

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.Н. Мирянова

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
(ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ПРИВОДЫ)»**

Часть 1

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления
27.03.04 – Управление в технических системах

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 621.396.6

ББК 32.872

М64

Р е ц е н з е н т:

А.А. Кабанов - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Информатика и управление в технических системах»

Мирянова В.Н.

М64 Лабораторный практикум по дисциплине «Технические средства и элементная база робототехнических систем (исполнительные двигатели и приводы)»: метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 27.03.04 – Управление в технических системах. – Ч.1 / В.Н. Мирянова. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 38 с.

Целью лабораторного практикума является привитие навыков исследования процессов в робототехнических системах. Лабораторные работы предполагают изучение способов моделирования электронных схем управления приводами в специализированных программных симуляторах. Каждая лабораторная работа кроме кратких теоретических сведений и указаний по её выполнению содержит требования к оформлению и содержанию отчета, а также перечень контрольных вопросов.

УДК 621.396.6

ББК 32.872

Лабораторный практикум рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Информатика и управление в технических системах», протокол № 8 от 08 апреля 2019 г.

Рекомендовано Ученым советом Института информационных технологий и управления в технических системах, протокол № 5 от 25 апреля 2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Лабораторная работа № 1 Введение в среду моделирования proteus	4
2. Лабораторная работа № 2	14
Моделирование схемы управления скоростью вращения маломощного двигателя постоянного тока.....	14
3. Лабораторная работа № 3	21
Моделирование схемы управления биполярным шаговым двигателем	21
Библиографический список	29
Приложение А	30
Приложение Б.....	35

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум охватывает разделы изучаемой дисциплины, посвященные основным типам электродвигателей, применяемым в робототехнике. Каждая лабораторная работа выполняется в течение четырех академических часов. В процессе подготовки к выполнению работы студент должен ознакомиться с основными теоретическими положениями, описанием используемого программного продукта и выполнить предварительные теоретические расчеты.

Все лабораторные работы выполняются в системе Proteus фирмы Labcenter Electronics — это пакет программ класса систем автоматизированного проектирования (САПР), позволяющую производить моделирование принципиальных схем, используя обширную библиотеку моделей электронных компонентов, включая широкий набор микроконтроллеров (AVR, MCS51, PIC, ARM и др). В Proteus имеется набор виртуальных измерительных приборов таких, как осциллограф, логический анализатор, вольтметр, спектроанализатор и др. Они позволяют определить и визуально представить электронное состояние в любой точке моделируемой схемы, а также наблюдать процессы, происходящие в ней.

В состав пакета входят две основных программы: ISIS - средство разработки и отладки в режиме реального времени электронных схем и ARES - средство разработки печатных плат. В пакете имеется широкий набор демонстрационных проектов для ознакомления с работой системы.

В данном курсе будем рассматривать только модуль ISIS. При этом ограничимся рассмотрением его основных возможностей, достаточных для

моделирования типовых схем. Более детальную информацию можно получить «экспериментальным» путем, либо изучив информацию, выбрав пункт меню «Справка».

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ВВЕДЕНИЕ В СРЕДУ МОДЕЛИРОВАНИЯ PROTEUS

1.1. Цель работы

Изучение основных принципов схемотехнического моделирования в среде Proteus.

1.2. Теоретические сведения

При запуске Proteus предложит выполнить необходимые перед проектированием действия: создать и сохранить новый проект (при этом будет указан тип проекта), открыть существующий, выбрать размер листа, выбрать тип печатной платы (при необходимости) и т.п. Затем на мониторе появляется главное окно, представленное на рисунке 1.1. Все его рабочее пространство разделено на несколько областей. Большую часть занимает окно редактирования. В нем проектируется принципиальная схема устройства. Сюда из библиотеки помещаются электронные компоненты вместе со средствами измерения и индикации, здесь они соединяются проводниками согласно схеме, редактируются при наличии ошибок, после чего запускается процесс моделирования.

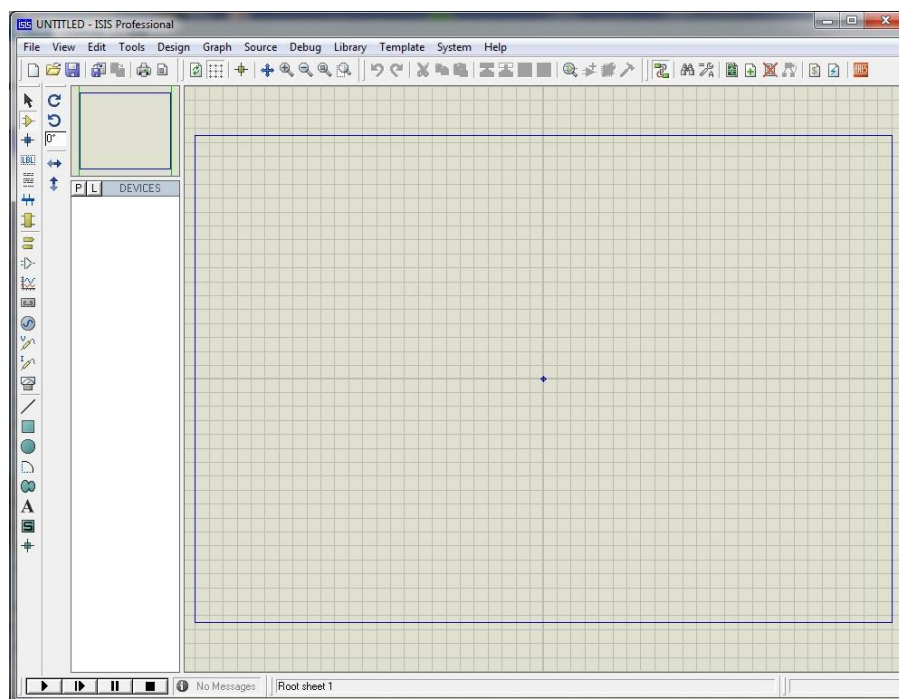


Рисунок 1.1 — Главное окно программы ISIS

Вверху находятся пункты меню, предоставляющие пользователю полный набор возможных действий, имеющихся в Proteus. Под ним расположены кнопки верхней панели инструментов, позволяющие выполнить часто используемые команды. На левом краю главного окна расположена левая панель инструментов, с помощью которых, в основном, и проектируется принципиальная схема устройства. Следует понимать, что одно и то же действие можно выполнить различными способами, используя систему меню, панель инструментов или контекстное меню, выпадающее при нажатии правой кнопки или двукратном нажатии левой кнопки мыши. В левом верхнем углу главного окна располагается окно предварительного просмотра, позволяющее оперативно перемещаться по схеме проекта. Под ним расположено окно, куда выводится различная информация, характер которой зависит от того, какая из кнопок нажата на левой панели инструментов. Это может быть список компонентов схемы, меток, виртуальных инструментов, пробников и т.д. Внизу на краю главного окна расположены четыре кнопки управления процессом моделирования:



«Воспроизвести» (Play) – старт процессу моделирования,



«Шаг» (Step) – пошаговое выполнение программы микроконтроллера,



«Пауза» (Pause) – пауза процесса моделирования



«Стоп» (Stop) – остановка процесса моделирования.

Проектирование принципиальной схемы устройства обычно осуществляют с помощью кнопок на левой панели инструментов. Рассмотрим назначение основных.



Режим выбора. При нажатой кнопке пользователь получает возможность редактировать схему устройства, т.е. выделять отдельные компоненты или структурные блоки, копировать их в буфер, удалять, масштабировать, и т.д. Можно позиционировать схему, перемещая в окне предварительного просмотра (справа от кнопки) перекрестие «прицела» при нажатой левой кнопке мыши. Вторичное нажатие кнопки мыши фиксирует положение схемы в окне редактирования. Используя также кнопки масштабирования на верхней панели инструментов, можно настраивать любой фрагмент схемы в удобном для пользователя масштабе.



Компоненты. При нажатии кнопки в соседнем с ней окне появляется список используемых в открытом проекте компонентов (если проект еще не создан, список пустой). Выделив левой кнопкой мыши любой из компонентов списка, можно вторичным нажатием левой кнопки установить его в произвольном месте окна редактирования. Двукратное нажатие правой кнопки мыши удаляет компонент из окна редактирования. Важной является кнопка «P», расположенная под окном предварительного просмотра. Ее нажатие открывает окно поиска компонентов Pick Device,

предназначенное для входа в библиотеку компонентов системы Proteus. В этом окне все компоненты структурированы по категориям, подкатегориям и изготовителям. Каждый компонент имеет краткое описание и графическое изображение на принципиальной схеме. Нажатие в окне клавиши «**Ok**» помещает выбранный библиотечный компонент в список компонентов проекта, откуда его можно переместить в окно редактирования. Таким способом все необходимые для проекта компоненты из библиотеки перемещаются в окно редактирования.



Точка соединения. При нажатой кнопке можно соединить любое пересечение проводников на схеме. Соединение выводов компонентов друг с другом можно осуществлять и при других нажатых кнопках, например, сразу после установки компонентов в окне редактирования, т.е. при нажатой кнопке «Компоненты».



Метка соединения. При нажатой кнопке можно присвоить любому проводнику имя. Это позволяет соединять отдельные выводы компонентов и цепи условно, без явного использования проводников, что часто позволяет улучшить восприятие проектируемой схемы устройства.



Текстовый скрипт. При нажатии кнопки можно вставить текст в любое место схемы в окне редактирования. Полезно для создания комментариев при проектировании устройств.



Шина. При нажатой кнопке можно проложить на принципиальной схеме шину, состоящую из нескольких проводников.



Субсхема. Кнопка позволяет создать субсхемы, представляющие собой некие функциональные блоки с выводами-соединителями.



Терминал. Кнопка позволяет установить на принципиальной схеме устройства такие элементы, как питание, общая шина, межблочные соединения, выводы, «землю». Земля (Ground, GND) — это узел цепи, потенциал которого условно принимается за ноль, и все напряжения в системе отсчитываются от потенциала этого узла. На практике чаще всего за землю принимают один из выводов источника питания. При однополярном источнике обычно землёй считают его отрицательный вывод, при двуполярном источнике за землю принимают его среднюю точку. Иногда «земля» считается общей шиной, к которой подключают другие детали и проводники и относительно которой отсчитывают как напряжение питания, так и сигнальные потенциалы.



Пины устройства. Кнопка позволяет добавить вывод к создаваемому компоненту.



Диаграмма. При нажатой кнопке в окне редактирования можно установить набор графических инструментов, предоставляющих

пользователю широкие возможности по отображению сигналов, их детальному анализу и математической обработке, а также сохранению результатов моделирования.



Генератор. Нажатие кнопки выводит список генераторов сигналов различной формы: синусоидальный, импульсный, экспоненциальный и т.д.



Щуп напряжения. Предназначен для указания точки проводника, в которой необходимо измерить напряжение, и присвоения имени участку цепи с данной точкой. Используется совместно с графическими средствами измерения напряжения (см. кнопку «Диаграмма»).



Щуп тока. Предназначен для решения тех же задач, что и щуп напряжения, т.е. выбора и присвоения имени участку цепи, в которой производится измерение тока.



Виртуальные инструменты. При нажатии кнопки появляется список виртуальных инструментов, среди которых генератор сигналов специальной формы, 4-канальный осциллограф, вольтметры и амперметры постоянного и переменного токов, виртуальный терминал и др. Виртуальный генератор сигналов, в отличие от выше рассмотренного генератора (вызываемого кнопкой «Генератор»), может изменять параметры тестового сигнала непосредственно в процессе моделирования работы устройства. Для этого на его лицевой панели имеются специальные органы управления, позволяющие оперативно, без остановки процесса моделирования изменять форму сигнала, его частоту и амплитуду. С помощью осциллографа можно исследовать сигнал в реальном масштабе времени. Как и у других виртуальных инструментов в нем имеются органы управления, позволяющие изменять частоту развертки, чувствительность, настраивать цветовую гамму изображения (луч, дисплей, сетка, курсор) и т.д.

Для измерения напряжения или тока к участку цепи на принципиальной схеме устройства подключают вольтметр или амперметр так, как если бы это были реальные приборы, после чего запускают процесс моделирования. При остановленном процессе моделирования можно изменить диапазон измерения.

Виртуальный терминал позволяет смоделировать обмен данными между микроконтроллером и персональным компьютером. Другие виртуальные инструменты позволяют решать задачи, связанные с отладкой работы периферийных устройств, взаимодействующих с микроконтроллером.

Процесс моделирования электронного устройства начинается с проектирования его принципиальной схемы. Для этого необходимо найти в библиотеке Proteus нужные компоненты, разместить их в окне редактирования и соединить проводниками. При необходимости в схему

добавить источники питания и общую шину, а также виртуальные средства измерения и контроля, например, вольтметры и осциллографы.

Для формирования списка компонентов проектируемого устройства на левой панели инструментов следует нажать кнопку «Компоненты» и затем кнопку «Р» (под окном предварительного просмотра). Откроется окно выбора библиотечных компонентов Pick Devices (рис. 1.2), которые сгруппированы по категориям, подкатегориям и фирмам-изготовителям. Кроме обычных компонентов таких, как резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы библиотека содержит широкий набор вспомогательных компонентов и устройств. Это и оптоэлектронные устройства (буквенно-цифровые и графические индикаторы и дисплеи, оптроны), электромеханические устройства (электродвигатели, реле), разнообразные разъемы и коммутаторы, сенсоры, функциональные блоки с заданной передаточной функцией и многое другое. Каждый компонент имеет свой графический образ на принципиальной схеме, что позволяет быстро определить его назначение и отличительные особенности.

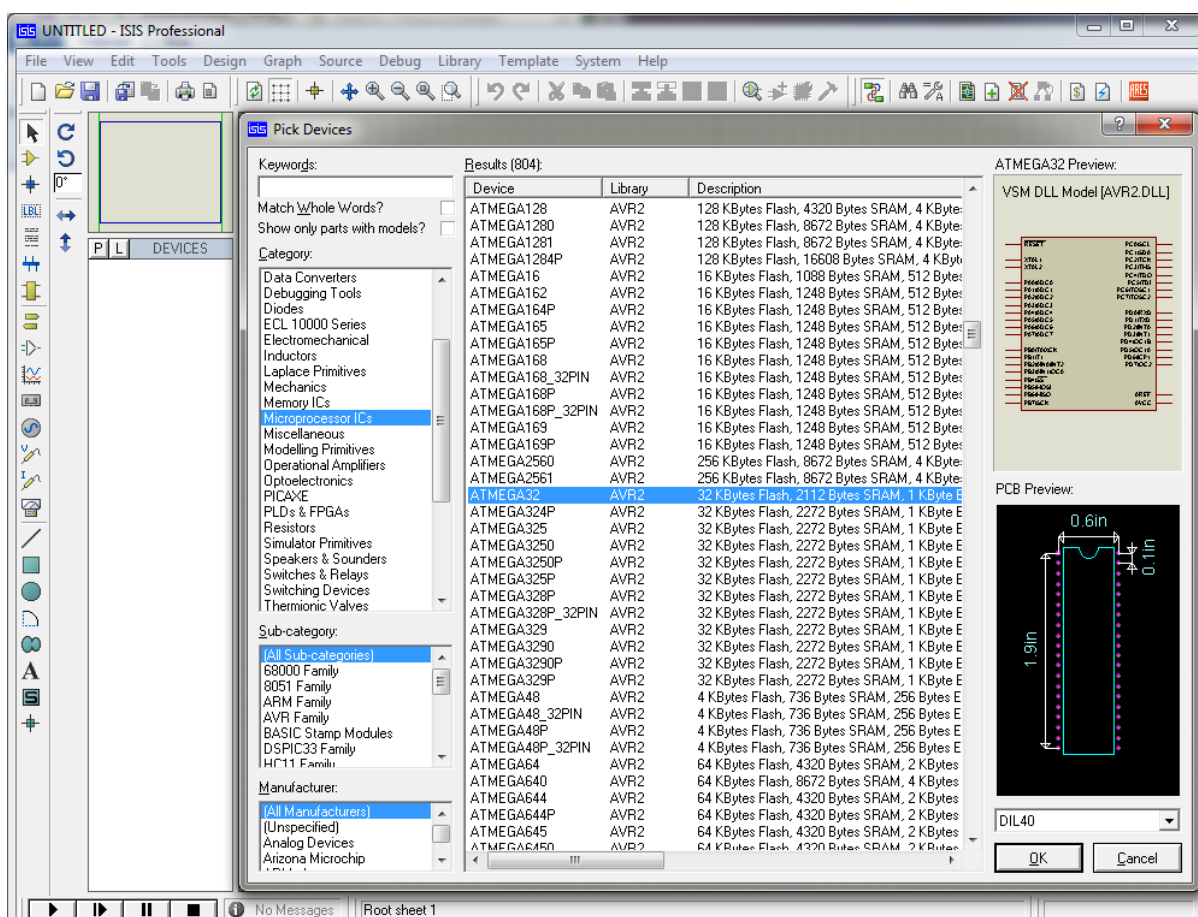


Рисунок 1.2 — Окно выбора библиотечных компонентов Pick Devices

Пусть, например, в проектируемом устройстве имеется микроконтроллер ATmega32. Выберем в окне Pick Devices категорию Microprocessor ICs, подкатегорию AVR Family и в колонке устройств – ATmega32. В правом верхнем окне появится графический образ компонента. Нажмем кнопку «Ok», компонент ATmega32 появится в списке (справа от панели инструментов). Аналогично выбираются другие компоненты, входящие в состав проектируемого устройства. Таким способом формируется список нужных компонентов, который в дальнейшем можно корректировать (добавлять новые компоненты или удалять из списка ненужные). Для включения в список можно использовать окно поиска по маске (ключевым словам), в которое вводится имя компонента (или начальная часть имени).

Для размещения компонентов в окне редактирования с помощью мыши или клавиатуры следует выделить нужный компонент в списке, затем установить курсор в свободном месте окна редактирования и нажать левую кнопку мыши – компонент появится в указанном месте. Таким способом размещаются все компоненты. В дальнейшем их положение можно корректировать, перемещая или поворачивая на нужные углы, копировать через буфер или удалять из окна редактирования. Все эти операции можно совершать как с отдельными компонентами, так и с блоками компонент, выделив предварительно нужный блок при нажатой левой кнопке мыши. Используя выпадающее меню при двойном нажатии левой кнопки мыши на компоненте, можно редактировать его свойства, например, номиналы резисторов или конденсаторов.

Соединение компонентов между собой. После размещения компонентов в окне редактирования их следует соединить друг с другом в соответствии с принципиальной схемой устройства. Для этого следует подвести курсор к выводу компонента (при этом на схеме появится образ контактной площадки), нажать левую кнопку мыши и провести проводник к другому выводу компонента или другому проводнику. После этого для фиксации соединения нажать левую кнопку мыши. Если в процессе соединения компонентов проводник не устанавливается в задуманное проектировщиком положение, то можно прокладывать проводник по частям, фиксируя положение точек изгиба проводника нажатием левой кнопки мыши. Если после формирования проводников потребуется соединить какие-то точки их пересечений, то это можно сделать, выбрав на левой панели инструментов кнопку «Точка соединения». Соединение на схеме проводников друг с другом можно делать и непосредственно при их прокладке.

Для лучшего восприятия схемы вместо непосредственного соединения иногда используют присвоение одинакового имени двум или нескольким проводникам, после чего они считаются электрически соединенными друг с

другом. Для этого на левой панели инструментов следует выбрать кнопку «Метка соединения», после чего подвести курсор к нужному проводнику, нажать левую кнопку мыши и в открывшемся окне ввести имя (метку) проводника. У отмеченных таким способом проводников один конец может оказаться не подключенным, т.е. оказаться оборванным. Обрыв проводника формируется двойным нажатием левой кнопки мыши в точке обрыва.

Другим способом улучшить восприятие схемы при наличии большого количества проводников является использование шин, которые могут включать в себя несколько проводников. Для этого на левой панели инструментов следует нажать кнопку «Шина», после чего проложить шину в нужном месте окна редактирования и подсоединить отдельные проводники шины к нужным точкам проектируемого устройства. При этом все используемые проводники в шине должны иметь свои имена (метки).

В процессе проектирования принципиальной схемы часто возникает необходимость ее масштабирования, для чего используются соответствующие кнопки на верхней панели инструментов. Для перемещения всей схемы используется окно предварительного просмотра, расположенное в левом верхнем углу главного окна. Установив курсор в это окно, и перемещая перекрестие «прицела» при нажатой левой кнопке мыши, можно перемещать принципиальную схему по окну редактирования. Еще одно нажатие левой кнопки фиксирует положение схемы. При получении нежелательных результатов всегда есть возможность отменить последние действия с помощью стандартной кнопки отмены.

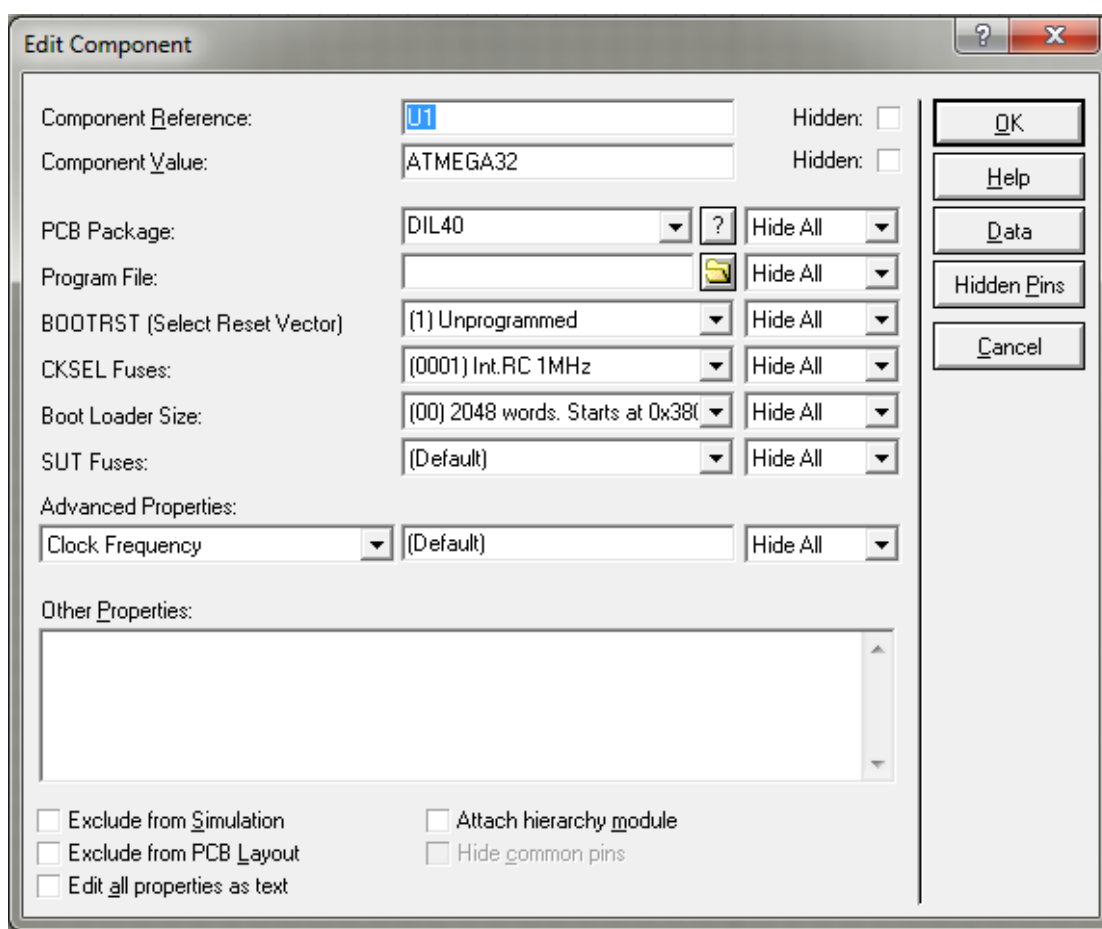
Формирование общей шины и источников питания. Любое устройство имеет общую шину и одно или несколько напряжений питания. Для их размещения в окне редактирования следует на левой панели инструментов нажать кнопку «Терминал» и выбрать пункт «GROUND», после чего дважды нажать левую кнопку мыши в нужном месте окна редактирования. Источник питания устанавливается после выбора пункта «POWER» аналогично, но для него дополнительно требуется задать величину питающего напряжения. Для этого надо дважды нажать левой кнопкой мыши на графическом образе источника и в появившемся окне набрать значение напряжения источника, например, +5V.

Загрузка («прошивка») кода программы в микроконтроллер. Если проектируется микропроцессорное устройство, то для его схемотехнического анализа необходимо «прошить» управляющую программу в память микроконтроллера. В системе Proteus это фактически означает установку в проекте пути к каталогу, в котором находится управляющая программа, и ее имени. Желательно при этом, чтобы разрабатываемый в Proteus проект и управляющая программа были сохранены в одном каталоге. В том случае после любых исправлений в коде

программы необходимости в ее новой «прошивке» нет, после компиляции она автоматически подключается к проекту.

Для «прошивки» управляющей программы следует двойным нажатием левой кнопки мыши на графическом изображении микроконтроллера открыть окно для его редактирования (рис. 1.3). Затем следует произвести нужные настройки, а именно, установить частоту синхронизации и значения бит SKSEL Fuses (по умолчанию стоит RC-генератор на 1 МГц). После этого в окне Program File следует выбрать в папке с проектом hex- или sof-файл управляющей программы, сгенерированный компилятором, «прошив» его тем самым в память микроконтроллера. Остальные параметры, показанные в окне, можно оставить без изменения.

Если отладка управляющей программы не предполагается, то можно «прошить» hex- или sof-файл управляющей программы. В противном случае следует выбирать только sof-файл. После «прошивки» программы проект готов к работе. Отладка производится в случае, если программа имеет скрытые ошибки в функционировании, которые проектировщик не может обнаружить при обычном чтении текста программы. Для отладки требуется предварительно указать путь к месту нахождения исходного C-файла. Это осуществляется выбором пункта меню «Source>Add/Remove Source files...» и установкой имени исходного C-файла.



1.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить принципы работы в среде **Proteus**.

2. Провести моделирование схемы симметричного мультивибратора со светодиодами в цепи коллекторов. Принцип работы мультивибратора описан в Приложении А.

2.1. Рассчитать мультивибратор на базе транзисторов с параметрами, указанными преподавателем.

Пример расчета. Рассчитать мультивибратор на базе транзисторов с параметрами $P_{\max}=150$ мВт; $I_{\max}=150$ мА; $h_{21}>50$; напряжение питания схемы +12 В; частота мультивибратора $F = 0,2$ Гц ($T = 5$ с); длительность импульса 1 с.

2.1.1. Максимальная рассеиваемую мощность транзисторов, которая должна составлять значение, на 20 процентов меньше (коэффициент 0,8) максимальной мощности транзистора, указанной в справочнике.

Определяем максимальную рассеиваемую мощность: $P_{\text{рас.мах}} = 0,8 * P_{\max} = 0,8 * 150 \text{ мВт} = 120 \text{ мВт}$

2.1.2. Номинальная рассеиваемая мощность в 3 раза меньше от максимальной.

Определяем номинальную рассеиваемую мощность: $P_{\text{рас.ном.}} = 120 / 3 = 40 \text{ мВт}$.

2.1.3. Определим ток коллектора в открытом состоянии: $I_{k0} = P_{\text{рас.ном.}} / U_{\text{и.п.}} = 40 \text{ мВт} / 12 \text{ В} = 3,3 \text{ мА}$.

Примем его за максимальный ток коллектора.

2.1.4. Найдём значение сопротивления и мощности коллекторной нагрузки: $R_{\text{к.общ}} = U_{\text{и.п.}} / I_{k0} = 12 \text{ В} / 3,3 \text{ мА} = 3,6 \text{ кОм}$.

Выбираем в существующем номинальном ряде резисторы максимально близкие к 3,6 кОм. $R_{\text{к}} = R_1 = R_4 = 3,6 \text{ кОм}$.

Мощность коллекторных резисторов R_1 и R_4 равна номинальной рассеиваемой мощности транзисторов $P_{\text{рас.ном.}} = 40$ мВт. Поэтому необходимо выбрать резисторы мощностью, превышающей указанную $P_{\text{рас.ном.}}$.

2.1.5. Номинал базовых резисторов R_2 и R_3 находят исходя из коэффициента усиления транзисторов h_{21} . При этом, для надёжной работы мультивибратора значение сопротивления должно быть в пределах: в 5 раз больше сопротивления коллекторных резисторов, и меньше произведения $R_{\text{к}} * h_{21}$. В нашем случае $R_{\min} = 3,6 * 5 = 18 \text{ кОм}$, а $R_{\max} = 3,6 * 50 = 180 \text{ кОм}$

Таким образом, значения сопротивлений R_2 и R_3 могут находиться в пределах 18...180 кОм. Предварительно выбираем среднее значение = 100 кОм. Но оно не окончательно, так как необходимо обеспечить требуемую

частоту мультивибратора, а частота мультивибратора напрямую зависит от базовых резисторов R2 и R3, а также от ёмкости конденсаторов.

2.1.6. Вычислим ёмкости конденсаторов C1 и C2 и при необходимости пересчитаем значения R2 и R3.

Значения ёмкости конденсатора C1 и сопротивления резистора R2 определяют длительность выходного импульса на коллекторе VT2. Исходя из формулы постоянной времени RC-цепи, определим ёмкость конденсатора: $C1 = 1 \text{ сек} / 100 \text{ кОм} = 10 \text{ мкФ}$.

Значения ёмкости конденсатора C2 и сопротивления резистора R3 определяют длительность выходного импульса на коллекторе VT1. Именно во время действия этого импульса на коллекторе VT2 действует «пауза». А в условии был задан полный период 5 секунд с длительностью импульса 1 секунда. Следовательно, длительность паузы равна $5 \text{ с} - 1 \text{ с} = 4 \text{ с}$.

Отсюда ёмкость конденсатора: $C2 = 4 \text{ сек} / 100 \text{ кОм} = 40 \text{ мкФ}$.

Конденсатор, ёмкостью 40 мкФ отсутствует в номинальном ряде, поэтому возьмём максимально близкий к нему конденсатор ёмкостью 47 мкФ. Но изменится и время «паузы». Чтобы этого не произошло, пересчитаем сопротивление резистора R3 исходя из длительности паузы и ёмкости конденсатора C2: $R3 = 4 \text{ сек} / 47 \text{ мкФ} = 85 \text{ кОм}$.

По номинальному ряду выбираем ближайшее значение сопротивления резистора равно 82 кОм.

Итак, номиналы элементов мультивибратора:

$R1 = 3,6 \text{ кОм}$, $R2 = 100 \text{ кОм}$, $R3 = 82 \text{ кОм}$, $R4 = 3,6 \text{ кОм}$, $C1 = 10 \text{ мкФ}$, $C2 = 47 \text{ мкФ}$.

Светодиоды необходимо выбрать так, чтобы их ток не превышал максимальный ток транзисторов, а напряжение было меньше питающего всю схему мультивибратора.

2.2. Составить в Proteus схему мультивибратора, изображённую на рисунке 1.4.

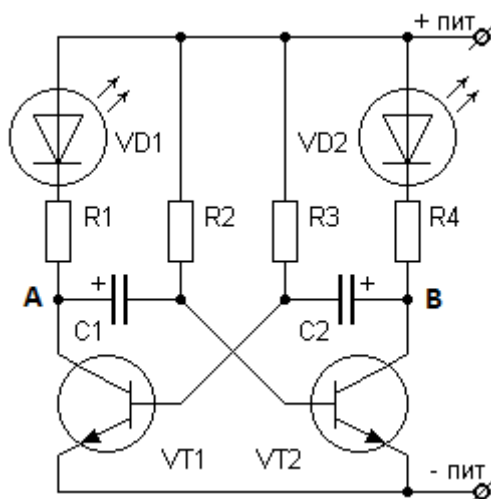


Рисунок 1.4 – Схема симметричного мультивибратора

2.3. Установить в схеме рассчитанные параметры. Произвести запуск симуляции. При необходимости изменить параметры питающего напряжения, тока и напряжения светодиодов.

2.4. Подключить осциллограф к точкам А и В и получить осциллограмму прямоугольного напряжения, выдаваемого мультивибратором.

1.4. Содержание отчета

1. Расчет параметров мультивибратора
2. Схема моделирования симметричного мультивибратора.
3. Осциллограммы выходных сигналов мультивибратора.
4. Вывод о работе мультивибратора (кратко описать назначение и принцип действия).

1.5. Контрольные вопросы

1. Кратко опишите принцип построения схемы в среде моделирования Proteus.
2. Какими способами можно «задать» источник постоянного напряжения в схеме?
3. Каким образом Proteus позволяет организовать электрическое соединение проводников в схеме?
4. Поясните принципы перемещения и трансформации элементов схемы по полю проекта.
5. Для чего в электронные схемы устанавливается узел «земля»?
6. Поясните кратко принцип работы мультивибратора.
7. Поясните принцип переходного режима работы мультивибратора.
8. Поясните принцип автогенераторного режима работы мультивибратора.
9. Приведите схему симметричного мультивибратора.
10. Каким образом рассчитать частоту генерируемых мультивибратором импульсов?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ МАЛОМОЩНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1. Цель работы

Изучить способ импульсного регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока (ДПТ).

2.2. Теоретические сведения

В качестве исполнительных двигателей систем автоматического управления и робототехники используют в основном машины постоянного тока с независимым возбуждением (рис. 2.1).

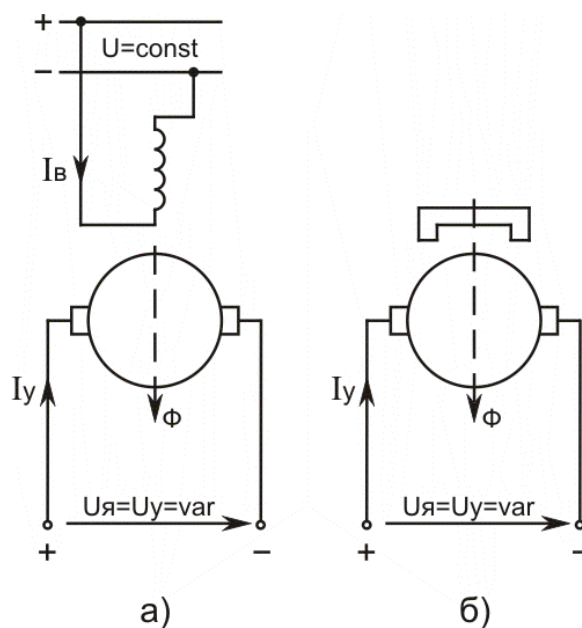


Рисунок 2.1 — Схемы независимого возбуждения ДПТ:
 а) с обмоткой возбуждения, б) с постоянными магнитами

Для регулирования угловой скорости ротора исполнительных двигателей постоянного тока используют два основных вида управления:
 1) *непрерывное* — изменением во времени амплитуды напряжения;
 2) *импульсное* — изменением времени, в течение которого к двигателю подводится номинальное напряжение.

Напряжением управления может быть напряжение на обмотке якоря (*якорное управление*) или на обмотке возбуждения главных полюсов (*полюсное управление*).

Наиболее широкое применение из всех видов импульсного регулирования ДПТ нашло *шиотно-импульсное регулирование* напряжения (ШИР) или ШИМ-регулирование. ШИМ или PWM (англ. Pulse-Width Modulation) — широтно-импульсная модуляция — это метод контроля величины напряжения и тока, заключающийся в изменении ширины (длительности) импульса постоянной амплитуды и частоты. Импульсное регулирование возможно как со стороны якоря, так и со стороны обмотки возбуждения главных полюсов, однако наиболее распространено импульсное якорное управление.

Сущность импульсного способа состоит в том, что регулирование угловой скорости ротора достигается не за счет изменения напряжения управления, непрерывно подводимого к якору двигателя, а путем

изменения времени, в течение которого подводится номинальное напряжение. Иначе говоря, при импульсном управлении к микродвигателю подводят импульсы неизменного по амплитуде напряжения управления $U_{у.ном}$, поэтому его работа состоит из чередующихся периодов разгона и торможения (рис. 2.2). Если эти периоды малы по сравнению с полным временем разгона и остановки ротора, то угловая скорость ротора ω не успевает к концу каждого периода достигать установившихся значений и установится некоторая средняя скорость $\omega_{ср}$.

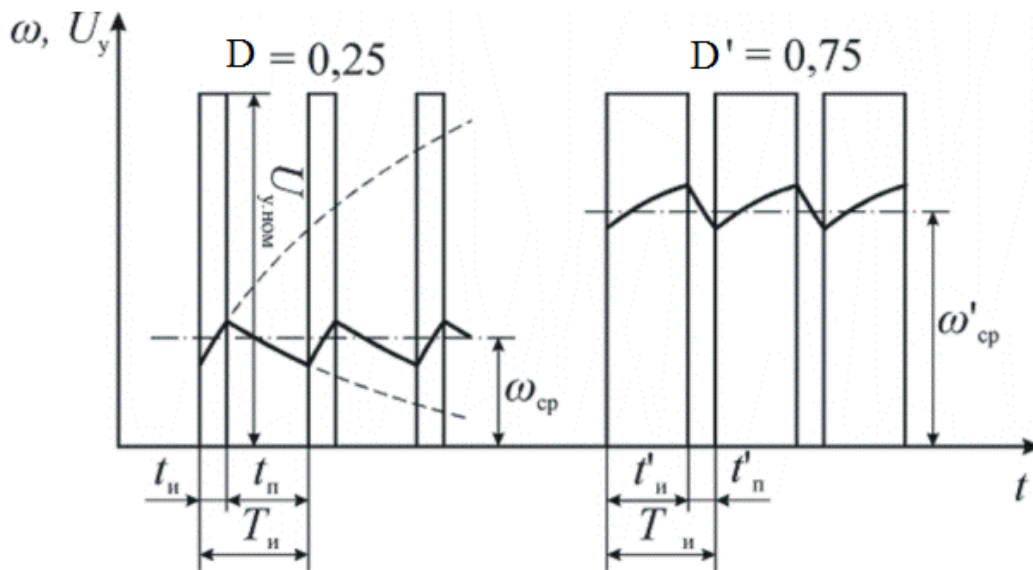


Рисунок 2.2 — Временные диаграммы сигнала ШИМ и средней угловой скорости при различных коэффициентах заполнения

Значение $\omega_{ср}$ (при неизменном моменте нагрузки и напряжении возбуждения) однозначно определяется коэффициентом заполнения

$$D = t_{и}/T, \quad (2.1)$$

где $t_{и}$ — длительность импульса или время высокого уровня сигнала; T — период импульса;

или скважностью

$$q = 1/D = T / t_{и}. \quad (2.2)$$

Обе эти величины безразмерны, но имеют разный физический смысл.

Различают также время паузы или время низкого уровня сигнала:

$$t_{п} = T - t_{и}. \quad (2.3)$$

В качестве примера рассмотрим прямоугольный импульс, изображенный на рис. 2.3. Его период $T = 800$ мс, время импульса $t_{и} = 300$ мс, время паузы $t_{п} = 500$ мс.

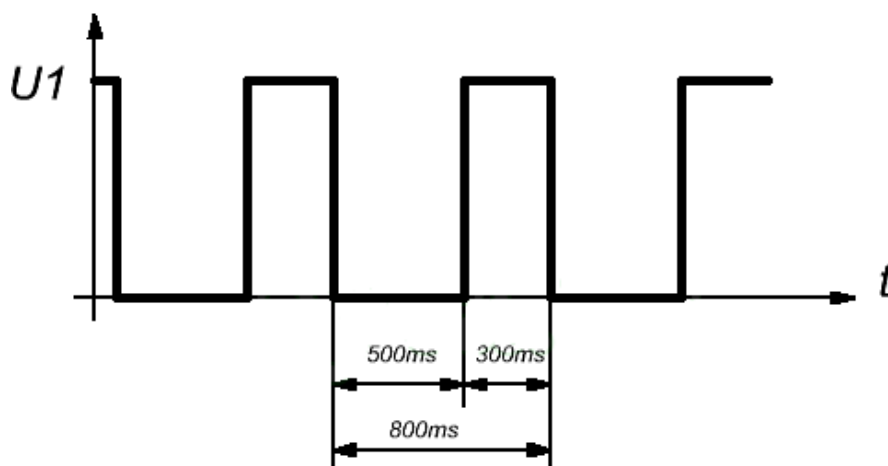


Рисунок 2.3 — Прямоугольный импульс

Коэффициент заполнения этого сигнала равен $D=300/800=0,357$. Его можно выразить в процентах, умножив полученное число на 100, $D=37,5\%$, т.е. весь период заполнен высоким уровнем на 37,5%. При этом скважность импульса равна $1/0,375=2,8$.

Прямоугольный сигнал с коэффициентом заполнения 50% называется *меандром*.

Если параметры схемы подобраны так, что колебания тока, момента и угловой скорости вращения небольшие, работа двигателя практически не отличается от работы при постоянном напряжении, за которое можно принять среднее напряжение за период управления T :

$$U_{CP}=U_{y.ном} \cdot D. \quad (2.4)$$

С увеличением коэффициента заполнения угловая скорость ротора растет $\omega'_{CP} > \omega_{CP}$ (рис. 2.1). Во время паузы $t_{п}$ ротор обязательно должен тормозиться. Если это условие не будет выполняться, то угловая скорость ротора при любом значении D будет непрерывно увеличиваться, пока не достигнет значения угловой скорости холостого хода, так как во время импульса угловая скорость будет возрастать, а во время паузы – оставаться практически неизменной.

Если частота ШИМ-сигнала будет низкой (единицы Гц), то двигатель будет поворачиваться рывками. Это будет особенно заметно при низком коэффициенте заполнения ШИМ-сигнала. При частоте в сотни Гц двигатель будет вращаться непрерывно, и его скорость вращения будет изменяться пропорционально коэффициенту заполнения. То есть двигатель будет "воспринимать" среднее значение подводимой к нему энергии. С ростом частоты управляющих импульсов амплитуда колебаний скорости уменьшается; среднее значение угловой скорости остается при этом неизменным.

2.3. Порядок выполнения работы

1. Составить схему в среде Proteus, изображенную на рис. 2.4.

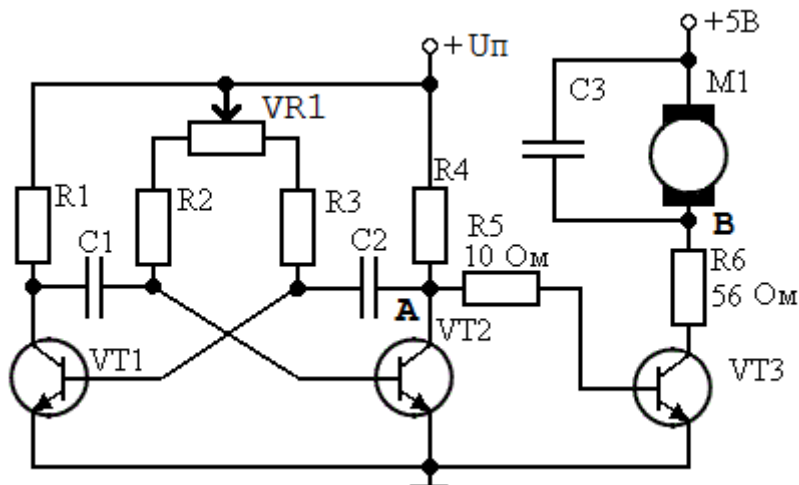


Рисунок 2.4 — Схема эксперимента

Мультивибратор собрать на транзисторах, использовавшихся в лабораторной работе №1. Напряжение питания $U_{\text{п}}$ схемы мультивибратора выбрать так, чтобы оно было не выше допустимого напряжения на коллекторе транзисторов. Коллекторные резисторы $R_1=R_4$ необходимо выбрать из соотношения

$$R_K \ll \frac{U_{\text{п}}}{I_{\text{КБ0}}}, \quad (2.5)$$

$$R_K > \frac{U_{\text{п}}}{I_{\text{Кmax}}}, \quad (2.6)$$

где $I_{\text{КБ0}}$, $I_{\text{Кmax}}$ — справочные параметры выбранного транзистора.

$$R_1 = R_2 = R_K. \quad (2.7)$$

Частоту мультивибратора выбрать порядка 100-150 Гц. Задавать частоту и скважность импульсов, генерируемых мультивибратором, можно, изменяя сопротивления подстроечных резисторов R_2 и R_3 , а также конденсаторов C_1 и C_2 . Для расчета длительности импульса и паузы возможно использовать ориентировочные соотношения:

$$t_{\text{п}} \approx 0,693 \cdot R_3 \cdot C_2, \quad (2.8)$$

$$t_{\text{и}} \approx 0,693 \cdot R_2 \cdot C_1, \quad (2.9)$$

$$T = t_{\text{и}} + t_{\text{п}}. \quad (2.10)$$

Частота импульсов будет определяться выражением

$$F = 1/T. \quad (2.11)$$

В качестве двигателя из библиотеки выбрать MOTOR-DC (Animated DC Motor model With Inertia And Loading) и установить его параметры, указанные на рис. 2.5.

LISA Model File:	DCMOTOR
Nominal Voltage:	5V
Coil Resistance:	20
Coil Inductance:	5mH
Zero Load RPM:	1000
Load/Max Torque %	50
Effective Mass:	0.01

Рисунок 2.5— Параметры двигателя постоянного тока

В качестве управляющего двигателем транзистора VT3 выбрать такой же, как и в схеме мультивибратора.

Установить в схему конденсатор C3 емкостью порядка 100мкФ. Он предназначен для ослабления бросков напряжения на электродвигателе и сглаживания импульсов напряжения ШИМ.

Для изменения коэффициента заполнения управляющих импульсов, генерируемых мультивибратором, выбрать из библиотеки потенциометр RV1 (POT-HG High Granularity Interactive Potentiometer). Установить его номинал 100кОм.

Для контроля среднего значения напряжения параллельно двигателю подключить вольтметр, предназначенный для измерения переменного тока (AC Voltmeter).

Подключить осциллограф на выход мультивибратора (точка А) и двигателя (точка В).

2. Убедиться в том, что мультивибратор генерирует импульсы, близкие к прямоугольным, пронаблюдав их осциллограмму в точке А.

3. Установить потенциометр в крайнее левое положение (100%), измерить с помощью осциллографа период и длительность управляющих прямоугольных импульсов, рассчитать коэффициент заполнения D , результат расчета записать в таблицу 2.1. Добиться устойчивой работы ДПТ и записать значение угловой скорости ω с датчика ДПТ в таблицу 2.1. Зафиксировать в протокол измерений осциллограмму, снятую в точке В. Переключить канал осциллографа, подключенный к точке В, в инверсное состояние и зафиксировать полученную осциллограмму, совместив каналы в точках А и В. Записать в таблицу 2.1 среднее значение напряжения на двигателе $U_{\text{дср}}$, измеряемое вольтметром.

4. Прodelать опыты, аналогичные п.3 при значении VR1 50% и 0%.

Таблица 2.1 – Результаты эксперимента

№ п/п	VR1, %	t _и , с	T, с	D, %	U _{дср} , В	ω, об/мин
1	100	7,1	7,75	0,91		
2	50					
3	0	1,25	5,75			

5. Уменьшить частоту управляющих импульсов, увеличив емкость конденсаторов C1, C2 в сто раз. Пронаблюдать изменение скорости вращения двигателя и сделать соответствующие выводы.

2.4. Содержание отчета

1. Схема эксперимента.
2. Расчет коэффициента заполнения для трех опытов.
3. Заполненная экспериментальными данными таблица 2.1.
4. Осциллограммы управляющего напряжения (точка А), напряжения двигателя, угловой скорости (точка В) для трех опытов.
5. Выводы о влиянии ширины импульсов и частоты управляющего напряжения на угловую скорость ДПТ.

2.5. Контрольные вопросы

1. Опишите основные конструктивные составляющие двигателей постоянного тока.
2. Поясните принцип действия двигателя постоянного тока.
3. Какие физические законы лежат в основе работы двигателей постоянного тока?
4. Приведите классификацию двигателей постоянного тока по типу возбуждения магнитного потока.
5. Какие вы знаете способы регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока?
6. Опишите принцип импульсного регулирования скорости двигателя постоянного тока.
7. Какими параметрами характеризуются периодические прямоугольные импульсы?
8. Что подразумевают под широтно-импульсной модуляцией?
9. Поясните принцип широтно-импульсного регулирования скорости двигателя постоянного тока.
10. Какое влияние оказывает частота ШИМ-импульсов на скорость вращения двигателя постоянного тока?
11. Что такое скважность и коэффициент заполнения импульсов, и как их величина влияет на скорость ДПТ?
12. Как изменяется ток и напряжение на якоре ДПТ при его пуске?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИПОЛЯРНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

3.1. Цель работы

Изучить способ управления биполярным шаговым двигателем.

3.2. Теоретические сведения

Шаговый двигатель (ШД) представляет собой бесколлекторный синхронный двигатель, который преобразует команду, заданную в виде импульсов, в фиксированный угол поворота вала или фиксированное перемещение без датчиков обратной связи [1]. Иными словами, ротор ШД совершает дискретные перемещения (шаги) определенной величины с фиксацией положения ротора в конце каждого шага.

Так как перемещение ротора происходит шагами известной величины, подсчитав шаги, можно определить, на сколько изменилось положение ротора, вычислить его абсолютную позицию.

ШД выпускаются мощностью от единиц микроватт до киловатта, т.е. в основном, это микродвигатели малой мощности.

Объединяя в себе двигатель и позиционирующее устройство без обратной связи, ШД является идеальным приводом в промышленном оборудовании, станках с ЧПУ, робототехнике.

Шаговые микродвигатели работают в комплекте с электронными коммутаторами (драйверами¹). Роль коммутатора состоит в переключении обмоток управления ШД с заданной последовательностью и частотой.

ШД совместно с коммутатором можно рассматривать как систему частотного регулирования угловой скорости синхронного двигателя, отличающегося импульсным питанием и возможностью фиксации углового положения ротора. При этом результирующий угол поворота ШД строго соответствует числу переключений обмоток управления, направление поворота – порядку переключений, а угловая скорость – частоте переключений.

Шаговые двигатели можно подразделить на три основные конструктивные группы: с постоянными магнитами (активного типа), реактивные и гибридные (индукторные). Они могут иметь различное число фаз, но наибольшее распространение получили двух-, трех- и четырехфазные ШД. Обмотка фазы статора либо целиком является обмоткой управления, либо ее расщепляют на две (выводом средней точки), магнитные оси которых сдвинуты в пространстве на 180° . Напряжение питания обмотки управления шагового двигателя представляет собой

¹ Под драйвером обычно понимается электронная схема управления двигателем (его угловой частотой, направлением, периодичностью вращения).

последовательность однополярных или разнополярных прямоугольных импульсов, поступающих от коммутатора.

Статор шаговых двигателей в отличие от синхронных микродвигателей непрерывного вращения имеет явно выраженные полюсы, на которых располагают обмотки управления. Число пар полюсов каждой из обмоток управления равно числу пар полюсов ротора.

Наибольшее распространение получили ШД активного типа с ротором из постоянного магнита, выполненного в виде «звездочки» литой или составной конструкции.

Обмотки статора могут иметь ответвление в центре для работы с однополярной схемой управления. Двухполярное управление требуется для питания обмоток без центрального ответвления. Таким образом, по виду обмоток выделяют два типа шаговых двигателей: униполярный (однополярный), и биполярный (двухполярный) (рис. 3.1).

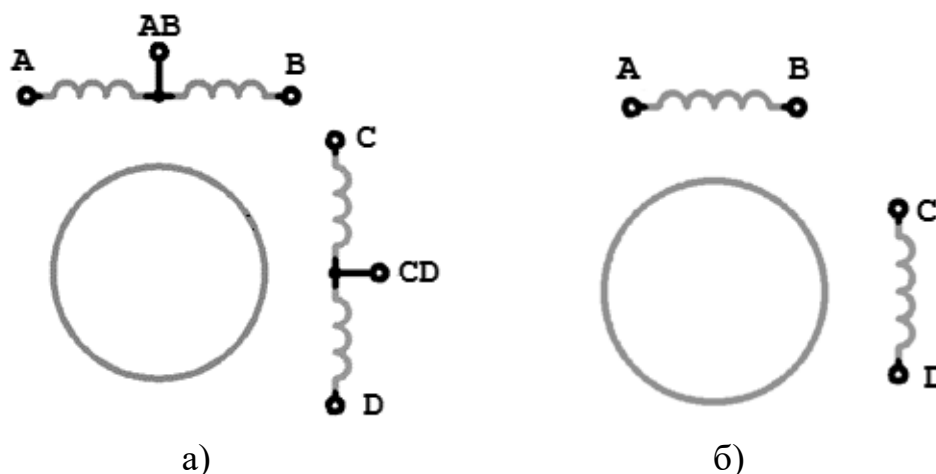


Рисунок 3.1 — Схема униполярного а) и биполярного б) двигателей

В лабораторной работе рассматривается биполярный ШД. Рассмотрим принцип действия такого двигателя на упрощенной модели, которая представляет собой постоянный магнит на валу двигателя — ротор, окруженный замкнутым магнитопроводом с четырьмя обмотками — статор. Половины каждой обмотки, обозначенные соответственно АВ и CD, расположены на противоположных полюсах статора (рис. 3.2).

Для управления ШД существует несколько способов: *полношаговый*, *полушаговый*, *микрошаговый* [2]. Полношаговый способ подразделяется также на два варианта:

- в один момент времени подключена только одна обмотка (волновой способ);
- в один момент времени подключены две обмотки.

Простейшим является волновой способ, заключающийся в том, что в один момент времени возбуждается только одна обмотка.

Алгоритм волнового способа заключается в следующем.

Шаг 1. К источнику напряжения подключается обмотка АВ, как показано на рис. 3.2, а). Ток в этой обмотке вызовет появление магнитного поля статора с северным полюсом N сверху, южным S — снизу. В результате ротор (постоянный магнит) повернется по часовой стрелке и займет положение, в котором оси магнитных полей ротора и работающих полюсов статора совпадают. Механическое положение будет устойчивым. При попытке сдвинуть ротор, возникнет сила, возвращающая его назад.

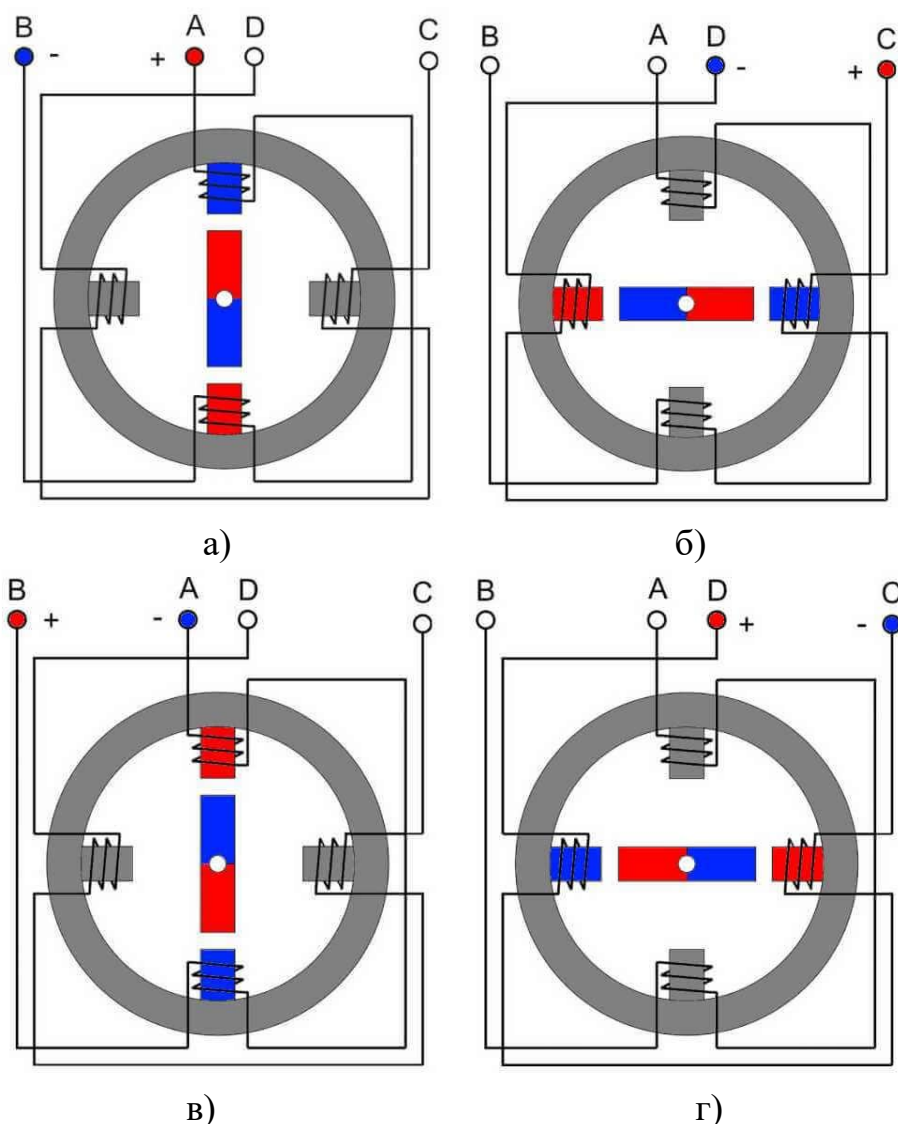


Рисунок 3.2 — Волновой способ управления биполярным ШД

Затем напряжение с обмотки АВ снимается и подается на обмотку CD (рис. 3.2, б). Ток в обмотке CD вызовет магнитное поле с горизонтальными полюсами, слева — южный S, справа — северный N.

Ротор повернется в горизонтальное положение. Механическое положение ротора снова будет устойчивым. Первый шаг двигателя равен одной четвертой оборота.

Шаг 2. Обмотка CD отключается, а напряжение подается вновь на обмотку АВ, но уже другой полярности (- +). Магнитное поле статора повернется по часовой стрелке на угол 90° , а за ним — и ротор.

Далее обмотка АВ отключается, обмотка CD — подключается в противоположной полярности (- +), и ротор совершает еще один шаг на одну четвертую окружности.

Следующая коммутация (повторение начальной) вернет ротор в исходное положение. Таким образом, ротор сделает полный поворот за 4 шага.

Этот алгоритм часто представляют в виде таблицы, приведенной на рис. 3.3.

Фаза № коммутации	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	0	0	1

Рисунок 3.3 — Алгоритм волнового управления

Если продолжить переключение фаз, ротор будет вращаться с частотой, пропорциональной частоте переключения фазных обмоток.

Чтобы ШД вращался в обратном направлении, фазы необходимо коммутировать в противоположной последовательности.

Однако, волновой метод позволяет получить менее половины вращающего момента двигателя, следовательно, нагрузка не может быть значительной.

Драйвер биполярного двигателя, рассчитанный на токи до 2 А, обычно строится с применением микросхем.

Для этой цели можно использовать, например, таймер и счетчик импульсов.

Таймер представляет собой времязадающую схему. Она предназначена для формирования импульсов напряжения длительностью от нескольких микросекунд до десятков минут, обнаружения сбоя в импульсной последовательности, обеспечения прецизионной (точной) временной выдержки и для применения в стабильных датчиках времени, генераторах импульсов, широтно-импульсных, частотных и фазовых модуляторах,

преобразователях напряжения и сигналов, ключевых схемах, исполнительных устройствах в системах управления, контроля и автоматики.

Счётчик числа импульсов – устройство, на выходах которого получается двоичный (двоично-десятичный) код, определяемый числом поступивших импульсов. Как следует из самого названия, счетчики предназначены для счета входных импульсов. То есть с приходом каждого нового входного импульса двоичный код на выходе счетчика увеличивается (или уменьшается) на единицу.

Описание работы микросхем таймера NE555 и счетчика CD4022 приведено в приложении Б.

Таким образом, таймер будет вырабатывать тактовые импульсы и подавать их на счетчик, а счетчик будет поочередно выдавать сигналы высокого уровня, которые можно направить на соответствующие обмотки биполярного ШД. Схема такого управления приведена на рис. 3.4. Выводы А, В, С, D подключаются к обмоткам ШД. Светодиоды включены в схему для наглядности коммутации обмоток. Сопротивления, ограничивающего ток через них, достаточно одного (это R1), так как в один момент времени будет работать только один диод.

Нижняя часть схемы, реализованная на таймере NE555, представляет собой мультивибратор, который генерирует прямоугольные импульсы с заданной амплитудой, длительностью или частотой, в зависимости от поставленной задачи. В формировании повторяющихся импульсов участвуют резисторы R2, R3 и конденсатор C1. Причем, переменный резистор R2 позволяет регулировать длительность выходных импульсов.

В момент подачи питания конденсатор C1 разряжен, что переводит выход таймера в состояние высокого уровня. Затем C1 начинает заряжаться, набирая ёмкость до верхнего порогового значения $2/3U_{пит}$. Достигнув порога, микросхема переключается, и на выходе появляется низкий уровень сигнала. Начинается процесс разряда конденсатора, который продолжается до нижнего порогового значения $1/3U_{пит}$. По его достижении происходит обратное переключение, и на выходе таймера устанавливается высокий уровень сигнала. В результате схема переходит в автоколебательный режим.

Сигнал с вывод 3 мультивибратора подается на вход счетчика CLOCK, и счетчик выдает поочередно сигналы высокого уровня на своих выходах, начиная с вывода 2 (out0) (см. принцип работы в приложении А). Но так как счет производится до восьми, а для коммутации ШД достаточно четырех управляющих сигналов, то пятый по счету вывод 11 (out4) соединён с выводом 15 (RESET), чтобы ограничить счёт данного счётчика. Таким образом, когда на тактовый вход CLOCK приходит четвёртый импульс, на выводе 11 (out4) появляется напряжение высокого уровня, которое подаётся

на вывод 15 (RESET), происходит сброс счётчика в исходное состояние, и на выводе 2 снова будет напряжение уровня логической единицы.

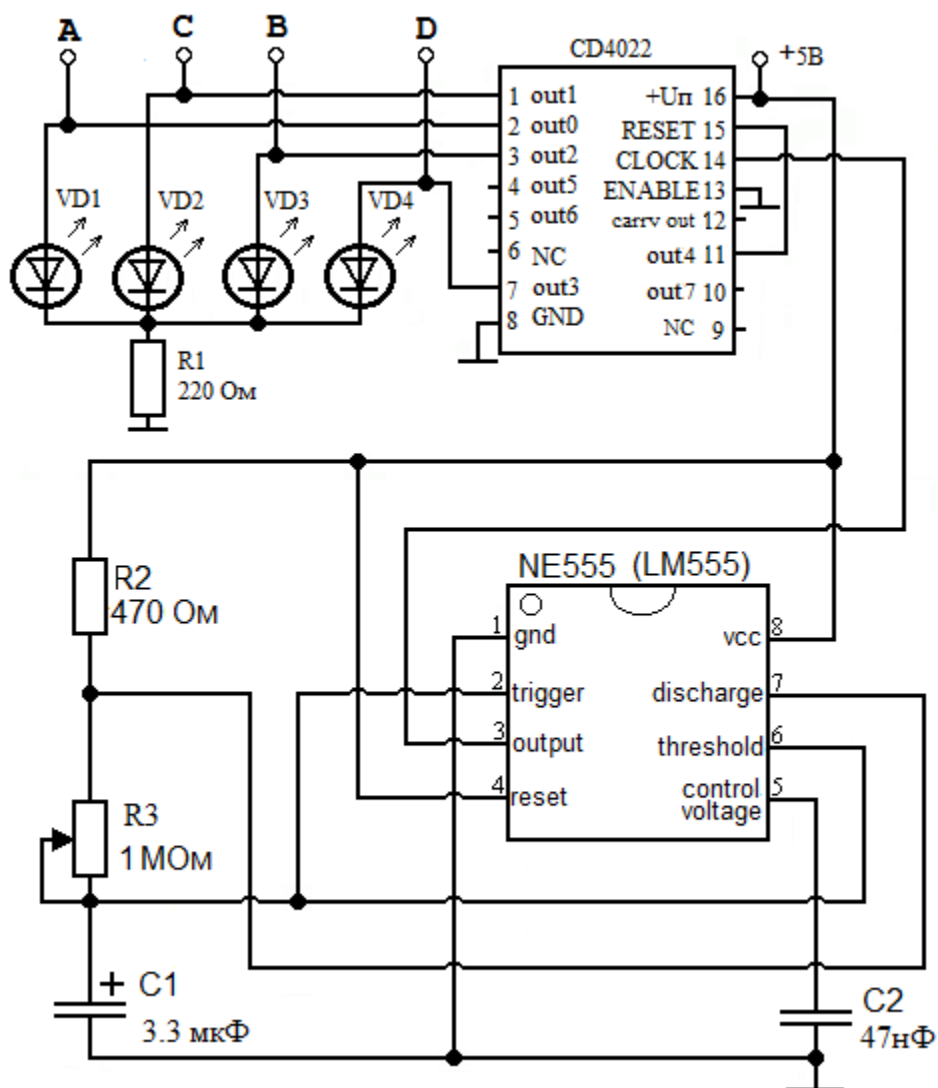


Рисунок 3.4 — Драйвер биполярного шагового двигателя

3.3. Порядок выполнения работы

1. Составить схему в среде Proteus, изображенную на рис. 3.4. Для этого из библиотеки Analog ICs выбрать модель микросхемы таймера NE555 (Single Precision Timer), из библиотеки CMOS 4000 series — счетчика 4022 (4-Stage Divide-By-8 Johnson Counter). В модели счетчика отсутствует вывод питания 16. Оно устанавливается в настройках модели. Установить $U_{пит}=+5В$ для таймера и счетчика.

К выводам А, В, С, D из библиотеки Electromechanical подключить модель биполярного ШД MOTOR-BISTEPER (Animated Bipolar Stepper

Motor model) (рис. 3.5, а), установить его параметры, указанные на рис. 3.5, б.

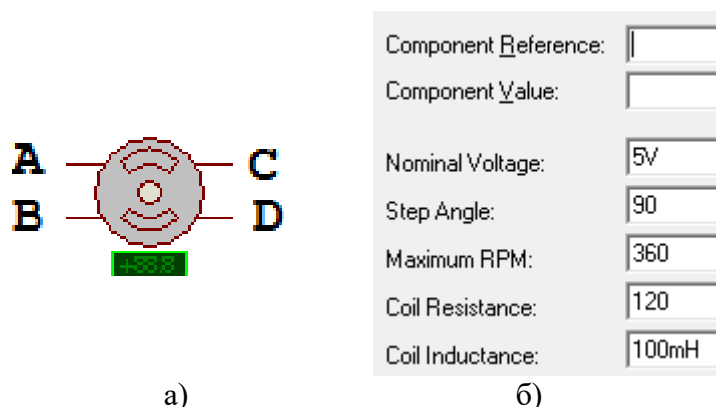


Рисунок 3.5 — Модель биполярного ШД из библиотеки Proteus а) и ее параметры б)

Для изменения частоты тактовых импульсов, генерируемых мультивибратором, выбрать из библиотеки Resistors потенциометр RV1 (POT-HG High Granularity Interactive Potentiometer). Установить его номинал 1МОм.

Остальные параметры элементов установить такими, которые указаны на рис. 3.4. Для более яркого свечения светодиодов можно уменьшить ток в их настройках.

2. Убедиться, что ШД начал вращение по часовой стрелке.

3. Установить потенциометр RV1 в крайнее левое положение (100%). Подключить осциллограф на выход таймера (вывод 3). Снять и зафиксировать в протокол измерений осциллограмму тактового сигнала. Измерить с помощью осциллографа период и амплитуду, рассчитать частоту. Рассчитать угловую частоту ШД в оборотах в минуту. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты эксперимента

№ п/п	VR1, %	Период тактовых импульсов T, с	Частота тактовых импульсов, f, Гц	ω , об/мин
1	100			
2	50			
3	0			

Подключить осциллограф к выводам обмоток ШД А, В, С, D, снять и зафиксировать в протокол измерений осциллограммы напряжений на них.

Для удобства наблюдения осциллограмм можно принудительно увеличить время развертки, указав в момент симуляции необходимую цену деления в окне установки времени (рис. 3.6). Для этого подвести курсор к окну и набрать с клавиатуры необходимое число (на рисунке это 0.5). Если в этом окне не указана буква, то время измеряется в секундах.

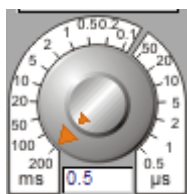


Рисунок 3.6 — Установка времени развертки осциллографа

4. Прodelать опыты, аналогичные п.3 при значении VR1 50% и 0%. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 3.1.

5. Осуществить реверс ШД, поменяв местами выводы А и D, а также выводы В и С. Для этой цели можно использовать переключатели SW-DPDT (Interactive DPDT Switch (Latched Action)) или SW-DPDT-MOM (Interactive DPDT Switch (Momentary Action)) из библиотеки Switches&Relays. Убедиться, что ШД начал вращение против часовой стрелки.

3.4. Содержание отчета

1. Схема эксперимента.
2. Совмещенные осциллограммы тактового сигнала с выхода таймера и напряжений обмоток А, В, С, В ШД для трех позиций потенциометра VR1.
3. Заполненная экспериментальными и расчетными данными таблица 3.1.
4. Выводы об алгоритме управления ШД, о влиянии частоты управляющего сигнала на скорость вращения ШД, об алгоритме реверса ШД.

3.5. Контрольные вопросы

1. Опишите основные конструктивные составляющие шаговых двигателей.
2. К какому классу электрических машин относится шаговый двигатель.
3. Какие физические законы лежат в основе работы шагового двигателя?
4. Приведите классификацию шаговых двигателей по конструкции ротора.
5. Приведите классификацию шаговых двигателей по типу обмоток статора.
6. Какие вы знаете способы регулирования частоты вращения ШД?

7. Опишите волновой принцип регулирования скорости ШД. В чем его преимущества и недостатки?
8. Что представляют собой драйверы шаговых двигателей?
9. Чем определяется скорость вращения ШД?
10. Поясните принцип работы микросхемы таймера NE555.
11. Поясните принцип работы счетчика импульсов.
12. Каким образом микросхема счетчика может применяться для управления ШД?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фединцев, В.Е. Электрические машины. Синхронные машины и микромашины [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Е. Фединцев. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2017. — 33 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/108075>. — Загл. с экрана.
2. Игнатович, В. М. Электрические машины и трансформаторы : учеб. пособие для академического бакалавриата / В. М. Игнатович, Ш. С. Ройз. — 6-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2019. — 181 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-00881-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/433833>
3. ELEKT.TECH: Java, Arduino, Python, схемы, электроника и новости из мира новых технологий [Электронный ресурс]: URL: <https://elekt.tech/elektronika/shagovye-dvigateli-printsip-dejstviya-raznovidnosti-harakteristiki.html#i-5>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Мультивибратор — это генератор прямоугольных импульсов, который работает в режиме автогенератора. Для его работы необходимо лишь питание от батареи, или другого источника питания. Рассмотрим самый простой симметричный мультивибратор на транзисторах. Схема его представлена на рисунке А.1. Мультивибратор может быть усложнён в зависимости от необходимых выполняемых функций, но все элементы, представленные на рисунке, являются обязательными, без них мультивибратор работать не будет.

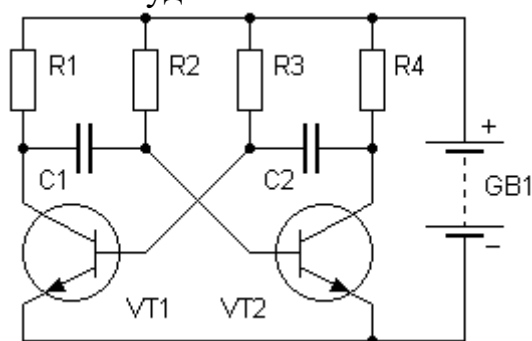


Рисунок А.1 — Схема симметричного мультивибратора

Работа симметричного мультивибратора основана на зарядно-разрядных процессах конденсаторов, образующих совместно с резисторами RC-цепочки.

В начальный момент подачи питания конденсаторы C1 и C2 разряжены, поэтому их сопротивление току мало. Малое сопротивление конденсаторов приводит к тому, что происходит «быстрое» открывание транзисторов, вызванное протеканием тока:

— VT2 по пути (показано красным цветом на рис. А.2, а): «+» источника питания → резистор R1 → малое сопротивление разряженного C1 → базово-эмиттерный переход VT2 → «-» источника питания;

— VT1 по пути (показано синим цветом на рис. А.2, б): «+» источника питания → резистор R4 → малое сопротивление разряженного C2 → базово-эмиттерный переход VT1 → «-» источника питания.

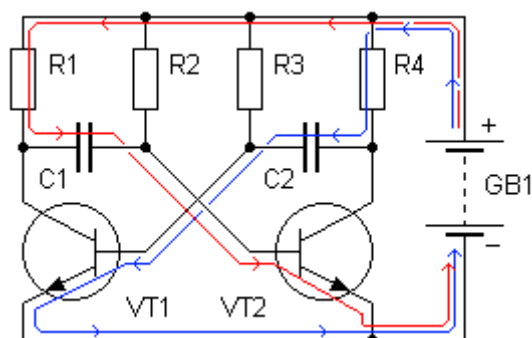


Рисунок А.2. — Переходный режим работы мультивибратора

Это является переходным режимом работы мультивибратора. Длится он в течение очень малого времени, определяемого лишь быстродействием транзисторов. А двух абсолютно одинаковых по параметрам транзисторов, не существует. Какой транзистор откроется быстрее, тот и останется открытым. Предположим, что на нашей схеме это оказался VT2. Тогда, через малое сопротивление разряженного конденсатора C2 и малое сопротивление коллекторно-эмиттерного перехода VT2, база транзистора VT1 окажется замкнута на эмиттер VT1. В результате транзистор VT1 будет вынужден закрыться.

Поскольку транзистор VT1 закрыт, происходит «быстрый» заряд конденсатора C1 по пути: «+» источника питания → резистор R1 → малое сопротивление разряженного C1 → базово-эмиттерный переход VT2 → «-» источника питания (рис. А.3, а). Этот заряд происходит почти до напряжения источника питания.

Одновременно происходит «медленный» заряд конденсатора C2 током обратной полярности по пути: «+» источника питания → резистор R3 → малое сопротивление разряженного C2 → коллекторно-эмиттерный переход VT2 → «-» источника питания. Длительность заряда определяется номиналами R3 и C2 (рис. А.3, а). Они и определяют время, при котором VT1 находится в закрытом состоянии.

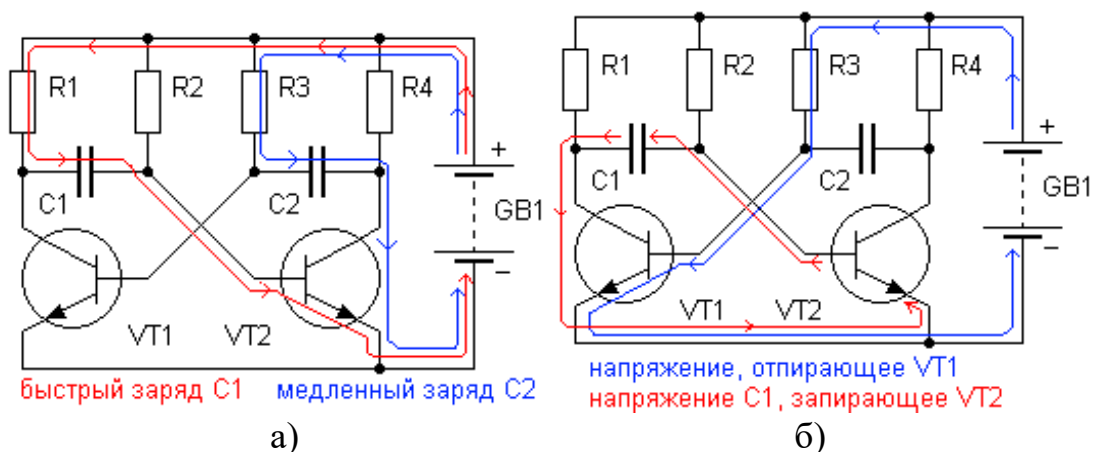


Рисунок А.3. — Режимы работы мультивибратора

Когда конденсатор C2 зарядится до напряжения приблизительно равным напряжению 0,7-1,0 вольт, его сопротивление увеличится и транзистор VT1 откроется напряжением приложенным по пути: «+» источника питания > резистор R3 > базово-эмиттерный переход VT1 > «-» источника питания». При этом, напряжение заряженного конденсатора C1, через открытый коллекторно-эмиттерный переход VT1 окажется приложенным к эмиттерно-базовому переходу транзистора VT2 обратной полярностью. В результате VT2 закроется, а ток, который ранее проходил через открытый коллекторно-эмиттерный переход VT2 пойдет по цепи: «+» источника питания > резистор R4 > малое сопротивление C2 > базово-эмиттерный переход VT1 > «-» источника питания» (рис. А3, б). По этой цепи произойдёт быстрый перезаряд конденсатора C2. С этого момента начинается «установившийся» режим автогенерации.

Первый полупериод работы (колебания) мультивибратора. При открытом транзисторе VT1 и закрытом VT2, как я только что написал, происходит быстрый перезаряд конденсатора C2 (от напряжения 0,7...1,0 вольта одной полярности, до напряжения источника питания противоположной полярности) по цепи: «+» источника питания > резистор R4 > малое сопротивление C2 > базово-эмиттерный переход VT1 > «-» источника питания». Кроме того, происходит медленный перезаряд конденсатора C1 (от напряжения источника питания одной полярности, до напряжения 0,7...1,0 вольта противоположной полярности) по цепи: «+» источника питания > резистор R2 > правая обкладка C1 > левая обкладка C1 > коллекторно-эмиттерный переход транзистора VT1 > «-» источника питания» (рис. А.4).

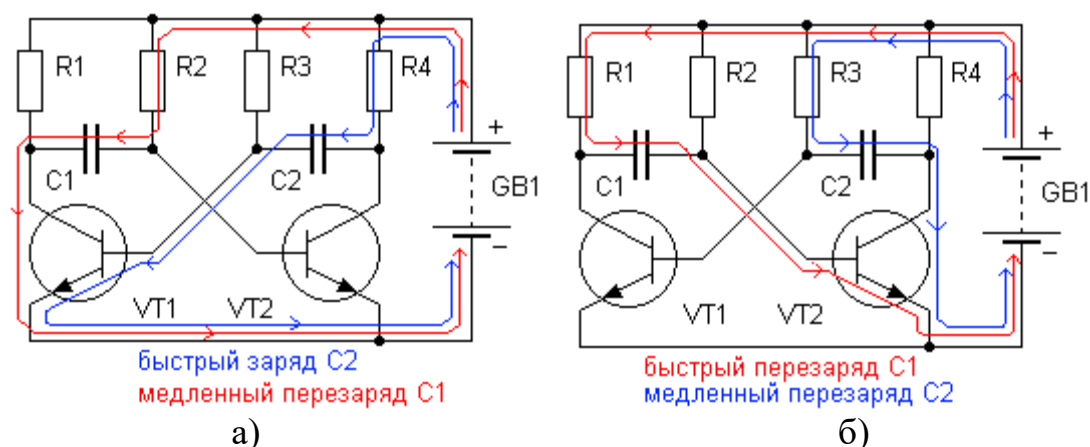


Рисунок А.4 — Автогенераторный режим работы мультивибратора:
а) первый полупериод работы; б) второй полупериод работы

Когда, в результате перезаряда C1, напряжение на базе VT2 достигнет значения +0,6 вольта относительно эмиттера VT2, транзистор откроется.

Поэтому, напряжение заряженного конденсатора $C2$, через открытый коллекторно-эмиттерный переход $VT2$ окажется приложенным к эмиттерно-базовому переходу транзистора $VT1$ обратной полярностью. $VT1$ закроется.

Второй полупериод работы (колебания) мультивибратора. При открытом транзисторе $VT2$ и закрытом $VT1$ происходит быстрый перезаряд конденсатора $C1$ (от напряжения $0,7...1,0$ вольт одной полярности, до напряжения источника питания противоположной полярности) по цепи: «+» источника питания > резистор $R1$ > малое сопротивление $C1$ > базо-эмиттерный переход $VT2$ > «-» источника питания». Кроме того, происходит медленный перезаряд конденсатора $C2$ (от напряжения источника питания одной полярности, до напряжения $0,7...1,0$ вольт противоположной полярности) по цепи: «правая обкладка $C2$ > коллекторно-эмиттерный переход транзистора $VT2$ > «-» источника питания > «+» источника питания > резистор $R3$ > левая обкладка $C2$ ». Когда напряжение на базе $VT1$ достигнет значения $+0,6$ вольт относительно эмиттера $VT1$, транзистор откроется. Поэтому, напряжение заряженного конденсатора $C1$, через открытый коллекторно-эмиттерный переход $VT1$ окажется приложенным к эмиттерно-базовому переходу транзистора $VT2$ обратной полярностью. $VT2$ закроется. На этом, второй полупериод колебания мультивибратора заканчивается, и снова начинается первый полупериод.

Процесс повторяется до момента отключения мультивибратора от источника питания.

Способы подключения нагрузки к симметричному мультивибратору. Прямоугольные импульсы снимаются с двух точек симметричного мультивибратора – коллекторов транзисторов (рис. А.5). Когда на одном коллекторе присутствует «высокий» потенциал, то на другом коллекторе – «низкий» потенциал (он отсутствует), и наоборот – когда на одном выходе «низкий» потенциал, то на другом — «высокий». Это наглядно показано на временном графике, изображённом на рис. А.6.

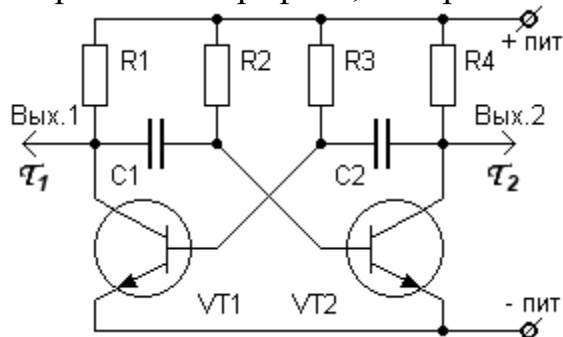


Рисунок А.5 — Точки подключения нагрузки

Нагрузка мультивибратора должна подключаться параллельно одному из коллекторных резисторов, но ни в коем случае не параллельно

транзисторному переходу коллектор-эмиттер. Нельзя шунтировать транзистор нагрузкой. Если это условие не выполнять, то как минимум — изменится длительность импульсов, а как максимум — мультивибратор не будет работать. На рисунке ниже показано, как подключить нагрузку правильно, а как не надо это делать. Для того, чтобы нагрузка не влияла на сам мультивибратор, она должна иметь достаточное входное сопротивление. Для этого обычно применяют буферные транзисторные каскады.

Длительность между переключениями (частота мультивибратора) определяется «медленным» перезарядом конденсаторов. Время перезаряда определяется номиналами RC-цепей – базовых резисторов и конденсаторов (R_2C_1 и R_3C_2).

Мультивибратор, хоть и называется симметричным, это относится только к схемотехнике его построения, а вырабатывать он может как симметричные, так и несимметричные по длительности выходные импульсы. Длительность импульса (высокого уровня) на коллекторе VT1 определяется номиналами R_3 и C_2 , а длительность импульса (высокого уровня) на коллекторе VT2 определяется номиналами R_2 и C_1 .

Длительность перезаряда конденсаторов определяется простой формулой,

$$t_{\text{и}} = R \cdot C$$

где $t_{\text{и}}$ – длительность импульса в секундах, R – сопротивление резистора в Омах, C – ёмкость конденсатора в Фарадах. Таким образом, для рассматриваемой схемы

$$t_{\text{и}} = R_3 \cdot C_2; \quad t_{\text{п}} = R_2 \cdot C_1,$$

где $t_{\text{п}}$ – время паузы.

При равенстве $R_2 = R_3$ и $C_1 = C_2$, на выходах мультивибратора будет «меандр» — прямоугольные импульсы с длительностью равной паузам между импульсами, который изображен на рисунке А.6.

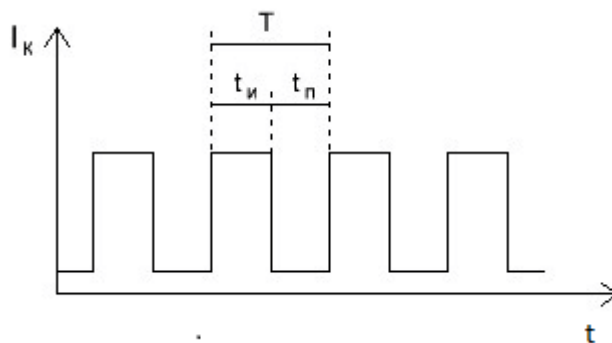


Рисунок А.6 — Импульсы, генерируемые мультивибратором

Полный период колебания мультивибратора T равен сумме длительностей импульса и паузы: $T = t_{\text{и}} + t_{\text{п}}$. Частота колебаний F (Гц) связана с периодом T (сек) известным соотношением: $F = 1/T$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Микросхема NE555 (рис. Б.1) представляет собой времязадающую схему (таймер). Она предназначена для формирования импульсов напряжения длительностью от нескольких микросекунд до десятков минут, обнаружения сбоя в импульсной последовательности, обеспечения прецизионной (точной) временной выдержки и для применения в стабильных датчиках времени, генераторах импульсов, широтноимпульсных, частотных и фазовых модуляторах, преобразователях напряжения и сигналов, ключевых схемах, исполнительных устройствах в системах управления, контроля и автоматики.

Более подробную информацию можно получить из даташит (DataSheet — техническая документация к электронным компонентам), например, по ссылке <https://rudatasheet.ru/datasheets/ne555-прецизионный-таймер/>.

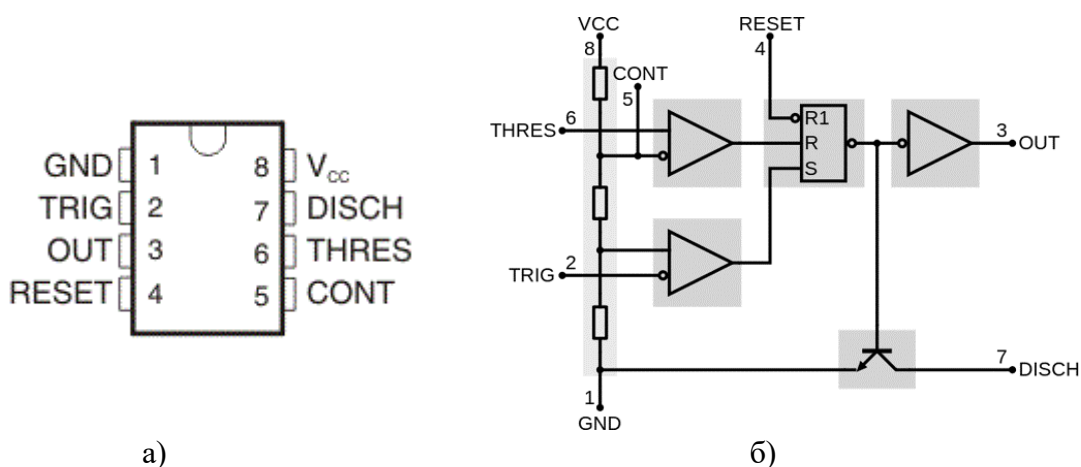


Рисунок Б.1 — Общий вид а) и функциональная схема б) микросхемы NE555

Назначение выводов и принцип работы.

1. Общий (GND). Первый вывод относительно ключа. Подключается к минусу питания устройства.

2. Запуск (TRIG). Подача импульса низкого уровня на вход второго компаратора приводит к запуску и появлению на выходе сигнала высокого уровня, длительность которого зависит от номинала внешних элементов R и C.

3. Выход (OUT). Высокий уровень выходного сигнала равен ($U_{пит} - 1,5В$), а низкий — около 0,25В. Переключение занимает около 0,1 мкс.

4. Сброс (RESET). Данный вход имеет наивысший приоритет и способен управлять работой таймера независимо от напряжения на остальных выводах. Для разрешения запуска необходимо, чтобы на нём присутствовал

потенциал более 0,7 вольт. По этой причине его через резистор соединяют с питанием схемы. Появление импульса менее 0,7 вольт запрещает работу NE555.

5. Контроль (CONT). Как видно из внутреннего устройства (рис. Б.1, б), он напрямую соединен с делителем напряжения и, в отсутствие внешнего воздействия, выдаёт $2/3U_{пит}$. Подавая на CONT управляющий сигнал, можно получить на выходе модулированный сигнал. В простых схемах он подключается к внешнему конденсатору.

6. Останов (THRES). Является входом первого компаратора, появление на котором напряжения более $2/3U_{пит}$ останавливает работу триггера и переводит выход таймера в низкий уровень. При этом на выводе 2 должен отсутствовать запускающий сигнал, так как TRIG имеет приоритет перед THRES.

7. Разряд (DISCH). Соединен напрямую с внутренним транзистором, который включен по схеме с общим коллектором. Обычно к переходу коллектор-эмиттер подключают времязадающий конденсатор, который разряжается, пока транзистор находится в открытом состоянии. Реже используется для наращивания нагрузочной способности таймера.

8. Питание (VCC). Подключается к плюсу источника питания 4,5–16В.

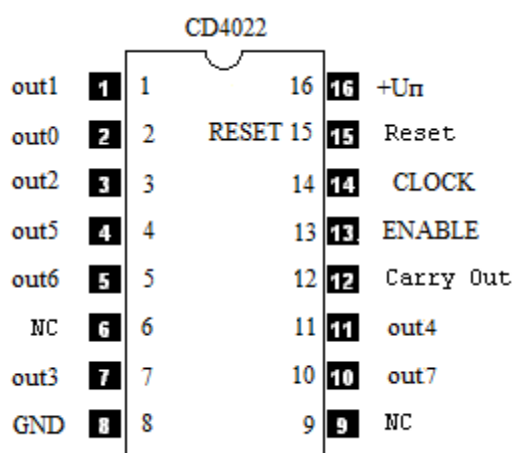
Счётчик числа импульсов – устройство, на выходах которого получается двоичный (двоично-десятичный) код, определяемый числом поступивших импульсов. Как следует из самого названия, счетчики предназначены для счета входных импульсов. То есть с приходом каждого нового входного импульса двоичный код на выходе счетчика увеличивается (или уменьшается) на единицу.

Микросхема CD4022 (рис. Б.2) представляет собой счетчик-делитель на восемь. В нем используется восьмеричный код Джонсона (когда счетчик переходит к следующему логическому состоянию, меняется только одна логическая переменная).

Тактовые импульсы подаются на вход счетчика CLOCK. Микросхема имеет восемь выходов Q0...Q7. Дешифратор преобразует двоичный код в сигнал, который появляется последовательно на каждом выходе. Управляющими являются два вывода: 13 (ENABLE) и 15 (Reset). ENABLE является разрешающим входом. Если на нём присутствует 0 (низкий уровень), а на выводе 14 (CLOCK) — 1 (высокий уровень), то счётчик выдаёт 1 (высокий уровень) последовательно на каждом выходе Q0...Q7. Если на ENABLE установлена 1 (высокий уровень), то счёт останавливается, вход CLOCK не принимает входящие импульсы. Вывод Reset является сбросом. Если на него подать 1, то счётчик микросхемы сбрасывается и начинает счёт с нулевого выхода. На восьмом тактовом импульсе появляется сигнал переноса Carry Out, который используется для генерации синхроимпульсов

последующей микросхемы в счетной цепочке нескольких схем (для увеличения разрядности).

Более подробную информацию можно получить из DataSheet, например, по ссылке <https://www.futurlec.com/4000Series/CD4022.shtml>.



а)

Вывод	Назначение	Вывод	Назначение
1	выход 1 (Q1);	9	свободный (NC);
2	выход 0 (Q0);	10	выход 7 (Q7);
3	выход 2 (Q2);	11	выход 4 (Q4);
4	выход 5 (Q5);	12	выход переноса (Carry Out);
5	выход 6 (Q6);	13	разрешение синхронизации (ENABLE);
6	свободный (NC);	14	вход синхронизации (CLOCK);
7	выход 3; (Q3)	15	сброс (Reset);
8	общий (GND);	16	напряжение питания.

б)

Рисунок Б.2 — Общий вид а) и назначение выводов б) микросхемы CD4022

На рис. Б.3 приведена диаграмма, поясняющая работу счетчика.

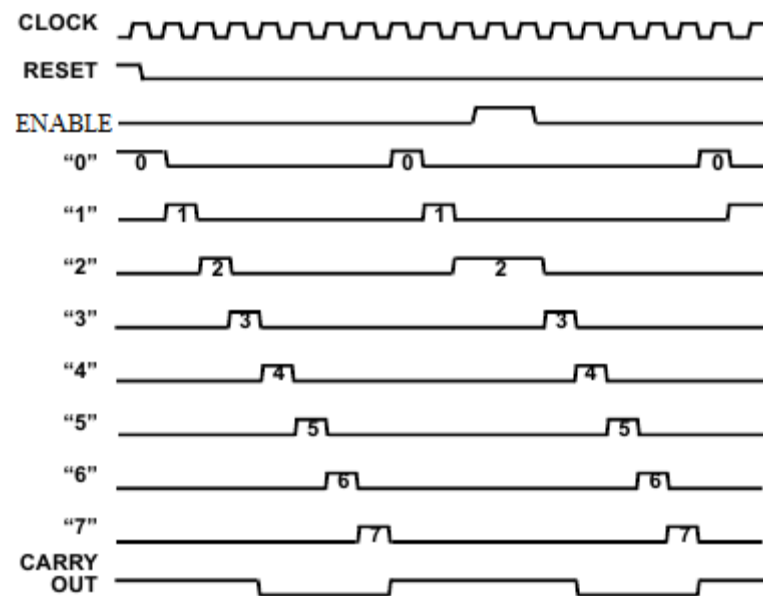


Рисунок Б.3 — Временная диаграмма работы счетчика CD4022

Мирянова Вера Николаевна

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
(ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ПРИВОДЫ)»**

Часть 1

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

В авторской редакции

Изд. № 206/19. Объем 2,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»