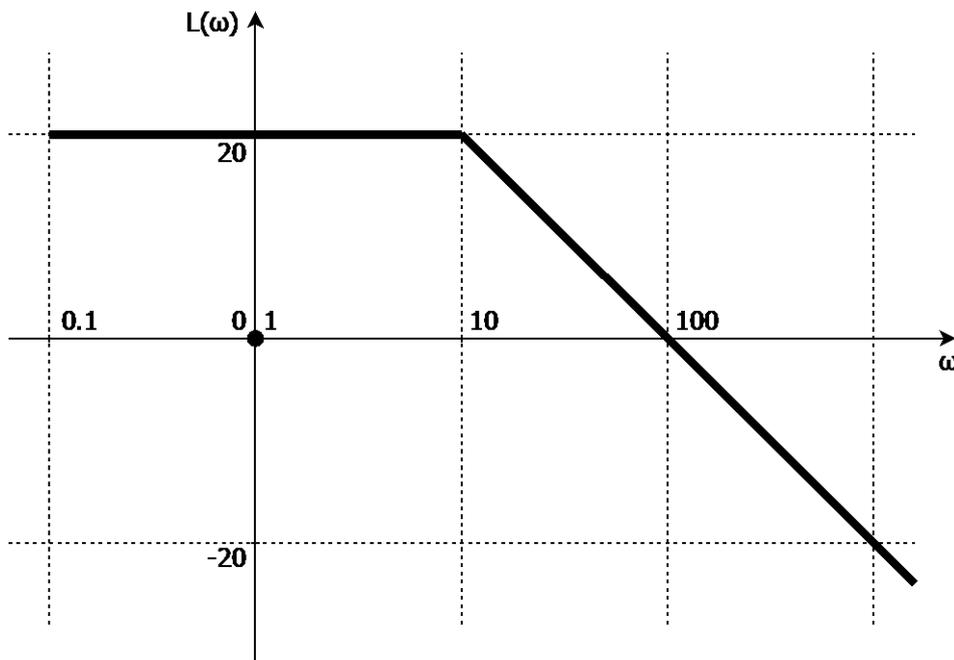


Рисунок 2. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика

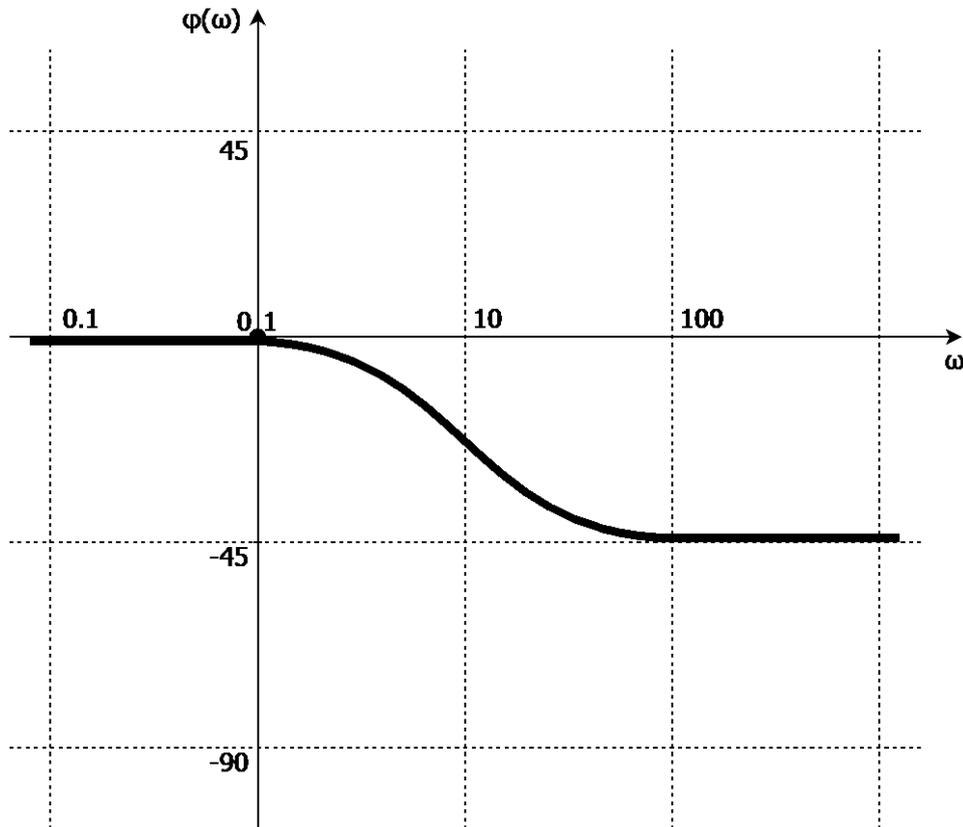


Рисунок 3. Логарифмическая фазо-частотная характеристика.

Такие характеристики получаются путем логарифмирования передаточной функции:

$$\ln(W(j\omega)) = \ln(A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}) = \ln(A(\omega)) + \ln(e^{j\varphi(\omega)}) = \ln(A(\omega)) + \varphi(\omega).$$

ЛАЧХ получают из первого слагаемого, которое из соображений масштабирования умножается на 20, и используют не натуральный логарифм, а десятичный, то есть $L(\omega) = 20 \cdot \lg(A(\omega))$. Величина $L(\omega)$ откладывается по оси ординат в децибелах (дБ). Изменение уровня сигнала на 10 дБ соответствует изменению его мощности в 10 раз. Так как мощность гармонического сигнала P пропорциональна квадрату его амплитуды A , то изменению сигнала в 10 раз соответствует изменение его уровня на 20 дБ, так как:

$$\lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \lg\left(\frac{A_2^2}{A_1^2}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{A_2}{A_1}\right).$$

По оси абсцисс откладывается частота ω в логарифмическом масштабе. То есть единичным промежуткам по оси абсцисс соответствует изменение ω в 10 раз. Такой интервал называется **декадой**. Так как $\lg(0) = -\infty$, то ось ординат проводят произвольно.

При $f = f_{cp}$:

$$|K| = 1/\sqrt{2} = 3 \text{ дБ}.$$

Активный фильтр нижних частот второго порядка

Примером активного ФНЧ второго порядка является фильтр с отрицательной обратной связью, схема которого показана Рисунок 4.

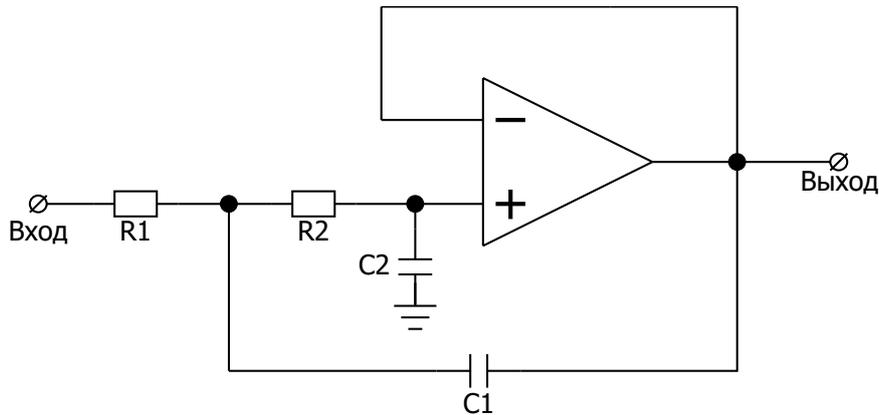


Рисунок 4. Схема активного фильтра низких частот второго порядка.

Операционный усилитель в схеме Рисунок 4 включен в качестве повторителя напряжения.

Передаточная функция данного фильтра имеет вид:

$$W(s) = \frac{1}{1 + C_2(R_1 + R_2)s + C_1C_2R_1R_2s^2}$$

где s – оператор Лапласа.

При формальной замене $s=j\omega$ получаем комплексную передаточную характеристику в виде:

$$W(\omega) = \frac{1}{1 + jC_2(R_1 + R_2)\omega - C_1C_2R_1R_2\omega^2}$$

В общем случае частота среза f_{cp} фильтра задается следующим выражением:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$$

В данной лабораторной работе принимаем, что $C_1 = C_2$, $R_1 = R_2$.

Исходя из этого частота среза для активного фильтра нижних частот второго порядка будет рассчитываться также, как и для пассивного фильтра нижних частот первого порядка, то есть:

$$f_{cp} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Лабораторное задание

1) Построить пассивный фильтр низких частот первого порядка с заданной частотой среза.

Подать на вход с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотами f_{cp} , $0,1f_{cp}$, $10f_{cp}$ и амплитудой 1,0 В относительно уровня 2,5 В.

Построить пассивный фильтр первого порядка по схеме Рисунок 5 с параметрами в соответствии с вариантом. Рассчитать значения R и C для своего варианта и, используя номиналы пассивных элементов, подобрать R . Определить амплитуду выходного сигнала при частотах f_{cp} , $10f_{cp}$, $0,1f_{cp}$, а также определить частоту среза экспериментально. Внести результаты измерений Таблица 3.

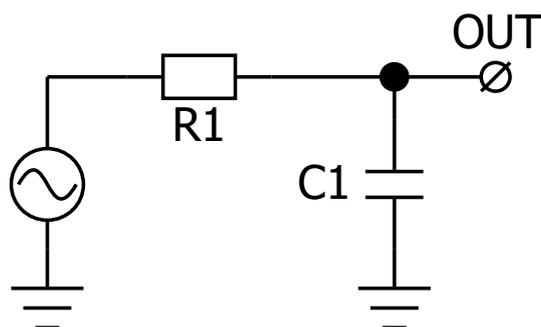


Рисунок 5. Функциональная схема пассивного фильтра низких частот первого порядка.

Для данного пункта лабораторной работы необходимо использовать выходной аналоговый буфер OUTPUT_ADR. Рекомендуется самостоятельно подобрать время моделирования и шаг моделирования в зависимости от выполняемого варианта лабораторной работы.

2) Построить активный фильтр второго порядка с заданной частотой среза.

Подать на вход с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотами f_{cp} , $0,1f_{cp}$, $10f_{cp}$ и амплитудой 1,0 В относительно уровня 2,5 В.

Построить активный фильтр второго порядка по схеме Рисунок 6 с параметрами в соответствии с вариантом. Рассчитать значения R_1 и C_1 для своего варианта, используя номиналы пассивных элементов. Определить амплитуду выходного сигнала при частотах f_{cp} , $10f_{cp}$, $0,1f_{cp}$, а также определить частоту среза экспериментально. Внести результаты измерений Таблица 3.

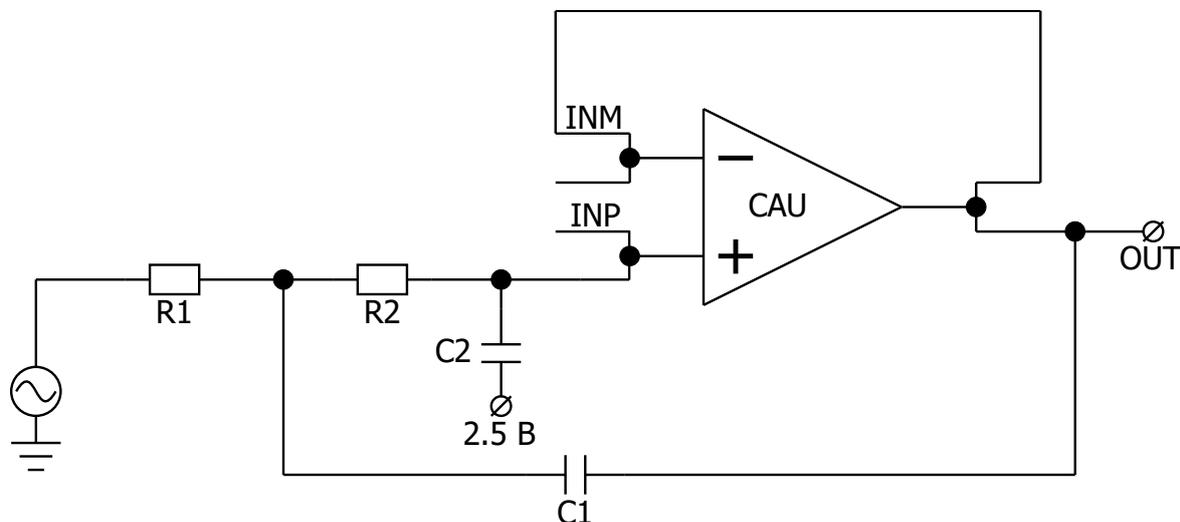


Рисунок 6. Функциональная схема активного фильтра низких частот второго порядка

Для данного пункта лабораторной работы необходимо использовать выходной аналоговый буфер OUTPUT_ADR. Рекомендуется самостоятельно подобрать время моделирования и шаг моделирования в зависимости от выполняемого варианта лабораторной работы.

Для всех пунктов задания необходимо промоделировать схему в программе «DCSElectric». Запрограммировать микросхему с помощью программатора и ПО программатора «DCSProg-1». С помощью генератора подать входные сигналы на соответствующие выводы микросхемы на отладочной плате. С помощью осциллографа зарегистрировать значения выходного сигнала.

Значения параметров частоты среза и типа фильтра указаны в Таблица 1. Номер варианта определяется преподавателем.

Таблица 1. Соответствие номера варианта и условия задания

Пункт задания	Вариант	Тип фильтра	Значение частоты среза
1	1,3	Пассивный ФНЧ	19 кГц
	2,4	Пассивный ФНЧ	9,5 кГц
2	1,3	Активный ФНЧ	64 кГц
	2,4	Активный ФНЧ	95,5 кГц

Порядок выполнения работы

Общие указания

Выполнение работы начинается с проектирования схемы в программе «DCSElectric». Для начала работы, выполните следующие действия:

- Запустите программу «DCSElectric»
 - Откройте библиотеку:
 - Выполните команду: File → Open Library.
 - В открывшемся окне откройте файл simulation.jelib
Путь к файлу ...\\DCSElectric\\Projects\\5400TP035
- Создайте свою схему в библиотеке:
- Правой кнопкой мыши нажмите на библиотеку «simulation», в контекстном меню выберете пункт «Create New Cell».
 - В появившемся окне «New Cell» в списке «View» выберите тип файла «schematic».
 - В пункте «Name» назовите свою схему и нажмите «OK». Название должно содержать только латинские буквы, цифры и знак «_» без пробелов. Рекомендуемый формат: lab1_scheme_1.
 - Дважды нажмите левой кнопкой мыши на свою созданную схему.

Блоки, из которых проектируется схема, расположены в библиотеке symbol (Рисунок 7). Чтобы перенести компоненты из библиотеки в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

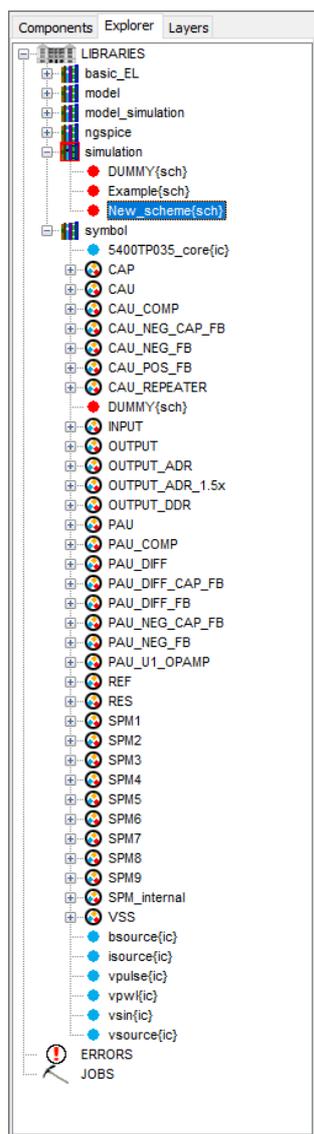


Рисунок 7. Расположение блоков библиотеки symbol в программе «DCSElectric».

Блоки, используемые в лабораторной работе

Таблица 2. Описание используемых в лабораторной работе блоков

Название блока	Описание блока
CAU	ОУ общего применения 1-го типа
INPUT	Блок ввода
OUTPUT_ADR	Блок вывода с аналоговым буфером
CAP	Конденсатор емкостью 8,34 пФ
RES	Резистор с настраиваемым сопротивлением
VSS	«Общий» вывод
vsin	Источник синусоидальных импульсов для подачи внешних воздействий
vsource	Источник постоянного напряжения для подачи внешних воздействий

Усилительный блок 1-го типа

Усилительный блок 1-го типа построен на основе ОУ общего применения. Диапазон входных и выходных сигналов от 0 В до напряжения питания 5,0 В.

Элементы на основе усилительного блока 1-го типа:

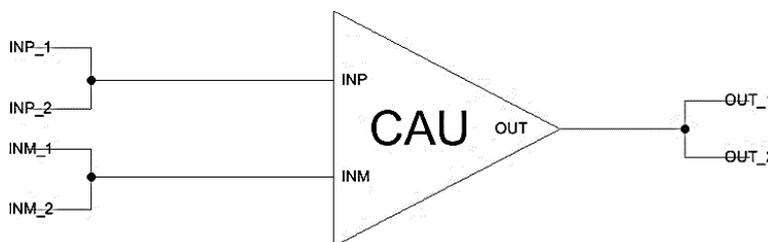


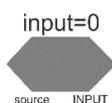
Рисунок 8. ОУ общего применения 1-го типа.

Блок ввода/вывода

Блок ввода предназначен для входных сигналов микросхемы. Вывод сигналов осуществляется через аналоговый буфер.

Аналоговый буфер построен на основе операционного усилителя с нагрузочной способностью до 30 мА.

Для установки определенного входа (выхода) микросхемы необходимо в поле «input=0» («output_adr=0») ввести номер вывода микросхемы.



а)



б)

Рисунок 9. а) блок ввода; б) блок вывода с аналоговым буфером.

Конденсатор с фиксированной емкостью

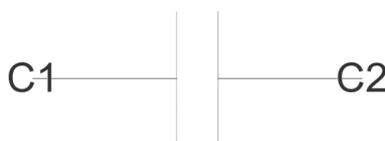


Рисунок 10. Конденсатор с фиксированной емкостью.

Блок CAP, указанный Рисунок 10 имеет фиксированную емкость, равную 8,34 пФ.

Резистор с настраиваемым сопротивлением

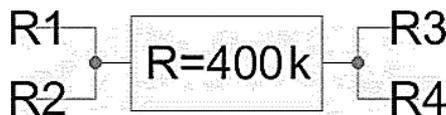


Рисунок 11. Резистор с настраиваемым сопротивлением.

Для того, чтобы запрограммировать резистор RES на необходимое значение сопротивления нужно нажать клавишу «Ctrl», навести курсор на заданное по умолчанию значение соответствующего резистора и нажать левой кнопкой мыши, затем отпустить клавишу «Ctrl» и нажать левой кнопкой на это же значение резистора и заменить на нужное.

Максимальное значение сопротивления – 400 кОм, минимальное значение сопротивления – 80 кОм, шаг – 80 кОм.

Общий вывод

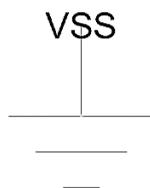


Рисунок 12. Общий» вывод.

Для коммутации блоков между собой следует нажать на один из контактов блока левой кнопкой мыши, а затем на контакт другого блока правой кнопкой мыши, либо произвести коммутацию вручную путем последовательной отрисовки проводника в необходимых областях. Для этого нужно нажать левую кнопку мыши на начальную точку, затем перевести курсор в необходимую область и нажать правую кнопку, повторять операцию до тех пор, пока не будет осуществлена коммутация нужных блоков.

Для автоматической трассировки важно, чтобы одному выводу блока соответствовало не более 1 провода. В противном случае схема будет разведена не полностью.

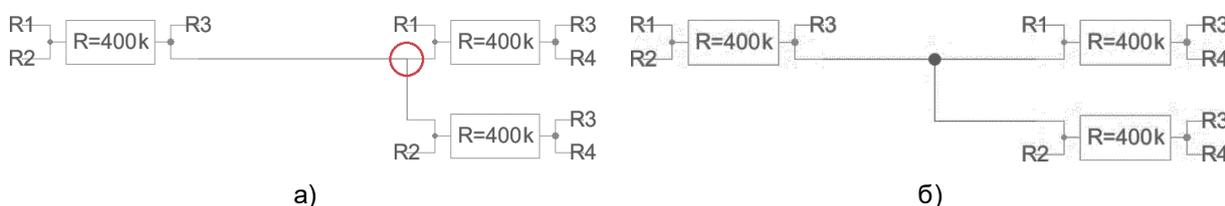


Рисунок 13. а) пример неправильного построения схемы; б) пример правильного построения схемы.

В некоторых случаях в работе автоматической трассировки могут возникать ошибки из-за некорректных замыканий связей. Для автоматического исправления связей используется команда Cleanup Pins (горячая клавиша «F8»).

5400TP035_core – блок параметров моделирования

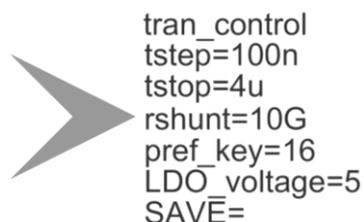


Рисунок 14. блок параметров моделирования 5400TP035_core

Важно! Блок *5400TP035_core* отвечает за настройку параметров моделирования и конфигурирования. Он должен обязательно присутствовать в каждой схеме.

tstep – шаг моделирования;

tstop – время моделирования;

Более подробно можно посмотреть в «Руководство пользователя_5400TP035_Приложение_A».

Моделирование

После того, как схема собрана, необходимо промоделировать ее и создать конфигурационную последовательность для дальнейшей зашивки.

С помощью источников напряжения задать внешние воздействия, для этого нужно перенести компоненты из библиотеки `symbol` в рабочее пространство. Чтобы перенести блоки в рабочее пространство нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

Важно!

Источники напряжения необходимо подключать ко входу «source» блока ввода «INPUT». Выход блока «INPUT» нужно коммутировать с тем элементом, на который необходимо подать входной сигнал с используемого источника.

Источники сигналов имеют следующие параметры:

- `vsourse` – источник постоянного напряжения:
 - `VAL` – значение постоянного напряжения.
- `vsin` – источник синусоидальных импульсов:
 - `VO` – напряжение смещения;
 - `VA` – амплитуда;
 - `FREQ` – частота;
 - `TD` – время задержки;
 - `THETA` – коэффициент затухания.

Для задания параметров источников напряжения дважды нажать на параметр левой кнопкой мыши и вписать значение. Значения параметра вводится без указания единиц измерения. Чтобы ввести десятичную приставку, используются следующие обозначения: фемто-f, пико-p, нано-n, микро-u, милли-m, кило-K, мега-Meg, гига-G, тера-T.

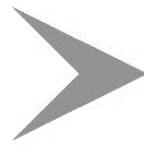
Примечание:

Если после значения Вы напишите букву «M», то программа сочтет это за приставку «милли», точно так же, как и в случае с «m»! Поэтому, если Вам необходима приставка «мега», то после значения нужно вводить символы: «Meg».

После установки параметров источников, нужно задать параметры моделирования. Для этого необходимо перенести из библиотеки `symbol` блок «5400TP035_core». Чтобы перенести блоки в рабочее пространство нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

В данной лабораторной работе выполняется анализ по времени:

- `tstep` – шаг моделирования. Чем меньше значение, тем детальнее график (больше точек в ед. времени) и тем дольше процесс моделирования.
- `tstop` – время моделирования.



```
tran_control
tstep=100n
tstop=4u
rshunt=10G
pref_key=16
LDO_voltage=5
```

Рисунок 15. Параметры `tran`-моделирования.

Далее требуется обозначить выводы, которые необходимо контролировать (IN, OUT, REF и т.д.). Для обозначения вывода необходимо зайти в его свойства (клавиша «q» или двойное нажатие левой кнопкой мыши по проводу) и в поле «Name» ввести название (Рисунок 16).

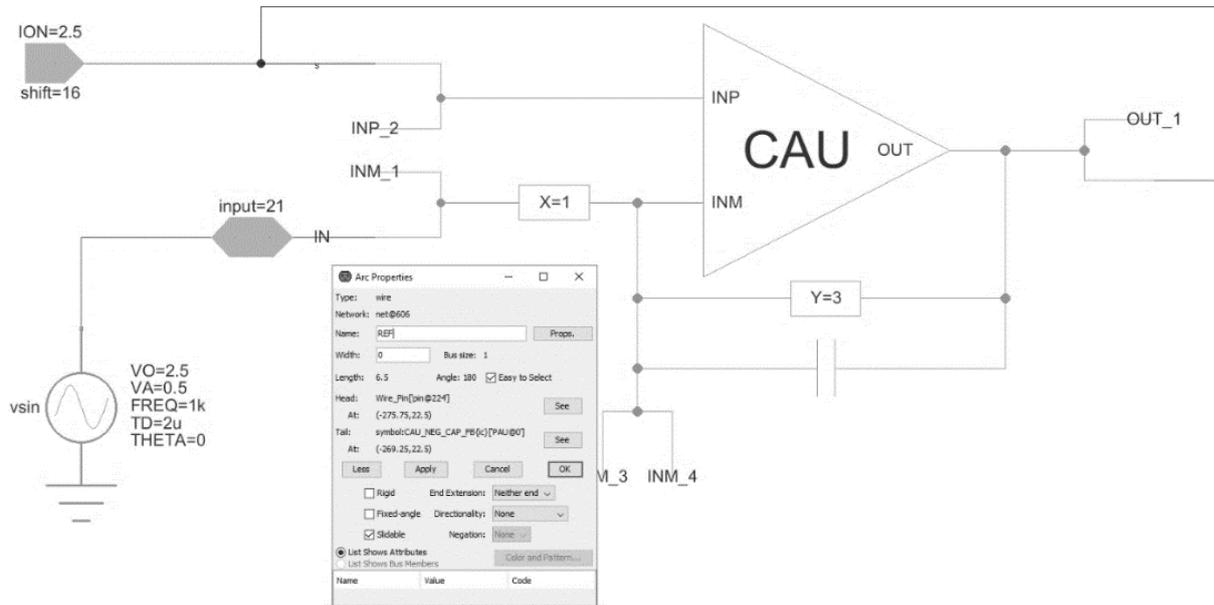


Рисунок 16. Обозначение выводов после построения схемы

Следующий этап – моделирование. Для запуска моделирования выполнить команду:

Tools → Simulation (Spice) → Simulate или нажать на кнопку  на панели инструментов.

После окончания расчетов откроется окно LTspice IV с результатами моделирования. Для вывода графиков выполнить команду Plot Settings → Add Trace (или нажать клавиши «Ctrl» + «A») и выбрать проводник. Выбор проводника осуществляется при помощи поисковой строки «Only list tracing matches», где вводятся номера или названия входов и выходов, соответствующие введенным в поля «Name». Например, если необходимо посмотреть сигнал на выходе с именем OUT, то в поисковой строке необходимо ввести «OUT» и нужный проводник будет обозначаться как «v(OUT)» (Рисунок 17).

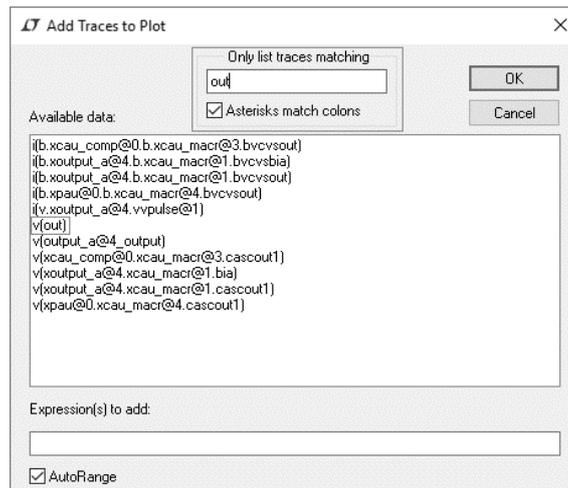


Рисунок 17. Окно вывода результатов моделирования

Некоторые инструменты программы моделирования LTspice IV:

- Увеличение интересующей области – нажать левую кнопку мыши, и не отпуская, выделить интересующую область.
- Возврат масштаба к начальному – нажать кнопку «Zoom full extents» в панели инструментов.
- Добавление координатной плоскости – выполнить команду: Plot Settings → Add Plot Pane.
- Вывод маркеров – нажать левой кнопкой мыши по названию проводника.

Для определения частоты среза спроектированного фильтра необходимо воспользоваться настраиваемыми маркерами: в окне результатов моделирования нажать левой кнопкой мыши по названию проводника.

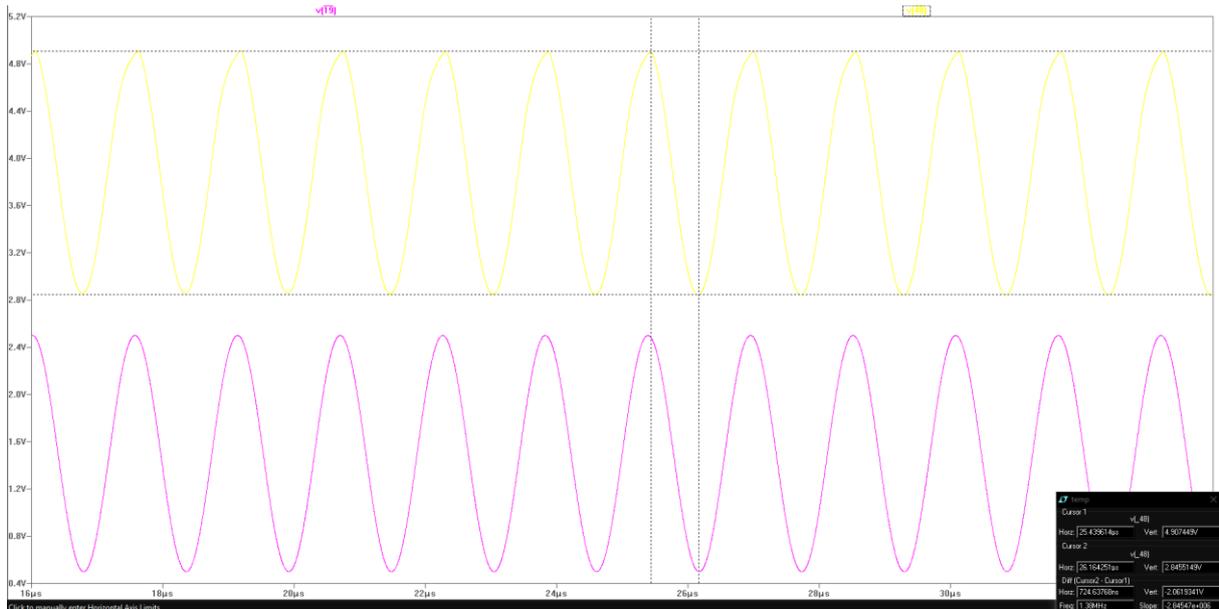


Рисунок 18. Создание маркеров.

Передвигая маркер по исследуемому графику, найти значение амплитуд выходных сигналов по трем частотам, а именно f_{cp} , $10f_{cp}$, $0,1f_{cp}$.

Автоматическая трассировка схемы

Для создания конфигурационной последовательности необходимо выполнить команду:

Tools → DCS PDC → Autotracing (кнопка  на панели инструментов).

После завершения процесса автоматической трассировки программа выдаст сообщение:

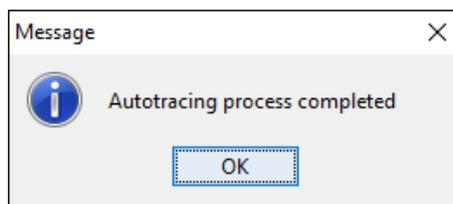


Рисунок 19. Уведомление о успешном завершении автоматической трассировки

Всплывающее окно с сообщением об успешной трассировке схемы также означает, что конфигурационная последовательность экспортирована в текстовый файл... \DCSElectric\config\analog_config.txt.

Прошивка и измерения

Для записи пользовательской схемы в память микросхемы, необходимо:

- Вставить перемычку («джампер») в два верхних контакта разъема «Г» отладочной платы;
- Соединить программатор с ПК с помощью USB кабеля. Подсоединить шлейф к программатору и отладочной плате. Для корректного подключения программатора к отладочной плате следует первый вывод шлейфа (обозначен красным цветом) подключить к первому выводу на отладочной плате;
- Вставить микросхему в контактирующее устройство на отладочной плате;
- Открыть программу «DCSProg-1»;
- Выбрать тип микросхемы (выполнить команду: Микросхема → Тип → 5400TP035);

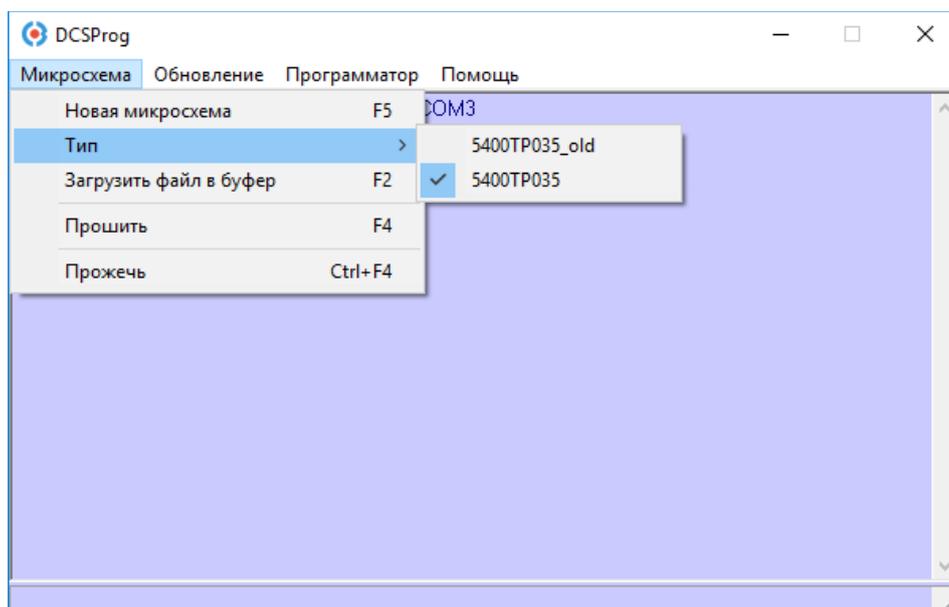


Рисунок 20. Меню программы «Микросхема»

- Загрузить конфигурационную последовательность построенной схемы (выполнить команду: Микросхема → Загрузить файл в буфер (F2). В открывшемся окне выбрать файл analog_config.txt. Путь к файлу ...\\DCSElectric\\config\\analog_config.txt.);
- Включить блок питания. Установить 10 В±5% постоянного напряжения. Ограничение по току – 300 мА. Подсоединить сначала «землю» блока питания к «земле» разъема «А», затем питающий провод блока питания к выводу питания разъема «А». Включить подачу напряжения питания.

Примечание №1. Сначала включается блок питания, а затем его выводы подключаются к отладочной плате. Это необходимо для предотвращения выхода из строя микросхемы при скачках напряжения в момент включения блока питания.

Примечание №2. После подачи питания на микросхему и до ее прошивки, напряжение на блоке питания может просесть из-за установленного ограничения по току. После прошивки питание станет равным изначально установленному.

- Запрограммировать микросхему (выполнить команду: Микросхема → Прошить);

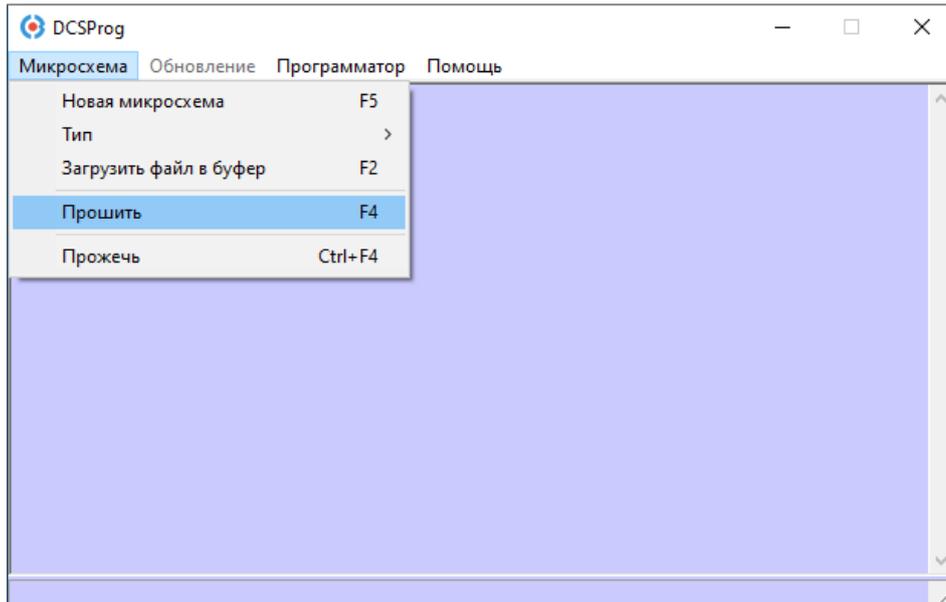


Рисунок 21. Программирование микросхемы

При условии правильного выполнения предыдущих инструкций, в основном окне программы «DCSProg-1» последние три строки будут заканчиваться надписью: «OK».

- Задать внешние воздействия на соответствующие выходы отладочной платы;
- Проконтролировать выходные сигналы с помощью осциллографа;
- Занести результаты измерений в отчет.

Контроль результатов

Итогом выполненной работы является отчет, который содержит результаты выполненных пунктов задания. Результаты измерений необходимо занести Таблица 3. Отчет считается успешным, если расчетное значение частоты среза совпадает с точностью не менее 30% с значением, полученным при моделировании. Оформление и другие аспекты отчета определяются преподавателем.

Таблица 3. Результаты измерений пунктов 1 и 2 лабораторной работы

Тип фильтра	Частота среза			Амплитуда выходного сигнала на частоте $0,1f_{ср}$	Амплитуда выходного сигнала на частоте $f_{ср}$	Амплитуда выходного сигнала на частоте $10f_{ср}$
	Расчёт	Модели рование	Практика			
Пассивный ФНЧ						
Активный ФНЧ						