

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

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника
направленность (профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Интеллектуальный силовой тренажер.

Студент(ка)	<u>М. Е. Орлов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>М.В. Позднов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____
(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2016

Аннотация.

Объем 41 с., 17 рис., 3 таблицы, 21 источник.

Разработка интеллектуального силового тренажера.

Объектом исследования является силовой тренажер с введением с изменением его основной части, внедрением системы управления.

Цель бакалаврской работы заключается в разработке интеллектуального силового тренажера, демонстрирующего уровень подготовки выпускников кафедры "Промышленная электроника", Тольяттинского государственного университета.

Задачи работы: разработка системы управления, расчет параметров системы, разработка требований безопасности и разработка системы противопожарной безопасности, разбор эффективности работы тренажера, освещение его принципа действия и основных составляющих.

Работа состоит из 4 разделов, в которых представлено решение задач работы.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4.
1. Состояние вопроса.....	6.
1.1. Состав тренажера.....	6.
1.1.1. Принцип действия.....	6.
1.1.2. ИППН первого рода.....	7.
1.1.3. Регулятор тока.....	10.
1.1.3.1. Принцип релейного регулирования.....	10.
1.1.3.2. Двухпозиционная схема управления.....	10.
1.1.3.3. Трехпозиционная схема управления.....	13.
1.1.4. Датчик положения.....	16.
1.1.5. Bluetooth-интерфейс.....	17.
2. Расчетная часть.....	19.
2.1. Расчет магнитной части.....	19.
2.2. Тепловой расчет системы.....	22.
2.3. Пути уменьшения мощности.....	26.
2.4. Расчет электрической части.....	28.
3. Безопасность и экологичность.....	31.
4. Эффективность работы.....	35.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	36.
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	37.
Приложение А.....	39.
Приложение Б.....	40.
Приложение В.....	41.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы бакалаврской работы. Как всем известно, в фитнес – клубах, даже в самых продвинутых, нету тренажеров для людей с ограниченными возможностями. Из – за этого они не могут посещать такие заведения. А ведь для таких людей самым главным является поддержка физической формы. И что бы у них была возможность посещать фитнес – клубы, я предлагаю разработку такого изобретения как интеллектуальный силовой тренажер. Интеллектуальный силовой тренажер актуален тем, что, благодаря его конструкции, пользоваться данным тренажером могут люди, имеющие ограниченные физические способности, выполняя основные упражнения для тренировки всех групп мышц. Так же, в данном тренажере не используются «блины» и грузы для установки веса, кгс, в зависимости от которых необходимо приложить то или иное усилие. За счет регулирования тока в обмотке при помощи дисплея на мониторе, можно выставить необходимые кгс с точностью до 1 кг. В современных же тренажерах, используются грузы или «блины», которые, в частых случаях, имеют разность по весу в 5 кг. Например, при тяге верхнего блока за шею, вес в 50 кг может оказаться недостаточным для качественной тренировки, а вес в 55 кг может оказаться довольно тяжелым для тренировки спины этим упражнением, и, в худших случаях, может привести к серьезной травме. В интеллектуальном силовом тренажере данная проблема может быть решена плавным регулированием тока в обмотке. Таким образом, сила будет так же плавно регулироваться, и можно достичь точности регулировки в 1 кг. И что означает, что фитнес – клуб сможет посещать любой человек с ограниченными возможностями.

Целью работы является разработка данного интеллектуального тренажера, его схемы управления, расчет магнитных, тепловых, и электрических параметров. А так же исследование его безопасности, экологичности и экономической эффективности.

В теоретической части рассматривается принцип действия интеллектуального тренажера, его основных частей, безопасность, экологичность, экономическая эффективность.

В практической части производится расчет выше указанных характеристик, построение чертежей и схем.

1. Состояние вопроса

В настоящий момент, разработок по типу интеллектуальных силовых тренажеров очень мало. Но такие тренажеры, в основном, используются для заболеваний суставов, мышц, и других частей тела, восстановления после тяжелых физических травм и т.д.. например, тренажеры с биологической обратной связью (БОС), так называемое физическое зеркало, которое позволяет пациенту на экране монитора увидеть правильность выполнения упражнения и работы мышц, вытаскивание защемленного нерва. Но, как говорилось выше, данный вид тренажера используется для лечения заболеваний суставов, последствий травм, мышц и т.д.

Тренажер, который освещается в данной работе, не имеет направленности на лечение различных травм и заболеваний. Он имеет направленность на развитие мышц. Для людей любой физической категории, что бы без лишнего применения силы можно было выставить нагрузку на упражнение.

Прямых или косвенных аналогов не выявлено.

1.1. Состав тренажера.

Интеллектуальный силовой тренажер состоит из стального сердечника, медной обмотки, стальных полюсов, микроконтроллера, датчика положения, регулятора тока. Тренажер питается от сети 220 В 50 Гц. Подвижной частью является сердечник, соответственно и являющийся грузом. Структурная схема показана на рисунке 1.

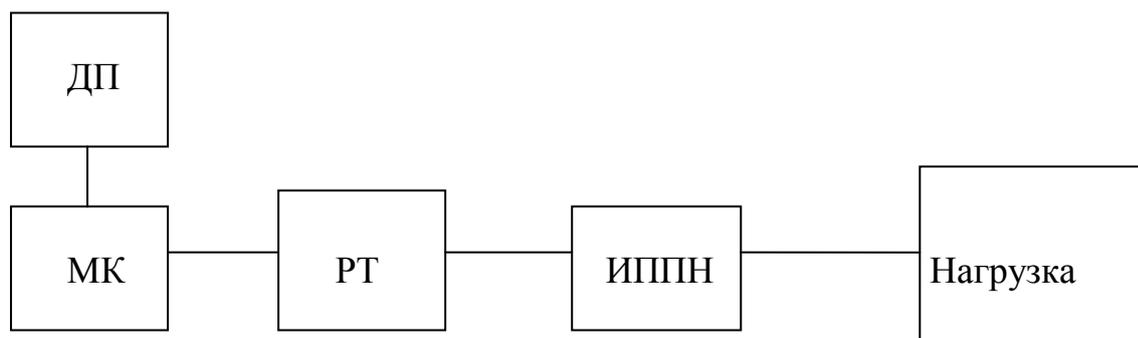


Рисунок 1 – Структурная схема тренажера.

1.1.1. Принцип действия.

К сердечнику прицепляется трос, к тросу крепится приспособление для тренировки. При тяге сердечника вверх он начинает постепенно выходить из магнитного поля, сила удержания его в поле $F_{эм}$ создает необходимое усилие для выбранной нагрузки на тренажере. По мере выхода сердечника из магнитного поля, сила $F_{эм}$ начинает падать, и тем самым, нагрузка начинает падать. Датчик положения, микроконтроллер и регулятор тока служат для того, чтобы сила оставалась постоянной на всей длине хода магнита. Датчик положения находится под сердечником. Начало отсчета равно 0 м. При выходе сердечника датчик положения измеряет, насколько сердечник поднялся, данные передаются в микроконтроллер, и микроконтроллер подает сигнал на регулятор тока, насколько поднялся сердечник и насколько упала сила. Число разности силы подается с компаратора на микроконтроллер. В компараторе известна необходимая сила. После того, как данные все собраны в микроконтроллер, подается сигнал на регулятор тока, который увеличивает ток в обмотке для поддержания необходимой силы $F_{эм}$. С регулятора тока ток на обмотку попадает через импульсный преобразователь постоянного напряжения (ИППН) первого рода.

1.1.2. ИППН первого рода (ИППН-1)

ИППН первого рода может работать в двух режимах по отношению к току дросселя:

- непрерывный
- прерывистый

В ИППН-1 силовой ключ – транзистор, дроссель и нагрузка соединены последовательно. При включении транзистора энергия источника E передается в нагрузку и накапливается в дросселе L и конденсаторе C . При выключении транзистора V_T энергия L передается в нагрузку через шунтирующий диод V_D (рис.1).

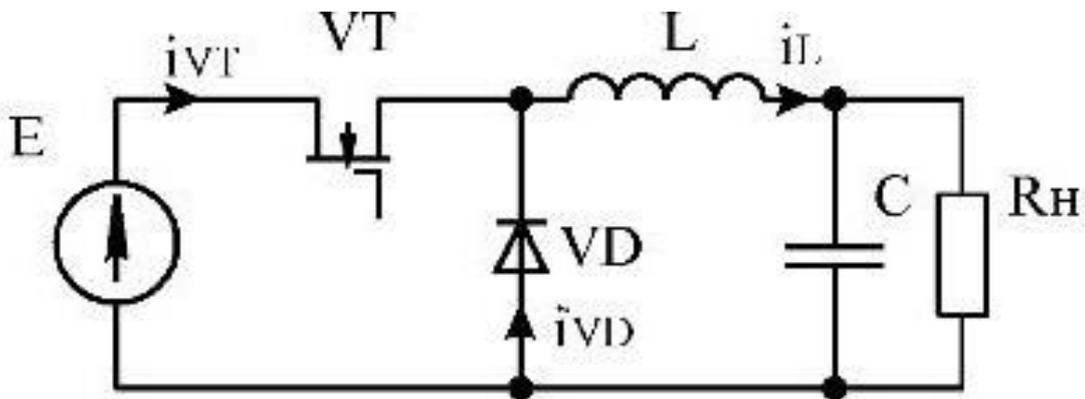


Рисунок 1 – Принципиальная схема ИППН-1 с транзисторным ключевым элементом.

Рассмотрим режим непрерывного тока.

На интервале t_u открытого состояния транзистора VT практически постоянная, в силу сглаженности, разность напряжений входного E и нагрузки U_n приложена к дросселю L . Изменение тока при этом протекающего по цепи $L - C(R_n) - E - VT$ происходит линейным образом и в конечных приращениях ее можно выразить:

$$L \frac{\Delta i_L}{t_u} = E - U_n \Rightarrow \Delta i_L = \frac{E - U_n}{L} \cdot t_u \quad (1.1)$$

Выразим t_u :

$$t_u = \frac{L \cdot \Delta i_L}{E - U_n} \quad (1.1^*)$$

На интервале запертого состояния транзистора ток дросселя L протекает по цепи $L - C(R_n)$ -шунтирующий диод VD . При этом, очевидно, напряжение U_n за

вычетом очень малого падения на диоде приложено к дросселю L . Поэтому уменьшение тока также линейно и определяется уравнением:

$$L \frac{\Delta i_L}{T - t_u} = U_H \Rightarrow \Delta i_L = \frac{U_H}{L} (T - t_u) \quad (1.2)$$

Из уравнений (1.1,1.2), приравнивая через Δi_L :

$$\frac{U_H}{E} = \frac{t_u}{T} = \gamma$$

где γ - коэффициент заполнения импульсов в периоде.

Поскольку очевидно, что $0 \leq \gamma \leq 1$, то из (13.4) выходное напряжение всегда меньше входного.

Прерывистый режим:

Прерывистый режим отличается от непрерывного наличием паузы в токе дросселя длительностью t_x . Когда ток в дросселе спадает до нуля диод выключается и на ключевом элементе VT напряжение становится равным разности входного и выходного напряжений ($E - U_H$), что и отражено ступенчатой формой кривой напряжения на транзисторе, на диоде также имеется ступенчатая форма напряжения. Во время открытия транзистора VT к нему прикладывается обратное напряжение источника E , а при окончании тока L выходное напряжение U_H . Таким образом, на диоде и транзисторе напряжение не превышает входного E . Входной ток всегда разрывной, а вот выходной может быть как разрывным, так и непрерывным в зависимости от управления и параметров ИППН

Рассмотрев два режима работы ИППН первого рода, можно сделать вывод о том, что в данном случае тренажера, при регулировании тока в обмотке, необходим прерывистый режим, так как в данном режиме ток в дросселе спадает до нуля и

полностью передается в нагрузку, тем самым, увеличивая коэффициент полезного действия.

1.1.3. Регулятор тока.

1.1.3.1. Принцип релейного регулирования.

1.1.3.2. Двухпозиционная схема управления.

Системой управления с релейным регулятором, называют систему автоматического регулирования, устойчивое функционирование которой обеспечивается периодическим переключением направления движения. При этом управляющее воздействие может принимать ограниченное число фиксированных состояний обычно два или три.

Импульсный релейный регулятор содержит собой импульсный преобразователь (например, это может быть по структуре импульсный преобразователь постоянного напряжения), функция которого в соответствии с алгоритмом осуществлять коммутацию источника питания E , на нагрузку. Управляющая часть – система управления (СУ) осуществляет отслеживание по обратной связи тока $i_{ос}$ и определяет состояния ключа k для формирования тока в нагрузке по заданному закону $i_{з}$ с необходимой ошибкой Δ .

Рассмотрим работу регулятора на примере $LnRn$ - нагрузки (рис.1.1). Регулятор с двумя состояниями работает, как правило, по двум алгоритмам:

$$U_{вых} = \begin{cases} k = 1, E; \\ k = 0, 0. \end{cases} \quad \text{или} \quad U_{вых} = \begin{cases} k = 1, E; \\ k = 0, -E. \end{cases}$$

где k - состояния ключа(ключей), E - напряжение источника питания, $U_{вых}$ – напряжение приложенное к нагрузке в заданном состоянии.

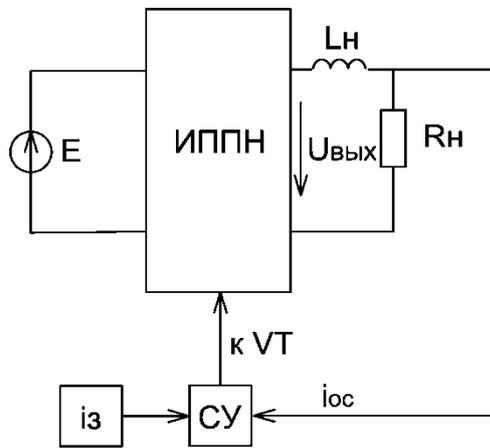


Рисунок 2 - Функциональная схема импульсного регулятора.

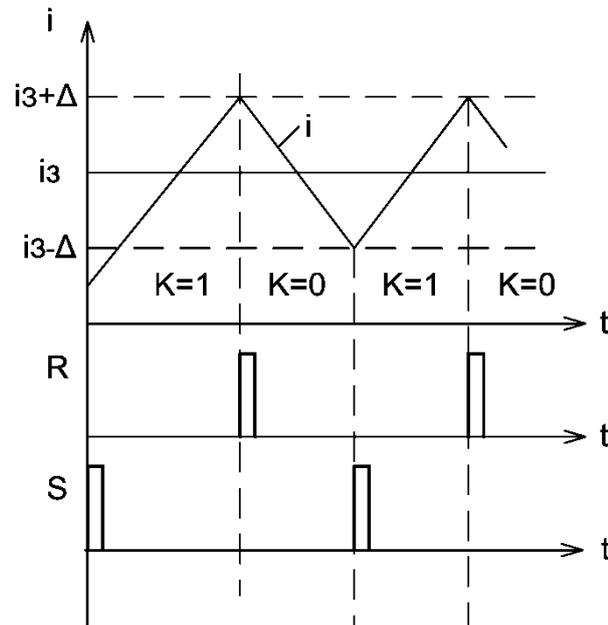


Рисунок 3 – Диаграммы регулирования тока в системе с двумя фиксированными состояниями.

Нагрузка, таким образом, может находиться либо при однополярном напряжении, либо двуполярном, что влияет в конечном итоге на зону регулирования тока и скорость регулирования.

Условиями переключения k , в случае регулирования тока активно-индуктивной нагрузки, является достижение заданного параметра регулирования (тока) в пределах установленной погрешности Δ от заданного значения тока i_3 (рисунок 1.2):

$$k = \begin{cases} i \geq (i_3 + \Delta), 1; \\ i \leq (i_3 - \Delta), 0. \end{cases}$$

Здесь $i_3 + \Delta$ и $i_3 - \Delta$ верхняя и нижняя границы тока задания. В схемотехнической реализации отслеживание порогов осуществляется компараторами (рис.1.3а), т.к. компаратор управляется не токами, а напряжениями, предполагается, что сигнал обратной связи по току и токовые пороги (i_{oc} , $i_3 + \Delta$ и $i_3 - \Delta$) являются напряжениями пропорциональными этим токам. Верхний компаратор следит за пересечением верхней границы током нагрузки. При ее превышении после подачи на R вход триггера единицы триггер переходит в состояние 0 и ключ отключается $k=0$, о чем показывают диаграммы на рис.1.2. При пересечении нижней границы током i_{oc} ключ включается $k=1$.

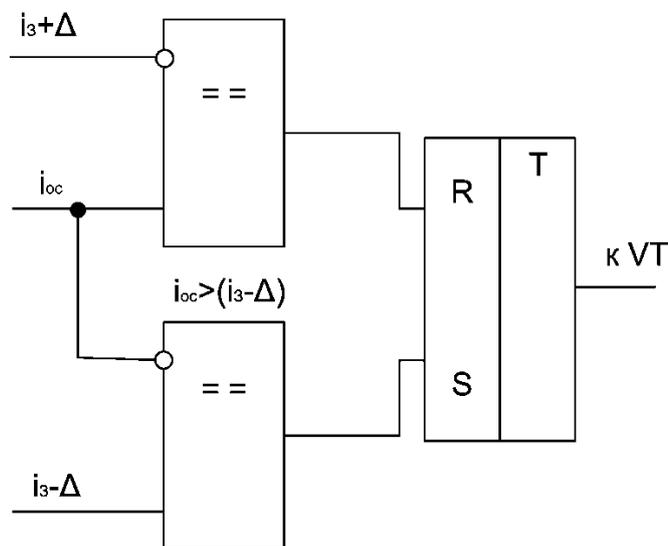


Рисунок 4 – Регулятор тока.

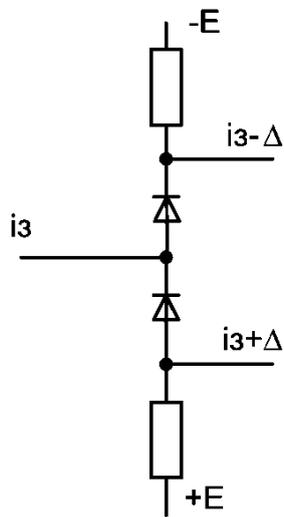


Рисунок 5 – Схема задания порогов $i_3 + \Delta, i_3 - \Delta$

На рисунках 4, 5 показаны варианты схемной реализации элементов регулятора, работающего на двух состояниях.

Сформировать схемотехнически $i_3 - \Delta$ и $i_3 + \Delta$ можно по разному, вариант с использованием пороговых элементов VD1 и VD2 приведен на рис.1.3. При расчете схемы таким образом, что через диоды всегда будут протекать токи падения напряжений на VD1, VD2 будут примерно постоянными, и на соответственно потенциалы точек на аноде VD1 и катоде VD2, выше и соответственно ниже напряжения задания соответствующего току i_3 , на одинаковую величину Δ . Достоинством схемы является простота задания порогов, однако плавная регулировка этих порогов не возможна, некоторое изменение дискретным образом возможно путем добавления последовательных диодов к диодам VD1, VD2, либо заменой их на стабилитроны.

1.1.3.3. Трехпозиционная схема управления.

В случае регулятора с тремя состояниями выходное напряжение изменяется по закону:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} k = 1, E; \\ k = 0, 0; \\ k = -1, -E. \end{cases}$$

То есть на нагрузке может быть напряжения трех уровней (+E,0,-E), при этом изменение тока от действия этих напряжений может быть как форсированным (k=-1 или k=1), так и положим (k=0).

Трехпозиционное регулирование имеет существенные преимущества перед двухпозиционным и в некоторых случаях может оказаться предпочтительным, несмотря на сложность реализации. Основные преимущества алгоритма регулирования:

- частота коммутаций ниже чем в двухпозиционном, а следовательно ниже и потери в ключевых элементах;
- сквозные токи возникают только в одном плече при каждом переключении, в том плече, где ключи переключаются с верхнего на нижний или наоборот, это уменьшает динамические потери в преобразователе в два раза;
- в магнитопроводе нагрузки потери также уменьшаются, т.к. они примерно зависят от квадрата напряжения (квадрата скорости нарастания потока в магнитопроводе), а в случае двух полярного напряжения (двух состояниях управления) он выше, т.к. в трехпозиционной системе управления есть промежутки с нулевым напряжением.

Пример переключений при формировании тока в нагрузке инверторной мостовой схемой по рисунку 1.3а показан на рисунке 1.3б.

На рисунке изображен процесс регулирования при $i_z > 0$. По рисунку возможные состояния приключения ключей включают - VT1=1, VT4=1 соответствуют режиму k=1, состояние VT1=1, VT4=0 соответствует режиму k=0, состояние VT1=0, VT4=0 соответствует режиму k=-1.

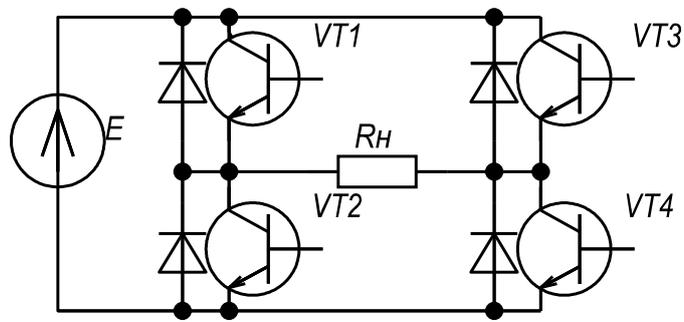


Рисунок 6 – Силовая схема регулятора.

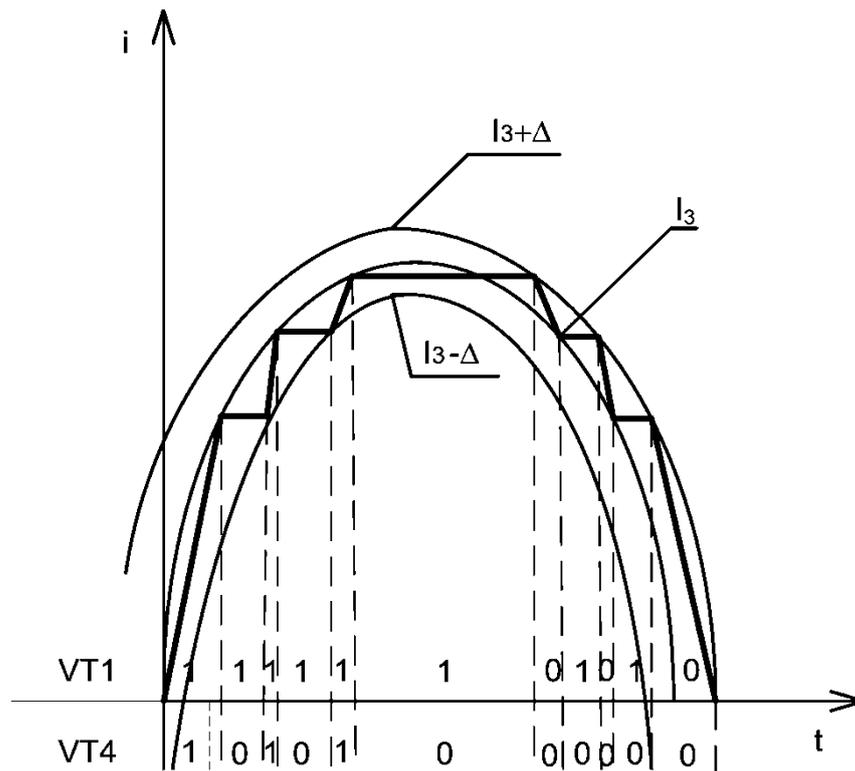


Рисунок 7 – Диаграмма работы регулятора при трех фиксированных состояниях.

Формирование тока на положительной волне тока i_3 происходит при помощи переключения только диагональных ключей $VT1, VT4$, остальные ключи остаются выключены весь этот промежуток (на поле графика, обозначено состояние ключей $VT1$ и $VT4$). При этом можно заметить, что переключение одного ключа (например $VT4$) из 0 в 1 и обратно идет при пересечении уровней $i_3 - \Delta$ и, соответственно, уровня i_3 , а второго ($VT1$) только при пересечении уровней $i_3 + \Delta$ и i_3 , следовательно необходимо три компаратора ($DA1.x$) для управления этими ключами. Попарная

работа компараторов DA 1.1. и DA 1.2. , а также DA 1.2. и DA 1.3 во многом аналогична работе в двухпозиционном регуляторе.

Смена полярности i_z должна приводить к запрету формирования управления ключей VT1, VT4 и разрешению работы VT3, VT2, для симметричного формирования тока в нагрузке отрицательной полярности. Для этих целей можно использовать компаратор DA2 полярности i_z , и стробирующие элементы на выходе регулятора (см. рис.1.5). Особенностью управления также является то, что со сменой полярности тока i_z нижний порог тока $i_z - \Delta$ становится верхним, а верхний $i_z + \Delta$ - нижним, что также требует смены полярности входов у компараторов (DA3.x) управляющих VT3, VT2.

1.1.4. Датчик положения.

Датчик положения необходим для определения положения сердечника по высоте. Данные с датчика положения необходимы для регулирования тока в обмотке электромагнита.

В качестве датчик положения, или датчика измерения дальности, был выбран ультразвуковой датчик HC-SR04, с возможностью подключения к микроконтроллеру ардуино. Этот датчик характеризуется дальностью измерения от 2 см до 4 м.

Электрические параметры:

- Рабочее напряжение – 5 В.
- Рабочий ток – 15 мА.
- Рабочая частота - 40 МГц.
- Рабочий угол – до 15 градусов.
- Входной сигнал триггера – 10 мкс, ТТЛ.
- Размеры – 45*20*15 мм

Необходимо подать короткий импульс в 10 мкс, для его запуска, далее, с частотой 40 МГц, будет производиться измерение дальности до объекта с помощью эхолокации.

Не рекомендуется подключать модуль непосредственно в электрическую сеть, если соединение электрическое, то заземляющий вывод должен быть подключен в первую очередь, в противном случае, это может повлиять на работу модели и устройства в целом.

При измерении объекта, минимальная площадь объекта должна составлять не менее 0.5 квадратных метров, и поверхность должна быть с минимальной шероховатостью, иначе, при не соблюдении этих требований, точность измерения может быть снижена.

1.1.5. Bluetooth-интерфейс.

В работе, для регулирования тока в обмотке, возможно использовать через смартфоны Bluetooth-интерфейс. На смартфон устанавливается примитивное приложение с выбором веса в килограммах, с Bluetooth передаётся на микроконтроллер сигнал, несущий информацию о нагрузке.

Посредством интерфейса Bluetooth можно объединить как два, так и сразу несколько устройств. В первом случае подключение осуществляется по схеме «точка — точка», во втором — по схеме «точка — многоточка». Независимо от схемы соединения одно из устройств является ведущим (master), остальные — ведомыми (slave). Ведущее устройство задает шаблон, который будут использовать все ведомые устройства, а также синхронизирует их работу. Соединенные таким образом устройства образуют пикосеть (piconet). В рамках одной пикосети могут быть объединены одно ведущее и до семи ведомых устройств (рис. 1 и 2). Кроме того, допускается наличие в пикосети дополнительных ведомых устройств (сверх семи), которые имеют статус заблокированных (parked): они не участвуют в обмене данными, но при этом находятся в синхронизации с ведущим устройством.



Рисунок 8 - Схема пикосети,
объединяющей два устройства

Самый оптимальный вариант использования Bluetooth в данной работе, это Bluetooth 4.0, так как эта базовая спецификация имеет ключевую особенность в низком энергопотреблении за счет ограничения скорости передачи данных, и за счет не постоянной работы, то есть включен только на время передачи данных.

Так же, существуют несколько профилей Bluetooth-интерфейсов. На интеллектуальный силовой тренажер, для передачи данных в виде двухзначной или однозначной цифры, самым оптимальным будет профиль BTP (Basic text profile), обеспечивающий передачу текстовых сообщений.

Вообще, существует множество вариантов задания нагрузки тренажера. Bluetooth является одним из этих способов. Также, возможно задание регулировки через Wi-Fi модуль, так как все современные телефоны, даже самые дешевые, имеют функцию подключения к Wi-Fi сети. У Wi-Fi сети площадь действия больше, и, при небольших площадях зала возможно управление всеми тренажерами.

2. Расчетная часть.

В расчетной части освещаются расчеты разных параметров системы, при разных геометрических размерах и так далее. Все расчеты производятся как в статическом, так и в динамическом режиме. При проведении расчетов была использована программа Elcut 5.1 Professional. Геометрические размеры тренажера, а именно самого сердечника составляют 900*50 мм.

2.1. Расчет электромагнитного привода.

При расчете магнитостатической системы применялась программа Elcut, была выбрана осесимметричная конструкция, задача магнитостатики.

Сердечник и полюса изготовлены из Стали 3, обмотка из меди. Кривая В-Н стали 3 представлена на рисунке 9.

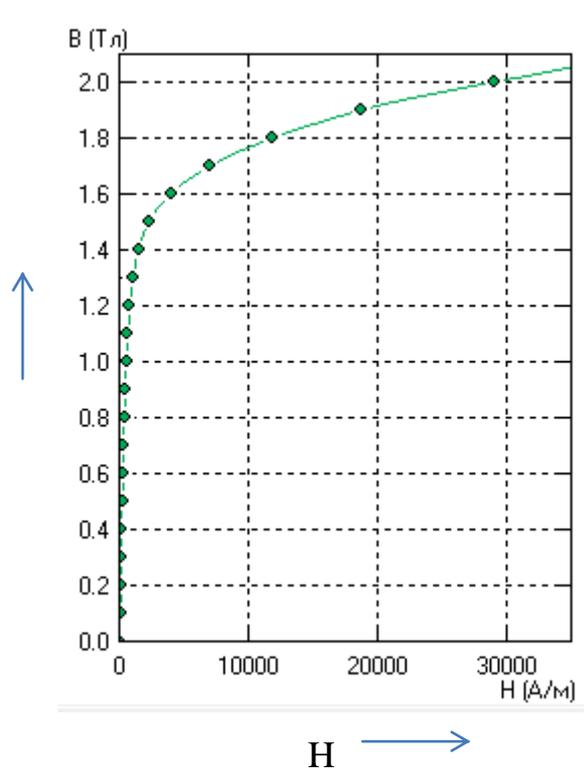


Рисунок 9 – Кривая намагничивания Стали Ст3.

Расчет магнитной задачи проводился с целью понятия реагирования системы на то или иное изменение, какого-либо параметра. В частности, изменялись: плотность тока в обмотке, геометрические размеры сердечника, как по высоте, так и по диаметру.

Для изучения процесса быстроты спада тока в обмотке, а так же для выбора оптимального режима, изменялась плотность тока в обмотке. Исходная плотность равна 4 А/м^2 . Расчет проводился при трех плотностях: 4, 2 и 1 А/м^2 .

Результаты расчетов представлены в виде графиков на рисунках 10, 11, 12.

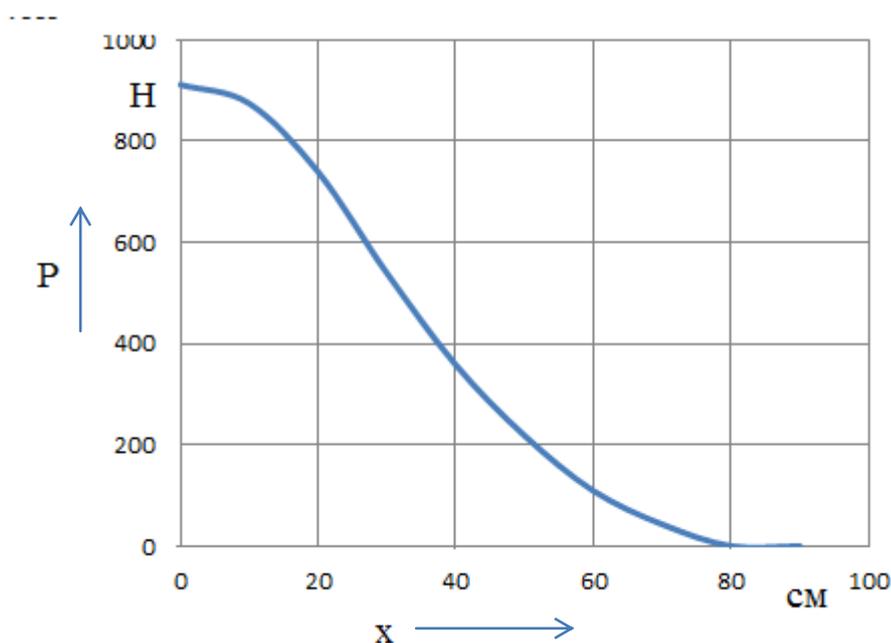


Рисунок 10 – График зависимости силы от положения при изменении положения при 4 А/м^2 .

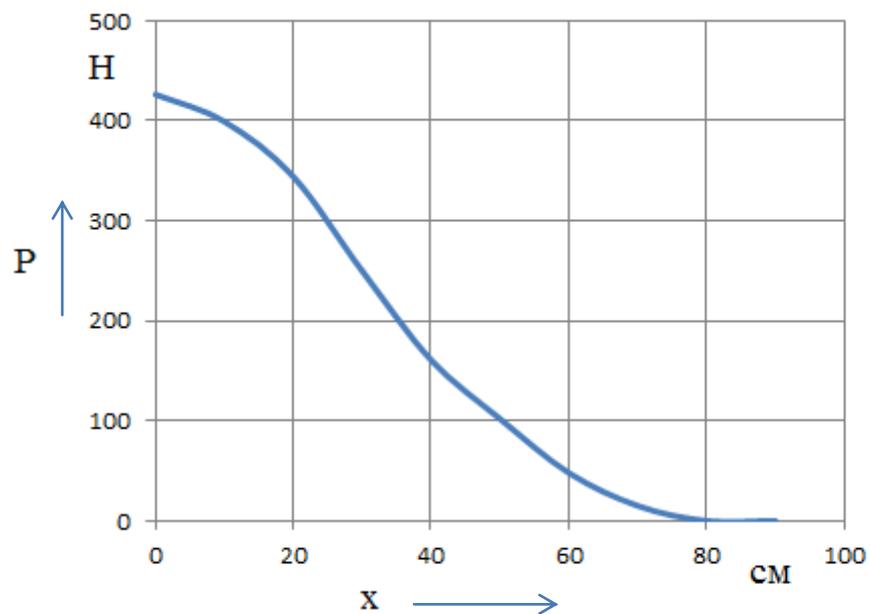


Рисунок 11 – График зависимости силы от положения при изменении положения. 2 A/m^2 .

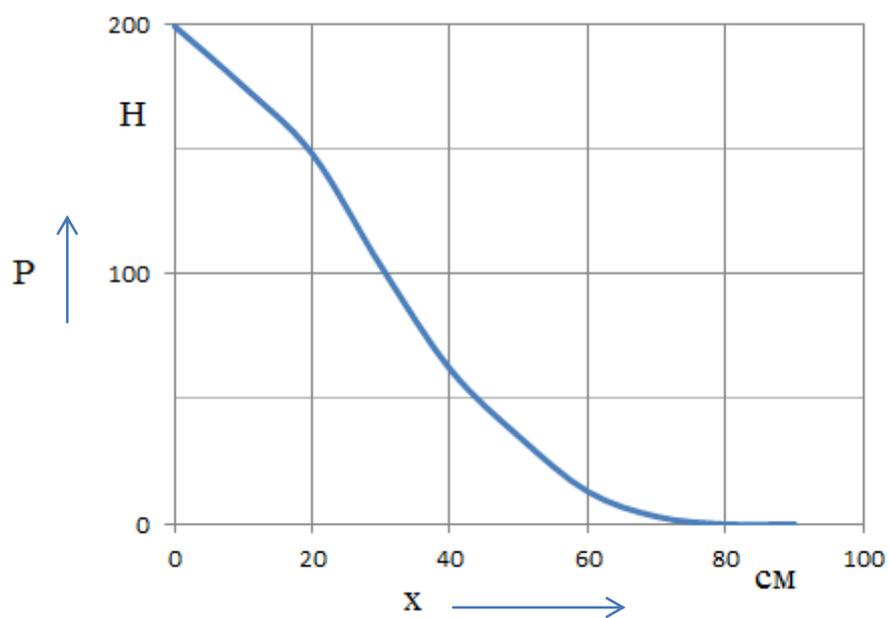


Рисунок 12 - График зависимости силы от положения при изменении положения. 1 A/m^2

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что для наиболее подходящих тренировок подойдет плотность тока в 4 А/м^2 , поскольку, при 4 А/м^2 достигается большая сила, чем при остальных плотностях тока.

При меньших плотностях тока характеристики имеют более сглаженный вид, то есть происходит более плавный спад тока, и, соответственно силы. Это обусловлено тем, что начальная сила не высока, и, до конечно момента, когда сердечник полностью выходит из поля, сердечник проходит то же расстояние, что и при высокой плотности тока в 4 А/м^2 .

Для того, что бы при 4 А/м^2 сила была близка к постоянной, или имела слабый спад тока, необходим релейный регулятор тока, который будет поддерживать ток в приблизительно одной точке.

2.2. Тепловой расчет системы.

Был произведен тепловой расчет с целью получения значений температуры во время работы системы. Расчет был произведен в среде Elcut.

Так как тренажер находится в вертикальном положении, и сердечник имеет вид цилиндра, то будем считать, что теплоотдача конвекцией происходит от вертикальной трубы. Класс изоляции Н – то есть, максимальная температура нагрева изоляции $180 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2.1. Расчет теплопередачи конвекцией от вертикальной трубы.

Для расчета теплопередачи свободной конвекцией от вертикальной трубы, нужен характеристический размер. Для вертикально трубы, это путь, который проходит воздух вдоль нагретой поверхности. Для вертикальной трубы это её высота, то есть длина.

В гравитационном поле массовых сил свободное движение возникает в результате различной плотности холодных и горячих объемов теплоносителя. Нагреваемые от стенки объемы теплоносителя всплывают, а охлаждаемые

опускаются. Характер движения теплоносителя около стенки зависит от формы поверхности, ее положения в пространстве и направления теплового потока.

Движение теплоносителя вдоль нагретой вертикальной стенки в нижней части имеет ламинарный характер, выше - переходный, а затем - турбулентный. В случае холодной стенки теплоноситель перемещается сверху вниз, и характер течения изменяется в той же последовательности. Режим течения определяется главным образом перепадом температур стенки и теплоносителя, с увеличением которого сокращается длина участка, занятого ламинарным потоком, и увеличивается зона турбулентного движения.

Описанная картина свободного движения вдоль вертикальной стенки типична также и для свободного движения у наклонной стенки, шаров, горизонтальных круглых и овальных труб. Эйгенсоном было обнаружено, что для тонких проволочек диаметром 0,2...2 мм условия теплоотдачи своеобразны. Так как поверхность проволоки мала, то и количество передаваемого тепла незначительно. При малых температурных напорах вокруг проволоки образуется неподвижная пленка нагретого воздуха. Этот режим называется пленочным. При прочих равных условиях чем больше диаметр труб, тем вероятнее разрушение ламинарного течения. У труб малого диаметра разрушение ламинарного течения может происходить вдали от трубы. Для расчета средних коэффициентов теплоотдачи при свободном движении около горизонтальных труб может быть использована формула:

$$Nu = C(Gr \cdot Pr_0)^n \cdot \left(\frac{Pr_0}{Pr_{cm}}\right)^{0.25} \quad (2.1)$$

где: Nu - среднее по поверхности трубы значение числа Нуссельта, Pr , Pr_0 ст - числа Прандтля, определённые по температуре окружающего воздуха и температуре стенки соответственно. В формуле за определяющую принята температура жидкости или газа вдали от трубы, в качестве определяющего размера берется длина трубы. Коэффициенты C и n выбираются следующим образом из таблицы 1.

Таблица 1. – Выбор коэффициентов для расчета коэффициента теплоотдачи.

Режим	Gr*Pr	C	n
Пленочный	0-1	0.5	0
Переходный	$10^{-3} - 5 \cdot 10^2$	1.18	0.125
Ламинарный	$5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$	0.54	0.25
Турбулентный	$2 \cdot 10^7 - 10^{13}$	0.135	0.33

Существуют упрощения формулы 2.1, но они действительны только в том случае, когда перепады температур небольшие. В случае тренажера, с учетом того, что максимальная сила равна 911 Н, возможны большие перепады температуры.

Формула для расчета критерия Грассгофа:

$$Gr = \beta \cdot g \cdot \frac{l^3}{\nu^2} (ts - tc) \quad , \quad (2.2)$$

Где ts – температура нагретого тела, tc – температура окружающей среды, l – характерный размер, длина сердечника, ν – кинетическая вязкость, β – расчетный параметр, равный $2.68 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{^\circ C}$.

$$Gr = \beta \cdot g \cdot \frac{l^3}{\nu^2} (ts - tc) = 2.68 \cdot 10^{-3} \cdot 9.81 \cdot \frac{0.9}{30 \cdot 10^{-6}} \cdot (180 - 40) = 3.4 \cdot 10^9$$

Для дальнейшего расчета, выбирается из таблицы [5] критерий Пранкляля:

$$Pr = 0.681.$$

Для того, что бы поучить коэффициенты C и n , значения Gr и Pr перемножают:

$$Gr \cdot Pr = 2.6 \cdot 10^9$$

Данное значение определяет турбулентный режим, соответственно, коэффициенты C и n равны 0.135 и 0.33.

После того, как определены коэффициенты, необходимо посчитать критерий Нуссельта по формуле:

$$Nu = C \cdot (Pr \cdot Gr)^n \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}}\right)^{0.25} \quad (2.3)$$

После подстановки значений коэффициентов, значений критериев, получаем:

$$Nu = C \cdot (Pr \cdot Gr)^n \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{cm}}\right)^{0.25} = 178.52$$

Из [5] выбирается значение по характерной температуре расчета коэффициента теплопроводности λ , который равен:

$$\lambda = 3.21 \cdot 10^{-2} \left[\frac{Вт}{м \cdot град} \right]$$

Теперь, для расчета коэффициента теплоотдачи α есть все необходимые данные. Коэффициент теплоотдачи α рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (2.4)$$

После подстановки значений получаем:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{178.52 \cdot 3.21 \cdot 10^{-2}}{0.9} = 6.36 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Дальнейший расчет проводился в среде Elcut, в разделе задач температурное поле. Расчет коэффициента теплоотдачи, который был произведен выше, необходим для расчета максимальной температуры при задании параметров тепловой системы в среде Elcut. Так как у нас характерная температура постоянна, из [21] выбираем

коэффициент теплоёмкости, который так же постоянен. Значение объемной плотности тепловыделения для меди принято 25000.

2.3 . Пути уменьшения мощности.

Для более безопасного использования тренажера, и для уменьшения тепла, выделяемого обмоткой в ходе работы, можно использовать два варианта: сделать сердечник так, чтобы при виде сверху он имел вид зубчатого колеса. Второй вариант таков, что во время выполнения упражнения люди делают несколько подходов, то есть, существует время на отдых между подходами, в это время можно автоматически отключать тренажер.

Допустим, в подходе 8 повторений. После выполнения 8 повторений, отдых между подходами 2 минуты. Когда тренажер возвращается в исходное положение, датчик положения фиксирует до него расстояние, равное 0 сантиметров. Если в течении 10 секунд изменения в положении не было, то с помощью реле можно отключать его на то время, пока не произойдет усилие тяги сердечника вверх, на несколько миллиметров, тогда включается система из регулятора тока и ИППН.

Можно предположить, что 8 повторений делается в среднем в течении 1 минуты при качественной тренировке, если отдых составляет 2 минуты, то таким образом, можно снизить выделяемую мощность в 3 раза. В зависимости от того, кто с какой скоростью делает повторения и отдыхает, можно рассчитать во сколько раз снижается мощность. В любом случае, выделяемая мощность будет ниже чем тренажер просто работал бы без остановки до закрытия тренажерного зала.

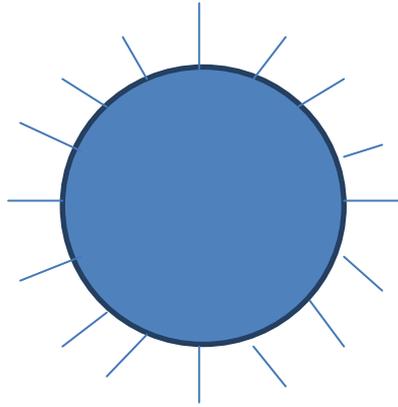


Рисунок 13 – Вид сверху сердечника с уступчатой шехтовкой.

Диаметр сердечника составляет 30 см. При таком диаметре, длина поверхности равна 900 мм. Падение мощности обуславливает увеличением площади поверхности по причине того, что на 1 Вт будет приходиться больше площади, чем в обычном гладком сердечнике.

2.4 Расчет электрической части.

В этой части расчетов освещаются моменты, в которых производится расчет характеристики, с помощью которой будет регулироваться ток в обмотке. Также, производится расчет числа витков обмотки при плотности 4 А/м^2 , эта плотность тока была выбрана в магнитном расчете, так как имеет большую максимальную $F_{эм}$, и это даёт возможность изменять вес нагрузки в больших пределах, что очень необходимо при тренировке людей разных комплекций тела.

Для построения семейства характеристик зависимости тока обмотки и потом через сердечник, необходимо знать число витков, потому что данная зависимость имеет вид зависимости магнитодвижущей силы от потокосцепления.

Предположим, что в обмотке протекает ток в 40 А. Тогда:

$$w = \frac{j}{I} = \frac{4 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}}{40 \text{ А}} = 10^5$$

Магнитный поток можно выразить через формулу определения запасённой энергии:

$$W = \frac{\Phi F}{2} , \quad (2.6)$$

где F – магнитодвижущая сила, Φ – магнитный поток.

Сила A рассчитывается по формуле:

$$F = S \cdot j \cdot K_{зп} , \quad (2.7)$$

где S – площадь сердечника, j – плотность тока, $K_{зп}$ – коэффициент заполнения.

$$K_{зп} = 0.7$$

Расчет характеристик проводится при нескольких постоянных положениях, X .

Таблица 2. – Результаты расчета запасенной энергии при разных положениях

X .

Положение сердечника X , см	Энергия W , Дж
0	1337
20	1019
40	918
60	728
80	456

Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты расчета семейства характеристик зависимости тока от потока.

X=0 см		X=20 см		X=40 см	
Φ, Вб	I, А	Φ, Вб	I, А	Φ, Вб	I, А
2.6	8.249	2.6	7.892	2.6	6.873
2.74	7.449	2.74	6.867	2.74	5.983
2.95	6.743	2.95	5.112	2.95	4.56
3.4	6.249	3.4	4.87	3.4	4.238
4.0	5.99	4.0	4.56	4.0	3.991

На рисунке 15 представлено семейство характеристик зависимости тока от потока.

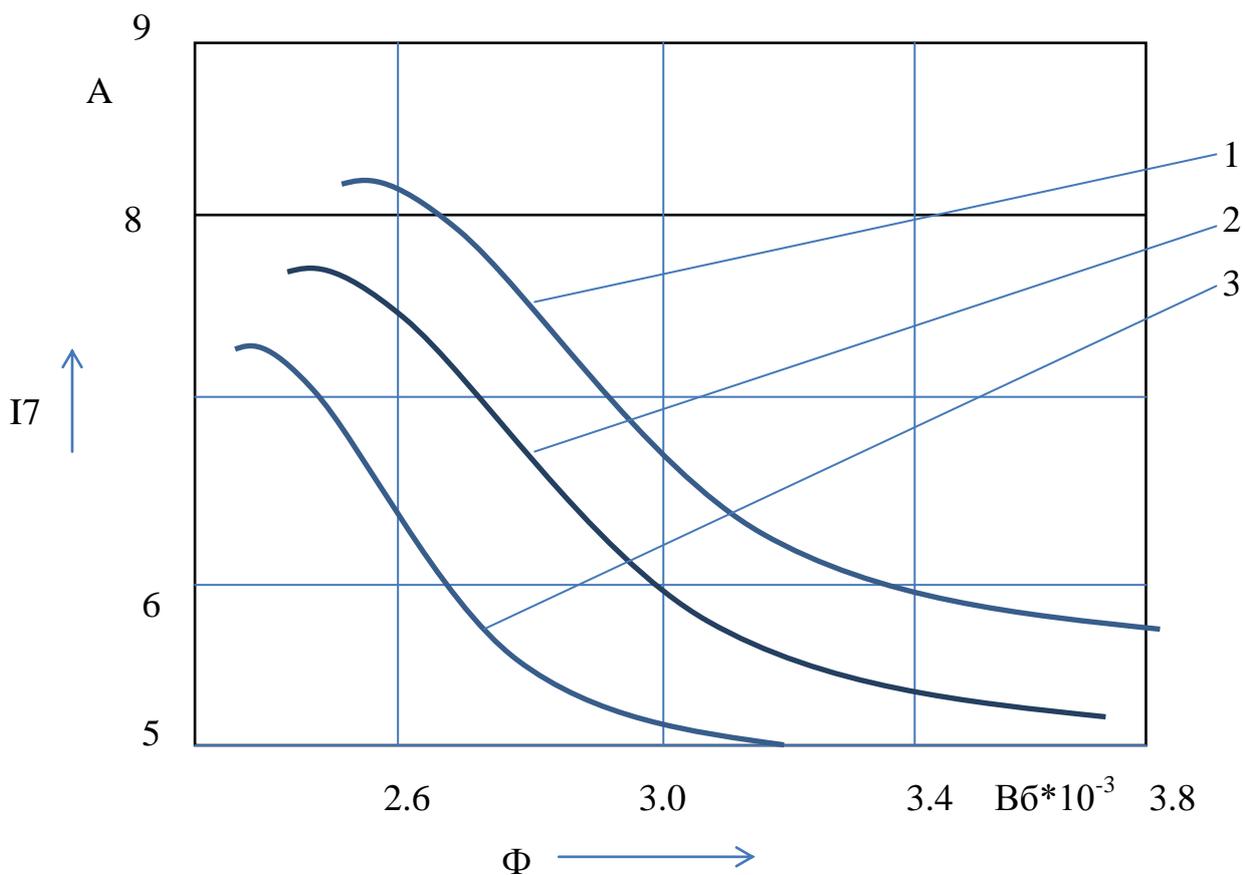


Рисунок 14 – Семейство характеристик зависимости тока от потока.

$$1 - X = 0 \text{ cm}$$

$$2 - X = 20 \text{ cm}$$

$$3 - X = 40 \text{ cm}$$

Интеллектуальный силовой тренажер, при правильном расположении в помещении имеет высокую безопасность. Правильное размещение тренажера: около стены, имеющую розетку 220В, 50Гц, расстояние между розеткой и тренажером должно быть 20 см, запрещается заходить в область, подключаемой к сети, посторонним людям, кроме технического персонала.

Так как интеллектуальный силовой тренажер работает от сети, имеет место пожарная опасность. Для того, что бы предотвратить пожар, необходимо установить в помещении пожарную сигнализацию.

Средняя площадь помещения тренажерного зала составляет 100-200 м². Высота составляет 3.5 метров.

В помещении залов полы оббивают либо ламинатом, либо ковролином. Таким образом, при пожаре будет выделяться дым от горения ламината или ковролина. Для предотвращения пожара необходим извещатель пожарной дымовой. С этой целью можно выбрать извещатель ДИП-2 или ДИП-3. Извещатель представляет собой автоматическое фотоэлектрическое устройство, осуществляющее электрическую и оптическую сигнализацию о появлении дыма в месте его установки. Электрическая сигнализация производится путем уменьшения внутреннего сопротивления извещателя (увеличения потребляемого им тока), оптическая— включением оптического индикатора срабатывания.

Согласно НПБ 88-2001, п 12.28 по таблице 5, площадь, контролируемая одним точечным датчиком при высоте 3,5 м составляет 85м², , но в соответствии НПБ 88-2001 «Размещение пожарных извещателей» п.12 следует установить при площади 200 м² 11 извещателей. 1 извещатель, по НПБ 88-2001 п.12 устанавливается на площадь 18 м².

Если обратить внимание на технические характеристики, которые представлены ниже, можно заметить, что данный извещатель имеет высокое

быстродействие, чувствительность извещателя соответствует задымленности помещения.

Технические характеристики:

- Чувствительность извещателя соответствует задымленности окружающей среды с оптической плотностью от 0,05 до 0,2 дБ/м;

- Инерционность срабатывания извещателя при проверке работоспособности не более 10 с. Время срабатывания извещателя от момента достижения оптической плотности окружающей среды величины 0,2 дБ/м не превышает времени срабатывания при тестовой проверке.

- Электрическое питание извещателя в 2-х проводном исполнении и выдача сигнала “Пожар” осуществляется по двухпроводному шлейфу сигнализации. Напряжение питания 16-24 В подается от приемно-контрольных приборов ППК-2, установки РУПИ-1, ППС-3М, Сигнал-43.

- Для извещателей в 4-х проводном исполнении электрическое питание осуществляется по выделенной 2-х проводной линии. Шлейф сигнализации для 4-х проводного исполнения гальванически развязанный с питанием извещателя.

- Выходной электрический сигнал срабатывания извещателя в 2-х проводном исполнении формируется скачкообразным уменьшением внутреннего сопротивления до величины не более 500 Ом при токе (20+1) мА.

- Для извещателя в 4-х проводном исполнении выходной сигнал срабатывания формируется контактами реле с сопротивлением от $\leq 0,5$ Ом в дежурном режиме до 5 МОм при срабатывании.

- Для извещателей в 3-х проводном исполнении выходной сигнал формируется транзистором с открытым коллектором. В дежурном режиме транзистор открыт, а при срабатывании – закрыт.

В целом, для предотвращения пожара, техническому персоналу необходимо каждый вечер проверять каждый тренажер, отключен ли он от сети или нет. Так же проверять работу пожарных извещателей. Для добросовестной проверки необходимо завести график кто из технического персонала проверил полное отключение от сети тренажеров, и ставить подпись в графе со своей фамилией.

Для обеспечения безопасности человека нужно установить на корпус тренажера таблички с требованиями, устанавливающими безопасное использование тренажера. Так же, для усиления безопасности, для человека, который первый записал в тренажерный зал, менеджер по продажам должен дать ознакомительный лист с техникой безопасности при использовании тренажера для обязательного прочтения под роспись.

Краткий список требований по безопасной эксплуатации тренажера:

- Не прикасаться к движущимся частям.
- Не прикасаться к корпусу тренажера во время его функционирования.
- Не заходить в заднюю часть тренажера, где он подключен к сети. Это может привести к травме или поражению электрическим током.

Для того, что бы повысить безопасность, необходимо:

- Спортсмены должны быть обуты в закрытую спортивную обувь.
- Магнит закрыть снаружи корпусом
- Между полом и корпусом тренажера установить резиновую прослойку – изолятор.
- Устанавливать тренажер как можно ближе к стене, чтобы исключить проход спортсменов к задней части тренажера.

Интеллектуальный силовой тренажер не представляет угрозы для окружающей среды, потому что не имеет никаких токсичных отходов и выхлопных газов. Обычный тренажер с грузами имеет в движущихся частях смазываемые элементы. Как правило, смазочные материалы не представляют сильной угрозы, но пары выделяются в любом случае, в малом количестве. Основной угрозой для окружающей среды и озонового слоя это не представляет, но для человека может представлять угрозу респираторной системы. В современных тренажерах с грузами начали применять приводы движущихся частей с помощью ремня. Это удаляет воздействие смазочных материалов на дыхательные пути и респираторную систему, но, в силу человеческого фактора, возможно получение очень серьезной травмы в силу зажимания конечностей между движущимися частями и ремнем. В интеллектуальном силовом тренажере фактор загрязнения среды исключается

полностью, так как тренажер работает от электрической сети. В силу магнитных полей, образующихся в следствии работы тренажеры, возможно влияние на сотовую и радио- связь, так как в сердечнике вырабатывается достаточно большая сила, а тренажеров в зал площадью 200 квадратных метров можно установить в количестве 10-15 штук. Влияние на атмосферу и магнитный фон окружающей среды данное воздействие не причиняет вреда.

4. Эффективность работы.

Разработка данного тренажера обоснована на социальных потребностях. Как уже говорилось выше, данный тренажер предназначен для любых категории людей, начиная от разных комплекций тела и заканчивая любым состоянием здоровья, что бы человек мог тренироваться по своим силам, при этом не перегружаясь и не почувствовать недостаточность тренировки.

Интеллектуальный силовой тренажер имеет высокую наукоёмкость, в связи с этим, тренажер будет стоить довольно дорого, потому что при размерах только болванки 90*5 см необходимо большое количество стали. Нет необходимости в постоянном обслуживании силовой части тренажера, потому что смазочных элементов нет. Что может быть в обслуживании, так это проверка натяжения троса от сердечника до приспособления для тренировки, обслуживание силовой части по мере поломок, недостаточности регулирования.

На данный момент, на рынке есть интеллектуальные тренажеры, но они существуют для лечебных целей. Аналогов по силовом тренажеру, описанному и рассчитанному в работе, не найдено.

Прямых конкурентов разработки нет. Соответственно, товар имеет высокую конкурентоспособность.

Целесообразно запускать единичное производство по причине того, что этот вид тренажера абсолютно новый, и необходимо, что бы интеллектуальный силовой тренажер утвердил себя на рынке. После того, как при единичном производстве будут появляться положительные отзывы о тренажере и начнут приходить всё больше заказов, целесообразно будет запустить мелкосерийное производство. В Серийное производство запускать не рекомендуется – такой вид тренажера дорогой, и только после того, когда пройдет время и упадет на него цена, можно будет подготавливать предприятия для серийного производства, так как большинство спорт-клубов предпочитают покупать тренажеры с отношением цена/качество близком к единице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы были решены задачи необходимые для достижения поставленной цели. Цель работы заключалась в разработке интеллектуального силового тренажёра и его силовой части демонстрирующего уровня подготовки выпускников кафедры "Промышленная электроника", Тольяттинского государственного университета.

В результате выполнения бакалаврской работы были найдены оптимальные решения по габаритным размерам тренажера и его силовой части, что было подтверждено результатами расчетной части.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уильямс, Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление. Справ.пособ:Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат,1993.-240с.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника.-М: Техносфера,2006.-632с.
3. Рама Редди Основы силовой электроники.- М.: Техносфера, 2006г.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника.-М: Высшая школа, 1982.-496с.
5. Чиженко И.М., Руденко В.С., Сенько В.И. Основы преобразовательной техники. – М.: Высшая школа, 1974.- 430с.
6. Горбачев Г.М, Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учеб. Для вузов / под ред. В.А. Лабунцова.-М.: Энергоатомиздат, 1988.-320с.
7. Руденко В.С. и др. Преобразовательная техника, 1983.
8. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
9. Иванов А. Г. Системы управления полупроводниковыми преобразователями: Учеб. для вузов / А.Г. Иванов, Г.А. Белов, А.Г. Сергеев – Издательство чувашского университета, 2010. – 447с.
10. А. С. Сандлер. Электроприводы с полупроводниковым управлением: Учеб.для вузов / под ред. М. Г. Чиликина.-М.:Энергия, 1966. – 138с.
11. О. И. Хасаев. Работа полупроводникового преобразователя на активно-индуктивную нагрузку, Вестник электропромышленности, 1962 - №52.
12. Позднов, М.В. Основы преобразовательной техники: Методические указания по проведению курсового проектирования/ М.В.Позднов. - Тольятти: ТГУ,2012.– 24 с
13. Ненахов, С.А. Инженерные расчеты импульсных регуляторов напряжения / С.А.Ненахов, А.Н. Кукаев // Электрическое питание .- 2005 .-№4 .- С.25 – 28.

14. Кирсанов Л. А. Магнитные цепи. [Электронный ресурс], URL:<http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/elektricheskie-apparaty-3.html>. (Дата обращения 29.04.2016)
15. Липницкий Е. А. Магнитные и нелинейные цепи. [Электронный ресурс], URL:<http://model.exponenta.ru/electro/0050.html>. (Дата обращения 1.05.2016).
16. Серебряков А. С. Электротехника. Магнитные цепи / Серебряков А. С., 3-е издание, РГОТУПС. – 2007. – 69с.
17. Kazala, R. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04. [Электронный ресурс], URL:<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>. (Дата обращения 2.05.2016).
18. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. Москва: Техносфера. – 2005. – 632с. ISBN 5-94836-051-2/
19. Гасанов Н. А. Ультразвуковой дальномер HC-SR04.. [Электронный ресурс], URL:<http://geekelectronics.org/arduino/arduino-i-ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04.html>. (Дата обращения 10.05.2016).
20. Рачков М.Ю. Технические измерения и приборы. Учеб.для вузов – 2-е изд., перераб. – М.: МГИУ, 20. – 200с.
21. Медведев В. А. Конструирование преобразователей. Учебное пособие / В.А.Медведев. – Тольятти: ТГУ. - 2003. – 268с.

Приложение А.

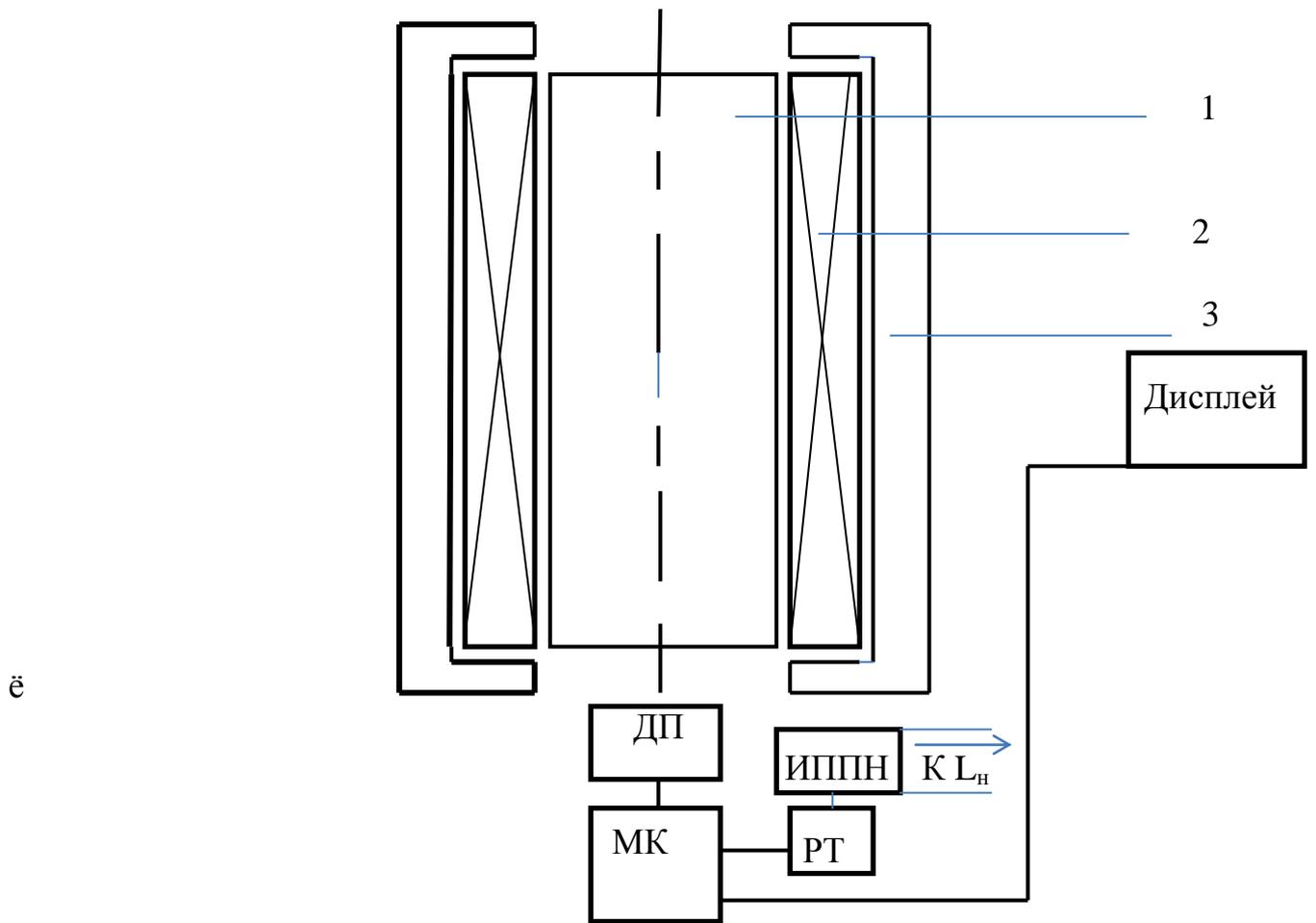
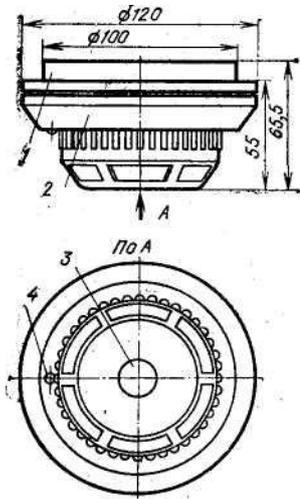
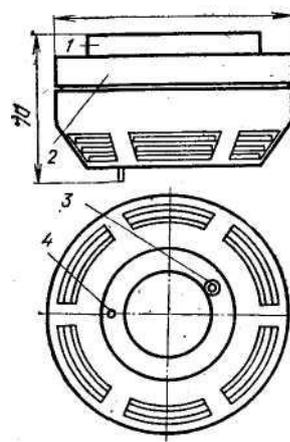


Рисунок 15 – Внешний вид тренажера сборки. 1 – сердечник, 2 – обмотка, 3 – полюс.

Приложение Б.



а)



б)

Рисунок 16 – а) Пожарный дымовой извещатель ДИП-2, б) пожарный дымовой извещатель ДИП-3.

Приложение В.



Рисунок 17 – Внешний вид ультразвукового дальномера HC-SR04.