

Лабораторная работа №1

Знакомство с Программируемой Аналоговой Интегральной Схемой (ПАИС) 5400TP035

Цель работы: получение начальных сведений о ПАИС. Подробное знакомство с блоками. Обучение элементарным навыкам моделирования. Изучение и повторение теории по операционным усилителям, компараторам.

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

Программное обеспечение: ПО программатора «DCSProg», САПР «Electric VLSI Design System».

Продолжительность работы: 4 академических часа.

Теоретические сведения

1. Программируемая аналоговая интегральная схема.

1.1. Общие положения.

Программируемая аналоговая интегральная схема (ПАИС) – набор базовых блоков, которые могут быть сконфигурированы путем электрического программирования коммутации на стороне пользователя. Состав отладочного комплекта микросхемы 5400TP035 (рисунок 1): система автоматизированного проектирования «Electric VLSI Design System» (1), ПО программатора «DCSProg» (2), комплект интерфейсных проводов (3), программатор (4), отладочная плата (5), микросхема 5400TP035 (6).

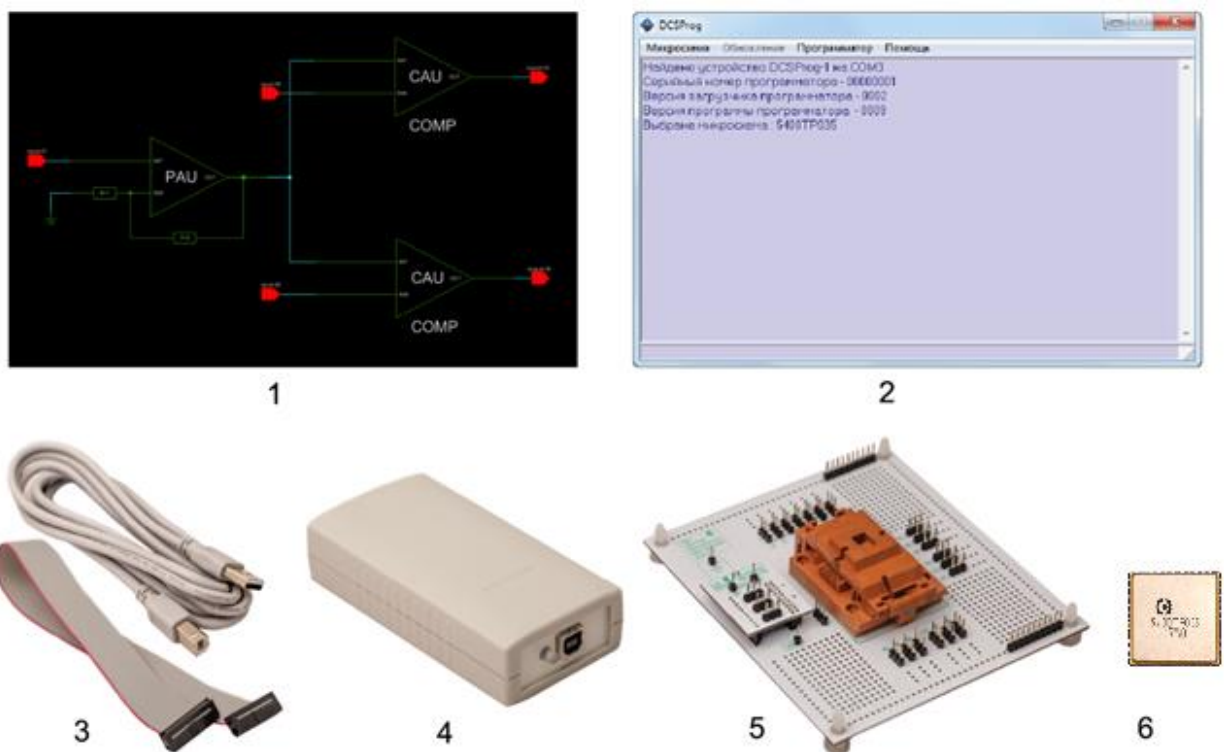


Рисунок 1. Состав отладочного комплекта микросхемы 5400TP035.

1.2. Описание составляющих отладочного комплекта к микросхеме 5400TP035.

1.2.1. САПР «Electric VLSI Design System».

Программа «Electric VLSI Design System» – пользовательский графический интерфейс для создания и моделирования электрических схем. Вместе с САПР пользователь получает набор блоков, из которых можно проектировать схему.

1.2.2. Интерфейсные провода и программатор.

Программатор представляет из себя законченное устройство, преобразующее сигналы с компьютера в сигналы управления микросхемой. Связь с ПК осуществляется через протокол UART с помощью USB кабеля, а с микросхемой – через 20-ти жильный шлейф проводов, подсоединяющийся к выводам «В» отладочной платы.

1.2.3. Отладочная плата.

Отладочная плата предназначена для взаимодействия с выводами микросхемы, т.е. для программирования микросхемы и подключения входных и выходных сигналов (рисунок 2).

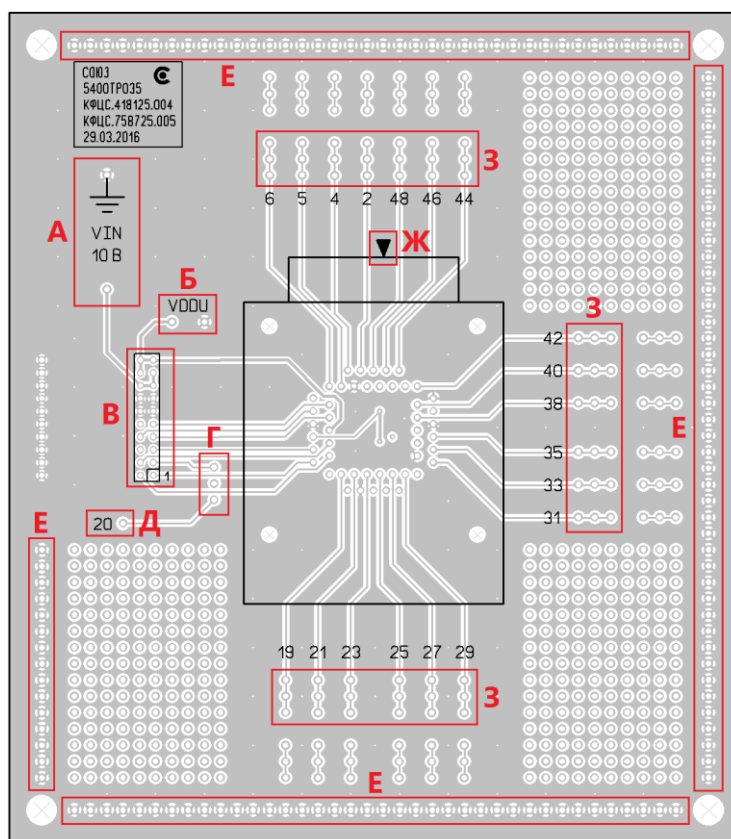


Рисунок 2. Внешний вид отладочной платы.

Элементы платы:

А – вывод VIN для подачи питания программатора (6 В);

Б – вывод VDDU для проверки напряжения питания микросхемы;

В – вывод для подключения шлейфа программатора. Для правильного подключения необходимо совместить красный провод шлейфа с цифрой «1» на отладочной плате;

Г – включение режима чоппер-стабилизации;

Д – вывод для подачи импульсов чоппер-стабилизации (т.е. частоты внешнего генератора для создания прецизионных схем. В данном курсе лабораторных работ этот вывод не используется);

Е – общий вывод («земля»);

Ж – обозначение первого вывода микросхемы. Для правильной установки микросхемы необходимо поместить ее в контактирующее устройство таким образом, чтобы ее «ключ» был направлен в сторону данного обозначения;

З – выводы, как для входных, так и для выходных сигналов в зависимости от скоммутированной пользователем схемы.

Оставшиеся контактные площадки отладочной платы могут быть использованы для подключения дополнительных электронных компонентов схемы.

1.2.4. Микросхема 5400TP035.

Микросхема выполнена в 48-выводном металлокерамическом корпусе 5142.48-А. Номинальное значение напряжения питания микросхемы $5\text{ В} \pm 10\%$. Диапазон входного напряжения сигналов от 0 В до напряжения питания.

Микросхема предназначена для реализации аналоговых и аналого-цифровых интегральных схем путем электрического программирования коммутации между встроенными блоками.

Микросхема имеет два режима работы:

- режим отладки с возможностью многократного перепрограммирования;
- режим финальной конфигурации с записью в энергонезависимую память.

Наряду со встроенными аналоговыми блоками микросхема содержит модули, предназначенные для программирования узлов с произвольной электрической схемой на уровне отдельных транзисторов, резисторов и конденсаторов.

Программируемое ядро микросхемы содержит 9 блоков свободной конфигурации, 22 усилительных блока 1-го типа, 22 усилительных блока 2-го типа и 44 блока пассивных компонентов. Блоки размещены в регулярной структуре. Между блоками проложены шины программируемой межблочной трассировки. По периферии кристалла расположены 18 программируемых блоков ввода/вывода, которые обеспечивают связь ядра с контактными

площадками кристалла. Встроенный мультиплексор позволяет выводить сигналы с 6-ти групп шин с помощью 3-х разрядной адресации. В состав кристалла входит также источник опорного напряжения (ИОН) 1 В. Для формирования внутреннего напряжения ядра используется линейный регулятор напряжения.


На рисунке 3 показан внешний вид микросхемы 5400TP035, вид сверху. Первый вывод микросхемы обозначен выступами на ободке корпуса .



Рисунок 3. Внешний вид микросхемы 5400TP035.

Важно!

Во избежание электростатического пробоя микросхемы необходимо использовать либо вакуумный, либо неметаллический (например, пластмассовый) пинцет.

2. Операционный усилитель.

2.1. Общие сведения.

Операционный усилитель (ОУ) является дифференциальным усилителем с двумя входами (инвертирующим и неинвертирующим) и одним выходом. Кроме них ОУ имеет выводы питания: положительного и отрицательного. Эти пять выводов имеются в любом ОУ и принципиально необходимы для его работы. В нашем случае выводы питания формируются автоматически в самой микросхеме, поэтому в данных лабораторных работах они не указываются.

Термин «дифференциальный» (с англ. «*different*» – разница, различие, разность) означает, что на выходной потенциал ОУ влияет исключительно разность потенциалов между его входами, независимо от их абсолютного значения и полярности.

Когда говорится об идеальном операционном усилителе, то имеется в виду несколько важных условий, а именно:

- ОУ имеет бесконечно большое входное сопротивление;
- ОУ имеет бесконечно большой коэффициент усиления;
- выходное сопротивление ОУ бесконечно мало.

Графически операционный усилитель может обозначаться несколькими вариантами, изображенными на рисунке 4:

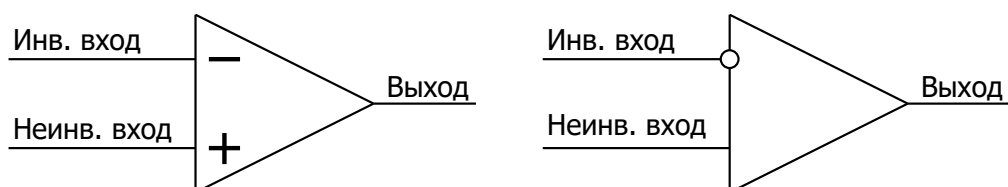


Рисунок 4. Варианты условных графических обозначений (УГО) операционных усилителей.

2.2. Компаратор на операционном усилителе.

Компаратор – это устройство, предназначенное для сравнения двух входных сигналов (рисунок 5). Выходное напряжение компаратора зависит от его входного напряжения: если напряжение неинвертирующего входа больше, чем на инвертирующем входе, то на выходе будет положительное напряжение питания и наоборот, если напряжение инвертирующего входа больше, чем на неинвертирующем входе, то на выходе будет отрицательное напряжение питания.

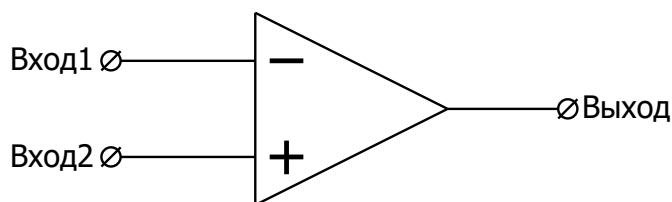


Рисунок 5. Схема включения ОУ как компаратора.

2.3. Повторитель напряжения на операционном усилителе.

Обычно ОУ используются с обратными связями. Повторитель напряжения – пример операционного усилителя с отрицательной обратной связью (рисунок 6). Более сложные схемы включения ОУ с учетом обратных связей будут рассматриваться в следующей лабораторной работе.

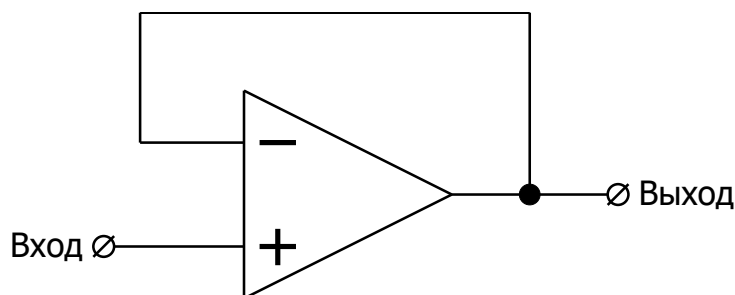


Рисунок 6. Схема повторителя напряжения на операционном усилителе.

Повторитель напряжения, согласно условиям идеального ОУ, имеет бесконечно высокое входное сопротивление и бесконечно малое выходное. Это значит, что в ОУ ток не течет, а на выходе сам операционный усилитель формирует электрический ток. При этом, в случае с повторителем, напряжения на входе и на выходе будет одинаковым.

Таким образом, повторитель напряжения представляет собой неинвертирующий усилитель с единичным коэффициентом усиления, то есть он усиливает входное напряжение в один раз при помощи отрицательной обратной связи.

Лабораторное задание

1) Построить цепь от одного вывода микросхемы к другому.

Подать на вход с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 1 В относительно уровня 2,5 В.

Определить выходное напряжение при моделировании в САПР и при программировании микросхемы. Внести результаты в таблицу 3.

Для данного пункта лабораторной работы необходимо использовать выходной аналоговый буфер OUTPUT_ADR. Рекомендуется установить время моделирования 2 мс ($t_{stop} = 2 \text{ м}$) с шагом моделирования 100 нс ($t_{step} = 100 \text{ н}$), а также время задержки 4 мкс ($T_D = 4 \text{ м}$) на источнике синусоидальных импульсов (v_{sin}).

2) Построить компаратор на усилительном блоке 1-го типа.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 2,5 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на инвертирующий вход INM с внешнего источника постоянное напряжение из таблицы 1.

Построить компаратор по схеме на рисунке 7 с параметрами в соответствии с вариантом. Определить скважность при моделировании в САПР и при программировании микросхемы. Внести результаты в таблицу 4.

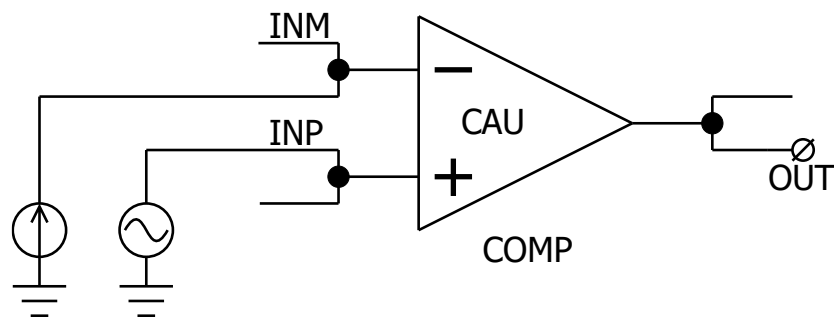


Рисунок 7. Функциональная схема компаратора.

Примечание:

Скважностью называют безразмерную физическую величину, которая определяется отношением длительности импульсов L к периоду импульсных сигналов T (рисунок 8).

$$S = \frac{L}{T} \times 100\%$$

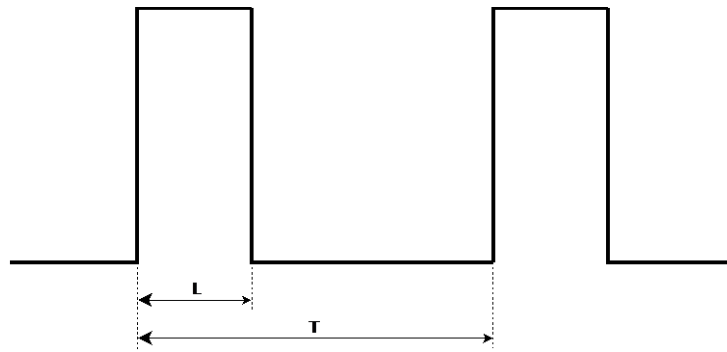


Рисунок 8. Изображение длительности импульса и периода импульсных сигналов.

Для данного пункта лабораторной работы необходимо использовать выходной цифровой буфер OUTPUT_DDR. Рекомендуется установить время моделирования 2 мс ($t_{stop} = 2 \text{ m}$) с шагом моделирования 100 нс ($t_{step} = 100 \text{ n}$), а также время задержки 4 мкс ($TD=4 \text{ u.}$) на источнике синусоидальных импульсов (v_{sin}).

3) Построить повторитель напряжения на усилительном блоке 1-го типа.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,5 В относительно уровня из таблицы 1.

Построить повторитель напряжения по схеме, изображенной на рисунке 9 с параметрами в соответствии с вариантом. Сравнить выходное напряжение с входным при моделировании и при программировании микросхемы. Внести результаты в таблицу 5.

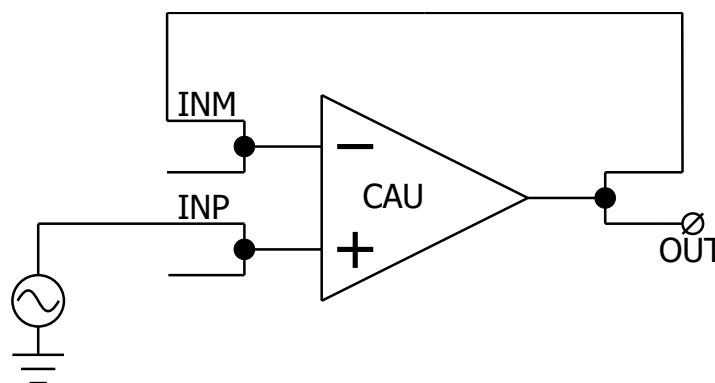


Рисунок 9. Функциональная схема повторителя напряжения.

Для данного пункта лабораторной работы необходимо использовать выходной аналоговый буфер OUTPUT_ADR. Рекомендуется установить время моделирования 2 мс ($t_{stop} = 2 \text{ m}$) с шагом моделирования 100 нс ($t_{step} = 100 \text{ n}$), а также время задержки 4 мкс ($TD=4 \text{ u.}$) на источнике синусоидальных импульсов (v_{sin}).

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

Конкретные значения параметров, требуемых в задании, разделены по вариантам и представлены в таблице 1. Номер варианта определяется преподавателем.

Таблица 1. Соответствие номера варианта и условий задания.

Пункт задания	Вариант	Тип параметра	Значение параметра
1	1	Номер входа; Номер выхода	31;48
	2		40;23
	3		21;44
	4		27;4
2	1	Постоянное напряжение инвертирующего входа INM, В	1
	2		2
	3		3
	4		4
3	1	Уровень, В.	1
	2		2
	3		3
	4		2,5

Порядок выполнения работы

Общие указания

Выполнение работы начинается с проектирования схемы в программе «Electric VLSI Design System». Для начала работы, выполните следующие действия:

- Запустите программу «Electric VLSI Design System»
 - Откройте библиотеку:
 - Выполните команду: File → Open Library.
 - В открывшемся окне откройте файл simulation.jelibПуть к файлу C:\CYGELENG\PROJECTS\5400TP035
- Создайте свою схему в библиотеке:
- Правой кнопкой мыши нажмите на библиотеку «simulation», в контекстном меню выберите пункт «Create New Cell».
 - В появившемся окне «New Cell» в списке «View» выберите тип файла «schematic».
 - В пункте «Name» назовите свою схему и нажмите «ОК». 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.

Навигация в графическом интерфейсе программы:

- Приближение и отдаление активного поля
 - Клавиша «E» – приближение
 - Клавиша «W» – отдаление
 - Клавиша «Z» – масштабирование области
 - Клавиша «Ctrl» + прокрутка колеса мыши
 - Клавиша «F» – масштабирование и центрирование всей схемы
- Перемещение по полю
 - Нажать колесо мыши, перемещаться по полю
 - Нажать на значок «Toggle Pan» в поле инструментов и, зажав левую кнопку мыши, перемещаться по полю
- Отмена действия
 - Сочетаний клавиш «Ctrl» и «Z»
 - Нажать на значок «Undo» в поле инструментов

Блоки, из которых проектируется схема, расположены в библиотеке symbol (рисунок 10). Чтобы перенести компоненты из библиотеки в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

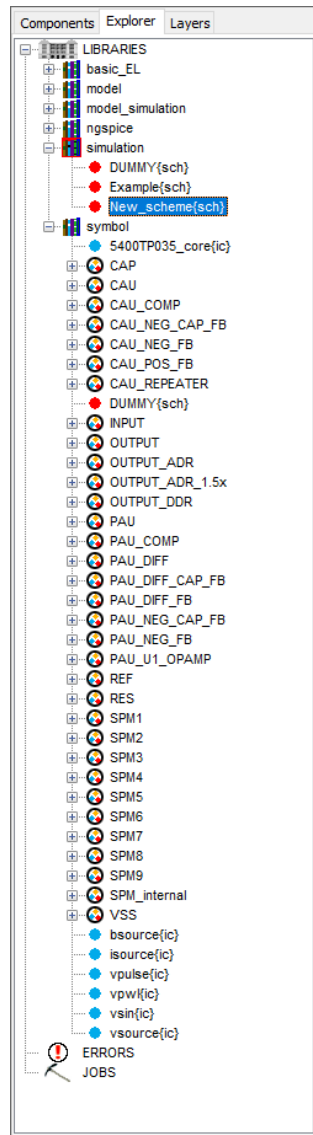


Рисунок 10. Расположение блоков библиотеки symbol в программе «Electric VLSI Design System».

Блоки, используемые в лабораторной работе

Таблица 2. Описание используемых в лабораторной работе блоков.

Название блока	Описание блока
5400TP035_core	Параметры моделирования по времени
CAU	ОУ общего применения 1-го типа
CAU_COMP	Компаратор 1-го типа
INPUT	Блок ввода
OUTPUT_ADR	Блок вывода с аналоговым буфером
OUTPUT_DDR	Блок вывода с цифровым буфером
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 В.

Элементы на основе усилительного блока 1-го типа:

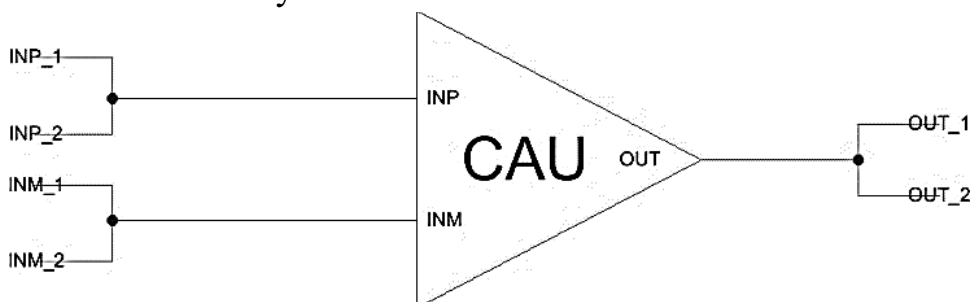


Рисунок 11. ОУ общего применения 1-го типа.

Данный элемент рекомендуется использовать при проектировании повторителя напряжения.

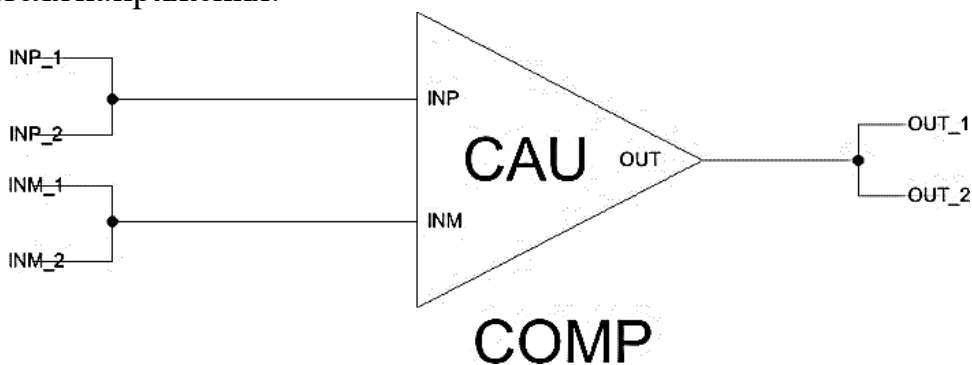


Рисунок 12. Компаратор 1-го типа.

Назначение выводов:

- INP – неинвертирующий вход;
- INM – инвертирующий вход;
- OUT – выход.

Блок ввода/вывода

Блок ввода предназначен для входных сигналов микросхемы. Вывод сигналов осуществляется через аналоговый/цифровой буферы.

Буфер – элемент электрической схемы, который используется для того, чтобы изолировать входной сигнал от выходного. Он спроектирован таким образом, что имеет большое входное и малое выходное сопротивления.

Существует два типа буферов: аналоговый и цифровой.

Аналоговый буфер обеспечивает единичное усиление и повторяет входной сигнал. Буфер обладает высокой нагрузочной способностью, то есть возможностью пропускать большой выходной ток. В микросхеме 5400TP035 аналоговый буфер построен на основе операционного усилителя с нагрузочной способностью до 30 мА.

Цифровой буфер служит для восстановления напряжения цифрового уровня и используется для вывода цифровых сигналов.

Для установки определенного входа (выхода) микросхемы необходимо в поле «input=0» («output_adr=0»/«output_ddr=0») ввести номер вывода микросхемы (выводы «3», рисунок 2).

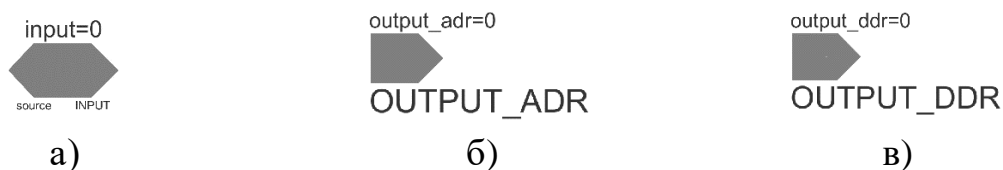


Рисунок 13. а) блок ввода; б) блок вывода с аналоговым буфером; в) блок вывода с цифровым буфером.

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.

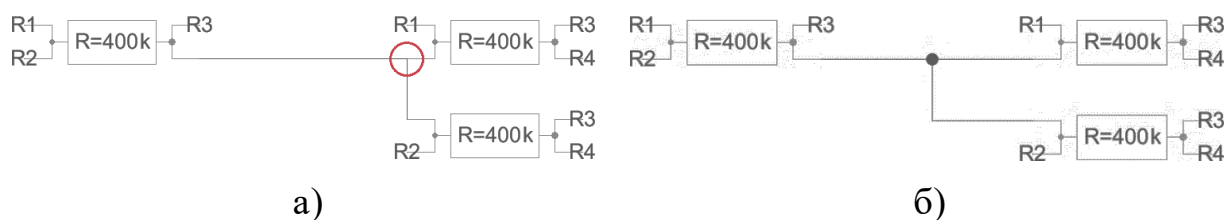


Рисунок 14. а) блок ввода; б) блок вывода с аналоговым буфером; в) блок вывода с цифровым буфером.

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»).

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 единицу времени) и тем дольше процесс моделирования.
- tstop – время моделирования.

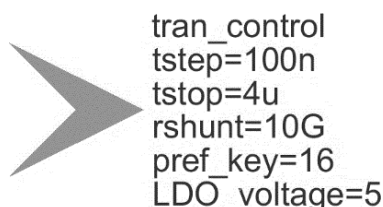


Рисунок 15. Параметры tran-моделирования.

Далее требуется обозначить выходы, 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).

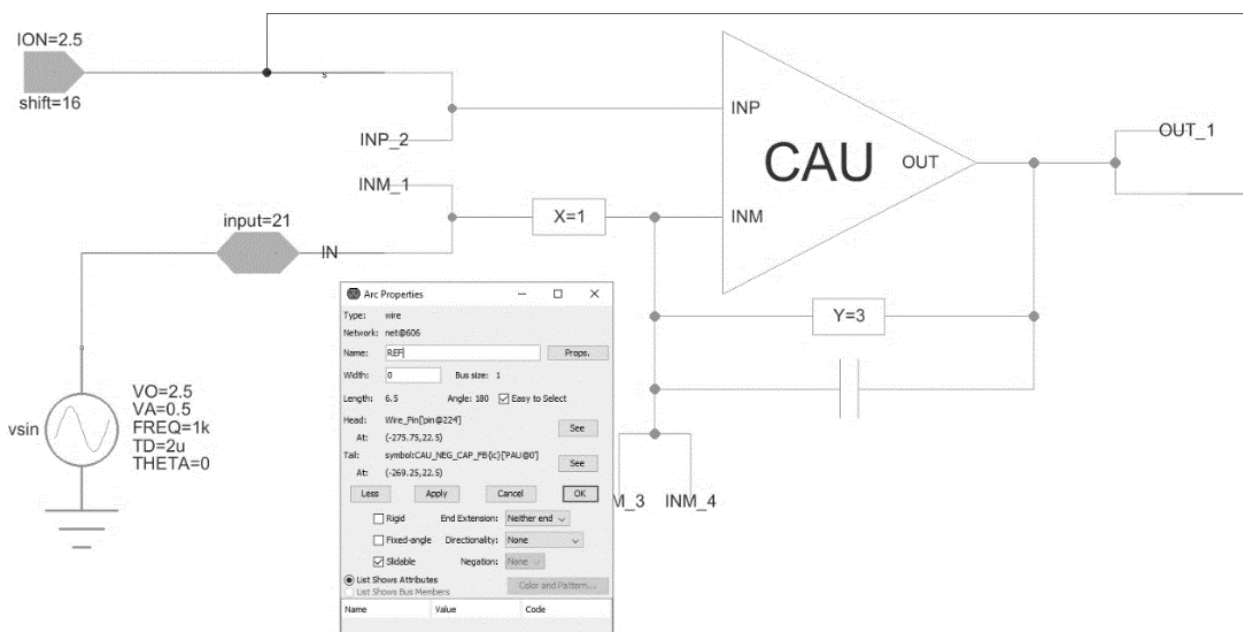




Рисунок 16. Обозначение выводов после построения схемы

Следующий этап – моделирование:

- Для проведения функционального моделирования выполнить команду: Tools → Languages → Write Simulation Path (кнопка  на панели инструментов);
- Запустить функциональное моделирование: Tools → Simulation (Spice) → Write Spice Deck... (кнопка **CreateNetlist** на панели инструментов);

- Для того, чтобы получить конфигурационную последовательность построенной схемы необходимо выполнить команду: Tools → Languages → Make Trace (кнопка  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).

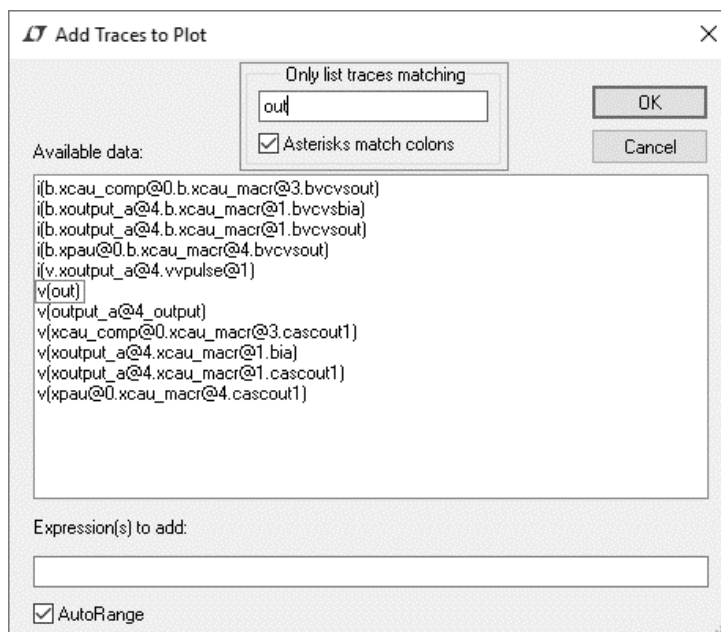


Рисунок 17. Окно вывода результатов моделирования

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.

Прошивка и измерения

Для записи пользовательской схемы в память микросхемы, необходимо:

- Вставить микросхему в контактирующее устройство на отладочной плате;
- Вставить перемычку («джампер») в два верхних контакта разъема «Г» отладочной платы;
- Соединить программатор с ПК с помощью USB кабеля. Соединить отладочную плату с программатором шлейфом;
- Открыть программу «DCSProg»;
- Выбрать тип микросхемы (выполнить команду: Микросхема → Тип → 5400TP035);
- Загрузить конфигурационную последовательность построенной схемы (выполнить команду: Микросхема → Загрузить файл в буфер. В открывшемся окне выбрать файл Autotracing.txt. Путь к файлу C:\CYGELENG\config\);
- Включить блок питания. Установить 6 В постоянного напряжения. Ограничение по току – 200 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);

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

- Задать внешние воздействия на соответствующие выводы 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 в таблицы 3 – 5. Отчет считается успешным, если значения, полученные при моделировании и программировании, совпадают с точностью не более 10%, а также, если проведен анализ причин несоответствия соответствующих параметров в заданном диапазоне точности. Оформление и другие аспекты отчета определяются преподавателем.

Таблица 3. Результаты измерений пункта 1 лабораторной работы.

Входное напряжение, В	Выходное напряжение при моделировании, В	Выходное напряжение при программировании, В

Таблица 4. Результаты измерений пункта 2 лабораторной работы.

Напряжение на инвертирующем входе INM, В	Скважность при моделировании, %	Скважность при программировании микросхемы, %

Таблица 5. Результаты измерений пункта 3 лабораторной работы.

	Значение входного напряжения, В	Значение выходного напряжения, В
При моделировании		
При программировании микросхемы		