

Лабораторная работа №6

Построение прецизионных схем на ПАИС

Цель работы: обучение построению прецизионных схем на ПАИС с использованием четырехточечного метода и метода шунтирования элементов при помощи автоматической трассировки.

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

Для соединения блоков микросхемы 5400ТР035 используются шины программируемой межблочной трассировки. Для осуществления произвольной трассировки каждая шина состоит из коммутационных ключей. Ключ в замкнутом и разомкнутом состояниях имеет значение сопротивления:

- сопротивление разомкнутого ключа > 1 ГОм;
- сопротивление замкнутого ключа $R_k = 700$ Ом.

Данная архитектура вносит особенности проектирования микросхемы. Для уменьшения влияния сопротивления ключей на точность характеристик необходимо использовать четырехточечный метод построения схем. Метод состоит в том, чтобы разделить пути протекания тока и пути распространения напряжения сигнала. Рассмотрим пример реализации повторителя, в котором обратная связь замыкается сразу на выходе операционного усилителя (рисунок 1):

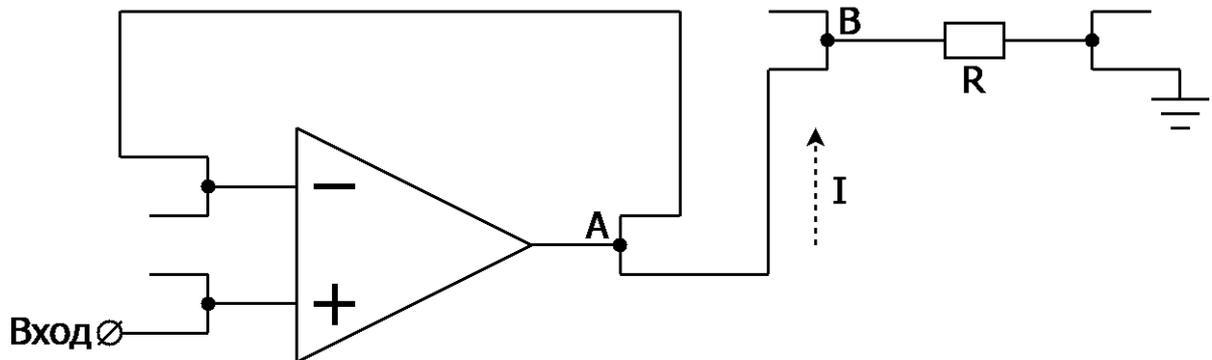


Рисунок 1. Реализация повторителя (вариант 1).

В этом случае из-за тока, протекающего между выходом повторителя и нагрузкой R (между точками A и B), произойдет падение напряжения на коммутационных ключах. Поэтому напряжение в точке B будет равно:

$$U_B = U_A - I \cdot (n \cdot R_k),$$

где n – количество ключей между точками A и B , R_k – сопротивление ключа.

Осциллограмма данной реализации представлена на рисунке 2, где 1 – входной сигнал («Вход», рисунок 1), 2 – выходной сигнал (точка B , рисунок 1). Видно, что выходной сигнал искажен по сравнению с входным сигналом из-за протекания тока через коммутационные ключи.

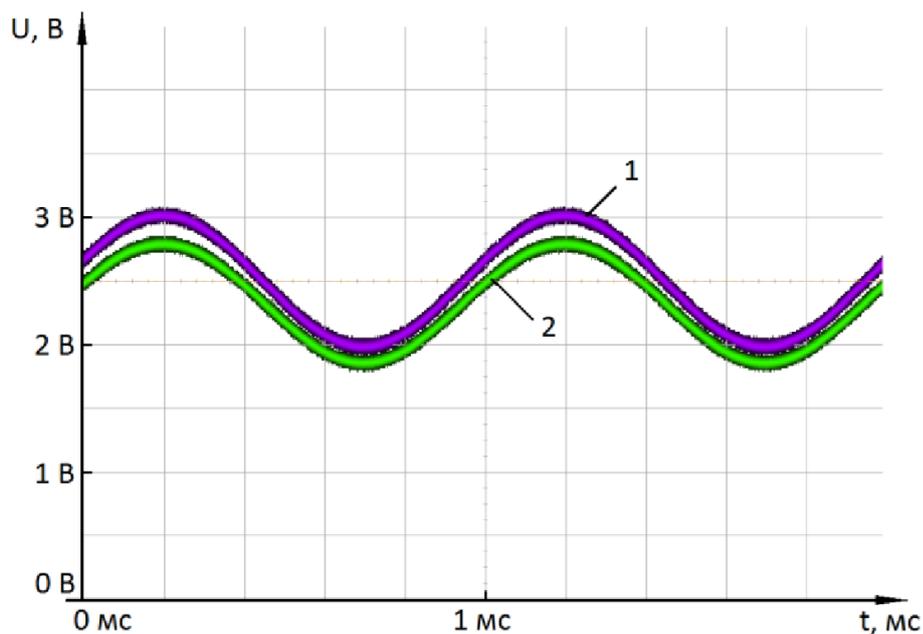


Рисунок 2. Экспериментальный результат реализации повторителя, собранного по схеме на рисунке 1.

Для того, чтобы передать напряжение на выходе повторителя без потерь, необходимо использовать схему, показанную на рисунке 3. Инвертирующий вход и выход ОУ соединяются в точке B , у входа следующего блока.

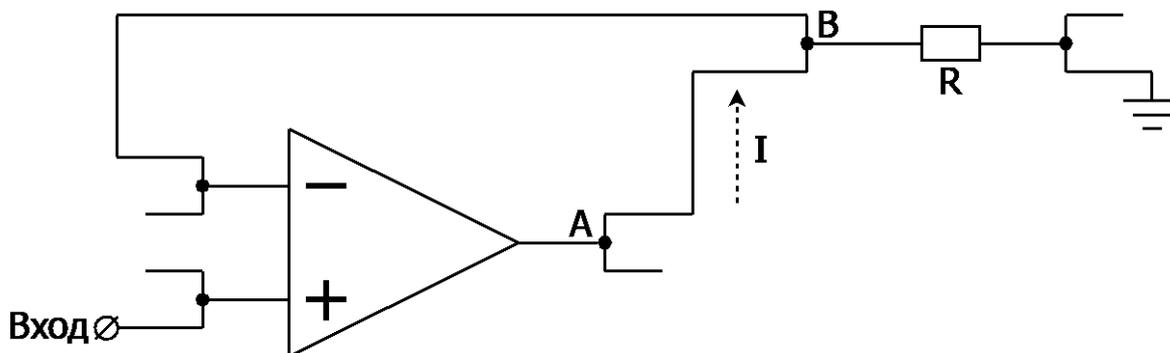


Рисунок 3. Реализация повторителя (вариант 2).

В таком случае падение напряжения на отрезке AB компенсируется отрицательной обратной связью и искажения сигнала не происходит. Осциллограмма представлена на рисунке 4. Выходной сигнал совпадает с входным сигналом.

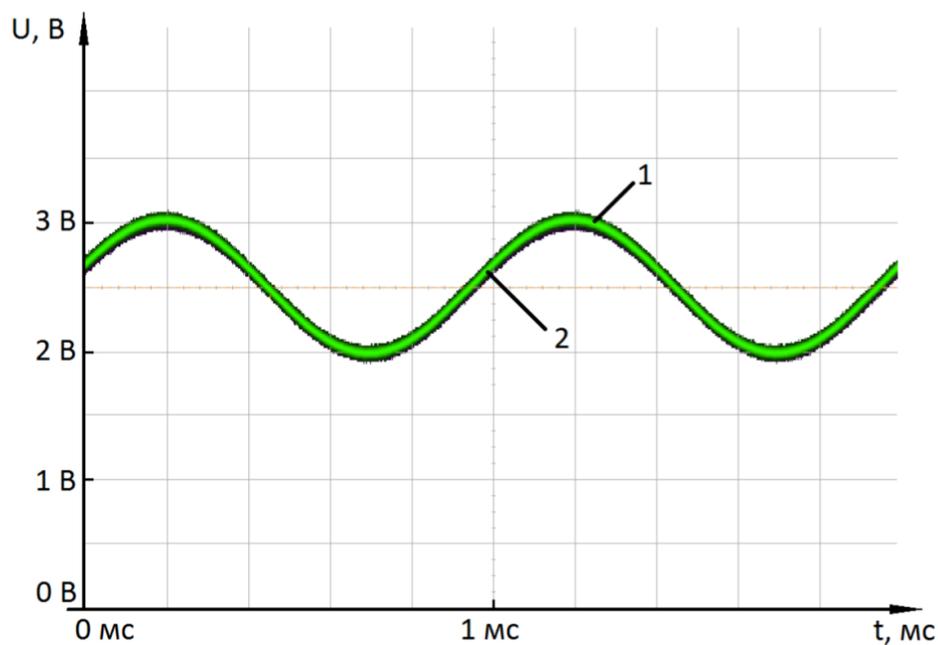


Рисунок 4. Экспериментальный результат реализации повторителя, собранного по схеме на рисунке 3.

Лабораторное задание

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

а) Построить повторитель напряжения, не используя четырехточечный метод.

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 на рисунке 5. Зафиксировать выходное напряжение при моделировании и при программировании микросхемы, внести результаты в таблицу 3.

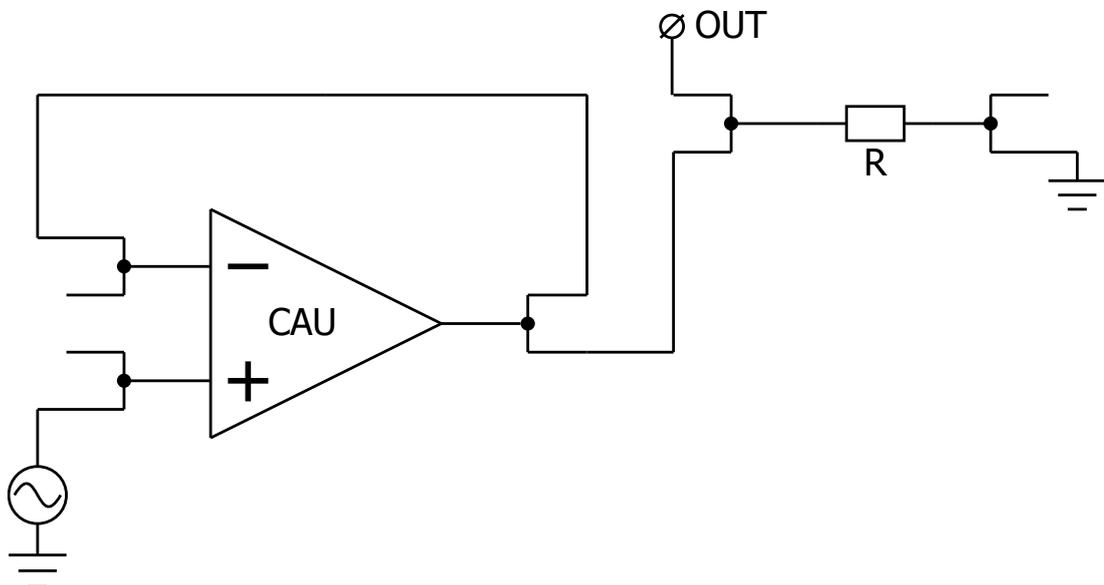


Рисунок 5. Повторитель напряжения без использования четырехточечного метода.

б) Построить повторитель напряжения, используя четырехточечный метод.

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 на рисунке 6. Зафиксировать выходное напряжение при моделировании и при программировании микросхемы, внести результаты в таблицу 3.

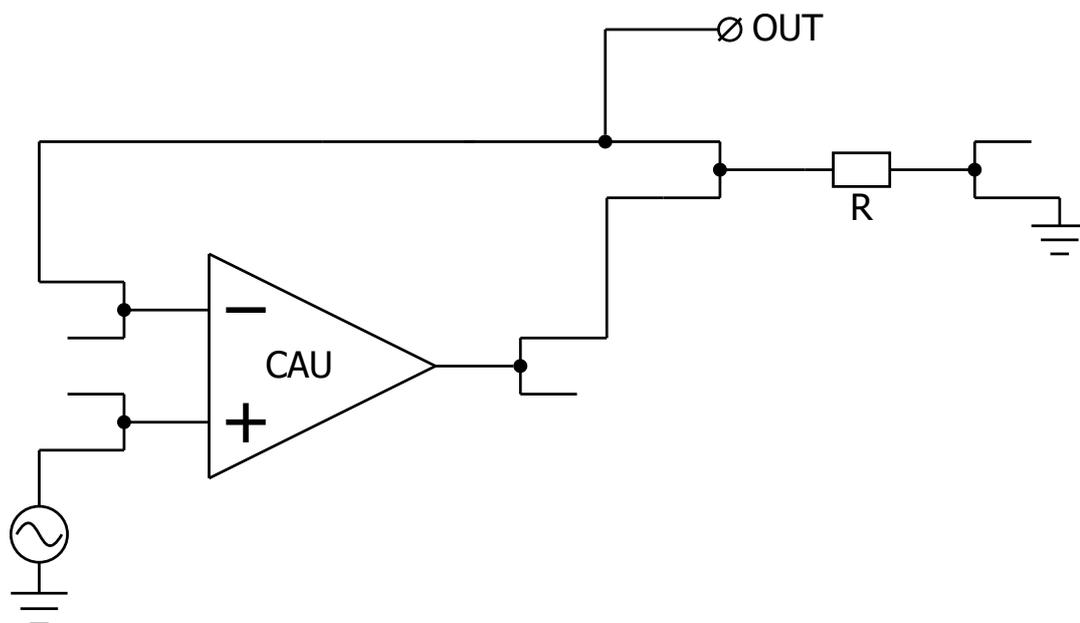


Рисунок 6. Повторитель напряжения, построенный четырехточечным методом.

Сравнить значения выходных напряжений при моделировании и при программировании микросхемы без использования четырехточечного метода и с его использованием.

В данном пункте лабораторной работы 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})

2) Построить неинвертирующий усилитель на усилительном блоке 1-го типа с заданным коэффициентом усиления.

а) Построить неинвертирующий усилитель на усилительном блоке 1-го типа с заданным коэффициентом усиления, не используя четырехточечный метод.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,25 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на инвертирующий вход INM с внешнего источника постоянное напряжение 2,5 В.

Построить неинвертирующий усилитель по схеме на рисунке 7 с коэффициентом усиления из таблицы 1. Зафиксировать выходное напряжение при моделировании и при программировании микросхемы, внести результаты в таблицу 4.

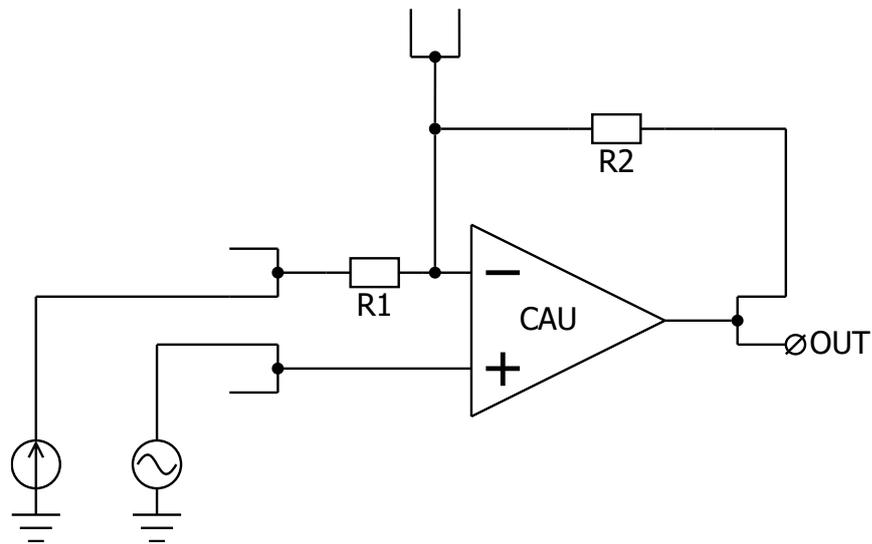


Рисунок 7. Неинвертирующий усилитель без использования четырехточечного метода.

б) Построить неинвертирующий усилитель на усилительном блоке 1-го типа с заданным коэффициентом усиления, используя четырехточечный метод.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,25 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на инвертирующий вход INM с внешнего источника постоянное напряжение 2,5 В.

Построить неинвертирующий усилитель по схеме на рисунке 8 с коэффициентом усиления из таблицы 1. Зафиксировать выходное напряжение при моделировании и при программировании микросхемы, внести результаты в таблицу 4.

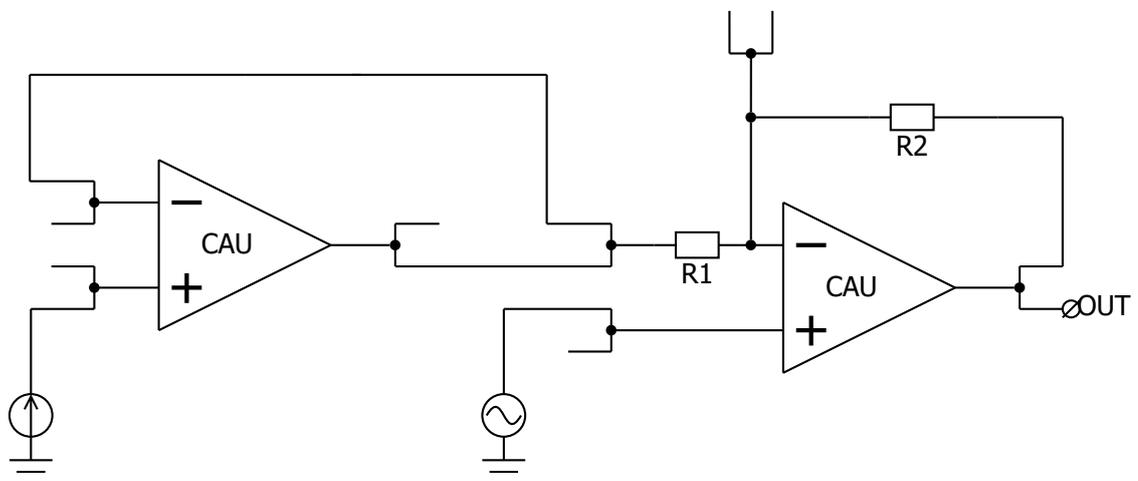


Рисунок 8. Неинвертирующий усилитель с использованием четырехточечного метода.

Примечание:

При построении неинвертирующего усилителя по схеме на рисунке 7 коэффициент усиления будет равен:

$$K_{yc} = \frac{R_2}{R_1 + (n \cdot R_k)} + 1,$$

где n – количество ключей от входа микросхемы до резистора $R1$, R_k – сопротивление ключа.

Повторитель напряжения на усилительном блоке 1-го типа в схеме на рисунке 8 используется для точной передачи напряжения с входа микросхемы на инвертирующий вход ОУ.

Коэффициент усиления в данном случае будет определяться формулой:

$$K_{yc} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Сравнить значения выходных напряжений при моделировании и при программировании микросхемы при различном построении схемы неинвертирующего усилителя.

В данном пункте лабораторной работы 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 полностью дифференциальный усилитель на усилительном блоке 2-го типа с заданным коэффициентом усиления.

а) Построить полностью дифференциальный усилитель на усилительном блоке 2-го типа с заданным коэффициентом усиления, не используя четырехточечный метод.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,25 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на инвертирующий вход INM с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,25 В относительно уровня 2,5 В. Сигнал подавать с задержкой 500 мкс относительно входа INP.

Построить полностью дифференциальный усилитель по схеме на рисунке 9 с коэффициентом усиления из таблицы 1. Зафиксировать выходное напряжение при моделировании и при программировании микросхемы, внести результаты в таблицу 5.

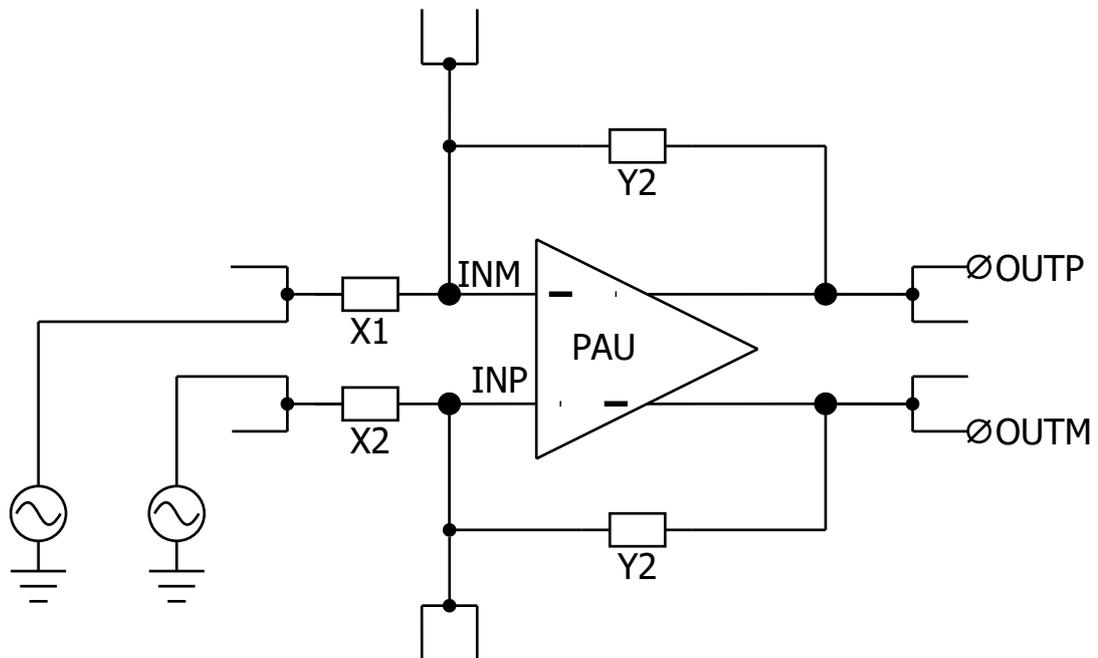


Рисунок 9. Полностью дифференциальный усилитель без использования четырехточечного метода.

б) Построить полностью дифференциальный усилитель на усилительном блоке 2-го типа с заданным коэффициентом усиления, используя четырехточечный метод.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,25 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на инвертирующий вход INM с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 0,25 В относительно уровня 2,5 В. Сигнал подавать с задержкой 500 мкс относительно входа INP.

Построить полностью дифференциальный усилитель по схеме на рисунке 10 с коэффициентом усиления из таблицы 1. Зафиксировать выходное напряжение при моделировании и при программировании микросхемы, внести результаты в таблицу 5.

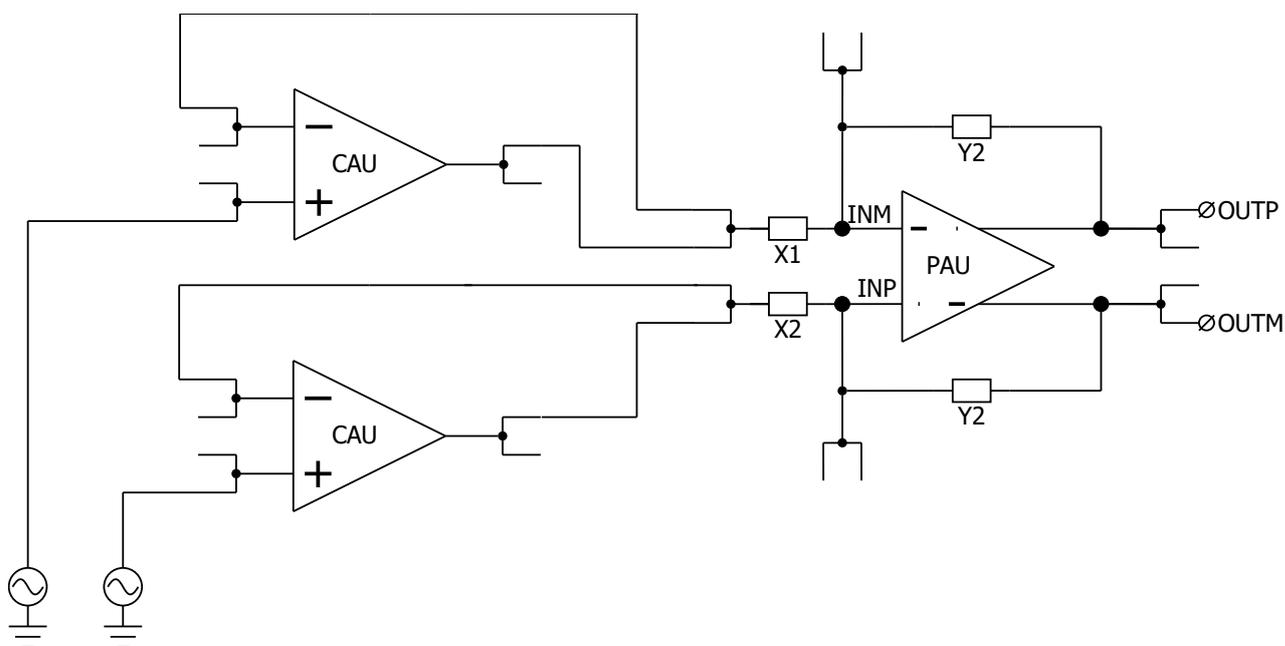


Рисунок 10. Полностью дифференциальный усилитель с использованием четырехточечного метода.

В данном пункте лабораторной работы 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 источниках синусоидальных импульсов (v_{sin}).

Сравнить значения выходных напряжений при моделировании и при программировании микросхемы без использования четырехточечного метода и с его использованием.

Таблица 1. Соответствие номера варианта и условий задания

Пункт задания	Вариант	Тип параметра	Значение параметра
1	1	Уровень, В.	1
	2		2
	3		3
	4		2,5
2	1	Коэффициент усиления	3
	2		4
	3		5
	4		6
3	1	Коэффициент усиления	0,5
	2		1,5
	3		1
	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.jelib

Путь 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: lab6_scheme_1.
- Дважды нажмите левой кнопкой мыши на свою созданную схему.

Блоки, из которых проектируется схема, расположены в библиотеке symbol (рисунок 11). Чтобы перенести компоненты из библиотеки в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

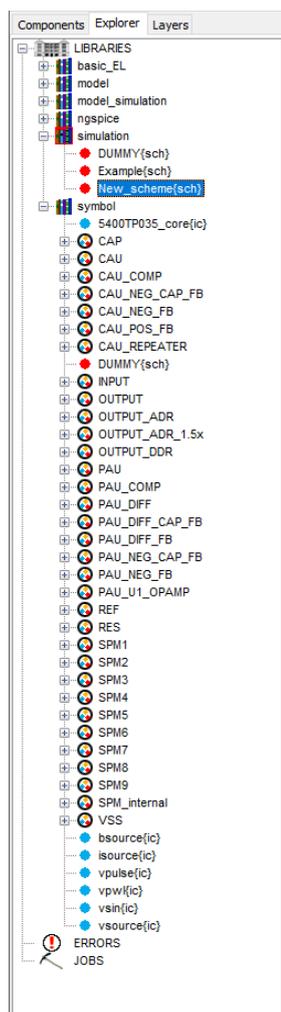


Рисунок 11. Расположение блоков библиотеки symbol в программе «Electric VLSI Design System».

Блоки, используемые в лабораторной работе

Таблица 2. Описание используемых в лабораторной работе блоков.

5400TP035_core	Параметры моделирования по времени
CAU	ОУ общего применения на основе 1-го типа
CAU_NEG_FB	ОУ с отрицательной обратной связью
PAU_DIFF_FB	Полностью дифференциальный ОУ с отрицательной обратной связью
INPUT	Блок ввода
OUTPUT_ADR	Блок вывода с аналоговым буфером
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 В.

В усилительном блоке 1-го типа предусмотрен программируемый потенциометр.

Элементы на основе усилительного блока 1-го типа:

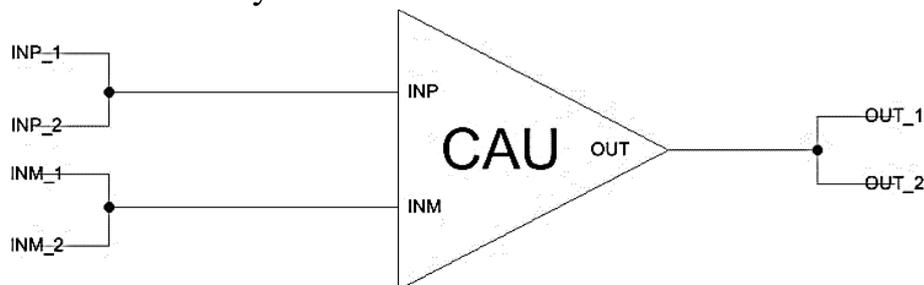


Рисунок 12. ОУ общего применения 1-го типа.

Данный элемент рекомендуется использовать при проектировании повторителя из пункта 2б и 3б лабораторной работы.

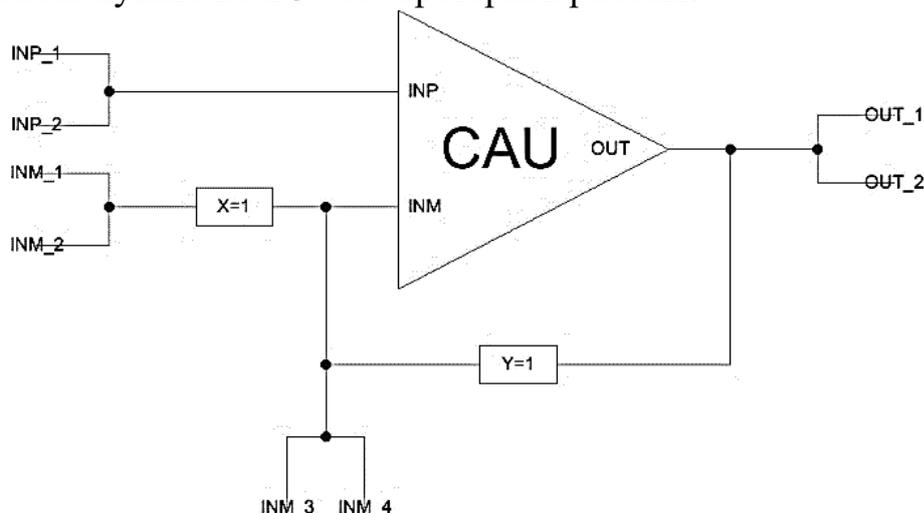


Рисунок 13. ОУ 1-го типа с отрицательной обратной связью.

Назначение выводов:

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

Усилительный блок 2-го типа

Прецизионный усилительный блок 2-го типа предназначен для построения блоков со смещением нуля до 3 мВ. Диапазон входного напряжения сигналов от 0,5 до 3,0 В. Диапазон выходного напряжения сигналов от 0 В до напряжения питания 5 В. Средняя точка $U_{cp} = 2,5$ В.

В усилительном блоке 2-го типа предусмотрено 2 программируемых потенциометра, а также 2 шунтирующие емкости номиналом 2 пФ каждая. Установка соотношения резисторов аналогична с усилительным блоком 1-го типа.

Элементы на основе усилительного блока 2-го типа:

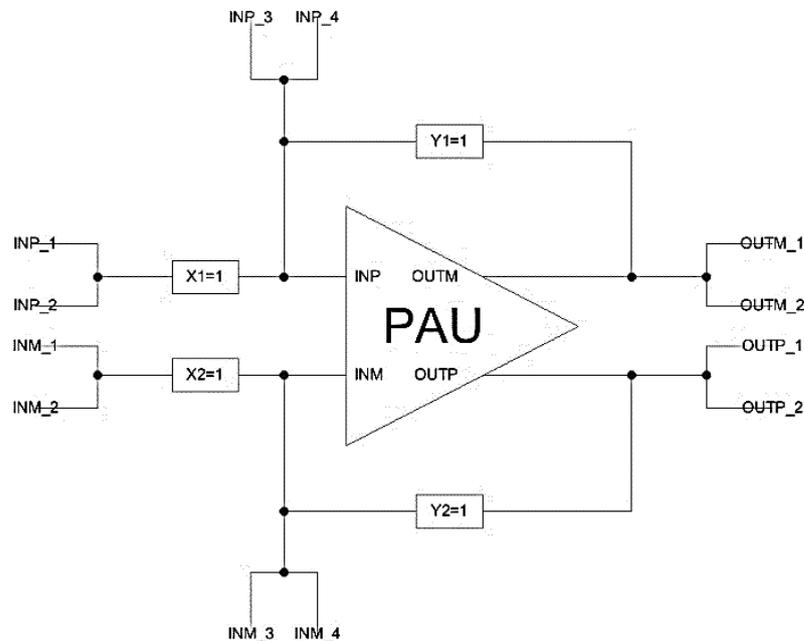


Рисунок 14. Полностью дифференциальный ОУ 2-го типа с отрицательной обратной связью.

Назначение выводов:

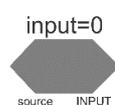
- INP – неинвертирующий вход;
- INM – инвертирующий вход;
- OUTP – неинвертирующий выход;
- OUTM – инвертирующий выход.

Блок ввода/вывода

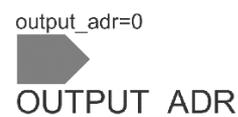
Блок ввода предназначен для входных сигналов микросхемы. Вывод сигналов осуществляется через аналоговый буфер.

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 15. а) блок ввода; б) блок вывода с аналоговым буфером.

Резистор с настраиваемым сопротивлением

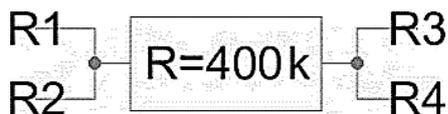


Рисунок 16. Резистор с настраиваемым сопротивлением.

Для того, чтобы запрограммировать резистор RES на необходимое значение сопротивления нужно зажать 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

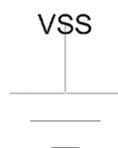


Рисунок 17. «Общий» вывод.

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.

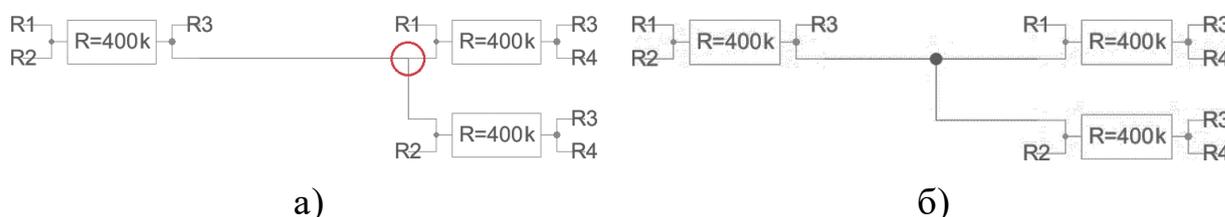


Рисунок 18. а) пример неправильного построения схемы; б) пример правильного построения схемы.

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»).

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.

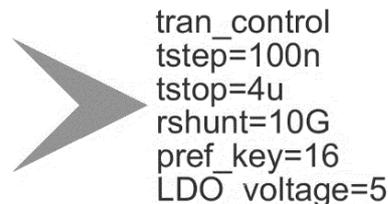


Рисунок 19. Параметры tran-моделирования.

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 20).

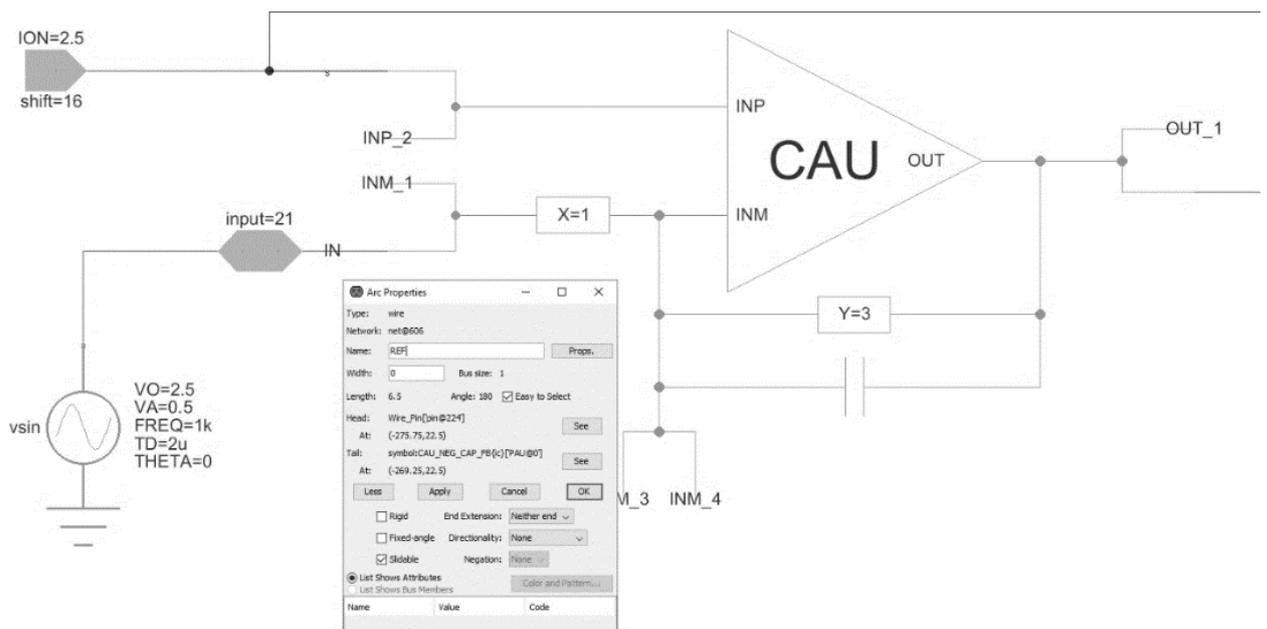


Рисунок 20. Обозначение выводов после построения схемы

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 21).

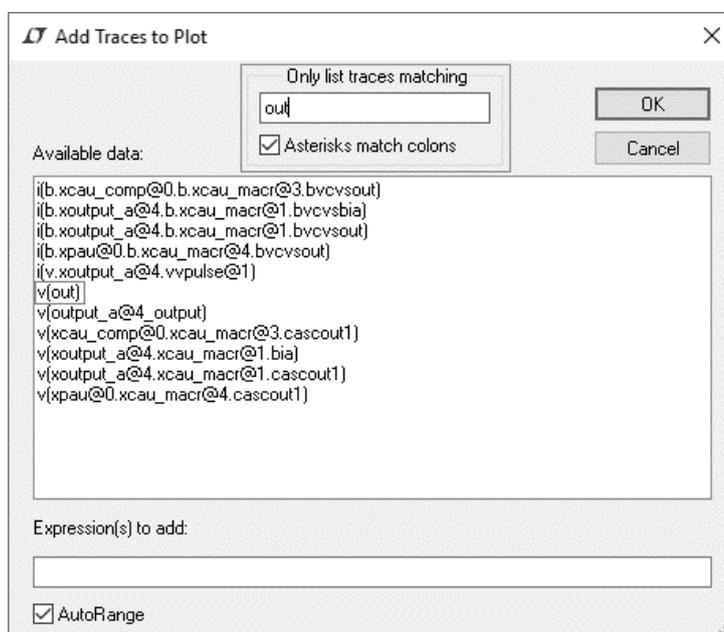


Рисунок 21. Окно вывода результатов моделирования

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, 4, 5. Отчет считается успешным, если все построенные схемы функционируют корректно и, если проведен анализ причин несовпадения практически полученных и теоретически ожидаемых данных. Оформление и другие аспекты отчета определяются преподавателем.

Таблица 3. Результаты измерений пункта 1 лабораторной работы.

		Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В
Без использования четырехточечного метода	Моделирование микросхемы		
	Программирование микросхемы		
С использованием четырехточечного метода	Моделирование микросхемы		
	Программирование микросхемы		

Таблица 4. Результаты измерений пункта 2 лабораторной работы.

		Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В
Без использования четырехточечного метода	Моделирование микросхемы		
	Программирование микросхемы		
С использованием четырехточечного метода	Моделирование микросхемы		
	Программирование микросхемы		

Таблица 5. Результаты измерений пункта 3 лабораторной работы.

		Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В
Без использования четырёхточечного метода	Моделирование микросхемы		
	Программирование микросхемы		
С использованием четырёхточечного метода	Моделирование микросхемы		
	Программирование микросхемы		