

## Приложение А

### Содержание

|  |    |
|--|----|
| Описание DCS_Electric .....                            | 2  |
| Настройка рабочей станции .....                        | 2  |
| Рекомендуемые системные требования: .....              | 2  |
| Предварительная работа: .....                          | 2  |
| Создание электрической схемы .....                     | 3  |
| Работа в The Electric™ VLSI Design System .....        | 3  |
| Основные блоки схемы .....                             | 5  |
| Ключ .....   | 5  |
| Мультиплексор 2:1 .....                                | 5  |
| INKAY .....  | 5  |
| Делитель напряжения .....                              | 6  |
| Потенциометр .....                                     | 6  |
| Генератор .....  | 6  |
| Линейный регулятор напряжения .....                    | 7  |
| Источник опорного напряжения .....                     | 7  |
| Источник тока .....                                    | 8  |
| Операционный усилитель .....                           | 8  |
| Моделирование электрической схемы .....                | 9  |
| Подготовка к моделированию .....                       | 9  |
| Блоки внешних воздействий .....                        | 9  |
| vpulse – источник прямоугольных импульсов .....        | 9  |
| vpwl – источник напряжения, задаваемый по точкам ..... | 9  |
| vsin – источник синусоидальных импульсов .....         | 10 |
| vsource – источник постоянного напряжения .....        | 10 |
| Создание конфигурационной последовательности .....     | 12 |
| Лист регистрации изменений .....                       | 13 |

## Описание DCS\_Electric

Для работы с микросхемой 5400TP0045A-031 (ПАМС) разработано программное обеспечение DCS\_Electric. Программное обеспечение используется для проектирования, моделирования и конфигурирования схемы.



## Настройка рабочей станции

### Рекомендуемые системные требования:

- операционная система: Windows 7, Windows 8, Windows 10;
- оперативная память 4 ГБ;
- 8 ГБ свободного места на жёстком диске.

### Предварительная работа:

- 1) Скопировать папку с программой на локальный диск.
- 2) Установить *Java* из папки *Install* на диск *C:*
- 3) Запустить файл *electric.bat* из папки с программой.
- 4) Загрузить настройки (выполняется один раз при первом запуске программы):

*File* → *Preferences* → *Import*

Путь к файлу `lelectric\Prefs\Cadence_style_PAMS.xml`

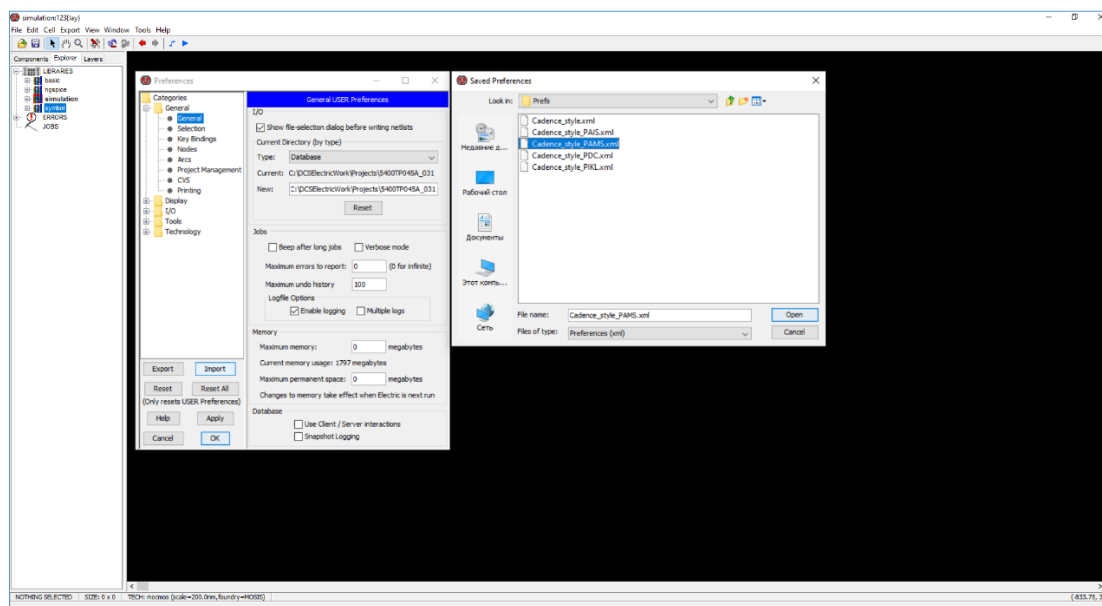


Рисунок 1. Окно загрузки настроек при первом запуске программы

- 5) Перезапустить программу.

## Создание электрической схемы

### Работа в The Electric™ VLSI Design System

1) Открыть проект (*File* → *Open Library*)

*./DCSElectric/Projects/5400TP045A\_031/simulation.jelib*

2) Создать новую схему (правой кнопкой мыши по библиотеке *simulation* → *Create New Cell*)

В открывшемся окне в поле *Name* ввести название схемы, в поле *View* выбрать *schematic*. Нажать кнопку *OK*.

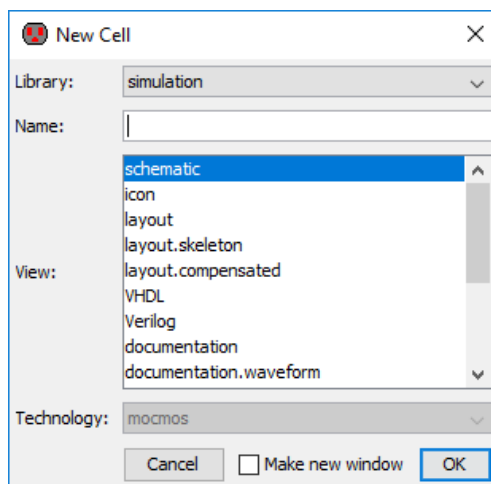


Рисунок 2. Окно создания новой схемы

3) Перенести схему 5400TP045A\_031 из библиотеки *symbol* в рабочее пространство. Для этого нажмите на схему левой кнопкой мыши и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

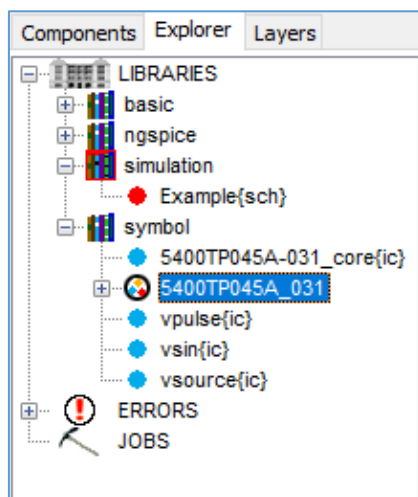


Рисунок 3. Расположение схемы 5400TP045A\_031 в библиотеке *symbol*

Полная схема для проектирования представлена на рисунке.

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
    - «Num2» – перемещение по рабочей области вниз
    - «Num4» – перемещение по рабочей области влево
    - «Num6» – перемещение по рабочей области вправо
    - «Num8» – перемещение по рабочей области вверх
- Отмена действия:
  - Сочетаний клавиш «Ctrl» и «Z»;
  - Нажать на значок «Undo» в поле инструментов.

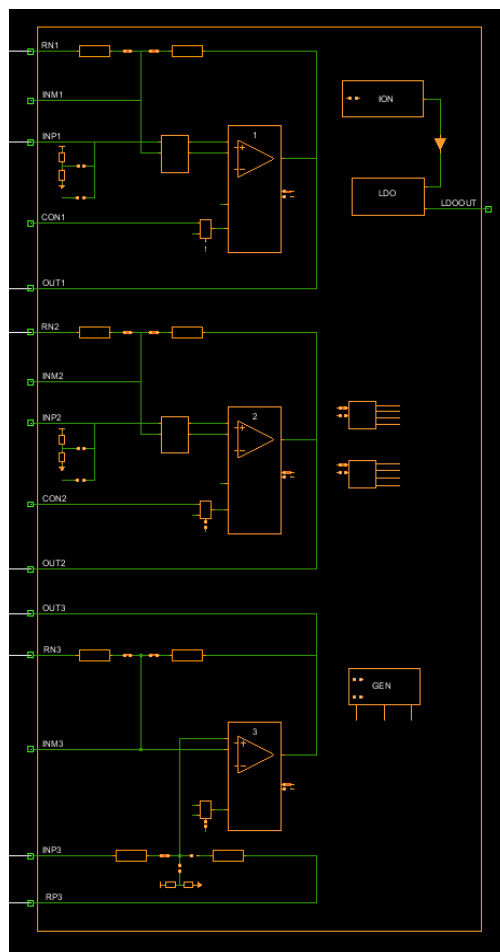


Рисунок 4. Полная схема 5400TP045A-031 в рабочем поле программы

4) Собрать конечную схему, замыкая нужные ключи и выставляя необходимые параметры. Чтобы замкнуть ключ следует нажать на один из контактов ключа левой кнопкой мыши, а затем на другой контакт ключа правой кнопкой мыши.

**Важно!** Для одновременного удаления ключей из отдельного элемента или всей схемы существует скрипт *Delete keys*. Для его использования необходимо выделить либо отдельный элемент левой кнопкой мыши, либо всю схему для удаления всех замкнутых ключей (*Ctrl+A*), затем выполнить команду *Tools → Service methods → Delete keys*. Для удаления одного ключа необходимо зажать клавишу *Ctrl* и нажать левой кнопкой мыши на ключ, который необходимо удалить. После того как ключ будет выделен белым цветом нажать клавишу *Backspace* или *Delete*. Для выделения нескольких ключей необходимо использовать комбинацию *Ctrl+Shift+ЛКМ*.

Чтобы установить параметр необходимо нажать клавишу *Ctrl* и левой кнопкой мыши выделить данный параметр.

~~CONTROL1=C1~~

Рисунок 5. Пример выделенного параметра

После того как параметр выделен, отпустите клавишу *Ctrl* и дважды нажмите левой кнопкой мыши по параметру. Введите необходимый параметр и нажмите клавишу *Enter*.

В процессе проектирования рекомендуется периодически нажимать кнопку F8 (исправление связей). При нажатии проверяются все связи в схеме и удаляются лишние соединительные элементы.

## Основные блоки схемы

## Ключ



Рисунок 6. Графическое изображение ключа

## Мультиплексор 2:1

Блок, в котором значения, поступающие на входы в d0 и d1, передаются на выход в зависимости от управляющего сигнала S:

- если ключ S замкнут, то на выход передается сигнал FB (вход d1);
- если ключ S разомкнут, то на выход передается сигнал CON2 (вход d0).

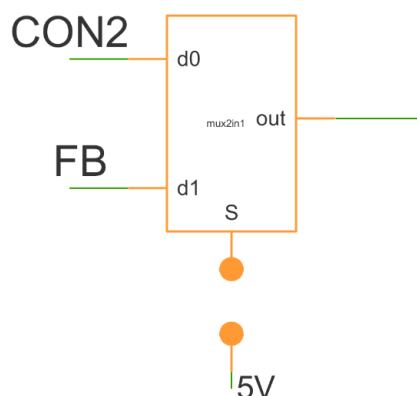
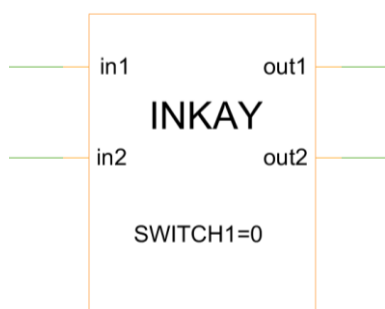


Рисунок 7. Графическое изображение элемента «мультиплексор 2:1»

## INKAY

Блок INKAY содержит два входа in1, in2 и два выхода out1, out2. Блок передает сигнал с входов на выходы в зависимости от параметра SWITCH. Параметр SWITCH устанавливает соотношение выводов согласно таблице истинности (Рисунок 8 б).



а) Графическое изображение

| SWITCH | Соотношение выводов |       |
|--------|---------------------|-------|
|        | Вход                | Выход |
| 0      | in1                 | out1  |
|        | in2                 | out2  |
| 1      | in1                 | out2  |
|        | in2                 | out1  |

б) Таблица истинности

Рисунок 8. Элемент INKAY

### Делитель напряжения

Блок формирует напряжение равное половине напряжения питания.

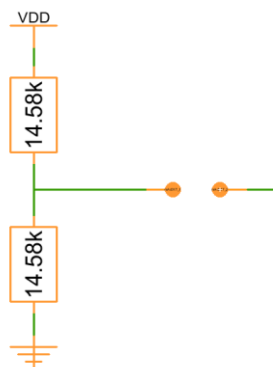


Рисунок 9. Графическое отображение элемента «делитель напряжения»

### Потенциометр

Данный блок состоит из двух резисторов. Соотношение резисторов выставляется при помощи параметров PR. Данные параметры имеют диапазон от 1 до 32. Параметр CONSTANT не изменяется.

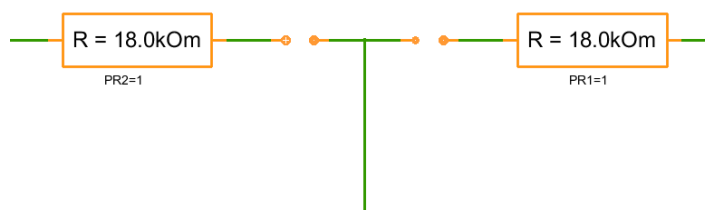


Рисунок 10. Графическое изображение

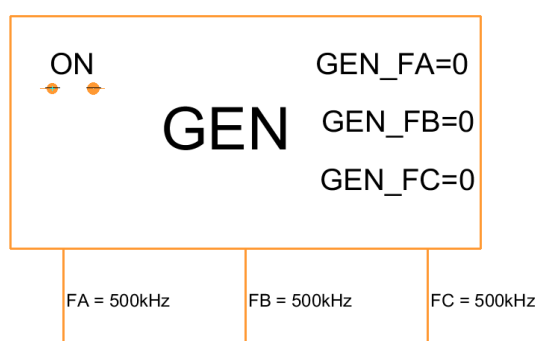
### Генератор

Блок формирует частоту, которая устанавливается на выходах (FA, FB, FC) в зависимости от соответствующего параметра (GEN\_FA, GEN\_FB, GEN\_FC).

Для установки частоты необходимо:

- включить блок – замкнуть ключ, ON;
- ввести значения GEN\_FA, GEN\_FB, GEN\_FC в зависимости от необходимого выхода и частоты.

В таблице (Рисунок 11б) указано соотношение значений GEN\_F и формируемой частоты F.



а) графическое изображение

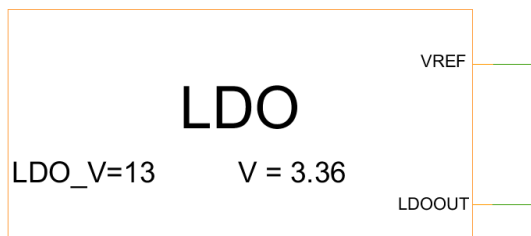
| GEN_F | F, кГц |
|-------|--------|
| 0     | 500    |
| 1     | 250    |
| 2     | 125    |
| 3     | 62,5   |
| 4     | 31,25  |
| 5     | 15,63  |
| 6     | 7,81   |
| 7     | 3,9    |

б) таблица настройки частоты Fx

Рисунок 11. Элемент GEN

### Линейный регулятор напряжения

Блок LDO содержит вход VREF и выход LDOOUT. Вход VREF является опорным уровнем. На выходе LDOOUT по умолчанию формируется напряжение 3,3 В. Параметр LDO\_V имеет диапазон от 0 до 15 и позволяет настраивать выходное напряжение от 1,0 В до 5,0 В. Для использования блока необходимо включить блок ИОН.



| LDO_V | U, В | LDO_V | U, В |
|-------|------|-------|------|
| 0     | 1,05 | 8     | 1,82 |
| 1     | 1,11 | 9     | 2,0  |
| 2     | 1,18 | 10    | 2,23 |
| 3     | 1,25 | 11    | 2,5  |
| 4     | 1,34 | 12    | 2,86 |
| 5     | 1,43 | 13    | 3,36 |
| 6     | 1,54 | 14    | 4,0  |
| 7     | 1,67 | 15    | 5,0  |

а) графическое изображение

б) таблица настройки напряжения

Рисунок 12. Графическое изображение элемента «LDO»

### Источник опорного напряжения

Блок ION имеет один выход OUT, для включения блока необходимо замкнуть ключ ON.

Параметр ION\_SET1 необходим для грубой настройки напряжения (диапазон от 0 до 9).

Параметр ION\_SET2 необходим для тонкой настройки напряжения (диапазон от 0 до 127).



Рисунок 13. Графическое изображение элемента «ION»

### Источник тока

Параметр IB\_OUT необходим для настройки токов в схеме. Диапазон параметра IB\_OUT от 0 до 15. Рекомендованные параметры:

- 4 – низкая скорость работы ОУ, высокая стабильность работы ОУ, низкое токопотребление;
- 8 – средняя скорость работы ОУ, средняя стабильность работы ОУ, среднее токопотребление;
- 15 – высокая скорость работы ОУ, низкая стабильность работы ОУ, высокое токопотребление.

Для включения данного блока необходимо замкнуть ключ EN.

Ключ REFCH используется для выбора источника напряжения данного блока:

- «0» – порог р-канального транзистора;
- «1» – ИОН 1,0 В.

Блок IBGEN1 производит полную настройку токов в ОУ1 и ток усилительного блока в ОУ3. Блок IBGEN2 производит полную настройку токов в ОУ2 и ток блока аналоговой калибровки в ОУ3.

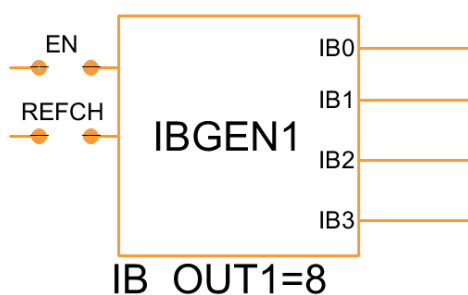


Рисунок 14. Графическое изображение элемента «IBGEN»

### Операционный усилитель

В схеме реализовано три блока ОУ, которые состоят из усилительного блока и блока аналоговой калибровки. Аналоговая калибровка производит непрерывный мониторинг смещения нуля основного ОУ в режиме ООС.

Характеристики работы ОУ3 могут отличаться от характеристик ОУ1 и ОУ2.

Данные операционные усилители могут работать в режиме компаратора. Для включения режима компаратора необходимо параметр COMP изменить на 1. Для работы в режиме ОУ общего применения необходимо параметр COMP изменить на 0.

Для включения ОУ необходимо замкнуть соответствующий ключ ENSTOPA. Ключ ENTOPA необходим для включения блока аналоговой калибровки. Блок ОУ содержит следующие настраиваемые параметры:

MODE – параметр отвечает за управление работы P и N каскадов.

| MODE | Режим работы  |
|------|---|
| 1    | Использование n-канальной дифференциальной пары     |
| 2    | Использование p-канальной дифференциальной пары     |
| 3    | Использование комплиментарной дифференциальной пары |

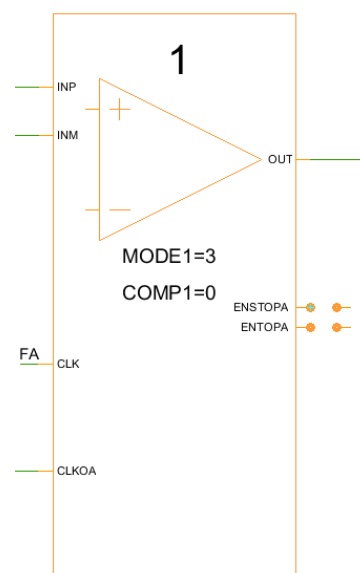


Рисунок 15. Графическое отображение элемента «Операционный усилитель»



## Моделирование электрической схемы

### Подготовка к моделированию

Источники напряжения расположены в библиотеке *symbol*. Чтобы перенести блоки в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

Для входных сигналов рекомендуется использовать источник прямоугольного сигнала (*vpulse*), источник постоянного напряжения (*vsource*) или источник синусоидальных импульсов (*vsin*).

- 1) Установить параметры источников напряжения.
- 2) Соединить вывод источника напряжения с соответствующим входом схемы.

### Блоки внешних воздействий

#### **vpulse – источник прямоугольных импульсов**

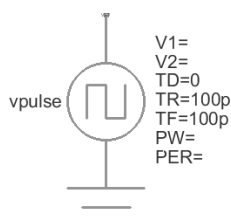


Рисунок 16. Графическое отображение элемента vpulse

|  |                     |
|--|---------------------|
| V1 – значение напряжения нижнего уровня  | TD – время задержки |
| V2 – значение напряжения верхнего уровня | TR – время фронта   |
| PW – ширина импульса                     | TF – время среза    |
| PER – период                             |                     |

#### **vpwl – источник напряжения, задаваемый по точкам**

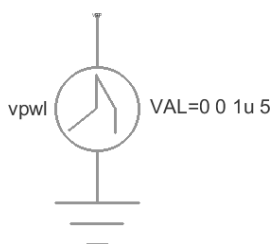


Рисунок 17. Графическое отображение элемента vpwl

VAL = T1 V1 T2 V2 T3 ...

|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| T1 – время T1                       | T2 – время T2                       |
| V1 – значение напряжения в точке T1 | V2 – значение напряжения в точке T2 |

**vsin – источник синусоидальных импульсов**

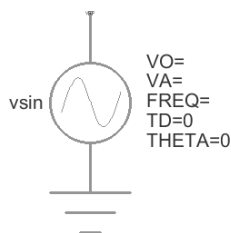


Рисунок 18. Графическое отображение элемента vsin

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| VO – напряжение смещения      | FREQ – частота      |
| VA – амплитуда                | TD – время задержки |
| THETA – коэффициент затухания |                     |

**vsource – источник постоянного напряжения**

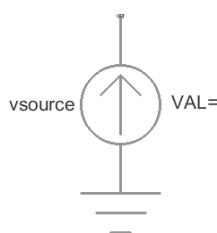


Рисунок 19. Графическое отображение элемента vsource

VAL – значение постоянного напряжения

Для установки параметров источников напряжения необходимо 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 | нано – n  | милли – m | мега – Meg |
| пико – p  | микро – u | кило – K  | гига – G   |

3) Задать параметры моделирования.

Для указания параметров моделирования необходимо перенести из библиотеки *symbol* блок «5400TP045A\_031\_core». Чтобы перенести блок в рабочее пространство, нажмите левой кнопкой мыши на нужный блок и, не отпуская кнопку, перетащите в рабочее пространство.

tstep – шаг моделирования;

tstop – время моделирования;

rshunt – значение сопротивления резистора, добавленного между каждым выводом и «землей» для улучшения сходимости расчетов;

VDD – напряжение питания микросхемы (допустимые значения от 3,0 до 5,0 В);

SAVE – опция ngspice, которая обеспечивает сохранение только написанных цепей в процессе моделирования.

Используется для уменьшения размера файла с результатами моделирования. Для стандартного моделирования поле требуется оставить пустым.

Опция SAVE=all позволяет сохранить все внутренние и внешние цепи. Более подробную информацию можно посмотреть в *ngspice manual* «15.6.1. SAVE: Name vector(s) to be saved in raw file». Пример использования: «SAVE=inp inm out».

```
tran_control
tstep=100n
tstop=2m
rshunt=10G
VDD=5
SAVE=
```

Рисунок 20. Параметры моделирования по времени

4) Обозначить выводы, которые необходимо контролировать (INP, INM, OUT 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.

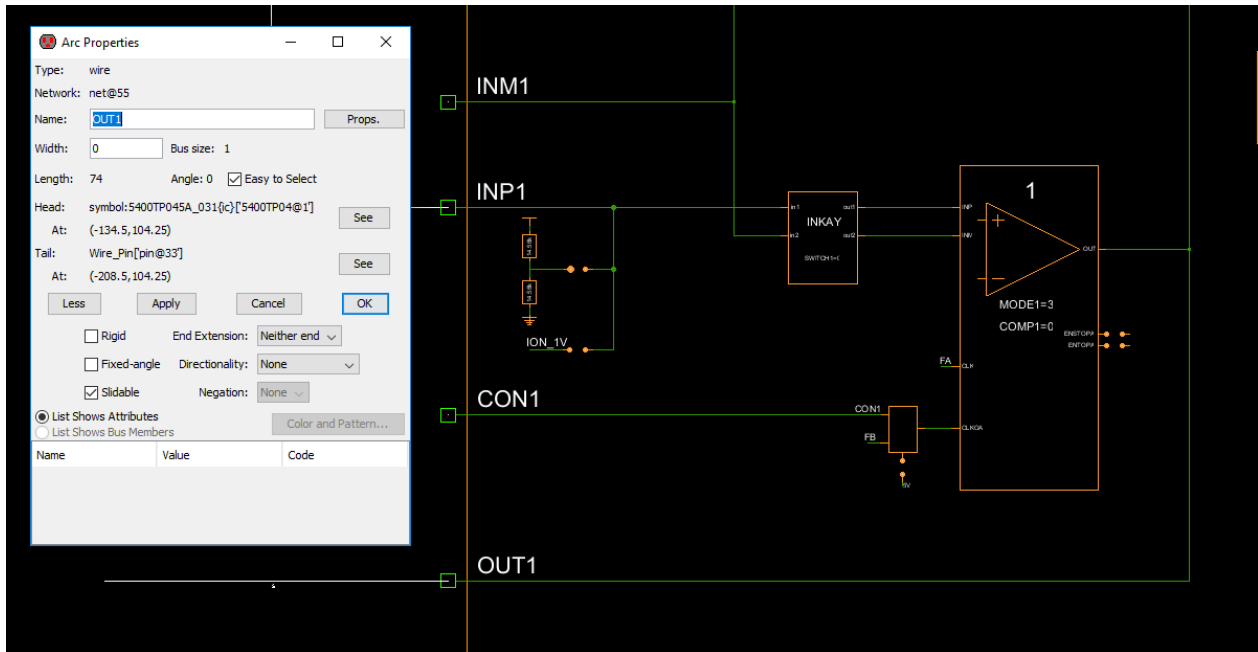


Рисунок 21. Обозначение выводов после построения схемы

5) Сохранить проект (*File* → *Save Library*)

6) Запустить моделирование

*Tools* → *Simulation (Spice)* → *Simulate* (кнопка  на панели инструментов)

7) После завершения процесса моделирования откроется окно *LTSpice IV*.

Для вывода результатов на экран выбрать пункт *Plot Settings* → *Add trace* и в появившемся окне указать нужные выводы (INP, INM, OUT, LDOOUT и т.д.). Выбор проводника осуществляется при помощи поисковой строки «*Only list traces matching*», где вводятся названия выводов. Например, если необходимо посмотреть сигнал на выходе схемы, то в поисковой строке необходимо ввести *out* и нужный проводник будет обозначаться как «*v(out)*».

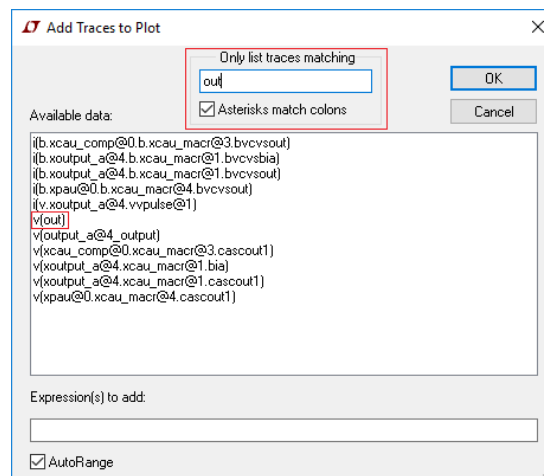


Рисунок 22. Окно вывода результатов моделирования

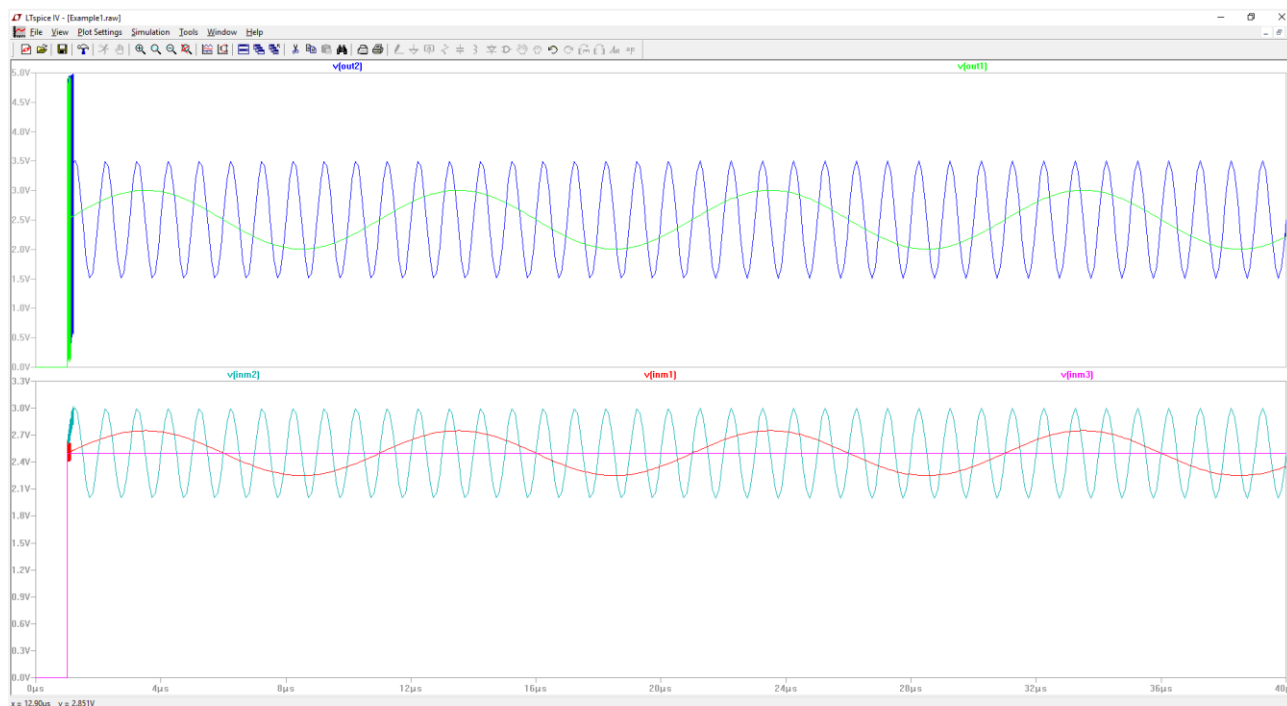


Рисунок 23. Результаты моделирования

Инструменты программы моделирования LTspice IV:

Увеличение 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: *Plot Settings* → *Add Plot Pane*.

Вывод маркеров – нажать левой кнопкой мыши по названию проводника.

Удаление маркера – нажать клавишу «*Delete*» и левой кнопкой мыши выбрать название проводника.

### Создание конфигурационной последовательности

8) Для создания конфигурационной последовательности необходимо нажать кнопку  на панели инструментов.

После создания конфигурационной последовательности замкнутые ключи появятся в файле конфигурационной последовательности `analog_config.txt`.

Путь к файлу `./DCSElectric/config/analog_config.txt`.

