

## **Лабораторная работа №7**

### **Проектирование устройства выборки и хранения**

**Цель работы:** обучение проектированию устройства выборки и хранения со сглаживающим RC-фильтром.

**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

Устройство выборки и хранения (УВХ) – схема, запоминающая напряжение на входе в определённый момент времени. Оно является компонентом большинства аналого-цифровых преобразователей. Структурная схема УВХ с RC-фильтром представлена на рисунке 1.

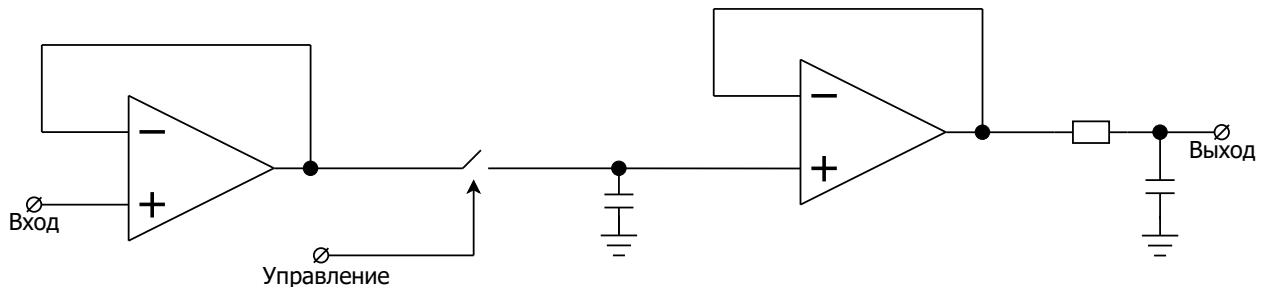


Рисунок 1. Структурная схема УВХ с RC-фильтром.

Запоминающим элементом в устройстве выборки и хранения является конденсатор. Для его включения и отключения от входной цепи используется аналоговый ключ. Для обеспечения высокого входного и низкого выходного сопротивления используются повторители напряжения. Для сглаживания сигнала на выходе поставлен RC-фильтр.

УВХ может работать в одном из двух режимов, в зависимости от напряжения на управляющем входе:

- режим слежения;
- режим хранения.

В режиме слежения выходной сигнал устройства выборки и хранения совпадает со входным. В режиме хранения напряжение на выходе устройства постоянно и равно напряжению на входе устройства в момент его переключения в режим хранения.

Для правильной работы большинства схем аналого-цифрового преобразования требуется, чтобы входное напряжение в течение некоторого времени оставалось постоянным. Поскольку входной сигнал в течение времени преобразования может меняться, его фиксируют с помощью УВХ.

## Лабораторное задание

### Спроектировать устройство выборки и хранения.

а) Построить устройство выборки и хранения без RC-фильтра на выходе по схеме на рисунке 2.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 10 кГц и амплитудой 1 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на управляющий вход с внешнего источника прямоугольный сигнал с частотой 100 кГц с уровнями 0 В и 5 В.

$$C1 = 16,68 \text{ пФ.}$$

Для данного подпункта лабораторной работы рекомендуется установить время моделирования 200 мкс ( $t_{\text{stop}}=200 \text{ }\mu\text{s}$ ) с шагом моделирования 100 нс ( $t_{\text{step}}=100 \text{ ns}$ ), а также время задержки 4 мкс ( $T_D=4 \text{ }\mu\text{s}$ ) на источниках синусоидального ( $v_{\text{sin}}$ ) и прямоугольного ( $v_{\text{pulse}}$ ) импульсов.

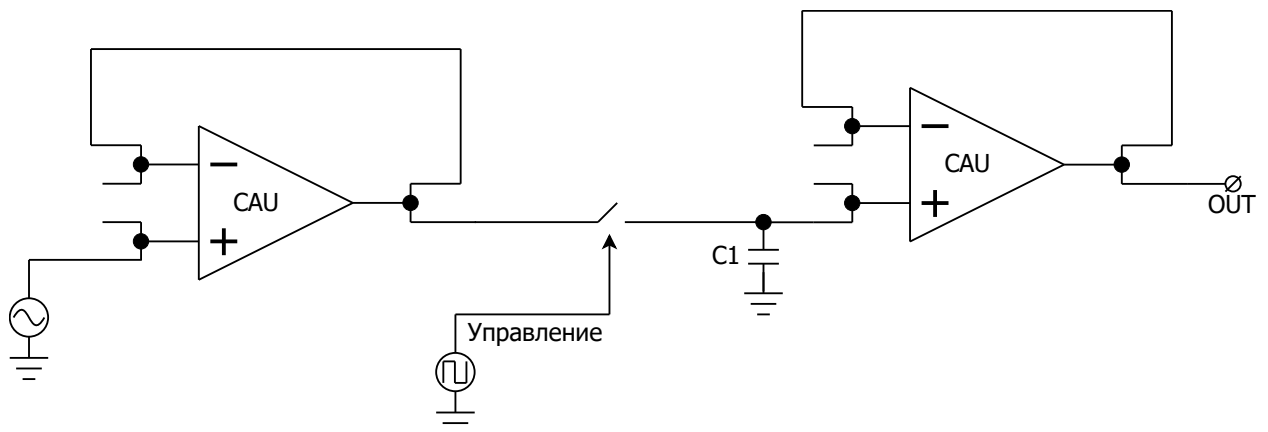


Рисунок 2. Функциональная схема УВХ без RC-фильтра на выходе.

б) Построить устройство выборки и хранения с RC-фильтром на выходе по схеме на рисунке 3.

Рассчитать RC-фильтр для частоты среза  $f_{cp} = 10$  кГц, учитывая, что рекомендуется использовать один конденсатор емкостью  $C2 = 8,34$  пФ.

Подать на неинвертирующий вход INP с внешнего источника синусоидальный сигнал с частотой 10 кГц и амплитудой 1 В относительно уровня 2,5 В.

Подать на управляющий вход с внешнего источника прямоугольный сигнал с частотой 200 кГц с уровнями 0 В и 5 В.

Для данного подпункта лабораторной работы рекомендуется установить время моделирования 200 мкс ( $t_{stop}=200$   $\mu$ s) с шагом моделирования 100 нс ( $t_{step}=100$  ns), а также время задержки 4 мкс ( $TD=4$   $\mu$ s.) на источниках синусоидального(vsin) и прямоугольного(vpulse) импульсов.

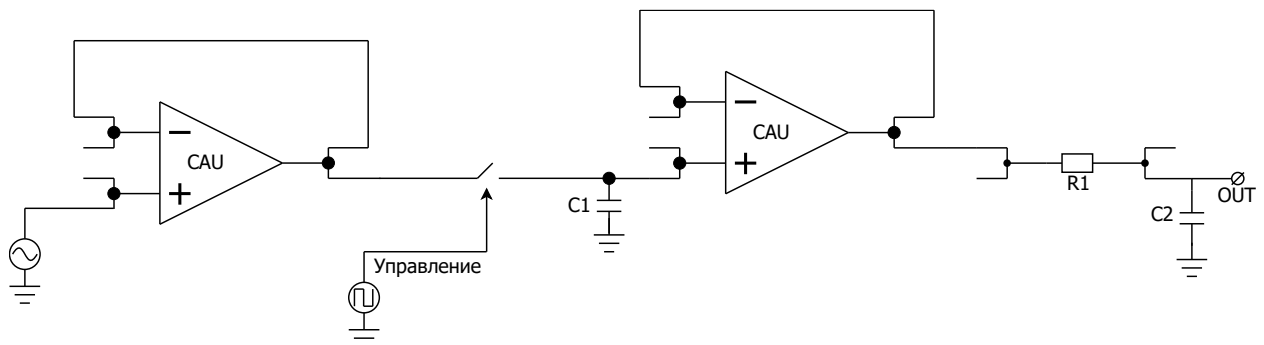


Рисунок 3. Функциональная схема УВХ с RC-фильтром на выходе.

## 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: lab7\_scheme\_1.
- Дважды нажмите левой кнопкой мыши на свою созданную схему.

Блоки, из которых проектируется схема, расположены в библиотеке symbol (рисунок 4). Чтобы перенести компоненты из библиотеки в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

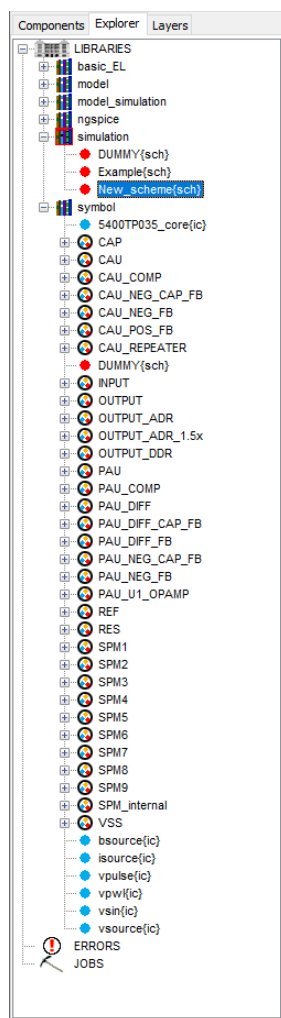


Рисунок 4. Расположение блоков библиотеки symbol в программе «Electric VLSI Design System».

### Блоки, используемые в лабораторной работе

Таблица 1. Описание используемых в лабораторной работе блоков

Название блока	Описание блока
5400TP035_core	Параметры моделирования по времени
CAU	ОУ общего применения 1-го типа
CAP	Конденсатор емкостью 8,34 пФ
INPUT	Блок ввода
OUTPUT_ADR	Блок вывода с аналоговым буфером
RES	Резистор с настраиваемым сопротивлением
SPM	Блок свободной конфигурации
VSS	«Общий» вывод
vsin	Источник синусоидальных импульсов для подачи внешних воздействий
vpulse	Источник прямоугольных импульсов 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:

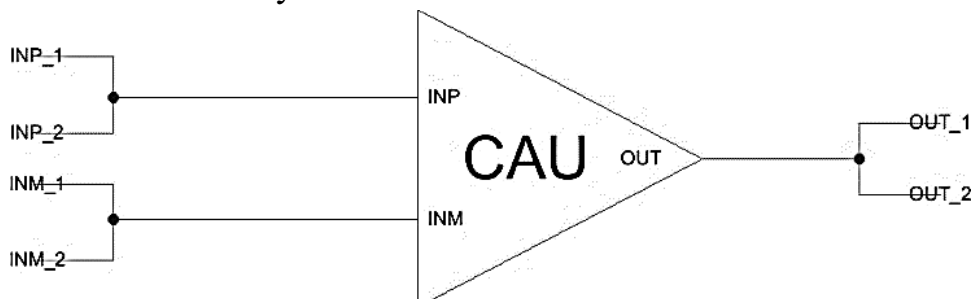


Рисунок 5. ОУ общего применения 1-го типа.

Назначение выводов:

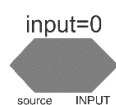
- INP – неинвертирующий вход;
- INM – инвертирующий вход;
- OUT – выход.

## Блок ввода/вывода

Блок ввода предназначен для входных сигналов микросхемы. Вывод сигналов осуществляется через аналоговый 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 6. блок ввода; б) блок вывода с аналоговым буфером.

### Резистор с настраиваемым сопротивлением

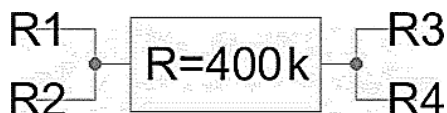


Рисунок 7. Резистор с настраиваемым сопротивлением.

Для того, чтобы запрограммировать резистор RES на необходимое значение сопротивления нужно зажать клавишу «Ctrl», привести 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.

### Конденсатор с фиксированной емкостью

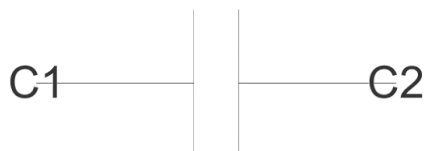


Рисунок 8. Конденсатор с фиксированной емкостью.

Блок CAP имеет фиксированную емкость 8,34 пФ.

### Общий вывод

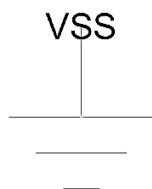


Рисунок 9. Общий» вывод.

### Блок свободной конфигурации SPM

Блок свободной конфигурации SPM представляет собой набор из n- и p-канальных МОП-транзисторов, резисторов и конденсаторов. Блок имеет матричную структуру и состоит из 32 ячеек. Структура повторяющейся ячейки приведена на рисунке 10:



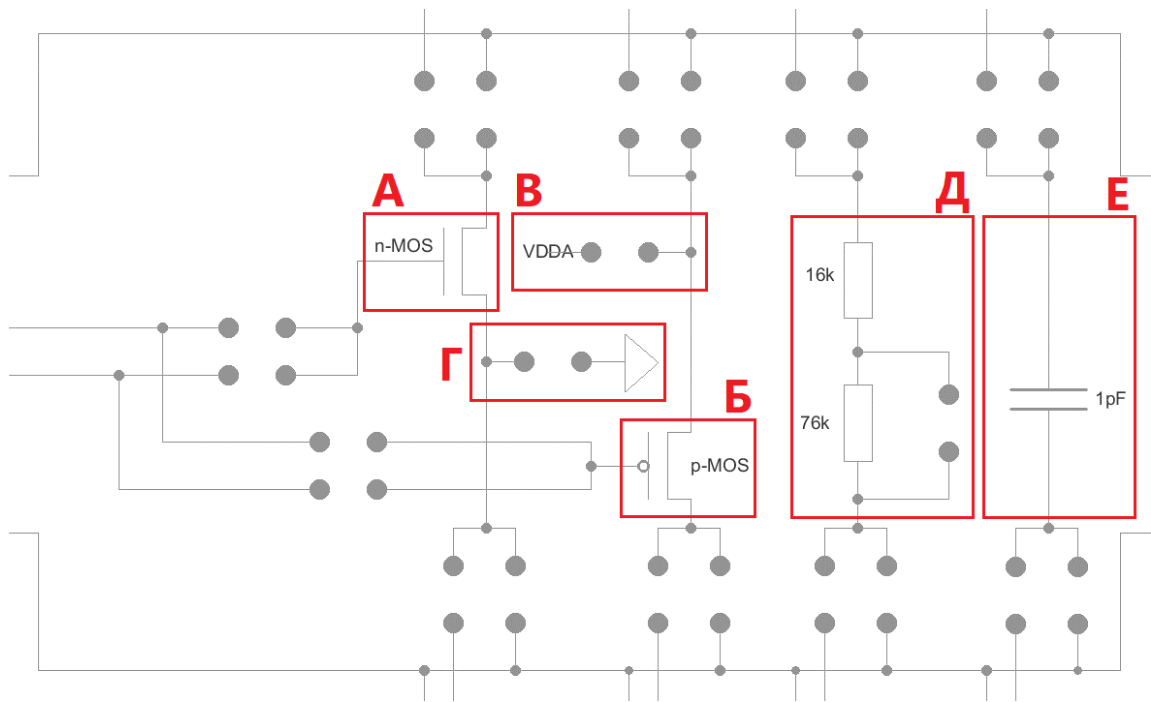


Рисунок 10. Схема ячейки SPM.

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.

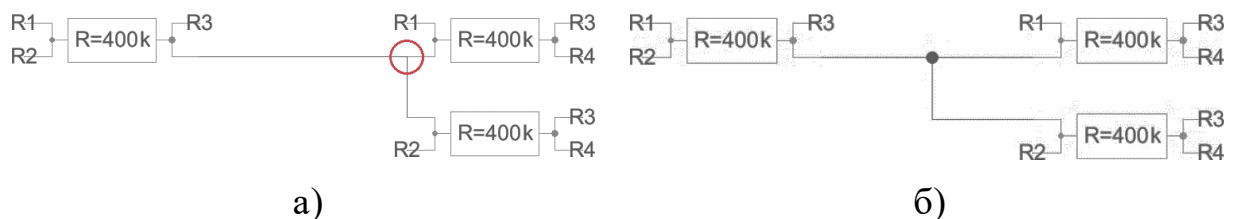


Рисунок 11. а) пример неправильного построения схемы; б) пример правильного построения схемы.

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:

- `vpulse` – источник прямоугольных импульсов:
  - `V1` – значение напряжения нижнего уровня
  - `V2` – значение напряжения верхнего уровня
  - `TD` – время задержки
  - `TR` – время фронта
  - `TF` – время среза
  - `PW` – ширина импульса
- `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.

tran\_control  
tstep=100n  
tstop=4u  
rshunt=10G  
pref\_key=16  
LDO\_voltage=5

Рисунок 12. 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 13).

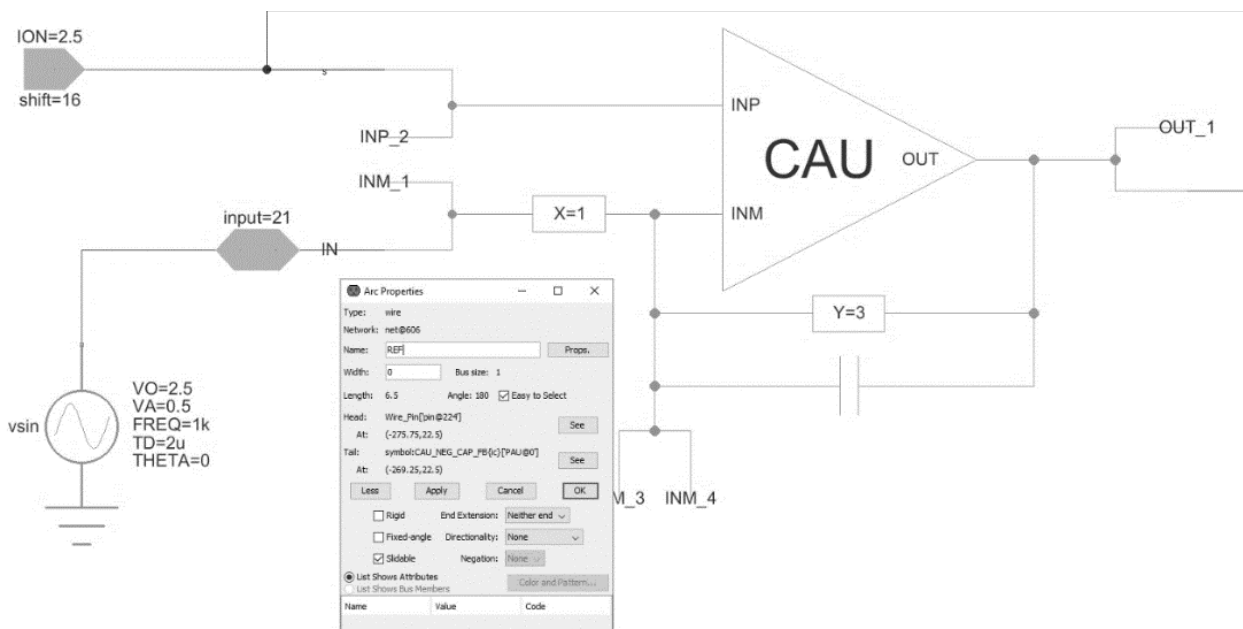




Рисунок 13. Обозначение выводов после построения схемы

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 14).

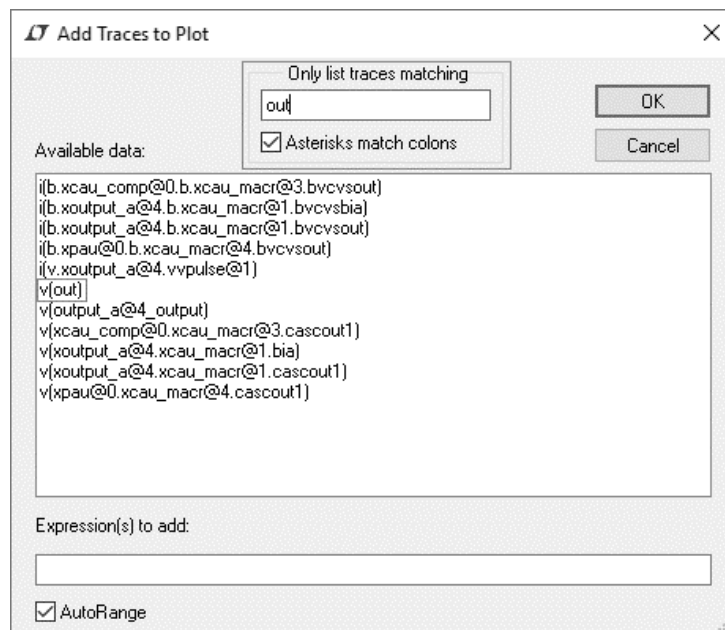


Рисунок 14. Окно вывода результатов моделирования

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 выбранную схему, описание ее работы, описание измерительной схемы и значения входных и выходных параметров. Состав отчета может варьироваться в зависимости от пожеланий преподавателя.