

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Интеллектуальные энергетические системы
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Система питания электродинамического сейсмоисточника

Обучающийся С.А. Трайдук
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель к.т.н., доцент, А. В. Прядилов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант к.п.н., доцент, С.А. Гудкова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Объем 51 с., 28 рис., 8 табл., 39 источников
Сейсмоисточник, кодоимпульсный сейсмоисточник,
электродинамический сейсмоисточник, электродинамический
преобразователь, ЭДП.

Объектом исследования является система питания
электродинамического сейсмоисточника.

Цель работы: разработка системы питания электродинамического
кодоимпульсного сейсмоисточника.

Задачи работы:

1. Обзор схем генераторов токовых импульсов
 2. Обзор схем разрядных блоков
 3. Определение геометрических размеров электродинамического
преобразователя
 4. Выбор и расчет всех блоков системы питания
 5. Разработка электрической принципиальной схемы, выбор элементов.
- Данные задачи решены в 2 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы,
разработаны схемы и выбраны элементы.

В разработанном проекте подробно рассмотрены вопросы
проектирования схемы питания кодоимпульсного электродинамического
сейсмоисточника. Также был проведен анализ и выбор технических средств
и методов обеспечения функциональности.

Разработанная система предназначена для питания кодоимпульсного
электродинамического сейсмоисточника, применяемого при проведении
сейсморазведки (инженерной и поиска полезных ископаемых) .

Abstract

The title of the bachelor's thesis is « Electrodynamic seismic source power supply system ».

The bachelor's thesis consists of an introduction, 3 parts, a conclusion, 28 picture, 8 tables, list of references including 6 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is electrodynamic seismic source power supply system.

The aim of the bachelor's thesis is to develop of a electrodynamic seismic source power supply system.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We then analyze the literature concerning our problem.

We give a review of possible solutions and choose the most suitable ones, develop an electrical circuit diagram, carry out theoretical calculations and select elements.

The key issue of the bachelor's thesis is the possibility of using an electrodynamic seismic source to create specified vibrations in the ground.

In conclusion, I would like to emphasize that an overview of circuit options has been made and the best ones have been selected, an electrical circuit diagram has been developed, system parameters have been theoretically calculated, and elements have been selected.

This work is of interest to developers of electrodynamic seismic sources and other consumers of pulsed currents.

The field of application of the developed system of electrodynamic seismic sources.

Nevertheless, more experimental data are required.

Содержание

Введение.....	5
1 Обзорная часть	7
1.1 Обзор схем генераторов токовых импульсов	8
1.2 Обзор зарядных блоков.....	14
1.3 Выбор блоков	19
2 Расчетная часть.....	21
2.1 Определения геометрических размеров ЭДП	21
2.2 Определение потерь.	23
2.3 Генератор токовых импульсов	27
2.4 Зарядный блок.....	29
2.5 Расчет дросселя.....	34
2.6 Генератор	39
2.7.Выпрямитель	40
2.8.Разработка принципиальной схемы.....	40
2.9 Перечень элементов	44
Заключение	48
Список используемой литературы	49

Введение

В настоящее время идет бурное развитие промышленности, для работы которой требуется электроэнергия. Основным источником электроэнергии на данный момент остаются полезные ископаемые, например нефть, газ, уголь и т.д. Запасы ранее разведанных месторождений стремительно уменьшается, что заставляет компании искать новые месторождения.

Основным способом нахождения залежей подземных ископаемых в ближайшее время будет оставаться сейсморазведка. Для ее проведения используются взрывные и невзрывные сейсмоисточники [12,14,30,31,33]. Первые являются более дешевыми, однако менее эффективны, а так же наносят достаточный урон окружающей среде. Поэтому наиболее эффективными являются невзрывные сейсмоисточники. Среди них наибольшее распространение получили электромагнитные и электродинамические. Так как они позволяют получать более достоверную информацию о залежах полезных ископаемых.

Электромагнитные сейсмоисточники на данный момент являются основными при проведении сейсморазведочных работ. Их конструкция и характеристики постоянно совершенствуются, однако существует необходимость разработки нового сейсмоисточника с характеристиками гораздо превосходящими существующих электромагнитных [6,7,8,9].

В связи с этим большой интерес вызывают электродинамические преобразователи. Электродинамические преобразователи находят широкое применение в конструкциях стендов для динамических испытаний изделий различного назначения. Отечественной и зарубежной промышленностью выпускается богатый ассортимент электродинамических вибраторов, который способны создавать усилия до десятков Н и воспроизводить колебания частотой до 20 кГц, что позволяет предположить возможность использовать их в качестве сейсмоисточников с высокими техническими характеристиками.

Поскольку классические электромагнитные сейсмоисточники позволяют достигать частоты импульсов до 40Гц. А электродинамические сейсмоисточники позволяют достигать больших частот, а так же имеют, более простую конструкцию.

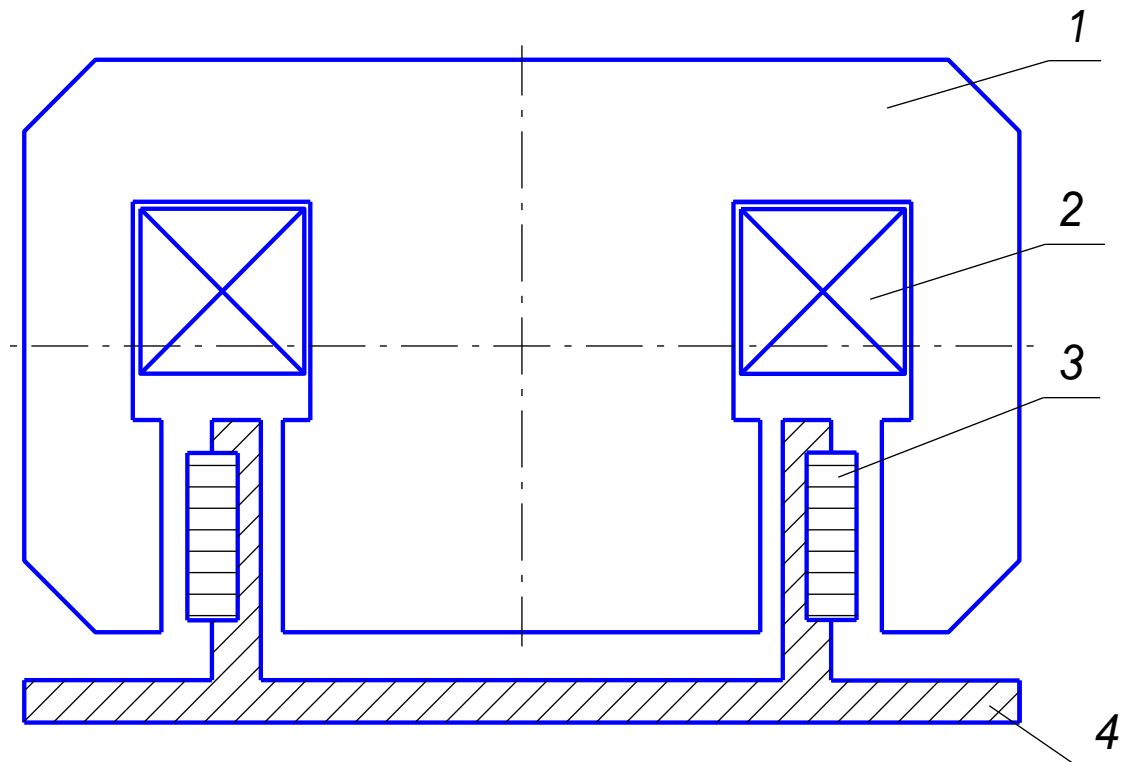
Применение кодоимпульсного метода позволяет получать больше информации. Поскольку посылаемый пакет импульсов может иметь произвольный набор, что имеет большую важность для ученых, которые проводят работы по разведки новых месторождений [30].

Целью ВКР является разработка системы питания электродинамического сейсмоисточника.

Положительным эффектом является удешевление стоимости работ по проведению сейсморазведки, путем внедрения более дешевого сейсмоисточника, что в дальнейшем позволит улучшить качество проводимых работ и снизить затраты и ускорить разработку новых месторождений. Это позволит в дальнейшем снизить стоимость добычи полезных ископаемых и как итог возможное снижение цен на энергоресурсы.

1 Обзорная часть

На рис 1 представлена конструктивная схема электро-динамического привода (ЭДП) источника сейсмических колебаний [18]. Он состоит из цилиндрического магнитопровода 1 с обмоткой подмагничивания 2, имеющей число витков w_0 . В зазоре магнитопровода 1 помещена обмотка якоря 3 с числом витков w_a , закрепленная на излучающей плите 4.



- 1 - Цилиндрический магнитопровод
- 2 - Обмотка подмагничивания
- 3 - Обмотка якоря
- 4 - Излучающая плита

Рисунок 1 – Конструктивная схема ЭДП

Для придания движения плите 4 необходимо создавать импульсное магнитное поле. Следовательно, для питания обмотки якоря нам требуется вентильно-индуктивный формирователь импульсного тока. Рассмотрим основные схемы, позволяющие реализовать его.

1.1 Обзор схем генераторов токовых импульсов

Для обзора схем генераторов использовали литературу [3,4,5,15,25,26].

Генератор импульсов, представленный на рисунке 2 построен по мостовой схеме.

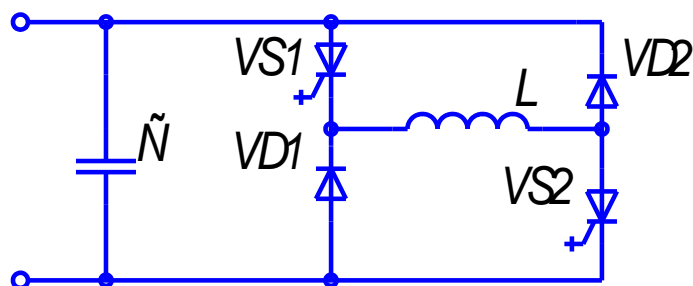


Рисунок 2 – Генератор импульсов тип 1

Схема работает по принципу:

- В момент времени t_1 включаются тиристоры VS1-VS2, энергия, накопленная в конденсаторе, начинает разряжаться по контуру C-VS1-L-VS2-C.
- В момент времени t_2 , когда энергия, накопленная в конденсаторе, достигает нулевого значения, выключаются тиристоры.
- В момент времени $t > t_2$ ток индуктивности замыкается по контуру L-VD2-C-VD1-L.

Данная схема имеет очень хорошие возможности управления импульсом.

Например, закрывая тиристоры раньше полной разрядки конденсатора, можно изменять амплитудное значение тока рис 3б.

Неодновременное закрытие тириستоров позволяет увеличивать длительность импульса и добиваться необходимого значения рис 3в.

Однако использование запираемых тириستоров ограничивает использования данной схемы в цепях с большими амплитудами тока, так как стоимости этих тиристоров достаточно велика и выбор ограничен.

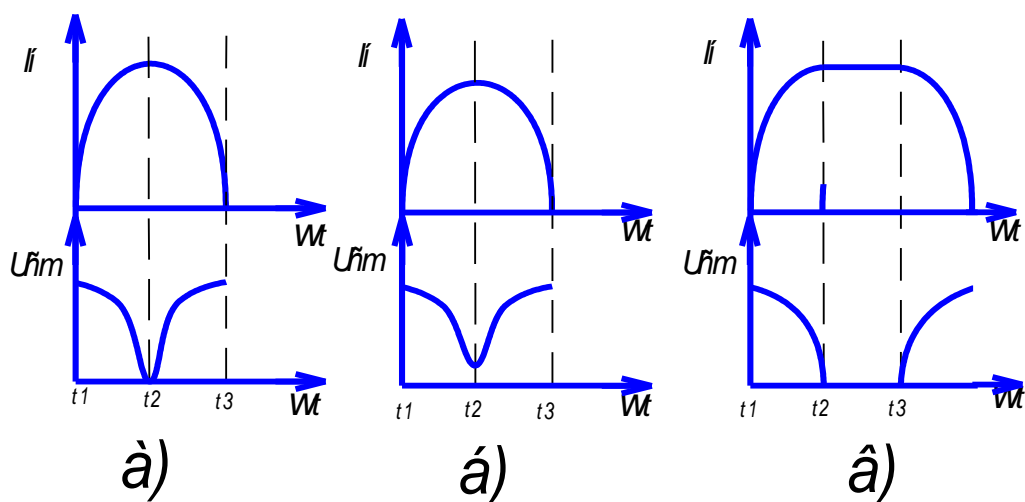


Рисунок 3 – Временные диаграммы генератора тип 1

Так же для управления схемой необходимо использовать схему управления, что может привести к усложнению технологического процесса производства и работы схемы.

На рисунке 4 представлена схема генератора тип 2, ее основным отличием является использования магнитосвязанной индуктивности. Схема работает по принципу (рисунок 5):

- В момент времени t_1 включается тиристор VS_1 и емкость разряжается по контуру $C-VS_1-L_1-C$
- В момент времени t_2 , когда энергия, накопленная в конденсаторе, достигает нулевого значения, выключаются тиристор и ток протекает по контуру L_2-VD-C . Это приводит к заряду емкости

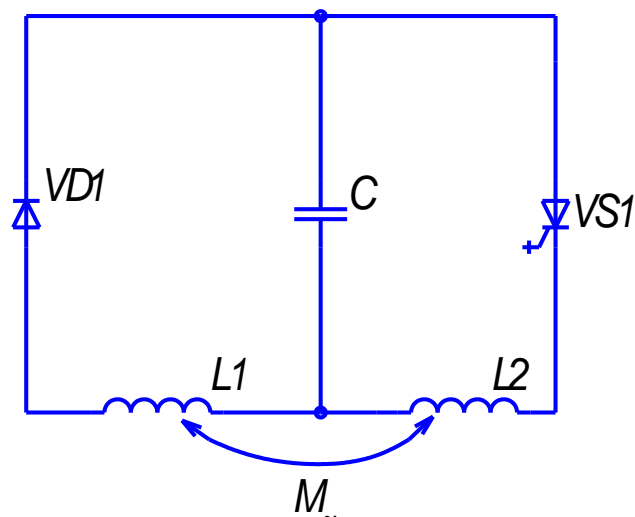


Рисунок 4 – Генератор тип 2

Однако использование магнитосвязной индуктивности достаточно усложняет технологический процесс производства. Так как в достаточно небольшой объем, отведенный в корпусе под катушку необходимо разместить 2 магнитосвязанные катушки. Так же отсутствует возможность регулирования импульса по длительности амплитуде.

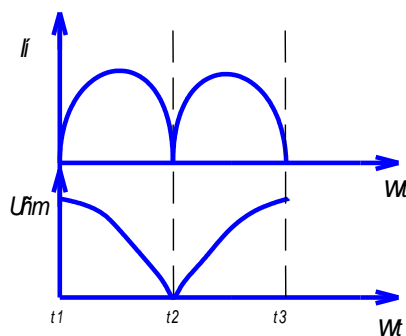


Рисунок 5 – Временные диаграммы генератора тип 2

На рисунке 6 представлен генератор 3-го типа.
Принцип действия (рисунок 7):

- В t_0 открывается тиристор VS1, емкости заряжены, C2 разряжается на тиристоре через индуктивность L2, ток возрастает по синусоиде.
- В t_1 закрывается тиристор VS1, ток протекающий через L2 не может измениться мгновенно, поэтому ток индуктивности L1 проходит через C2 и заряжает его.

Недостатком данной схемы является то, что емкость необходимо разбивать. Так же использование всего одного тиристора приведет к повышению нагрузки на него, что не позволит использовать данную схему в схемах с большими токами. Так же как и у предыдущей схемы отсутствует возможность регулирования импульса по длительности и амплитуде.

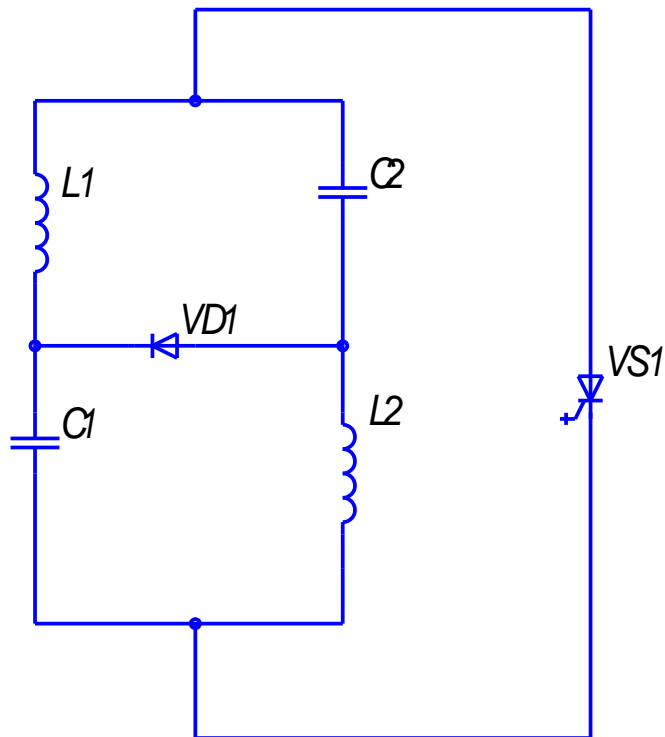


Рисунок 6 – Генератор тип 3

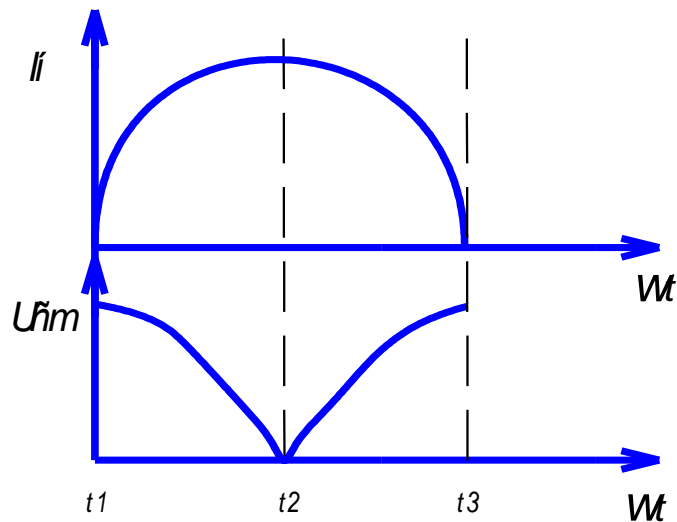


Рисунок 7 – Временные диаграммы генератора типа 3

На рисунке 8 представлена схема генератора 4-го типа

Формирователь выполнен на четырех тиристорах VS1–VS4, включаемых в определенной последовательности (рисунок 9).

- В момент времени $t=0$ включаются одновременно тиристоры VS1 и VS4, при этом предварительно заряженный накопитель C_n подключается к нагрузке. На начальном интервале $(0 - t_1)$ ток нагрузки имеет синусоидальную форму.

- В момент времени t_1 , когда напряжение накопителя U_2 переходит через нуль и становится отрицательным, подается отпирающий импульс на тиристор VS3, тиристор VS1 при этом выключается, а ток нагрузки перехватывается в контур нагрузка–VS4–VS3. При этом формируется плоская вершина импульса тока.

- В момент времени t_2 подается отпирающий импульс на тиристор VS2, тиристор VS4 при этом выключается, и ток нагрузки вновь замыкается на накопитель: нагрузка–VS2– C_n –VS3, формируется задний фронт импульса тока.

– В момент времени t_3 ток нагрузки становится равным нулю и тиристоры VS2 и VS3 выключаются.

– Использование однооперационных тиристоров повышает надежность схемы и позволяет подобрать необходимый прибор, при стоимости ниже чем у запираемых. В данной схеме используется естественная коммутация тиристоров, что позволяет упростить схему управления и как следствия удешевить стоимость. Так же надежность данной схемы гораздо выше, чем у приведенных ранее.

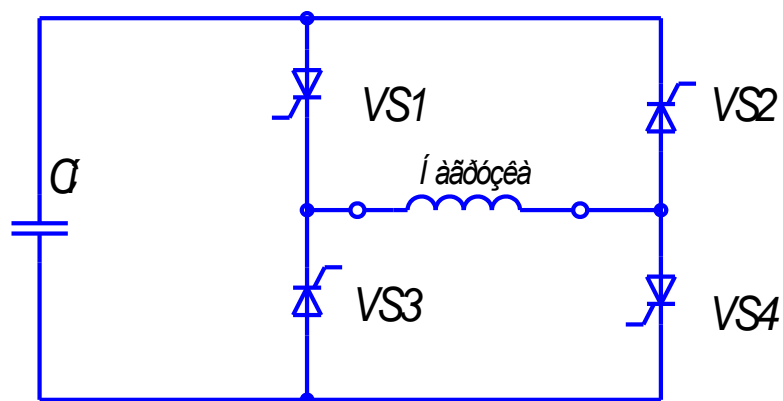


Рисунок 8 – Генератор тип 4

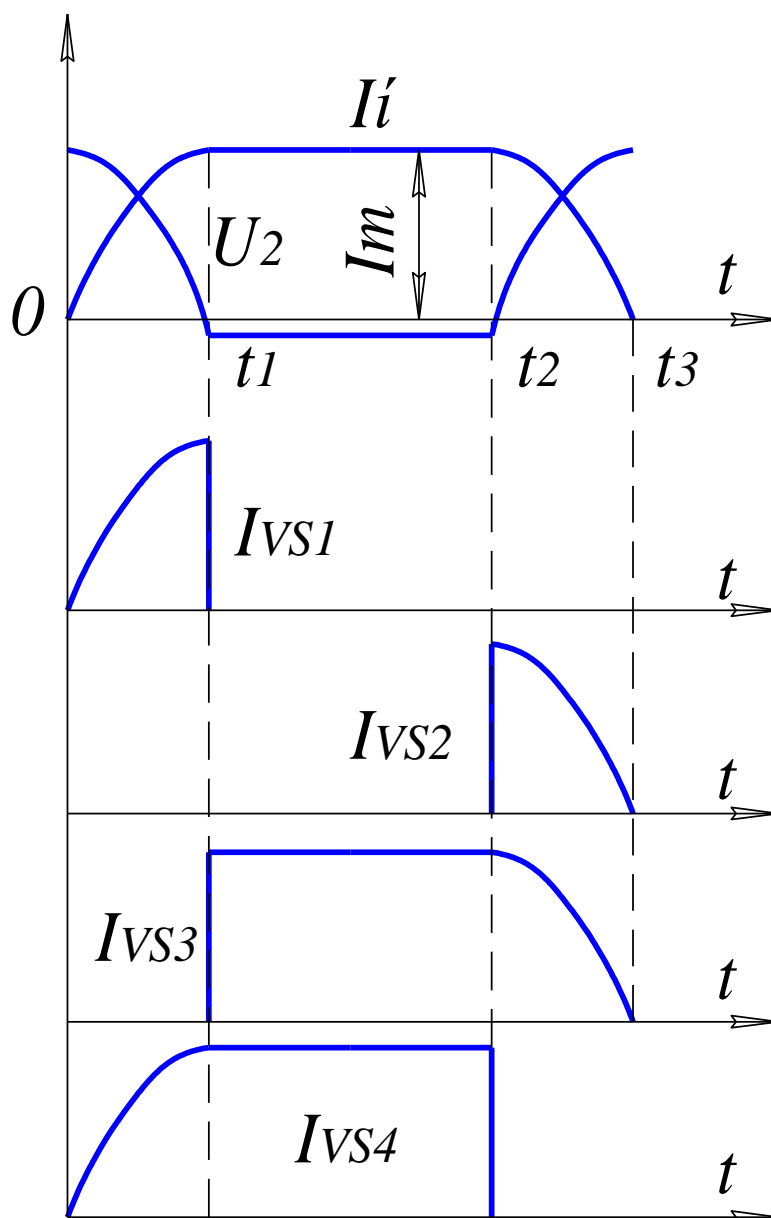


Рисунок 9 – Временные диаграммы генератора тип 4

1.2 Обзор зарядных блоков

Для питания всех приведенных схем используется емкостной накопитель. Следовательно, для его зарядки необходим зарядный блок [34, 35, 39]. На Рисунке 10 представлена схема зарядного устройства тип 1, позволяющего зарядить емкостной накопитель до нужной величины.

«Принцип действия данного преобразователя заключается в резонансной зарядке конденсаторов $C1$, $C2$ до напряжения $U_0 \approx 2U_d$ при поочередном отпирании тиристоров $VS1$, $VS2$ и в последующей передаче энергии дозирующего конденсатора в емкостной накопитель C_H через повышающий трансформатор $HVTR$ и секционированный диодный выпрямитель $HVDR$ при поочередном включении тиристоров $VS3$, $VS4$. Среднее значение выходной мощности в процессе зарядки остается практически постоянным.

Подобная параметрическая стабилизация потребляемой из сети и передаваемой в нагрузку мощности, присуща зарядным устройствам с дозирующим конденсатором, обеспечивает, во-первых минимально воздействие зарядного устройства на первичный источник питания (сеть) в процессе зарядки емкостного накопителя энергии, а во-вторых, защищает зарядное устройство и цепи нагрузки при возникновении в ней режима КЗ

Основными достоинствами данного варианта исполнения зарядного устройства являются:

- простота и универсальность схемного решения, что позволяет создавать зарядные устройства на десятки-сотни киловатт с выходным напряжением от единиц до сотни киловольт
- простота реализации быстродействующей защиты от КЗ»[2]

Однако все достоинства данного схемного решения проявляются на высоких напряжениях. И, следовательно, использования данного зарядного блока для решения нашей задачи не рационально. Так как использование повышающего трансформатора приведет к удорожанию и увеличению габаритов, а так же к усложнению технологического процесса производства.

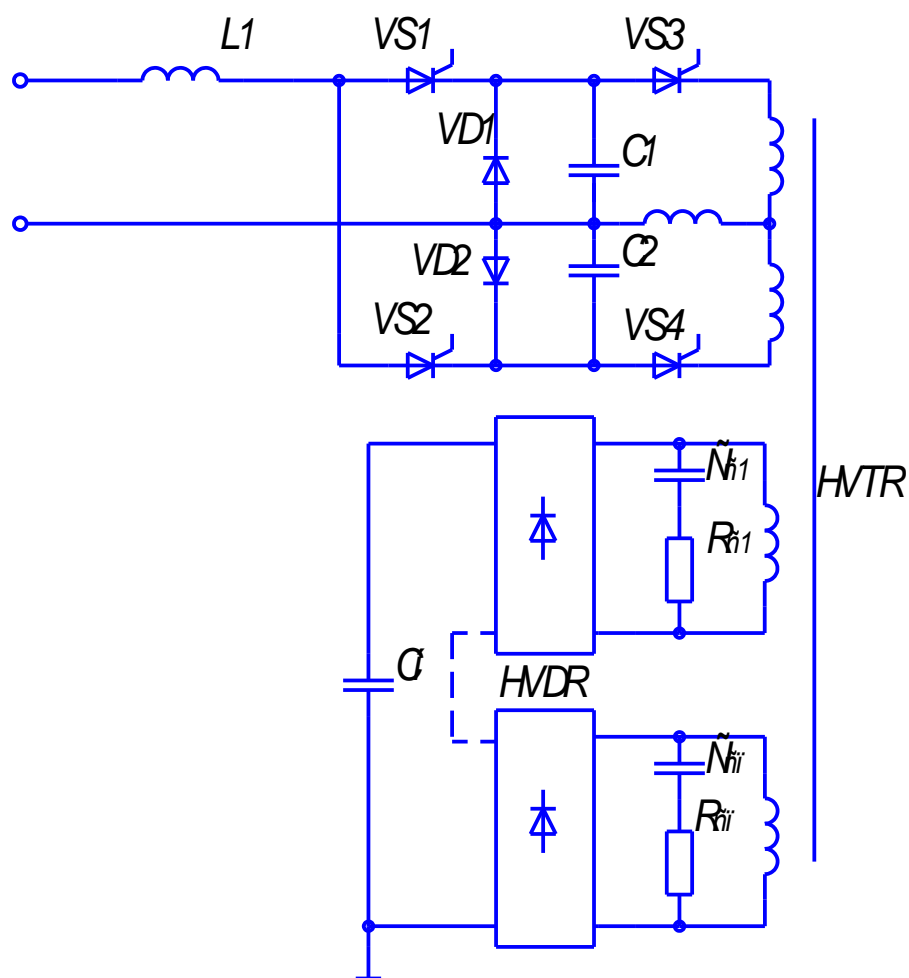


Рисунок 10 – Зарядное устройство тип 1

Схема зарядного блока изображена на рисунке 11. Основу блока составляют два силовых транзисторных ключа в модульном исполнении М1 и М2, на которых собран преобразователь постоянного напряжения. Преобразователь ограничивает величину потребляемого от выпрямителя тока I_1 и зарядного тока I_2 , что необходимо для надежной работы транзисторных ключей. Поскольку оба модуля выбраны на одинаковый ток, предельные значения токов I_1 и I_2 также одинаковые и равны I_m . Особенностью примененной схемы является то, что преобразователь способен заряжать накопитель C_n до напряжения как выше напряжения выпрямителя U_1 , так и ниже. Так же это схема позволяет точно дозировать энергию, поступающую в накопитель. И имеет достаточно высокое быстродействие.

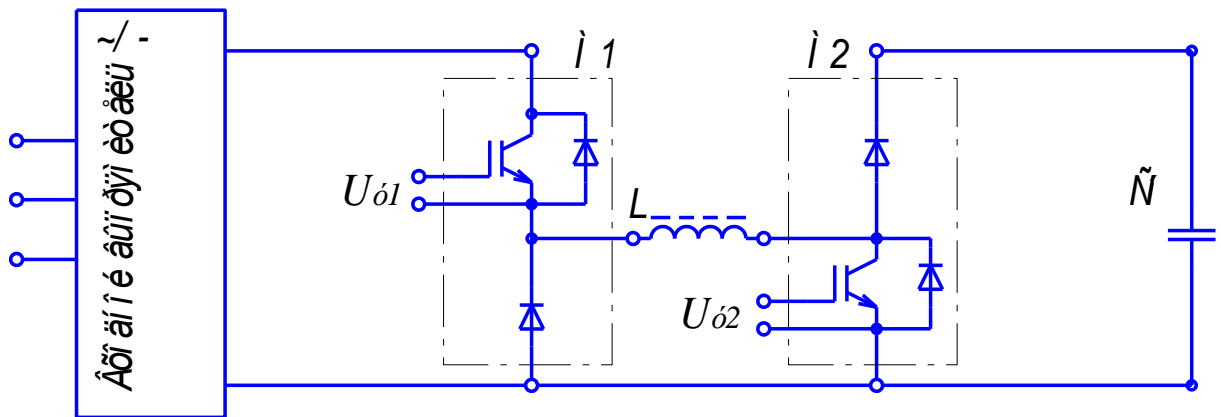


Рисунок 11 – Зарядное устройство тип 2

На рисунке 12 представлена схема заряда емкостного накопителя, работающая по принципу. В начале открывается тиристор VS1 и заряжается конденсатор C1. Далее тиристор VS1 закрывается и открывается тиристор VS2. Энергия, накопленная в конденсаторе C1, передается в конденсатор C2.

Данная схема позволяет ограничивать ток, поступающий в накопитель вначале заряда. Однако величина, до которой возможно зарядить накопитель, при помощи этой схемы не велика, что ограничивает ее использование в высоковольтных схемах. Так же дозирование энергии при заряде отсутствует, что так же является недостатком данной схемы.

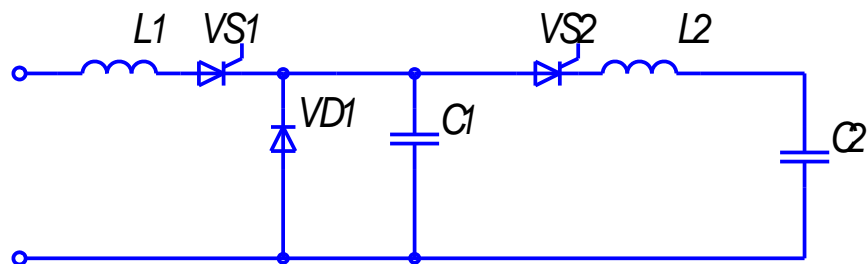


Рисунок 12 – Зарядное устройство тип 3

«На рисунке 13 показано устройство для заряда накопительного конденсатора, содержащее трехфазный источник питания, выходы которого подключены к одним выводам трех токоограничивающе-дозировочных элементов, другие выходы которых подключены к входам трехфазного мостового преобразователя, выходы которого подключены к накопительному конденсатору, отличающееся тем, что токоограничивающе-дозировочные элементы выполнены в виде катушек индуктивности, мостовой преобразователь выполнен в виде автономного инвертора напряжения на запираемых ключах, к выходам трехфазного источника питания дополнительно подключены входы трехфазного датчика сетевого напряжения, выходы которого подключены к одним входам блока управления, входы трехфазного мостового преобразователя дополнительно соединены со входами датчиков тока фаз, выходы которых соединены с другими входами блока управления, к выходу трехфазного мостового преобразователя подключен датчик напряжения емкостного накопителя, выход которого соединен с другим входом блока управления, к другому входу блока управления подключен выход блока задания величины напряжения накопителя, еще к одному входу блока управления подключен выход блока задания темпа заряда накопителя.

Недостатки этого устройства:

- во-первых, ограниченность применения в связи с тем, что оно обеспечивает заряд емкостного накопителя до напряжения, в 3 раза превышающего амплитуду линейного напряжения источника, что свидетельствует о низких удельных энергетических показателях (т.е. отношение мощности, энергии к массе устройства заряда);
- во-вторых, отсутствие плавного и в широком диапазоне регулирования скорости заряда емкостного накопителя;
- в-третьих, неудовлетворительная форма потребляемого из питающей сети тока;»[2]

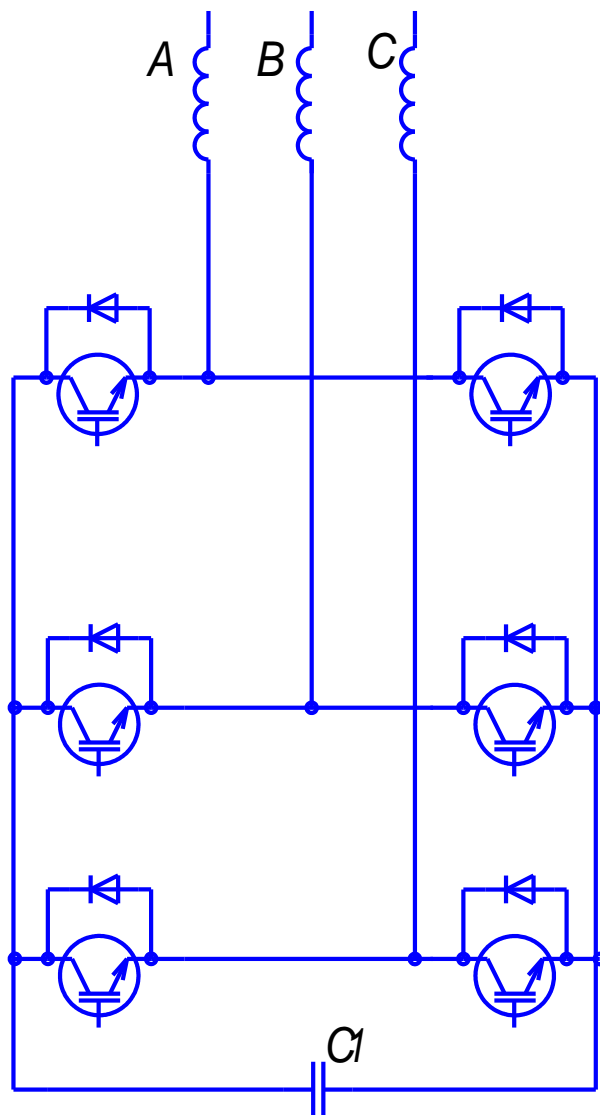


Рисунок 13 – Зарядное устройство тип 4

1.3 Выбор блоков

В качестве генератора токовых импульсов выберем схему, представленную на рисунке 8, поскольку она наиболее подходит нам имеет хорошие регулировочные характеристики невысокую стоимость и достаточную надежность.

Для заряда емкостного накопителя будем использовать схему представленную на рисунке 11, так как она является наиболее простой из представленных и наиболее надежной.

Так как для зарядного блока необходимо постоянное напряжение, а в исходных данных ВКР проектирования задана 3-х фазная сеть. Следовательно, необходимо применить выпрямитель. Выпрямитель выбрали 3-х фазный мостовой по схеме Ларионова представленный на рис 14

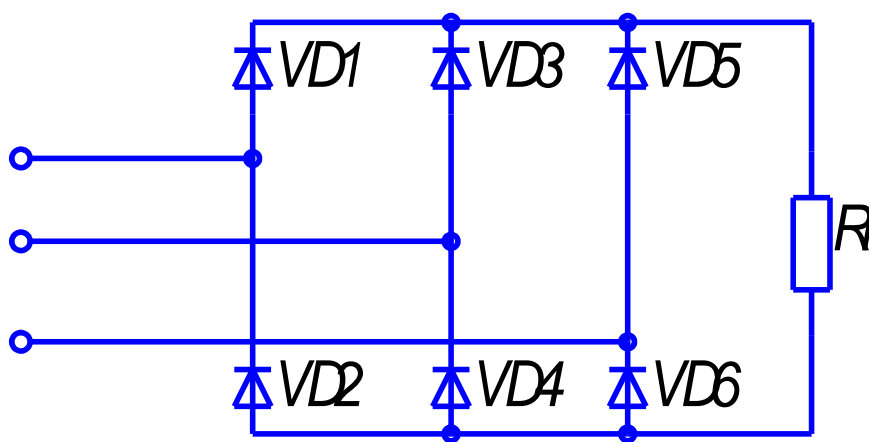


Рисунок 14 – Трехфазный мостовой выпрямитель

Выводы

В данной главе проведен обзор схемотехнических решений, которые могут быть применены для поставленной задачи. В результате обзора выбраны наиболее подходящие решения. Выбранные решения будут использованы в следующей главе.

2 Расчетная часть

2.1 Определения геометрических размеров ЭДП

Для определения параметров схемы питания необходимо найти оптимальные геометрические размеры ЭДП. На рис 18 представлен ЭДП и размеры, которые необходимо найти. Для этого зададимся максимальной величиной индукции в зазоре $B_m=1.2$ Т., Следовательно, $B_0=0.7$ $B_m=0.84$ Т. Соответственно $B_{am}= B_m- B_0=0.36$ Т

2.1.1 Высоту полюса найдем по формуле:

$$b = \frac{2 \cdot B_{am}}{j_{am} \cdot \mu_0 \cdot k_z} = \frac{2 \cdot 0.36}{5.64 \cdot 10^6 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.5} = 0.203 \text{ м} \quad (1)$$

где

$$\mu_0=4\pi \times 10^{-7} -$$

$$j_{am}=5.64 \times 10^6 \text{ А/м}^2 - \text{плотность тока в обмотке якоря}$$

$$k_z=0.5 - \text{коэффициент заполнения медью}$$

Во избежания насыщения центрального стержня магнитопровода, необходимо брать $D > 4b$. Примем $D=0.82$ м

2.1.2 Ширину зазора найдем по формуле:

$$a = \frac{P_m}{B_0 \cdot B_{am} \cdot D} \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} = \frac{10^4}{0.84 \cdot 0.36 \cdot 0.82} \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (2)$$

Так как такая ширина зазора очень мала и усложняет технологический процесс производства примем $a=16$ мм. Энергия, запасаемая при этом в магнитном поле обмотки якоря будет равна:

$$A_a = \frac{1}{24} \cdot \mu_0 \cdot j_{am}^2 \cdot k_z^2 \cdot \pi \cdot D \cdot a \cdot b^3 = 143.9 \text{ Дж} \quad (3)$$

Эта энергия обуславливает потребляемую обмоткой якоря реактивную мощность, которая на частоте 250 Гц составляет:

$$Q = 2 \cdot A_a \cdot f \cdot \pi = 226 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (4)$$

Произведем расчет емкости накопителя:

$$C = \frac{2 \cdot A_1}{U_{ном}} = 391_{мкФ} \quad (5)$$

где

$A_1 = 1.1 \times A_a = 158.3$ Дж – энергия воздушного зазора увеличенная на 10%

$U_{ном} = 900$ В – номинальное напряжение на накопители

Для накопителя выбрали батарею из 8 конденсаторов

C9...C16:K75-17-1000В-50мкФ±10%

Для определения геометрических размеров катушки подмагничивания

найдем полный ток катушки подмагничивания.

$$I = \frac{B_0}{\mu_0} \cdot a = 10.7 \cdot 10^3 \text{ А} \quad (6)$$

Задавшись плотностью тока в ней $j = 3 \text{ А/мм}^2$ найдем площадь поперечного сечения меди:

$$S_{мп} = \frac{I}{j} = \frac{10.7 \cdot 10^3}{3} = 3.565 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 \quad (7)$$

Так как $k_3 = 0.5$ то площадь поперечного сечения окна возьмем равной $2S_{мп} = 7.13 \times 10^3 \text{ мм}^2$. Следовательно, геометрические размеры окна будут:

$$h_{ок} = 80 \text{ мм}$$

$$d_{ок} = 90 \text{ мм}$$

Исходя из условия, что магнитный поток по всему магнитопроводу будет одинаковым, найдем остальные геометрические размеры

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1 + \pi \cdot D_2^2}{\pi}} = 1.279 \text{ м} \quad (8)$$

где

$$S_1 = \frac{\Phi}{B_0} = 0.523 \text{ м}^2$$

$$\Phi = B_0 \cdot S_\delta = 0.44 \text{ Тл} \cdot \text{Магнитный поток через воздушный зазор}$$

$$S_{\delta} = \pi \cdot D \cdot b = 0.523 \text{ м}^2 - \text{площадь воздушного зазора}$$

$$D_2 = D + 2d_{ок} = 0.984 \text{ м}$$

Рассчитанная геометрия ЭДП изображена на рисунке 18.

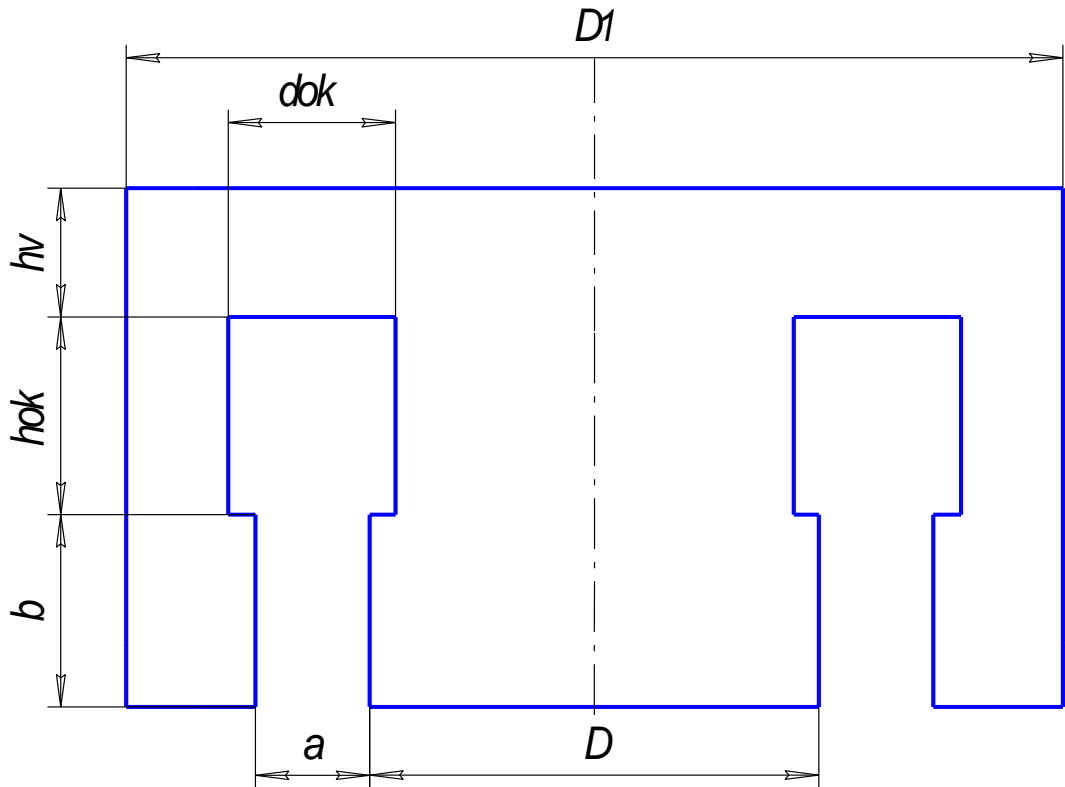


Рисунок 18 – Геометрические размеры ЭДП

Примем индукцию в верхней части магнитопровода равной B_m следовательно:

$$h_v = \frac{S_2}{\pi \cdot D} = 0.145 \text{ м} \quad (9)$$

2.2 Определение потерь

Для определения удельных потерь в стали необходимо определить массу магнитопровода. Для это найдем объем магнитопровода.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0.521 \text{ м}^3 \quad (10)$$

где

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 (b + h_{ок})}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.8^2 (0.2 + 0.09)}{4} = 0.144 \text{ м}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_1^2 h_v}{4} = \frac{3.14 \cdot 1.279^2 \cdot 0.145}{4} = 0.186 \text{ м}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D_1^2 h_{ок}}{4} - \frac{\pi \cdot (D + 2d_{ок})^2 \cdot h_{ок}}{4} = \frac{3.14 \cdot 1.279^2 \cdot 0.08}{4} - \frac{3.14 \cdot (0.8 + 2 \cdot 0.09)^2 \cdot 0.08}{4} = 0.042 \text{ м}^3$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot D_1^2 b}{4} - \frac{\pi \cdot (D + 2a)^2 \cdot b}{4} = \frac{3.14 \cdot 1.279^2 \cdot 0.2}{4} - \frac{3.14 \cdot (0.8 + 2 \cdot 0.016)^2 \cdot 0.2}{4} = 0.149 \text{ м}^3$$

2.2.2 Массу магнитопровода найдем по формуле:

$$m = \rho \cdot V = 7700 \cdot 0.521 = 4013 \text{ кг} \quad (11)$$

где

$$\rho = 7700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность стали}$$

Для обеспечения необходимого потока в зазоре выполним полюса зазора из шихтованной стали.

$$\Phi_a = L_a \cdot I_a = 0.264$$

Для обеспечения такого потока при заданной индукции найдем необходимую площадь шихтовки

$$S_a = \frac{\Phi_a}{B_{am}} = 0.733 \text{ м}^2$$

Следовательно необходимая глубина шихтовки составляет 20 мм
масса шихтованной части при этом составит 2 кг

Расчет потерь в стали выполним приближенными методами, опираясь на заданные удельные потери $P_{уд}$, регламентируемые для заданной марки стали на частоте 50 Гц при индукции 1 Тл. Известно, что для горячекатаной стали потери на перемагничивание составляют 70% от всех потерь, а на вихревые токи соответственно 30% (для холоднокатаной

соотношение примерно обратное - 30% и 70%). Известно так же, что потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты перемагничивания и квадрату индукции $(f \times B)^2$, а потери на гистерезис - $f \times B^2$. Для низкоуглеродистой горячекатаной стали удельные потери на частоте $f=50\text{Гц}$ и индукции $B=1\text{Тл}$ составляют $P_{уд}=2,2\text{ Вт/кг}$

Исходя из этого удельные потери на вихревые токи:

$$P_{\text{вдм}} = P_{\text{вд}} \left(\frac{f}{f_{\text{баз}}} \cdot \frac{B_{\text{ам}}}{B_{\text{баз}}} \right)^2 = 7.128 \text{ Вт / кг} \quad (12)$$

Удельные потери на гистерезис:

$$P_{\text{вдг}} = P_{\text{вд}} \left(\frac{f}{f_{\text{баз}}} \right) \cdot \left(\frac{B_{\text{ам}}}{B_{\text{баз}}} \right)^2 = 1.426 \text{ Вт / кг} \quad (13)$$

Следовательно потери в стали составят

$$P_{\text{ст}} = (P_{\text{вдм}} + P_{\text{вдг}}) \cdot m_{\text{ст}} = 8.5 \cdot 2 = 17 \text{ Дж}$$

Рассчитаем желаемую индуктивность обмотки якоря:

$$L_{\text{аж}} = \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C} = 259 \cdot 10^{-6} \quad (14)$$

где

$T=2\text{мс}$ - период протекания тока

$C=391\text{мкФ}$ – емкость накопителя

Рассчитаем количество витков катушки

$$w = \sqrt{\frac{L_{\text{аж}}}{G_a}} = 8.698 \approx 9 \quad (15)$$

где

$$G_a = \frac{2 \cdot A_a}{Q_{\text{ам}}^2} = 3.4 \cdot 10^{-6}$$

$$Q_{\text{ам}} = \frac{2 \cdot a \cdot B_{\text{ам}}}{\mu_0} = 9.16 \cdot 10^3$$

Посчитаем индуктивность зная количество витков обмотки

$$L_a = w^2 \cdot G_a = 277 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (16)$$

Расчет потерь на нагрев катушки

Для определения потерь необходимо определить сопротивления катушки:

$$R = \rho \cdot \frac{I}{S_{m1}} = 0,02 \cdot 10^{-6} \frac{23.2}{1,6 \cdot 10^{-3}} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (17)$$

Где

$$\rho = 0,02 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{А}} - \text{удельное сопротивление меди}$$

$$I = \pi \cdot D \cdot w = 23.2 \text{ А} - \text{ток}$$

$$S_{m1} = \frac{I_{am}}{j_{am}} = \frac{9.167 \cdot 10^3}{5.64 \cdot 10^6} = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 - \text{площадь меди}$$

Потери в меди рассчитаем по формуле:

$$A_{CU} = R \cdot \frac{I_{am}^2}{2} \cdot t_u = 14.38 \text{ Дж} \quad (18)$$

2.2.7 Определение механической работы

Для определения механической работы необходимо рассчитать перемещения излучающей плиты.

$$x_{nl} = \frac{F_{em} \cdot t_{экв}^2}{m_{пол} \cdot 2} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ м} \quad (19)$$

где

$$F_{em} = 10^4 - \text{электромагнитная сила}$$

$$t_{экв} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ с} - \text{эквивалентная длительность импульса}$$

$$m_{пол} = 100 \text{ кг} - \text{масса излучающей плиты}$$

Перемещение же самого ЭДП будут незначительны, и их учитывать мы не будем.

Механическую работу найдем по формуле

$$A_{мех} = F_{em} \cdot x_{nl} = 0,328 \text{ Дж} \quad (20)$$

2.3 Генератор токовых импульсов

Расчетная схема формирователя импульсов и временные диаграммы его работы приведены на рис 19.

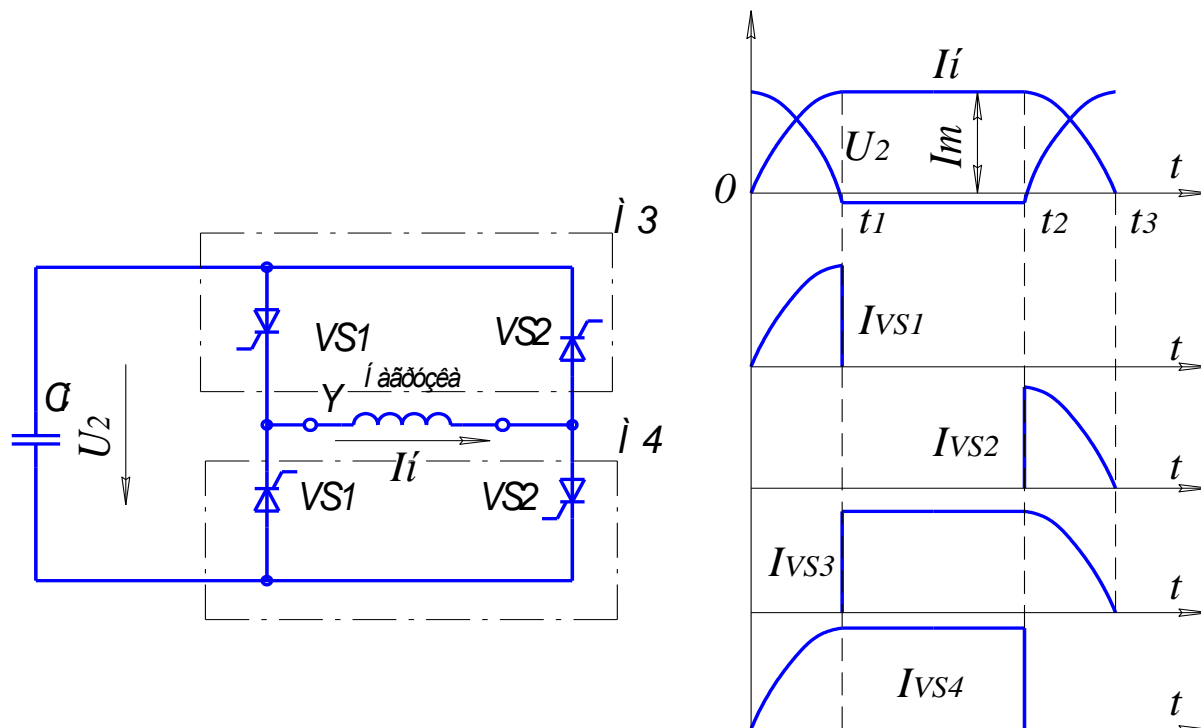


Рисунок 19 – Расчетная схема и временны диаграммы формирователя импульсов

Формирователь выполнен на 2-х тиристорных модулях М3 и М4, включаемых в определенной последовательности. В момент времени $t=0$ включаются одновременно тиристоры $VS1$ модуля М3 и $VS2$ модуля М4, при этом предварительно заряженный накопитель C_n подключается к нагрузке – обмотке электродинамика. На начальном интервале $(0 - t_1)$ ток нагрузки имеет синусоидальную форму. В момент времени t_1 , когда напряжение накопителя U_2 переходит через нуль и становится отрицательным, подается отпирающий импульс на тиристор $VS1$ модуля М4, тиристор $VS1$ модуля М3 при этом выключается, а ток нагрузки перехватывается в контур нагрузка– $VS1$ – $VS2$ модуля М4. При этом формируется плоская вершина импульса тока. В момент

времени t_2 подается отпирающий импульс на тиристор VS2 модуля M3, тиристор VS2 модуля M4 при этом выключается, и ток нагрузки вновь замыкается на накопитель: нагрузка–VS2(M3)–Сн–VS1(M4), формируется задний фронт импульса тока. В момент времени t_3 ток нагрузки становится равным нулю и тиристоры VS2 и VS3 выключаются. Найдем среднее значение тока за период с учетом того, что на максимальной частоте (250Гц), для которой мы ведем расчет, форма импульса будет синусоидальной.

$$I = \frac{2 \cdot I_m}{\pi} = 338 \text{ A} \quad (21)$$

Следовательно, среднее значение тока через тиристор будет

$$I_{cp} = I \cdot \frac{t_u}{T} = 170 \text{ A} \quad (22)$$

Эти значения получены в предположении непрерывной работы сейсмоисточника с заданной частотой. Реально, с учетом пауз между посылками и разворота частоты во времени, значения средних токов будут в два–три раза меньше.

Наиболее нагруженным будут тиристорам VS1 и VS2 модуля M4 в наиболее тяжелом режиме (на частоте 250Гц) Исходя из этого для формирователя импульсов выбираем тиристорный модуль со средним током 200А марки М2ТБИ-200-20-1-5-УХЛ4. Для выбора тириستоров использовали литературу [21,28, 29]. Данные тиристорного модуля приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры тиристорного модуля М2ТБИ-200-20

№ п/п	Параметр	Значение
1	Максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии I_{trms} , А	300
2	Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_{tav} , А	200
3	Обратное импульсное напряжение, В	1500
4	Время включения t_q , мкс	25

2.4 Зарядный блок

Расчетная схема зарядного блока изображена на рис 20. Основу блока составляют два силовых транзисторных ключа в модульном исполнении М1 и М2, на которых собран преобразователь постоянного напряжения. Преобразователь ограничивает величину потребляемого от выпрямителя тока I_1 и зарядного тока I_2 , что необходимо для надежной работы транзисторных ключей. Поскольку оба модуля выбраны на одинаковый ток, предельные значения токов I_1 и I_2 также одинаковые и равны I_m . Особенностью примененной схемы является то, что преобразователь способен заряжать накопитель C_n до напряжения как выше напряжения выпрямителя U_1 , так и ниже. Принцип работы преобразователя поясняют временные диаграммы, представленные на рисунке 21.

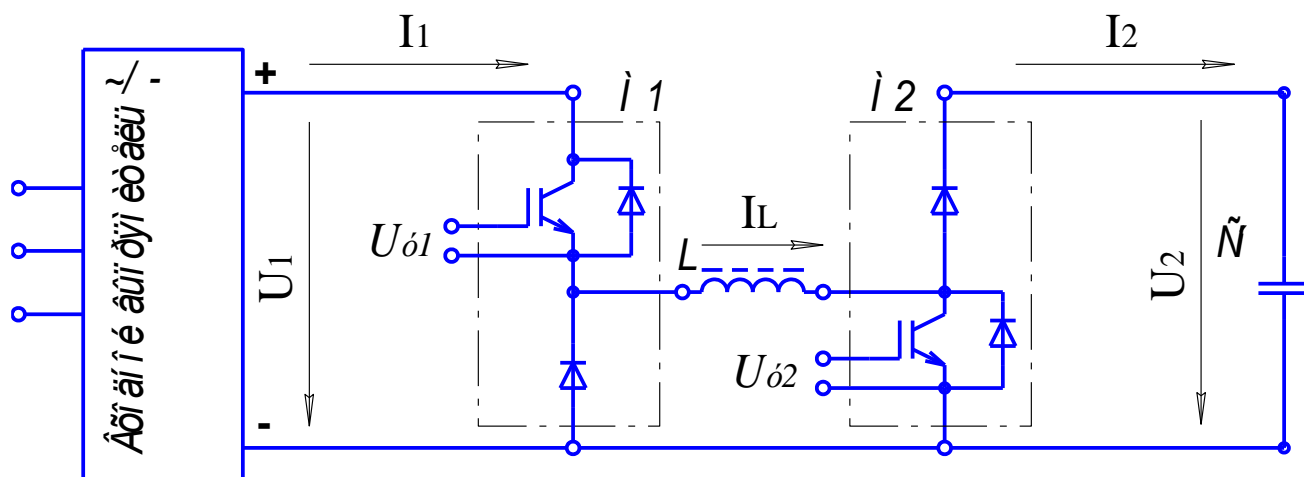


Рисунок 20 – Расчетная схема зарядного блока

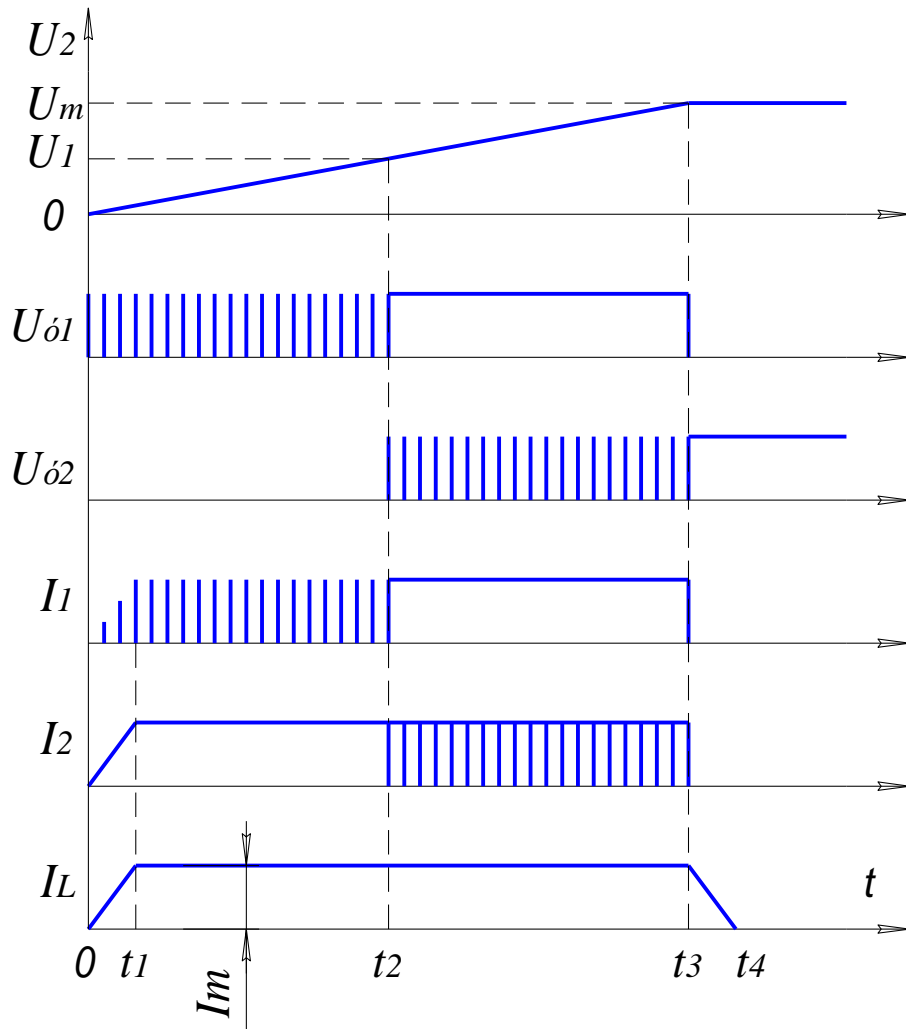


Рисунок 21 – Временные диаграммы зарядного блока

При заряде накопителя с нулевого напряжения в момент времени $t=0$ начинают поступать импульсы управления U_{y1} на транзистор модуля М1. Транзистор модуля М2 в это время закрыт. Во время открытого состояния М1 ток дросселя I_L возрастает, причем скорость нарастания определяется выражением

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{U_1 - U_2}{L} \quad (23)$$

Во время закрытого состояния М1 ток дросселя спадает по закону:

$$\frac{dI_L}{dt} = -\frac{U_2}{L} \quad (24)$$

Частота переключения транзистора М1 достаточно высока, поэтому величина пульсаций тока I_L мала и на графиках ток I_L представлен гладкими линиями. Алгоритм управления транзистором М1 таков, что обеспечивается плавное нарастание тока I_L на интервале $0-t_1$ («мягкий старт»), а затем поддерживается его величина на уровне I_m . Поскольку транзистор модуля М2 закрыт, ток заряда I_2 совпадает с током дросселя. Т.о., на интервале времени t_1-t_2 обеспечивается заряд емкости C_n постоянным током I_m .

В момент времени t_2 напряжение на накопителе U_2 достигает величины напряжения U_1 на выходе выпрямителя. Начиная с этого момента транзистор модуля М1 постоянно включен, а на транзистор модуля М2 начинают поступать управляющие импульсы. Во время открытого состояния М2 ток дросселя нарастает со скоростью

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{U_1}{L}, \quad (25)$$

а во время закрытого – спадает по закону

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{U_1 - U_2}{L}, \quad (U_1 < U_2) \quad (26)$$

Алгоритм управления выбран таким, что средняя величина тока I_L остается постоянной и равной I_m . Поскольку транзистор М1 открыт постоянно, на интервале t_2-t_3 входной ток I_1 совпадает с током I_L , чем обеспечивается

режим заряда накопителя с постоянной мощностью

$$P_3 = U_1 \times I_m$$

В момент времени t_3 напряжение на накопителе достигает требуемой величины U_m . В этот момент управляющее напряжение с модуля М1 снимается и его транзистор запирается. Одновременно подается постоянное напряжение управления на модуль М2 и его транзистор остается во включенном состоянии. Заряд накопителя мгновенно прекращается, а ток

дросселя замыкается через открытый транзистор модуля M1 и диод чоппера модуля M2.

Основной задачей расчета является определение величины тока I_m , при которой накопительная емкость успевала бы заряжаться до номинального напряжения во всех режимах работы. При этом необходимо учесть, что каждый зарядный блок должен быть способен обеспечить заряд обоих накопителей.

Выбор транзисторных модулей

Общая емкость накопителя

$$C=391 \text{ (мкФ)}$$

Номинальное напряжение

$$U_m=900\text{В}$$

Сумма потерь

$$A_{\text{п}}=A_{\Sigma}=28\text{Дж}$$

Напряжение накопителя после (оно же начальное напряжение заряда при работе на частоте)

$$U_{\text{н}} = \sqrt{\frac{2 \times (A_m - A_{\text{п}})}{C}}, \quad (27)$$

$$\text{где } A_m = \frac{C \cdot U_m^2}{2} = \frac{391 \cdot 10^{-6} \cdot 900^2}{2} = 158.34 \text{ Дж} - \text{энергия накопителя при}$$

номинальном напряжении. Подставляя численные значения, находим

$$U_{\text{н}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (158,34 - 28)}{2}} = 831\text{В}$$

Поскольку это напряжение выше напряжения на выходе выпрямителя U_1 , заряд накопителя будет происходить в режиме постоянной мощности.

При этом справедливо выражение

$$P_3 \times t_3 = A_{\text{п}} \quad (28)$$

Здесь мощность заряда P_3 определяется выражением (5),:

$$t_3 = \frac{1}{f} - t_u = 0,028c \quad (29)$$

Где

$f=250$ Гц – частота срабатываний,

$t_u=1,2 \times 10^{-3}c$ – предельная длительность импульса,

Подставив (28) в (29), найдем требуемую величину тока I_m :

$$I_m = \frac{A_n}{U_1 \cdot t_3} = \frac{28}{510 \cdot 0,028} = 16A \quad (30)$$

Здесь $U_1 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times U_L = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times 380 = 510$ В – среднее напряжение на

выходе трехфазного мостового выпрямителя.

Исходя из расчетов выбрали IGBT-транзисторы МДТКИ2-75-17 и МТКИД2-75-17 их параметры приведены в таблицах соответственно

Таблица 2 - Основные параметры IGBT транзистора МДТКИ2-75-17

№ п/п	Параметр	Значение
1	Постоянный ток коллектора I_c , А	75
2	Напряжение коллектор-эмиттер V_{ces} , В	1700
3	Напряжения насыщения коллектор-эмиттер V_{cessat} , В	3,5
4	Время задержки включения t_{on} , мкс	0,2
5	Время спада t_f , мкс	0,15

Таблица 3 - Основные параметры IGBT транзистора МТКИД2-75-17

№ п/п	Параметр	Значение
1	Постоянный ток коллектора I_c , А	75
2	Напряжение коллектор-эмиттер V_{ces} , В	1700
3	Напряжения насыщения коллектор-эмиттер V_{cessat} , В	3,5
4	Время задержки включения t_{on} , мкс	0,2
5	Время спада t_f , мкс	0,15

2.5 Расчет дросселя

Дроссель L является элементом, ограничивающим скорость изменения тока на интервалах времени между коммутациями ключей. От величины его индуктивности зависит величина пульсаций тока в нем, предельная величина которых, как правило, задается на определенном уровне. Надо выяснить, при каких условиях работы схемы эти пульсации максимальны, и для этих условий выбрать необходимую минимальную индуктивность. Как было отмечено, зарядный блок может работать в двух основных режимах: а) – режим заряда постоянным током (при $U_2 < U_1$) и б) – режим заряда постоянной мощностью (при $U_2 > U_1$). Рассмотрим эти режимы отдельно. При этом примем допущение, что транзисторы являются идеальными ключами, т.е. включаются и выключаются мгновенно.

Схема замещения для режима постоянного тока представлена на рис 22, а диаграмма напряжения U_L на дросселе – на рисунке 23.

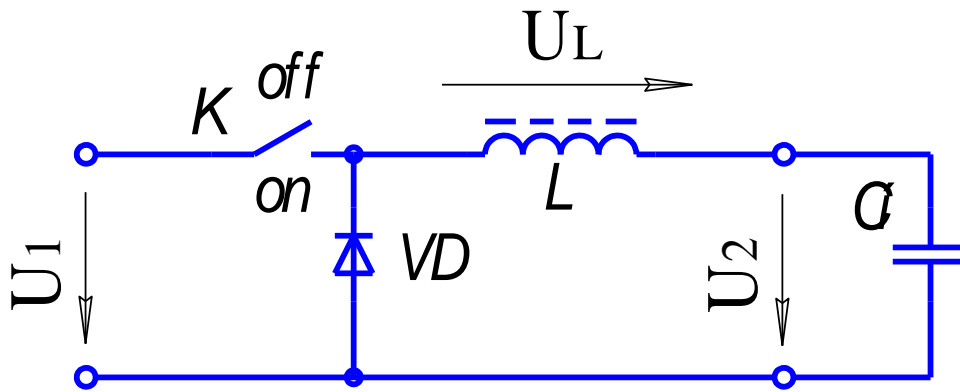


Рисунок 22 – Схема замещения для режима постоянного тока

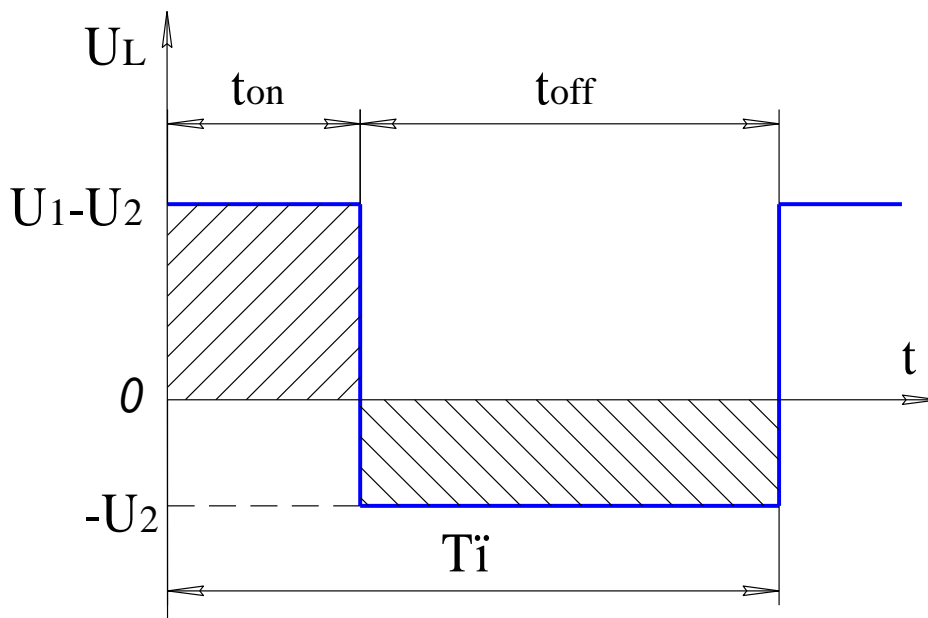


Рисунок 23 – Диаграммы напряжений

Во время замкнутого состояния ключа K к дросселю L прикладывается положительное напряжение $U_1 - U_2$, а во время разомкнутого – отрицательное ($-U_2$). Для квазистационарного процесса должно выполняться условие равенства положительной и отрицательной вольт-секундной площади (заштрихованные прямоугольники на рисунке 11):

$$S_{V-S} = (U_1 - U_2) \times t_{on} = U_2 \times t_{off}, \quad (31)$$

где t_{on} – время замкнутого состояния ключа,

t_{off} – время разомкнутого состояния ключа.

Из (3.10) находим

$$\frac{t_{off}}{t_{on}} = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \quad (32)$$

Значение вольт-секундной площади определяет величину пульсаций тока в дросселе, поэтому определим ее зависимость от выходного напряжения U_2 .

Поскольку $t_{on} + t_{off} = T_{\Pi}$ – период частоты преобразователя напряжения, нетрудно получить

$$t_{on} = \frac{T_{\Pi}}{1 + \frac{t_{off}}{t_{on}}} \quad (33)$$

или, с учетом (32)

$$t_{on} = T_{\Pi} \frac{U_2}{U_1} \quad (34)$$

Поэтому вольт-секундная площадь S_{V-S} (по 2.31) равна

$$S_{V-S} = (U_1 - U_2) \times t_{on} = T_{\Pi} (U_1 - U_2) \frac{U_2}{U_1} = T_{\Pi} \times U_2 \left(1 + \frac{U_2}{U_1} \right) \quad (35)$$

Схема замещения для режима постоянной мощности представлена на рисунке 24, а диаграмма напряжения U_L на дросселе – на рисунке 25.

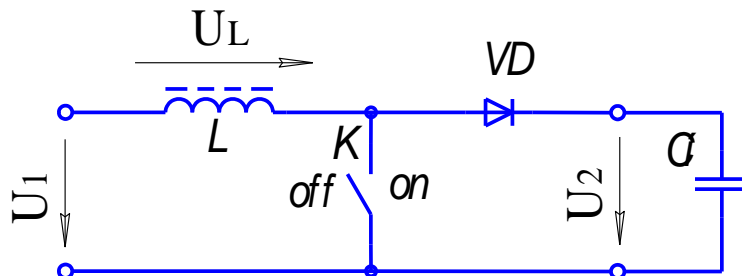


Рисунок 24 – Схема замещения для режима постоянной мощности

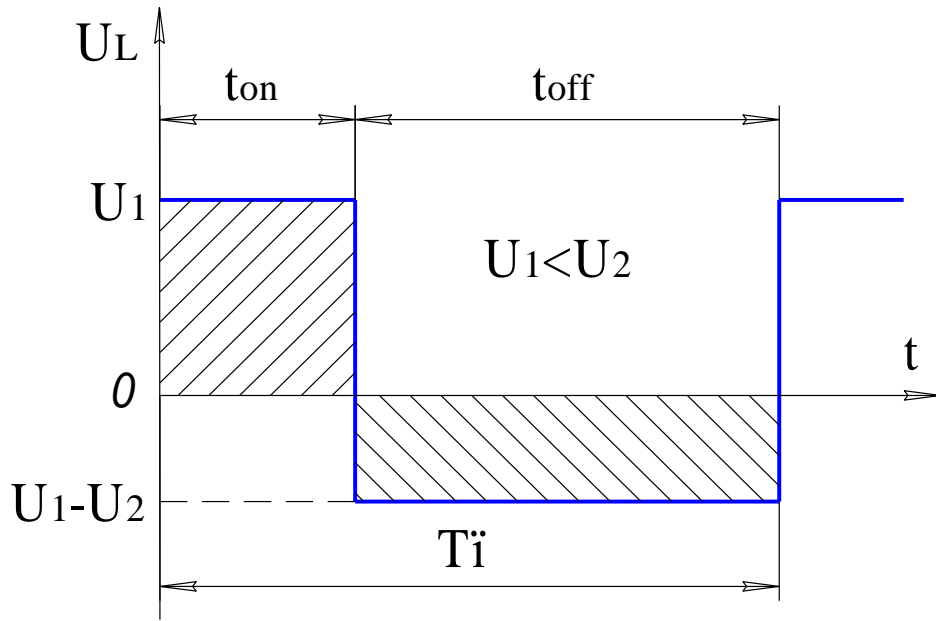


Рисунок 25 – Диаграмма напряжений

Из условия равенства положительной и отрицательной вольт-секундной площади

$$S_{V-S} = U_1 \times t_{on} = (U_2 - U_1) \times t_{off}, \quad (36)$$

находим

$$\frac{t_{off}}{t_{on}} = \frac{U_1}{U_2 - U_1}, \quad (37)$$

откуда по (12) находим

$$t_{on} = T_{\Pi} \left(1 - \frac{U_1}{U_2} \right) \quad (38)$$

Подставляя эту величину в (3.15), находим

$$S_{V-S} = U_1 \times t_{on} = T_{\Pi} \times U_1 \left(1 - \frac{U_1}{U_2} \right) \quad (39)$$

Объединяя (35) и (39), окончательно имеем

$$S_{v-s} = \begin{cases} T_{\Pi} \times U_2 \left(1 + \frac{U_2}{U_1} \right), & U_2 \leq U_1 \\ T_{\Pi} \times U_1 \left(1 - \frac{U_1}{U_2} \right), & U_2 \geq U_1 \end{cases} \quad (40)$$

График этой зависимости для двух значений U_1 , соответствующих номинальному входному напряжению ($U_1=510\text{В}$) и увеличенному на 20% ($U_1=610\text{В}$), представлены на рисунке 26.

Из графиков видно, что наибольшая вольт-секундная площадь (и наибольшие пульсации тока в дросселе) наблюдаются в конце заряда накопителя при работе на малых (номинальных) входных напряжениях. В расчетах будем ориентироваться на выходное напряжение 900В , при котором, согласно графика на рисунке 26, при $U_1=510\text{В}$

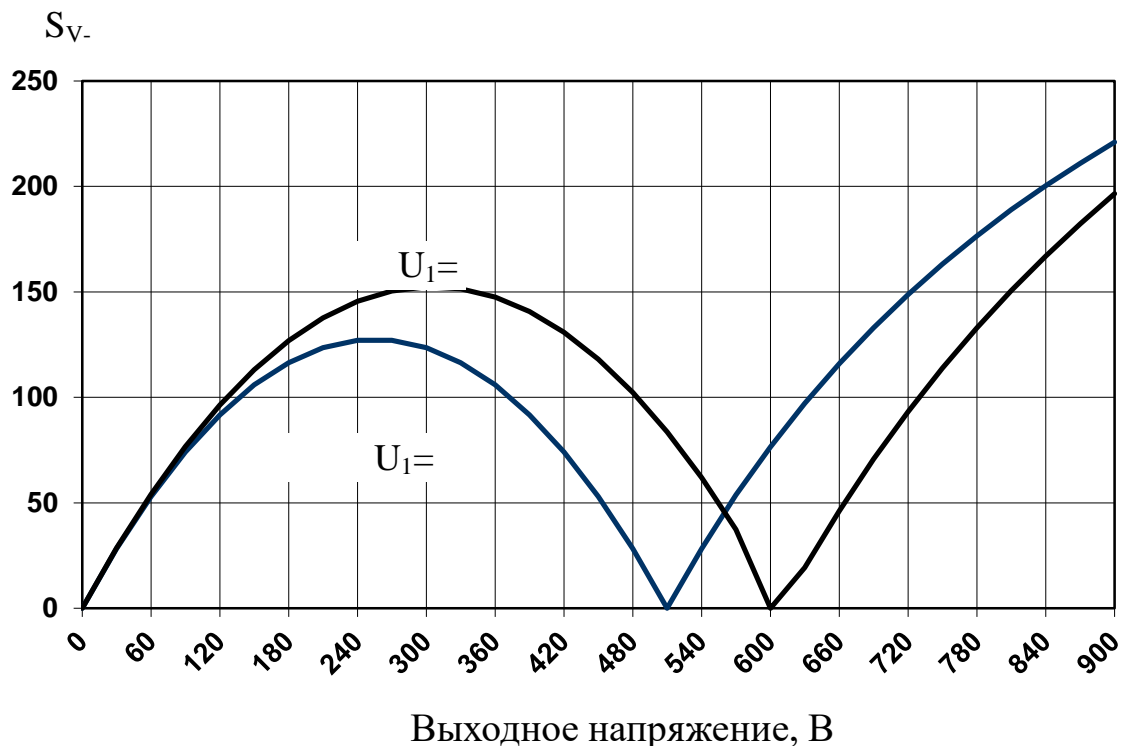


Рисунок 26— К выбору индуктивности дросселя

$$\left(\frac{S_{v-s}}{T_{\Pi}} \right)_{\max} = 221 \text{ В}$$

Приняв частоту преобразования $f_{\Pi}=10\text{кГц}$ ($T_{\Pi}=10^{-4}\text{с}$), найдем

$$S_{v-s} = 221 \times 10^{-4} = 0,0221 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Зададимся уровнем пульсаций 20% от тока I_m :

$$\Delta I = 0,2 I_m = 3,4 \text{ А}$$

Тогда необходимая индуктивность дросселя составит

$$L = \frac{S_{v-s}}{\Delta I} = \frac{0,0221}{3,4} = 0,0065 \text{ Гн}$$

Из-за пульсаций тока в дросселе его амплитудное значение будет выше на $20/2=10\%$ величины I_m , поэтому наибольшая запасаемая в дросселе энергия будет равна [27].

$$W_L = \frac{L \times (1,1 I_m)^2}{2} = \frac{0,0065 \times (1,1 \cdot 17)^2}{2} = 1,14 \text{ Дж}$$

2.6 Генератор

Генератор обеспечивает энергией силовую схему и схему управления. Поскольку основным потребителем энергии является силовая схема, расчет необходимой мощности генератора выполним из данных, что наибольшая потребляемая мощность наблюдается в режиме ($F_{эм}=10^4$, $f=250\text{Гц}$) и составляет $P=6900\text{Вт}$. Поскольку электромагнитов два, мощность генератора оценим по формуле

$$Q = k_Q \times P = 1,5 \times 6900 = 10350 \text{ ВА}$$

Здесь k_Q – поправочный коэффициент мощности, который введем для учета сложного характера энергопотребления. (Токи каждой фазы генератора будут несинусоидальны, поскольку основной нагрузкой являются выпрямители зарядных блоков). Кроме того, на экспериментальной установке желательно иметь некоторый запас по мощности на случай реализации не

оговоренных заранее режимов и неучтенных в расчете факторов. Поэтому рекомендуемая мощность синхронного генератора 15 кВА, напряжение – 380В, трехфазное

2.7.Выпрямитель

Для обеспечения питания зарядного устройства необходимо поставить выпрямитель поскольку исходя из технического задания электропитание обеспечивается 3-х фазной сетью напряжением 380 В. В качестве выпрямитель используем мостовой 3-х фазный выпрямитель построенные по схеме Ларионова рис 17. Для простоты конструкции в качестве вентилей применим диоды

$$I = \frac{P}{U} = \frac{15000}{380} \approx 40A$$

Для обеспечения необходимого запаса прочности выберем диоды Д232-80-12 , основные параметры которого приведены в таблице 4 [20,22,36].

Таблица 4 - Основные параметры диода Д232-80-12

№ п/п	Параметр	Значение
1	Максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии I_{trms} , А	125
2	Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_f , А	80
3	Обратное импульсное напряжение, В	1200

2.8.Разработка принципиальной схемы.

Упрощенная структурная схема представлена на рис 27.

В связи с использования в зарядном устройстве IGBT-транзисторов, которым перед началом работы драйверами должны быть выставлены, необходимы управляющие сигналы.

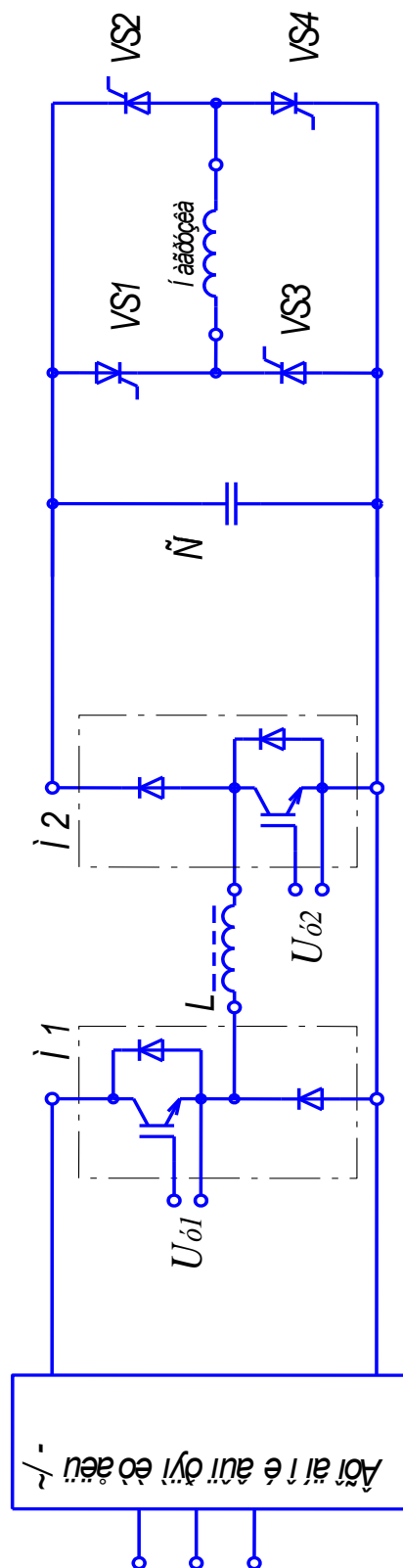


Рисунок 27 – Упрощённая схема питания кодоимпульсного сейсмоисточника.

При включении схемы в сеть питание необходимо обеспечить первоначальное включения схемы управления, а далее силовой части. Это связано с тем, что в момент включения транзисторы могут находиться не в начальном состоянии, что может привести к их выходу из строя. Данное требование, возможно, реализовать, если после автоматического выключателя QA1 поставить магнитный пускатель SB 2, который будет обеспечивать необходимую задержку включения силовой части. Так же в выходной цепи выпрямителя включена обмотка реле максимального тока KA1, предназначенного для аварийного отключения пускателя KM1 при выходном токе выпрямителя больше 80 А.

Для защиты модулей M1 и M2 от перенапряжений подключаются демпфирующие цепочки C2,C3,R3 для M1 и C4...C6,R5 для M2 которые осуществляют сброс энергии при выключениях модулей в конденсатор C1 и накопитель C9....C16. Исходя из условий максимального тока модулей и выходного напряжения выберем демпфирующие цепочки [13, 16].

C2...C5:K78-1000B-0,1мкФ±10%

C6:K75-24-1000B-0,22мкФ±10%

R4:ПЭВ-25-750 Ом±5%

R5:5W100J

Для защиты модуля M2 от перенапряжения на выходе применим цепочку из тиристора VS1(T151-63-16) и варисторов R6,R7, которая будет работать по принципу если напряжения на выходе достигает величины пробоя варисторов R6, R7, тиристор VS1 включается и шунтирует выход зарядного устройства, которое в свою очередь начнет работать в режиме ограничителя тока дросселя. Одновременно через резистор R9 и диод VD9 произойдет разряд накопителя.

Таблица 5 - Основные параметры тиристора Т151-63-16

№ п/п	Параметр	Значение
1	Максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии I_{rms} , А	99
2	Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_{tav} , А	63
3	Обратное импульсное напряжение, В	1500
4	Время включения t_q , мкс	30

R6,R7 – Варисторы 470В

R9: МЛТ-2-51 кОМ $\pm 5\%$

VD9: Д25-12

Важным моментом для работы зарядного устройства является его отключения от генератора токовых импульсов в момент начала работы сейсмоисточника, поскольку во время работы напряжение на накопитель меняется очень быстро и в определенный момент становится отрицательным. Поэтому на время формирования импульса необходимо отключить зарядное устройство от накопителя. Данную функцию будет выполнять оптронный тиристор VU1. Исходя из протекающего тока и обратного напряжения, выбрали оптронный тиристор ТО132-80-16, данные которого приведены в таблице 2.6

Однако существует доля вероятности, что оптронный тиристор не отключит схему заряда от накопителя. Для этого случая необходимо предусмотреть защиту транзисторного модуля. Для этого поставим диод VD10 Д232-80-12 данные в таблице 6.

Таблица 6 - Основные параметры тиристорного оптрона ТО132-80-16

№ п/п	Параметр	Значение
1	Максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии I_{tms} , А	100
2	Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_f , А	80
3	Обратное импульсное напряжение, В	1600

Так как катушка подмагничивания запитывается напрямую от выпрямителя необходимо предусмотреть ее защиту для этого поставим предохранитель и дугогасительный диод VD11 Д232-80-12 с резистором R [10,11, 37, 38].

FU1:ПК80

R: МЛТ-2-360 Ом $\pm 5\%$

Полная электрическая принципиальная схема приведена на рисунке 28.

2.9 Перечень элементов

Выбранные в данной главе элементы сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Перечень элементов

Обозначение	Наименование	Кол
	<u>Конденсаторы</u>	
C1	K 75 - 17 – 1000В – 50мкФ $\pm 10\%$	1
C2...C5	K78 – 2 – 1000В – 0,1мкФ $\pm 5\%$	4
C6	K75 – 24 – 1000В – 0,22мкФ $\pm 5\%$	1
C7	K50 – 35 – 63В – 1мкФ $\pm 50\% \dots -20\%$	1
C8	МБГЧ–500В – 2мкФ $\pm 10\%$	1
C9...C16	K75 – 17 – 1000В – 50мкФ $\pm 10\%$	8

Продолжение таблицы 7.

Обозначение	Наименование	Кол
	<u>Предохранители</u>	
FU1	ПК80	1
	<u>Лампа</u>	
HL1	AL-22	1
	<u>Магнитный пускатель</u>	
KM1		1
	<u>Дроссель</u>	
L1	ДПМ-0,1-7мГн	1
	<u>Модули</u>	
M1	МДТКИ2-75-17	1
M2	МТКИД2-75-17	1
M3,M4	М2ТБИ-200-20	2
	<u>Автомат</u>	
QA1	A33K-100	1
	<u>Резисторы</u>	
R1	МЛТ2-200 Ом \pm 5%	1
R2,R3,R6,R7	Варистор 470В	4
R4	ПЭВ-25-750 Ом \pm 5%	1
R5	5W100J	1
R8	МЛТ-2-2,2 Ом \pm 5%	1
R9	ПЭВ-50-100 Ом \pm 5%	1
R10	МЛТ2-3600 Ом \pm 5%	1

Продолжение таблицы 7.

Обозначение	Наименование	Кол
	<u>Кнопки</u>	
SB1		1
SB2		1
	<u>Диоды</u>	
VD1...VD6	Д232-80-12	6
VD7,VD8	IR40EPF12	2
VD9	L25-12	1
VD10,VD11	Д232-80-12	2
	<u>Тиристоры</u>	
VS5	T151-63-16	

Выводы

Во второй главе произведено определение геометрических размеров электродинамического привода, определены потери в нем. Произведена разработка генератора токовых импульсов, разрядного блока, дросселя, генератора, выпрямителя, разработана электрическая принципиальная схема, составлен перечень элементов.

Заключение

В ходе ВКР была достигнута цель работы: разработка системы питания электродинамического кодоимпульсного сейсмоисточника.

Для достижения цели были решены задачи работы:

1. Обзор схем генераторов токовых импульсов
2. Обзор схем разрядных блоков
3. Определение геометрических размеров электродинамического преобразователя
4. Выбор и расчет всех блоков системы питания
5. Разработка электрической принципиальной схемы, выбор элементов.

Положительным эффектом от применения предлагаемой схемы является удешевление стоимости работ по проведению сейсморазведки, путем внедрения более дешевого сейсмоисточника, что в дальнейшем позволит улучшить качество проводимых работ и снизить затраты и ускорить разработку новых месторождений. Это позволит в дальнейшем снизить стоимость добычи полезных ископаемых и как итог возможное снижение цен на энергоресурсы.

В процессе оформления ВКР была использована следующая литература [1,17, 19, 23, 24, 32]

Список используемой литературы

1. Александров А.А. Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г.- М.:Энергоатомиздат, 1990. - 288с.
2. В.П.Кириенко, Е.А. Копелович «Режимы работы высоковольтных зарядных устройств с дозирующими конденсаторами для электрофизических установок» - журнал «Электричество» №9/2005
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин - М.: Высшая школа, 1982.- 496с.
5. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.
6. Ивашин В.В. Импульсный электромагнитный привод источника сейсмических колебаний // Электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы. Сб. науч. стат., ч.2, Екатеринбург, 2003г., С.141-144.
7. Ивашин В.В., Кудинов А.К. «К вопросу оптимизации геометрических соотношений зоны преобразования энергии электродинамического преобразователя». - Тольятти, ТПИ, 1991. - 12 с.:ил.
8. Ивашин В.В., Симкин С.А., Чичинин И.С. Энергетика электромагнитного резонансного вибратора в автоколебательном режиме.- Геология и геофизика, 1978, №10, С.119-129.
9. Ивашин, В.В. Электромагнитный вибратор с управляемой частотой колебаний / В.В. Ивашин, М.В. Позднов, А.В. Прядилов // Наука – производству. - 2004. - №4(72). - С.46-47.
10. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.platan.ru](http://www.platan.ru) (дата обращения: 17.05.2023)

11. Каталог электронных компонентов [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.chip-dip.ru](http://www.chip-dip.ru) (дата обращения: 17.05.2023)
12. Компания SERSEL объявляет о вездеходном вибраторе нового поколения NOMAD 65. // Приборы и системы разведочной геофизики №01(03)/2003, ежеквартальное официальное издание саратовского евро-азиатского геофизического общества.
13. Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присняков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.
14. Кострыгин Ю.П. Сейсморазведка на сложных сигналах. – Тверь: Издательство ГЕРЕС, 2002. - 416 с.
15. Кублановский Я. С. Тиристорные устройства. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1987. - 112 с.: ил. - (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1104).
16. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.
17. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
18. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Отв. Ред. А.Н. Подгорный; АН УССР Институт машиностроения. – Киев: Наук.думка, 1989. – 208с.
19. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)

20. Полупроводниковые приборы: Диоды выпрямительные. Столбы. Сборки. Блоки. Матрицы. Справочник / сост. Л. А. Калистратова - М.: Радио и связь, 1983. - 160 с. : ил.
21. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник / А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др.; Под ред. Н.Н. Горюнова. - 2-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1984 - 744 с. : ил.
22. Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.
23. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)
24. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1989. - 448 с.: ил.
25. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: СОЛОН-Р 2001. – 327с. ил.
26. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – 2 изд., испр - М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 416с.: ил.
27. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.
28. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995 г. – 664 с.
29. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с., ил.

30. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная невзрывная сейсморазведка.- М.: Недра, 1988.-237с.
31. Экспериментальные исследования процесса возбуждения сейсмических волн вибрационным источником / И.С. Чичинин, Г.П. Евчатов, В.Н. Сидоров и др.- В кн.: Вопросы возбуждения сейсмических волн вибрационным источником. Новосибирск, 1976, с.65-86.
32. Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
33. Яблонский А.А. и Норейко С.С. Курс теории колебаний. Учеб. пособие для студентов вузов. Изд.3-е, М., «Высш.школа», 1975, 248 с.
34. Buck converter [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter (дата обращения: 07.03.2023)
35. DC-DC Converter Technologies for Electric/Hybrid Electric Vehicles [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powerguru.org/dc-dc-converter-technologies-for-electrichybrid-electric-vehicles/> (дата обращения: 07.05.2023)
36. Diodes Incorporated [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diodes.com> (дата обращения: 27.05.2023)
37. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2021)
38. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2023)
39. LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150-kHz [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf> (дата обращения: 07.03.2023)