

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 Разработка и исследование макета индукционно-динамического двигателя и его системы питания

Студент

И.В.Гончаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, А.В. Прядилов

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

Тольятти 2020

Содержание

| | |
|--|----|
| Перечень сокращений, условных обозначений | 4 |
| Введение..... | 5 |
| 1. Современные конструкции ИДД..... | 7 |
| 2. Постановка задач исследования | 14 |
| 3. Выбор материала для создания стенда | 16 |
| 4. Разработка схемы ИДД..... | 18 |
| 4.1 Разработка схемы зарядного устройства..... | 18 |
| 4.2 Разработка схемы емкостного накопителя..... | 19 |
| 4.3 Разработка схемы силового ключа..... | 21 |
| 5. Подбор комплектующих для схемы ИДД | 26 |
| 5.1 Подбор комплектующих для схемы зарядного устройства | 26 |
| 5.2 Подбор комплектующих для емкостного накопителя энергии | 32 |
| 5.3 Подбор комплектующих для силового ключа..... | 34 |
| 5.4 Подбор материалов, проектирование и создание катушки возбуждения и якоря ИДД..... | 37 |
| 5.5 Подбор измерительного шунтирующего резистора..... | 48 |
| 6. Сборка электрической схемы стенда. | 51 |
| 6.1 Сборка зарядного устройства ИДД..... | 51 |
| 6.2 Сборка емкостного накопителя энергии ИДД..... | 52 |
| 6.3 Сборка силового ключа и катушки ИДД..... | 54 |
| 7. Проектирование внешнего вида стенда..... | 57 |
| 8. Сборка лабораторного стенда по исследованию ИДД..... | 59 |
| 9. Расчет затрат на проектирование и разработку лабораторного стенда по исследованию ИДД..... | 64 |

| | |
|---|----|
| 10. Методика работы со стендом..... | 67 |
| Заключение | 68 |
| Список используемой литературы | 69 |
| Приложение А «Перечень элементов схемы ИДД» | 73 |

Перечень сокращений, условных обозначений

ИДД – индукционно-динамический двигатель

ИДП – индукционно-динамический привод

МС – магнитная система

ЕНЭ – емкостной накопитель энергии

МП – магнитный поток

ЭС – электродинамическая сила

УЭВ – ударное электромагнитное воздействие

ЗУ – зарядное устройство

СУ – система управления

ФИТ – формирователь импульсов тока

E_k - кинетическая энергия

КПД – коэффициент полезного действия

Введение

В современном мире индукционно-динамический двигатель нашел широкое применение в разных областях промышленности и исследованиях, так как он показывает огромную кинетическую энергию для линейно движущего тела, а так же показывает хорошее ударное электромагнитное воздействие.

Благодаря таким свойствам, индукционно-динамический привод начали применять в геофизике, и взрывная сейсмическая разведка сменилась на невзрывную сейсморазведку. Невзрывная сейсморазведка имеет ряд преимуществ:

- Не создаются лишние(паразитные) колебания,
- Не наносится геологический вред окружающей среде,
- Нет взрывчатых веществ, и не требуется специально обученный персонал
- Нет необходимости подготавливать местность для геологической разведки

Так же ИДД применяют в пускозащитной аппаратуре, для увеличения быстродействия или же в станках общепромышленного назначения. Например, в станках для уплотнения порошковых материалов, прессовки или резки металла. Но во всей выше перечисленной аппаратуре используются двигатели с опасным для человека напряжением от 220В и выше.

Целью данной работы является разработка и создание лабораторного стенда по исследованию индукционно-динамического привода и процессов протекающих в нем.

Преимуществами созданного стенда будут его небольшие габариты, стоимость и масса. Так же планируется, что двигатель будет работать на безопасном для человека напряжении 50В. К тому же благодаря

компактным размерам и безопасному напряжению работы двигателя, стенд, возможно, демонстрировать на различных выставках и днях открытых дверей или же использовать его для проведения лабораторных работ.

Так же преимуществом созданного стенда является возможности изменения начальных параметров двигателя, например: изменение напряжения на емкостном накопителе энергии, емкость ёмкостного накопителя энергии или толщину якоря ИДД. Благодаря большому выбору изменяемых параметров можно более детально изучить работу ИДД.

На корпус стенда выведены зажимные клеммы позволяющие снимать временные диаграммы напряжения на емкостном накопителе энергии и временные диаграммы тока на катушке возбуждения.

Выполнение заданий на таком стенде поможет студентам разобраться в принципе действия такого двигателя, наглядно увидеть его работу, разобраться в процессах, протекающих в двигателе во время его работы.

1. Современные конструкции ИДД

Индукционно-динамический двигатель – это устройство, преобразующее электрическую энергию в механический импульс. Работа ИДД обеспечивает максимальную E_k для линейно перемещаемого объекта. Однако простые ИДД имеют довольно низкий КПД, как правило, не более 10-15%.

ИДД представляет систему связанных между собой устройств, которые служат для выполнения необходимых задач и их циклов. Благодаря работе каждого элемента и обеспечивается работоспособность двигателя.

Существует огромное количество исполнений и конструкций индукционно динамических приводов. Почти все они состоят из: зарядного устройства (ЗУ), емкостного накопителя энергии (ЕНЭ), ключа, катушки возбуждения и якоря.

Простейшая схема ИДД представлена на рис.1.

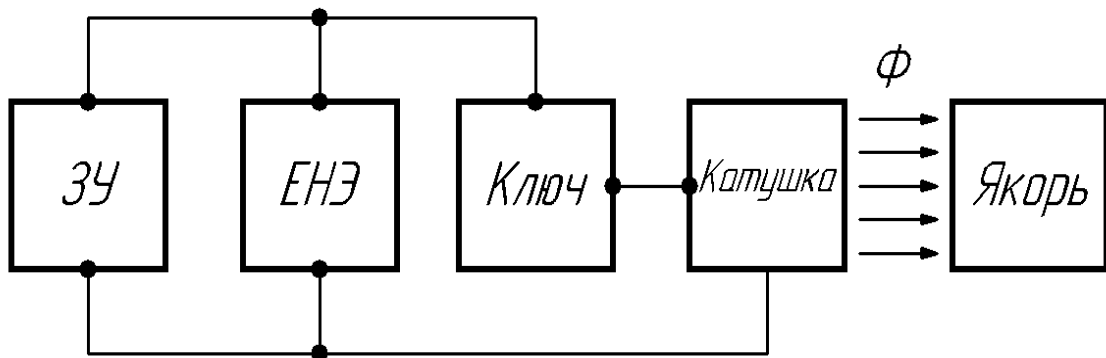


Рисунок 1.1 – Схематическое изображение ИДД.

Работает такая схема ИДД следующим образом. В начальный момент времени ЗУ заряжает ЕНЭ до максимального значения. После зарядки, ключ замыкается и ЕНЭ разряжается на катушку возбуждения. Электромагнитная сила Φ возникающая вокруг катушки воздействует на якорь, тем самым

отталкивая его от катушки возбуждения. После чего ключ размыкается, а ЗУ заряжает ЕНЭ и цикл повторяется.

В роли ЕНЭ обычно используют конденсаторные сборки, так как они могут накопить большое количество энергии и быстро отдать эту энергию. В момент замыкания ключа через него, кратковременно, протекают токи до нескольких тысяч ампер, следовательно, невозможно в качестве ключа использовать тумблер или кнопку. Пускатель использовать нецелесообразно из-за его большей стоимости, поэтому в качестве ключа обычно применяют силовой тиристор. Он хорошо себя зарекомендовал в качестве ключа в ИДД так как способен кратковременно выдерживать ток, превышающий номинальный в 10 раз. Но после открытия тиристора его необходимо будет закрыть, для этого применяют шунтирующий диод, который будет запирает тиристор после того как ЕНЭ разрядится.

Схема ИДД с запирающим диодом представлена на рис.2

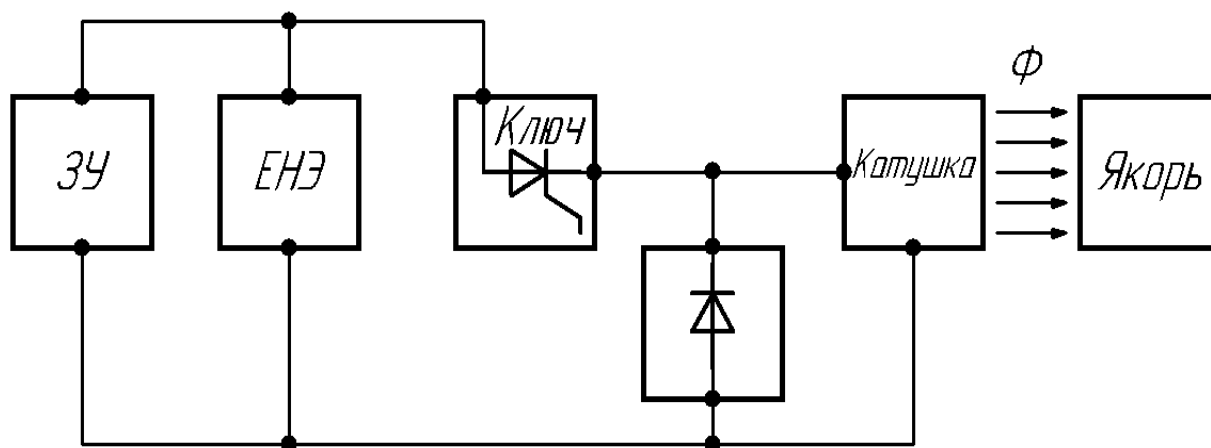


Рисунок 1.2 – Схематическое изображение ИДД с диодом

Временные диаграммы изменения напряжения на ёмкостном накопителе энергии, тока на катушке возбуждения и силы представлены на рисунке 1.3.

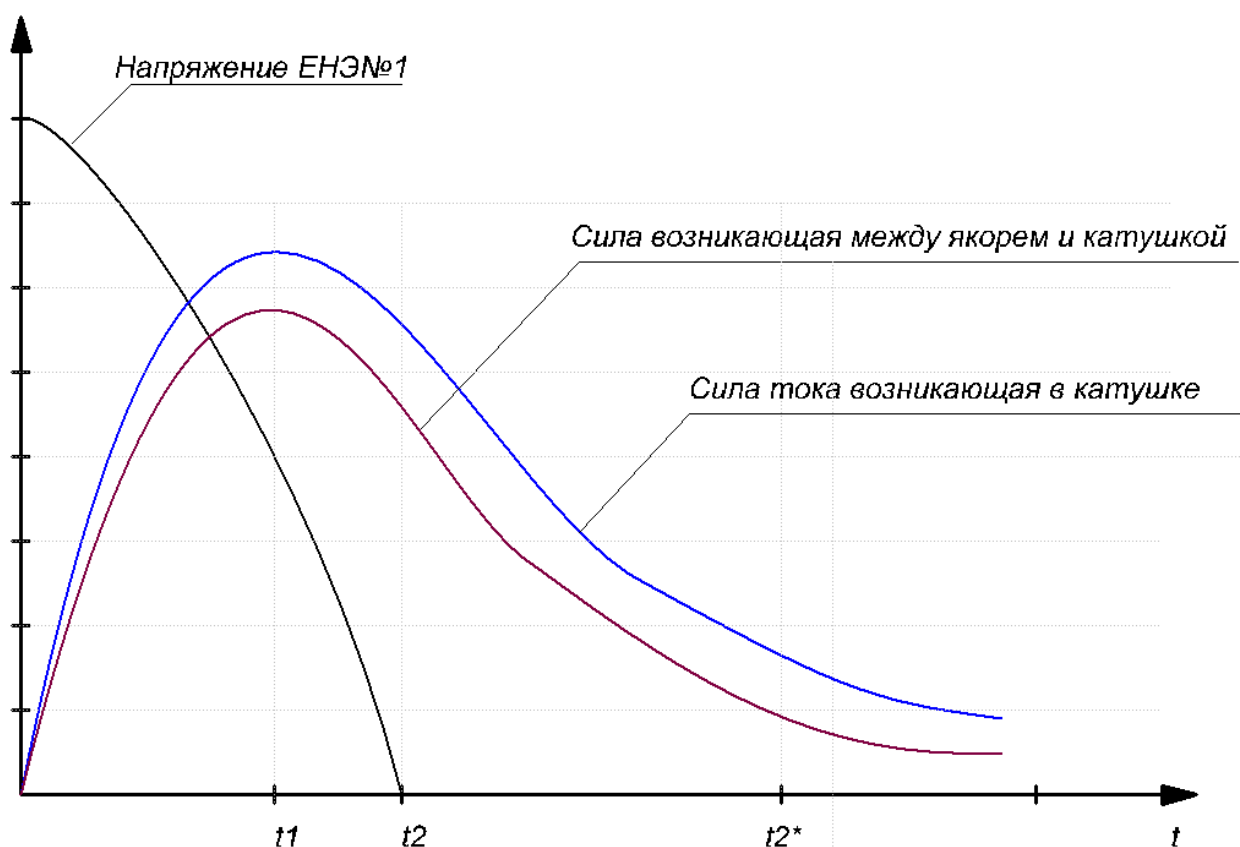


Рисунок 1.3 – Графики изменения тока, напряжения и силы в ИДД

Рассмотрим более сложную схему ИДД с несколькими ЗУ и ЕНЭ рис. 3, представленную в патенте (RU 2485614 С2 опубликовано 10.02.2013 бюл. №4.) Функционирует эта схема почти, так же как и схемы рассмотренные выше, но в отличие от них данная схема способна регулировать создаваемый якорем механический импульс за счет двух разных ЗУ и ЕНЭ. Напряжение ЕНЭ№2 должно быть меньше напряжения ЕНЭ№1, но если напряжение на ЕНЭ№2 будет равно 0 то он не будет участвовать в работе привода и схема будет работать аналогично схемам представленным выше.

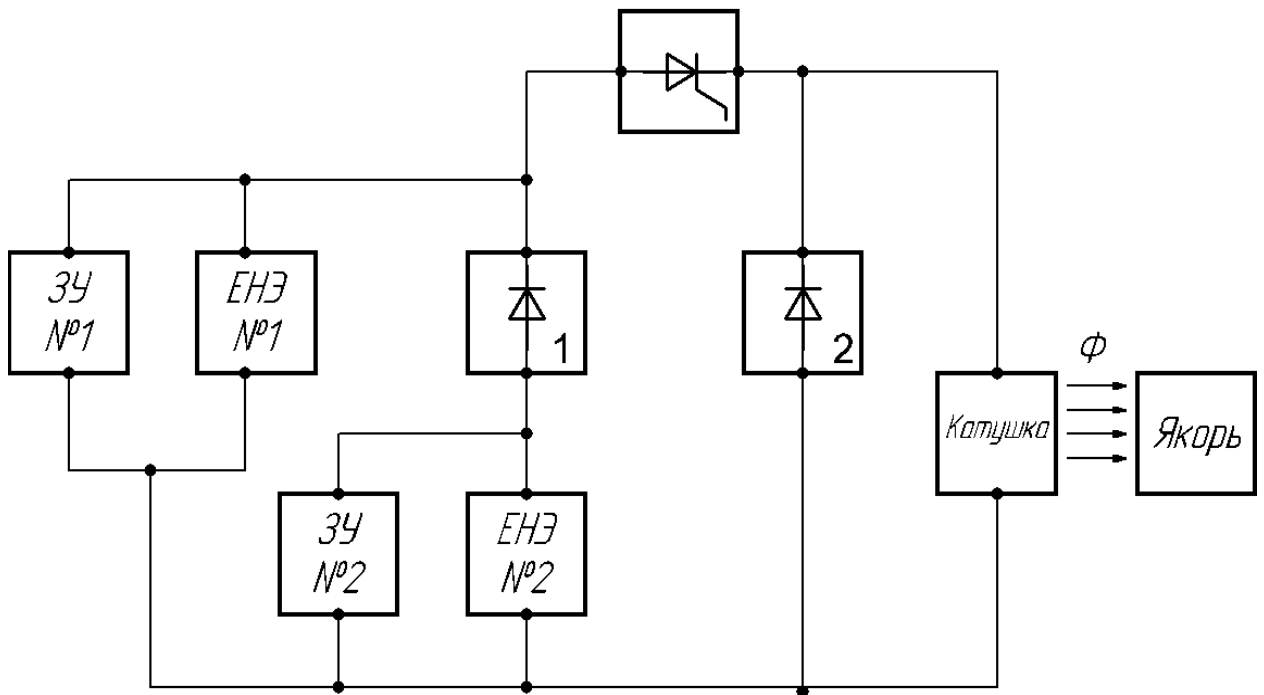


Рисунок 1.4 – Схематическое изображение ИДД с несколькими ЗУ и ЕНЭ

Если зарядить ЕНЭ№2 до напряжения равное половине напряжения на ЕНЭ№1, то в момент времени t_1 , когда напряжение ЕНЭ№1, будет равно напряжению ЕНЭ№2, скорость изменения напряжения ЕНЭ№1 уменьшится, так как диод 1 откроется и к емкости ЕНЭ№1 прибавится емкость ЕНЭ№2. Так как уменьшается скорость падения напряжения, ток создаваемые в катушке поддерживается на более высоком уровне. Из за поддержания тока на высоком уровне, изменяется и сила, возникающая между якорем и катушкой.

По графику видно, что при увеличении тока, увеличивается и сила, возникающая между катушкой и якорем. Следовательно, если сделать ЕНЭ№2 с регулируемым напряжением, то так же будет регулироваться и сила. Двигатель с такой регулировкой нашёл применение в ударных установках, для которых необходимо разное воздействие на рабочее тело.

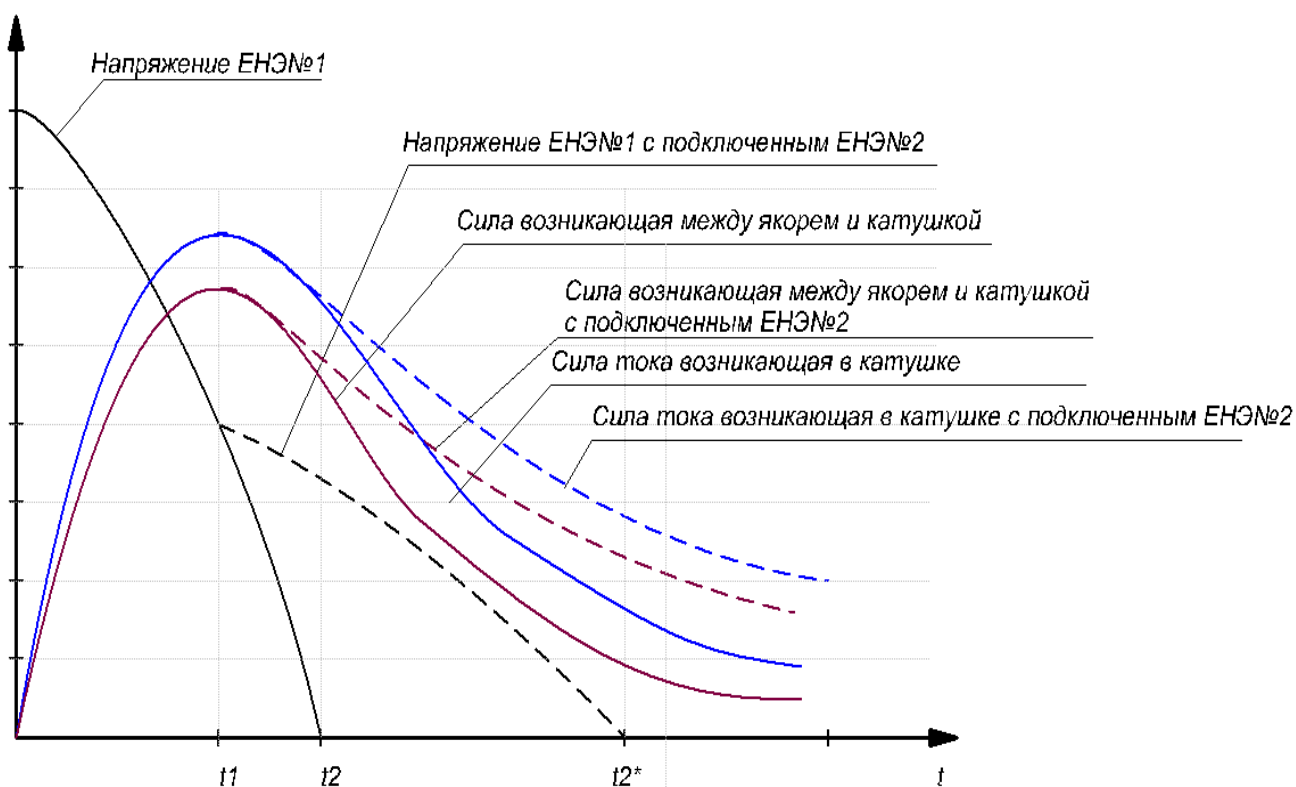


Рисунок 1.5 – Графики изменения тока, напряжения и силы в ИДД с подключенным ЕНЭ№2

Поскольку ЕНЭ имеет большую емкость, то для их заряда необходимы мощные ЗУ. Для того чтобы не увеличивать мощность ЗУ применяю ИДД с рекуперацией энергии. К тому же ИДД со способностью рекуперации энергии имеют меньшие показатели тепловых потерь и нагрева катушки возбуждения

Схема такого двигателя представлена в патенте (RU 2533744 С1 опубликовано 20.11.2014 бюл. №32.) Схематическое изображение ИДД с рекуперацией энергии представлено на рисунке 6.

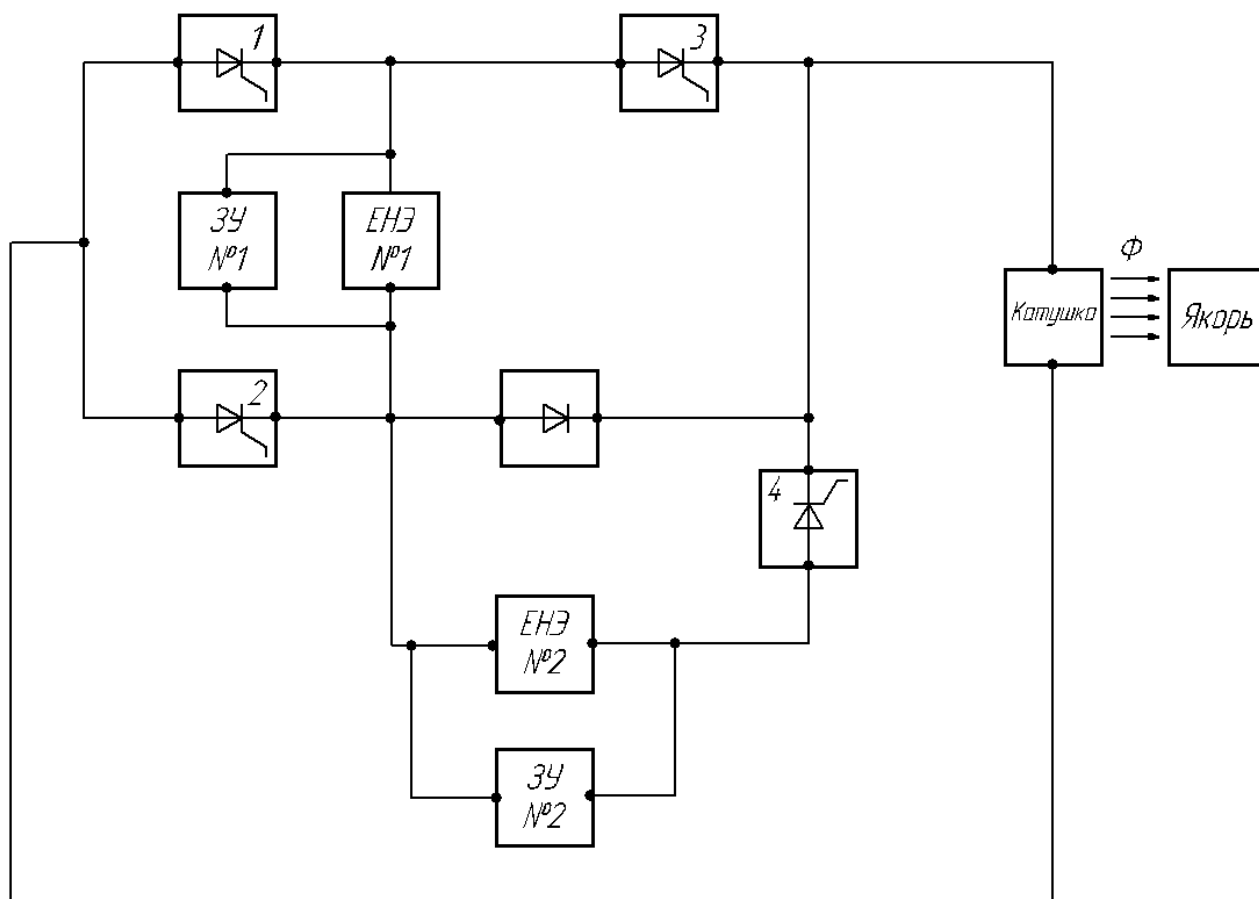


Рисунок 1.6 – Схематическое изображение ИДД с рекуперацией энергии.

Такой привод работает следующим образом. В начальный момент времени накопители энергии №1 и №2 заряжены от своих ЗУ №1 и №2 соответственно. В момент времени t_0 отпираются ключи 2 и 3 и ЕНЭ№1 начинает разряжаться на катушку. Ток, протекающий через катушку и сила действующая на якорь увеличивается до близкого к максимальному значению. В то время как напряжение на ЕНЭ №1 опускается до уровня близкого к напряжению на ЕНЭ№2. В момент t_1 ключ 3 запирается и отпирается ключ 4. ЕНЭ№1 отключается от катушки, а ЕНЭ№2 начинает разряжаться на катушку тем самым поддерживая ток в катушке на уровне близком к максимальному. В момент времени t_2 отпирается ключ 1 и запирается ключ 4. Благодаря этому ток катушки замыкается через ключ 1, ЕНЭ№1 и диоду. Таким образом, ток, проходя через ЕНЭ№1, заряжает

накопитель. К моменту времени t_3 ток в катушке уменьшается до нуля и завершается процесс рекуперации энергии магнитного поля катушки в ЕНЭ№1. В момент времени t_3-t_4 ЕНЭ№1 и ЕНЭ№2 дозаряжаются до необходимых значений для обеспечения следующего цикла работы ИДД.

Графики изменения тока, напряжения и силы в ИДД с рекуперацией представлены на рисунке 7.

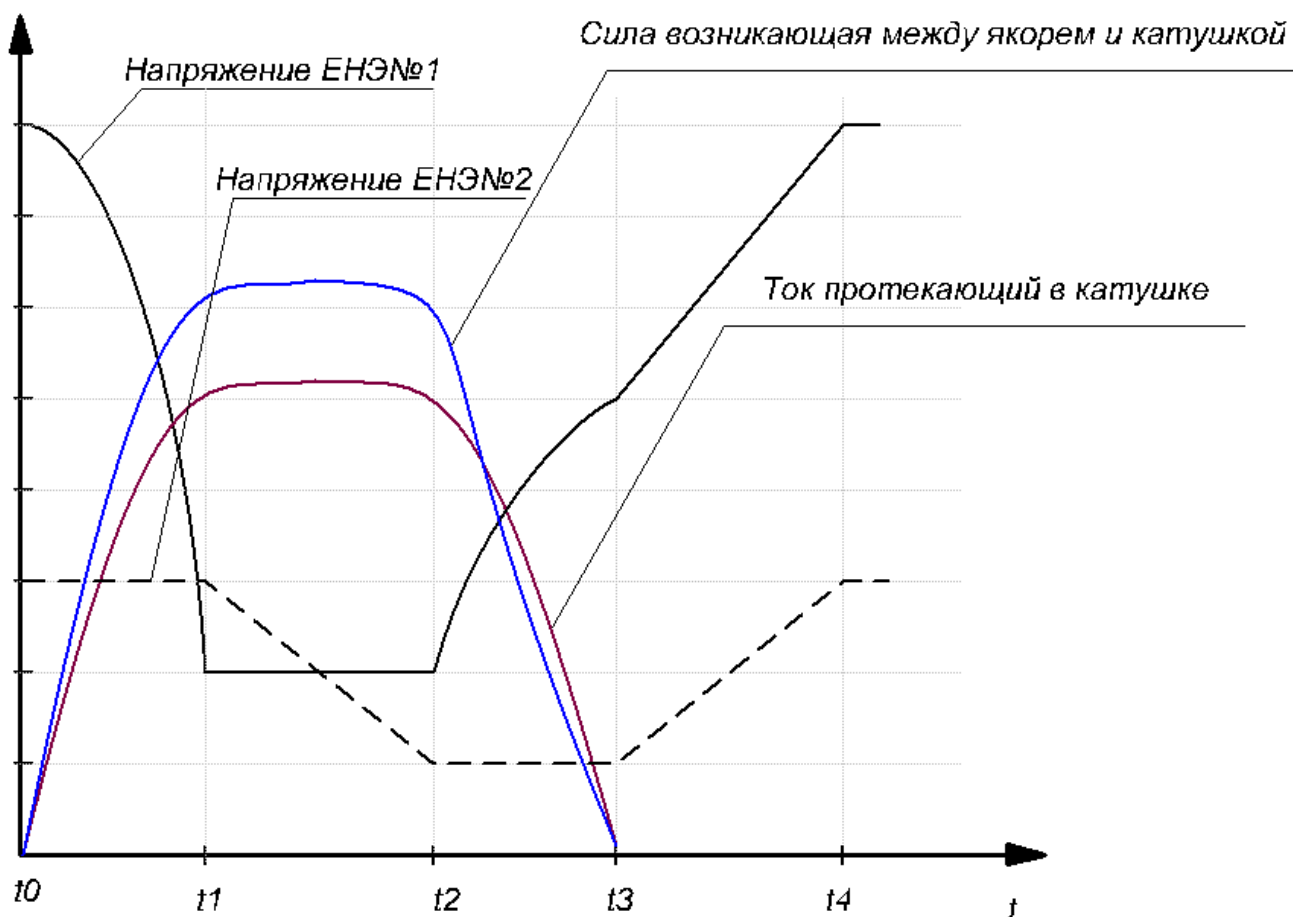


Рисунок 1.7 – Графики изменения тока, напряжения и силы в ИДД с рекуперацией.

2. Постановка задач исследования

Есть задание, разработка и создание стенда по исследованию индукционно-динамического привода. Главными требованиями к создаваемому стенду являются:

- Рабочее напряжение индукционно-динамического привода должно быть не более 50В.
- Стенд должен быть с небольшими габаритами, чтобы была возможность демонстрировать его на дне открытых дверей в университете.
- Работа со стендом должна быть безопасной для студентов и посетителей дня открытых дверей.

Определимся с основными задачами, с которыми мы обязательно столкнемся в ходе разработки стенда по использованию ИДД. В процессе работы нам предстоит выбрать материал, из которого будет собран лабораторный стенд. Проанализировать существующие схемы двигателя и начертить собственную схему, благодаря которой двигатель будет корректно функционировать в заданных режимах. Так же схема должна отвечать всем необходимым требованиям. Подобрать все необходимые комплектующие для созданной схемы ИДД. После подбора компонентов и их приобретения необходимо начать сборку электрической части стенда. По окончанию коммутирования всей электрической части ее необходимо проверить на работоспособность, а после монтировать в спроектированный корпус стенда. После окончания сборки стенда, его необходимо будет испытать во всех режимах работы и устранить недочеты, если они появятся.

Основные задачи в ходе создания стенда:

- Выбор материала, из которого будет создан стенд
- Создание схемы ИДД,
- Подбор комплектующих для создания ИДД
- Сборка схемы

- Проектирование внешнего вида стенда
- Настройка стенда

3. Выбор материала для создания стенда

Чтобы выбрать материал для корпуса стенда, необходимо какими свойствами он должен обладать.

- Корпус стенда должен быть устойчивый и крепкий. Так как во время работы ИДД возникает сила, действующая на корпус. Поэтому необходимо, чтобы стенд не колебался при работе.
- Стенд должен быть безопасным для студентов и преподавателей,
- Стенд должен быть компактным и не тяжелым
- Материал для создания корпуса стенда должен быть не дорогим
- Сборка корпуса стенда не должна быть сложной и не должна требовать специальных инструментов.

Исходя из необходимых свойств, наилучшим материалом для создания стенда будет применяться древесно-слоистая плита или другими словами фанера. Фанера – это строительный материал, состоящий из нескольких слоев шпона склеенных между собой. Для увеличения прочности древесно-слоистой плиты, слои шпона каждого листа укладывают таким образом, чтобы структура дерева каждого шпона была перпендикулярна другому листу. Так же обычно фанеру изготавливают из нечетного количества слоев шпона. За счет нечетного количества листов направление структуры внешних слоев совпадает. Древесно-слоистая плита обладает: необходимой для создания стенда жесткостью, относительно не большой массой и низкой стоимостью. А так же, древесно-слоистую плиту легко обрабатывать. Свойства древесно-слоистой плиты представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Свойства древесно-слоистой плиты

| Наименование показателя | Значение физико-механических показателей |
|---|---|
| Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев, МПа, не менее | 25 |
| Предел прочности при растяжении вдоль волокон, МПа, не менее | 30 |
| Средний вес (1 м ³), кг | 65 |
| Плотность, кг/м ³ | 660-675 |
| Влажность, % | 5-10 |
| Звукоизоляция, дБ | 23 |
| Биологическая стойкость, класс опасности | 5fDa, St |

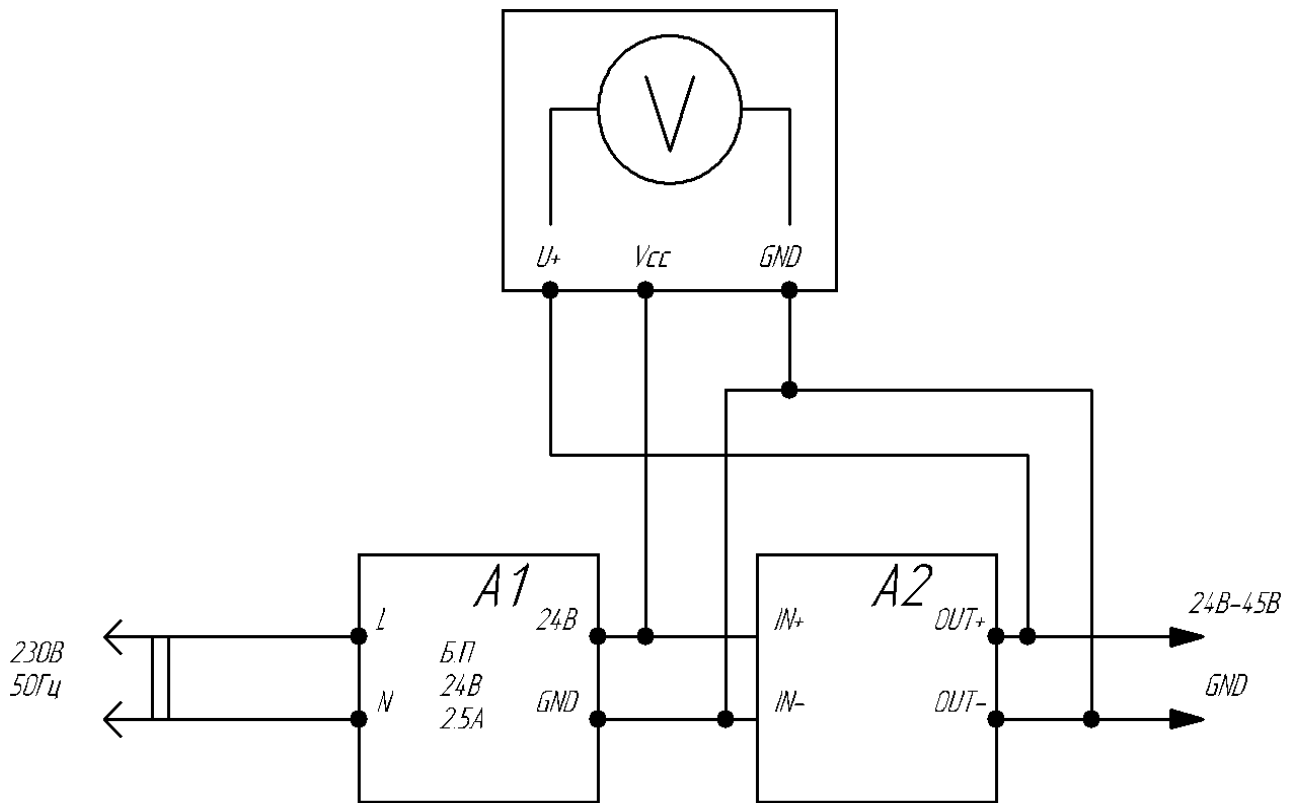
4. Разработка схемы ИДД

4.1 Разработка схемы зарядного устройства

Рассмотрев и проанализировав существующие схемы индукционно-динамических двигателей, за основу лабораторного стенда была взята схема ИДД с диодом. Так как такой ИДД позволяет разобраться в принципе действия такого двигателя, наглядно увидеть его работу и подтянуть теоритические знания. Кроме того такая схема ИДД проста в сборке и не требует крупных затрат для ее создания.

В роли зарядного устройства для емкостного накопителя энергии применяется блок питания на 24В 2,5А. Так как запланирован стенд с рабочим напряжением индукционно-динамического привода до 50В дополнительно к блоку питания, последовательно, подключается повышающий DC-DC преобразователь напряжения. С помощью, которого производится регулировка рабочего напряжения от 24В до 45В. Такая регулировка увеличит функциональные возможности стенда. Для визуализации напряжения добавим вольтметр. Вольтметр применили цифровой, трехпроводной с диапазоном измерения 0-100В. У таких вольтметров 2 провода Vcc и GND используются для собственного питания, а провод U+ для измерения необходимого напряжения. Питание такого вольтметра от 3 до 30В, следовательно, его можно запитать от блока питания, измеряющий провод U+ подключаем на выход повышающего DC-DC преобразователя напряжения. Схема подключения блока питания к повышающему преобразователю DC-DC представлена на рисунке 4.1.

Для удобного включения и отключения стенда, перед блоком питания установили клавишный переключатель черного цвета.



A1 – Блок питания для заряда ЕНЭ

A2 – Повышающий DC-DC преобразователь с регулируемым напряжением от 24В до 45В

Рисунок 4.1 – Схема подключения блока питания к повышающему преобразователю DC-DC.

4.2 Разработка схемы емкостного накопителя

В качестве емкостного накопителя энергии в проектируемом стенде используется конденсаторная батарея состоящая из нескольких конденсаторов большой емкости. Из школьных знаний физики нам известно, что емкость параллельно соединённых конденсаторов определяется по формуле:

$$C_{\text{общ}} = C1 + C2 + C3 + C4$$

(2.1)

где $C_{\text{общ}}$ – суммарная емкость конденсаторной батареи,

$C1$ – Емкость первого конденсатора,

C_2 – Емкость второго конденсатора,

C_3 – Емкость третьего конденсатора,

C_4 – Емкость четвертого конденсатора,

По формуле (2.1) видно, для того что бы увеличить ёмкость конденсаторной батареи необходимо конденсаторы соединить параллельно. Для увеличения функциональных возможностей стенда соединили конденсаторы через клавишный переключатель, таким образом, чтобы при необходимости мы могли бы изменять емкость конденсаторной батареи. Для того чтобы снимать временные диаграммы напряжения на емкостном накопителе энергии, вывели клеммы X1 и X2 на лицевую панель лабораторного стенда. На рисунке 4.2 изображена схема емкостного накопителя энергии.

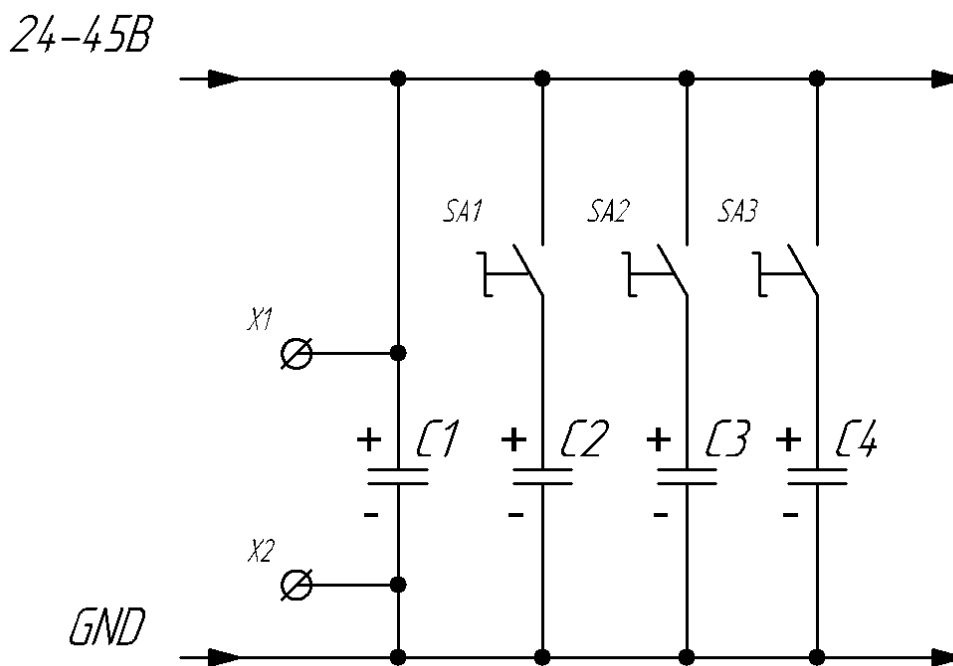


Рисунок 4.2 – Электрическая схема конденсаторной батареи.

4.3 Разработка схемы силового ключа

В качестве ключа, замыкающего конденсаторную батарею на катушку возбуждения в проектируемом ИДД, использоваться полупроводниковый силовой тиристор. Силовой тиристор способен кратковременно выдерживать токи в 10 раз выше номинального. Назовем схему состоящую из конденсатора ключа и катушки схемой формирования импульса тока (СФИТ). Схема формирователя импульсов тока представлена на рисунке 4.3.

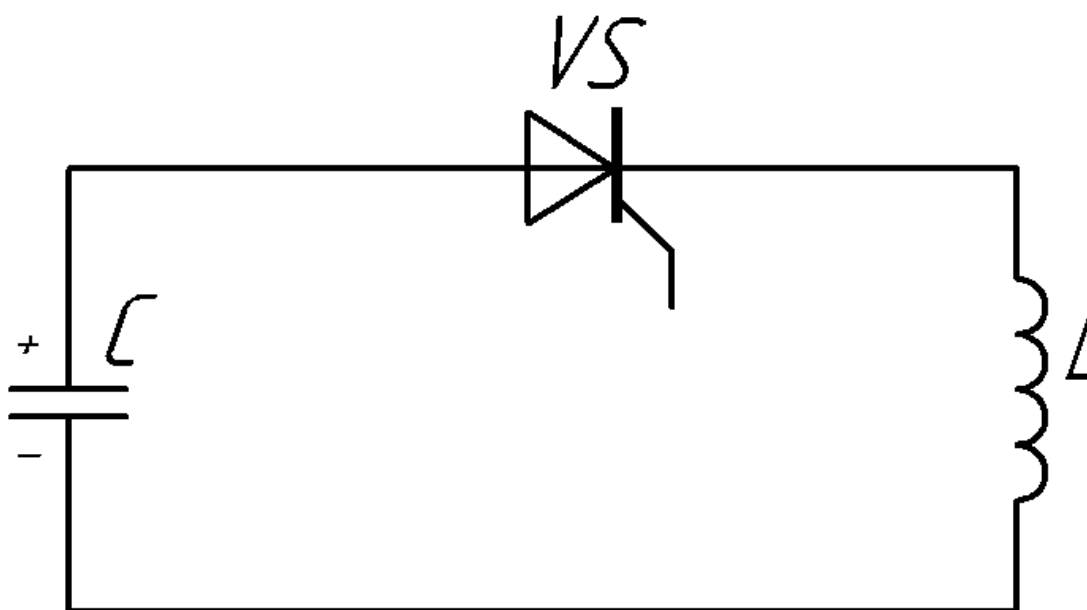


Рисунок 4.3 – Схема формирователя импульса тока

Недостатком данного ФИТ является то, что он не обеспечивает однополярный режим работы ЕНЭ, следовательно, его придётся дозаряжать обратным напряжением, что в свою очередь приведет к усложнению схему ЗУ. На рисунке 4.4 изображены временные диаграммы тока и напряжения формирователя импульса тока.

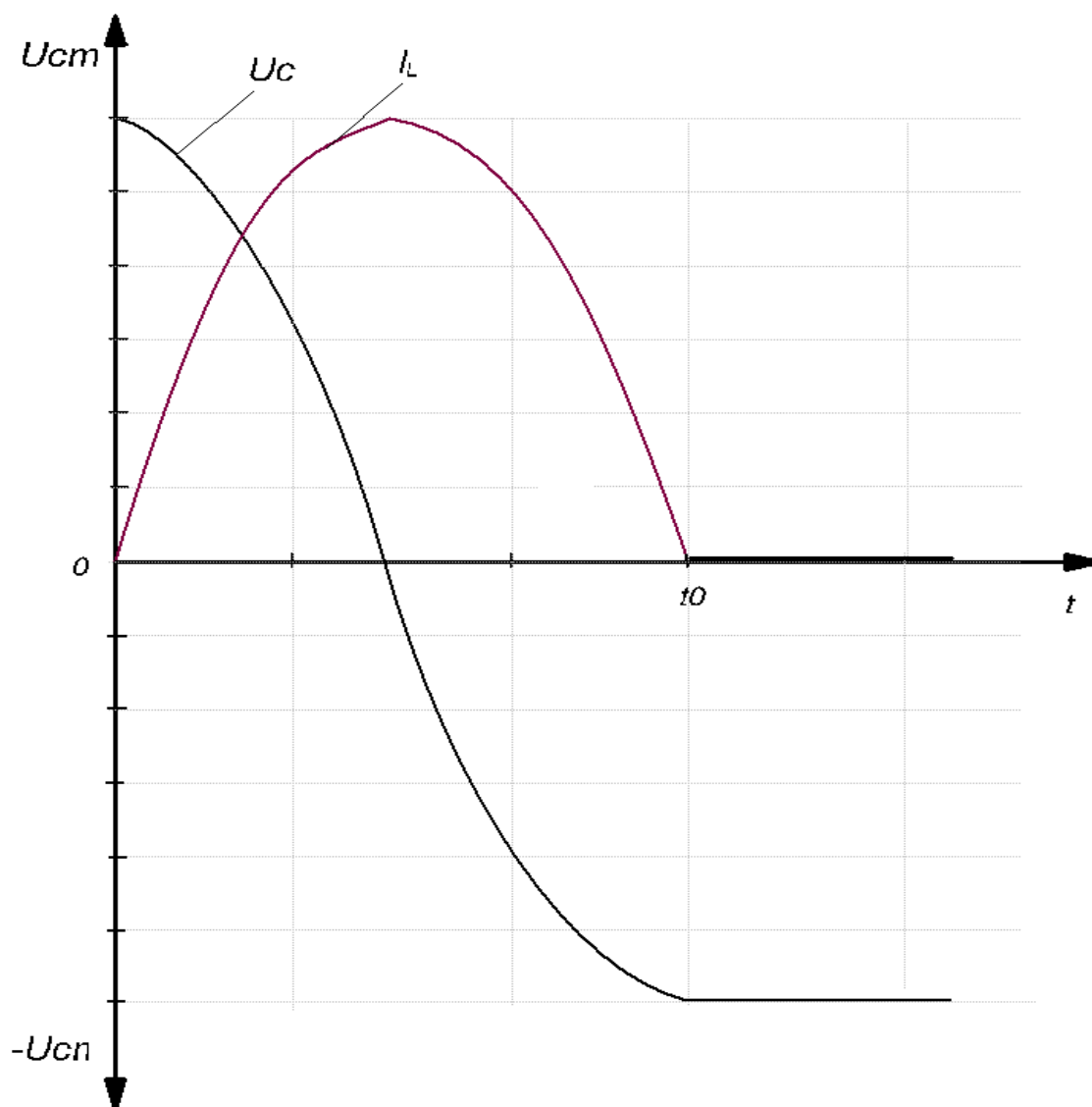


Рисунок 4.4 – Временные диаграммы формирователя импульса тока

Для обеспечения однополярного режима работы ЕНЭ, необходимо внести в схему ФИТ обратный диод. Тогда, при формировании импульса тока, когда напряжение на ЕНЭ будет отрицательным, ток в цепи нагрузки замкнется по контуру VD-L, что не позволит накопителю перезарядиться обратным напряжением, в то время, как ток в нагрузке продолжит протекать, обеспечивая создание усилия приводом. Схема ФИТ с обратным диодом представлена на рисунке 4.5. Временные диаграммы работы ФТИ с обратным диодом приведены на рисунке 4.6

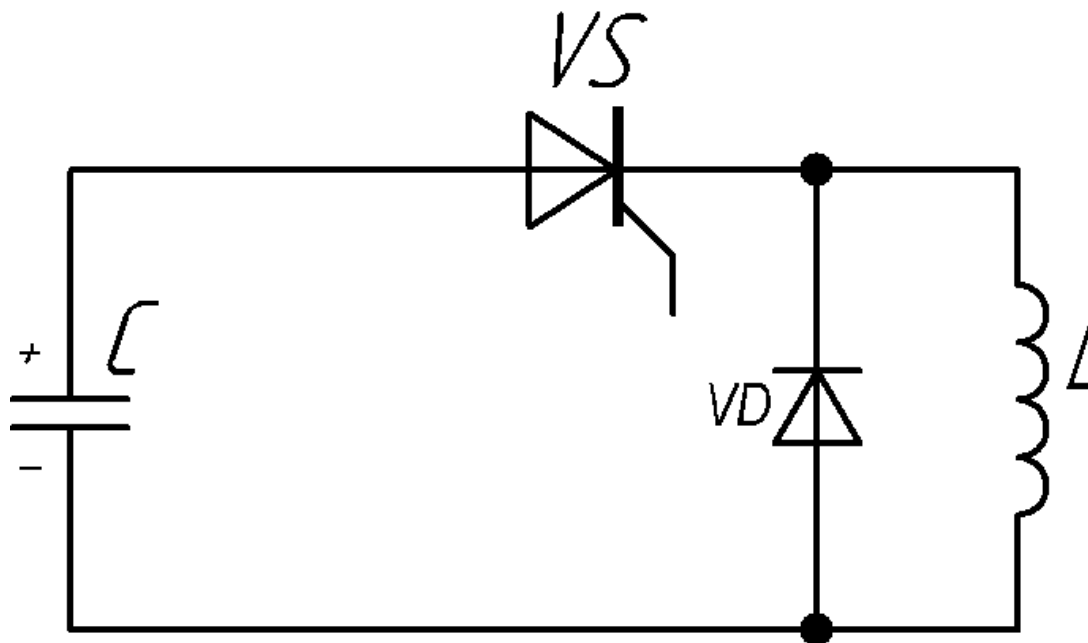


Рисунок 4.5 – Схема формирователя импульса тока с обратным диодом

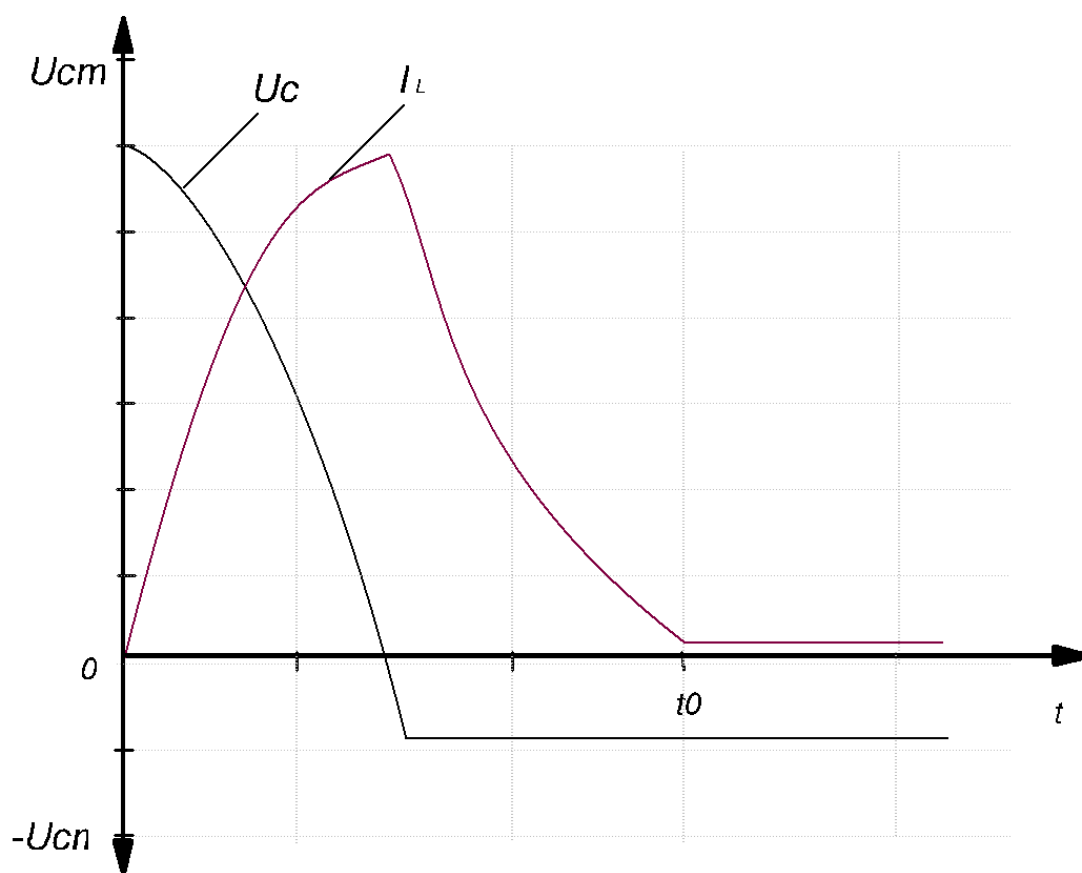


Рисунок 4.6 – Временные диаграммы формирователя импульса тока с обратным диодом

Из диаграмм видно, что напряжение на конденсаторе устанавливается в отрицательном значении. Это происходит из-за того что диод VD открывается не сразу а с задержкой. Установленное отрицательное напряжение практически никак не влияет на работоспособность схемы двигателя и не требует усложнения схемы зарядного устройства. Для удобства будем использовать полупроводниковый модуль диодный – оптотиристорный. В таком модуле уже имеется обратный диод. Это немного упрощает сборку схемы двигателя.

Сигнал на открытие тиристора подается с помощью кнопки без фиксации с парой Н.О и Н.З контактов. Нормально открытый контакт нужен для того чтобы подавать импульс на управляющий электрод силового тиристора, а нормально закрытый контакт необходим для отключения зарядного устройства от конденсаторной батареи. Поскольку напряжение на управляющий импульс будет подаваться 24В, для правильной работы схемы оптотиристорного модуля, необходимо поставить токоограничительный резистор.

Для увеличения функционального потенциала стенда, добавлена возможность снятия временных диаграмм тока на катушке. Для этого был добавлен последовательно с катушкой измерительный, шунтирующий резистор. Клеммы - зажимы Х3 и Х4, для подключения измерительных приборов выведены на лицевую панель стенда.

Принципиальная схема стенда с ИДД представлена на рисунке 4.7.

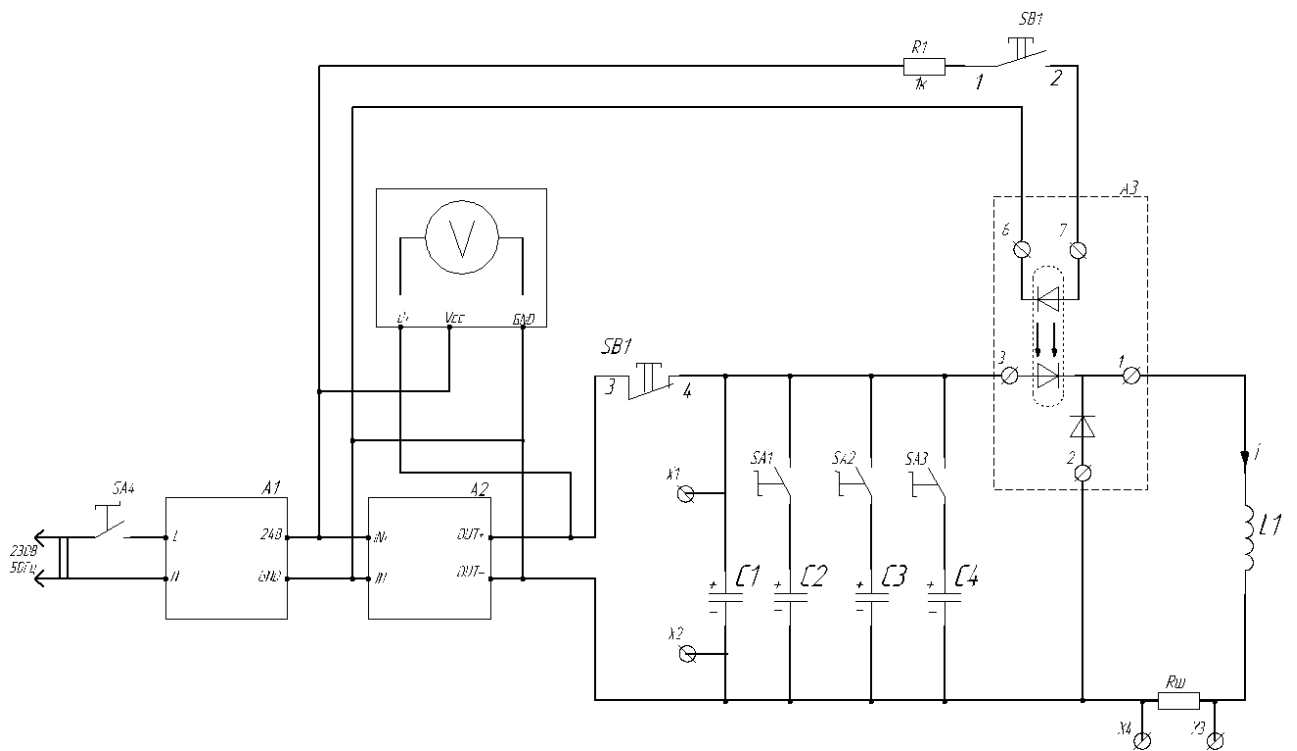


Рисунок 4.7 – Принципиальная схема стенда с ИДД

В Приложении А представлен перечень элементов для схемы разработанного индукционно-динамического двигателя.

5. Подбор комплектующих для схемы ИДД

5.1 Подбор комплектующих для схемы зарядного устройства

При подборе ЗУ основными критериями являются:

- Напряжение питания 220В. 50Гц.
- Регулируемое выходное напряжение до 50В
- Надежность

Исходя из требований описанных выше, в качестве блока питания был выбран Тайванский преобразователь AC-DC сетевой Mean Well MDR-60-24 рисунок 5.1. Фирма Mean Well является одним из крупнейших производителей импульсных источников питания и преобразователей напряжения.



Рисунок 5.1 – Блок питания Mean Well MDR-60-24

Технические характеристики выбранного блока питания представлены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Технические характеристики блока питания Mean Well MDR-60-24

| Наименование показателя | Значение физико-механических показателей |
|---|---|
| Входное напряжение AC | 85...264В |
| Входное напряжение DC | 120...370В |
| Входная частота | 47-63Гц |
| Номинальный входной ток (при максимальной нагрузке) | 1А |
| Максимальный стартовый ток | 60А |
| Активная входная мощность | 60Вт |
| Энергопотребление в режиме покоя | 0,75Вт |
| Суммарные гармонические искажения на входе, не более | 10% |
| Номинальное выходное напряжение | 24В |
| Диапазон регулировки добавочного выходного напряжения | 24-30В |
| Максимальный ток нагрузки | 2,5А |
| КПД при полной нагрузке | 88% |
| Время установление выходного сигнала | 500мс |
| Несущая частота ШИМ | 60кГц |
| Регулировка выходного напряжения | 1% |
| Погрешность стабилизации выходного напряжения | 1% |
| Габариты | 40x90x100 |
| Вес нетто | 0,33кг |

Кроме представленных в таблице параметров выбранный источник питания имеет целый сектор защит:

- Защита от короткого замыкания
- Защита от высоковольтных импульсов
- Присутствует фильтрация помех
- Защита от перегрузки
- Защита от перегрева
- Защиту от пониженного и повышенного напряжения

- Защиту цепей нагрузки
- Защиту выходной цепи.

Так же блок питания имеет релейный выход для сигнализации о наличии напряжения на выходе. Рабочий диапазон температуры у данного блока питания от -20 до 60 °С.

Регулирование напряжения на выходе блока питания 24-30В недостаточно для работы индукционно-динамического привода, поэтому на выход блока питания необходимо подобрать повышающий DC-DC преобразователь. Подходящий под наши требования преобразователь заказали в интернет магазине рисунок 5.2. Технические данные представлены в таблице 5.2

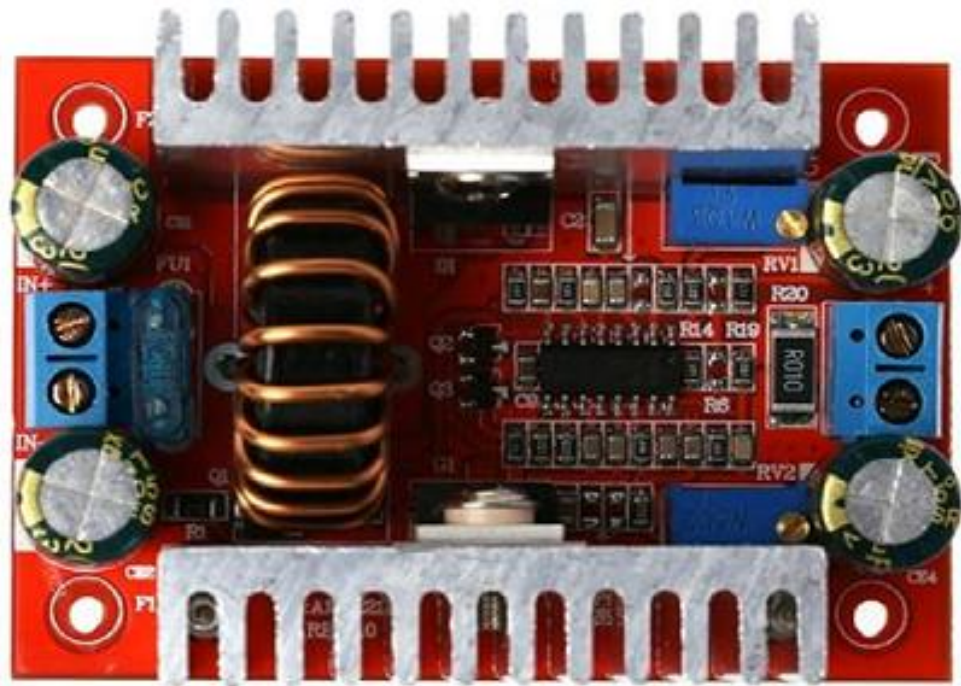


Рисунок 5.2 – Повышающий DC-DC преобразователь

Таблица 5.2 – Технические характеристики повышающего DC-DC преобразователя напряжения

| Наименование показателя | Значение физико-механических показателей |
|------------------------------|--|
| Входное напряжение DC | 8,5...50В |
| Входной ток | До 15А |
| Ток покоя | 10мА |
| Выходное напряжение | 10-60В |
| Рабочая частота | 150кГц |
| Эффективность преобразования | 96% |
| Температура | От -40 до 85 |
| Габариты ДхШхВ | 67х48х28 |
| Вес нетто | 0,06кг |

Электрическая схема повышающего преобразователя представлена на рисунке 5.3.

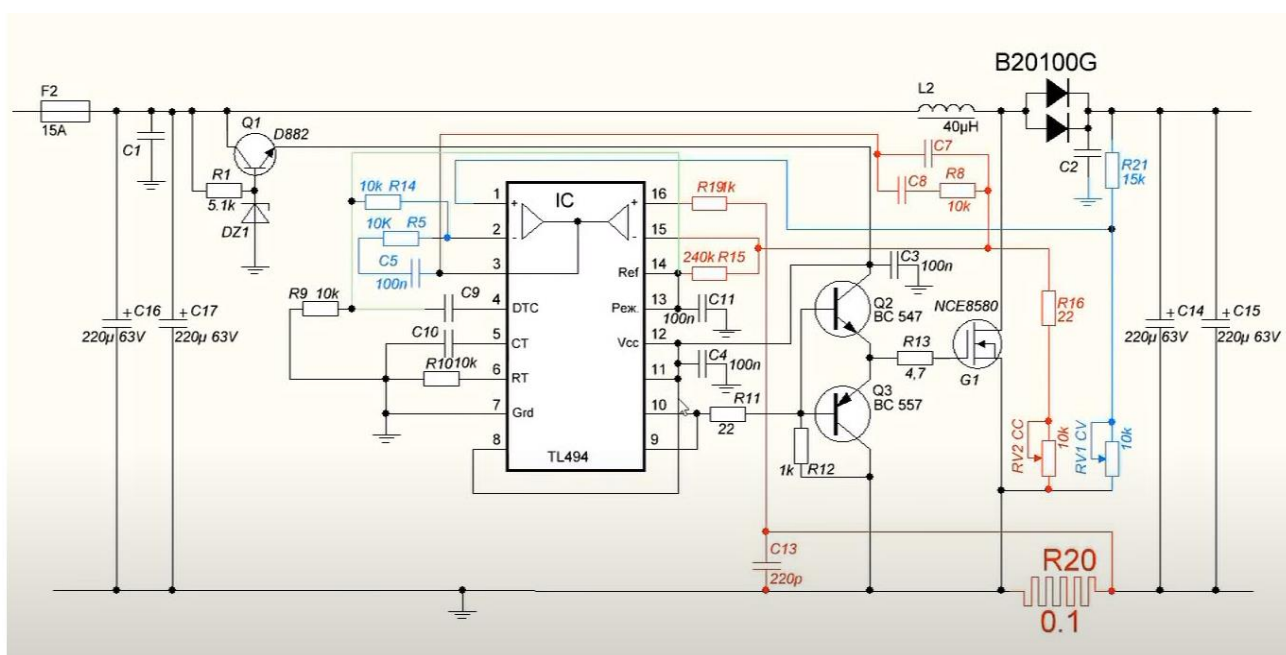


Рисунок 5.3 – Электрическая схема повышающего преобразователя

Из схемы видно, что выбранный преобразователь имеет пару подстроечных резисторов на 10кОм. За счет этих подстроечных резисторов осуществляется плавная регулировка выходного напряжения и плавная регулировка значения выходного тока. Стандартный подстроечный резистор представлен на рисунке 5.4.

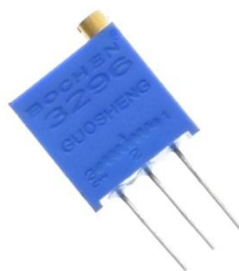


Рисунок 5.4 – Стандартный подстроечный резистор

Использование стандартных подстроечных резисторов крайне неудобно, потому что при необходимости смены выходного напряжения пришлось бы разбирать корпус стенда и отверткой задавать необходимое значение напряжения. Для устранения данного недостатка, имеющийся подстроечный резистор регулировки выходного напряжения был заменен на прецизионный многооборотный резистор на 10кОм, представленный на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 – Прецизионный многооборотный резистор на 10кОм

Прецизионный многооборотный резистор на 10кОм имеет 10 полных оборотов регулирования, износостойчивость 1 миллион циклов, мощность 2 Вт и нелинейность $\pm 25\%$.

Из таблицы 5.2 видно, что выходное напряжение DC-DC преобразователя в диапазоне от 10 до 60В (в нашем случае напряжение в диапазоне от 24 до 60В, поскольку на входе преобразователя напряжение 24В). Такой диапазон напряжении не подходит, так как цель данной работы это создание стенда с безопасным для человека напряжением до 50В. Для того чтобы задать верхний порог напряжения, необходимо последовательно к одному из выводов прецизионного многооборотного резистора припаять резистор на 300Ом.(номинал резистора подбирался опытным путем). После припайки резистора диапазон выходного напряжения составляет от 24 до 45В. Такое напряжение является оптимальным для корректной работы двигателя. Для визуального контроля напряжения, на выход преобразователя ставится цифровой трехпроводной вольтметр с диапазоном измерения напряжения 0-100В. На рисунке 5.6 изображен цифровой трехпроводной вольтметр.



Рисунок 5.6 – Цифровой трехпроводной вольтметр

5.2 Подбор комплектующих для емкостного накопителя энергии

При выборе конденсаторов, для емкостного накопителя энергии, следует учитывать их рабочее напряжение. Поскольку напряжение на преобразователе достигает 45В, рабочее напряжение конденсатора должно быть не менее 50В. Помимо рабочего напряжения, так же стоит уделить внимание типу конденсаторов. Для емкостного накопителя энергии применение керамических или пленочных конденсаторов нецелесообразно, так как они имеют относительно небольшую емкость. Для таких целей обычно применяют электролитические конденсаторы. Они имеют хорошую емкость и относительно низкую стоимость. На рисунке 5.7 изображен подобранный алюминиевый электролитический конденсатор.



Рисунок 5.7 – Алюминиевый электролитический конденсатор 50В
22000мкФ

Технические данные выбранного электролитического конденсатора приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Технические данные электролитического конденсатора

| Наименование показателя | Значение физико-механических показателей |
|----------------------------|--|
| Рабочее напряжение | 50В |
| Номинальная емкость | 22000мкФ |
| Допуск номинальной емкости | 20% |
| Рабочая температура | От -40 до 105С |
| Тангенс угла потерь | 0,2% |
| Диаметр корпуса | 35мм |
| Длина корпуса | 50 |
| Вес | 0,07кг |

Для увеличения емкости емкостного накопителя энергии будет использоваться 4 электролитических конденсатора подключенных параллельно. Для того чтобы была возможность изменять емкость емкостного накопителя энергии, подключим каждый конденсатор через переключатель. Для удобства выберем переключатели разного цвета.



Рисунок 5.8 – Переключатели для изменения емкости ЕНЭ

Для снятия временных диаграмм напряжения, на емкостном накопителе энергии, выведем измерительные клеммы на верхнюю панель

стенда. К этим клеммам будут подключаться измерительные приборы: мультиметр или осциллограф.

5.3 Подбор комплектующих для силового ключа

В качестве ключа замыкающего емкостной накопитель энергии на обмотку возбуждения будет использоваться силовой модуль полупроводниковый диодный – оптотиристорный МДТО1-80-15-2А представленный на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 – Полупроводниковый модуль МДТО80-15-2А

Электрическая схема данного модуля показана на рисунке 5.10

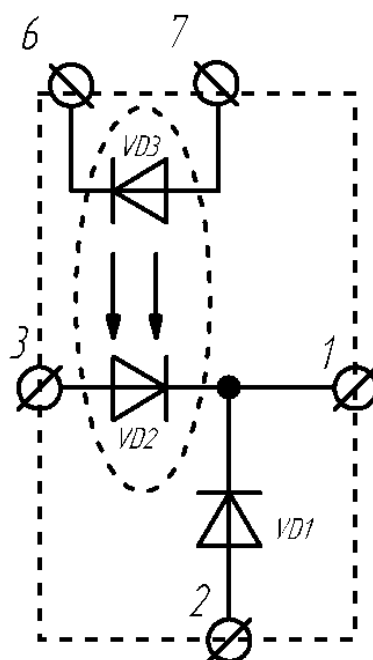


Рисунок 5.10 – Электрическая схема модуля МДТО80-15-2А

По электрической схеме модуля видно, что контакты 6 и 7 являются управляющим электродом. К этим клеммам подводится питание от блока питания через токоограничивающий резистор. Чтобы рассчитать токоограничивающий резистор необходимо узнать необходимый постоянный ток управления I_y и отпирающее напряжение управления U_y . Технические характеристики данного модуля представлены в таблице 5.4.

Поскольку Из таблицы 5.4 видно, что отпирающее напряжение управления U_y равно 2.5В, а необходимый постоянный ток управления I_y равен 0,25А. По этим данным можно определить мощность светодиода установленного в модуле по формуле :

$$P = U_y \times I_y = 2,5 \times 0,25 = 0,625 \text{ Вт} \quad (2)$$

Поскольку напряжение на выходе блока питания равно 24В, а мощность светодиода установленного в модуле останется без изменений, найдем ток управления по формуле:

$$I_y = P \div U_y = 0,625 \div 24 \approx 0,026 \text{ А} \quad (3)$$

С помощью закона Ома найдем сопротивление токоограничивающего резистора, которое необходимо для правильной работы модуля:

$$R = U_y \div I_y = 24 \div 0,026 \approx 923 \text{ Ом} \quad (4)$$

Поскольку постоянных резисторов с сопротивлением 923Ом не существует, возьмем ближайший по номиналу резистор в 1000Ом.

В разрыв питания ставится кнопка, при нажатии которой будет происходить открытие тиристора. К контактам 1 и 2, силовым проводом, подключается обмотка возбуждения, а к контактам 3 и 2 подключается емкостной накопитель энергии.

Таблица 5.4 – Технические данные полупроводникового модуля МДТО80-15-2А

| Наименование показателя | Значение физико-механических показателей |
|---|--|
| Максимальное обратное напряжение $U_{обр.}$ | 2000 В |
| Макс. повторяющееся импульсное напр. в закрытом состоянии $U_{зс.повт.макс.}$ | 2000 В |
| Макс. среднее за период значение тока в открытом состоянии $I_{ос.ср.макс.}$ | 80 А |
| Макс. кратковременный импульсный ток в открытом состоянии $I_{кр.макс.}$ | 1500 А |
| Макс. напр. в открытом состоянии $U_{ос.макс.}$ | 2000 В |
| Наименьший постоянный ток управления, необходимый для включения тиристора $I_{у.от.мин.}$ | 0,250 А |
| Отпирающее напряжение управления, соответствующее минимальному постоянному отпирающему току $U_{у.от.}$ | 2,5 В |
| Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии $dU_{зс.}/dt,$ | 20-1000 В/мкс |
| Рабочая температура | 110 С |
| Вес | 0,130кг |

Для открытия тиристора используется кнопка черная без фиксации с 1 Н.О контактом и 1 Н.З. контактом фирмы Schneider Electric. Н.О. контакт необходим, для того чтобы при нажатии на кнопку на управляющий электрод полупроводникового модуля МДТО80-15-2А подавался электрический импульс, который открывает тиристор. Н.З. контакт необходим, для того чтобы при нажатии на кнопку зарядное устройство индукционно-

динамического привода отключалось от емкостного накопителя энергии. Если не отключать зарядное во время работы двигателя, блок питания, находящийся в составе ЗУ уходит в защиту. Таким образом для повторного запуска ИДД необходимо будет отключать питание от сети, чтобы сбросить аварию на блоке питания, а после опять включить. Подобранный кнопка представлена на рисунке 5.11.



Рисунок 5.11 – Кнопка для открытия тиристора и отключения ЗУ от ЕНЭ

5.4 Подбор материалов, проектирование и создание катушки возбуждения и якоря ИДД

Для проектирования катушки возбуждения воспользуемся программой Elcut 6.3. При намотке катушки будет использоваться провод прямоугольного сечения 4x1.8, так как такое провод легче будет намотать спиралью. Мы знаем, что катушка должна быть в виде спирали Архимеда.

Промоделируем схему ИДД и выявим влияние зазора между витками на характеристики двигателя, определим, будет ли поток стремиться проходить между витками по зазору. В индукционно-динамическом приводе механическая цепь тесно связана с электрической цепью. Так как между катушкой возбуждения и якорем ИДД существует магнитная связь, значения которой колеблются в процессе функционирования привода. В тот момент когда емкостной накопитель энергии разряжается на катушку возбуждения, между якорем и катушкой возникает сила, отдаляющая якорь от катушки. Магнитная связь вследствие отдаления якоря от катушки уменьшается. В этом изменении магнитной связи, между катушкой возбуждения и якорем, и заключается сложность моделирования. Однако в программе Elcut 6.3 возможно провести двумерный анализ ИДД.

Для этого построим в программе 2 модели катушек возбуждения, без зазора между витками и с зазором. Начертим электрическую цепь ИДД. Зададим параметры магнитной проницаемости блоков: воздуха, диска и обмотки равные 1. Зададим границам проектируемой области магнитный потенциал равный 0. Шаг сетки 5мм. 10 витков шириной 5мм, высотой 10мм. Диск медный толщиной 5мм. Ось вращения – горизонтальная. Радиус до внутреннего витка 50 мм, внешний радиус внешнего 100. Зазор 1мм. Диск не выступает за обмотку. Проводимость медь 56000000 См/м., конденсатор для модели приняли 10 мФ. Напряжение заряда конденсатора приняли 100 В (50 Дж), разряжается на обмотку, сетка имеет 2780 узлов, шаг времени 0.01 мс.

На рисунке 5.12 представлена модель ИДД, у которого обмотка возбуждения выполнена без зазора.

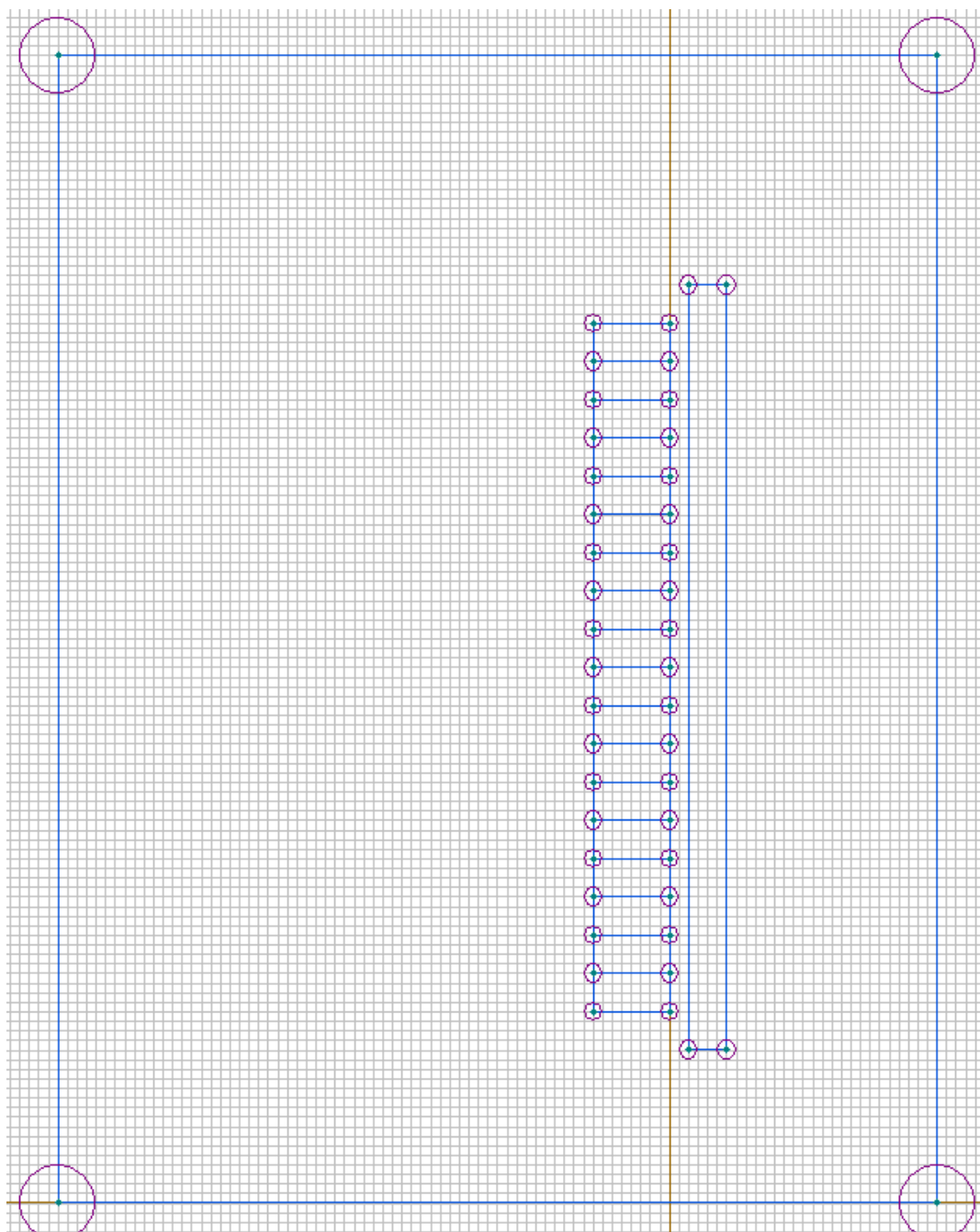


Рисунок 5.12 – Моделирование катушки возбуждения ИДД

Силы, действующие на диск без зазора между витками, а так же цветная картина поля индукции, представлена на рисунке 5.13

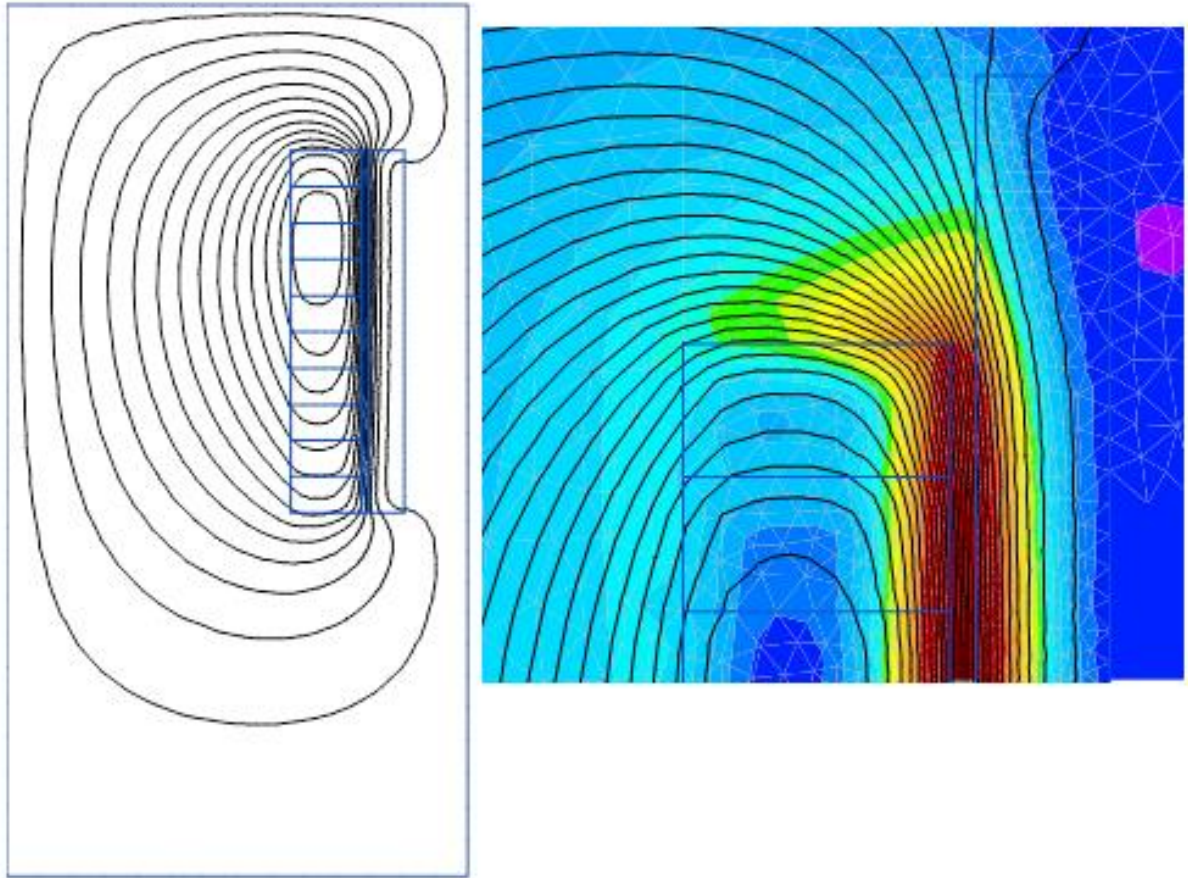


Рисунок 5.13 – Моделирование ИДД с катушкой без зазора

После добавим в конструкцию катушки возбуждения зазор между витками. Половину ширины витка превратили в зазор. Проводимость материала витков увеличили вдвое (для сохранения неизменным общего сопротивления). Центр нового узкого витка совпадает с центром рассмотренного ранее. Ширина витка 2.5мм. Зазор 2.5мм. Радиус средней линии внутреннего витка 52.5. Внешнего 97.5.

Силы, действующие на диск с зазором между витками, а так же цветная картина поля индукции, представлена на рисунке 5.14

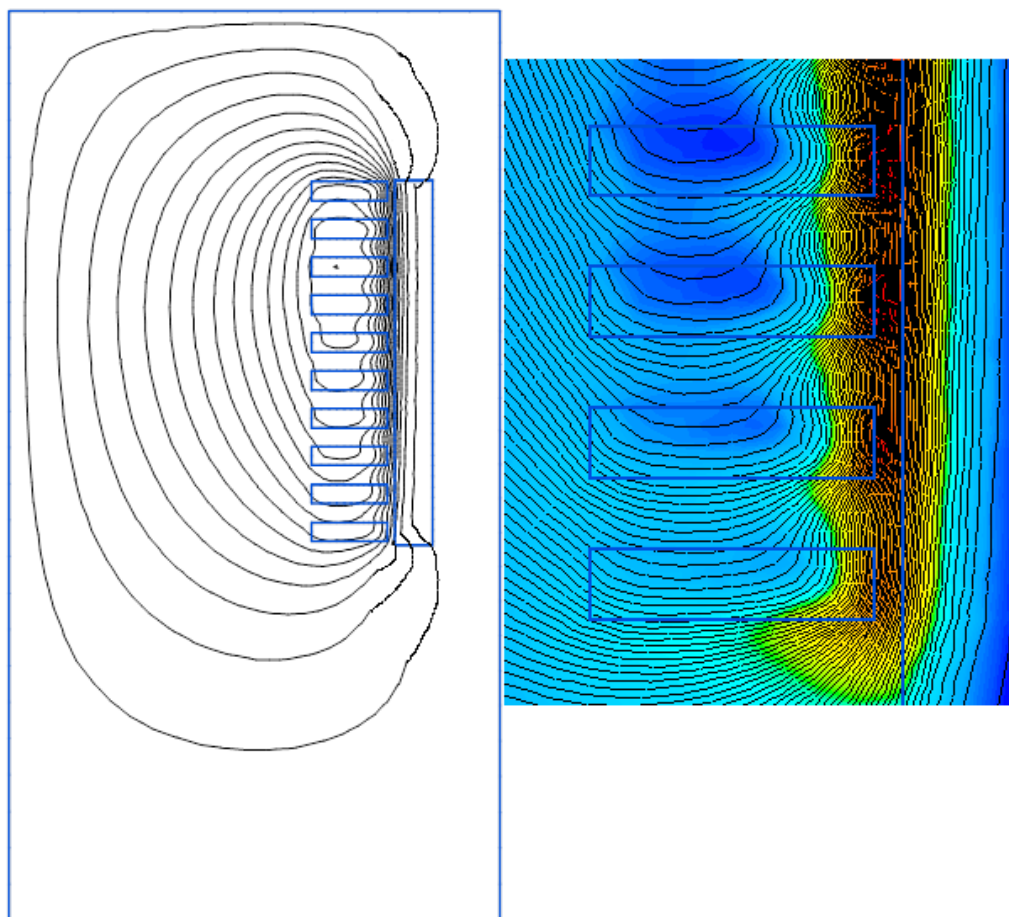


Рисунок 5.14 – Моделирование ИДД с катушкой с межвитковым зазором

По результатам моделирования можно делать вывод, что поток не стремится протекать между витками, так же практически не изменились амплитуда и момент максимума силы. Занесем полученные данные после моделирования в таблицу 5.5

Таблица 5.5 – Результаты моделирования катушки ИДД

| | Без зазора | С зазором |
|---------------------------------|------------|-----------|
| Амплитуда силы, кН | 4,957 | 4,899 |
| Момент максимума силы, мс | 0,2 | 0,21 |
| Ток в момент максимума силы, кА | 3.98 | 4.011 |

После моделирования было определено, что способ намотки катушки не играет большой роли для ИДД. Исходя из этого, обмотка возбуждения выполнена медным проводом прямоугольного сечения, так как такой провод легче закручивать в спираль, нежели провод круглого сечения. Межвитковая изоляция выполнена из поливинилхлоридной пленки черного цвета. Поскольку катушка выполнена в виде спирали Архимеда, она постоянно раскручивается. Для фиксации провода использовался моментальный клей. Намотанная катушка возбуждения ИДД представлена на рисунке 5.15.

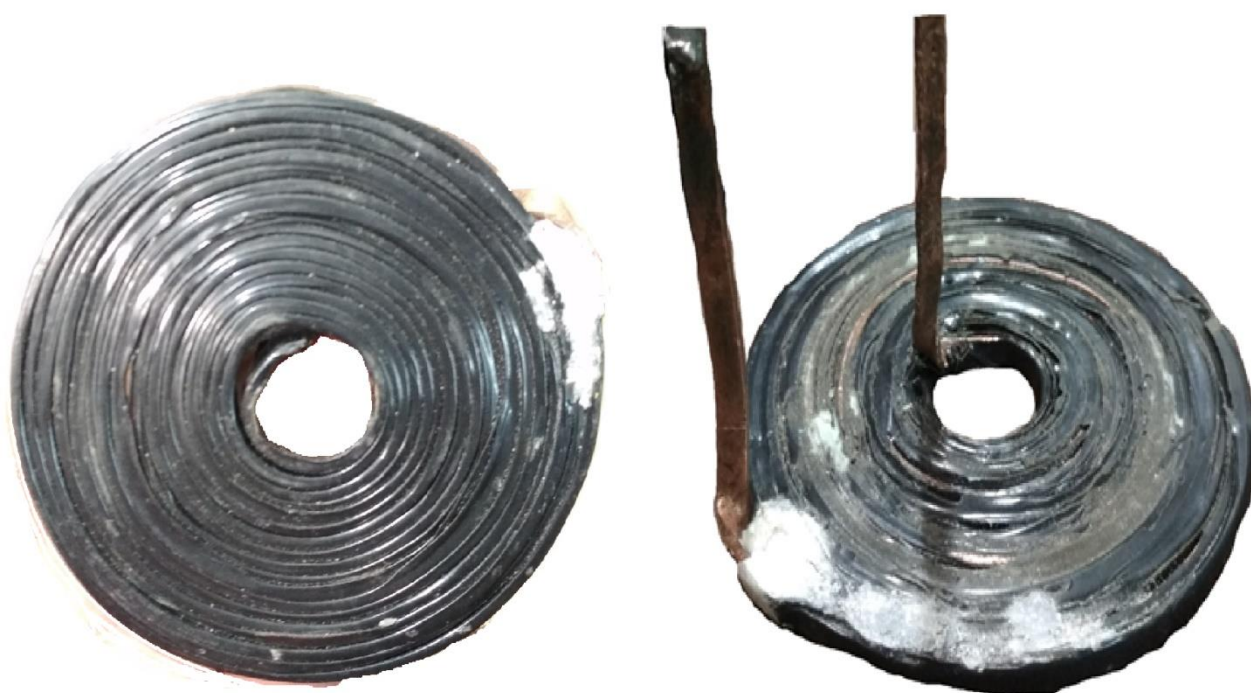


Рисунок 5.15 – Катушка возбуждения ИДД

Намотанная катушка получилась в диаметре 90мм, центральное отверстие 20мм, высота 5 мм.

Чертеж катушки возбуждения ИДД в разрезе представлен на рисунке 3.16

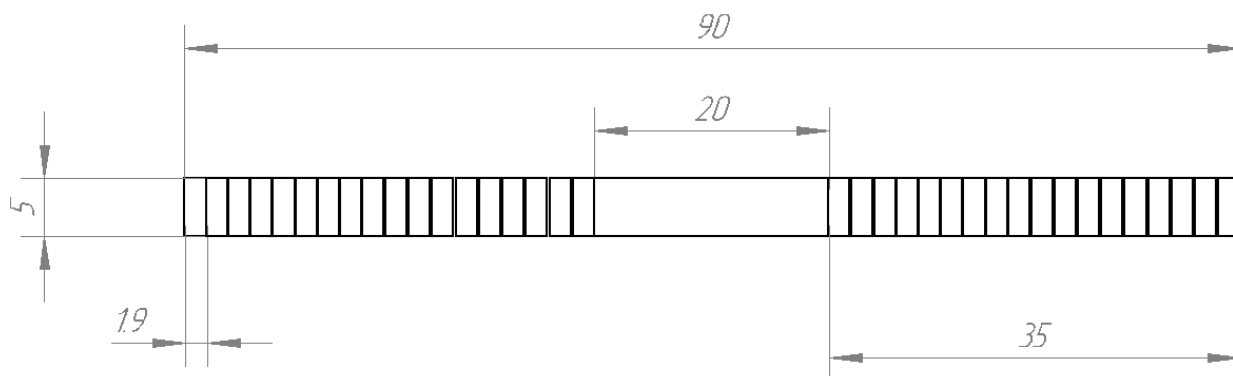


Рисунок 5.16 – Габариты катушки возбуждения ИДД

Поскольку якорь двигателя выполнен в виде диска плотно прилегающего к плоскости катушки возбуждения. Перед созданием якоря ИДД промоделируем, влияют ли прорезы в якоре на амплитуду силы действующей на него. Для моделирования так же воспользуемся программой Elcut 6.3. За основу модели, будут взяты свойства ИДД рассмотренные при моделировании катушки возбуждения без зазоров. В диске-якоре добавим 2 прорезы по 1мм. Суммарная ширина прорезей (2мм) составляет от ширины обмотки (50мм) 4%. На рисунке 5.17 показаны результат моделирования индукционно-динамического привода с двумя кольцевыми прорезями в якоре

Результаты моделирования показывают, если учесть наличие двух кольцевых прорезей по 1 мм в диске, то амплитуда силы упадет с 4,957 до 4.825 кН. (примерно на 2.5 %). Момент амплитуды силы останется 0.2 мс.

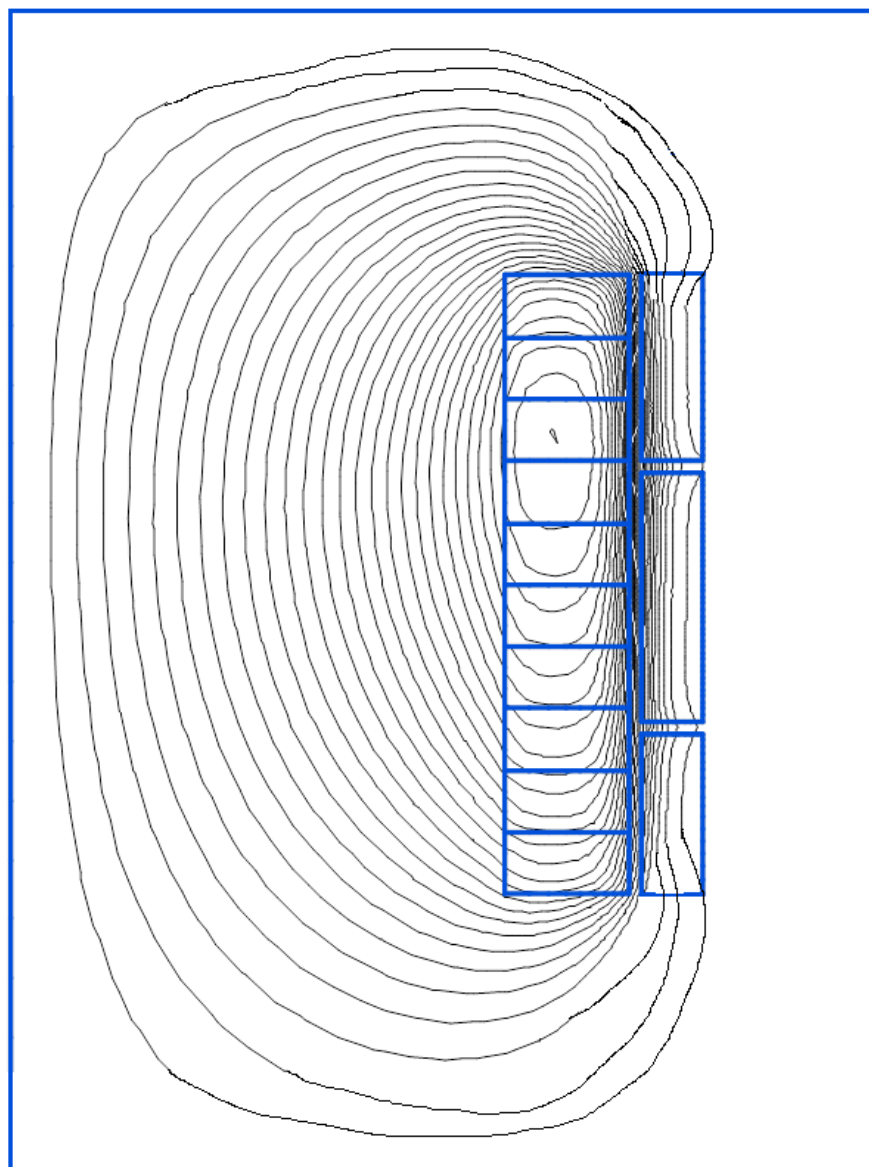


Рисунок 5.17 – Результаты моделирования ИДД с прорезями в якоре

Исходя из моделирования якоря, можно сделать вывод, чтобы двигатель развивал больший момент силы, якорь должен быть монолитным и без прорезей.

Для лабораторного стенда будет использоваться якорь из немагнитного токопроводящего материала. Схематическое расположение катушки и якоря индукционно-динамического привода изображено на рисунке 5.18.

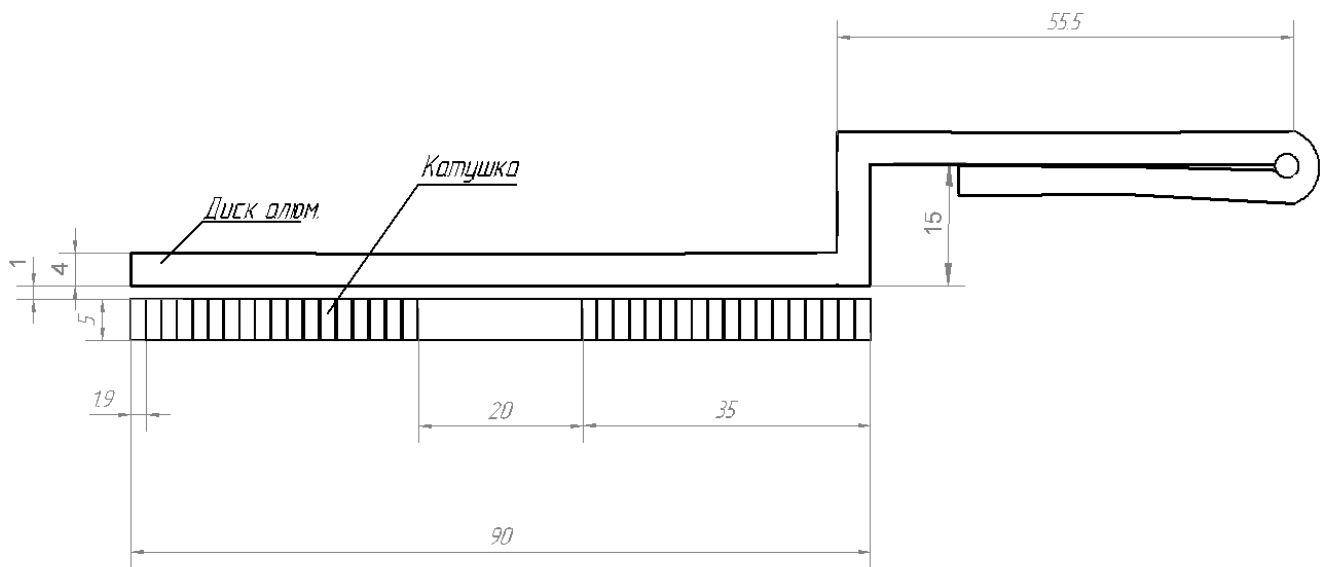


Рисунок 5.18 – Схематическое расположение катушки и якоря ИДД

Поскольку при разряде конденсатора на катушку возбуждения, вокруг катушки создается магнитное поле, которое воздействует на диск, отталкивая его. Для того, чтобы диск оставался подвижным и в то же время не вылетал за пределы стенда, необходимо зафиксировать диск на его поверхности с помощью специального механизма. Изображение механизма крепления диска показано на рисунке 5.19.

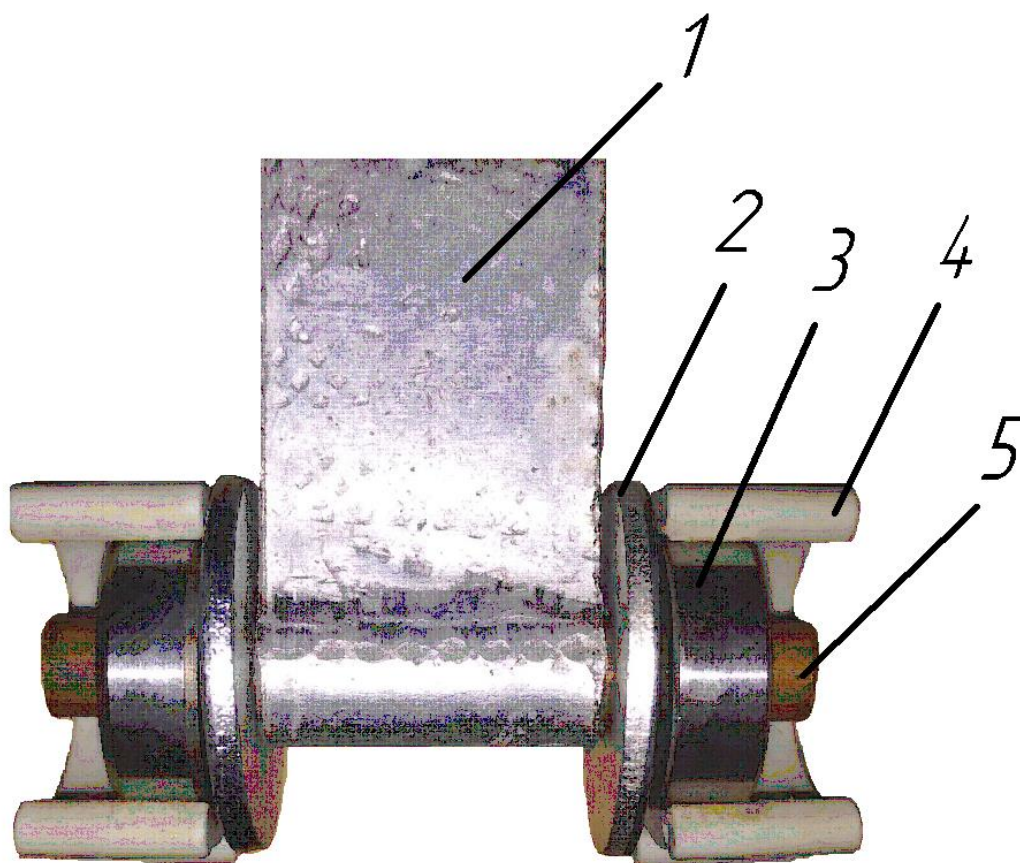


Рисунок 5.19 – Механизм крепления диска

Механизм для крепления диска содержит ось вращения 5, которая выполнена из медной трубки диаметром 8мм. К этой трубке крепится поддерживающее плечо алюминиевого диска – якоря 1. Для поддержания оси вращения 5, используются два шарикоподшипника 3, которые устанавливаются в держатель – клипсу 4. Для того чтобы плечо алюминиевого диска 1 не упиралось в держатель – клипсу, используется две втулки 2, которые центруют якорь ИДД строго над возбуждающей обмоткой.

Благодаря конструкции держатель – клипсы 4, стало возможным использование нескольких якорей, так как замена одного якоря на другой возможна вручную и не требует никаких инструментов.

Для увеличения функциональных возможностей стенда было изготовлено 2 диска из одинакового металла (алюминий). Размеры 1 диска: диаметр 90мм, толщина 2 мм. Размеры 2 диска: диаметр 90мм, толщина 4 мм. Разные габариты дисков позволят наглядно показать как толщина якоря влияет на процессы происходящие внутри него. На рисунке 5.20 изображены два, сменных якоря для индукционно-динамического привода.



Рисунок 5.20 – 1) Якорь толщиной 2мм, 2) Якорь толщиной 4мм

5.5 Подбор измерительного шунтирующего резистора.

Во время работы индукционно-динамического привода через его катушку протекает большой ток. Следовательно, для измерения тока на катушке возбуждения используется вспомогательный токовый шунт. Шунт - это проводник, который имеет очень низкое сопротивление. Применяются шунты для подключения аналоговых – стрелочных и цифровых амперметров и счетчиков ампер-часов. Современные токовые шунты обычно делают из манганина. Манганин это сплав, созданный с высокой точностью пропорций таких элементов как, медь, никель и марганец. Поскольку манганин является искусственным сплавом, то есть в природе он не встречается, его характеристики его структура с течением времени не меняются, к тому же он имеет очень низкое электрическое сопротивление при комнатных температурах. Такие свойства манганита положительно сказываются на точности измерения.

Пластины из манганина впаяны в наконечники – токоотводы. В качестве материала токоотвода, обычно используют латунь, из-за своей дешевизны. Так же встречаются токоотводы из меди. На токоотводах расположены силовые- токовые зажимы, и потенциальные для подключения амперметра. Токовые зажимы можно легко отличить от потенциальных по размерам зажимного винта. К токовым зажимам присоединяются силовые провода, а к потенциальным клеммам присоединяются провода которые соединяют шунт с измерительным прибором.

Для создаваемого стенда был выбран токовый шунт 75ШСММ3. представленный на рисунке 5.21.



Рисунок 5.21 – Токовый шунт 75ШСММЗ

Одним из основных параметров токовых шунтов является номинальное падение напряжения. Существуют токовые шунты с падением напряжения 60, 75, 100, 150мВ. Для того, чтобы не было проблем при замене шунта, связанные с совместимостью, и шунты были легко заменимы на другие, в промышленности пришли к применению шунтов с падением напряжения 75мВ. Подобранный шунт 75ШСММЗ применяется в промышленности, для измерительных приборов. Характеристики токового шунта 75ШСММ представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Технические характеристики токового шунта

| Наименование показателя | Значение физико-механических показателей |
|--|---|
| Номинальный ток | 100 А |
| Номинальное падение напряжения | 75мВ |
| Класс точности | 0,5 |
| Климатическое исполнение. | МЗ |
| Пиковые нагрузки до 2 ч | 120 А |
| Пиковые нагрузки до 5 сек | 1000 А |
| Диапазон рабочих температур | От -40 до +50С |
| Максимальная температура перегрева относительно резистивных элементов шунта, относительно температуры окружающего воздуха не более | до +150С |
| Сопротивление шунта | 750мкОм |
| Вес | 0,25кг |

6. Сборка электрической схемы стенда.

6.1 Сборка зарядного устройства ИДД

Для подключения блока питания стенда к сети 230В 50Гц, был взят кабель ПВС 2х1 с универсальной компактной штепсельной вилкой. На фазном проводе, которого установили клавишный переключатель, для удобного включения и отключения питания. Для подключения DC-DC повышающего преобразователя был взят провод ПуГВ 1х1.5, а для подключения цифрового вольтметра использовался провор ПуГВ 1х0.5. Все подключения осуществляются с соблюдением полярности. Поскольку, вышеперечисленные провода являются многожильными, а клеммы для подключения устройств винтовыми, было принято решение, пропаять все концы проводов. Благодаря припайке проводов, улучшается контакт в зажимной клемме и исключается замыкание отдельными жилами провода. Зарядное устройство состоит из: блока питания 1,повышающего DC-DC преобразователя 2, клавишной кнопки отключения и включения питания 3, провода с универсальной компактной штепсельной вилкой 4, цифрового вольтметра и диапазоном измерения 0-100В 5 и изменяющего выходное напряжение многооборотного резистора на 10кОм 6. На рисунке 6.1 представлено собранное зарядное устройство для индукционно-динамического привода.

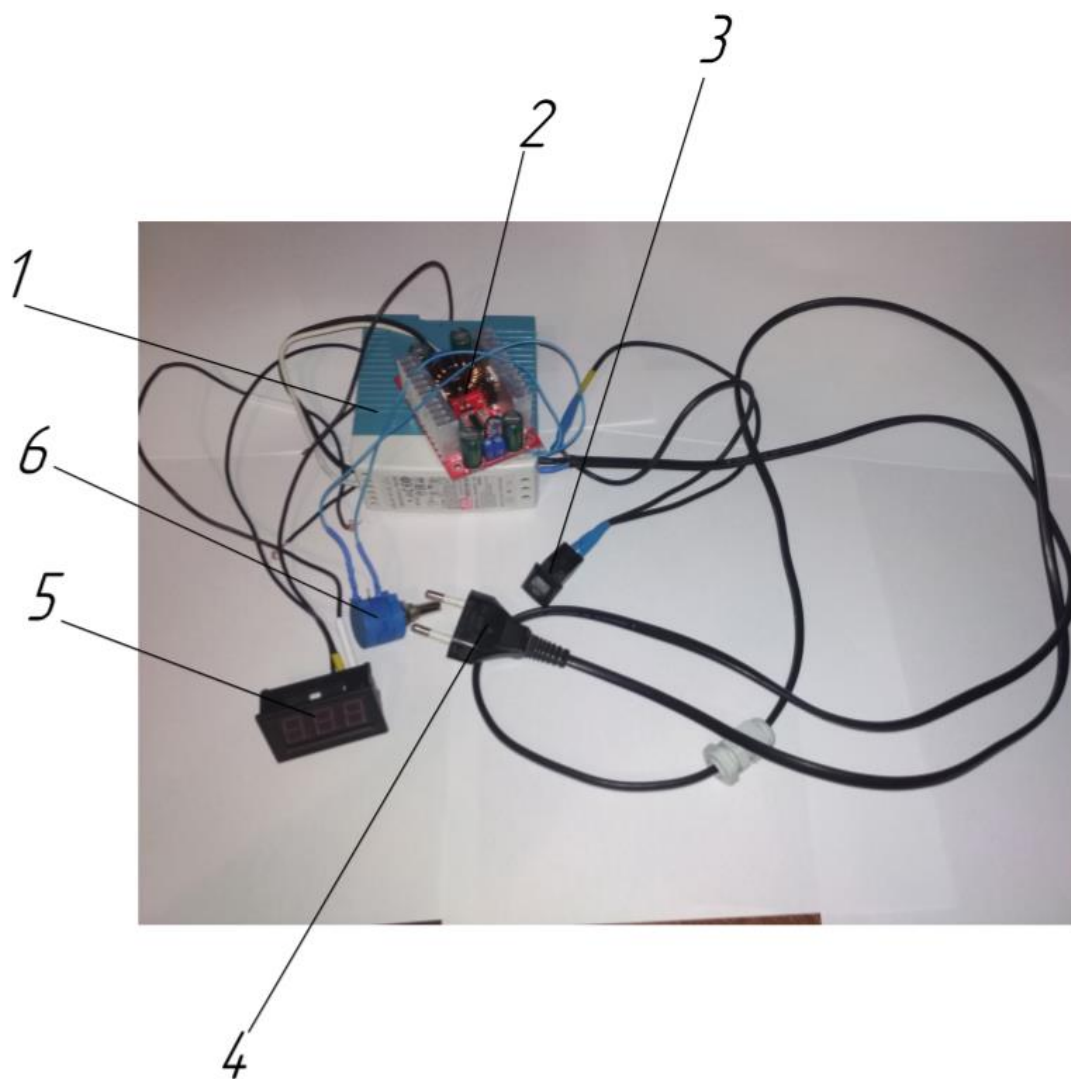


Рисунок 6.1 – Зарядное устройство ИДД

6.2 Сборка емкостного накопителя энергии ИДД

Поскольку во время разряда емкостного накопителя энергии выделяется большое количество энергии, а следовательно по схеме двигателя, течет большой ток необходимо применять провода большего сечения.. Для подключения клавишных переключателей, изменяющих емкость емкостного накопителя энергии , использовался провод ПуГВ 1x2.5 черного цвета.

Емкостной накопитель энергии содержит четыре электролитических конденсатора 1,2,3 и 4 подключенных параллельно. Отрицательные выводы

конденсаторов соединены перемычкой. Положительные выводы конденсаторов 2, 3 и 4 соединены между собой через клавишные переключатели 5, 6 и 7. Общий провод с переключателями соединён с положительным выводом конденсатора 1. Из чего следует, что конденсатор 1 всегда подключен к зарядному устройству и силовому ключу. При включении клавишного переключателя 5, к емкости конденсатора 1 прибавляется емкость конденсатора 2. При включении клавишного переключателя 5 и 6, к емкости конденсатора 1 прибавляется емкость конденсатора 2 и 3. При включении клавишного переключателя 5, 6 и 7, к емкости конденсатора 1 прибавляется емкость конденсатора 2, 3 и 4. Однако переключение переключателей 5, 6 и 7 необходимо производить только при разряженных конденсаторах 1, 2, 3 и 4. В противном случае, если конденсаторы будут заряжены, при переключении любого из переключателей 5, 6 или 7, произойдет импульсный скачек тока, который приведёт к выходу из строя переключателя. На рисунке 6.2 изображён емкостной накопитель энергии состоящий из 4 конденсаторов на 22000мкФ, рабочим напряжением 50В и 3 клавишных переключателя позволяющих ступенчато изменять емкость индукционно-динамического двигателя.

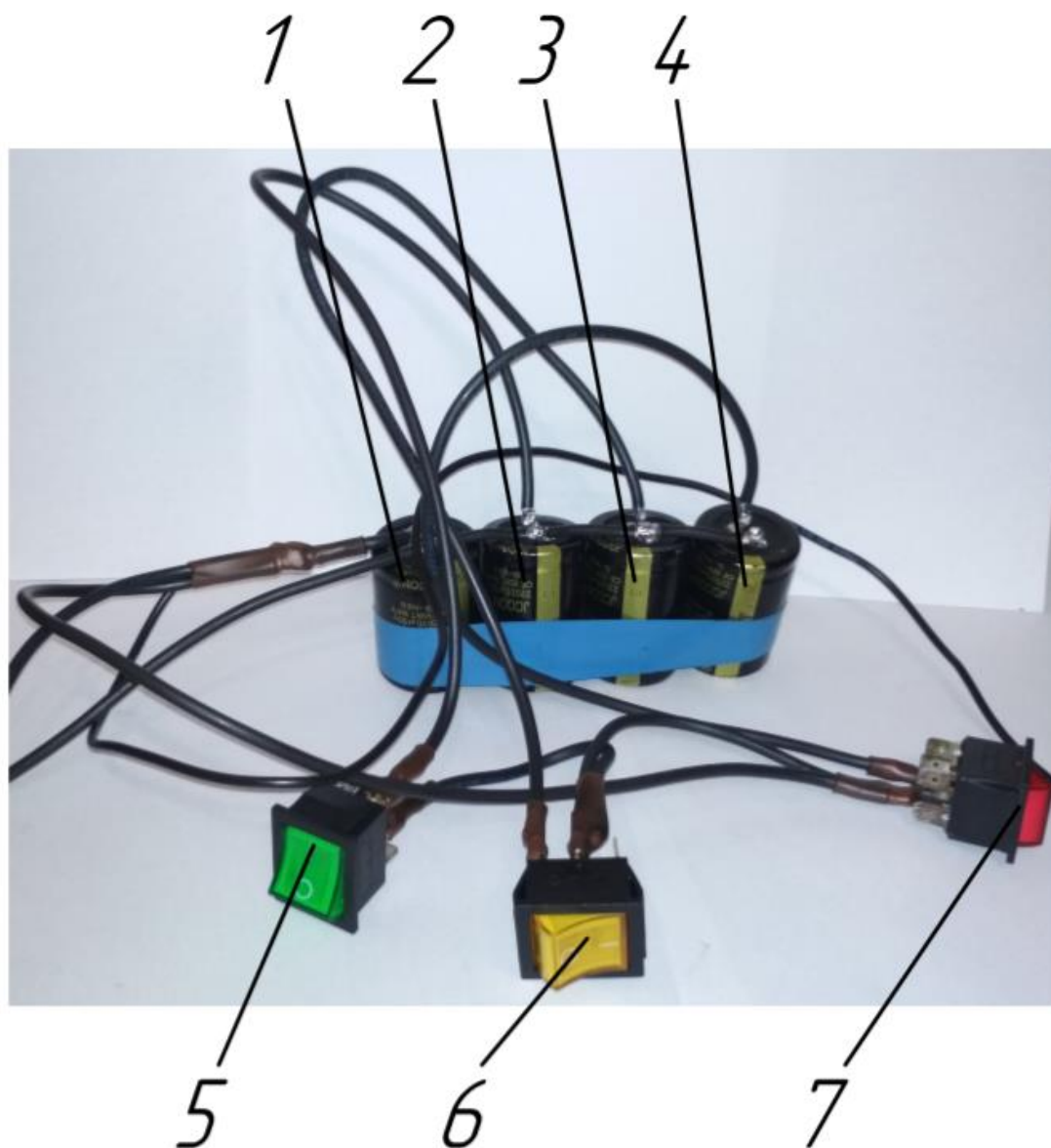


Рисунок 6.2 – Ёмкостной накопитель энергии ИДД

6.3 Сборка силового ключа и катушки ИДД

При сборке силового ключа, ёмкостной накопитель энергии подключается к силовым клеммам 2 и 3 полупроводникового модуля МДТО80-15-2А, а к клеммам 1 и 2 подключается катушка возбуждения индукционно-динамического привода. Подключение катушки возбуждения к силовому ключу осуществляется проводом ПуГВ 1x4. Поскольку токовый

шунт и силовой ключ имеют болтовое соединение, на концы проводников приспособляем кольцевые наконечники НКИ. Поскольку управляющий импульс имеет малый ток в пределах 0.25мА, в качестве проводников будем использовать ПуГВ 1х0,5, провода такого сечения будет достаточно. Концы провода припаиваем к выводам 6 и 7 силового ключа.

В виду того, что на токовом шунте измерительные клеммы выполнены в виде болтового соединения, с одной стороны на концы провода надеваем кольцевые наконечники НКИ, а с другой припаиваем к клеммам на лицевой панели стенда.

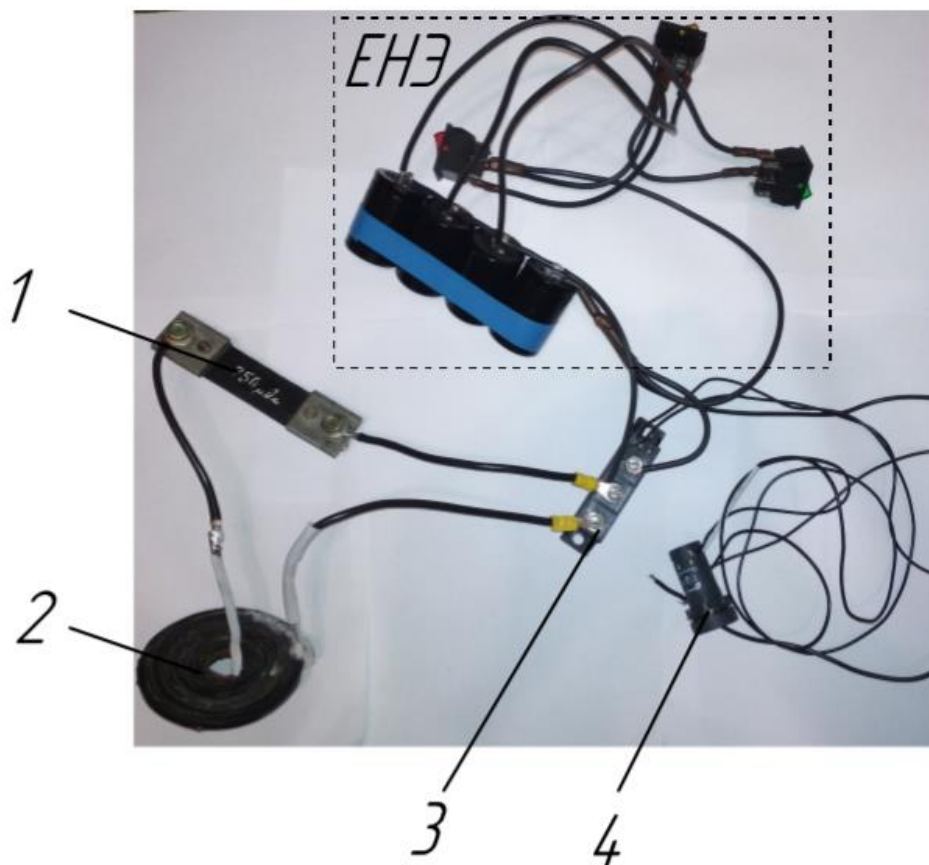


Рисунок 6.3 – Силовая часть ИДД

На рисунке 6.3 изображен полупроводниковый модуль МДТО80-15-2А 3, к силовой клемме №1 подключен первый вывод катушки возбуждения 2. К силовой клемме №2 подключен токовый шунт 75ШМСММ3 1, второй силовой вывод токового шунта подключен ко второму выводу катушки возбуждения 2. Так же к клемме №2 подключен отрицательный вывод емкостного накопителя энергии. К силовой клемме №3 подключен положительный вывод емкостного накопителя энергии. К управляющей клемме №7 подключена черная кнопка Schneider Electric 4 без фиксации с Н.О и Н.З контактами. Клемма №6 подключается на клемму GND блока питания.

7. Проектирование внешнего вида стенда.

Поскольку стенд должен быть небольшим и компактным электрическую схему поместим в корпус стенда. Корпус стенда изготовим в виде прямоугольного параллелепипеда. На рисунке 7.1 изображен чертеж лабораторного стенда, вид сверху.

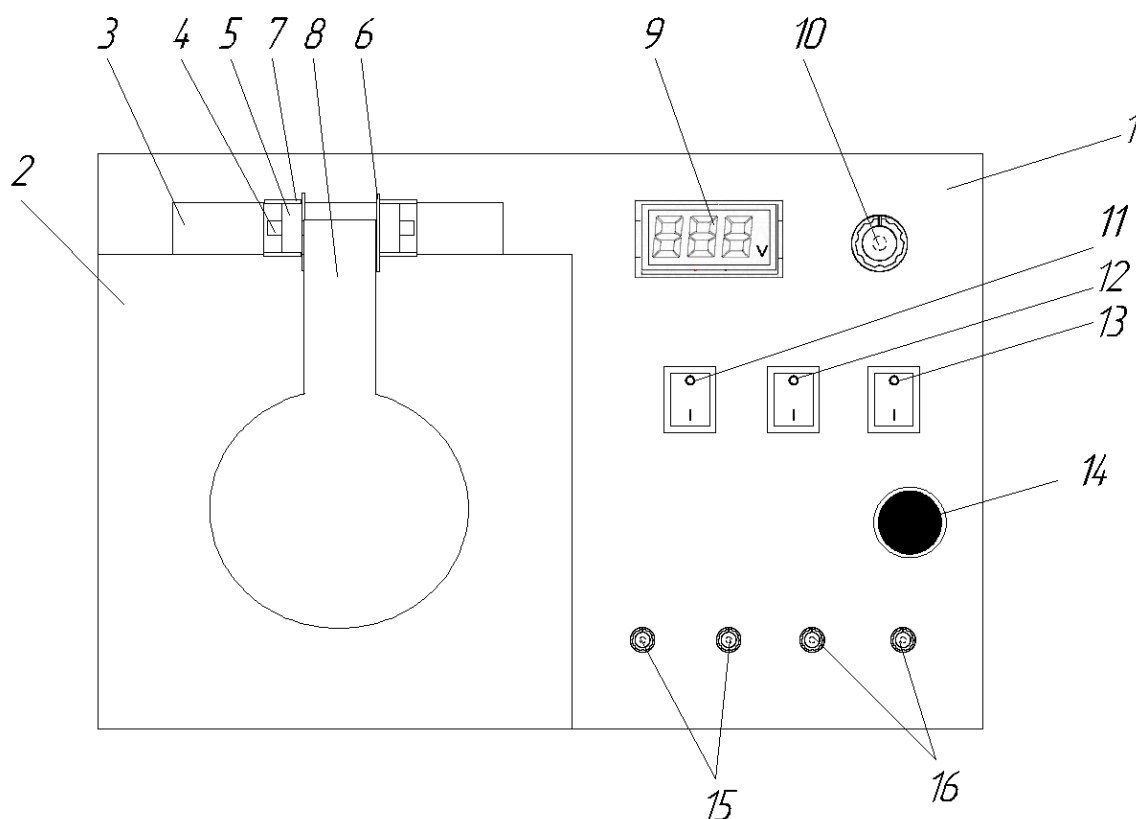


Рисунок 7.1 – чертеж лабораторного стенда, вид сверху

На рисунке 7.1 показан корпус стенда 1, на котором располагается площадка с катушкой 2 и площадка для крепления оси вращения якоря ИДД 3. На площадке 3 находятся два держателя для подшипников 7, в которые вставлены два шариковых подшипника 5. В центр шариковых подшипников вставлена ось 4, к которой приделан якорь индукционно-динамического привода 8. Так же на корпусе стенда 1 расположен цифровой вольтметр 9, на котором показывается

напряжение на емкостном накопителе энергии. Напряжение на ЕНЭ задается с помощью многооборотного прецизионного резистора 10. Для изменения емкости емкостного накопителя энергии, на лицевой панели стенда расположены клавишные переключатели 11, 12 и 13. Для разряда емкостного накопителя энергии на катушку возбуждения используется кнопка 14. Для снятия временных диаграмм напряжения на емкостном накопителе энергии используются клеммы 15. Для снятия временных диаграмм тока на катушке возбуждения используются клеммы 16.

8. Сборка лабораторного стенда по исследованию ИДД.

Из листа фанеры толщиной 10мм выпилим два куска прямоугольной формы с размерами 200х300 мм. Это будет верхняя и нижняя часть лабораторного стенда. Для того , чтобы конструкция стенда была более жесткой. Так же из фанеры был изготовлен внутренний каркас. Боковые панели стенда и накладка на верхнюю часть стенда изготовлены из древесноволокнистой плиты с ламинированной стороной белого цвета толщиной 2 мм. Высота стенда получилась 120 мм.

Площадка, в которую вмонтирована катушка возбуждения, выполнена из древесно волокнистой плиты толщиной 6мм. Для предотвращения механических повреждений катушки возбуждения, площадка покрыта слоем из резины. Площадка с катушкой возбуждения расположена в верхней части стенда. На фотографии 8.1 представлена площадка с катушкой возбуждения.



Рисунок 8.1 – Площадка катушки возбуждения ИДД

Так же на рисунке 7.1 показана площадка для крепления оси вращения якоря индукционно-динамического привода и сам якорь. Площадка оси вращения, для эстетичности покрыта таким же слоем резины, что и площадка с катушкой возбуждения. Для того чтобы диск при полете не ударялся об корпус стенда, на корпусе стенда предусмотрен резиновый отбойник.

Равным образом, в верхней части лабораторного стенда расположены органы индикации и управления. На рисунке 8.2 показаны органы управления и индикации индукционно-динамического двигателя.



Рисунок 8.2 – Органы управления и индикации ИДД

Для того чтобы стенд устойчиво стоял на неровной поверхности, к нижней части стенда прикручены 4 резиновые ножки. Так же там располагается 5 гаек, которые держат нижнюю часть стенда. За счет такого крепления появляется возможность быстрого разбора стенда и его ремонта. На рисунке 8.3 представлена нижняя часть стенда.



Рисунок 8.3 – Нижняя часть стенда ИДД

В месте, где выходит сетевой кабель питания установлен кабельный ввод PG7. Такой кабельный ввод надежно обжимает кабель. К тому же при ремонте или замене кабеля, достаточно просто раскрутить кабельный ввод, вытащить старый кабель и подключить новый. На рисунке 8.4 представлен кабельный ввод для сетевого кабеля.



Рисунок 8.4 – Кабельный ввод для сетевого кабеля

Внутреннее расположение элементов индукционно-динамического привода представлено на рисунке 8.5

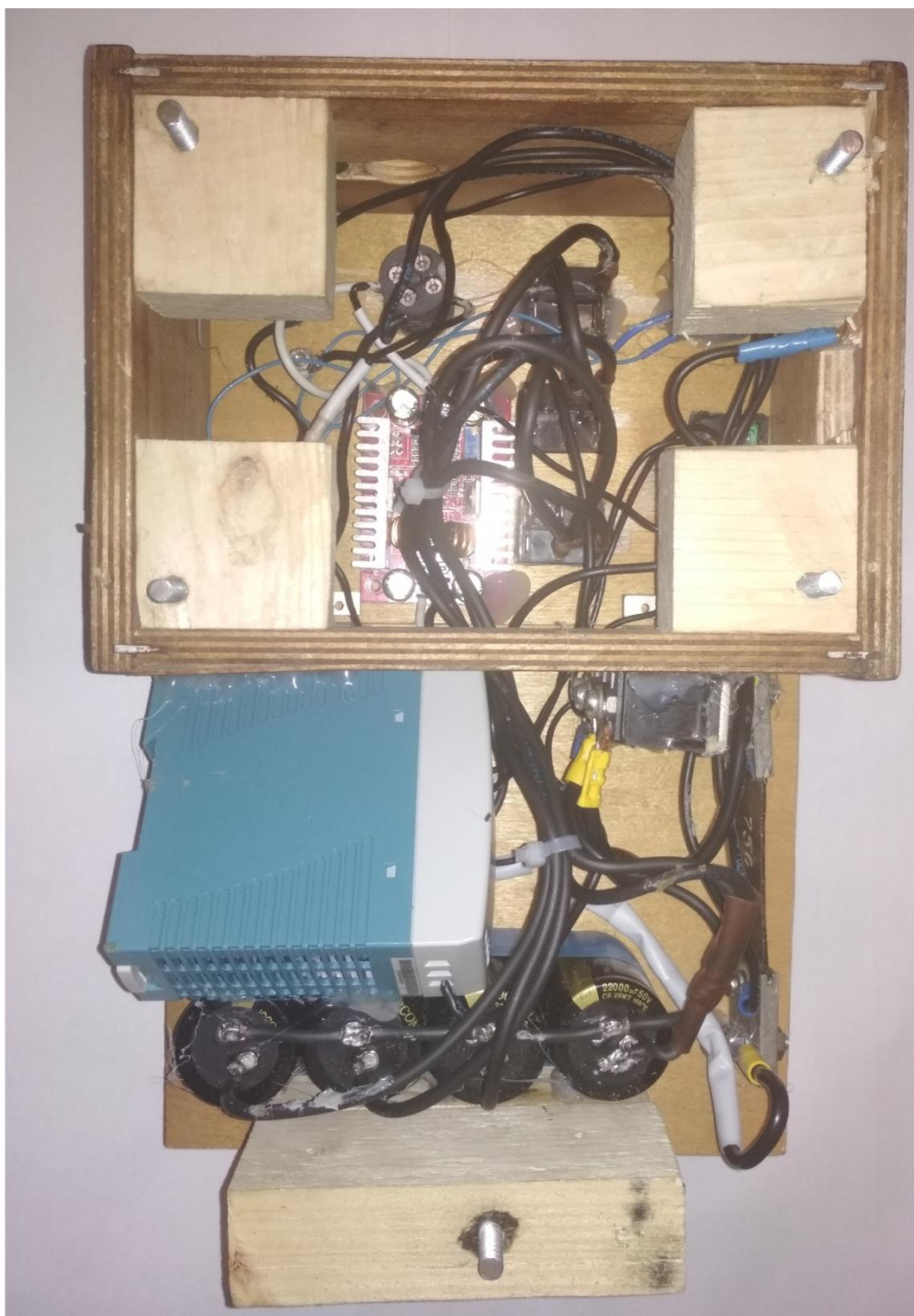


Рисунок 8.5 – Внутреннее расположение элементов ИДД

Готовый, собранный лабораторный стенд по исследованию индукционно-динамического двигателя имеет размеры 320x210x120 мм. Масса собранного стенда 4110 грамм. Для удобства работы со стендом, рядом с органами управления и индикации наклеены пояснительные надписи. Собранный стенд по исследованию индукционно-динамического двигателя представлен на рисунке 8.6.



Рисунок 8.6 – Внешний вид стенда по исследованию ИДД

9. Расчет затрат на проектирование и разработку лабораторного стенда по исследованию ИДД.

Перечень материалов и комплектующий для создания лабораторного стенда по исследованию индукционно-динамического привода представлен в таблице 9.1

Таблица 9.1 – Перечень стоимости покупных комплектующих изделий

| Подгруппа товара | Наименование | ЕИ | Цена руб. | Кол-во | Стоимость |
|--------------------------------------|---|----|-----------|--------|-----------|
| Конденсатор | Алюминиевый электролитический конденсатор 50В, 22000мкФ | шт | 200 | 4 | 800 |
| Модуль диодно-тиристорный | МДТО1-80-15 | шт | 2000 | 1 | 2000 |
| Шунт | Шунт 75ШСМ 100А | шт | 400 | 1 | 400 |
| Блок питания | MDR-60-24, Блок питания, 24В,2.5А,60Вт | шт | 1580 | 1 | 1580 |
| Повышающий преобразователь | DC-DC преобразователь повышающий 10...50В в 12...60В 300 Вт | шт | 300 | 1 | 300 |
| Резистор прецизионный многооборотный | Резистор прецизионный многооборотный,10 кОм, | шт | 100 | 1 | 100 |
| Ручка на резистор | М6Т30 Черная ручка на резистор | шт | 40 | 1 | 40 |
| Вольтметр | Цифровой вольтметр DC 0 - 100 В | шт | 120 | 1 | 120 |
| Клавишный переключатель | IRS-201-1С3 (красный) | шт | 50 | 1 | 50 |
| Клавишный переключатель | IRS-201-1С3 (желтый) | шт | 50 | 1 | 50 |

Продолжение таблицы 9.1

| | | | | | |
|-------------------------|--|----|-----|---|-----|
| Клавишный переключатель | IRS-201-3C3 (зеленый) | шт | 50 | 1 | 50 |
| Клавишный переключатель | MRS-101A-2C3 | шт | 45 | 1 | 45 |
| Кнопка | Schneider Electric XB7NA21 с возвратом HO+H3 22мм черная | шт | 200 | 1 | 200 |
| Клемма | BP-1A RED, Клемма на приборный блок тип 1 (красный) | шт | 30 | 2 | 60 |
| Клемма | BP-1A BLACK, Гнездо на приборный блок черное | шт | 30 | 2 | 60 |
| Держатель | Держатель 20 мм ПВХ серый для труб | шт | 2 | 2 | 4 |
| Подшипник | Подшипник 626ZZ | шт | 120 | 2 | 240 |
| Шайба | Шайба M8 | шт | 2 | 2 | 4 |
| Кабельный ввод | Кабельный ввод PG7 | шт | 10 | 1 | 10 |
| Резина | Резина синяя 1мм 300x300мм | шт | 25 | 1 | 25 |
| Лист алюминиевый. | Лист алюминиевый 2 мм 200x200 | шт | 50 | 1 | 50 |
| Лист алюминиевый. | Лист алюминиевый 4 мм 200x200 | шт | 100 | 1 | 100 |
| Провод | Провод ППИПК-1 НТРЕР 2,80 X 4,5 | шт | 30 | 5 | 150 |
| Резистор | Резистор МЛТ 0.5Вт 1кОм | шт | 2 | 1 | 2 |
| Кабель сетевой | Кабель питания НАМА IEC C7 (2-pin) - Евровилка, 1.5м, черный | шт | 270 | 1 | 270 |
| Провод | Провод ПуГВ 1x4 | м | 23 | 2 | 46 |
| Провод | Провод ПуГВ 1x2,5 | м | 15 | 1 | 15 |

Продолжение таблицы 9.1

| | | | | | |
|------------------------------|--|----|-----|---|-----|
| Провод | Провод ПуГВ 1x1,5 | м | 9 | 2 | 18 |
| Провод | Провод ПуГВ 1x0,5 | м | 4 | 5 | 20 |
| Фанера | ФАНЕРА ФК 10 ММ, 1525X1525ММ, СОРТ 4/4 | шт | 450 | 1 | 450 |
| Химия для пайки | ФЛЮС КАНИФОЛЬНЫЙ NO CLEAN AMTECH NC-559-AS | шт | 120 | 1 | 120 |
| Химия для пайки | Припой ПОС 61 Тр 0.8мм, катушка 100г (06-08г) | шт | 120 | 1 | 120 |
| Химия для пайки | Паяльная кислота флюс ФЦА 0.1л | шт | 150 | 1 | 150 |
| Электромонтажные изделия ИЕК | Хомут 2,5x100мм | уп | 15 | 5 | 15 |

Общая, итоговая стоимость стенда составляет 7664 рубля.

10. Методика работы со стендом

Перед началом работы с лабораторным стендом необходимо прослушать курс по технике безопасности и работе с электронными устройствами, а так же получить разрешение на работу со стендом у преподавателя. После получения разрешения, приступаем непосредственно к работе со стендом. Работа со стендом разделена на следующие этапы:

- Устанавливаем якорь необходимой толщины;
- Устанавливаем необходимую емкость (Изменение емкости производить только при отключенном от сети стенде);
- Подключаем измерительные приборы (осциллограф);
- Подключаем стенд к сети 230В 50Гц.;
- Выставляем необходимое значение напряжение заряда конденсатора;
- Запускаем индукционно динамический привод;
- Фиксируем полученные временные диаграммы напряжения на емкостном накопителе энергии и тока на катушке возбуждения.

Заключение

В данной магистерской диссертации разработана и собрана электрическая схема индукционно-динамического привода. Подобраны комплектующие для создания схемы ИДД. Так же на основе разработанной схемы, изготовлен компактный лабораторный стенд по исследованию индукционно-динамического двигателя. Подобрали материал для корпуса стенда, намотали катушку возбуждения и изготовили пару якорей - дисков для ИДД. Диски имеют разную толщину, 2 и 4 мм.

Созданный стенд имеет габариты 320x210x120мм, а его масса равна 4,11 кг. Напряжение работы индукционно-динамического привода получилось не более 45В. Такое напряжение является безлопастным. Такие параметры стенда позволяют беспрепятственно переносить его, и демонстрировать на днях открытых дверей. Такой стенд не имеет аналогов на рынке, по своим характеристикам и функциональным возможностям.

На разработанном стенде существует возможность изменения начальных параметров привода, таких как напряжение на емкостном накопителе энергии, емкость ёмкостного накопителя энергии или толщину якоря ИДД. За счет немалого числа изменяемых параметров, можно очень детально изучить работу индукционно-динамического двигателя и процессы, протекающие в элементах двигателя при его работе.

Благодаря клеммам, которые расположены в верхней части стенда, появляется возможность фиксировать изменения значений напряжения на емкостном накопителе энергии и тока на катушке возбуждения. Изменения значений напряжения и тока происходят за счет изменения начальных параметров индукционно-динамического привода.

Полученные временные диаграммы напряжения на емкостном накопителе энергии и тока на катушке возбуждения помогут студентам разобраться в принципе действия ИДД и процессах, протекающих в двигателе во время его работы.

Список используемой литературы

1. Dynamic Simulations of Adaptive Design Approaches to Control the Speed of an Induction Machine Considering Parameter Uncertainties and External Perturbations / Zeb K. [and etc] // *Energies*. – 2018 – No 11(9), – PP 2-23
2. Mohammed El-Abd. A Review of Embedded Systems Education in the Arduino Age: Lessons Learned and Future Directions / Mohammed El-Abd // *International Journal of Engineering Education*. – Vol 7, – 2017 – No 2 – PP 79-85
3. Mohamed E.M.A. A Model of EM Fields from Static Data for Moving Conducting Cylinder / Mohamed E.M.A, Robert P. P. // *Journal ASTES*. – Vol. 3 – 2018 – No 5 – PP 307-310
4. Johann R.. Relativistic dynamics of point magnetic moment/ Johann R., Martin F., Andrew S. // *The European Physical Journal C*. – Vol. 3 – January 2018, 78:6 – No 5 – PP 307-310
5. O.N. Vasilenko, V.N. Kostin, The topography of the field and flux inside and above the surfaces of ferromagnetic plates during their contact and contactless magnetization, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, v.9(49), pp. 510-518 (2013)
6. V.N. Kostin, O.N. Lukinykh, Y.G. Smorodinskii, K.V. Kostin, Simulation of field and inductance spatial distribution in locally magnetized massive objects and optimization of U-shaped transducer design, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, v.6(46), pp. 403-410 (2010)
7. Ивашин.В.В. «Схемы формирования импульсного тока от емкостных накопителей энергии и их применение в автономных источниках электропитания» в сб. «Педагогические, экономические и социальные аспекты учебной, научной и производственной деятельности», ТолПИ, с.347, 1998г.
8. Кудинов, А.К. Мощный транзисторный преобразователь для заряда емкостного накопителя энергии / А.К. Кудинов, А.В.

Прядилов, К.Х. Узбеков // Наука – производству. - 2004. - №4(72). - С.53-57.

9. Н.Н.Акимов, Е.П.Ващуков, В.А.Прохоренко, Ю.П.Ходоренок. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА:Справ.-МН.; Беларусь, 1994.-592 с.:ил.

10. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 417с.:ил.8. Электротехнических справочник. В 3 т. Т. 3: В 2кн. Кн. 2. Использование электрической энергии/ Под. общ. ред. профессоров МЭИ: И.Н. Орлова (гл. ред.) и др. – 7-е изд. испр. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. -617с.: ил.

11. Кудинов А.К. Поверочный расчет и уточнение параметров силового электромагнита. Расчет схемы питания, разработка ее конструкции. Отчет по этапу №1 хоздоговора № 062302. ТГУ / Руководитель работы Ивашин В. В. – Тольятти, 2003. – 20 с.

12. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник/В. П. Берзан,Б. Ю. Геликман, М. Н. Гураевский и др.; Под ред. Г. С. Кучинского.—М.: Энергоатомиздат, 1987.—655 с.: ил.

13. Карпенко, Л.Н. Быстродействующие электродинамические отключающие устройства /Л.Н.Карпенко. - Л.: "Энергия", 1973.- 157с., ил.

14. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение/ П.А. Воронин. - М.:Издательский дом “Додека-XXI”, 2001. – 384 с.

15. Лядова, Л.Л. Математическая модель индукционно-динамического привода с емкостным накопителем /Л.Л.Лядова, А.П.Сивков. - М.: Известия высших учебных заведений,1973.-№9.-8с

16. Ю.Н. Стародубцев, В.Я. Белозеров «Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов». Екатеринбург: Издательство Урал. ун-та, 2002. 385 с.
17. Александров, Г.Н. Теория электрических аппаратов: Учеб. для вузов по спец. "Электр. аппараты" — Москва : Высш. шк., 1985. — 312 с
18. Чип и дип. Каталог электронных компонентов 2020. www.chipdip.ru
19. ЭКС. Каталог электрооборудования, кабелей, светотехники 2020. www.e-kc.ru
20. ТД ОПТРОН. Производство полупроводниковых приборов 2020. www.optron.su/
21. ЭТМ iPRO. Каталог электротехники и электрооборудования 2020. www.ipro.etm.ru
22. Импульс. Электронные компоненты 2020. www.impulsi.ru
23. Патент РФ 2013135923/28, 30.07.2013 индукционно-динамический привод сейсмоисточника // Патент РФ № 2533744 С1 30.07.2013 Бюл. № 32 / Чичков А. Н., Ивашин В.В., Иванников Н. А., Кочетков М. В., Узбеков К. Х.
24. Патент РФ 20111132777/07, 03.08.2011 индукционно-динамический привод // Патент РФ № 2485614 С2 03.08.2011 Бюл. № 4 / Ивашин В.В., Иванников Н. А.
25. Патент РФ 20121107182/28, 27.02.2012 невзрывной импульсный наземный сейсмоисточник с индукционно динамическим приводом // Патент РФ № 2522143 С2 10.07.2014 Бюл. № 19 / Ивашин В.В., Иванников Н. А.
26. Патент 2417848/24-07, 09.11.1976 быстродействующий индукционно-динамический привод коммутационного аппарата // Патент № 595802 28.02.1997 Бюл. № 8 / Воздвиженский В.А., Чернов Е. Н., Тютюкин В.А., Однорал А.П.

27. Патент 2479207/25-28, 20.04.1977 индукционно-динамический силовой привод ударной установки // Патент № 819600 07.04.1987 Бюл. № 13 / Синицин А.В., Сиволап В. В.

28. Патент РФ 2012119698/28, 12.05.2012 импульсный невзрывной сейсмоисточник для водной среды // Патент РФ № 2498352 С1 10.11.2013 Бюл. № 31 / Постряков А.Е., Ивашин В.В., Иванников Н. А., Узбеков К. Х.

29. Патент РФ 2011132776/28, 03.08.2011 наземный невзрывной импульсный сейсмоисточник // Патент РФ № 2467357 С1 20.11.2012 Бюл. № 32 / Ивашин В.В., Иванников Н. А.

30. Патент РФ 2009133495/28, 07.09.2009 импульсный невзрывной сейсмоисточник // Патент РФ № 2453870 С2 20.06.2012 Бюл. № 17 / Ивашин В.В., Иванников Н. А., Певчев В.В., Узбеков К.Х.

Приложение А

Перечень элементов схемы ИДД

| | <i>Поз. обознач.</i> | <i>Наименование</i> | <i>Кол.</i> | <i>Примечание</i> | |
|--|----------------------|--|----------------------|-------------------|----------------|
| | | <i>Устройства</i> | | | |
| | A1 | Блок питания 24В | 1 | | |
| | A2 | Повышающий преобразователь DC-DC | 1 | | |
| | A1 | МДТ01-80-15-2А (ключ тиристорный) | 1 | | |
| | | <i>Клавишный переключатель</i> | | | |
| | SA1 | IRS-201-1С3 (зеленый) | 1 | | |
| | SA2 | IRS-201-1С3 (желтый) | 1 | | |
| | SA3 | IRS-201-1С3 (красный) | 1 | | |
| | SA4 | MRS-101A-2С3 (черный) | 1 | | |
| | | <i>Кнопка</i> | | | |
| | SB1 | Schneider Electric XB7NA21 с возвратом Н0+Н3 | 1 | | |
| | | <i>Конденсатор</i> | | | |
| | С1-С4 | К50-35, 50В, 22000мкФ | 4 | | |
| | | <i>Вольтметр</i> | | | |
| | V | Цифровой вольтметр DC 0 - 100 В | 1 | | |
| | | <i>Резистор</i> | | | |
| | R1 | Резистор М/Т 0.5Вт 1кОм | 1 | | |
| | Rш | Шунт 75ШСМ 100А | | | |
| | | <i>Клеммы</i> | | | |
| | X1,X3 | BP-1A RED | 2 | | |
| | X2,X4 | BP-1A BLACK | 2 | | |
| | | <i>Катушка</i> | | | |
| | L1 | Катушка возбуждения ИДД | 1 | | |
| | | 20-110404.133.09.323.01 ПЗ | | | |
| | | <i>Изм</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | |
| | | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | |
| | | <i>Разраб.</i> | <i>Гончаров И.В.</i> | | |
| | | <i>Провер.</i> | <i>Прядилов А.В.</i> | | |
| | | <i>Н. контр.</i> | <i>Прядилов А.В.</i> | | |
| | | <i>Утверд.</i> | <i>Шедцов А.А.</i> | | |
| | | Перечень элементов | | | Лит |
| | | | | | Лист |
| | | | | | Листов |
| | | | | | ТГУ, ЭЛМ-1801а |

Копировал

Формат А4