

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электротехнические комплексы и материалы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка полупроводникового аналога контактора БК-78Т

УДК 621.316.53.002.621.333

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Бракк Иван Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталья Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	К.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P7	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
 Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электротехнические комплексы и материалы

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Гарганеев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5Г	Бракку Ивану Сергеевичу

Тема работы:

Разработка полупроводникового аналога контактора БК-78Т	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Электровозы ВЛ10 и ВЛ10 ^У ; Тяговый электродвигатель ТЛ-2К1; Быстродействующий контактор БК-78Т.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования,</i>	Аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений в рассматриваемой теме; Моделирование переходных процессов силовой цепи тяговых электродвигателей электровоза; Моделирование переходных процессов при коммутации цепи;

проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Инженерное решение по существующей проблеме.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Электрические схемы силовой цепи тяговых электродвигателей электровоза в программном продукте Matlab Simulink (1 – полная, 2 – при рекуперации).
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Основной раздел ВКР	Гарганеев А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Н.Г.
Социальная ответственность	Король И.С.
Раздел на иностранном языке	Костомаров П.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. Кафедрой	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Бракк Иван Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 104 с., 36 рис., 14 табл., 30 источников, 3 прил.

Ключевые слова: контактор, электровоз, электродвигатель, диссертация, выключатель, рекуперация, ТЛ2К1, БК-78Т, ВЛ10, ВЛ10^У, ВКР, тяговый, быстродействующий, Matlab, Simulink.

Объектом исследования является быстродействующий контактор БК-78Т в схеме тяговых электродвигателей электровозов серии ВЛ10, ВЛ10^У.

Цель работы – разработать полупроводниковый аналог быстродействующему контактору БК-78Т, способного отключать токи короткого замыкания в рекуперативном режиме электровоза.

В процессе исследования проводился эксперимент, в ходе которого осуществлялся полный разрыв силовой цепи блоком Ideal Switch в рекуперативном режиме при токах короткого замыкания.

В результате исследования были получены переходные процессы, броски токов и напряжений при коммутации цепи и предложено решение, направленное на решение следующих проблем: постоянное обслуживание и частая замена контактора, горение электрической дуги, малая скорость срабатывания и др.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: конструкция новой разработки состоит из п/п прибора, охладителя и встроенного драйвера управления, обеспечивающая компактность и малые массогабаритные параметры.

Область применения: железнодорожный транспорт.

Экономическая эффективность/значимость работы: в нормальных условиях работы инженерное решение не требует обслуживания и частой замены.

В будущем планируется закупить оборудование за счет привлечения финансирования и провести опыта на макетном образце.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ВЛ10 – Владимир Ленин, тип 10, до 1962 – Т8 – Тбилисский 8-осный;
ТЛ2К1 – тяговый локомотивный коллекторный, 1 – номер модификации;
БК-78Т – быстродействующий контактор;
ВЛ10^у – тоже, что и ВЛ10, у – утяжеленный;
СССР – Союз Советских Социалистических Республик;
НЭВЗ – Новочеркасский электровозостроительный завод;
ТЭВЗ – Тбилисским электровозостроительным заводом;
Соединение С – последовательное;
Соединение СП – последовательно-параллельное;
Соединение П – параллельное;
ОП – ослабление поля;
ПП – полное поле;
ЛТИ – теория линейных стационарных систем;
ОВГ – обмотка возбуждения генератора;
ИШ-2К – индуктивный шунт, 2К – количество катушек;
ОНС – ограничитель напряжения симметричный;
ПАО – публичное акционерное общество;
ОПН – ограничитель перенапряжений;
SCR – кремниевый управляемый выпрямитель;
GTO – запираемый тиристор;
IGCT – тиристор с интегрированным управлением;
IGBT – биполярный транзистор с изолированным затвором;
СУ – система управления;
КБ – отключающая катушка.

Оглавление

Введение.....	8
1. Обзор литературы.....	10
1.1. Электровозы серии ВЛ10 и ВЛ10 ^У	10
1.2. Тяговый электродвигатель ТЛ2К1.....	14
1.3. Быстродействующий контактор БК-78Т.....	18
2. Моделирование переходных процессов силовой цепи тяговых электродвигателей.....	21
2.1. Моделирование пуска и разгона электродвигателей.	21
2.2. Моделирование переходных процессов быстродействующего контактора БК-78Т.....	36
3. Инженерное решение	47
3.1. Анализ силовых запираемых полупроводниковых приборов	47
3.2. Тиристорная схема.	60
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	68
5. Социальная ответственность.....	79
Заключение	88
Список публикаций студента.....	89
Список использованных источников	90
Приложение А Электрическая схема в программном продукте Matlab Simulink ..	93
Приложение Б Электрическая схема в программном продукте Matlab Simulink ..	94
Приложение В Раздел на иностранном языке	95
CD-диск. Магистерская диссертация (pdf). Презентация (Microsoft PowerPoint).	108

Введение

Современные электровозы на своем борту имеют большое количество полупроводниковых приборов различного типа и назначения, от обычных диодов, пропускающих ток в одном направлении и не пропускающих в другом, до силовых тиристоров и транзисторов, способных коммутировать токи в десятки килоампер и напряжения десятки киловольт.

Основными достоинства полупроводниковых приборов (бесконтактных) по сравнению с контактными является их быстродействие, высокая скорость и частота переключения, долговечность, простота обслуживания, механическая стойкость и др.

В настоящее время на железных дорогах России преобладающим большинством являются электровозы прошлого поколения, такие как ВЛ10, ВЛ10^У и др. Многие оборудование на данных электровозах является устаревшим. Одним из таких оборудований является быстродействующий контактор БК–78Т, защищающий силовую цепь тяговых электродвигателей электровоза ВЛ10 и ВЛ10^У от токов короткого замыкания и круговых огней в рекуперативном режиме. У данного контактора имеется ряд недостатков. К основным недостаткам относят горение дуги, частое обслуживание, перенапряжения и частая замена.

Целью данной магистерской диссертации является разработка полупроводникового аналога быстродействующего контактора БК–78Т.

Объектом исследования являются переходные процессы силовой цепи тяговых электродвигателей электровоза.

Предметом исследования является быстродействующий контактор.

Данная магистерская диссертация может быть использована в целях изучения или закрепления знаний, связанных с электроподвижным составом. Результаты, приведенные в данной диссертации, могут быть использованы при проведении исследований в области электрооборудования электроподвижного состава.

В процессе выполнения работы, были достигнуты следующие результаты:

- получены графики переходных процессов электродвигателя ТЛ2К1 (скорость, ток якоря, ток возбуждения, момент двигателя) при пуске и разгоне на последовательном соединении, переходе на последовательно-параллельное и параллельное включение тяговых электродвигателей;
- получен график переходных процессов при коммутации силовой цепи быстродействующим контактором БК-78Т в рекуперативном режиме;
- определена мгновенная мощность и выделенная энергия при коммутации;
- разработана схема защиты, выбран полупроводниковый ключ, охладитель, датчик тока и ограничитель перенапряжений.

1. Обзор литературы

1.1. Электровозы серии ВЛ10 и ВЛ10У.

Электровозы серии ВЛ10 и ВЛ10У (рисунок 1, 2) используются для работы с грузовыми поездами на магистральных железных дорогах, которые электрифицированы на постоянном токе и напряжением в питающей сети 3000 В.

Оборудование, установленное на электровозах, рассчитано на надежную работу при питании из контактной сети напряжением от 2200 до 4000 В. Вне кузова возможно изменение температуры окружающей среды от -50 до +40 °С при влажности воздуха не более 90 %, измеренной при температуре +27 °С. Допустимая высота над уровнем моря составляет не более 1200 м.

Электровозы серии ВЛ10 были выпущены Новочеркасским электровозостроительным заводом (НЭВЗ) с 1969 г., а Тбилисским электровозостроительным заводом (ТЭВЗ) с 1967 г.



Рисунок 1 – Электровоз ВЛ10



Рисунок 2 – Электровоз ВЛ10^У

Взамен электровозов ВЛ10, с 1976 г. ТЭВЗ и НЭВЗ выпускали электровозы ВЛ10^У, у которых нагрузка на рельсы от колесной пары увеличена с 23 тс до 25 тс. Если не учитывать технические совершенства, которые внедрялись в процессе серийного производства электровозов, то в механической, электрической и пневматической частей электровозы ВЛ10 и ВЛ10^У абсолютно идентичны.

У электровозов серии ВЛ10 и ВЛ10^У механическая часть максимально унифицирована с механической частью электровозов серии ВЛ80^К и ВЛ80^Т. Единственным отличием является отдельные элементы конструкции под установку оборудования в кузове и на крыше. Кроме того, у них разные передаточные числа тяговой зубчатой передачи, т.к. применяются разные типы тяговых электродвигателей. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10^У имеют следующие основные технические данные:

- номинальное напряжение сети: 3000 В;
- ширина между рельс: 1520 мм;

- мощность на валах тяговых электродвигателей в часовом режиме: 5360 кВт;
- мощность на валах тяговых электродвигателей в продолжительном режиме: 4600 кВт;
- зубчатая передача с передаточным отношением: 88/23;
- сила тяги, развиваемая при часовом режиме: 39500 кгс;
- сила тяги, развиваемая при продолжительном режиме: 3200 кгс;
- скорость (часовой режим): 48,7 км/ч;
- скорость (продолжительный режим): 51,2 км/ч;
- наибольшая допустимая скорость: 100 км/ч;
- наибольшая допустимая скорость по ходовой части: 110 км/ч;
- коэффициент полезного действия при продолжительном режиме составляет не менее: 0,9;
- масса электровоза с учетом 2/3 запаса песка:
 - электровоза ВЛ10: $184^{+5.52}_{-1.84}$ т;
 - электровоза ВЛ10^У: 200 ± 4 т;
- сила нажатия колесной пары на рельс:
 - электровоз ВЛ10: $23^{+0.69}_{-0.23}$ тс;
 - электровоз ВЛ10^У: $25 \pm 0,5$ тс.

На одном электровозе установлено по восемь тяговых электродвигателей. Они имеют последовательное возбуждение, принудительную вентиляцию и мощность часового режима по 670 кВт каждый. Тяговые электродвигатели обладают высоким КПД и надежностью. Передача вращающего момента от тягового электродвигателя на колесные пары передается двусторонней цилиндрической одноступенчатой косозубой передачей.

Частота вращения тяговых электродвигателей регулируется с помощью трех видов их соединения: последовательного (С), последовательно-параллельного (СП) и параллельного (П). На всех соединениях возможная

работа двигателей при ослабленном возбуждении с коэффициентом возбуждения равным 0.75, 0.55, 0.43, 0.36. Электрические цепи электровозов питаются через токоприемники от контактного провода, которые обеспечивают надежный съем тока при любой скорости движения электровозов.

На рисунке 3 представлены основные тяговые характеристики электровозов серии ВЛ10 и ВЛ10^У.

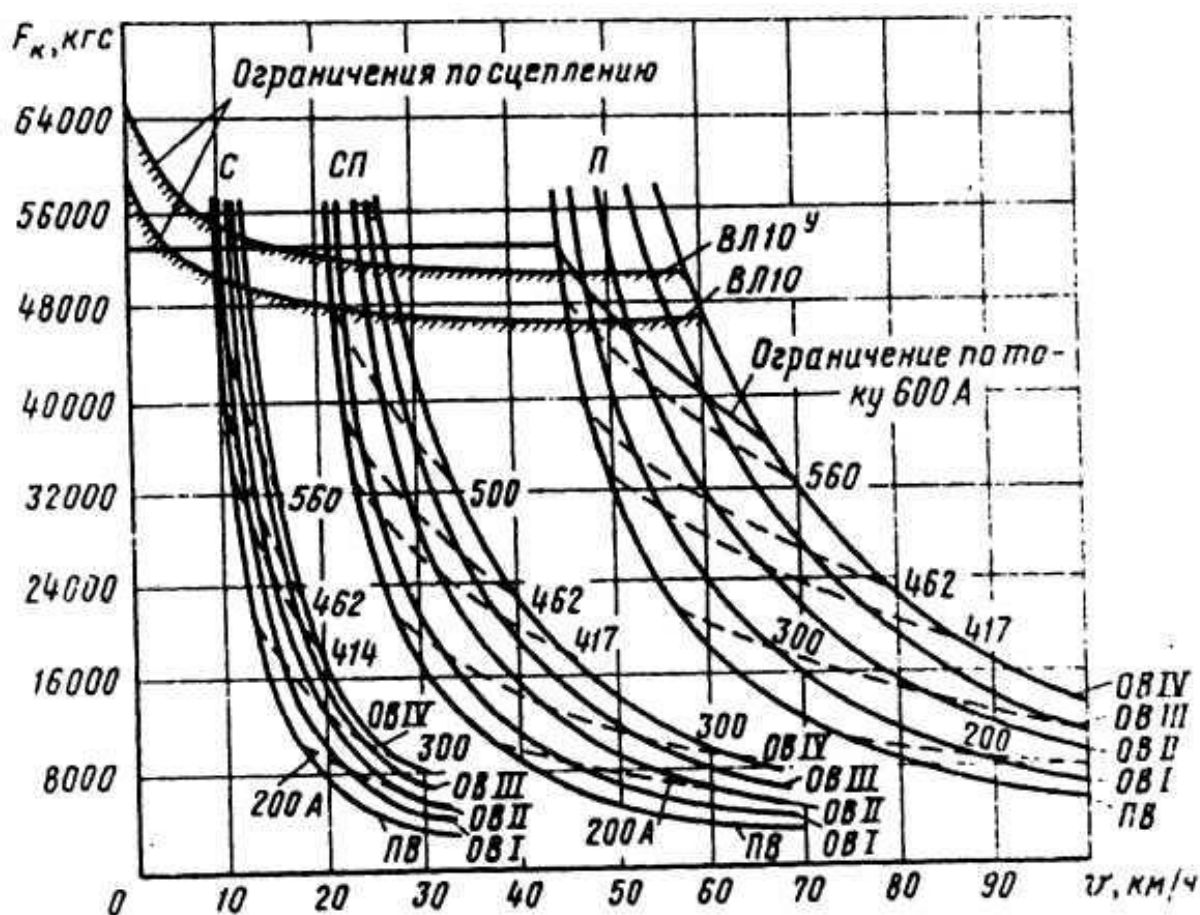


Рисунок 3 – Тяговые характеристики электровозов серии ВЛ10 и ВЛ10^У

Помимо тормозов с ручные и пневматическим управлением, на электровозах предусмотрено рекуперативное торможение, которое способно значительно повысить безопасность движения электровозов и обеспечить огромную экономию электроэнергии, уменьшить износ тормозных колодок и бандажей. Возможность рекуперативного торможения не ограничивается каким-то одним видом соединения, а применяется при всех трех видах

соединений тяговых электродвигателей. Во время рекуперативного торможения преобразователь постоянного тока питает обмотки возбуждения тяговых электродвигателей. Так как регулирование частоты вращения тяговых электродвигателей происходит в широком диапазоне, это значительно повышает его экономичность и позволяет максимально полно использовать технические возможности электровоза.

Зависимость силы тяги F_k от скорости v электровоза при полном поле (ПП) и ослабленных возбуждениях ОП1 (ослабленное поле), ОП2, ОП3 и ОП4 (рисунок 3) построены для работы электровоза при напряжении питания 3000 В с ограничениями по току, конструкционной скорости, сцеплению и коммутационным условиям [1].

На электровозах серии ВЛ10 и ВЛ10^У установлены тяговые электродвигатели ТЛ2К1.

1.2. Тяговый электродвигатель ТЛ2К1.

Тяговый электродвигатель ТЛ2К1 (рисунок 4) на постоянном токе используется для преобразования электрической энергии, полученной из контактной сети, в механическую. При передаче вращающего момента с вала якоря электродвигателя на колесную пару через двухстороннюю одноступенчатую цилиндрическую косозубую передачу, подшипники двигателя не получают по аксиальному направлению добавочных нагрузок.

Электродвигатель имеет опорно-осевое подвешивание. Одной стороной он упирается моторно-осевыми подшипниками на ось колесной пары электровоза, другой стороной на раму тележки через резиновые шайбы и шарнирную подвеску. Коэффициент использования мощности тягового электродвигателя равен 0.74 и достигается при наибольшей скорости электровоза (рисунок 5).

Возбуждение электродвигателей в тяговом режиме – последовательное, а в рекуперативном – независимое. На одном электровозе устанавливается по восемь двигателей.

Электродвигатель ТЛ2К1 имеет следующие технические параметры:

- Напряжение на зажимах электродвигателя: 1500 В;
- В часовом режиме: мощность: 670 кВт, ток: 480 А, КПД: 0.931, Частота вращения: 790 об/мин;
- В продолжительном режиме: мощность: 575 кВт, ток: 410 А, КПД: 0.93, частота вращения: 830 об/мин;
- При среднеизношенных бандажах наибольшая частота вращения составляет: 1690 об/мин;
- Передаточное отношение: 88/23;
- Масса двигателя: 5000 кг.

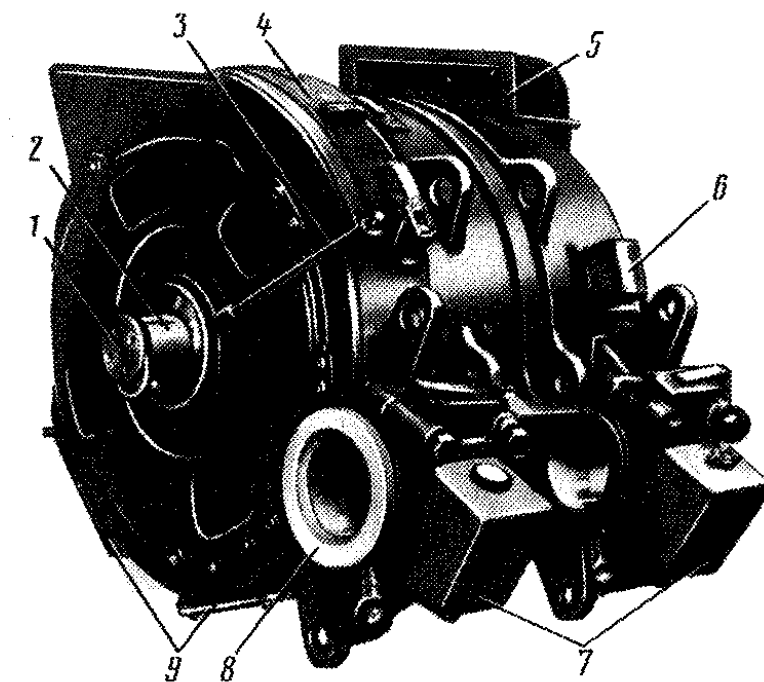


Рисунок 4 – Тяговый электродвигатель ТЛ2К1:

- 1 – гайка с пружинной шайбой; 2 – вал якоря; 3 – трубка для смазки якорных подшипников; 4 – крышка верхнего смотрового люка; 5, 6 – большой и малый выхлопные кожуха; 7, 8 – букса и вкладыш; 9 – смотровые люки (нижние)

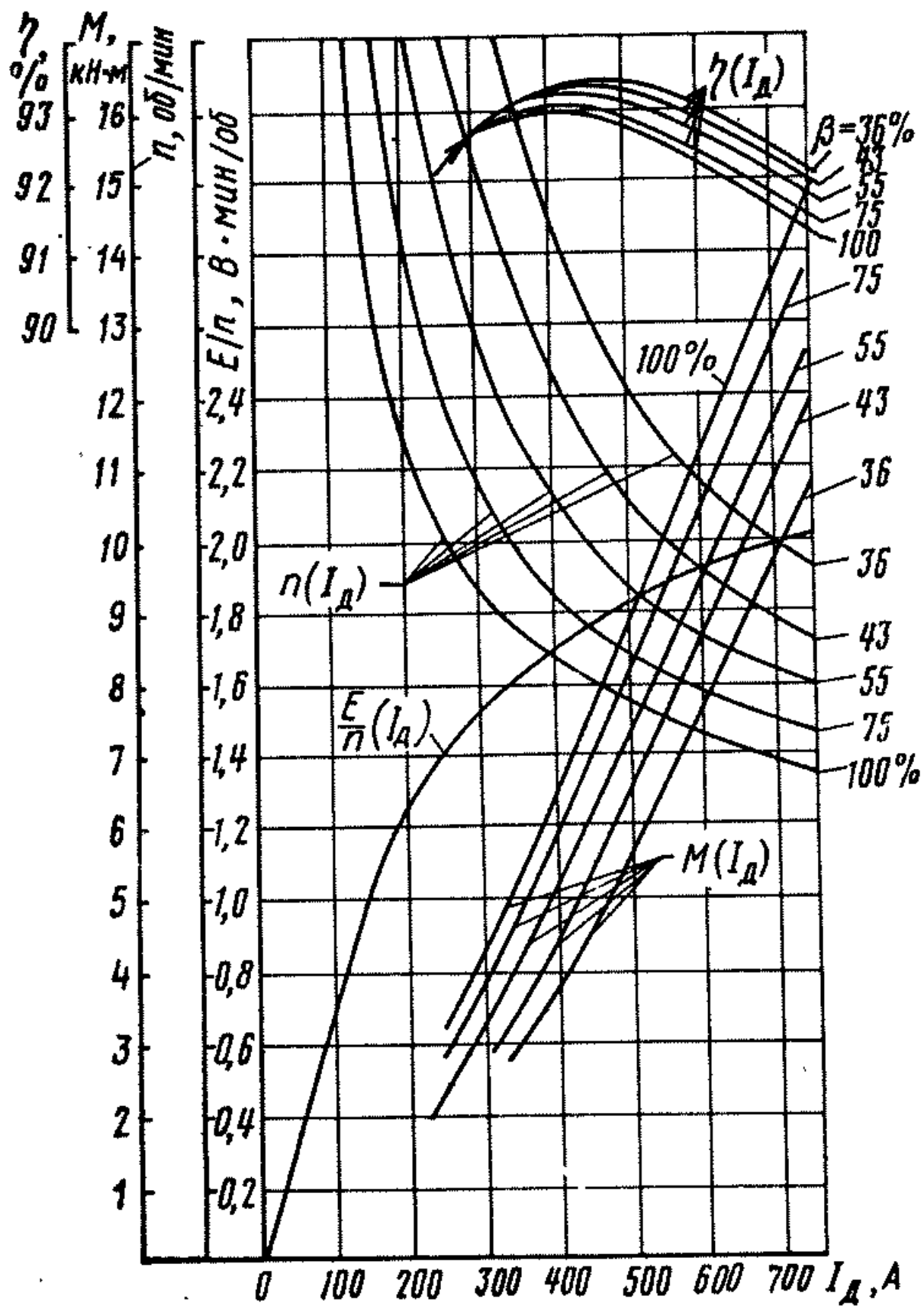


Рисунок 5 – Электромеханические характеристики тягового электродвигателя ТЛ2К1 при $U_d = 1500$ В

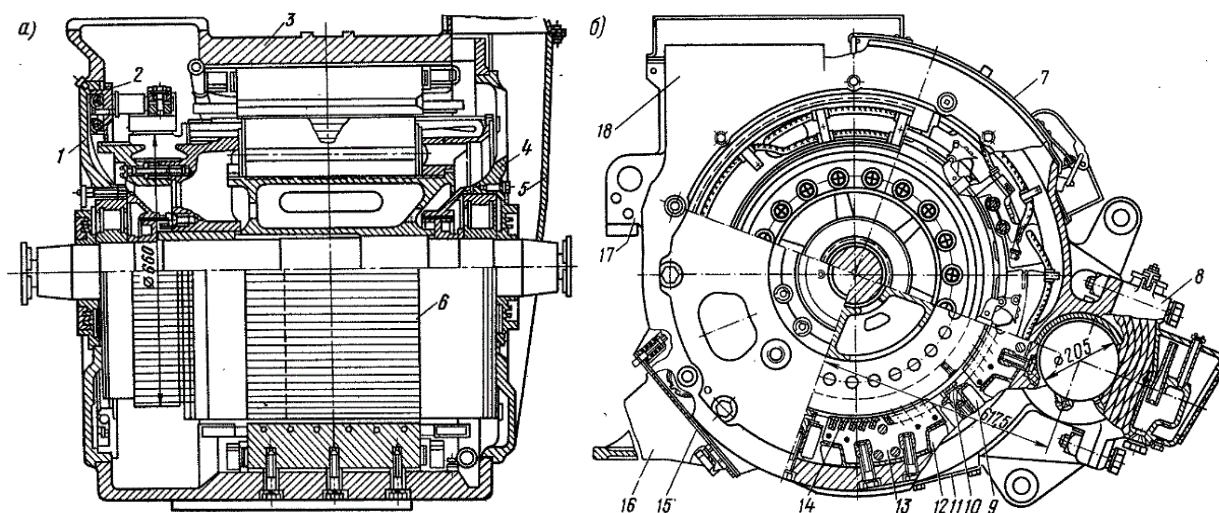


Рисунок 6 – Тяговый электродвигатель ТЛ2К1:

а) продольный разрез; б) поперечный разрез

1, 4 – щиты подшипниковые; 2 – аппарат щеточный; 3 – остов; 5 – кожух; 6 – якорь; 7, 11 и 15 – крышки; 8 – букса; 9, 10 – катушка и сердечник дополнительного полюса; 12, 13 – катушка и сердечник главного полюса; 14 – обмотка компенсационная, 16 – кронштейн съемный; 17 – прилив предохранительный; 18 – люк вентиляционный

Тяговый электродвигатель ТЛ2К1 состоит из подшипниковых щитов 1, 4, щеточного аппарата 2, остова 3 и якоря 6 (рисунок 6).

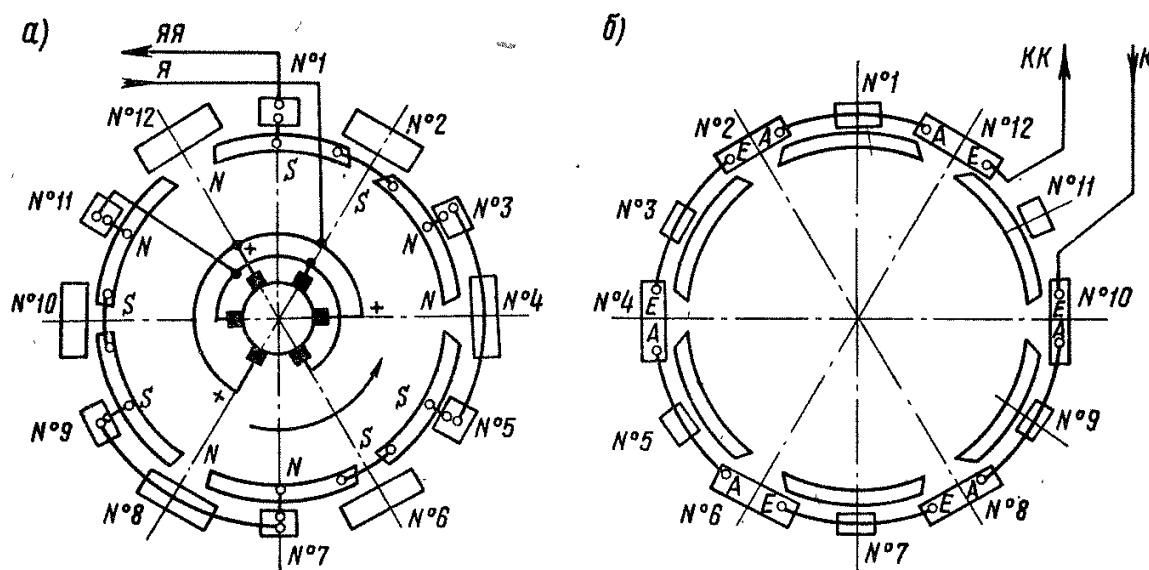


Рисунок 7 – Схемы соединения катушек полюсов тягового электродвигателя ТЛ2К1 со стороны коллектора (а) и с противоположной (б)

На рисунке 7 представлены схемы соединения катушек полюсов тягового электродвигателя ТЛ2К1 со стороны коллектора (а) и противоположной (б). Коллектор электродвигателя имеет диаметр рабочей поверхности 660 мм [2].

Для защиты тяговых двигателей в рекуперативном режиме используются быстродействующие контакторы БК-78Т.

1.3. Быстродействующий контактор БК-78Т.

Быстродействующий контактор БК–78Т (рисунок 8) предназначен для защиты от токов короткого замыкания тяговых электродвигателей в рекуперативном режиме. Основные технические параметры контактора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические параметры контактора БК-78Т

Максимальный отключаемый ток при индуктивности цепи 10 мГн и шунтировании главных контактов резистором с сопротивлением 2 Ом, А	2500
Напряжение номинальное, В	3300
Напряжение наибольшее, В	4000
Номинальный ток силовых контактов, А	1000
Ток уставки, А	35–50
Время включения катушки защелки электромагнита не более, мин	0,5
Масса, кг	43

На двух текстолитовых планках 6 быстродействующего контактора БК-78Т смонтированы все узлы контактора. В верхней части текстолитовых планок расположен включающий механизм электромагнита: шихтованный магнитопровод 18 и ярмо 15 с отключающей катушкой 17 укреплены на латунном кронштейне 16, также на латунном кронштейне укреплен кронштейн 20, несущий гибкий провод 21, подвижной контакт 26 и магнитопровод 23 с дугогасительной катушкой 25.

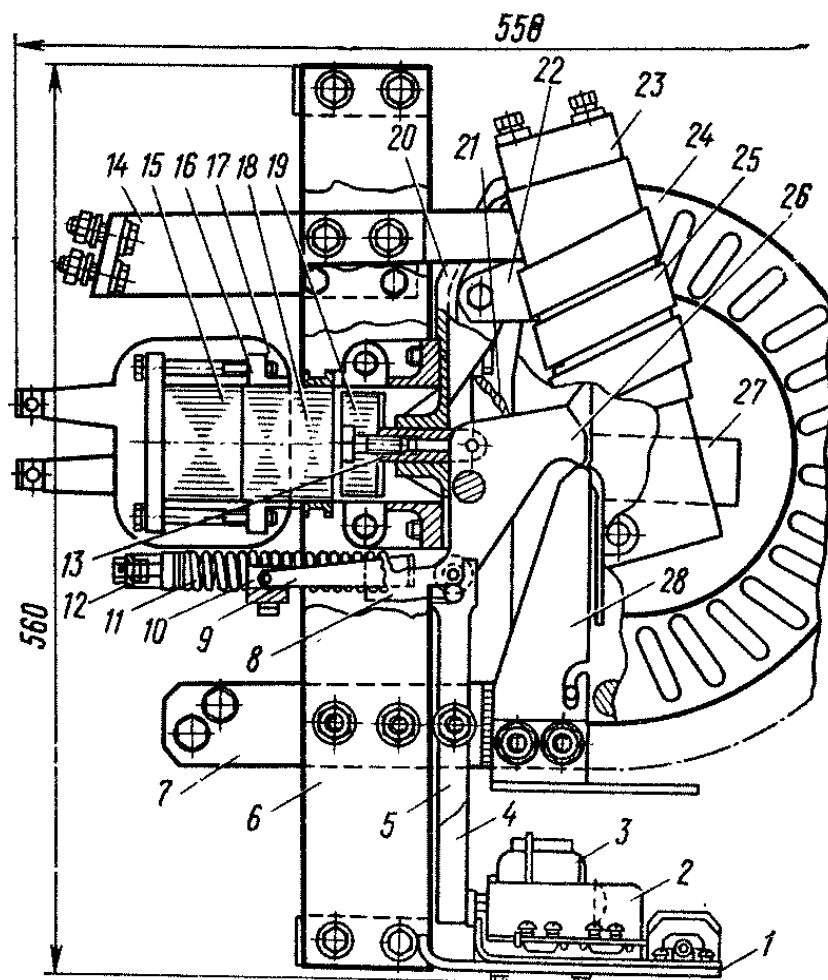


Рисунок 8 – Быстродействующий контактор БК–78Т

Подвижной контакт тягой 13 связан с якорем 19. Контактная пружина 11, которая обеспечивает замыкание подвижного контакта с неподвижным 28, натянута между скобой 12 и нижним концом подвижного контакта. На рифленной поверхности шинного вывода 7 установлен неподвижный контакт. К текстолитовой планке прикреплен верхний вывод 14, к нему присоединены катушки дутья.

Дугогасительная камера 24 изготовлена из дугостойкого материала КМК–218 и выполнена из двух спрессованных стенок. Лучи обеих стенок камер образуют лабиринт, который обеспечивает быстрое гашение дуги. Шихтованные полюсы 27 впрессованы в стенки камеры. В камере закреплен рог 22.

На кронштейне 1 укреплены блок вспомогательных контактов 2 и электромагнит 3 и через индивидуальные изоляционные рычаги 4 и 5 соединены с подвижным контактом и рычагом защелки 9, закрепленная шарнирно на планке 10.

На индуктивном шунте при коротких замыканиях возрастает напряжение, и отключающая катушка быстродействующего контактора возбуждается. Далее притягивается якорь и отключается подвижной контакт, растягивая контактную пружину, при этом в паз держателя 8 подвижного контакта попадает рычаг защелки и удерживает контакт в выключенном положении. При разрыве контактов образуется дуга, которая гасится в дугогасительной камере.

Подвижной контакт, в процессе отключения, задевает рычаг блока вспомогательных контактов, разрывающих цепь удерживающей катушки быстродействующего контактора и восстанавливают цепь включающего электромагнита.

Электромагнит возбуждается после сброса главной рукоятки контроллера на нулевую позицию, по изоляционному рычагу 4 ударяет якорь, поднимающий вверх рычаг защелки и замыкающий подвижной контакт с неподвижным, при этом освобождая контактную пружину [3].

2. Моделирование переходных процессов силовой цепи тяговых электродвигателей

2.1. Моделирование пуска и разгона электродвигателей.

Основной целью магистерской диссертации является моделирование переходных процессов силовой цепи тяговых электродвигателей электровоза ВЛ10 при коммутации её быстродействующим контактором БК-78Т в рекуперативном режиме. Данный режим возможен на любом соединении тяговых электродвигателей, как на последовательном, последовательно-параллельном, так и на параллельном соединении. В данной работе будет исследован переходный процесс при коммутации цепи на параллельном соединении, так как он является наиболее опасным.

Тяговые электродвигатели невозможно запустить сразу на параллельном соединении, для это реализуем сначала последовательное (старт и разгон), затем последовательно-параллельное (разгон) и параллельное соединение (выход на номинальный режим) двигателей.

Для моделирования силовой цепи тяговых электродвигателей, воспользуемся схемой силовой цепи и соберем ее в программном продукте Matlab Simulink.

Подпрограмма Simulink является приложением к программному продукту Matlab.

При работе с подпрограммой Simulink не обязательно знать Matlab и остальные встроенные приложения, так как он является достаточно самостоятельным инструментом. Большинство входящих в состав подпрограмм имеют инструменты, которые встраиваются в Simulink. Также имеются дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения.

При работе в Matlab Simulink пользователь может редактировать библиотечные блоки, реализовывать новые блоки, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В процессе моделирования доступна возможность наблюдать за процессами, которые происходят в системе. Для этого применяются специальные устройства наблюдения, которые входят в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Simulink позволяет пополнять библиотеки блоков при помощи подпрограмм, которые написаны как на языке Matlab, так и на таких языках как C++, Ada и Fortran [4].

Ниже представлена схема силовой цепи тяговых электродвигателей при положении главной рукоятки контроллера машиниста на 1-ой позиции при движении электровоза вперед (рисунок 9).

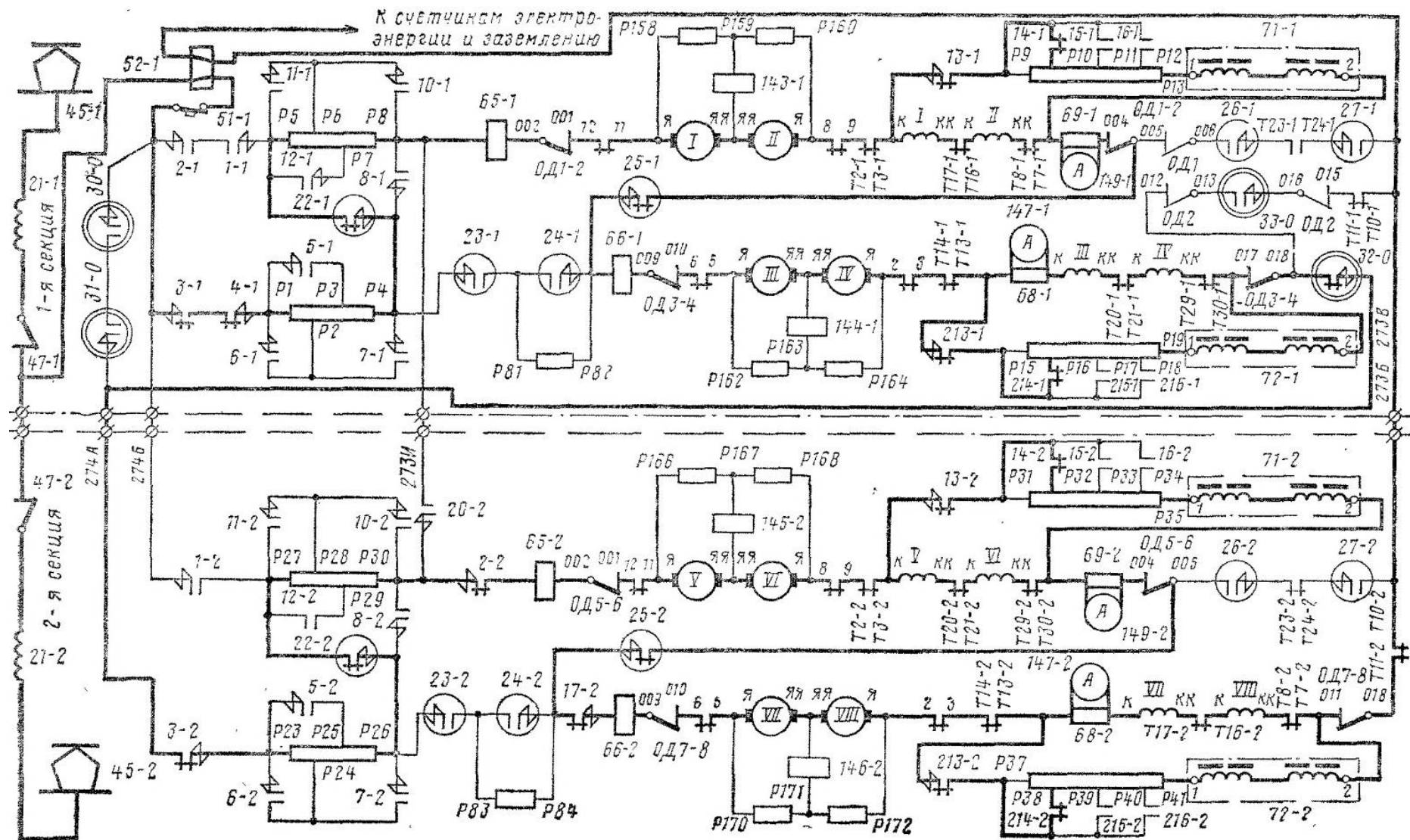


Рисунок 9 – Схема силовой цепи тяговых двигателей при положении главной рукоятки контроллера машиниста на 1-ой позиции при движении вперед

Схема состоит из следующих элементов силовой цепи: 45-1(2) (токоприемник), 21-1 (дрессель для сглаживания помех), 47-1 (крышевой разъединитель), 52-1 (дифференциальное реле тяговых электродвигателей), 51-1 (быстродействующий контактор), 1-1, 2-1, 3-1, 4-1 (линейные контакторы), 8-1 (уравнительный контактор параллельного соединения тяговых электродвигателей), 5-1, 6-1, 7-1, 10-1, 11-1 (реостатные контакторы), 22-1, 23-1, 24-1, 26-1, 27-1 (контакторные элементы группового переключателя ПКГ1), Р1–Р8 (пусковые резисторы), 30-0, 31-0, 32-0 (контакторные элементы общего ПКГ), 65-1, 66-1 (реле перегрузки тяговых электродвигателей), ОД1-2, ОД3-4 (двойные ножи), I, II, III, IV (тяговые электродвигатели ТЛ2К1), 143-1, 144-1 (реле боксования), Р158-Р160, Р162-Р164 (к реле боксования), 13-1, 14-1, 15-1, 16-1, 213-1, 214-1, 215-1, 216-1 (контакторы ослабления возбуждения), Р9–Р13, Р15–Р19 (резисторы ослабления возбуждения), 71-1, 72-1 (индуктивные шунты), 68-1, 69-1 (шунты амперметров).

Для моделирования необходимы следующие блоки библиотеки Simulink: DC Voltage Source, RLC Branch, DC Machine, Ideal Switch, Ground, powergui, display, scope, constant, gain, demux.

где *constant* – источник постоянного сигнала (необходим для включения контакторов);

powergui – инструмент графического интерфейса пользователя, обеспечивающий решение многих задач, в том числе задач моделирования;

gain – выполняет умножение входного сигнала на постоянный коэффициент (необходим для задания момента на вал двигателя);

demux – разделяет входной векторный сигнал на отдельные составляющие (необходим для снятия значений скорости, тока якоря, тока возбуждения и момента с двигателя постоянного тока);

display – отображает значение сигнала в виде числа (необходим для мгновенном определении значения скорости, тока или момента);

score – в функции времени строит графики исследуемых сигналов, в процессе моделирования позволяет наблюдать за изменениями сигналов (необходим для снятия графиков переходных процессов) [5].

Схема для моделирования в программном продукте Matlab Simulink представлена в приложении 1.

Частота вращения тяговых двигателей регулируется напряжением на их зажимах или ослаблением возбуждения главных полюсов. Изменение напряжения на зажимах тяговых двигателей электровозов постоянного тока осуществляется применением различных видов соединения тяговых двигателей: последовательного (С), последовательно-параллельного (СП) и параллельного (П).

Осуществим старт и разгон электродвигателей.

2.1.1. Старт на последовательном и переход на последовательно-параллельное соединение тяговых электродвигателей.

На электровозах ВЛ10 и ВЛ10^у переход с последовательного на последовательно-параллельное соединение осуществляется соединением части тяговых электродвигателей на пусковые резисторы. Такой переход осуществляется в пять этапов. Все тяговые двигатели на последовательном соединении соединены в одну последовательную цепь (рисунок 10, а).

Для ограничения броска тока на первой переходной позиции в цепь тяговых электродвигателей вводятся пусковые резисторы первой секции электровоза и часть резисторов второй секции электровоза (рисунок 10, б).

На второй переходной позиции осуществляется закорачивание тяговых электродвигателей V, VI и VII, VIII второй секции электровоза и последовательно соединенных с ними секций пусковых резисторов контакторным элементом 33-0 группового переключателя (рисунок 10, в).

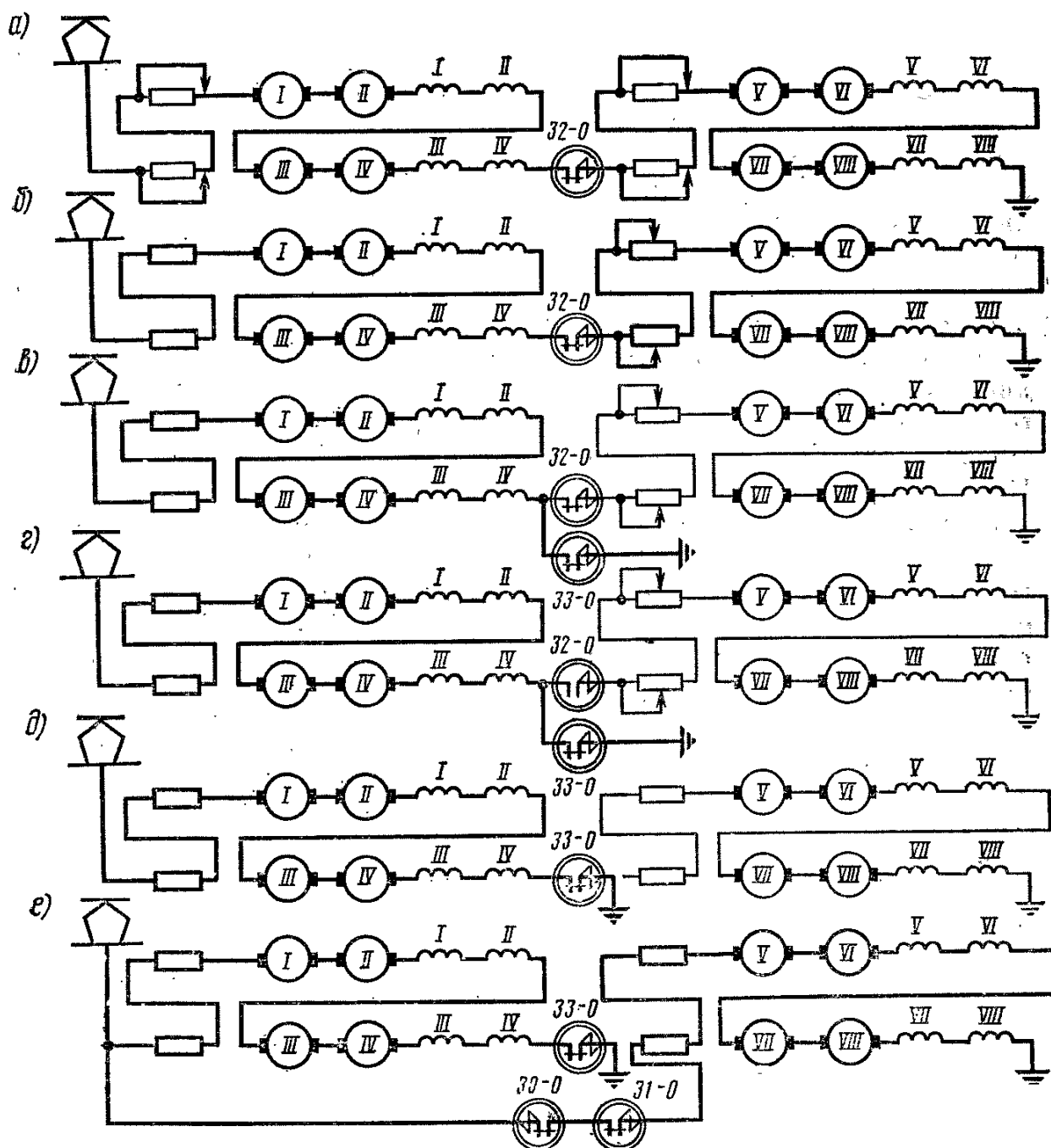


Рисунок 10 – Схемы переключения тяговых двигателей восьмиосного электровоза с последовательного на последовательно-параллельное соединение:

а – последовательное соединение; б, в, г, д, е – соответственно 1, 2, 3, 4 и 5-я переходные позиции

Тяговые электродвигатели первой секции остаются в работе и через их обмотки на «землю» замыкается ток, не проходя через обмотки тяговых

двигателей второй секции электровоза. В силовой цепи тяговых электродвигателей второй секции электровоза вводом секций пусковых резисторов уменьшается генераторный ток, а, следовательно, и тормозной момент.

На третьей переходной позиции силовая цепь тяговых электродвигателей V-VIII отключается от цепи тяговых электродвигателей первой секции электровоза контактором группового переключателя 32-0 (рисунок 10, г).

На четвертой переходной позиции в цепь тяговых электродвигателей V–VIII добавляется часть секций пусковых резисторов для предотвращения мгновенного увеличения силы тяги на 1-ой позиции последовательно-параллельного соединения, при вступлении их в работу (рисунок 10, д).

На пятой переходной позиции, в конце перехода, отключенные тяговые электродвигатели V–VIII соединяются контакторами 30-0 и 31-0 к контактной сети. Бросок тока будет ограничен, так как вместе с ними подключаются пусковые резисторы. Тяговые электродвигатели образуют две индивидуальные самостоятельные цепи (рисунок 10, е) [6].

Полученные при моделировании графики представлены на рисунках 11, 12, 13, 14.

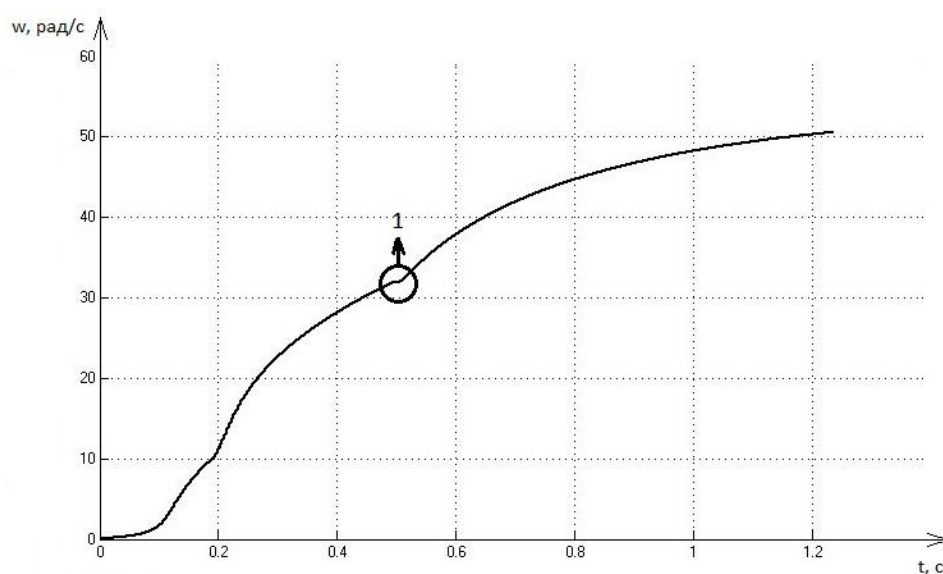


Рисунок 11 – График зависимости скорости тягового электродвигателя постоянного тока от времени

На рисунке 11 представлен график зависимости скорости вращения якоря двигателя от времени моделирования. Двигатель разгоняется до определенной скорости (точка 1), после чего осуществляется переход с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых электродвигателей, в результате чего на клеммах двигателей увеличивается напряжение, а с ним увеличивается и скорость вращения якоря двигателя.

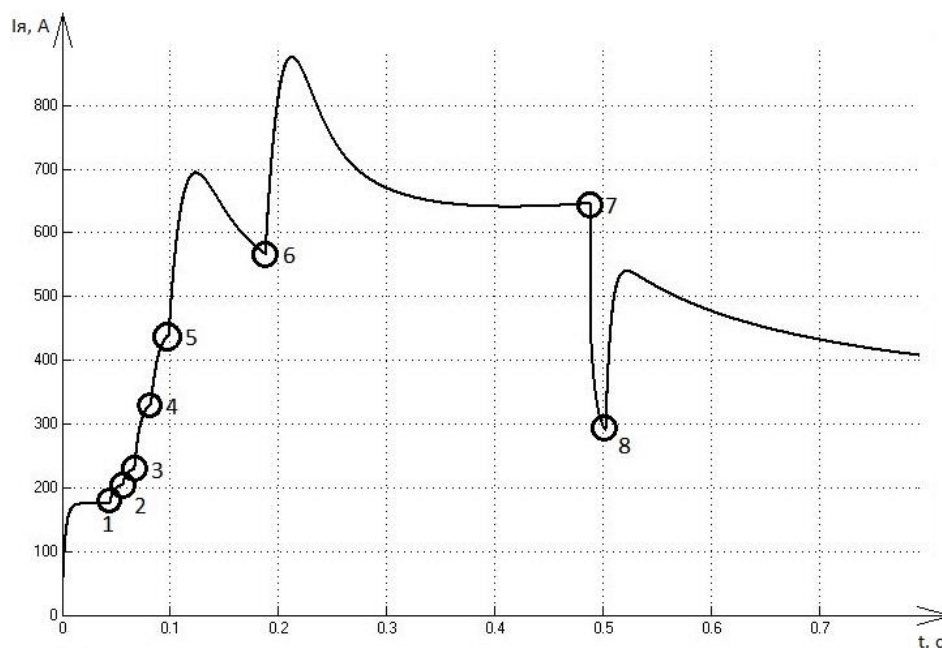


Рисунок 12 – График зависимости тока якоря от времени

На рисунке 12 представлен график зависимости тока якоря от времени моделирования. В точках 1-6 происходит отключение пусковых резисторов, необходимых для ограничения бросков тока при пуске двигателя. В точке 7 происходит включение первой секции электровоза на землю, в результате чего происходит скачок тока якоря. В точке 8 происходит отключение второй секции тяговых электродвигателей от первой секции и замыкание второй секции на землю.

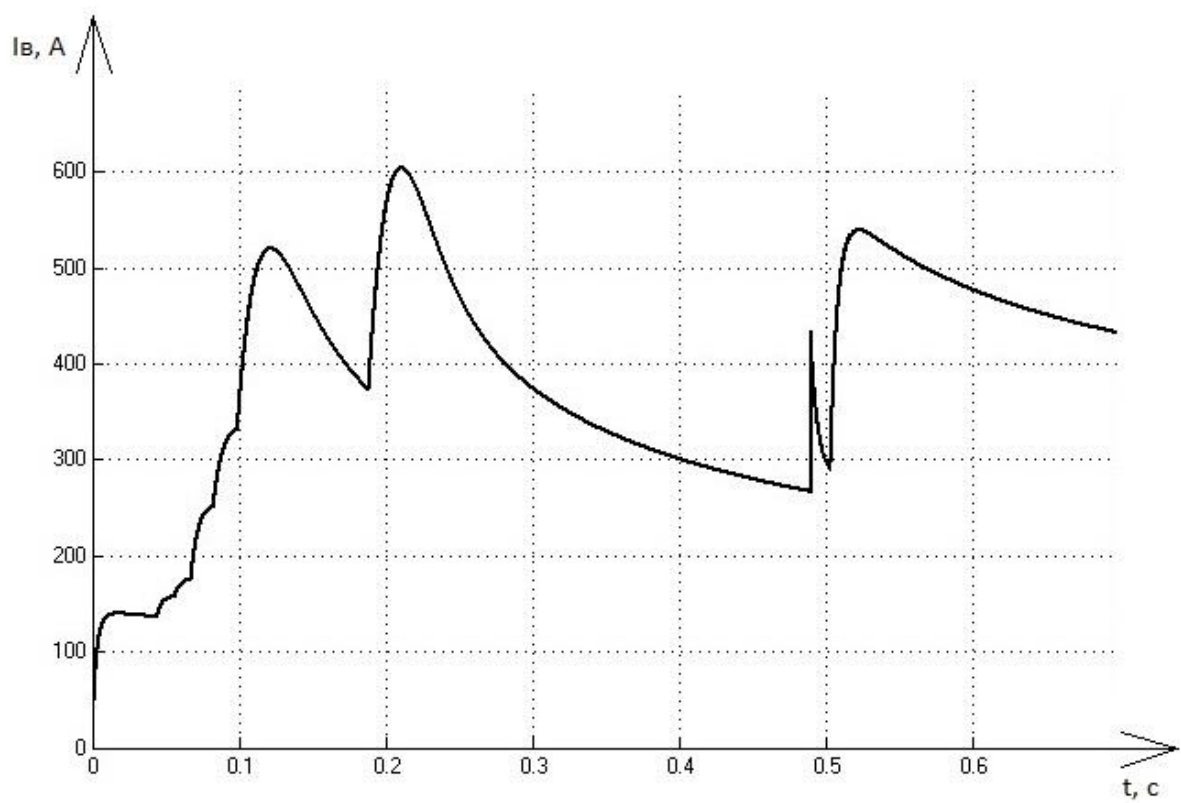


Рисунок 13 – График зависимости тока возбуждения от времени моделирования

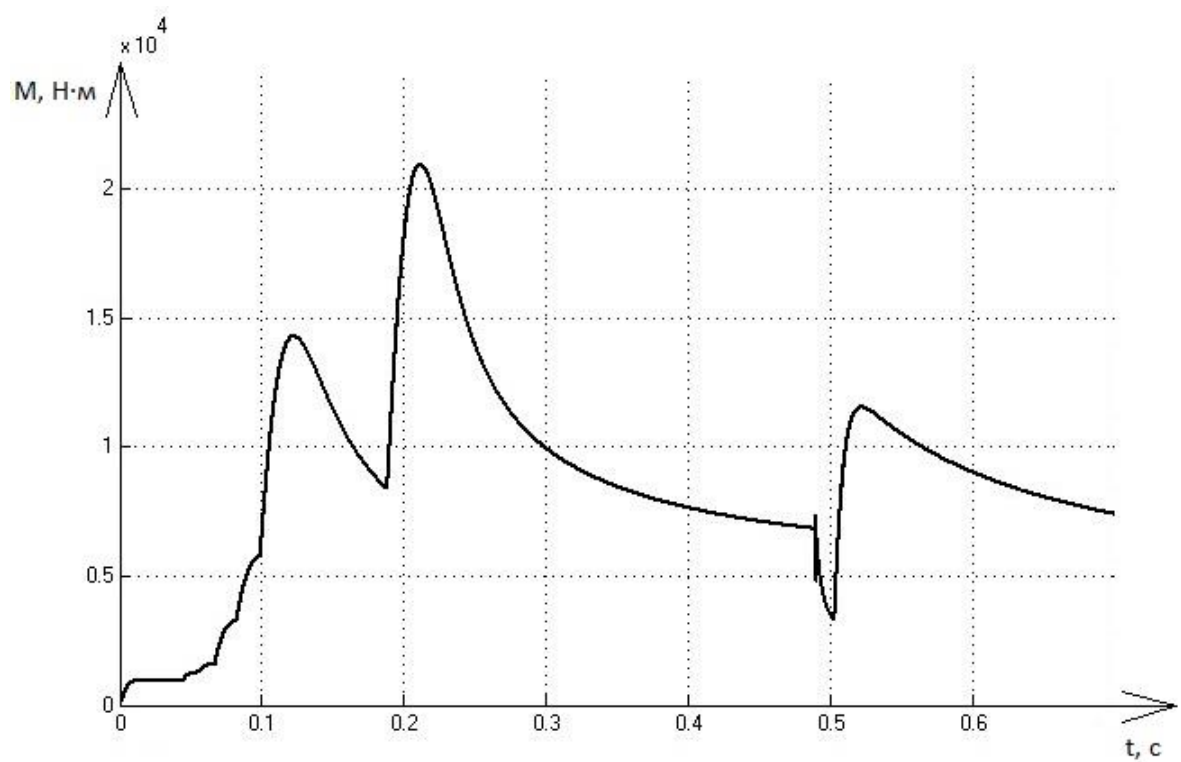


Рисунок 14 – График зависимости момента на валу от времени моделирования

Графики 12, 13 и 14 имеют идентичную форму, так как электродвигатели имеют последовательное возбуждения.

После достижения якоря двигателя скорости вращения больше 50 рад/с, необходимо перевести двигатели на параллельное соединение для уменьшения тока цепи и дальнейшего увеличения скорости.

2.1.2. Переход с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых электродвигателей.

На электровозах ВЛ10, ВЛ10^у при переходе с последовательно-параллельного соединения на параллельное, применяют шунтирование части тяговых двигателей переходными резисторами.

Из цепи тяговых двигателей, на ходовой позиции последовательно-параллельного соединения, все пусковые резисторы выведены (рисунок 15, а).

В цепь тяговых электродвигателей, на первой переходной позиции, вводится часть пусковых резисторов (рисунок 15, б).

Выключением контакторных элементов 22-1 и 22-2 групповых переключателей, на второй переходной позиции, подготавливаются отдельные группы резисторов для параллельного соединения двигателей (рисунок 15, в).

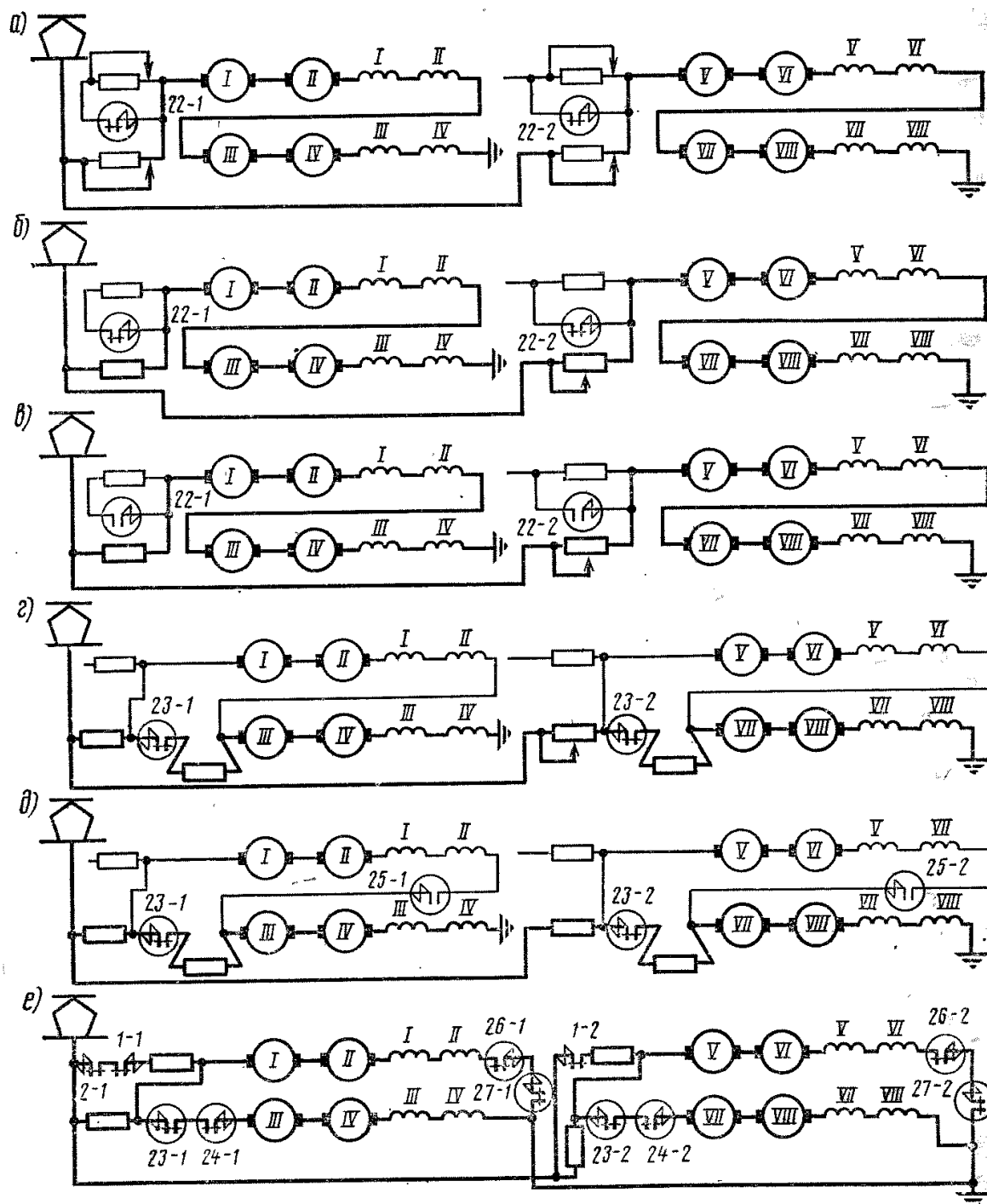


Рисунок 15 – Схема переключения тяговых двигателей восьмиосного электровоза с последовательно–параллельного на параллельное соединение

После включения контакторных элементов 23–1 и 23–2, на третьей переходной позиции, тяговые электродвигатели I, II и V, VI шунтируются переходными резисторами (рисунок 15, г). При этом через зашунтированные тяговые электродвигатели может идти часть тока из контактной сети, если

противоЭДС в зашунтированных тяговых электродвигателях не велика (при малой частоте вращения тяговых двигателей). Через переходные резисторы и тяговые электродвигатели III, IV, VII, VIII будет протекать большая часть тока. В этом случае зашунтированные тяговые двигатели будут развивать некоторую силу тяги. В зашунтированных тяговых двигателях I, II и V, VI, при значительной скорости движения, наводится большая противоЭДС и в этом случае в их цепях появится генераторный ток, создающий небольшой тормозной момент. Так как их магнитная система быстро размагничивается, то протекание этого тока быстро прекратится.

Тяговые электродвигатели I, II и V, VI на четвертой переходной позиции отключаются контакторными элементами 25-1 и 25-2 (рисунок 15, д).

На пятой переходной позиции тяговые электродвигатели I, II и V, VI соединяются контакторами 26-1, 27-1 и 26-2, 27-2 к «земле», а группы пусковых резисторов контакторами 1-2 и 2-1 к контактной сети. Все тяговые электродвигатели образуют четыре параллельной цепи, в каждой из которых включено по два электродвигателя (рисунок 15, е) [6].

Полученные графики скорости вращения якоря, тока якоря, тока возбуждения и момента на валу представлены на рисунках 16, 17, 18, 19.

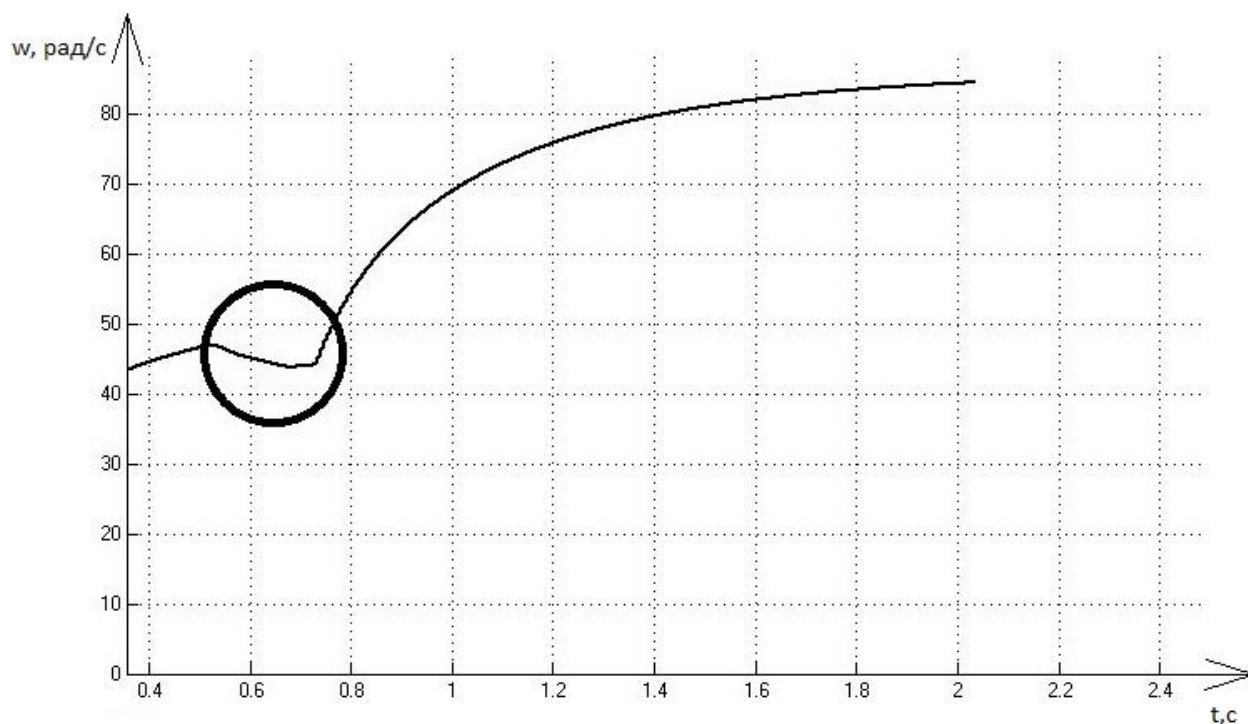


Рисунок 16 – График зависимости скорости тягового электродвигателя постоянного тока от времени

На рисунке 16 кружком обозначен момент перехода с последовательно-параллельного на параллельное соединение тяговых электродвигателей. В результате перехода электровоза на параллельное соединение, напряжение на зажимах двигателей и, следовательно, скорость вращения якоря увеличились.

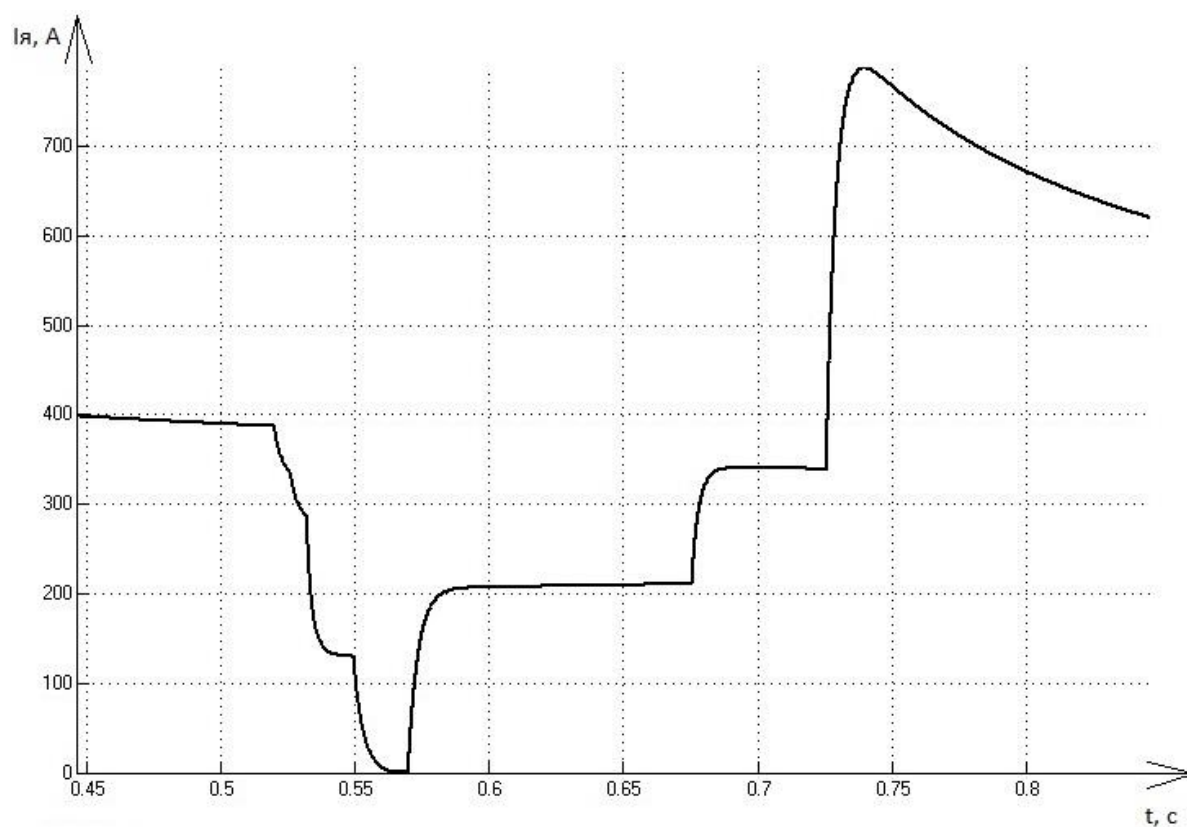


Рисунок 17 – График зависимости тока якоря от времени

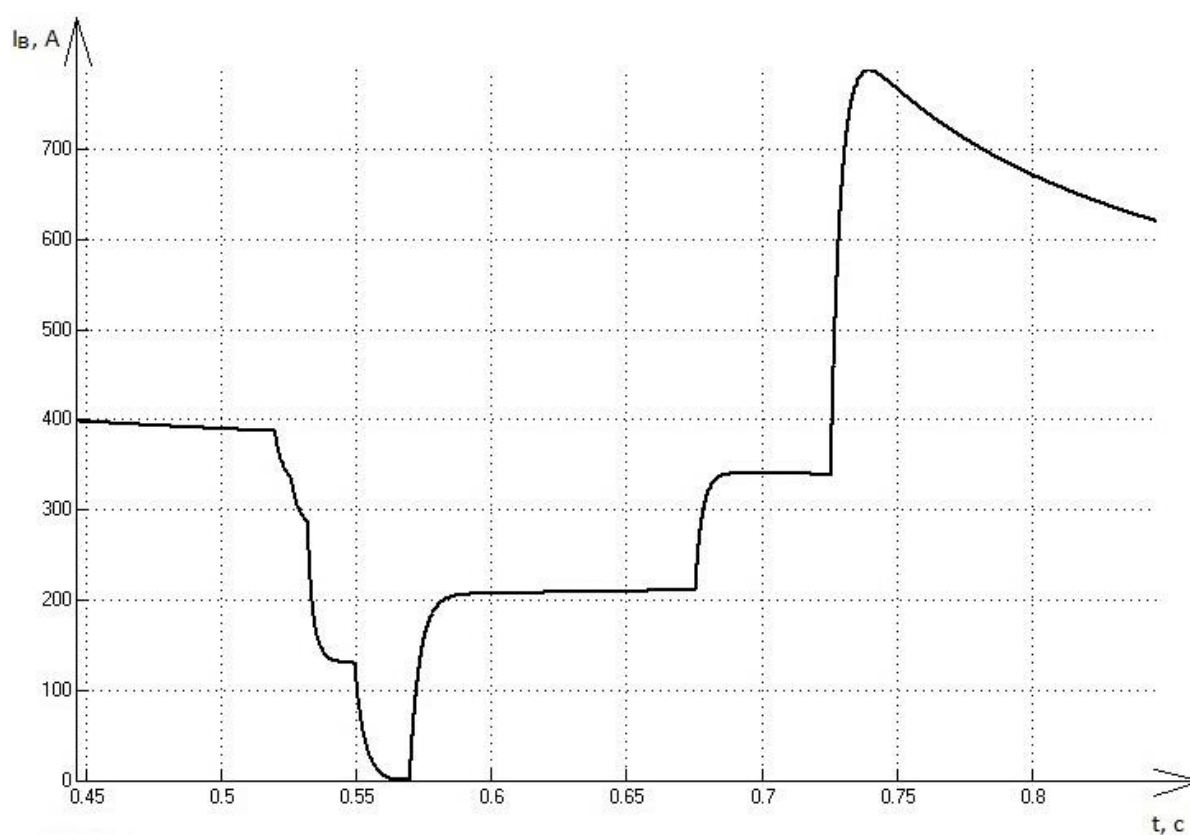


Рисунок 18 – График зависимости тока возбуждения от времени

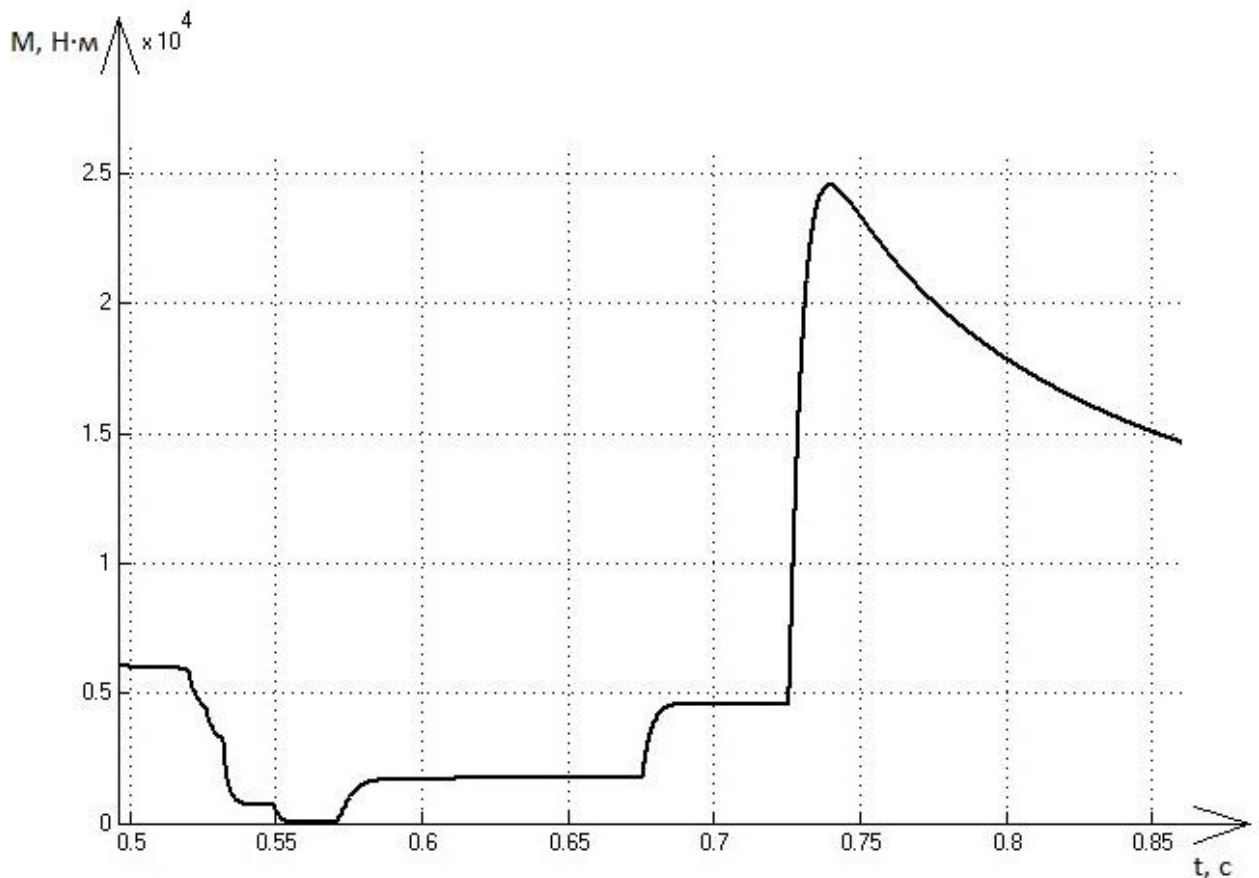


Рисунок 19 – График зависимости момента на валу от времени

Графики 17, 18 и 19 имеют идентичную форму, так как электродвигатели имеют последовательное возбуждения.

При моделировании цепи были сделаны следующие допущения:

- внутреннее сопротивление контакторов принято равным 0;
- активные и индуктивные сопротивления двигателя постоянного тока рассчитаны и имеют приближенное значение;
- общее активное и индуктивное сопротивление цепи также является приближенным;
- все процессы ограничены скоростью моделирования программного продукта Matlab Simulink;
- источник напряжения и др. элементы являются идеальными.

2.2. Моделирование переходных процессов быстродействующего контактора БК–78Т.

На рисунке 20 представлена схема защиты тяговых электродвигателей от токов к.з. в рекуперативном режиме. Она состоит из следующих элементов: источник напряжения (сеть), четыре тяговых электродвигателя ТЛ2К1 (М1, М2, М3, М4), ОБГ (обмотки возбуждения генератора-преобразователя АМ-Г), R_3 (резисторы 2 Ом), $R_{СТ}$ (стабилизирующие резисторы), АМ-Г (генератор-преобразователь НБ-436В), Н2-НН2, Н3-НН3 (обмотки возбуждения тяговых электродвигателей ТЛ2К1), контакты быстродействующего контактора БК-78Т (К645) и катушки (К645) с ограничивающим резистором (R9, R10) контактора.

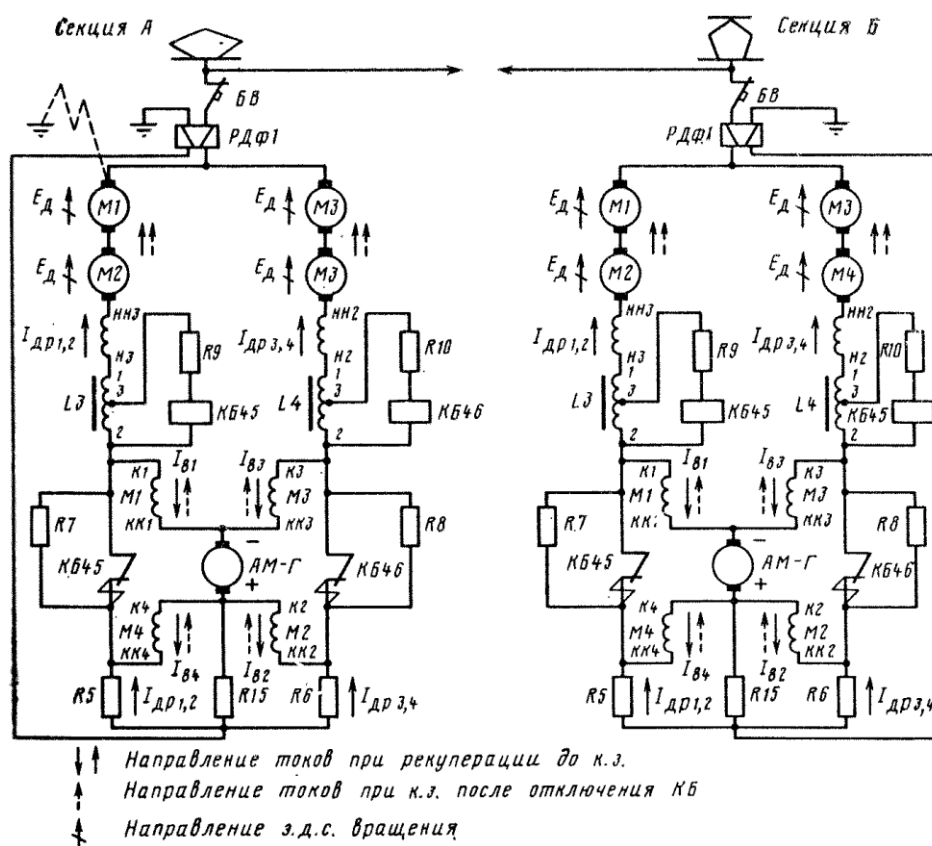


Рисунок 20 – Схема защиты тяговых электродвигателей от токов короткого замыкания в рекуперативном режиме на параллельном соединении

Генератор-преобразователь АМ-Г (НБ-436В) необходим для питания обмоток возбуждения тяговых электродвигателей в рекуперативном

торможении. В машинном отделении каждой секции электровоза установлен преобразователь. Он имеет следующие технические параметры:

Таблица 2 – Технические параметры генератора-преобразователя

	Двигатель	Генератор
Напряжение на зажимах, В	3300	38
Якорный ток, А	15	800
Мощность, кВт	40,7	30,4
Частота вращения, об/мин	1290	1290
Сопротивление демпферного резистора, Ом	10	–
КПД без демпферного резистора	0,857	0,755
Масса, кг	1900	

Преобразователь НБ–436В состоит из генератора постоянного тока и высоковольтного электродвигателя, сделанных на одном валу, который представляет из себя однокорпусный двухмашинный агрегат. Электродвигатель преобразователя имеет смешанное возбуждение. Генератор преобразователя имеет независимое возбуждение. Катушки последовательного возбуждения, которые обтекают током рекуперации тяговых электродвигателей, обеспечивают необходимые характеристики генератора для устойчивой работы цепи. Они включены по три последовательно в две параллельные цепи.

Быстродействующий контактор БК-78Т разрывает цепь при достижении в силовой или вспомогательной цепи токов короткого замыкания, превышающих ток 2500^{+100}_{-200} А.

Отключающие катушки контактора БК-78Т через ограничивающие резисторы включаются параллельно одной катушке индуктивных шунтов. Контакторы защищают цепь при напряжении на электродвигателях до 4000 В и начальной скорости нарастания тока до 350 А/мс.

Индуктивные шунты необходимы для того, чтобы предотвратить прохождения больших токов через якоря электродвигателей при

кратковременных перерывах тока (отрыв токоприемника от контактной сети, частичное снятие нагрузки с тяговых подстанций, к.з., и т.д.) как в тяговом, так и в рекуперативном режиме. Индуктивные шунты подключаются в цепь ослабления возбуждения тяговых электродвигателей. Их технические параметры следующие:

- Номинальное напряжение: 3000 В;
- Ток продолжительного режима: 310 А;
- Ток часового режима: 410 А;
- Ток рекуперативного режима: 400 А;
- Индуктивность при номинальном токе: 16 мГн;
- Индуктивность при полном насыщении сердечника: 4,5 мГн;
- Соединение катушек: последовательное;
- Масса: 580 кг.

На рисунке 21 представлен общий вид и габаритные размеры индуктивного шунта ИШ-2К.

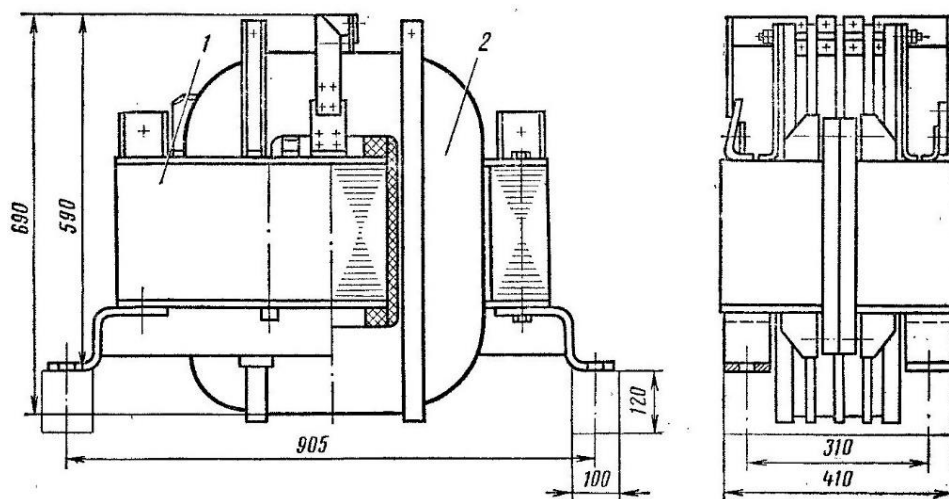


Рисунок 21 – Индуктивный шунт ИШ-2К

При повышении тока короткого замыкания в силовой цепи тяговых электродвигателей мгновенно увеличивается напряжение на индуктивных шунтах и в отключающей катушке (КБ) быстродействующего контактора

протекает ток, который превышает его уставку, размыкается силовой контакт и в отключенном положении удерживается защелкой.

При отключении КБ размыкается цепь питания обмоток возбуждения тяговых электродвигателей от генератора-преобразователя АМ-Г. Одновременно обмотки возбуждения вводятся в цепь обмоток якорей тяговых электродвигателей. Это вызывает резкое изменение направления тока в обмотках возбуждения, и в них появляется ЭДС самоиндукции, имеющая согласное направление с прежним направлением тока и встречное по отношению к ЭДС вращения тяговых электродвигателей. В результате изменения направления тока в обмотках возбуждения начинает происходить ускоренное размагничивание магнитной системы тяговых электродвигателей. С уменьшением магнитного потока одновременно спадает до нуля ЭДС вращения и ток короткого замыкания.

Для ограничения скорости нарастания тока к.з. в цепь якорей электродвигателей в рекуперативном режиме вводится дополнительная индуктивность, т.е. индуктивные шунты, которые переключаются в якорную цепь тормозным переключателем.

На рисунке 22 представлена схема силовой цепи при рекуперативном режиме торможения на параллельном соединении обмоток якорей тяговых двигателей при движении вперед электровазов ВЛ10 и ВЛ10^у.

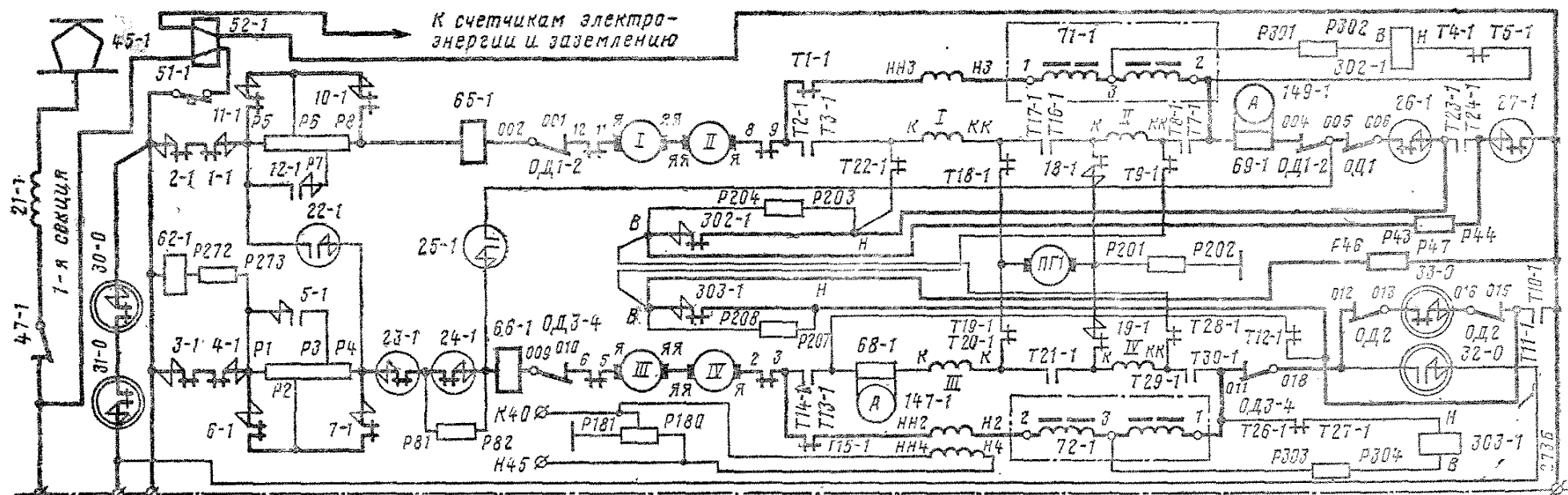


Рисунок 22 – Схема силовой цепи при рекуперативном режиме торможения на параллельном соединении обмоток
якорей тяговых двигателей при движении вперед электровозов ВЛ10 и ВЛ10^у

Рекуперативный режим достигается за счет большей электродвижущей силы двигателей относительно напряжения сети, примерно на 100 В.

В зависимости от скорости движения электровоза, рекуперативный режим может быть как на последовательном, последовательно-параллельном, так и на параллельном соединении. В данной диссертации рекуперативный режим реализован на параллельном соединении тяговых двигателей, так как считается наиболее опасным.

В приложении 2 представлена собранная в Matlab Simulink схема силовой цепи при рекуперативном торможении на параллельном соединении обмоток якорей тяговых двигателей при движении электровозов ВЛ10 и ВЛ10^У вперед.

Рекуперативное торможение на электровозе применяется, как правило, при движении поезда с установившейся скоростью на спусках. Однако возможно применение рекуперативного торможения для снижения скорости перед остановкой поезда, что является дополнительным резервом экономии электроэнергии.

В зависимости от скорости движения, применение рекуперативного торможения возможно на всех трех соединениях тяговых двигателей: в диапазоне скоростей от 13 до 25 км/ч – на последовательном; от 26 до 52 км/ч – на последовательно-параллельном; от 52 до 100 км/ч – на параллельном.

Чтобы получить наибольшие тормозные усилия при напряжении в контактной сети около 3300 В, следует поддерживать следующие скорости: на последовательном соединении двигателей – 14-17 км/ч; на последовательно-параллельном – 27-37 км/ч; на параллельном – 56-64 км/ч.

Для перехода на режим рекуперативного торможения производят следующее:

1. Включают двигатели вентиляторов на высокую частоту вращения;
2. Включением кнопки Возбудители запускают преобразователи;
3. Реверсивно-селективную рукоятку контроллера ставят на выбранное положение П, СП или С;

4. Ставят тормозную рукоятку на 2-ю позицию, затем главную на 1-ю позицию. При нормальной работе цепи амперметр возбуждения должен показывать наличие тока в обмотках возбуждения тяговых двигателей (180-200 А);

5. Перемещением тормозной рукоятки контроллера в сторону 15-й позиции увеличивают ток возбуждения тяговых двигателей до момента включения линейных контакторов, который характеризуется появлением тока в цепи якорей двигателя (около 100 А);

6. Дальнейшее регулирование тормозного усилия и скорости осуществляется тормозной рукояткой контроллера, главная рукоятка при этом остается на 1-й позиции.

Для создания нормальных условий коммутации тяговых двигателей необходимо выдерживать следующие соотношения между токами якоря и возбуждения:

Таблица 3 – Соотношения токов якоря и возбуждения

Ток якоря, А	500	450	400	350	300
Ток возбуждения, не менее, А	180	170	150	130	110

Во избежание возникновения юза ток якоря на С и СП соединениях тяговых двигателей не должен превышать 500 А, а на П соединении – 450 А.

На рисунке 23 представлена часть схемы в программном продукте Matlab Simulink, где изображен блок Ideal Switch, выполняющий функцию быстродействующего контактора БК-78Т.

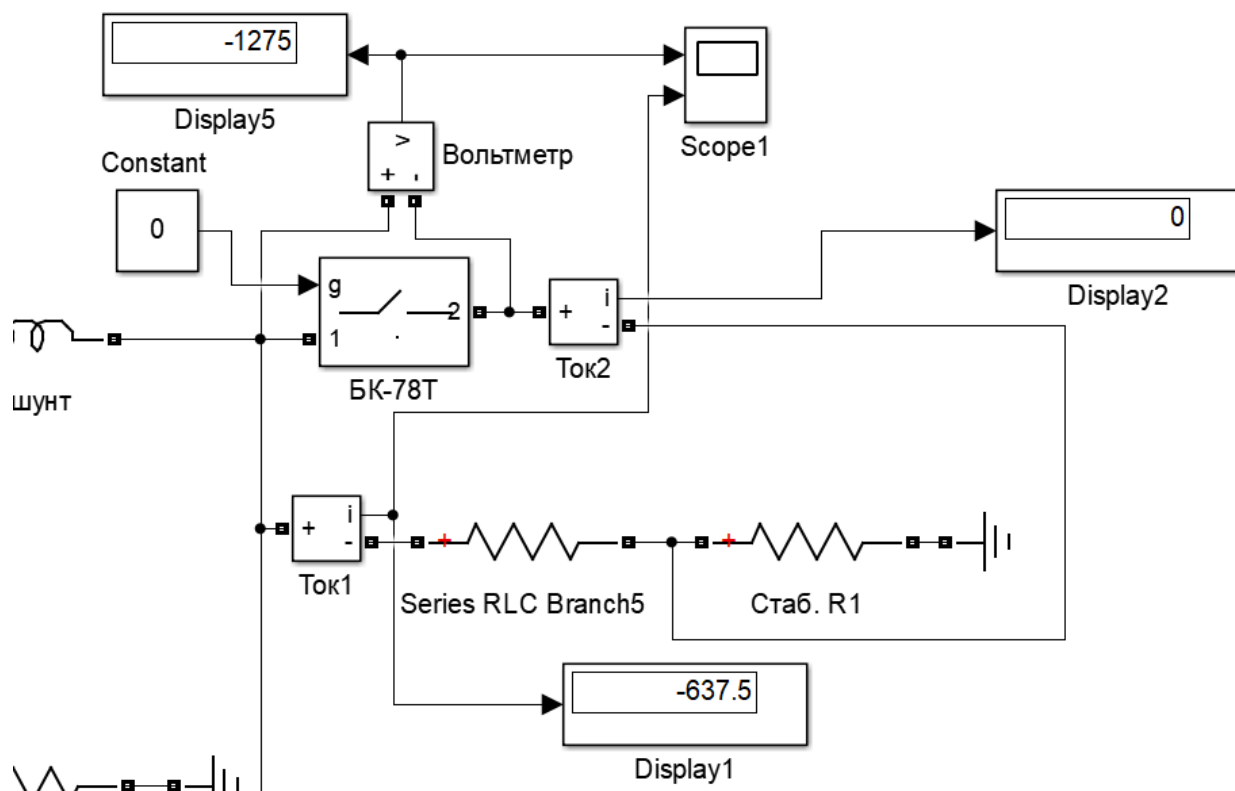


Рисунок 23 – Схема с БК-78Т

На рисунке 24 представлен график зависимости напряжения на контакторе и тока на параллельном резисторе в момент коммутации быстродействующим контактором БК-78Т силовой цепи, полученный при моделировании рекуперативного режима работы тяговых электродвигателей в программном продукте Matlab Simulink.

При коммутации цепи выделилась определенная мощность и энергия. Мгновенная электрическая мощность $p(t)$, выделяющаяся на участке электрической цепи, есть произведение мгновенных значений напряжения $u(t)$ и силы тока $i(t)$ на этом участке:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (1)$$

Максимальные значения тока и напряжения представлены на рисунке 24 и обозначены цифрами 1 и 2.

Рассчитываем мгновенную мощность по формуле (1):

$$2800 \cdot 1400 = 3920 \text{ кВт}$$

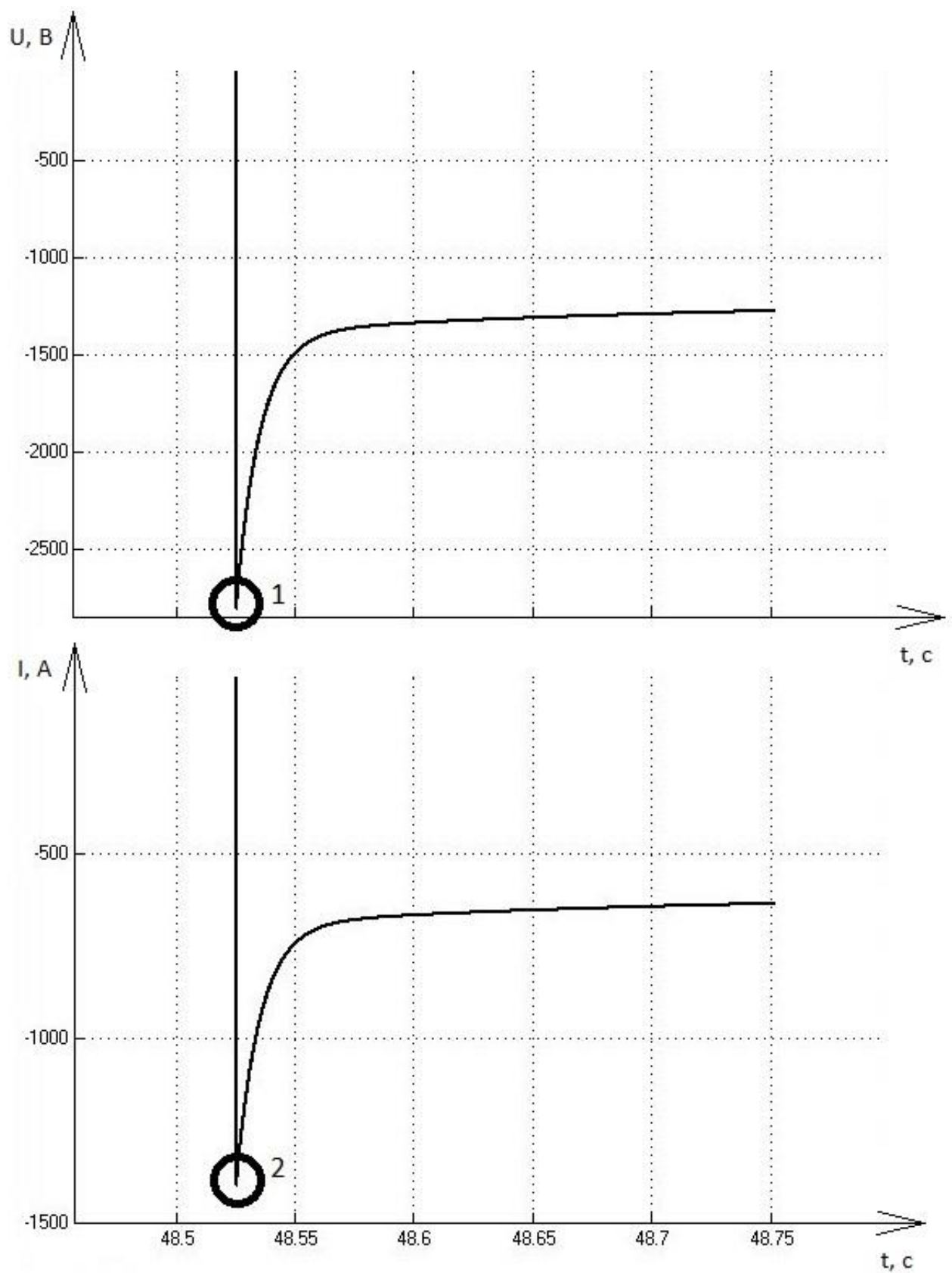


Рисунок 24 – График зависимости напряжения и тока в момент коммутации цепи быстродействующим контактором

Энергия, расходуемая электрическим током в цепи, равна произведению мощности на время, в течение которого проходит ток, кДж:

$$W = P(t) \cdot t \quad (2)$$

Так как в разные периоды времени выделялась разная мощность, то для того, чтобы определить какая энергия выделилась при коммутации, график разбивается на мелкие участки, считается энергия, выделенная на каждом участке. Суммарная энергия равна сумме всех участков.

На рисунке 25 представлен график с разбиением его на мелкие участки.

Рассчитываем энергию на первом участке по формуле (2):

$$W = 3920 \cdot 0,01 = 39,2 \text{ кДж}$$

Рассчитываем суммарную энергию, выделенную на всех участках:

$$\sum_1^i W = 39,2 + 23,1 + 14,9 + 12,8 + 11,2 + 68,6 = 169,8 \text{ кДж}$$

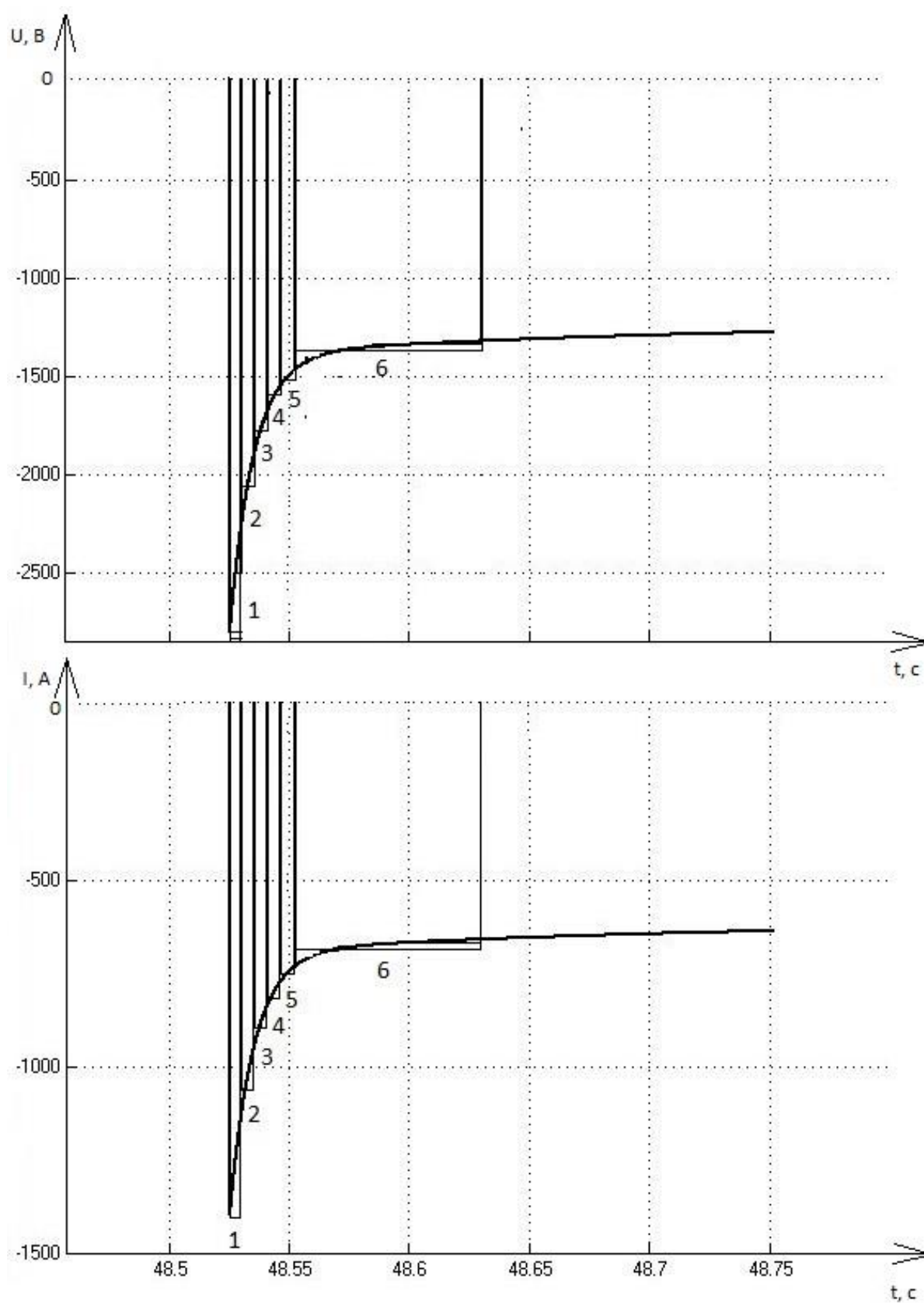


Рисунок 25 – График зависимости напряжения и тока в момент коммутации цепи быстродействующим контактором (разбитый на участки)

3. Инженерное решение

Быстродействующий контактор БК-78Т способен коммутировать большие токи короткого замыкания. При коммутации таких токов при напряжении сети 3000 В начинает гореть электрическая дуга. В результате горения дуги растет сопротивление в контактном узле, образуются «мостики» из расплавленного металла. Горение дуги сопровождается выделением большого количества энергии и увеличением температуры до нескольких десятков тысяч градусов, поэтому она очень опасна для электрооборудования.

У контактных аппаратов, по сравнению с бесконтактными, ряд недостатков: вибрация; повышенный шум при коммутационных операциях и выброс раскаленных газов; механический износ контактов и других подвижных частей; обгорание и сваривание контактов. Время срабатывания контактных аппаратов составляет десятые, сотые доли секунды; частота коммутаций ограничивается инерционностью подвижных систем, разогревом размыкаемых контактов и временем деионизации межконтактных промежутков.

Все недостатки контактных аппаратов заставляют задуматься о разработке аналога, например, аппарата полупроводникового типа. Ниже представлен анализ современной базы силовых запираемых полупроводниковых приборов.

3.1. Анализ силовых запираемых полупроводниковых приборов

3.1.1. GTO тиристоры.

Устройство.

Запираемый тиристор — это полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого лежит классическая четырехслойная структура. При подаче на электрод управления положительного и отрицательного импульсов тока тиристор включают и выключают. Условное обозначение (а) и структурная схема (б) выключаемого тиристора представлены на рисунке 26. Как и у обычного тиристора, он имеет

катод К, анод А и управляющий электрод Г. Расположение горизонтальных и вертикальных слоев с n- и p-проводимостями является различием в структурах приборов.

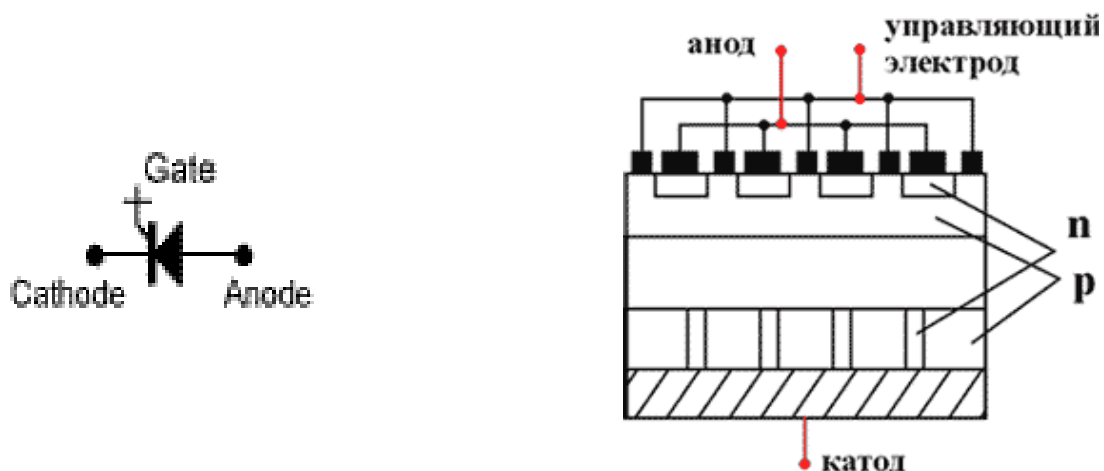


Рисунок 26 – Запираемый тиристор:

1 – условное обозначение;

2– структурная схема

Устройство катодного слоя n подверглось наибольшему изменению. Он разбит на несколько сотен элементарных ячеек, которые равномерно распределены по площади и соединены параллельно. Данное исполнение обеспечено стремлением сделать равномерное снижение тока по всей площади полупроводниковой структуры при отключении прибора.

Несмотря на то, что базовый слой p выполнен в виде единого целого, он имеет большое число контактов управляющего электрода (равное, примерно, числу катодных ячеек), которые также равномерно распределены по площади и соединены параллельно. Аналогично соответствующему слою обычного тиристора выполнен базовый слой n.

Анодный слой p имеет шунты (зоны n), которые соединяют n-базу с анодным контактом через небольшие распределенные сопротивления. Данные шунты необходимы в тиристорах, которые не обладают обратной блокирующей способностью. За счет улучшения условий извлечения зарядов из базовой области n, они уменьшают время выключения прибора.

Тиристоры GTO имеют основное таблеточное исполнение с четырехслойной кремниевой пластиной, которая зажата через молибденовые термокомпенсирующие диски между двумя медными основаниями, которые обладают повышенной электро- и теплопроводностью. Управляющий электрод контактирует с кремниевой пластиной и имеет вывод в керамическом корпусе.

Контактными поверхностями прибор зажимается между двумя половинами охладителей, которые изолированы друг от друга и имеют конструкцию, которая определяется типом системы охлаждения.

Принцип действия.

Тиристор GTO в цикле своей работы имеет черту фазы: включение, выключение, проводящее и блокирующее состояние.

Тиристорная структура (рисунок 26) на схематичном разрезе имеет анодный нижний вывод структуры. Анод соединен со слоем p. Далее следуют снизу-вверх: базовый слой n, базовый слой p (который имеет вывод управляющего электрода), слой n, который непосредственно контактирует с катодным выводом. Три p-n перехода образуются четырьмя слоями: между слоями p и n – j1; между слоями n и p – j2; между слоями p и n – j3.

Включение – фаза 1. Только при приложении прямого напряжения между анодом и катодом возможен переход тиристорной структуры из закрытого состояния во включенное. Чтобы включить тиристор GTO, необходимо по цепи управления к управляющему электроду и катоду приложить напряжение положительной полярности. В результате по цепи потечет ток включения.

Проходящий через базовый переход j2 суммарный ток превышает ток включения, в результате происходит отпирание тиристора, после чего носители зарядов свободно переходят через все его четыре области.

Проводящее состояние – фаза 2. Если ток в цепи анода больше величины тока удержания, то нет необходимости в режиме протекания прямого тока в токе управления.

На практике все же обязательно поддержание тока для данного температурного режима, для того чтобы все структуры отключаемого тиристора всегда находились в проводящем состоянии. В результате, все время включения и проводящего состояния система управления создает импульс тока положительной полярности.

Выключение – фаза 3. Чтобы выключить тиристор GTO (рисунок 28), к управляющему электроду и катоду по цепи управления прикладывается напряжение отрицательной полярности, при условии, что полярность напряжения неизменна. Напряжение отрицательной полярности вызывает ток выключения, при протекании которого рассасываются основные носители заряда (дырок) в базовом слое p. Т.е. происходит рекомбинация дырок, которые поступают в слой p из базового слоя n, и электронов, которые поступили в этот же слой по управляющему электроду.

В течение времени освобождения базового перехода j2, начинает запирается тиристор. Данный процесс характеризуется мгновенным уменьшением прямого тока тиристора за маленький промежуток времени до небольшой величины (рисунок 27). После того, как базовый переход j2 запирается, сразу начинает закрываться переход j3, однако за счет энергии, которая запасена в индуктивности цепей управления, переход еще некоторое время будет находиться в приоткрытом состоянии.

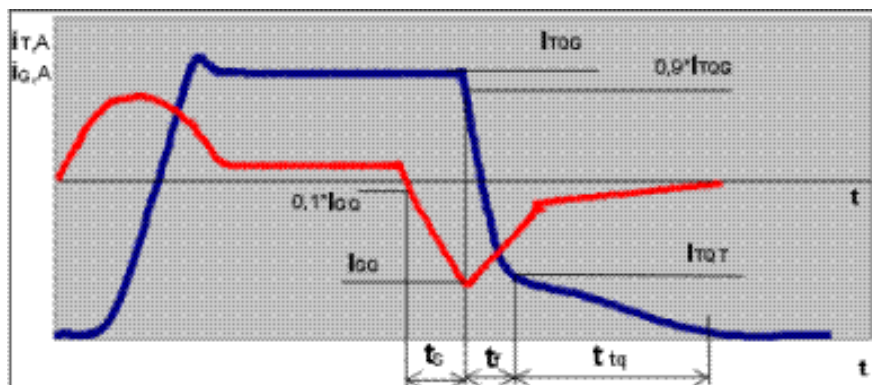


Рисунок 27 – Графики изменения тока анода и управляющего электрода

Со стороны катода переход j_3 полностью запирается только после того, когда вся энергия, которая была запасена в индуктивности цепи управления, будет израсходована. С этого момента ток утечки, протекающий от анода к катоду через цепь управляющего электрода, равен току через тиристор.

Блокирующее состояние – фаза 4. В режиме блокирующего состояния от блока управления к управляющему электроду и катоду остается приложенным напряжение отрицательной полярности. Суммарный ток протекает по цепи управления, который состоит из тока утечки тиристора и обратного тока управления, который проходит через переход j_3 . В результате чего, переход j_3 смещается в обратное направление. В результате, в тиристоре GTO, который находится в прямом блокирующем состоянии, два перехода (j_2 и j_3) смещены в обратном направлении и образованы две области пространственного заряда.

Система управления формирует импульс отрицательной полярности в течение всего времени выключения и блокирующего состояния.

Защитные цепи.

Для того, чтобы использовать тиристоры GTO, требуется применение специальных защитных цепей. Они являются необходимыми для нормального функционирования приборов, хотя и увеличивают массу и габаритные размеры, стоимость преобразователя, требуют дополнительных охлаждающих устройств.

При коммутации полупроводникового прибора, назначение любой защитной цепи – ограничение скорости нарастания одного из двух параметров электрической энергии. При этом, параллельно защищаемому прибору подключают конденсаторы защитной цепи (рисунок 28). При выключении тиристора именно они ограничивают скорость нарастания прямого напряжения

Последовательно с прибором устанавливают дроссели, ограничивающие скорость нарастания прямого тока при включении

тиристора. Значения $\frac{dU_T}{dt}$ и $\frac{dI_T}{dt}$ указывают в паспортных данных и справочниках на приборы, которые нормированы для каждого прибора.

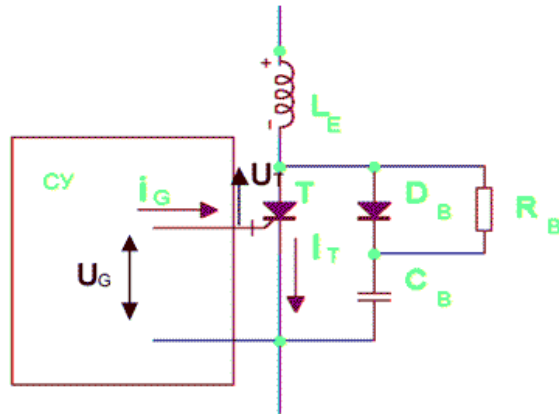


Рисунок 28 – Схема защитной цепи

Помимо конденсаторов и дросселей, для обеспечения разряда и заряда реактивных элементов, в защитных цепях используют дополнительные элементы. К таким элементам относят: диод, шунтирующий резистор при выключении тиристора и заряде конденсатора, резистор, который ограничивает ток разряда конденсатора при включении тиристора.

Система управления.

Система управления (СУ) состоит из следующих функциональных блоков: включающий контур, который состоит из схемы формирования отпирающего импульса и источника сигнала, поддерживающие тиристор в открытом состоянии; контур поддержания тиристора в закрытом состоянии; контур формирования запирающего сигнала.

Каждая СУ должна содержать контуры формирования отпирающих и запирающих импульсов, остальные перечисленные блоки нужны не для всех СУ. При этом необходимым условием является обеспечение гальванической развязки схемы управления и силовой цепи выключаемого тиристора.

Работа выключаемого тиристора управляется двумя основными СУ, которые отличаются способами подачи сигнала на управляющий электрод. В случае, изображенном на рисунке 29, сигналы, которые формируются

логическим блоком, подвергаются гальванической развязке, после чего производится их подача через ключи включения и выключения на управляющий электрод выключаемого тиристора. Во втором случае сигналы сначала воздействуют на ключи включения и выключения, которые находятся под тем же потенциалом, что и система управления, далее, через устройства гальванической развязки подаются на управляющий электрод.

Существуют различные схемы управления. В зависимости от расположения ключей, различают высокопотенциальные (ВПСУ) и низкопотенциальные (НПСУ, рисунок 29).

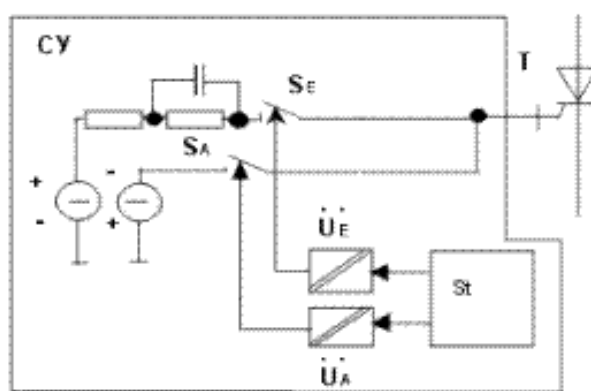


Рисунок 29 – Один из вариантов цепи управления

Низкопотенциальная система конструктивно проще, чем высокопотенциальная, но ее возможности ограничены в отношении формирования сигналов управления большой длительности, которые действуют в режиме протекания через тиристор прямого тока, а также в обеспечении крутизны импульсов управления. Более дорогие двухтактные схемы приходится использовать для того, чтобы формировать сигналы большой длительности.

Увеличенная длительность управляющего сигнала и высокая крутизна в ВПСУ достигается проще. Кроме того, здесь полностью используется сигнал управления, в отличие от НПСУ, где его величина ограничена устройством разделения потенциалов (к примеру – импульсным трансформатором).

Через оптоэлектронный преобразователь на схему обычно подается информационный сигнал – команда на выключение или включение.

3.1.2. GCT тиристоры.

Фирмы «ABB» и «Mitsubishi» в середине 90-х годов разработали новый вид тириستоров, называемый Gate Commutated Thyristor (GCT). Данный вид тиристоров является дальнейшим усовершенствованием GTO, или его модернизацией. Его рассмотрение является целесообразным, так как он обладает принципиально новой конструкцией управляющего электрода и заметно отличающимися процессами, которые происходят при выключении прибора.

Возникающие проблемы при работе GTO тиристоров отсутствуют у GCT, так как он разрабатывается как прибор, лишенный недостатков, характерных для GTO.

При коммутации GTO прибора, основным недостатком является его большие потери энергии в защитных цепях. На практике тиристоры GTO коммутируют с частотой не более 250-300 Гц, так как с повышением частоты увеличиваются потери. При выключении тиристора, следовательно, и разряде конденсатора, в резисторе возникают основные потери.

При выключении прибора необходим конденсатор, который будет ограничивать скорости нарастания прямого напряжения.

В конструкции GTC была реализована возможность отказаться от снабберной цепи (цепи формирования траектории переключения), сделав тиристор не чувствительным к эффекту du/dt .

Особенность конструкции и управления тиристором.

Основной особенностью тиристоров GCT по сравнению с приборами GTO, является быстрое выключение, достигающееся изменением принципа управления или улучшением конструкции прибора. Для реализации быстрого выключения, необходимо превратить тиристорную структуру в

транзисторную при запираании прибора, это делает прибор не чувствительным к эффекту du/dt .

В фазах проводящего и блокирующего состояния GTC управляется также, как и GTO. Существует две особенности управления GCT при выключении:

- ток управления равен или превосходит анодный ток (ток управления меньше в 3-5 раз для тиристорov GTO);
- благодаря низкой индуктивности управляющего электрода, скорость нарастания тока управления достигает значений, равных 3000 А/мкс и более (для тиристорov GTO нарастание тока управления составляет 30-40 А/мкс).

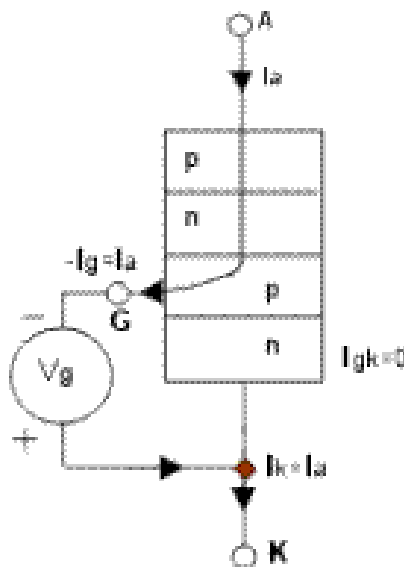


Рисунок 30 – Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении

Распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении прибора показано на рисунке 30. Процесс включения GCT подобен включению тиристорov GTO. Процесс выключения отличается. Весь прямой ток, который проходит через прибор, после подачи отрицательного импульса управления равного по амплитуде величине анодного тока, отклоняется в систему управления и достигает катода, минуя переход j_3 (между областями p

и п). Катодный транзистор n-p-n закрывается, так как переход j_3 смещается в обратном направлении. Дальнейшее отключение GCT аналогично выключению любого биполярного транзистора, не требующего внешнего ограничения скорости нарастания прямого напряжения и, следовательно, допускающего отсутствие снабберной цепочки.

Динамические процессы, которые возникают в приборе при выключении, протекают на порядок два быстрее, чем в GTO, в связи с этим конструкция подверглась изменениям. К примеру, если минимальное время отключения и блокирующего состояния для GTO тиристора составляет 100 мкс, то для GCT данная величина не превышает 10 мкс. При отключении GCT скорость нарастания тока управления составляет около 3000 А/мкс, а для GTO – не превышает 40 А/мкс.

Такие фирмы, как Mitsubishi и ABB выпускают тиристоры GCT, рассчитанные на напряжения до 4500 В и ток до 4000 А.

В России на российском предприятии ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск) в настоящее время освоены тиристоры GCT и GTO. Они выпускают тиристоры серий ТЗ-243, ТЗ-253, ТЗ-273, ЗТА-173, ЗТА-193, ЗТФ-193 (наподобие GCT) и др. с диаметром кремниевой пластины до 125 мм, напряжений 1200-6000 В и токов 630-4000 А.

Для использования в комплекте с ними в ОАО «Электровыпрямитель», параллельно с запираемыми тиристорами, спроектированы и освоены в серийном производстве быстровосстанавливающиеся диоды для снабберных цепей и диоды обратного тока, а также мощный импульсный транзистор для выходных каскадов драйвера управления (система управления).

3.1.3. Тиристоры IGCT.

С монолитными интегрированными высоко мощными диодами, для применения в диапазоне 0,5-6 МВ·А, было разработано новое семейство приборов IGCT. Благодаря существующим техническим возможностям

параллельного и последовательного соединения, приборы IGCT способны увеличивать уровень мощности до сотен МВ·А.

Тиристор переходит из р-п-р-п состояния в р-п-р режим при запираании за 1 мкс, работая при «жестком» управлении. В результате выключение тиристора осуществляется полностью в транзисторном режиме, который устраняет любую вероятность появления триггерного эффекта. Благодаря использованию на стороне анода буферного слоя, достигается уменьшение толщины прибора. Улучшает характеристики традиционных элементов буферный слой силовых полупроводниковых приборов за счет уменьшения их толщины на 30% при таком же пробивном прямом напряжении. Улучшение технологических характеристик при низких динамических и статических потерях – это главное преимущество тонких элементов. Эффективное освобождение электронов сохраняется во время выключения, однако при таком буферном слое в четырехслойном приборе требует устранения анодных закороток. В новом тиристоре IGCT вместе с прозрачным анодным эмиттером комбинируется буферный слой. Прозрачный анод является р-п переходом с управляемой током эффективностью эмиттера.

IGCT тиристор окружен блоком управления, чтобы максимально увеличить помехоустойчивость и компактность, который формирует единую с охладителем конструкцию, содержащий только ту часть схем, необходимую для управления IGCT. В результате, число элементов управляющего блока уменьшено, электрические и тепловые нагрузки, параметры рассеяния тепла снижены. Благодаря этому также снижена интенсивность отказов и стоимость блока управления. Через оптоволокну IGCT точно соединяется с источником управляющего сигнала и источником питания, легко фиксируясь в модуле с интегрированным управляющим блоком. К IGCT прилагается правильно рассчитанное прижимное усилие, которое создает электрический и тепловой контакт, путем простого размыкания пружины, благодаря детально разработанной прижимной контактной системе. Благодаря этого, достигается наибольшая надежность и максимальное облегчение сборки. Если IGCT

работает без снаббера, то и обратный диод должен работать без снаббера. Данные требования способен выполнить высокоомощный диод, имеющий прижимной корпус с улучшенными характеристиками, который произвели с использованием процесса облучения в сочетании с классическими процессами.

Работой диода определяются возможности по обеспечению di/dt (рисунок 31).

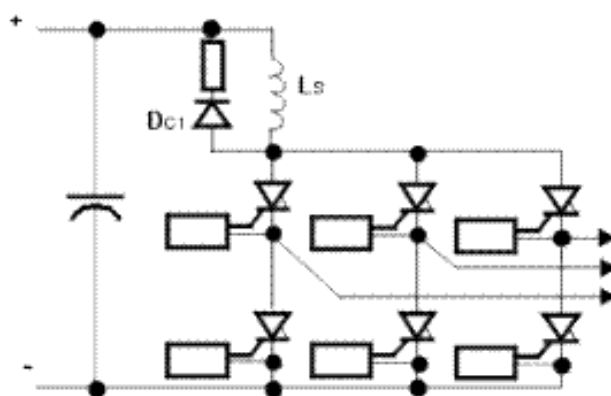


Рисунок 31 – Схема трехфазного инвертора на IGCT тиристорах

Фирма «ABB» является основным производителем IGCT тиристоров. Параметры тиристоров по напряжению: 4500 В, 6000 В; по току: 3000 А, 4000 А.

В последние годы, благодаря появлению IGBT с номинальным напряжением до 4500 В и способностью отключать токи до 1800 А, произошло вытеснение запираемых тиристоров (GTO) в устройствах мощностью до 1 МВт и напряжением до 3,5 кВ.

При всем при этом новые приборы IGCT, которые способны работать с переключениями частотой от 500 Гц до 2 кГц и имеют высокие параметры по сравнению с IGBT транзисторами, совмещают в себе идеальную комбинацию доказанных технологий тиристоров с типичными им низкими потерями, и бесснабберной, высокоэффективной технологией выключения, с помощью воздействия на управляющий электрод. Идеальным решением сегодня для

применения в области силовой электроники среднего и высокого напряжений является прибор IGCT.

Мощные силовые ключи с двусторонним теплоотводом, имеют следующие характеристики, представленные в таблице 4 [7].

Таблица 4 – Параметры современных мощных силовых ключей с двусторонним теплоотводом

Наименование прибора	Достоинства	Недостатки	Область применения
SCR тиристор	Во включенном состоянии имеет самые низкие потери. Обладает самой высокой перегрузочной способностью и надежностью. Несложно соединяется последовательно и параллельно.	Через управляющий электрод не способен запирается. Работает при низких частотах.	Электропривода постоянного тока. Мощные источники питания. Сварка. Нагрев и плавление. Статические компенсаторы. Полупроводниковые ключи переменного тока.
GTO тиристор	Имеет способность запирается сигналом управления. Обладает достаточно высокой перегрузочной способностью. Может соединяться последовательно. При напряжении до 4 кВ может работать при частоте до 250 Гц.	Во включенном состоянии имеет высокие потери. В системе управления очень большие потери. Системы управления и подачи энергии на потенциал сложные. На переключение уходят большие потери.	Электропривода. Статические компенсаторы реактивной мощности. Системы бесперебойного питания. Индукционный нагрев.
IGCT тиристор	Имеет способность запирается сигналом управления. Обладает достаточно высокой перегрузочной способностью. Во включенном состоянии имеет низкие потери для переключения. Работает на частотах до кГц. Драйвер встроенный (блок управления). Может соединяться последовательно.	Недостатки не выявлены, так как отсутствует опыт эксплуатации.	Мощные источники питания (инверторная и выпрямительная подстанции линий передач постоянного тока). Электропривода (инверторы напряжения для преобразователей частоты и электроприводов различного назначения)
IGBT	Имеет способность запирается сигналом управления. Работает на частоте до 10 кГц. Система управления простая и неэнергоёмкая. Драйвер встроенный (блок управления).	Во включенном состоянии имеет очень высокие потери.	Электропривода (чопперы). Системы бесперебойного питания. Статические компенсаторы и активные фильтры. Ключевые источники питания.

3.2. Тиристорная схема.

При анализе современных полупроводниковых ключей выяснилось, что наиболее подходящим вариантом для силовой цепи электровоза будет силовой запираемый тиристор производства ПАО «Электровыпрямитель».

Завод ПАО «Электровыпрямитель» является одним из ведущих предприятий электротехнической промышленности в России по производству силовых полупроводниковых приборов и преобразователей тока. Завод разрабатывает и производит силовую электронику для транспорта, энергетики, добывающей и многих других отраслей промышленности. Предприятие выпускает свыше 500 типов полупроводниковых приборов на токи от 10 до 10000 А и напряжение от 100 до 10000 В.

Через быстродействующий контактор БК-78Т протекают большие токи как в одном (двигательный режим), так и в другом (рекуперативный режим) направлении. Исходя из этой информации, предлагается тиристорная схема на основе двух встречно-параллельных тиристоров.

Данная схема представлена на рисунке 32.

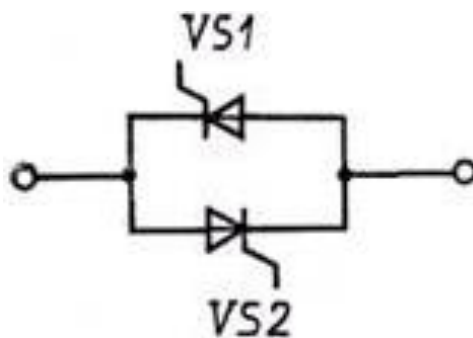


Рисунок 32 – Схема включения тиристоров

Выбор тиристоров производится по предельному значению тока протекающего через клапан и максимальному значению обратного напряжения с учетом условий охлаждения клапана.

Исходя из результатов, полученных на этапе моделирования переходных процессов силовой цепи и анализе современных запираемых

полупроводниковых ключей, выбираем подходящий силовой запираемый тиристор.

Выбран силовой запираемый тиристор ТЗЗ73-2000. Конструкция и габаритные размеры представлены на рисунке 33 [8].

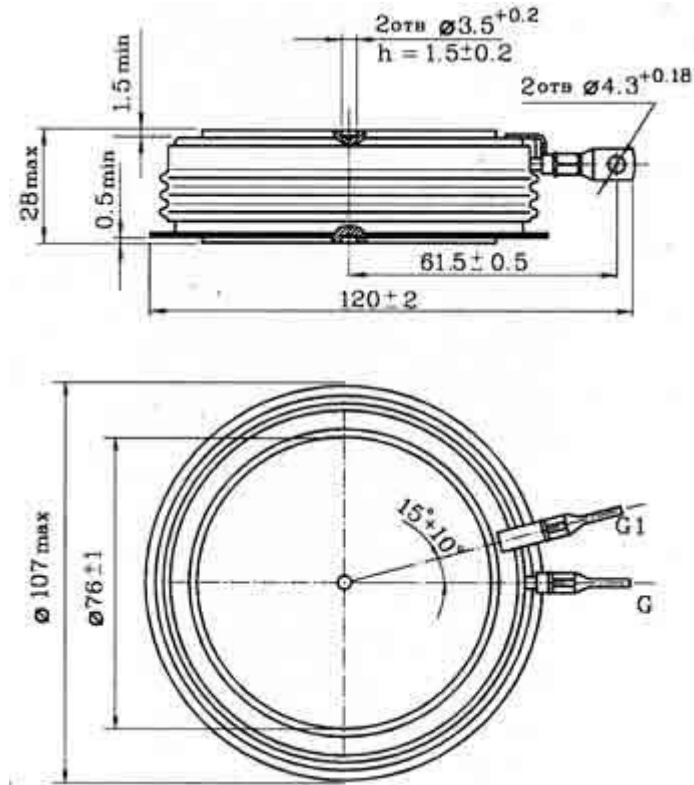


Рисунок 33 – Запираемый силовой тиристор ТЗЗ73-2000

Основные особенности:

- Герметичные металлокерамические корпуса соответствуют зарубежным аналогам и международным стандартам;
- Оптимальные соотношения между статическими и динамическими потерями;
- Миниатюрная топология катода и оптимальное регулирование времени жизни для быстрого включения и выключения.

Области применения:

- Мощные электропривода;
- Электротранспорт;
- Мощные источники бесперебойного питания.

В таблице 5 представлены основные параметры тиристора.

Таблица 5 – Основные параметры силового запираемого тиристора

V_{DRM} V_{RRM}	I_{RDM} I_{RRM}	i_{tqrm} ($TC, ^\circ C$)	I_{TSM} 10 ms	V_{TM}	$\left(\frac{di_T}{dt}\right)_{crit}$	$\left(\frac{dv_D}{dt}\right)_{cruit}$	V_{GT}
В	мА	А	кА	В	А/мкс	В/мкс	В
5000	100	2000(85)	14	4.5	250	500	1.5
$i_{g(on)}$	i_{gqm}	V_{RGM}	$T_{j\ max}$	$R_{th(j-c)}$	t_{qq}	F	W
А	А	В	$^\circ C$	$^\circ C/Вт$	Мкс	кН	кг
8	650	-	125	0.018	32	28-30	-

V_{RRM} – повторяющееся импульсное обратное напряжение;

V_{DRM} – повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии;

I_{RDM} – повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии;

I_{RRM} – повторяющийся импульсный обратный ток;

i_{tqrm} – максимально допустимый повторяющийся запираемый ток;

I_{TSM} – ударный ток в открытом состоянии;

V_{TM} – импульсное напряжение в открытом состоянии;

$\left(\frac{di_T}{dt}\right)_{crit}$ – критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии;

$\left(\frac{dv_D}{dt}\right)_{cruit}$ – критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии;

V_{GT} – отпирающее постоянное напряжение управления;

$i_{g(on)}$ – минимальный поддерживающий ток управления;

i_{gqm} – запирающий импульсный ток управления;

V_{RGM} – обратное импульсное напряжение управления;

$T_{j\ max}$ – максимально допустимая температура перехода;

$R_{th(j-c)}$ – тепловое сопротивление переход-корпус;

t_{qq} – время выключения по управляющему электроду (для GTO);

F – усилие сжатия;

W – масса.

Расшифровка условного обозначения тиристора ТЗ373-2000 следующая:

ТЗ – тиристор запираемый;

З – модификация конструкции, третья;

7 – обозначения модификации по максимальному диаметру корпуса, 105 мм;

З – обозначение конструктивного исполнения корпуса, таблеточное;

2000 – максимально допустимый средний прямой ток в открытом состоянии, А.

Полупроводниковые ключи очень чувствительны к температурам, поэтому их следует охлаждать. Для охлаждения тиристора подбираем необходимый по параметрам охладитель. Подходящий по параметрам охладитель ДЖИЦ.32281.011-01. Основные параметры и размеры охладителя представлены в таблице 6. На рисунке 34 изображен общий вид охладителя.

Таблица 6 – Охладитель ДЖИЦ.32281.011-01

Габаритные размеры(ШДВ), мм (без токоотвода)	Масса, кг	Диаметр контактной поверхности, мм	Тепловое сопротивление, °С/Вт (расход воды 3 л/мин.)	Перепад давления, Па
100×200×80	5.000	78	0.025	24000

На рисунке 34 представлен профиль охладителя.



Рисунок 34 – Профиль охладителя ДЖИЦ.32281.011-01

Тиристоры управляются с помощью специальных драйверов управления. У тиристора ТЗ373-2000 драйвер управления встроенный.

Для своевременного срабатывания силовых запираемых полупроводниковых ключей, необходим датчик тока, который будет фиксировать превышение токов короткого замыкания в рекуперативном

режиме через ограничивающий резистор (как и БК-78Т). Для этого воспользуемся обыкновенным датчиком тока. Ток уставки (отключения) в быстродействующем контакторе составляет 35–50 А, поэтому выбираем датчик тока на 35–50 А.

Выбранный датчик тока CSLA1CD на 50 А, представлен на рисунке 35 [9].



Рисунок 35 – Датчик тока CSLA1CD

Время включения полупроводниковых ключей составляет величины от нескольких десятых долей до нескольких десятков мкс, время выключения – от нескольких единиц до нескольких сотен мкс. В результате быстрого срабатывания, возникают большие перенапряжения, которые необходимо как-то компенсировать, для того, чтобы полупроводниковый ключ не пробило. Для ограничения перенапряжения воспользуемся специальными ограничителями перенапряжений. Ограничитель перенапряжения (ОПН) – электрический аппарат, предназначенный для защиты оборудования систем электроснабжения от коммутационных и грозовых перенапряжений. ОПН также можно назвать разрядником без искровых промежутков. ОПН на сегодняшний день являются одним из эффективных средств защиты оборудования электрических сетей.

Завод ПАО «Электровыпрямитель» разрабатывает специальные ограничители напряжения применимые для работы с тиристорами. Выбираем ограничитель напряжения ОНС453-15. Основные параметры ограничителя представлены в таблице 7, массогабаритные размеры на рисунке 36.

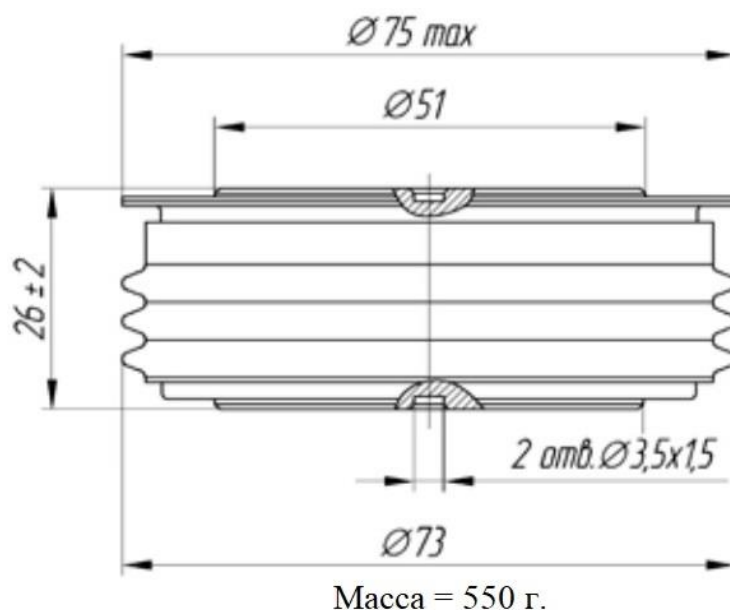


Рисунок 36 – Массогабаритные размеры ОНС453-15

Таблица 7 – Краткие параметры ограничителя напряжения ОНС453-15

V_N	I_{DRM} I_{RRM}	V_{BR}	A_H	β	$R_{th(j-c)}$	T_{jmax}	F
В	мА	В	Дж	%/°C	°C/Вт	°C	кН
2800-4400	20	$V_N + 200$	15	0.15	0.018	125	26

V_N – номинальное напряжение;

I_{DRM} – повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии;

I_{RRM} – повторяющийся импульсный обратный ток;

V_{BR} – напряжение лавинообразования;

A_H – энергия лавинообразования;

β – температурный коэффициент напряжения лавинообразования;

$R_{th(j-c)}$ – тепловое сопротивление переход-корпус;

T_{jmax} – максимально допустимая температура перехода;

F – усилие сжатия.

Структура условного обозначения ограничителя напряжения ОНС453-15:

ОНС – буквы, обозначающие «ограничитель напряжения симметричный»;

- 4 – порядковый номер модификации конструкции;
- 5 – обозначение модификации по размеру шестигранника для штыревых ОНС или по диаметру корпуса для таблеточных ОНС;
- 3 – обозначение конструктивного исполнения корпуса;
- 15 – максимально допустимая энергия лавинообразования.

Основные особенности:

- Диффузионная р-п-р структура;
- Симметричные блокирующие характеристики, стойкие к лавинному пробое.

Области применения:

- Эффективная защита против повторяющихся и неповторяющихся перенапряжений;
- Применимы для работы с тиристорами.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5Г	Бракку Ивану Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад научного руководителя: 30000 руб. Должностной оклад инженера: 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации: 20% Районный коэффициент: 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальные отчисления: 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ и оценка времени их выполнения
2. Разработка устава научно-технического проекта	Смета затрат на проект
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Затраты на оборудование
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Сравнительная характеристика

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Наталья Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Бракк Иван Сергеевич		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Современные тенденции развития полупроводниковых приборов, заставляют задуматься о применении их в разных отраслях промышленности, в том числе и электровозостроении. Современные электровозы во многом превосходят своих предшественников прошлого века по наличию на их борту полупроводниковых приборов, способных выполнять любые задачи, от включения/выключения цепи управления до защиты силовых цепей тяговых электродвигателей.

В настоящее время на железных дорогах преобладающим большинством являются электровозы прошлого поколения. Качество сети с каждым годом увеличивается, а потребители – электровозы прошлого поколения, не меняются.

4.1. Планирование работ и оценка времени их выполнения.

Для того, чтобы оценить затраты на заработную плату участникам НИР, следует оценить время, затраченное участниками. Для наглядной оценки времени выполнения НИР каждого из участников, сведем все данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Трудоемкость выполнения работ

п/п	Наименование работ	Исполнители	Прод-ть., дн.
1	Составление и выдача технического задания	Науч. руководитель	1
		Инженер	1
2	Календарное планирование работ	Науч. руководитель	1
		Инженер	1
3	Изучение литературы и основной проблемы	Инженер	15
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	15
5	Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер	15
6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими расчетами	Инженер	1
7	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	1
8	Определение целесообразности проведения ОКР	Науч. руководитель	1
		Инженер	1
9	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Инженер	15
10	Выбор конструкции	Инженер	5
11	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Науч. руководитель	1
		Инженер	1
12	Составление пояснительной записки	Инженер	15
ИТОГО		Науч. руководитель	4
		Инженер	86

4.2. Смета затрат на проект.

Смета – расчёт (план) предстоящих расходов на осуществление какой-либо деятельности. При планировании сметы затрат на НИР, должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением.

Для определение капитальных вложений в проект, используется следующая формула:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}} \quad (3)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработанную плату;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

4.2.1. Материальные затраты.

Материальными затратами, при выполнении научно-исследовательской работы (НИР), принимаются затраты на канцелярию в размере 1000 руб.:

$$K_{\text{мат}} = 1000 \text{ руб.}$$

4.2.2. Амортизация компьютерной техники.

Амортизация компьютерной техники отражает затраты на использование компьютера в НИР за определенный период времени, равный времени его использования.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.к.т}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{к.т}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} \quad (4)$$

где $T_{\text{исп.к.т}}$ – время использования компьютерной техники (90 дн.);

$T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (365 дн.);

$C_{\text{к.т}}$ – цена компьютерной техники (25000 руб.);

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

Рассчитываем амортизацию компьютерной техники по формуле (4):

$$K_{ам} = \frac{90}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1233 \text{ руб.}$$

4.2.3. Затраты на заработанную плату.

Затраты на заработную плату рассчитываются для каждого участника в отдельности, исходя из принятого для него должностного оклада и районного коэффициента, а потом суммируются.

Затраты на заработанную плату рассчитываются по следующей формуле:

$$\Phi Зп = K_{з/пл} = Зп_{инж} + Зп_{рук} \quad (5)$$

где $Зп_{инж}$ – затраты на заработанную плату инженера;

$Зп_{рук}$ – затраты на заработанную плату научного руководителя;

Месячная заработанная плата рассчитывается по формуле:

$$Зп_{мес} = Зп_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (6)$$

где $Зп_0$ – месячный оклад;

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск;

K_2 – районный коэффициент.

Рассчитаем заработанную плату в месяц для инженера по формуле (6). Оклад принимаем равным 17000 руб.; коэффициент, учитывающий отпуск принимаем равным 1.1; районный коэффициент Томской области равен 1.3 [10]:

$$Зп_{мес.инж} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

Рассчитываем заработанную плату в месяц для научного руководителя по формуле (6), оклад которого принимаем равным 30000:

$$Зп_{мес.рук} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}$$

Фактические затраты на заработную плату рассчитываются исходя из количества дней участия в проекте каждого участника по следующей формуле:

$$Зп = \frac{Зп_{мес}}{21} \cdot n_{\phi} \quad (7)$$

где 21 – число рабочих дней в месяце;

$n_{\text{ф}}$ – фактическое число дней участия в проекте.

Рассчитываем фактические затраты на заработанную плату по формуле (7). Для инженера:

$$З_{\text{п}_{\text{инж}}} = \frac{24310}{21} \cdot 86 = 99555 \text{ руб.}$$

Для руководителя:

$$З_{\text{п}_{\text{рук}}} = \frac{42900}{21} \cdot 4 = 8171 \text{ руб.}$$

Рассчитываем суммарные фактические затраты на заработанную плату по формуле (5):

$$\Phi З_{\text{п}} = 99555 + 8171 = 107726 \text{ руб.}$$

4.2.4. Затраты на социальные нужды (отчисления).

Отчисления на социальные нужды – элемент себестоимости продукции (работ, услуг), в котором отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством нормам государственного социального страхования в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг) по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные отчисления равны 30% от затрат на заработную плату [11]:

$$K_{\text{с.о}} = \Phi З_{\text{п}} \cdot 30\% \quad (8)$$

Рассчитываем затраты на социальные нужды (отчисления) по формуле (8):

$$K_{c.o} = 107726 \cdot 0,3 = 32318 \text{ руб.}$$

4.2.5. Прочие затраты.

К прочим затратам относятся затраты на мелкие расходы, не связанные с основными затратами. Принимаем прочие затраты равными 10% от $K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + \Phi\text{Зп} + K_{c.o}$:

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1233 + 107726 + 32318) \cdot 0,1 = 14228 \text{ руб.}$$

4.2.6. Затраты на накладные расходы.

Накладные расходы представляют собой дополнительные к основным расходам затраты на управление, организацию и обслуживание производства. Накладные расходы в НИТПУ принимаются равными 200% от затрат на заработную плату:

$$K_{\text{накл}} = \Phi\text{Зп} \cdot 200\% \quad (9)$$

Рассчитываем затраты на накладные расходы по формуле (9):

$$K_{\text{накл}} = 107726 \cdot 2 = 215452 \text{ руб.}$$

Рассчитываем капитальные вложения на проект по формуле (3):

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{c.o} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}} \\ &= 1000 + 1233 + 107726 + 32318 + 14228 + 215452 \\ &= 371957 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Полученные результаты сводим в таблицу 9.

Таблица 9 – Смета затрат

Элементы затрат	Стоимость, руб
Материальные	1000,00
Амортизационные	1233,00
На заработанную плату	107726,00
На социальные нужды	32318,00
Прочие	14228,00
Накладные	215452,00
ИТОГО	371957,00

4.3. Затраты на оборудование.

Необходимое оборудование и затраты на него сводим в таблицу 10.

Таблица 10 – Затраты на оборудование

Оборудование	Кол-во, шт	Цена за единицу, руб	Затраты на оборудование, (Z_m), руб.
Силовой тиристор ТЗ373-2000	2	10000	20000
Датчик тока CSLA1CD	1	1500	1500
Охладитель ДЖИЦ.32281.011-01	1	2500	2500
ИТОГО			44000

Определяем затраты на оборудование с учетом транспортно-заготовительных расходов (15-25% от стоимости материалов):

$$K_{об} = 44000 \cdot 1,2 = 52800 \text{ руб.}$$

В итоге затраты на спец. оборудование составили 52800 рублей с учетом запасных частей.

4.4. Сравнительная характеристика.

Бесконтактный электрический аппарат – устройство для коммутации (включения и отключения) электрических цепей без физического разрыва самой цепи.

Основными важными преимуществами бесконтактных аппаратов по сравнению с контактными является:

- Отсутствие контактов и подвижных частей;
- Быстродействие, высокая скорость и частота переключения;

Быстродействие подвижных частей контактных аппаратов ограничивается их инерционностью (особенно силовых). Время переключения бесконтактных аппаратов в 10-100 раз меньше, чем контактных, так как в бесконтактных аппаратах нет подвижных частей.

- Долговечность;

Срок службы контактных аппаратов ограничивается износом контактов и трущихся частей, он определяется в основном старением материалов, из которых изготовлен прибор.

- Простота обслуживания;

Бесконтактные аппараты не нуждаются в таких трудоемких операциях, как чистка и регулировка контактов.

- Способность к работе во взрывоопасных и загрязненных средах;

Не требуются специальные меры по защите контактов от загрязнения или устройства, обеспечивающее взрывобезопасность от возникающей при коммутации контактов искры или дуги.

- Механическая стойкость;

Сохранение работоспособности при любом положении в пространстве.

- Бесшумность при работе;
- Меньший уровень радиопомех.

Сравнительная характеристика быстродействующего контактора БК-78Т с бесконтактным аппаратом п/п типа представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Сравнительная характеристика

Параметр сравнения	БК-78Т	Бесконтактный аппарат п/п типа
Скорость срабатывания, мс	5	0,001
Горение электрической дуги	да	нет
Обслуживание	частое	не требуется
Предельный ток, кА	2,5	10
Наибольшее напряжение, кВ	4	9
Масса, кг	43	10
Чувствительность к магнитным и электрическим полям	высокая	отсутствует

Как видно из таблицы 11, предлагаемое инженерное решение во многом превосходит свой аналог (быстродействующий контактор БК-78Т). Это происходит за счёт того, что БК-78Т был спроектирован ещё в прошлом веке, когда полупроводниковые приборы только начинали развиваться в нашей стране. На данный момент выпускаются разные полупроводниковые ключи, способные коммутировать цепи на десятки кА и на десятки кВ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ5Г	Бракк Иван Сергеевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Исследуемым объектом является быстродействующий контактор БК–78Т. Он применяется на железнодорожном транспорте, электровозах серии ВЛ10, ВЛ10 ^У . Контактор предназначен для защиты тяговых электродвигателей электровоза от токов короткого замыкания и круговых огней в рекуперативном режиме.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико–химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно–технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1.1. Выявленные вредные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения: – повышенный уровень шума на рабочем месте по [ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ], [СН 2.2.4/2.1.8.562-96], более 69 дБ; – повышенный уровень вибрации по [ГОСТ 26568-85], [СН 2.2.4/2.1.8.566–96], более 70 дБ. 1.2. Выявленные опасные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения: – Повышенная вероятность поражения электрическим током по [ГОСТ Р 50571.3-94], [ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ]. Постоянный ток не должен быть более 1 мА; постоянное напряжение не должно быть более 8 В).
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	– Исследуемый контактор является безопасным для селитебной зоны; – воздействий на атмосферу в виде выбросов нет; – воздействий на гидросферу в виде сбросов нет; – воздействий на литосферу в виде отходов нет. После использования необходимо утилизировать как твердый бытовой отход по [ГОСТ 30772-2001].

– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Руководствоваться СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	При эксплуатации проектируемого решения, одной из наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией может стать пожар. Пожаробезопасность на электровозе по [ППБО 109-92], [ГОСТ Р 22.0.07-95]. Необходимые действия при пожаре в соответствии с распоряжением от 27.12.2012 N 2707р. Средства пожаротушения: углекислотные, аэрозольные или порошковые огнетушители, ведро с песком и совок.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования по [ГОСТ 12.2.033-78]. Отношения в сфере труда регулируются ТК РФ. Система «человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования по ГОСТ 21753-76.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Бракк Иван Сергеевич		

5. Социальная ответственность

Социальная ответственность – ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое: содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества; учитывает ожидания заинтересованных сторон; соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения; интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях.

Целью составления настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи в производстве и снижение вредных воздействий на окружающую среду.

Проектируемое инженерное решение предназначено для использования его в электровозах серии ВЛ10 и ВЛ10^У. Данное решение является инновационной разработкой и способно заменить устаревшего аналога. Инновационная разработка превосходит по параметрам свой аналог, обеспечивает более надежную и быструю работу в тяжелых условиях эксплуатации.

Рабочее место – кабина машиниста электровоза. Температура рабочего места машиниста не должна превышать $24 \pm 2^\circ\text{C}$ и быть меньше $22 \pm 2^\circ$ при относительной влажности 20-70%.

Новый аппарат соответствует всем требованиям государственных стандартов, обеспечивает производственную и экологическую безопасность, минимизируя вероятность возникновения чрезвычайной ситуации.

5.1. Производственная безопасность.

На человека в процессе его трудовой деятельности могут воздействовать опасные (вызывающие травмы) и вредные (вызывающие заболевания) производственные факторы (ГОСТ 12.0.003-74), которые разделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

К опасным физическим производственным факторам относятся движущиеся машины и механизмы; различные подъемно-транспортные устройства и перемещаемые грузы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования (приводные и передаточные механизмы, режущие инструменты, вращающиеся и перемещающиеся приспособления и др.); отлетающие частицы обрабатываемого материала и инструмента, электрический ток, повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов и др.

Вредными физическими производственными факторами являются повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; высокие влажность и скорость движения воздуха; повышенные уровни шума, вибрации, ультразвука и различных излучений – тепловых, ионизирующих, электромагнитных, инфракрасных и др.

При разработке и эксплуатации проектируемого решения были выявлены (по ГОСТ 12.0.003-74) следующие вредные и опасные факторы:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенная вероятность поражения электрическим током.

5.1.1. Повышенный уровень шума на рабочем месте.

Источником возникновения шума являются работающие тяговые и вспомогательные машины, удары колес на стыках и неровностях пути, звуковые сигналы.

Повышенный шум на рабочем месте оказывает вредное влияние на организм работника в целом, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие такого шума способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. При этом специфическим клиническим проявлением вредного действия шума является стойкое нарушение слуха (тугоухость), рассматриваемое как профессиональное заболевание. Общие требования безопасности по ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ.

Предельно допустимые уровни звукового давления (по СН 2.2.4/2.1.8.562-96), уровни звука и эквивалентные уровни звука представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Предельно допустимые уровни звука

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие места в кабинах машинистов электропоездов	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Запрещается даже кратковременное пребывание в зонах с уровнями звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе.										

Для уменьшения или предотвращения воздействия шума на организм человека применяют различные средства коллективной и индивидуальной защиты.

К индивидуальным средствам защиты от шума, в зависимости от конструктивного исполнения, относят: противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи; противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему; противошумные шлемы и каски; противошумные костюмы.

К коллективным средствам защиты от шума относят: изменение направленности излучения шума; рациональную планировку предприятий и производственных помещений; акустическую обработку помещений; применение звукоизоляции.

Повышенный уровень вибрации.

Источником возникновения вибрации являются транспортное средство, колеса, рельсы и рельсовый путь.

При воздействии на человека внешних колебаний происходит возникновение резонансных явлений во внутренних органах, способных вызвать травмы, разрыв артерий, летальный исход. Воздействие на человека вибраций угнетает центральную нервную систему, вызывая чувство тревоги и страха.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма – в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Вредность вибрации усугубляется одновременным воздействием на работающих пониженной температуры воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, охлаждения рук рабочего при работе с ручными машинами, запыленности воздуха, неудобной позы и др. Производственная вибрация по СН 2.2.4/2.1.8.566–96.

Вибрация на железнодорожном транспорте относится к третьей категории «в» в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566–96.

В таблице 13 представлены предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории III технологической типа «в».

Таблица 13 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории III технологической типа «в»

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X, Y, Z							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с·10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1,6	0,0130		82		0,130		88	
2,0	0,0110	0,020	81	86	0,089	0,180	85	91
2,5	0,0100		80		0,063		82	
3,15	0,0089		79		0,045		79	
4,0	0,0079	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,0079		78		0,025		74	
6,3	0,0079		78		0,020		72	
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,032	70	76
10,0	0,0100		80		0,016		70	
12,5	0,0130		82		0,016		70	
16,0	0,0160	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0200		86		0,016		70	
25,0	0,0250		88		0,016		70	
31,5	0,0320	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500		94		0,016		70	
63,0	0,0630	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0790		98		0,016		70	
Корректированные и эквивалентные значения и их уровни		0,014		83		0,028		75

Для уменьшения или предотвращения воздействия вибрации на организм человека применяют специальные средства коллективной и индивидуальной защиты по ГОСТ 26568-85.

К средствам индивидуальной защиты от вибрации относят: защита рук (рукавицы, перчатки, вкладыши, прокладки), защита ног (обувь, подметки, наколенники), защита тела (нагрудники, пояса, специальные костюмы).

К коллективным средствам защиты от вибрации относят: средства антифазной синхронизации, вибродемпфирование, виброизоляция, динамическое виброгашение.

5.1.2. Повышенная вероятность поражения электрическим током.

Источниками электрического тока на электровозе являются электрические машины, аппараты, оборудование и др.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Проходя через организм человека, электроток производит термическое, электролитическое, механическое, биологическое, световое воздействие.

Термическое воздействие тока характеризуется нагревом кожи и тканей до высокой температуры вплоть до ожогов.

Электролитическое воздействие заключается в разложении органической жидкости, в том числе крови, и нарушении ее физико-химического состава.

Механическое действие тока приводит к расслоению, разрыву тканей организма в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови. Механическое действие связано с сильным сокращением мышц вплоть до их разрыва.

Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей и сопровождается судорожными сокращениями мышц.

Световое действие приводит к поражению слизистых оболочек глаз.

В таблице 14 представлены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ.

Таблица 14 – ПДУ напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, мА
	Не более	
Постоянный	8,0	1,0

Для предотвращения воздействия электрического тока на человека используют индивидуальные и коллективные средства защиты по ГОСТ Р 50571.3-94.

К основным индивидуальным средствам защиты относятся диэлектрические перчатки, изолирующие и токоизмерительные клещи, монтерский инструмент с изолирующими рукоятками, токоискатели, к дополнительным – диэлектрические галоши, коврики, изолирующие подставки.

К коллективным средствам защиты относят устройства оградительные; автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения и др.

5.2. Экологическая безопасность.

В процессе разработки, эксплуатации или утилизации аппарата, возникает вопрос об его экологической безопасности.

По сравнению с другими отраслями, разработка, производство и эксплуатация исследуемого аппарата считается «чистой» с экологической точки зрения. Тем не менее, после отработанного срока аппарат нуждается в утилизации. Обращение с отходами по ГОСТ 30772-2001.

5.3. Пожаробезопасность.

При эксплуатации проектируемого решения возможна чрезвычайная ситуация (ЧС) в виде пожара. Источником пожара при эксплуатации проектируемого решения могут быть электрические машины, аппараты и др. оборудование. Источники ЧС по ГОСТ Р 22.0.07-95.

Пожаробезопасность на железнодорожном транспорте по ППБО 109-92.

Необходимые действия при пожаре и средства пожаротушения в соответствии с распоряжением от 27.12.2012 N 2707р.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации в виде пожара в соответствии с распоряжением от 27.12.2012 N 2707р машинисту электровоза необходимо принять следующие меры: остановить электровоз при возможности; сообщить о сложившейся ситуации поездному диспетчеру, энергодиспетчеру, дежурному по ближайшей станции для вызова пожарных подразделений; воспользоваться первичными средствами пожаротушения (углекислотные, аэрозольные или порошковые огнетушители, ведро с песком и совок).

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности регулируются специальными органами управления РФ согласно законодательству РФ.

При монтаже или демонтаже проектируемого решения, работник находится в положении стоя. Рабочее место при выполнении работ стоя по ГОСТ 12.2.033-78.

Рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя. Категория работ – по ГОСТ12.1.005-76.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

При выполнении раздела ВКР «социальная ответственность» были выявлена вредные и опасные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения, произведен анализ на экологическую безопасность проектируемого изделия, приняты меры для предотвращения возможных ЧС, решены вопросы правового и организационного обеспечения безопасности.

Заключение

В ходе теоретических и экспериментальных исследований, были получены переходные процессы при старте, разгоне и выходе тяговых электродвигателей ТЛ2К1 в программном продукте Matlab Simulink в номинальный режим, был реализован переход тяговых электродвигателей в рекуперативный режим с отдачей энергии в сеть. Также получены мгновенные значения токов и напряжений, возникших при коммутации силовой цепи тяговых электродвигателей электровоза быстродействующим контакторов БК-78Т в рекуперативном режиме при токах короткого замыкания.

По полученным результатам была разработана схема из двух встречно-параллельных полупроводниковых ключей (тиристоров), которая может заменить быстродействующий контактор, при этом устранив такие недостатки как горение электрической дуги, малая скорость коммутации, частые обслуживание и замена вышедшего из строя контактора.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассчитаны общие затраты на проект, связанные с заработной платой участникам проекта, затраты на оборудование с учетом запасных частей и приведена сравнительная характеристика контактора с полупроводниковым ключом.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ на производственную и экологическую безопасность, выявлены основные ЧС, которые могут возникнуть, разработаны меры по их устранению.

Предложенное инженерное решение может быть рассмотрено государственной компанией ООО «РЖД» (Российские железные дороги) и при необходимости внедрено в действующие электровозы серии ВЛ10 и ВЛ10^У для улучшения работы всей силовой цепи, снижения затрат, связанных с обслуживанием и заменой контактора.

Список публикаций студента

1. Доклад «Исследование процесса коммутации быстродействующего контактора БК-78Т в схеме тягового электровоза» на IV российской молодежной научной школе-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи».

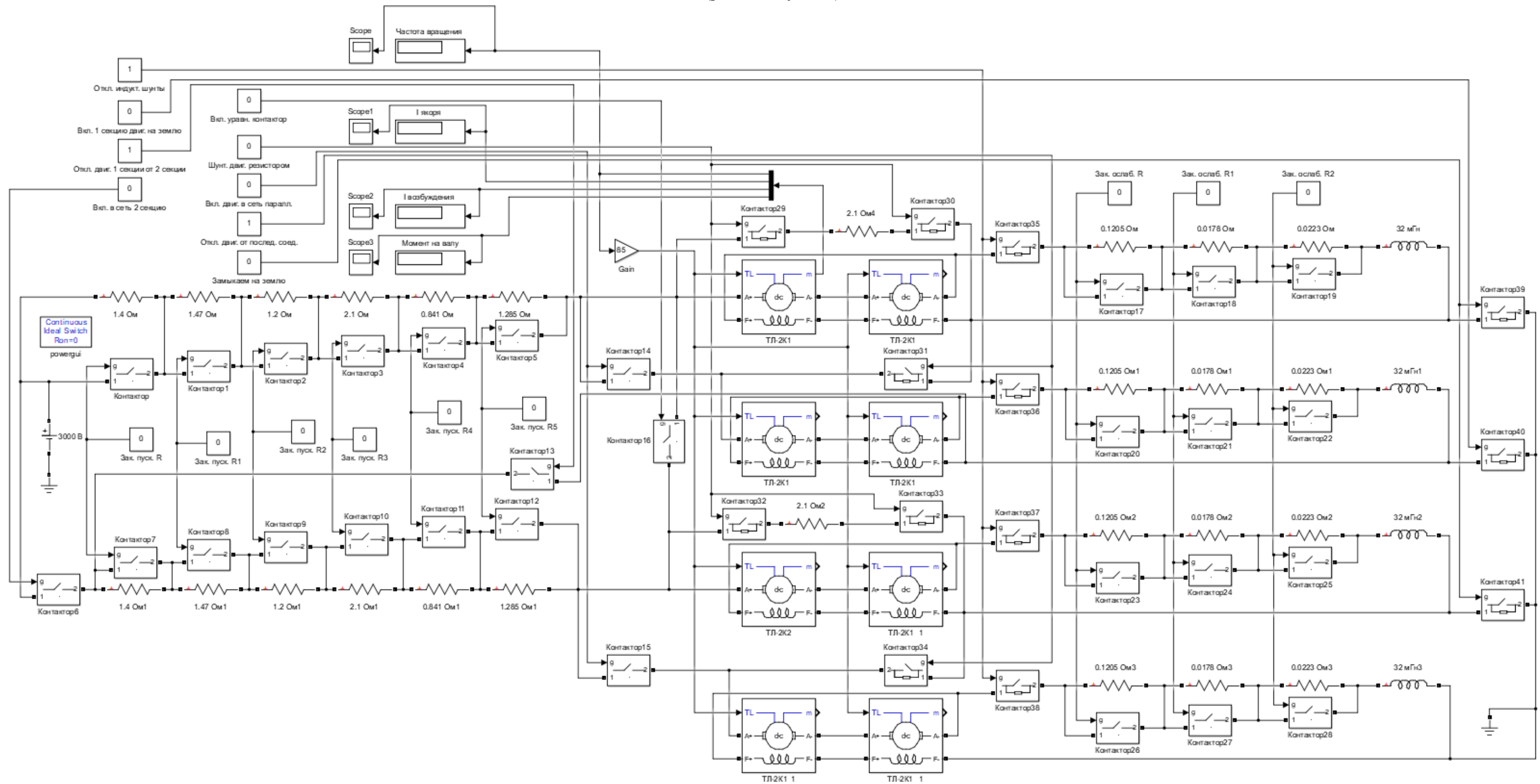
Список использованных источников

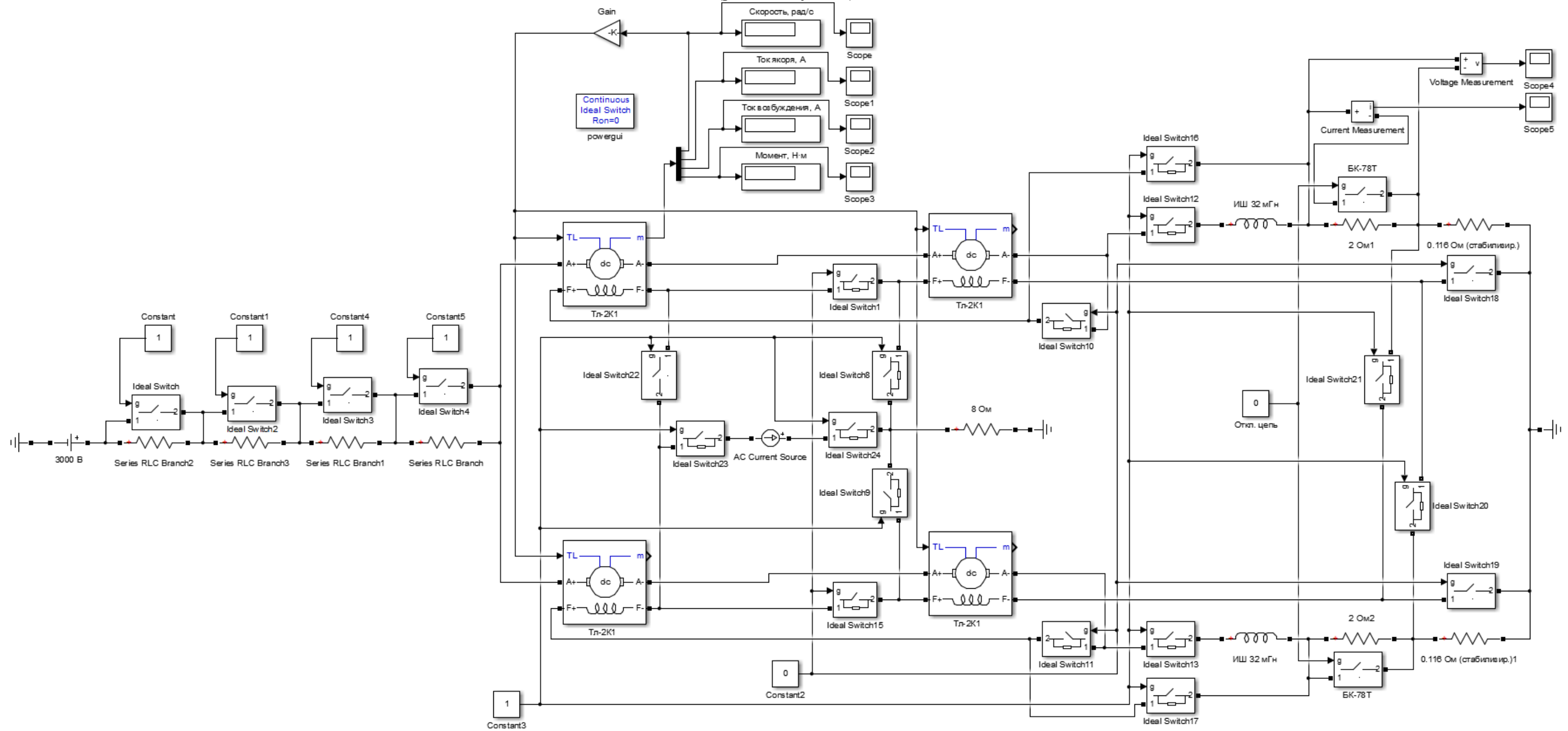
1. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10^У. Руководство по эксплуатации / Под ред. О. А. Кикнадзе. – М.: Транспорт, 1981. – 519 с.
2. ЭЛЕКТРОВОЗ ВЛ11. Руководство по эксплуатации/Под ред. Г. И. Чиракадзе. – М.: Транспорт, 1983, 464 с.
3. Электровоз ВЛ8. Руководство по эксплуатации. М.: Транспорт, 1982. С. 320.
4. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/index.php>.
5. Черных И.В. SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/simpower/book1/1_7.php.
6. Устройство и работа электровозов постоянного тока. С. Н. Чернявский, И. М. Ривин. М., изд-во «Транспорт», 1971 г., 1–360.
7. Рогачёв К.Д. Современные силовые запираемые тиристоры [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.elimex.com.ua.
8. ПАО «Электровыпрямитель» [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.elvpr.ru/index.php.
9. ЗАО «ЧИП и ДИП» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/>.
10. ООО «НПП «ГАРАНТ-СЕРВИС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://base.garant.ru/>.
11. Федеральный закон «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» от 24.07.2009 N 212-ФЗ (последняя редакция).
12. Сидоров Н. И., Сидорова Н. Н. Как устроен и работает электровоз. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с., ил., прилож. ISBN 5-277-00191-3.

13. Устройство и ремонт электровозов постоянного тока. Учебник для тех. школ ж.-д. трансп. М., «Транспорт», 1977. 464 с. Авт.: С. А. Алябьев, Е. В. Горчаков, С. И. Осипов, Э. Э. Ридель, В. Н. Хлебников.
14. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
15. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
16. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 36).
17. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.
18. ГОСТ 26568-85 Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация.
19. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
20. ГОСТ Р 50571.3-2009 Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током.
21. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.
22. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
23. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте (ППБО-109-92) (с изменениями на 6 декабря 2001 года).
24. Распоряжение ОАО "РЖД" от 27.12.2012 N 2707р (ред. от 19.12.2014) "Об утверждении Инструкции по охране труда для локомотивных

- бригад ОАО "РЖД" (вместе с "ИОТ РЖД-4100612-ЦТ-023-2012. Инструкция...).
- 25.ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
- 26.ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».
- 27.ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Общие требования к текстовым документам.
- 28.ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные надписи.
- 29.ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.
- 30.ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

Приложение А Электрическая схема в программном продукте Matlab Simulink
(рекомендуемое)





Приложение В Раздел на иностранном языке
(справочное)

Teil 6

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Бракк Иван Сергеевич		

Консультант кафедры _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.т.н., профессор		

Консультант-лингвист кафедры _____:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Костомаров Петр Иванович	К.ф.н.		

Die Einleitung

Ein Thema der vorliegenden Dissertation ist die Entwicklung des Halbleiteranalogons des Apparates BK-78T. Das Thema ist aktuell da die Elektrolokomotiven einer Serie VL10 und VL10^U nach den russischen Wegen fahren.

Das Ziel der Arbeit: Das Halbleiteranalogon des schnellwirkend Apparates BK-78T zu entwickeln.

Die entschieden Aufgaben:

1. Die Literatur über das Thema zu analysieren;
2. Die Modellierung der Kraftkette der Elektrolokomotive im Softwareprodukt Matlab Simulink;
3. Die Lösung des Problems anzubieten.

Die Stichwörter: VL10, VL10^U, TL-2K1, BK-78T, der Zug-Elektromotor, schnellwirkend, der Apparat.

1. Die Übersicht der Literatur

1.1. Die Elektrolokomotiven einer Serie VL10 und VL10^U.

Die Elektrolokomotiven einer Serie VL10 und VL10^U sind für die Arbeit mit den Lastzügen auf den Hauptleitungseisenbahnen UdSSR vorbestimmt, die elektrifiziert auf dem Gleichstrom mit der Anstrengung im Kontaktnetz 3000 V.

Die ganze Ausrüstung der Elektrolokomotive ist auf die sichere Arbeit bei der Anstrengung im Kontaktnetz von 2200 bis 3000 V zu berechnet. Die Veränderung der Temperatur der Luft wird außer der Karosserie von -50 bis +40 °C bei der Feuchtigkeit der Luft 90% zugelassen, gemessen bei der Temperatur +27 °C. Die Höhe über dem Meeresspiegel bildet nicht mehr 1200 m.

Die Elektrolokomotiven wurden serienmäßig der Tbilisi Elektromotiven Betrieb ab 1967 ausgegeben, und der Nowotscherkasski Betrieb ab 1969.



Abbildung 1 – Die Elektromotive VL10



Abbildung 2 – Die Elektromotive VL10^U

Anstatt der Elektrolokomotiven VL10 wurden die Elektrolokomotiven VL10^B (D – beschwert) ausgegeben, auf die vergrößert ist die Belastung von einem Radpaar bis 25 ts anstelle 23 ts. Die Mechanisch, elektrisch und pneumatisch Teile der Elektromotiven sind identisch, wenn die technischen Verbesserungen nicht zu berücksichtigen, eingeführt im Laufe der Serienausgabe dieser Wagen.

Der mechanische Teil der Elektrolokomotiven VL10 und VL10^B ist maximal mit dem mechanischen Teil der Elektrolokomotiven VL80^K und VL80^T vereinheitlicht. Der Unterschied bildet die abgesonderten konstruktiven Elemente unter der Anlage der Ausrüstung in der Karosserie und auf dem Dach. Sie haben auch verschiedene Übertragungszahlen der Zug-Zahnradgetriebe, da die Typen der verwendeten Zug-Motoren sind verschieden. Die technischen Hauptdaten der Elektrolokomotiven sind die Folgenden:

- Die nominelle Anstrengung: 3000 V;
- Die Breite der Spur: 1520 mm;
- Die Macht des einstündigen Regimes auf den Wellen der Zug-Motoren: 5360 kW;

- Die Macht des langwierigen Regimes auf den Wellen der Zug-Motoren: 4600 kW;
- Die Übertragungsbeziehung des Zahnradgetriebes: 88/23;
- Die Kraft des Luftzuges des einstündigen Regimes: 39500 kgf;
- Die Kraft des Luftzuges des langwierigen Regimes: 3200 kgf;
- Die Geschwindigkeit des einstündigen Regimes: 48,7 km/h;
- Die Geschwindigkeit des langwierigen Regimes: 51,2 km/h;
- Die Konstruktionsgeschwindigkeit: 100 km/h;
- Die Konstruktionsgeschwindigkeit nach dem Fahrteil: 110 km/h;
- Der Wirkungsgrad des langwierigen Regimes, nicht weniger: 0,9;
- Die Masse um 2/3 Vorräten des Sandes:
 - Der Elektrolokomotive VL10: $184^{+5.52}_{-1.84}$ tdw;
 - Der Elektrolokomotive VL10^B: 200 ± 4 tdw;
- Der Druck eines Radpaares auf die Schiene:
 - Der Elektrolokomotive VL10: $23^{+0.69}_{-0.23}$ tdw;
 - Der Elektrolokomotive VL10^B: 25 ± 5 tdw.

Auf den Elektrolokomotiven VL10 und VL10^B ist es auf acht Zug-Motoren bestimmt. Die Zug-Elektromotoren haben die konsequente Anregung, das stütz-axiale Aufhängen, die Zwangslüftung und die Macht beim einstündigen Regime auf 670 Kilowatt. Die Elektromotoren verfügen über die Zuverlässigkeit und den hohen Wirkungsgrad. Der drehende Moment wird vom Motor auf Radpaare von der zweiseitigen eingestufteten zylindrischen schraubenförmigen Sendung übergeben.

Für die Regulierung der Frequenz des Drehens der Motoren sind drei Arten ihrer Vereinigung: konsequent (S), konsequent parallel (SP) und parallel (P). Auf allen Vereinigungen ist die Arbeit der Zug-Elektromotoren bei der geschwächten Anregung mit dem Koeffizienten der Anregung 0.75, 0.55, 0.43, 0.36 vorgesehen. Die elektrischen Ketten der Elektrolokomotiven bekommen eine Ernährung von der Kontaktleitung durch der Stromabnehmer, gewährleistend die sichere Aufnahme des Stromes bei beliebigen Geschwindigkeiten der Elektrolokomotive.

Auf der Zeichnung 3 sind vorgestellt wesentlich die Zug-Charakteristiken der Elektrolokomotiven einer Serie VL10 und VL10^B.

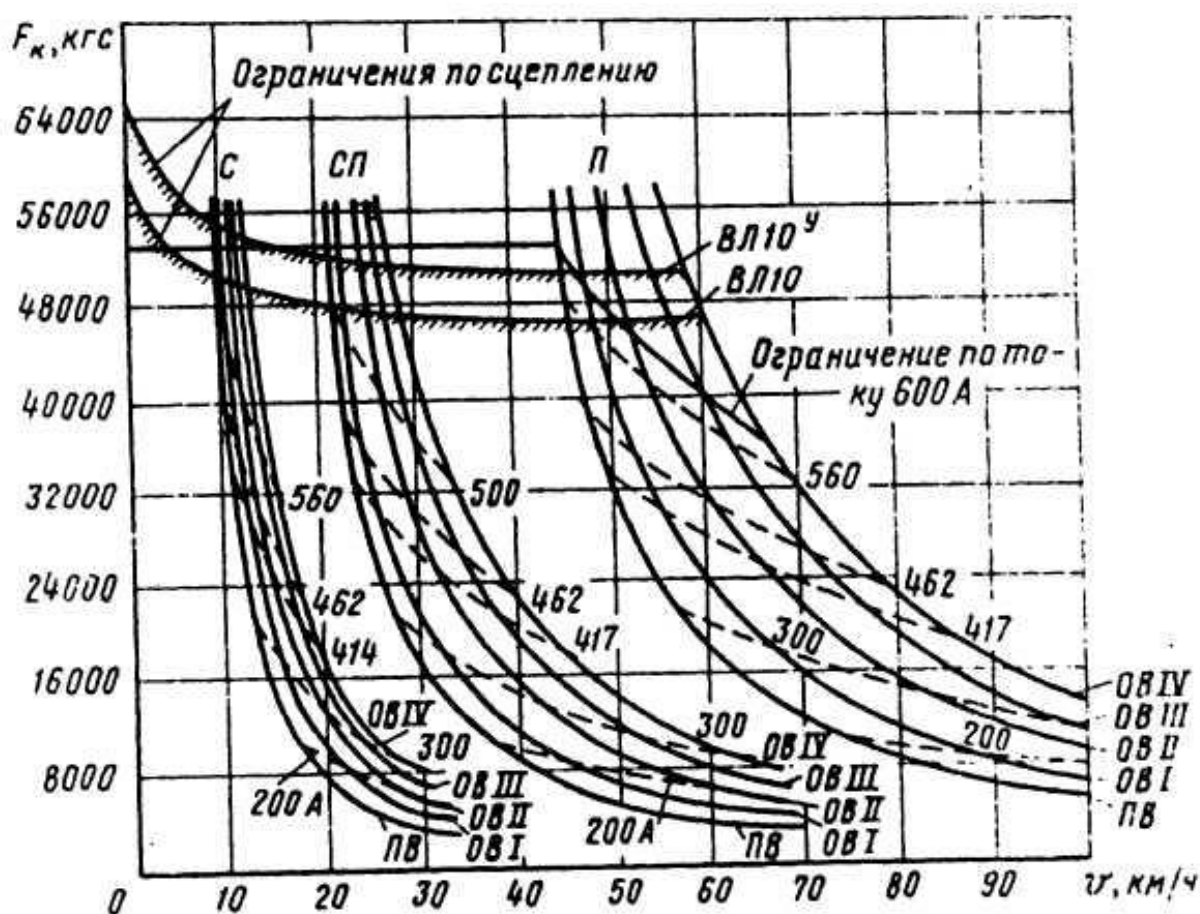


Abbildung 3 – Die Zug-Charakteristiken der Elektrolokomotiven einer Serie VL10 und VL10^B

Auf den Elektrolokomotiven, außer den Bremsen mit pneumatisch und der Handbedienung, ist es regenerative das Bremsen vorgesehen, das die Sicherheit der Bewegung der Züge wesentlich erhöht und eben gewährleistet die große Einsparung der Energie, verringert den Verschleiß der Bandagen und des Bremsleistsens. Das regenerative Bremsen möglich bei allen drei Arten der Vereinigung der Zug-Motoren. Beim regenerative Bremsen die Wickeln der Anregung der Zug-Motoren ernähren sich vom Reformator des Gleichstroms. Der breite Regelbereich der Frequenz des Drehens der Zug-Elektromotoren erlaubt es ist am meisten voll, die technischen Möglichkeiten der Elektrolokomotive und wesentlich zu verwenden, seine Wirtschaftlichkeit zu erhöhen.

Die Abhängigkeit der Kraft des Luftzuges F_k von der Geschwindigkeit der Bewegung v der Elektrolokomotive VL10 und VL10^B beim vollen Feld (PP) und die Feldabschwächung (Abbildung 3) sind für die Arbeit der Elektrolokomotiven aufgebaut, bei der Anstrengung im Kontaktnetz 3000 In mit den Beschränkungen nach der Kupplung, dem Strom, den Schaltbedingungen und der Konstruktionsgeschwindigkeit.

Auf den Elektrolokomotiven einer Serie VL10 und VL10^B sind die Zug-Motoren TL-2K1 bestimmt [1].

1.2. Die Zug-Motoren TL-2K1.

Der Zug-Gleichstrommotor TL-2K1 (Abbildung 4) ist für die Umgestaltung der elektrischen Energie vorbestimmt, bekommen aus dem Kontaktnetz, in die mechanische Energie. Der drehende Moment wird von der Welle des Ankers Welle auf ein Radpaar durch die zweiseitige eingestufte zylindrische schraubenförmigen Sendung übergeben. Bei solches der Sendung die Lager des Zug-Motors bekommen die zusätzlichen Belastungen nach der Achsenrichtung nicht.

Das Aufhängen des Elektromotors ist stütz-axial. Einerseits stützt er sich von den motorisch-axialen Lagern auf die Achse eines Radpaares Elektrolokomotive, und mit anderem – auf den Rahmen des Karrens durch gelenkig die Aufhängung und die Gummischeiben. Der Zug-Elektromotor hat den hohen Nutzfaktor der Macht (0.74) bei der meisten Geschwindigkeit der Elektrolokomotive (Abbildung 5).

Im Zug-Regime die Anregung der Elektromotoren konsequent, und in regenerative - unabhängiges. Auf der Elektrolokomotive ist acht Zug-Elektromotoren bestimmt. Die technischen Daten des Zug-Motors TL-2K1 die Folgenden:

- Die Anstrengung auf den Klemmen des Motors: 1500 V;
- Der Strom des einstündigen Regimes: 480 A;
- Die Macht des einstündigen Regimes: 670 kW;
- Die Frequenz des Drehens des einstündigen Regimes: 790 U/min;
- Der Strom des langwierigen Regimes: 410 A;

- Die Macht des langwierigen Regimes: 575 kW;
- Die Frequenz des Drehens des langwierigen Regimes: 830 U/min;
- Die Anregung – consequent;
- Die meiste Frequenz des Drehens bei es ist die abgenutzten Bandagen mittler: 1690 U/min;
- Die Übertragungszahl: 88/23;
- Die Masse des Zug-Elektromotors: 5000 kg.

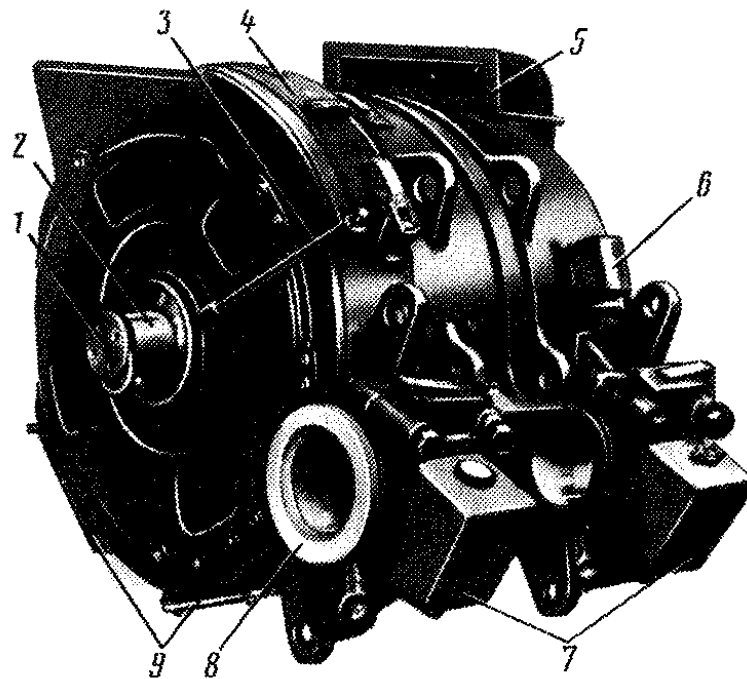


Abbildung 4 – Der Zug-Elektromotor TL-2K1:

- 1 – Die Mutter speziell mit der spannkraftigen Scheibe; 2 – Die Welle des Ankers;
 3 – Der Hörer für das Schmieren der Ankerlager; 4 – Der Deckel der oberen Luke;
 5, 6 – Des Mantels auspuff- groß und klein; 7, 8 – Die Buchse und die Beilage des
 motorisch-axialen Lagers; 9 – Die unteren Luken

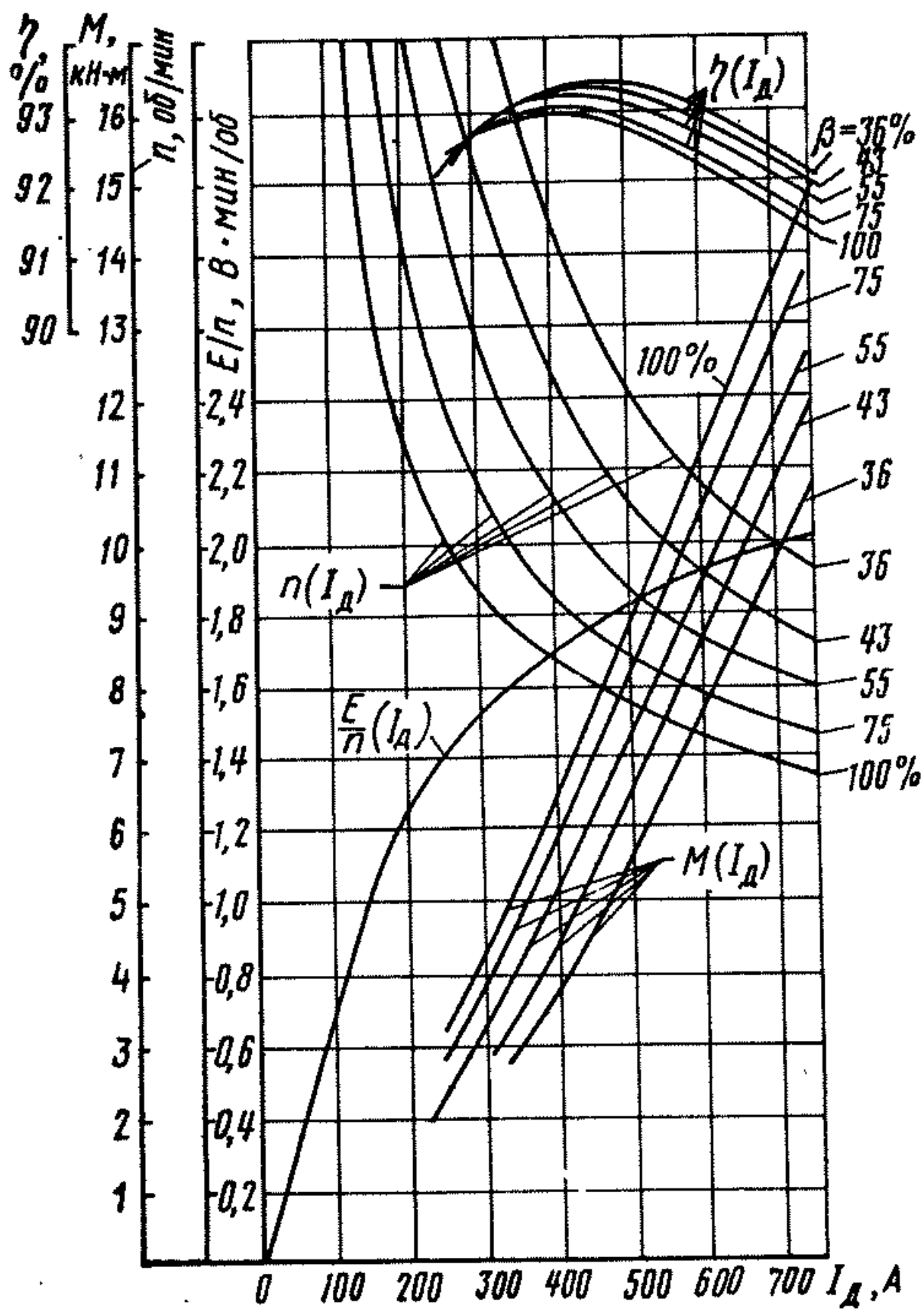


Abbildung 5 – Die elektromechanischen Charakteristiken des Zug-Elektromotors TL-2K1 bei $U_d = 1500 \text{ V}$

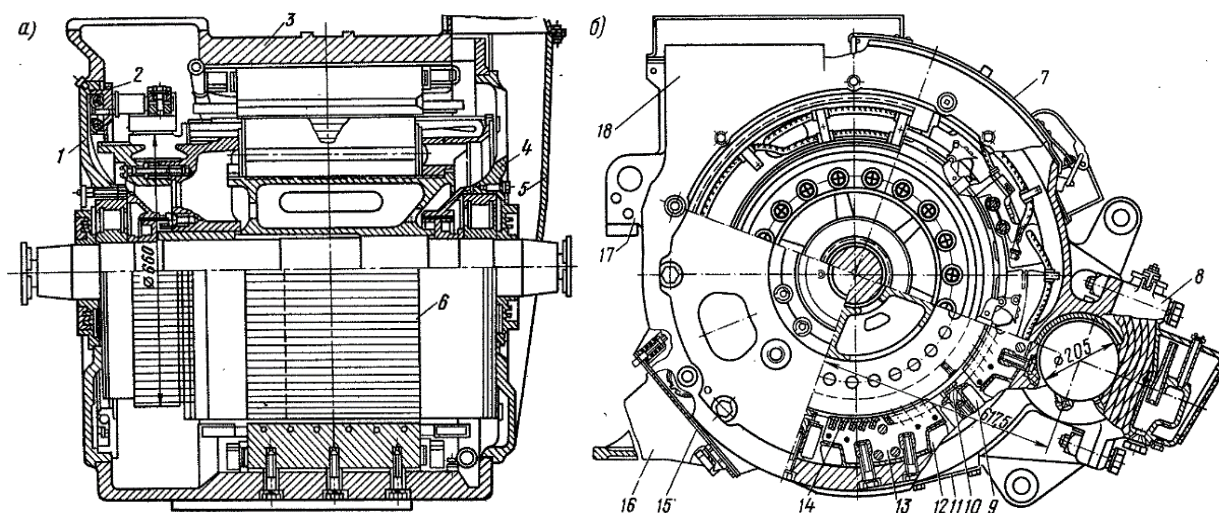


Abbildung 6 – Der Zug-Elektromotor TL-2K1:

a) der Längsschnitt; б) der Querschnitt

1, 4 – Die Lagerschilde; 2 – die Bürstmaschine; 3 – das Gerüst; 5 – der Mantel; 6 – der Anker; 7, 11 и 15 – der Deckel; 8 – die Buchse; 9, 10 – Die Spule und der Kern des zusätzlichen Poles; 12,13 – Die Spule und der Kern des Hauptpoles; 14 – Das Kompensationswickeln, 16 – Der abnehmbare Träger; 17 – Die Sicherheitsflut; 18 – Die Ventilationsluke

Der Zug-Elektromotor besteht aus dem Gerüst 3 (Abbildung 6), dem Anker 6, dem Bürstmaschine 2 und den Lagerschilden 1, 4.

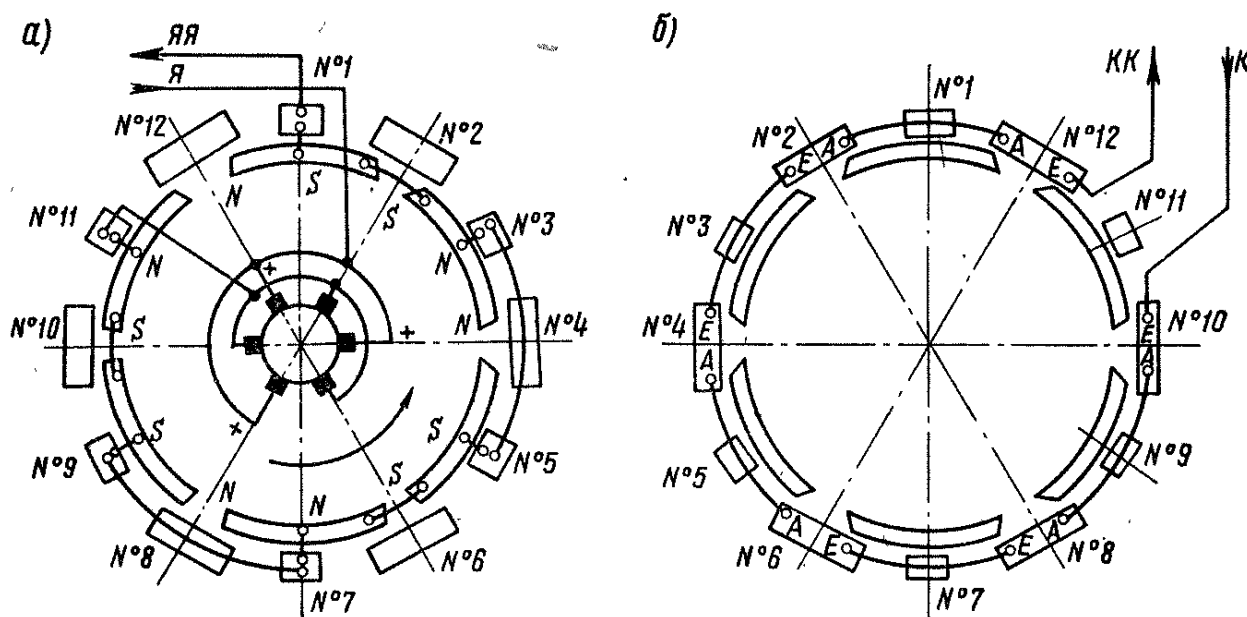


Abbildung 7 – Die Schemen der Vereinigung der Spulen der Pole des Zug-Elektromotors TL-2K1 seitens des Kollektors (a) und von der Entgegengesetzten

Auf der Zeichnung 7 sind die Schemen der Vereinigung der Spulen der Pole des Zug-Elektromotors TL-2K1 seitens des Kollektors (a) und von der Entgegengesetzten vorgestellt. Der Kollektor des Elektromotors hat den Durchmesser der Arbeitsoberfläche 660 mm.

Für den Schutz der Zug- Elektromotoren im recuperative Regime werden der schnellwirkend Apparat BK-78T verwendet [2].

1.3. Der schnellwirkend Apparat BK-78T.

Der schnellwirkend Apparat BC-78T (Abbildung 8) ist für den Schutz vorbestimmt von den Strömen des Kurzschlusses der Zur-Elektromotoren im recuperative Regime. Die technischen Hauptkennwerte des Apparates ist in der Tabelle 1 vorgestellt.

Die Tabelle 1 – Die Technischen Kennwerte des elektrischen Apparates BK-78T

Der maximale abgeschaltete Strom bei der Induktivität der Kette 10 mH und shunten der Hauptkontakte vom Resistor mit dem Widerstand 2 Ohm, A	2500
Die nominelle Anstrengung, V	3300
Die meiste Anstrengung, V	4000
Der nominelle Strom der Kraftkontakte, A	1000
Der Strom der Abschaltung, A	35-50
Die Dauer des Einschlusses der Spule der Klinke des Elektromagneten, min	0,5
Die Masse, kg	43

Der schnellwirkend Apparat BK-78T besteht von zwei der textolite Planke 6, sind auf die alle Knoten bestimmt. Der aufnehmende Mechanismus des Elektromagneten hat den messingen Träger 16, auf dem der Magnetkern 18 und das Joch 15 mit der abschaltenden Spule 17, sowie den Träger 20, die tragende flexible Leitung 21, der bewegliche Kontakt 26 und der Magnetkreis des Blasens 23 mit schaltröhre von der Kamera 25 gefestigt sind.

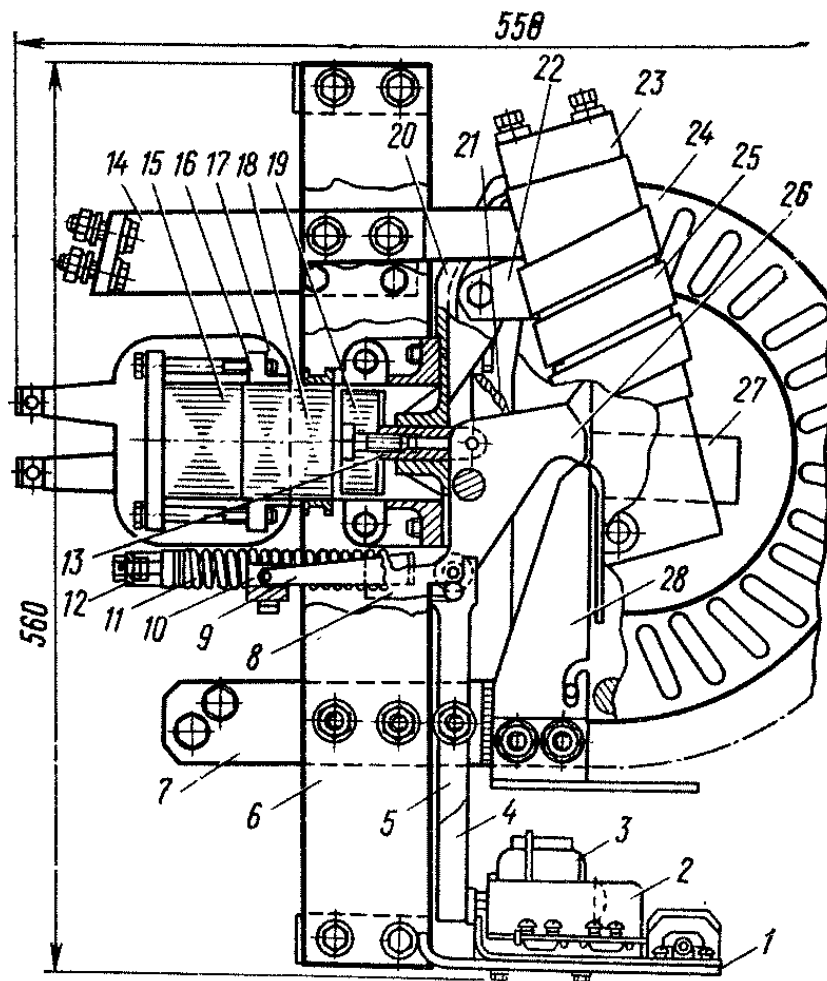


Abbildung 8 – Der schnellwirkend Apparat BK-78T

Beweglich ist der Kontakt vom Luftzug 13 mit dem Anker 19 verbunden. Zwischen dem unteren Ende des beweglichen Kontaktes und der Klammer 12 ist die Kontaktfeder 11 gespannt, die den Schluss des beweglichen Kontaktes mit dem Bewegungsunfähigen 28 gewährleistet. Der bewegungsunfähige Kontakt ist auf der ausgekehlten Oberfläche der reifen Schlussfolgerung bestimmt. Die obere Schlussfolgerung 14, an die die Spulen verbunden sind, ist an der textolit Leiste befestigt.

Die Bogenkamera 24 ist der Bogenkamera des Apparat BK-2B ähnlich. Bei der Kamera des Apparates BK-78T unterscheidet sich der Pol 27 und die zusätzlichen Hörner 22 konstruktiv.

Der Blockkontakt 2 und der Elektromagnet 3 sind auf dem Träger gefestigt, und sind durch individuell isolierung die Hebel 4 und 5 mit dem beweglichen

Kontakt und dem Hebel der Klinke 9 verbunden, ist die gelenkig auf der Leiste 10 gefestigt.

Bei den Kurzschlüssen auf dem induktiven Nebenschluss steigt die Anstrengung hinauf und es wird die abschaltende Spule des schnellwirkend Apparates angeregt. Der Anker wird herangezogen, Beweglich wird der Kontakt abgeschaltet, die Kontaktfeder ausbreitend gerät dabei der Hebel der Klinke in den Falz der Halterung 8 des beweglichen Kontaktes und hält den Kontakt in der abgeschalteten Lage. Der Bogen, der sich beim Bruch der Kontakte bildet, wird in der schaltröhre Kamera gelöscht.

Im Laufe der Abschaltung beweglich berührt der Kontakt den Hebel der Blockkontakte, die die Kette der festhaltenden Spule des Schalters abstellen und stellen die Kette des aufnehmenden Elektromagneten BK wieder her.

Nach der Ableitung des Hauptgriffes des Kontrollers auf die Nullposition wird der Elektromagnet angeregt, der Anker schlägt nach dem isolierende Hebel 4, der nach oben den Hebel der Klinke seinerseits hebt und, die Kontaktfeder befreiend, schließt beweglich den Kontakt mit dem Bewegungsunfähigen [3].

Die Schlussfolgerung

In der gegebenen Abteilung der Abschlußqualifikationsarbeit war die Übersetzung in die Fremdsprache der Abteilung «Übersicht der Literatur» erfüllt. Der Umfang der erfüllten Arbeit hat grösser 20 % vom Hauptteil der Abschlußarbeit gebildet.

Die Liste der verwendeten Quellen

1. Die Elektrolokomotiven VL10 und VL10^U. Die Bedienungsanleitung / edd. O. A. Kiknadze. – M.: der Transport, 1981. – 519 s.
2. Die Elektrolokomotive VL11. Die Bedienungsanleitung / edd. G. I. Chirakadze und O. A. Kiknadze. – M.: der Transport, 1983, 464 s.
3. Die Elektrolokomotive VL8. Die Bedienungsanleitung / edd. A. P. Malichin. – M.: der Transport, 1982. s. 320.

CD-диск. Магистерская диссертация (pdf). Презентация (Microsoft PowerPoint).