

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра _____ «Промышленная электроника» _____

(наименование)

11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

(код и наименование направления подготовки)

Электронные приборы и устройства

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Исследование электропневмоклапана»

Студент

М.В. Гоман

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Д.т.н., доцент, В.П. Певчев

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Содержание

| | |
|--|----|
| Содержание | 2 |
| Введение | 3 |
| 1 Состояние вопроса | 5 |
| 1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта | 5 |
| 1.2 Анализ исходных данных и известных решений | 6 |
| 1.2.1 Гравитационные процессы обогащения | 6 |
| 1.2.2 Флотационный метод обогащения | 9 |
| 1.2.3 Магнитный метод обогащения | 9 |
| 1.2.4 Электрический метод обогащения | 11 |
| 1.2.5 Специальный метод обогащения | 12 |
| 2 Аппаратная часть | 18 |
| 2.1 Обзор устройства пневмоклапана | 18 |
| 2.2 Разработка структурной схемы | 19 |
| 2.3 Выбор схемы системы электропитания пневмоклапана | 20 |
| 2.4 Выбор схемы системы управления электропневмоклапана | 23 |
| 2.5 Выбор схемы заряда конденсаторного накопителя энергии | 28 |
| 3 Расчет и моделирование схем в программе Micro-Cap | 30 |
| 3.1 Расчет и моделирование механической подсистемы | 30 |
| 3.2 Расчет и настройка схемы формирователя тока возбуждения | 43 |
| 3.3 Расчет и настройка схемы управления формирователем тока возбуждения | 52 |
| 3.4 Выбор тиристоров для моста Ларионова | 59 |
| 4 Разработка печатной платы | 63 |
| Заключение | 71 |
| Список используемой литературы | 73 |
| Приложение А Перечень элементов | 76 |

Введение

Горные породы являются главным источником полезных металлов. Содержание полезных металлов в земной коре в среднем составляет доли процента от их массы. В том случае если все металлы распределялись в земной коре равномерно, их добыча была бы невозможной или сильно затруднена. Но в земной коре образуются природные химические соединения в виде минералов. Они появляются из-за различных процессов, протекающих в этой земной коре. Данные минералы представлены в виде горной породы. Они имеют между собой отличия как в минеральном, так и в химическом составе.

Руды — это природные минералы, которые мы можем использовать в их природной форме или после некоторой предварительной обработки для извлечения металлов. Содержание металлов в таких рудах значительно выше, чем в земной коре, но прямое использование руд в большинстве случаев невозможно, так как они имеют очень низкое содержание полезных ископаемых.

В производстве важно быстро и дешево переработать полезные элементы в конечный продукт, состоящий из чистых металлов. Для снижения затрат на переработку руды предприятиям необходимо относительно дешевыми способами, не требующими изменения химического состава или агрегатного состояния руды, выбрасывать всю пустую породу и чем больше пустой породы будет выброшено, тем лучше. Такая подготовка сырья, в основе которой лежит различие физических свойств минералов: цвета, и блеска, размера, магнитной восприимчивости или электропроводности, называется обогащением. Полезность обогащения зависит от бедности руды, которую горнодобывающие предприятия отправляют на переработку. Если обогащение осуществляется куда более дешевыми способами, чем металлургическая переработка, то это позволяет:

1) выделяя многие ценные вещи в отдельные продукты, которые пригодны для последующей переработки, увеличить комплексность использования сырья;

2) снизив объемы переработки пустой породы, уменьшить стоимость последующих металлургических операций. Это способствует снижению себестоимости получаемых металлов за счет повышения содержания металла в сырье;

3) применять слишком бедные руды, которые без подготовки нельзя использовать для металлургической переработки.

Существует метод обогащения основанный на разнице в цвете и блеске, твердости или других свойствах пород. К этому методу относится такое устройство как люминисцентный сепаратор.

Фотосепаратор – это устройство, которое для автоматической сортировки различных частиц и продуктов использует технологию фотоэлектрического обнаружения. Работа данного сепаратора базируется на оптических свойствах у сортируемого продукта, а точнее на их различии.

Для описанного процесса обогащения возможно использование электропневмоклапана. Это устройство можно будет тонко настраивать на породу с разными параметрами фракций, а также данному устройству можно добавить регулировку длительности импульса. Такой электроневмоклапан будет действовать как отсекающий. При срабатывании он сможет выстреливать потоком сжатого воздуха по ценным кускам породы и отбрасывать их в сторону. Таким образом можно будет отделать ценную породу от пустой.

1 Состояние вопроса

1.1 Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Руда, попадающая на обогатительное предприятие, обычно разбита на куски, имеющие различный состав и размер. Во время обогащения эта руда проходит сначала подготовительные, обогатительные и потом вспомогательные технологические операции.

Обогащение имеет внушительное количество схем и способов для обогащения горной породы. Оно является довольно актуальным направлением развития переработки полезных ископаемых.

Целью этой работы является изучение существующих методов обогащения, а далее рассмотрение конструкции электропневмоклапана, который будет иметь роль сепаратора и создание для него электрической схемы формирователя тока и схемы управления этим формирователем тока. На схему управления, с датчика обнаружения ценного куска руды, должен подаваться сигнал. Схема управления должна на заданное время открыть, а затем закрыть пневмоклапан, который будет выстреливать сжатым воздухом по ценному куску породы, тем самым отделяя руду от пустой породы.

Данная работа имеет следующие задачи:

- исследование существующих методов обогащения;
- изучение конструкции пневмоклапана;
- разработка структурной схемы электропневмоклапана;
- расчет и моделирование подвижной механической части электропневмоклапана в программе Micro-Cap;
- разработка и моделирование схемы формирователя тока, а также его настройка;
- разработка зарядного устройства;
- разработка и моделирование схемы управления;

- разработка электрической принципиальной схемы;

1.2 Анализ исходных данных и известных решений

Сперва взглянем на имеющиеся методы по обогащению руды и выберем тот метод, в котором сможет использоваться разрабатываемое устройство. На данный момент в мире используются 5 методов по обогащению руд. Ими являются: гравитационный, специальный, магнитный, электрический и флотационный методы обогащения.

Каждый из них базируется на разных физико-химических, а также физических свойствах руды. Все они представлены в работах [3],[7] ,[9] ,[10] ,[13] ,[16] ,[20] ,[25]

1.2.1 Гравитационные процессы обогащения

К данному виду процессов обогащения причисляют процессы, в которых частицы руды разделяются по причине различий в характере и скорости движения частиц породы, когда на них влияет сила тяжести, а также сопротивление в какой-либо среде.

Сюда относят такие процессы как: отсадка, концентрация на столах, а также обогащение на шлюзах, винтовых сепараторах, промывку породы.

Промывка заключается в том, чтобы разрыхлить глинистый материал, находящегося в руде, а затем отделить ценные части руды с помощью воды и различных устройств.

Одно их популярнейших приспособлений для промывки – это вертикальная корытная мойка. Схему данной мойки можно увидеть на рисунке 1.

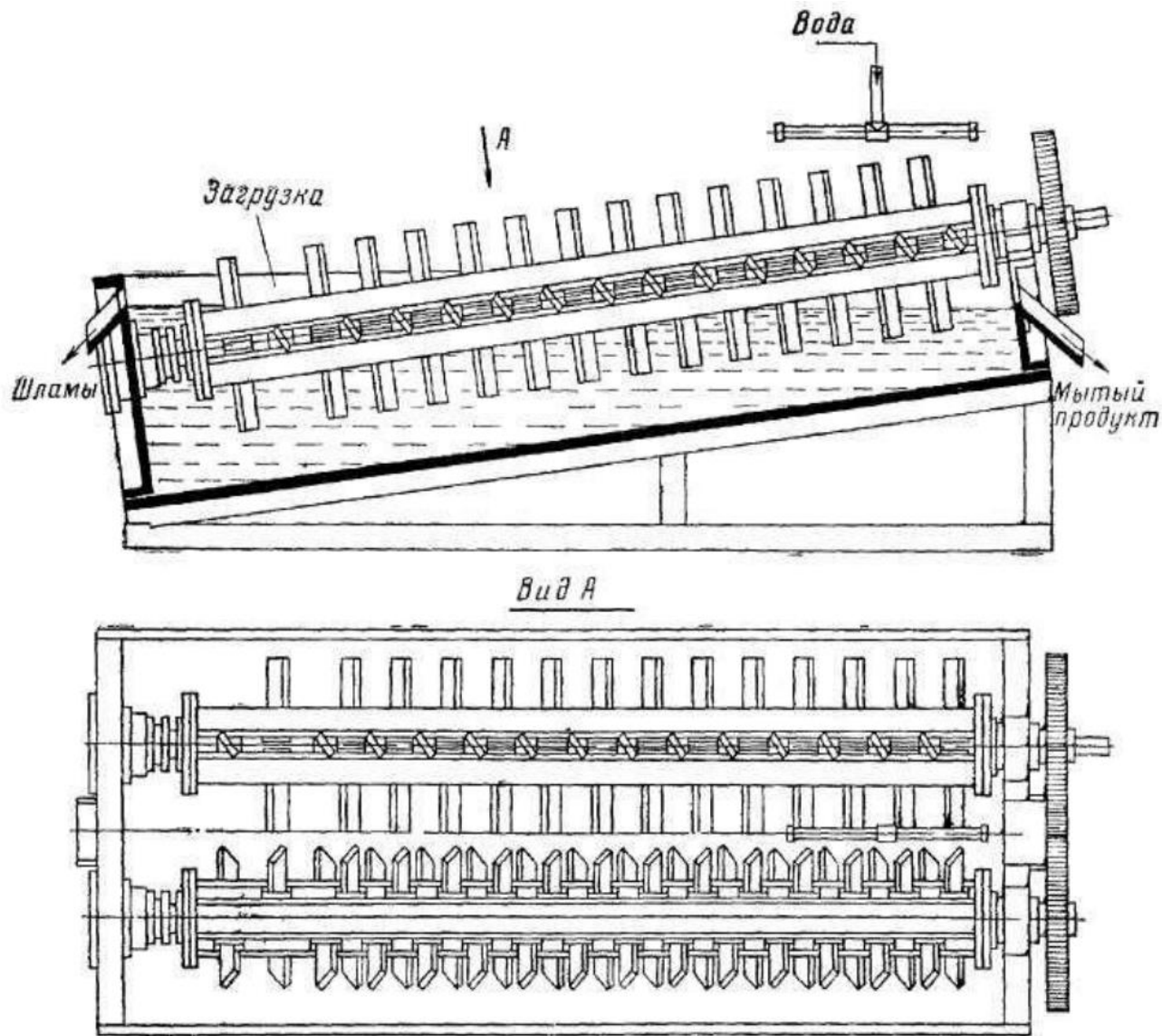


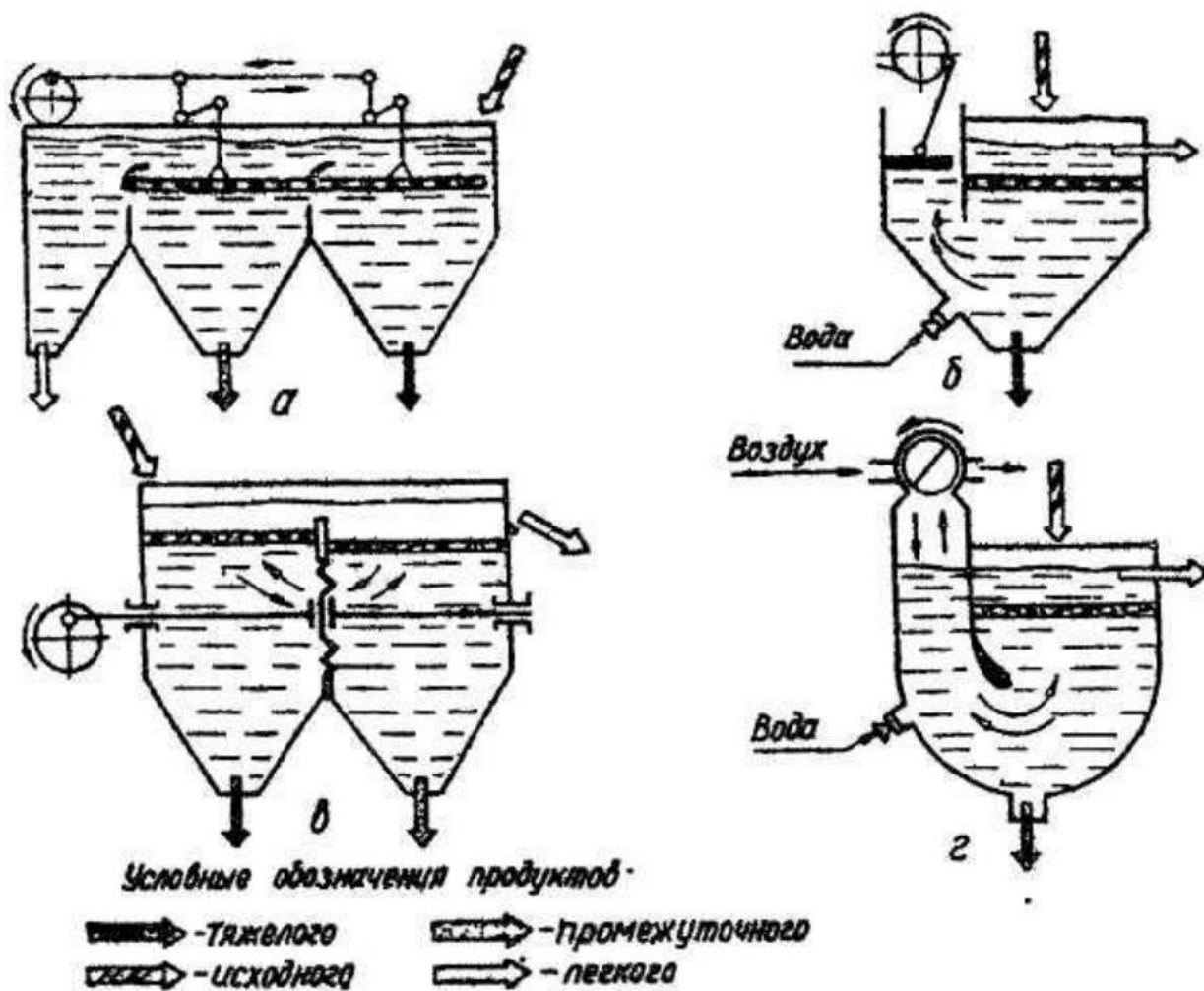
Рисунок 1 – Наклонная корытная мойка

Наибольшую популярность среди гравитационных методов обогащения имеет отсадка.

Отсадкой называется процесс, при котором смесь минеральных частиц в водном или воздушном потоке разделяется по плотности и с заданной амплитудой и частотой колеблется вертикально. Этот поток проходит через отверстия решеток для отсадки, которые служат для подачи всей смеси на решето для отсадки.

При использовании данного метода обогащения применяют машины, в которых колебания жидкости создаются с помощью движения решета или поршня. Еще возможно использовать пульсирующую подачу сжатого воздуха.

На рисунке 2 изображены схемы таких машин.



Схемы: а – с подвижным решетом; б – поршневая; в – диафрагмовая;
г – воздушно-золотниковая

Рисунок 2 - Принципиальные схемы основных типов гидравлических
отсадочных машин

1.2.2 Флотационный метод обогащения

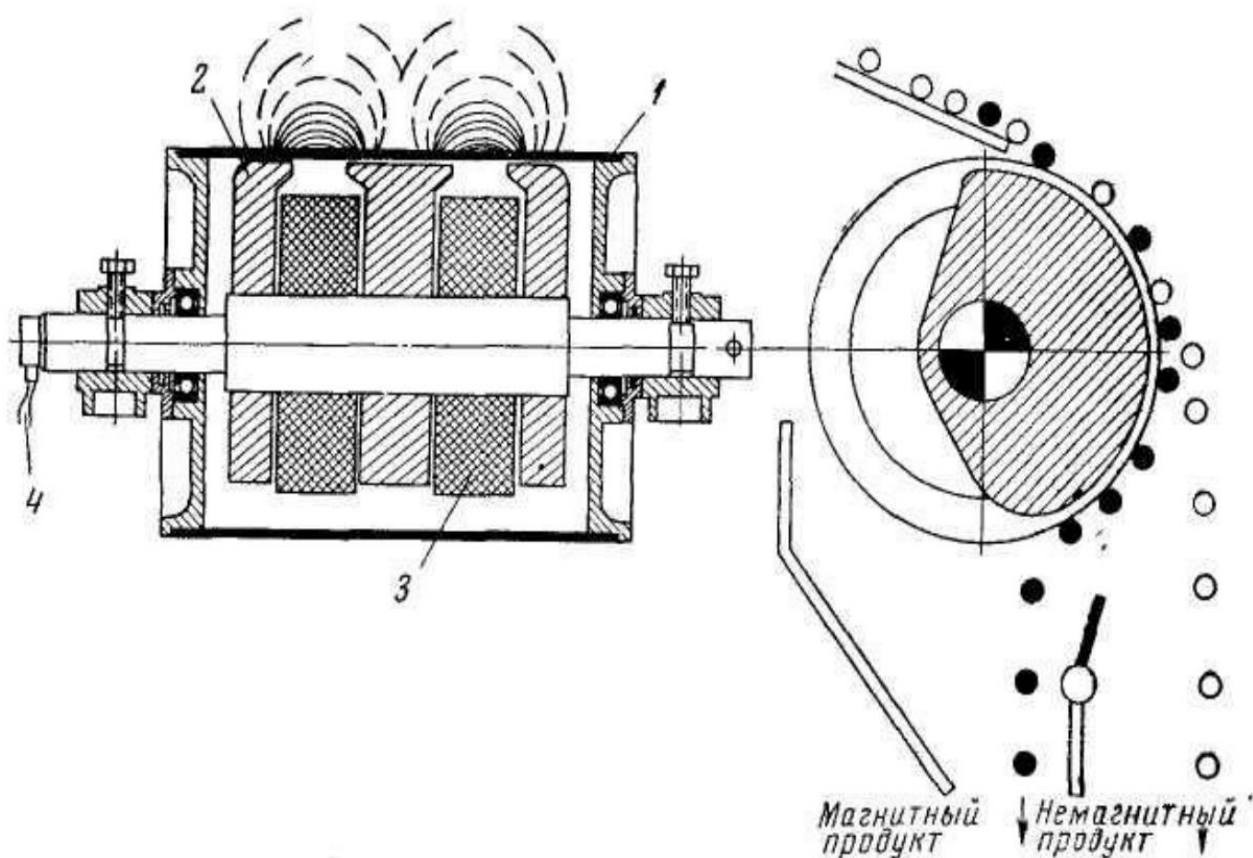
Этот метод базируется на способности минералов пребывать на границе раздела двух фаз. Зачастую вода выступает в роли одной из фаз. Воздух же выступает в качестве второй фазы.

Более всего популярен процесс пенной флотации. Он пользуется наибольшей популярностью среди разновидностей флотационного обогащения. В процессе пенной флотации при разделении фаз применяют границу вода – воздух. Рудную крошку довольно маленького размера перемешивают с воздухом, который распределяется в объеме данной руды в виде крупного числа воздушных пузырьков. Именно эти воздушные пузырьки при соприкосновении с жидкой фазой и делают границу вода – воздух. Если зерна не покрывают водой, то при столкновении с пузырьками воздуха минеральные зерна остаются на этой границе. На частицах руды могут появляться пузырьки газа, за счет растворимости газов в воде. Они образуются за счет уменьшения их растворимости или образования газа при химических реакциях в растворе. Агрегаты, состоящие из воздушных пузырей и твердыми частицами которые закреплены на них, всплывают так как имеют плотность меньше плотности пульпы. Пузырьки после поднятия на поверхность создают слой пены. Пульпы довольно просто отделить от этого слоя. В слой этой пены попадают не смачиваемые водой минеральные зерна. Минеральные зерна, смоченные водой, не прилипают к пузырьковым газам и остаются в объеме пульпы.

1.2.3 Магнитный метод обогащения

Магнитный метод обогащения - это процесс, в котором перерабатывают минеральное сырье и притягивают частицы с наибольшим магнитным сопротивлением, отделяя магнитные минералы от пустой породы.

Разберем одну из таких систем, которая основана именно на этой схеме и рассмотрим принцип ее работы. На рисунке 3 изображен однобарабанный сепаратор, который применяют для магнетитовых руд.



Элементы схемы: 1 – вращающийся барабан; 2 – неподвижные полюса магнита; 3. катушки электромагнита; 4 – подвод тока

Рисунок 3 - Схема однобарабанного сепаратора для сильномагнитных руд

Магнитная система устройства бездвижно зафиксирована на оси. Вдоль оси барабана, состоящего из немагнитного материала, чередуются магнитные полюса. Для защиты от износа на поверхности этого барабана присутствует слой резины. Вибрационный лотковый питатель подает руду на барабан. Имеющие магнитные свойства частицы под воздействием магнитов

притягиваются к барабану и проходят над его магнитами. В месте, где зона действия магнитов заканчивается, частицы «отлипают» от барабана. Если частицы не обладают магнитными свойствами, они просто игнорируют поле сепаратора и выбрасываются с барабана. Барабан в данной схеме находится над устройством, которое имеет отделения для приема материала, который как имеет магнитные свойства, так и не имеет.

1.2.4 Электрический метод обогащения

Данный метод обогащения базируется на некоторых различиях электрофизических свойств минералов, а именно на таких свойствах как электропроводность и диэлектрическая проницаемость. На рисунке 4 представлена схема коронно-электростатического барабанного сепаратора.

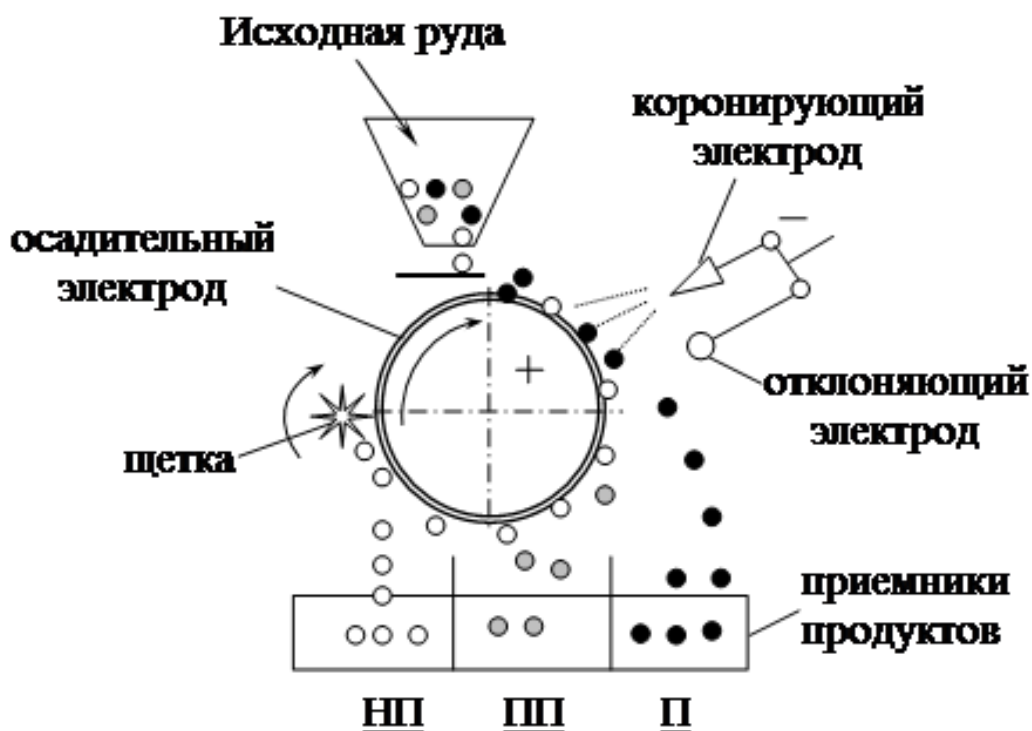


Рисунок 4 - Схема коронно-электростатического барабанного сепаратора

В процессе электростатической сепарации, разделение происходит в электростатическом поле. Заряжаются частицы контактным путем или же индукционным. Частицы разделяются, когда соприкасаются с электродом. Роль этого электрода играет заряженная поверхность барабана. Частицы, имеющие заряд такой же как у барабана, будут притягиваться к нему. Если заряд будет противоположным, то частицы будут отталкиваться от барабана.

1.2.5 Специальный метод обогащения

Кроме того, существуют специальные методы для обогащения породы, которые основаны на разнице в цвете и блеске, твердости или других свойствах пород. В эту группу также входит: разборка руками, обогащение по форме, обогащение по трению, а так же обогащение по упругости.

Например, возьмем и рассмотрим люминесцентную сепарацию. Люминесцентная сепарация является радиометрическим процессом разделения минералов.

Фотосепаратор – это устройство, которое для автоматической сортировки различных частиц и продуктов использует технологию фотоэлектрического обнаружения. Работа данного сепаратора базируется на оптических свойствах у сортируемого продукта, а точнее на их различии. Принцип работы всех фотосепараторов очень похож. Устройство часто используют на предприятиях по добыче алмазов. На рисунке 5 представлена схема фотосепаратора ТАНО DC.

Принцип работы фотосепаратора

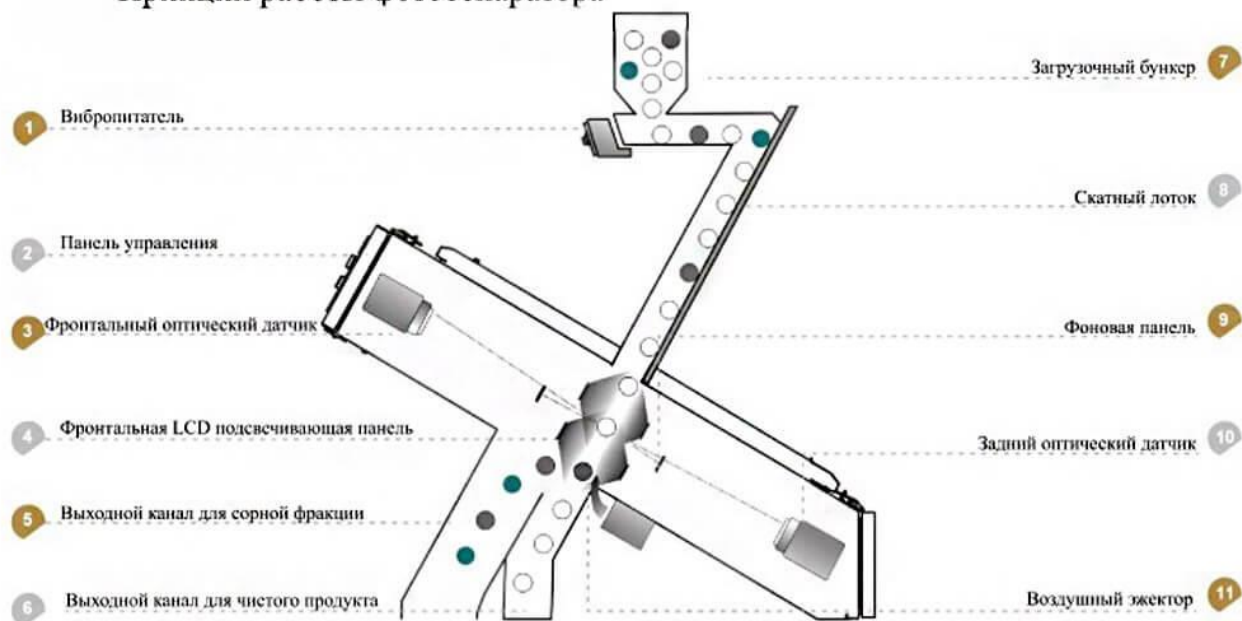


Рисунок 5 – Принцип работы фотосепаратора ТАНО DC

Как видно из рисунка 5 фотосепаратор состоит из: вибропитателя 1, загрузочного бункера 7, панели управления 2, скатного лотка 8, фоновых панелей 9, фронтального оптического датчика 3, заднего оптического датчика 10, LCD подсветки 4, воздушного эжектора(электропневмоклапана) 11, выходного канала для сорной фракции 5, выходного канала для чистого продукта.

Рассмотрим принцип работы такого сепаратора. В загрузочный бункер 7 загружается сортируемый продукт. Вибропитатель 1 подает продукт равномерным слоем на скатный лоток 8. После чего продукт скатывается по лотку, попадает в зону обзора оптических датчиков 3 и 10. Здесь продукт подсвечивается LED подсветкой 4 и сканируется оптическими датчиками по заранее заданным критериям, указанными в панели управления 2. Если продукт прошел проверку и считается пригодным, то он продолжает свое свободное падение в выходной канал для чистого продукта 6. При определении продукта как мусорного, активируется электропневмоклапан 11,

который воздухом сдувает нежелательный продукт в выходной канал для сорной фракции 5.

Кроме того, такие фотосепараторы могут быть разделены на несколько видов. При отличии в виде осветителя фотосепараторы разделяют на:

- полихромные - фотосепараторы имеющие широкополосные светодиоды;
- монохромные - фотосепараторы имеющие лазерные излучатели с длиной волны видимой области спектра инфракрасного излучения;
- мультихромные - фотосепараторы которые могут использовать несколько длин волн, а это сильно повышает эффективность фотосепаратора;
- рентгеновские – фотосепараторы этого вида проводят внутренний анализ материала;

Кроме того, сепараторы подразделяют по их камерам на:

- фотодиод;
- фотодиодная линейка - чувствительная к волнам различной длины;
- фотодиодная матрица - с большим разрешением вплоть до видеокамер;
- рентгеновские регистраторы;

Большинство оптических сортировщиков имеют возможность повторить сканирование для более тщательной сортировки. Это позволяет минимизировать процент ошибок и «выстрелов» по чистому продукту.

На рисунке 6 показаны специальные быстродействующие полноцветные камеры высокого разрешения, которые имеют CCD или CMOS сенсоры. Это позволяет гарантировать четкость получаемого изображения, а также дает возможность различать и фиксировать самые мельчайшие дефекты сортируемого продукта.



Рисунок 6 – Камера фотосепаратора

Энергоэффективные промышленные FPGA (Рисунок 7) решения и специализированные цифровые сигнальные процессоры DSP (Рисунок 8), построенные в виде SoC (System-on-a-Chip) системы, помогают добиться высокого уровня быстродействия цветосортировочного оборудования. Помимо этого, продолжаются исследования в области улучшения алгоритмов обработки данных, которые позволят сортировать продукты по цветовым, а также по геометрическим качествам.



Рисунок 7 - FPGA (программируемая пользователем вентиляльная матрица)



Рисунок 8 - DSP (цифровой сигнальный процессор)

В настоящее время современные фотосепараторы имеют более долговечные эжекторы, которые используют такую технологию как

магнитная левитация. С помощью специальной конструкции сопел клапана можно удалить ненужные вещества из потока хорошего продукта, а также сэкономить до 30% сжатого воздуха.

Вывод по разделу

Перед нами стояла задача изучить и разработать электропневмоклапан, который будет иметь возможность тонкой настройки на различную породу. Так же будет возможна регулировка длительности импульса. Такой пневмоклапан сможет быть использованным в процессах обогащения руд и будет иметь роль отсекающего, который будет струей сжатого воздуха выбивать из потока ценные куски породы. Изучены существующие методы обогащения руд и рассмотрены некоторые схемы устройств для обогащения. В качестве метода обогащения был выбран специальный метод и люминисцентный сепаратор, относящийся к данному методу. Разработанное устройство отлично подходит к специальному методу обогащения и рентгенолюминесцентному сепаратору. В них данное устройство сможет проявить себя в полной мере.

2 Аппаратная часть

2.1 Обзор устройства пневмоклапана

Сперва на рисунке 9 рассмотрим из каких частей состоит механическая часть пневмоклапана. Данное устройство состоит из четырех частей, а именно: клапана (1), штока (2), поджимной пружины (3) и якоря электромагнита (4). Клапан с помощью давления воздуха и поджимной пружины поджимается к седлу. Давление воздуха, показано стрелками. Шток пневмоклапана необходим для его привода, а также для разгрузки от давления воздуха из-за того, что шток имеет куда меньший диаметр, чем у выходного отверстия. Электромагнит заимствуется у электромагнитного пускателя ПМЕ после чего его катушка перематывается под наши цели и необходимую индуктивность [18]. Так же понадобится устройство управления, которое будет управлять открытием пневмоклапана и поддерживать его состояние в открытом виде в течении необходимого времени.

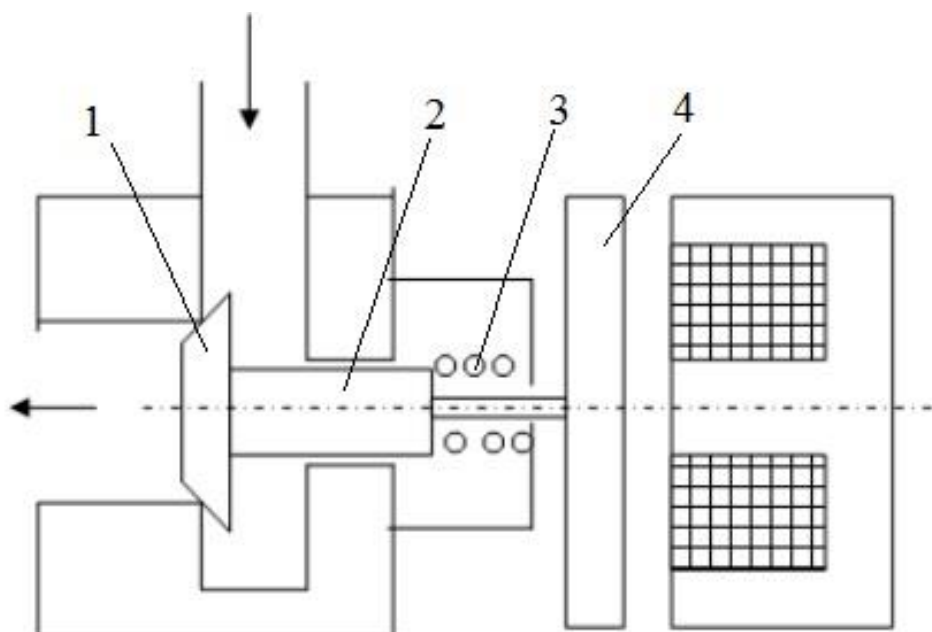


Рисунок 9 – Механическая система пневмоклапана

2.2 Разработка структурной схемы

На основе технического задания на магистерскую работу была разработана структурная схема электрической части пневмоклапана. Схема представлена на рисунке 10 и состоит из шести основных частей, а именно: источника питания, зарядного устройства, конденсатора, устройства управления системой возбуждения, формирователя тока возбуждения, обмотки электромеханического двигателя.

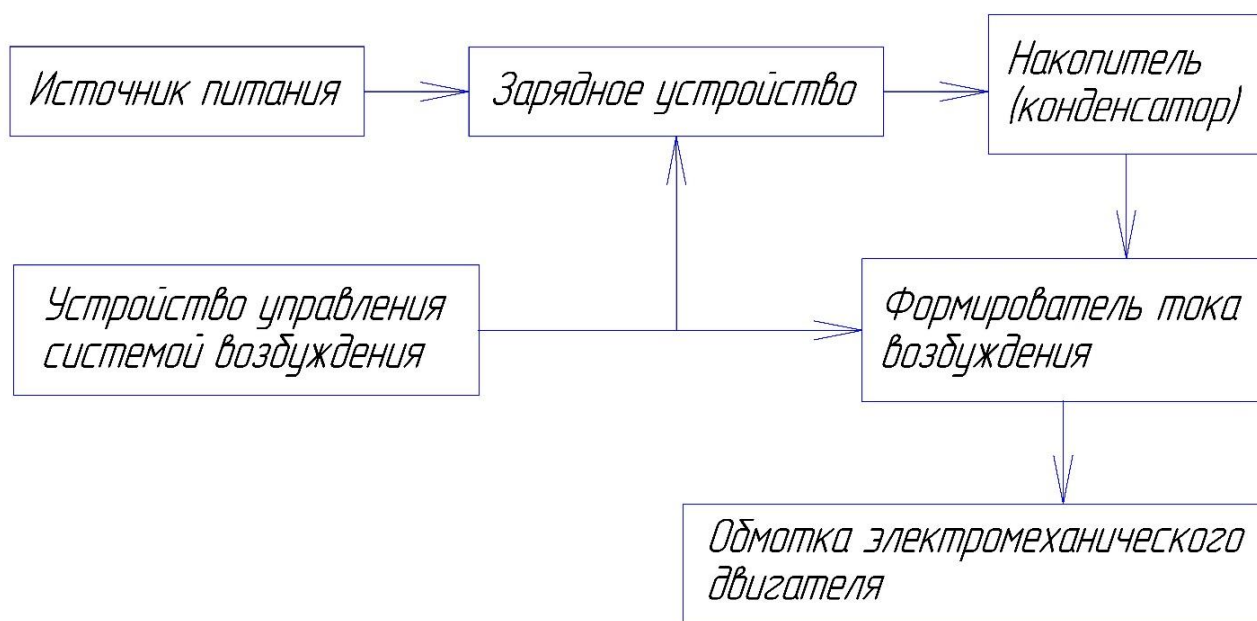


Рисунок 10 - Структурная схема устройства электропневмоклапана.

Как видно из схемы, устройство управления системой возбуждения будет одновременно управлять формирователем тока возбуждения и зарядным устройством конденсатора.

2.3 Выбор схемы системы электропитания пневмоклапана

Для выбора схемы системы электропитания пневмоклапана изучим пару схем формирователя тока возбуждения [4], [6], [15], [19], [26], [27], [28], [29], [30].

На рисунке 11 изображена первая схема.

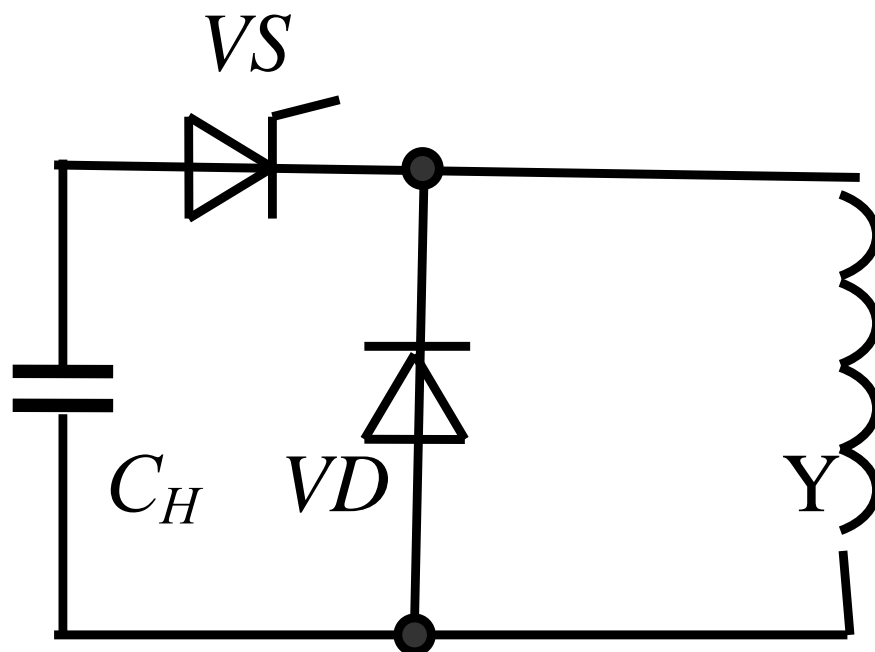


Рисунок 11 – Схема формирователя тока возбуждения

Диаграммы работы данной схемы изображены на рисунке 12.

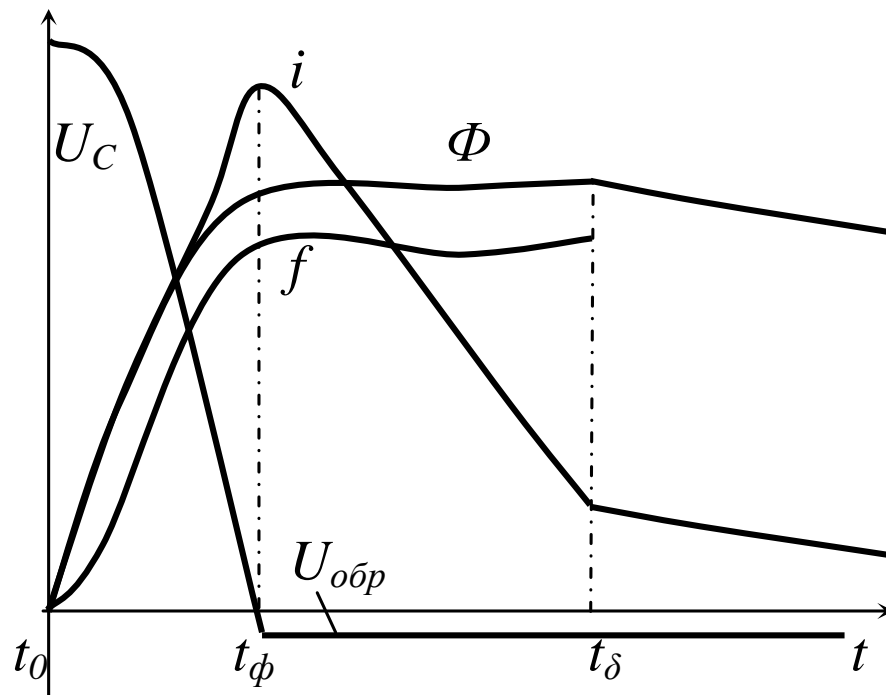


Рисунок 12 - Диаграммы работы формирователя тока возбуждения

Сначала в момент t_0 включается тиристор VS и конденсатор C_H разряжается на обмотку Y . Так же в обмотке Y начинают расти магнитный поток Φ и ток i . Далее на графике видно, что в момент t_ϕ конденсатор C_H начинает перезаряжаться. С маленькой задержкой срабатывает диод VD . Последовательно с диодом включают дроссель насыщения, который служит для повышения задержки и величины обратного напряжения. Он необходим для создания необходимой коммутации тиристора. Далее к моменту t_δ зазор двигателя может оказаться полностью израсходованным и из-за того, что якорю электромагнита дальше двигаться невозможно, на графике оборвана сила f . Во время уменьшения данного зазора двигателя, ток i уменьшается заметно быстрее, нежели после момента t_δ . Ко времени следующего срабатывания электропневмоклапана ток i затухает, а накопитель энергии повторно заряжается с помощью зарядного устройства конденсатора.

В данной системе возбуждения обмотки электромеханического двигателя накопитель энергии в виде электрического конденсатора C_H

применяется в роли промежуточного накопителя энергии. При использовании данного накопителя энергии в системе возбуждения, появляется возможность создавать необходимые форму и величину у переднего фронта импульса тока возбуждения электропривода проще и эффективнее. Однако минусом такой схемы является отсутствие ограничения длительности тока нет. Нам необходимо иметь возможность ограничивать длительность тока и далее мы рассмотрим схему, которая лишена данного недостатка.

Далее на рисунке 13 изображена схема системы электропитания пневмоклапана, которая имеет неразделённые накопитель и обмотку. Эта схема представлена в виде моста из вентилей. В одну диагональ этой схемы подключен накопитель энергии C , который заряжается зарядным устройством. Обмотка электромагнита Y подключена к другой диагонали.

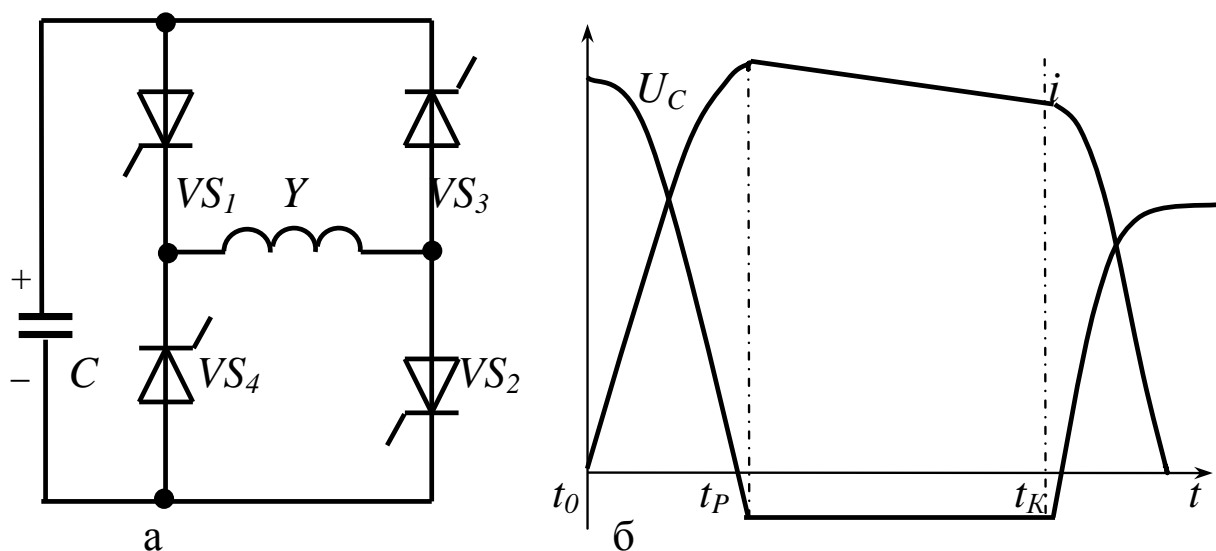


Рисунок 13 - Мостовая схема формирователя тока с неразделённой обмоткой: а – схема; б – диаграммы работы

Сначала в момент t_0 одновременно активируются силовые тиристоры VS_1 , VS_2 и начинает формироваться ток i . Напряжение на конденсаторе C начинает уменьшаться, а в обмотке электродвигателя Y повышается ток. После того момента, когда конденсатор перезарядится до напряжения,

которое требуется для очередной коммутации силовых тиристорov, тиристор VS_3 может быть включен с помощью схемы управления или же динистором в момент t_p . После открытия VS_3 обратным напряжением на конденсаторе C коммутируется VS_2 . Далее ток i начинает протекать по цепи VS_1, Y, VS_3 . Напряжение у накопителя C не меняется. Далее в момент t_k с помощью схемы управления активируется тиристор VS_4 , а к VS_1 прикладывается обратное напряжение с конденсаторного накопителя энергии C . Тиристор VS_1 выключается и ток i протекает по контуру Y, VS_3, C, VS_4 . Это позволяет зарядить конденсатор в изначальной полярности.

Этот тип схемы больше подходит для регулирования длительности импульса поэтому для нашего пневмоклапана мы будем использовать именно её. Минусом такой схемы является отсутствие общей точки у конденсатора C и обмотки двигателя Y .

2.4 Выбор схемы системы управления электропневмоклапана.

Существует много схем для управления тиристорами. Зачастую в этих схемах в роли гальванической развязки применяют импульсные трансформаторы, а также оптронные тиристоры. Недостатком схем, построенных на оптронах, являются значительные потери на силовых тиристорах. Рассмотрим две схемы, которые мы можем применить в качестве схемы управления.

На рисунке 14 можно увидеть схему, генерирующую два импульса для управления тиристорами. Первый импульс предназначен для VS и VS_2 . Следующий импульс предназначен для VS_4 . Последний импульс имеет задержку, которую можно настраивать, ориентируясь на первый. Длительность импульса рассчитывают исходя из времени нарастания тока в силовых тиристорах до величины, больше тока удержания. Диаграммы работы этой схемы показаны на рисунке 15.

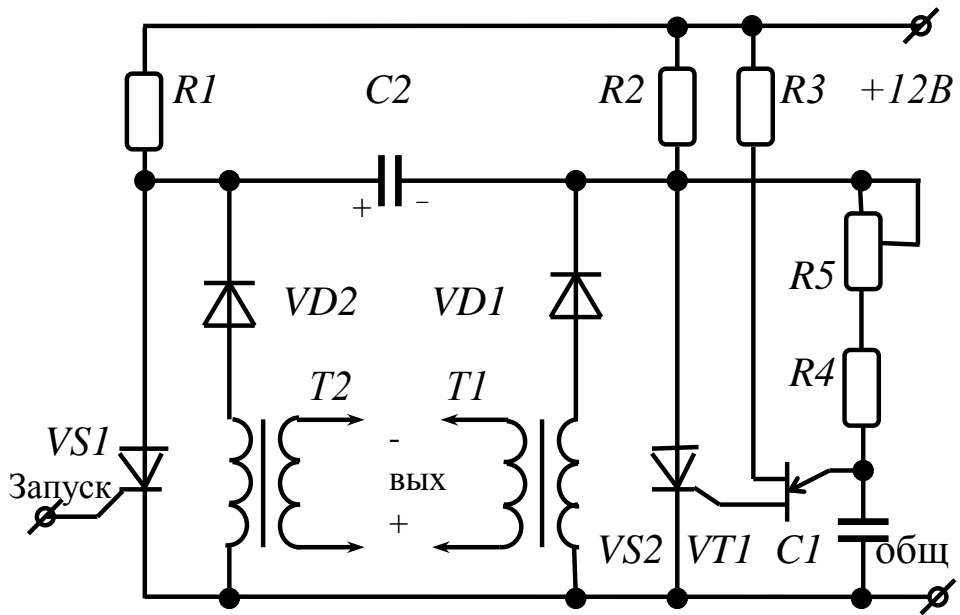


Рисунок 14 - Схема формирователя тока, построенная на импульсных трансформаторах

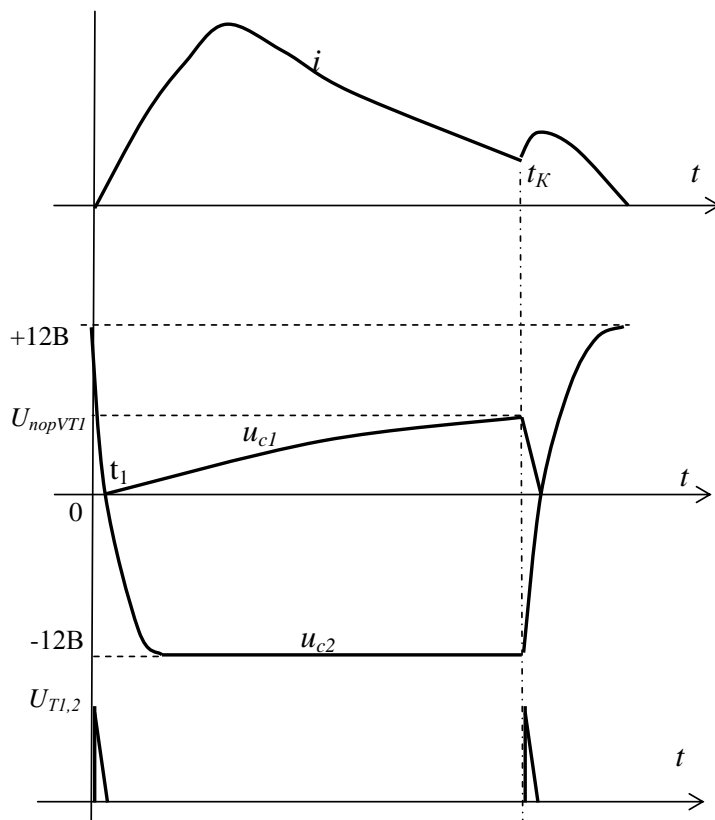


Рисунок 15 - Диаграммы работы построенного на импульсных трансформаторах формирователя тока

В начальный момент времени, при подаче питания, тиристоры VS1 и VS2 пребывают в выключенном состоянии. Через резисторы R2, R4 и R5 заряжается конденсатор C1. Он заряжается пока не достигнет порогового напряжения транзистора VT1. Потом разряжается конденсатор C1 через VT1 на управляющий переход тиристора VS2. Тиристор VS2 открывается. Из-за того, что в это время напряжение на V_{S_K} крайне мало импульс управления тиристором V_{S_K} не запускает силовую часть схемы. Сопротивления R1 и R2 подобраны таким образом, чтобы токи, проходящие через VS1 и VS2, превышали величину тока удержания этих тиристоров. Из-за этого тиристор VS2 всё ещё остается в открытом состоянии. Через тиристор VS2 и резистор R1 заряжается конденсатор C2 до напряжения питания в полярности указанной на схеме. После этого схема системы управления формирователем импульса переходит в режим ожидания. При включении VS1 на первичную обмотку T1 начинает разряжаться накопитель энергии C2, а на другой обмотке данного трансформатора формируется импульс, предназначенный для управления одним из тиристоров силовой части схемы формирователя тока возбуждения. Пока накопитель C2 постепенно разряжается, к VS2 прикладывается обратное напряжение, из-за которого VS2 закрывается. Потом, через резистор R2 и тиристор VS1, накопитель C2 перезаряжается в другой полярности. Далее в момент t_1 конденсатор C1 заряжается через резисторы R2, R4, R5 до порогового напряжения транзистора VT1 и после чего разряжается через этот самый транзистор на управляющий переход тиристора VS2. Поэтому в момент t_K открывается VS2. Накопитель энергии C2 через VS2 и VD2 разряжается на первичную обмотку T2. На вторичной же обмотке данного трансформатора создается второй импульс управления для V_{S_K} в схеме формирователя тока. Пока накопитель энергии C2 разряжается, к VS1 приложено обратное напряжение из-за чего он закрывается. Через VS2 и резистор R1 заряжается накопитель C2 в указанной

на схеме полярности. Вся схема управления переходит в режим ожидания и ожидает следующего срабатывания.

Так же существует второй более простой вариант схемы управления и этим вариантом мы воспользуемся. Эта схема использует 3 микросхемы таймера КР1006ВИ1 из которых не трудно сделать схему управления для формирователя тока возбуждения. Одна из трех микросхем сделана в роли генератора импульсов находящемся в ждущем режиме и используется для задержки между включением силового тиристора VS3 относительно силовых тиристоров VS1 и VS2 в мостовой схеме формирователя тока с неразделённой обмоткой.

Изучим принцип работы микросхемы КР1006ВИ1. Её подробную принципиальную схему можно увидеть на рисунке 16.

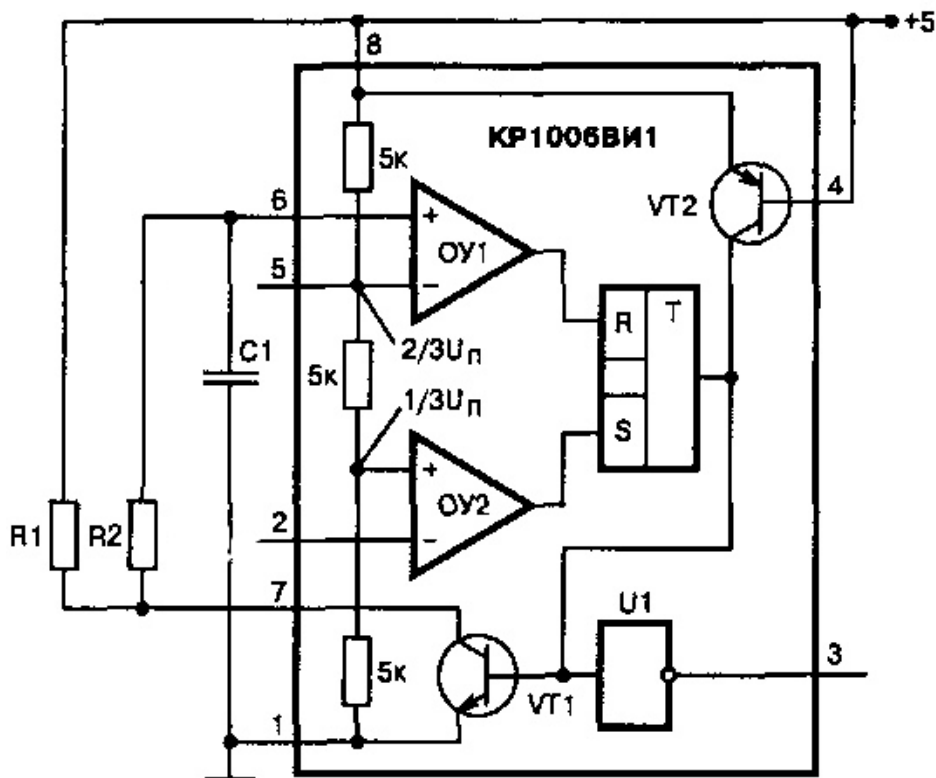


Рисунок 16 - Подробная схема микросхемы таймера КР1006ВИ1

КР1006ВИ1 представляет собой некий таймер, который формирует импульсы напряжения, имеющие длительность от нескольких микросекунд до нескольких минут.

Сначала накопитель С1 заряжен, а на второй вход микросхемы подается напряжение 5 вольт, что соответствует сигналу логической единицы. Далее компаратор ОУ1 измеряет и сравнивает напряжение питания с накопителем С1. По причине того, что напряжение на С1 больше $2/3$ напряжения питания или равно ему, на выходе ОУ1 появляется логическая «1». Эта «1» попадает на RS-триггер, а именно на его вход сброса. Из за того что данный RS-триггер инвертирован, на выходе триггера устанавливается сигнал логической 1. Логическая единица попадает на усилитель U1 и он инвертирует сигнал. По этой причине на 3 выходе микросхемы устанавливается сигнал логического нуля. Эту схему таймера можно активировать с помощью подачи отрицательного фронта сигнала на второй вход микросхемы, а именно на компаратор ОУ2. Этот отрицательный фронт должен быть меньше $1/3$ от питающего напряжения. Сигнал с ОУ2 идет на RS-триггер, а именно на его вход установки, после чего сигнал инвертируется и превращается в логический ноль. Этот логический 0 поступает на транзистор VT1 и это переводит транзистор в открытое состояние. Так же логический 0 с RS-триггера попадает и на усилитель U1 в котором сигнал инвертируется и превращается в логическую единицу. Когда VT1 перейдет в его открытое состояние, начинает разряжаться накопитель С1 через сопротивление R2 и транзистор VT1, из-за чего на выходе микросхемы будет поддерживаться логическая единица. Когда конденсатор разрядится до $1/3$ от напряжения питания, на входе RS-триггера установится сигнал логического нуля. Этот логический 0 переводит VT1 в закрытое состояние, а у усилителя U1 устанавливается логическая 1 на выходе. Накопитель С1 начинает заряжаться до $2/3$ напряжения питания по цепи +5В,

R1, R2, C1, GND. После того как конденсатор зарядится, микросхема таймера снова будет готова к запуску.

2.5 Выбор схемы заряда конденсаторного накопителя энергии

Для заряда конденсаторного накопителя энергии лучше всего подходит трехфазный выпрямитель Ларионова, который изображен на рисунке 17. Для возможности останавливать заряд подключенного конденсатора, диоды необходимо заменить на оптопары [5], [8]. Один из таймеров системы управления формирователем тока возбуждения будет подключен через инвертор к оптопарам и в момент срабатывания данного таймера трехфазный мостовой выпрямитель будет прекращать заряд конденсатора.

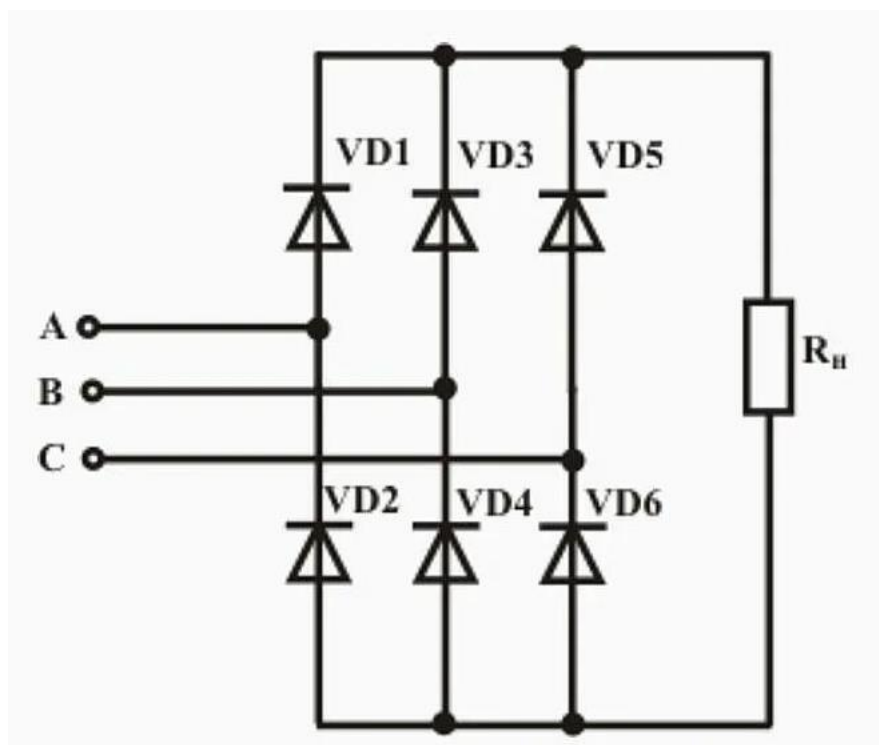


Рисунок 17 – Трехфазный мостовой выпрямитель

Вывод по разделу

В этом разделе диссертации был проведен обзор устройства пневмоклапана. Далее была составлена структурная схема исследуемого устройства. После этого были подробно изучены принципы работы некоторых формирователей тока возбуждения. Так же изучены схемы для управления системой возбуждения. Так же среди данных схем была выбрана мостовая схема с неразделённой обмоткой. Данная схема будет использоваться в силовой части пневмоклапана. Так же для построения системы управления была выбрана микросхема таймера КР1006ВИ1. В роли зарядного устройства для накопителя энергии была выбрана схема трехфазного мостового выпрямителя.

3 Расчет и моделирование схем в программе Micro-Cap

3.1 Расчет и моделирование механической подсистемы

В рентгенолюминисцентный сепаратор можно установить пневмоклапан, который будет за очень короткое время выстреливать струёй воздуха, находящимся под давлением около 6 атмосфер. Кусочки ценной породы будут падать с высоты примерно в один метр. Для начала, нам нужно взять за основу сопло клапана сечением 5 см^2 . Сопло такого клапана имеет диаметр 2,5 см, а это означает то, что кусок породы размером 2.5 см будет пролетать примерно за пять миллисекунд. В течение этого времени мы должны успеть открыть и закрыть пневмоклапан, чтобы он был готов стрелять по следующему куску породы.

Для начала нам необходимо рассчитать и промоделировать подвижную часть электропневмоклапана, которая ранее была показана на рисунке 9.

На рисунке 18 изображен Ш-образный профиль подвижной части электромагнита.

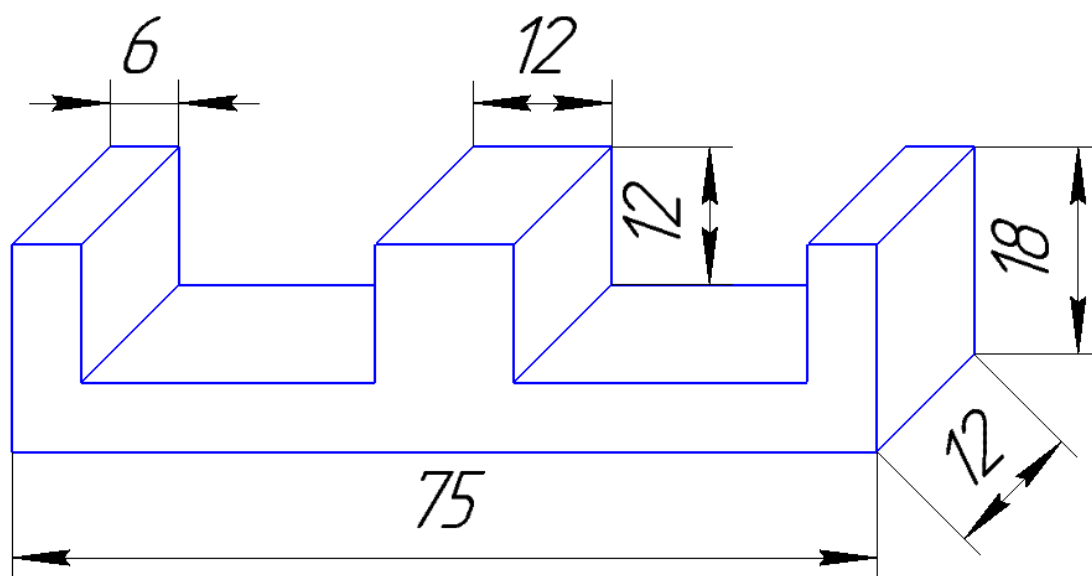


Рисунок 18 –Подвижная часть электромагнита с размерами

Нам необходимо узнать вес данной детали. Для удобства расчета поделим эту деталь на 2 равные части (Рисунок 19).

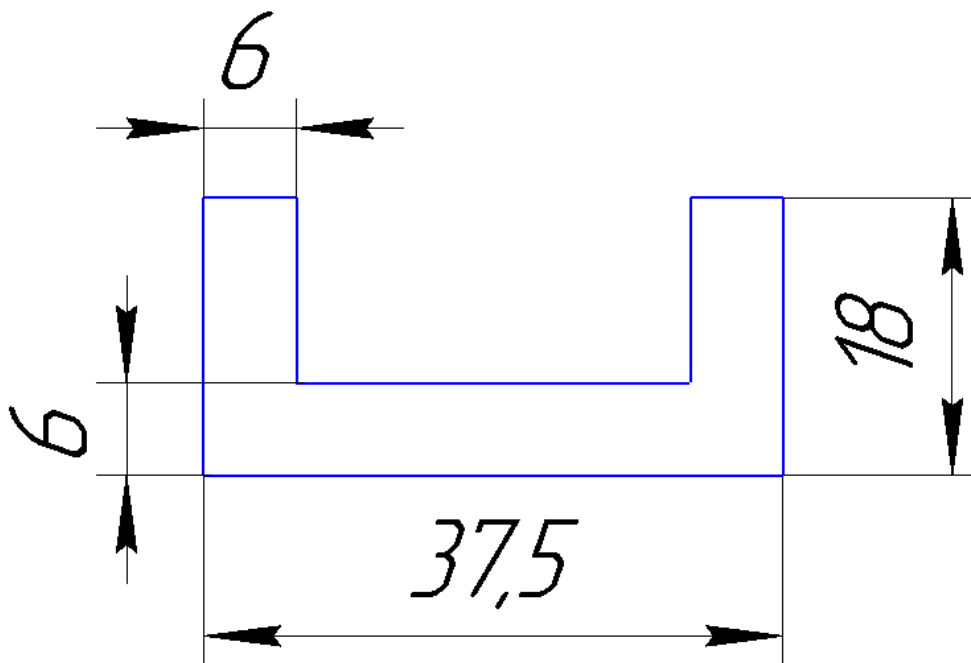


Рисунок 19 – Половина профиля подвижной части электромагнита

Найдем объем данной детали (1):

$$V = 12 * 12 * 6 * 2 + 37.5 * 6 * 12 = 4653 \text{ мм}^3 \quad (1)$$

Значит объем полного Ш-образного профиля будет равен (2):

$$V_{\text{эл}} = 4653 * 2 = 8856 \text{ мм}^3 = 8.856 \text{ см}^3 \quad (2)$$

Этот профиль изготовлен из электротехнической стали, плотность которой равна 7.8 г/см^3 . Значит масса подвижной части электромагнита будет равна (3):

$$m_{\text{эл}} = 8.856 * 7.8 = 69.0768 \text{ гр} = 0.069 \text{ кг} \quad (3)$$

Теперь нужно найти массу следующей детали, а именно штока. Шток пневмоклапана имеет длину 70 мм, а его диаметр составляет 5мм. Найдем его объем (4):

$$V = \pi R^2 h = \frac{\pi d^2}{4} h = \frac{3.14 \cdot 5^2}{4} 70 = 1373.75 \text{ мм}^3 = 1.3735 \text{ см}^3 \quad (4)$$

Масса такого штока, который тоже сделан из электротехнической стали, составит (5):

$$m_{\text{шт}} = 1.3735 \cdot 7.8 = 10.71525 \text{ гр} = 0.011 \text{ кг} \quad (5)$$

По условию задачи клапан должен открываться\закрывается на 6мм за 4 мс.

Найдем требуемое ускорение по формуле $\frac{at^2}{2}$ (6):

$$a = \frac{0.006 \cdot 2}{16 \cdot 10^{-6}} 10^3 = 750 \text{ м\c}^2 \quad (6)$$

По формуле $F = ma$ найдем силу требуемую для того чтобы сдвинуть с места подвижную часть клапана (7):

$$F = ma = (0.069 + 0.011) \cdot 750 = 60 \text{ Н} \quad (7)$$

Так как давление воздуха в 6 атмосфер будет мешать открыть клапан, рассчитаем силу, препятствующую открытию. Площадь клапана равна 5 см^2 . Значит сила воздуха, прижимающая клапан к седлу, равна (8):

$$F_{\text{возд}} = p \cdot s = 6 \cdot 5 = 30 \text{ Н} \quad (8)$$

В таком случае полная сила, необходимая чтобы оторвать клапан от седла, равна (9):

$$F = 60 + 30 = 90 \text{ Н} \quad (9)$$

Теперь необходимо подобрать возвратную пружину. Тарелка пневмоклапана будет передвигаться на 6мм. Значит коэффициент жесткости пружины будет равен (10):

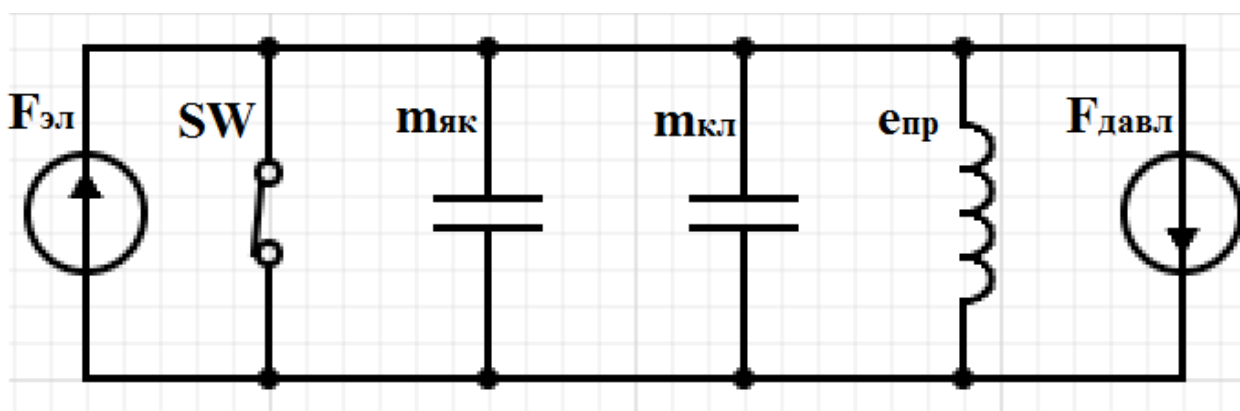
$$k = \frac{F}{x} = \frac{90}{0.006} = 1375 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (10)$$

В таком случае податливость этой пружины будет равна (11):

$$e = \frac{1}{k} = \frac{1}{1375} = 0.00072 \quad (11)$$

Воспользовавшись методом прямых электромеханических аналогий

получили эквивалентную схему замещения механической части пневмоклапана [2], [17], [23], [24]. Получившаяся схема замещения изображена на рисунке 20.



$F_{эл}$ – сила электромагнита; SW – изначально замкнутый ключ; $m_{як}$ – масса якоря; $m_{кл}$ – масса клапана; $e_{пр}$ – жесткость пружины; $F_{давл}$ – сила давления воздуха

Рисунок 20 –Эквивалентная схема замещения механической части пневмоклапана

Теперь, для проверки получившихся расчетов, в программе для аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей Micro-Cap 9, построим полученную эквивалентную схему замещения. На рисунке 21 изображена эквивалентная схема замещения механической части пневмоклапана.

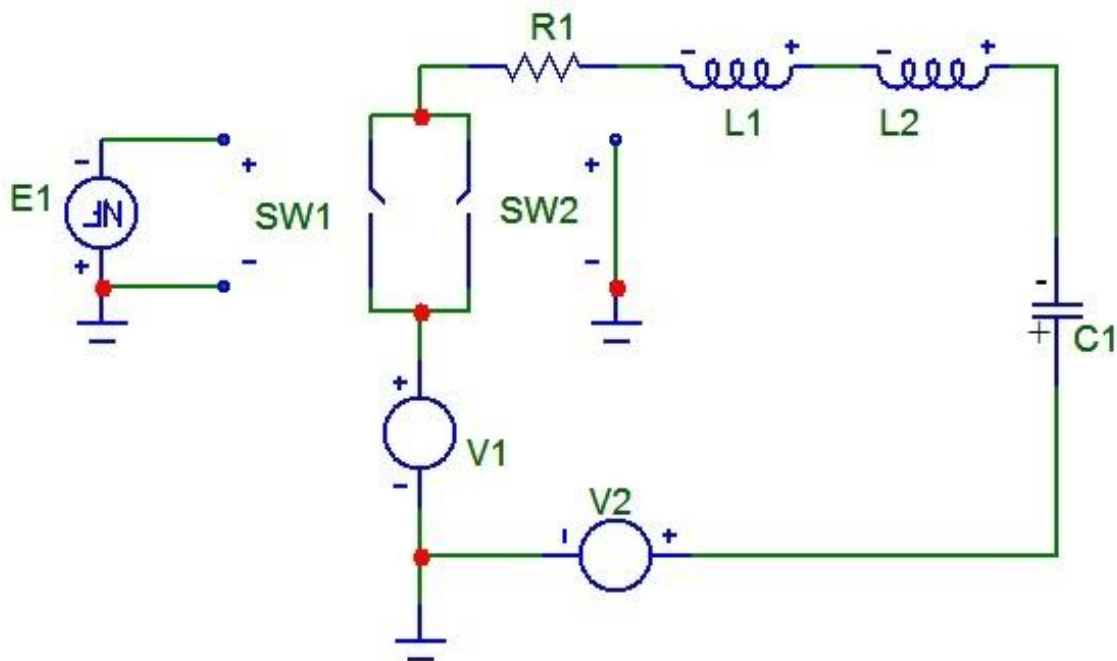


Рисунок 21 - Скриншот электрической схемы замещения механической части пневмоклапана в программе Micro-Cap

Подробно рассмотрим эту схему и изучим её элементы. Индуктивность $L1$ – электрический аналог массы подвижной части электромагнита, равная 0.069 Гн. Индуктивность $L2$ – электрический аналог суммы масс штока и тарелки клапана равна 0.021 Гн. Ёмкость $C1$ – электрический аналог податливости пружины, равная 7.2 мкФ. Источник напряжения $V2$ моделирует давление воздуха на тарелку пневмоклапана. Для исключения ситуации, когда под действием этого давления клапан движется влево сквозь седло, в схеме устанавливается начальное напряжение на конденсаторе $C1$, равное напряжению $V2$ со знаком, показанным на схеме. Сопротивление $R1$ моделирует процесс трения в системе.

Разберем принцип работы ключей $SW1$ и $SW2$, ведь они являются наиболее сложными элементами на этой схеме. В ключах SWITCH приняты обозначения:

V — управление разностью потенциалов;

I — управление током;

T — переключение в определенные моменты времени;

n_1, n_2 — значения управляющей величины, при которых происходят переключения;

R_{on}, R_{off} — сопротивления ключа в замкнутом и разомкнутом состояниях. По умолчанию $R_{on}=1E-3$ Ом, $R_{off}=1E9$ Ом

Если $n_1 < n_2$, то ключ замкнут (находится в состоянии ON) при управляющем сигнале $n_1 < X < n_2$ и разомкнут (находится в состоянии OFF), когда $X < n_1$ или $X > n_2$.

Если же $n_1 > n_2$, то ключ разомкнут (OFF) при управляющем сигнале $n_1 > X > n_2$ и замкнут (OFF), когда $X > n_1$ или $X < n_2$.

Для ключей типа «V» управляющий сигнал X представляет собой разность потенциалов между управляющими выводами ключа.

Для ключей типа «I» управляющий сигнал X представляет собой ток через индуктивность, включенную между управляющими выводами ключа.

Для ключей типа «T» управляющий сигнал X представляет время, при этом управляющие выводы ключа должны быть заземлены для минимизации общего количества узлов в схеме.

При анализе переходных процессов следует обратить внимание на выбор шага расчета. Если шаг будет слишком большим, ключ может не переключаться. Для переключения ключа хотя бы одна расчетная точка должна попасть внутрь области значений, переводящих ключ в противоположное состояние.

Ключ SW1 работает от разности потенциалов и имеет параметры $v, -1m, 6m$; что делает его изначально замкнутым. Функциональный источник напряжения E1 представляет собой интеграл v_1 от t , что задано функцией $sum(i(v_1), t)$. Ключ SW1 и источник напряжения E1 работая в паре моделируют перемещение подвижной части пневмоклапана. Когда Перемещение клапана достигает 6мм он как бы упирается в стенку и не

может пройти сквозь неё. E1 отслеживает данное перемещение и отключает ключ SW1.

Ключ SW2 срабатывает от заданного значения времени. Он моделирует закрытие пневмоклапана и имеет параметры $t_{10m,11m}$, что делает его изначально разомкнутым. Данная схема не моделирует момент, когда клапан при закрытии упрется в седло и соответственно его перемещение остановится. Этот момент на данной схеме условно происходит в 14мс.

Теперь перейдем к настройке схемы у зададим в её элементах необходимые параметры.

В катушках индуктивности L1 и L2 зададим в поле INDUCTANCE значение масс подвижных частей, а именно 0.069 (рисунок 22) и 0.021 (рисунок 23).

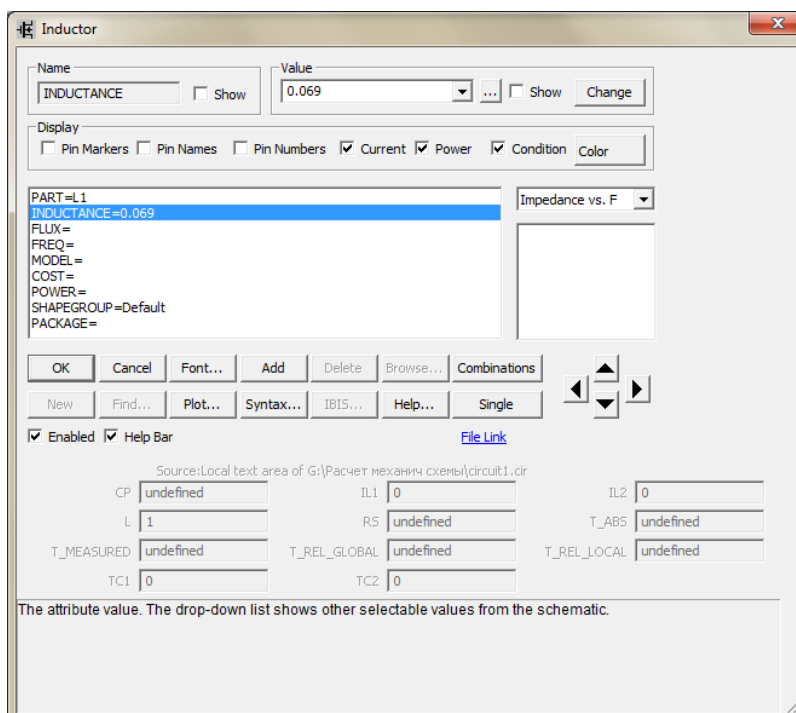


Рисунок 22 – Скриншот окна настройки параметров катушки L1 в программе Micro-Cap 9

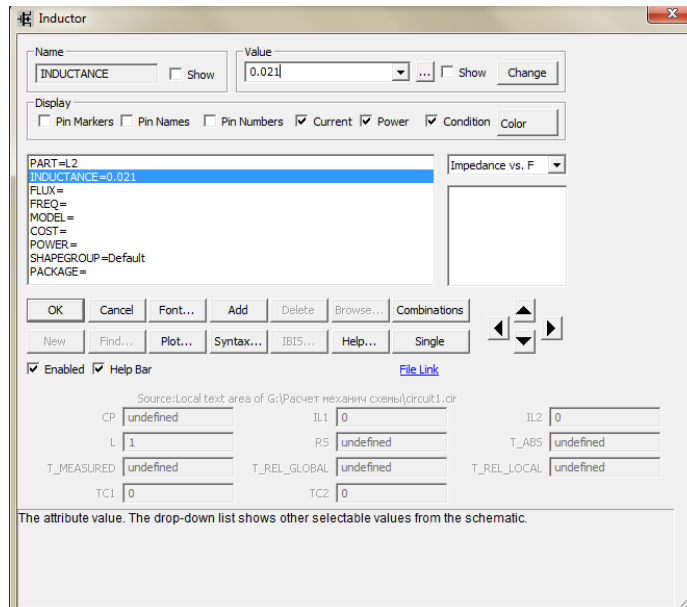


Рисунок 23 – Скриншот окна настройки параметров катушки L2 в программе Micro-Cap 9

В конденсаторе в поле CAPACITANCE укажем податливость 0.00072 IC=30 (рисунок 24).

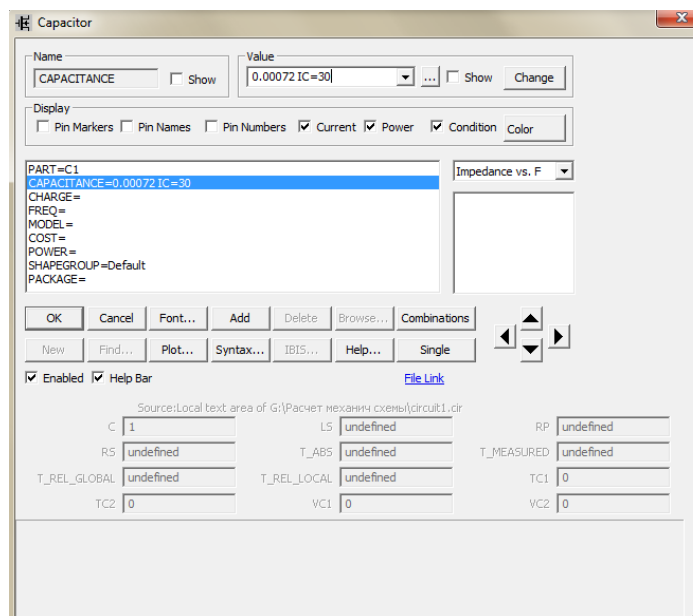


Рисунок 24 – Скриншот окна настройки параметров конденсатора C1 в программе Micro-Cap 9

В источнике напряжения V1 во вкладке Pulse зададим прямоугольный импульс DC 0 AC 1 0 Pulse 0 90 0 1m 1m 8m 1 (рисунок 25).

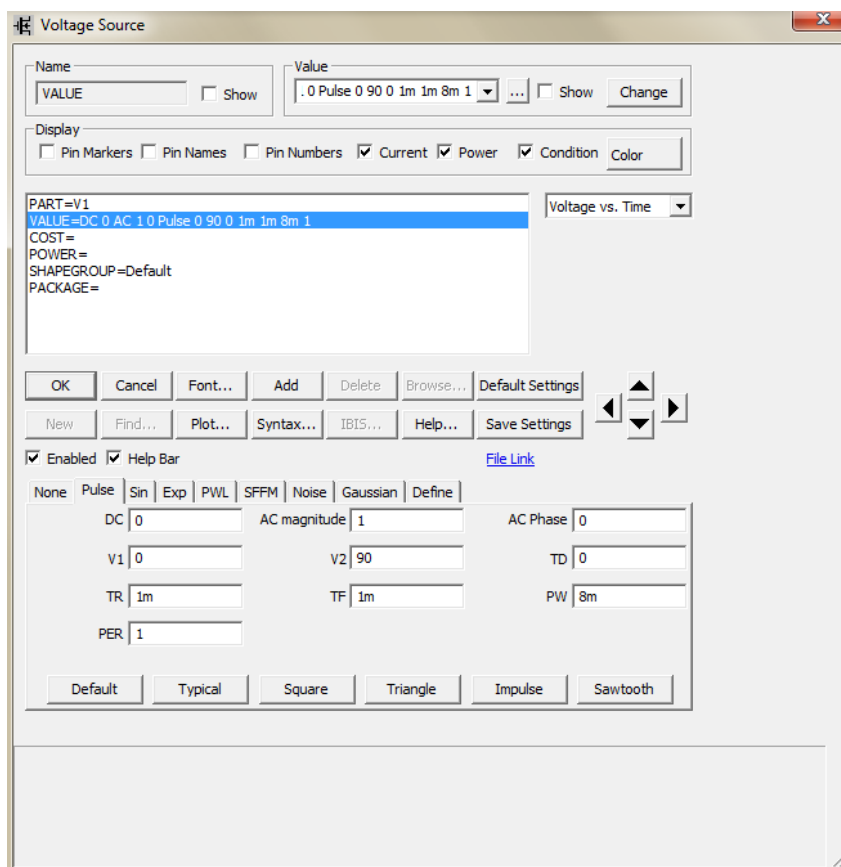


Рисунок 25 – Скриншот окна настройки параметров источника напряжения V1 в программе Micro-Cap 9

В источнике напряжения V2 откроем вкладку None и укажем силу равную 30 (рисунок 26).

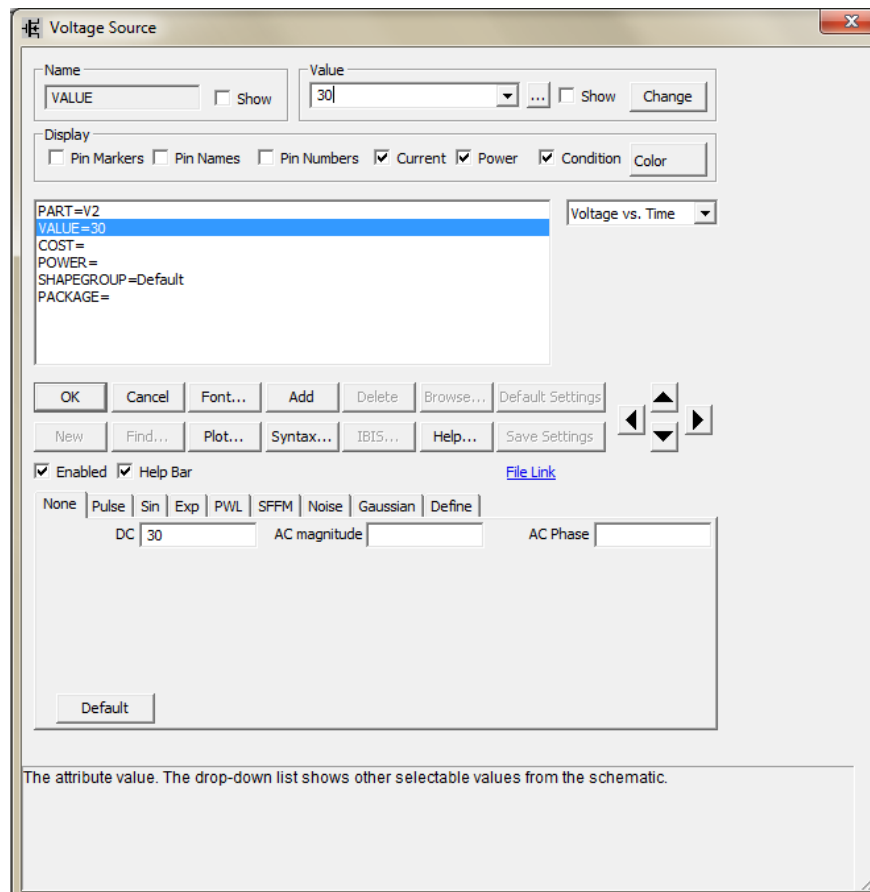


Рисунок 26 – Скриншот окна настройки параметров источника напряжения V2 в программе Micro-Cap 9

Изначально замкнутый ключ SW1 работает от разности потенциалов и предназначен для моделирования процесса соприкосновения якоря электромагнита с индуктором при полном выборе зазора между ними. В его поле VALUE установлены следующие параметры: v, -1m,6m (рисунок 27).

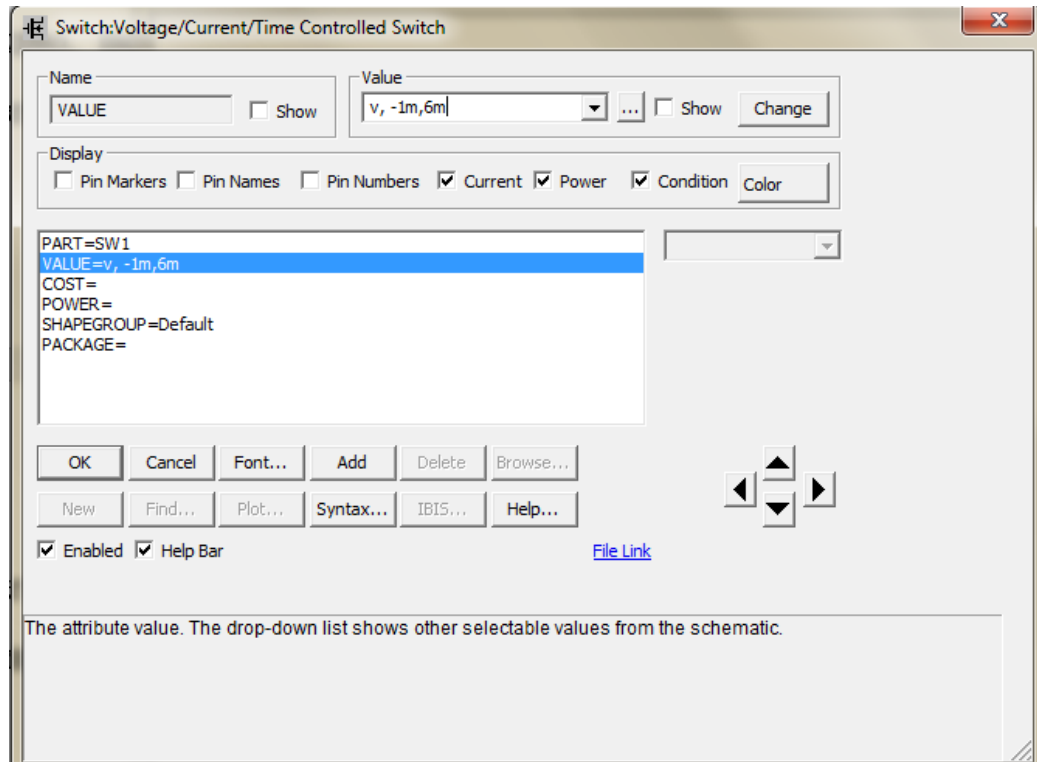


Рисунок 27 – Скриншот окна настройки параметров ключа SW1 в программе Micro-Cap 9

Изначально разомкнутый ключ SW2 работает от времени и предназначен для моделирования процесса соприкосновения якоря электромагнита с индуктором при полном выборе зазора между ними и в поле VALUE имеет следующие параметры: t,10m,11m (рисунок 28).

Ключ SW2 моделирует ситуацию возврата клапана в исходное положение при окончании действия электромагнитной силы V1.

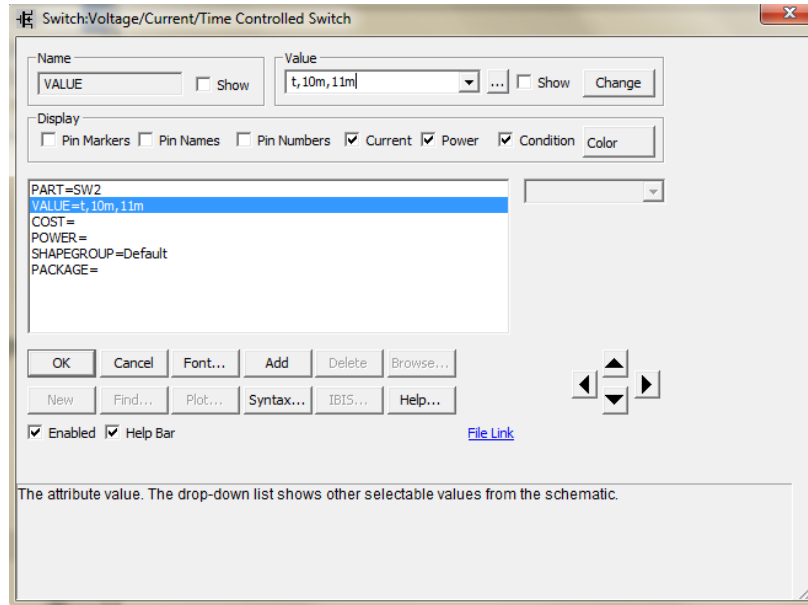


Рисунок 28 – Скриншот окна настройки параметров ключа SW2 в программе Micro-Cap 9

Функциональный источник напряжения E1 представляет собой интеграл v_1 от t , что задано функцией $\text{sum}(i(v_1), t)$ (рисунок 29).

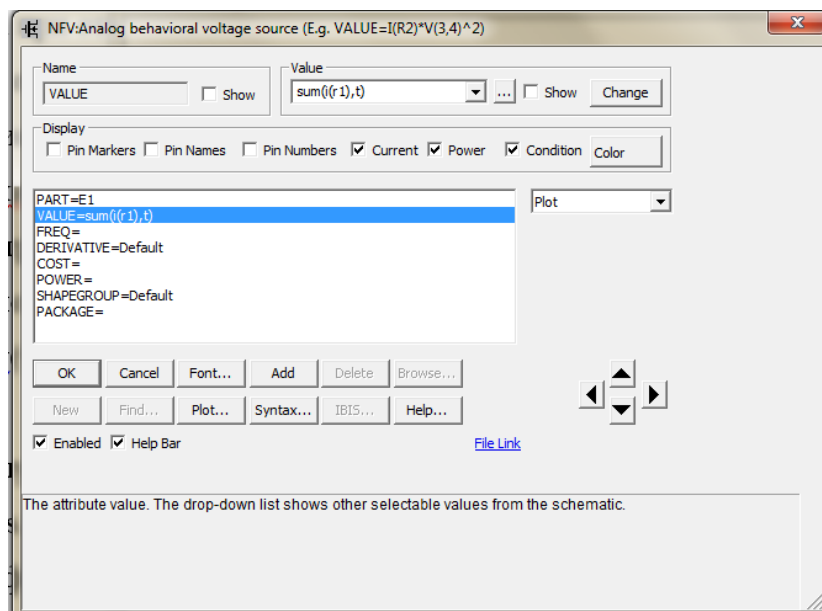


Рисунок 29 – Скриншот окна настройки параметров функционального источника напряжения E1 в программе Micro-Cap 9

Для вывода графиков в Micro-Cap используется функция Transient во вкладке Analysis. На рисунке 30 изображено окно настроек выводимых графиков.

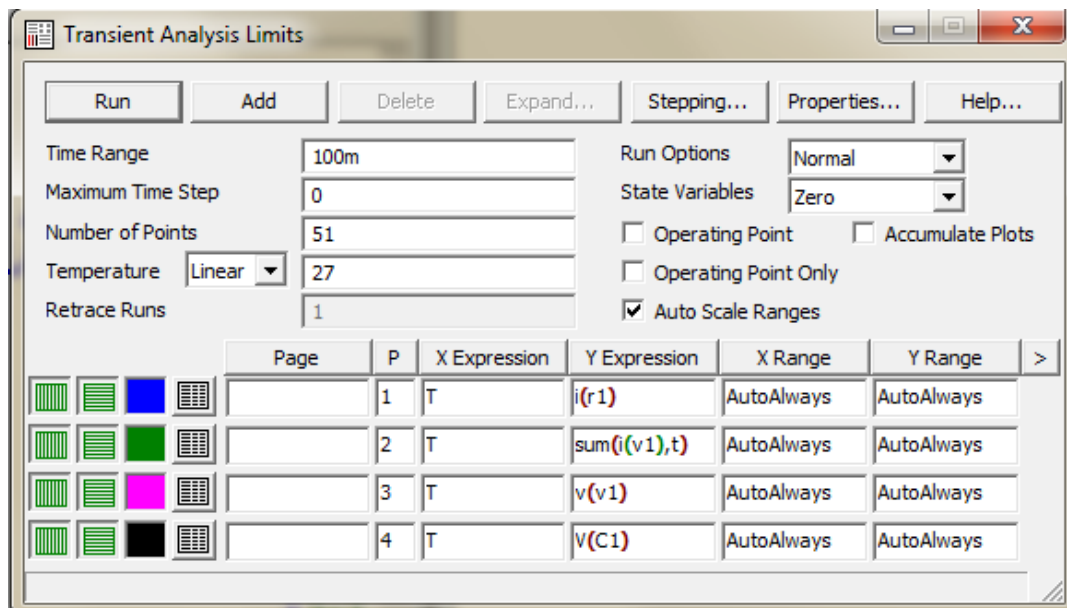


Рисунок 30 – Скриншот окна настройки выводимых графиков в программе Micro-Cap 9

После указания, что нам нужно отслеживать такие параметры как скорость $i(r1)$, перемещение $\text{sum}(i(r1)t)$, электромагнитной силы $v(v1)$ и силы сжатой пружины $v(c1)$ мы получаем графики показанные на рисунке 31.

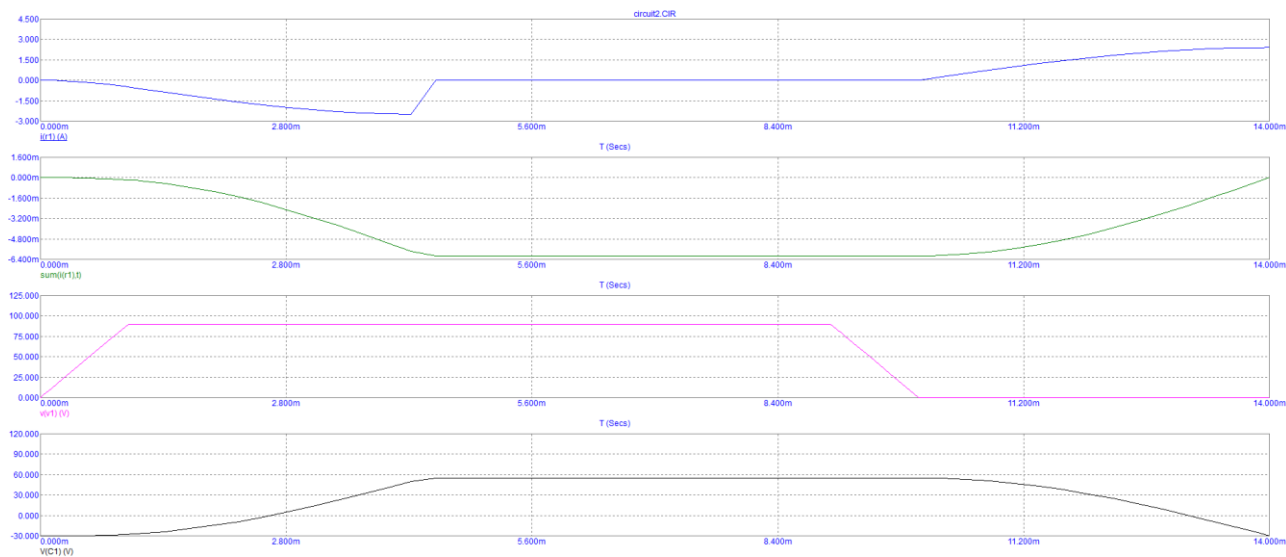


Рисунок 31 – Скриншот получившихся графиков в программе
схемотехнического моделирования Micro-Cap 9

Изучив графики, мы видим, что новая схема моделирует как открытие, так и закрытие пневмоклапана. На втором сверху графике видно, что перемещение подвижной части клапана дошло до 6мм после чего на первом графике скорость клапана резко падает как бы упираясь в стенку. После окончания действия электромагнитной силы на 3м графике, моделируется закрытие клапана под действием сжатой пружины и воздуха.

3.2 Расчет и настройка схемы формирователя тока возбуждения

Мостовая схема с неразделенной обмоткой была выбрана в качестве формирователя тока возбуждения. В приводе нашего пневмоклапана будет применяться электромагнит, который будет перемещать на 6мм тарелку клапана диаметром 2.5 см. Для моделирования схемы формирователя тока возбуждения было принято решение использовать двигатель с силой 60Н. Энергия в конденсаторе должна составлять 0.25 Дж. После срабатывания схемы необходимо подзарядить конденсатор и в качестве его схемы заряда был выбран рассмотренный ранее мост Ларионова. Конденсатор в таком

случае будет иметь емкость 2 мкФ и напряжение на нем при этом составит 540В. Далее подобрали индуктивность обмотки двигателя. Её величина равна 70 Мг. Максимальный ток разряда составляет 10 А.

Моделирование и настройку схемы так же проводили в использовавшейся ранее программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 9. В ней мы построили силовую часть пневмоклапана используя доступные в программе компоненты. Получившаяся схема показана на рисунке 32.

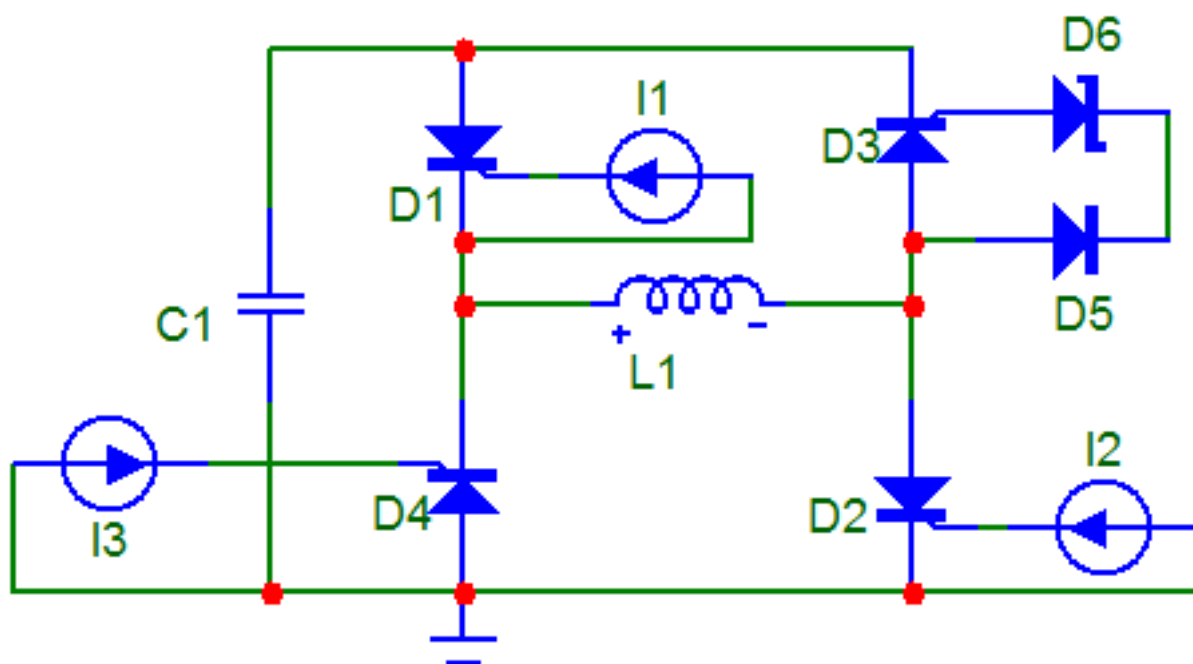


Рисунок 32 – Скриншот программы Micro-Cap 9 и собранная в ней мостовая схема формирователя тока с неразделённой обмоткой

Из-за того, что динистора в этой программе нету, пришлось вместо него установить диод D6 и стабилитрон D6 на 100 вольт, которые были включены встречно. Так же в программе Micro-Cap 9 отсутствуют оптронные тиристоры. Чтобы промоделировать их работу нам достаточно использовать настраиваемые тиристоры, которые имеются в программе. Благодаря этим решениям мы смогли промоделировать работу схемы. Для того чтобы быстро

настроить схему мы использовали специальные источники тока. Их можно настроить на создание импульсных сигналов. Источники I1, I2 и I3 генерируют импульсы, которые имеют время нарастания в 1 микросекунду, ширину в 20 микросекунд и время спада в 1 микросекунду.

На рисунке 33 показано окно параметров источника тока I1. Источник тока I2 имеет точно такие же настройки.

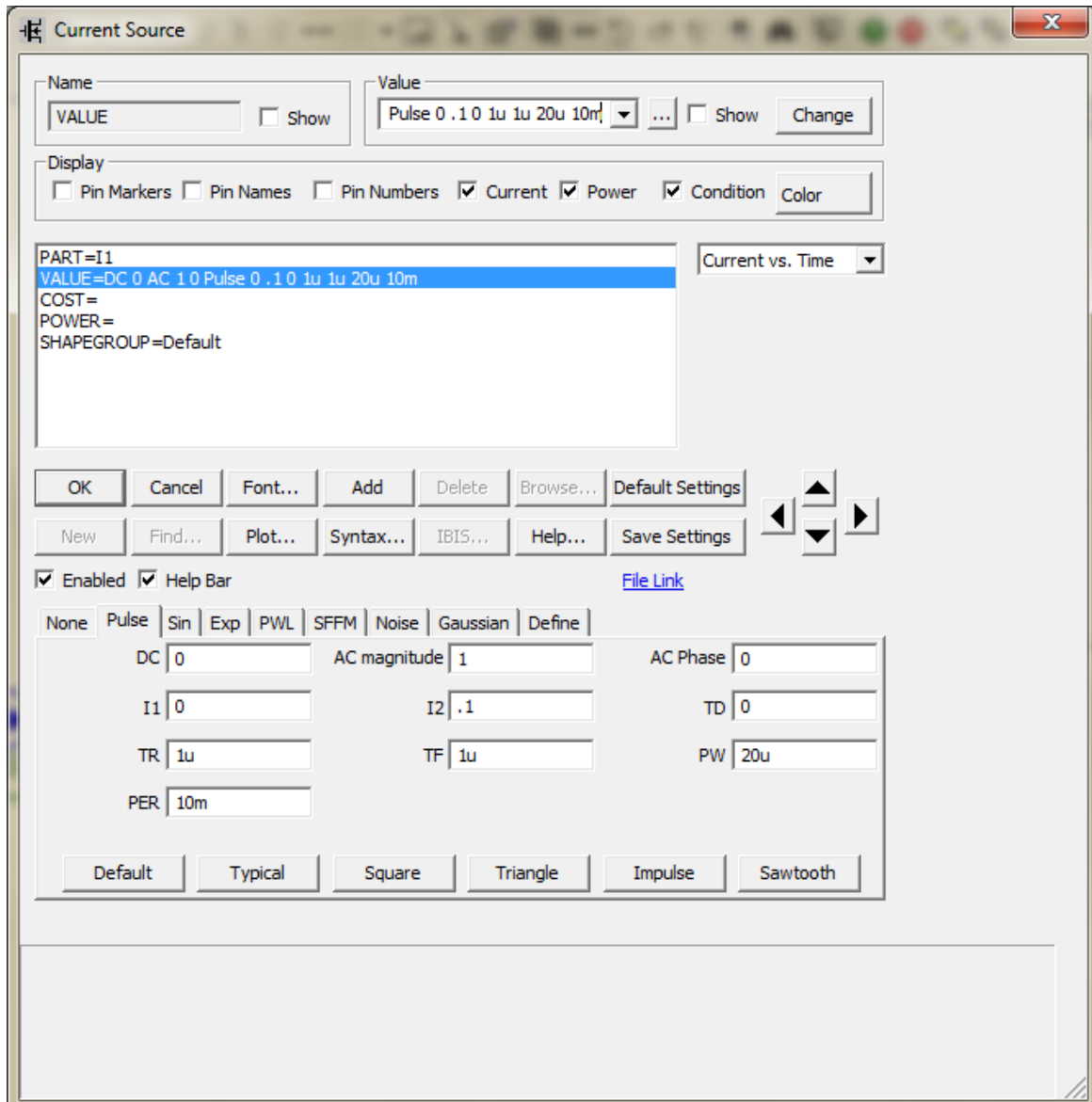


Рисунок 33 - Скриншот окна настроек источника тока I1 в программе Micro-

Источник тока I3 некоторую задержку включения относительно источников I1, I2. Его настройки показаны на рисунке 34.

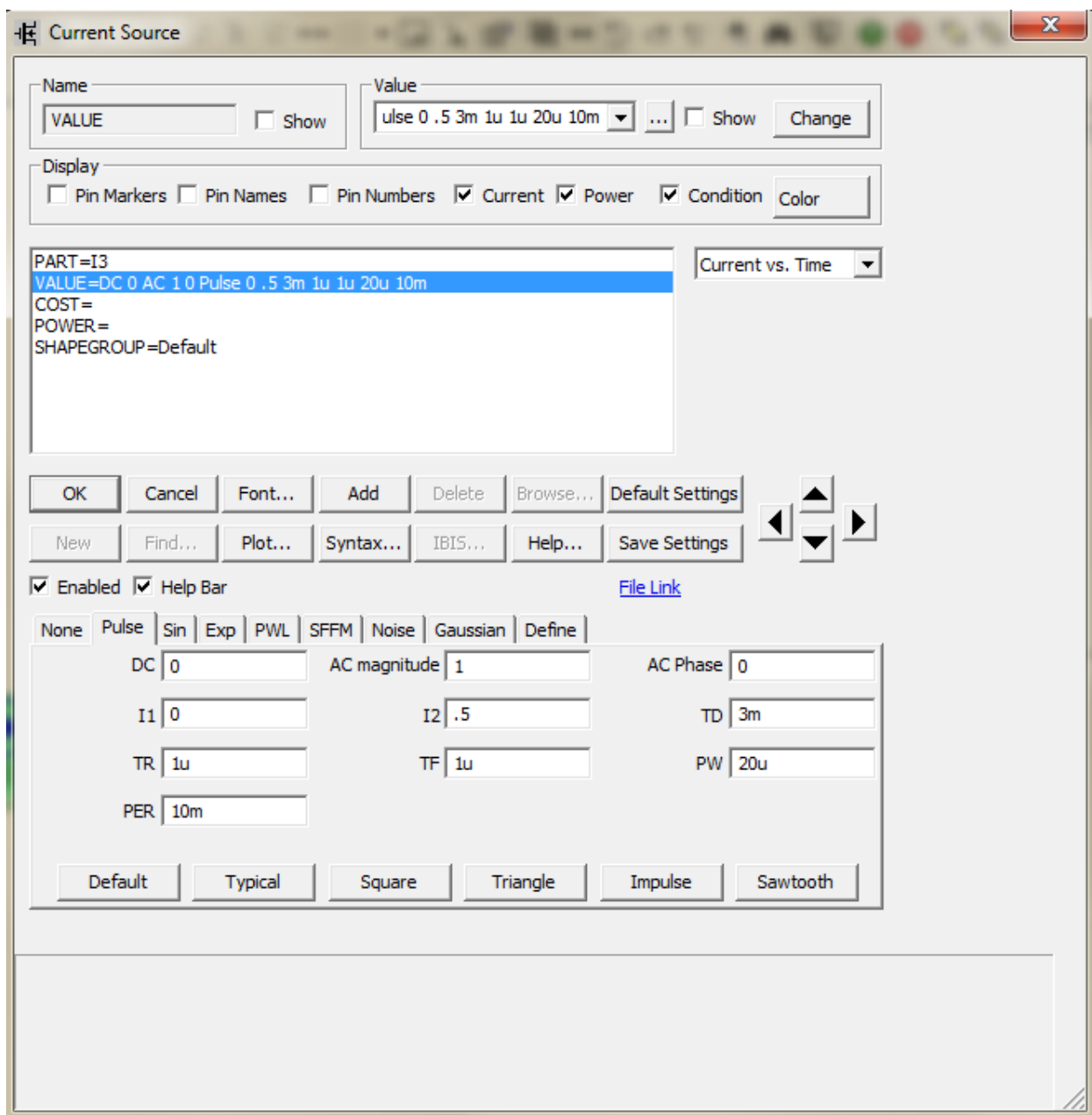


Рисунок 34 - Скриншот окна настроек источника тока I3 в программе Micro-Cap 9

Далее настроили конденсатор C1. Его параметры показаны на рисунке 35.

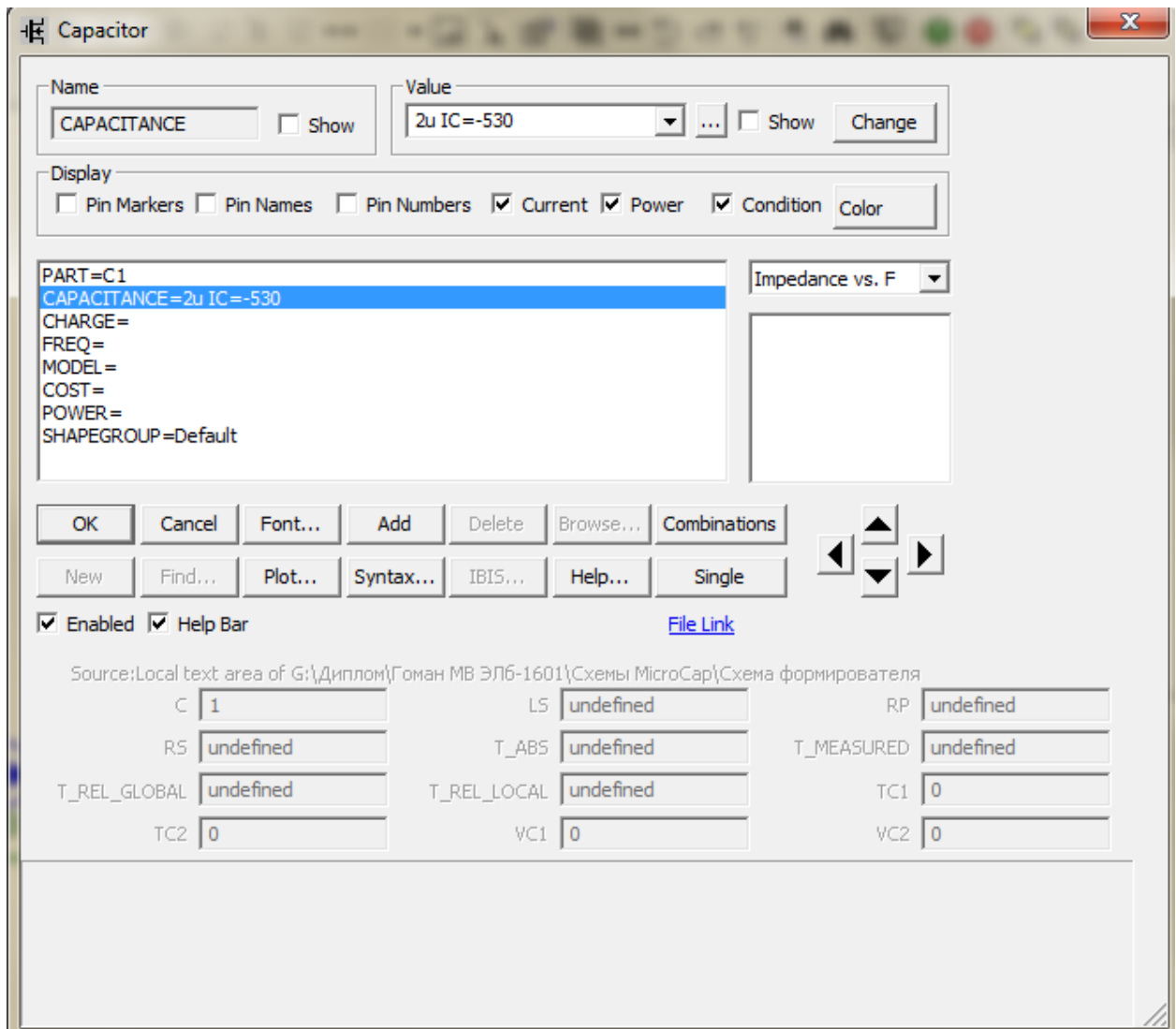


Рисунок 35 - Скриншот окна настроек конденсатора C1 в программе Micro-Cap 9

Затем зададим необходимую индуктивность в катушке L1. Настройки данного элемента показаны на рисунке 36.

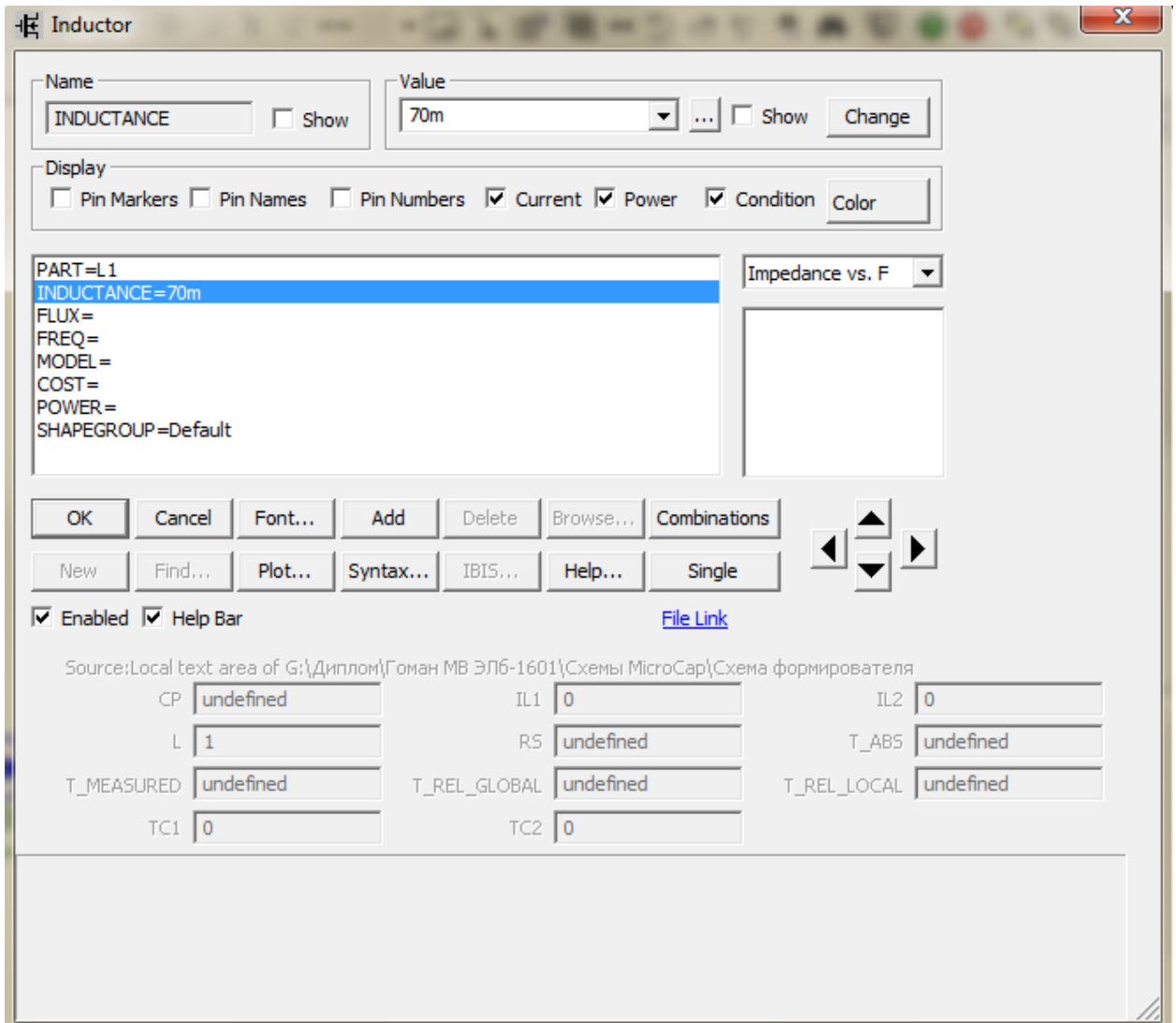


Рисунок 36 - Скриншот окна настроек катушки индуктивности L1 в программе Micro-Cap 9

Далее настроим тиристоры D1, D2, D3, D4. Они имеют одинаковые параметры. На рисунке 37 показаны настройки тиристора D1.

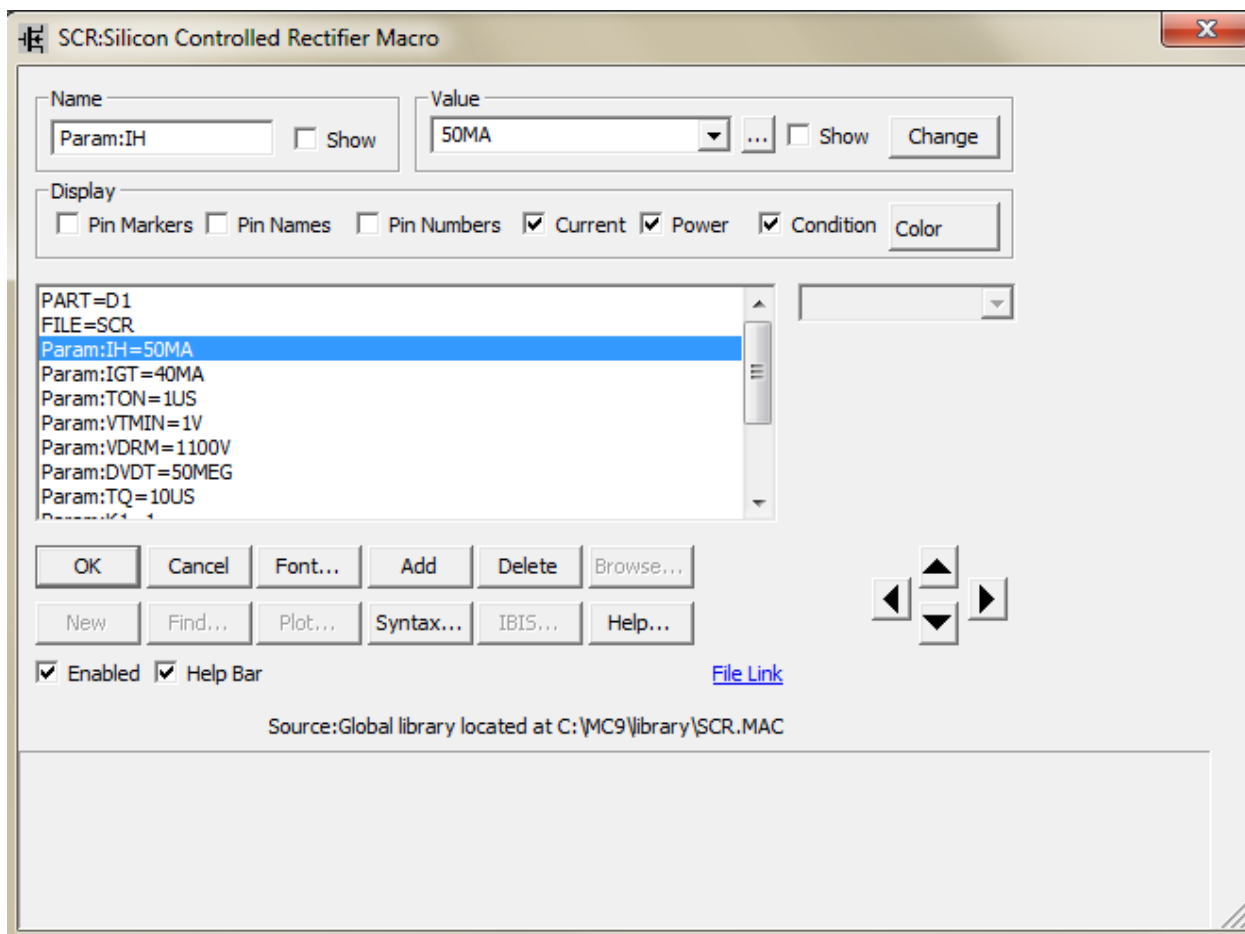


Рисунок 37 - Скриншот окна настроек тиристора D1 в программе Micro-Cap 9

На рисунке 38 изображен скриншот программы Micro-Cap 9 и получившиеся в ней графики работы схемы формирователя тока. Сначала источники тока I1 и I2 подают импульсы (3 и 4 графики соответственно) на тиристоры D1 и D2. Спустя 3 миллисекунды источник тока I3 подает импульс на тиристор D4. Если на тиристоры подавать импульсы, в указанное на графиках время, клапан будет успевать открыться и закрыться за 4 миллисекунды.

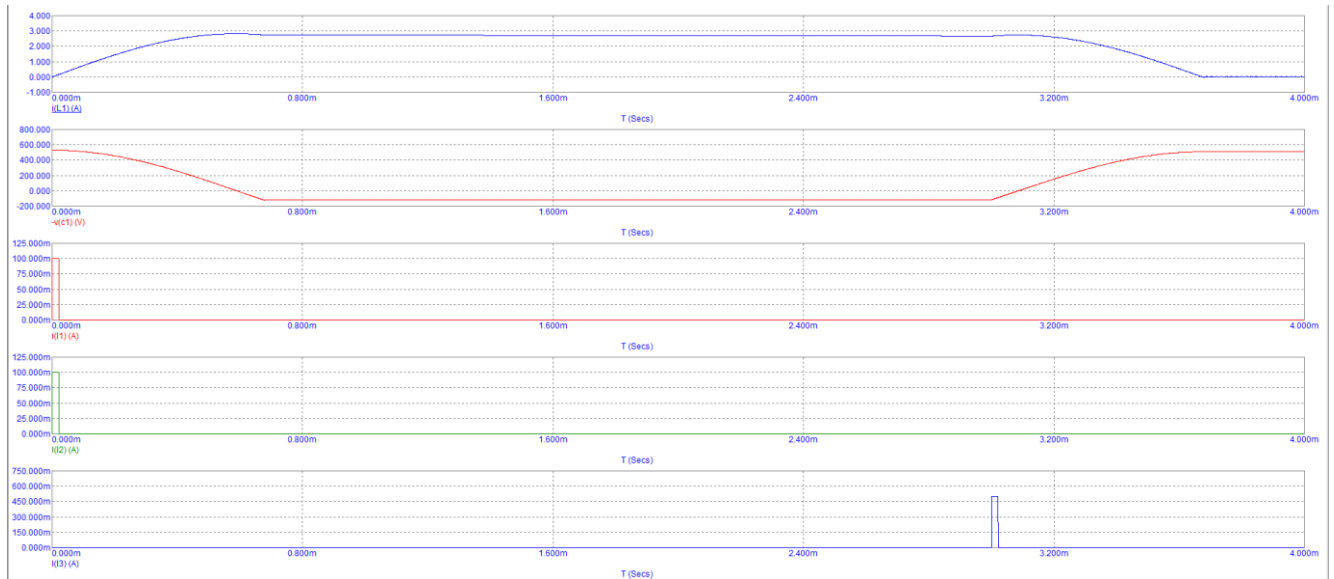


Рисунок 38 - Скриншот программы Micro-Cap 9 и получившиеся в ней графики работы схемы формирователя тока

В качестве силовых тиристоров были подобраны оптотиристорные модули МТОТО8/3-160-12 [21],[22]. Они включают в себя 2 оптотиристора. Значит для нашей схемы понадобится 2 таких модуля. На рисунке 39 изображены габариты одного такого модуля и его принципиальная схема.

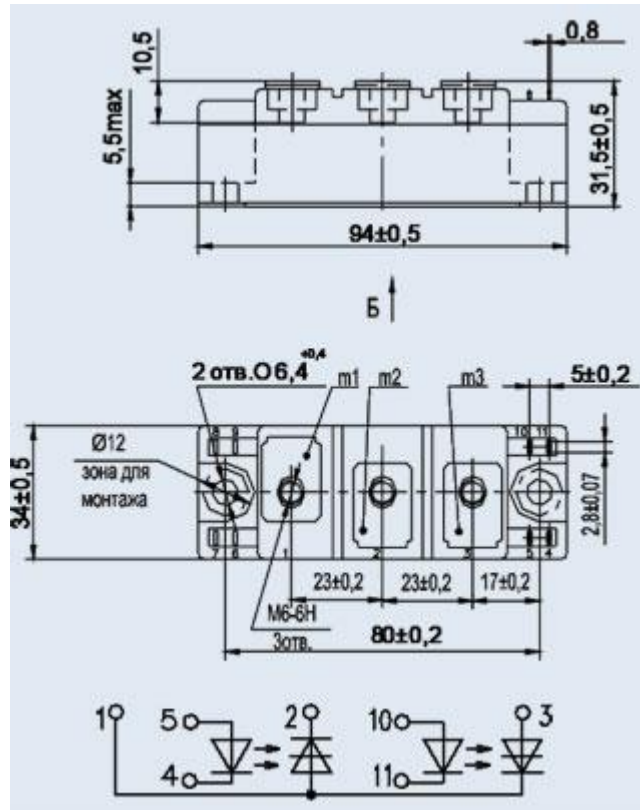


Рисунок 39 - Оптотиристорный модуль MTOTO8/3-160-12

Расшифровка маркировки модуля MTOTO8/3-160-12:

М - модуль;

ТО - вид первого элемента модуля: ТО - оптотиристор;

ТО - вид второго элемента модуля: ТО - оптотиристор;

8/3 - порядковый номер разработки и конструктивного исполнения;

160 - число, равное значению максимально допустимого среднего тока в открытом состоянии амперах;

12 - число, обозначающее класс по повторяющемуся импульсному обратному напряжению в сотнях вольт.

На рисунках 40 и 41 изображены параметры оптотиристорного модуля MTOTO8/3-160-12.

| Наименование оптотиристорного модуля | Максимально допустимые значения параметров при $T_p=100^\circ\text{C}$ | | | | | | |
|--|--|-------------------|-------------------|-----------|--------|--------------------|--------------------|
| | $I_T(AV)$ | U_{DRM}/U_{RRM} | I_{DRM}/I_{RRM} | I_{TSM} | r_T | $(du_D/dt)_{crit}$ | $(di_T/dt)_{crit}$ |
| | А | В | мА | А | Ом | В/мкс | А/мкс |
| МТ0Т08/3-160-12 | 160 | 1200 | 15,0 | 3300 | 0,0011 | 10...1000 | 100 |

Рисунок 40 - Максимально допустимые значения параметров МТ0Т08/3-160-12 при $T_p=100^\circ\text{C}$

| Наименование оптотиристорного модуля | Значения параметров при $T_p=25^\circ\text{C}$ | | | | | | | | | T_j |
|--|--|-------------|-------------------|-------|----------|----------|----------|-------|------------|------------|
| | U_{TM} | $U_{T(TO)}$ | i^2t | I_H | I_{GT} | U_{GT} | t_{gd} | t_q | R_{thjc} | |
| | В | В | кА ² с | мА | мА | В | мкс | мкс | °С/Вт | |
| МТ0Т08/3-160-12 | 1,6 | 1,0 | - | 100 | 80 | 1,8 | - | 250 | 0,2 | -40...+100 |

Рисунок 41 - Максимально допустимые значения параметров МТ0Т08/3-160-12 при $T_p=25^\circ\text{C}$

3.3 Расчет и настройка схемы управления формирователем тока возбуждения

Чтобы в силовой части управлять схемой формирователя тока возбуждения было решено использовать систему управления, построенную на трёх микросхемах таймера КР1006ВИ1. Работа данной схемы была промоделирована в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 9. Эти микросхемы являются очень популярными и позволяют довольно просто и быстро их настроить. Две из трех микросхем таймера нужны для подачи импульсов на силовые тиристоры VS1, VS2 и VS3 в формирователе тока возбуждения. Оставшаяся микросхема таймера была подключена в роли генератора импульсов находящемся в ждущем режиме. Эта микросхема

таймера позволяет выставить настраиваемую задержку между включением тиристора VS3 относительно VS1 и VS2. На рисунке 42 как раз показан генератор импульсов на микросхеме КР1006ВИ1 находящийся в ждущем режиме[11],[12],[14].

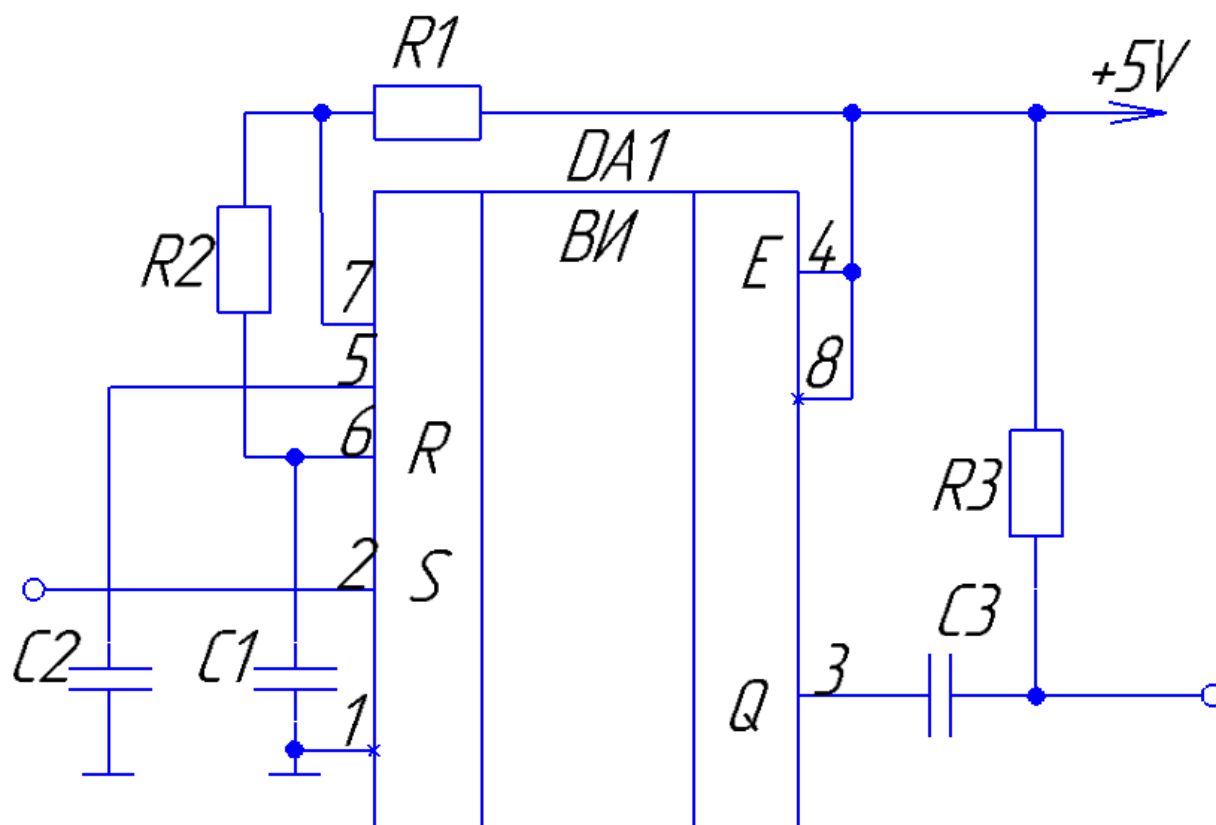


Рисунок 42 – Принципиальная схема генератора импульсов на микросхеме КР1006ВИ1 находящемся в ждущем режиме

Находящиеся на схеме элементы имеют следующие номиналы: $C1 = 0.2$ мкФ, $C2 = 0.1$ мкФ, $C3 = 10$ нФ, $R1 = 10$ кОм, $R2 = 1.5$ кОм, $R3 = 1$ кОм.

Применив полученные ранее знания о принципе работы КР1006ВИ1 мы смогли собрать в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 9 схему управления, которая будет управлять тиристорами силовой части пневмоклапана и системой подзарядки конденсатора. На рисунке 43

изображен скриншот программы Micro-Cap 9 в которой была собрана озвученная ранее схема.

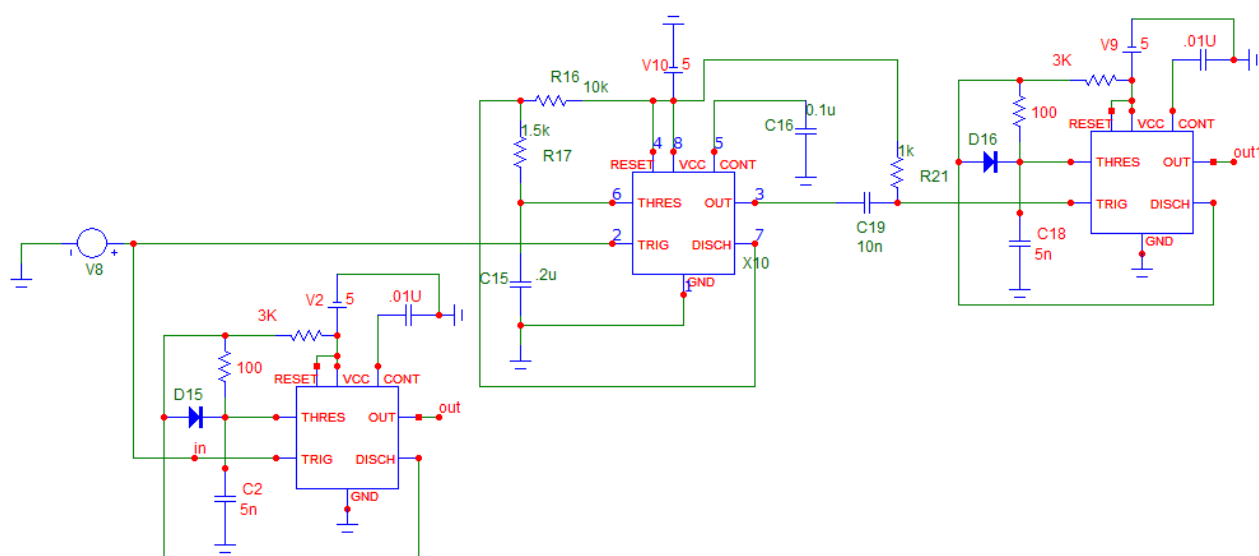


Рисунок 43 – Скриншот программы Micro-Cap 9 и собранная в ней схема управления тиристорами силовой части и системой подзарядки конденсатора

Источник напряжения VB имитирует импульс, поступающий с фотодетектора при обнаружении ценного куска породы, который необходимо сбить выстрелов в сторону. Этот импульс отрицательным фронтом сигнала активирует схему управления.

Самая крайняя слева микросхема способна генерировать 18 микросекундный импульс. Этот импульс с выхода таймера попадает на управляющий переход тиристоров VS1 и VS2, которые находятся в силовой части пневмоклапана. Импульс способствует открытию данных тиристоров.

Находящийся в центре таймер запускается одновременно с левым и генерирует импульс продолжительностью 2.5 миллисекунды. Он выступает в роли задержки перед включением крайнего правого таймера. Соответственно когда импульс с среднего таймера кончается, он отрицательным фронтом запускает крайний правый таймер.

Находящийся справа таймер генерирует 18 микросекундный импульс. Этот импульс с выхода таймера попадает на управляющий переход тиристора VS4, который находится в силовой части пневмоклапана. Этот импульс способствует открытию данного тиристора. Графики работы схемы управления показаны на рисунках 44-50.

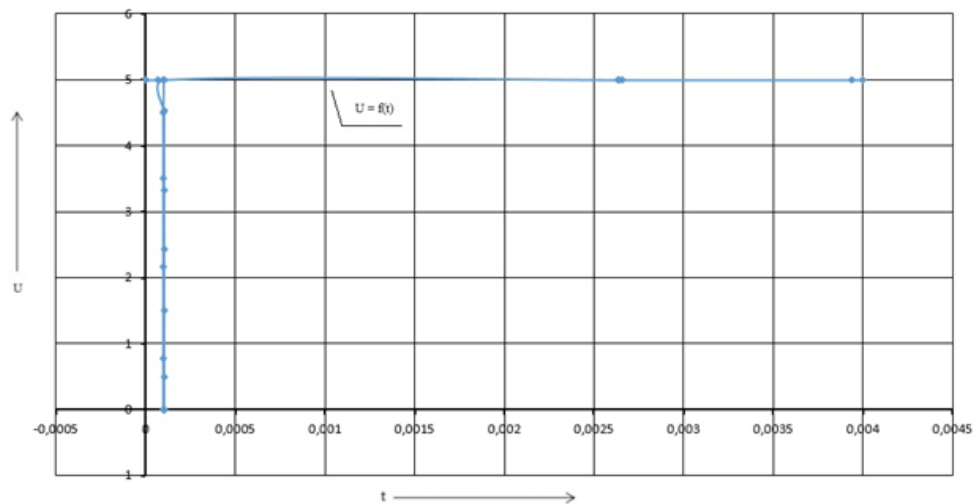


Рисунок 44 – Импульс, подаваемый на схему управления для ее запуска

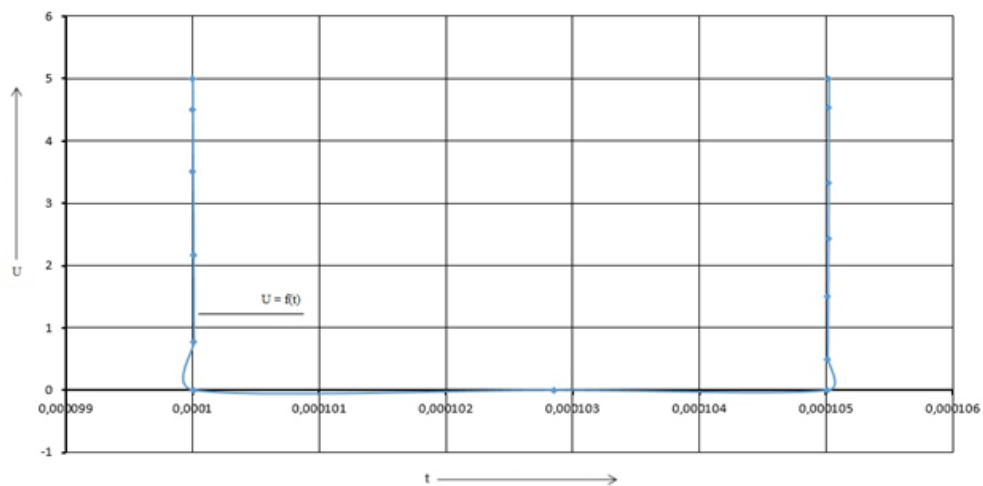


Рисунок 45 – Импульс, подаваемый на схему управления для ее запуска, изображенный в увеличенном масштабе

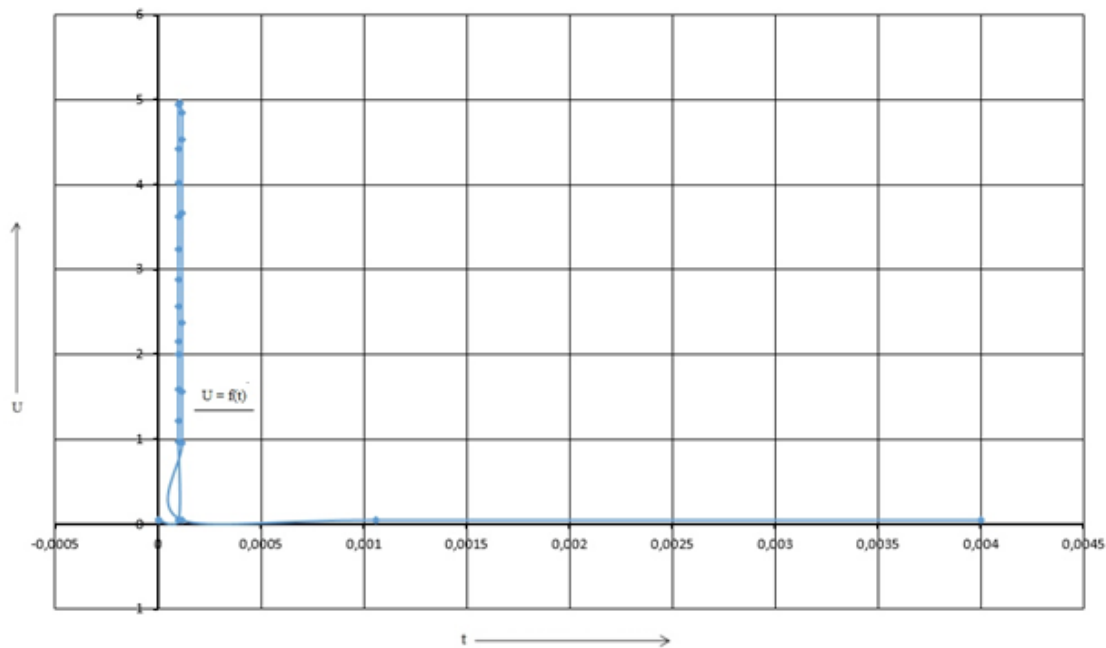


Рисунок 46 – Импульс первого таймера, предназначенный для открытия тиристоров VS1, VS2

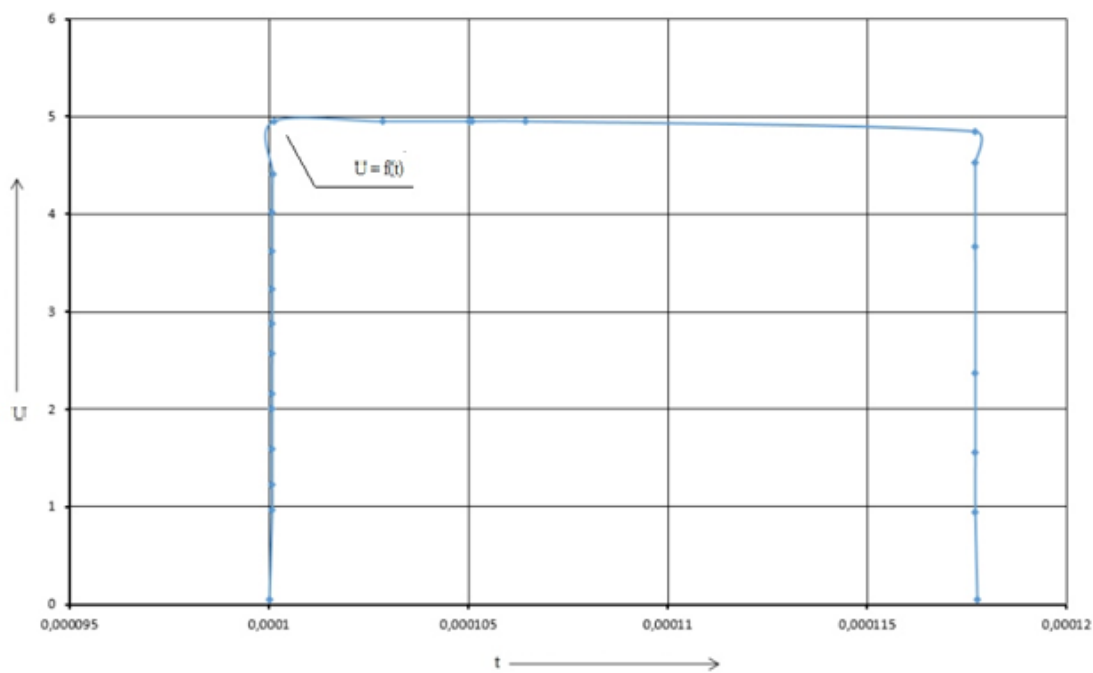


Рисунок 47 – Импульс первого таймера, предназначенный для открытия тиристоров VS1, VS2, изображенный в увеличенном масштабе

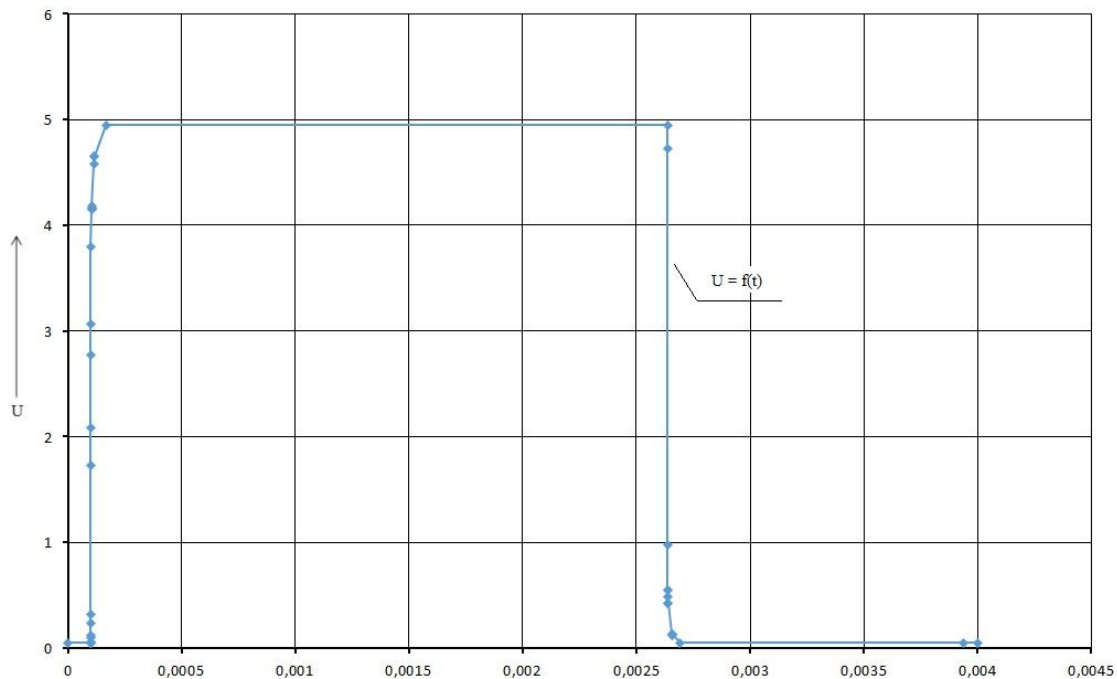


Рисунок 48 – Импульс задержки с выхода второго таймера

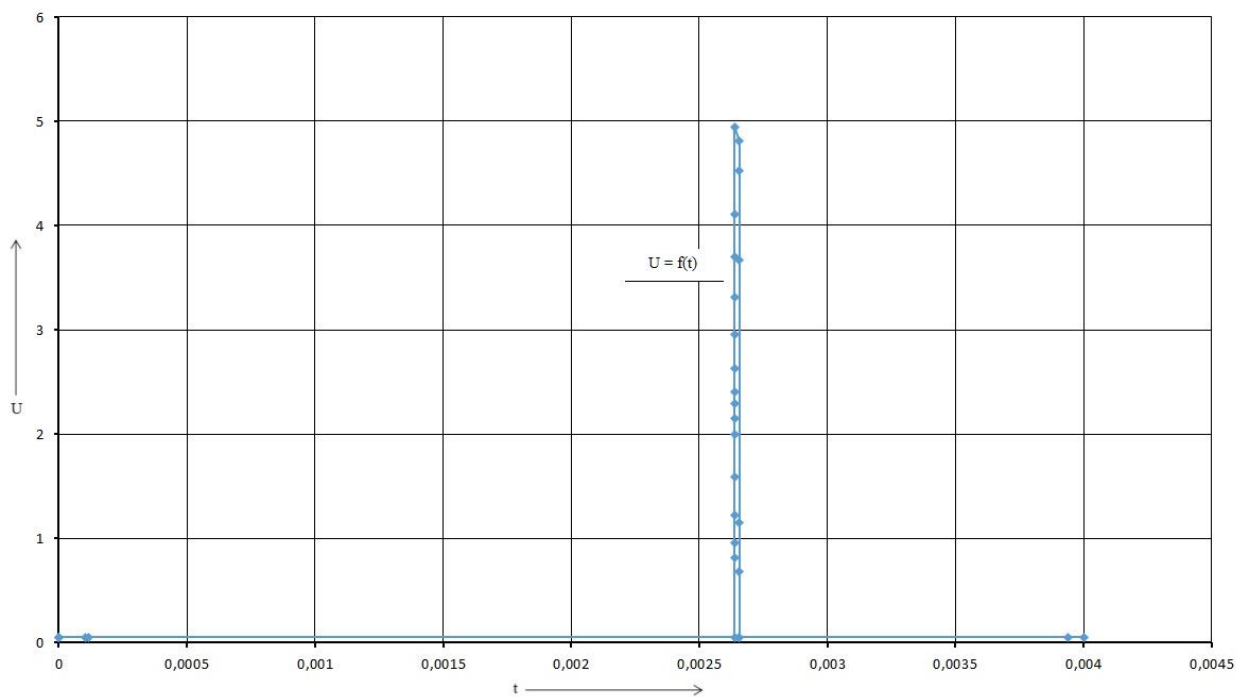


Рисунок 49 – Импульс второго таймера, предназначенный для открытия тиристора VS3

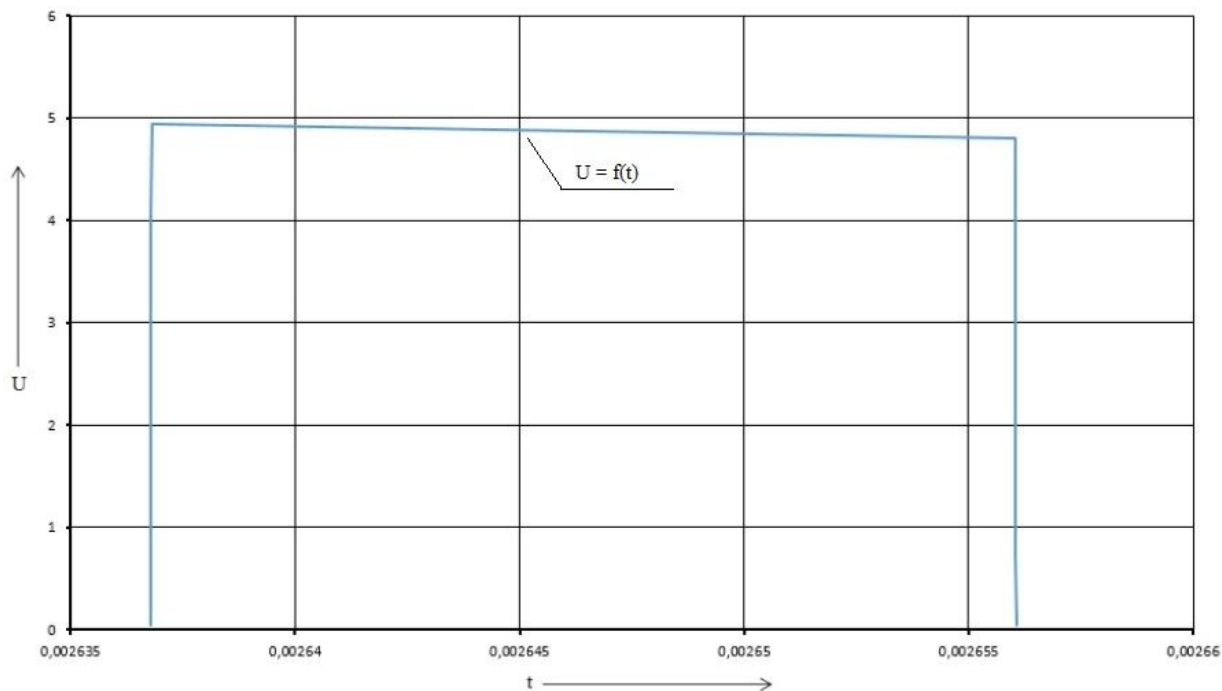


Рисунок 50 – Импульс второго таймера, предназначенный для открытия тиристора VS3, изображенный в увеличенном масштабе

На рисунках 44-45 показан запускающий схему 5 микросекундный импульс. Он приходит с обнаружившего ценный кусок породы датчика.

На рисунках 46-47 показан 18 микросекундный импульс. Данный импульс генерируется на выходе крайнего левого таймера, после того как на вход таймера поступает сигнал запуска. Этот импульс с выхода микросхемы КР1006ВИ1 направляется в силовую часть к оптотиристорам и открывает их VS1 и VS2.

На рисунке 48 можно увидеть 2.5 микросекундный импульс, который генерируется на выходе таймера задержки, находящегося в центре. Этот импульс нужен для настраиваемой задержки перед активацией крайнего правого таймера.

На рисунках 49-50 можно увидеть 18 микросекундный импульс, генерирующийся на выходе крайней правой микросхемы таймера КР1006ВИ1. Этот импульс генерируется после того, как импульс,

генерируемый средней микросхемой, заканчивает свою работу и отрицательным фронтом запускает правый таймер. Этот импульс, генерируемый на выходе правой микросхемы, направляется в силовую часть формирователя тока к оптотиристору VS4 и переводит его в открытое состояние.

На рисунке 51 представлен скриншот программы схемотехнического моделирования Micro-Cap 9 в которой изображены полученные графики работы системы управления.

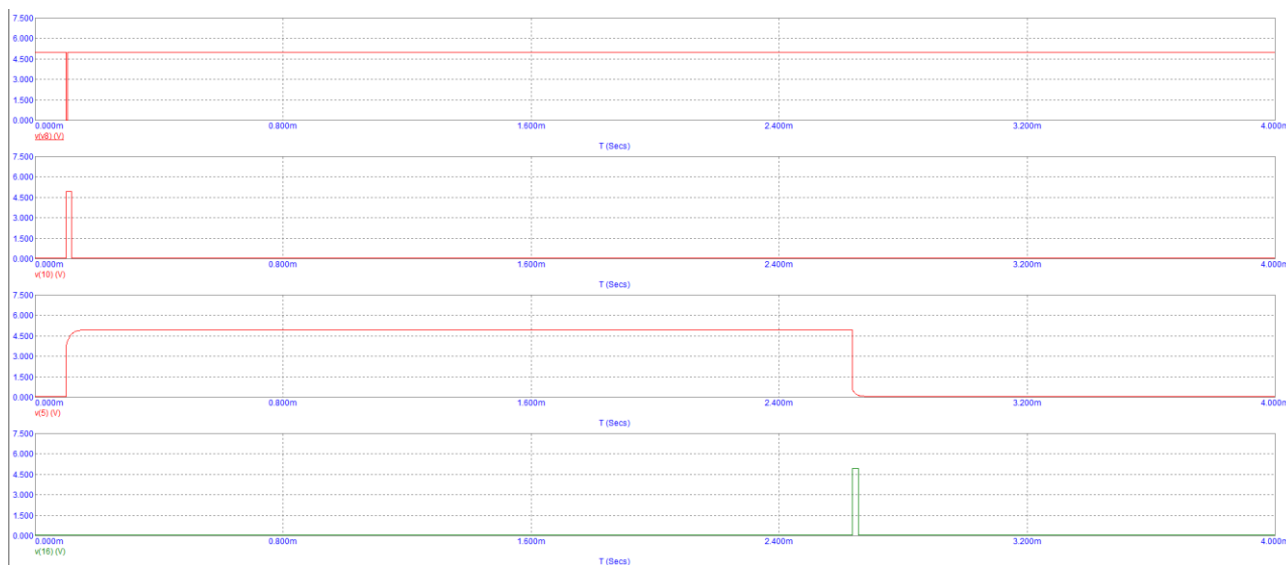


Рисунок 51 - Скриншот программы схемотехнического моделирования Micro-Cap 9 и полученные графики работы системы управления

3.4 Выбор тиристоров для моста Ларионова

В главе 2.5 мы выбрали трёхфазный диодный мост в качестве зарядного устройства для конденсаторного накопителя энергии. Так как с помощью разработанной схемы системы управления нам нужно иметь возможность временно прекращать заряд конденсатора, мы трехфазном выпрямителе заменяем диоды на оптроны. Под наши задачи лучше всего

подошел модуль оптоэмиттерный-диодный МДТО-125 где: М – модуль; Д – диод в качестве первого полупроводникового элемента; ТО – в качестве второго полупроводникового элемента выступает оптоэмиттер; 125 – максимально допустимый средний ток в открытом состоянии. На рисунке 52 показана принципиальная схема такого модуля.

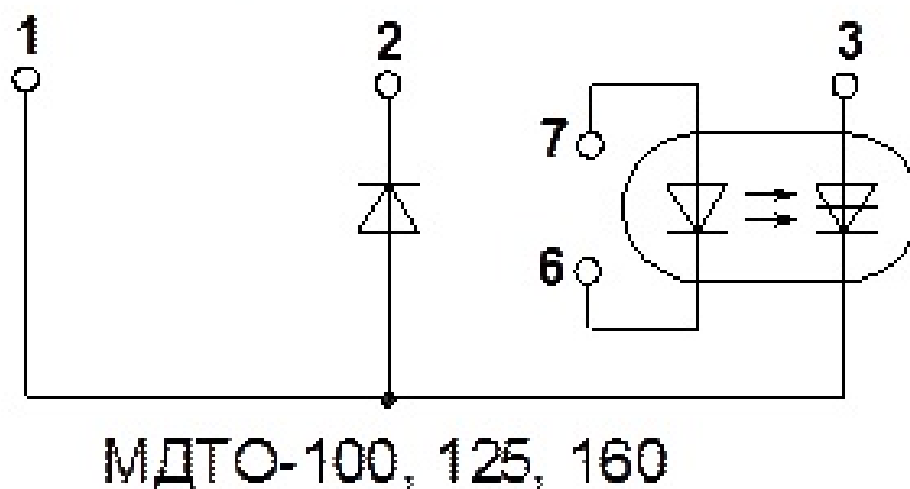


Рисунок 52 – Принципиальная схема МДТО-125

На рисунке 53 показаны параметры МДТО-125.

| Тип Туре | $U_{зкр.и}$ | $I_{зкр.и}$ | $I_{откр.ср.макс}$ $I_{T(AV)}$ | $I_{откр.уд}$ | $U_{пр.и}$ (U_{FM}) | $U_{из}$ (U_{MC}) | $(dU_{закр}/dt)_{crit}$ $(du/dt)_{crit}$ | $U_{от.у.и}$ (U_{GMT}) | $I_{от.у.и}$ (I_{GMT}) | $R_{т.пер-кор}$ $R_{th(j-c)}$ | $T_{пер}$ (T_j) | m (W) | Рис. |
|-------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|------|
| | (U_{DRM}) U_{RRM} | (I_{DRM}) I_{RRM} | | $I_{уд.пр}$ (I_{TSM}) I_{FSM} | | | | | | | | | |
| МДТО-125 | 200-1600 | 15,0 | 125 | 2,8 | 2,2 | 2000 | 20-1000 | 3,0 | 250 | 0,28 | 110 | 0,5 | 6;11 |
| | | | | | | | | | | | | | 6;13 |

Рисунок 53 - Параметры МДТО-125

На рисунке 54 показан трехфазный диодный мост, построенный с использованием МДТО-125 и инвертора.

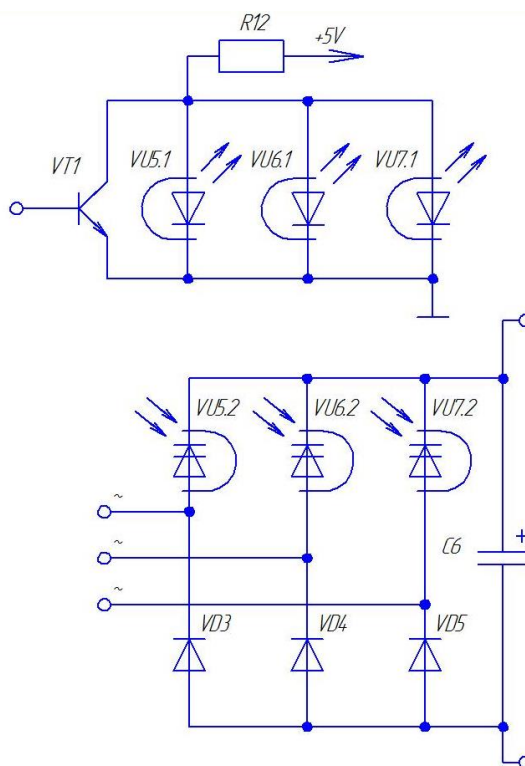


Рисунок 54 - Трехфазный диодный мост Ларионова на оптотиристорах, управляемыми транзистором

На рисунке 55 показана итоговая полная принципиальная схема электрической части электропневмоклапана.

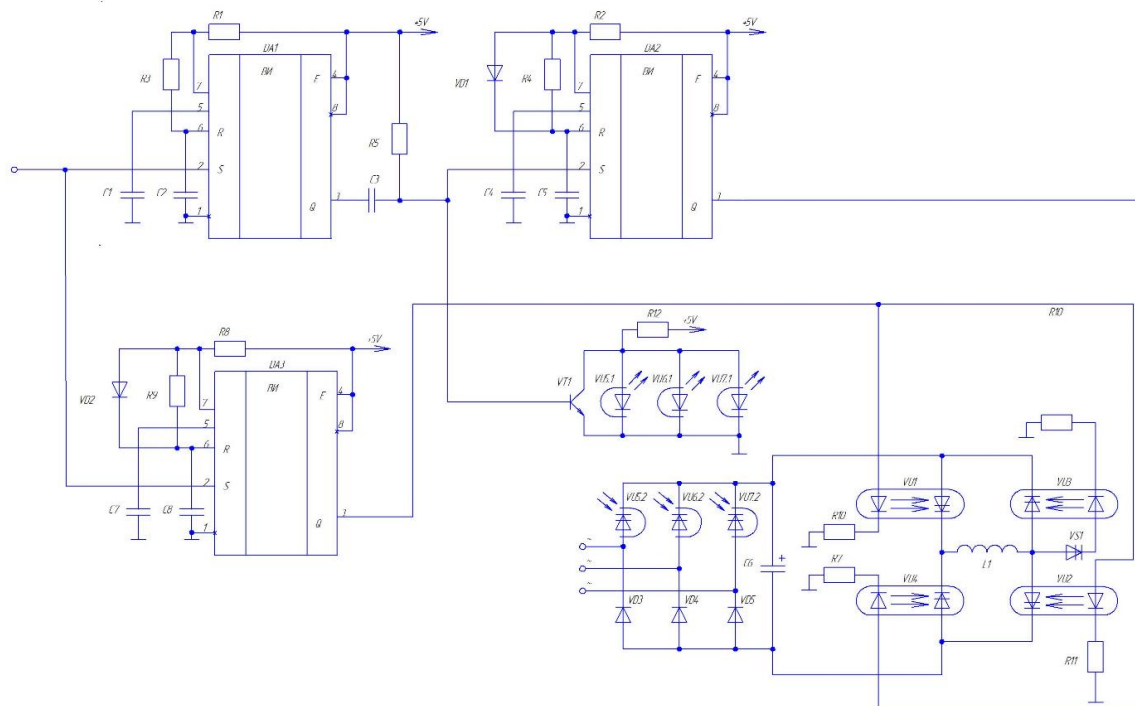


Рисунок 55 – Полная принципиальная схема электропневмоклапана

На этой схеме видно, что система заряда конденсаторного накопителя энергии C_6 , в виде трёхфазного моста, отключается с помощью сигнала с таймера задержки в системе управления. Все выбранные элементы схемы указаны в приложении А.

В этом разделе магистерской диссертации была рассчитана и промоделирована в программе Micro-Cap 9 подвижная механическая часть электропневмоклапана. Далее была выбрана и промоделирована мостовая схема формирователя тока с неразделённой обмоткой. После неё мы занялись построением и моделированием работы схемы управления, состоящую из микросхем таймеров КР1006ВИ1. Изучили полученные графики работы и убедились в корректности работы схемы. Результаты всех проведенных моделирований в программе Micro-Cap были показаны в виде скриншотов и графиков работы схем. В конце раздела была показана полная принципиальная схема электропневмоклапана, состоящая из: системы управления на микросхемах КР1006ВИ1, трёхфазного диодного моста и мостовой схемы формирователя тока с неразделённой обмоткой.

4 Разработка печатной платы

Для разработки и создания электрических схем, а также печатных плат мы использовали изученную нами программу DipTrace[1]. Данная программа состоит из редактора схем, редактора плат, очень полезного редактора компонентов, а также имеет встроенный редактор корпусов компонентов. Еще для компонентов можно создавать 3D корпуса. Это программа имеет крайне удобный и легкий в освоении интерфейс. Рассмотрим, как с помощью этой программы можно легко разрабатывать печатные платы.

Первым делом нужно запустить в программе модуль схемотехники. Это очень важный модуль, в котором необходимо, используя имеющиеся в программе компоненты, построить принципиальную схему разработанного устройства. Поскольку многих необходимых элементов нет в программе, мы можем найти в ней структурно похожие элементы и использовать именно их. Дальше мы сможем легко заменить их на другие. На рисунке 56 изображено окно схемотехнического модуля программы DipTrace. В этом модуле я изобразил разработанную ранее принципиальную схему управления.

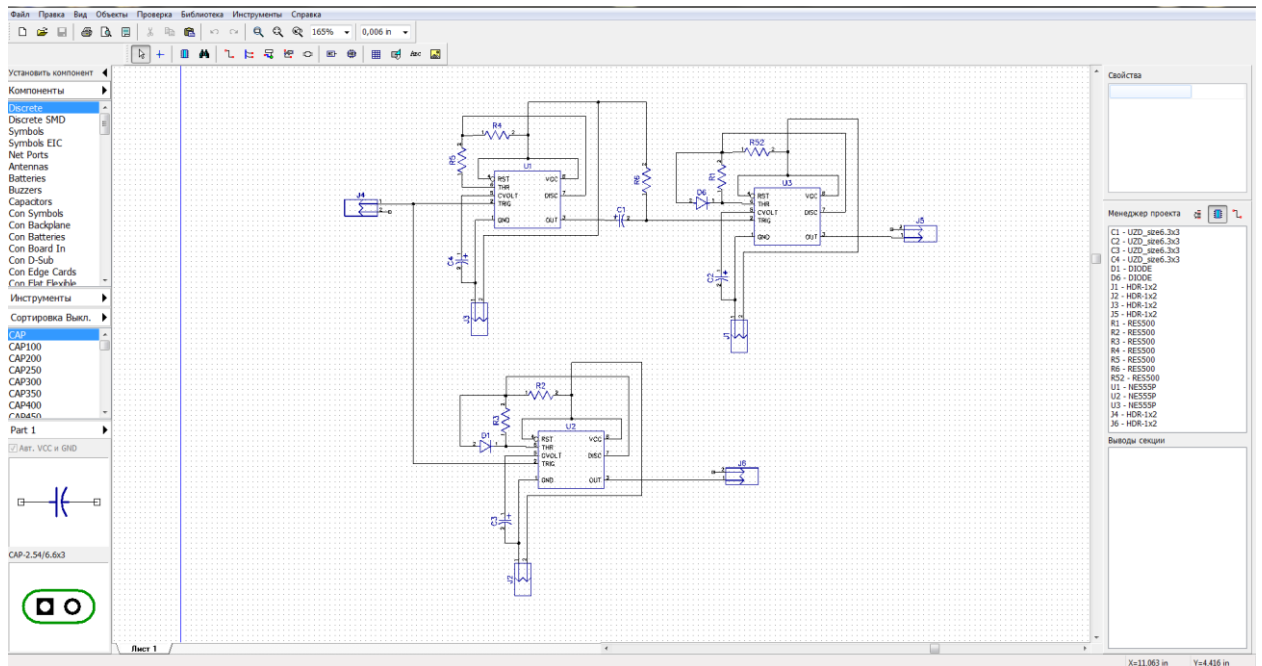


Рисунок 56 – Скриншот окна схмотехнического модуля программы DipTrace и принципиальная схема управления, изображенная в нем.

Затем после построения принципиальной схемы следует этап по настройке связей между элементами, а также при необходимости добавление в схему новых элементов. Для начала этого этапа разработки в программе DipTrace нужно в верхней строке программы найти раздел меню «Файл» и в нем нажать «Преобразовать в плату».

После нажатия этой кнопки запустится другой модуль программы. Этот модуль имеет название PCB Layout. На рисунке 57 показано новое открывшееся окно программы DipTrace. В этом окне мы можем увидеть построенную ранее принципиальную схему. У этой схемы между элементами проведены связи. На данном этапе они заменяют дорожки между ножками элементов.

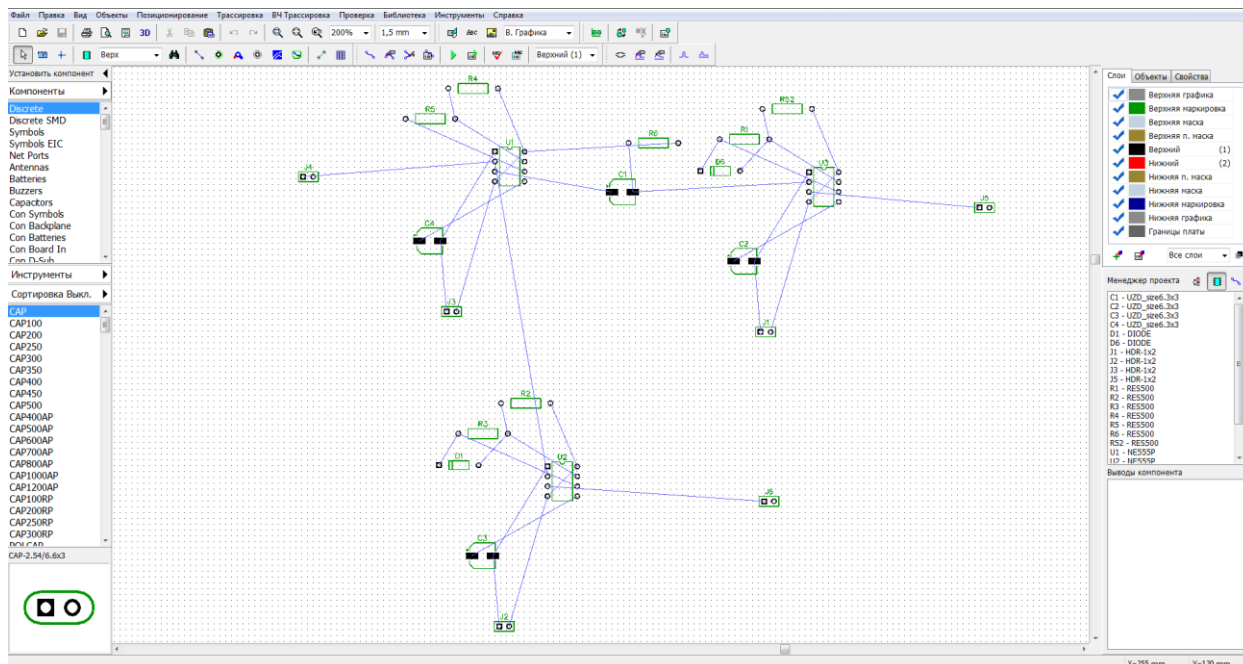


Рисунок 57 – Скриншот программы DipTrace и её модуля PCB Layout

Сперва необходимо проверить правильность всех связей между элементами и при необходимости добавить новые элементы и связи между ними. По причине того, что в первом модуле были использованы конденсаторы, которые не подходят по форме и габаритам к реальным используемым моделям, мне необходимо провести их настройку. Так как в программе отсутствуют некоторые необходимые для схемы элементы и их аналоги, придется создать эти элементы самим. Для этого нужно запустить следующий модуль под названием Pattern Editor. Данный модуль нужен для самостоятельного создания и редактирования корпусов элементов, которые отсутствуют в программе. Из этих элементов можно создавать библиотеки. Этот модуль так же имеет крайне простое управление и интуитивно понятный интерфейс, позволяющий быстро разрабатывать требуемые корпуса.

Как было написано выше, пришлось создать свою пользовательскую библиотеку элементов, состоящую из корпусов используемых конденсаторов, оптотиристоров, динистора и различных используемых в

схеме резисторов. Для создания корпусов этих элементов в сети Интернет были найдены документы, в которых указаны все их характеристики, в том числе и размеры самих корпусов. Создание собственной библиотеки элементов не требует от пользователя много времени и знаний. Новым элементам не обязательно точно рисовать корпус и соблюдать его размеры. Можно и вовсе обойтись без корпуса. Главным требованием является точное указание расположения всех ножек элемента, ведь именно они имеют важную роль в печатной плате. На рисунке 58 изображено окно редактора элементов Pattern Editor в программе DipTrace. В этом окне можно увидеть точную модель корпуса одного из созданных ранее элементов. Этим элементом является оптодиристор TO125-12.5-11, который ранее выступал в силовой части.

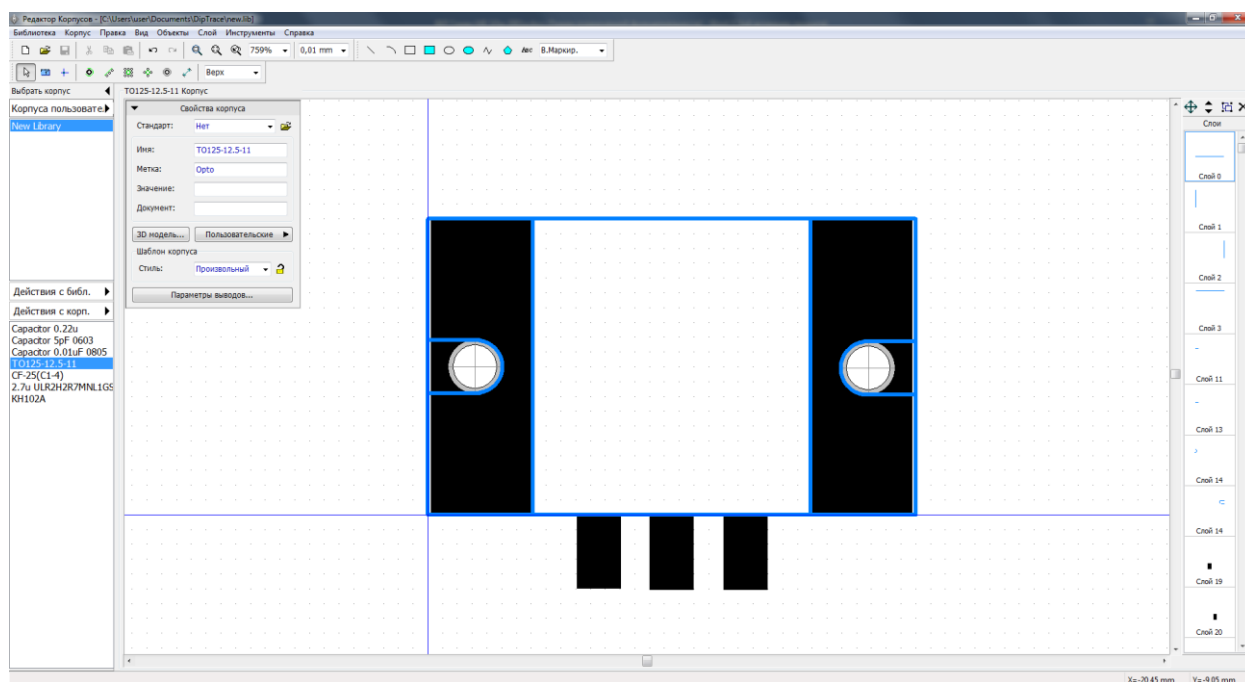


Рисунок 58 – Скриншот окна редактора Pattern Editor и созданный в ручную корпус опториристора TO125-10-11

По завершению создания библиотеки необходимых для схемы корпусов элементов необходимо эту библиотеку подключить к модулю PCB

Layout. После подключения библиотеки можно начать добавление новых элементов и замену не подходящих корпусов на новые. Затем нужно компактно расставить все элементы на схеме. Это можно сделать как вручную, так и в автоматическом режиме. Для экономии времени воспользуемся автоматической расстановкой элементов. Для её запуска необходимо в окне модуля PCB Layout, а именно в верхней его части, найти в меню «Позиционирование». В нем надо нажать на кнопку «Запуск авто-позиционирования». DipTrace сам расставит все элементы как считает нужным и постарается сделать это максимально компактной. После завершения расстановки будут показаны границы получившейся печатной платы. Если нас устраивает полученный результат авто-позиционирования, то мы можем начать прокладывать дорожки между элементами. Это можно сделать вручную или в автоматическом режиме. Для максимальной экономии времени воспользуемся автоматическим режимом. Для его запуска нужно в верхней части окна программы DipTrace найти в меню «Трассировка». Там необходимо нажать на кнопку запуска трассировки. После запуска начнется построение всех трасс между элементами и отверстий под ножки этих самых элементов. В нашем случае трассы проводились с двух сторон так как в настройках программы была активирована соответствующая функция. После окончания авто-трассировки у пользователя появляется возможность вручную добавить какие-либо трассы или изменить уже имеющиеся. По причине того, что результат авто-трассировки меня не очень устроил я решил расположить все элементы платы так, как это выглядело на полной принципиальной схеме разработанного устройства. Получившаяся плата показана на рисунке 59.

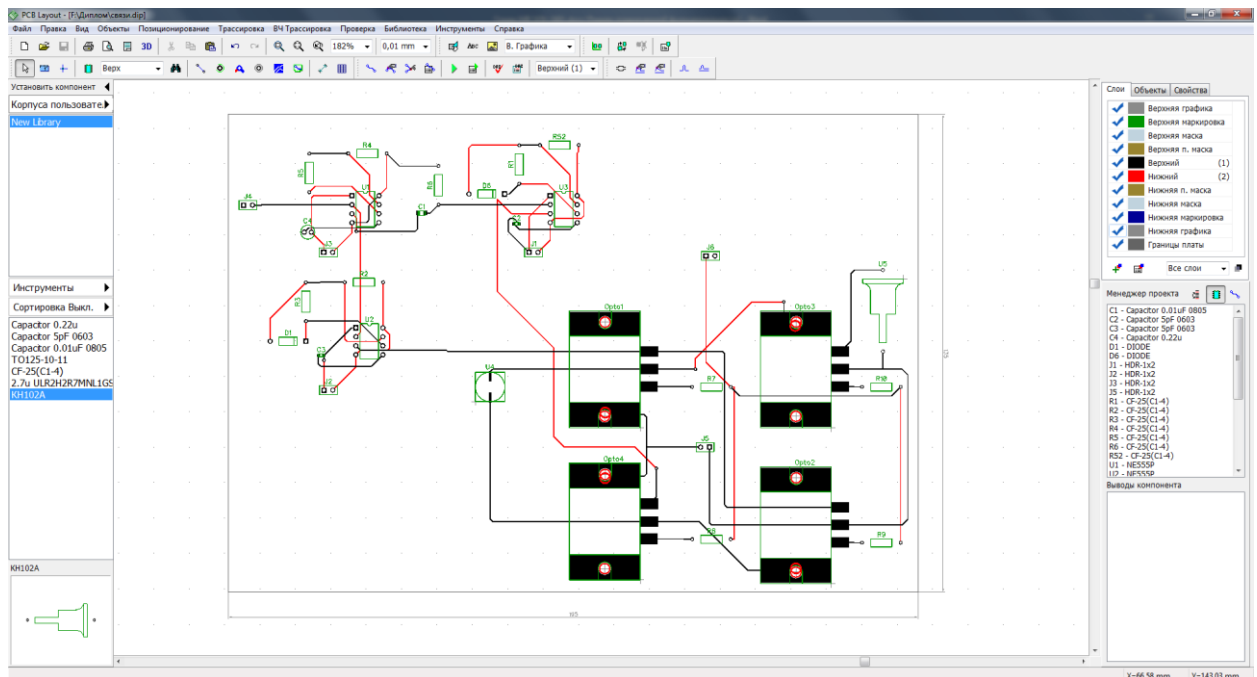


Рисунок 59 – Скриншот модуля PCB Layout и получившаяся, в итоге авто-трассировки и ручной расстановки, печатная плата

После окончания разработки печатной платы в программе DipTrace, её нужно сохранить на своем компьютере. Так как нам нужно построить чертеж получившейся печатной платы её следует экспортировать в соответствующий формат. Для построения чертежа печатной платы и сборочного чертежа использовалась программа Компас 3D.

Рассмотрим, как сделать экспорт разработанной печатной платы в другие форматы. Для этого сначала, как было написано ранее, сохраним получившуюся плату на своем компьютере. Затем в верхней части программы найдем пункт меню «Файл». Там выбираем функцию «Экспорт», чтобы экспортировать плату в другие форматы в том в формат использующийся в программе Компас 3D. На рисунке 60 показан скриншот программы DipTrace и видны различные варианты для экспорта платы. В них можно проводить точную настройку экспорта.

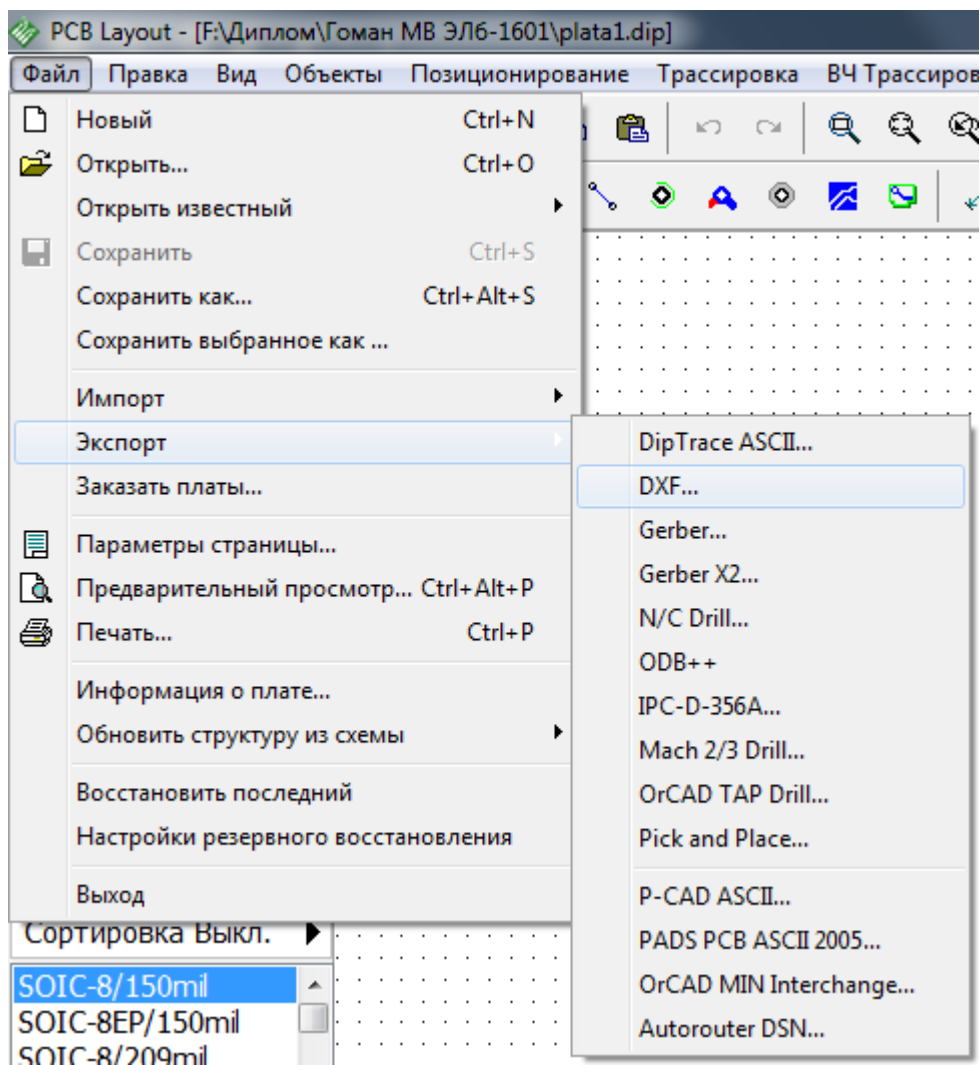


Рисунок 60 – Скриншот окна программы DipTrace и различные варианты для экспорта платы в другие форматы

Компас 3D может открывать и работать с файлами формата DXF. В DipTrace доступен такой формат для экспорта. Он содержит некоторое количество настроек. Все настройки экспорта в данный формат показаны на рисунке 61. С их помощью пользователь может экспортировать каждый слой платы по отдельности, а также экспортировать текст на плате, выводы элементов, трассы, проведенные между элементами, размеры элементов и прочие различные детали получившейся платы. Эти возможности экспорта являются очень полезными и помогли экспортировать плату в удобных для меня вариантов.

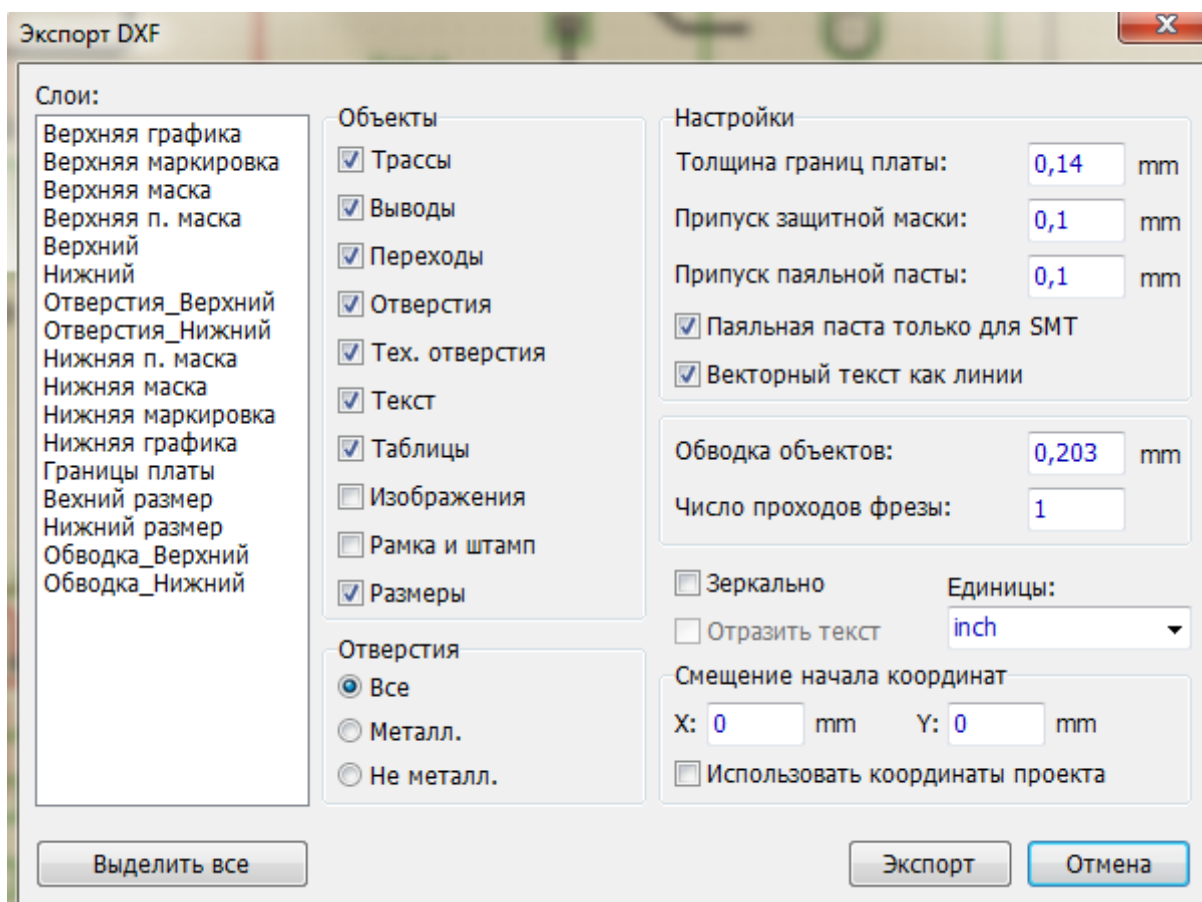


Рисунок 61 – Настройки для вывода в формат DXF

Вывод по разделу

В текущем разделе мы изучили такую программу как DipTrace. Эта программа позволяет создавать различные печатные платы разработанных устройств. Освоили такие модули программы как: редактор схем, редактор плат, редактор компонентов, а также редактора корпусов компонентов. Подробно изучив указанные выше модули освоили принципы построения печатных плат. Создали свою пользовательскую библиотеку недоступных ранее элементов. Изучили возможности программы по экспорту платы в другие форматы. На основе экспортированных слоев платы в дальнейшем оформили необходимые чертежи в программе Компас 3D.

Заключение

Во время выполнения магистерской диссертации, была поставлена задача изучить различные способы обогащения руд и разработать для люминисцентного сепаратора пневмоклапан, который по сигналу с фотодатчика сможет выстреливать сжатым воздухом по пролетающему куску породы и тем самым отсеивать пустую породу от полезной. Разработанный электропневмоклапан должен был иметь тонкую настройку на различные параметры фракций пролетающей мимо него породы. Так же электропневмоклапану нужно было добавить возможность регулировки длительности импульса, открывающим этот клапан на необходимое время. Разработанное устройство действительно наделено этими возможностями и может быть установлено в люминисцентный сепаратор, относящийся к специальному методу обогащения.

В первом разделе данной работы изучены существующие в мире методы по обогащению руды, а также используемые в этих методах схемы устройств по обогащению. Для разработанного устройства выбрали специальный метод обогащения и изученный в нем люминисцентный сепаратор, так как в него возможна установка электропневмоклапана, который будет выступать в роли отсекающей полезной породы от пустой.

Во втором разделе была рассмотрена аппаратная часть разработанного электропневмоклапана. В ней мы изучили устройство пневмоклапана и выяснили из каких основных частей состоит его подвижная часть. Далее мы составили принципиальную схему устройства электропневмоклапана по которой продолжили работу. Принципиальная схема электропневмоклапана состоит из таких элементов как: источник питания, конденсаторный накопитель энергии, зарядное устройство конденсаторного накопителя энергии (мост Ларионова), формирователь тока возбуждения, обмотка электромеханического двигателя электропневмоклапана, устройство управления силовой частью и зарядным устройством. Далее в этом разделе

подробно изучены возможные варианты схем силовой части, а именно для формирователя тока возбуждения. В качестве схемы формирователя тока возбуждения выбрали мостовую схему с неразделённой обмоткой. Затем изучили возможные варианты по созданию схемы управления силовой частью и зарядным устройством. В качестве системы управления решили использовать 3 микросхемы таймера КР1006ВИ1 и на их основе построили довольно простую схему, позволяющую управлять как силовой частью так и зарядным устройством.

В третьем разделе работы начали с расчетов подвижной механической части электропневмоклапана. Затем составили электромеханическую схему замещения подвижной части и промоделировали её работу в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 9, что позволило проверить корректность расчетов и верность подобранной пружины. После этого провели моделирование и настройку мостовой схемы формирователя тока с неразделённой обмоткой в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap 9. Изучили получившиеся графики работы и убедились в корректности нашей настройки. Далее воспользовались полученными ранее знаниями о работе микросхемы таймера КР1006ВИ1 и разработали из трёх таймеров систему управления зарядом конденсаторного накопителя энергии и управления силовой частью электропневмоклапана. Получили и изучили графики работы получившейся схемы и убедились в правильности её настроек.

В четвёртом разделе данной работы изучили программу DipTrace. Изучили её возможности и как с её помощью построить печатную плату для разработанного устройства электропневмоклапана. В данной программе изучили пять её модулей и воспользовались четырьмя из них. Изучили способы по выводу получившейся платы в другие форматы чтобы в дальнейшем на их основе оформить требуемые чертежи в программе Компас 3D.

Список используемой литературы

1. DipTrace. Руководство пользователя
[Электронный ресурс]: URL: https://diptrace.com/books/tutorial_rus.pdf (дата обращения: 21.06.2021)
2. Амелин С.А., Амелина М.А. - Micro-Cap Версии 9 и 10. 2013. 618с.
3. Аникин М.Ф., Иванов В.Д., Певзнер М.Л. - Винтовые сепараторы для обогащения руд. 1970. 185с.
4. Варламов Р.Г., Додик С.Д., Иванов А.И. и др. Под ред. Линда Д.П. - Справочник по радиоэлектронным устройствам: в 2-х томах. 1978.
5. Выпрямитель трёхфазный мостовой
[Электронный ресурс]: URL: <https://electroinfo.net/teorija/trehfaznyj-vyprjamitel.html> (дата обращения: 21.06.2021)
6. Волович Г.И. - Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств. 2011. 76с.
7. Глембоцкая Т.В. - Возникновение и развитие гравитационных методов обогащения. 1991. 256с.
8. Гормаков А.Н., Воронина Н.А. - Конструирование и технология электронных устройств приборов. Печатные платы. 2006. 151с.
9. Деркачи В.Г. - Специальные методы обогащения полезных ископаемых. 1966. 339с.
10. Думов А.М., Пантелеева Н.Ф. - Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. Специальные методы обогащения полезных ископаемых. 2009. 99с.
11. КР1006ВИ1 Альфа Datasheet
[Электронный ресурс]: URL: <https://static.chipdip.ru/lib/508/DOC001508015.pdf> (дата обращения: 21.06.2021)

12. КР1006ВИ1 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.radiolub.ru/uploads/2012pic/kr1006vi1.pdf> (дата обращения: 21.06.2021)
13. Лыкасов А.А., Рысс Г.М., Павловская М.С. - Обогащение руд цветных металлов. 2009. 85с.
14. Мультивибраторы на таймере КР1006ВИ1 (NE555)
URL: <http://radiopolyus.ru/radiolicbez/39-radiokonstruktoru/127-multivibratory-na-na-tajmere-kr1006vi1ne555> (дата обращения: 21.06.2021)
15. Нестеренко И.В., Панасенко В.Н. - Цветовые и кодовые обозначения радиоэлементов. 1994. 46с.
16. Олофинский Н.Ф. - Электрические методы обогащения. 1977. 519с.
17. Петров А.Г. - Специальные главы математики. Метод электромеханической аналогии. 2019. 56с.
18. Пускатели ПМЕ URL: <https://energocode.ru/puskatel-pme/> (дата обращения: 21.06.2021)
19. Рюмик С.М. - 1000 и одна микроконтроллерная схема. 2010.
20. Соломин К.В. - Винтовые сепараторы. 1956. 104с.
21. Тиристорные оптроны ТО125-12.5-х URL: <http://esxema.ru/?p=7155> (дата обращения: 21.06.2021)
22. ТО125-12,5 - тиристор оптронный (оптотиристор) кремниевый диффузионный URL: https://eandc.ru/pdf/silovye-pribory/to125-12_5.pdf (дата обращения: 21.06.2021)
23. Федулова А.А., Устинов Ю.А., Котов Е.П., Шустов В.П., Явич Э.Р. - Технология многослойных печатных плат. 1990. 208с.
24. Хоровиц П., Хилл У. - Искусство схемотехники. 2014. 706с.
25. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. - Гравитационные методы обогащения. 1993. 352с.
26. Charles Platt Encyclopedia of Electronic Components Volume 3
27. Charles Platt Make Electronics: Learning Through Discovery

28. Paul Scherz, Simon Monk Practical Electronics for Inventors, Fourth Edition
29. Wheaton Bradish Kunhardt The Practice of Ore Dressing in Europe: A Description of Foreign Methods for the Mechanical Concentration of Ores, Issue 2 Hardcover – Import
30. Yoshihide Hase, Tanuj Khandelwal, Kazuyuki Kameda Power System Dynamics with Computer-Based Modeling and Analysis

Приложение А

Перечень элементов

| Пер. примен. | | Поз. обозначение | Наименование | Кол. | Примечание | |
|--------------------|--|------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------|--|
| | | VS1 | Диодистор КН102А | 1 | | |
| | | VD1,VD2 | Диод 1N4002 1А 100В | 2 | | |
| | | DA1...DA3 | Микросхема КР1006ВИ1 | 3 | | |
| Справ. № | | VU1...VU4 | Модуль оптодиодный МТОТ08/3-160-12 | 2 | | |
| | | <u>Конденсаторы</u> | | | | |
| | | C2 | ЕСАР (К50-35 мини), 0.22 мкФ, 50 В | 1 | | |
| | | C6 | ULR CAP ALUM 2.7 UF 20% 500V SMD | 1 | | |
| | | C5,C8 | Кер.чип.конд. 0603 COG 5 pF 50 В | 2 | | |
| | | C3 | Кер.чип.конд. 10 пФ NPO 50В 5% 0805 | 1 | | |
| | | <u>Резисторы</u> | | | | |
| Подл. и дата | | R4,R9 | CF-25 (1-4) 0.25 Вт, 100 Ом, 5% | 2 | | |
| | | R5,R7,R10,R11 | CF-25 (1-4) 0.25 Вт, 1 кОм, 5% | 5 | | |
| Инв. № дораб. | | R3 | CF-25 (1-4) 0.25 Вт, 15 кОм, 5% | 1 | | |
| | | R2,R8 | CF-25 (1-4) 0.25 Вт, 3 кОм, 5% | 2 | | |
| Взам инв. № | | R1 | CF-25 (1-4) 0.25 Вт, 10 кОм, 5% | 1 | | |
| | | | | | | |
| Подл. и дата | | | | | | |
| | | | | | | |
| Инв. № подл. | | 22-110404.372 \ 09.298.01 ЭЗ | | | | |
| | | Изм. Лист | № докум. | Подл. | Дата | |
| | | Разраб. | Гоман МВ | | | |
| | | Проб. | Левчев ВЛ | | | |
| | | Н.контр. | Левчев ВЛ | | | |
| | | Утв. | Шевцов АА | | | |
| Перечень элементов | | | | Лит. | Лист | |
| | | | | | Листов | |
| | | | | | 1 | |
| | | | | ТГУ, ЭЛМ-2001а | | |
| Копировал | | | | Формат А4 | | |

Рисунок А.1 - Перечень элементов разработанной схемы