

АНОТАЦИЯ

Бакалаврская работа на тему «Источник тока для микродугового оксидирования» состоит из пояснительной записки объемом 93 страниц, 44 рис., 9 табл., 40 источников, отражающей основные этапы и результаты проектирования источника тока.

Объектом исследования является источник тока для микродугового оксидирования.

Цель бакалаврской работы — улучшение качества оксидного слоя, производительности и увеличение энергоэффективности технологического процесса МДО, путем разработки источника питания с оптимальной структурой.

Задачи бакалаврской работы заключались в разработке источника технологического тока с широким диапазоном регулирования, расчете его параметров для больших напряжений анодного и катодного режима, и проведении экспертизы по безопасности эксплуатации системы.

Работа состоит из четырех глав, в которых решены упомянутые задачи.

Для моделирования режимов работы электрической схемы использовались программные пакеты MatLab R2012a /Simulink. Аналитические расчеты были проведены в пакете MathCad 15. Разводка печатных плат осуществлялась в пакете P-CAD 2006. Графические построения проводились с помощью Splan70 и Компас-3D V15.

Областью применения являются установки микродугового оксидирования.

Применение полумостовой схемы в силовой части источника тока позволило обеспечить требуемые электрические характеристики и режимы микродугового оксидирования.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ МЕТОДА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ.....	7
1.1 МДО-установка	7
1.2 Механизм МДО-процесса	7
1.3 МДО-нагрузка	9
1.4 Электролиты МДО	16
1.5 Режимы МДО.....	17
1.6 Источник технологического тока для МДО.....	18
1.6.1 Система управления.....	19
1.6.2 Обзор схемотехнических решений силовых цепей ТИТ	20
1.7 Выводы.....	31
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА	32
2.1 Анализ исходных данных.....	32
2.2 Описание схемы источника тока	32
2.3 Расчет силовой части источника	34
2.3.1 Выбор силовых полупроводниковых ключей полумоста.....	35
2.3.2 Тепловой расчет IGBT модуля	36
2.3.3 Защита IGBT модуля	39
2.3.4 Выбор приборов выпрямителей	45
2.3.5 Тепловой расчет выпрямителей.....	46
2.3.6 Защита тиристорov выпрямителя	47
2.3.7 Расчет фильтра выпрямителей.....	48
2.3.8 Расчет основных параметров трансформатора	50
2.3.9 Выбор автоматического выключателя	51
2.3.10 Выбор магнитного пускателя	52
2.3.11 Компоновка принципиальной схемы силовой части источника	53
2.4 Разработка системы управления источником тока.....	54
2.4.2 Алгоритм работы системы управления	56
2.4.3 Компоновка принципиальной схемы системы управления.....	56
2.4.4 Разводка печатной платы системы управления	59

2.4.5 Сборочные чертежи системы управления	62
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ	66
4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ РАБОТЫ	73
4.1 Описание рабочего участка установки МДО, приборов и выполняемых операций.	73
4.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов	75
4.3 Воздействие опасных и вредных факторов на организм человека	77
4.3.1 Влияние шума на организм человека, его основные параметры и средства защиты от него	78
4.3.2 Влияние электромагнитного излучение на организм человека, его основные параметры и средства защиты от него.	78
4.3.3 Поражение электрическим током	79
4.3.4 Химическое воздействие на организм человека, средства защиты	80
4.4 Мероприятия по разработке безопасных условий труда на производственном участке	81
4.5 Расчёт защитного заземления помещения	86
4.6 Антропогенное воздействие объекта на окружающую среду и мероприятия по экологической безопасности	87
4.7 Безопасность объекта при аварийных и чрезвычайных ситуациях	88
Заключение	89
Список используемой литературы	90

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сильно повышаются требования к конструкционным материалам, связанные с ужесточением условий эксплуатации и агрессивности применяемых технологических сред.

Технические решения, направленные на повышение долговечности изделий, основаны на создании различными методами поверхностных защитных оксидных слоев. В последнее время для этого все шире применяют микродуговое оксидирование (МДО).

Микродуговое оксидирование – электрохимический процесс поверхностной обработки, прежде всего, металлов и сплавов, алюминия, магния, титана, циркония и др., оксиды которых, полученные на поверхности электрохимическим методом, обладают вентильными свойствами.

Микродуговым оксидированием получают многофункциональные керамикоподобные модифицированные слои (покрытия, пленки) с широким комплексом свойств, такими как теплостойкость, износостойкость, коррозионностойкость, а также декоративность и электроизоляционность [1].

Отличительной особенностью МДО является деятельность микрозарядов, которые мигрируют по поверхности в хаотичном порядке, и оказывают термическое и плазмохимическое воздействие на само покрытие и электролит. В результате состав и строение получаемых оксидных слоев существенно отличаются, а их свойства значительно выше по сравнению с традиционным анодированием [1,6]. К другим положительным качествам метода МДО относится его экологичность, и отсутствие необходимости предварительной и тщательной обработки поверхности перед проведением процесса.

Покрытия, полученные методом МДО, находят все более широкое применение в самых различных отраслях промышленности.

Например, в авиационной и автомобильной промышленности такие поверхности защищают лопатки турбин, сопла реактивных двигателей и

внутренние поверхности блоков цилиндров от высокой температуры, газовой эрозии и износа.

В машиностроении, примером является применение МДО, для быстровращающихся и трущихся деталей, что увеличивает износостойкость, и существенно улучшает их динамические характеристики.

В водохозяйстве, для защиты от коррозии и износа деталей водяных и погружных насосов и запорной арматуры водопроводных кранов.

В медицине одним из возможных видов применения является изготовление неотторгаемой биокерамики для имплантантов.

В текстильной промышленности для придания повышенной теплостойкости, износостойкости и определенной шероховатости деталям мотальных устройств и тростильных машин, такие как втулки, крючки и тарелочки натяжных приборов.

Для производства строительных материалов МДО-покрытия, имеющие пористую структуру, отлично подходят в качестве грунта, для последующей лицевой отделки, а также защитно-декоративных поверхностей.

Однако распространение этого метода сдерживается его высокой чувствительностью к составу обрабатываемого сплава и электролита, а также к электрическим параметрам источника технологического тока (ТИТ).

Целью бакалаврской работы является улучшение качества оксидного слоя, производительности и увеличение энергоэффективности технологического процесса МДО, путем оптимизации параметров формовочного напряжения и режимов анодного и катодного процесса.

Задачей является разработка и расчет схемы источника технологического тока с широким диапазоном регулирования, который будет использован в исследованиях и экспериментальном производстве для подбора наиболее оптимальных электрических параметров для конкретного технологического применения. В соответствии с этими оптимальными параметрами, будет проектироваться и изготавливаться упрощенный малорегулируемый источник для серийного производства.

1 АНАЛИЗ МЕТОДА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

1.1 МДО-установка

Установка МДО [1] (рис. 1.1) главным образом состоит из гальванической ванны (1), наполненной электролитом (2), в который погружена обрабатываемая деталь (3), а также источника технологического тока (4) (ТИТ), предназначенного для обеспечения требуемых электрических параметров процесса МДО, и включающий в себя систему управления (5).

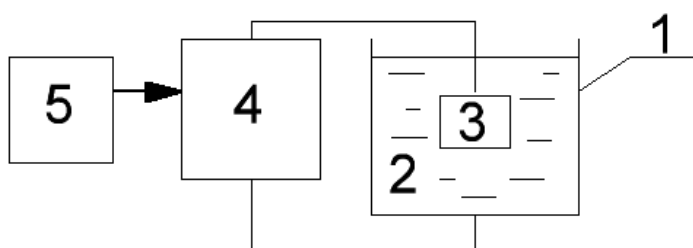


Рисунок 1.1 – Основные узлы установки МДО

Гальваническую ванну заполняют электролитом и погружают в него закрепленную на электроде деталь. Источник тока, подключенный к электроду с одной стороны и корпусу ванны с другой, питает установку, и под действием системы управления, обеспечивает необходимые электрические режимы процесса оксидирования.

1.2 Механизм МДО-процесса

Существуют четыре последовательных стадии процессов, при МДО-обработке (см. рис. 1.2): анодирование, искрение, микродуговой разряд и дуговой разряд [1].

На первой стадии происходит формирование аморфной оксидной пленки в безыскровом режиме. Этот механизм процесса аналогичен традиционному анодированию (рис. 1.2, обл. 1) и получаемое покрытие

внешне похоже на обычное анодирование, но с высокой скоростью роста и более низкой пористостью.

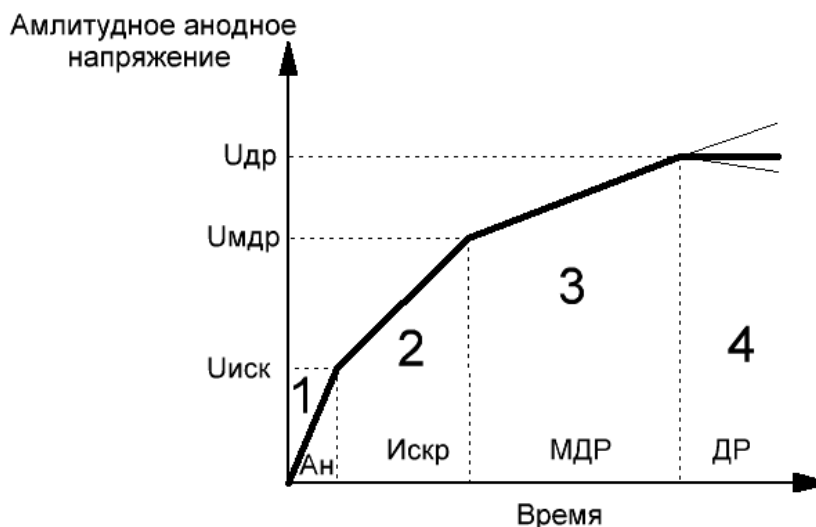


Рисунок 1.2 – Вид формовочной кривой напряжения при МДО

При достижении определенной толщины слоя, сначала появляются отдельные искры, и далее происходит равномерное свечение всей детали. С этого момента начинается вторая стадия (рис. 1.2, обл. 2), на которой продолжается рост аморфной оксидной пленки в искровом режиме.

Задачей первой и второй стадии, является создание предпосылок для главного предназначения МДО-процесса – получение высокопрочного керамического покрытия.

Рост аморфной оксидной пленки на второй стадии продолжается до тех пор, пока слой не достигнет определенной толщины (для алюминия 1-5 мкм), появляются условия для формирования первых кристаллизованных форм оксида подложки, материалом для которой является аморфный оксидный слой. Процесс переходит на третью стадию (рис. 1.2, обл. 3), на которой наблюдается перемещение более крупных желто-красных разрядов. Результатом действия этих микрозарядов, является формирование керамического покрытия, состоящего из оксида металла основы и

составляющих электролита. По мере роста покрытия количество одновременно горящих микродуг уменьшается, а их мощность растет, и если продолжить процесс дальше (рис. 1.2, обл. 4), то начинают загораться отдельные дуги, в результате которых происходит образование локальных кратерообразных макро дефектов, и как следствие частичное разрушение слоя. Поэтому дуговой режим является не допустимым при получении защитных покрытий методом МДО.

1.3 МДО-нагрузка

На параметры МДО-нагрузки влияет множество факторов, связанные со сложностью процесса формирования покрытия, такие как: химический состав электролита, его концентрация и температура, форма и площадь детали и электродов, величина импульса электрического тока, его форма, длительность и полярность, и так далее.

Известно, что МДО-нагрузка обладает активно-емкостными свойствами [1,8,12].

Активное сопротивление представляет собой [8]:

- сопротивление электролита,
- поляризационное сопротивление,
- сопротивление переноса заряда.

В электрохимических системах, в основном, выделяется две ситуации, когда проявляется емкостное поведение. Во-первых, на электроде электролита имеет место перераспределение заряда. Положительные ионы в электролите абсорбируют на электроде, с чрезмерной концентрацией электронов, образующихся на поверхности электрода, которые в свою очередь, притягиваясь к электроду, формируют диффузный мобильный слой с отрицательными ионами (рис. 1.3) [8].

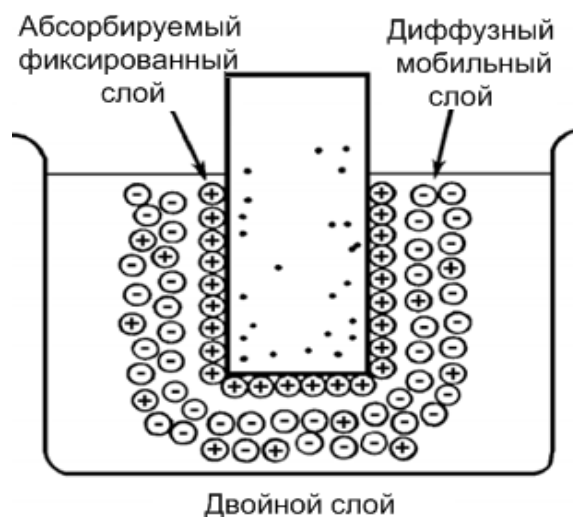


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема двойного слоя [8]

«Двойной слой» состоит из внутреннего абсорбируемого фиксированного слоя и наружного диффузного мобильного слоя.

Величина емкости двойного слоя C_{DL} зависит от типа ионов, их концентрации, шероховатости поверхности электрода, и температуры электролита.

Во-Вторых ситуация связана с емкостью покрытия C_c , в котором оксидная пленка ведет себя как конденсатор. Значение C_c можно рассчитать по следующей формуле [8]:

$$C_c = \epsilon \epsilon_0 A / d, \quad (1.2)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость материала покрытия, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, A и d – площадь и толщина покрытия соответственно.

Описанные элементы, обычно используются для разработки эквивалентных схем (рис. 1.4) и моделирования электрохимической системы.

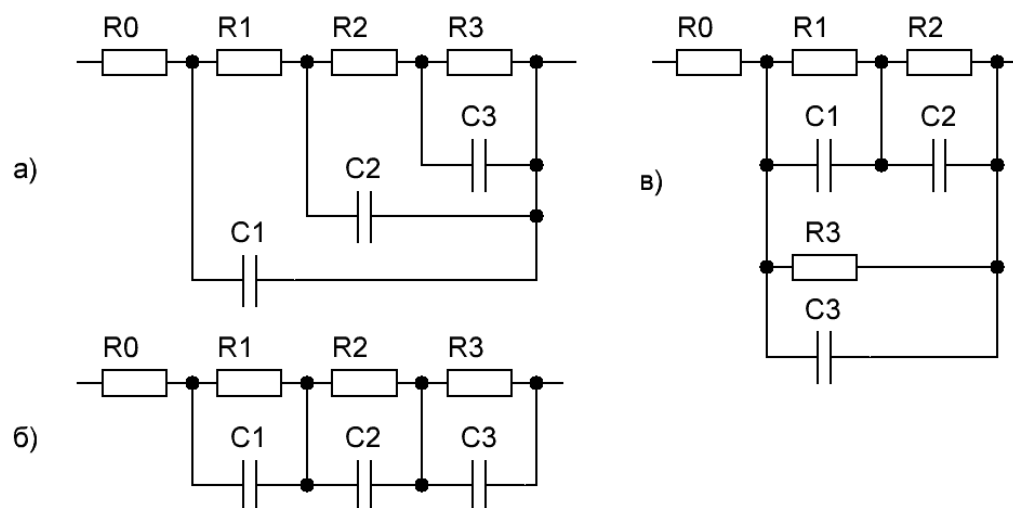


Рисунок 1.4 – Основные виды эквивалентных схем, используемых для моделирования МДО процессов: (а) - лестничная; (Б) - Фойгта; (С) - смешанная параллельно-последовательная [12].

При правильно выбранных значениях сопротивлений R_0 - R_3 и емкостей C_1 - C_3 , все три базовые схемы могут, повторять полученные экспериментальные данные. Однако использование эквивалентных схем в модели, приводит к существенной неоднозначности, которая может быть решена только с развитием полной физической модели процесса [12].

Известны схемы замещения (рис. 1.5) нагрузки при МДО вентильных сплавов, которые можно использовать для анализа работы силового преобразователя ТИТ [7].

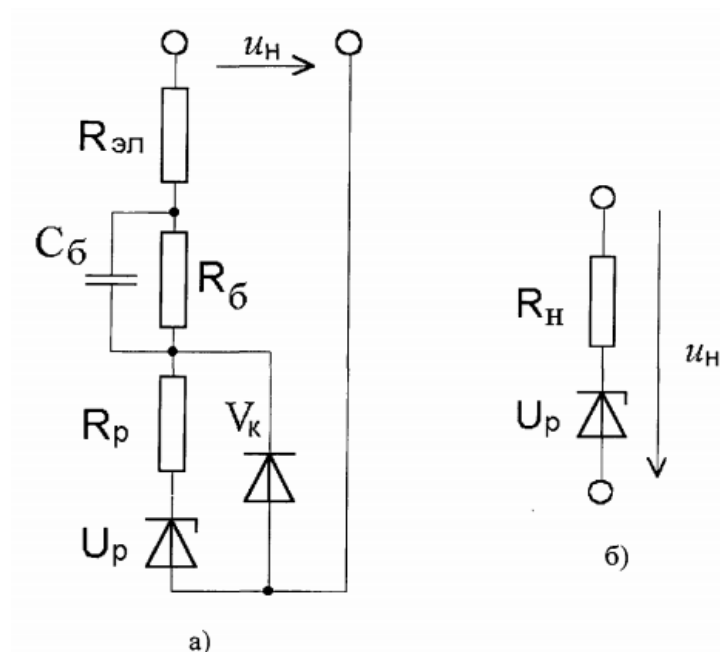


Рисунок 1.5 – Полная (а) и упрощенная (б) схема замещения
МДО-нагрузки [7]

Здесь $R_{эл}$ – активное сопротивление электролита, R_p – активное сопротивление разрядов анодного процесса, $R_б$ – активное сопротивление барьерного слоя, $C_б$ – электрическая емкость барьерного слоя, U_p – стабилитрон, представляющий вентильные свойства обрабатываемого металла или сплава, V_k – идеальный диод, разделяющий пути протекания анодного и катодного тока, U_H – напряжение прикладываемое к нагрузке.

Значения сопротивлений приведены к одному квадратному дециметру обрабатываемой поверхности [3,7]:

$$r_{p.пр} = R_p S_{пов}, r_{б.пр} = R_б S_{пов}, r_{эл.пр} = R_{эл} S_{пов}, \quad (1.6)$$

где $r_{p.пр}$ – приведенное к единице обрабатываемой поверхности сопротивление разряда, Ом·дм²; $r_{б.пр}$ – приведенное к единице обрабатываемой поверхности сопротивление барьерного слоя, Ом·дм²; $r_{эл.пр}$ – приведенное к единице обрабатываемой поверхности сопротивление электролита, Ом·дм²; $S_{пов}$ – площадь обрабатываемой поверхности, дм².

Если при анализе функционирования силового преобразователя ТИТ учитываются только предельные значения параметров нагрузки, полная

схема (рис. 1.5 а) может быть упрощена (рис. 1.5 б). Активное сопротивление нагрузки R_n в этой схеме замещения находится в диапазоне [3]:

$$R_{эл} \leq R_n \leq R_{эл} + R_6 + R_p, \quad (1.6)$$

Приведенное значение сопротивления нагрузки к одному дециметру обрабатываемой поверхности составляет:

$$r_{н.пр} = R_n S_{пов}, \quad (1.7)$$

На рисунках 1.6-1.8 изображены экспериментальные диаграммы токов и напряжений в нагрузке за один период, полученных НИО-4 «Оксидные слои, покрытия и пленки» Тольяттинского государственного университета [13] на МДО-установке, схема которой приведена на рисунке 1.10.

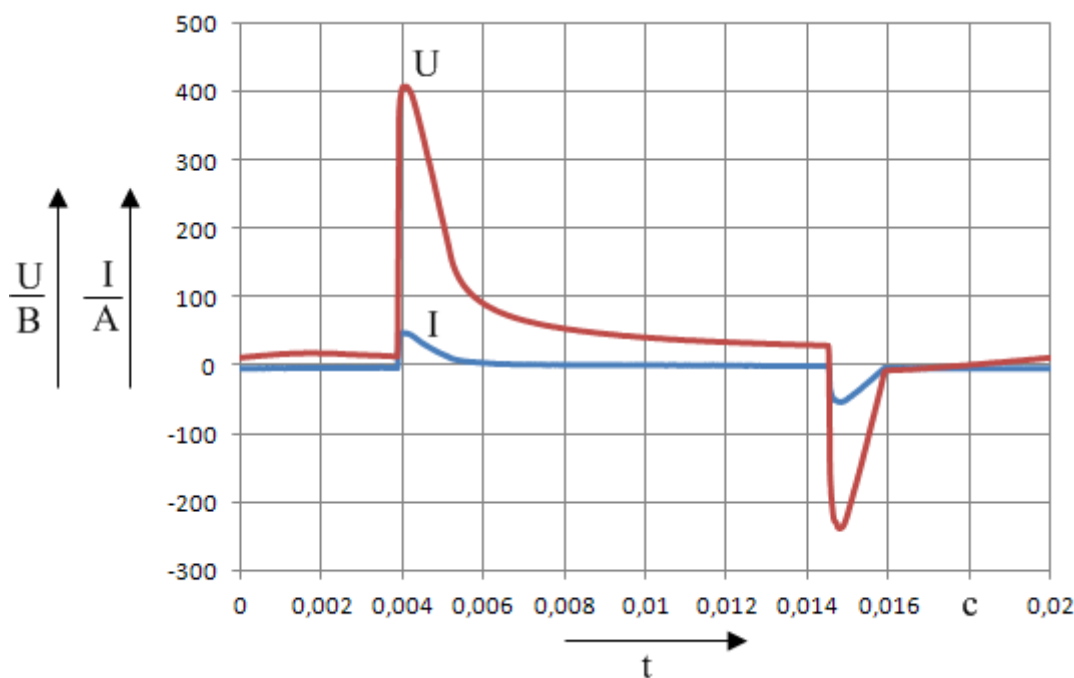


Рисунок 1.6 – Экспериментальные диаграммы токов и напряжений в нагрузке, на первой минуте процесса МДО, для сплава АК6М2

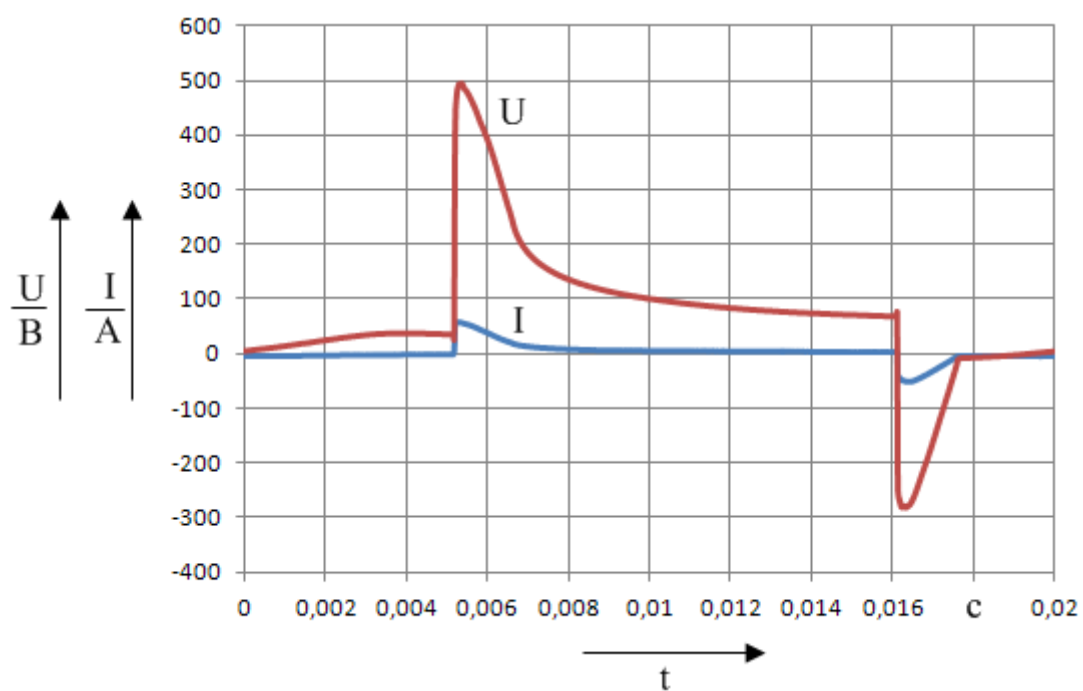


Рисунок 1.7 – Экспериментальные диаграммы токов и напряжений в нагрузке, на сто двадцатой минуте процесса МДО, для сплава АК6М2

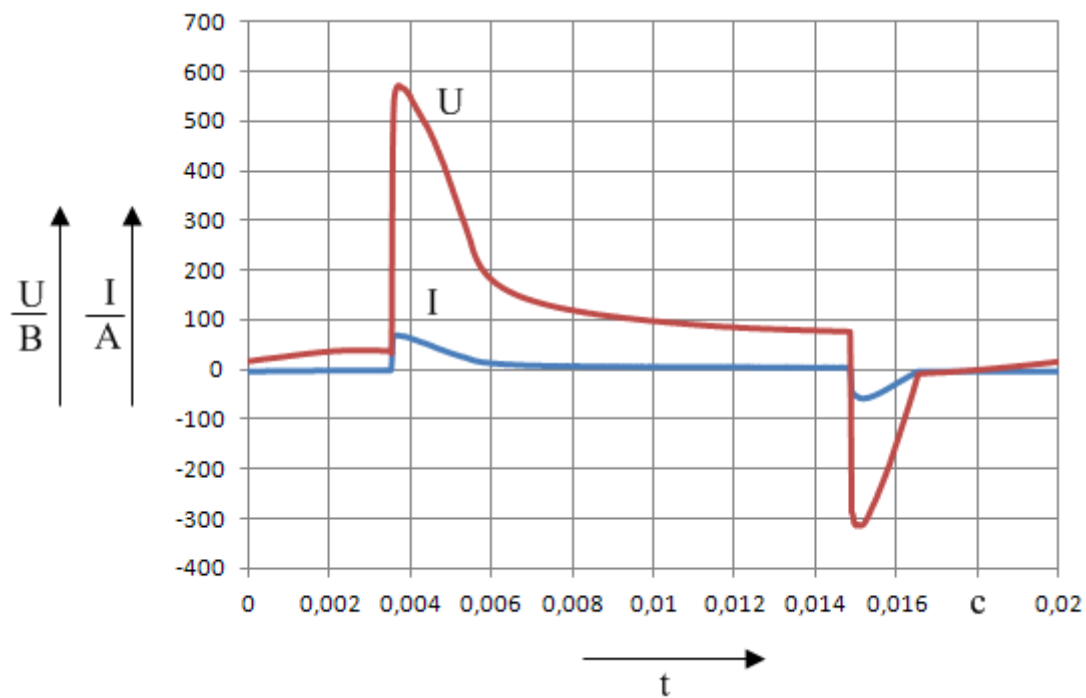


Рисунок 1.8 – Экспериментальные диаграммы токов и напряжений в нагрузке, на сто восьмидесятой минуте процесса МДО, для сплава АК6М2

На рисунке 1.9 изображены экспериментальные динамические ВАХ, построенные по временным диаграммам токов и напряжений (рис. 1.6-1.8).

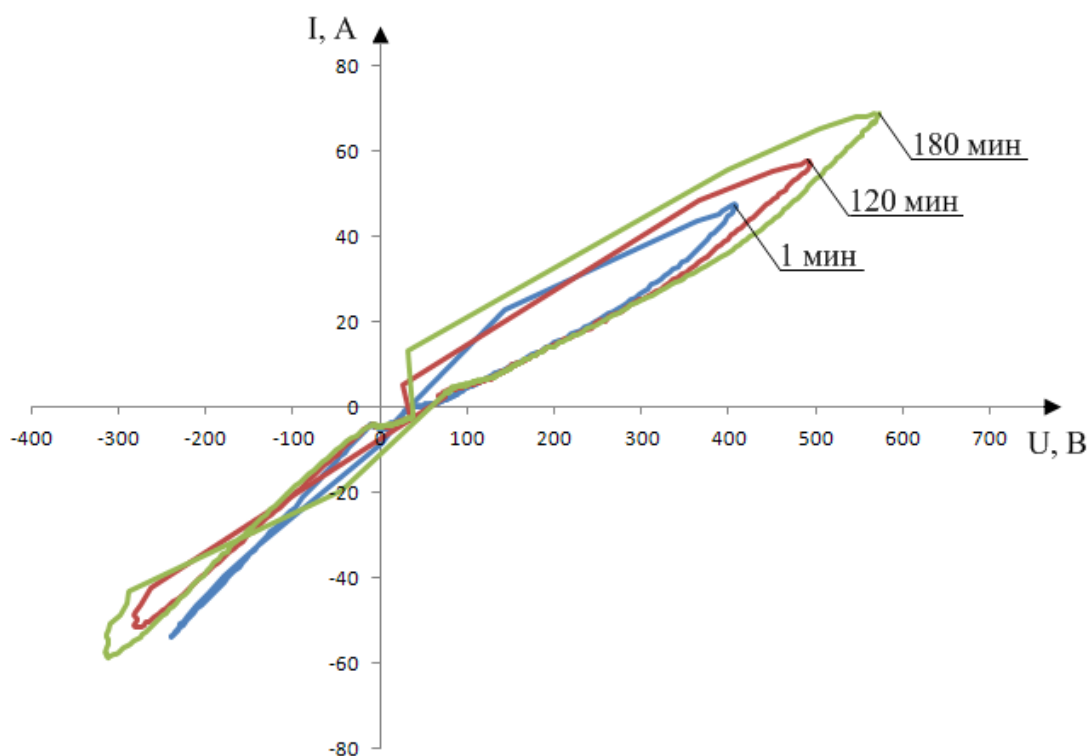


Рисунок 1.9 – Экспериментальные динамические ВАХ, построенные по временным диаграммам токов и напряжений.

В ходе оксидирования, происходит постоянное изменение параметров нагрузки, связанных с ростом оксидного слоя, изменения состава электролита, и других факторов.

Напряжение пробоя слоя постоянно увеличивают, для поддержания горения микродуг с определенной плотностью тока, у каждого сплава.

По диаграммам видно, что имеет место остаточное напряжение на нагрузке в конце импульса, что свидетельствует о наличии емкостных свойств. Также можно заметить, и то, что происходит постепенный разряд одной из заряженных внутренних емкостей нагрузки, по контурам ее внутренних цепей. Это свидетельствует сглаженный спад напряжения после импульса и отсутствие тока в цепи источника питания.

1.4 Электролиты МДО

Электролиты для микродугового оксидирования можно подразделить [1]:

- по кислотному показателю:

1) кислые электролиты, например, на базе серной или фосфорной кислот или их смесей;

2) щелочные электролиты, например, на базе едкого кали или соответствующим образом гидролизующихся солей (Na_2SiO_3 , NaAlO_2 и т.д.) и их смесей;

3) нейтральные электролиты, например, на базе не подверженных гидролизу солей (NaCl и т.д.).

- по количеству компонентов в составе электролита:

1) однокомпонентные, например, силикатные – на базе силикатов щелочных металлов ($\text{NaSiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) или растворов жидкого стекла $m\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ с модулем $M=n/m=2-4$;

2) двухкомпонентные, например, силикатно-щелочные, т.е. силикатные с добавкой щелочей ($\text{KOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$);

3) трехкомпонентные, например, содержащие растворимые алюминат, гексаметафосфат и щелочь ($\text{KOH} + \text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18} + \text{NaAlO}_2$) или растворимые молибдат, силикат и щелочь ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} + \text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{KOH}$);

4) многокомпонентные, например, содержащие растворимые ортофосфат, гидрокарбонат, силикат и щелочь ($\text{K}_3\text{PO}_4 + \text{KHCO}_3 + \text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{KOH}$).

- по тому, является ли электролит раствором или суспензией:

особо выделяются электролиты-суспензии, содержащие различные нерастворимые соединения для придания особых свойств покрытиям (TiO_2 , Al_2O_3 , SiC , TiN , SiO_2 , BN , MgO), и пигменты для получения окрашенных покрытий (Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , Fe_3O_4).

Электролиты для МДО часто подвержены гидролизу из-за содержания солей слабых кислот. Факторами, способствующими этому вредному явлению, являются: повышение температуры электролита, особенно выше 40-50⁰С, его разбавление, особенно в горячем виде, и отсутствие подщелачивания. С повышением температуры электролита скорость оксидирования растет, а напряжение зажигания падает, однако при этом могут ухудшаться характеристики покрытий, например, уменьшаться пробойное напряжение и увеличиваться пористость. Для борьбы с повышением температуры электролита МДО установку оснащают холодильным оборудованием, например в виде специальных гальванических ванн с охлаждающей рубашкой [1].

1.5 Режимы МДО

От выбора режима микродугового оксидирования и состава электролита в большой степени зависят физико-химические свойства получаемого покрытия [1].

Применяемые режимы МДО классифицируются:

- по роду тока: однополярного тока, переменного тока, и их комбинации;
- по полярности напряжения, приложенного к детали: анодный, катодный, анодно-катодный, комбинированный с циклированием полярности и участием бестоковой паузы [9];
- по изменению электрических параметров: режим постоянства действующего тока, режим постоянной мощности, режим падающей мощности и т.д.;
- по характеру разряда: искровой, микродуговой, дуговой, дуговой электрофорез;
- по способу формирования разряда: мягкий, мягко-жесткий, жестко-мягкий, жесткий [10].

От жесткости режима зависят такие характеристики поверхности материала при МДО, как пористость, твердость, напряжение пробоя и др.

Эти режимы задаются выходными параметрами источника тока и влияют на начало и конец микродугового разряда в каждом полупериоде.

Мягкий режим подразумевает естественное начало электрического пробоя сформировавшегося покрытия. Напряженность электрического поля в системе металл-оксид-электролит плавно, в соответствии с формой выходного напряжения доходит до критического значения, и впоследствии происходит пробой.

В жестком же режиме начальная разность потенциалов, заведомо больше критического значения, что приводит к принудительному пробую.

Окончание микроразряда в мягком режиме определяется электрической емкостью балластного конденсатора источника и классифицируется как естественное, для жесткого режима окончание определяется формой напряжения и классифицируется как принудительное.

Таким образом, при мягком режиме обеспечивается естественное начало и естественное окончание разряда, при мягко-жестком – естественное начало и принудительное окончание, при жестко-мягком – принудительное начало и естественное окончание, при жестком – принудительное начало и принудительное окончание разряда [1].

МДО обладает высокой энергоемкостью и длится около 1-3 часов. Для уменьшения времени оксидирования, и следовательно повышения эффективности процесса, применяют жесткий режим.

Наиболее перспективным методом, является жесткий анодно-катодный режим, с возможностью комбинации биполярных импульсов [5,8,11].

1.6 Источник технологического тока для МДО

Режимы МДО определяются выходными параметрами источников питания, и существенно влияют на свойства получаемого покрытия.

Источник технологического тока, состоит из силовой части и системы управления.

1.6.1 Система управления

В ТИТ системы управления (СУ) и автоматизации, обеспечивают следующие функции:

- безопасность проведения технологического процесса;
- функционирование силовых преобразователей;
- защиту силовых преобразователей от аварийных режимов;
- регулирование параметров выходных импульсов;
- измерение и индикацию параметров выходных токов и напряжений;
- контроль предельных параметров технологических режимов;
- сервисные функции.

Необходимость обеспечения системой управления мер безопасности обусловлена тем, что при проведении процесса МДО на ТИТ с непосредственной связью, гальваническая ванна находится под напряжением питающей сети, а к обрабатываемой детали прикладывается напряжение, амплитуда которого может достигать удвоенного значения амплитуды питающей сети. Поэтому гальвано-ванну помещают за заземленное металлическое ограждение, двери которого могут контролироваться датчиками. При открывании двери эти датчики срабатывают и обесточивают установку; этот процесс может сопровождаться звуковыми и световыми сигналами.

Для функционирования силовых преобразователей ТИТ, содержащих управляемые и полууправляемые силовые полупроводниковые ключи, СУ должна обеспечивать требуемые их алгоритмы работы.

Для сохранности преобразователя от аварийных режимов, система управления осуществляет защиту от токов короткого замыкания, перенапряжения, высокой температуры и других негативных факторов, влияющих на работоспособность силовых полупроводниковых ключей.

Система управления осуществляет регулирование необходимых выходных параметров: циклирование режимов МДО, амплитуду импульсов напряжения, температуру электролита и тд.

В СУ входят измерительные приборы осуществляющие сбор, необходимых для исследования или контроля МДО, параметров.

Система управления оснащается измерительными цепями фиксирующими и предотвращающими факторы, негативно влияющими на технологический процесс МДО, такие как предельная температура и степень выработки электролита.

Для эффективной эксплуатации МДО-установок в системы их управления и автоматизации вводят дополнительные устройства, обеспечивающие сервисные функции: контроль продолжительности процесса, световые и звуковые оповещатели аварийных режимов, мониторинг процесса.

1.6.2 Обзор схмотехнических решений силовых цепей ТИТ

От используемой силовой схемы ТИТ зависят выходные электрические параметры, такие как: форма напряжения, длительность импульса, частота, скважность, мощность и др., влияющие на режимы МДО.

Известна классификация ТИТ [3], применяемых при МДО вентильных сплавов (рис. 1.10).

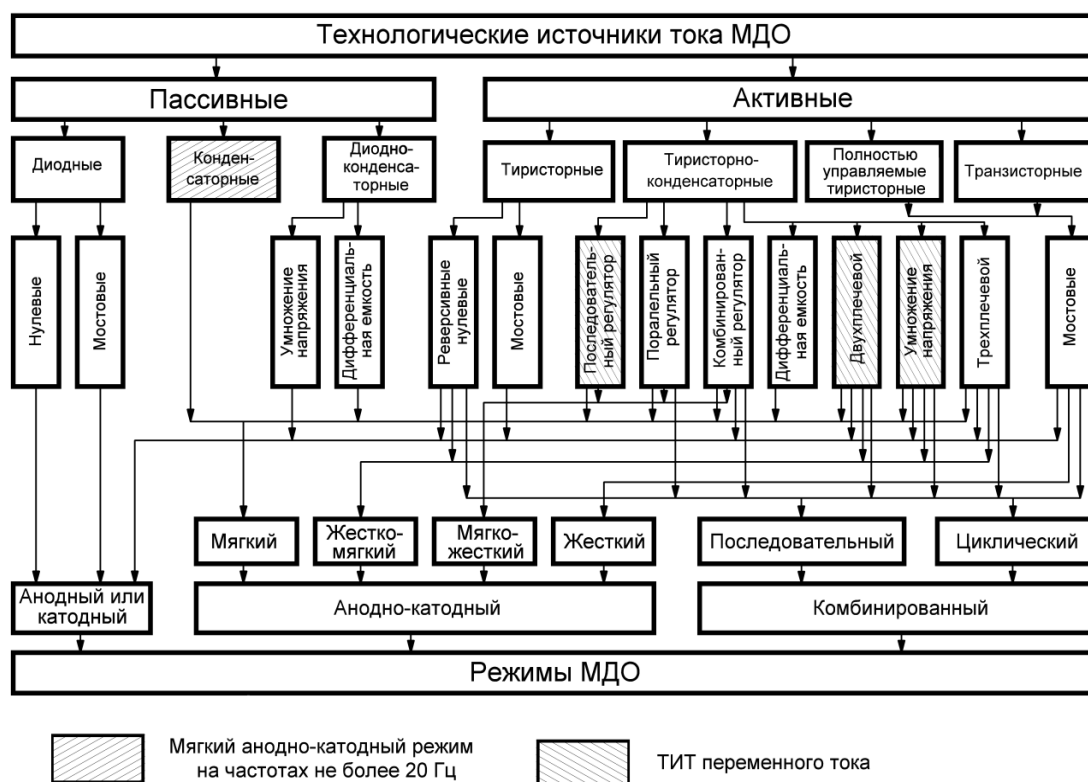


Рисунок 1.10 – Классификация ТИТ [3].

По составу и наличию силовых ключей источники технологического тока подразделяются, на активные и пассивные. В научной работе [3] рассматриваются их самые распространенные силовые схемы.

В силовых схемах активных ТИТ преобразование электроэнергии происходит при помощи управляемых силовых ключей – транзисторов или тиристоров. В силовых цепях пассивных ТИТ применяют неуправляемые силовые полупроводниковые ключи, такие как диоды, или не применяют их вообще.

Примером пассивных силовых цепей служат диодный (рис. 1.11 а), конденсаторный (рис. 1.11 б) и диодно-конденсаторный (рис. 1.11 в-д) источники технологического тока.

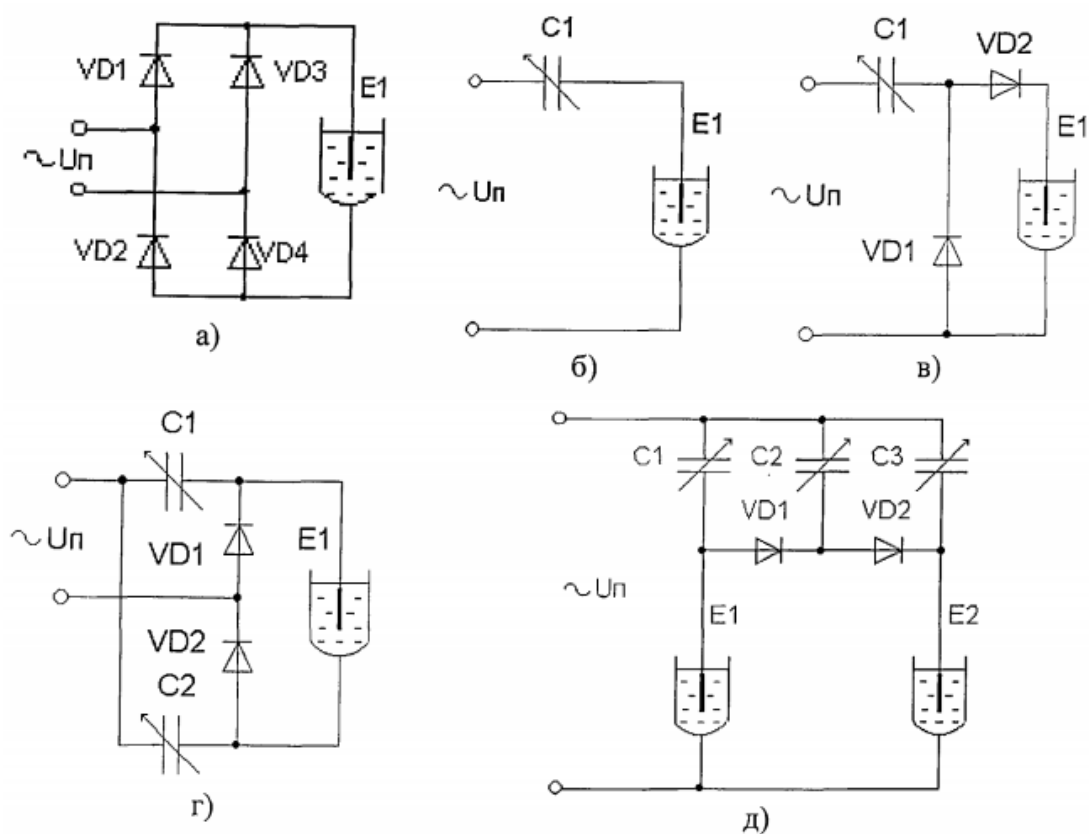


Рисунок 1.11 – Функциональные схемы силовых цепей пассивных ТИТ

Диодный источник тока (рис. 1.11 а) обеспечивает только анодный или катодный режим, что существенно сужает его технологические возможности. Управление током на выходе осуществляется путем изменения напряжения на входе.

Конденсаторный ТИТ (рис. 1.11 б) обеспечивает МДО-обработку мягкого анодно-катодного режима, также в этой схеме осуществляется равенство анодной и катодной составляющих выходного тока. Регулировать среднее значение выходного тока можно путем изменения емкости конденсатора $C1$.

Все эти схемы получили применение в МДО алюминиевых и некоторых магниевых и титановых сплавов, из-за простоты их реализации и высокой надежности.

Диодно-конденсаторные (рис. 1.11 в, г) ТИТ с умножением напряжения позволяют проводить обработку только в анодном режиме. У двухполупериодного (рис. 1.11 г) преобразователя, в отличие от однополупериодного (рис. 1.11 в), отсутствует бестоковая пауза между импульсами выходного напряжения. Регулирование их выходного тока осуществляется за счет изменения емкости конденсаторов.

На рисунке 1.11 д представлен диодно-конденсаторный ТИТ с дифференциальной емкостью. Данный ТИТ обеспечивает одновременную обработку двух деталей E1, E2, причем они могут находиться как в общей, так и в отдельных находящихся под одним потенциалом ваннах. МДО осуществляется в мягком анодно-катодном режиме с регулируемым отношением катодного и анодного токов. Во время анодного импульса ток через нагрузку E1 определяется емкостью конденсатора C1, а через нагрузку E2 – конденсаторами C2 и C3. В катодное время импульса ток через нагрузку E1 определяется конденсаторами C1 и C2, а через нагрузку E2 – конденсатором C3. Диоды VD1 и VD2 осуществляют коммутацию емкости C2. Так, при условии равенства C1 и C3, а также МДО-нагрузок E1 и E2 емкость C2 определяет асимметрию средних значений анодного и катодного выходного тока.

Активные ТИТ выполняются с использованием управляемых силовых полупроводниковых ключей.

Силовую часть тиристорных источников строят по полу управляемым или полностью управляемым трехфазным мостовым схемам и реверсивным трехфазным нулевым. Регулирование амплитудой и длительностью выходных импульсов добиваются путем изменения угла управления тиристорами.

Активные тиристорно-конденсаторные источники с последовательным (рис. 1.12 а), параллельным (рис. 1.12 б) и комбинированным (рис. 1.12 в) регуляторами являются развитиями конденсаторного ТИТ (рис. 1.11 б).

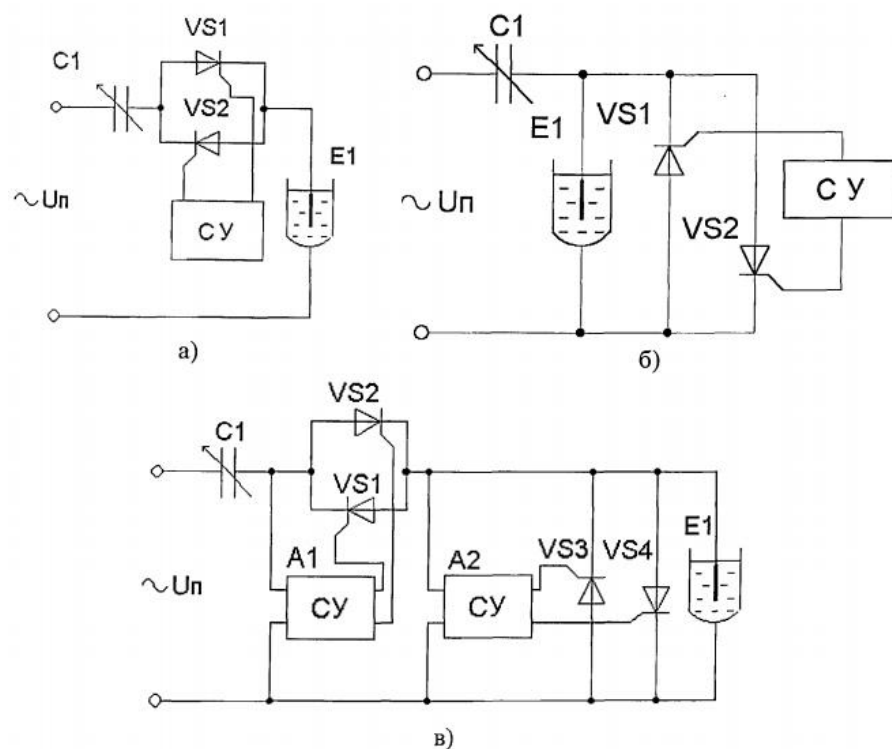


Рисунок 1.12 – Функциональные схемы силовых цепей
тиристорно-конденсаторных ТИТ [3]

Последовательный тиристорно-конденсаторный регулятор (рис. 1.12 а) управляет напряжением на фронтах выходных импульсов. Это позволяет работать в мягком и жестко-мягком анодно-катодном режимах переменного тока. Изменяя емкость $C1$ можно регулировать среднее значение выходного тока, а значения напряжения на фронте импульсов, углами управления тиристоров $VS1$ (анодный) и $VS2$ (катодный).

Схема с параллельным регулятором (рис. 1.12 б) управляет напряжением на спадах выходных импульсов и позволяет проводить обработку в анодном, катодном, мягком и мягко-жестком анодно-катодном и комбинированных режимах. После открывания тиристора $VS1$ или $VS2$ ток протекая через них, минуя МДО-нагрузку. Изменяя углы отпираия, регулируют соотношение I_k/I_a . Когда открыт тиристор $VS1$, ТИТ обеспечивает анодный режим, а когда $VS2$ - катодный.

Комбинированная схема (рис. 1.12 в) объединяет в себе конденсаторно-тиристорные источники с последовательным и параллельным регулятором. Это схемотехническое решение позволяет проводить технологический процесс МДО постоянным, переменным или асимметричным током с регулировкой напряжения на фронтах и спадах выходных импульсов. Данный ТИТ осуществляет анодный, катодный, анодно-катодный и комбинированный режимы, причем, анодно-катодный режим может быть как мягкий, мягко-жесткий, так и жестко-мягкий и жесткий.

Изменение соотношения I_k/I_a в мягком режиме может осуществляться конденсаторно-тиристорным ТИТ с дифференциальной емкостью (рис. 1.13). Здесь при формировании анодных и катодных импульсов напряжения используется конденсатор $C1$. В катодном полупериоде напряжения параллельно $C1$ подключается дифференциальная емкость $C2$ ($VS1$ открыт), а в анодный конденсатор $C2$ ($VS2$ открыт) разряжается через резистор $R2$. Отношение токов I_k/I_a определяется соотношением емкостей $I_k/I_a = 1 + C2/C1$, и для этой схемы оно всегда больше либо равно единице.

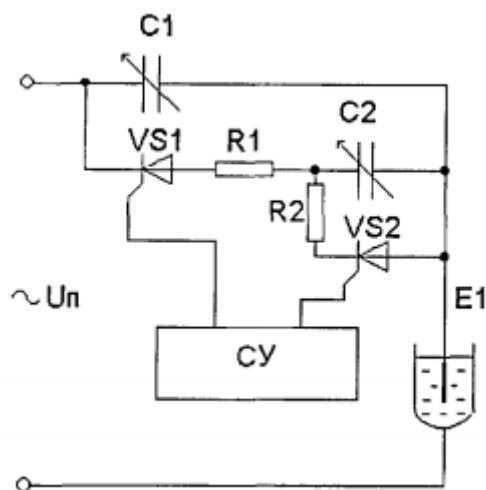


Рисунок 1.13 – Функциональная схема тиристорно-конденсаторного ТИТ с дифференциальной емкостью [3]

Недостатком этого ТИТ является низкий КПД, из-за потерь электрической энергии на резисторах R1 и R2.

На рисунке 1.14 представлена схема двухплечевого тиристорно-конденсаторного ТИТ, который обеспечивает независимые анодные и катодные импульсы напряжения. Средние значения тока регулируются емкостями C1 (анодный), C2 (катодный), и углами отпирания тиристоров VS1 (анодный), VS2 (катодный).

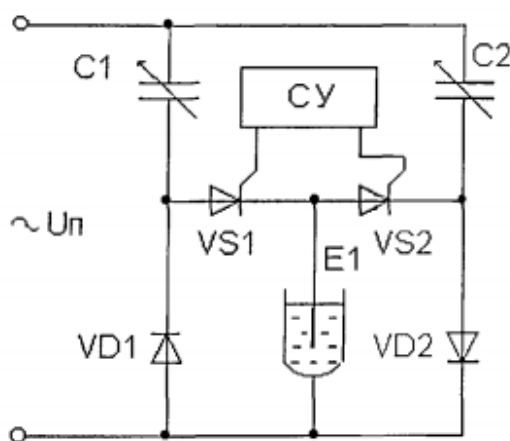


Рисунок 1.14 – Функциональная схема двухплечевого тиристорно-конденсаторного ТИТ [3]

Рассмотренный ТИТ обеспечивает следование импульсов с частотой равной или в три раза ниже частоты тока сети. При равной частоте - форма выходных импульсов близка к пилообразной, что позволяет проводить обработку в жестко-мягком режиме. При меньшей частоте - форма может быть и пилообразной, и трапецеидальной, т.е. обеспечивается мягкий и жестко-мягкий режимы. Независимое формирование импульсов позволяет осуществлять анодный, катодный, анодно-катодный и комбинированный режимы обработки [3].

В патенте [4] предложена схема многозвенного двухплечевого тиристорно-конденсаторного ТИТ с умножением напряжения (рис. 1.15).

Необходимое количество звеньев умножения ($A_{k1} - A_{kn}$ или $A_{a1} - A_{am}$) определяется требуемым выходным напряжением. Остальные возможности этой схемы аналогичны предыдущей. Существенный недостаток этого ТИТ, это его сложность.

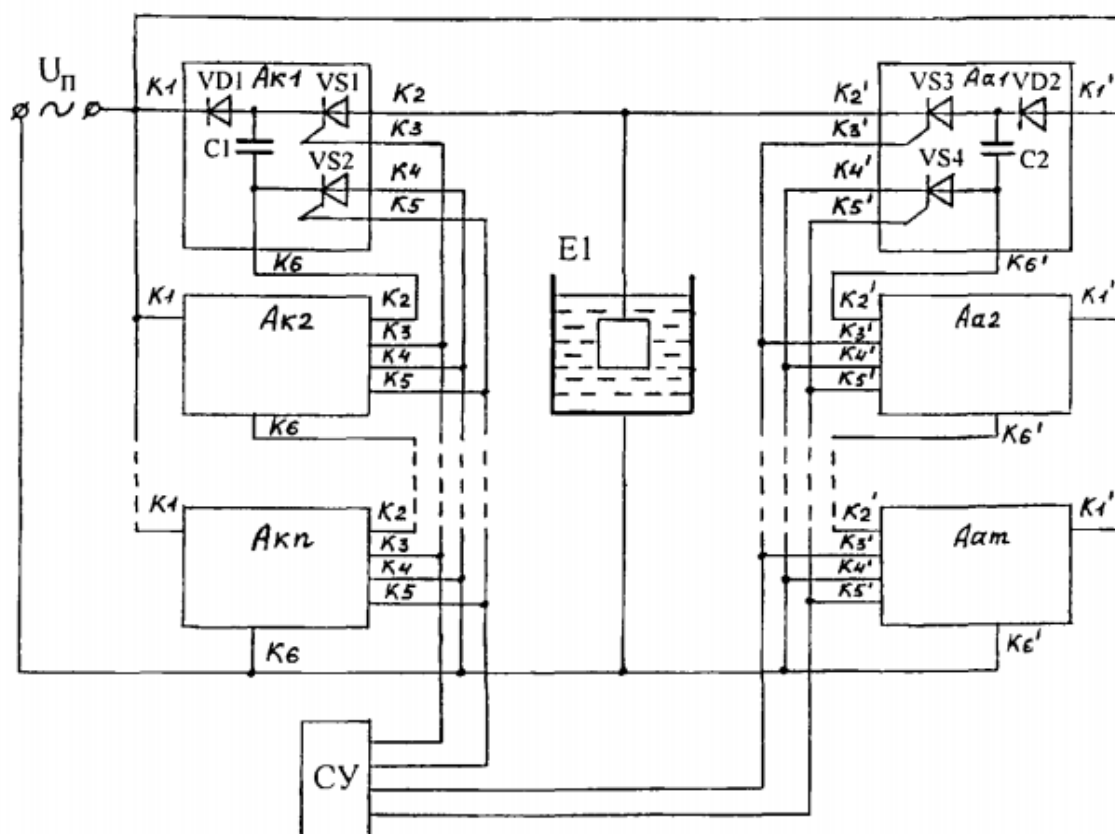


Рисунок 1.15 – Функциональная схема силовой цепи двухплечевого тиристорно-конденсаторного ТИТ с умножением напряжения [4].

Трехплечевой конденсаторно-тиристорный ТИТ (рис. 1.16) обеспечивает МДО-обработку широкого класса вентильных сплавов. При помощи конденсатора $C2$ формируются анодные и катодные импульсы напряжения, мягкого анодно-катодного режима. На них могут накладываться, соответственно, анодные (плечо $C1$, $VS1$, $VS2$) и катодные (плечо $C3$, $VS3$, $VS4$) инициирующие поляризующие импульсы, форма которых соответствует жестко-мягкому режиму. Наложение этих импульсов помимо управления в процессе оксидирования соотношением токов

позволяет в течение каждого полупериода выходного напряжения изменять жесткость режима от мягкого к мягко-жесткому, и получать тем самым переходный режим по жесткости.

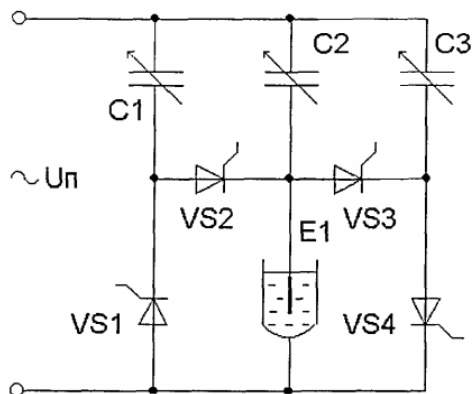


Рисунок 1.16 – Функциональная схема энергетических цепей трехплечевого тиристорно-конденсаторного ТИТ [3]

Известно устройство (см. рис 1.17) для микродугового оксидирования металлов и сплавов [5]. Силовая цепь этого устройства выполнена в виде диодного моста, в диагонали которого стоит биполярный или полевой транзистор, обеспечивающий управление напряжением, временем начала и конца и длительности анодного и катодного циклов независимо друг от друга.

Недостатком известного устройства является жесткая зависимость частоты следования импульсов напряжения, подаваемого на оксидируемую деталь, и частоты смены режимов от частоты напряжения питающей сети.

Недостаток вызван тем, что устройство напрямую подключается к питающей сети, из-за чего на оксидируемую деталь подаются импульсы напряжения с частотой, равной частоте напряжения питающей сети.

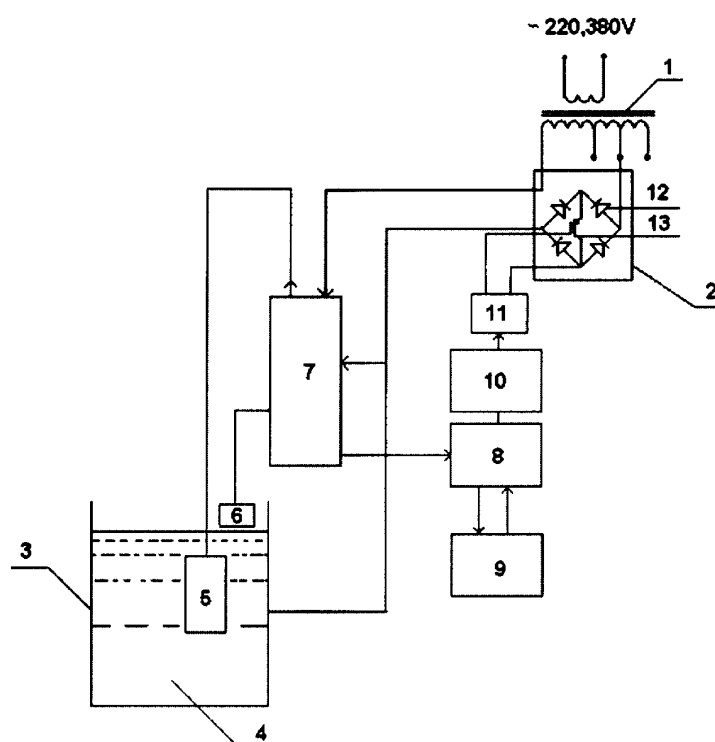


Рисунок 1.17 – Устройство для микродугового оксидирования [5]

Наиболее часто, для управления частотой следования выходных импульсов используют, силовые цепи ТИТ выполненные по схеме однофазного мостового инвертора напряжения (рис. 1.18) [2], на выходе которого формируются анодные и катодные импульсы напряжения прямоугольной формы.

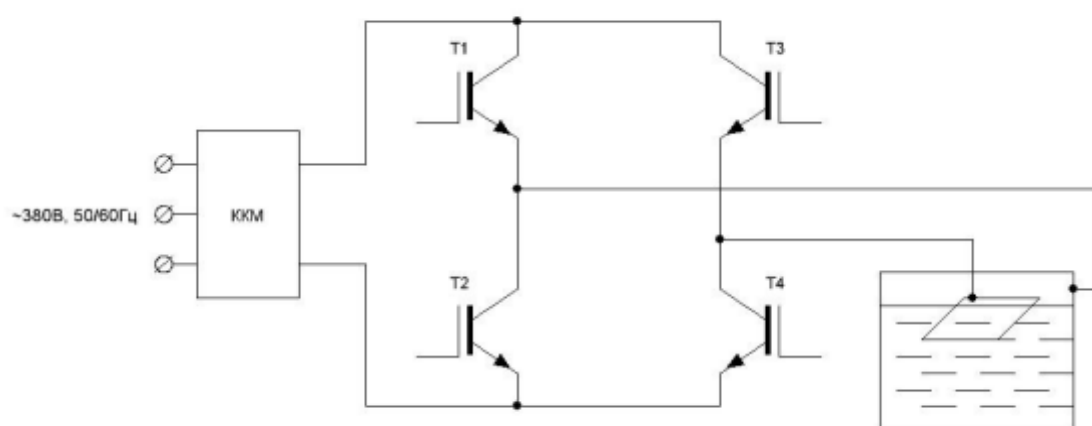


Рисунок 1.18 – Однофазный мостовой инвертор [2]

Они позволяют проводить МДО-обработку на повышенных частотах в жестком анодном, катодном, анодно-катодном и комбинированных режимах [3].

В НИО-4 «Оксидные слои, покрытия и пленки» Тольяттинского государственного университета [13], установка МДО содержит ТИТ с последовательным регулятором (рис. 1.19).

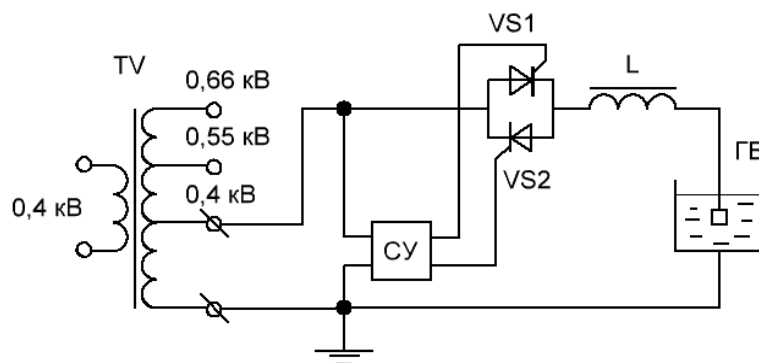


Рисунок 1.19 – Схема ТИТ с последовательным регулятором

Последовательный тиристорный регулятор формирует ток, проходящий через гальваническую ванну, посредством изменения коэффициента трансформации питающего трансформатора TV, и угла открытия тиристоров VS1,2. Это позволяет работать в жестко-мягком анодном, катодном, и анодно-катодном режиме МДО. Дроссель L требуется, чтобы уменьшить di/dt на фронтах импульсов, так как нагрузка имеет активно-емкостной характер. Высокая скорость нарастания тока микродугового разряда, приводит к снижению качества толстослойного оксидного покрытия, из-за повышенной сквозной и объемной пористости.

Данная схема содержит ряд существенных недостатков, такие, как: малая эффективная мощность, связанная с существенными паузами тока, как в положительной полуволне, так и в отрицательной, отсутствие регулирования частотой и формой, шириной и паузой импульсов тока, что существенно сужает технологические возможности установки.

1.7 Выводы

В существующих ранее схемотехнических решениях источников тока для микродугового оксидирования, управление током осуществлялось путем изменения емкостного сопротивления конденсаторов или изменением угла управления тиристоров. Эти решения являются простыми, экономически выгодными и надежными в эксплуатации, однако такие источники обладают малыми техническими возможностями, не содержат цепей заземления и не имеют регулировки частоты.

Тиристорные ТИТ обладают в десятки раз большей перегрузочной способностью, чем транзисторные, однако транзисторные позволяют формировать импульсы с более высокой частотой следования. МДО очень энергоемкий процесс, а значит необходима высокая рабочая частота, уменьшающая время обработки, и снижающая затраты на электроэнергию. В связи с этим, разработка источника технологического тока, позволяющего осуществлять МДО-обработку в области повышенных частот, является актуальной задачей.

Применяемые в МДО силовые цепи ТИТ построены по следующим схемам и имеют недостатки [2]:

- 1) Умножители напряжения – отсутствует стабилизация тока и режим ассиметричных импульсов, а также у них малая мощность.
- 2) Источники с баластным конденсатором – требуют конденсаторы большой мощности и не обеспечивают плавное регулирование тока.
- 3) Недостаток полууправляемого выпрямительного моста – ограниченный диапазон регулирования.
- 4) Комбинированные схемы также не имеют плавного регулирования тока, сложны и относительно дороги.
- 5) Полностью управляемый мост – схема, имеющая полный диапазон регулирования действующего тока, возможность регулирования частоты, однако имеет равные по амплитуде анодные и катодные импульсы напряжения.

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

2.1 Анализ исходных данных

Получены и сведены в таблицу 2.1 требуемые технические характеристики ТИТ.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета силовой цепи ТИТ

Исходный параметр	Значение
Входное напряжение источника тока, В	трехфазное синусоидальное 380
Частота входного напряжения источника тока, Гц	50
Диапазон положительного (анодного) напряжения, В	300-650
Диапазон отрицательного (катодного) напряжения, В	100-250
Диапазон частот выходного напряжения источника тока, Гц	20-1000
Максимальная потребляемая мощность нагрузки анодного процесса, кВА	70
Максимальная потребляемая мощность нагрузки катодного процесса, кВА	30
Максимальная температура окружающей среды, °С	30

2.2 Описание схемы источника тока

Исходя из проделанного анализа ТЗ и процесса МДО, для обеспечения требуемых параметров, предложена блок-схема источника тока, изображенная на рисунке 2.1.

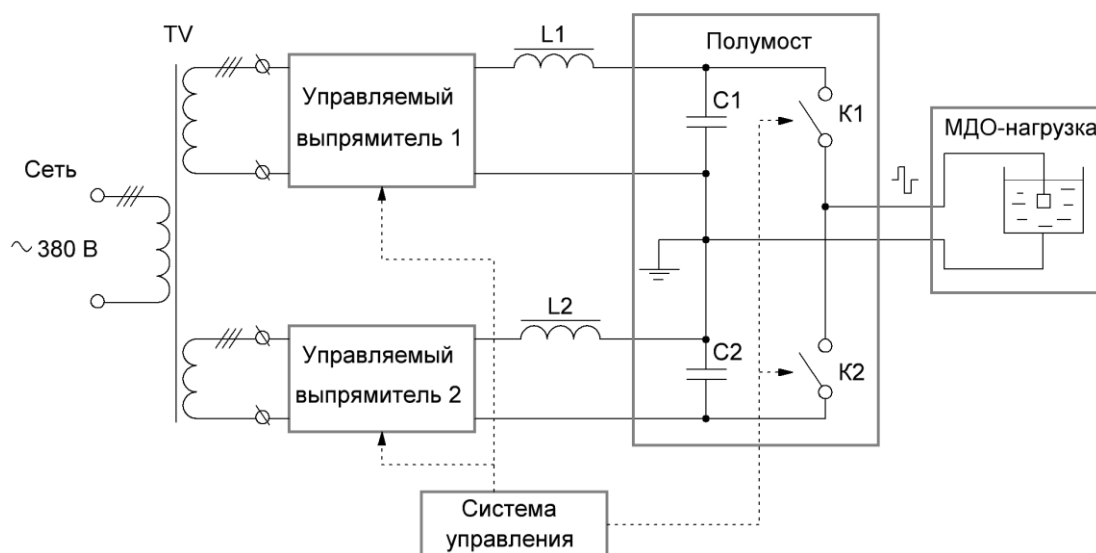


Рисунок 2.1 – Блок-схема источника тока

Схема состоит из полумостового инвертора напряжения, двух управляемых трехфазных выпрямителей, двух LC-фильтров, нагрузки, в виде гальванической ванны и деталью погруженной в электролит, трехфазного трансформатора напряжения, и системы управления.

Схема работает следующим образом. Сетевое трехфазное напряжение подается на первичную обмотку трехфазного трансформатора TV, вторичные обмотки которого питают управляемые трехфазные выпрямители 1 и 2. Выпрямленное напряжение фильтруется LC-фильтрами, состоящими из дросселей L1, L2 и конденсаторов C1, C2, которые также выполняют функцию одного из плеч полумоста. Ключи K1 и K2, являющиеся вторым плечом, под воздействием системы управления, с заданной частотой, коммутируют МДО-нагрузку, включенную в диагональ полумоста, то к верхнему выпрямителю (K1 открыт, K2 закрыт), то к нижнему (K2 открыт, K1 закрыт). В результате к нагрузке прикладываются импульсы переменного напряжения. Изменением угла управления выпрямителей осуществляется регулировка напряжения на их выходе.

Достоинства полумостовой схемы перед мостовой в том, что у полумоста в два раза меньше количество силовых ключей, имеется

возможность использовать заземление нагрузки в средней точке конденсаторов при использовании потенциальной развязки от питающей сети, что может положительно повлиять на электробезопасность.

Использование полумостовой схемы может обеспечить разные по амплитуде прямое и обратное напряжения на нагрузке, благодаря наличию плеча конденсаторов с общей точкой, которые в этом случае необходимо подключить к разным потенциально развязанным источникам питания.

Наряду с достоинствами такого схемного решения есть и ряд недостатков: повышенное напряжение на силовых ключах К1 и К2, равное сумме напряжений конденсаторов С1 и С2.

2.3 Расчет силовой части источника

Исходя из заданных в табл.2.1 мощностей потребляемых нагрузкой и диапазонов напряжений, рассчитаны действующие значения токов (2.1-2.4) и эквивалентные сопротивления нагрузки (2.5-2.8):

$$I_{A1} = \frac{S_A}{U_A} \quad (2.1)$$

$$I_{A2} = \frac{S_A}{U_A} \quad (2.2)$$

$$I_{K1} = \frac{S_K}{U_K} \quad (2.3)$$

$$I_{K2} = \frac{S_K}{U_K} \quad (2.4)$$

$$R_{A1} = \frac{U_A}{I_{A1}} \quad (2.5)$$

$$R_{A2} = \frac{U_A}{I_{A2}} \quad (2.6)$$

$$R_{K1} = \frac{U_K}{I_{K1}} \quad (2.7)$$

$$R_{K2} = \frac{U_K}{I_{K2}} \quad (2.8)$$

где S_A и S_K – из табл.2.1 максимальные мощности потребляемые нагрузкой на анодном и катодном режиме соответственно, ВА; U_A и U_K – из табл.2.1 напряжения анодного и катодного режима соответственно, В.

2.3.1 Выбор силовых полупроводниковых ключей полумоста

Наиболее оптимальным выбором исполнения полупроводниковых приборов является модульная конструкция, так как обладает рядом достоинств: простотой соединения силовых выводов, возможность монтажа плоских проводников для минимизации паразитных индуктивностей, большая теплопроводящая поверхность и т.д.

Выбор полупроводниковых приборов также осуществляется по классификационному току, который должен быть не менее рассчитанного в п.2.3 $I_{K.max} = 300$ А. Для увеличения ресурса работы по напряжению и по току необходимо недогружать приборы на 30-50%.

Обратное напряжение на СПК, в полумостовой схеме составляет:

$$, \quad (2.9)$$

В качестве СПК из [14] выбран IGBT модуль CM400DY-34A, производства MITSUBISHI. Основные параметры модуля приведены в таблице 2.2. Внутренняя структура изображена на рисунке 2.2.

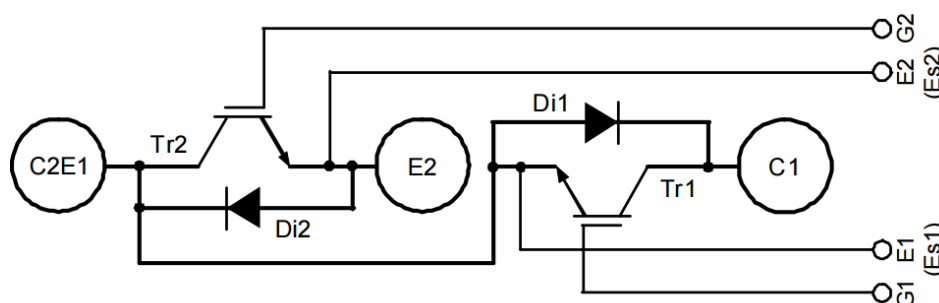


Рисунок 2.2 - Внутренняя структура IGBT модуля

Таблица 2.2 – Основные параметры IGBT модуля CM600DY-24A

Напряжение коллектор-эмиттер V_{CES} , В	1700
Постоянный ток коллектора I_C , А	400
Импульсный ток коллектора I_{cm} , А	800

Напряжение насыщения коллектор-эмиттер V_{CEsat} , В	2,8
Время задержки включения $t_{d(on)}$, нс	950
Время задержки выключения $t_{d(off)}$, нс	1000
Время спада тока коллектора t_f , нс	350
Время обратного восстановления диода t_{rr} , нс	450
Тепловое сопротивление переход – корпус $R_{th(j-c)Q}$ IGBT, °C/Вт	0,033
Тепловое сопротивление переход – корпус $R_{th(j-c)D}$ диода, °C/Вт	0,055
Тепловое сопротивление контакта $R_{th(c-f)}$ °C/Вт, для Shin-etsu Silicone “G-746”	0,019
Максимально допустимая температура перехода $T_{j\ max}$, °C	-40 ~ +150
Напряжение изоляции между выводами и основанием V_{isol} , В	3500

При выборе модуля обратили внимание на быстродействие полупроводниковых приборов [15]. Время включения t_{on} и выключения t_{off} транзистора должно быть много меньшим (минимум на два порядка), чем период T коммутаций. Время обратного восстановления диода t_{rr} также должно быть много меньше периода коммутаций. Минимальный период коммутации найден по формуле:

$$, \quad (2.10)$$

где f_{max} – из табл.2.1 максимальная частота источника питания.

2.3.2 Тепловой расчет IGBT модуля

Потери в полупроводниковых силовых ключах включают статическую составляющую $P_{s.vT}$, определяющую потери во включенном и выключенном состоянии, и динамическую $P_{d.vT}$, определяющую импульсные потери при переходе транзистора из одного состояния в другое.

Для IGBT транзистора статические потери можно оценить, исходя только из потерь во включенном состоянии:

$$, \quad (2.11)$$

$$, \quad (2.12)$$

где $I_{S1} = 234 \text{ А}$ и $I_{S2} = 300 \text{ А}$ – средние токи коллектора транзисторов VT1 и VT2 соответственно, исходя из прямоугольной формы в первом приближении; $U_p = 1,5 \text{ В}$ – пороговое напряжение коллектор - эмиттер, приводимое в технических данных на ВАХ транзистора, при управлении 15 В [15]; $R_{(on)} = 0,002 \text{ Ом}$ – динамическое сопротивление ВАХ транзистора на рабочем участке, при управлении 15 В [15]; $I_{D1} = 234 \text{ А}$ и $I_{D2} = 300 \text{ А}$ – действующие значения токов через транзисторы VT1 и VT2 соответственно, исходя из прямоугольной формы в первом приближении.

Энергии динамических потерь транзистора на включение E_{on} и выключение E_{off} определяются в зависимости от тока коллектора по графикам приведенным в даташите [15]:

При токе 234 А энергия потерь $E_{on1} = 110 \text{ мДж}$, , а при токе 300 А $E_{on2} = 150 \text{ мДж}$, .

Мощность динамических потерь в транзисторе:

$$, \quad (2.13)$$

$$. \quad (2.14)$$

Суммарные потери в транзисторе:

$$, \quad (2.15)$$

$$, \quad (2.16)$$

Аналогично потерям в транзисторе потери в диоде включают статическую составляющую $P_{s,VD}$, определяющую потери во включенном состоянии, и динамическую $P_{d,VD}$, определяющую импульсные потери при переходе диода из одного состояния в другое. Так как работа обратных диодов заключается лишь в организации цепей сбрасывании энергии, накопленной в токоограничивающем дросселе. Суммарные потери в них по сравнению с транзисторами пренебрежимо малы.

Расчет теплового режима силовых приборов включает выбор конструкции охлаждения. Видно, что необходимо отводить довольно

большую мощность, поэтому наиболее оптимальным вариантом отвода тепла является использование принудительного охлаждения.

Согласно термоэлектрической эквивалентной схемы (рис. 2.3), температура перехода транзистора (диода):

$$T_j = T_a + R_{\theta j-c} P_{jc} + R_{\theta c-s} P_{cs} + R_{\theta s-a} P_{sa} \quad (2.17)$$

где T_a – температура окружающей среды максимально допустимая по техническому заданию, 30 °С; T_j – максимально допустимая температура перехода, определяется как справочная максимальная температура перехода уменьшенная на 20°С для увеличения ресурса работы прибора;

$R_{\theta j-c}$, $R_{\theta c-s}$, $R_{\theta s-a}$ – тепловое сопротивление переход – корпус, корпус-охладитель, охладитель-среда. При этом предполагается отсутствие теплообмена корпуса с окружающей средой, т.е. $R_{\theta j-a}=0$. При таком упрощении рассчитанный радиатор позволяет переходу работать при несколько меньших температурах, чем T_j взятой в расчет.

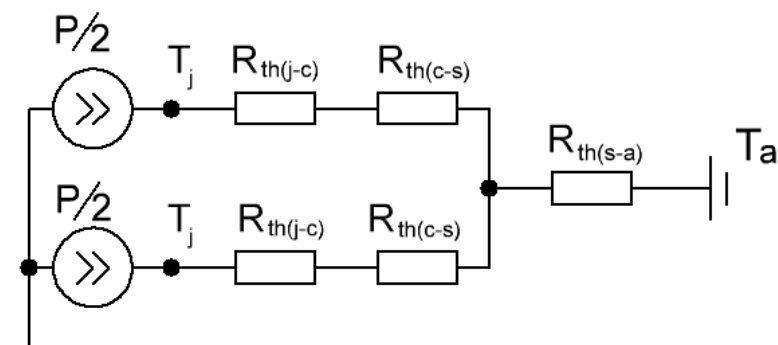


Рисунок 2.3 – Термоэлектрическая эквивалентная схема

Для выбора охладителя необходимо найти тепловое сопротивление охладитель-среда $R_{\theta s-a}$.

Таким образом, определяем из (2.17):

$$R_{\theta s-a} = \frac{T_j - T_a}{P_{sa}} \quad (2.18)$$

где $R_{\theta j-c} = 0,033$ °С/Вт – является справочным для транзистора;

$R_{\theta c-s}=0,019$ °C/Вт – тепловое сопротивление корпус – охладитель указан в документации к модулю; $P = 870*2 = 1740$ Вт – суммарная мощность одинаково работающих приборов, так как потери в транзисторах разные, для простоты расчета возьмем по наибольшему, помноженному на два.

Выбор, подходящего профиля, происходит по заведомо меньшему значению $R_{\theta s-a}$ по сравнению с рассчитанным.

В качестве охладителя из [16] выбран О-58 с принудительным воздушным охлаждением, тепловое сопротивление которого составляет $R_{\theta s-a} = 0,03$ °C/Вт, со скоростью потока воздуха 6м/с.

По заданной скорости охлаждающей среды из [17] выбрали вентилятор КА0925Н2S. Его параметры приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры выбранного вентилятора.

Марка	Параметры			
	Напряжение питания	Номинальный ток, А	Номинальная частота оборотов, мин ⁻¹	Производительность, м ³ /мин
КА0925Н3S	~220 В	0.1	1300	0.56

2.3.3 Защита IGBT модуля

Обладая определенными достоинствами, IGBT-транзисторы имеют существенный недостаток - транзисторы очень чувствительны к перенапряжениям, даже очень коротким. Мощные транзисторы коммутатора способны прерывать большие токи за малое время, что вызывает появление перенапряжений на паразитных индуктивностях монтажа и может привести к выходу из строя приборов. Поэтому необходимо применять определенные меры защиты транзисторов [18,22].

Методы борьбы с коммутационными перенапряжениями можно разделить на две категории: конструктивные методы и схемотехнические. К конструктивным методам относится минимизация паразитных индуктивностей за счет выбора оптимального расположения

токоподводящих элементов конструкции. Среди обязательных мер при проектировании преобразователей являются:

- применение плоских шин в качестве токоподводящих элементов;
- минимизация длин контуров цепей;
- минимизация расстояний между элементами.

Однако выполнение конструкторских требований является необходимым, но не достаточным условием защиты приборов.

В качестве мер защиты IGBT-транзисторов в преобразователе предлагается установка параллельно с транзисторами сглаживающего конденсатора, его емкость C должна обладать низкой индуктивностью и малым тангенсом потерь.

Выключение транзистора происходит не мгновенно, а в течении $t_f=350\text{нс}$ (см. таблица 2.2). В это время ток через транзистор VT (рисунок 2.4) уменьшается, а напряжение увеличивается (сопротивление транзистора увеличивается от R транзистора в открытом состоянии до R транзистора в закрытом состоянии), т.е. существует промежуток времени, когда напряжение на транзисторе увеличилось, а ток по нему ещё протекает. В этот момент на транзисторе выделяется очень большая мощность, что отрицательно сказывается на его надёжности. Для предотвращения этого (для формирования траектории выключения транзистора) применяют защитные цепочки (снабберы). При применении снаббера в момент закрывания транзистора ток будет протекать не через него, а по цепочке, что уменьшит потери в транзисторе, и сглаживает выбросы перенапряжения.

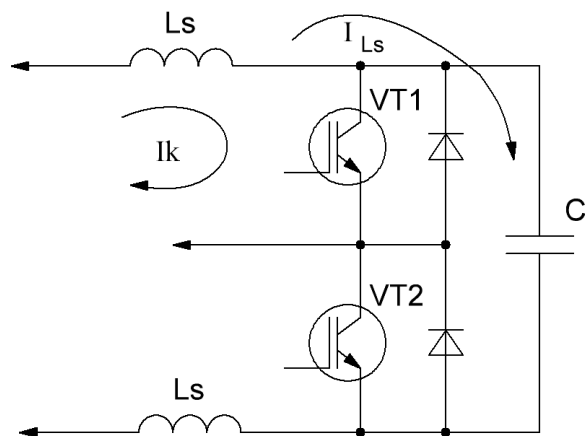


Рисунок 2.4 – Принцип работы защитной цепочки

При закрытии транзистора перехватываемый в конденсатор ток приводит к линейному нарастанию напряжения на нем. За время спада ($t_f=350\text{нс}$) данный конденсатор должен успевать заряжаться с 900В (максимальное обратное напряжение на транзисторе рассчитанное в (2.9)) до 1200В (задались максимальным напряжением на демпфирующем конденсаторе). Рассчитаем ёмкость демпфирующего конденсатора:

$$C = \frac{I_{\max}}{dU/dt} = \frac{300}{300/350 \cdot 10^{-9}} = 0,35 \text{ мкФ}$$

(2.19)

где $I_{\max} = 300$ – максимальный ток коммутации рассчитанный в (2.3), А;
 $dU = 1200 - 900 = 300$ – изменение напряжения на демпфирующем конденсаторе, В; $dt = t_f = 350 \cdot 10^{-9}$ – время выключения транзистора паспортное, с.

Из [19] выбрали конденсатор B32656-S2474-J561, 2кВ, 0.47мкФ $\pm 5\%$.

Для защиты IGBT модуля от перегрузок по току, при КЗ, необходим токоограничивающий дроссель в цепи нагрузки.

В зависимости от момента возникновения разделяют два типа КЗ [20]:

1) IGBT-транзистор включается (открывается) на уже имеющееся короткое замыкание в нагрузке.

2) Короткое замыкание на выходе преобразователя происходит во время открытого состояния IGBT-транзистора.

Самый тяжелый режим КЗ для IGBT будет во втором случае, когда по транзистору будет протекать номинальный ток. Рассчитаем необходимую индуктивность дросселя по формуле:

$$L = \frac{U}{di/dt} = \frac{650}{200/20 \cdot 10^{-6}} = 65 \text{ мкГн} \quad (2.20)$$

где $U = 650 \text{ В}$ – напряжение прикладываемое к дросселю, равное максимальному напряжению анодного режима (см. табл.2.1); $dt = 20 \text{ мкс}$ – время срабатывания защиты; $di = i_{\max} - I_c = 600 - 400 = 200 \text{ А}$ – превышение тока IGBT, исходя из максимальных параметров модуля; $i_{\max}$ – максимальный ток через транзистор, при срабатывании защиты, составляет 75% от максимального импульсного тока коллектора IGBT (см. табл.2.1); $I_c = 400 \text{ А}$ – постоянный ток коллектора из табл.2.1.

Для расчета дросселя воспользуемся методикой расчета индуктивности катушки прямоугольного сечения, расчет по кривым из [24].

Расчет конструкции начнем с выбора, плотности тока, протекающего по дросселю. Выбираем материал провода медь и класс нагревостойкости изоляции Н. Сечение провода, находим из соотношения:

$$, \quad (2.21)$$

где $I_{н1} = 600 \text{ А}$ - максимальное значение действующего тока нагрузки при КЗ; $j = 1,4 \dots 2,8 = 2,8 \text{ А/мм}^2$ - плотность тока.

Определяем сечение жилы и провода. Выбираем провод марки ПСД прямоугольный медный обмоточный. Ширина жилы $b=11.2 \text{ мм}$, толщина $a=5 \text{ мм}$. Будем наматывать параллельно 4 провода. Так как $b>5 \text{ мм}$, то общая толщина изоляции данного провода равна 0.5 мм . Следовательно, с учётом

изоляции размер сечения одного провода составит: $b'=11,7$ мм, $a'=5,5$ мм, $S=64,35$ мм².

Так как используется 4 параллельных провода, размер сечения эквивалентного провода будет равным: $b_1=46,8$ мм, $a_1=22$ мм. Наматывать провод будем плашмя.

Задаемся внутренним диаметром дросселя. Примем его равным $d_2=200$ мм. Тогда примерный внешний диаметр найдем по формуле:

$$d_1 = \frac{d_2}{0,55} = \frac{200}{0,55} = 364 \text{ мм}, \quad (2.22)$$

Длину дросселя примем равной: $l = 200$ мм.

Количество витков в слое найдем по формуле:

$$w_1 = \frac{l}{b_1} = \frac{200}{46,8} = 4,3, \quad (2.23)$$

Округляем количество витков в слое до целого $w_1=5$.

Уточним длину катушки по формуле:

$$l = w_1 * b_1 = 5 * 46,8 = 234 \text{ мм}, \quad (2.24)$$

Толщина поперечного сечения обмотки определяется по формуле:

$$r = \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{364 - 200}{2} = 82 \text{ мм}, \quad (2.25)$$

Определим количество слоев в сечении по формуле:

$$w_2 = \frac{r}{a_1} = \frac{82}{22} = 3,7, \quad (2.26)$$

Принимаем $w_2=4$.

Уточняем толщину поперечного слоя обмотки:

$$r = a_1 * w_2 = 22 * 4 = 88 \text{ мм}, \quad (2.27)$$

Уточняем внешний диаметр дросселя:

$$d_1 = 2 * r + d_2 = 2 * 88 + 200 = 376 \text{ мм}, \quad (2.28)$$

Средний диаметр катушки дросселя найдем по формуле:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{376 + 200}{2} = 288 \text{ мм} , \quad (2.29)$$

Общее число витков в катушке:

$$w = w_1 \cdot w_2 = 5 \cdot 4 = 20, \quad (2.30)$$

Рассчитываем вспомогательные коэффициенты:

Аксиальный размер поперечного сечения катушки:

$$\alpha = \frac{l}{d} = \frac{234}{288} = 0,81 , \quad (2.31)$$

Радиальный размер поперечного сечения катушки:

$$\rho = \frac{r}{d} = \frac{88}{288} = 0,31 , \quad (2.32)$$

С учётом значений найденных коэффициентов, используем справочные графики кривых [24, 257 стр.] для нахождения $\Phi(\alpha, \rho)$ получили: $\Phi=5,8$.

Индуктивность катушки прямоугольного сечения найдем по формуле:

$$L = \mu_0 \frac{d}{4\pi} w^2 \Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,288}{4 \cdot 3,14} \cdot 20^2 \cdot 5,8 = 66,82 \text{ мкГн} , \quad (2.33)$$

где $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная.

Найденная индуктивность с достаточной точностью соответствует необходимой.

Введу того, что напряжение на затворе IGBT – транзистора не может превышать $\pm 20\text{В}$ и для защиты от возможных перенапряжений следует ввести в цепь затвор – эмиттер защитные приборы. Из документации на IGBT модуль известно, что для нормальной работы транзистора достаточно напряжение затвор – эмиттер равное $\pm 15\text{В}$.

Из [33] выбрали защитный двунаправленный диод (супрессор) 1.5KE18CA $U_{\text{пр}}=18\text{В}$, $P_{\text{max}}=1500\text{Вт}$.

При работе схемы может возникнуть ситуация при которой через вывод затвора потечет большой ток, который может вывести из строя дорогостоящий драйвер управления IGBT транзистора. Защитный диод обладая более высоким быстродействием отведет через себя импульс тока.

Для сбережения IGBT от произвольного открытия, когда драйвер не подает управляющие импульсы на затвор, требуется установка параллельно затвору резистора, который будет подтягивать потенциал затвора к эмиттеру.

Общая схема защиты затвора представлена на рисунке 2.5.

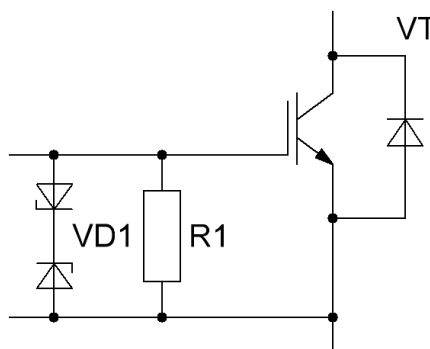


Рисунок 2.5 – Защита затвора IGBT транзистора

2.3.4 Выбор приборов выпрямителей

В качестве управляемых выпрямителей трехфазного тока, выбираем модульную конструкцию трехфазного моста тиристоров с управлением шестью тиристорами.

Выбор выпрямителя производится по двум основным параметрам:

- Максимальному повторяющемуся напряжению $U_{VS,max}$ в закрытом состоянии, которое, в данной схеме, не превышает максимального линейного амплитудного значения. $U_{VS,max} = 650 \text{ В}$

- Средневыпрямленному току модуля I_{VS} .

Ток I_{VS} через тиристоры связан со средним током $I_{дн}$ через нагрузку и составляет в наибольшем случае 300 А (2.3).

Средний выпрямленный ток по справочнику не должен превышать I_{VS} . Обычно, для увеличения ресурса работы модуля их недогружают по току и по напряжению на 30 – 40 %. Поэтому из [21] были выбраны два трехфазных тиристорных моста М24-250-12 с управлением шестью тиристорами. Основные параметры выпрямительного модуля приведены в таблице 2.4. Внутренняя структура выпрямителя изображена на рисунке 2.6.

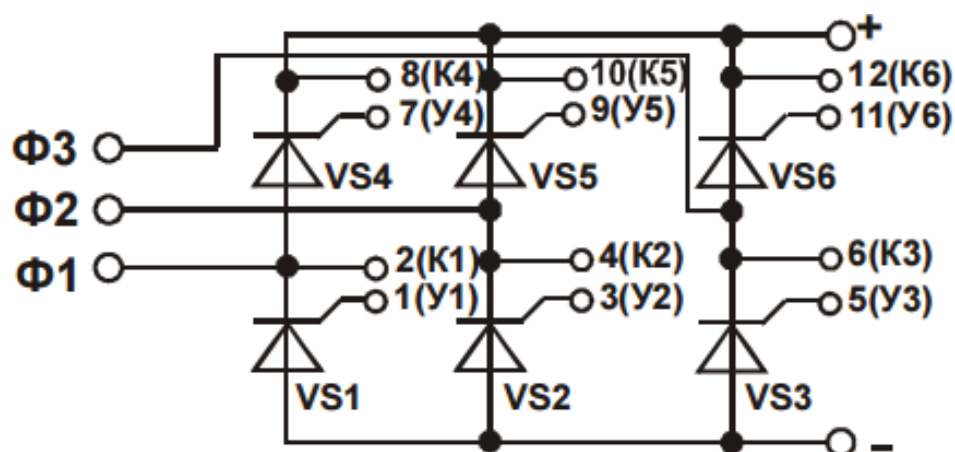


Рисунок 2.6- Внутренняя структура выпрямителя

Таблица 2.4 – Основные параметры модуля M24-250-12

Средний выпрямленный ток модуля I_{VS} , А	400 (по спец. заказу)
Критическая скорость нарастания тока di/dt , А/мкс	не более 150
Температура перехода $T_{п}$, °C	-40 .. +125
Тепловое сопротивление переход-корпус $R_{th(j-c)}$, °C/Вт	0,15
Импульсное напряжение тиристора в закрытом состоянии, В	1200
Линейное напряжение (ср.кв.) U , В	630
Импульсное напряжение тиристора в открытом состоянии U_{TM} , В	1,65
Ток управления I_G , мА	10-30
Сопротивление ограничительного резистора R1-R6, Ом	100

2.3.5 Тепловой расчет выпрямителей

Так как выпрямители работают практически на одинаковые максимальные токи нагрузки, можно рассчитать радиатор для одного из них работающего на больший ток.

Средний выпрямленный ток одного тиристора составляет:

$$I_{VS1} = I_{VS} / n = 300/6 = 50 \text{ А}, \quad (2.34)$$

где $I_{VS} = 300 \text{ A}$ – средний выпрямленный ток модуля, равный максимальному току нагрузки (2.3); $n = 6$ – количество вентиля в модуле.

Мощность, выделяемая на тиристоре, будет равна:

$$P_{VS1} = I_{VS1} * U_{TM} = 50 * 1,65 = 82,5 \text{ Вт}, \quad (2.35)$$

где $U_{TM} = 1,65 \text{ В}$ – импульсное напряжение тиристора в открытом состоянии.

Тепловая схема замещения будет схожа, с представленной на рисунке 3.2. Тогда тепловое сопротивление охладитель-среда будет равно:

$$, \quad (2.36)$$

где $R_{\theta j-c} = 0,15 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ – является справочным для выпрямителя;

$R_{\theta c-s} = 0,019 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ – тепловое сопротивление корпус – охладитель указанный в документации к IGBT модулю; $P = 82,5 * 6 = 495 \text{ Вт}$ – суммарная мощность одинаково работающих приборов.

Выбор, подходящего профиля, происходит по заведомо меньшему значению $R_{\theta s-a}$ по сравнению с рассчитанным.

В качестве охладителей из [16] выбраны два О-56 с принудительным воздушным охлаждением, тепловое сопротивление которого составляет $R_{\theta s-a} = 0,05 \text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$, со скоростью потока воздуха 6м/с.

По заданной скорости охлаждающей среды из [17] выбрали вентилятор KA0925H2S. Его параметры приведены в таблице 2.3.

2.3.6 Защита тиристоров выпрямителя

Так как тиристоры напрямую заряжают делитель конденсаторов, ток в цепи заряда ни чем не ограничен, поэтому, во избежание протекания критических токов, следует защитить выпрямители, от высокого di/dt .

Из таблицы 2.4 известен параметр di/dt , при котором тиристоры не выйдут из строя. Рассчитаем необходимые токоограничивающие дроссели взяв удвоенный запас по формуле:

$$L1 = 2 \cdot \frac{U_{A.max}}{di/dt} = 2 \cdot \frac{650}{150} = 8,7 \text{ мкГн}$$

(2.37)

$$L2 = 2 \cdot \frac{U_{K.max}}{di/dt} = 2 \cdot \frac{250}{150} = 3,3 \text{ мкГн}$$

(2.38)

Однако установка дросселей не спасет тиристоры, во время заряда полностью разряженных конденсаторов. Ограничена только скорость нарастания тока, а не сам ток заряда. Поэтому для обеспечения безопасной работы тиристоров, следует начинать предварительный заряд конденсаторов с больших углов, постепенно выводя напряжение до требуемого значения.

2.3.7 Расчет фильтра выпрямителей

При расчете параметров фильтра, должны выполняться следующие условия:

1) реактивное сопротивление конденсатора C на частоте пульсаций напряжения на нем должно быть во много раз меньше сопротивления нагрузки R_e :

$$\frac{1}{\omega_\phi C} \ll R_e$$

(2.39)

где $\omega_\phi = 12\pi f_c$ – циклическая частота выходного напряжения пульсаций в трехфазном мостовом выпрямителе.

2) для обеспечения индуктивного импеданса, должно выполняться условие:

$$L > 2 \cdot R_e / (m^2 - 1)m\omega_c,$$

(2.40)

где $\omega_c = 2\pi f_c$ – циклическая частота сетевого напряжения; m – коэффициент выпрямителя, для трехфазного мостового, $m=6$.

Согласно первому условию рассчитаем емкости конденсаторов:

$$C1 \gg \frac{1}{R_{eA.min} \omega_c} = \frac{1}{1,3 * 12\pi * 50} = 413 \text{ мкФ}, \quad (2.41)$$

$$C2 \gg \frac{1}{R_{eK.min} \omega_c} = \frac{1}{0,33 * 12\pi * 50} = 1592 \text{ мкФ}, \quad (2.42)$$

По второму рассчитаем индуктивности:

$$L1 > \frac{2 * R_{eA.max}}{(m^2 - 1)m\omega_c} = \frac{2 * 6}{(6^2 - 1) * 6 * 2\pi * 50} = 183 \text{ мкГн}, \quad (2.43)$$

$$L2 > \frac{2 * R_{eK.max}}{(m^2 - 1)m\omega_c} = \frac{2 * 2,1}{(6^2 - 1) * 6 * 2\pi * 50} = 63 \text{ мкГн}, \quad (2.44)$$

Задаемся: $L1 = 200 \text{ мкГн}$, $L2 = 100 \text{ мкГн}$.

Для более точного выбора конденсатора задаемся пульсацией напряжения на выходе фильтра $\delta_{вых}=0,1$. Рассчитаем необходимые емкости для нулевого угла управления по формуле [25]:

$$C1 = \frac{1}{\omega_c^2 L1} * \left(1, \frac{33}{\delta_{вых}} + 1\right) = \frac{1}{(12\pi * 50)200 * 10^{-6}} * \left(1, \frac{33}{0,1} + 1\right) = 20 \text{ мкФ}, \quad (2.45)$$

$$C2 = \frac{1}{\omega_c^2 L2} * \left(1, \frac{33}{\delta_{вых}} + 1\right) = \frac{1}{(12\pi * 50)100 * 10^{-6}} * \left(1, \frac{33}{0,1} + 1\right) = 40 \text{ мкФ}, \quad (2.46)$$

Из [26] выбираем В4345*А5109М0 на 10000 мкФ и напряжение 450 В. Рекомендуется, делать запас по напряжению 30%, для увеличения срока службы. Поэтому соединяем конденсаторы два последовательно и набираем необходимую емкость. Для этого понадобится 4 шт. для $C1$ и 8шт. для $C2$.

Полученные фильтры изображены на рисунке 2.7.

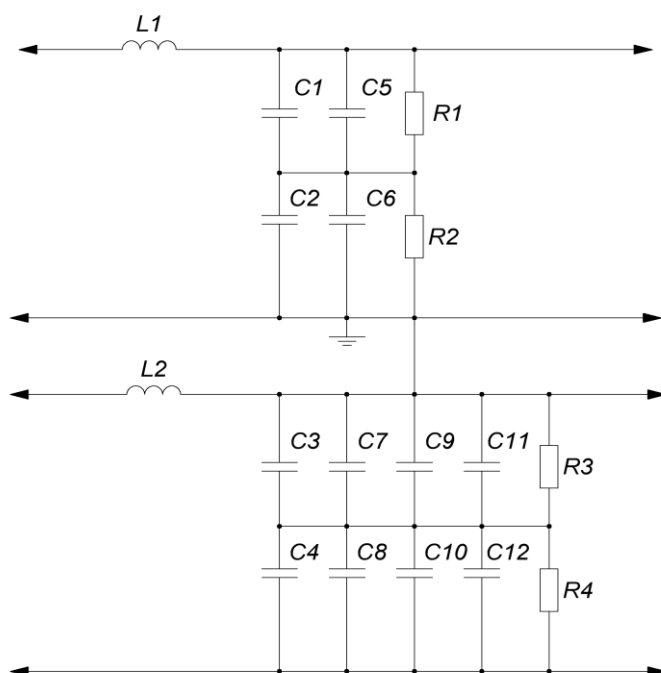


Рисунок 2.7 – Схема фильтров выпрямителей

Для защиты конденсаторов от неравномерного заряда использован делитель напряжения на резисторах $R1, R2 = 22 \text{ кОм } 5\text{Вт}$, $R3, R4 = 4,5 \text{ кОм } 5\text{Вт}$,

2.3.8 Расчет основных параметров трансформатора

Действующее значение ЭДС фазы вторичной обмотки трансформатора:

$$E_{21} = 0,43U_{\tilde{n}\delta 1} = 0,43 \cdot 0,95 \cdot 650 \cong 270 \text{ В}, \quad (2.47)$$

$$E_{22} = 0,43U_{\tilde{n}\delta 2} = 0,43 \cdot 0,95 \cdot 250 \cong 105 \text{ В}, \quad (2.48)$$

где $U_{\text{ср}1}$ – средневывпрямленное напряжение первого выпрямителя, В; $U_{\text{ср}2}$ – средневывпрямленное напряжение второго выпрямителя, В.

Рассчитаем действующее значение тока вторичной обмотки:

$$I_{21} = 0,82I_{\tilde{n}\delta 1} = 0,82 \cdot 108 = 88,6 \text{ А}, \quad (2.49)$$

$$I_{22} = 0,82I_{\tilde{n}\delta 2} = 0,82 \cdot 120 = 98,4 \text{ А}, \quad (2.50)$$

где I_{cp1} – средневывпрямленный ток первого выпрямителя, равный току нагрузки $I_{A.min} = 108$ А; I_{cp2} – средневывпрямленный ток второго выпрямителя, равный току нагрузки = 120 А.

Находим коэффициент трансформации:

$$n_1 \cong E_{21}/U_1 = 270/380 = 0,71, \quad (2.51)$$

$$n_2 \cong E_{22}/U_1 = 105/380 = 0,28, \quad (2.52)$$

где $U_1 = 380$ В – входное напряжение источника тока, (см. табл.2.1).

Действующее значение тока первичной обмотки:

$$I_1 = 0,82n_1I_{21} + 0,82n_2I_{22} = 0,82 \cdot 0,71 \cdot 88,6 + 0,82 \cdot 0,28 \cdot 98,4 = 74,2 \text{ А}, \quad (2.53)$$

Мощности первичной и вторичной сторон трансформатора:

$$S_1 = 3U_1I_1 = 3 \cdot 380 \cdot 74,2 \cong 84588 \text{ ВА}, \quad (2.54)$$

$$S_{21} = 3E_{21}I_{21} = 3 \cdot 270 \cdot 88,6 \cong 71766 \text{ ВА}, \quad (2.55)$$

$$S_{22} = 3E_{22}I_{22} = 3 \cdot 105 \cdot 98,4 \cong 30996 \text{ ВА}. \quad (2.56)$$

Точное значение габаритной мощности трансформатора:

$$S_{\bar{a}\bar{a}\bar{a}} = 0,5 \cdot (S_1 + S_{21} + S_{22}) \cong 93675 \text{ ВА}. \quad (2.57)$$

Коэффициента использования трансформатора по мощности:

$$K_\alpha = \frac{P_{d1}}{S_{\bar{a}\bar{a}\bar{a}}} + \frac{P_{d2}}{S_{\bar{a}\bar{a}\bar{a}}} = \frac{70000}{93675} + \frac{30000}{93675} \cong 1, \quad (2.58)$$

где P_{d1} и P_{d2} – полезная потребляемая мощность нагрузки анодного и катодного процесса соответственно (см табл. 2.1).

2.3.9 Выбор автоматического выключателя

Автоматический выключатель коммутирует и предохраняет от короткого замыкания внешнюю питающую сеть. Условием выбора автоматического выключателя является: рабочее напряжение 380В, ток срабатывания 80А. Данным условием соответствует автоматический выключатель АЕ-2050М 80А [30].

2.3.10 Выбор магнитного пускателя

Для включения, выключения силовой части схемы требуется магнитный пускатель. Исходя из условий п.2.3.9 выбрали пускатель ПМЕ-10-091 [30].

Схема включения магнитного пускателя и автоматического выключателя представлена на рисунке 2.8.

Цепь, изображённая на рисунке 2.8, работает следующим образом: вводной выключатель QS1 обеспечивает отключение напряжения от установки. При нажатии кнопки SA1, контакты магнитного пускателя смыкаются и подается напряжение на первичную обмотку трансформатора TV. При нажатии кнопки SA1 повторно разорвется цепь управления магнитным пускателем KM1, из-за чего тот отключиться, отключив вслед за собой входной силовой трансформатр. В качестве кнопки включения питания установки будем использовать прибор D16LAR1-1abBR [31], он является кнопкой с фиксацией, со встроенной лампочкой красного цвета. Номинальное напряжение 250 В, ток 5 А.

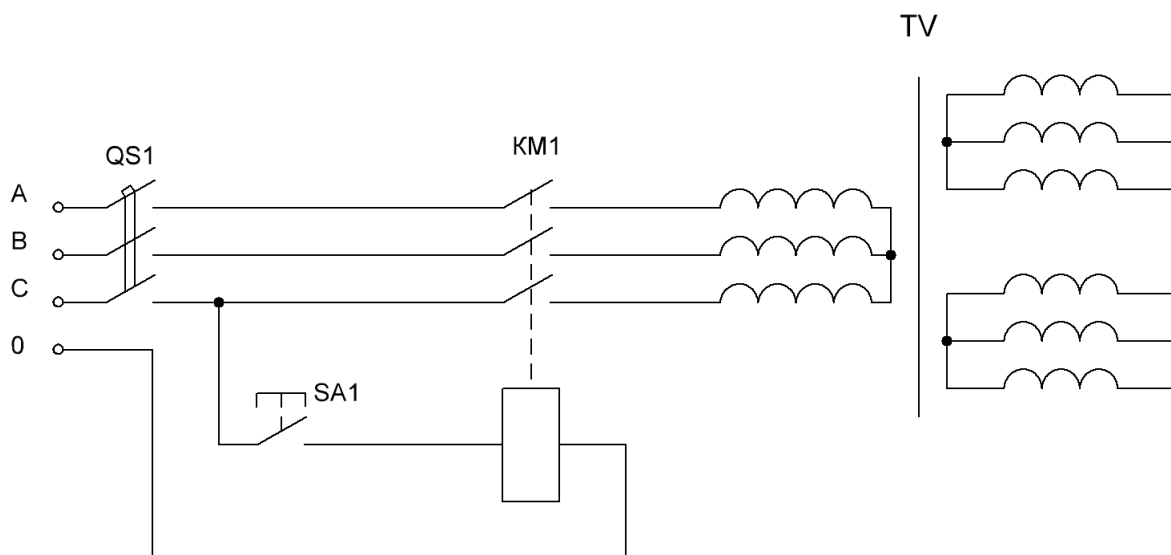


Рисунок 2.8 - Схема включения магнитного пускателя и автоматического выключателя

2.3.11 Компоновка принципиальной схемы силовой части источника

На основе выбранных компонентов силовой части источника тока для микродугового оксидирования и алгоритма его работы, произведена компоновка принципиальной схемы.

Скомпонованная принципиальная схема силовой части источника тока приведена на рисунке 2.9.

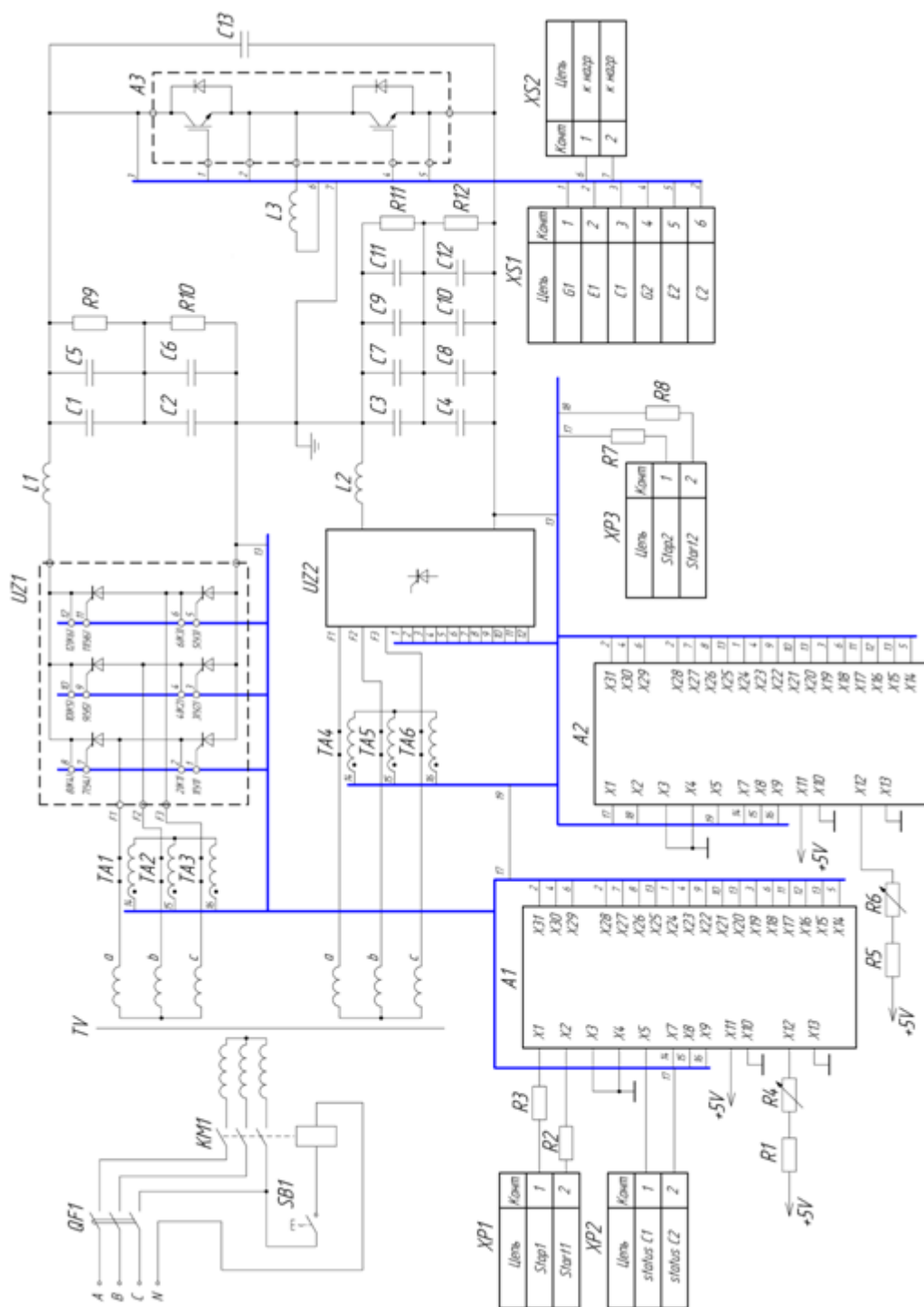


Рисунок 2.9 – Схема принципиальная силовой части источника тока

2.4 Разработка системы управления источником тока

Для управления IGBT модулем требуется микросхема драйвера. Самым простым и надежным будет выбор готовых драйверов у производителей. Из [27] выбран 2SD315AI-33, основные параметры которого приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Основные параметры драйвера 2SD315AI-33

Число каналов	2
Напряжение питания V_{DC} , В	+15
Программируемый уровень входного сигнала, В	+5..15
Частота регулирования, кГц	до 25
Пиковый ток затвора I_{out} , А	-18..+18
Температура эксплуатации, °С	-40.. +85
Рабочее напряжение, В	1500
Потребляемый ток без нагрузки I_{DC} , мА	30
КПД η ,% (Внутренний DC / DC преобразователь)	85%

Драйвер 2SD315AI-33 сочетает в себе относительно низкую стоимость, компактные размеры и механически простой электрический интерфейс с очень высокими выходными токами, высокой мощности привода и специальной изоляции высокого пробойного напряжения. Этот драйвер, может быть использован практически во всех известных применениях, особенно для полумостовых модулей с обратным напряжением до 3300V. Данная микросхема поддерживает 2 режима управления: обычный режим и режим полумоста. Имеет защиту от перегрузок по току и КЗ, гальваническую развязку каналов.

Внешний вид драйвера изображен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Внешний вид драйвера управления

Назначение выводов драйвера приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – назначение выводов драйвера 2SD315AI-33

№	Обозн.	Функция	№	Обозн.	Функция
1	VDD	+15V for electronic input side	23	LS2	Local status channel 2
2	VDD	+15V for electronic input side	24	C2	Collector sense channel 2
3	SO1	Status output channel 1	25	Rth2	Reference resistor channel 2
4	VL	Logic level/Reset	26	E2	Emitter channel 2
5	RC1	RC network dead-time channel 1	27	E2	Emitter channel 2
6	InB	InputB	28	Viso2	Blocking capacitor channel 2
7	RC2	RC network dead-time channel 2	29	COM2	Virtual common channel 2
8	MOD	Mode input	30	COM2	Virtual common channel 2
9	SO2	Status output channel 2	31	G2	Gale channel 2
10	InA	InputA	32	G2	Gale channel 2
11	GND	GND for electronic input side	33		Free
12	GND	GND for electronic input side	34		Free
13	VDC	+15V for DC/DC converter	35	LS1	Local status channel 1
14	VDC	+15V for DC/DC converter	36	C1	Collector sense channel 1
15	VDC	+15V for DC/DC converter	37	Rth1	Reference resistor channel 1
16	VDC	+15V for DC/DC converter	38	E1	Emitter channel 1
17	VDC	+15V for DC/DC converter	39	E1	Emitter channel 1
18	GND(dc)	Ground DC/DC converter	40	Viso1	Blocking capacitor channel 1
19	GND(dc)	Ground DC/DC converter	41	COM1	Virtual common channel 1
20	GND(dc)	Ground DC/DC converter	42	COM1	Virtual common channel 1
21	GND(dc)	Ground DC/DC converter	43	G1	Gale channel 1
22	GND(dc)	Ground DC/DC converter	44	G1	Gale channel 1

Для управления выпрямителями также использованы два драйвера типа ДТРВ-6-Din [35]. Обеспечивает:

- изменение выходной мощности фазовым методом;
- плавный пуск при включении питания;
- защиту от перегрузки по току;
- индикацию срабатывания токовой защиты;
- внешний или автоматический сброс режима перегрузки по току.

В качестве управляющего устройства взята микросборка АТМЕГА128А [36].

Для обеспечения надежной передачи сигналов на входа микроконтроллера выбраны триггеры Шмидта типа HEF40106В.

Также выбраны усилители сигналов L293Е.

Для связи микропроцессора с ПК выбран RS485 вход.

В качестве питания выбраны блоки питания AC-DC два SSA-0601HE-24V (24В 2.5А 60Вт) и один SK-200008-01 (от 110- 220в, выход 15в 4А).

Для стабилизации напряжения питания выбранных устройств выберем из [34] стабилизаторы напряжения типа L78XXCV-DG на +5 и 12 В.

2.4.2 Алгоритм работы системы управления

Через ПК с помощью протокола Modbus осуществляется передача входной информации, в виде задания частоты преобразователя, номера режима и др. на микроконтроллер, который работает по основной программе. В зависимости от входной информации микроконтроллер осуществляет переключение режимов работы (смены подпрограммы) преобразователя посылая логические сигналы на входы InA, InB управляющего драйвера. Драйвер также выполняет защиту силовых ключей по току. При срабатывании защиты по току драйвер снимает управляющие импульсы с IGBT и по статусным каналам SO1, SO2 посылает информацию в микроконтроллер. Управление выпрямителями осуществляется драйверами ДТРВ-6-Din. Угол управления выпрямителями задается переменными резисторами, подключенными к входам X12. ДТРВ-6-Din также осуществляют защиту выпрямителей от перегрузки по току, и по статусным каналам status C1, status C2 посылает сообщение микроконтроллеру.

2.4.3 Компоновка принципиальной схемы системы управления

На основе выбранных компонентов и алгоритма работы системы управления, произведена компоновка принципиальной схемы системы управления изображенной на рисунках 2.11, 2.12.

Напряжение питания поступает на интегральные стабилизаторы типа L78XXCV-DG, которые осуществляют стабилизацию напряжения на заданном уровне и защиту от перегрузки по току. Наличие дополнительных фильтрующих конденсаторов определяется типовой схемой включения

интегральных стабилизаторов, причем располагается в непосредственной близости от выводов питания ИМС, ввиду импульсного характера потребляемого ИМС тока.

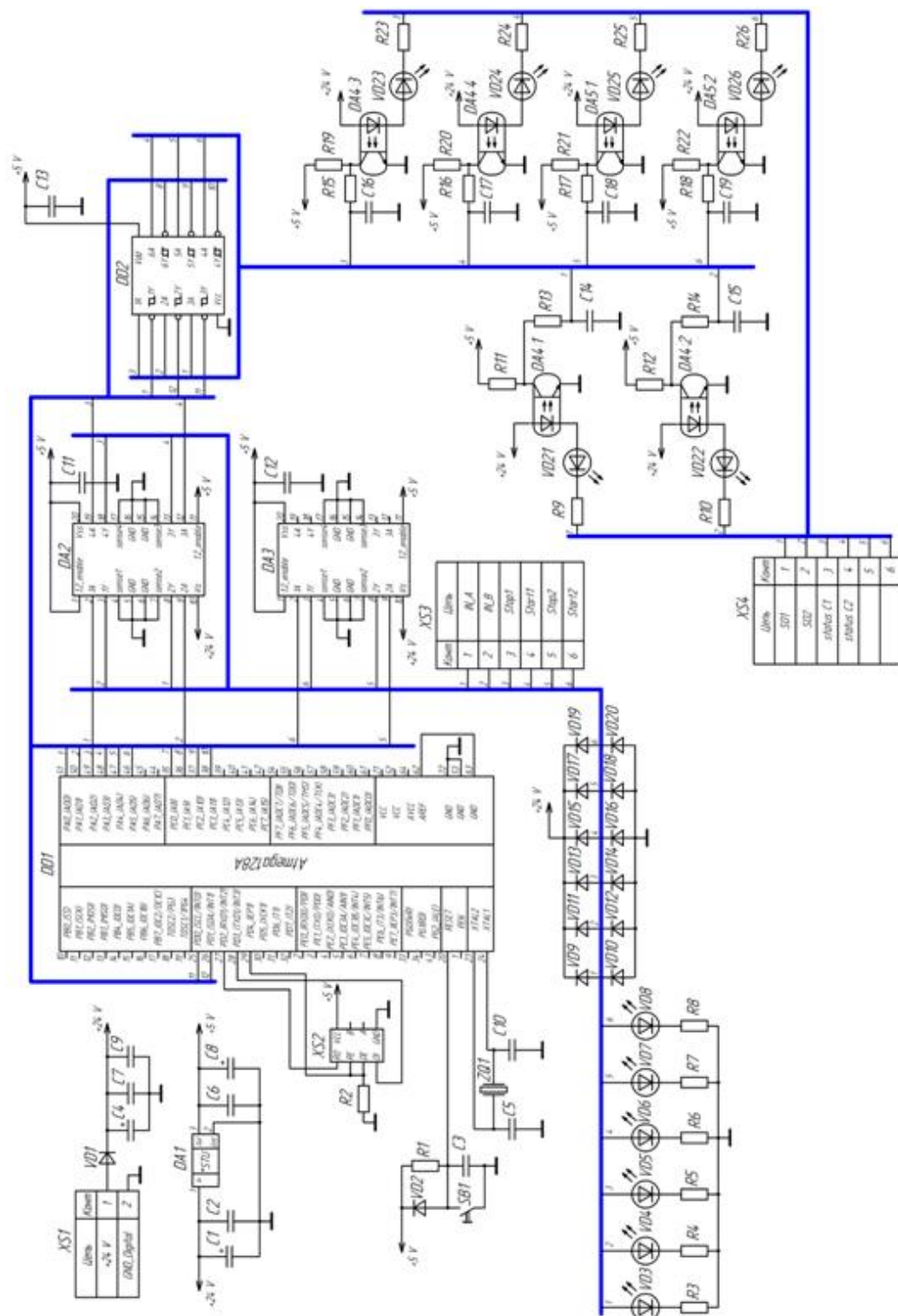


Рисунок 2.11 - Схема принципиальная системы управления.

Микроконтроллер



58

потенциально развязанных друг от друга канала управления транзисторами, большие выходные токи, возможность работы с разными уровнями сигналов, не требует потенциально развязанного источника питания, имеет внутренние схемы выключения транзисторов при перегрузках по току (с внешним выходом с информацией о перегрузке, и автоматическим продолжением работы через 1,5 с.). Микросборка применена в типовом включении согласно рекомендациям производителя.

Включение магнитного пускателя осуществляется подачей на его управляющую обмотку сетевого напряжения через реле КМ1.

Обвязка драйверов и микроконтроллера осуществлена согласно типовым включениям и документациям производителей.

2.4.4 Разводка печатной платы системы управления

Лучшими характеристиками в качестве изоляционного материала для изготовления печатных плат систем управления обладает стеклотекстолит, поэтому был выбран стеклотекстолит СФ2-35-1,5 ГОСТ10316-78.

При разводке печатных плат использована программа Р-CAD 2006.

Ширина печатных проводников рассчитана по формуле:

$$t = \frac{I_{max}}{jh}, \quad (2.59)$$

где I_{max} – максимальный ток проводника, А; $j = 2.8 \text{ А/мм}^2$ – плотность тока; h – толщина проводящего слоя материала платы, для СФ2-35-1,5 $h = 0,035 \text{ мм}$.

Разведенные печатные платы системы управления приведены на рисунках 2.13-2.15.

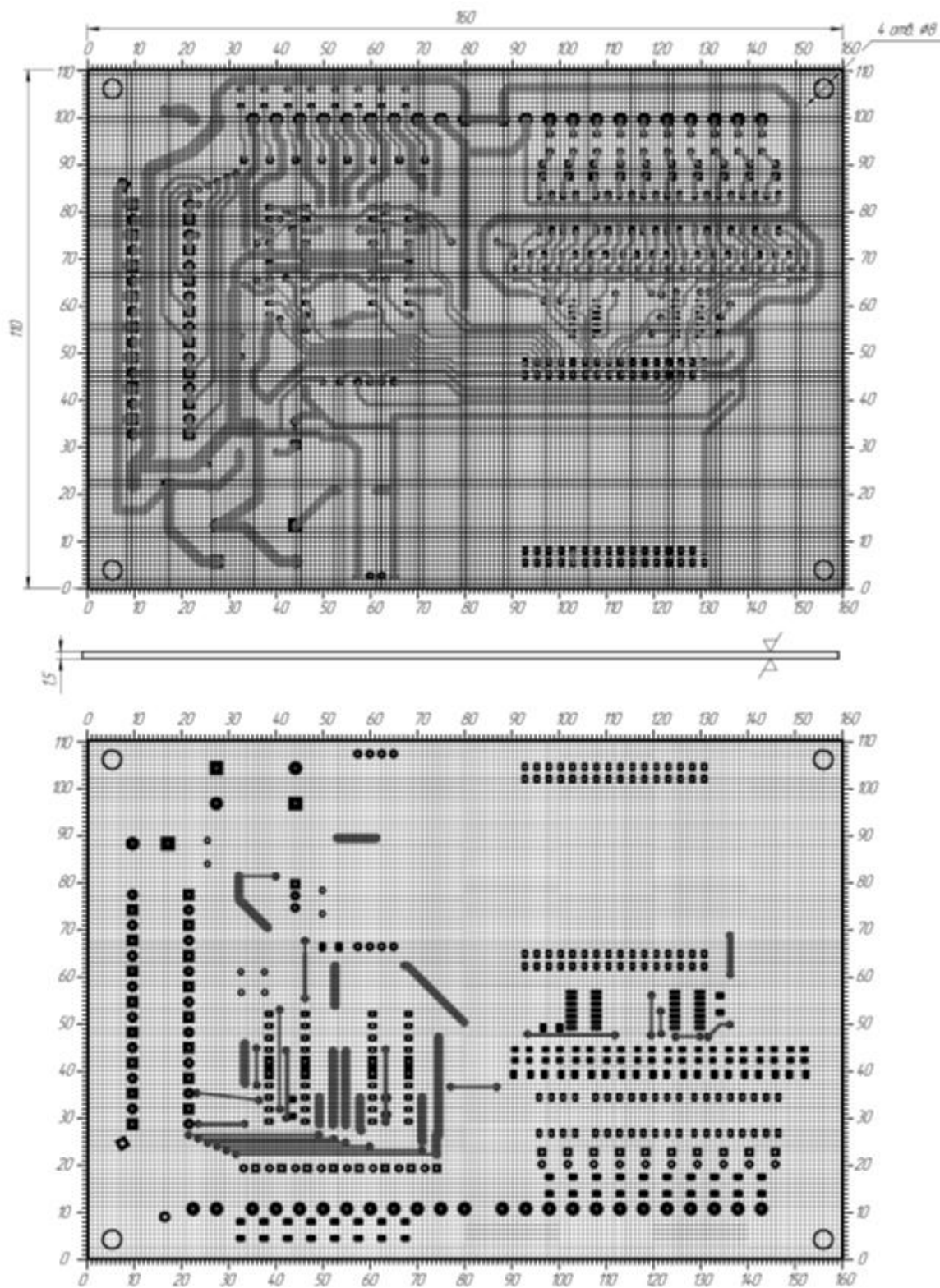


Рисунок 2.13 - Плата печатная системы управления. Микроконтроллер

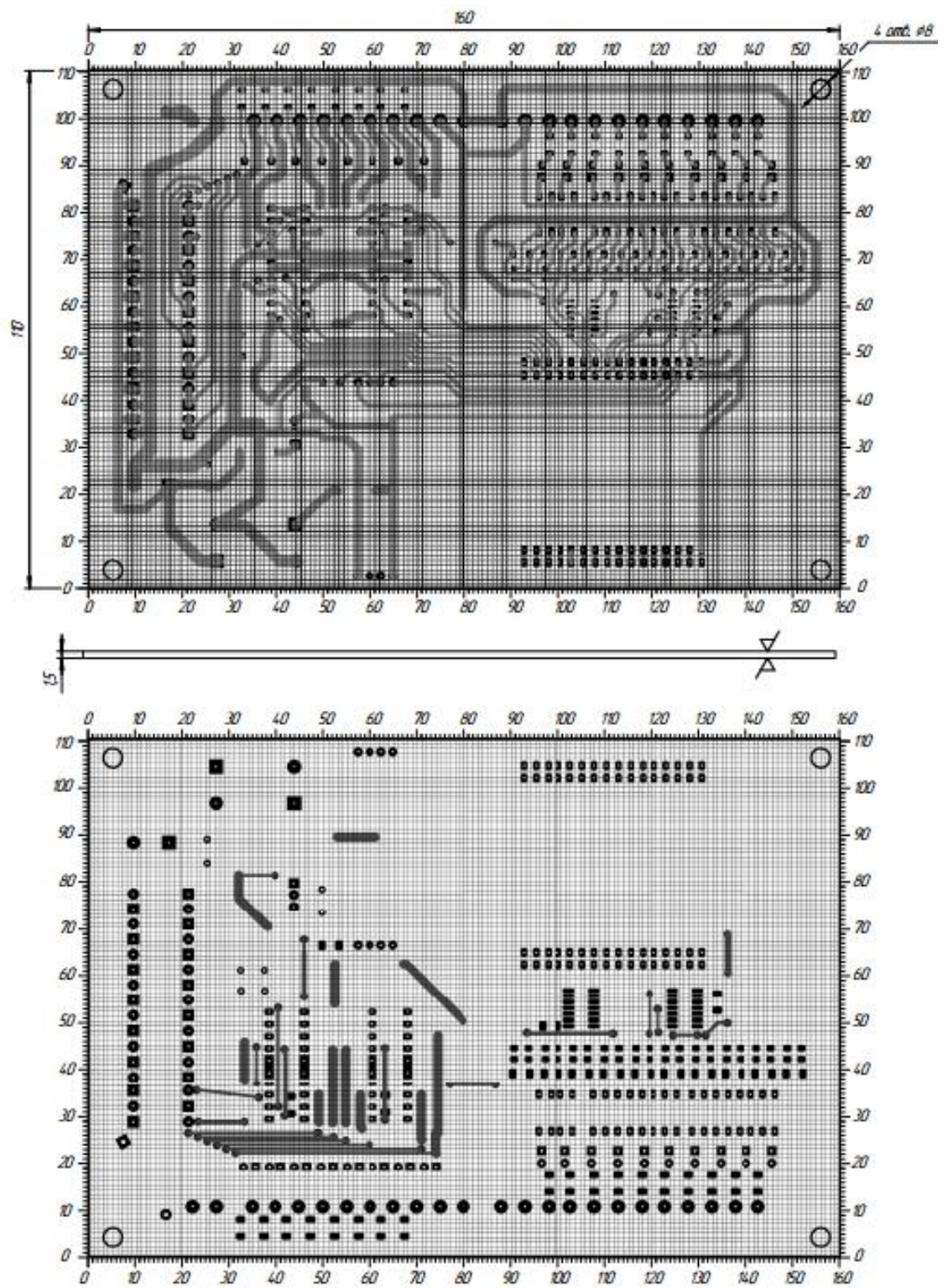


Рисунок 2.14 - Плата печатная системы управления. Драйвер

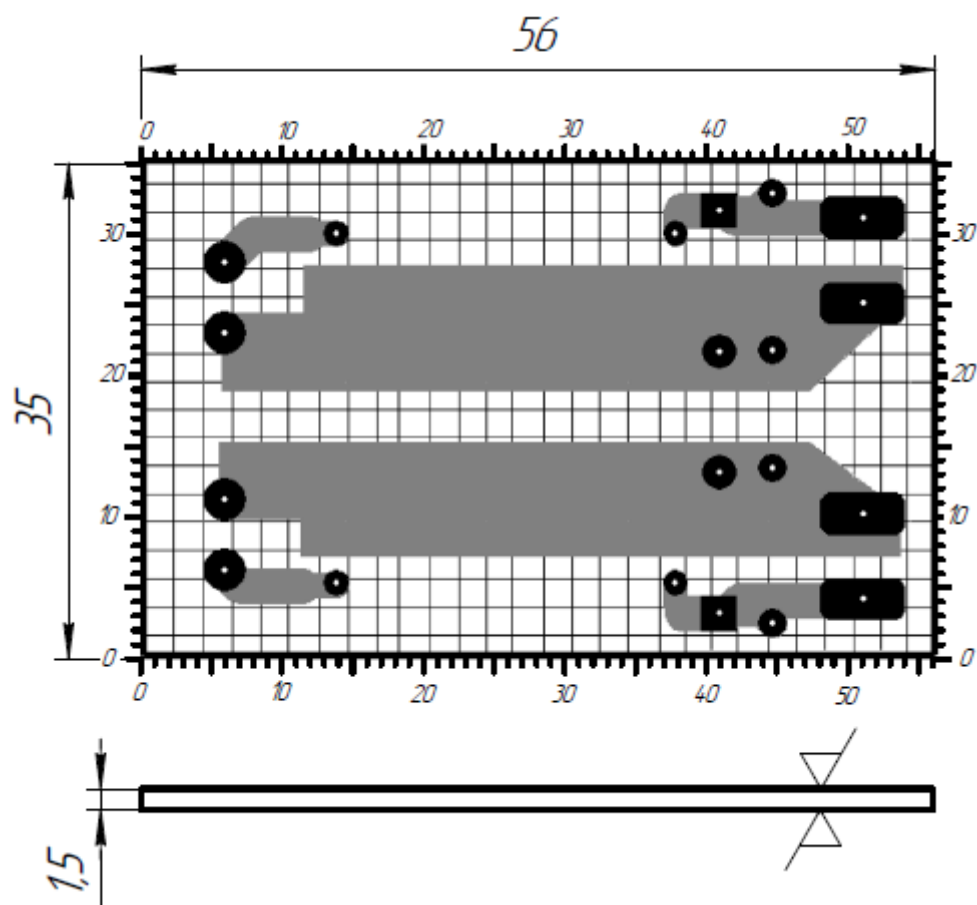


Рисунок 2.15 - Плата печатная системы управления. Защита затворов IGBT

2.4.5 Сборочные чертежи системы управления

На основании разработанных принципиальных схем и разведенных печатных плат, разработаны сборочные чертежи печатных узлов. Сборочные чертежи изображены на рисунках 2.16-2.18.

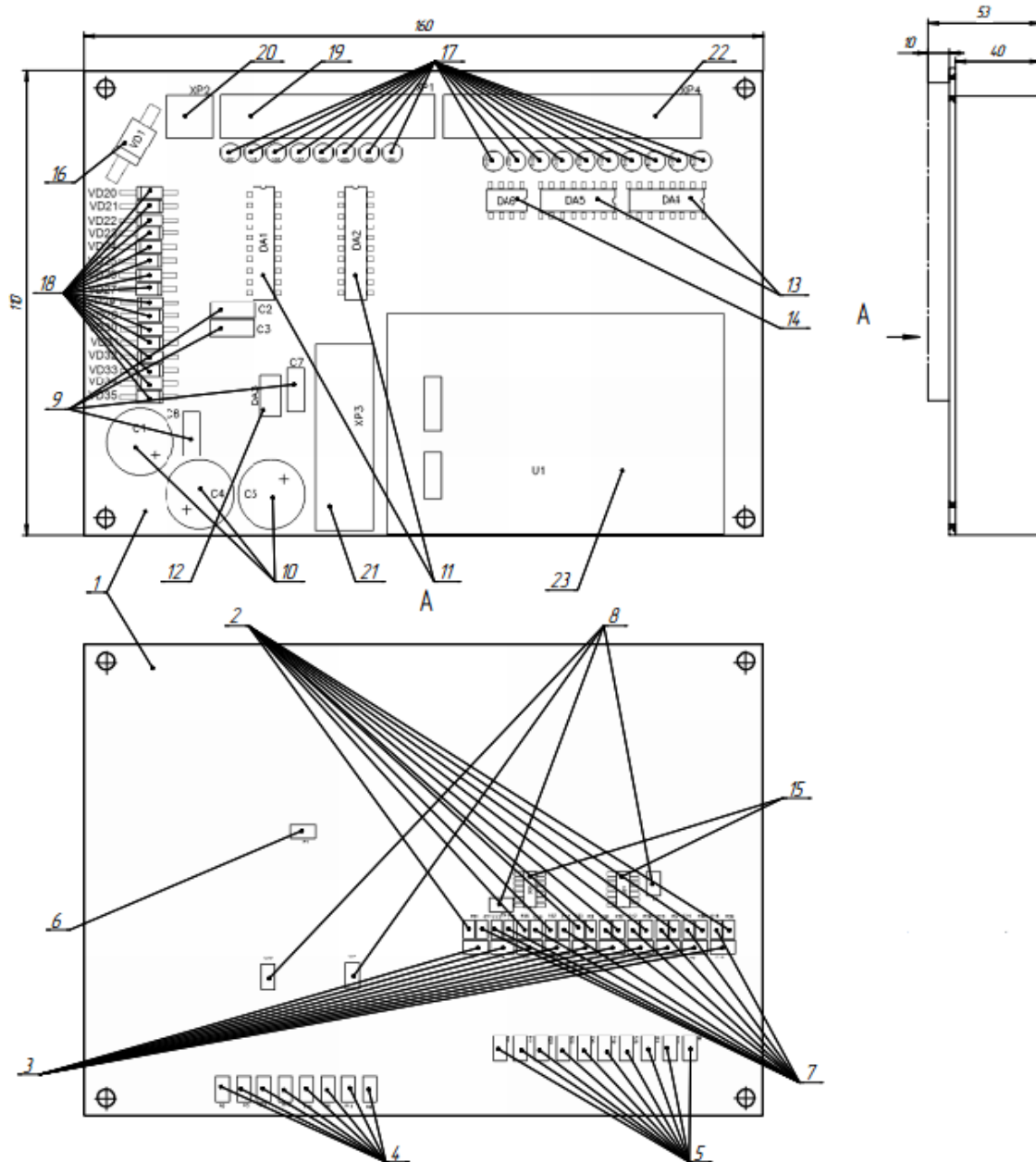


Рисунок 2.16 – Сборочный чертеж системы управления.
Микроконтроллер

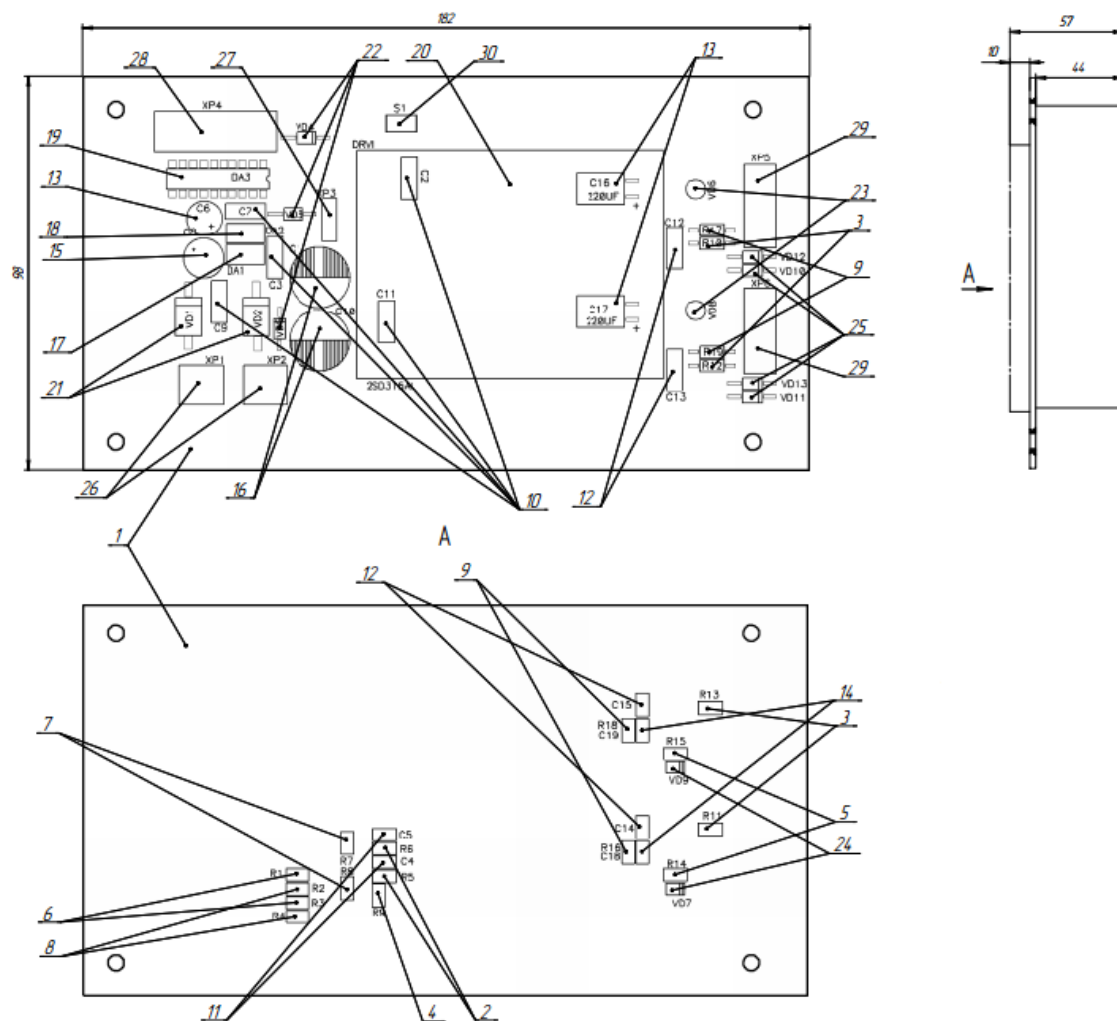


Рисунок 2.17 – Сборочный чертеж системы управления. Драйвер

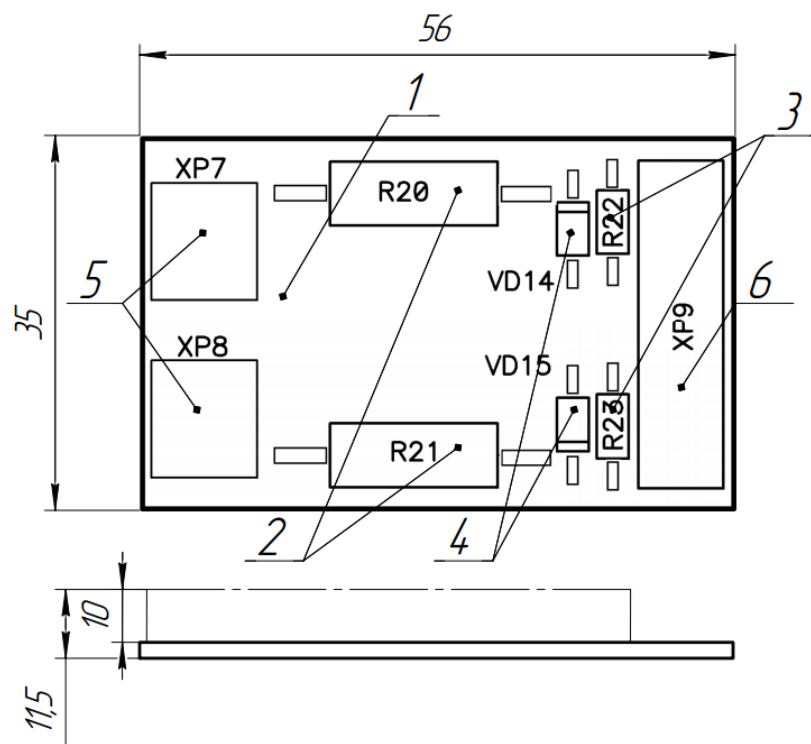


Рисунок 2.18 – Сборочный чертеж системы управления. Защита затворов IGBT

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ

Составили имитационную модель в пакете динамического моделирования MatLab R2012a/Simulink. Модель источника тока представлена на рисунке 3.1.

Устанавливаем заданные в ТЗ и рассчитанные параметры элементов в соответствующие им блок-схемы. Для фиксирования данных токов и напряжений используем блок осциллографа (Scope), к которому подключены измерительные приборы. Снятые осциллограммы, приведены на рисунках 3.2-3.5 расшифровка диаграмм по цвету в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Расшифровка диаграмм по цвету

Снимаемая величина	Измерительный прибор	Цвет
Напряжение на C1 (Series RLC Branch4)	Мультиметр 3:1 (Multimeter 3:1)	желтый
Напряжение на C2 (Series RLC Branch6)	Мультиметр 3:2 (Multimeter 3:2)	розовый
Ток МДО-нагрузки (Series RLC Branch9)	Мультиметр 3:1 (Multimeter 3:3)	темно-серый
Напряжение диагонали инвертора	Вольтметр (Voltage Measurement)	красный
Напряжение на МДО нагрузке	Вольтметр 1 (Voltage Measurement1)	зеленый
Напряжение на C3 (Series RLC Branch7)	Вольтметр 2 (Voltage Measurement2)	синий

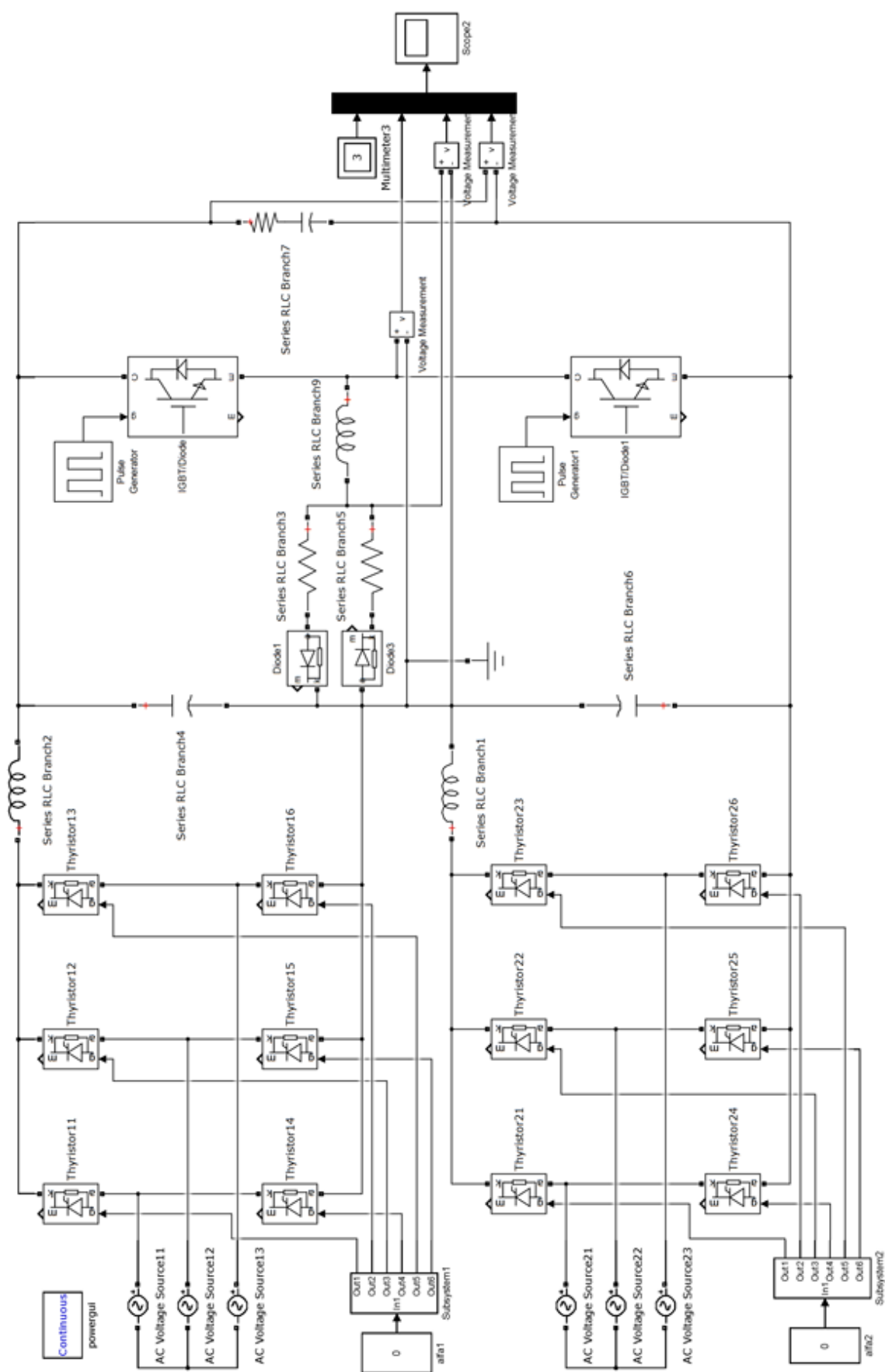
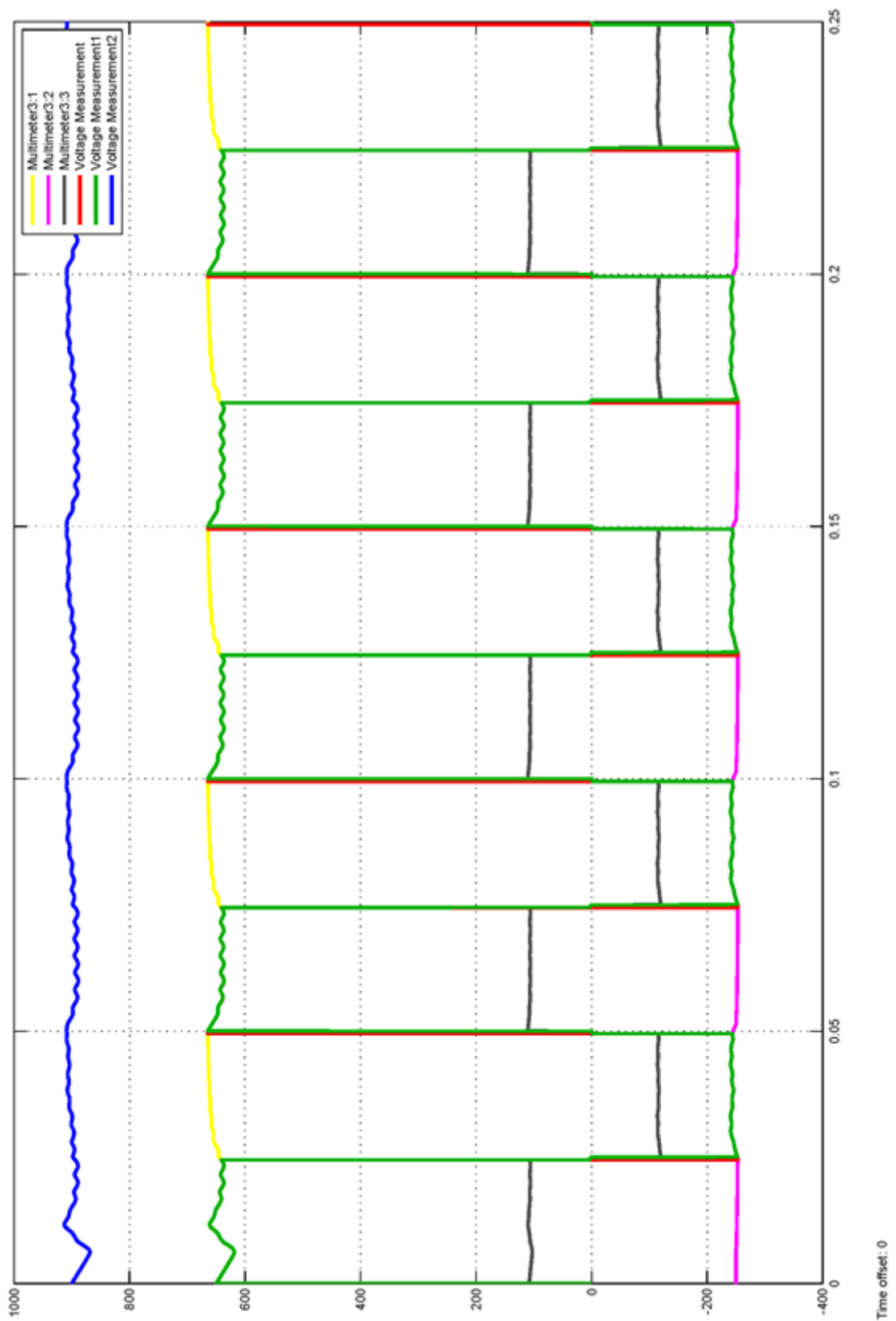


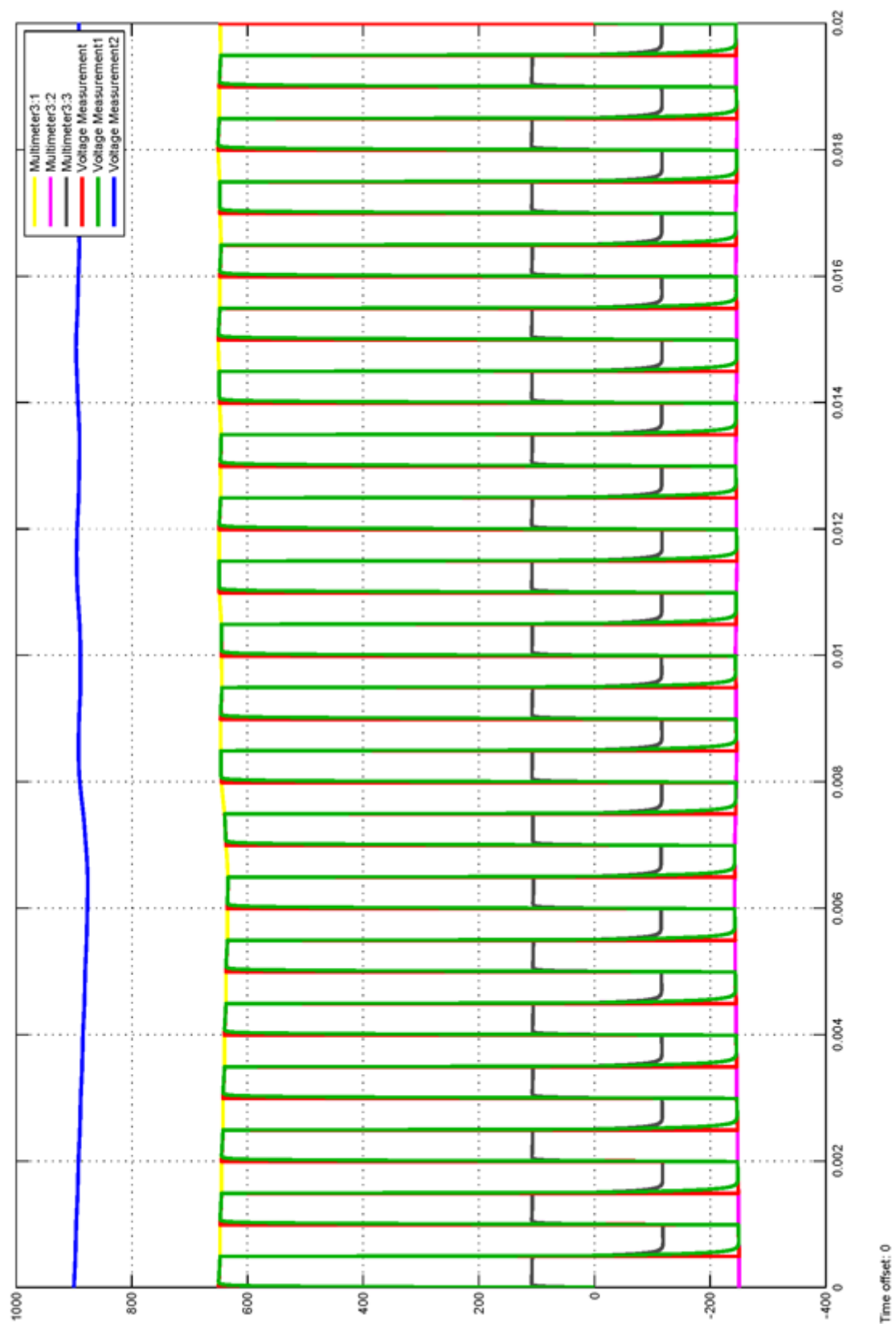
Рисунок 3.1 – Модель источника тока для МДО



Частота коммутации транзисторов $f = 20$ Гц

Угол управления выпрямителями $\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$

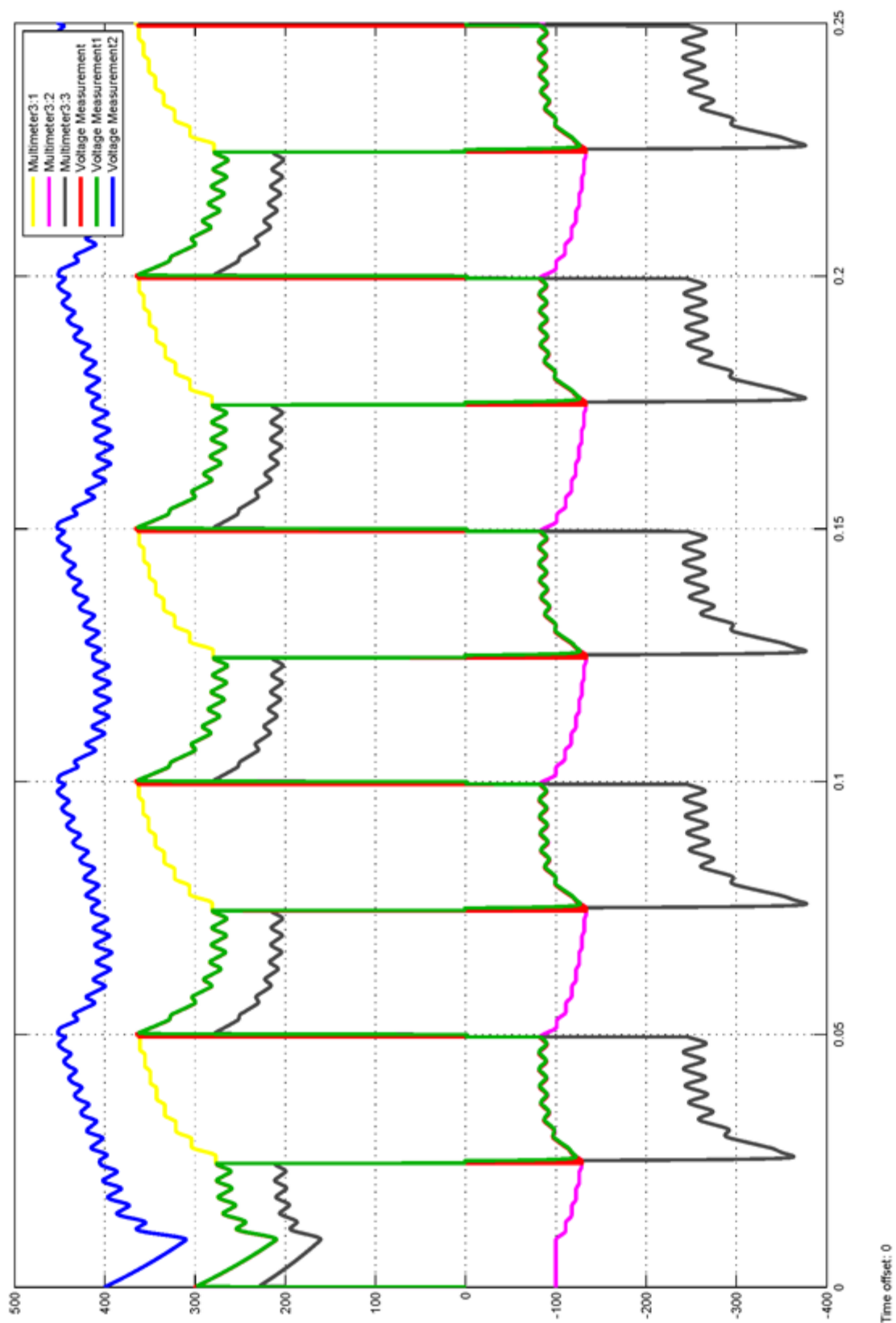
Рисунок 3.2 – Показания блока Scope



Частота коммутации транзисторов $f = 1000$ Гц

Угол управления выпрямителями $\alpha_1 = \alpha_2 = 0^\circ$

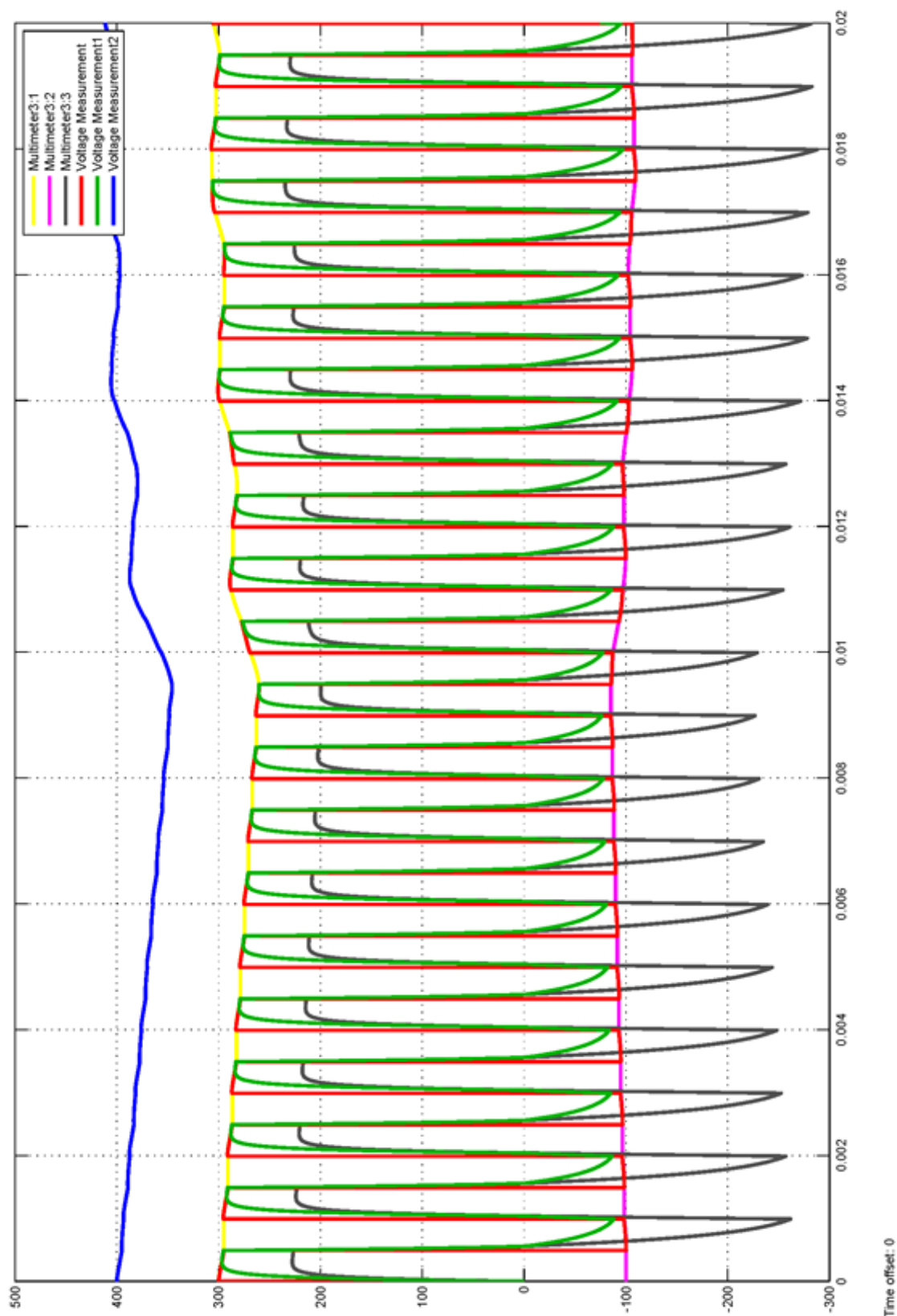
Рисунок 3.3 – Показания блока Scope



Частота коммутации транзисторов $f = 20$ Гц

Угол управления выпрямителями $\alpha_1 = 95^\circ$, $\alpha_2 = 101^\circ$

Рисунок 3.4 – Показания блока Scope



Частота коммутации транзисторов $f = 1000$ Гц

Угол управления выпрямителями $\alpha_1 = 95^\circ$, $\alpha_2 = 101^\circ$

Рисунок 3.5 – Показания блока Scope

По снятым диаграммам видно, что схема работоспособна и осуществляет требуемые режимы работы. Однако стоит заметить тот факт, что при минимальном напряжении анодного и катодного режима наблюдается критичное изменение формы выходных импульсов, что говорит о том, что LC-фильтры не справляются со своей задачей и требуют особого изучения и расчета под конкретные допустимые пульсации напряжения. Напряжение, прикладываемое к IGBT транзисторам, не превышает критического значения указанного в документации. Напряжение на конденсаторах также не превышает их номинального значения.

Результаты моделирования подтверждают расчетные данные.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ РАБОТЫ

4.1 Описание рабочего участка установки МДО, приборов и выполняемых операций.

Месторасположение рабочего места, оборудования и средств первой медицинской помощи и пожаротушения на рабочем участке проведения МДО представлена на рисунке 4.1, а расшифровка мест в таблице 4.1.

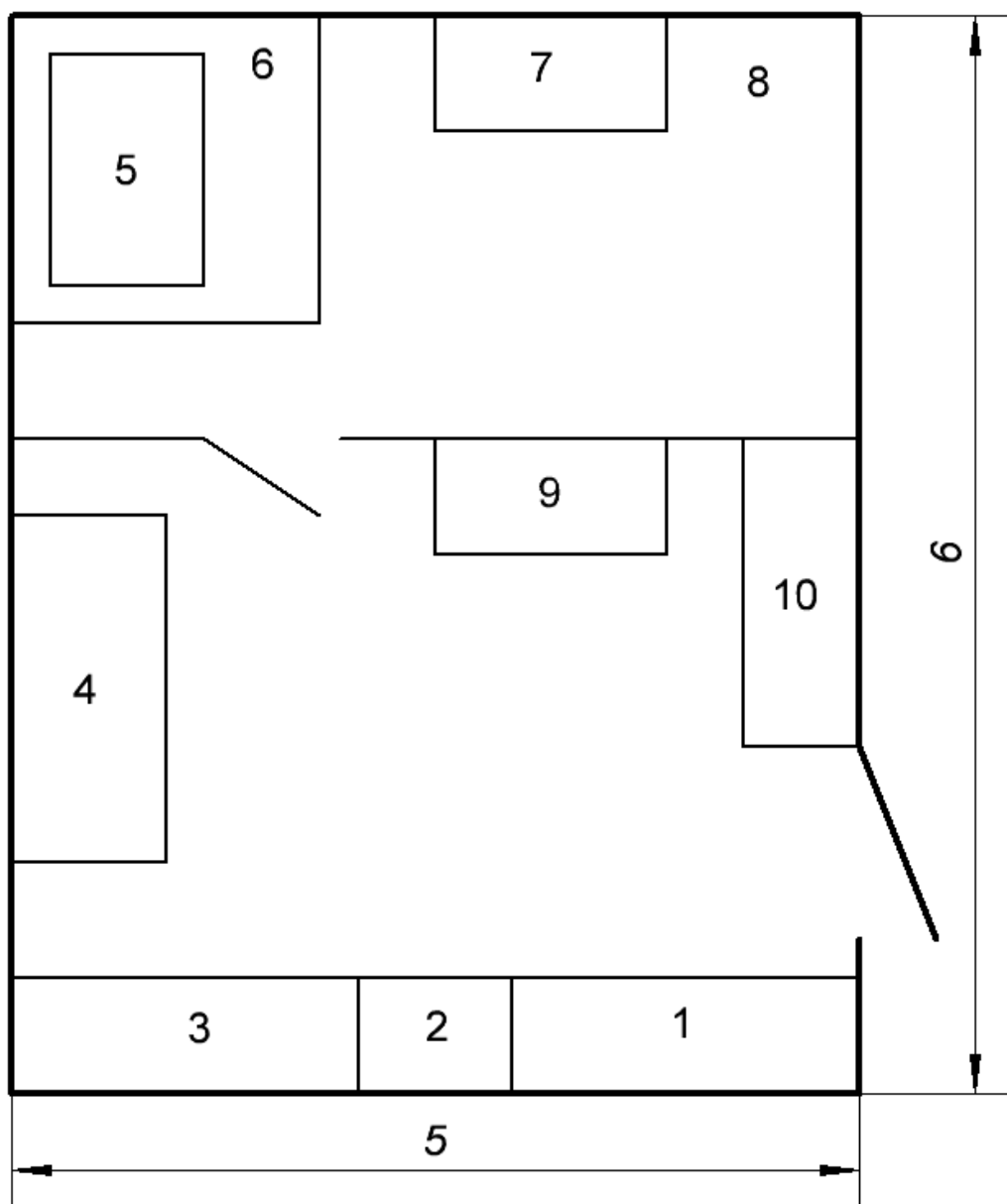


Рисунок 4.1 – Эскиз участка проведения МДО

Таблица 4.1 – Применяемое оборудование рабочего помещения.

№ позиции на эскизе (рис.7.1)	Наименование оборудования, инструмента и т.п.	Работы, операции, выполняемые на этом оборудовании или этим инструментом
1	Пожарный щит	Хранение средств пожаротушения
2	Аптечка	Хранение средств, оказания первой медицинской помощи
3	Информационный стенд	Предоставление информации по безопасности производства и оказания первой медицинской помощи
4	Шкаф для хранения инструментов и реактивов	Хранение инструментов и реактивов
5	Установка МДО	Производственный объект
6	Система вытяжной вентиляции	Осуществление вытяжки выделяющегося газа
7	Источник питания установки МДО	Производственный объект
8	Зона проведения процесса МДО	Сборка конструкции, монтаж изделия (образца), наполнение/слив гальванической ванны, техосмотр, ремонт.
9	Рабочее место	Место для наблюдения за процессом МДО, снятия экспериментальных данных и их обработки
10	Электрощит	Служит для запитки системы питания электроэнергией, а так же дополнительной защиты от токов короткого замыкания питающей сети

4.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов

В ходе проведения процесса МДО, на разных его стадиях производства воздействуют ряд различных, опасных и вредных производственных факторов.

Этап подготовки процесса МДО характеризуется работой с химическими веществами и рабочим инструментом, что сопряжено с опасным химическим воздействием на организм и получения производственных травм.

На этапе самого процесса оксидирования действует целый ряд вредных производственных факторов:

1. Шум, возникающий в результате действия микродуговых разрядов и работы трансформатора;
2. Загазованность воздуха рабочей зоны и выброс вредных токсичных веществ, в результате выделения газа из электролита;
3. Электромагнитное излучение от токоведущих проводников и схемы источника питания установки;
4. Опасность поражения электрическим током возможна в случаях: прикосновения к неизолированным участкам схемы, находящимся под напряжением, либо при нарушении изоляционного покрытия аналогичных изолированных участков; пробоя на корпус при работе на незаземлённом оборудовании; прикосновения к отключенным токоведущим частям и накопителям энергии, на которых остался заряд, и появилось напряжение.

Следует учесть, что силовой трансформатор, при работе, находится под действием создаваемого электромагнитного поля, и вследствие неоднородностей конструкции магнитопровода, может являться источником статического электричества. Несмотря на то, что при поражении статическим электричеством токи достигают небольших значений, статическое электричество, тем не менее, опасно с точки зрения электрического удара человека;

5. Пожар в системе питания установки, может произойти в случаях: прохождения в схеме токов короткого замыкания из-за повреждения изоляции, старения изоляции, попадания влаги в схему питания, снижения сопротивления изоляции и т.д.; искрения в местах контактов; перегрева элементов и проводки схемы при неверно выбранной мощности элементов, приборов или неверно выбранной площади сечения токопроводящих жил кабелей и обмоток. Нагрев изолированных проводников до температур, при которых материал изоляции начинает разлагаться с выделением горючих паров и газов, может служить причиной возгорания.

Анализ и обработка экспериментальных данных, составление научных отчетов, сопряжены с работой на ЭВМ, которая в свою очередь является источником электромагнитного излучения и зрительного напряжения. Несоблюдение условий работы за ней может приводить к значительному ухудшению самочувствия и здоровья в целом.

При техосмотре и ремонте оборудования имеет место работа с инструментом и электроинструментом, с высокой температурой рабочей поверхности, с движущимися, вращающимися и вибрирующими частями, что в свою очередь является опасным производственным фактором.

А также, на производстве, могут иметь место следующие факторы:

1. отсутствие или недостаток естественного света;
2. недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны;
3. монотонность трудового процесса;
4. нервно-эмоциональные перегрузки;
5. запыленность рабочей зоны.

По результатам анализа составили таблицу 4.2, в которой сведены все опасные и вредные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Опасные и вредные производственные факторы

№ п/п	Воздействие производственных факторов на организм работающих	
	Наименование опасного и вредного производственного фактора	Виды работ, технологические операции, на которых встречается вредный производственный фактор
1	Электромагнитное излучение	Процесс МДО, работа на ЭВМ
2	Высокое напряжение и электрический ток; Работа с режущим инструментом; Работа с вращающимися, вибрирующими механизмами	Процесс МДО, техосмотр и ремонт оборудования
3	Звуковые и ультразвуковые колебания	Процесс МДО
4	Разбрызгивание, розлив и выделение паров химических растворов, повышенная влажность	Приготовление электролитов
5	Загазованность воздуха рабочей зоны; Выброс вредных токсичных веществ; Повышенный уровень шума	Процесс МДО
6	Отсутствие или недостаток естественного света; Недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны; Монотонность трудового процесса; Нервно-эмоциональные перегрузки.	Процесс МДО, работа на ЭВМ

4.3 Воздействие опасных и вредных факторов на организм человека

В данном подразделе будут освещаться воздействия выявленных и идентифицированных производственных факторов (п.4.2) на организм человека.

4.3.1 Влияние шума на организм человека, его основные параметры и средства защиты от него.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижающие работоспособность и создающие предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма. Как физическое явление шум представляет собой волновое колебание упругой среды.

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест, является ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Согласно ГОСТ, уровни шума на постоянных рабочих местах и в рабочих зонах производственных помещений – 60дБА.

Методы и средства борьбы с шумом принято подразделять на: снижения шума в источнике его образования; снижения шума на пути его распространения; средства индивидуальной защиты.

4.3.2 Влияние электромагнитного излучения на организм человека, его основные параметры и средства защиты от него.

Источниками электромагнитных полей являются токоведущие части электроустановок. Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой системы, что выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, сильных болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса.

Оценка опасности воздействия электромагнитного излучения на человека, производится по величине электромагнитной энергии, поглощаемой человеком, с учетом электрической и магнитной напряженностей поля. Практически оценку потенциальной опасности воздействия электромагнитного поля достаточно производить по величине электрической напряженности. В соответствие с ГОСТ 12.1.002-84 и СанПин

5802-91 нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Присутствие в течение 8ч. Допускается при напряженности, не превышающей 5кВ/м.

Основным видом коллективной защиты являются стационарные экранирующие устройства.

4.3.3 Поражение электрическим током

Электрический удар, является видом поражения человека электрическим током, при котором происходят непроизвольные судорожные сокращения мышц, возможна потеря сознания, нарушение дыхания и работы сердца. Степень физиологического воздействия электрического тока в основном определяется его родом, величиной, длительностью протекания и зависит от пути тока через тело человека, а также от индивидуальных свойств человека. Наиболее вероятные пути: рука-рука, рука-ноги, нога-нога. Опасными являются пути тока, захватывающие жизненно важные органы: головной мозг, легкие и сердце.

Наиболее опасен переменный ток частотой 50 - 60 Гц. Это объясняется тем, что сопротивление тела человека включает емкостную составляющую в диапазоне частот 50-60 Гц. Поэтому увеличение частоты сопровождается снижением полного сопротивления тела и ростом силы тока, проходящего через человека. Ток частотой до 1 кГц представляет значительную опасность, но при дальнейшем повышении частоты опасность поражения уменьшается и полностью исчезает при частоте около 50 кГц.

Характер воздействия на живой организм электрического тока существенно зависит от времени его протекания: чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного исхода.

Существенное значение в степени поражения током имеют индивидуальные свойства человека, фактор внимания и сопротивление тела человека. Здоровые и физически крепкие люди легче переносят воздействие

электрического тока, чем лица, страдающие различными заболеваниями. Внутреннее сопротивление тела обычного человека составляет около 1000 Ом, однако в зависимости от различных условий оно может существенно меняться от нескольких сотен Ом до МОм. В условиях повышенной влажности оно снижается в 12 раз, в воде – в 25 раз, резко снижает его принятие алкоголя, во время сна оно возрастает в 15-17 раз и т.д. Таким образом, окружающая среда может способствовать повышению опасности поражения людей электрическим током. Повышение температуры окружающей среды, снижение атмосферного давления, сырость, едкие пары и газы резко повышают чувствительность к току. С учетом данных факторов производственные помещения классифицируются по степени опасности в соответствии с ПУЭ.

Для защиты от поражения электрическим током установка должна соответствовать ГОСТ 12.1.030-81.

4.3.4 Химическое воздействие на организм человека, средства защиты

Химически опасные и вредные производственные факторы по характеру воздействия на организм человека подразделяются на:

- токсические;
- раздражающие;
- сенсibiliзирующие;
- канцерогенные;
- мутагенные;
- влияющие на репродуктивную функцию;

Возможные пути попадания в организм человека, через:

- органы дыхания;
- желудочно-кишечный тракт;
- кожные покровы
- слизистые оболочки.

Поступившие в организм тем или иным способом химические вещества, могут распределиться по всему организму и оказывать быстрое или медленное токсическое воздействие.

Наиболее разрушительным воздействием обладают концентрированные кислоты и щелочи. При воздействии кислот и щелочей на организм человека образуются химические ожоги. Щелочные жидкости обладают более разрушительным действием, чем кислотные из-за своей способности проникать вглубь тканей.

Противохимическая защита - это комплекс мероприятий проводимых с целью предотвратить или ослабить воздействие на сотрудников химических факторов.

Для предотвращения влияния опасных химических веществ используются средства индивидуальной защиты (противогазы и средства защиты кожи).

4.4 Мероприятия по разработке безопасных условий труда на производственном участке

1) Снижение уровня шума.

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96. С целью уменьшения шума, применяются средства индивидуальной защиты (беруши).

2) Снижение уровня электромагнитного излучения.

Уровень электромагнитного излучения от электрооборудования нормируется ГОСТ 12.1.002-84 и СанПиН 5802-91. С целью уменьшения воздействия на рабочий персонал лаборатории электромагнитного излучения всё электрооборудование и электропроводка закрывается экранами по ГОСТ 50571.

3) Снижение вероятности поражения электрическим током.

С целью предотвращения поражения электрическим током персонала все электрооборудование, используемое для производства и испытаний,

обеспечено первым классом защиты (ГОСТ 536-94): основная изоляция и защитные проводники. Все токоведущие части обладают классом защиты IP20 (ГОСТ 14254-96). Изоляция внешних токопроводящих частей соответствует ГОСТ 50571. Заземление соответствует ГОСТ 12.01.030-81, всё электрооборудование соединено шиной выравнивающей потенциалы по ГОСТ 12.3.089-90. Сеть переменного тока участка снабжена устройством защитного отключения (ПУЭ, ГОСТ Р 50571).

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции применяются следующие средства:

- защитные оболочки;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция токоведущих частей;
- изоляция рабочего места;
- предупредительные сигнализации, знаки безопасности и систему отключения установки от сети в случае проникновения в неё персонала (ГОСТ 50571).

При ремонте установки необходимо выполнить следующие действия:

- отключить установку от источника питания;
- подождать не менее 5 минут (это связано с тем, что на обкладках конденсаторов после отключения остаётся заряд);
- проверить отсутствие напряжения;
- отключить вводной автомат;
- на рукоять вводного автомата повесить табличку: «Не включать, работают люди»;
- заземлить токоведущие части.

Для профилактики нарушений правил техники безопасности на электроустановке сотрудники, в обязательном порядке и назначенные сроки должны проходить аттестацию и инструктаж (ТОИ Р-45-068-97) по

электробезопасности, допускающую их к работе в электроустановках с высоким напряжением.

4) Предотвращение опасного воздействия химических веществ содержащихся в составе производственных электролитов, на сотрудников.

Для профилактики нарушений правил техники безопасности при работе с химическими веществами регулярно производится инструктаж по химической безопасности.

Для предотвращения влияния опасных химических веществ используются средства индивидуальной защиты (противогазы и средства защиты кожи).

5) Обеспечение пожарной безопасности на производственном участке, рабочем месте.

По степени пожарной опасности помещение относится к категории Д (НБП 105-95).

Пожарная опасность обусловлена наличием в электроустановках горючих изоляционных материалов: изоляция проводов, лаки, компаунды и прочие конструктивные материалы. Выделяемая изолированными проводниками теплота, при прохождении тока, вызывает повышение температуры. В случаях значительных перегрузок проводников, и особенно при прохождении токов короткого замыкания температура изоляции возрастает настолько, что материал разлагается с выделением горючих паров и газов, что является причиной возгорания.

Организация системы пожарной безопасности соответствует ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76.

Для автоматического обнаружения пожаров применяются автоматические пожарные извещатели. Положение пожарных извещателей нормируется НБП 88-2001.

Для тушения малых очагов возгорания в лаборатории предусмотрено размещение огнетушителей (рисунок 4.1).

Так как в большинстве случаев причиной возникновения пожаров является халатность персонала и несоблюдение норм пожарной безопасности при проектировании и строительстве зданий, для профилактики пожарной безопасности каждые полгода с персоналом проводится инструктаж по правилам пожарной безопасности и работе с электрооборудованием ТОО Р-45-068-97.

6) Расчет искусственного освещения.

Рассчитали индекс помещения по формуле [23]:

$$i = \frac{b \cdot l}{h \cdot (b + l)} = \frac{5 \cdot 6}{4 \cdot (5 + 6)} = 0,7, \quad (4.1)$$

где $b = 5$ – ширина производственного помещения, м; $l = 6$ – длина производственного помещения, м; $h = 4$ – высота производственного помещения, м.

Учитывая, что при производстве, процесс оксидирования вносит дополнительную влажность в помещение, выбрали газоразрядную лампу ЛД 20-4 типа ВЛО со следующими характеристиками:

- мощность: $P=20$ Вт;
- световой поток: $\Phi=920$ лм;
- средняя продолжительность горения: $t=10000$ ч.

Из [23] выбрали коэффициент использования светового потока, принимая во внимание, что поверхность помещения имеет полутемный цвет: $\eta = 18$.

Определили норму освещенности, исходя из того, что выполняемые работы характеризуются средней точностью выполняемой работы: $E = 300$ лк.

Определили необходимое количество светильников по формуле [23]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 35 \cdot 1,8 \cdot 1,5}{920 \cdot 18} = 1,7, \quad (4.2)$$

где $S = 35$ – площадь производственного помещения, м²;

$k = 1,8$ – коэффициент запаса, учитывающий старения ламп на территории промышленных предприятий [23];

$z = 1,5$ – коэффициент неравномерности освещенности [23];

$\Phi=920$ – световой поток для выбранной лампы, лм.

Для освещения поставили 2 лампы выбранного типа.

По результатам расчета составили проектировочную схему расположения светильников, которая приведена на рис. 4.2.

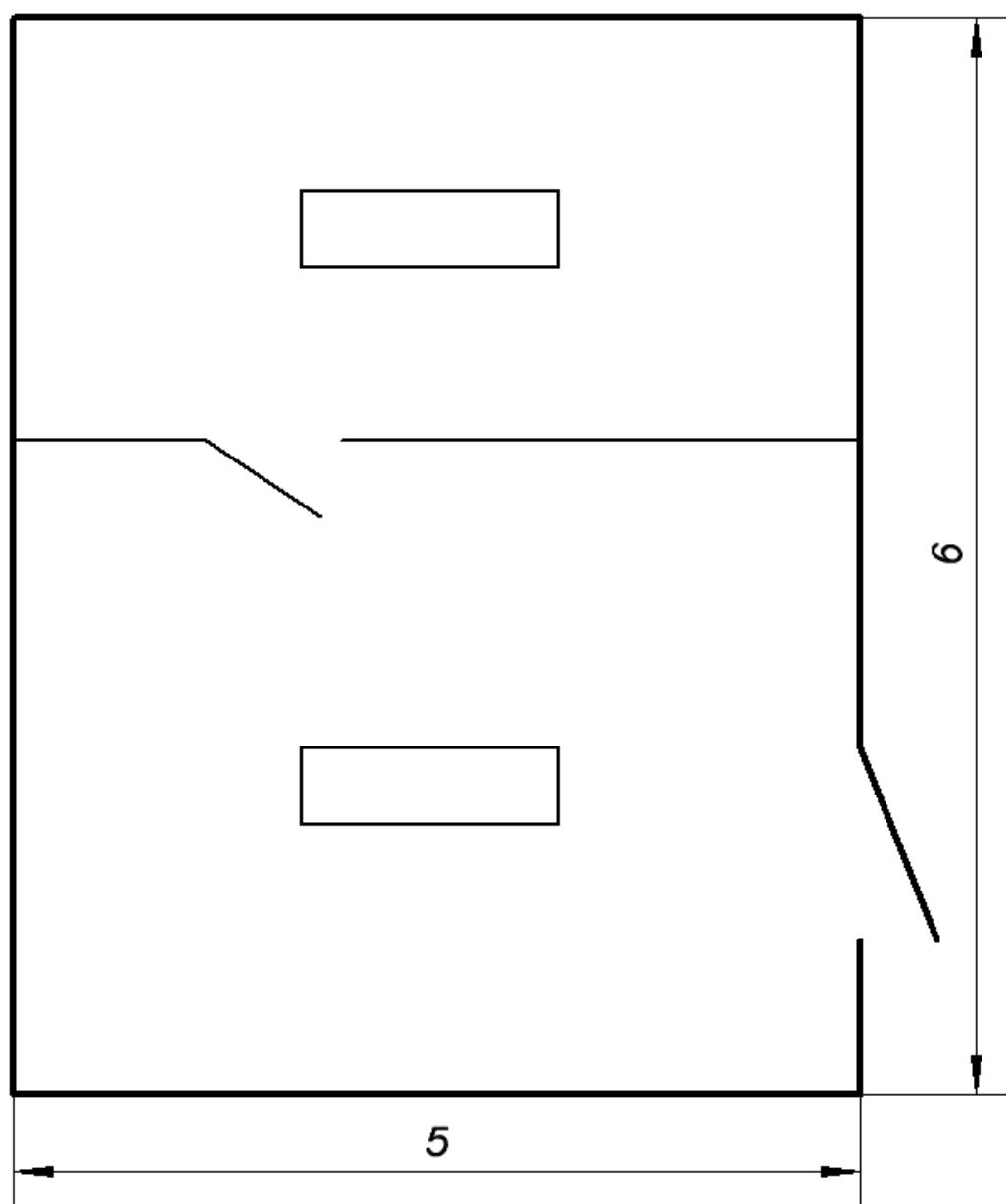


Рисунок 4.2 – Проектировочная схема расположения светильников

4.5 Расчёт защитного заземления помещения

Цель расчета заземления [32]: определить количество, размеры заземлителей и конфигурацию заземлителей.

1) Расчет удельного сопротивления грунта от местности.

На удельное сопротивление грунта оказывает влияние время года, поскольку атмосферные условия, изменяющиеся в течение года, влияют на содержание влаги в грунте, его температуру и количество растворенных в нем солей.

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{табл}} \cdot k_c = 40 \cdot 1,8 = 72 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (4.3)$$

где $\rho_{\text{табл}} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ - табличное значение удельного сопротивления земляного грунта [32]; $k_c = 1,8$ - расчетный климатический коэффициент сопротивления грунта средней влажности [32].

2) Допустимое сопротивление заземляющего устройства:

Наибольшие допустимые значения сопротивления защитного заземления R_d , установленные Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) для любого времени года, составляют: для установок напряжением до 1000 В: 10 Ом - при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВА;

3) Выбор типа, размера и конфигурации заземлителя:

Выбрали трубчатый заземлитель с заглублением на 1,2 метра от поверхности грунта. В качестве вертикальных стержней предполагается применить стальные трубы длиной 3 м, диаметром 50 мм и толщиной стенки 3,5мм.

4) Расстояние от поверхности земли до середины заземлителя.

$$t = t_0 + 0,5 \cdot l = 1,2 + 0,5 \cdot 3 = 2,7 \text{ м}, \quad (4.4)$$

где $t_0 = 1,2$ - глубина заложения заземлителя, м; $l = 3$ - длина заземлителя, м.

5) Сопротивление растеканию тока одного заземлителя:

где $d = 0.05 \text{ м}$ - диаметр одиночного заземлителя, м.

6) Длина горизонтальных электродов:

Приняли расстояние между вертикальными заземлителями $a = 3$ м, труб $n = 4$ шт. Трубы размещены по квадратному контуру размерами 3×3 м.

$$l_r = a \cdot n = 12 \text{ м} \quad (4.5)$$

В качестве соединительной полосы используем стальную шину диаметром 0.02.

7) Сопротивление растеканию тока горизонтального заземлителя определили по формуле:

$$, \quad (4.6)$$

8) Сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей:

$$, \quad (4.7)$$

где $\eta_r = 0.4$ - коэффициент использования горизонтальных электродов, из [32]; $\eta_v = 0.61$ - коэффициент использования вертикальных электродов, из [32];

В итоге расчета заземления, получили общее сопротивление заземления меньше, чем требуемое (ПУЭ). Поэтому перерасчет его не требуется.

4.6 Антропогенное воздействие объекта на окружающую среду и мероприятия по экологической безопасности

При реализации объекта и его испытаниях, а также возможной модернизации в процессе отладки, можно выделить негативные воздействия на окружающую среду, представляющие собой энергетическое загрязнение. К такому фактору, в частности, относятся электромагнитные волны и вибрация, присущие самому источнику, содержащему силовой трансформатор. При проработке мер защиты от вибрации, распространение механических волн гасится в пространстве фундамента (опор) установки. Электромагнитные волны, распространяющиеся за пределы установки,

вызываются полем рассеяния обмоток трансформатора и токоведущих проводов. Так как конструкция предусматривает размещение обмоток внутри магнитопровода, то величина магнитного потока рассеяния обмоток очень мала, следовательно, уровень электромагнитных волн также достаточно низок. Также система питания находится в металлическом шкафу, который будет служить дополнительным экраном, а тока ведущие шины экранированы стальным каналом, что в сумме обеспечит полную защиту от данного негативного фактора.

Система питания МДО не оказывает ощутимых изменений окружающей среды.

4.7 Безопасность объекта при аварийных и чрезвычайных ситуациях

В здание, на территории которого располагается участок испытания установки МДО, разработаны профилактические мероприятия и система пожарной защиты согласно ГОСТ 12.1.004-91.

При разработке мероприятий ориентировались на то, что нормативная вероятность возникновения пожара не более 10^{-6} в год в расчете на отдельного человека.

К зданию, в котором располагается участок, обеспечивается беспрепятственный проезд пожарных автомобилей. На участке располагается: огнетушитель порошковый ОПУ-5. На этаже здания, в котором располагается участок, расположен пожарный щит.

При незначительном очаге возгорания персонал тушит очаг подручными средствами и обязан нажать кнопку пожарной сигнализации.

При возникновении пожарной тревоги персонал должен покинуть помещение в течение нормированного минимального времени СНиП 21.01-97, которое определено кратчайшим расстоянием от места нахождения до выхода наружу, через выход. Дежурный по зданию обязан вызвать пожарных по телефону 01 (сот.112).

Заключение

В данной бакалаврской работе в соответствии с заданием осуществлена разработка источника тока для микродугового оксидирования.

Произведен расчет параметров источника тока для больших напряжений анодного и катодного режима, и выбор электронных компонентов. Расчетная схема источника была промоделирована в среде Simulink пакета Matlab R2014a. По результатам моделирования видно, что схема работоспособна и осуществляет требуемые режимы работы. Однако стоит заметить тот факт, что при минимальном напряжении анодного и катодного режима наблюдается критичное изменение формы выходных импульсов, что говорит о том, что LC-фильтры не справляются со своей задачей и требуют особого изучения и расчета под конкретные допустимые пульсации напряжения.

Разработанный источник питается от промышленной трехфазной сети ~ 380 В. Полная мощность источника составляет 100кВА, 70кВА на анодный режим МДО, а 30кВА на катодный. Источник способен формировать напряжение на нагрузке, в анодном режиме в диапазоне от 300 до 650 В, а в катодном от 100 до 300 В, с частотой от 20 до 1000 Гц, что полностью соответствует техническому заданию.

Силовой формирователь тока построен на основе полумостовой схемы, состоящей из двух управляемых ключей и конденсаторного делителя напряжения, что упрощает систему управления.

Список используемой литературы

1. Суминов, И.В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов и др. – М. : ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Большенко, А.В. Разработка источника питания для установки микродугового оксидирования / А.В. Большенко, И.В. Васюков, А.В. Павленко // Ползуновский альманах. – 2010. – №2. – С. 249-250.
3. Виноградов, А.В. Разработка и исследование источника тока для микродугового оксидирования деталей приборов и оценка его технологических возможностей: дисс. на соиск. ученой ст. к.т.н: 05.11.14 / Виноградов Алексей Владимирович. – М., 2013. – 194 с.
4. Патент РФ 2083731 (C25D11/02, C25D21/00) Устройство для микродугового оксидирования металлов и сплавов / А.И. Мамаев, Ю.А. Савельев, Ж.М. Рамазанова. Оpubл. 10.07.1997
5. Патент РФ 80166 (C25D5/18) Устройство для микродугового оксидирования металлов и сплавов / Б.М. Клименко (RU), Д.Л. Раков (RU), Ю. Торбек (DE). Оpubл. 27.01.2009
6. Томашев, Н.Д. Толстослойное анодирование алюминия и его сплавов / Н.Д. Томашев, Ф.П. Заливалов, М.М. Тюкина. – М. : Машиностроение, 1968. – 220 с.
7. Эпельфельд, А.В. Технологические методы и средства формирования многофункциональных покрытий микродуговым оксидированием: автореф. дисс. на соиск. ученой ст. докт. техн. наук: 05.16.06 / Эпельфельд Андрей Валерьевич. – М., 2007. – 38 с.
8. Liang, C.J. In-situ Impedance Spectroscopy Studies of the Plasma Electrolytic Oxidation Coating Process: This dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy: / Chen-Jui Liang. – The university of Sheffield, June 2013. – p219.

9. Патент РФ № 1759041 (С25Д 11/02) Устройство для микродугового оксидирования вентильных металлов и сплавов / И.К. Залялетдинов, В.Б. Людин, Ю.Б. Пазухин, Б.В. Харитонов, Л.П. Шичков, А.В. Эпельфельд. Оpubл. 15.07.1994

10. МИКРОДУГОВОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ (обзор) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://tompve.ru/science/Obzor-pribor4.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

11. Патент РФ № 2389830 (С25Д 11/02) Способ микродугового оксидирования / А.А. Никифоров. Оpubл. 20.05.2010

12. A Yerokhin, E V Parfenov and A Matthews "Frequency response method for modelling of plasma electrolytic oxidation processes", ММТ 2008, Proc Int Conf, Ariel, Israel (2008) V1, 4-12 - 4-18, Editor: M Zinigrad, ISBN: 978-965-7376-16-4, Ariel University Center of Samaria.

13. Тольяттинский государственный университет. НИО-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tltsu.ru/science/uslugi/kon/neo4/index.php?sphrase_id=227573, свободный. – Загл. с экрана.

14. IGBT модули [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w501.html>, свободный. – Загл. с экрана.

15. IGBT модуль CM600DY-24A [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.platan.ru/pdf/datasheets/mitsubishi/cm400dy-34a_e.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

16. Охладители воздушного охлаждения для силовых модулей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.elvpr.ru/poluprovodnikprib/ohladiteli/silovmodul_vozd.php, свободный. – Загл. с экрана.

17. Вентиляторы для охлаждения электронной аппаратуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.platan.ru/pdf/ec291.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

18. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П.А. Воронин – М. : Издательский дом “Додека-XXI”, 2001. – 384 с.
19. Конденсаторы пленочные [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w10602.html>, свободный. – Загл. с экрана.
20. Продумываем защиту преобразователя частоты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ural-asutp.ru/articles/14-articles/62-produmyvaem-zaschitu-preobrazovatelya-chastoty>, свободный. – Загл. с экрана.
21. Электрум АВ, Каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electrum-av.com/images/ststii/katalog.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
22. Колпаков, А. Проблемы проектирования igbt-инверторов: перенапряжения и снабберы / А. Колпаков, Й. Ламп // Компоненты и Технологии. – 2008. – 82. – С. 98-103.
23. Расчет освещения по методу коэффициента использования светового потока [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://malahit-irk.ru/index.php/2011-01-13-09-04-43/202-2011-07-07-12-57>., свободный. – Загл. с экрана.
24. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей (Справочная книга) / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин – 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
25. Забродин Ю.С. Промышленная электроника (Учебник для вузов) / Ю.С. Забродин – М.:Высш. школа, 1982. – 496 с.
26. Алюминиевые электролитические конденсаторы Epcos (Каталог) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.platan.ru/pdf/datasheets/epcos/B43456_B43458.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
27. Драйверы Power Integrations [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.symmetron.ru/suppliers/power-integrations>, свободный. – Загл. с экрана.

28. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. Под. ред. Р.Г.Варламова.-М.: Сов.радио, 1990.
29. Устройства защиты, предохранители [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w32503.html>, свободный. – Загл. с экрана.
30. Алиев И. И. и др. Электрические аппараты. Справочник. / И. И. Алиев, М. Б. Абрамов. – М.: Радиософт, 2004. – 576 с.: ил.
31. Платан. Каталог электронных компонентов 2013.
32. Расчет защитного заземления (пособие) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://storage.mstuca.ru/bitstream/123456789/1890/1/%20%20.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
33. Диоды защитные [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.chipdip.ru/product/1.5ke18ca/>, свободный. – Загл. с экрана.
34. Стабилизаторы напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://lib.chipdip.ru/070/DOC000070960.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
35. Драйверы тиристорov [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://electrum-av.ru/ru/2013-12-02-11-52-50/2013-12-03-20-05-26/2013-12-03-17-17-58/drajvery-tiristorov.html>, свободный. – Загл. с экрана.
36. Модуль ATmega128 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ebay.com/itm/ATMEL-ATMega128-M128-AVR-Minimum-Core-Development-system-board-Module-ISP-JTAG-/200926916680?hash=item2ec82d7048:g:XosAAOSwEetV-lVe>, свободный. – Загл. с экрана.
37. Nominé, A. High speed video evidence for localised discharge cascades during plasma electrolytic oxidation / A. Nominé and etc.// Surface & Coatings Technology. – 2015. –269. – p125-130.

38. Dunleavy, C.S. Characterisation of discharge events during plasma electrolytic oxidation / C.S. Dunleavy and etc.// Surface & Coatings Technology. – 2009. – 203. – p 3410-3419.

39. Troughton, S.C. Synchronised electrical monitoring and high speed video of bubble growth associated with individual discharges during plasma electrolytic oxidation / S.C. Troughton and etc.// Applied Surface Science. – 2015. – 359. – p 405-411.

40. Weia, C.B. Anode current effects in plasma electrolytic oxidation / C.B. Weia and etc.// Surface & Coatings Technology. – 2007. – 201. – p5021-5024.