Тольяттинский политехнический институт

Кафедра «Промышленная Электроника»

Курсовой проект по Преобразовательной Технике

**«СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ»**

Студент: Глушенков М.С.

Вариант: 19

Группа: Э-405

Преподаватель: Бар В.И.

Тольятти 1998

**Содержание**

Введение

1. Анализ состояния перспектив проектирования и разработки статических преобразователей средней мощности (СПСМ).

2. Расчёт токов и напряжений. Выбор тиристоров и охладителей

3. Расчёт семейства внешних характеристик.

4. Расчет высших гармонических кривой выпрямленного напряжения.

5. Расчет сглаживающего фильтра. Выбор конденсаторов. Расчет сглаживающего дросселя.

6. Электромагнитный расчет трансформатора.

7. Выбор устройств защиты от аварийных токов и перенапряжений.

8. Разработка функциональной схемы системы управления.

Заключение.

Список литературы.

Перечень элементов.

Введение

При использовании в промышленной электронике разнообразного оборудования его нужно снабжать необходимыми источниками питания, которые должны обеспечивать надёжную безаварийную работу питаемых узлов. Наибольшим спектром потребительских качеств обладают вторичные источники напряжения - преобразователи на основе полупроводниковых приборов. Целью настоящей работы является расчёт источника питания, преобразующего и выпрямляющего входное напряжение до необходимой выходной величины с требуемым коэффициентом пульсаций и величиной выходного тока. Путём использования трансформатора напряжения, соответствующей вентильной выпрямительной схемы, фильтра гармонических составляющих выходного напряжения и надёжной системы защиты от перегрузок и коротких замыканий.

**1.** **Анализ состояния перспектив проектирования и разработки СПСМ**

Силовые полупроводниковые преобразовательные устройства выпускаются на малые, средние и большие мощности. Поэтому они могут использоваться во всех областях народного хозяйства: для электролиза на химических и алюминиевых предприятиях, для тяговых подстанций, для электрифицированного железнодорожного транспорта. А также для регулируемого электропривода, в том числе электропривода прокатных станов, для средств связи, для питания различного рода подъемников, лифтов, магнитных кранов, для подземного шахтного оборудования, возбудителей синхронных машин. Кроме того в бортовых системах электропитания различного назначения (преобразователи малой мощности), в устройствах автоматики, а также в системах автоматического управления. Среди разнообразных требований, предъявляемых к преобразователям, общими являются обеспечение максимальных к. п. д. и коэффициента мощности отдельных узлов и элементов, а также максимальной надежности и устойчивости. Полупроводниковые преобразователи наиболее качественно удовлетворяют перечисленным требованиям. Они отличаются малыми габаритами и весом. Так, на один киловатт преобразованной мощности приходится вес оборудования электромашинного агрегата в 15—30 кг, ионного — в 2—5 кг, а полупроводникового в 1—2 кг (цифры приведены без учета питающего трансформатора).

Полупроводниковые преобразователи потребляют очень малую мощность управления, их коэффициент усиления превышает 100 000. Они почти безинерционны. Отсутствие контактов, подвижных и вращающихся частей, возможная универсальность создания отдельных блоков преобразователей, постоянная готовность к работе и другие особенности открыли широкую возможность их применения.

Благодаря специфическим свойствам полупроводниковых вентилей разработаны и разрабатываются совершенно новые типы преобразователей. К ним относятся выпрямители, в которых в одном блоке объединены и трансформатор и преобразователь. Такие выпрямители экономически выгодны, так как не требуют специальных помещений, могут эксплуатироваться на открытых площадках, не нуждаются в соединительных шинах, имеют единую масляную систему охлаждения. Мощность одного такого преобразователя может быть огромной (десятки мегаватт). Перспективными являются импульсные преобразователи постоянного напряжения на тиристорах. Такие преобразователи на средние и большие мощности могут применяться в электрифицированном городском и железнодорожном транспорте постоянного тока вместо регулировочных и пусковых реостатов, так как их КПД очень высок. Дальнейшее совершенствование полупроводниковых вентилей, а также оптимальное сочетание динамических параметров вентилей с электрическими режимами преобразователя при его проектировании, использование эффективных методов исследования преобразователей будут способствовать разработке преобразовательных устройств с высокими технико-экономическими показателями.

В настоящее время в силовой электронике значительное распространение получили статические полупроводниковые преобразователи. В целом их можно разделить на однофазные и трёхфазные устройства. Трёхфазные системы делятся на трёхфазные мостовые полупроводниковые преобразователи, работающие в выпрямительном и инверторном режимах и шестифазные выпрямители с уравнительным реактором.

Однофазная двухполупериодная схема с выводом нулевой точки. Простейший двухполупериодный преобразователь состоит из однофазного двухобмоточного трансформатора с нулевой точкой и двух вентилей. Нагрузка включается между нулевой точкой, разделяющей вентильную обмотку трансформатора на две части, и катодами вентилей. В схеме имеет место двухфазное выпрямление (m=2). Схема применяется, как правило, при сравнительно небольших мощностях преобразователя (до 100 кВт) или в специальных случаях при мощности до 3000 кВт. Ее особенностью является то, что токи в частях вентильных обмоток имеют одинаковое направление, содержат постоянную и переменную составляющие.

Трехфазная нулевая схема. Преобразователь, выполненный по этой схеме, состоит из трехфазного двухобмоточного трансформатора и трех вентилей. Поскольку выпрямленные напряжения и токи имеют три пульсации за период, то фазность выпрямления равна трем (т=3). Особенностью схемы является наличие в магнитопроводе трансформатора потока вынужденного намагничивания из-за нескомпенсированных магнитодвижущих сил сетевой и вентильной обмотки фазы. Трехфазную нулевую схему с вентильными обмотками, соединенной в звезду с нулевой точкой, применяют крайне редко и как исключение.

Шестифазная нулевая схема. Преобразователь состоит из трехфазного трансформатора, вентильная обмотка которого разделена на две части, и двух трехфазных вентильных групп. Вентили V1, V3, V5 первой группы присоединены к фазам прямой звезды, а вентили V2, V4, V6 - к соответствующим фазам обратной звезды. Нулевые точки звезд 01 и 02 связаны между собой через однофазный уравнительный реактор с ферромагнитным магнитопроводом. Благодаря уравнительному реактору выравниваются мгновенные значения анодных напряжений следующих друг за другом фаз нечетной и четной групп вентилей. Этим обеспечивается параллельная работа трехфазных групп, в результате чего в любой момент времени ток проходит одновременно через две вентильные обмотки. Выпрямленное напряжение имеет за один период шестифазную пульсацию (m=6). Вследствие хорошего использования вентилей и отсутствия в трансформаторе потока вынужденного намагничивания схему две обратные звезды с уравнительным реактором применяют в преобразователях с относительно низким выпрямленным напряжением и большим током.

Однофазная мостовая схема. Однофазный преобразователь по мостовой схеме состоит из однофазного трансформатора и четырех вентилей. В этой схеме по обеим обмоткам трансформатора протекает переменный ток, что исключает возможность появления однонаправленного потока. Для уменьшения потоков рассеяния в преобразователях с трансформаторами стержневого типа обе обмотки располагаются симметрично по обоим стержням магнитной системы либо используется трансформатор броневого типа. Выпрямленное напряжение имеет двухфазную пульсацию (m=2).

Трехфазная мостовая схема. Преобразователь по трехфазной мостовой схеме (схема Ларионова) состоит из трехфазного трансформатора и шести плеч вентилей. В этой схеме сетевые обмотки и вентильные обмотки трансформатора соединяют в звезду или треугольник. Магнитная система трансформатора уравновешена, так как магнитодвижущие силы обмоток скомпенсированы. Выпрямленное напряжение имеет шестикратную пульсацию, и фазность преобразования равна шести (т = 6). Преобразователь имеет ряд преимуществ: мощности сетевых и вентильных обмоток равны, благодаря чему обеспечивается хорошее использование трансформатора; при пробое вентиля обратного тока нет; обратное напряжение мало, так как оно распределяется между двумя последовательно включенными вентилями; в магнитопроводе трансформатора нет потоков вынужденного намагничивания. Преобразователь по мостовой схеме применяется весьма широко.

В таблице 1.1 [1] приведены сравнительные характеристики выпрямителей различных типов для нагрузки активно-индуктивного типа.

Где: q0 - коэффициент пульсаций, Ia - среднее значение тока вентиля, Id - среднее значение выходного тока выпрямителя, Uобр - амплитуда обратного напряжения на вентилях, Ud - среднее значение выходного напряжения выпрямителя, ST - расчётная мощность трансформатора, Pd - значение мощности на нагрузке.

Таблица 1.1.

Основные показатели выпрямителей.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип выпрямителя | Пульсность **m** | Минимальное число вентилей |  |  |  |  |
| Однофазный нулевой | 2 | 2 | 0,67 | 0,50 | 3,14 | 1,34 |
| Однофазный мостовой | 2 | 4 | 0,67 | 0,50 | 1,57 | 1,11 |
| Трёхфазный нулевой | 3 | 3 | 0,25 | 0,33 | 2,09 | 1,34 |
| Трёхфазный мостовой (схема Ларионова) | 6 | 6 | 0,06 | 0,33 | 1,05 | 1,05 |
| Двойной трёхфазный с уравнительным реактором | 6 | 6 | 0,06 | 0,17 | 2,09 | 1,26 |

В настоящем курсовом проекте рассчитывается преобразователь, построенный на основе мостовой схемы Ларионова.

**2. Расчёт токов и напряжений. Выбор тиристоров и охладителей**

Основными элементами преобразователя являются трансформатор и группа тиристоров. При расчёте из всех параметров трансформатора будем учитывать только индуктивности его обмоток, обусловленные наличием потоков рассеяния; принимаем, что ток холостого хода трансформатора равен нулю.

1. Выбор минимального значения угла управления

αmin=100.

2.2. Номинальное и максимальное значение угла управления

(2.1,2.2)



где К1,К2 - коэффициенты;

αnomrad - номинальное значение угла управления;

αmaxrad - максимальное значение угла управления;

(2.3,2.4)



где Upitlin=380 в - напряжение питания линейное;

ΔUpitlin=10 % - пределы изменения линейного напряжения питания.

Получено К1=0.9; К2=1.1; αnom=27.585; αmax=36.317.

2.3. Выбрано относительное напряжение Ud0=0,65.

2.4. Выпрямленный ток в относительных единицах

(2.5)



1. Электродвижущая сила (ЭДС) выпрямителя

, (2.6)



где Udnom=Ud+Ua

Принято Ua=6 В.

Получено Ed=301,538 В.

2.6. Амплитудное значение фазной ЭДС на вторичной стороне трансформатора:

(2.7)



Получено E2mf=182,31 В.

2.7 Индуктивное сопротивление

Ом (2.8)



где Id=100 А - ток в нагрузке;

Получено Xγ=0,746 Ом

2.8. Угол коммутации

(2.9)



Получено γном=37,979°.

2.9. Наибольший выпрямленный ток короткого замыкания (КЗ)

(2.10)



Получено Idkz=244,3 А.

2.10. Действующее значение первой гармоники тока вторичной обмотки трансформатора

, (2.11)



где , (2.12)



где (2.13)



(2.14)



Получено I2f1=76,62 A.

2.11. Действующее значение токов вторичных обмоток трансформатора, соединённых по схеме «звезда»

(2.15)



Получено I2f=77,223 А.

2.12. Коэффициент трансформации трансформатора

(2.16)



Получено Ktr=1,702.

2.13. Действующее значение токов первичных обмоток трансформатора, соединённых по схеме «звезда»

(2.17)



Получено I1f=45,375 А.

2.14. Полная мощность трансформатора

(2.18)



Получено S=29,864 кВт.

2.15. Угол сдвига первой гармоники входного тока относительно фазной ЭДС:

(2.19)



Получено φ=48,588°.

1. Активная мощность на входе выпрямителя

(2.20)



Получено Р=19,6 кВт.

2.17. Коэффициент мощности выпрямителя

(2.21)



Получено К=0,656.

1. Среднее значение анодного тока

(2.22)



Получено Iasr=33,33 А.

2.19. Максимальное значение анодного тока Iam=Id=100 A.

2.20. Действующее значение анодного тока

(2.23)



Получено Ia=94,578 А.

2.21. Скорость спада анодного тока в момент выключения вентиля

(2.24)



dIadΘ=94,578 А/мкс

2.22. Анодное напряжение в момент включения вентиля

(2.25)



Получено Uaon=146,221 В.

2.23. Анодное напряжение в момент выключения вентиля

(2.26)



Получено Uaoff=287,485 В.

2.24. Максимальное значение обратного анодного напряжения

(2.27)



Получено Uarm=-315,77 В.

2.25. Все расчеты проведены для значений Ud0 от 0,45 до 0,8 с шагом 0,05. Результаты занесены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Параметры преобразователя при различных значениях Ud0

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ud0 | Параметры преобразователя | | | | | | | | | | | |
| Id0 | Ed B | E2mf B | Xγ мОм | γnom рад | γnom град | Idkz кA | | I21 A | I2f1 A | I2f A | Ktr |
| 0,45 | 0,756 | 435,6 | 263,3 | 1990 | 1,076 | 61,6 | | 0,132 | 0,563 | 74,55 | 74,33 | 1,18 |
| 0,50 | 0,669 | 392 | 237,0 | 1576 | 0,975 | 55,9 | | 0,149 | 0,503 | 75,13 | 75,05 | 1,31 |
| 0,55 | 0,583 | 356,3 | 215,5 | 1255 | 0,874 | 50,1 | | 0,171 | 0,441 | 75,67 | 75,76 | 1,44 |
| 0,60 | 0,496 | 326,7 | 197,5 | 979 | 0,77 | 44,14 | | 0,202 | 0,378 | 76,16 | 76,48 | 1,57 |
| 0,65 | 0,409 | 301,5 | 182,3 | 746 | 0,663 | 38,0 | | 0,244 | 0,314 | 76,61 | 77,22 | 1,7 |
| 0,70 | 0,323 | 280 | 169,3 | 549 | 0,55 | 31,5 | | 0,309 | 0,249 | 77,03 | 78,0 | 1,83 |
| 0,75 | 0,236 | 261,3 | 158,0 | 373 | 0,429 | 24,6 | | 0,423 | 0,183 | 77,39 | 78,82 | 1,96 |
| 0,80 | 0,15 | 245 | 148,1 | 221 | 0,295 | 16,9 | | 0,668 | 0,116 | 77,69 | 79,71 | 2,1 |

Продолжение таблицы 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ud0 B | Параметры преобразователя | | | | | | | | | | |
| I1f A | S кBт | φ рад | φ град | Р кВт | К | Iа A | Uaon B | | Uaof B | Uarm B |
| 0,45 | 63,1 | 41,5 | 1,081 | 61,93 | 19,6 | 0,472 | 91,04 | | 211,21 | 456,1 | -456,1 |
| 0,50 | 57,32 | 37,73 | 1,025 | 58,74 | 0,519 | 91,9 | | 190,09 | 407,8 | -410,5 |
| 0,55 | 52,61 | 34,63 | 0,968 | 55,48 | 0,566 | 92,78 | | 172,81 | 364,6 | -373,18 |
| 0,60 | 48,68 | 32,04 | 0,909 | 55,11 | 0,612 | 93,67 | | 158,41 | 324,8 | -342,8 |
| 0,65 | 45,38 | 29,86 | 0,848 | 48,59 | 0,656 | 94,58 | | 146,22 | 287,5 | -315,8 |
| 0,70 | 42,56 | 28,01 | 0,783 | 44,88 | 0,7 | 95,52 | | 135,78 | 251,6 | -293,2 |
| 0,75 | 40,14 | 26,42 | 0,714 | 40,92 | 0,742 | 96,53 | | 126,73 | 216,1 | -273,7 |
| 0,80 | 38,1 | 25,05 | 0,639 | 36,6 | 0,783 | 97,63 | | 118,8 | 179,7 | -256,6 |

Выбрано относительное напряжение Ud0=0,65 как оптимальное.

2.26. В качестве силовых полупроводниковых приборов выбираем унифицированные низкочастотные тиристоры типа ТБ –113-200 [3]. Которые применяют в цепях постоянного и переменного токов преобразователей энергии. А также в различных силовых электроустановках. Тиристоры обладают параметрами, представленными в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Сравнение полученных параметров с параметрами тиристора ТБ-113-200

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Максимальное значение анодного тока, А | Действующее значение анодного тока, А | Скорость спада анодного тока в момент выключения тиристора, А/мкс | Максимальное значение обратного напряжения, В |
| Рассчитанные значения | 100 | 94,578 | -315,77 | 315,77 |
| Справочные значения | 500 | 300-400 | -500 | 600-1200 |

Ввиду отсутствия стандартных охладителей при монтаже тиристоров будут учитываться конструктивные особенности устройства в целом. Надёжный электрический и тепловой контакты обеспечиваются за счёт приложения осевого усилия сжатия 10000±1000 Н. При этом охладитель и система прижима должны обеспечивать равномерное давление по всей площади контактных поверхностей тиристоров. Для улучшения контактного соединения тиристоров с охлаждающим элементом используется смазка типа КПТ-8 по ГОСТ 19783-74.

3. Расчёт семейства внешних характеристик.

**3.1 Внешние характеристики режима 2-3**

Зависимость Ud=f(Id) для режима 2-3 прямые линии, которые строятся по двум точкам. Для первой точки каждой характеристики принято Id=0. Напряжение

Ud01 =Ed\*cos(α) (3.1)

Расчет проведен для ряда значений α. Результаты занесены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Внешние характеристики режима 2-3

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Напряжение | Значения α, град | | | | | | |
| 0 | 15 | 27,6 | 45 | 60 | 70 | 80 |
| Ud01 | 301,54 | 291,26 | 267,2 | 213,22 | 150,77 | 103,13 | 52,36 |
| Ud02 | 266,73 | 256,46 | 232,42 | 178,41 | 115,96 | 68,33 | 17,55 |

Для второй точки каждой характеристики принято

Id=Ikz\*0,2=48,86 (3.2)

(3.3)



**3.2 Внешние характеристики режима 3.**

Для α=0 граничной между режимами 2-3 и 3 является точка А, для которой

Для α=30° границей для режимов 3 и 3-4 является точка В, для которой

Промежуточные точки участка А-В внешней характеристики соответствующей режиму



Угол α для режима 3 является вынужденным и изменяется от 0 до 30°, угол коммутации γ остается постоянным и равным 60°. Граница между режимами 2-3 и 3-4 для токов Id>IdgrB описывается тем же уравнением, что и участок А-В. Максимальное значение тока при Ud=0



Результаты расчета сведены в табл.3.2

Таблица 3.2.

Внешняя характеристика режима 3 и граница между режимами 2-3 и 3-4.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Значения Id,А | | | | | | | | | |
| 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 160 | 175 | 180 | 200 | 211,6 |
| Ud,B | 268,5 | 246,8 | 227,6 | 216,1 | 182,9 | 175,5 | 148,7 | 132,3 | 91,2 | 0 |

**3.3 Внешняя характеристика режима 3-4**

Внешняя характеристика для α=30° строится по двум точкам: точке В и точке на оси Id=244,1 A.

Внешняя характеристика для α=45° также строится по двум точкам:

Для первой точки ток

*(3.10)*

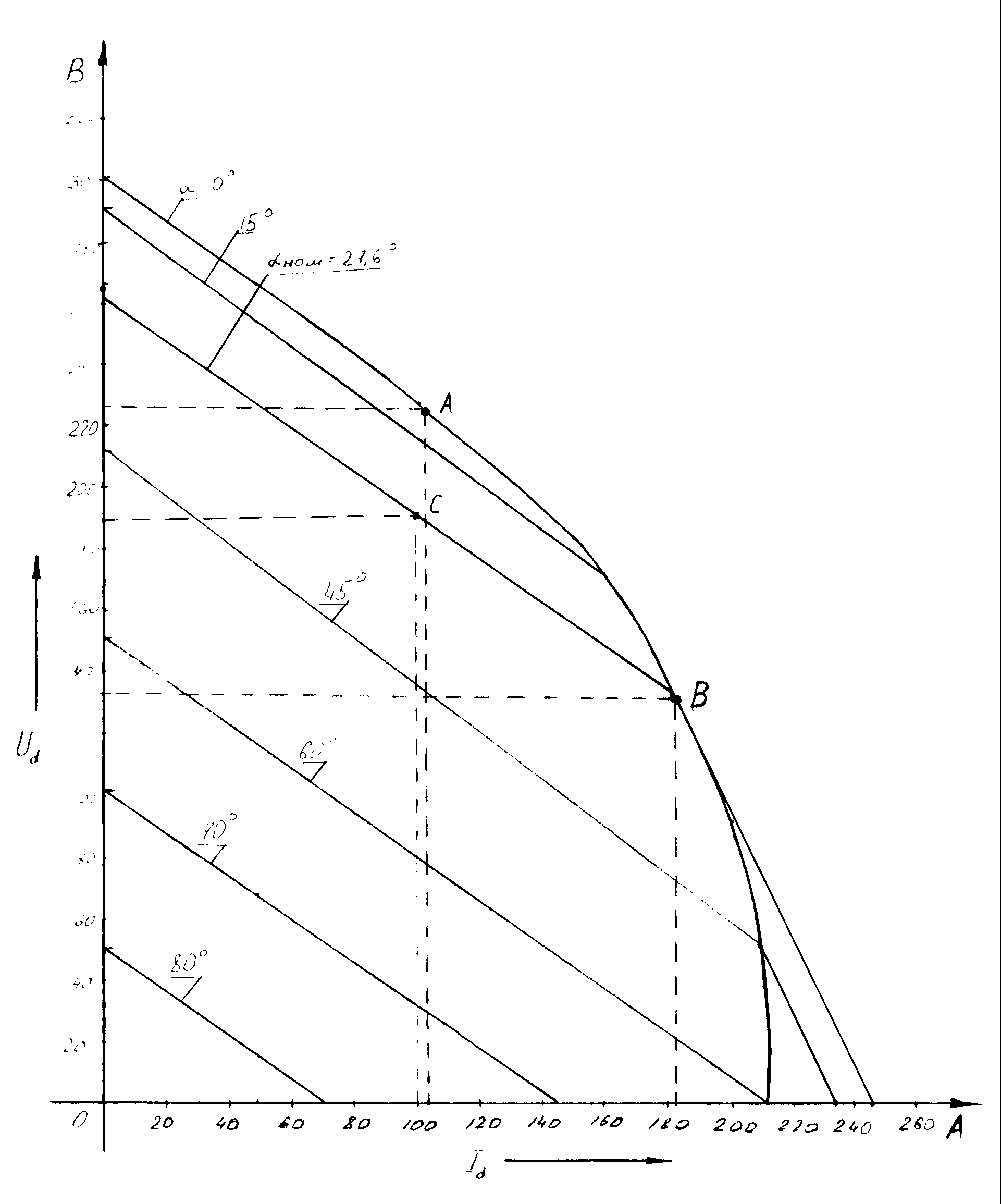


Напряжение находится по уравнению для режима 3. Ud=56,5.

Вторая точка находится на оси Id

Внешние характеристики показаны на рис. 3.1.

Семейство внешних характеристик трехфазного мостового выпрямителя в диапазоне от холостого хода до короткого замыкания.



А(106,226), В(183,130), С(100,190)

Рис 3.1

**4. Расчет высших гармонических кривой выпрямленного напряжения**

**4.1** Действующее значение n-ой гармоники выпрямленного напряжения.

(4.1)



где: (4.2,4.3)



n=6k, k=1,2,3,4,5,6

Результаты расчета занесены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1.

Действующие значения n-ых гармоник выпрямленного напряжения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Гармоники | | | | | | |
| 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Udn | 4,402 | 21,62 | 13,04 | 2,804 | 9,618 | 4,63 | 3,642 |

**4.2** Действующее значение первой гармоники анодного напряжения при f(1)=fc=50Гц:

(4.4)



Получено: Ua1=93,978.

**4.3** Действующее значение высших гармоник анодного напряжения с порядковыми номерами n=6k±1, k=0...9:

(4.5)



где: (4.6,4.7)



Результаты расчета занесены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2.

Действующие значения высших гармоник анодного напряжения с номерами 6k±1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Гармоники | | | | | | |
| 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 17 | 19 |
| Udn | 42,86 | 10,634 | 16,19 | 9,241 | 3,721 | 7,715 | 5,767 |

**4.4** Действующее значение высших гармоник анодного напряжения с порядковыми номерами n=3k, k=0...4:



где:

(4.8,4.9)



Результаты расчета занесены в таблицу 4.3

Таблица 4.3

Действующие значения высших гармоник анодного напряжения с номерами 3k

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Гармоники | | | | | |
| 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 |
| Udn | 42,86 | 10,63 | 16,219 | 9,24 | 3,72 | 7,715 |

**5. Расчет сглаживающего фильтра. Выбор конденсаторов. Расчет сглаживающего дросселя**

В качестве сглаживающего фильтра выбрана схема Г - образного звена с дросселем и конденсатором. Расчет проведен для шестой гармоники.

**5.1 Индуктивность фильтра**

(5.1)



где f=50 Гц - частота питающего напряжения;

Получено: L =33,04 мкГн.

* 1. Коэффициент фильтрации:

(5.2)



Получено Kf=8,191.

5.3 Ёмкость фильтрующего конденсатора:

(5.3)



Получено C=0,061 Ф.

Выбор индуктивности и емкости фильтра.

Примем емкость 1 мФ, тогда индуктивность фильтра

Гн (5.4)



5.4 Амплитуда основной гармоники тока

(5.5)



**5.5 Выбор типа конденсатора**

Выбираем [5] конденсатор типа К50 – 17 –400 В –1000 мкФ с диапазоном рабочих температур –400С до +700С: оксидный алюминиевый с фольгированными обкладками. Эти конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока. Наибольшая допустимая амплитуда переменной составляющей пульсирующего напряжения Uд m = 20 В для Cном = 1000 мкФ, Uном = 400 В, fC = 50 Гц. При увеличении частоты уменьшается Uд m.

**5.6 Расчёт сглаживающего дросселя**

Принято допущение, что магнитное сопротивление зазора во много раз больше магнитного сопротивления магнитопровода. Следовательно, индуктивность дросселя будет зависеть только от магнитной проводимости зазора.

5.6.1 Выбираем для дросселя водяное охлаждение, так как Id=100А.

5.6.2 В качестве материала сердечника дросселя выбрана насыщенная горячекатаная сталь (μ`=600). Заданы начальные условия: k1=4, k2=10, плотность тока jd=10\*106 A/м2, km=0.25, число витков w=60, удельное сопротивление провода обмотки ρ40=1.9\*10-8 Îì\*ì. При расчёте использован метод последовательных приближений.

5.6.3 Длина немагнитного зазора:

(5.6)



Получено: lz=4,37 мм.

5.6.4 Площадь поперечного сечения зазора:

(5.7)



Получено: Sz=2872 мм2.

5.6.5 Геометрические размеры магнитопровода дросселя:

(5.8,5.9)



Получено a=19 мм; b=75 мм; c=38 мм; q=10 мм2.

5.6.6 Средняя длина витка обмотки:

(5.10)



Получено: lcp= 134 мм.

5.6.7 Активное сопротивление обмотки:

(5.11)



Получено: R=8,92 мОм.

5.6.8 Падение постоянной составляющей напряжения на активном сопротивлении обмотки дросселя:

Uad=2\*Id\*R (5.12)

Получено: Uad=1,783 В.

5.6.9 Потери в меди дросселя

Pdr=Id2\*R (5.13)

Получено: Pdr=0,4 кВт.

**5.7 Тепловой расчёт сглаживающего дросселя**

5.7.1 Расход охлаждающей воды

(5.14)



где Т1=20 оС - температура воды на входе в обмотку;

Т2=50 оС - температура воды на выходе из обмотки;

Получено: Q=3,2\*10-6 м3/0с.

5.7.2 Необходимая площадь сечения охлаждающей трубки:

(5.15)



где V=2 м/с - скорость подаваемой в трубку воды.

Получили S=0,016 см2.

Выбрана прямоугольная трубка сечением 0.25х0.25 см2.

5.7.3 Проверка на турбулентность согласно критерию Рейнднольца:

(5.16)



где μ`=0.661\*10-6 м2/с - кинематическая вязкость воды;

D0 - гидравлический эквивалент диаметра

(5.17)



Получено: D0=5,33 мм, Rl=1,616\*104 > 2300;

* + 1. Перепад давления по длине трубки

(5.17,5.18)



где К=3 – коэффициент шероховатости;

Получено: λ1=0.073.

(5.19)



С учетом уменьшения сечения трубы в местах стыков, пайки и.т.д. Δp увеличено в 1,5 раза.

Получено: Δp=1695 кН/м2

**6. Электромагнитный расчет трансформатора**

Трансформаторы для преобразовательных установок, как правило, работают в длительных режимах. В связи с этим для них необходимо тщательно выбирать конструктивные и технологические решения для создания магнитопроводов с минимальными потерями. В большинстве случаев трехфазные магнитопроводы трансформаторов выполняют стержневой конструкции, несимметричными, плоско шихтованными. Для питания аппаратуры от сети 50 Гц широко применяются трансформаторы броневого и стержневого типа. По технико-экономическим показателям предпочтительны трансформаторы стержневого типа, выполненные на стандартных магнитопроводах оптимальной формы. Броневая конструкция практически равноценна стержневой по массе, но уступает по объему и стоимости. При расчёте трансформатора используется методика из [6].

**6.1 Действующее значение линейного тока вентильной обмотки:**

(6.1)



где Id = 100 А – ток нагрузки.

**6.2** Действующие значения фазных напряжений холостого хода вентильной и сетевой обмоток U2ф и U1ф соответственно:

(6.2)



(6.3)



где Ed = 301,538 B - выпрямленное напряжение холостого хода выпрямителя; Uпит.лин. = 380 В - напряжение питания.

6.3 Коэффициент трансформации:

(6.4).



**6.4 Действующее значение линейного тока сетевой обмотки:**

(6.5).



**6.5** В большинстве случаев трехфазные магнитопроводы трансформаторов выполняют стержневой конструкции, несимметричными, плоскошихтованными. Выбираем диаметр стержня магнитопровода трансформатора с воздушным охлаждением для SТ = 30 кВ⋅А [6, таб.3.2], Dс = 125 мм. Для Dс = 120 мм, согласно [6, таб.2.1], сечение стержня П1=112,3 cм2, сечение ярма П2 = 115,3 см2, коэффициент использования площади круга kи = 0,914.

**6.6 Активное сечение стержня магнитопровода**:

м2  (6.7)



где КЗ = 0,96 – коэффициент заполнения сечения сталью при жаростойком электроизоляционном покрытии с толщиной листов, равной 0,3 мм.

**6.7 Число витков вторичной (вентильной) обмотки трансформатора:**

витков (6.8)



где В = 1,2 Тл – электромагнитная индукция в трансформаторе с естественным воздушным охлаждением с классом нагревостойкости изоляции В; fC = 50 Гц – частота питающей сети; qС = 0,01 м2 - активное сечение стержня магнитопровода.

**6.8 Число витков первичной обмотки:**

w1 = n ⋅ w2 = 1,7 ⋅ 48 = 81,72 ≈ 82 витка (6.9)

**6.10** **Сечение провода первичной обмотки:**

мм2 (6.10)



где j =2 А/мм2 – плотность тока в обмотках с классом нагревостойкости изоляции В для медного провода.

**6.11 Сечение провода вторичной обмотки:**

мм2 (6.11)



7. Выбор устройств защиты от аварийных токов и перенапряжений

Для обеспечения надежной работы преобразователя необходимо использовать быстродействующие системы защиты. Защита может быть построена на базе коммутационных аппаратов и плавких предохранителей, а также выравнивающих RCD – цепочек.

7.1 Выбор автоматического выключателя

При возникновении аварийного тока на входе преобразователя можно использовать токоограничивающие выключатели переменного тока. В рассчитываемом преобразователе на стороне сетевой обмотки применяем автоматический выключатель переменного тока серии А3712Б, характеристики которого, согласно [7] приведены в таблице 6.1.

Таблица 7.1

Справочные данные автоматического выключателя переменного тока серии А3722Б.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Значение |
| Частота сети, Гц | 50 |
| Номинальное напряжение выключателя, В | 380 |
| Номинальный ток выключателей, А | 250 |
| Номинальный ток электромагнитных расцепителей, А | 250 |
| Уставка по току срабатывания, А | 1600 |
| Механическая износостойкость выключателей, кол-во срабатываний | 16000 |

Автоматический выключатель серии А3712Б применяется для защиты электрических установок при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения; род тока – переменный; тип выключателя – токоограничивающий трехполюсный.

**7.2 Выбор плавких предохранителей**

Защита на базе плавких предохранителей применяется для предотвращения протекания токов КЗ через тиристоры. Выбираем предохранитель ПП57-3417 для защиты тиристоров: номинальный ток плавкой вставки Iном=150 А при Uном=380 В; при этом номинальные потери мощности плавкой вставки Wном = 60 Вт.

Для защиты нагрузки выбираем предохранитель ПП57-3737: номинальный ток плавкой вставки Iном=250 А при Uном=380 В; при этом номинальные потери мощности плавкой вставки Wном = 120 Вт.

7**.3 Расчет параметров выравнивающих RCD - цепочек**

Конденсаторы эффективно выравнивают напряжения на тиристорах в переходных режимах, но вместе с тем увеличивают ток в открытом состоянии на интервале отпирания. Эти токи можно ограничить демпфирующими резисторами, включенными последовательно с конденсаторами, сопротивление которых выбирается порядка нескольких десятков Ом. Для ограничения скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии, при которой может самопроизвольно включиться тиристор, параллельно демпфирующим резисторам включаются диоды, которые должны иметь как можно меньшее время восстановления запирающих свойств в обратном направлении.

Сопротивление демпфирующего резистора принимаем равным 20 Ом. Выбираем резистор: С1 - 8 - 1 - 20 - ±5%.

Емкость конденсаторов:

, (7.3)



где ΔQrr - наибольшая возможная разность зарядов восстановления последовательно включенных приборов, принимаем равной половине заряда восстановления применяемых тиристоров :

ΔQrr= 700 мкКл = 350 мкКл.



Параметры URSM , URM, ΔQrr, IRM взяты из справочника [ 3 ] для тиристора типа ТБ113 - 200.

Принимаем: С=0,47 мкФ

Выбираем: К40У-9 – 400 В - 0,47 мкФ - 20%.

Выбираем диод по напряжению и току : КД105 Б.

**8. Описание работы схемы управления**

Для коммутации тиристоров в преобразователе используется система управления, которая может быть одноканальной (в которой все тиристоры управляются одноканальным сигналом со сдвигом на 60 градусов), так и многоканальной - с раздельно управляемыми тиристорами. Рассматривается работа вертикальной синхронной системы управления со стабилизацией напряжения (рис.8.1 , рис. 8.2).

Напряжение с нагрузки Ud через датчик Д поступает на элемент сравнения. Также на вход элемента сравнения подаётся напряжение Uз с задатчика интенсивности ЗИ. Разница напряжений (Uз-Uос) поступает на усилитель У и усиленное напряжение управления Uу идёт на компаратор К. На другой вход компаратора подаётся опорное напряжение Uоп с генератора пилообразного напряжения ГПН, управляемого устройством синхронизации УС, подключенного к линиям сетевого напряжения Uс. Пока опорное напряжение больше напряжения управления на выходе компаратора присутствует отрицательное выходное напряжение Uвых-. По достижению равенства входных напряжений компаратора он опрокидывается и на формирователе импульсов Ф оказывается положительное напряжение Uвых+.

Этот перепад вызывает появление короткого управляющего импульса напряжения на выходе формирователя импульсов Ф, в дальнейшем усиливаемого усилителем импульсов УИ и подаваемого на систему распределения управляющих импульсов для тиристоров. В случае повышения выходного напряжения Ud управляющее напряжение Uу­ становится меньше, что вызывает увеличение угла управления αном на величину Δα. Следовательно, произойдёт более позднее открывание тиристоров и снижение напряжения на нагрузке до номинального. Если возникает необходимость изменения выходного напряжения, это можно сделать путём изменения напряжения задатчика интенсивности Uз.

Временные диаграммы схемы управления.



Рис.8.1

Структурная схема системы управления.



Рис.8.2.

**Заключение**

В результате проведённого расчёта, разработан статический преобразователь средней мощности. Содержащий понижающий трёхфазный трансформатор типовой мощностью 30 кВт, тиристоры типа Т113-200. Для снижения пульсаций выходного напряжения до требуемого уровня применён Г - образный фильтр, содержащий батарею, состоящую из десяти конденсаторов типа К50-18-1000 мкФ-50В-20%+50%, и дроссель с системой водяного охлаждения, числом витков равным 30 и величиной потерь в меди порядка 0,4 кВт. Для защиты сетевой обмотки понижающего трансформатора в случае возникновения аварийного тока выбран автоматический выключатель переменного тока серии А3716Б. В анодной цепи каждого тиристора для предотвращения протекания токов короткого замыкания установлены плавкие предохранители типа ПП57-3937, в цепи нагрузки - предохранитель типа ПП57-4038.

**Список литературы**

1. Справочник по преобразовательной технике / Под ред. И.М. Чиженко. – Киев: Техника, 1978. 430 с.
2. Тугов Н.М. и др. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
3. Замятин В.Я. и др. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник. – М.: Радио и связь, 1987. 576 с.
4. Бар В.И. Проектирование ведомых сетью статических преобразователей средней и большой мощности: Учебное пособие. - Тольятти: ТолПИ, 1994.
5. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 656 с.
6. Фишлер Я.Л. и др. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 320 с.
7. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ Под ред. В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 319 с.
8. Разработка тиристорного ключа: Методические указания к курсовой работе / Чернявский Н.И. - Тольятти: ТолПИ, 1995.
9. Намитоков К.К., Ильина Н.А., Шкловский И.Г. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 980 с.