



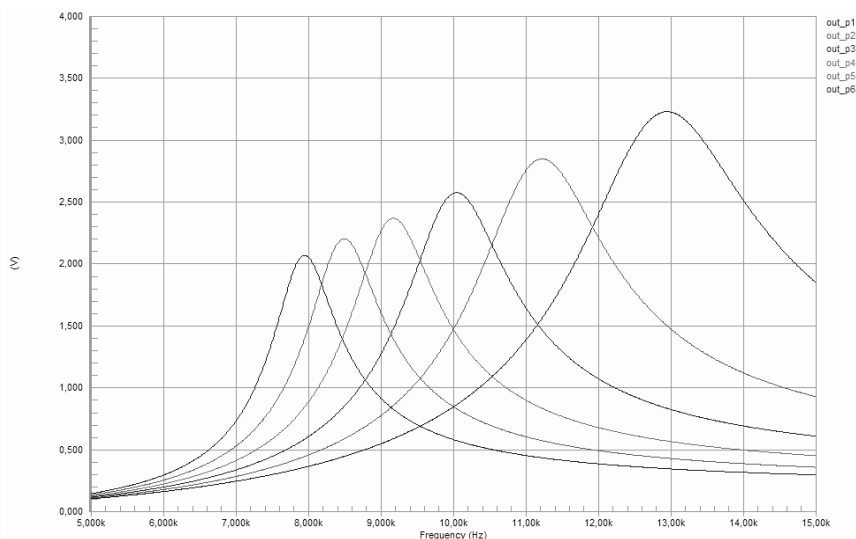
Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры

Д.В.Озёркин

## ALTIUM DESIGNER. SOLIDWORKS

Сборник практических заданий  
по проектированию печатных узлов РЭС

Часть 2. Схемотехническое проектирование



ТОМСК 2012

Министерство образования и науки РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой КИПР

В.Н. ТАТАРИНОВ

“\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ .

Д.В.Озёркин

## **ALTIUM DESIGNER. SOLIDWORKS**

Сборник практических заданий  
по проектированию печатных узлов РЭС

Часть 2. Схемотехническое проектирование

2012

**Рецензент:** доцент каф. КИПР, к.т.н. Ю.П.Кобрин

**Технический редактор:** доцент каф. КИПР, к.т.н. Д.В.Озёркин

**Озёркин Д.В.**

Altium Designer. SolidWorks. Сборник практических заданий по проектированию печатных узлов РЭС.

Часть 2. Схемотехническое проектирование. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 48 с.

Сборник практических заданий предназначен для получения навыков конструирования и проектирования печатных узлов с использованием современных САПР Altium Designer и SolidWorks.

Сборник практических заданий будет полезен для студентов специальностей радиотехнического профиля, а также для разработчиков РЭА, желающих повысить свою квалификацию в области новых информационных технологий.

© Озёркин Д.В., 2012

© Кафедра КИПР Томского

государственного университета систем  
управления и радиоэлектроники, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ЗАДАНИЕ №12. СОЗДАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ.....</b>	<b>4</b>
<b>ЗАДАНИЕ №13. ПОДГОТОВКА СХЕМЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕЧАТНОГО УЗЛА.....</b>	<b>9</b>
<b>ЗАДАНИЕ №14. ИМПОРТИРОВАНИЕ И ЭКСПОРТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ.....</b>	<b>11</b>
<b>ЗАДАНИЕ №15. ОФОРМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПО ЕСКД .....</b>	<b>12</b>
<b>ЗАДАНИЕ №16. РАСШИРЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕДАКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ.....</b>	<b>16</b>
<b>ЗАДАНИЕ №17. ПОДГОТОВКА К СХЕМОТЕХНИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ (АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР) .....</b>	<b>19</b>
<b>ЗАДАНИЕ №18. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР).....</b>	<b>22</b>
<b>ЗАДАНИЕ №19. ПОВЕДЕНЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ).....</b>	<b>29</b>
<b>ЗАДАНИЕ №20. СМЕШАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ЛЮФТ) ...</b>	<b>32</b>
<b>ЗАДАНИЕ №21. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПО МОНТЕ-КАРЛО.....</b>	<b>36</b>
<b>ЗАДАНИЕ №22. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ.....</b>	<b>40</b>
<b>ЗАДАНИЕ №23. ИМПОРТ ПРОЕКТОВ VHDL.....</b>	<b>44</b>
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ .....</b>	<b>48</b>

## ЗАДАНИЕ №12. СОЗДАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

Если Altium Designer запущен заново, то перед началом работы в диалоговом окне Preferences (команда DXP/Preferences) *полезно* загрузить файл настроек (\*.DXPprf), файл примитивов электрических схем (\*.MMsdft) и файл примитивов печатных плат (\*.dft).

### I. Формирование проектной библиотеки.

1. Перед началом работы убедиться в наличии файлов в своей рабочей папке: «УГО ЭРИ.schlib», «Посадочные места ЭРИ.pcblib», «Трехмерные образы ЭРИ.pcb3dlib», «Библиотека на БД.DBLib», «База данных ЭРИ.mdb», а также двух папок «PCBDBLibrary», «SchDBLibrary».
2. Создание новой интегрированной библиотеки. File/New/Project/Integrated Library. Правый щелчок на имени проекта в дереве проектов Integrated\_Library1.LibPkg. Пункт Save Project As. Имя файла = X:\ФПК\Фамилия\Проектная библиотека. Расширение LibPkg добавится автоматически.
3. Присоединение частной библиотеки к интегрированной библиотеке. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Проектная библиотека.LibPkg*. Выбор в контекстном меню пункта Add Existing to Project. Имя файла = УГО ЭРИ.schlib. В результате в дереве проектов появится присоединенная библиотека УГО ЭРИ.
4. Аналогично п. 3 присоединить к интегрированной библиотеке еще две частных библиотеки: «Посадочные места ЭРИ.pcblib», «Трехмерные образы ЭРИ.pcb3dlib». В диалоговом окне Choose Document to Add to Project для нахождения нужного файла выбирается тип файлов из выпадающего списка: PCB Library (\*.pcblib) и PCB3D Library (\*.PCB3DLib), соответственно.
5. Назначение посадочного места. Двойной щелчок на названии *УГО ЭРИ.schlib* в дереве проектов для открытия соответствующей библиотеки. Выбор вкладки SCH Library. Выбор в списке Component названия индуктивности EC24. Список Model на вкладке SCH Library внизу. Кнопка Add. В диалоговом окне Add New Model выбрать в выпадающем списке Footprint. Диалоговое окно PCB Model. Кнопка Browse. Диалоговое окно Browse Libraries. В верхнем выпадающем списке должно автоматически появиться название библиотеки «Посадочные места ЭРИ.pcblib», а в списке Name должны автоматически появиться названия посадочных мест. Выбрать название EC24-150K. Кнопками ОК закрыть два диалоговых окна. В результате в нижней части экрана в двух областях будет присутствовать название подключенного посадочного места, а в правом нижнем углу отображается посадочное место.
6. Назначение трехмерного образа ЭРИ. Убедиться, что на вкладке SCH Library по-прежнему выбрано ЭРИ EC24. Список Model на вкладке SCH Library внизу. Кнопка Add. В диалоговом окне Add New Model выбрать в выпадающем списке PCB3D. Диалоговое окно PCB3D Model Libraries. Выбор варианта Library Path. Кнопка Browse. Имя файла = *Трехмерные образы ЭРИ.pcb3dlib*. Возврат к диалоговому окну PCB3D Model Libraries. В списке Component должны присутствовать названия трехмерных моделей ЭРИ. Выбор из этого списка названия EC24-150K. Кнопка ОК для завершения работы. В результате в нижней части экрана в двух областях будет присутствовать название подключенного трехмерного образа, а в правом нижнем углу отображается трехмерный образ (если в списке моделей выбрана соответствующая модель).
7. Аналогично п. 5, 6 назначить посадочные места и трехмерные образы для остальных ЭРИ (см. таблицу).

УГО ЭРИ	Посадочное место	Трехмерный образ
MBRS120T3	MBRS120T3	MBRS120T3
PLS-2	PLS-2	PLS-02
PWL-2M	PWL-2 M	PWL-02M
RC 0805 103 J	0805	RC_05_103_J
X977T-10	X977T-10	Отсутствует
K73-17	K73-17-23x19x8.5x20	K73-17_2_2мкФ
K133ЛА6	401.14-4	401_14-4
K133ЛА7	401.14-4	401_14-4
K511ПУ2	201.14-7	201_14-7
КТ3102Г	ТО-18	КТ3102_никель
C2-33	C2-33-0.125	Отсутствует

8. Сохранение результатов. File/Save All.

9. Компилирование интегрированной библиотеки. Project/Compile Integrated Library Проектная библиотека.LibPkg. После компилирования справа появится панель Libraries, в которой из выпадающего списка можно выбрать скомпилированную библиотеку «Проектная библиотека.IntLib». Компилированная библиотека размещается в автоматически создаваемой Altium Designer папке Project Outputs for Проектная библиотека.

## II. Подключение библиотеки на основе БД.

1. Боковая панель Libraries. Кнопка Libraries. Диалоговое окно Available Libraries. Вкладка Installed. Кнопка Install. Поиск и загрузка библиотеки *Библиотека на БД.DBLib*. Убедиться, что в диалоговом окне *Открыть* в выпадающем списке выбран тип файлов Database Library (\*.DBLib).

2. В результате в списке подключенных библиотек диалогового окна Available Libraries появится искомая библиотека. Кнопка Close. В выпадающем списке библиотек панели Libraries теперь можно выбрать подключенную библиотеку.

## III. Создание электрической схемы.

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Правый щелчок на имени проекта PCB\_Project1.PrjPCB. Пункт Save Project As. Имя файла = X:\ФПК\Фамилия\Устройство аналого-цифровое. Расширение PrjPCB добавится автоматически.

2. Добавление листа электрической схемы. File/New/Schematic. Сохранение. File/Save As. Имя файла = Электрическая схема устройства аналого-цифрового. Расширение SchDoc добавится автоматически.

3. Убедиться в правильных настройках документа. Design/Document Options. Вкладка Units. Должно быть включено Use Metric Unit System. Вкладка Sheet Options. Установить: Snap Grid = 2 mm; Visible Grid = 2 mm; Electrical Grid = 2 mm.

4. Размещение ЭРЭ. Боковая панель Libraries. В выпадающем списке выбрать «Проектная библиотека.IntLib». Поиск в списке компонента EC24. Кнопка Place EC24.

5. Клавиша Tab на клавиатуре. Уточнение свойств компонента.

Designator = L1.

Справа сверху имеется область Parameters for L?-EC24. В этой области присутствуют параметры, характеризующие индуктивность, которые были введены на этапе создания библиотеки. В данном случае ничего вводить не надо.

Кнопка OK. Затем щелчок на поле чертежа в месте, где нужно разместить индуктивность (см. схему на отдельном листе).

Примечание. Полезные сочетания клавиш при размещении ЭРЭ при *латинской* раскладке.

V, F – размещенные на поле объекты заполняют весь экран;

V, D – на экране отображается весь лист;

X – зеркальное отображение по оси X;

Y – зеркальное отображение по оси Y;

SpaceBar – поворот ЭРЭ;

PgUp – приближение;

PgDn – удаление.

6. Аналогично пунктам 4, 5 размещаются на поле чертежа резисторы C2-33: R1, R2, R3. Если указать, что первый резистор имеет позиционное обозначение R1, то все последующие резисторы при размещении будут иметь автоматически увеличивающийся номер в позиционном обозначении. В области Parameters for R?-C2-33 найти параметр Nominal и записать в столбце Value номинальное значение сопротивления:

Для R1 – Nominal = 2.4K

Для R2 – Nominal = 10K

Для R3 – Nominal = 120K

7. Аналогично пунктам 4, 5 размещается на поле чертежа конденсатор C1 K73-17. Все параметры для него уже установлены.

8. Аналогично пунктам 4, 5 размещаются на поле чертежа диод VD1 MBR5120T3 и транзистор VT1 KT3102Г. Все параметры для них уже установлены.

9. Аналогично пунктам 4, 5 размещаются на поле чертежа микросхема DD1 K511ПУ2 и микросхема DD2 K133ЛА6. При размещении многосекционных микросхем секции следуют друг за другом – DD1:1, DD1:2; DD1:3, DD1:4 и DD2:1, DD2:2. Номера выводов секций при этом изменяются автоматически. Все параметры для микросхем уже установлены.

10. Аналогично пунктам 4, 5 размещается на поле чертежа клеммная колодка X1 X977T-10. При размещении многосекционной клеммной колодки ограничимся только первыми четырьмя секциями – X1:1, X1:2; X1:3, X1:4. Все параметры для клеммной колодки уже установлены.

11. Размещение ЭРЭ из библиотеки базы данных (как возможный вариант). Боковая панель Libraries. В выпадающем списке выбрать «Библиотека на БД.DBLib». Поиск в списке компонента КМ6П002 с номинальной емкостью 330 пФ. Кнопка Place КМ6.

12. Аналогично пункту 5 установить позиционное обозначение конденсатора. В диалоговом окне свойств установить Comment = =Tip. Выключить опцию Visible у параметра Nominal.

13. Размещение портов общего проводника GND. Place/Power Port. Клавиша Tab на клавиатуре. Уточнение свойств.

Style = Power Ground.

Net = GND.

Выключить Show Net Name.

14. Редактирование места положения позиционных обозначений на поле чертежа. Выделяем щелчком мыши позиционное обозначение – появляется зеленая рамка. Затем перетаскиваем позиционное обозначение на новое место.

15. Размещение текстовой информации внутри символа клеммной колодки. Place/Text String. Клавиша Tab на клавиатуре. Уточнение свойств.

Text = Выход А.

16. Аналогично пункту 15 добавить надписи «Выход В», «Вход», «+5В».

17. Прорисовка шин (линии групповой связи). Place/Bus. Режим 90 Degree start. Смена режима рисования происходит последовательным перебором сочетания клавиш Shift+Spacebar. Информация о текущем режиме рисования отображается в строке статуса.

18. Размещение символа ввода в шину (см. схему на отдельном листе). Place/Bus Entry.

19. Прорисовка одиночных проводников. Place/Wire. Режим 90 Degree start. Смена режима рисования происходит последовательным перебором сочетания клавиш Shift+Spacebar. Информация о текущем режиме рисования отображается в строке статуса.

Примечание. Иногда возникают ситуации, что в месте соединения четырех проводников узел электрической связи автоматически не выставляется (например, место соединения ЭРИ R1, R2, VD1, C2). В этом случае следует воспользоваться командой Place/Manual Junction.

20. Именованние шины. Place/Net Label. Клавиша Tab на клавиатуре. Уточнение свойств.

Net = A[7..0].

Кнопка ОК, затем щелчок на любом месте шины.

21. Именованние проводников. Place/Net Label. Клавиша Tab на клавиатуре. Уточнение свойств.

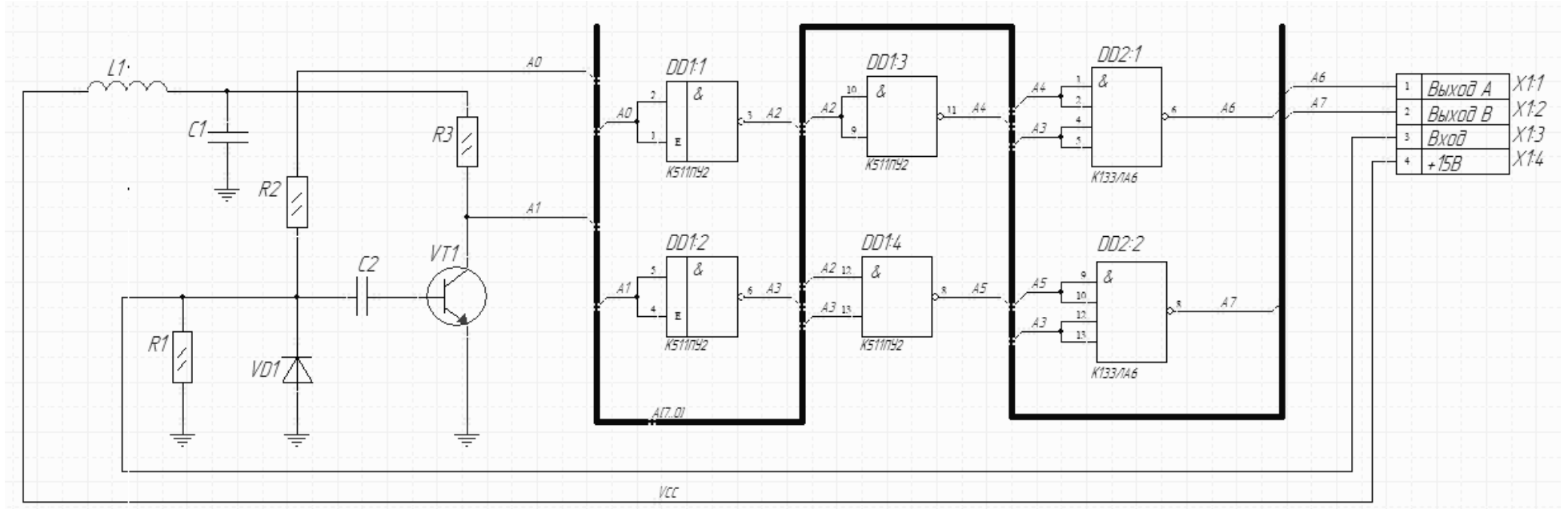
Net = A0.

Кнопка ОК, затем щелчок на любом месте проводника, который должен иметь такое имя.

22. Аналогично пункту 21 присвоить имя соответствующим проводникам: A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, VCC. Проводник VCC не входит в шину A[7..0], однако специальное имя требуется, чтобы подсоединить скрытые выводы питания у микросхем DD1 и DD2.

23. Сохранение проекта. File/Save All.





## ЗАДАНИЕ №13. ПОДГОТОВКА СХЕМЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕЧАТНОГО УЗЛА

Если Altium Designer запущен заново, то перед началом работы в диалоговом окне Preferences (команда DXP/Preferences) *полезно* загрузить файл настроек (\*.DXPprf), файл примитивов электрических схем (\*.MMsdft) и файл примитивов печатных плат (\*.dft).

I. Определение логически эквивалентных выводов и вентилях в схеме.

1. Убедиться, что по-прежнему находимся в проекте «Устройство аналого-цифровое.PrjPCB» и активным является документ «Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc».
2. Выбор метода перестановки выводов. Project/Project Options. Диалоговое окно Options for PCB Projects Устройство аналого-цифровое.PrjPCB. Вкладка Options. Группа Allow Pin-Swapping Using These Methods. Установить галочку напротив метода Changing Schematic Pins. Другую опцию выключить.
3. Выделить на электрической схеме любую секцию микросхемы DD1. Щелчок правой клавишей мыши. Пункт Part Action. Подпункт Configure Pin Swapping.
4. Диалоговое окно Configure Pin Swapping for [DD1 in Устройство аналого-цифровое.PrjPCB/(No Configuration)]. В левой части таблица имеется раздел Pin Status. Этот раздел уже заполнен. В правой части таблицы находится раздел Swap Control Fields.
5. Заполним раздел Swap Control Fields как показано на рисунке.

Pin Status						Swap Control Fields		
Designator	Pin Name	Net	Bus	Type	Part No.	Pin Group	Part Group	Part-Sequence
1	E	A0	A	Passive	1		Swap1	E
2	IN	A0	A	Passive	1		Swap1	IN
3	Out	A2	A	Passive	1		Swap1	OUT
4	E	A1	A	Passive	2		Swap1	E
5	IN	A1	A	Passive	2		Swap1	IN
6	Out	A3	A	Passive	2		Swap1	OUT
7	GND	GND		Power	1			
8	Out	A5	A	Passive	4	Output4	Swap2	OUT
9	In2	A2	A	Passive	3	Input3	Swap2	IN
10	In1	A2	A	Passive	3	Input3	Swap2	IN
11	Out	A4	A	Passive	3	Output3	Swap2	OUT
12	In1	A2	A	Passive	4	Input4	Swap2	IN
13	In2	A3	A	Passive	4	Input4	Swap2	IN
14	VCC	VCC		Power	1			

**Примечание 1.** Столбец Pin Group показывает возможность перестановки эквивалентных выводов в пределах одной секции. Выводы, имеющие одинаковый признак в столбце Pin Group, могут быть переставлены. В нашем случае могут быть переставлены выводы In1 и In2, имеющие признаки Input3 (для секции 3) и Input4 (для секции 4).

**Примечание 2.** Столбец Part Group показывает возможность перестановки секций в пределах одной микросхемы. Микросхема DD1 имеет разнородные секции, а значит не все перестановки возможны. Возможна перестановка секций 1 и 2. У этих секций одинаковый признак Swap1. Возможна также перестановка секций 3 и 4. У этих секций одинаковый признак Swap2.

**Примечание 3.** Столбец Part-Sequence показывает взаимное соответствие выводов при перестановке.

6. Аналогично п. 3...5 определим параметры эквивалентности для микросхемы DD2. Пример заполнения таблицы представлен на рисунке.

Designator	Pin Name	Pin Status				Swap Control Fields		
		Net	Bus	Type	Part No.	Pin Group	Part Group	Part-Sequence
1	In1	A4	A	Passive	1	Input1	Swap	In
2	In2	A4	A	Passive	1	Input1	Swap	In
3	Free			Passive	1			
4	In3	A3	A	Passive	1	Input1	Swap	In
5	In4	A3	A	Passive	1	Input1	Swap	In
6	Out	A6	A	Passive	1	Output1	Swap	Out
7	GND	GND		Power	1			
8	Out	A7	A	Passive	2	Output2	Swap	Out
9	In1	A5	A	Passive	2	Input2	Swap	In
10	In2	A5	A	Passive	2	Input2	Swap	In
11	Free			Passive	1			
12	In3	A3	A	Passive	2	Input2	Swap	In
13	In4	A3	A	Passive	2	Input2	Swap	In
14	VCC	VCC		Power	1			

## II. Объединение цепей в классы и задание правил проектирования.

1. Объединение цепей в классы обычно проводится на этапе топологического проектирования, однако можно назначить классы цепей и на стадии схемотехнического проектирования. Place/Directives/Net Class. Клавиша Tab для уточнения свойств.

2. Диалоговое окно Parameters. Кнопка Edit. В строке Name уже установлено Class-Name. В строке Value вносим название класса *Шина*. Закрываем все диалоговые окна.

3. Щелкнуть левой клавишей мыши в любом месте шины на электрической схеме. В результате на экране появится специальный значок NetClass.

4. Аналогично п. 1...3 назначить двум цепям «Вход» и «+5В» класс *Силовые*.

5. Разрешение генерации классов цепей. Project/Project Options. Диалоговое окно Options for PCB Projects Устройство аналого-цифровое.PrjPcb. Вкладка Class Generation. Включить опцию Generate Net Classes (справа внизу). Выключить опцию Generate Net Classes for Buses (вверху слева).

6. Задание правил проектирования. Этот этап обычно проводится на этапе топологического проектирования, однако можно установить некоторые правила и на стадии схемотехнического проектирования. Например, установим правило «Ширина печатных проводников для класса цепей *Шина*». Place/Directives/PCB Layout. Клавиша Tab для уточнения свойств.

7. Диалоговое окно Parameters. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Кнопка Edit Rule Values. Список правил проектирования Choose Design Rule Type. Раздел Routing. Двойной щелчок на пункте Width Constraint.

8. Диалоговое окно Edit PCB Rule (from Schematic) – Max-Min Width Rule. В верхней части диалогового окна на размерах рисунка указываем:

Min Width = 0.25mm; Preferred Width = 0.3mm; Max Width = 0.35mm.

Закрываем все диалоговые окна.

9. Щелкнуть левой клавишей мыши в любом месте шины электрической схемы. В результате на экране появится специальный значок PCB Rule.

10. Задание свойств проверки схемы. Project/Project Options. На вкладках Error Reporting и Connection Matrix задаются все правила проверки электрических схем. Если нет определенных требований проверки, то можно оставить все значения по умолчанию.

11. Компиляция электрической схемы. Project/Compile PCB Project Учебный проект.PrjPCB.

12. Просмотр ошибок и сообщений. Кнопка System внизу справа. Выбор пункта Messages. Исследование окна Messages на предмет ошибок и замечаний. Если ошибок нет, то в окне Message должны появиться только предупреждения Warning:

Adding items to hidden net GND – присоединение скрытых выводов микросхем к цепи GND;

Adding items to hidden net VCC – присоединение скрытых выводов микросхем к цепи VCC;

Component X1 X977T-10 has unused sub-part – разъем X1 имеет неиспользуемые секции.

С этими предупреждениями мы соглашаемся.

13. Устранение ошибок (если они есть) и сохранение проекта. File/Save All.

## ЗАДАНИЕ №14. ИМПОРТИРОВАНИЕ И ЭКСПОРТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Если Altium Designer запущен заново, то перед началом работы в диалоговом окне Preferences (команда DXP/Preferences) *полезно* загрузить файл настроек (\*.DXPprf), файл примитивов электрических схем (\*.MMsdft) и файл примитивов печатных плат (\*.dft).

### I. Импорт электрической схемы.

1. Вкладка Projects. Команда File/Import Wizard. Кнопка Next.
2. Выбор из списка типа конвертируемых файлов. PCAD Designs and Libraries Files. Кнопка Next.
3. Кнопка Add. Поиск и загрузка электрической схемы X:/Program Files/P-CAD 2006/Tutorial/Tutor.sch. Кнопка Next.
4. Кнопка Add. Поиск и загрузка библиотеки «Tutor.lib». Кнопка Next.
5. Формирование формата названий посадочных мест с помощью семи выпадающих списков. Можно оставить значения по умолчанию. Кнопка Next.
6. Информационное окно о формате схемных компонентов. Кнопка Next.
7. Установка опций конвертации. Можно оставить опции по умолчанию. Кнопка Next.
8. Указание пути сохранения электрической схемы. Project Output Directory = X:/ФПК/Фамилия. Кнопка Next.
9. Указание пути сохранения для библиотеки схемных элементов. Project Output Directory = X:/ФПК/Фамилия. Кнопка Next. Кнопка Finish.
10. Вкладка Projects. Исследование содержания двух проектов: «Tutor.PrjPCB» и «Tutor.LibPkg». В первом проекте содержится конвертированная электрическая схема, а во втором проекте конвертированная библиотека схемных элементов. Конвертированные файлы автоматически сохраняются в специальных папках Imported Tutor.lib и Imported Tutor.PrjPCB .

### II. Экспорт электрической схемы.

1. Открытие ранее созданной электрической схемы. Команда File/Open. «Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc».
2. Экспорт электрической схемы. File/Save Copy As.

Тип файла=	{	Advanced Schematic ASCII (*.schdoc) - текстовый формат файла; Schematic binary 4.0 (*.sch) - формат файла для Protel 99 SE; OrCAD SDT Schematic (*.sch) - формат файла для OrCAD; Export AutoCAD Files (*.dwg;*.dxf) - формат файлов для AutoCAD.
------------	---	--

## ЗАДАНИЕ №15. ОФОРМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПО ЕСКД

Если Altium Designer запущен заново, то перед началом работы в диалоговом окне Preferences (команда DXP/Preferences) *полезно* загрузить файл настроек (\*.DXPprf), файл примитивов электрических схем (\*.MMsdf) и файл примитивов печатных плат (\*.dft).

### I. Работа с основной надписью.

1. Вкладка Projects. File/Open Projects. Поиск и загрузка проекта «Устройство аналого-цифровое.PrjPCB». Выбор и загрузка документа «Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc».

2. Указание параметров для основной надписи. Design/Document Options. Вкладка Parameters.

Developed = *Своя фамилия*

Decimal = *КИПР.469535.001 ЭЗ*

Letter = *T*

Sheet = *1*

Sheets = *1*

Кнопка ОК. В результате в графах основной надписи должны появиться введенные параметры

Примечание. Заметим, что в основной надписи имеется несколько недостатков: формат даты содержит год и поэтому выходит за пределы графы; в графе «Утв.» не указана фамилия; отсутствует наименование устройства, которое должно быть написано выше слов «Схема электрическая принципиальная». Устраним отмеченные недостатки.

3. Загрузка форматки А3. File/Open. Тип файла = Schematic template (\*.schdot;\*.dot). Поиск и загрузка файла «А3\_Первый лист\_Альбомный.SchDot».

4. Масштабирование основной надписи на весь экран. View/Area.

5. Выделить текущую дату в основной надписи. Появится зеленая рамка. Удалить текущую дату нажатием на Del.

6. Добавление нового параметра в основную надпись форматки. Design/Document Options. Вкладка Parameters. Кнопка Add.

Name = Approve

Value = \*

Убедиться, что Font/Change = GOST Type A, курсив, 13.

Кнопка ОК. В результате в списке должен появиться новый параметр Approve (Утверждаю).

7. Размещение параметра в основной надписи. Place/Text String. Клавиша Tab на клавиатуре. Выпадающий список в поле Text. Выбор параметра Approve (в самом низу). Кнопка ОК. Размещение параметра в соответствующей графе. Клавиша Esc на клавиатуре. Поскольку конкретного значения у параметра Approve нет, то при размещении будет отображаться только звездочка.

8. Сохранение изменений в форматке. File/Save. File/Close.

9. Работа с документом «Электрическая схема.SchDoc». Снятие старого варианта форматки. Design/Template/Remove Current Template. Выбор варианта Just this document. В результате на листе должна исчезнуть основная надпись.

10. Надевание нового варианта форматки. Design/Template/Set Template File Name. Поиск и загрузка файла «А3\_Первый лист\_Альбомный.SchDot».

Choose document scope = Just this document.

Choose parameter action = Add new parameters that exist in the template only.

11. Указание значения для нового параметра. Design/Document Options. Вкладка Parameters.

Approve = Татаринов

Кнопка ОК. В результате в основной надписи напротив графы «Утв.» должно появиться значение параметра «Татаринов».

12. Добавление даты в основную надпись. Place/Text String. Клавиша Tab на клавиатуре. Text = сегодняшняя дата в формате: хх.уу, где хх – число, уу – месяц. Кнопка ОК. Щелчок мышью в нужной графе. Клавиша Esc на клавиатуре.

13. Добавление названия устройства в основную надпись. Place/Text Frame. Клавиша Tab на клавиатуре.

Alignment = Center.

Draw Solid выключить.

Text/Change = Устройство аналого-цифровые. Слово «аналого-цифровые» следует написать с новой строки.

Font/Change = GOST Type A, курсив, 19.

Кнопка ОК. Два щелчка на концах воображаемой диагонали рамки с текстом (левый нижний угол, правый верхний угол).

14. С помощью мыши выровнять местоположение надписи. Надпись должна быть выше слов «Схема электрическая принципиальная», но в этой же графе.

15. Разворот текстовых надписей «вверх ногами» в *схемном* редакторе Altium Designer не предусмотрен. Предлагается следующий выход из положения.

а) увеличить десятичную характеристику на весь экран;

б) клавишей PrtScr сделать скриншот экрана;

в) в редакторе Paint отразить надпись «вверх ногами» и сохранить, например, в формате tif;

г) в среде Altium Designer выполнить команду Place/Drawing Tools/Graphic. Два щелчка на концах воображаемой диагонали рамки с рисунком (левый нижний угол, правый верхний угол). Поиск и загрузка графического файла с перевернутой надписью;

д) с помощью угловых маркеров добиться, чтобы рисунок поместился внутри графы.

## II. Экспорт в формат PDF.

1. Запуск мастера. File/Smart PDF. Кнопка Next.

2. Выбор варианта Current Document (Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc). Output File Name = X:\ФПК\Фамилия\Электрическая схема устройства аналого-цифрового.pdf. Кнопка Next.

3. Выбор варианта цветового режима. Color Mode = Monochrome. Кнопка Next.

4. В текущем диалоговом окне можно оставить все значения по умолчанию. Кнопка Next.

5. Включить опцию Open PDF file after export. Кнопка Finish.

6. Исследовать дерево Schematics, которое расположено в левой части экрана Adobe Reader.

## III. Генерация отчетов.

1. Запуск мастера генерации отчетов. Reports/Bill of Materials. Появление таблицы отчета посередине окна.

2. Нижний левый список. Установить галочки для следующих параметров:

Designator

Nominal

Quantity

Tip

ТКЕ

TU

Variant Ispolneniya

Все остальные параметры выключить.

3. Нажать левой клавишей мыши на серое поле Designator и перетащить его в крайнюю левую позицию таблицы. При появлении двух зеленых стрелок отпустить поле. В результате поле Designator должно стать первым столбиком таблицы.

4. Аналогично поступить с остальными столбцами. Порядок следования должен отражать порядок записи в перечне элементов:

Designator    Тип    Variant Ispolneniya    ТКЕ    Nominal    TU    Quantity

5. В выпадающем списке (внизу слева) File Format выбрать Microsoft Excel Worksheet (\*.xls). Включить опцию Open Exported. Очистить строку ввода Template от любых значений.

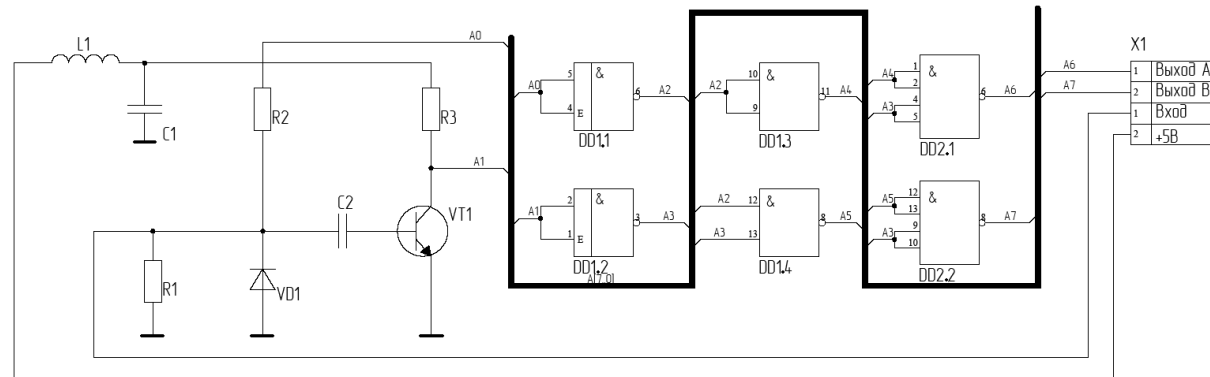
6. Запуск генерации отчета. Кнопка Export (внизу слева). Имя файла = Устройство аналого-цифровое. Расширение xls добавится автоматически. По умолчанию файл сохраняется в автоматически создаваемую Altium Designer папку Project Outputs for Устройство аналого-цифровое.

7. В результате на экране должен появиться лист Microsoft Excel с таблицей компонентов. Такая форма представления наиболее близка к перечню элементов, предусмотренному ГОСТ.

8. Возврат к диалоговому окну Bill of Materials и его закрытие. Кнопка ОК.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Designator	Тип	Variant Ispolneniya	ТКЕ	Nominal	TU	Quantity
2	C1	K73-17			2.2 мкФ	ОЖ0.461.104	1
3	C2	КМ6	Б	П33	330 пФ	ОЖ0.460.061ТУ	1
4	DD1	К511ПУ2				6К0.348.149 ТУ	1
5	DD2	К133ЛА6				БК0.348.086-01 ТУ	1
6	L1	ЕС24-150К			15 мкГн		1
7	R1, R2, R3	С2-33			2.4К, 10К, 120К	QC400101.SU0005-3	3
8	VD1	MBRS120Т3					1
9	VT1	КТ3102Г				аА0.336.122ТУ-86	1
10	X1	X977					1

КИПР.469535.001 ЭЗ



Изм. прорис.

Стор. №

Лист и дата

Изм. № докум.

Взвешен шиф. №

Лист и дата

Изм. № подл.

				КИПР.469535.001 ЭЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Устройство аналого-цифровое Схема электрическая принципиальная	
Разработ.		Иванов		13.09		
Проб.		Озеркин				
Т.контр.						
Н.контр.					Т.У.С.У.Р.	
Утв.		Татаринова			каф. КИПР	



## ЗАДАНИЕ №16. РАСШИРЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕДАКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Если Altium Designer запущен заново, то перед началом работы в диалоговом окне Preferences (команда DXF/Preferences) *полезно* загрузить файл настроек (\*.DXPprf), файл примитивов электрических схем (\*.MMsdft) и файл примитивов печатных плат (\*.dft).

### I. Групповое редактирование свойств ЭРЭ.

1. Вкладка Projects. Выбор проекта «Устройство аналого-цифровое.PrjPCB». Выбор документа «Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc».
2. Выделим одинарным щелчком мыши любую секцию любой микросхемы. Выполним на выделенной секции правый щелчок.
3. Пункт Find Similar Objects. Появление диалогового окна Find Similar Objects.
  - Раздел Kind (в самом верху). Object Kind = Any (изменить Same на Any в выпадающем списке).
  - Раздел Object Specific. Component Designator = DD\* (изменить конкретное значение на DD\*).
  - Включить опцию Select Matching.
  - Включить опцию Run Inspector.
- Кнопка Apply. Отодвинуть в сторону диалоговое окно и убедиться, что выбраны все секции микросхем.
- Кнопка OK.
4. Автоматический запуск диалогового окна SCH Inspector. Раздел Object Specific. Нажатие на пункт Part Comment.
5. Автоматическое появление подчиненного диалогового окна SCH Inspector.
  - Раздел Graphical. Выключить Hide. Рядом появится, а потом исчезнет значение False. Названия микросхем на поле чертежа должны появиться.
  - Раздел Object Specific. Нажатие на кнопку Owner.
- Возврат к предыдущему диалоговому окну. Закрытие окна SCH Inspector.
6. Снятие выделения нажатием на кнопку Clear (правый нижний угол).
7. С помощью мыши переместить названия микросхем в надлежащее место.

### II. Замена УГО на альтернативный вариант.

1. Загрузка проекта «Проектная библиотека.LibPkg». File/Open = Проектная библиотека.
2. Двойной щелчок на документе «УГО ЭРИ.SchLib». Вкладка SCH Library. Выбор в списке компонента КТ3102Г.
3. Выделение графики. Edit/Select/All. Копирование графики. Edit/Сору.
4. Добавление альтернативного вида УГО. Tools/Mode/Add. На экране появится новое чистое поле. Edit/Paste. Зафиксировать копию изображения в таком же положении относительно точки привязки, как и в первоначальном варианте.
5. Удаление окружности в альтернативном варианте. Выделить щелчком мыши окружность и нажать на Del.
6. Сравнение двух вариантов УГО. Нажатием на кнопки  $\Leftarrow$  и  $\Rightarrow$ , которые представлены на панели инструментов, проверить графику двух вариантов транзистора. Если такие кнопки отсутствуют, то можно воспользоваться командами Tools/Mode/Previous и Tools/Mode/Next. При сравнении важно убедиться, что оба изображения расположены одинаково относительно точки привязки.
7. Редактирование графики альтернативного варианта транзистора без окружности. Шаг сетки 0.5 mm циклическим перебором клавиши G. Подтянуть наклонные линии к

выводам коллектора и эмиттера, чтобы не было зазоров (если есть необходимость). Немного сдвинуть стрелку эмиттера (если есть необходимость).

8. Сохранение результатов. File/Save.

9. Рекомпиляция интегрированной библиотеки. Project/Recompile Integrated Library Проектная библиотека.LibPkg. После компиляции справа появится панель Libraries, в которой в выпадающем списке будет установлена рекомпилированная библиотека «Проектная библиотека.IntLib».

10. Закрытие проекта «Проектная библиотека. LibPkg». Щелчок правой клавишей мыши на названии проекта. Выбор в контекстном меню пункта Close Project.

11. Вкладка Projects. Выбор или загрузка проекта «Устройство аналого-цифровое.PrjPCB». Сделать активным документ «Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc».

12. Обновление библиотечной информации. Tools/Update From Libraries.

Первый экран мастера обновления. Оставим галочку в таблице справа только возле названия КТ3102Г. Кнопка Next.

Второй экран мастера обновления. Убедимся, что в разделе таблице Actions выполняемое действие Full Replace. Кнопка Finish.

Третий экран мастера обновления Engineering Change Order. Кнопка Validate Changes. Справа появится зеленая галочка. Кнопка Execute Changes. Справа еще одна галочка.

Кнопка Close для закрытия мастера обновлений.

13. Выделим одинарным щелчком мыши транзистор. Кнопка SCH (справа внизу экрана). Выбор пункта SCH Inspector.

14. Диалоговое окно SCH Inspector. Раздел Graphical.

Display Mode = Alternate 1 (выбор значения из выпадающего списка).

Закрытие диалогового окна.

15. Сохранение результатов. File/Save.

### III. Групповая замена одного типа компонентов на другой тип.

1. Запуск мастера обновления библиотечной информации. Tools/Update From Libraries.

2. Первый экран мастера обновления. Таблица Component Types. Выключим все компоненты в таблице, кроме C2-33. Кнопка Next.

3. Второй экран мастера обновления. В таблице должны остаться только три резистора R1, R2, R3, которые подлежат замене. С помощью клавиши Shift и мыши выделить все три резистора в таблице. Кнопка Choose Component (внизу слева). В появившемся диалоговом окне Browse Library убедиться, что установлена библиотека «Проектная библиотека.IntLib». Выбрать в списке чип-резистор RC 0805 103 J. Кнопка ОК. Возврат к предыдущему диалоговому окну. В результате в разделе таблицы Library Components должны появиться названия резисторов RC 0805 103 J. Таким образом, вся таблица разделена на три части: левая часть Schematic Parts – заменяемые компоненты; средняя часть Library Components - новые компоненты; правая часть Action – выполняемое действие. В нашем случае выполняемое действие – полная замена (Full Replace). Кнопка Finish.

4. Третий экран мастера обновления Engineering Change Order. Кнопка Validate Changes. Справа появится столбик зеленых галочек. Кнопка Execute Changes. Справа появится второй столбик зеленых галочек. Кнопка Close для закрытия мастера обновлений.

5. В результате на электрической схеме произойдет групповая замена резистора C2-33 на чип-резистор RC 0805 103 J. Убедиться в этом можно, если сделать двойной щелчок на любой резистор. В диалоговом окне свойств будет видно, что перед нами резистор типа RC 0805 103 J с посадочным местом 0805.

6. Поскольку на схеме появились резисторы *нового типа*, необходимо в диалоговом окне свойств указать для каждого из них заново номинальное сопротивление Nominal (см. задание 12, п. III.6).

7. Сохранение результатов. File/Save.

#### IV. Обновление сведений об ЭРИ из базы данных.

1. Работа в среде Microsoft Access. Файл/Открыть. Имя файла = *База данных ЭРИ.mdb*.

2. Окно *База данных ЭРИ : база данных*. Кнопка *Конструктор*.

3. Таблица *Конденсаторы КМ6*. В конце первого столбца добавить имя поля *Mass*. Тип данных = *Текстовый*. Внизу на вкладке *Общие* указать:

Размер поля = 255

Обязательное поле = Нет

Пустые строки = Да

Индексированное поле = Нет

Сжатие Юникод = Нет

Режим ИМЕ = Нет контроля

Режим предложений ИМЕ = Нет

4. Закрыть окно с таблицей *Конденсаторы КМ6*. Двойной щелчок в окне *База данных ЭРИ : база данных* на разделе *Конденсаторы КМ6*. В результате появится таблица базы данных.

5. В крайней правой позиции базы данных появилось новое поле *Mass*. Заполним это поле – во всех строках укажем *2 г*.

6. Сохранение результатов работы. *Файл/Сохранить*.

7. Открытие библиотеки. File/Open. Имя файла = *Библиотека на БД.DBLib*.

8. Принудительное обновление информации. Tools/Database Connection. Вкладка Connection. Убедиться, что выбран вариант Use Connection String. Кнопка ОК для завершения обновления.

9. Проверка. Вкладка Table Browser (внизу). Убедиться, что в крайней правой позиции появилось новое поле *Mass* со значением *2 г*.

10. Сохранение обновленной информации. File/Save All. File/Close.

11. Работа в среде Altium Designer. На рабочем поле присутствует электрическая схема «Электрическая схема устройства аналого-цифрового.SchDoc». Tools/Update Parameters from Database.

12. Диалоговое окно Update Parameters From Database. Таблица Components Types в правой части окна. Выключить все галочки за исключением ЭРИ КМ6П002. Кнопка ОК.

Примечание. Если п. 8 не получается, то следует удалить из проекта библиотеку «Библиотека на БД.DBLib», а затем подключить ее к проекту заново (см. задание 12, п. II).



13. Диалоговое окно Select Parameter Changes. В таблице диалогового окна видно, что возле поля *Mass* со значением *2 г* имеется зеленый плюс. В Altium Designer такое обозначение говорит о том, что информация из базы данных будет перенесена в проект. Кнопка Accept Changes (Create ECO).



14. Диалоговое окно Engineering Change Order. Кнопка Validate Changes. Справа появится первая зеленая галочка. Кнопка Execute Changes. Справа появится вторая зеленая галочка. Кнопка Close.

15. Двойной щелчок на конденсаторе C2. В диалоговом окне свойств появился новый параметр и его значение: *Mass = 2 г*.

16. Сохранение результатов. File/Save.

## ЗАДАНИЕ №17. ПОДГОТОВКА К СХЕМОТЕХНИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ (АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР)

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Именоване проекта. File/Save Project As. Имя файла = *Амплитудный детектор*. Расширение PrjPCB добавится автоматически.
2. Добавление в проект рабочего поля. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Амплитудный детектор.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add New to Project/Schematic. Именоване будущей электрической схемы. File/Save As. Имя файла = *Амплитудный детектор*. Расширение SchDoc добавится автоматически.
3. Добавление в проект математических моделей. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Амплитудный детектор.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add Existing to Project. Диалоговое окно Choose Documents to Add to Project. Тип файлов = Mixed-signal Sim File (\*.mdl; \*.nsx; \*.ckt; \*.lb). Найти и подключить файлы my\_diode.mdl и my\_transistor.mdl. В результате в дереве проектирования появится папка Libraries, а в ней два подключенных файла.
4. При рисовании схемы будут использоваться УГО ЭРИ, входящие в стандартную библиотеку Altium Designer. Эти УГО ЭРИ изображены в системе координат DXP Defaults с шагом координатной сетки 10 единиц. Таким образом, рабочее поле чертежа также должно иметь единицы DXP Defaults и шаг координатной сетки в 10 единиц. Design/Document Options. Вкладка Units. Включить опцию Use Imperial Unit System. В выпадающем списке выбрать вариант DXP Defaults. Установка шага координатной сетки View/Grids/Set Snap Grids. Диалоговое окно Choose a snap grid size. Ввести значение 10. После закрытия диалогового окна в строке статуса должна появиться надпись об установленном шаге координатной сетки: Grid: 10.
5. Установка библиотеки. Используя приемы работы по подключению библиотеки (задание 12, раздел II), установить библиотеку Miscellaneous Devices.IntLib, которая находится по пути X:/Program Files/Altium Designer 6/Library/.
6. Размещение на поле чертежа УГО ЭРИ. Используя приемы работы по размещению УГО ЭРИ (задание 12, раздел III), установить элементы схемы согласно рисунку (см. отдельный лист). Все элементы находятся в подключенной библиотеке Miscellaneous Devices.IntLib:
  - Резисторы – элемент Res2. Для быстрого поиска в библиотеке достаточно набрать название элемента в строке поиска (вторая сверху).
  - Конденсаторы – элемент Cap.
  - Индуктивность – элемент Inductor.
  - Диод – элемент Diode.
  - Транзистор – элемент NPN.
7. В диалоговых окнах свойств размещенных УГО ЭРИ следует указать позиционные обозначения и номиналы (см. отдельный лист). Номиналы записываются в строке Value таблицы Parameters. Суффиксы в обозначении номиналов записываются в латинском регистре. Для диода и транзистора вместо номиналов указать в диалоговом окне названия элементов – в строке Comment написать KD102B и KT3102A, соответственно. Названия элементов записываются в латинском регистре.
8. Используя приемы по групповому редактированию УГО ЭРИ (задание 16, раздел I), для элементов R, C, L убрать названия Res2, Cap, Inductor с рабочего поля чертежа. Другими словами – выключить видимость значения Comment.
9. Размещение на поле чертежа источников. Активация панели инструментов Utilities. View/Toolbars/ Utilities. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Simulation Sources . В появившейся палитре выбрать источник 1K Hertz Sine Wave . Установить в левой части схемы (см. рисунок). На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Simula-

tion Sources . В появившейся палитре выбрать источник Power Supply +5 Volts . Установить в правой части схемы (см. рисунок).

10. Задание свойств источника сигнала. Двойной щелчок на элементе 1K Hertz Sine Wave. Диалоговое окно свойств источника Component Properties.

Designator = V1

Для значения Comment опцию Visible выключить.

Правая нижняя часть диалогового окна Models for 1 KHz - VSIN. Кнопка Edit.

Диалоговое окно Sim Model – Voltage Source / Sinusoidal. Вкладка Parameters.

DC Magnitude = 10m (Величина напряжения на постоянном токе 10 мВ). Опцию Component Parameters включить.

AC Magnitude = 10m (Амплитуда напряжения на переменном токе 10 мВ). Опцию Component Parameters включить.

AC Phase = 0 (Фаза напряжения на переменном токе 0). Опцию Component Parameters включить.

Offset = 0 (Постоянная составляющая напряжения при анализе во временной области 0). Опцию Component Parameters включить.

Amplitude = 10m (Амплитуда напряжения при анализе во временной области 10 мВ). Опцию Component Parameters включить.

Frequency = 10k (Частота синусоидального напряжения 10 кГц). Опцию Component Parameters включить.

Возврат к диалоговому окну Component Properties. Правая верхняя область Parameters. Выбрать параметр AC Magnitude. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Для имени AC Magnitude включить опцию Visible.

Проделать аналогичные операции для параметров: AC Phase, Amplitude, DC Magnitude, Frequency, Offset. На рабочем поле чертежа перетащить параметры входного сигнала так, чтобы не было наложений.


11. Задание свойств источника питания. Двойной щелчок на элементе Power Supply +5 Volts. Диалоговое окно свойств источника Component Properties.

Designator = V2

Для значения Comment опцию Visible выключить.

Правая верхняя область Parameters. Включить опцию Visible для Value = +5.

12. Соединение УГО ЭРИ электрическими проводниками. Используя приемы работы по прокладке проводников (задание 12, раздел III), соединить УГО ЭРИ (см. отдельный лист).

13. Размещение символов общего проводника. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Power Sources . В появившейся палитре выбрать Place GND Power Port. Установить один экземпляр общего проводника внизу схемы. Установить второй экземпляр общего проводника под символом источника питания. В диалоговых окнах свойств общего проводника выключить опцию Show Net Name.

14. Подключение математической модели к диоду КД102Б. Двойной щелчок на УГО диода. Диалоговое окно Component Properties. Правая нижняя часть окна Models for VD1 - Diode. Выбор в таблице строки

DIODE          Simulation          Diode. Кнопка Edit.

Диалоговое окно Sim Model – General / Diode. Убедиться, что в выпадающем списке Model Kind выбрано значение General. Убедиться, что в выпадающем списке Model Sub-Kind выбрано значение Diode.

Группа Model Location. Выбрать вариант Full Path. Кнопка Choose. Найти и выбрать файл my\_diode.mdl.

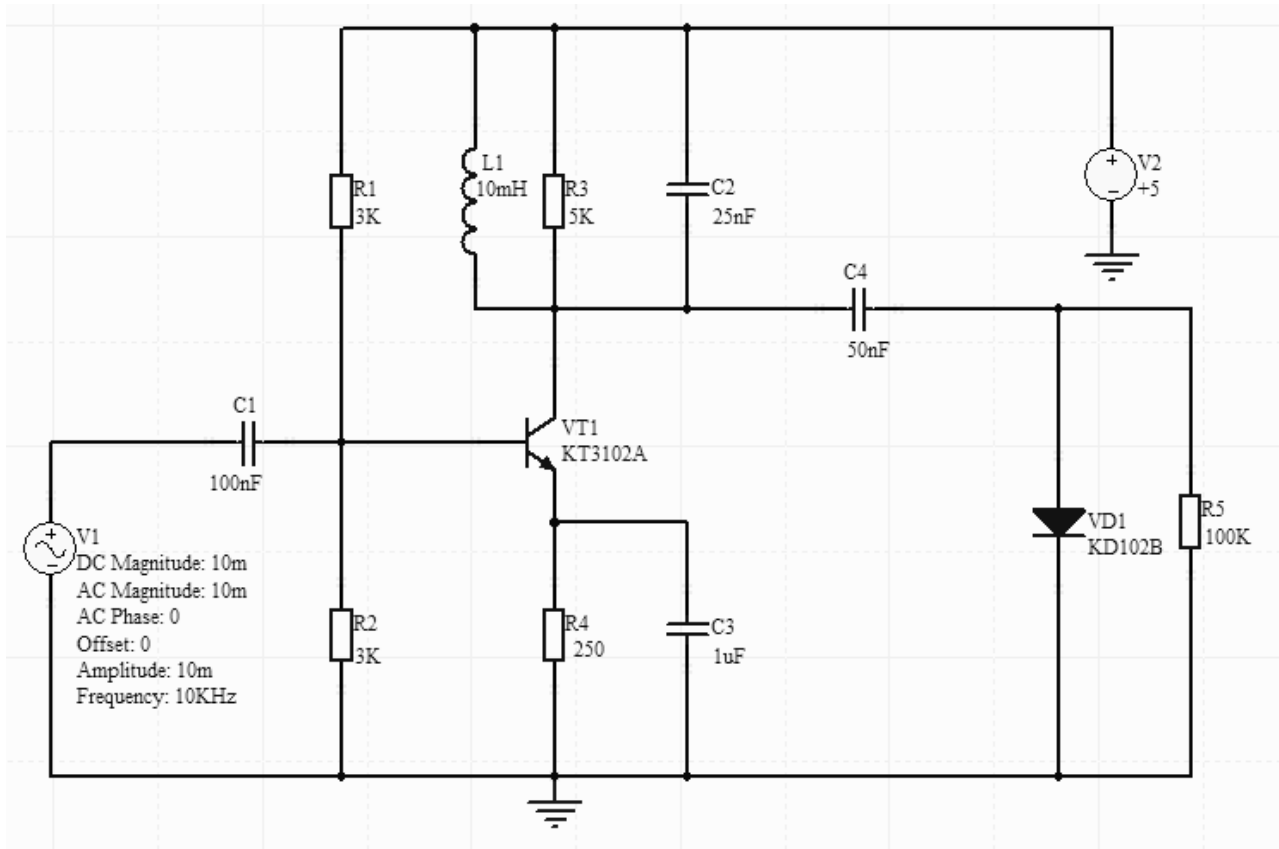
Верхняя часть диалогового окна. В строке Model Name указать в латинском регистре KD102B. В случае успешного подключения математической модели в средней части диалогового окна должна появиться надпись Found In: X:/ФПК/Фамилия/my\_diode.mdl.

Вкладка Model File в нижней части диалогового окна. В области просмотра появится текстовое описание математической модели диода КД102Б на языке SPICE.

15. Подключение математической модели к транзистору КТ3102А. Аналогично п. 14 провести подключение математической модели указанного транзистора.

16. Компиляция проекта. Project/Compile Document Амплитудный детектор.SchDoc. Кнопка System в правом нижнем углу экрана. Выбор пункта Messages. Если в процессе компиляции ошибок не обнаружено, то сообщений в окне Messages не будет.

17. Сохранение результатов. File/Save All.




## ЗАДАНИЕ №18. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР)

### I. Анализ по постоянному току.

1. Убедиться, что загружен проект «Амплитудный детектор.PrjPCB» и активным является документ «Амплитудный детектор.SchDoc». Именование цепей. Place/Net Label. Клавиша Tab на клавиатуре для уточнения свойств. Net = In. Щелкнуть мышью в любом месте проводника, соединяющего источника сигнала V1 и конденсатор C1.

Аналогично поставить метку с названием kontur в любом месте цепи, соединяющей коллектор транзистора с остальными элементами.

Аналогично поставить метку с названием out в любом месте цепи, соединяющей диод, конденсатор C4 и резистор R5.

2. Активация панели инструментов Mixed Sim. View/Toolbars/Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation .

3. Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup.


Collect Data For = Node Voltage, Supply Current, Device Current and Power

Sheet to Netlist = Active Project

SimView Setup = Show Active Signals

Список Available Signals. Кнопка >> для переброски всех сигналов в список справа Active Signals.



Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Operating Point Analysis. Все другие вида анализа выключить. Кнопка ОК.

4. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится вкладка *Амплитудный детектор.sdf*. На вкладке представлены результаты расчета схемы по постоянному току. Результаты представлены в виде списка схемных параметров: потенциалы цепей, токи через полюса элементов, рассеиваемые мощности элементов.

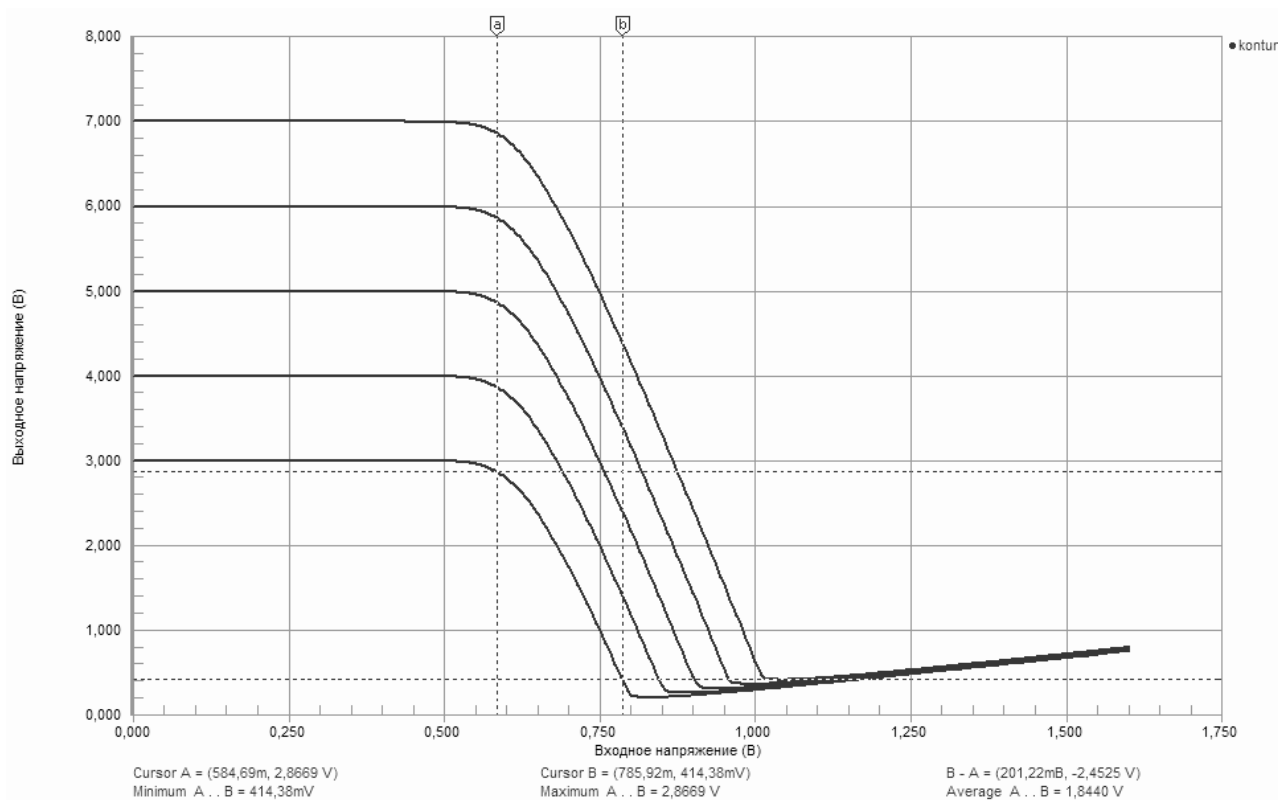
c1[i]	0,000 A
c1[p]	0,000 W
c2[i]	0,000 A
c2[p]	0,000 W
c3[i]	0,000 A
c3[p]	0,000 W
c4[i]	0,000 A
c4[p]	0,000 W
dvd1[id]	0,000 A
dvd1[p]	0,000 W
in	10,000mV
kontur	5,000 V
I1[i]	-6,835mA
I1[p]	0,000 W
netc1_2	2,442 V
netc2_2	5,000 V
netc3_2	1,718 V
out	108,9e-24 V
qvt1[ib]	38,59uA
qvt1[ic]	6,835mA
qvt1[ie]	-6,873mA
qvt1[ip]	22,46mW
r1[i]	-852,6uA
r1[p]	2,181mW
r2[i]	-814,0uA
r2[p]	1,988mW
r3[i]	0,000 A
r3[p]	0,000 W
r4[i]	6,873mA
r4[p]	11,81mW

Operating Point

II. Анализ по постоянному току с вариацией параметров. Для этого вида анализа необходимо видоизменить электрическую схему. По этой причине создадим новый проект. Старый проект не закрываем.

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Именованье проекта. File/Save Project As. Имя файла = *Амплитудный детектор по постоянному току*. Расширение PrjPCB добавится автоматически.
  2. Добавление в проект рабочего поля. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Амплитудный детектор по постоянному току.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add New to Project/Schematic. Именованье будущей электрической схемы. File/Save As. Имя файла = *Амплитудный детектор по постоянному току*. Расширение SchDoc добавится автоматически.
  3. Щелчок на вкладку *Амплитудный детектор.SchDoc*, относящейся к старому проекту. Выделение схемы. Edit/Select/All. Копирование в буфер обмена. Edit/Copy. Щелчок на вкладку *Амплитудный детектор по постоянному току.SchDoc*, относящейся к новому проекту. Вставка схемы. Edit/Paste.
  4. Удаление конденсатора C1 и индуктивности L1. Выделить эти элементы и нажать на кнопку Del. Удалить проводники, которые остались от соединения с индуктивностью. Соединить проводники на месте, где был конденсатор C1.
  5. В результате удаления конденсатора C1 нарушилась нумерация позиционных обозначений конденсаторов. Исправим этот недостаток. Tools/Annotate Schematics. Задание правил нумерации позиционных обозначений в схеме. Список Order of Processing. Выбрать значение Down then Across. Внизу списка на рисунке будет представлен порядок нумерации. Кнопка Close.
  6. Запуск команды для перенумерации позиционных обозначений. Tools/Force Annotate All Schematics. В результате позиционные обозначения конденсаторов изменятся.
  7. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation .
  8. Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Список Available Signals. Кнопка > для переброски именованной цепи Kontur в список Active Signals. Переброска цепи подразумевает, что в результате анализа будет найден потенциал (напряжение) этой цепи.
  9. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта DC Sweep Analysis. Все другие вида анализа выключить.
  10. Правая часть окна. Уточнение параметров моделирования по постоянному току.
    - Primary Source = V1 (Первичный варьируемый параметр – источник сигнала на входе)
    - Primary Start = 0 (Начальное значение варьирования 0 В)
    - Primary Stop = 1.6 (Конечное значение варьирования 1.6 В)
    - Primary Step = 0.005 (Шаг варьирования 5 мВ)
    - Включить опцию Enable Secondary (Возможность варьирования вторичного параметра)
    - Secondary Name = V2 (Вторичный варьируемый параметр – источник питания)
    - Secondary Start = 3
    - Primary Stop = 7
    - Primary Step = 1
- Кнопка ОК.
11. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится новая вкладка *Амплитудный детектор по постоянному току.sdf* с результатами анализа по постоянному току и варьированием двумя параметрами: напряжением источника сигнала и напряжением источника питания. По существу получено семейство передаточных характеристик усилительного каскада на транзисторе VT1 (см. рисунок).





12. Двойной щелчок на надписи (V), расположенной слева от оси ординат. Диалоговое окно Y Axis Setting. Label = *Выходное напряжение*. Опцию Auto выключить. Units = V.

13. Двойной щелчок на надписи v1 (V), расположенной снизу от оси абсцисс. Диалоговое окно Chart Options. Вкладка General. Label = *Входное напряжение*. Units = V.

14. Щелчок правой клавишей мыши на надписи kontur в правом верхнем углу экрана. Выбор пунктов Cursor A и Cursor B. В результате на экране появятся два электронных курсора (см. рисунок). Электронные курсоры с помощью мыши можно перемещать вдоль кривых графика. При этом в нижней части экрана отображаются текущие координаты электронных курсоров.

15. Щелчок правой кнопкой мыши на любом месте экрана. Выбор из контекстного меню пункта Chart Options. Диалоговое окно Chart Options. Вкладка Cursors. Включить опции:

B - A  
Minimum  
Maximum  
Average


В результате в нижней части экрана добавятся текущие значения соответственно: разности координат электронных курсоров B - A; минимальное значение функции на интервале от A до B; максимальное значение функции на интервале от A до B; среднее значение функции на интервале от A до B. Если перемещать электронные курсоры, то все показания будут изменяться в интерактивном режиме.

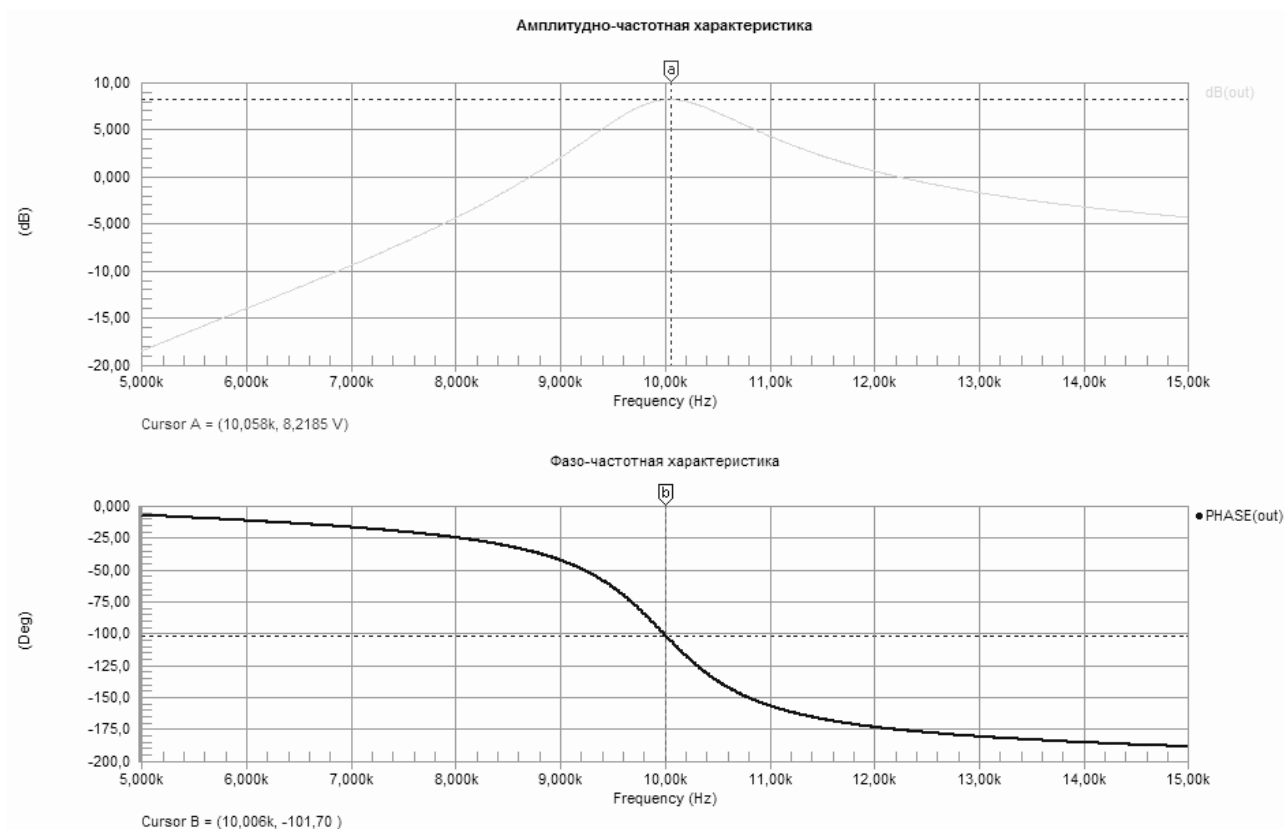
16. Сохранение результатов работы. File/Save All. Закрытие проекта *Амплитудный детектор по постоянному току.PrijPCB*. Project/Close Project.

### III. Анализ в частотной области.

1. Возврат к первоначальному проекту *Амплитудный детектор.PrijPCB*. На экране присутствует схема амплитудного детектора (см. задание 17).

2. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation .

3. Диалоговое окно *Analyses Setup*. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта *General Setup*. Очистить список *Active Signals*. Кнопка > для переброски именованной цепи *out* в список *Active Signals*.
4. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта *AC Small Signal Analysis*. Все остальные виды анализа выключить.
5. Правая часть окна. Уточнение параметров моделирования по переменному току.
  - Start Frequency = 5k (Начальная частота 5 кГц)
  - Stop Frequency = 15k (Конечная частота 15 кГц)
  - Sweep Type = Linear (Линейный шаг приращения по частоту)
  - Test Points = 1000 (Количество расчетных точек 1000)
 Кнопка ОК.
6. Панель инструментов *Mixed Sim*. Кнопка *Run Mixed Signal Simulation* . В результате на экране появится новая вкладка *Амплитудный детектор.sdf* с результатами анализа по переменному току. По существу на экране представлена амплитудно-частотная характеристика амплитудного детектора в диапазоне частот от 5 кГц до 15 кГц (см. рисунок).
7. Двойной щелчок в верхней части экрана. Диалоговое окно *Chart Options*. Вкладка *General*. Title = *Амплитудно-частотная характеристика*.
8. Щелчок правой клавишей мыши на надписи *out* в верхнем правом углу экрана. Выбор из контекстного меню пункта *Edit Wave*. Диалоговое окно *Edit Waveform*. Группа *Complex Functions*. Выбор варианта *Magnitude (dB)*. Кнопка *Create*. В результате на экране амплитудно-частотная характеристика будет пересчитана в децибелах.
9. Щелчок правой клавишей мыши в любом месте экрана. Выбор из контекстного меню пункта *Add Plot*. Запуск мастера построения графиков.
10. What title should this plot have? (Какое название должен иметь график?) = *Фазо-частотная характеристика*. Кнопка *Next*.
11. How should this plot appear? (Как должен отображаться график). Оставить все значения по умолчанию. Кнопка *Next*.
12. Кнопка *Add*. Диалоговое окно *Add Wave to Plot*. В списке *Waveforms* выбрать сигнал *out*. В группе *Complex Functions* выбрать вариант *Phase (Deg)*. Кнопка *Create*.
13. Возврат к мастеру создания графиков. Кнопка *Next*. Кнопка *Finish*. В результате на экране появится второй график с фазо-частотной характеристикой, выраженной в градусах.
14. Щелчок правой клавишей мыши на надписи *dB(out)* в верхнем правом углу экрана. Выбор из контекстного меню пункта *Cursor A*. С помощью мыши вывести электронный курсор на максимум функции (примерно). Можно видеть, что максимум АЧХ приходится на частоту 10 кГц и составляет около 8.2 дБ.
15. Щелчок правой клавишей мыши на надписи *Phase(out)* в правой части нижнего графика. Выбор из контекстного меню пункта *Cursor B*. С помощью мыши вывести электронный курсор на точку перегиба функции (примерно). Можно видеть, что точка перегиба расположена на резонансной частоте 10 кГц. При этом фазовый сдвиг составляет около 100°.
16. Сохранение результатов. *File/Save All*. Закрывать вкладку *Амплитудный детектор.sdf*.



#### IV. Анализ во временной области.

1. Возврат к схеме амплитудного детектора.

2. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation .

3. Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Очистить список Active Signals. Кнопка > для переброски двух сигналов в список Active Signals: цепь `kontur` и ток через диод `DVD1[id]`.

4. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Transient Analysis. Все остальные виды анализа выключить.

5. Правая часть окна. Уточнение параметров моделирования во временной области.

Выключить опцию Use Transient Defaults


Transient Start Time = 0 (Начало отсчета во временной области 0)

Transient Stop Time = 2m (Конечное время анализа 2 мс)

Transient Step Time = 0.005m (Шаг приращения по времени 5 мкс)

Transient Max Step Time = 0.005m (Максимальный шаг приращения по времени 5 мкс)

Кнопка ОК.

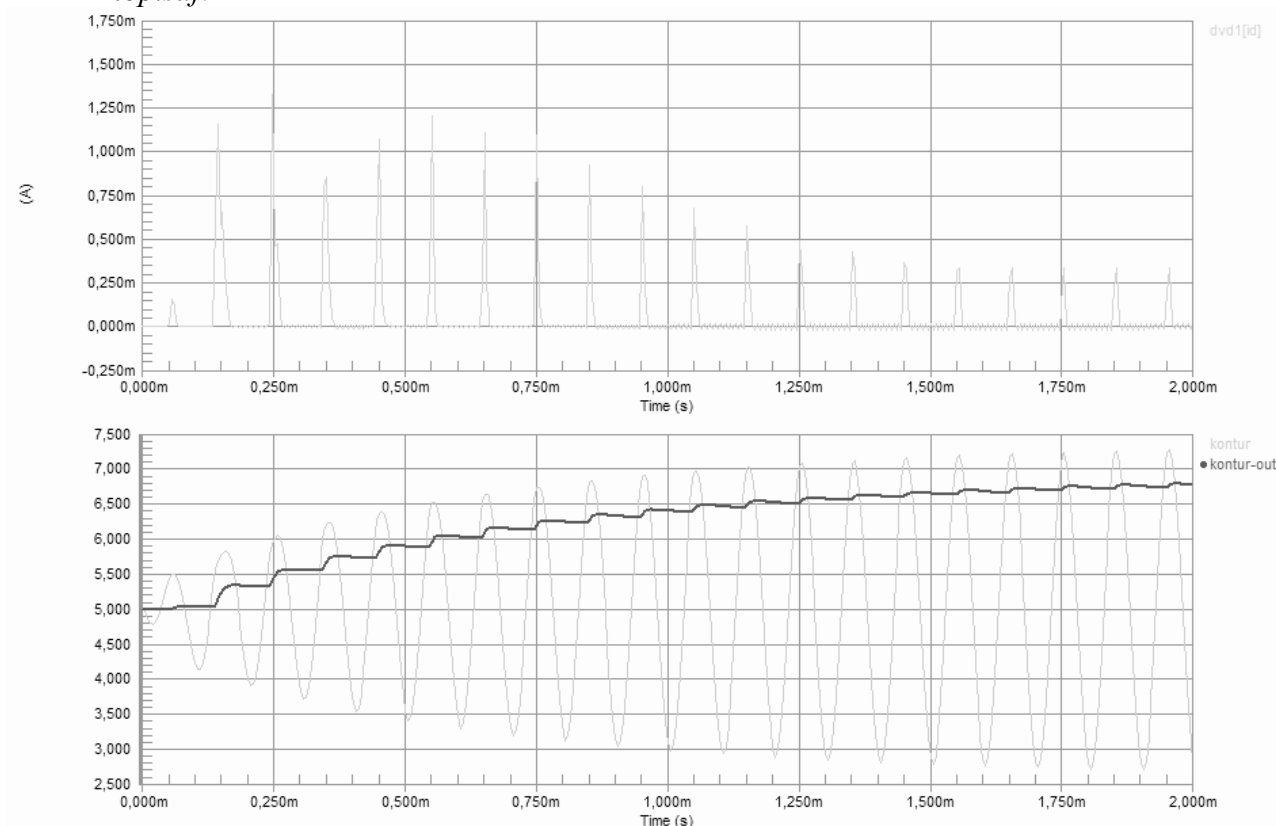
6. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится новая вкладка *Амплитудный детектор.sdf* с результатами анализа во временной области. На верхнем графике представлен ток, протекающий через диод (см. рисунок). Этот график иллюстрирует процесс детектирования диодом. На нижнем графике представлено напряжение на контуре, когда на входе действует сигнал, совпадающей по частоте с резонансом контура. Напомним, что в предыдущем задании (задание №17) у источника сигнала была установлена частота в 10 кГц.

7. Щелчок правой клавишей мыши на любом месте нижнего графика. Выбор в контекстном меню пункта Add Wave to Plot.

8. Диалоговое окно Add Wave to Plot. Щелчок в списке Waveforms на сигнал `kontur`. Название сигнала появится в строке Expression. Щелчок на знаке «←» (минус) в списке Functions. Знак минус добавится в строку Expression. Щелчок в списке Waveforms на

сигнал out. В результате в строке Expression сформируется искомое выражение `kontur-out`. Это выражение обозначает разность потенциалов между цепями `kontur` и `out` (напряжение). Кнопка Create. В результате на нижнем графике добавится новая кривая `kontur-out`. Эта кривая представляет собой огибающую амплитудного детектора, т.е. также иллюстрирует процесс детектирования.

9. Сохранение результатов. File/Save All. Закрывать вкладку *Амплитудный детектор.sdf*.



## V. Многовариантный анализ.

1. Возврат к схеме амплитудного детектора.

2. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation .

3. Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Очистить список Active Signals. Кнопка > для переброски сигнала out в список Active Signals.

4. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта AC Small Signal Analysis. Убедиться, что параметры моделирования по переменному току остались такими же, как в пункте III.5. Галочку этого вида анализа оставить включенной.

5. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Parameter Sweep. Правая часть окна. Уточнение параметров многовариантного анализа.

Primary Sweep Variable = выбрать из списка C2[capacitance] (изменяемый параметр – емкость конденсатора C2)


Primary Start Value = 15n (Начальное значение изменяемого параметра 15 нФ)

Primary Stop Value = 40n (Конечное значение изменяемого параметра 40 нФ)

Primary Step Value = 5n (Шаг приращения изменяемого параметра 5 нФ)

Primary Sweep Type = Absolute Values (Шаг приращения задан в абсолютных единицах)

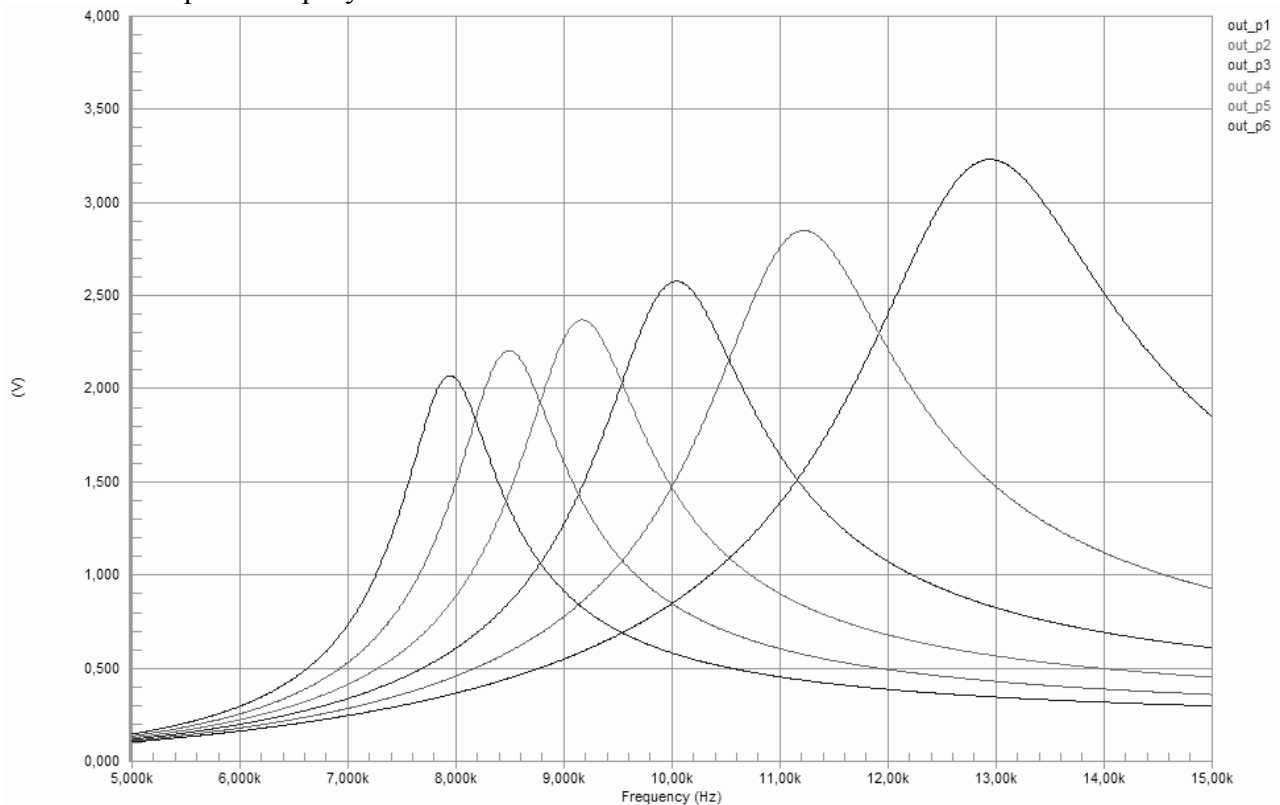
Активными в окне слева должны остаться только два анализа AC Small Signal Analysis и Parameter Sweep. Остальное выключить. Кнопка ОК.

6. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится новая вкладка *Амплитудный детектор.sdf* с результатами многовариантного анализа по переменному току.

7. Удалим верхний график. Щелчок правой клавишей мыши на любом месте верхнем графике. Выбор в контекстном меню пункта Delete Plot.

8. На оставшемся графике представлено семейство АЧХ, которые отличаются значением емкости конденсатора C2, входящего в резонансный контур амплитудного детектора. Если навести указатель мыши на надпись out\_p1 в правом верхнем углу экрана, то появится всплывающая надпись c2[capacitance]=15.00n (sweep 1 of 6), показывающая при каком значении емкости построена данная АЧХ. Видна закономерность – по мере уменьшения емкости резонансного контура смещается вправо резонансная частота и увеличивается коэффициент передачи.

9. Сохранение результатов. File/Save All.



## ЗАДАНИЕ №19. ПОВЕДЕНЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ)

Требуется найти в натуральном масштабе времени решение дифференциального уравнения третьего порядка:

$$\frac{d^3x}{dt^3} - 0.05 \frac{d^2x}{dt^2} + 0.006x = 0.01,$$

при заданных начальных условиях:  $x(0) = 0$ ;  $x^{(2)}(0) = 0$ .

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Именованние проекта. File/Save Project As. Имя файла = *Дифференциальное уравнение*. Расширение PrjPCB добавится автоматически.
  2. Добавление в проект рабочего поля. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Дифференциальное уравнение.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add New to Project/Schematic. Именованние будущей электрической схемы. File/Save As. Имя файла = *Дифференциальное уравнение*. Расширение SchDoc добавится автоматически.
  3. При рисовании схемы будут использоваться стандартные функциональные блоки, изображенные в единицах DXP Defaults с шагом координатной сетки 10 единиц. Design/Document Options. Вкладка Units. Включить опцию Use Imperial Unit System. В выпадающем списке выбрать вариант DXP Defaults. Установка шага координатной сетки View/Grids/Set Snap Grids. Диалоговое окно Choose a snap grid size. Ввести значение 10. После закрытия диалогового окна в строке статуса должна появиться надпись об установленном шаге координатной сетки: Grid: 10.
  4. Установка библиотеки. Используя приемы работы по подключению библиотеки (задание 12, раздел II), установить библиотеку Simulation Special Function.IntLib, которая находится по пути X:/Program Files/Altium Designer 6/Library/Simulation/.
  5. Размещение на поле чертежа функциональных блоков. Используя приемы работы по размещению УГО ЭРИ (задание 12, раздел III), установить функциональные блоки схемы согласно рисунку (см. отдельный лист). В диалоговых окнах свойств функциональных блоков указать позиционные обозначения. Все функциональные блоки находятся в подключенной библиотеке Simulation Special Function.IntLib:
    - Сумматоры X1, X2, X3 – функциональный блок Sum. Для быстрого поиска в библиотеке достаточно набрать название блока в строке поиска (вторая сверху).
    - Интеграторы X6, X8, X10 – функциональный блок Int.
    - Масштабирующие блоки X5, X7, X9 – функциональный блок Gain.
  6. Задание параметров для функциональных блоков. Двойной щелчок на интеграторе X6. Диалоговое окно Component Properties. Область Models for X6 – Int в правом нижнем углу. Кнопка Edit. Диалоговое окно Sim Model – General / Generic Editor. Вкладка Parameters. Список Model Parameters.
    - In\_Offset = 0 (постоянная составляющая на входе 0). Включить галочку в столбце Component Parameter.
    - Gain = 1 (коэффициент передачи 1). Включить галочку в столбце Component Parameter.
    - Out\_Lower\_Limit = -1000 (ограничение выходного сигнала снизу). Включить галочку в столбце Component Parameter.
    - Out\_Upper\_Limit = 1000 (ограничение выходного сигнала сверху). Включить галочку в столбце Component Parameter.
- Кнопка ОК. Область Parameters for X6 – Int. Выделить в списке параметр Gain. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Название параметра Gain. Включить опцию Visible.

Аналогично сделать видимыми названия параметров In\_Offset, Out\_Lower\_Limit, Out\_Upper\_Limit. На рабочем поле чертежа перетащить параметры интегратора так, чтобы не было наложений.

7. В точности повторить п. 6 для интеграторов X8, X10.


8. Аналогично п. 6 задать параметр Gain для масштабирующих блоков X5, X7, X9:


для X5: Gain = 0.05 (коэффициент передачи 0.05)

для X7: Gain = 0

для X9: Gain = -0.006

Примечание. Сумматоры X1, X2, X3 в задании параметров не нуждаются.

9. Размещение на поле чертежа источника сигнала. Панель инструментов Utilities. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Simulation Sources . В появившейся палитре вы-

брать источник Power Supply +5 Volts . Установить в левой части схемы (см. рисунок).


10. Задание свойств источника питания. Двойной щелчок на элементе Power Supply +5 Volts. Диалоговое окно свойств источника Component Properties.

Designator = V1

Для значения Comment опцию Visible выключить.

Правая верхняя область Parameters. Value = 0.01. Включить опцию Visible.


11. Соединение функциональных блоков электрическими проводниками. Используя приемы работы по прокладке проводников (задание 12, раздел III), соединить функциональные блоки (см. отдельный лист).

12. Размещение символа общего проводника. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Power Sources . В появившейся палитре выбрать Place GND Power Port. Установить символ под источником сигнала V1. В диалоговом окне свойств общего проводника выключить опцию Show Net Name.

13. Именованная выходная цепь. Place/Net Label. Клавиша Tab на клавиатуре для уточнения свойств. Net = Out. Щелкнуть мышью в любом месте проводника, соединяющего функциональные блоки X10 и X9.

14. Компиляция проекта. Project/Compile Document Дифференциальное уравнение.SchDoc. Кнопка System в правом нижнем углу экрана. Выбор пункта Messages. Если в процессе компиляции ошибок не обнаружено, то сообщений в окне Messages не будет.

15. Сохранение результатов. File/Save.

16. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation . Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Список Available Signals. Кнопка > для переброски сигнала Out в список справа Active Signals.

17. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Transient Analysis.

Выключить опцию Use Transient Defaults


Transient Start Time = 0

Transient Stop Time = 50

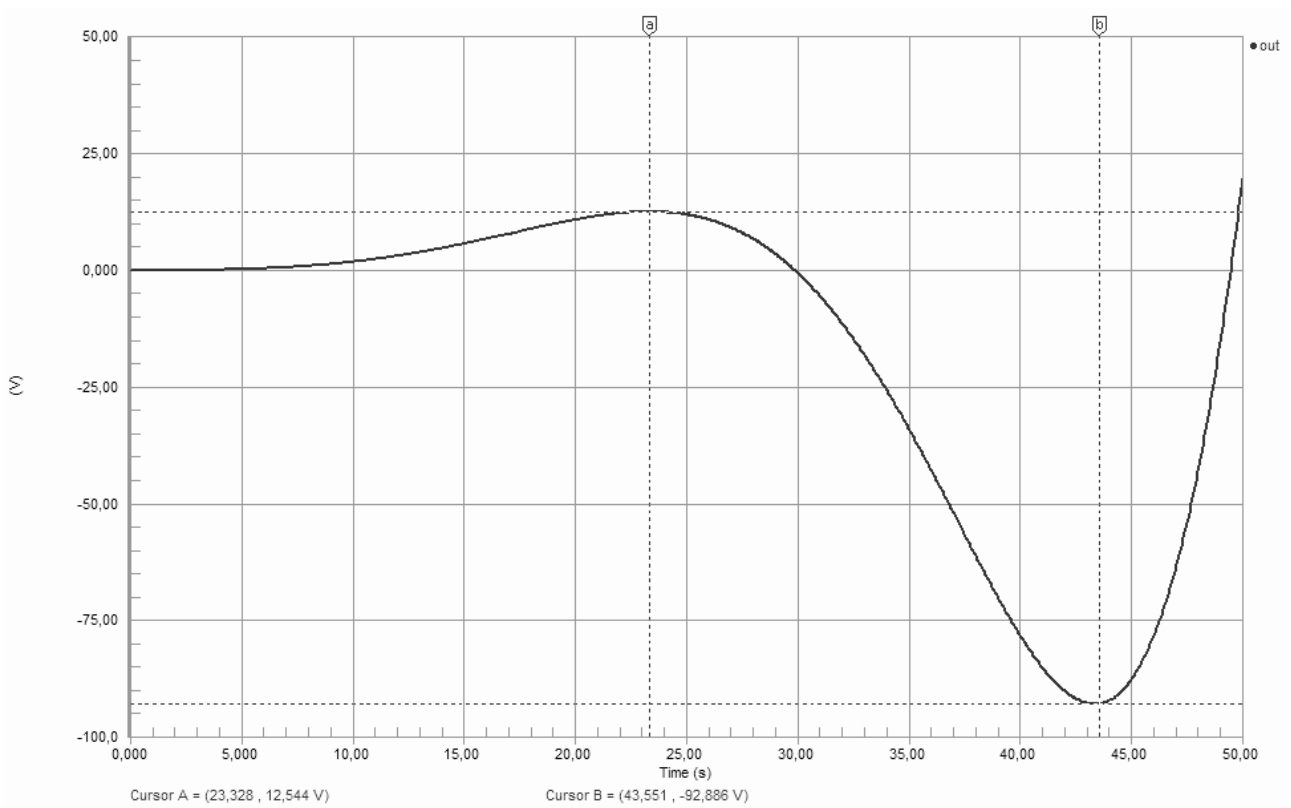
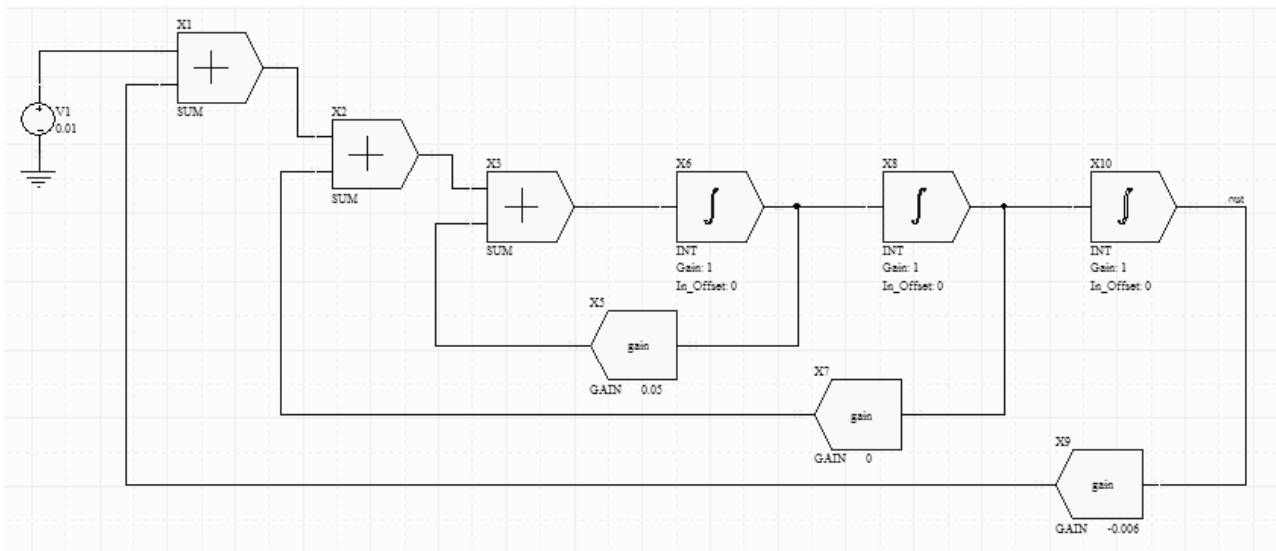
Transient Step Time = 50m

Transient Max Step Time = 50m

Все другие вида анализа выключить. Кнопка ОК.

18. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится вкладка *Дифференциальное уравнение.sdf*. На вкладке представлен результат решения линейного дифференциального уравнения третьего порядка  $\frac{d^3x}{dt^3} - 0.05\frac{d^2x}{dt^2} + 0.006x = 0.01$  в натуральном масштабе времени и с нулевыми начальными условиями.

19. Сохранение результатов. File/Save All.



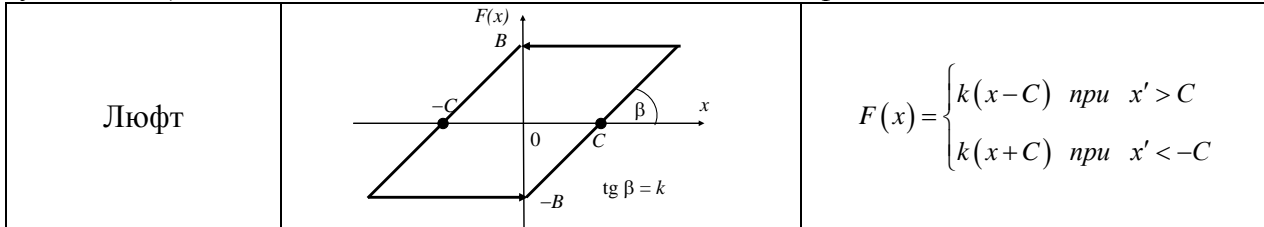


## ЗАДАНИЕ №20. СМЕШАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (ЛЮФТ)

Уравнение исследуемой системы задано в виде:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2.5 \frac{dx}{dt} + x + F(x) = y(t).$$

Функция  $F(x)$  описывает поведение нелинейного звена с люфтом:



Масштабный коэффициент нелинейного звена  $k = 1$ . Полуширина петли гистерезиса  $C = 1$ . Функция  $y(t)$  представляет собой внешнее возмущение (входной сигнал) гармонического характера:  $A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ . Амплитуда внешнего возмущения  $A = 5$  единиц; круговая частота  $\omega = 1$  Гц; начальная фаза  $\varphi = 0^\circ$ .

Требуется получить на временном интервале  $[0; 20$  с] выходной сигнал  $x$  уравнения при следующих начальных условиях:  $x(0) = 0$ ;  $x'(0) = 0$ .

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Именованое проекта. File/Save Project As. Имя файла = *Люфт*. Расширение PrjPCB добавится автоматически.
2. Добавление в проект рабочего поля. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Люфт.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add New to Project/Schematic. Именованое будущей электрической схемы. File/Save As. Имя файла = *Люфт*. Расширение SchDoc добавится автоматически.
3. Добавление в проект математической модели. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Люфт.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add Existing to Project. Диалоговое окно Choose Documents to Add to Project. Тип файлов = Mixed-signal Sim File (\*.mdl; \*.nsx; \*.ckt; \*.lb). Найти и подключить файл zener.mdl. В результате в дереве проектирования появится папка Libraries, а в ней – подключенный файл.
4. Установить сетку DXP Defaults с шагом в 10 единиц. (См. задание 19, п. 3).
5. Убедиться, что установлена библиотека Simulation Special Function.IntLib. (См. задание 19, п. 4).
6. Размещение на поле чертежа функциональных блоков: сумматоров, интеграторов, масштабирующих блоков. Местоположение и количество блоков сверяем со схемой в конце задания. Функциональные блоки идентичны блокам из задания 19, поэтому приемы работы с ними точно такие же.
7. Задание параметров для функциональных блоков. Двойной щелчок на интеграторе X5. Диалоговое окно Component Properties. Область Models for X5 – Int в правом нижнем углу. Кнопка Edit. Диалоговое окно Sim Model – General / Generic Editor. Вкладка Parameters. Список Model Parameters.

In\_Offset = 0 (постоянная составляющая на входе 0). Включить галочку в столбце Component Parameter.

Gain = 1 (коэффициент передачи 1). Включить галочку в столбце Component Parameter.

Out\_Lower\_Limit = -1000 (ограничение выходного сигнала снизу). Включить галочку в столбце Component Parameter.

Out\_Upper\_Limit = 1000 (ограничение выходного сигнала сверху). Включить галочку в столбце Component Parameter.

Кнопка ОК. Область Parameters for X5 – Int. Выделить в списке параметр Gain. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Название параметра Gain. Включить опцию Visible. Аналогично сделать видимыми названия параметров In\_Offset, Out\_Lower\_Limit, Out\_Upper\_Limit. На рабочем поле чертежа перетащить параметры интегратора так, чтобы не было наложений.

8. В точности повторить п. 7 для интегратора X8.

9. Аналогично п. 7 задать параметр Gain для масштабирующих блоков X4, X6, X7:

для X4: Gain = -2.5 (коэффициент передачи -2.5)

для X6: Gain = -1

для X7: Gain = -1

*Примечание.* Сумматоры X1, X2, X3 в задании параметров не нуждаются.

10. Убедиться, что подключена библиотека Miscellaneous Devices.IntLib.

11. Размещение на поле чертежа резистора R1, конденсаторов C1 и C2, стабилитронов VD1 и VD2. ЭРИ находятся в библиотеке Miscellaneous Devices.IntLib под именами: Res2, Cap, D Zener, соответственно.

12. В окне свойств резистора указать номинал сопротивления: Value = 100MEG. В окне свойств конденсаторов указать номинал емкости: Value = 0.003.

13. Подключение математической модели к стабилитрону. Двойной щелчок на УГО стабилитрона VD1. Диалоговое окно Component Properties. Правая нижняя часть окна Models for VD1 – D Zener. Выбор в таблице строки Zener Simulation Diode. Кнопка Edit.

Диалоговое окно Sim Model – General / Diode. Убедиться, что в выпадающем списке Model Kind выбрано значение General. Убедиться, что в выпадающем списке Model Sub-Kind выбрано значение Diode.

Группа Model Location. Выбрать вариант Full Path. Кнопка Choose. Найти и выбрать файл zener.mdl.

Верхняя часть диалогового окна. В строке Model Name указать в латинском регистре stabilitron. В случае успешного подключения математической модели в средней части диалогового окна должна появиться надпись Found In: X:/ФПК/Фамилия/zener.mdl.

Вкладка Model File в нижней части диалогового окна. В области просмотра появится текстовое описание математической модели стабилитрона на языке SPICE.

14. В точности повторить п. 13 для второго стабилитрона VD2.

15. Размещение на поле чертежа источника синусоидального сигнала. (См. задание 17, п. 9).

Параметры источника:

DC Magnitude = 5 (Величина напряжения на постоянном токе 5 В).

AC Magnitude = 5 (Амплитуда напряжения на переменном токе 5 В).

AC Phase = 0 (Фаза напряжения на переменном токе 0).

Offset = 0 (Постоянная составляющая напряжения при анализе во временной области 0). Опцию Component Parameters включить.


Amplitude = 5 (Амплитуда напряжения при анализе во временной области 5 В). Опцию Component Parameters включить.

Frequency = 0.159 (Частота синусоидального напряжения 0.159 Гц). Опцию Component Parameters включить.

Возврат к диалоговому окну Component Properties. Правая верхняя область Parameters. Выбрать параметр Offset. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Для имени Offset включить опцию Visible.

Проделать аналогичные операции для параметров: Amplitude, Frequency. На рабочем поле чертежа перетащить параметры входного сигнала так, чтобы не было наложений.

16. Соединение функциональных блоков и ЭРИ электрическими проводниками. Используя приемы работы по прокладке проводников (задание 12, раздел III), соединить функциональные блоки и ЭРИ (см. отдельный лист).


17. Размещение символа общего проводника. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Power Sources . В появившейся палитре выбрать Place GND Power Port. Устано-

вить символ общего проводника под источником сигнала V1 и под резистором R1. В диалоговом окне свойств общего проводника выключить опцию Show Net Name.

18. Именованье входной и выходной цепей. Place/Net Label. Клавиша Tab на клавиатуре для уточнения свойств. Net = In. Щелкнуть мышью в любом месте проводника, соединяющего источник сигнала и функциональный блок X1. Аналогично сделать метку Luft на проводнике, соединяющем функциональные блоки X6 и X1.

19. Компиляция проекта. Project/Compile Document Люфт.SchDoc. Кнопка System в правом нижнем углу экрана. Выбор пункта Messages. Если в процессе компиляции ошибок не обнаружено, то сообщений в окне Messages не будет.

20. Сохранение результатов. File/Save.

21. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation . Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Список Available Signals. Кнопка > для переброски сигналов In и Luft в список справа Active Signals.

22. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Transient Analysis.

Выключить опцию Use Transient Defaults


Transient Start Time = 0

Transient Stop Time = 20

Transient Step Time = 100m

Transient Max Step Time = 100m

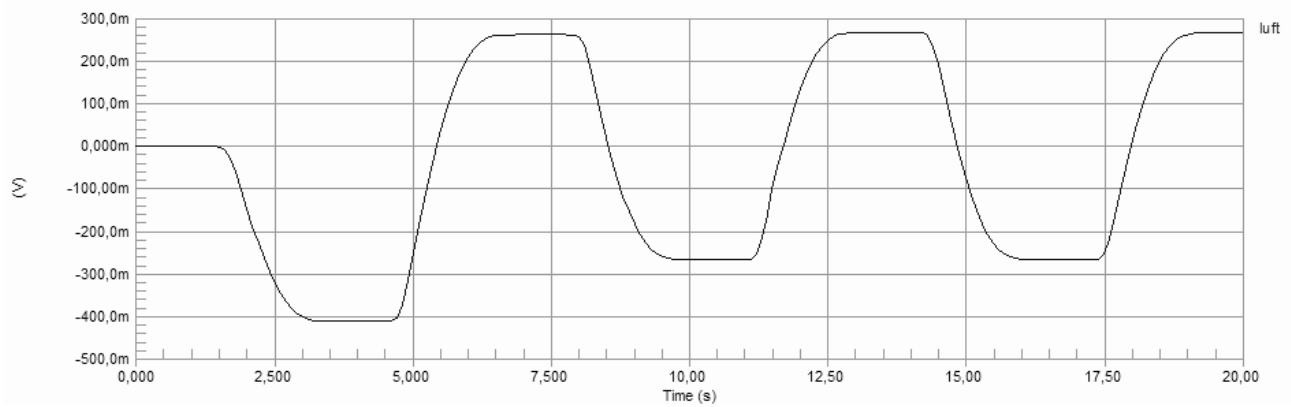
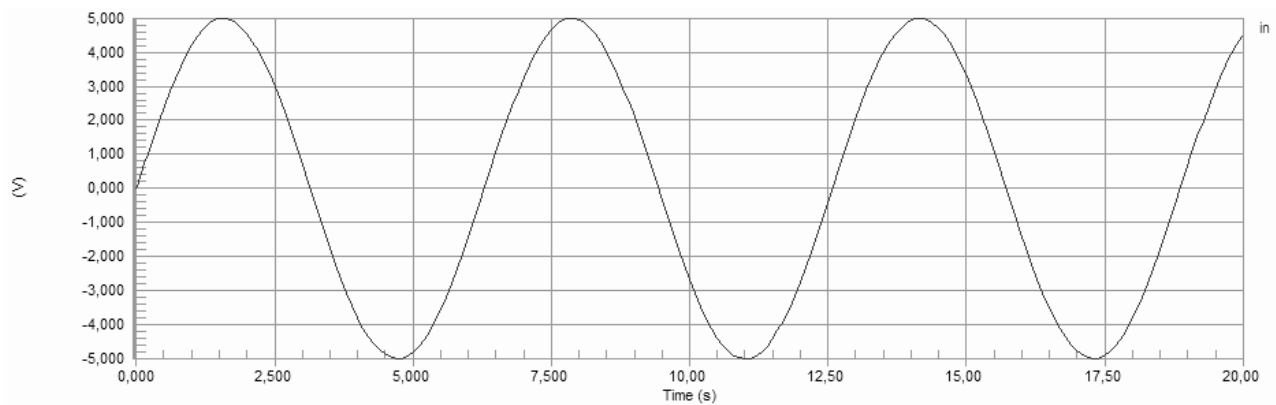
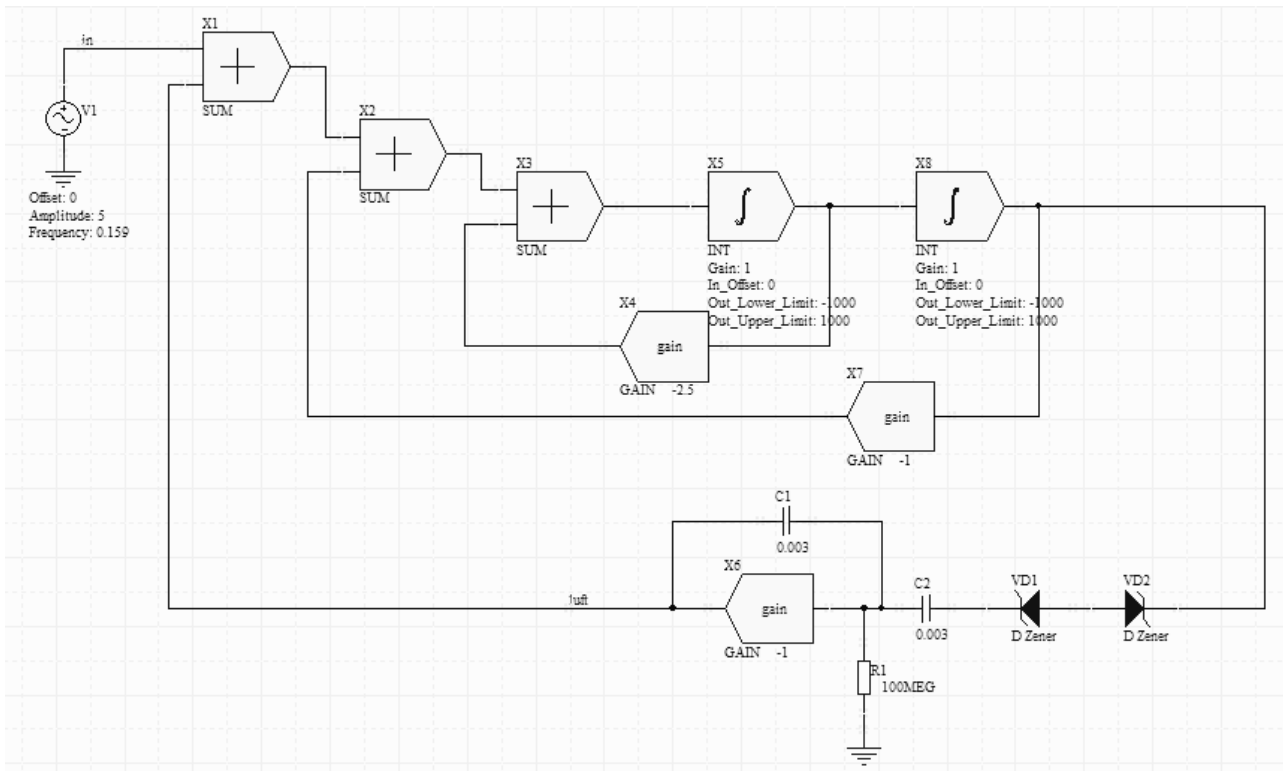
Все другие вида анализа выключить. Кнопка ОК.

23. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится вкладка *Люфт.sdf*. На вкладке представлено два графика. Верхний график – это исходный сигнал, параметр которого были заданы в п. 15. Нижний график – это выходной сигнал нелинейной части схемы (люфт).

24. Сохранение результатов. File/Save All.

Примечание. Нелинейная часть схемы (люфт) состоит из встречно включенных стабилитронов и элемента памяти в виде масштабирующего блока с конденсатором C1 в цепи обратной связи и конденсатором C2 на входе. Наклон гистерезисной кривой люфта определяется коэффициентом передачи  $K \approx -\frac{C2}{C1}$ , а ее ширина – удвоенным напряжением срабатывания диодной цепочки.

Диодная цепочка выполняет роль переключающего элемента только в течение короткого времени после пуска, когда начинается интенсивный заряд конденсаторов C1 и C2. Это приводит к фазовому сдвигу выходного сигнала (трапецеидальной формы). Чтобы получить полуширину петли гистерезиса  $C = 1$  в математической модели стабилитрона задано пробивное напряжение  $VV = 0.4$ . При этом встречно включенный стабилитрон будет давать при прямом смещении падение напряжение 0.6В. Высокоомный резистор R1 является фиктивным элементом и служит только для устранения разрыва цепи по постоянному току.



## ЗАДАНИЕ №21. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПО МОНТЕ-КАРЛО

Требуется провести статистический анализ по методу Монте-Карло активного фильтра низких частот (см. отдельный лист). Предполагается, что партия ЭРИ  $R_{OC} = 100$  кОм и  $C_{OC} = 75$  нФ в условиях серийного производства имеет случайный 10% разброс своих значений от номинального. Разброс значений подчинен нормальному (гауссовскому) распределению, что обуславливает случайные значения выходных параметров ФНЧ: верхней частоты полосы пропускания и коэффициента передачи. Полоса пропускания активного ФНЧ лежит в диапазоне от 0 Гц до значения верхней частоты. Верхняя частота полосы пропускания определяется по уровню  $-3$  дБ от максимального значения коэффициента передачи фильтра. При проведении исследования применяется правило «трех сигма».

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Именоване проекта. File/Save Project As. Имя файла = *Монте-Карло*. Расширение PrjPCB добавится автоматически.
2. Добавление в проект рабочего поля. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Монте-Карло.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add New to Project/Schematic. Именоване будущей электрической схемы. File/Save As. Имя файла = *Монте-Карло*. Расширение SchDoc добавится автоматически.
3. Установить сетку DXP Defaults с шагом в 10 единиц. (См. задание 19, п. 3).
4. Убедиться, что подключена библиотека Miscellaneous Devices.IntLib.
5. Размещение на поле чертежа резисторов и конденсатора (см. отдельный лист). ЭРИ находятся в библиотеке Miscellaneous Devices.IntLib под именами: Res2 и Cap, соответственно.
6. В окне свойств резисторов и конденсатора указать позиционные обозначения и номиналы.
7. Установить библиотеку ST Operational Amplifier.IntLib, находящуюся в X:\Program Files\Altium Designer 6\Library\ST Microelectronics\. Приемы установки библиотек разобраны в задании 12.
8. Размещение на поле чертежа операционного усилителя DA1. Для этого в установленной библиотеке находим ЭРИ под названием ua741AD. Присвоить позиционное обозначение DA1.

Примечание. Выводы 1, 5, 8 операционного усилителя в нашей схеме не используются.

9. Убедиться, что к операционному усилителю присоединена математическая модель формата SPICE. Двойной щелчок на ЭРИ. Диалоговое окно Component Properties. Правая нижняя область Models for DA1 – UA741AD. Выбор строки UA741 Simulation SUBCKT. Кнопка Edit. Диалоговое окно Sim Model – General/Generic Editor. Вкладка Model File в нижней части окна. В просмотрном окне должно быть представлено текстовое описание математической модели операционного усилителя ua741 на языке SPICE.
10. Размещение на поле чертежа источника сигнала V1. (См. задание 17, п. 9). Параметры источника:

AC Magnitude = 1 (Амплитуда напряжения на переменном токе 1 В).

AC Phase = 0 (Фаза напряжения на переменном токе 0).


Возврат к диалоговому окну Component Properties. Правая верхняя область Parameters. Выбрать параметр AC Magnitude. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Для имени AC Magnitude включить опцию Visible.

Проделать аналогичные операции для параметра AC Phase. На рабочем поле чертежа перетащить параметры входного сигнала так, чтобы не было наложений.

11. Размещение на поле чертежа источников питания V2 и V3. (См. задание 19, п. 9).

12. Задание свойств источников питания. Для обоих источников Value = 12. Включить опцию Visible.

13. Соединение ЭРИ электрическими проводниками. Используя приемы работы по прокладке проводников (задание 12, раздел III), соединить ЭРИ (см. отдельный лист).

14. Размещение символа общего проводника. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Power Sources . В появившейся палитре выбрать Place GND Power Port. Установить четыре экземпляра общего проводника согласно схеме. В диалоговом окне свойств общего проводника выключить опцию Show Net Name.


15. Именованье цепей. Place/Net Label. Клавиша Tab на клавиатуре для уточнения свойств. Net = Plus. Щелкнуть мышью на отрезке проводника, отходящего от вывода 7 операционного усилителя, а затем щелкнуть на верхнем выводе источника питания V2. Аналогично сделать метку Minus.

Примечание. Фрагменты цепей визуально не связанные друг с другом, но имеющие одинаковые имена, принадлежат одной и той же глобальной цепи.

Сделать метку Out на выходе схемы.

16. Компиляция проекта. Project/Compile Document Монте-Карло.SchDoc. Кнопка System в правом нижнем углу экрана. Выбор пункта Messages. Если ошибок нет, то должны появиться только сообщения типа Warning (Предупреждение) служебного характера.

17. Сохранение результатов. File/Save.

18. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation . Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Список Available Signals. Кнопка > для переброски сигнала Out в список справа Active Signals.

19. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта AC Small Signal Analysis.

Start Frequency = 1 (Начало частотного диапазона для анализа 1 Гц)

Stop Frequency = 100k (Конец частотного диапазона для анализа 100 кГц)

Sweep Type = Decade (Тип приращения по частоте – декадный)

Test Points = 100 (Количество точек построения)

20. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Monte Carlo Analysis. **Все другие вида анализа выключить.**

Seed = -1 (Номер числовой последовательности для генератора случайных чисел)

Distribution = Gaussian (Нормальный закон распределения)

Number of Runs = 5 (Число запусков в анализе по Монте-Карло)

Default Resistor Tolerance = 0% (Погрешность номинала резисторов по умолчанию)

Default Capacitor Tolerance = 0% (Погрешность номинала конденсаторов по умолчанию)

Default Inductor Tolerance = 0% (Погрешность номинала индуктивностей по умолчанию)

Default Transistor Tolerance = 0% (Погрешность параметров транзистора по умолчанию)

Default DC Source Tolerance = 0% (Погрешность источника питания по умолчанию)

Default Digital Tr Tolerance = 0% (Погрешность задержки распространения сигнала в цифровых вентилях по умолчанию)

Нажать на кнопку ... справа от строки Specific Tolerances.

21. Диалоговое окно Monte Carlo – Specific Tolerances. Кнопка Add.

Designator = Cos (позиционное обозначение ЭРИ с погрешностью параметров)

Parameter = пусто (подразумевается, что единственный параметр – это номинал)

Tolerance = 10% (погрешность 10%)

Tracking No = 1 (номер генератора случайных чисел)

Distribution = Gaussian (нормальный закон распределения)

Кнопка Add.

Designator = Ros (позиционное обозначение ЭРИ с погрешностью параметров)


Parameter = пусто (подразумевается, что единственный параметр – это номинал)

Tolerance = 10% (погрешность 10%)

Tracking No = 2 (номер генератора случайных чисел)

Distribution = Gaussian (нормальный закон распределения)

*Примечание.* Разные номера генераторов случайных чисел говорят о том, что случайные значения сопротивления и емкости имеют некоррелированный характер.

22. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится вкладка *Монте-Карло.sdf – AC Analysis*. На вкладке представлено два графика. Верхний график – это АЧХ активного фильтра с нулевой погрешностью ЭРИ. Нижний график – это семейство из пяти АЧХ активного фильтра соответствующих пяти реализациям по Монте-Карло. Заметим, что 10% разброс параметров Ros и Cos вызвал некоторое расхождение в траектории АЧХ.

23. Преобразование АЧХ в децибелы. Двойной щелчок на имени верхнего графика out (правый верхний угол). Диалоговое окно Edit Waveform. Группа Complex Function. Выбор варианта Magnitude (dB). Кнопка Create.

24. Аналогично преобразовать семейство АЧХ на нижнем графике в децибелы.

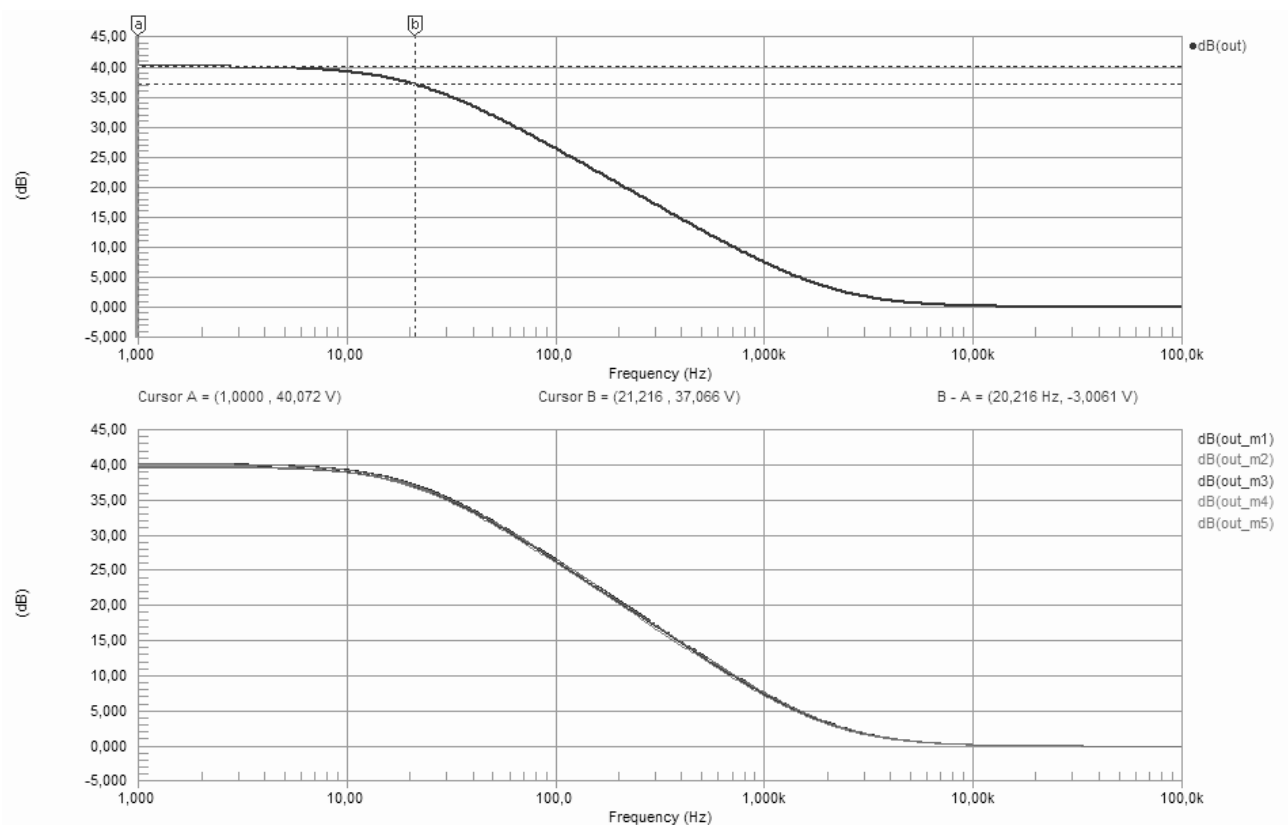
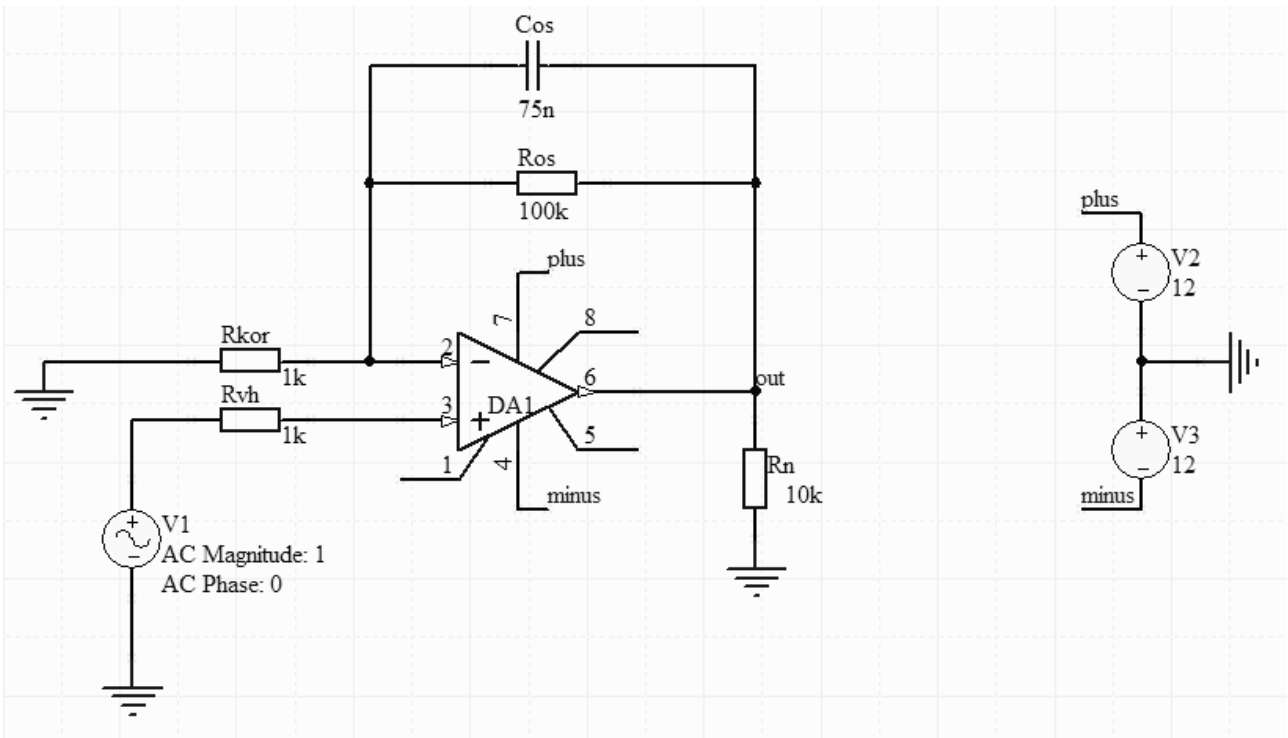
25. Измерение полосы пропускания фильтра. Щелчок правой кнопкой мыши на названии верхнего графика dB(out). Выбор в контекстном меню Cursor A. Затем также выбрать Cursor B.

Установить курсор А в крайнее левое положение. Заметим, что значение функции (ордината) курсора А в установленном положении около 40 дБ.

Установить курсор В так, чтобы значение функции было примерно 37 дБ, т.е. на 3 дБ меньше по сравнению с курсором А. Текущее числовое значение курсора контролируем внизу графика.

Щелчок правой клавишей мыши в любом месте верхнего графика. Выбор в контекстном меню Chart Options. Диалоговое окно Chart Options. Вкладка Cursors. Включить опцию В - А. В результате под графиком появится значение разности между вторым и первым курсором. Таким образом, ширина полосы пропускания активного фильтра составляет около 20 Гц.

26. Сохранение результатов. File/Save All.





## ЗАДАНИЕ №22. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Для системы логических функций:

$$\begin{cases} g_1(x_3, x_2, x_1) = x_2 \cdot \bar{x}_1 + x_3 \cdot \bar{x}_1 + x_3 \cdot \bar{x}_2; \\ g_2(x_3, x_2, x_1) = x_2 \cdot \bar{x}_1 + x_3 \cdot \bar{x}_1 + x_3 \cdot x_2; \\ g_3(x_3, x_2, x_1) = x_2 \cdot \bar{x}_1 + \bar{x}_3 \cdot x_2 + x_3 \cdot \bar{x}_1 \end{cases}$$

требуется построить схему логического устройства в произвольном базисе.

1. Создание нового проекта. File/New/Project/PCB Project. Именованое проекта. File/Save Project As. Имя файла = *Логика*. Расширение PrjPCB добавится автоматически.
2. Добавление в проект рабочего поля. Щелчок правой клавишей мыши в дереве проектов на названии *Логика.PrjPCB*. Выбор в контекстном меню пункта Add New to Project/Schematic. Именованое будущей электрической схемы. File/Save As. Имя файла = *Логика*. Расширение SchDoc добавится автоматически.
3. Установить сетку DXP Defaults с шагом в 10 единиц. (См. задание 19, п. 3).
4. Подключение необходимых библиотек. Для проекта требуется подключение следующих библиотек:

X:\Program Files\Altium Designer 6\Library\Texas Instruments\TI Logic Counter.IntLib  
X:\Program Files\Altium Designer 6\Library\Texas Instruments\TI Logic Gate 2.IntLib  
X:\Program Files\Altium Designer 6\Library\ST Microelectronics\ST Logic Gate.IntLib  
X:\Program Files\Altium Designer 6\Library\Simulation\Simulation Sources.IntLib

Приемы подключения библиотек рассмотрены ранее (см. задание 12, раздел II).

5. Размещение на поле чертежа двоичного счетчика DD1 (см. рисунок в конце задания). Счетчик находится в библиотеке TI Logic Counter.IntLib под именем SN74LS160AD.

Примечание 1. Двоичный счетчик DD1 в нашей схеме предназначен для выработки восьми различных состояний на трехразрядной входной шине  $x_3x_2x_1$ .

Примечание 2. Назначение выводов двоичного счетчика DD1:

$\overline{MR}$  (Master Reset) – асинхронный сброс;

$\overline{PE}$  (Parallel Enable) – сигнал разрешения параллельной загрузки;

SET (Count Enable Trickle) – сигнал разрешения счета;

CEP (Count Enable Parallel) – сигнал разрешения счета после параллельной загрузки;

CLK (Clock) – синхросигнал;

P[3..0] – параллельный вход;



GND – общий проводник;

VDD – питание;

TC (Terminal Count) – сигнал переполнения счета;

Q[3..0] – выходы счетчика.

6. Размещение на поле чертежа трех секций инвертора DD2:1, DD2:2, DD2:3. Инвертор находится в библиотеке TI Logic Gate 2.IntLib под именем SN74LS04D.
7. Размещение на поле чертежа пяти секций конъюнктора DD3:1, DD3:2, DD3:3, DD3:4, DD4:1. Конъюнктор находится в библиотеке TI Logic Gate 2.IntLib под именем SN74F08D.
8. Размещение на поле чертежа трех секций дизъюнктора DD5:1, DD5:2, DD5:3. Дизъюнктор находится в библиотеке ST Logic Gate.IntLib под именем HCC4075BF.
9. Размещение на поле чертежа импульсного источника V1. Панель инструментов Utilities.

На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Simulation Sources . В появившейся палитре выбрать источник 1K Hertz Pulse .

10. Задание свойств источника сигнала. Двойной щелчок на элементе 1K Hertz Pulse. Диалоговое окно свойств источника Component Properties.

Designator = V1

Для значения Comment опцию Visible выключить.

Правая нижняя часть диалогового окна Models for V1 - VPULSE. Кнопка Edit.

Диалоговое окно Sim Model – Voltage Source / Pulse. Вкладка Parameters.

Initial Value = 0 (Нижнее значение импульса 0В). Опцию Component Parameters включить.

Pulsed Value = 2.5 (Верхнее значение импульса 2.5В). Опцию Component Parameters включить.

Time Delay = 0 (Задержка наступления импульса 0). Опцию Component Parameters включить.

Rise Time = 1u (Время нарастания переднего фронта 1мкс). Опцию Component Parameters включить.

Fall Time = 1u (Время спада заднего фронта 1мкс). Опцию Component Parameters включить.

Pulse Width = 0.5 ms (Длительность импульса 0.5мс). Опцию Component Parameters включить.

Period = 1ms (Период следования импульсов 1мс). Опцию Component Parameters включить.


Возврат к диалоговому окну Component Properties. Правая верхняя область Parameters. Выбрать параметр Fall Time. Кнопка Edit. Диалоговое окно Parameter Properties. Для имени Fall Time включить опцию Visible.

Проделать аналогичные операции для параметров: Initial Value, Pulsed Value, Time Delay, Rise Time, Pulse Width, Period. На рабочем поле чертежа перетащить параметры входного сигнала так, чтобы не было наложений.

11. Размещение на поле чертежа цифровых констант V2, V3, V4, V5. Цифровые константы находятся в библиотеке Simulation Sources.IntLib под именем VSRC2. В диалоговом окне свойств этих элементов выключить видимость значения Comment. Убедиться, что параметр Value = 5 и включена его видимость. Параметр Value = 5 трактуется как высокий уровень сигнала (логическая единица).

12. Размещение на поле чертежа источника питания V6. (См. задание 19, п. 9). Убедиться, что параметр Value = 5 и включена его видимость.

13. Соединение ЭРИ электрическими проводниками. Используя приемы работы по прокладке проводников (задание 12, раздел III), соединить ЭРИ (см. отдельный лист).

14. Размещение символа общего проводника. На панели инструментов Utilities нажать на кнопку Power Sources . В появившейся палитре выбрать Place GND Power Port. Установить три экземпляра общего проводника согласно схеме. В диалоговом окне свойств общего проводника выключить опцию Show Net Name.

15. Именованые цепей. Place/Net Label. Поставить метки на входные и выходные цепи (см. отдельный лист):

clock – цепь синхронизации;


x1,  $\overline{x1}$ , x2,  $\overline{x2}$ , x3,  $\overline{x3}$  - прямые и инверсные варианты входных сигналов;

g1, g2, g3 – выходные сигналы.

Примечание. Имена инверсных сигналов в диалоговом окне Net Label набираются так: x\1\ . В результате на экране это будет выглядеть как  $\overline{x1}$ .

16. Компиляция проекта. Project/Compile Document Логика.SchDoc. Кнопка System в правом нижнем углу экрана. Выбор пункта Messages. Если ошибок нет, то должны появиться только сообщения типа Warning (Предупреждение) служебного характера.

17. Сохранение результатов. File/Save.

18. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Setup Mixed-Signal Simulation . Диалоговое окно Analyses Setup. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта General Setup. Список Available Signals. Кнопка > для переброски сигналов clock, x1, x2, x3, g1, g2, g3 в список справа Active Signals.

19. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Transient Analysis. Все остальные виды анализа выключить.

Выключить опцию Use Transient Defaults


Transient Start Time = 0 (Начало отсчета во временной области 0)

Transient Stop Time = 8m (Конечное время анализа 8 мс)

Transient Step Time = 100u (Шаг приращения по времени 100 мкс)

Transient Max Step Time = 100u (Максимальный шаг приращения по времени 100 мкс)

20. Левая часть окна со списком видов анализа. Выбор пункта Advanced Options. Digital Supply VDD = 5.

21. Панель инструментов Mixed Sim. Кнопка Run Mixed Signal Simulation . В результате на экране появится вкладка *Логика.sdf*. На вкладке представлены временные диаграммы входных и выходных сигналов. Для большей наглядности расположим цифровые сигналы в иной последовательности. Щелчок левой клавишей мыши на названии сигнала x3 (левая часть экрана). Перетащить имя x3 на второе сверху место. Вместе с именем перемещается также и сам сигнал. Аналогично поступить с остальными сигналами, так чтобы они образовывали последовательность:

clock

x3

x2

x1

g3

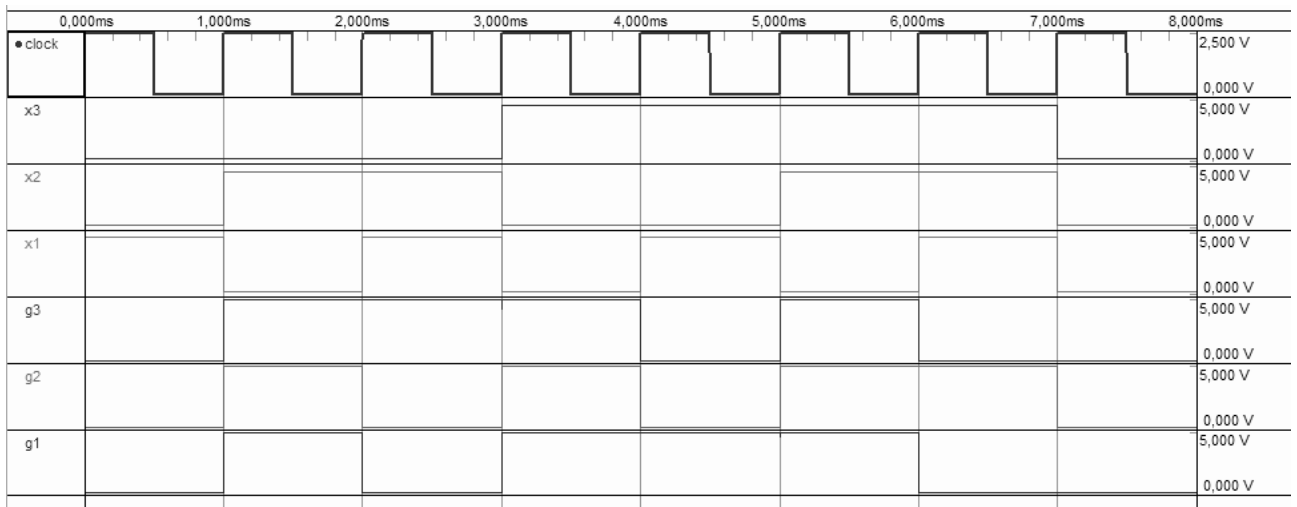
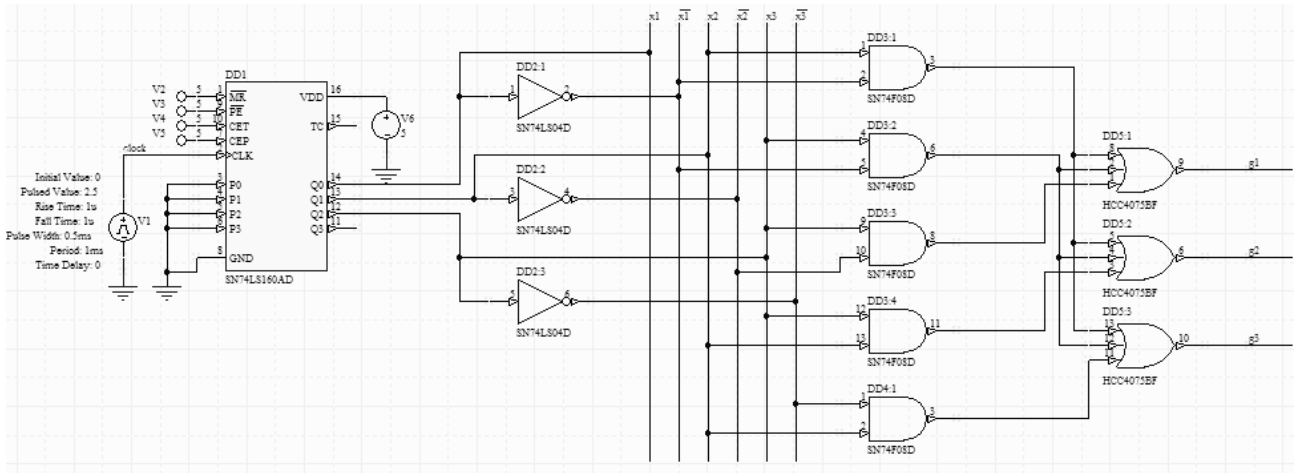
g2

g1

22. Сохранение результатов, в том числе и расположения сигналов. File/Save All.

23. Верификация результатов схемотехнического моделирования. Период сигнала синхронизации Clock 1 мс. Следовательно, на временном отрезке в 8 мс расположены восемь различных состояний входного сигнала x3x2x1. Анализируя каждый временной интервал по 1 мс можно составить таблицу истинности логического устройства.

x3x2x1	001	010	011	100	101	110	111	000
g3g2g1	000	111	100	111	001	111	010	000



## ЗАДАНИЕ №23. ИМПОРТ ПРОЕКТОВ VHDL

В качестве импортированного в Altium Designer проекта VHDL служит двоично-десятичный счетчик, взятый из набора примеров:

OrCAD 10.5/tools/capture/samples/fpga/actel/SampleD/A8BITBCD.DSN.

### I. Подготовка к моделированию.

1. Сброс всех пользовательских настроек. DXP/Preferences. Диалоговое окно Preferences. Боковая стрелка возле кнопки Set to Default. Выбор пункта Default (All).
2. Проверка наличия файлов. Убедиться, что в рабочей папке присутствуют файлы проекта OrCAD:
  - A8BIT\_TB.VHD – тестовый файл VHDL
  - A8BITBCD.DSN – файл проекта
  - BCD.VHD – файл описания счетчика на VHDL
3. Средствами Windows переименовать файл A8BIT\_TB.VHD на A8BIT\_TB.VHDTST. По правилам Altium Designer тестовые файлы должны иметь расширение VHDTST.
4. Импорт проекта. File/Import Wizard.
  - Диалоговое окно Import Wizard. Кнопка Next.
  - Выбор варианта OrCAD Designs and Libraries Files. Кнопка Next.
  - Кнопка Add. Поиск и загрузка проекта A8BITBCD.DSN. Кнопка Next.
  - Пропуск следующего шага мастера. Подключать к проекту библиотеки в нашем примере не требуется. Кнопка Next.
  - Экран Reporting Options. Оставим опции по умолчанию. Кнопка Next.
  - Экран Schematics General Options. Оставим опцию по умолчанию. Кнопка Next.
  - Экран Schematics Sheet Options. Оставим опции по умолчанию. Кнопка Next.
  - Экран Schematics Parameters and Net Connectivity Options. Оставим опции по умолчанию. Кнопка Next.
  - Экран Output PCB Projects. Убедиться, что путь сохранения импортированного проекта указывает в Вашу рабочую папку. Кнопка Next. Кнопка Finish.
5. Просмотр импортированного проекта. Двойной щелчок в дереве проектов на названии схемы A8BITBCD.SchDoc. В результате на рабочем поле будет представлена электрическая схема двоично-десятичного счетчика. Блоки H1 и H2 – это условные графические изображения 4-разрядных счетчиков.
6. Удаление из схемы несущественных элементов. Последовательно выделить и удалить из схемы:
  - надпись «Note before ...»;
  - символ восклицательного знака;
  - логотип OrCAD;
  - надписи «Target chip...», «Target package...», «Target place & route...»;
  - угловой штамп;
  - элементы U1...U15. В исходном проекте OrCAD элементы U1...U15 представляют собой буферные элементы ввода/вывода и предназначаются для программирования конкретной микросхемы FPGA.
7. Соединить электрическими проводниками разрывы, оставшиеся после удаления буферных элементов (см. отдельный лист).
8. Сохранение копии электрической схемы. File/Save Copy As. X:/ФПК/Фамилия/A8BITBCD. Расширение SchDoc добавится автоматически.
9. Закрытие проекта A8BITBCD.PrjPCB. Выделить в дереве проектов имя проекта A8BITBCD.PrjPCB. Щелчок правой клавишей мыши на имени проекта. Выбор пункта Close Project.

Примечание. Проекты OrCAD при импортировании в Altium Designer автоматически превращаются в проекты типа PrjPCB (проекты печатных плат). В нашем случае необходим проект типа FPGA (проект программируемой логики) для того, чтобы имелась возможность VHDL-моделирования. Для этого создадим проект такого типа и присоединим к нему сохраненную копию электрической схемы и другие файлы.

10. Создание проекта. File/New/Project/FPGA Project. Именованное проекта. File/Save Project As = X:/ФПК/Фамилия/A8BITBCD. Расширение PrjFPG добавится автоматически.

11. Присоединение к проекту файла с описанием счетчика на VHDL. Project/Add Existing to Project. Поиск и загрузка файла с описанием счетчика BCD.VHD. Двойной щелчок на имени присоединенного файла в дереве проектов. В результате на экране появится текст описания счетчика на VHDL.

12. Присоединение к проекту сохраненной ранее электрической схемы. Project/Add Existing to Project. Поиск и загрузка файла электрической схемы A8BITBCD.SchDoc. Двойной щелчок на имени присоединенного файла в дереве проектов. В результате на экране появится электрическая схема.

13. Присоединение к проекту тестового файла. Project/Add Existing to Project. Поиск и загрузка тестового файла A8BIT\_TB.VHDTST. Двойной щелчок на имени присоединенного файла в дереве проектов. В результате на экране появится текст тестового файла на VHDL.

14. Порядок следования документов в проекте. Project/Project Order. Диалоговое окно Project Order for A8BITBCD.PrjFPG. С помощью кнопок Move Up или Move Down выстроить файлы проекта таким образом:

```
A8BIT_TB.VHDTST
A8BITBCD.SchDoc
BCD.VHD
```

Примечание. Порядок следования файлов в проекте напрямую связан с порядком компиляции проекта HDL-симулятором. Сначала компилируются файлы, расположенные внизу списка. В последнюю очередь – файлы, расположенные вверху. Таким образом, тестовый файл A8BIT\_TB.VHDTST представляет собой верхний уровень иерархии проекта.

15. Выбор вкладки с электрической схемой A8BITBCD.SchDoc. Двойной щелчок на УГО счетчика H1. Диалоговое окно Sheet Symbol.

Вкладка Properties. Строка ввода FileName. Кнопка ... справа. Диалоговое окно Choose Document to Reference. Выбор файла с описанием счетчика BCD.VHD.

Вкладка Parameters. Кнопка Add. Диалоговое окно Parameter Properties. Name = VHDLEntity. Опцию Visible включить. Value = BCD. Опцию Visible включить.

16. В точности повторить п. 15 для УГО счетчика H2.

17. Выбор вкладки с тестовым файлом A8BIT\_TB.VHDTST. Найти фрагмент текста: clock\_pin <= not (clock\_pin) after 35 ns;

```
process begin
  wait for 73 ns;
  clear_pin <= '1'; wait for 35 ns;
  clear_pin <= '0'; wait;
end process;
```

Уменьшить масштаб времени в 10 раз – в указанном фрагменте исправить три значения таким образом: 3.5 ns, 7.3 ns, 3.5 ns.

Примечание. Уменьшение масштаба времени связано с тем, что в окне просмотра результатов моделирования Altium Designer видимая часть экрана составляет 100 ns.

18. Настройка параметров проекта. Project/Project Options. Диалоговое окно Options for FPGA Project A8BITBCD.PrjFpg. Вкладка Simulation.

Выпадающий список Testbench Document. Выбор варианта A8BIT\_TB.VHDTST.

Строка ввода Top-Level Entity/Module/Configuration. Написать вручную test\_a8bitbcd.

Строка ввода Top-Level Architecture. Написать вручную testbench.

*Примечание.* Три указанных параметра определяют верхний уровень иерархии проекта: название тестового файла; заголовок тестовой программы и название архитектуры тестовой программы.

19. Сохранение результатов. File/Save All.

## II. Моделирование VHDL.

1. Вызов окна Messages. Кнопка System в правом нижнем углу. Выбор пункта Messages.

2. Компилирование проекта. Simulator/HDL Compile. В окне Message в процессе компиляции отображаются различные сообщения. Если компиляции прошла успешно, то все сообщения будут типа Notice и окрашены в зеленый цвет. Последнее сообщение должно быть таково: A8BIT\_TB.DP was compiled successfully.

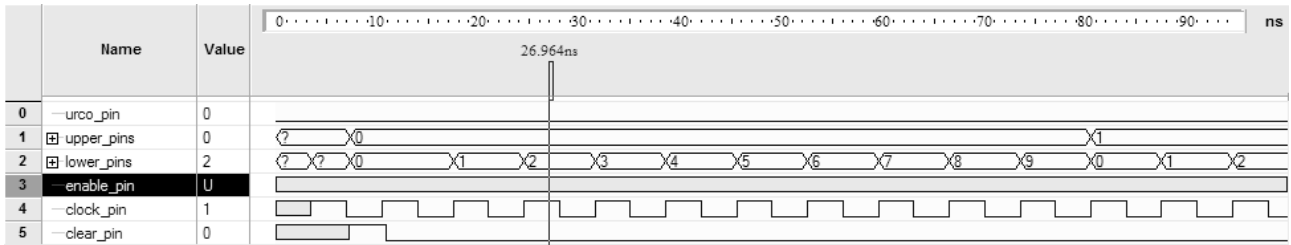
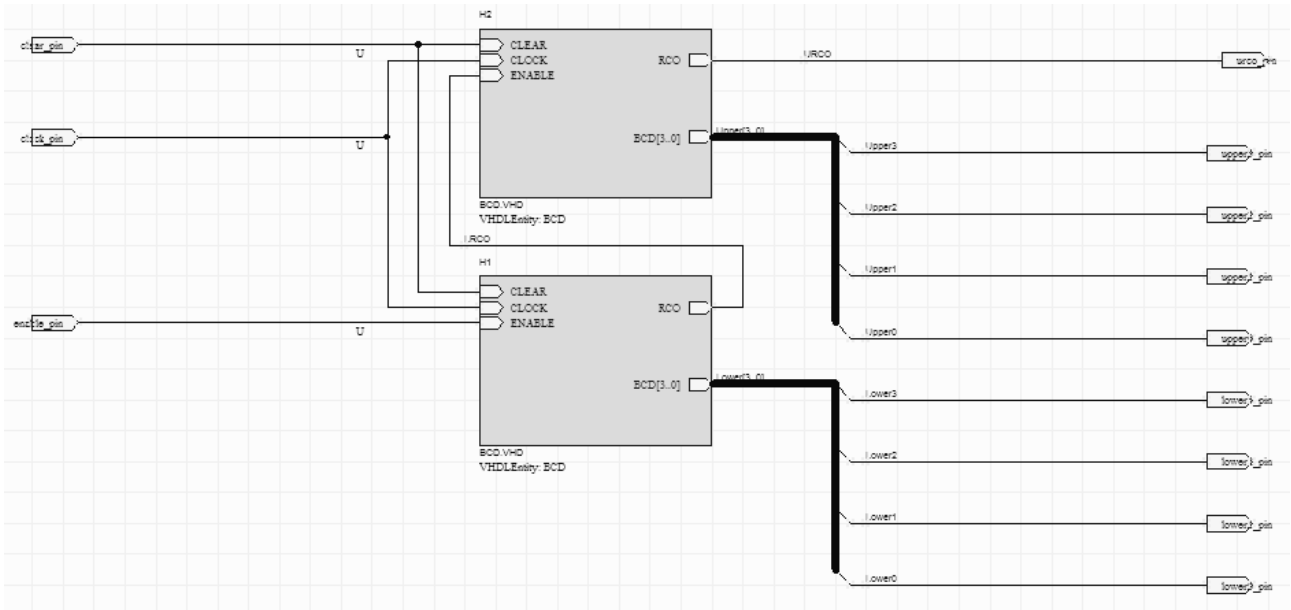
3. Запуск на моделирование. Simulator/Simulate. Диалоговое окно Edit Simulation Signals. Оставить опции по умолчанию. Кнопка Done. В результате на экране появится временная шкала на 100 нс, а также названия входных и выходных сигналов двоично-десятичного счетчика.

4. Моделирование. Simulator/Run. Диалоговое окно Enter Time Step. Ввести значение 300 ns.

5. Анализ результатов моделирования. На экране представлены временные диаграммы входных и выходных сигналов двоично-десятичного счетчика. С помощью полосы прокрутки можно увидеть временные диаграммы за пределами 100 нс. В верхней части временных диаграмм расположен бегунок, который можно перемещать с помощью мыши. Текущие состояния сигналов, соответствующие положению бегунка, отображаются в левой части диаграммы.

6. Остановка моделирования. Simulator/End.

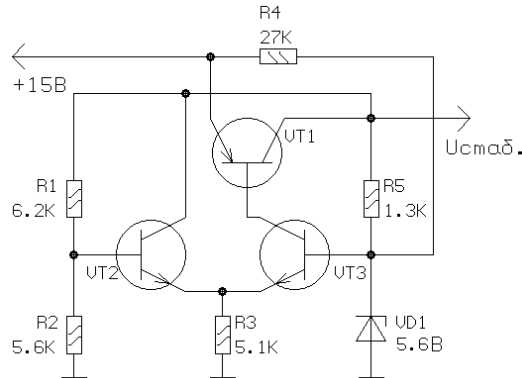
7. Сохранение результатов. File/Save All.



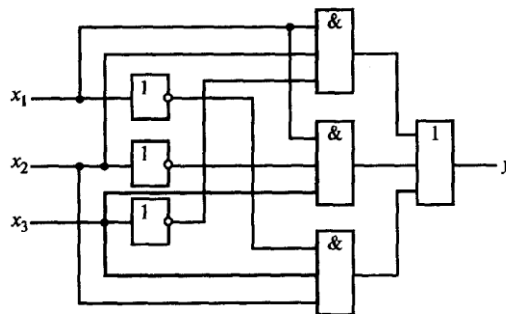


## САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Выполнить SPICE моделирование компенсационного стабилизатора напряжения. Вид анализа – DC Sweep Analysis. Напряжение стабилизации 12 В. Пробивное напряжение стабилитрона 5.6 В. Транзисторы VT1, VT2, VT3 – любые, соответствующей структуры.

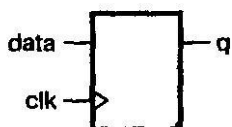


2. Выполнить SPICE моделирование трехвходового мажоритарного устройства. На его выходе должна появляться логическая единица, когда на любой паре входов присутствуют логические единицы. В качестве источника сигналов использовать двоичный счетчик (см. задание 22, п. 5). Вид анализа – Transient Analysis.



3. Выполнить VHDL моделирование D-триггера, тактируемого передним фронтом. Пример описания D-триггера на языке VHDL приведен ниже. Выражение (clk'event and clk='1') – атрибут срабатывания по переднему фронту. Проект должен включать три документа: описание D-триггера на языке VHDL; схема, состоящая из УГО D-триггера и портов подключения; тестовый файл. Тестовый файл можно создать в автоматическом режиме с помощью команд: Design/Create VHDL Testbench или Tools/Convert/Create VHDL Testbench. Общие принципы VHDL моделирования рассмотрены в задании 22.

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
entity dff is
port (data, clk : in std_logic;
q : out std_logic);
end dff;
architecture behav of dff is
begin
process (clk) begin
if (clk'event and clk = '1') then
q <= data;
end if;
end process;
end behav;
```



Учебное издание

Озёркин Денис Витальевич

**Altium Designer. SolidWorks**  
**Часть 2. Схемотехническое проектирование**

Сборник практических заданий

Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 5,58

Тираж 50 экз. Заказ

Отпечатано в Томском государственном университете  
систем управления и радиоэлектроники.  
634050, Томск, пр. Ленина, 40. Тел. (3822) 533018.