

## Лабораторная работа №5

**Построение схем с использованием источника опорного напряжения.**

**Цель работы:** знакомство с источником опорного напряжения (ИОН).  
Настройка ИОНа. Схемотехнические решения с использованием ИОНа.

**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. Источник опорного напряжения

Источник опорного напряжения – базовый электронный узел, поддерживающий на своём выходе высокостабильное постоянное электрическое напряжение.

В микросхеме 5400TP035 подстройка ИОН выполняется путем программирования. Напряжение на выходе ИОН можно контролировать на 5 выводе микросхемы. Номинальное напряжение – 1 В.

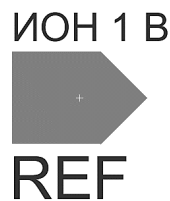


Рисунок 1. Источник опорного напряжения.

### 2. Шунтирование элементов

Один из методов улучшения характеристик – шунтирование элементов. В качестве примера предлагается реализация неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 2. Для установки коэффициента усиления используется цифровой потенциометр ( $R_1$ ,  $R_2$ ).

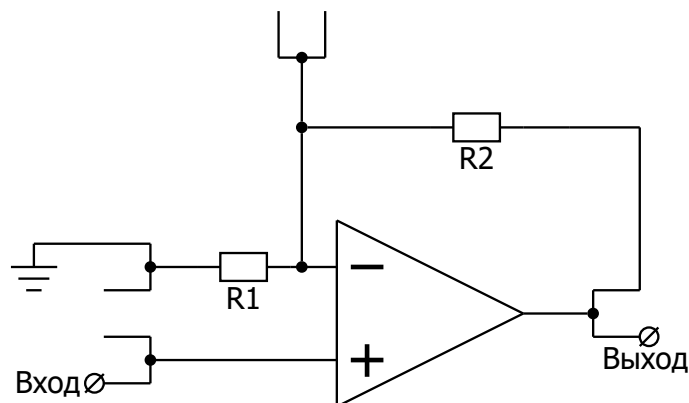


Рисунок 2. Реализация неинвертирующего усилителя (вариант 1).

При достаточно длинном пути между инвертирующим входом и выходом возникает генерация, так как из-за сопротивления ключей и паразитных емкостей, путь представляет собой цепочку RC-элементов, осуществляющих фазовый сдвиг.

Осциллограмма данной реализации представлена на рисунке 3, где 1 – входной сигнал, а 2 – выходной сигнал. При этом на выходном сигнале наблюдаются паразитные колебания.

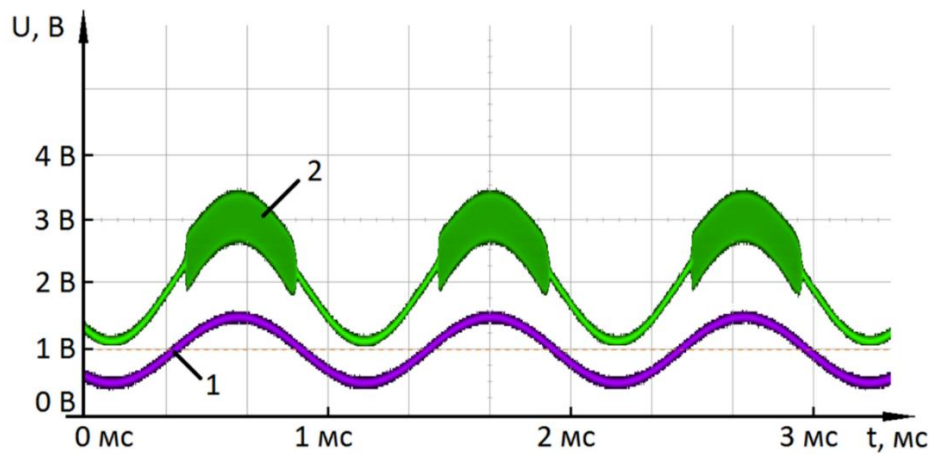


Рисунок 3. Экспериментальный результат реализации неинвертирующего усилителя, собранного по схеме на рисунке 2.

Если фазовый сдвиг приводит к паразитным колебаниям, обратную связь необходимо шунтировать конденсатором, как показано на рисунке 4.

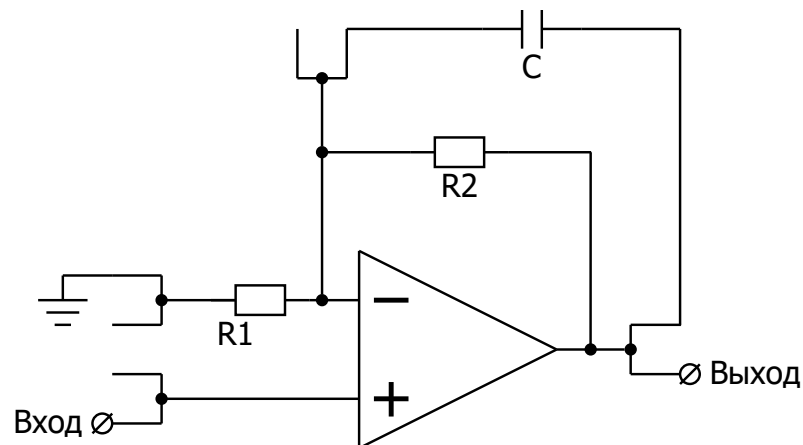


Рисунок 4. Реализация неинвертирующего усилителя (вариант 2).

Осциллограмма схемы с шунтированием обратной связи представлена на рисунке 5, где 1 – входной сигнал, а 2 – выходной сигнал.

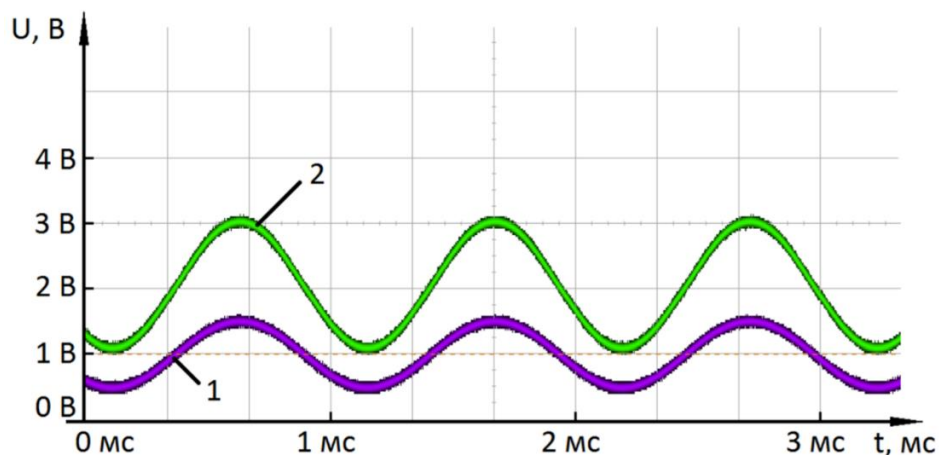


Рисунок 5. Экспериментальный результат реализации неинвертирующего усилителя, собранного по схеме на рисунке 4.

## Лабораторное задание

### 1) Настроить ИОН.

Настройка источника опорного напряжения осуществляется в микросхеме с помощью программирования ключей. Список ключей, отвечающих за настройки, представлен в таблице 1.

Таблица 1. Номера ключей для настройки ИОНа

Номер ключа	Настройка
29633	$\approx 80$ мВ
29634	$\approx 40$ мВ
29635	$\approx 20$ мВ
29636	$\approx 10$ мВ
29637	$\approx 5$ мВ

Для настройки напряжения ИОНа необходимо:

- запрограммировать микросхему пустым проектом;
- измерить напряжение ненастроенного ИОНа на 5 выводе микросхемы;
- рассчитать комбинацию ключей необходимую для настройки в соответствии с таблицей 1;
- вписать данные номера ключей в файл конфигурационной последовательности Autotracing.txt;
- запрограммировать микросхему
- проверить напряжение настроенного ИОНа
- внести результаты измерений в таблицу 5

### 2) Спроектировать усилитель напряжения ИОНа.

Подать на вход постоянное напряжение ИОНа 1 В.

Построить усилитель по схеме на рисунке 6. Коэффициент усиления определяется вариантом. Внести результат измерения в таблицу 6.

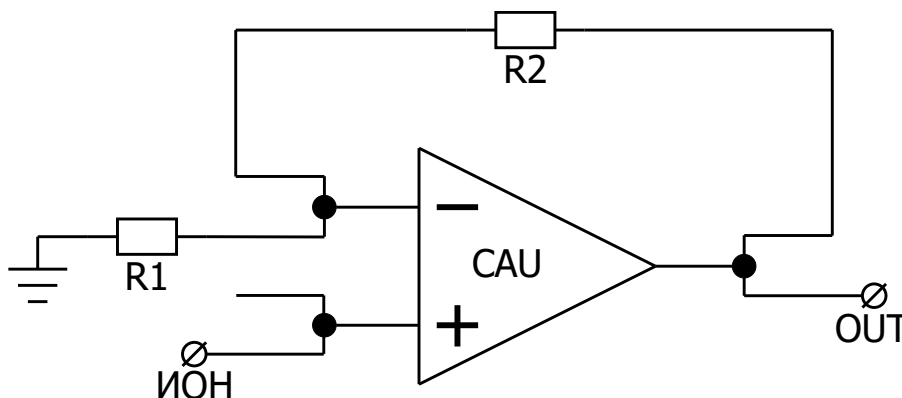


Рисунок 6. Функциональная схема неинвертирующего усилителя.

В данном пункте лабораторной работы необходимо использовать выходной аналоговый буфер OUTPUT\_ADR.

### 3) Спроектировать аналоговый вычитатель.

Подать на вход  $U_m$  выходное напряжение усилителя из пункта 2.

Подать на вход  $U_p$  сигнал с внешнего источника синусоидальных импульсов с частотой 1 кГц, амплитудой 1 В и средней точкой, совпадающей с напряжением входа  $U_m$ .

Подать на вход среднюю точку  $U_{cp}$  равную 2.5 В с внешнего источника.

Построить вычитатель по схеме на рисунке 7. Соотношение резисторов определяется вариантом. Определить амплитуду выходного сигнала. Внести результаты измерений в таблицу 7.

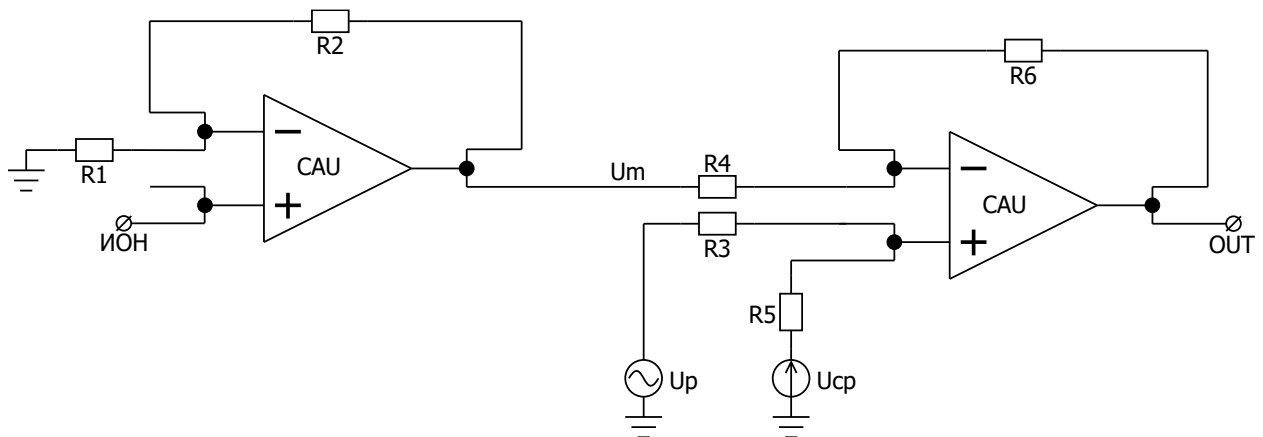


Рисунок 7. Схема аналогового вычитателя.

На выходе вычитателя формируется сигнал, равный:

$$2,5 - \left(\frac{R_6}{R_4}\right) \cdot (U_p - U_m)$$

Данная формула является упрощением и справедлива только для равных соотношений резисторов  $R_6/R_4$  и  $R_5/R_3$ . Рекомендуем использовать резисторы  $R_3 - R_6$  из блока RES.

В данном пункте 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 пунктов 2 и 3 следует промоделировать схему в программе «Electric VLSI Design System». После создания конфигурационной последовательности необходимо вписать номера ключей настройки ИОНа из пункта 1. Процедура

настройки ИОНа проводится один раз и уникальна для каждой микросхемы. 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.

**Важно!**

При условии, если у выходных сигналов собранных схем из данной лабораторной работы при программировании микросхемы возникают паразитные колебания, то для их устранения стоит руководствоваться пунктом 2 из теоретических сведений.

Таблица 2. Соответствие варианта и условия задания для пункта 2

Вариант	Коэффициент усиления
1	1,5
2	2
3	2,5
4	3

Таблица 3. Соответствие варианта и условия задания для пункта 3

Вариант	Соотношение резисторов $R_6:R_4$
1, 3	2:1
2, 4	1:1

## 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: lab5\_scheme\_1.
- Дважды нажмите левой кнопкой мыши на свою созданную схему.

Блоки, из которых проектируется схема, расположены в библиотеке symbol (рисунок 8). Чтобы перенести компоненты из библиотеки в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

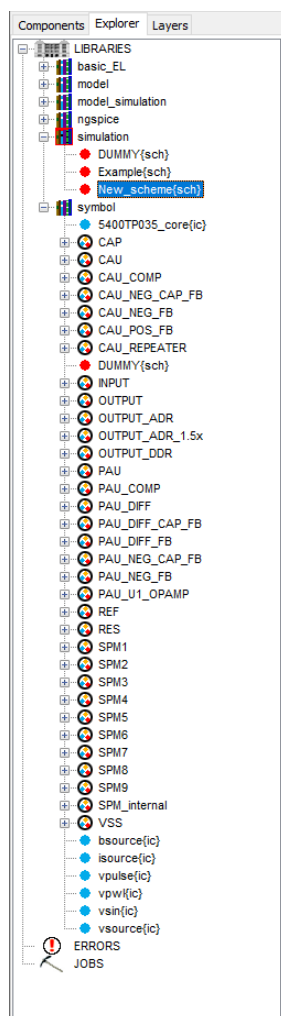


Рисунок 8. Расположение блоков библиотеки symbol в программе «Electric VLSI Design System».

### Блоки, используемые в лабораторной работе

Таблица 4. Описание используемых в лабораторной работе блоков

Название блока	Описание блока
5400TP035_core	Параметры моделирования по времени
CAU	ОУ общего применения 1-го типа
CAU_NEG_FB	ОУ 1-го типа с отрицательной обратной связью
INPUT	Блок ввода
OUTPUT_ADR	Блок вывода с аналоговым буфером
REF	Источник опорного напряжения
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:

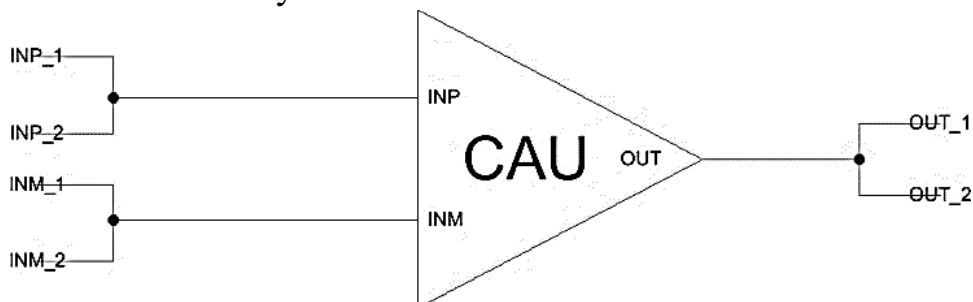


Рисунок 9. ОУ общего применения 1-го типа.

Данный элемент рекомендуется использовать при проектировании аналогового вычитателя.

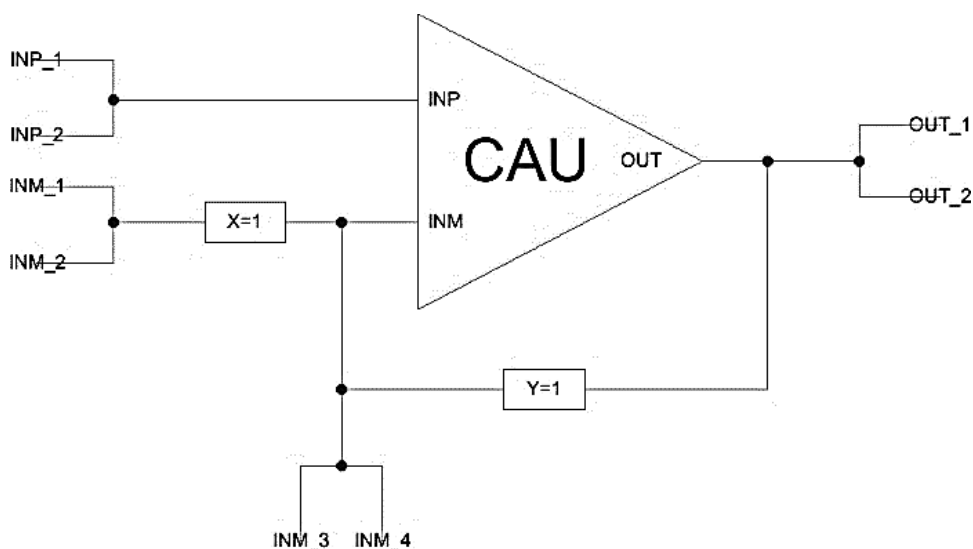


Рисунок 10. ОУ 1-го типа с отрицательной обратной связью.

Данный элемент рекомендуется использовать при проектировании усилителя ИОНа.

Назначение выводов:

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

## Важно!

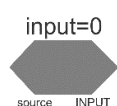
В состав блока CAU\_NEG\_FB входит один программируемый потенциометр. Чтобы задать необходимый коэффициент усиления нужно подобрать соответствующее соотношение резисторов обратной связи. Для этого нужно зажать клавишу «Ctrl», навести курсор на заданное по умолчанию значение соответствующего резистора и нажать левой кнопкой мыши, затем отпустить клавишу «Ctrl» и нажать левой кнопкой на это же значение резистора и заменить на нужное.

## Блок ввода/вывода

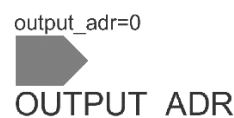
Блок ввода предназначен для входных сигналов микросхемы. Вывод сигналов осуществляется через аналоговый буфер.

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

## Источник опорного напряжения

Источник опорного напряжения представлен на рисунке 12:



Рисунок 12. Источник опорного напряжения.

Выходное напряжение ИОНа – 1 В.

## Резистор с настраиваемым сопротивлением

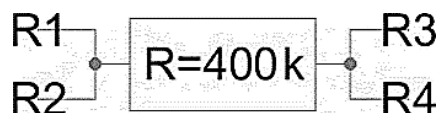


Рисунок 13. Резистор с настраиваемым сопротивлением.

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

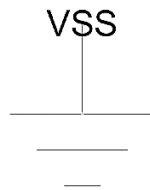


Рисунок 14. Общий вывод.

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.

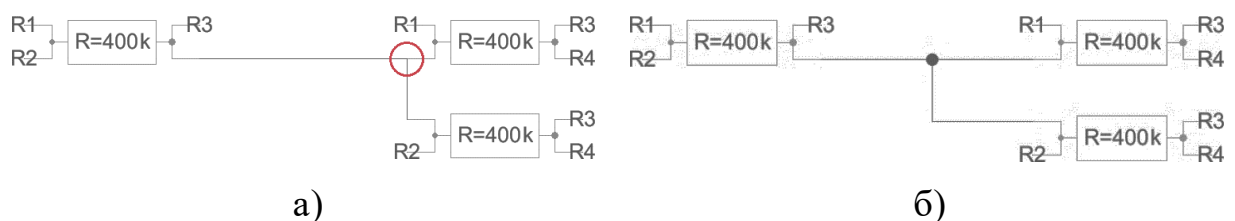


Рисунок 15. а) пример неправильного построения схемы; б) пример правильного построения схемы.

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

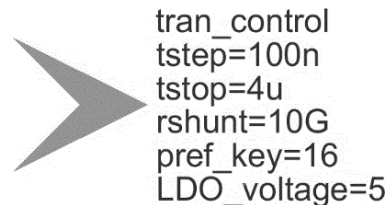


Рисунок 16. Параметры tran-моделирования.

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 17).

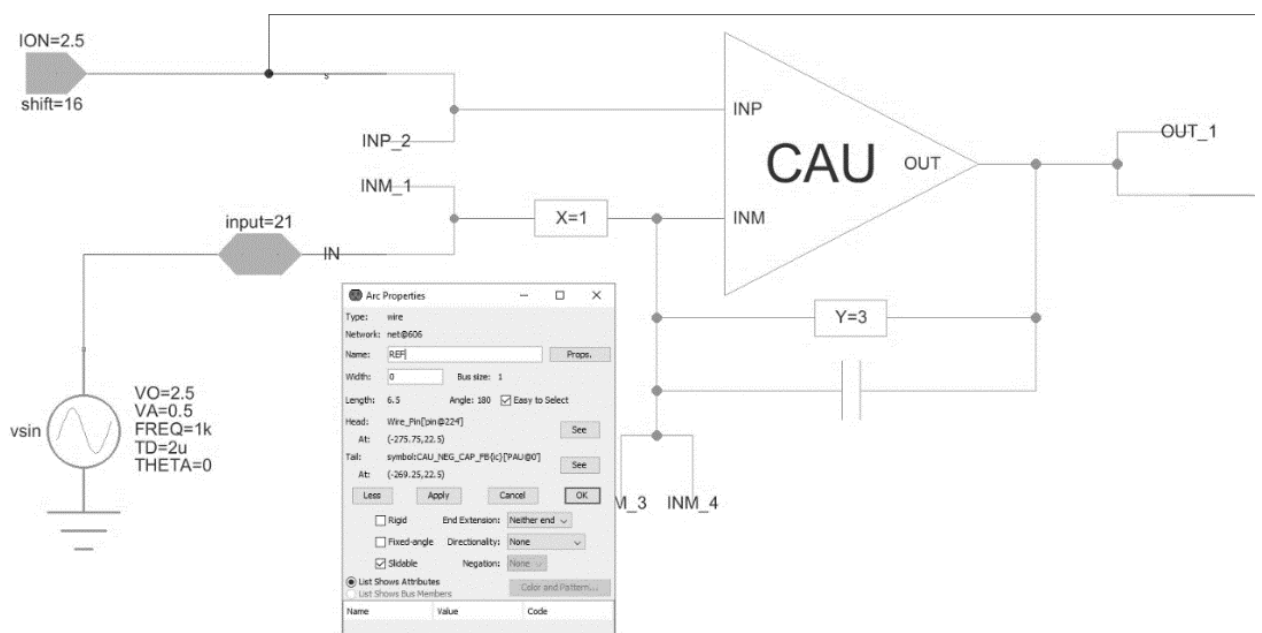




Рисунок 17. Обозначение выводов после построения схемы

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 18).

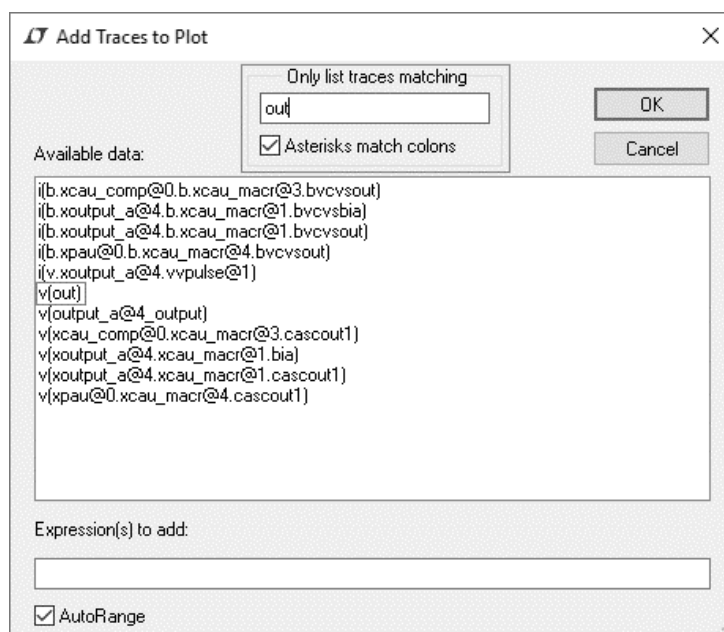


Рисунок 18. Окно вывода результатов моделирования

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 5, 6, 7. Отчет считается успешным, если требуемое и полученное на практике значения совпадают с точностью не менее 10%, а также, если проведен анализ причин несовпадения соответствующих параметров в заданном диапазоне точности. Оформление и другие аспекты отчета определяются преподавателем.

Таблица 5. Результаты измерений пункта 1 лабораторной работы

Напряжение ненастроенного ИОНа, В	Напряжение настроенного ИОНа, В	Номера ключей настройки

Таблица 6. Результаты измерений пункта 2 лабораторной работы

Коэффициент усиления	Выходное напряжение при моделировании, В	Выходное напряжение при программировании, В

Таблица 7. Результаты измерений пункта 3 лабораторного задания

Напряжение входа $U_m$ , В	Амплитуда входа $U_p$ , В	Средняя точка выходного сигнала, В	Амплитуда выходного сигнала, В