## МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный технический университет"

Строительно-политехнический колледж

# ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению лабораторных работ № 3-5 для студентов специальностей 15.02.10 "Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)" и 15.02.10 "Мехатроника и робототехника (по отраслям)" всех форм обучения

Воронеж 2025

УДК 621.38:681.3(07) ББК 32.97:32.81я7

#### Составитель В. Н. Коротков

Технологии программирования мехатронных систем: методические указания к проведению лабораторных работ № 3-5 для студентов специальностей 15.02.10 «Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)» и 15.02.10 «Мехатроника и робототехника (по отраслям)» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: В. Н. Коротков. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2025. – 60 с.

Методические указания содержат теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторных № 3-5. Методические указания разработаны с целью организации и проведения лабораторных занятий по дисциплине «Технологии программирования мехатронных систем».

Предназначены для студентов специальностей 15.02.10 "Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)" и 15.02.10 "Мехатроника и робототехника (по отраслям)".

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ТПМС\_МУ\_ЛР3-5.pdf.

Ил. 55. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.38:681.3(07) ББК 32.97:32.81я7

**Рецензент** – В. А. Трубецкой, канд. техн. наук, доц. кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

# ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Аппаратное исполнение логических элементов	4
1.1. Классификация и характеристики логических элементов	4
1.2. Резисторно-транзисторные логические элементы	7
1.3. Диодно-транзисторные логические элементы	7
1.4. Транзисторные элементы с непосредственной связью	8
1.5. Транзисторно-транзисторные логические элементы	9
1.6. Логические элементы с тремя состояниями	12
1.7. Логические элементы с открытым коллектором	12
1.8. Эмиттерно-связанные логические элементы	13
1.9. Логические элементы на МОП-транзисторах	14
2. Лабораторная работа № 3. Изучение интерфейса и виртуальных	
приборов пакета программ "Proteus VSM"	19
2.1.Введение в пакет программ "Proteus VSM"	19
2.2. Интерфейс, функции и возможности программы "ISIS"	19
2.3. Виртуальные измерительные приборы	24
2.4. Библиотеки виртуальных элементов	32
2.5. Цель лабораторной работы	35
2.6. Задание на лабораторную работу	35
2.7. Выполнение лабораторной работы	36
3. Лабораторная работа № 4. Создание принципиальной электриче-	37
ской схемы в пакете программ "Proteus VSM"	
3.1. Подготовка к вводу принципиальной электрической схемы	37
3.2. Ввод принципиальной электрической схемы	38
3.3. Цель лабораторной работы	46
3.4. Задание на лабораторную работу	47
3.5. Выполнение лабораторной работы	47
4. Лабораторная работа № 5. Исследование цифрового электронного	
устройства в пакете программ "Proteus VSM"	48
4.1. Подготовка к вводу принципиальной электрической схемы	
цифрового электронного устройства	48
4.2. Ввод принципиальной электрической схемы цифрового	
электронного устройства	50
4.3. Цель лабораторной работы	58
4.4. Задание на лабораторную работу	58
4.5. Выполнение лабораторной работы	58
Библиографический список	59

## 1. АППАРАТНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

#### 1.1. Классификация и характеристики логических элементов

Развитие микроэлектроники позволило вести крупносерийное производство самых различных интегральных микросхем (ИМС). Их разработка и производство ведется, как правило, в виде серий. Серия – это комплект ИМС с различными логическими и электрическими характеристиками, имеющая единые схемотехническое и конструкторско-технологическое исполнения.

Существующие в настоящее время микросхемы могут быть классифицированы по многим признакам, но если выделить самое главное-различие топологии электрических схем основных (базовых) ЛЭ, то окажется, что все множество ИМС может быть разделено на относительно небольшое число существенно различных систем [1 – 3].

Большинство современных ЛЭ относится к элементам потенциального типа, характерными чертами которых являются гальваническая связь между входом и выходом и возможность построения схемы без применения реактивных элементов или с использованием ограниченного числа конденсаторов малой емкости для вспомогательных целей.

В современных ЛЭ находят применение как биполярные, так и МОПтранзисторы. Возможности и основные свойства активных цепей таковы, что наиболее просто в схемном отношении реализуются операции И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Логические элементы такого вида являются базовыми и в зависимости от конфигурации их схем выделяют следующие основные системы:

РТЛ – резисторно-транзисторная логика;

- ДТЛ – диодно-транзисторная логика;

- НСТЛ – транзисторная логика с непосредственной связью;

- ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика;

- ТТЛШ – транзисторно-транзисторная логика с диодом Шоттки;

- ЭСЛ – эмиттерно-связанная логика;

- р-МОП – транзисторная логика на р-канальных МОП-транзисторах;

- n-МОП – транзисторная логика на n-канальных МОП-транзисторах;

- КМОП – транзисторная логика на комплементарных МОПтранзисторах.

В вычислительных устройствах применяется система положительных и отрицательных логических уровней. При положительной системе логических уровней высокий уровень сигнала соответствует логической единице, а низкий уровень – логическому нулю. Этой системой удобно пользоваться в устройствах, выполненных на транзисторах проводимости n-p-n. Эту систему условно называют положительной логикой. При отрицательной системе логических уровней высокий уровень напряжения соответствует логическому нулю, а низкий – более отрицательный – логической единице. Этой системой удобно пользоваться в устройствах, выполненных на транзисторах проводимости р-n-р.

Основными характеристиками логических элементов являются:

- статическая характеристика передачи;
- статическая помехоустойчивость;
- быстродействие;
- число входов или коэффициент объединения по входу;
- нагрузочная способность или коэффициент разветвления по выходу;
- потребляемая мощность.

Статическая характеристика передачи, показанная на рисунке 1.1, представляет собой зависимость напряжения  $U_{Bblx}$  на выходе ЛЭ от напряжения  $U_{BX}$ на одном из его входов ( $U_{Bblx} = f(U_{BX})$ ). При этом напряжения на других входах поддерживаются постоянными и соответствующими уровню логического нуля для схем ИЛИ-НЕ и уровню логической единицы для схем И-НЕ. В этом случае ЛЭ превращается в инвертор. К выходу исследуемого элемента подключается в качестве нагрузки однотипный элемент.

Основные параметры статической характеристики передачи:



Рис. 1.1. Статическая характеристика передачи ЛЭ

- уровни напряжения  $U_1$  и  $U_0$ , равные соответственно лог. 1 и лог. 0;

- логический размах или перепад напряжения *U<sub>m</sub>*;

- пороговые уровни  $U_{\Pi_1}$  и  $U_{\Pi_2}$  и ширина активной области  $\Delta U$ . Отношение  $\frac{U_m}{\Delta U}$  представляет собой значение среднего коэффициента передачи в активной области. Точки М и N характеризуют положение рабочей точки на статической характеристике передачи при подаче на вход ЛЭ уровней напряжения  $U_0$  и  $U_1$ .

Статическая помехоустойчивость определяется наибольшей величиной напряжений  $U_{\Pi OM}^0$  и  $U_{\Pi OM}^1$ , которые могут быть поданы на вход элемента относительно логических уровней 0 и 1 и не вызовут ложных переключений. Причиной таких помех могут быть паразитные падения напряжения на шинах питания, плохо отфильтрованная переменная составляющая напряжения питания, внешние электромагнитные наводки. В практических схемах значение  $U_{\Pi OM}$  колеблется от 0,1 до 0,3 В в элементах с низкой помехоустойчивостью и до 1,0 В – в элементах с высокой помехоустойчивостью.

Быстродействие в логических элементах определяется величиной задержки перепада от напряжения лог. 0 к напряжению лог. 1 или от напряжения лог. 1 к напряжению лог. 0 при переходе его через ЛЭ. Эта задержка определяется наличием некоторого порога срабатывания элемента, инерционностью полупроводниковых приборов, влиянием паразитных емкостей. Она измеряется на уровне, равном половине величины перепада, и различна для положительного  $(t_3^+)$  и отрицательного  $(t_3^-)$  перепадов

Средней задержкой называют их полусумму:

$$t_3^{CP} = \frac{t_3^+ + t_3^-}{2} \tag{1.1}$$

Быстродействие логической схемы тем выше, чем меньше  $t_3^{CP}$ . Все логические элементы по быстродействию можно разделить на:

- сверхбыстродействующие – у которых среднее время задержки меньше 5 нс;

- быстродействующие – у которых среднее время задержки 5 – 10 нс;

- среднебыстродействуюшие – у которых среднее время задержки 11 – 15 нс;

- медленнодействующие – у которых среднее время задержки больше 15 нс.

Коэффициент объединения по входу или число входов (*m*)ЛЭ определяет максимальное количество входных сигналов, над которыми можно произвести операции ИЛИ и И. В зависимости от типа элемента, находится в пределах 2 – 12.

Нагрузочная способность или коэффициент разветвления по выходу (*n*) характеризирует число входов аналогичных элементов, которые можно подключить к выходу данного элемента без нарушения его нормального функционирования. В зависимости от типа элемента находится в пределах 3 - 100.

Потребляемая мощность рассеивания в ЛЭ определяет не только его экономичность, но, что более важно, – степень его разогрева. Это ограничивает габариты элемента и всего устройства в целом. Уменьшение габаритов элемента и, следовательно, величины его охлаждающей поверхности при заданной величине его рассеивающей мощности приводит к росту температуры элемента сверх допустимого значения и к нарушению его работоспособности. На практике пользуются понятием средней мощности  $P_{CP}$ , под которой понимается полусумма мощностей, рассеиваемых в двух статических состояниях элемента: закрытом и открытом. Величина  $P_{CP}$  достигает сотен милливатт.

1.2. Резисторно-транзисторные логические элементы

Схема базового элемента резисторно-транзисторной логики (РТЛ) изображена на рисунке 1.2. Ее основой является простейший ключ–инвертор, а операция ИЛИ реализуется входной сборкой резисторов R1 - R3. Схема относительно проста, но обладает рядом недостатков, основным из которых является сильная зависимость глубины насыщения транзистора VT1 от числа логических единиц на входе, что приводит к ухудшению его динамических характеристик. Эта же причина уменьшает коэффициент объединения по входу и коэффициент разветвления по выходу. Развитие интегральной схемотехники и технологии привело к тому, что в настоящее время РТЛ практически не применяется.

1.3. Диодно-транзисторные логические элементы



Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема элемента РТЛ

Диодно-транзисторные логические элементы находят широкое применение в цифровых устройствах. Они имеют повышенную помехоустойчивость, среднее быстродействие и сравнительно большой коэффициент разветвления по выходу *n*. Основная схема ДТЛ-элемента, выполняющая логическую функцию И-НЕ, показана на рисунке 1.3.

Диоды VD1 – VD3 совместно с резистором R1 выполняют логическую операцию И. Транзистор VT1 выполняет роль усилителя-инвертора. Диоды VD4, VD5 создают напряжение смещения, необходимое для совместимости уровней входного и выходного сигналов в схеме. В закрытом состоянии схемы резистор R2 задает ток через смещающие диоды, обеспечивая требуемое увеличение порога запирания транзистора VT1. В открытом состоянии схемы транзистор VT1 находится в режиме насыщения и выходное напряжение схемы равно напряжению насыщения коллектора транзистора U<sub>KH</sub>, а в закрытом состоянии оно близко к напряжению  $E_k$ . Схема задерживает сигнал при выключении. Это связано с рассасыванием избыточного заряда в базе, накопленного в режиме насыщения и наличием паразитных емкостей.



Рис. 1.3. Принципиальная электрическая схема элемента ДТЛ

При подаче на все входы высокого уровня напряжения (лог. 1) диоды VD1 – VD3 смещаются в обратном направлении, и ток, протекающий через резистор R1, поступает в базу транзистора VT1 и вызывает его насыщение. Напряжение на выходе схемы равно напряжению лог. 0. Если на любом из входов схемы появляется низкий уровень напряжения, соответствующий уровню лог. 0, то соответствующий диод на входе открывается, диоды VD4, VD5 закрываются, и ток, протекающий через резистор R1, переключается из базовой цепи транзистора в цепь источника входного сигнала. Транзистор VT1 закрывается, выходное коллекторное напряжение схемы возрастает до напряжения  $E_k$ . Источник питания  $E_1$  обеспечивает насыщение транзистора VT1.

#### 1.4. Транзисторные элементы с непосредственной связью

Принципиальная электрическая схема НСТЛ-элемента приведена на рисунке 1.4.



Рис. 1.4. Принципиальная электрическая схема элемента НСТЛ

Схема ЛЭ образована соединением коллекторов нескольких транзисторов. Здесь применена непосредственная связь выхода предыдущего каскада со

входом последующего. Если на все входы поступают низкие уровни напряжения (лог. 0), то все три транзистора VT1 – VT3 закрыты и на выходе напряжение равно  $+E_k$  (без учета подключения ЛЭ к нагрузке), что соответствует уровню лог. 1.

Если хотя бы на один вход поступает высокий уровень напряжения (лог. 1), то соответствующий транзистор открывается и насыщается и выходное напряжение снижается до  $U_{\kappa H}$ , что соответствует лог. 0. При подаче лог. 1 на большее число входов насыщается большее число транзисторов, но уровень выходного потенциала почти не изменяется и остается близким к нулю. Таким образом, здесь реализуется операция ИЛИ-НЕ. При работе схемы на однотипные элементы уровень лог. 1 определяется значением напряжения насыщения базы равным примерно 0,7 – 0,8 В кремниевых транзисторов, а значение напряжения насыщения коллектора равно 0,2 – 0,3 В. Такая малая разница уровней напряжения между лог. 1 и лог. 0 снижает помехоустойчивость схемы, но схема элемента НСТЛ отличается простотой и требует относительно небольшого числа компонентов, в результате чего эти элементы имеют особые преимущества для миниатюризации.

1.5. Транзисторно-транзисторные логические элементы

Схема ТТЛ ЛЭ, выполняющего логическую функцию И-НЕ, серии К155 представлена на рисунке 1.5. Схема содержит входной каскад, реализующий функцию И, фазоинверсный каскад с источником тока и выходной каскад с активной нагрузкой.

Эмиттеры транзистора VT1 служат входами логического элемента и со-



Рис. 1.5. Принципиальная электрическая схема элемента ТТЛ

единены с шиной нулевого потенциала (общим проводом питания) через обратно-смещенные антизвонные диоды VD1 - VD3. Эти диоды служат демпфе-

ром, защищая от отрицательного входного напряжения транзистор VT1. При поступлении хотя бы на один эмиттер потенциала, близкого к нулю (лог. 0), через эмиттер начинает вытекать базовый ток транзистора VT1, создавая на входе ток лог. 0, ограничивающийся сопротивлением резистора R1. В таком режиме потенциал коллектора VT1 низок и транзисторы VT2 и VT5 закрыты. Транзистор VT4 открыт, обеспечивая на выходе уровень напряжения лог. 1:

$$U_{BbIX}^{1} = E_{\Pi} - I_{BVT4} R3 - U_{VD4}$$
(1.2)

Если на все эмиттеры транзистора VT1 подать напряжение лог. 1, равное примерно напряжению питания Еп, то эмиттерные токи VT1 резко уменьшатся (входные токи лог. 1), а базовый ток уйдет в коллектор, создавая на базе транзистора VT2 высокий потенциал. Транзистор VT2 открывается, запирая при этом транзистор VT4 и отпирая транзистор VT5. Транзистор VT5 входит в насыщение, обеспечивая на выходе напряжение, равное примерно 0,4 В. Это напряжение есть напряжение лог. 0 (положительная логика).

Источник тока на VT3 и эмиттерный повторитель на VT5 способствуют улучшению передаточной характеристики логического элемента. При отпирании транзистора VT2 потенциал коллектора VT5 начинает падать, и в отсутствии источника тока, вместо которого может быть включен резистор, на выходе логического элемента начинается падение напряжения.

Начало падения выходного напряжения определяется напряжением отпирания транзистора VT2, это максимально допустимое, то есть пороговое напряжение лог. 0 на входе  $U_{BX.max}^0 \approx 0.8$  В. Однако источник тока на транзисторе VT3 проявляет свойства нелинейного сопротивления и в начальный период повышения входного напряжения ограничивает коллекторный ток транзистора VT2, сдерживая спад выходного напряжения. В то же время с повышением входного напряжения медленно повышается и потенциал эмиттера VT2 и транзистор VT5 отпирается. В результате происходит резкое снижение выходного напряжения лог. 0, когда входное напряжение достигает значения минимально допустимого напряжения лог. 1 В, переходные процессы заканчиваются, так как транзистор VT5 оказывается насыщенным и дальнейшее повышение входного напряжения на потенциале коллектора практически не отражается.

Логические элементы серий 530, 531 явились результатом совершенствования микроэлектронной технологии, позволившей в начале 70-х гг. начать изготовление в масштабах серийного производства выпрямляющих элементов металл-полупроводник, известных как переходы Шоттки, что показано на рисунке 1.6.



Рис. 1.6. Принципиальная электрическая схема элемента ТТЛШ

Идея использования нелинейной отрицательной обратной связи для повышения быстродействия транзисторных ключей состоит в следующем. Известно, что время, затрачиваемое на формирование фронта выходного импульса, определяется рассасыванием инжектированных неосновных носителей, когда транзистор переходит из насыщения в область отсечки. Необходимо предотвратить вхождение транзистора в режим глубокого насыщения. Это может быть достигнуто путем приложения к участку база-коллектор запирающего напряжения.

Если между базой и коллектором включить диод Шоттки, подсоединив анодом к базе, то при отпирании транзистора на коллекторе в некоторый момент времени устанавливается потенциал, отпирающий диод Шоттки. Напряжение отпирания перехода Шоттки 0,4 – 0,5 В, то есть меньше, чем падение на переходе база-коллектор и, следовательно, диод Шоттки откроется раньше, чем переход база-коллектор. Таким образом, коллекторный переход оказывается запертым и режим насыщения исключается. Важным достоинством диодов Шоттки является то, что в них отсутствует инжекция неосновных носителей. В связи с этим при выключении не затрачивается время на рассасывание избыточного заряда и время их переключения составляет около 0,1 нс.

В серии ТТЛШ 1531, 1533 использованы транзисторы с диодом Шоттки с очень малым объемом коллекторной области, чем реализовано практически предельное быстродействие. В них чтобы сохранить значительную нагрузочную способность элемента, входной ток низкого уровня уменьшен примерно в 10 раз. Для этого в схему ЛЭ добавлен после логической диодной матрицы эмиттерный повторитель на транзисторе.

#### 1.6. Логические элементы с тремя состояниями

Схема ЛЭ с тремя стабильными состояниями представлена на рисунке 1.7.



Рис. 1.7. Принципиальная электрическая схема ЛЭ с тремя состояниями

Схемы с тремя состояниями имеют состояния по выходу:

- состояние лог. 1;
- состояние лог. 0;
- состояния обрыва.

Они могут работать на общую шину, поэтому используются в качестве шинных формирователей. Схема работает следующим образом. Для управления транзисторами VT3 и VT4 введена дополнительная управляющая цепь, которая называется управлением (вход EO). Этот вход через диод VD1 подключен к базе транзистора VT3, а также к эмиттеру транзистора VT1. Когда на вход EO поступает лог. 0, транзисторы VT3 и VT4 закрыты. Это соответствует третьему состоянию – обрыв, то есть логический элемент как бы отключается от выходной шины. Если на вход EO подается лог. 1, то диод VD1 закрывается и транзистор VT3 будет работать как в обычной TTЛ-схеме.

1.7. Логические элементы с открытым коллектором

Схема ЛЭ с открытым коллектором приведена на рисунке 1.8.

Эти элементы применяются в тех случаях, когда необходимо питать энергоемкую нагрузку. Выход с открытым коллектором позволяет иметь много параллельных выходов, что обеспечивает логическое сложение выходных функций схем при подаче напряжения питания  $+E_2$  на группу соединенных вместе выходов через резистор соответствующего сопротивления, которое зависит от числа соединенных выходов и числа подключенных к ним входов последую-

щих элементов. Кроме того, выход с открытым коллектором дает возможность в качестве нагрузки использовать лампы накаливания, светодиоды, обмотки реле, индикаторы и т. д.

1.8. Эмиттерно-связанные логические элементы



Рис. 1.8. Принципиальная электрическая схема ЛЭ с открытым коллектором

Логические элементы эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ) обладают наиболее высоким быстродействием из всех существующих ЛЭ, что обусловлено следующими факторами:

- открытые транзисторы работают в активном режиме, благодаря чему отсутствует задержка, связанная с рассасыванием избыточного заряда в транзисторах;

- внутренняя симметрия ЛЭ обеспечивает практическое отсутствие изменения потребляемого тока при переключении и связанных с ним всплесков напряжения в цепях питания.

Схема ЭСЛ логического элемента представлена на рисунке 1.9. Для реализации многовходовой переключательной функции входной транзистор заменен группой параллельно соединенных транзисторов, а для согласования входных и выходных уровней логической единицы и нуля в схему включены эмиттерные повторители. При этом на выходе у формируется функция ИЛИ-НЕ, на выходе у<sub>2</sub> – функция ИЛИ.

Имея высокое быстродействие, схемы ЭСЛ имеют и недостатки: низкая помехоустойчивость и большая потребляемая мощность, так как для достижения быстрого перезаряда паразитных емкостей в схеме используются резисторы с малым сопротивлением, через которые текут большие токи.



Рис. 1.9. Принципиальная электрическая схема ЛЭ ЭСЛ

1.9. Логические элементы на МОП-транзисторах

Логические элементы на МОП-транзисторах изготавливаются по р-МОП, n-МОП, КМОП-технологиям. В первых используются р-канальные транзисторы, во вторых - n-канальные транзисторы, а в третьих – используются комплементарные МОП-схемы, где в одной схеме применяются как р-канальные, так и n-канальные транзисторы. Схемы на МОП-транзисторах имеют меньшее быстродействие, чем схемы на биполярных транзисторах, что объясняется значительными емкостями между затвором, стоком, истоком и подложкой, на перезаряд которых требуется определенное время. Схемы на МОП-транзисторах потребляют малую мощность, имеют высокую нагрузочную способность и высокую помехоустойчивость, занимают малую площадь на поверхности кристалла, они технологичны и дешевы. Их применяют в тех случаях, где нужна большая степень интеграции и небольшое быстродействие. Особенность микросхем на МОП-структурах заключается в том, что в их схемах отсутствуют резисторы, а роль нелинейных резисторов выполняют соответствующим образом включенные транзисторы.

В основе всех логических схем на МОП-структурах лежит инвертор, что показано на рисунке 1.10. При подаче на вход Х напряжения -Е (лог. 1), транзистор VT2 открывается, его сопротивление становится малым и на выходе присутствует напряжение близкое к нулю (лог. 0). При подаче на вход напряжения лог. 0 транзистор VT2 закрывается и на выходе присутствует напряжение –Е.

Для реализации функции И-НЕ ключевые транзисторы включают последовательно с нагрузочным транзистором VT1, что показано на рисунке 1.11. Если на каком-либо входе напряжение равно нулю (лог. 0), то соответствующий транзистор закрыт и напряжение на выходе равно –Е (лог. 1).

Схема ИЛИ-НЕ образуется параллельным соединением транзисторов VT2 и VT3 и подсоединением их объединенных стоков к истоку нагрузочного транзистора VT1, что показано на рисунке 1.12. Если на все входы подать напряжение лог. 1 (–Е), то транзисторы VT2 и VT3 будут открыты и будут иметь низкое сопротивление, выходное напряжение будет близко к нулю (лог. 0).



Рис. 1.10. Принципиальная электрическая схема элемента НЕ на p-МОП транзисторах



Рис. 1.11. Принципиальная электрическая схема ЛЭ И-НЕ на р-МОП транзисторах



Рис. 1.12. Принципиальная электрическая схема ЛЭ ИЛИ-НЕ на р-МОП транзисторах

Если на любом из двух входов схемы напряжение соответствует лог. 1 (– E), то соответствующий транзистор открыт и имеет низкое сопротивление. При этом на выходе будет напряжение близкое к нулю (лог. 0). Если на все входы поданы лог. 0, то все транзисторы будут закрыты и на выходе будет напряжение –E.

Преимущества ЛЭ на КМОП-структурах:

- малая потребляемая мощность;

- более высокое быстродействие.

Высокое быстродействие таких схем реализуется за счет того, что в цепях заряда и разряда паразитных емкостей схемы включены малые сопротивления открытых транзисторов. Логические схемы И-НЕ, ИЛИ-НЕ образуются параллельно-последовательным соединением транзисторов. На рисунке 1.13 представлена схема, реализующая функцию ИЛИ-НЕ, использующая как р-канальные, так и п-канальные транзисторы.



Рис. 1.13. Принципиальная электрическая схема ЛЭ ИЛИ-НЕ на КМОПструктуре

Схема работает следующим образом. При подаче высокого уровня напряжения (+E) на вход X1 транзистор VT1 закрывается, а транзистор VT3 открывается, на выходе будет напряжение близкое к нулю (лог. 0). То же самое будет и при подаче напряжения (+E) на вход X2. При подаче на входы X1 и X2 лог. 0 транзисторы VT3 и VT4 будут закрыты, а транзисторы VT1 и VT2 открыты. На выходе будет высокий уровень напряжения (+E) – лог. 1.

Логическая схема, реализующая функцию И-НЕ, представлена на рисунке 1.14.

Если на вход X1<sub>1</sub> подан уровень лог. 0 (0 В), то транзистор VT1 будет открыт, а транзистор VT4 – закрыт. На выходе будет высокое напряжение (+E) – лог. 1. То же самое будет и при подаче лог. 0 на вход X2<sub>2</sub>. При подаче на входы X1 и X2 лог. 1, транзисторы VT1 и VT2 будут закрыты, а транзисторы VT3, VT4 открыты – на выходе будет уровень лог. 0.

В КМОП-логических схемах ток постоянно не протекает.

Коэффициент разветвления по выходу в КМОП-логических схемах велик, поскольку эти схемы имеют очень большое входное сопротивление. КМОПсхемы могут работать в широком диапазоне питающих напряжений, что удобно при их совместной работе с ТТЛ схемами. Однако управлять КМОП-схемой ТТЛ схема напрямую не может, так как уровень напряжений лог. 1 ТТЛ схемы недостаточен для КМОП-схемы.

Схемы соединения ТТЛ и КМОП ЛЭ показаны на рисунке 1.15.

Учитывая сказанное выше, при соединении выхода ЛЭ КМОП со входом







Соединение выхода ЛЭ ТТЛ со входом ЛЭ КМОП



Соединение выхода ЛЭ КМОП со входом ЛЭ ТТЛ

Рис. 1.15. Принципиальные электрические схемы соединения ЛЭ ТТЛ и КМОП

ЛЭ ТТЛ, требуется вольтодобавка, которую обеспечивает резистор R1. Его сопротивление составляет от 1 до 5 кОм. Однако, для устойчивой работы схемы это сопротивление требуется подбирать в зависимости от напряжения питания +Ucc, которое может находиться в пределах от +5 до + 15 В (обычно +5 ... +12 В).

Выход ЛЭ КМОП, как и выход операционного усилителя, работающего в импульсном режиме, соединяется со входом ЛЭ ТТЛ при помощи согласующего каскада на транзисторе VT1. Транзистор может быть типа КТ315, КТ3102 с любым буквенным индексом, или аналогичный по параметрам. Резистор R1 ограничивает ток базы транзистора. Его сопротивление должно быть в диапазоне от 1 кОм до 10 кОм. Резистор R2 ограничивает ток коллектора транзистора. Его сопротивление можно выбрать равным 1 кОм в соответствии с требованиями к включению ЛЭ ТТЛ [2, 3, 4].

### 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСА И ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ПАКЕТА ПРОГРАММ "PROTEUS VSM"

2.1. Введение в пакет программ "Proteus VSM"

"Proteus" - это пакет программ класса САПР, объединяющий в себе две основных программы:

- "ISIS" – программа для моделирования в режиме реального времени электронных схем;

- "ARES" – программа для разработки печатных плат.

Разработчиком пакета "Proteus" является фирма "Labcenter Electronics", Великобритания.

Пакет программ имеет обширные библиотеки компонентов, в том числе периферийных устройств:

- светодиодные и жидкокристаллические индикаторы;

- температурные датчики;

- часы реального времени (RTC);

- интерактивные элементы ввода-вывода: кнопки, переключатели, переменные резисторы;

- виртуальные порты;

- виртуальные измерительные приборы;

- интерактивные графики.

Пакет программ устойчиво работает под управлением "Windows 2k", XP, Vista.

В качестве методических материалов из известных печатных изданий можно рекомендовать [5, 6].

Далее будет изучаться процесс исследования (моделирования) принципиальной электрической схемы цифрового устройства в программе "ISIS". Исследование аналогового устройства рассматриваться не будет, так как это выходит за рамки данного междисциплинарного курса.

2.2. Интерфейс, функции и возможности программы "ISIS"

На рисунке 2.1 показано основное окно программы "ISIS" с пояснениями по назначению основных элементов интерфейса. Подведя курсор к стартовому элементу меню (прямоугольная серая полоска для горизонтальных меню слева, а для вертикальных – сверху) и, нажав и не отпуская левую кнопку мыши, можно осуществить перетаскивание, например, меню ориентации внутри окна к правой вертикальной границе окна и после отпускания кнопки оно останется вертикально справа. Аналогично можно поступить и с любым из верхних командных меню. Так можно настроить удобное для себя расположение элементов программы.



Рис. 2.1. Основное окно программы "ISIS"

При запуске программы "ISIS" появляются два всплывающих окна. В одном из них предлагается проверить обновления. Другое окно предлагает открыть многочисленные примеры "Sample Designs", прилагаемые вместе с программой. Быстрый доступ к примерам всегда возможен по команде "Help > Sample Designs".

В меню "File" имеются следующие пункты:

- New Desiqn – новый проект;

- Open Design (Ctrl+O) – открыть проект;

- Save Design (Ctrl+5) – сохранить изменения в текущем проекте;

- Save Design As... – сохранить проект как...;

- Save Design As Template... - сохранить проект как образец...;

- Windows Explorer... – откроется папка, где хранится проект;

- Import Bitmap... - вставка внешнего рисунка (только формат ВМР);

- Import Section... – вставка внешнего фрагмента (позволяет перемещать части схемы из одного проекта в другой);

- Export Section... – преобразование во внешний фрагмент;

- Export Graphics – преобразование схемы в другие форматы (BMP, DXF,и др.);

- Mail To... – отправить по электронной почте;

- Print... – печать, ее настройки.

Также здесь приводится список последних 4 открытых проектов.

В меню "View" имеются следующие пункты:

- Redraw – перерисовать;

- Gride – показать/скрыть сетку;

- Origin – выбор относительной/абсолютной системы координат;

- X Cursor – положение курсора;

- Snap 10th - размеры решетки 10th;

- Snap 50th - размеры решетки 50th;

- Snap 0.1in - размеры решетки 0.1in;

- Snap 0.5in - размеры решетки 0.5in;

- Pan – понорамирование рабочего окна;

- Zoom In – увеличение масштаба;

- Zoom Out – уменьшение масштаба;

- Zoom All – показать все;

- Zoom to Area - показать выделенную область;

- Toolbars – показать панели инструментов.

В меню "Edit" имеются следующие пункты:

- Undo – отмена последних действий пользователя;

- Redo – возврат последних действий пользователя;

- Find and Edit Component... – найти и отредактировать компонент (при вводе позиционного обозначения выходит меню со свойствами компонента);

- Cut to clipboard – вырезать в буфер обмена;

- Сору to clipboard – скопировать в буфер обмена;

- Paste from clipboard – вставить из буфера обмена, если буфер обмена не пуст;

- Send to back – переместить назад;

- Bring to front – поместить на передний план;

- Tidy – удаление из окна выбора элементов всех элементов, не используемых в данном проекте.

В меню "Source" имеются следующие пункты:

- Add/Remove Source files... – добавить/удалить исходный файл;

- Define Code Generation Tools... – настройки компилятора;

- Setup External Text Editor... – настройка внешнего текстового редактора;

- Build All – откомпилировать все.

Остальные пункты меню будут рассматриваться при необходимости.

На левой панели инструментов расположены следующие кнопки:

- "Selection Mode" – режим выбора. В окне редактирования единичным щелчком левой кнопки мыши по объекту (компоненту, проводу, шине, графическому элементу) можно выделить его – он становиться красным, а удерживая левую кнопку нажатой и обводя группу объектов можно выделить блок. Кроме того, из этого режима возможно проведение соединительных линий проводов между выводами компонентов или от выводов к шинам. В окне предпросмотра при этом виден уменьшенный лист проекта и положение текущего окна редактирования (зеленая рамка).

- \* - "Component Mode" – режим выбора/размещения компонентов. В

этом режиме компоненты размещаются в окне редактирования. При выборе требуемого компонента его вид отображается в окне предпросмотра. С помощью кнопок предварительного поворота/отражения объекта можно выбрать в каком положении будет размещаться объект на поле в окне редактирования. В окне предпросмотра это положение будет отражено. В режиме "Component Mode" первый щелчок левой кнопкой мыши по полю окна редактирования вызывает подсветку контура размещаемого объекта, а второй щелчок устанавливает его на выбранное место. Здесь же доступен ввод линий связи между выводами компонентов.

- + - "Junction Dot Mode" – режим расстановки точек соединения на проводах. Расстановка как и в предыдущем режиме на два щелчка мыши: подсветка, установка.

- "Wire Lebel mode" – режим текстовой маркировки проводов и шин. При наведении курсора на маркируемый провод/шину под изображением карандаша появляется косое перекрестие, после чего щелчок правой кнопки мыши вызывает окно редактирования "Edit Wire Lebel". В окне "String" проводнику присваивается уникальное в рамках проекта имя, либо выбирается из уже имеющихся через раскрывающийся список по стрелке справа от окна "String".

- "Text Script Mode" – режим размещения текстовых простых многострочных сообщений. Щелчок правой кнопкой мыши по свободному полю в проекте вызывает всплывающее окно встроенного редактора текста "Edit Script Block". В окне "Text" набирается текстовый блок.

- "Вuses Mode" – режим ввода соединительных шин (линий групповой связи). Первым щелчком левой кнопки мыши в нужной точке указывается начало шины, последующими одиночными щелчками левой кнопки мыши ставятся точки поворотов, двойным щелчком левой кнопки мыши завершается ввод.

- "Subcircuit Mode" – режим размещения субмодулей. Модули – прямоугольники с толстой синей окантовкой и заливкой цветом компонентов – позволяют вынести функционально законченные узлы на отдельные листы ("Child Sheet" - дочерний лист модуля). Вводится модуль нажатием и последующим удержанием нажатой левой кнопки мыши в окне проекта по диагонали с угла на угол. После этого через изменение свойств доступно присвоение ему индивидуального имени (по умолчанию подставляется SUB?). При установке "Subcircuit Mode" в окне выбора становятся доступными для выбора терминалы (порты ввода/вывода и питания) субмодуля. Расстановка выбранных терминалов возможна по левой и правой вертикальной синей окантовке модуля. Принято входы (Input) ставить слева, а выходы (Output) справа. Изображение терминала появляется в окне предпросмотра при его выборе.

- - "Terminal Mode" – режим расстановки терминалов. Терминалы позволяют связать две или несколько точек схемы, расположенных как на одном листе, так и на разных листах, не проводя между ними соединительной линии. Для этого в свойствах (Properties) связанных между собой терминалов им указывают одинаковые имена. Имена указываются в окне "String" вручную или

выбираются из уже назначенных через выпадающее меню при щелчке правой кнопки мыши по стрелке справа в окне "String". В окно свойств происходит переход при двойном щелчке левой кнопкой мыши по установленному в схему терминалу, либо при щелчке правой кнопки мыши и выборе опции "Edit Properties" (Ctrl+E). Выбранный терминал доступен для предпросмотра перед установкой в окне "Preview". Его положение можно изменять кнопками поворота/отражения. Если терминалы "Power" и "Ground" после установки не поименованы особо, то они считаются подключенными к глобальным для проекта Наименование питанию земле. терминала формируется И так: ИМЯ[НАЧ РАЗРЯД..КОН РАЗРЯД]. Здесь ИМЯ – наименование шины латиницей без пробелов и спецсимволов, НАЧ РАЗРЯД и КОН РАЗРЯД - два числа, из непрерывного возрастающего ряда, определяющие разрядность данного терминала.

На практике это выглядит следующим образом. Например, есть шина адреса с именем A[0..15]. Поместив на ее конце, или отводе терминал с именем A[0..15] можно получить на одноименном терминале шины в другом месте схемы все 16 разрядов шины, которые потом через отходящие от нее провода с именами A0, A1 и т.д. можно развести по выводам компонентов.

- "Device Pins Mode" – режим расстановки выводов модели устройства (компонента) при его создании.

- 🖾 - "Graph Mode" – режим размещения графиков в проекте. Возможные варианты анализа с помощью графиков выбираются в появившемся окне, которое можно растянуть по полю проекта.

- Ш - "Таре Recorder Mode" – режим установки магнитофона. Сигналы, генерируемые разработанным устройством, в процессе симуляции можно записать в файл с последующим использованием их в другом проекте.

- 🧖 - "Generator Mode" – режим расстановки виртуальных генераторов. В этом режиме в появившемся окне доступны для выбора и размещения в схеме виртуальные генераторы сигналов. Они делятся на цифровые (все начинающиеся с буквы D, за исключением DC – постоянный потенциал) и аналоговые (все оставшиеся). Отдельно нужно отметить SCRIPTABLE – программный генератор, для которого предварительно надо написать скрипт – программу на встроенном языке "Easy HDL". Два генератора FILE и AUDIO используют для генерации сигналов файлы, предварительно записанные на жесткий диск. В окне предпросмотра видно изображение генератора и доступны поворот и отражение. При последующем подключении к выводу компонента или проводу генератор автоматически изменит свое имя на имя соответствующего ближайшего вывода. Если оно по каким-то причинам не подходит, через окно свойств генератора его можно переименовать.

- и и - "Voltage Probe Mode" и "Current Probe Mode" – два режима расстановки пробников соответственно напряжения и тока на провода схемы. Пробники ставятся именно на провода, а не на выводы компонентов и аналогично генераторам автоматически меняют свои имена.

- 🖾 - "Virtual Instruments Mode" – режим выбора и размещения виртуаль-

ных инструментов в проекте. В "ISIS" имеется обширный инструментарий виртуальных приборов, которые будут рассмотрены позже. В этом режиме осуществляется их выбор и размещение в проекте. Большинство из них, за исключением вольтметров и амперметров, имеют однополюсное подключение. Это означает, что измерение осуществляется ОТНОСИТЕЛЬНО общего провода семы.

- И - "2D Graphics Line Mode" – режим рисования двумерной линии.

- 🔲 - "2D Graphics Box Mode" – режим рисования двумерного прямоугольника.

- • 2D Graphics Circle Mode" – режим рисования двумерной окружности.

- 2D Graphics Arc Mode" – режим рисования двумерной кривой.

- <sup>©</sup> - "2D Graphics Closed Path Mode" – режим рисования двумерной последовательности прямых.

- А - "2D Graphics Text Mode" – режим рисования двумерного текста.

- **□** - "2D Graphics Simbol Mode" – режим выбора и размещения графических символов.

- + - "2D Graphics Markers Mode" – режим выбора и размещения графических маркеров.

- С - "Rotate Clockwise" – поворот по часовой стрелке. Позволяет повернуть выбранный элемент по часовой стрелке на указанное количество градусов.

- 🤄 - "Rotate Anti Clockwise" – поворот против часовой стрелки. Позволяет повернуть выбранный элемент против часовой стрелки на указанное количество градусов.

- 🖭 - окно для ввода нужного угла для поворота выбранного объекта в градусах.

- 🕶 - "X-Mirror" – отразить выбранный объект по горизонтали.

- \* - "Y-Mirror" – отразить выбранный объект по вертикали.

На рисунке 2.2 показаны различные изображения курсора и пояснения к ним.

2.3. Виртуальные измерительные приборы

Программа "ISIS" позволяет применять следующие виртуальные измерительные приборы:

- виртуальный осциллограф;

- виртуальный вольтметр постоянного/переменного тока;

- виртуальный амперметр постоянного/переменного тока;



Рис. 2.2. Описание видов курсоров программы "ISIS"

- виртуальный логический анализатор;

- виртуальный таймер-счетчик;

- виртуальный терминал;

- виртуальный анализатор протокола последовательного периферийного устройства (SPI);

- виртуальный анализатор протокола шины связи I<sup>2</sup>C;

- виртуальный генератор сигналов;

- виртуальный генератор тестовых последовательностей.

Далее рассматриваются приборы, которые будут применяться в ходе лабораторных работ.

Виртуальный осциллограф представляет модель четырехканального осциллографа, обеспечивающего выбор регулируемого уровня запуска для обеспечения синхронизации. Диапазоны измеряемых входных величин от 2 мВ до 20 В и интервалов временной развертки от 0,5 мкс до 200 мс.

На рисунке 2.3 показано УГО виртуального осциллографа, а на рисунке 2.4 - виртуальная передняя панель с органами управления и индикации.



Рис. 2.3. УГО виртуального осциллографа программы "ISIS"

Далее считается, что студенты уже изучили в других дисциплинах и междисциплинарных курсах принцип работы аналогового и цифрового осциллографа, назначение его органов управления и методов работы. Поэтому здесь будут только коротко рассмотрены особенности данного виртуального осциллографа.



Рис. 2.4. Передняя панель виртуального осциллографа программы "ISIS"

Чтобы посмотреть форму аналогового или цифрового сигнала требуется:

- щёлкнуть левой кнопкой мыши по кнопке "Virtual Instruments Mode" и выбрать в окне выбора "OSCILLOSCOPE", после чего переместить курсор на свободное место рабочего поля и щелкнуть левой кнопкой мыши, что позволит добавить УГО осциллографа;

- соединить один из четырех каналов с точкой схемы, в которой требуется наблюдать сигнал;

- запустить интерактивную симуляцию, нажав на кнопку "Play" панели управления анимацией, после чего на экране появится передняя панель осциллографа;

- задать время развёртки и подходящее напряжение для удобного наблюдения;

- если отображаемый сигнал имеет постоянную составляющую, то нужно выбрать режим АС на задействованном канале;

- переключателем "Вольт/Дел." выбрать соответствующее значение, чтобы сигнал имел удобный для наблюдения вид. Если сигнал состоит из переменного напряжения малой амплитуды и большой постоянной составляющей, необходимо включить конденсатор между точкой наблюдения и осциллографом, так как, изменение позиции по Y имеет ограниченные возможности.

- определить, каким каналом будет запускаться развёртка;

- повернуть ручку уровня переключения ("Trigger"), пока на дисплее не отобразится требуемый участок входного сигнала. Он фиксируется на переднем фронте, если дисковая шкала повёрнута вверх, и на заднем фронте, если вниз.

Осциллограф может работать в следующих режимах:

- отдельные каналы. В этом режиме развёртка запускается автоматически, выбранным каналом. Уровень запуска "Level" определяет, при каком уровне входного сигнала выбранного канала происходит запуск развёртки (панель "Trigger"). Положение каналов по оси X на экране определяется дисковой шкалой "Position". Время развёртки определяется ручкой выбора масштаба (время/деление) в нижней части блока управления развёрткой. В этом режиме удобно наблюдать за фазовыми и временными сдвигами сигналов, например, на входе и на выходе устройства.

- снимок экрана. Для этого режима на панели "Trigger" используется кнопка "One-Shot", которую нужно нажать для создания снимка экрана. Нажатие кнопки "Cursors", позволяет уточнить величину сигнала и время его появления. При нажатой кнопке на экране появляются курсоры, перемещая которые в нужные точки, можно уточнить данные.

- режим разностного сигнала. Этот режим позволяет наблюдать, например, фигуры Лиссажу, если включить развёртку в этот режим.

Четыре канала осциллографа имеют разные цвета, которым соответствуют цвета надписей на панелях и переключателях, что облегчает поиск ручек управления и положения переключателей для каждого из каналов.

Каждый из каналов может быть в следующих режимах:

- показ только переменной составляющей сигнала – переключатель в положении AC;

- показ переменной и постоянной составляющей сигнала - переключатель в положении DC;

- соединение входа канала с общим проводом – переключатель в положении GND;

- луч канала погашен – переключатель в положении OFF.

Это даёт возможность более внимательно просматривать сигналы, если их один или два, используя смещение положения луча работающих каналов с помощью дискового регулятора "Position".

Осциллограф поддерживает режим автоматического запуска, что позволяет синхронизировать время развертки с входящим сигналом. Какой входной канал используется для запуска, определяется переключателем на панели "Horizontal". Диск переключения ("Level" на панели "Trigger") последовательно вращается на 360° и задаёт уровень, на котором происходит переключение. Фронт переключения определяется переключателем рядом с диском. Логический анализатор (Logic Analyser), УГО которого показано на рисунке 2.5, а передняя панель – на рисунке 2.6, оперирует последовательно записанными в большой буфер захвата входными цифровыми данными. Это про-



Рис. 2.5. УГО логического анализатора



Рис. 2.6. Передняя панель логического анализатора

цесс отбора, так что есть подстройка разрешения (resolution), которая определяет самый короткий импульс, который может быть записан. На панели запуска ("Trigger") есть кнопка "Capture", которой запускается процесс захвата данных, а спустя некоторое время после выполнения условий переключения останавливается. Кнопка меняет свой цвет при записи и после её завершения. Результат, содержимое буфера захвата и до, и после переключения, отображается на дисплее. Поскольку буфер захвата очень большой (10000 образцов), предусмотрено масштабирование и панорамирование изображения. Измерительные маркеры (кнопка "Cursors") позволяют точно определить параметры импульсов и т.п.

Логический анализатор имеет следующие характеристики:

- разрядность - 16 x 1 бит и 4 x 8 бит шины трассировки;

- память - 10000 x 24 бит буфер захвата;

- разрешение при захвате от 200 us на образец до 0,5 ns с соответствующим временем захвата от 2 s до 5 ms;

- масштаб отображения от 1000 образцов на деление до 1 образца на деление;

- переключение с комбинацией AND входных состояний и/или фронтов и значениями на шине;

- позиционирование переключения на 25, 50, 75 и 100 % буфера захвата;

- курсоры для точных измерений времени;

- возможность изменить цвета отображаемых кривых, курсоров, текста и т.д. (щелчок правой клавишей мыши по дисплею и выбор из выпадающего меню "Colours Setup").

Чтобы захватить и отобразить цифровые данные требуется:

- сделать щёлчок левой кнопкой мыши по кнопке "Virtual Instruments Mode" и выбрать "LOGIC ANALYSER";

- разместите УГО логического анализатора на свободном месте рабочего поля, соедините входы анализатора с сигналами, которые требуется записать;

- запустить симуляцию, используя кнопку "Play" на панели управления, после чего появится изображение передней панели логического анализатора;

- задать разрешение, подходящее к техническим характеристикам схемы. Этим устанавливается самый короткий импульс, который будет записан. Чем лучше разрешение, тем короче время захвата данных.

- установить на левой панели требуемые условия переключения. Например, если требуется переключать инструмент, когда сигнал, подключённый к каналу 1 в лог. 1, а сигнал, подключённый к каналу 3 переходит в лог. 1, нужно задать первый как "High", а третий как "Low-High".

- определить, требуется ли видеть данные преимущественно до или после выполнения условий переключения, установить шкалу "Position" в нужное положение переключения.

- по готовности нажать кнопку "Capture". Индикатор загорится, и анализатор будет захватывать входные данные непрерывно, пока не обнаружатся входные условия для переключения триггера. Когда это случится, индикатор станет зелёным, захват данных продолжится до тех пор, пока не заполнится часть буфера после переключения. Индикатор погаснет, а на дисплее отобразятся анализируемые кривые.

Поскольку буфер захвата удерживает 10000 образцов, а отображение имеет ширину только в 250 пиксел, появляется необходимость в панорамировании и масштабировании буфера захвата. "Display Scale" определяет количество образцов на деление, а полоса прокрутки позволяет перемещать изображение влево и вправо. Считанные данные под "Display Scale" отображают текущее время на деление в секундах, но не являются актуальными установками собственно шкалы. Время деления вычисляется умножением установок шкалы на разрешение.

Для точного измерения времени используются маркеры. Каждый маркер можно размещать, используя соответственно окрашенную шкалу. Показания отображают точку времени, отмеченную маркером, относительно времени переключения, а показания "Delta A-B" - разницу между маркерами.

Генератор сигналов "VSM Signal Generator", условное графическое обозначение которого показано на рисунке 2.7, а внешний вид передней панели –



Рис. 2.7. УГО генератора сигналов



Рис. 2.8. Передняя панель генератора сигналов

на рисунке 2.8, представляет собой простой функциональный генератор со следующими возможностями:

- формирование выходных сигналов прямоугольной, пилообразной, треугольной и синусоидальной формы;

- частота выходного сигнала – 0 – 12 МГц в 8 диапазонах;

- амплитуда выходного сигнала – 0 – 12 В в 4 диапазонах;

- входы для амплитудной и частотной модуляции.

Чтобы установить простой сигнал звукового диапазона:

- щёлкнуть левой кнопкой мыши по кнопке "Virtual Instruments Mode", выбрать "SIGNAL GENERATOR" в окне выбора объектов, поместить его на свободное пространство рабочего окна и соединить его выход со входом схемы. В большинстве случаев, то есть, когда схема, которая моделируется, требует баланса входного сигнала, требуется заземлить клемму "-ve" генератора. Самый

		_
-	_	
 -	-	

Рис. 2.9. УГО символа заземления

простой способ установить заземление следующий:

- поместить курсор в любое место рабочего поля и сделать щелчок правой кнопкой мыши;

- в выпадающие меню выбрать "Place > Terminal > Ground", переместить курсор в нужное место рабочего поля и нажать левую кнопку мыши, что приведет к появлению в выбранном месте символа заземления, показанного на рисунке 2.9. При этом входы амплитудной и частотной модуляции можно оставить без подключения, если амплитудная и частотная модуляция не требуются.

- запустить симуляцию нажатием кнопки "Play" на панели управления. Появится всплывающее окно генератора.

- установить частотный диапазон, который требуется поворотом регуля-

тора "Range Frequency". Значение диапазона показывает частоту, которая генерируется, когда риска регулятора "Centre" находится в положении "10". При этом индикатор под регулятором "Centre" показывает значение частоты выходного сигнала в герцах или килогерцах.

- установить требуемую амплитуду сигнала можно поворотом регулятора "Level". Диапазон изменения амплитуды можно выбрать поворотом регулятора "Range Amplitude". При этом индикатор под регулятором "Level" показывает амплитуду, генерируемого сигнала в вольтах и милливольтах.

- требуемую форму выходного сигнала можно выбрать нажатиями кнопки "Waveform", до тех пор, пока индикатор рядом с изображением подходящей формы сигнала не засветится.

Данная программная модель генератора сигналов, как указано выше, поддерживает и амплитудную, и частотную модуляцию выходного сигнала. Оба входа, амплитудной и частотной, модуляции имеют следующие возможности:

- усиление сигнала со входа модуляции в параметрах Hz/V или V/V задаются с помощью регуляторов "Range Frequency" и "Range Amplitude", соответственно;

- входное напряжение модуляции ограничено в пределах ± 12 В;

- входы модуляции имеют бесконечное входное сопротивление;

- напряжение на входе модуляции добавляется к установкам управления регуляторов до умножения установками диапазона, чтобы определить мгновенное значение частоты амплитуды. Например, если частотный диапазон выбран в 1 кГц, а регулятор "Centre" установлен в положение "2.0", тогда уровень 2 В частоты модуляции даст выходную частоту 4 кГц.



Рис. 2.10. УГО и передние панели:

а – вольтметра постоянного тока; б – вольтметра переменного тока;

в – амперметра постоянного тока; г – амперметра переменного тока

Однако, для ряда исследований описанный виртуальный генератор сигналов неудобен в использовании из-за неудобства работы с его органами управления при помощи мыши. Другой генератор сигналов, более подходящий для ряда исследований, будет описан далее.

Как указано выше, в программе "ISIS" имеются вольтметры и амперметры постоянного и переменного тока. Их условные графические обозначения и внешний вид передней панели приведены на рисунке 2.10.

Они оперируют в реальном времени и могут быть подключены к схеме, как любые другие компоненты:

- вольтметры всегда включаются параллельно элементам или участкам схемы, на которых нужно измерить напряжение;

- амперметры всегда включаются последовательно с элементами или участками схемы, где нужно измерить протекающий через них ток.

Когда симуляция начинается, они отображают напряжение на их выводах или ток, протекающий через них, в удобном для чтения формате.



Рис. 2.11. УГО и внешний вид передней панели таймера-счетчика

Вольтметры и амперметры переменного тока отображают действующие значения, интегрированные через определяемую пользователем постоянную времени.

Таймер-счетчик "Counter Timer" предназначен для подсчета поступающих на его вход импульсов. Условное графическое обозначение и внешний вид передней панели таймера-счетчика "Counter Timer" показаны на рисунке 2.11.

Таймер-счетчик "Counter Timer" позволяет считать поступающие на вход импульсы до 99999999, после чего показания обнуляются и счет начинается заново. Выводы имеют следующее назначение:

- CLK – вход тактовых (счетных) импульсов;

- CE – вход сигнала разрешения счета. Счет разрешается при сигнале лог. 1. При сигнале лог. 0 счет запрещен.

- RST – вход сигнала сброса. Сброс происходит при поступлении сигнала лог. 0. Во время действия сигнала сброса счет невозможен.

2.4. Библиотеки виртуальных элементов

Библиотека виртуальных элементов программы "ISIS" вызывается следующим образом:

- на левой панели инструментов нужно нажать кнопку "Component Mode", после чего при перемещении на рабочее поле курсор примет вид карандаша;

- на панели "DEVICES" нужно нажать кнопку входа в библиотеки "Pick From Libraries";

- откроется диалоговое окно "Pick Devices", показанное на рисунке 2.12, где можно выбрать требуемый элемент. При этом нужно учесть, что библиотека программы "ISIS" содержат только иностранные электронные элементы. Элементов советского и российского производства здесь нет! Это требуется учесть при подготовке к моделированию принципиальной электрической схемы устройства.

В строку поиска "Keyword" можно вводить часть наименования элемента и, если введенная последовательность символов содержится в названии какого либо из имеющихся в библиотеке элементов, то названия этих элементов будут

#### показаны в списке результатов "Results". При этом надо учесть, что названия



Рис. 2.12. Окно выбора элементов

элементов можно вводить только латинскими буквами.

В списке "Category" показаны названия категорий элементов, имеющихся в библиотеке. Они будут рассмотрены позже.

В списке "Sub-category" показаны названия категорий элементов по их функциональной принадлежности:

- "All Sub-categories" – элементы всех функциональных категорий;

- "Amplifiers" – усилители;

- "Comparators" – компараторы;

- "Display Drivers" – микросхемы для работы со светодиодными и жидкокристаллическими индикаторами;

- "Filters" – фильтры;

- "Miscellaneous" – элементы, которые по функциональному назначению нельзя включить ни в какую из других категорий;

- "Multiplexers" – мультиплексоры;

- "Regulators" – регуляторы;

- "Timers" - таймеры и таймеры-счетчики;

- "Voltage References" – стабилизаторы напряжения.

В списке "Manufacturer" – показаны названия иностранных производителей, чьи элементы имеются в библиотеке.

Список "Results" показывает найденные в библиотеке названия элементов, соответствующие заданным при поиске параметрам. В столбце "Device" указано название элемента. В столбце "Library" указано название библиотеки, где содержится данный элемент. В списке "Description" показано краткое описание элемента.

В окне "Previev" показано УГО выбранного в списке "Results" элемента. Надо учесть, что в библиотеках программы "ISIS" используются УГО элементов, выполненные по иностранным стандартам.

В окне "PCB Previev" показан внешний вид конструктива (корпуса) элемента, выбранного в списке "Results", с контактными площадками.

Для внесения выбранного в списке "Results" элемента в моделируемую принципиальную электрическую схему нужно нажать кнопку ОК. Для отказа от выбора и закрытия диалогового окна "Pick Devices" нужно нажать кнопку ОТ-МЕНА.

В списке "Category" представлены категории элементов:

- "All Categories" – элементы во всех категориях;

- "Unspecified" – элементы, не вошедшие в другие категории;

- "Analog ICs" – аналоговые микросхемы (усилители, компараторы);

- "Capacitors" – конденсаторы;

- "CMOS 4000 series" - цифровые микросхемы КМОП, аналоги советских и российских микросхем серий К176, К561, К564, К1564;

- "Connectors" – соединители, разъемы;

- "Data Converters" – аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи;

- "Diodes" – диоды;

- "Electromechanical" – электрические машины: вентилятор постоянного тока, бескоколлекторный двигатель постоянного тока, двигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, шаговый двигатель и т. д;

- "Inductors" – катушки индуктивности;

- "Memory ICs" – микросхемы памяти;

- "Microprocessor ICs" – микросхемы микропроцессоров и микроконтроллеров;

- "Miscellaneous" – прочие элементы, среди которых наиболее применяемые: "Aerial" – антенна; "Battery" – источник напряжения (батарейка); "COM-Pim" – разъем последовательного порта; "Crystal" – кварцевый резонатор; "Fuse" – предохранитель; "Irlink" – оптопара; "Traffic Lights" – светофор;

- "Modelling Primitives" – примитивные модели различных электронных элементов;

- "Operational Amplifiers" – микросхемы операционных усилителей;

- "Optoelictronix" – оптоэлектронные элементы, среди которых фото- и светодиоды, светодиодные индикаторы и экраны;

- "Resistors" – резисторы;

- "Simulator Primitives" – примитивные модели различных электронных элементов;

- "Speakers & Sounders" – динамические головки;

- "Switches & Relays" – переключатели и реле;

- "Switching Devices" – переключающие электронные элементы, такие, как тиристоры, семисторы, динисторы и т. д.;

- "Thermionic Values" – электровакуумные электронные элементы (электронные лампы);

- "Transistors" – транзисторы;

- "TTL 74 series" – цифровые микросхемы ТТЛ, аналоги советских микросхем серии К155;

- "TTL 74ALS series" – цифровые микросхемы ТТЛШ, аналоги российских микросхем серии КР1533;

- "TTL 74AS series" – цифровые микросхемы ТТЛШ, аналоги российских микросхем серии КР1530;

- "TTL 74F series" – цифровые микросхемы ТТЛШ, аналоги российских микросхем серии КР1531;

- "TTL 74HC series" – цифровые микросхемы КМОП, аналоги российских микросхем серии КР1564;

- "TTL 74LS series" – цифровые микросхемы ТТЛШ, аналоги российских микросхем серии К533, К555;

- "TTL 74S series" – цифровые микросхемы ТТЛШ, аналоги российских микросхем серии К530, К531.

## 2.5. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является освоение практического использования виртуальных измерительных приборов программы "ISIS" пакета программ "Proteus VSM".

2.6. Задание на лабораторную работу

Получить у преподавателя вариант задания на лабораторную работу, где указано:

- заданные положения органов управления генератора сигналов в режиме генерирования синусоидального сигнала;

- заданные положения органов управления генератора сигналов в режиме генерирования прямоугольного сигнала;

- заданные положения органов управления генератора сигналов в режиме генерирования треугольного сигнала.

Разработать схему соединения генератора сигналов с общим проводом (землей), осциллографом, вольтметром переменного тока, таймером-счетчиком и осциллографом.

При помощи виртуальных измерительных приборов получить данные:

- амплитудное и действующее значение напряжение синусоидального сигнала, а также его частоту;

- амплитудное и действующее значение напряжение прямоугольного сигнала, а также его частоту;

- амплитудное и действующее значение напряжение треугольного сигнала, а также его частоту.

Исследовать изменение осциллограмм перечисленных сигналов при изменении положения регуляторов генератора сигналов. Словесно описать изменения.

Описать работу таймера-счетчика.

2.7. Выполнение лабораторной работы

В ходе выполнения работы требуется, используя приведенные теоретические сведения решить поставленные задачи, а также в свободной форме составить отчет по лабораторной работе. При решении каждой из задач требуется в отчете подробно описать каждый из шагов. По окончании выполнения работы пройти защиту ее результатов у преподавателя с ответами на поставленные контрольные вопросы.

## 3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 СОЗДАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ В ПАКЕТЕ ПРОГРАММ "PROTEUS VSM"

#### 3.1. Подготовка к вводу принципиальной электрической схемы

Перед вводом принципиальной электрической схемы электронного устройства для моделирования, требуется учесть и выполнить следующие действия:

- разработать структурную схему электронного устройства и, при необходимости, произвести расчеты параметров всей схемы и параметров каждого из ее узлов;

- разработать принципиальную электрическую схему электронного устройства;

- рассчитать номиналы элементов принципиальной электрической схемы;

- выбрать конкретные типы элементов принципиальной электрической схемы отечественного и иностранного производства, для чего должны использоваться каталоги и справочники электронных элементов;

- перед моделированием по параметрам определить иностранные аналоги элементов отечественного производства.

В качестве примера далее используется принципиальная электрическая



Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема усилителя

схема усилителя, показанная на рисунке 3.1.

Схема представляет усилитель звуковой частоты на основе микросхемы операционного усилителя (ОУ) типа 741. ОУ включен по схеме неинвертиру-

ющего усилителя с питанием от однополярного источника напряжения +5 В. Резисторы R3 и R4, образующие вместе с конденсатором C2 цепь обратной связи, с указанными на схеме сопротивлениями 1 кОм и 9,1 кОм соответственно, задают коэффициент усиления около 10. Полярный конденсатор C2, включенный последовательно с резистором R3, емкостью 22 мкф, увеличивает коэффициент передачи по переменному току на высоких частотах, но при этом исключает обратную связь по постоянному току.

Резисторы R1 и R2 создают напряжение смещения на неинвертирующем входе операционного усилителя U1. Это связано с тем, что применяется однополярное питания, при котором напряжение питания +5 В подается на вывод 7 ОУ U1, а вывод 4 соединен с общим проводом схемы ("земля"), к которому подключен отрицательный вывод источника питания. При указанном сопротивлении резисторов R1 и R2, равном 470 кОм, напряжение смещения составляет половину напряжения питания, то есть +2,5 В.

Конденсатор С1 емкостью 0,1 мкф выполняет роль фильтра низких частот и разделяет источник сигнала и усилительный каскад на ОУ U1 по постоянному току.

Выводы 1 и 5 ОУ U1 - выводы коррекции. К ним, при необходимости, подключаются элементы цепи коррекции.

По результатам анализа принципиальной электрической схемы усилительного каскада можно сделать выводы для дальнейшего процесса ввода схемы:

- если бы на принципиальной электрической схеме был указан операционный усилитель советского или российского производства, то требовалось бы найти по каталогам и справочникам его зарубежный аналог, имеющийся в базе;

- что сказано о микросхеме операционного усилителя, полностью относилось бы и к другим полупроводниковым приборам отечественного производства, если бы они были указаны на принципиальной электрической схеме;

- электролитические (полярные) конденсаторы для моделирования можно заменять на неполярные такой же емкости, без учета их рабочего напряжения;

- для моделирования можно выбирать резисторы без учета их мощности рассеивания, так как тепловые режимы не моделируются;

- позиционные обозначения можно менять на те, которые требуются по ЕСКД;

- ко входу IN нужно подключать генератор сигналов, а к выходу ОUT – осциллограф;

- в качестве источника питания +5 В при моделировании можно применять элемент питания (батарейку) с требуемым напряжением.

## 3.2. Ввод принципиальной электрической схемы

Перед созданием принципиальной электрической схемы в рабочем окне программы "ISIS" нужно выбрать из имеющейся библиотеки элементов модели

всех необходимых элементов. Для этого, описанным выше способом, нужно вызвать диалоговое окно "Pick Devices".

Сначала требуется ввести на рабочее поле условное графическое обозначение операционного усилителя. Для этого в строке поиска "Keyword" диалогового окна "Pick Devices" нужно ввести его тип. После этого в списке "Results" появятся результаты поиска, что показано на рисунке 3.2. После выбора найденного элемента в списке "Results" нужно нажать кнопку ОК. Будет осуществлен переход на рабочее окно программы "ISIS", курсор примет вид карандаша, а в списке примененных элементов "Devices" появится название выбранного элемента. Далее требуется подвести курсор к требуемой позиции рабочего поля и нажать левую кнопку мыши. Вместо курсора появится условное графическое изображение выбранного элемента, которое можно перемещать по рабочему полю, что показано на рисунке 3.3.

После установки условного графического обозначения в нужное место

isis Pick Devices					<u>? ×</u>
Keywor <u>d</u> s:	<u>R</u> esults (718):				741 Preview:
741	Device	Library	Stock Code	Description	Schematic Model [0A BIP]
Match Whole Words?	1N4741A	ZENERF		11V 23mA Zener Diode	
Charman and a state with models 2	1N4741A	ZENERM		11V 23mA Zener Diode	
Show only parts with models?	62674-121121	FCI	Digikey 62674-121121-ND	SFV-S Series, Top Entry Surface Mount ZIF Co	
Category:	62674-121121ALF	FCI	ECL62674.161121	SEV-S Series, 12 Pos, Top Entry Surface Mour	
(All Columnias)	62674-161121ALE	FCI	Dinikey 609-1206-2-ND	SEV-S Series 16 Pos Top Entry Surface Mour	
(All Categories)	741	OPAMP		Operational Amplifier (1MHz, 0.5V/us, 10 44V 9	
Connectors	7410	74STD		Triple 3-Input Positive-NAND Gates	
Diodes	7410.DM	74STD		Triple 3-Input Positive-NAND Gates	
Operational Amplifiers	7410.IEC	74STD		Triple 3-Input Positive-NAND Gates	
Hesistors Switches & Belaus	74100	74STD 74CTD		Mono Bi-Stable 8-Bit Latch	3+
Transistors	74107 74107 JEC	745TD 74STD		Dual Negative-Edge-Triggered J-K Flip-Flops w	2 _ 0
TTL 74 series	74109	74STD		Dual J-K Positive-Edge-Triggered Flip-Flops Wit	
TTL 74ALS series	74109.IEC	74STD		Dual J-K Positive-Edge-Triggered Flip-Flops Wil	
TTL 74A5 series	7411	74STD		Triple 3-Input Positive-AND Gates	
TTL 74HC series	7411.DM	74STD		Triple 3-Input Positive-AND Gates	
TTL 74HCT series	7411.IEC	74STD		Triple 3-Input Positive-AND Gates	
TTL 74LS series	74111	74STD 74CTD		Dual JK Flip-Flops Master-Slave	
TTL 74S series	74111.IEU 74116	745TD 74STD		Dual J. Filphops Master-Slave	
	7412	74STD		Triple 3-Input Open-Collector NAND Gate	
	7412.DM	74STD		Triple 3-Input Open-Collector NAND Gate	
	7412.IEC	74STD		Triple 3-Input Open-Collector NAND Gate	
	74121	74STD		Monostable multivibrator with Schmitt-trigger inp	
	74122	74STD		Retriggerable monostable multivibrator	DCD Devices
	74122.IEU 74122	74STD 74CTD		Hetriggerable monostable multivibrator	PLB Preview:
	74123	7451D 7451D		Dual Retriggerable Monostable Multivibrators w	
	74125	74STD		Quadruple Bus Buffer Gate With Tristate Outpu	
	74125.DM	74STD		Quadruple Bus Buffer Gate With Tristate Outpu	
	74125.IEC	74STD		Quadruple Bus Buffer Gate With Tristate Outpu	
	74126	74STD		Quadruple Bus Buffer Gate With Tristate Outpu	0.3in
	74126.DM	74STD 74CTD		Quadruple Bus Buffer Gate With Tristate Dutpu	
	74120.IEC	7451D 7451D		50 Ohm Line Drivers	
1	74128 DM	745TD		50 Ohm Line Drivers	
Sub-category:	74128.IEC	74STD		50 Ohm Line Drivers	
	7413	74STD		Dual 4-Input NAND Gate With Schmitt-Trigger	
	7413.DM	74STD		Dual 4-Input NAND Gate With Schmitt-Trigger	
	7413.IEC	74STD		Dual 4-Input NAND Gate With Schmitt-Trigger	ie i i i i i i i i i i i i i i i i i i
	74132 74132 DM	7451D 7461D		Quad 2-Input Schmitt-Triggered NAND Gates	
	74132.DM	745TD 74STD		Quad 2-Input Schmitt-Triggered NAND Gates	
	74136	74STD		Quad 2-Input Exclusive-OR Gates with Open-C	
	74136.IEC	74STD		Quad 2-Input Exclusive-OR Gates with Open-C	
	7414	74STD		Hex Schmitt-Triggered Inverters	
	7414.DM	74STD		Hex Schmitt Triggered Inverters	
	7414.IEU 741.41	7451D		Hex Schmitt-Triggered Inverters	
	74141	7451D 7451D		BCD-To-Decimal Decoders/Drivers	
Manufacturer:	74147	74STD		10-to-4 Line Priority Encoder	
	74147.IEC	74STD		10-to-4 Line Priority Encoder	
	74148	74STD		8-Line To 3-Line Priority Encoders	
	74148.IEC	74STD		8-Line To 3-Line Priority Encoders	DU 00
	/4150	74STD		16-line to 1-line data selector / multiplexer	
	74101	7451U 7461D		1-00 Data Selectors/Multiplexers	
	1			Þ	<u>O</u> K <u>C</u> ancel
,					

Рис. 3.2. Модель требуемого операционного усилителя найдена

рабочего поля, для фиксации, нужно нажать левую кнопку мыши. Результат показан на рисунке 3.4.

Аналогично нужно вынести и зафиксировать на рабочем поле остальные требующиеся элементы. При этом:

- постоянные резисторы можно выбрать из категории "Resistors" и субка-



Рис. 3.3. Установка УГО элемента в нужное место рабочего поля



Рис. 3.4. УГО элемента завиксировано на рабочем поле

тегории "Generic";

- постоянные конденсаторы можно выбрать из категории "Capacitors" и субкатегории "Generic".

- в качестве источника питания постоянного напряжения +5 В выбрать элемент BATTERY из категории "Miscellaneous";

- УГО элемента заземления выбрать описанным выше способом.

Таким образом, все требующиеся элементы введены на рабочее поле, и показаны в списке "Devices", что показано на рисунке 3.5.

Однако, в настоящее время элементы на рабочем поле расположены хаотично. Также номиналы резисторов, конденсаторов и элемента питания отличаются от требуемых.

Номиналы элементов изменить следующим образом:

- на левой панели инструментов нажать кнопку "Selection Mode", после чего курсор примет вид стрелки и произойдет переход в соответствующий режим;

- навести курсор на УГО требуемого элемента, после чего курсор примет вид указательного пальца, а само УГО элемента будет обведено красным штрих-пунктирным прямоугольником;



Рис. 3.5. Все требующиеся элементы на рабочем поле

- сделать двойной щелчок левой клавишей мыши, после чего откроется диалоговое окно "Edit Component", показанное на рисунке 3,6, в котором можно менять свойства элемента;

Edit Component					? ×
Component <u>R</u> eference: Resistance (Ohms): Other <u>P</u> roperties:	<b>101</b>		Hidden: Hidden:	•	QK Cancel
Exclude from <u>S</u> imulation Exclude from PCB <u>Layout</u> Edit <u>all</u> properties as text		Attach hierarchy module Hide common pins	9		

Рис. 3.6. Окно свойств элемента

- основными свойствами компонента, которые часто требуется изменять, являются позиционное обозначение (Component Reference) и номинальное значение сопротивления, емкости или индуктивности (Resistance или Capacitance);

- программа сама в автоматическом режиме присваивает элементам позиционные обозначения по принятым в других странах правилам.

При изменении позиционного обозначения элемента требуется учесть следующее:

- позиционные обозначения элементов должны состоять из комбинации строчных латинских букв и арабских цифр;

- не допускается, чтобы два и более элементов принципиальной электрической схемы имели одинаковое позиционное обозначение. Если такое обнаруживается, то при моделировании программа останавливает процесс симуляции и выдает сообщение об ошибке.

Значение сопротивления может вводиться в омах, килоомах и мегоомах.

Если сопротивление вводится в омах, то после цифрового значения сопротивления ления буквенное обозначение ставить не нужно. Если сопротивление вводится в килоомах или мегоомах, то после цифрового значения сопротивления требуется ставить обозначение латинскими буквами, соответственно, "k" или "M". Если цифровое значение вводится с целой и дробной частью, например 7,5 кОм, то целую часть от дробной должна отделять десятичная точка, а не запятая, то есть должно быть указано 7.5k.



#### Рис. 3.7. Элемент выделен для перетаскивания на новое место

Учитывая сказанное, требуется изменить номинальные значения сопротивлений резисторов в соответствии с принципиальной электрической схемой.

Емкости конденсаторов можно указывать в строке "Capacitance" диалогового окна "Edit Component" в пикофарадах (pF), нанофарадах (nF) и микрофарадах (mF). Более крупные единицы измерения емкости не применяются. Также, как и с цифровым значением сопротивления резисторов, целая часть отделяется от дробной десятичной точкой. Учитывая это, требуется изменить номинальные значения емкостей конденсаторов в соответствии с принципиальной электрической схемой.

Что касается элемента питания, который на рисунке 3.5 имеет позиционное обозначение BAT1 и номинальное напряжение 9V, то позиционное обозначение требуется, в соответствии с российскими требованиями и стандартами, исправить на GB1, а номинальное напряжение исправить на требуемое, равное 5 В. Требуемое значение номинального напряжение 5V требуется ввести в строку "Voltage" диалогового окна "Edit Component".

Таким образом, все элементы, кроме микросхемы операционного усилителя, теперь имеют требуемые позиционные обозначения и номиналы, что показано на рисунке 3.7. Что касается позиционного обозначения ОУ U1, то оно не соответствует российским требованиям и стандартам, однако пока можно оставить его таким.

По-прежнему, все элементы расположены не в соответствии с принципиальной электрической схемой. Для перемещения элемента на нужное место требуется сделать следующее:

- на левой панели инструментов нажать кнопку "Selection Mode", после чего курсор примет вид стрелки;

- подвести курсор к УГО требуемого элемента и сделать щелчок левой клавишей мыши. После этого УГО и позиционное обозначение элемента окрасятся красным цветом, УГО будет обведено красным штриховым прямоугольником, а курсор изменит вид на кисть руки с поднятым указательным пальцем и дополнено крестом, как показано на рисунке 3.8.

- для перемещения элемента на новое место требуется нажать левую клавишу мыши и, не отпуская ее, переместить элемент на новое место и отпустить левую клавишу мыши. Результат показан на рисунке 3.9. Остальные элементы перемещаются на требуемые места аналогично.

Однако, элементы R1 – R3 и C2 расположены на рисунке 3.9 горизонтально, в то время, как на принципиальной электрической схеме они расположены вертикально. Для поворота нужно:

- выделить подлежащий повороту элемент описанным выше способом;

- сделать щелчок правой клавишей мыши, после чего в появившемся меню, которое показано на рисунке 3.10, выбрать варианты поворота на 90°: поворот по часовой стрелке ("Rotate Clockwise") или поворот против часовой стрелки ("Rotate Anti-Clockwise").

Также могут пригодиться опции горизонтального отражения ("X-Mirror"), вертикального отражения ("Y-Mirror"), поворота на 180° ("Rotate 180 degrees"), копирования элемента в буфер обмена ("Copy to Clipboard"), удаления элемента ("Delete Object").

Так можно правильно сориентировать и расположить элементы в соответствии с принципиальной электрической схемой. Результат показан на рисунке 3.11.



Рис. 3.8. Все элементы имеют требуемые позиционные обозначения и номиналы



Рис. 3.9. Конденсатор С1 и резистор R1 перемещены на новое место

🕂 Drag Object	
Edit Properties	Ctrl+E
X Delete Object	
C Rotate Clockwise	Num
Rotate Anti-Clockwise	Num-+
C Rotate 180 degrees	
↔ X-Mirror	Ctrl+M
\$ Y-Mirror	
🔏 Cut To Clipboard	
Copy To Clipboard	
Decompose	
员 Goto Child Sheet	Ctrl+C
Oisplay Model Help	Ctrl+H
🕏 Display Datasheet	Ctrl+D
Show in Design Explorer	F
Show Package Allocation	. –
@ Operating Point Info	
🕅 Configure Diagnostics	
🕫 Make Device	
102.	
🔛 Packaging Tool	
Packaging Tool	
	+ Drag Object Edit Properties X Delete Object C Rotate Clockwise Rotate Anti-Clockwise Rotate 180 degrees X-Mirror X-Mirror V-Mirror Cut To Clpboard Copy To Clpboard Copy To Clpboard Deplay To Clpboard Display Model Help Display Model Help Show In Design Explorer Show In Design Explorer Show Package Alocation @ Operating Point Info X: Configure Diagnostics Make Device

Рис. 3.10. Контекстное меню элемента



Рис. 3.11. Элементы расположены в соответствии с принципиальной электрической схемой

Соединять элементы друг с другом можно следующим образом:

- нажать на левой панели инструментов кнопку "Selection Mode", подвести курсор к нужному выводу нужного элемента, после чего выбранный вывод будет обведен красным штриховым прямоугольником, а курсор изменит вид на вид зеленого карандаша, как показано на рисунке 3.12;

- сделать щелчок левой клавишей мыши и протянуть соединительную линию от одного нужного вывода нужного элемента до другого вывода другого или этого же элемента, которые нужно соединить друг с другом в соответствии с принципиальной электрической схемой, что показано на рисунке 3.13;

- если требуется сделать поворот соединительной линии под 90°, то нужно довести текущую соединительную линию до места поворота, сделать щелчок левой клавишей мыши, и провести линию далее в перпендикулярном направлении, как показано на рисунке 3.14;



Рис. 3.12. Правый вывод конденсатора C1 выбран для соединения с соответствующими выводами других элементов



Рис. 3.13. Соединительная линия от вывода конденсатора С1 к выводу № 3 ОУ U1



Рис. 3.14. Поворот соединительной линии от вывода конденсатора С1 к выводу резистора R2

- как только соединительная линия будет доведена до нужного вывода нужного элемента, этот вывод будет помечен красным штриховым прямоугольником, а цвет карандаша-курсора изменится с белого на зеленый, как показано на рисунке 3.15. Для соединения линии с выводом элемента нужно сделать щелчок левой клавишей мыши.



Рис. 3.15. Вывод резистора R2 подведен к выводу № 3 ОУ U1, но пока не зафиксирован

- если требуется соединить в одной точке несколько линий в соответствии

с принципиальной электрической схемой, то проводимую линию нужно довести до линии, с которой требуется соединение. При этом линия, с которой требуется соединение, подсветится красной пунктирной линией, как показано на рисунке 3.16.

- чтобы установить соединение двух линий, нужно сделать щелчок левой



Рис. 3.16. Линия для соединения выбрана, но соединения пока нет

клавишей мыши, после чего появится жирная точка, показывающая, что соединение линий установлено, что показано на рисунке 3.17;

- если требуется какую-либо линию удалить, то нужно подвести к ней



Рис. 3.17. Соединение линий создано

курсор, после чего предназначенная для удаления линия подсветится красной пунктирной линией. Далее нужно сделать щелчок правой клавишей мыши для выбора линии и, в появившемся меню, выбрать пункт "Delete Wire".

Так нужно создать все соединения выводов элементов в соответствии с принципиальной электрической схемой. Результат показан на рисунке 3.18.

В данном подразделе не рассматривалось соединение выводов элементов при помощи шины. Такой тип соединений применяется, как правило, в цифровых схемах, и он будет рассмотрен далее.

3.3. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является освоение подготовки и ввода принципиальной электрической схемы электронного устройства в программу "ISIS" пакета программ "Proteus VSM".

#### 3.4. Задание на лабораторную работу

Получить у преподавателя вариант принципиальной электрической схемы электронного устройства.

Подобрать иностранные аналоги использованных в принципиальной электрической схеме отечественных микросхем и полупроводниковых приборов из имеющихся в базе программы "ISIS" пакета программ "Proteus VSM".

Ввести принципиальную электрическую схему электронного устройства в программу "ISIS" пакета программ "Proteus VSM", так как описано выше.

#### 3.5. Выполнение лабораторной работы

В ходе выполнения работы требуется, используя приведенные теоретические сведения ввести принципиальную электрическую схему электронного устройства в программу "ISIS" пакета программ "Proteus VSM", так как описано выше. В свободной форме составить отчет по лабораторной работе. При решении каждой из задач требуется в отчете подробно описать каждый из шагов. По окончании выполнения работы пройти защиту ее результатов у преподавателя с ответами на поставленные контрольные вопросы.

### 4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА В ПАКЕТЕ ПРОГРАММ "PROTEUS VSM"

4.1. Подготовка к вводу принципиальной электрической схемы цифрового электронного устройства.

Исследование работы цифрового электронного устройства рассматривается на примере электронного автомата "Бегущий огонь". Его принципиальная



Рис. 4.1. Принципиальная электрическая схема автомата "Бегущий огонь"

электрическая схема показана на рисунке 4.1.

При исследовании цифровых схем имеется ряд особенностей, которые будут рассматриваться далее. Также перед исследованием цифровых схем требуется:

- в совершенстве знать основы вычислительной техники и алгебру логи-ки;

- знать структуру и алгоритм работы цифрового электронного устройства;

- знать функциональное назначение, принципы работы и таблицы истинности примененных в устройстве цифровых микросхем.

Принцип действия электронного автомата "Бегущий огонь" состоит в следующем. Имеются 16 огней. В каждый конкретный момент времени светится только один из них. Огни расположены в виде линии. При зажигании каждого последующего огня в линии предыдущий гаснет. Так осуществляется движение горящего огня: сначала в прямом направлении, затем в обратном, после чего – снова в прямом. Так происходит циклически.

Основой схемы реверсивный счетчик - микросхема DD4 типа К555ИЕ7. На его счетные входы поступают импульсы. Если импульсы поступают на счетный вход +1 (вывод 5), то производится сложение, и на выходах D0 – D3 (выводы 3, 2, 6, 7) комбинация логических нулей и единиц меняется от 0000 до 1111, что в десятичной системе счисления соответствует изменению числа от 0 до 15. Если импульсы поступают на счетный вход -1 (вывод 4), то производится вычитание, и на выходах D0 – D3 (выводы 3, 2, 6, 7) комбинация логических нулей и единиц меняется от 1111 до 0000, что в десятичной системе счисления соответствует изменению числа от 15 до 0.

С выходов D0 – D2 микросхемы DD4 трехразрядная двоичная кодовая комбинация поступает на входы A0 – A2 дешифраторов DD5 и DD6 типа K555ИД7. В зависимости от двоичной трехразрядной кодовой комбинации, которой в десятичной системе счисления соответствует изменение чисел от 0 до 7, на выходах Q0 – Q7 дешифраторов появляется лог. 0. При этом на остальных выводах дешифраторов присутствует лог. 1. При изменении кодовой комбинации меняется и номер выхода дешифратора, на котором присутствует лог. 0.

Распределение счетных импульсов по входам счетчика DD4 осуществляет распределитель импульсов, собранный на D-триггере DD1 K555TM2 и двух ЛЭ И микросхемы DD3 K555ЛИ1. На один из входов каждого ЛЭ И микросхемы DD3 поступают тактовые импульсы от тактового генератора, который на рисунке 4.1 не показан. На второй вход каждого ЛЭ И микросхемы DD3 поступает сигнал разрешения прохождения импульсов. Если сигнал разрешения прохождения импульсов. Если сигнал разрешения прохождения импульсов имеет состояние лог. 1, то тактовые, они же счетные, импульсы проходят на выходы элементов микросхемы DD3. Если сигнал разрешения прохождения импульсов имеет состояние лог. 0, то прохождение тактовых импульсов запрещено и на выходах элементов микросхемы DD3 присутствует лог. 0. С вывода 3 микросхемы DD3 счетные импульсы поступают на вход +1 микросхемы DD4. С вывода 6 микросхемы DD3 счетные импульсы поступают на вход -1 микросхемы DD4. Одновременное поступление счетных импульсов на оба входа микросхемы DD4 невозможно.

Триггер DD1 определяет, на какой из входов микросхемы DD3 будет подан сигнал с состоянием лог. 1, то есть сигнал разрешения прохождения тактовых импульсов. При включении питания цепью формирования сигнала сброса, собранной на элементах R1, C1, DD2, на входе R (вывод 1) триггера DD1, благодаря конденсатору С1, формируется сигнал сброса с уровнем лог. 0. Продолжительность сигнала сброса зависит от сопротивления резистора R1 и емкости конденсатора С1. Благодаря этому триггер устанавливается в нулевое состояние. В нулевом состоянии на прямом выходе Q (вывод 5) триггера появляется сигнал с уровнем лог. 0. На инверсном же выходе Q (вывод 6) присутствует сигнал с уровнем лог. 1. Помимо входа микросхемы DD3, сигнал с инверсного выхода триггера поступает на его вход данных D (вывод 2). При поступлении на тактовый вход С (вывод 3) триггера импульса сигнал со входа данных поступит на прямой выход триггера, а на инверсном выходе появится инвертированный сигнал, который поступит на вход данных триггера. Таким образом, сигнал разрешения прохождения тактовых импульсов поступит на вход другого элемента микросхемы DD3. При поступлении следующего импульса на тактовый вход С триггера сигнал со входа данных D поступит на прямой выход.

На вход установки триггера в единичное состояние S (вывод 4), через резистор R2, постоянно подан неактивный сигнал лог. 1.

Формирователь тактового сигнала для распределителя импульсов собран на ЛЭ И DD7.1 – DD7.3. Как и микросхема DD3, микросхема DD7 тоже типа К555ЛИ1. Работает формирователь тактового сигнала следующим образом. Входы элементов DD7.1 и DD7.2 соединены с выходами D0 – D3 счетчика DD4, и кодовая комбинация на входах элементов И соответствует таковой на выходах счетчика. Как только двоичная кодовая комбинация на выходах счетчика будет 1111, то на выходах элементов DD7.1 и DD7.2 появятся лог. 1. Соответственно, на выходе элемента DD7.3 появится лог. 1, которая поступит на тактовый вход С триггера DD1.

Инвертор DD2 К555ЛН1требуется потому, что для сброса (обнуления) счетчика DD4 требуется лог. 1.

Выходы Q0 – Q7 дешифраторов DD6 и DD7 соединены с базами транзисторов VT1 - VT16, которые выполняют функцию электронных ключей. Например, при поступлении на базу транзистора VT1 лог. 0, то есть низкого напряжения, транзистор открывается. Через его переход эмиттер – коллектор, а также через светодиод HL1 и резистор R3 буде протекать ток. Светодиод будет светиться. Также работают электронные ключи на остальных транзисторах. Резисторы R3 – R18 ограничивают ток через светодиоды.

В качестве источников питания с напряжениями +5 В и +15 В используются элементы питания GB1 и GB2 соответственно.

4.2. Ввод принципиальной электрической схемы цифрового электронного устройства

Как было указано выше, в библиотеке моделей элементов программы "ISIS" отсутствуют модели элементов советского и российского производства. Поэтому требуется, исходя из функционала и технических характеристик элементов, подобрать их зарубежные аналоги. Аналоги будут следующие [3]:

- в качестве микросхемы К555ИЕ7 должен быть применен ее аналог SN74LS193;

- в качестве микросхемы К555ЛН1 должен быть применен ее аналог SN74LS04;

- в качестве микросхемы К555ЛИ1 должен быть применен ее аналог SN74LS08;

- в качестве микросхемы К555TM2 должен быть применен ее аналог SN74LS74;

- в качестве микросхемы К555ИД7 должен быть применен ее аналог SN74LS138;

- в качестве транзистора КТ361Б можно применить его иностранные аналоги C9015, 2SA1015, 2SA733, BC557;

- в качестве светодиода АЛ307Б можно применить его иностранный аналог 5003R4D-EPB-P. Также можно подобрать в качестве аналога светодиод LED-RED из библиотеки "Optoelecronic".

Далее требуется ввести из библиотеки на рабочее поле УГО элементов и соединить их в соответствии с принципиальной электрической схемой устройства. К тому же, надо иметь ввиду, что к имеющимся в программе "ISIS" моделям цифровых микросхем не требуется в явном виде подводить напряжение питания +5 В. Результат показан на рисунке 4.2.





Рис. 4.2. Принципиальная электрическая схема автомата "Бегущий огонь" для исследования в программе "ISIS"

тов. Согласно рисунку 4.1, отсутствующие соединения входят в линию групповой связи, иначе именуемую шиной. Линию групповой связи (шину) можно создать следующим образом.

На левой инструментальной панели нужно нажать кнопку "Buses Mode", что приведет к входу в режим рисования шин. Подвести курсор, который имеет в этом режиме вид белого карандаша, к точке начала шины, сделать щелчок левой клавишей мыши. Появившуюся широкую линию довести до первого поворота на 90°. В месте поворота сделать щелчок левой клавишей мыши для фиксации поворота. Аналогично ввести остальные участки шины. В конечной точке шины, для фиксации, сделать двойной щелчок левой клавишей мыши. Разные участки шины можно стыковать друг с другом. Для этого нужно вводимый отрезок шины довести до ранее введенного участка шины и сделать двойной щелчок левой клавишей мыши. В отличие от советских и российских правил выполнения принципиальных электрических схем, где допускается простое пересечение двух разных шин, в программе "ISIS" пересечение двух шин сделать

невозможно. Это надо учитывать при вводе принципиальной электрической схемы.

На рисунке 4.3 показан результат выполнения операции. Здесь видно, что сама шина (синяя широкая линия) введена, но выводы элементов с ней не соединены в соответствии с принципиальной электрической схемой. Соединение выводов элементов с шиной можно сделать следующим образом.

На левой панели инструментов нажать кнопку "Selection Mode". Подвести курсор в виде стрелки к нужному выводу нужного элемента (например, к выводу 3 микросхемы DD4), после чего курсор примет вид зеленого карандаша, а



Рис. 4.3. Шина введена, но выводы элементов с ней не соединены

сам вывод выделится красным пунктирным прямоугольником. Далее сделать щелчок левой клавишей мыши и протянуть линию до шины, что показано на рисунке 4.4, после чего, для окончания ввода, снова сделать щелчок левой клавишей мыши.



Рис. 4.4. Проводник подведен к шине

Аналогично нужно соединить с шиной все выводы элементов в соответствии с принципиальной электрической схемой.

Однако, для исследования работы эта схема еще в полной мере не готова. Связано это с тем, что программа еще "не знает", какой из проводников, подведенных к шине, с каким проводником, также подведенным к шине, соединен. Например, программа "не знает", что вывод 3 микросхемы DD4 должен быть соединен с выводами 1 микросхем DD5, DD6 и DD7, а вывод 15 микросхемы DD5 должен быть соединен с базой транзистора VT1.

Такие связи вводятся следующим образом.

Подвести курсор к нужному проводнику. После того, как курсор примет вид руки с поднятым указательным пальцем, а проводник будет выделен красной пунктирной линией, нужно сделать щелчок правой клавишей мыши. На экране появится контекстное меню, показанное на рисунке 4.5. В нем нужно выбрать пункт "Place Wire Label", после чего откроется диалоговое окно, показанное на рисунке 4.6.



Рис. 4.5. Контекстное меню проводника

Основные требующиеся пункты этого диалогового окна:

- "Sting" – имя проводника;

- "Rotate" – поворот: "Horizontal" – по горизонтали, "Vertical" – по вертикали;

- "Justifly" – привязка: "Left" – по левому краю, "Centre" – по центру, "Right" – по правому краю, "Top" – по верхнему краю, "Middle" – посередине, "Bottom" – по нижнему краю.

В строке "Sting" нужно ввести номер проводника в соответствии с принципиальной электрической схемой. В данном случае, для соединения вывода 3 микросхемы DD4 с выводами 1 микросхем DD5 – DD7, нужно ввести номер 1. После этого нужно нажать кнопку ОК. Результат показан на рисунке 4.7. Остальные проводники нумеруются аналогично в соответствии с принципиальной электрической схемой.

dit Wire Labe	1	?:
Label Style		
String:	1	<ul> <li>Auto-Sync?</li> </ul>
	Rotate	Show All
	Justify	
	🐟 Left 🔿 Centre 🔷 Right	
	< Top < Middle 🔶 Bottom	

На принципиальной электрической схеме, показанной на рисунке 4.1, от-

Рис. 4.6. Диалоговое окно редактирования имени проводника



Рис. 4.7. Проводники шины пронумерованы в соответствии с принципиальной электрической схемой

сутствует тактовый генератор, без которого схема работать не будет. Предусмотрено только его подключение.

Использовать рассмотренный ранее генератор сигналов "Signal Generator", ввиду его громоздкости, неудобно. Можно использовать альтернативный генератор. Его можно ввести на рабочее поле следующим образом. На левой панели инструментов нажать кнопку "Selection Mode". Вывести курсор на рабочее поле и сделать щелчок правой клавишей мыши. В появившемся меню выбрать "Place > Generator > Pulse", что показано на рисунке 4.8. После этого УГО генератора появится на рабочем поле, что показано на рисунке 4.9.

Для вывода на экран меню параметров генератора "Pulse Generator Properties", показанного на рисунке 4.9, на его УГО сделать двойной щелчок левой



Рис. 4.8. Последовательность выбора генератора

Pulse Generator Propertie	s		? ×	
ienerator Name:	Initial (Low) Voltage:	0	<b></b>	
DD3:A(A)	Pulsed (High) Voltage:	4.7	÷	
Analogue Types	Start (Secs):	0	÷	
<>DC ♦ Sine	Rise Time (Secs):	1u	÷.	DD3:A(A)
Pulse     Dute	Fall Time (Secs):	1u		<text></text>
♦ File	Pulse	, width:		
Audio	Pulse Width (Secs):			
SFFM	Pulse Width (%):	50	÷	
C Easy HDL	Frequenc	u/Period:		
Digital Types	Frequency (Hz)	250m		
Steady State	Period (Secs):			
Single Edge	Cycles/Graph:	, 		
Clock				
C Pattern				
Current Source?				
Isolate Before?				
Manual Edits? <u>H</u> ide Properties?	ОК		Cancel	

Рис. 4.9. УГО подключенного к схеме генератора и меню его параметров

клавишей мыши. Наиболее важные для моделирования параметры следующие:

- "Generator Name" – имя или позиционное обозначение генератора;

- "DC" – тип выходного сигнала постоянный (постоянное напряжение);

- "Sine" тип выходного сигнала синусоидальный;
- "Pulse" тип выходного сигнала импульсный;

- "Initial (Low) Voltage" – уровень низкого напряжения (уровень лог. 0);

- "Pulsed (High) Voltage" – уровень высокого напряжения (уровень лог. 1);

- "Start (Secs)" – время запуска генератора от начала процесса моделирования (в секундах); - "Pulse Width (Secs)" – длительность импульса (в секундах);

- "Pulse Width (%)" – длительность импульса (в процентах) относительно длительности паузы – скважность импульса;

- "Frequency (Hz)" – частота импульсов в герцах;

- "Period (Secs)" – период импульса в секундах.

Надо учесть, что в зависимости от выбранного типа выходного сигнала, набор параметров в меню несколько различается.

Для моделирования работы данной схемы требуется ввести:

- уровень лог. 0 равным 0 В ("Initial (Low) Voltage");

- уровень лог. 1 равным 4,75 В ("Pulsed (High) Voltage");

- скважность импульса ("Pulse Width (%)") равной 50%;

- частоту импульсов ("Frequency (Hz)") равной 1 Гц.

Далее нужно подтвердить введенные параметры нажатием кнопки ОК.

Теперь введена полная схема для исследования, что показано на рисунке 4.10.

При исследовании нужно проверить правильность перемещения зажженного светодиода от HL1 к HL16 и от HL16 к HL1 и далее по кольцу. Сам процесс моделирования начинается нажатием кнопки "Play" на панели управления.



Рис. 4.10. Полная схема для моделирования электронного автомата "Бегущий огонь"

В процессе моделирования около выводов элементов появляются квадраты, цвет каждого из которых синий или красный. Если возле вывода элемента присутствует синий квадрат, то вывод элемента (вход или выход) находится в состоянии лог. 0. Если возле вывода элемента присутствует красный квадрат, то вывод элемента (вход или выход) находится в состоянии лог. 1. Если возле вывода элемента присутствует серый квадрат, то вывод элемента (вход или выход) находится в третьем состоянии. Если возле вывода элемента присутствует желтый квадрат, то на ряд входов элемента подана недопустима комбинация сигналов. Благодаря этому можно отслеживать логическое состояние входов или выходов ЛЭ, что видно на рисунке 4.11, где показано изменение логического состояния входов и выходов микросхемы счетчика DD4.

По рисунку 4.11 видно:

- на входах данных D0 – D3 постоянно присутствует лог. 1, так как эти входы соединены друг с другом и, через резистор R2, с источником напряжения



Рис. 4.11. Изменение логического состояния входов и выходов счетчика DD4

+5 B;

- на входе управления записью PL постоянно присутствует неактивный уровень лог. 1, так как этот вход соединен через резистор R2 с источником напряжения +5 B;

- на входе управления сбросом MR постоянно присутствует неактивный уровень лог. 0, так как активный уровень лог. 1 формируется на непродолжительное время на выходе инвертора DD2 при включении устройства;

- на входе сложения DN присутствует то лог. 0, то лог. 1, так как на него с выхода ЛЭ И микросхемы DD3 поступают тактовые импульсы;

- на входе вычитания UP присутствует то лог. 0, то лог. 1, так как на него с выхода ЛЭ И микросхемы DD3 поступают тактовые импульсы;

- если тактовый сигнал присутствует на входе сложения, то на входе вычитания присутствует лог. 0. И наоборот, если тактовый сигнал присутствует на входе вычитания, то на входе сложения присутствует лог. 0. Одновременно на вход сложения и на вход вычитания тактовый сигнал поступать не может. Это говорит о правильной работе схемы распределения тактовых импульсов.

- на выходе заема TCU и на выходе переноса TCD постоянно присутствуют лог. 1. Это является нормальной ситуацией, так как лог. 0 на выходе переноса появляется на один период тактового импульса при переполнении счетчика, а лог. 0 на выходе заема появляется на один период тактового импульса при обнулении счетчика. А так как эти выходы никуда не подключены, то далее их состояние рассматривать не имеет смысла.

- на выходах данных Q0 – Q3 на левом рисунке присутствует двоичная кодовая комбинация 0001, что равнозначно десятичному числу 1;

- на выходах данных Q0 – Q3 на среднем рисунке присутствует двоичная кодовая комбинация 1011, что равнозначно десятичному числу 11;

- на выходах данных Q0 – Q3 на правом рисунке присутствует двоичная

кодовая комбинация 1110, что равнозначно десятичному числу 14;

- в динамике видно, что счетчик DD4 считает тактовые импульсы, как на сложение, так и на вычитание, в зависимости от того, на какой из входов поступают тактовые импульсы.

В динамическом режиме можно видеть, что светодиоды HL1 – HL16 зажигаются поочередно. Также поочередно они и гаснут. Это происходит как в прямом направлении, так и в обратном. При этом в конкретный момент времени горит только один из светодиодов.

Исходя из сказанного, исследование подтверждает правильную работу автомата "Бегущий огонь".

Исследование цифровых устройств с микроконтроллером и (или) памятью имеет несколько особенностей, основная из которых – требование наличия файла программы для микроконтроллера или файла данных для памяти. Эти файлы прикрепляются к принципиальной электрической схеме исследуемого устройства через меню свойств микросхемы микроконтроллера или микросхемы памяти. Это будет рассмотрено в одной из следующих лабораторных работ.

## 4.3. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является освоение ввода принципиальной электрической схемы цифрового электронного устройства и исследования (моделирования) его работы в программе "ISIS" пакета программ "Proteus VSM".

### 4.4. Задание на лабораторную работу

Получить у преподавателя вариант принципиальной электрической схемы цифрового электронного устройства.

Подобрать иностранные аналоги использованных в принципиальной электрической схеме отечественных микросхем и полупроводниковых приборов из имеющихся в базе программы "ISIS" пакета программ "Proteus VSM".

Ввести принципиальную электрическую схему электронного устройства в программу "ISIS" пакета программ "Proteus VSM", так как описано выше.

Запустить моделирование работы электронного устройства и проверить режимы работы согласно варианта задания.

#### 4.5. Выполнение лабораторной работы

В ходе выполнения работы требуется, используя приведенные теоретические сведения ввести принципиальную электрическую схему цифрового электронного устройства в программу "ISIS" пакета программ "Proteus VSM", так как описано выше. Запустить процесс моделирования работы электронного устройства и проверить режимы работы. В свободной форме составить отчет по лабораторной работе. При решении каждой из задач требуется в отчете подробно описать каждый из шагов. По окончании выполнения работы пройти защиту ее результатов у преподавателя с ответами на поставленные контрольные вопросы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюрин И.В. Вычислительная техника : учебное пособие/ И.В. Тюрин. - Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 112 с.

2. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: справочник. - М.: Радио и связь, 1987. – 352. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1111).

3. Желенков Б.В. Основы вычислительной техники: учебник для вузов/ Б.В. Желенков, Н.А. Цтганова. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 168 с.: ил.

4. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник/ П.П. Мальцев, Н.С. Долидзе, М.И. Критенко и др. – М.: Радио и связь, 1994. - 240 с.: ил.

5. А. Максимов. Моделирование устройств на микроконтроллерах с помощью программы ISIS из пакета Protteus VSM./ А. Максимов// Радио. - 2005. - № 4. С. 30 - 33, № 5. С. 31 - 34, № 6. С. 30 - 33.

6. В. Гололобов. "Экскурсия по электронике".

http://vgololobov.narod.ru/content/proteus/Proteus.html

## ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению лабораторных работ № 3-5 для студентов специальностей 15.02.10 «Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)» и 15.02.10 «Мехатроника и робототехника (по отраслям)» всех форм обучения

## Составитель

Коротков Виктор Николаевич

Издается в авторской редакции

Компьютерный набор В.Н. Короткова

Подписано к изданию 06.05.2025. Уч.-изд. л. 3,2

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет" 394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84