

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Общая теория электромеханического преобразования энергии
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Методы контроля и наладки систем управления
электромеханических преобразователей энергии»

Студент

А.Г. Кутуков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

М.Н. Третьякова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы к.т.н., профессор В.В. Ермаков
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Содержание

Введение.....	4
Глава 1 Методы диагностики аналогового электропривода.....	8
1.1 Актуальные проблемы диагностики.....	8
1.2 Метод диагностики «по параметрам».....	11
1.3 Метод диагностики на основе динамических нейронных сетей.....	17
1.4 Метод высших гармонических составляющих.....	21
1.5 Метод диагностики на основе нечеткой логики.....	25
1.6 Анализ структуры управления преобразователем.....	28
1.6.1 Анализ работы комплектного электропривода.....	28
1.6.2 Анализ работы двигателя.....	33
1.6.3 Принцип работы.....	36
1.6.4 Контроль и сигнализация.....	39
1.7 Стенд для проведения лабораторного эксперимента.....	42
Глава 2 Разработка методики экспресс диагностики.....	47
2.1 Общие сведения.....	47
2.2 Разработка блок-схемы методики.....	48
Глава 3 Разработка устройства диагностики.....	50
3.1 Требования к печатной плате.....	50
3.2 Проектирование узлов печатной платы.....	53
3.3 Размещение и оптимизация положения радиоэлементов.....	57
3.4 Подготовка производства.....	63
Глава 4. Разработка программного обеспечения.....	70
4.1 Используемое программное обеспечение.....	70
4.2 Разработка интерфейса.....	71
4.3 Разработка алгоритма подсчета качества управления.....	76
4.4 Разработка алгоритма выдачи рекомендаций по оптимизации.....	78
Глава 5 Испытания.....	81
5.1 Испытание устройства.....	81
5.2 Заключение о внедрении диагностического стенда.....	82

Заключение	83
Список использованных источников	84
Приложение	90

Введение

Актуальность темы

За последние тридцать лет автоматизации производственных процессов достигла столь высокого уровня, что предъявляет качественно новый уровень запросов к системам управления приводами различных устройств участвующих в различных технологических процессах. Как следствие такой тенденции, широкое распространение получили различные преобразователи, осуществляющие реализацию законов управления электроприводами, задаваемых от систем управления, с высокой точностью. Преобразователи служат для весьма широкого изменения параметров мощности, подаваемой к исполнительным устройствам, как то [1]:

1. род тока;
2. уровень напряжения;
3. частота питающей сети.

При этом нужно с необходимой точностью менять вышеперечисленные параметры.

Преимущественное распространение в производстве и силовой электротехнике получили трехфазные управляемые преобразователи. Их основными достоинствами стоит считать:

1. малый коэффициент пульсации;
2. меньшие габариты фильтров (по отношению к однофазным);
3. меньшая токовая нагрузка на питающую сеть (по отношению к однофазным);
4. равномерная загрузка фаз сети;
5. высокая надежность как следствие вышеперечисленных факторов.

Управляемые преобразователи состоят, как правило, из двух основных частей: силовой части и системы управления. Силовая часть преобразователя может включать в себя:

1. управляемые вентили;
2. систему охлаждения вентиляей;

3. трансформаторы;
4. фильтры различного назначения;
5. токопроводящие шины;
6. коммутационные аппараты.

Аналоговые приводы для работы на переменном токе линейки SIMODRIVE® вобрала в себя все преимущества, характерные для современных приводов переменного тока и преимущества, характерные для приводов постоянного тока [2-5].

Приводы данной серии имеют такие преимущества как высокая динамика, качественные статические характеристики, а также не требовательны к частой профилактике.

Приводы подачи на переменном токе серии SIMODRIVE 6SC610 получили широкое применение в условиях, где требуется работа в четырех квадрантах, как например:

- обрабатываемое оборудование;
- роботы;
- обрабатывающие линии;
- приборы управления;
- высокопроизводительные станки с жесткими условиями позиционирования.

Приводы подачи на переменном токе типа SIMODRIVE могут быть поставлены с номинальными моментами вращения от 0,15 Nm до 130 Nm при скоростях вращения от 1200 мин.⁻¹ до 6000 мин.⁻¹.

В связи со столь широким распространением и высокими требованиями к задачам позиционирования комплектного аналогового электропривода, возникает необходимость в его качественном диагностировании и оперативном устранении неисправностей.

Исходя из всего вышесказанного, тема данной работы, посвященная проблемам диагностики и поиску рекомендаций по устранению неисправностей в комплектном аналоговом электроприводе, является актуальной.

Объект исследования

Объектом исследования в данной работе является процесс анализа качества работы аналогового электропривода и выдачи рекомендаций по устранению неисправностей на основе данных автоматизированной диагностики.

Предмет исследования

Предметом исследования является методика беспроводного диагностирования и оценка качества работы аналогового электропривода на примере комплектного электропривода SIMODRIVE 6SC610.

Цель и задачи работы

Целью работы является изучение процесса диагностики аналогового электропривода, а также возможности осуществлять такую диагностику беспроводным методом.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- анализ устройства и принципа функционирования комплектного аналогового электропривода на примере SIMODRIVE 610;
- сборка стенда комплектного электропривода SIMODRIVE 610 для практического исследования и моделирования неисправностей;
- разработка методики экспресс-диагностики комплектного электропривода;
- проектирование печатной платы с оптимизацией по положению аналоговых трасс;
- проектирование приложения для мобильной эко-среды Android для визуализации результатов диагностики;
- практические испытания устройства и методик в условиях производственного процесса на предприятии машиностроения ПАО АвтоВАЗ.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в:

1. изучении и обобщении опыта диагностики комплектного аналогового электропривода на примере SIMODRIVE 6SC610;
2. разработке методики экспресс-диагностики;
3. разработке методики выдачи рекомендаций по неисправностям;
4. проектировании беспроводного средства диагностики для условий машиностроительной отрасли
5. проектировании системы визуализации для эко-среды Android;
6. распространении полученного опыта для других комплектных электроприводов.

Методика исследований.

Решение поставленных задач осуществлено методом исследования принципа функционирования комплектного аналогового электропривода, а также непосредственных экспериментальных исследований на стенде SIMODRIVE 610. Все наблюдения, измерения и вычисления производились по общепринятым методикам, имеющимся наставлениям и указаниям по производству подобных исследований. Обработка данных экспериментов проведена с использованием методов математического моделирования [6-9].

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 56 наименований. Основное содержание работы изложено на 90 страницах, содержит 36 рисунков и 2 таблицы.

Глава 1 Методы диагностики аналогового электропривода

1.1 Актуальные проблемы диагностики

Одной из важных и актуальных проблем стоящих перед человеком является увеличение качества и обеспечение более высокой степени отказоустойчивости устройств и оборудования практически в любой отрасли промышленности. Причины, из-за которых возникает проблема с надежностью:

- ростом парка оборудования предприятий;
- увеличение сложности заданий, выполняемых на машинах и станках;
- увеличение доли автоматизированных операций в производственном процессе.

На данный момент техническое состояние оборудования оценивается по отработанному времени или по календарному времени [10]. С другой стороны, большие возможности для увеличения эффективности использования парка оборудования кроются в переводе их на обслуживание по их текущему состоянию. Данное суждение и определило возникновение нового научного направления, которое стало особо актуальным и востребованным в последнее десятилетие.

Техническая диагностика – это область науки и техники изучающая и разрабатывающая методы и средства определения и прогнозирования технического состояния механизмов машин и оборудования без их разборки [11]. Применение методов технической диагностики позволяет найти устранить, а зачастую и избежать аварий и дефектов производства, которые могут возникать на различных его этапах. Такие дефекты требуется контролировать напрямую в процессе работы, чтобы не допускать их появления и не мириться с повышенным процентом брака. Таким образом, можно сформулировать основные цели технической диагностики, которая позволят получить экономическую выгоду:

1. выявление дефектов и неисправностей в зародыше, и исключение развития их до поломки всего узла в целом, а также устранение вызвавших их причин;

2. количественная оценка возможности эксплуатации оборудования с выявленным дефектом, прогнозирование срока службы с выявленным дефектом, корректирование режимов работы, с целью совместить аварийный ремонт с плановым ремонтом;
3. организация обслуживания и ремонта оборудования по техническому состоянию вместо регламентного обслуживания и ремонта обеспечение подготовки и выполнения качественных ремонтов.

В процессе работы электрической машины необходимо выявить и как можно более точно локализовать дефекты, с особым вниманием отнестись к сопровождающей дефект опасности продолжения эксплуатации [12-15]. Так как существует огромное количество обнаруживаемых дефектов и сопровождающих их условий, то требуется такое же многообразие методов и средств контролирования текущего состояния электрической машины.

На данный момент можно выделить несколько направлений диагностики:

1. Диагностика двигателя и связанной с ним механической передачи в течение промежутка времени [16]. За данный интервал времени записывается лог значений фазного тока, который потом фильтруется по характерным частотам. Полученный массив данных затем анализируется с помощью различных алгоритмов
2. Диагностика по предварительно составленной компьютерной модели. Анализ осуществляет вычислительный модуль на базе бытового компьютера или серверной ячейки. При этом исследуемый объект снабжается необходимыми датчиками для мониторинга его текущего состояния [17-19].
3. Способ контроля на основе вибрационного метода. Вычислительная ячейка регистрирует и проводит анализ сигнала вибрации электродвигателя.

У всех вышеперечисленных способов есть существенные недостатки, методы не обеспечивают в большей степени дистанционного диагностирования, присутствует довольно низкая точность, необходимость

сложных измерений и вычислений, малый спектр распознаваемых неисправностей.

1.2 Метод диагностики «по параметрам»

В электрических машинах наиболее частыми неисправностями являются повреждения статорных обмоток (~38%) и роторных обмоток (~11%). Для выявления таких неисправностей существует ряд методов. Например, для асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором наиболее информативным способом является контроль пускового тока статора. В частности, состояние обмоток можно оценить по значению гармонических составляющих тока статора [20]. В методе, рассмотренном в [21, 22] состояние стержней короткозамкнутого ротора предложено оценивать по состоянию пульсаций обобщенного вектора тока статора на работающем двигателе.

Однако, при наличии в питающем напряжении пульсаций и/или гармонических составляющих, данный метод дает весьма существенные погрешности, и толкает на заведомо неправильный вывод о техническом состоянии объекта. Отсюда следует заключение о важности роли качества питающего напряжения в обеспечении нормальной работы электродвигателей. Качество питающего напряжения обусловлено несколькими факторами:

- уровень перенапряжений;
- наличие в сети высокочастотных гармоник тока и напряжения;
- небаланс фаз.

Согласно ГОСТ, техническое состояние электродвигателей определяется по:

- сопротивлению изоляции обмоток постоянному и переменному току;
- высоковольтным испытаниям на отключенном двигателе.

Остальные методы контроля, такие как, измерение токов статорных обмоток, вибрационный и тепловизионный контроль корпусных элементов, узлов присоединения и подшипников проводят на работающем двигателе. Таким образом, полный контроль параметров двигателя требует проведения объемных по времени и трудоемкости измерительных операций. Такой контроль, как правило, оперативно-ремонтным персоналом не выполняются.

Корреляция статических и динамических данных испытаний дает возможность оценить реальное техническое состояние двигателя и дать надежный прогноз его работоспособности. Среди систем подобного назначения, в которых реализованы эти возможности, можно назвать оборудование МСЕТМ (анализатор цепей двигателей) и DMA (система динамического анализа двигателей), производимые корпорацией PdMA.

В этой и подобных системах предусмотрено использование специализированного программного обеспечения для сбора и анализа данных измерений, также формирования лога данных, на основании которого можно получать временные графики полученных измерений. Обе системы и технология диагностики ориентированы на обнаружение часто повреждаемых элементов и узлов электродвигателя, а также осуществлять контроль за качеством питания сети и состоянием соединительных проводов [23]. Система позволяет провести оперативный анализ значимости дефектов на основе запрограммированных весовых коэффициентов и давать рекомендации при проведении планово-предупредительного ремонта или о своевременной замене двигателя. Контролю подвергаются:

- качество сетевого электропитания (перенапряжения, сниженное напряжение, неравномерность фаз, присутствие высокочастотных гармоник и импульсных помех);
- активное сопротивление силовых элементов питания (активное сопротивление в месте контактных и паяных соединений, выключатели, автоматы защиты, проводники, контакторная аппаратура и др.);
- комплексное сопротивление обмотки (индуктивность, емкость, межвитковые замыкания);
- индекс поляризации изоляции обмотки статора (деградация изоляции);
- взаимная индуктивность статорной и роторной обмоток (дефекты сборки роторной обмотки в месте пайки стержней с кольцом, замыкания стержней и стали, эксцентриситет ротора).

Рассматриваемые в данной работе системы могут использоваться при контроле как синхронных и асинхронных двигателей, так и двигателей постоянного тока, для этого система комплектуется специальными приспособлениями и адаптерами. Помимо этого системы данного типа могут применяться, в том числе, и для контроля технического состояния обмоток силовых трансформаторов. Отличительная особенность рассмотренных систем — проведение одним прибором комплекса измерений, автоматическое занесение данных контроля в базу данных, их анализ и прогноз рабочего состояния.

Эффективная и надежная работа электродвигателя зависит от подводимого к нему питания, которое должно соответствовать определенным требованиям [24]. Для контроля этих параметров система следует по следующему алгоритму:

- определение несимметричных напряжений и токов по трем фазам;
- оценка баланса токов и напряжений по фазам;
- математический анализ о наличии высокочастотных гармоник.

Если в питающем напряжении нет мощных импульсных помех, то при работе двигателя могут быть выявлены и более глубокие дефекты. Как например, дефект пайки роторной обмотки по гармонике нижнего значения боковой частоты, уровень которой не должен превышать -35 dB от основной частоты питания сети (рис. 1.1). При отключенном двигателе, с помощью имеющегося в составе прибора генератора питания, измеряются межфазные и активные сопротивления обмоток на постоянном токе, индуктивность, импеданс, угловая зависимость тока от частоты (до 1200 Гц). Данные параметры необходимы для обнаружения и оценки наиболее опасных дефектов виткового замыкания обмотки статора, ротора, а также самого сложного в определении дефекта — эксцентриситета ротора [25].

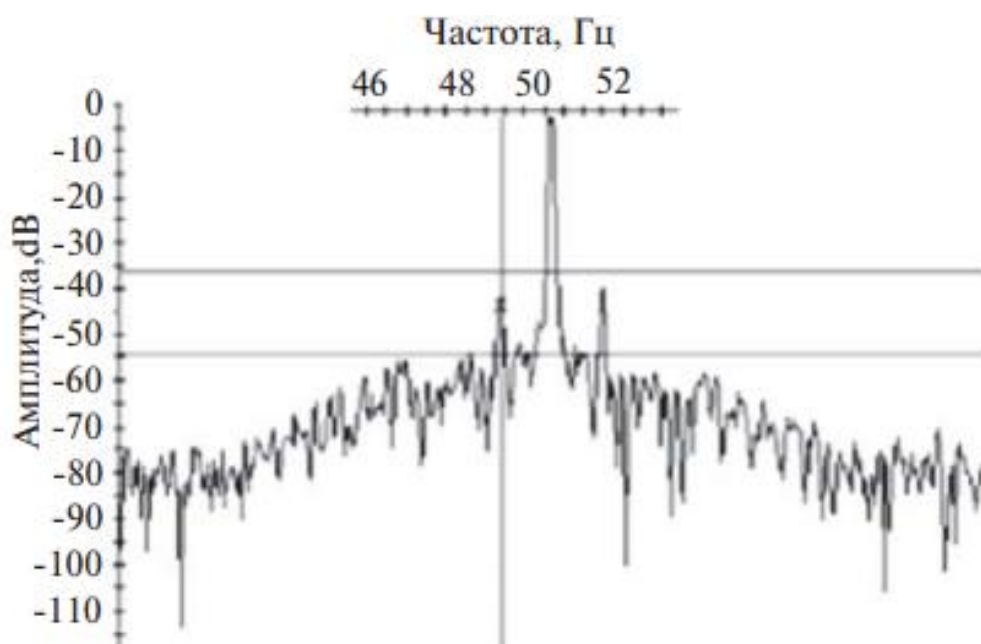
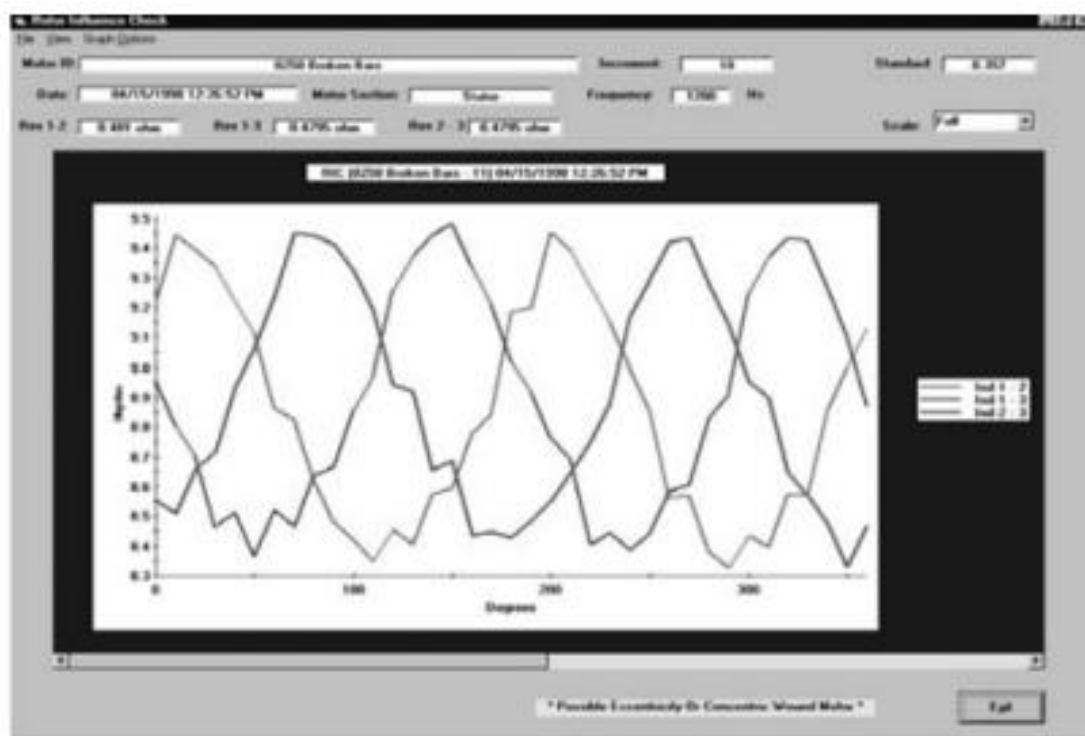
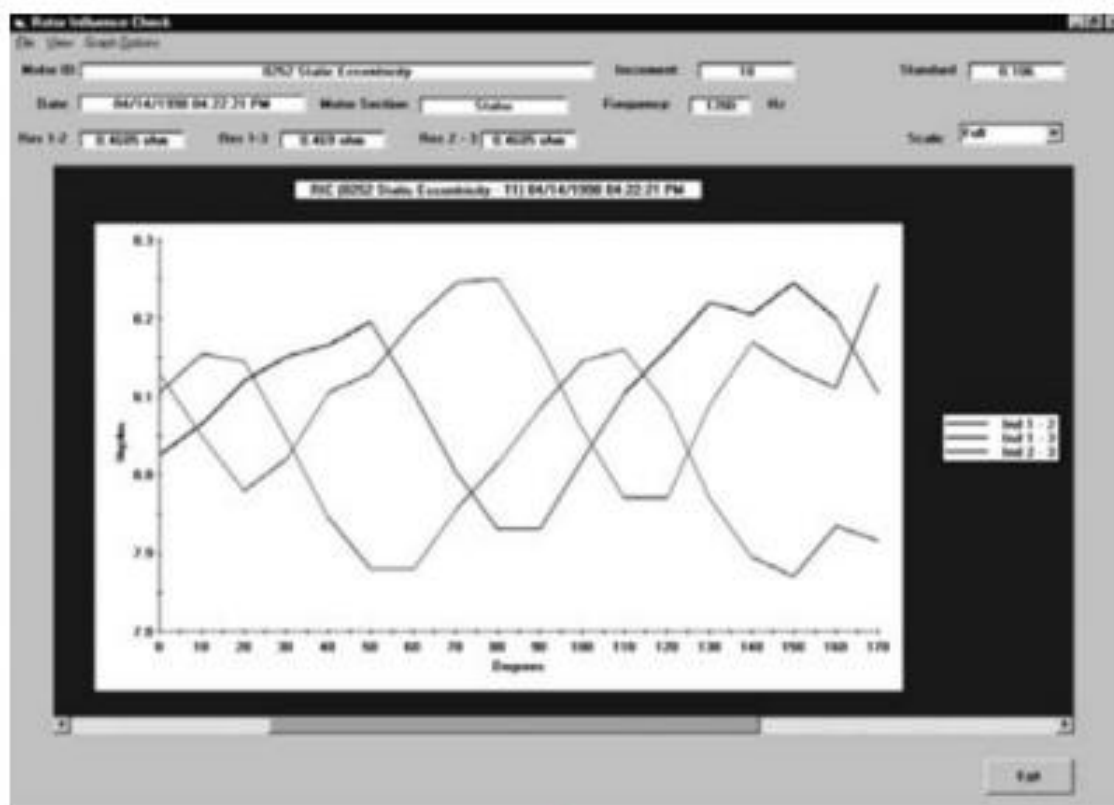


Рисунок 1.1 – Данные гармонического анализа на работающем двигателе с дефектом обмотки ротора

Угловая зависимость взаимоиנדукции между обмотками статора и ротора определяется в шаговом режиме при отклонении вала на равные угловые интервалы. Это дает возможность определить межвитковые замыкания статорной обмотки (рис. 1.2,а) или эксцентриситет вала ротора (рис. 1.2,б).



а)



б)

Рисунок 1.2 – Данные гармонического анализа на отключенном двигателе с дефектом обмотки ротора (а), характерная форма индуктивности при эксцентриситете ротора (б)

Данные всех измерений хранятся в логе и дают возможность сравнить результаты измерений при построении графиков основных параметров (рис. 1.3).

Вывод о месте возникновения дефекта (обмотка статора или ротора) и его виде (обрыв ветвей параллельной обмотки статора и стержней обмотки короткозамкнутого ротора, межвитковое замыкание, нарушение контактов паяных соединений в обмотках статора и ротора) дается на основании анализа совокупности измерений. В системе заложены возможности измерения угловой зависимости взаимоиндукции статорной и роторной обмоток на зондирующих частотах до 1200 Гц. Повышенной чувствительностью позволяют выявлять дефекты паяк стержней ротора и механические повреждения [26-28]. Технология анализа технического состояния двигателя и связанных с ними цепей по основным повреждающимся узлам в некоторых случаях

представляется технически и экономически нецелесообразной, так как цена прибора и стоимость обучающего курса для персонала довольно высока.

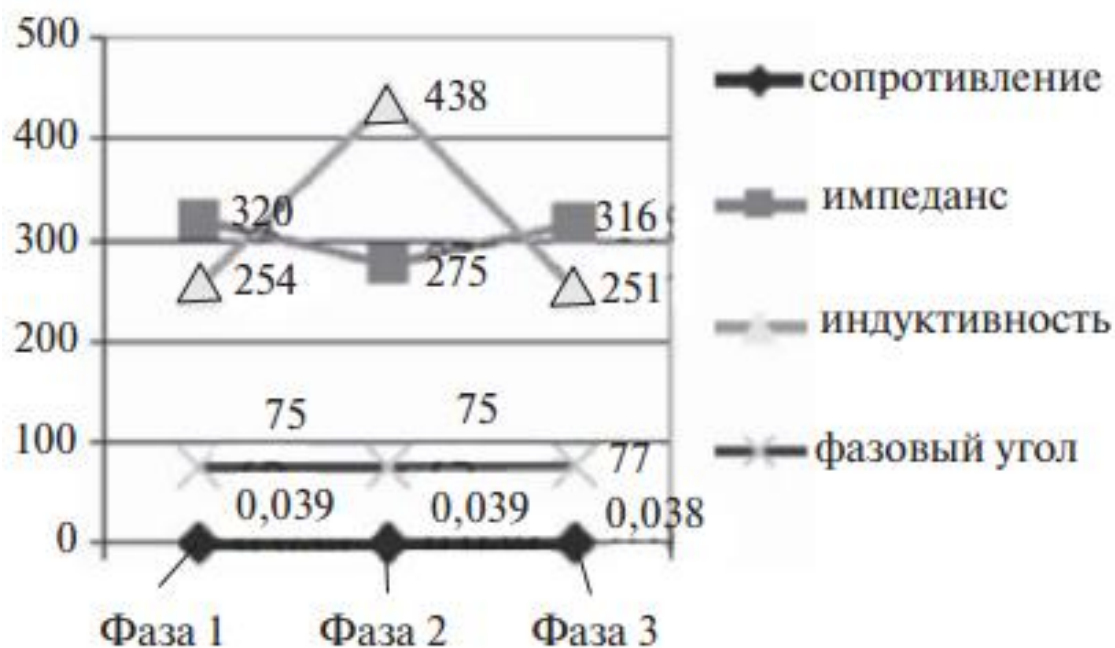


Рисунок 1.3 – Сопоставительный анализ основных контролируемых параметров

1.3 Метод диагностики на основе динамических нейронных сетей

Существуют неисправности, которые не регистрируются датчиками на начальной стадии. Такими предвестниками дефектов являются:

- нестабильный или колебательный характер скорости;
- падение качества переходных процессов;
- износ подшипников или механической передачи, редукторов.

Выявить такие неисправности могут только квалифицированные специалисты с богатым опытом и с применением соответствующих диагностических приборов. Ими проводится анализ совокупных признаков работы оборудования и оценивается их динамика во времени.

С другой стороны, современная электроника развивается очень динамично и уже сейчас предлагает интеллектуальное оборудование, которое может обладать функциями анализа и самодиагностики. Но, как и все инновации, такое оборудование имеет довольно высокую стоимость и невозможно одномоментно перевести весь парк электрических машин на подобные системы.

Разработка простых и универсальных технических решений, ведущих непрерывную диагностику состояния оборудования, в данном случае является целесообразной.

Результатом этой разработки является метод на основе рекуррентной нейронной сети. Применение методов искусственного интеллекта позволяет оценивать состояние электропривода в динамике и в конечном итоге повысить надежность и точность диагностирования, при этом уменьшить затраты на вычислительные мощности [29,51].

Как и любой метод, основанный на использовании нейронных сетей, требуется предварительное построение динамической нейросетевой модели объекта. И уже после этого возможно диагностирование в процессе работы оборудования и даже дистанционным методом. Данный метод диагностики позволяет произвести анализ состояния электропривода в работе и удаленно.

В сущности метода лежат простые измерения параметров оборудования (тока, напряжения, задания, скорости, момента), оцифровка и передача для анализа в вычислительную ячейку.

Рекуррентная нейронная сеть, которая была предварительно обучена на конкретном электроприводе, сравнивает поведение построенной модели и текущего поведения электропривода [30, 52-54].

В условно неисправном электроприводе возникает расхождение параметров модели и реального привода и можно рассчитать функцию рассогласования по времени $Err(t)$.

$$Err(t) = M(t) - El(t); \quad (1.1)$$

Тренд динамики $Err(t)$ позволяет сделать оценку текущего состояния оборудования и рассчитать вероятный остаточный ресурс.

Структура нейросетевой модели представлена на рис.1.4.

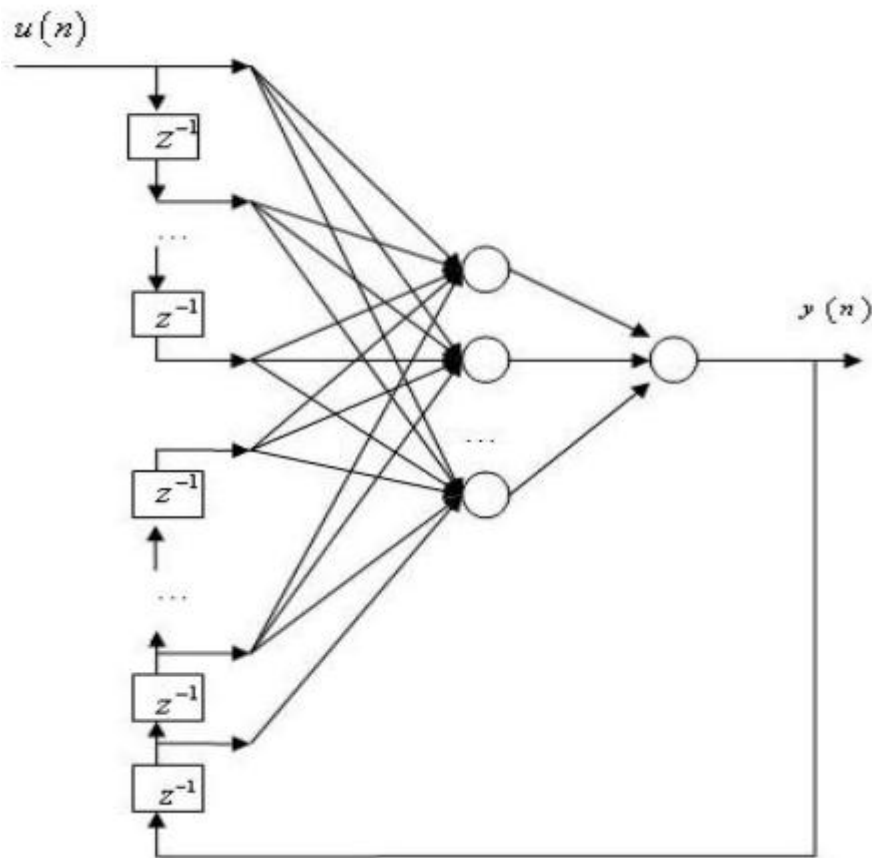


Рисунок 1.4 – Структура модели объекта

Обобщенная модель имеет следующее формулу:

$$\bar{y}(n+1) = \varphi(\bar{y}(n), \dots, \bar{y}(n-q+1), \bar{u}(n), \dots, \bar{u}(n-q+1)) \quad (1.2)$$

В исследованиях посвященных нейросетям ключевым моментом является выбор количества нейронов для обучения. В каждом конкретном случае этот вопрос решается индивидуально, т.к. большое количество нейронов приведет к излишне затрачиваемым вычислительным мощностям, а малое количество не даст необходимой точности.

Для электропривода в процессе экспериментальных исследований было установлено оптимальное число нейронов [30]. Для сбора информации и проведения диагностики задействованы такие технические решения как:

- датчик скорости;
- датчик напряжения;
- датчик тока;
- микроконтроллер;
- вычислительная ячейка.

Для построения модели, электропривод проходит процедуру идентификации. Для этого он запускается и работает в режимах, в которых будет эксплуатироваться в дальнейшем. В этот момент регистрируются все его характерные данные, развиваемый момент, ток, скорость, напряжение. При этом микроконтроллер контролирует задание на электропривод, для корреляции с выходными параметрами. Данные оцифровываются, очищаются от шума, помех, аппроксимируются для сглаживания тренда по точкам k .

$$W(t) = \frac{\sum_{j=-k}^k W(t+j)}{2*k+1}, \quad I(t) = \frac{\sum_{j=-k}^k I(t+j)}{2*k+1}, \quad U(t) = \frac{\sum_{j=-k}^k U(t+j)}{2*k+1} \quad (1.3)$$

После подготовки лога, микроконтроллер передает его в базу данных вычислительной ячейки

Специализированное программное обеспечение с помощью библиотек строит нейросетевую модель, а модель обучается по полученной базе данных. По методике построения нейросетей, часть данных находится в резерве для проверки полученной модели на правильность поведения.

Далее весь мониторинг и вычисления проходят в фоновом режиме, при этом ведется постоянный мониторинг за поведением вектора динамики реального электропривода и его модели.

Варианты слежения за поведением вектора динамики различны от метода к методу и возможны различные варианты [31-33]. Ведется наблюдение не только за величиной вектора динамики, но и за скоростью его изменения.

$$Err(t) = M(t) - El(t); IErr = \sum_{t=0}^N Err(t); \frac{dErr}{dt} = \frac{Err(t_n) - Err(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}}; \quad (1.4)$$

Так как нейросетевая модель всегда имеет неточности и допущения, то всегда существует некоторое отклонение выдаваемых результатов. Поэтому необходимо определить допуски, внутри которых такое отклонение считается нормальным.

1.4 Метод высших гармонических составляющих

Метод высших гармонических составляющих – один из методов, получивших широкое распространение за последние 10 лет. Данный прием основан на регистрировании текущего тока электропривода, оцифровке полученного сигнала с его последующим спектральным анализом [34-36].

В физическом смысле, данный метод основан на возникновении противо-ЭДС в ответ на любые внутренние и внешние воздействия на электрическую или механическую часть электропривода. Противо-ЭДС меняет правильную форму напряжения и тока. Проведение диагностики возможно без вмешательства в его текущую работу, что добавляет этому методу преимущества. Датчик для регистрации тока и напряжения может быть взрывозащищенного исполнения и устанавливаться непосредственно в клеммную коробку двигателя. Таким образом, метод подходит для самых разных условий эксплуатации.

Анализ гармонических составляющих, в том числе, можно вести и с использованием нейронных сетей [37-41]. Для реализации метода существует алгоритм идентификации технического состояния электродвигателя (рис. 1.5) [42]. Датчики, расположенные на оборудовании, измеряют необходимые величины и передают результаты на АЦП для фильтрации, подавления шума и помех и в конечном итоге для оцифровки.

Этап «Анализ потребляемого тока и напряжения» необходим для оценки нормальных режимов работы, а также для выявления следующих состояний:

- перегрузка по фазе
- недогрузка по фазе
- обрыв фазы
- витковые замыкания
- межфазные короткие замыкания
- короткие замыкания на землю.

Чтобы минимизировать требуемые ресурсы вычислительной ячейки, необходимо предусмотреть разные режимы диагностики. В зависимости от типа и степени аварийности оборудования предусмотрено три режима:

1. Непрерывный мониторинг.

В этом режиме наличие высших гармоник контролируется постоянно, в режиме онлайн.

2. Периодический мониторинг.

В этом режиме наличие высших гармоник контролируется с некоторой периодичностью. Предназначено для оборудования с меньшей степенью ответственности.

3. Мониторинг КПД.

Предварительно задается некоторое граничное значение КПД электромеханического преобразователя. По силе тока и напряжения вычисляется текущий КПД, и определяется полезная мощность, идущая на совершение работы.

Алгоритм оценки состояния электродвигателя представлен на рис.1.6.

Из алгоритма видно, что сначала производится оценка каждого параметра на близость к критическим значениям.

Если ни один из них не попадает в критическую зону, то рассчитывается интегральный параметр, который учитывает совокупность дефектов.

В случае если хотя бы один из параметров превышает значение «0,8», оборудование останавливается для проведения планово-предупредительного ремонта.

В любом случае, оператор всегда имеет актуальную информацию о текущем состоянии оборудования и получает возможность планировать ремонт с учетом реального состояния оборудования.

Минимизация мощностей вычислительной ячейки достигается путем применения теории планирования эксперимента. Этап обучения нейронной сети можно уменьшить с 1024 до 16 экспериментов.

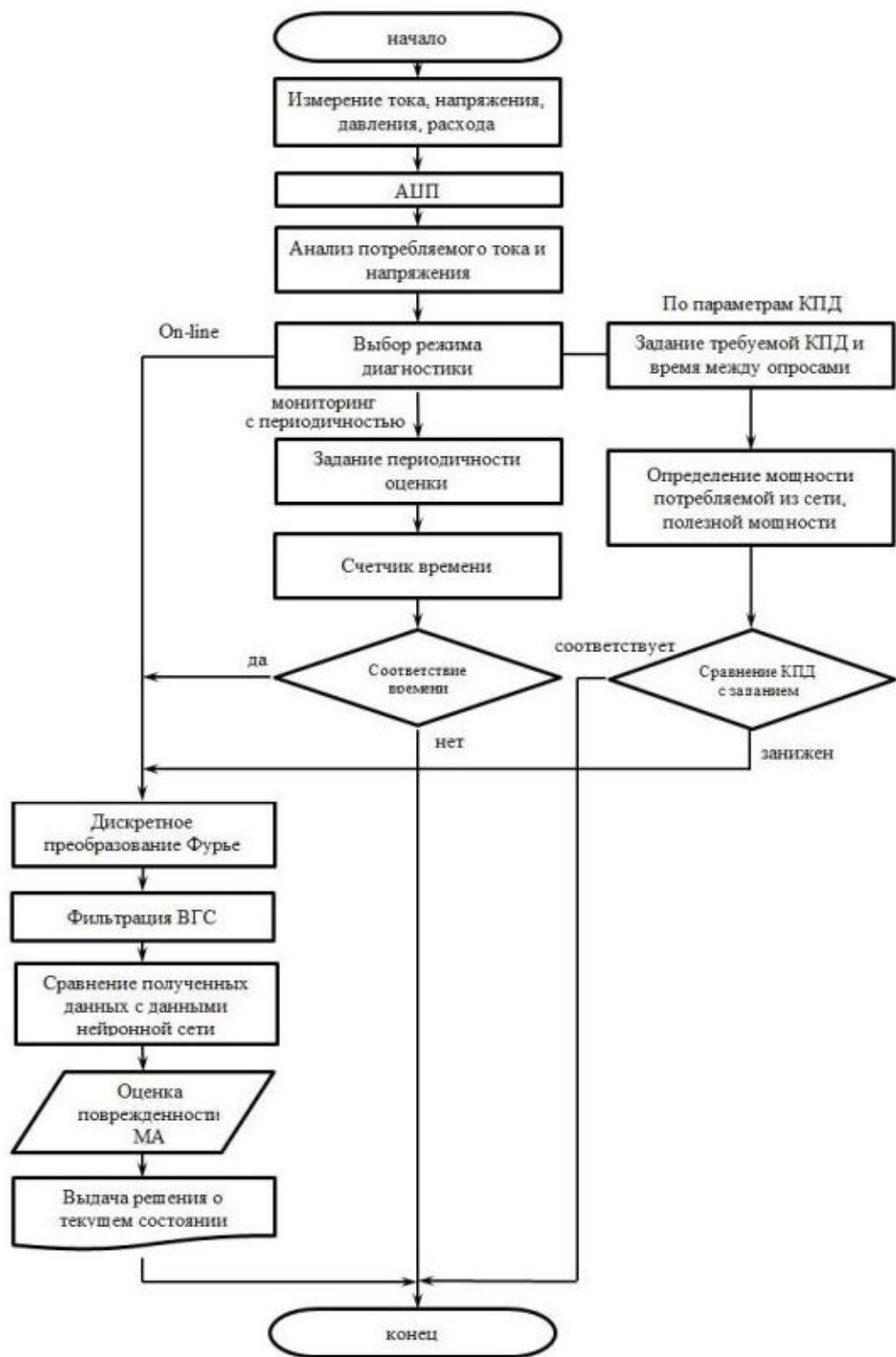


Рисунок 1.5 – Алгоритм идентификации технического состояния

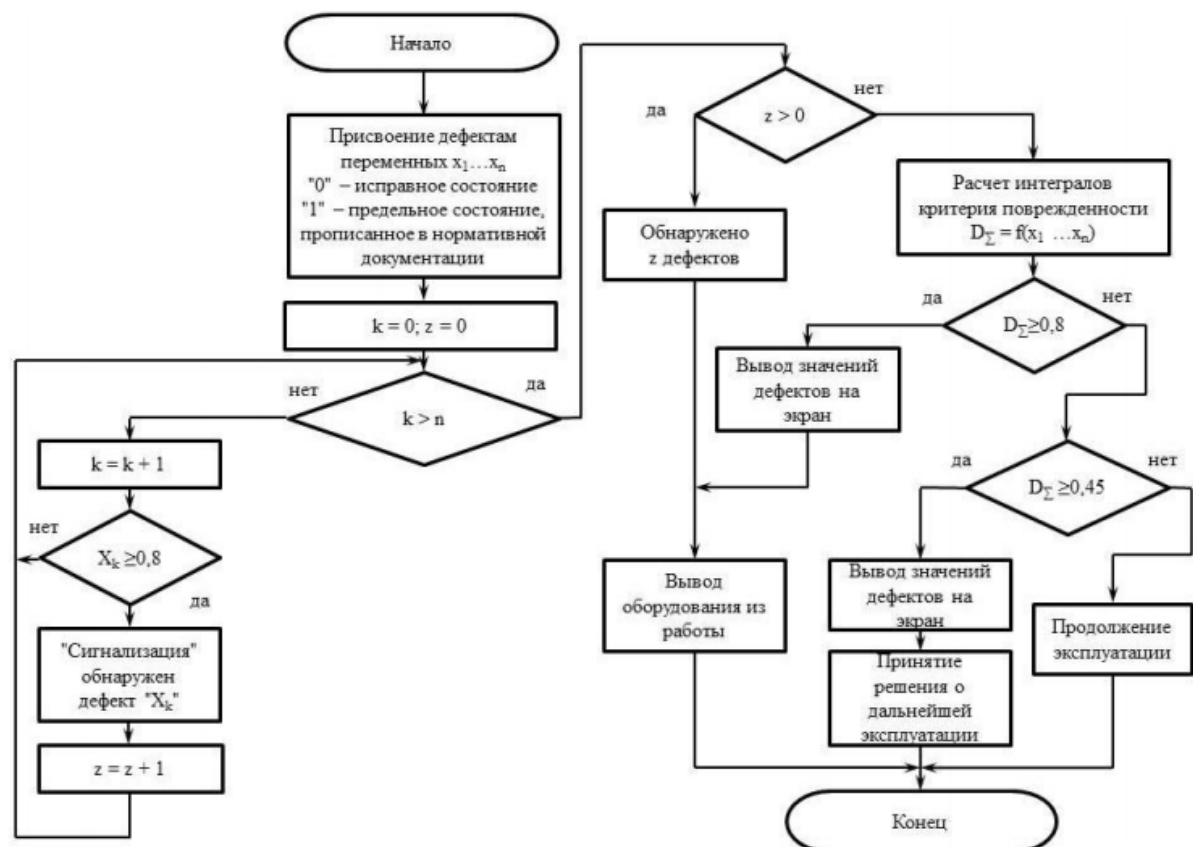


Рисунок 1.6 – Алгоритм оценки состояния электродвигателя

1.5 Метод диагностики на основе нечеткой логики

Текущее развитие компьютерной техники и инновационных методов искусственного интеллекта можно существенно повысить качество диагностики технических систем. Новые подходы и новые модели нечеткой логики позволяют учитывать особенности работы и особенности устройства современного оборудования.

В связи с этим изучение и использование методов нечеткой логики, как средства искусственного интеллекта для решения задач диагностики, является весьма эффективным [43].

Нечеткие методы лучше всего подходят для технологических процессов с непредсказуемыми технологическими процессами. Обучение модели нечеткой логики намного проще, чем остальных видов искусственного интеллекта. Однако есть и существенный недостаток – размер, поскольку модель фактически содержит в себе все обучающие данные. Такой подход довольно ресурсоёмок, требует много памяти и может работать сравнительно медленно.

Параметрами для обучения сети являются ток, скорость вращения ротора и напряжение. Косвенные параметры могут определяться по основным величинам на основе выбранного метода идентификации. Также согласно данной методике, для систем нечеткой логики требуется определить понятия «мало», «много», «больше», «меньше» и т.д. Основной проблемой технической диагностики, основанной на методах нечеткой логики, является автоматизированный сбор, обработка измеренных характеристик объекта и выдача заключения о его состоянии. Для решения проблем технической диагностики используются вычислительные ячейки, основанные на различных математических методах [44].

При определении входных данных, необходимых для работы автоматической системы диагностики, основанной на нечеткой логике, анализируют переходные характеристики электропривода при различных неисправностях в нем. Набор входных данных, полученный при исследовании привода (вектор состояния привода), отражает минимум, по которому можно

определить его состояние. При постановке задачи для обучения сети нечеткой логики исходят из того, что диагностическая система не только должна выбирать один из возможных диагнозов из заданного набора, но и проводить оценку состояния по понятным для человека критериям «практически неисправен» или «еще поработает».

Для создания модели нечеткой логики необходимо создать базу знаний и экспертную систему для оценки входных данных (рис. 1.7).

Модель нечеткой логики включает в себя следующие составляющие:

1. электропривод;
2. блоки предварительной обработки сигнала;
3. блок нечеткой логики;
4. блоки дефаззификации данных, получаемых с выхода;
5. блоки визуализации.

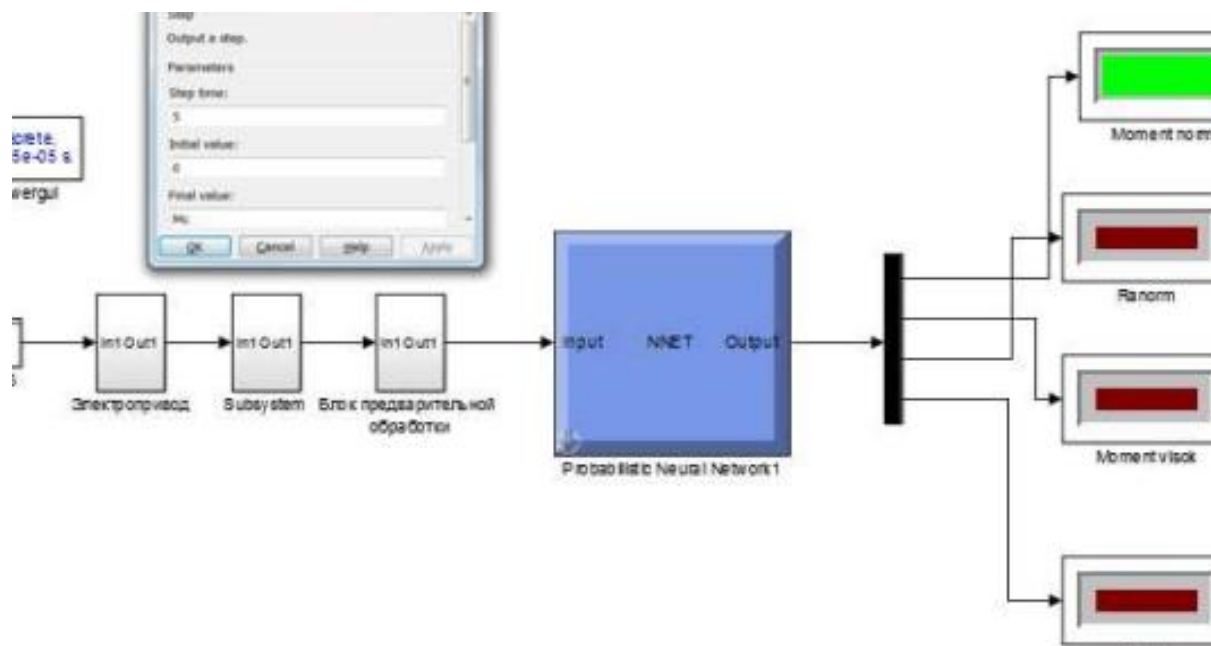


Рисунок 1.7 – Экспертная модель для проверки работоспособности нечетких методов

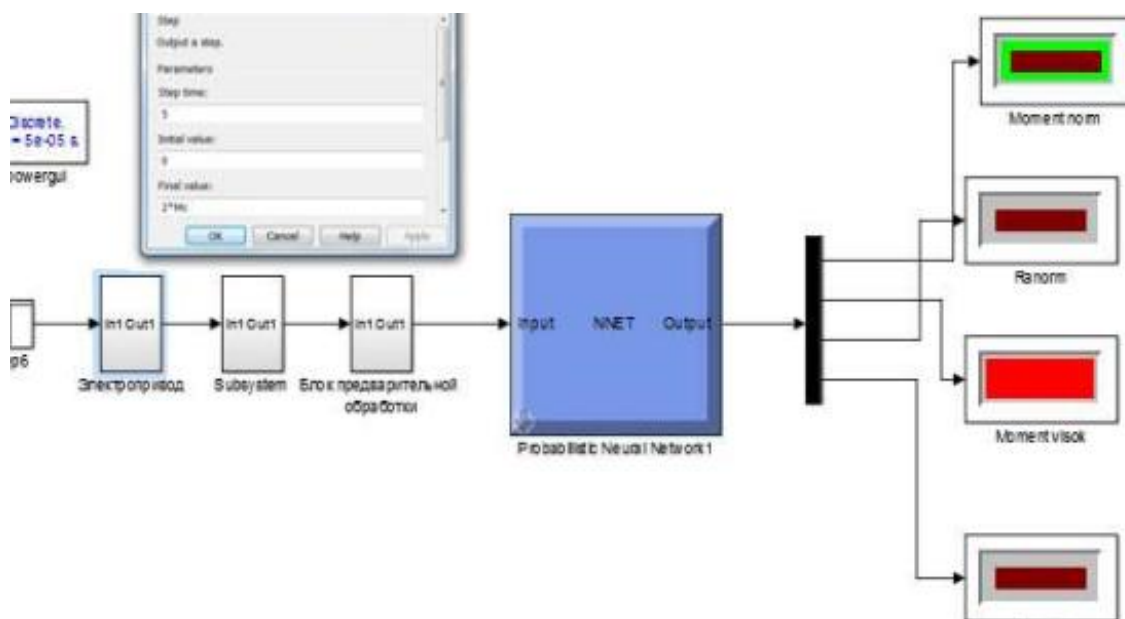


Рисунок 1.8 – Реальная модель для проверки работоспособности

В данном случае система отвечает техническим характеристикам электромеханической системы, но ведет себя не совсем корректно по отношению различным ситуациям.

На рис.1.8 показано, что сеть распознала 2-ва из 4-х состояний электропривода, что является хорошим результатом. Однако вероятности в 50% недостаточно для таких высокоточных систем.

1.6 Анализ структуры управления преобразователем

1.6.1 Анализ работы комплектного электропривода

Представленные здесь приводы подачи на переменном токе типа SIMODRIVE являются приводами без щеток. Они состоят из серводвигателя на переменном токе серии 1FT5 и транзисторно-импульсного преобразователя серии 6SC61. Оба блока согласованы друг с другом.

Приводы подачи на переменном токе – это по своему основному принципу работы приборы на постоянном токе без щеток. Они называются также «brushless DC drives». Механический коммутатор, известный по двигателям на постоянном токе заменяется в данном случае электронным коммутационным устройством.

Датчик положения ротора передает информацию о положении ротора в определенный момент на электронное коммутирующее устройство. У серводвигателей на переменном токе 1FT5 датчик положения ротора имеет разрешающую способность в 60° эл., что соответствует 20° механической разрешающей способности. Это значит, что на 1 механический оборот приходится 18 импульсов. Элементы датчика положения ротора имеют четкое механическое расположение относительно магнитной системы и обмоток серводвигателя. Импульсы датчика положения ротора управляют транзисторами в силовой части импульсного преобразователя. Согласующее устройство через силовую часть обеспечивает питание двигателя относительно фактического положения ротора [45].

Датчик положения ротора, преобразователь и инвертор участвуют в образовании вращающегося поля. Датчик положения ротора задает совместно с преобразователем последовательность для подключения обмотки двигателя. Фазы обмоток U, V и W закладываются через инвертор с переменной полярностью, наложенной на напряжение промежуточного контура. Возникает магнитное поле вращения. Частота поля вращения пропорциональна количеству оборотов серводвигателя на переменном токе. При 6 полюсном

серводвигателе на переменном токе 1FT5 один период соответствует 1/3 оборота двигателя.

Благодаря «электронной коммутации» приводы подачи на переменном токе имеют такие же свойства, как и обычные приводы на постоянном токе. Здесь определенное количество оборотов пропорционально напряжению на клеммах двигателя. За счет модуляции ширины импульсов напряжения промежуточного контура, на выходе импульсного преобразователя устанавливается постоянное напряжение. При постоянной частоте повторения импульсов изменяется соотношение импульс - пауза. Так, мгновенное значение полного напряжения промежуточного контура на двигателе соответствует среднему арифметическому значению площади напряжения выходного напряжения, рис. 1.9.

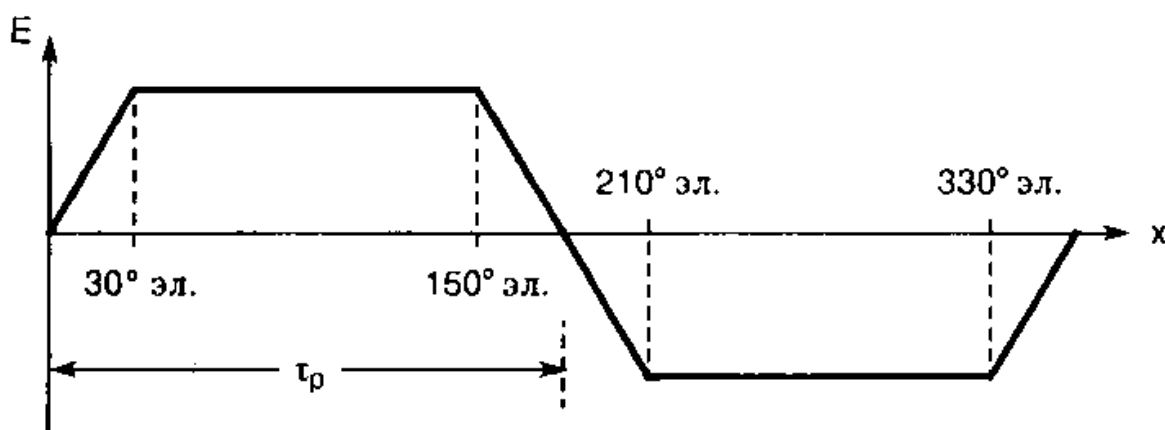


Рисунок 1.9 – Индуцированное напряжение фазы обмотки в серводвигателе 1FT5 на переменном токе

Серводвигатели на переменном токе 1FT5 собраны так, что они имеют распределение индукции прямоугольной формы. Для 3 фаз происходит перемещение индукции, в зависимости от обстоятельств, на 120° эл. При положительной кривой индукции (от 30° эл. до 150° эл.) к обмотке двигателя прикладывается положительный ток, а при отрицательной кривой индукции (210° эл. до 330° эл.) подключается отрицательный ток. На валу двигателя возникает равномерный момент вращения, соответствующий сумме отдельных вращающих моментов.

Ток измеряется в 2 обмотках двигателя с помощью шунтов. После согласующего устройства измеренные значения переменного тока выпрямляются и поступают в цепь регулирования тока.

У приводов подачи на переменном токе SIMODRIVE значение количества оборотов измеряется без наличия щеточного контакта. Синхронный генератор постоянного возбуждения с одинаковым количеством полюсных пар и одинаково ориентированных в магнитном поле, таком же, как в серводвигателе, формирует систему напряжений трехфазного тока с амплитудой напряжений, пропорциональной числу оборотов [46].

С преобразователя это напряжение трехфазного тока выпрямляется, и, соответствуя аналоговому фактическому значению числа оборотов, подается в контур регулирования скорости.

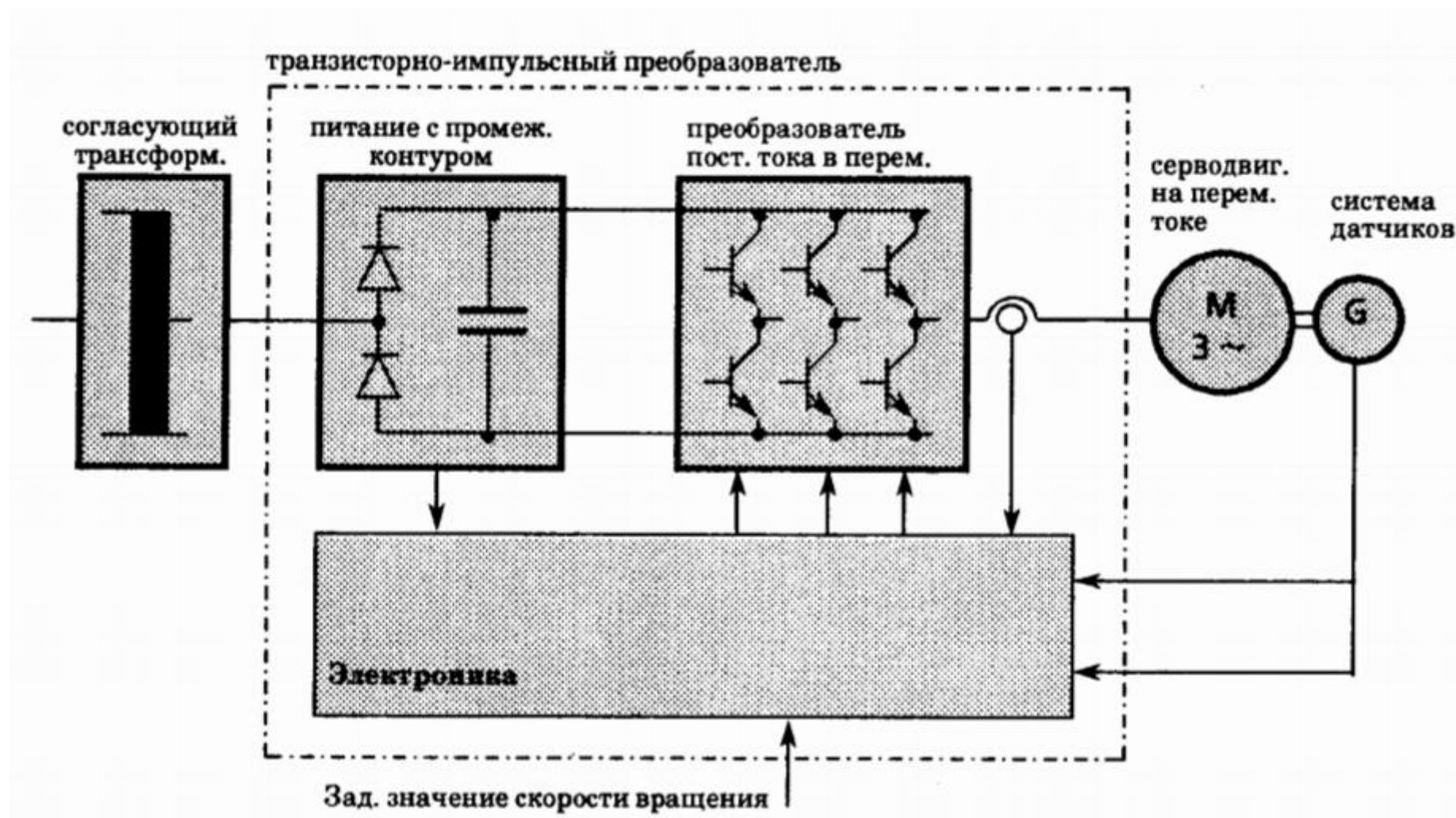


Рисунок 1.10 – Общая структурная диаграмма приводов подач на переменном токе серии SIMODRIVE 6SC610

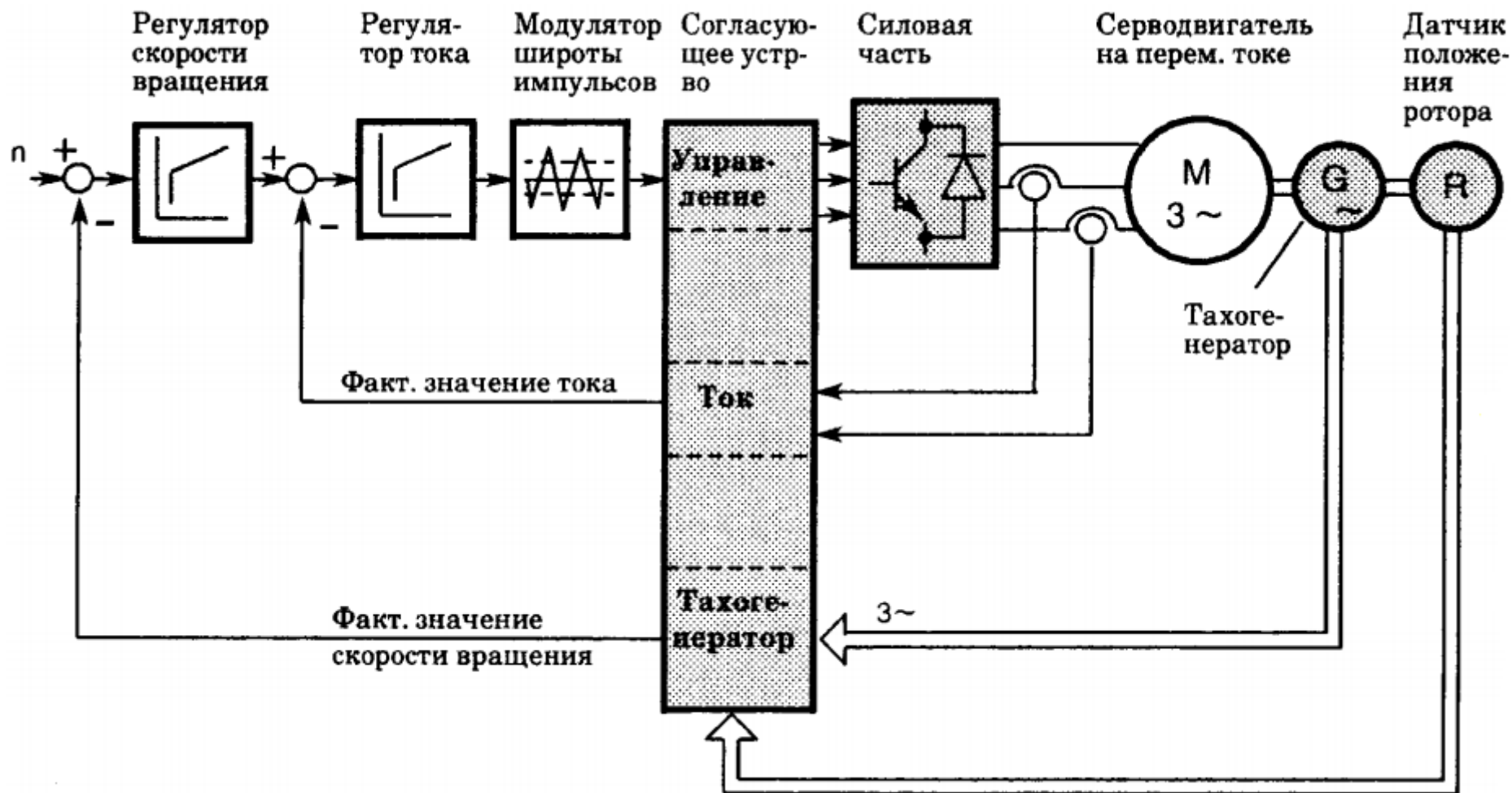


Рисунок 1.11 – Функциональная схема транзисторно-импульсного преобразователя для серводвигателя на переменном токе

1.6.2 Анализ работы двигателя

Серводвигатели на переменном токе 1 FT5 могут монтироваться непосредственно на винт и на зубчатый редуктор или зубчатый ремень. Серводвигатели пригодны для правого или левого вращения, т.е. для реверса, и для режима работы в 4 квадрантах.

Основные характеристики серводвигателей:

- одинаковые размеры (фланцы по нормам DIN/IEC);
- закрытое исполнение (вид защиты IP64);
- невосприимчивость к размагничиванию;
- высокая удельная мощность;
- небольшой момент инерции ротора двигателя;
- маленький вес составных частей двигателя;
- отсутствие необходимости значительного ухода обслуживания;
- высокая равномерность вращения;
- интегрированная система датчиков для регистрации числа оборотов двигателя;
- интегрированная система датчиков для регистрации положения ротора;
- постоянный динамический момент на максимальной скорости;
- серийное подключение клеммных колодок для двигателей 1FT506 по 1FT513.
- серийное подключение штекеров для двигателей 1FT502 по 1FT504.
- дополнения:
 - интегрированный тормоз
 - интегрированный импульсный датчик
 - вмонтированный импульсный датчик
 - интегрированный редуктор для измерения момента вращения
 - подготовленный для монтажа абсолютных датчиков AG-100-M/SSI или AG-66 формы «Штегман»

- разъемное подключение для двигателей 1FT506 по 1FT513.

Серводвигатели на переменном токе 1FT5 являются синхронными двигателями без щеток с возбуждением от постоянных магнитов.

Базовое исполнение серводвигателей:

- активная часть двигателя;
- система датчиков для регистрации числа оборотов двигателя и положения ротора (тахосистема);
- тепловые реле (терморезистор с положительным температурным коэффициентом).

Серводвигатель 1FT5 в следующих исполнениях

- модель IM B5;
- вид защиты IP 64;
- виброустойчивость N;
- окрашен в серо-коричневый цвет с окантовкой цвета охры;
- подключение клеммных колодок с ответвлением направо (без резьбового соединения для программирующего устройства PG1);
- терморезистор с положительным температурным коэффициентом в обмотке статора;
- тахогенератор 1FU1050 или 1FU1030 (в зависимости от типа двигателя).

Для приводов подачи на переменном токе, не требующих большого обслуживания, разработана тахосистема на переменном токе без щеток. Она состоит из тахогенератора на переменном токе и датчика положения ротора с магнитопроводом типа 1FU1050 или с системой переключателей типа 1FU1030.

Основные свойства:

- высокая равномерность выходного напряжения
- высокая термостабильность температуры
- невосприимчивость к помехам

На выходе тахогенератора напряжение имеет трапециидальную форму.

В серводвигатели вмонтирован серийный терморезистор с положительным температурным коэффициентом в качестве теплового реле.

Импульсный преобразователь 6SC61 в серийном исполнении имеет схему согласования терморезистора. Сигнализация должна обрабатываться в схеме согласования отдельно. Подключение производится через кабель датчика положения ротора [47]. Возможна прямая расшифровка через отключающие (приборы) звенья 3UN8 или 3UN6. Прибор 3UN6 имеет оптическое индикаторное устройство и механическое блокирующее устр-во повторного выключения (каталог NS2, часть 5).

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики тахогенераторов

Технические данные	1FU1030	1FU1050
Кол-во оборотов (мех. предельное кол-во оборотов)	8000 мин. ⁻¹	8000 мин. ⁻¹
Кол-во полюсов	2p = 6	2p = 6
Магнитный материал	SmCo	AlNiCo
Макс. значение фазного напряжения при номин. числе оборотов	1)	40 В
Допуск напряжения	± 5 %	± 5 %
Коррекция напряжения 2)	± 20 %	± 20 %
Макс. величина пульсаций	≤ 1,0 %	≤ 0,5 %
Нелинейность	≤ 0,2 %	≤ 0,2 %
Асимметричность выходного напряжения	≤ 0,2 %	≤ 0,2 %

Тип	Q63100-P426-M135
Сопротивление в холодном состоянии	< 250 Ω
Температура срабатывания	155°C ± 5°C

1.6.3 Принцип работы

Транзисторно-импульсные преобразователи 6SC61 рассчитаны на входное напряжение от ~ 3 до ~ 165 В. Для согласования с действующим в данный момент сетевым напряжением необходим автотрансформатор или разделительный трансформатор.

Силовой выпрямитель в 6-пульсовой мостовой схеме выдает нерегулируемое напряжение в промежуточном контуре. Конденсаторы накапливают энергию в промежуточном контуре.

Инвертор образует при помощи модуляции импульсной широты из постоянного напряжения промежуточного контура напряжение на клеммах серводвигателя, необходимое для нужного числа оборотов двигателя и вращающего момента двигателя. Система датчика положения ротора запускает инвертор [48].

Энергия двигателя, возвращенная в режиме торможения, по возможности, накапливается в конденсаторах промежуточного контура. Между силовой частью и электроникой управления и регулировки в функциях настройки гарантируется гальваническая развязка.

Для транзисторно-импульсного преобразователя 6SC61 существует только одна связь с питающей сетью. Все вспомогательные напряжения, необходимые для работы, берутся из напряжения промежуточного контура. Задатчик образует каскад потенциально развязанного электропитания для управления, регулирования, настройки силовых частей и вентиляторов корпуса (30 В).

Описанные здесь управление и регулировка основываются на аналоговой технике. Она состоит из 2 регулирующих контуров в системе подчиненного регулирования. Регулятор тока расположен внутри контура скорости.

Высокая степень надежности эксплуатации достигается при помощи компактного охвата электроники регулировки на одном блоке. Повторяющиеся компоненты схемы выполнены в гибридной технике. Сигнальные связи между блоками идут к месту сигнализации отказов.

Регулятор скорости вращения имеет PI регулятор. Параметры K_p , T_p , «дрейф скорости вращения» и выравнивание тахогенератора можно установить независимо друг от друга через потенциометр на модуле параметров. Для улучшения динамики регулирования при очень малых скоростях вращения импульсный преобразователь оснащен серийным адаптирующим устройством регулятора скорости вращения. Посредством изменения постоянной регулирования T_p регулирующий контур согласуется с объектом регулирования. Рабочая область коррекции может быть изменена.

Стандартно к входу заданной скорости вращения подключен дифференциальный усилитель. Фактическое значение скорости оборотов бесщеточного тахогенератора 1FU подводится вместе с сигналами датчика положения ротора и контроля температуры в одном кабеле, который подключен к блоку регулировки. Регулировка рассчитана для напряжения тахогенератора от 30 В до 40 В при номинальной скорости вращения двигателя.

При более низких напряжениях тахогенератора от 11 В до 16,5 В к блоку регулировки следует подключить перемычки. Перемычки устанавливаются в сочетании с принадлежностями регулировки.

Контроль I^2t является температурным предохранительным устройством от перегрузки силовых частей импульсного преобразователя. Если в установленной конструкции номинальный ток двигателя I_o равен номинальному току преобразователя, то дополнительно задается еще защита для двигателя и подходящего к двигателю кабеля.

1.6.4 Контроль и сигнализация

Для быстрого ввода в действие и определения неисправностей на блоках электропитания и регулировки встраивается переключающая схема контроля, обеспечивающая посредством светодиодов и реле, сигнализацию на внешней стороне.

а) Сигнализация I^2t и превышение температуры двигателя

Накопленная и индицированная осевая сигнализация « I^2t и/или перегрев двигателя» складывается в суммарную сигнализацию для всех осей. Для суммарной сигнализации в распоряжении имеется выход (открытый коллектор) на блоке электропитания, а именно клемма 5.

б) Разблокировка клемм 63 и 64

Отсутствующая разблокировка клеммы 63 (разблокировка импульсов) и клеммы 64 (разблокировка привода) индицируется светодиодом V4 (зеленый) на блоке электропитания.

в) Контроль промежуточного контура

Если макс, допустимое напряжение промежуточного контура превышает примерно 350 В, то сразу же снимаются импульсы. Светодиод V3 (красный) на блоке питания указывает на срабатывание защиты. При напряжении промежуточного контура ниже 60 В разблокировки подавляются.

г) Контроль напряжения

Постоянное напряжение в ± 15 В, необходимое для регулирования, контролируется. Если срабатывает контрольное устройство, то импульсы тотчас же снимаются. Светодиод V2 (красный) на блоке питания указывает на срабатывание защиты.

д) Суммарная ошибка

При срабатывании контроля напряжения промежуточного контура и регулятора скорости оси регулятор блокируется немедленно. Снимаются управляющие импульсы. Светодиод V1 (красный) на блоке питания указывает на срабатывание защиты.

е) Реле готовности к эксплуатации

Для сигнала о рабочей готовности имеются клеммы 73.1 и 72 как замыкающий, и клеммы 73.2 и 74 ,как размыкающий контакт. Сигнализация рабочей готовности – это суммарная величина, состоящая из сигнализации состояний:

- напряжение промежуточного контура $> 60 \text{ В}$ и $< 350 \text{ В}$
- напряжение электропитания регулятора $> \pm 13 \text{ В}$
- контроль регулятора скорости вращения $< 200 \text{ мсек.}$
- имеет место разблокировка на клемме 63
- имеет место разблокировка на клемме 64.

ж) Контроль регулятора скорости вращения

Если регулятор скорости вращения стоит на упоре более 200 мсек., то отключается цепь контроля, т.е. регулятор и импульсы запираются. Время рассчитано так, что двигатели защищены от опасных перегрузок, но еще возможно более надежное торможение с максимальной скоростью. Возможно согласование при больших инерционных массах.

Среди прочего контролируется: блокировка привода, выход из строя тахогенератора, неисправность в регуляторе скорости, слишком длительное функционирование или торможение при токоограничении и работа на жестком упоре.

Сигнализация «регулятор скорости вращения на упоре» осуществляется светодиодами V2, V6 или V10 на блоках N1 или N2 по оси. Дополнительно указываются отказы на блоке электропитания светодиодом V1 (суммарные ошибки).

з) Ограничение и контроль I^2t

Ограничение I^2t предохраняет импульсный преобразователь от температурной перегрузки. Контролируется нагрузка эффективного тока силовых частей. При срабатывании цепи контроля токоограничение уменьшается постоянно. Светодиоды V3, V7 или V11 на блоках регулировки N1 и N2 светятся, если ограничение началось. На клемме 5 блока питания устанавливается в качестве суммирующей сигнализации – сигнал I. После того,

как токоограничение преобразователя соответствующей оси уменьшилось на 80 %.

и) Контроль температуры двигателя

В серводвигателе вмонтировано серийное температурное реле (терморезистор с постоянным температурным коэффициентом). Температура срабатывания составляет $+ 155\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сигнализация «сверхтемпература двигателя» осуществляется светодиодами V4, V8 или V12 на блоках регулировки N1 или N2 по осям и выдается как суммарная, вместе с контролем I^2t через клемму 5 на блоке питания [49].

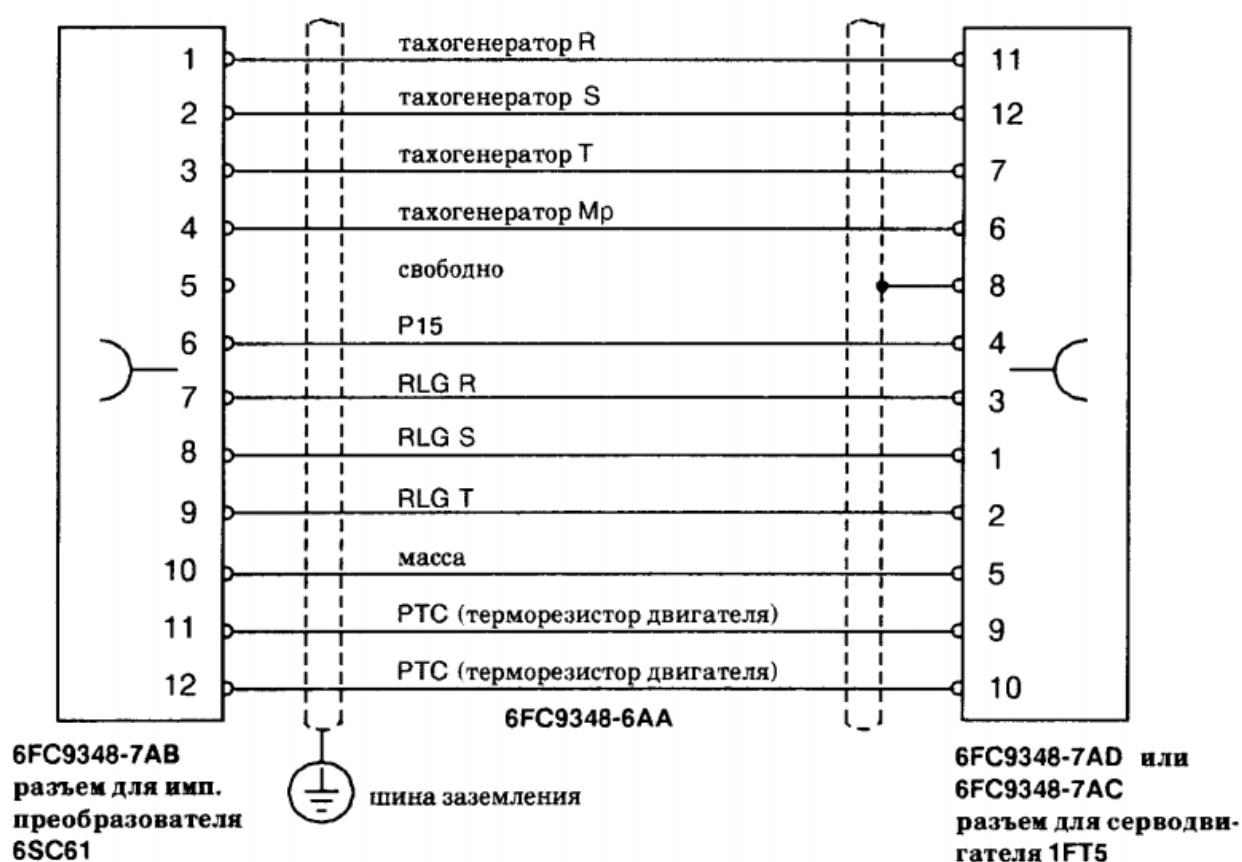


Рисунок 1.13 – Кабель обратной связи

1.7 Стенд для проведения лабораторного эксперимента

Испытательный стенд представляет собой корзину с комплектным электроприводом, который аналогичен устанавливаемым на промышленное оборудование. Он предназначен для исследовательских и контрольных испытаний проектируемого устройства. При данных испытаниях объект подвергается действию различных факторов или комбинации факторов, которые возможны в реальных условиях.

Целью подобных испытаний является выяснение реакции объекта на специфические условия и предельных значений входных параметров.

Функционально испытательный стенд представляет собой совокупность рабочего поля (корзины электропривода, двигателя, измерительной системы), системы имитации исследуемых факторов и контрольно-измерительной аппаратуры (осциллографа, рис.1.17, мультиметра), предназначенной для снятия показателей реакции.

Преимуществом испытаний на стенде перед испытаниями в реальных условиях является возможность оценки реакции на определённый тип и комбинацию имитируемых неисправностей и величину измеряемых параметров при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки [50].

Таблица комплектности стенда представлена на рис. 1.14, а фотографии стенда на рис. 1.15 и рис.1.16.

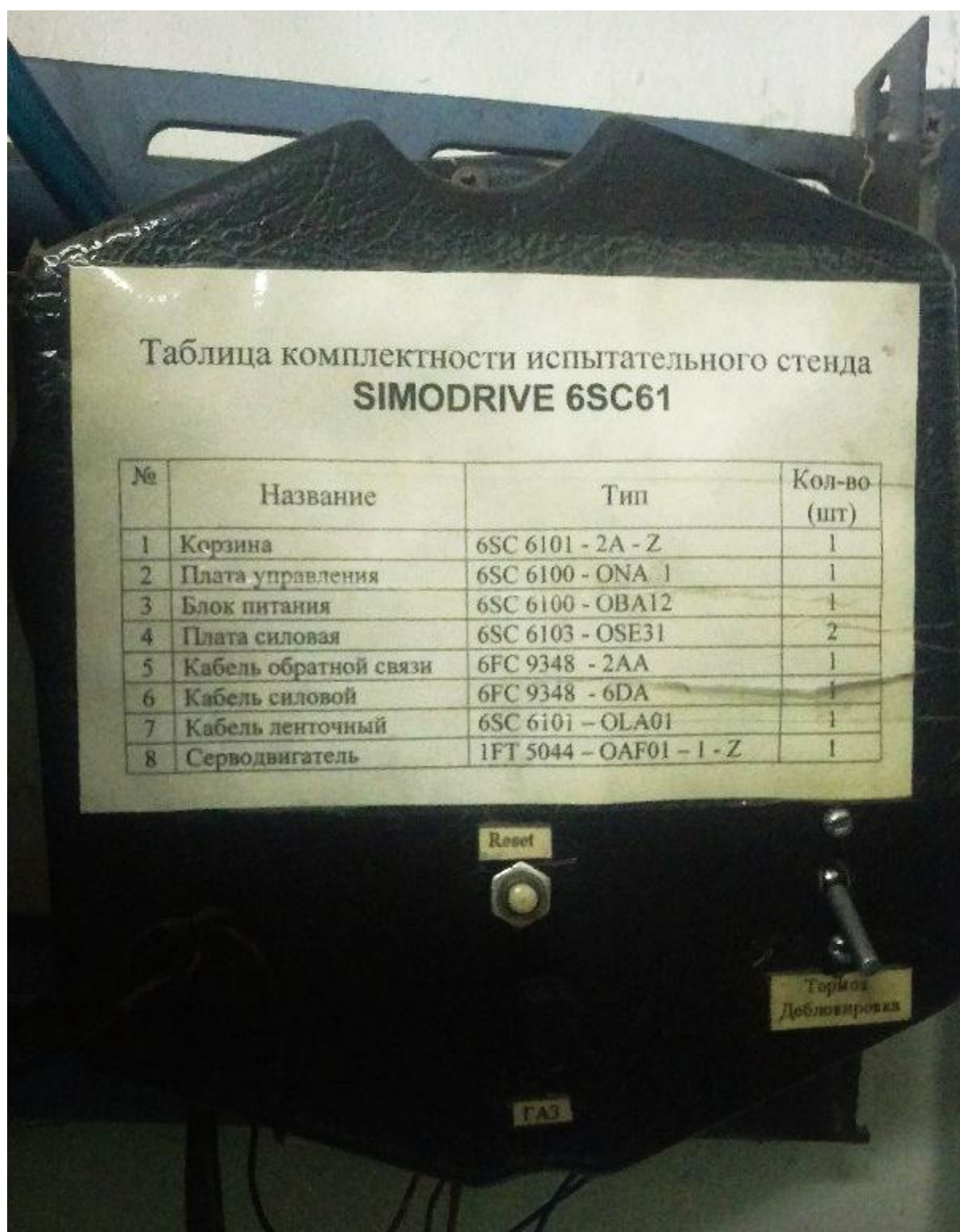


Рисунок 1.14 – Таблица комплектности экспериментального стенда



Рисунок 1.15 – Корзина комплектного электропривода



Рисунок 1.16 – Плата управления комплектного электропривода

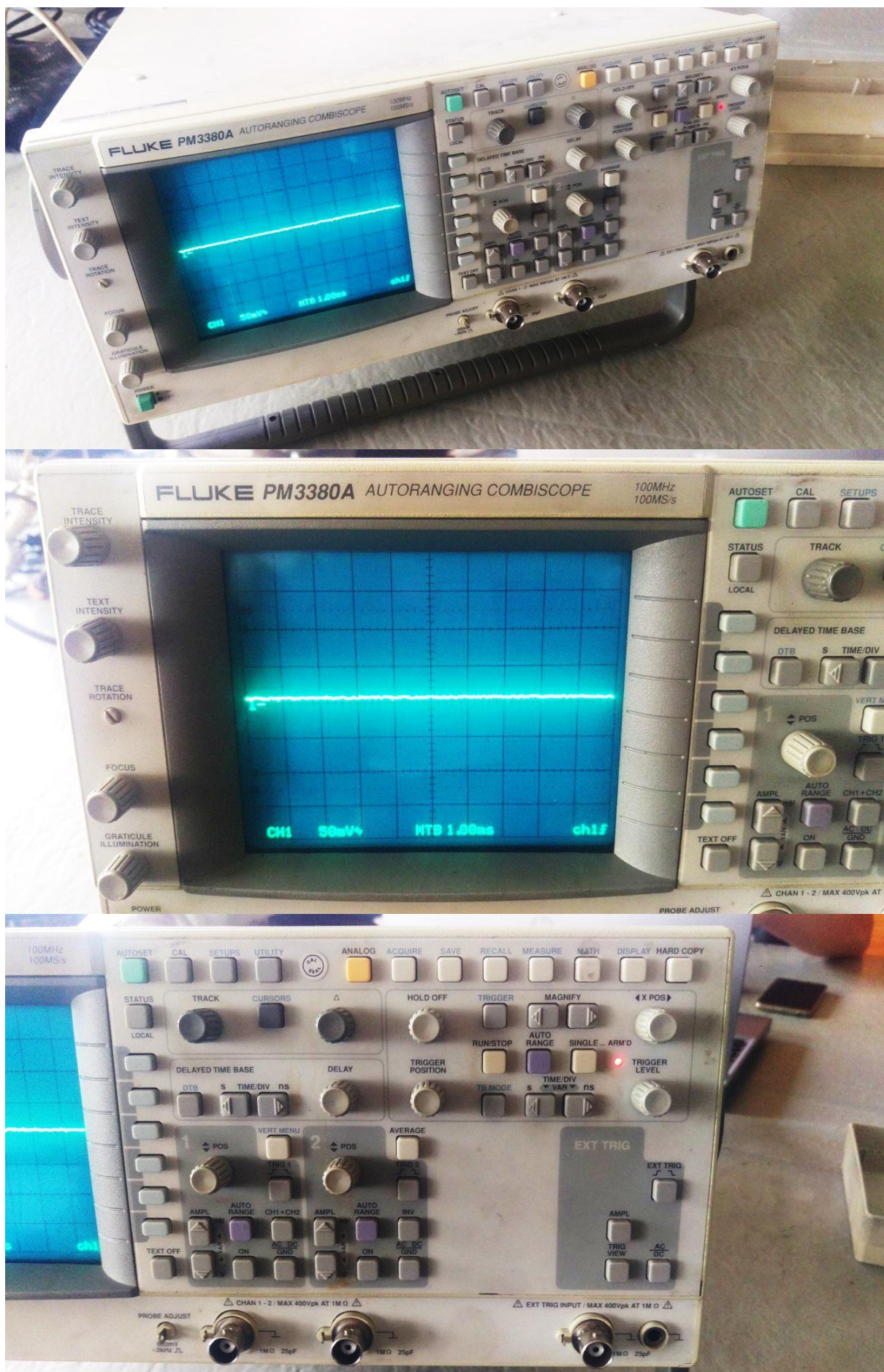


Рисунок 1.17 – Средства измерения параметров

Глава 2 Разработка методики экспресс диагностики

2.1 Общие сведения

Для оперативно-ремонтного персонала процесс ремонта или диагностики должен быть максимально быстрым и информативным. Ситуацию осложняет тот факт, что диагностика должна выполняться с использованием точных методов, т.к. комплектные привода устанавливаются на оборудовании обеспечивающим точность обработки заготовки до 0,0005 мм.

При таких требованиях малейшая неточность в установке датчиков положения ротора двигателя, неверный или отсутствующий сигнал фазы тахогенератора или повышенное сопротивление фазной обмотки ведет к отсутствию плавности вращения вала двигателя, вибрациям, рывкам и т.д.

Также, бортовая система диагностики оборудования не всегда способна отработать мелкую неисправность, например в модуле подачи.

Несущественные неисправности, которые не приводят к возникновению ошибок, тем не менее, могут приводить к аварийным ситуациям, например на шлифовальном оборудовании:

- выкрашивание поверхности шлифовального круга;
- разрушение шлифовального круга
- поломка дорогостоящей оснастки
- ускоренный износ шлифкруга из-за потребности в частой правке.

2.2 Разработка блок-схемы методики

Для оперативно-ремонтного персонала для корректной работы комплектного электропривода необходимо выполнить следующие проверки:

1. Сопротивление обмоток двигателя.
2. Сопротивление датчика температуры двигателя.
3. Контроль исправности релейных и транзисторных выходов инвертора.
4. Напряжения на встроенном источнике питания.
5. Наличие и напряжение фаз тахогенератора.
6. Наличие и напряжение сигнала с датчиков Холла.
7. Согласованность и правильный порядок между фазами тахогенератора и датчиками Холла.
8. Пуск/реверс двигателя.
9. Работоспособность входа квитирования неисправностей.

Для корректной работы алгоритма к проверяемой системе предъявляются следующие требования:

1. Наличие питания на входе испытуемого электропривода.
2. Инвертор и электродвигатель должны быть соединены кабелем обратной связи на протяжении всей проверки и соединены/рассоединены силовым кабелем по требованию программного обеспечения.

На основе данных критериев была составлена блок-схема алгоритма проверки работоспособности комплектного электропривода.

Блок-схема алгоритма тестирования комплектного привода представлена на рис.2.1.



Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритма тестирования комплектного электропривода

Глава 3 Разработка устройства диагностики

3.1 Требования к печатной плате

Печатная плата – это слой из диэлектрика, на поверхности которого сформированы проводники, реализующие функционал электронной схемы. Печатная плата представляет собой основу, которая объединяет электронные компоненты электрически и механически. Электронные элементы на печатной плате соединяются между собой с помощью токопроводящего рисунка методом пайки.

В отличие от навесного монтажа, на печатной плате электропроводящий рисунок выполнен из фольги, целиком расположенной на твердой изолирующей основе. Печатная плата состоит из нескольких слоев и содержит следующие элементы:

- монтажные отверстия;
- контактные площадки;
- проводники;
- защитную маску;
- элементы визуализации, шелкография.

Конструкторская документация подготавливается в специализированном программном обеспечении. Наиболее удобен для освоения и в то же время обладает богатым функционалом программный пакет DipTrace от разработчика Novarm.

В Российской Федерации существуют нормы на подготавливаемую конструкторскую документацию:

- ГОСТ Р 53386-2009 «Платы печатные. Термины и определения».
- ГОСТ 2.123-93 «Единая система конструкторской документации».
- ГОСТ 23752-79 «Платы печатные. Общие технические условия».
- ГОСТ 2.417-91 «Единая система конструкторской документации. Платы печатные. Правила выполнения чертежей».
- ГОСТ Р 53429-2009 «Платы печатные. Основные параметры конструкции».

Они должны быть учтены при проектировании платы.

Типовой процесс подготовки конструкторской документации состоит из нескольких этапов.

1. Подготовка к конструированию:

1.1. Программный пакет DipTrace включает в себя программный пакет для разработки электрической схемы. В данном программном обеспечении ведется разработка принципиальной электрической схемы печатной платы.

1.2. Использование в качестве элементов схемы библиотечных компонентов, входящих в пакет программного обеспечения.

1.3. Выяснение у производителя печатных плат его технологических возможностей. Популярный изготовитель www.itead.cc предъявляет требования, представленные в приложении. На основании данных требований производится предварительный подбор параметров будущего изделия.

2. Конструирование платы:

2.1. Определение габаритных размеров печатной платы, вырезов, монтажных отверстий.

2.2. Выбор места для элементов управления и элементов взаимодействия с оператором. Такими элементами являются кнопки, разъемы подключения, индикация и т.д.

2.3. Расположение проводников, требовательных к длине трассы, положению относительно компонентов схемы, компоновка дифференциальных пар, аналоговых трасс и цепей чувствительных к помехам и наводкам.

2.4. Расположение силовых линий, источников высокочастотных помех.

2.5. Выбор размещения ответственных компонентов схемы, их обвязки, блокирующих конденсаторов

2.6. Запуск авто-трассировщика для оставшихся проводников. При неудовлетворительном результате, большом количестве неразведенных трасс, переходных отверстий, требуется разместить компоненты схемы в

другом порядке. Данная процедура может выполняться в автоматическом режиме и не один десяток раз.

2.7. Проверка платы на соответствие технологическим требованиям производителя, проверка на замыкания отдельных полигонов, выход трасс за границу платы и др.

3. Создание выходной документации:

3.1. Экспорт файла в формат Gerber, и создания файла фрезеровки.

3.2. Подготовка сопроводительной документации с требованиями по выходным параметрам платы (толщина фольгированного слоя, тип переходных отверстий, параметры гальванического покрытия, цвет и свойства паяльной маски и т.д.).

3.2 Проектирование узлов печатной платы

В качестве основы схемы был использован микроконтроллер АТМega16А (рис.3.1) для управления и беспроводной интерфейс HC05 для организации радиоканала. Остальную площадь платы занимают источники питания и образцового напряжения, ШИМ-фильтры, сигнальные и силовые входа/выхода, а также элементы и схемы повышения надежности и защиты от «дурака».

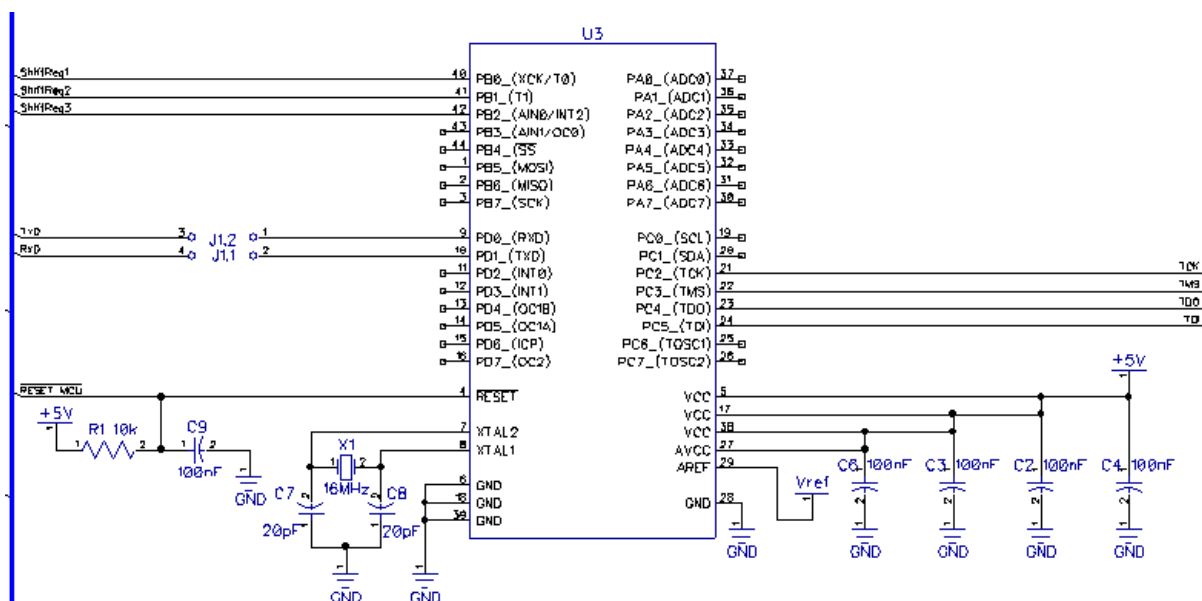


Рисунок 3.1 – Микроконтроллер АТМega16А

Схемотехническая реализация построена с условием, чтобы можно было диагностировать сервопривод и серводвигатель как отдельно друг от друга, так и вместе. Для этого предусмотрен аккумуляторный источник питания со схемой контроля, заряда и индикации состояния аккумулятора.

Для функционирования прибора в схему включены источники питания на +5В, +3.3В, а также источник образцового напряжения (U_{OH}) на +2.56В.

Схемотехника источника питания +5В представлена на рис.3.2, источника питания +3.3В и U_{OH} – на рис.3.3.

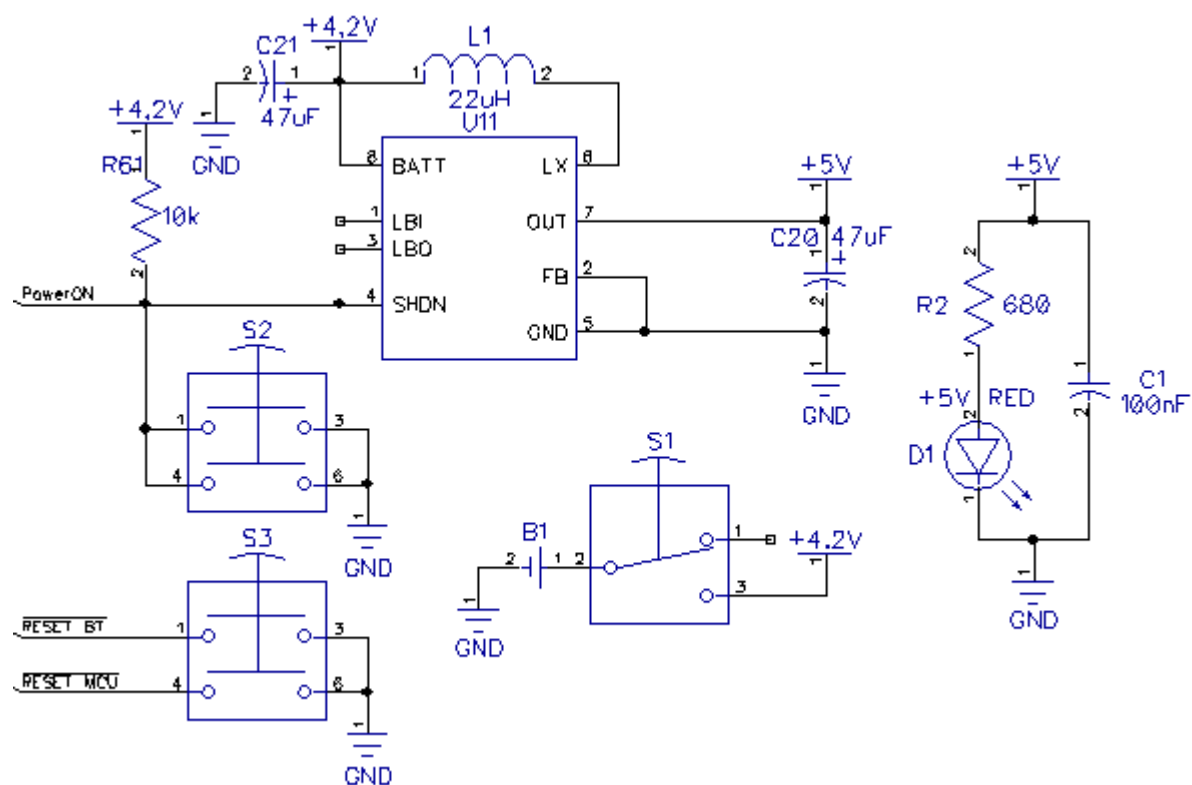


Рисунок 3.2 – Схемотехника источника питания +5В

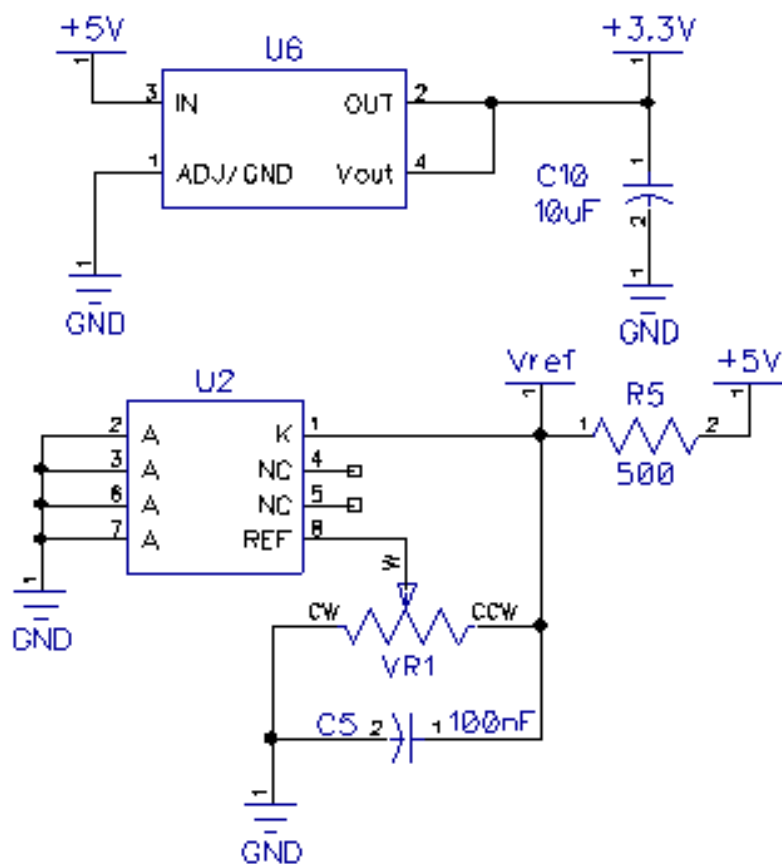


Рисунок 3.3 – Схемотехника источника питания +3.3В и ИОН

Bluetooth – это пожалуй самый распространенный тип связи для коротких дистанций, которым пользуются большинство современных электронных устройств. Телефонные гарнитуры, наушники, клавиатуры и мышки, принтеры и бог знает какие еще гаджеты. Некоторое время назад bluetooth был распространен как средство передачи файлов между телефонами.

Главными достоинствами bluetooth можно назвать хорошую устойчивость к широкополосным помехам и простоту реализации. Первое значит, что устройства, находящиеся в одном месте, могут одновременно общаться между собой, не мешая друг другу. Второе же помогло широкому распространению bluetooth в среде DIY.

Самыми доступными на сегодня bluetooth модулями можно назвать HC-05, который может работать как в режиме ведущего (slave), так и в режиме ведомого (master).

Устройство базируется на чипе CSR BC417, который поддерживает bluetooth версии 2.0 со скоростью до 3 Мбит/сек.

HC-05 использовался в приборе для обеспечения возможности удаленного управления и диагностики.

Стандартная заводская прошивка была изменена с целью разгрузки основного микроконтроллера от побочных вычислительных процессов.

Протокол передачи также был видоизменен и зашифрован с целью обеспечить безопасность и скорость передаваемых данных.

На рис.3.4 представлена схематехника подключения модуля HC-05. На данный момент неиспользуемые контакты все равно подключены к основному микроконтроллеру, чтобы в процессе совершенствования прошивки не было необходимости менять топологию печатной платы. Для увеличения дальности и улучшения помехозащищенности, стандартная антенна модуля, рассчитанная на 10м дальности, отключена и заменена внешней с каскадом предварительного усиления и дальностью 100м.

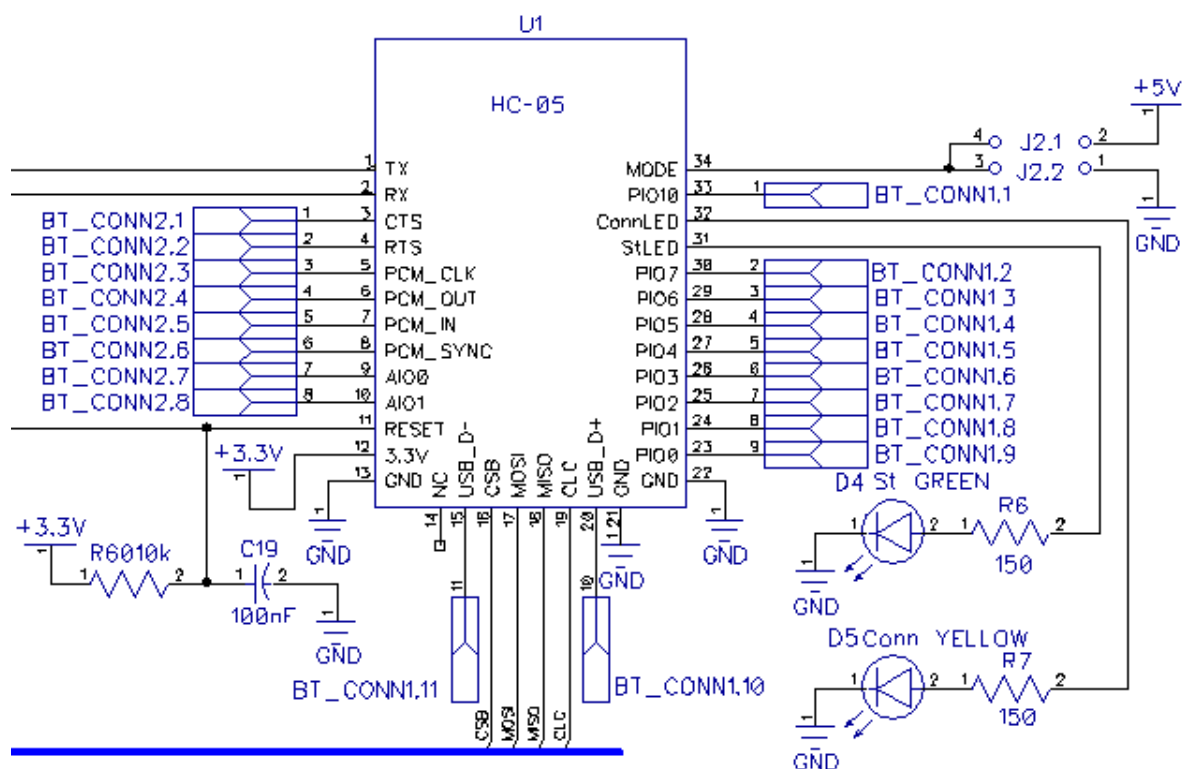


Рисунок 3.4 – Схемотехника подключения модуля HC-05

Схема индикации состоит из сдвигового регистра и восьми светодиодов. Использование сдвигового регистра позволяет съэкономить сигнальные линии микроконтроллера, а оптимальное количество светодиодов позволяет выводить на индикацию лбой байт информации, либо использовать каждый светодиод как отдельный сигнализатор определенного состояния. Схемотехника блока индикации представлена на рис.3.5.

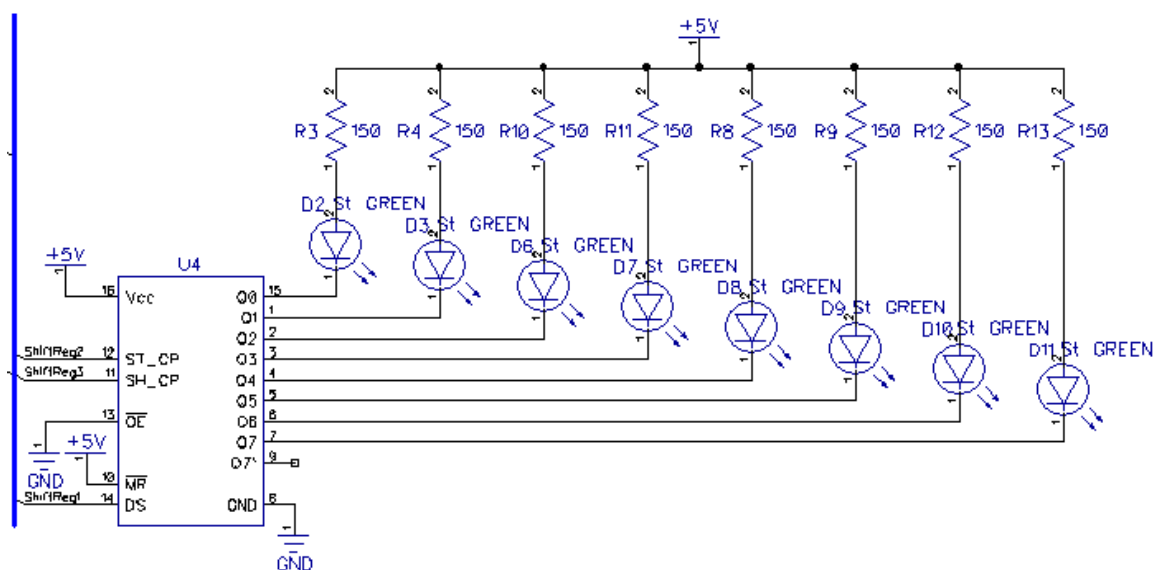


Рисунок 3.5 – Схемотехника блока индикации

3.4 Размещение и оптимизация положения радиоэлементов

Шум и помехи являются основным элементом, ограничивающими качественные характеристики схем. Помехи могут, как излучаться источниками, так и наводиться на элементы схемы.

Аналоговая схема часто располагается на печатной плате вместе с быстродействующими цифровыми компонентами, включая цифровые сигнальные процессоры.

В устройстве присутствуют высокочастотные логические сигналы, которые создают высокие радиочастотные помехи. На плате несколько таких источников:

- импульсный источник питания;
- высокочастотные транзисторы;
- развязывающие оптроны.

На плате осуществлено разделение полигонов земли на аналоговую и цифровую часть. Это один из самых действенных методов подавления шума. Для земляных полигонов отведена верхняя часть платы. Таким образом, удастся избежать ситуации, когда аналоговый возвратный ток будет использовать такую же цепь, что и цифровой возвратный ток. В данном случае разводка земляного полигона осуществляется вручную, т.к. авторазводчик делает это некорректно и объединяет все цепи в один большой полигон земли.

На прототипном образце платы данный факт был неучтен, что привело к высокочастотным пульсациям и шуму в сигналах с тахогенератора и датчиков Холла.

При проработке замечаний тестового образца, было произведено подключение к аналоговому земляному полигону компонентов аналоговой логики (сформирована аналоговая земля), а к цифровому земляному полигону компонентов цифровой логики (сформирована цифровая земля).

После этого была выбрана характерная точка возле источника питания, где и произведено объединение цифровой и аналоговой земли.

Сама печатная плата обладает характеристиками электронных пассивных компонентов, правда, не столь очевидными.

Рисунок проводников на печатной плате может быть как источником, так и приемником помех. Хорошая разводка проводников уменьшает чувствительность аналоговой схемы к излучению источников.

Печатная плата восприимчива к излучению, поскольку проводники и выводы компонентов образуют своеобразные антенны. Теория антенн представляет собой достаточно сложный предмет для изучения и не рассматривается в этой статье. Тем не менее, некоторые основы были проанализированы, и учтены для эффективной работы схемы.

Между проводниками печатной платы, находящимися на разных слоях, возникает емкостная связь, когда они пересекаются. Иногда это может создать проблему. Проводники, находящиеся друг над другом на смежных слоях, создают длинный пленочный конденсатор.

Резюмируя все вышесказанное, следует всегда помнить и руководствоваться следующими важными замечаниями при проектировании и разводке платы содержащей цифровую и аналоговую часть:

1. Общие требования:

- I. воспринимать печатную плату как элемент схемы, со своим сопротивлением, емкостью и индуктивностью;
- II. понимать и представлять, как могут себя вести и чем быть источники шума и помех;
- III. делать модели и макеты схемы на разных этапах разработки.

2. Печатная плата:

- I. В качестве материала для печатной платы использовать только качественные заготовки;
- II. схемы, реализованные на многослойных платах менее восприимчивы к помехам, чем схемы, выполненные на двухслойных платах на 20дБ;

- III. использовать отдельные полигоны для разных по назначению питаний и земель, следить за тем, чтобы они не перекрывались на разных слоях;
- IV. для полигонов питания и земли использовать внутренние слои многослойной платы.

3. Компоненты:

- I. пассивные компоненты и сами проводники имеют частотные ограничения;
- II. не рекомендуется использовать в высокоскоростных схемах вертикальное размещение пассивных компонентов;
- III. компоненты поверхностного монтажа больше подходят для высокочастотных схем;
- IV. проводники должны быть максимально короткими, насколько это возможно;
- V. для длинных проводников, используется пропорционально меньшая ширина;
- VI. не оставлять неиспользуемые выводы активных компонентов висящими в воздухе.

4. Разводка:

- I. аналоговая часть схемы должна быть по возможности ближе к разъему питания;
- II. проводники, передающие логические сигналы, не должны проходить через аналоговую часть платы, и наоборот;
- III. проводники, соединенные с инвертирующим входом ОУ, должны быть по возможности короче;
- IV. проводники инвертирующего и неинвертирующего входов ОУ не располагаются параллельно друг другу;
- V. каждое переходное отверстие – лишняя собственная индуктивность;
- VI. не делать изменение направления проводников под прямым углом.

5. Развязка:

- I. используйте правильные типы конденсаторов для подавления помех в цепях питания;
- II. для низкочастотных помех и шумов предназначены танталовые конденсаторы, желательно ближе к разъему питания;
- III. для высокочастотных помех и шумов предназначены керамические конденсаторы ближе к разъему питания;
- IV. у каждого вывода питания микросхемы использовать отдельный керамический конденсатор;
- V. если в схеме происходит возбуждение, изменить емкость конденсаторов в меньшую сторону;
- VI. в специфических случаях в цепях питания можно использовать последовательно включенные резисторы низкого (нулевого) сопротивления или индуктивности;
- VII. развязывающие конденсаторы аналогового питания должны подключаться только к аналоговой земле, а не к цифровой.

Следуя всем вышеперечисленным рекомендациям, была сгенерирована 3D-модель платы, лицевая сторона представлена на рис.3.6, обратная – на рис.3.7.

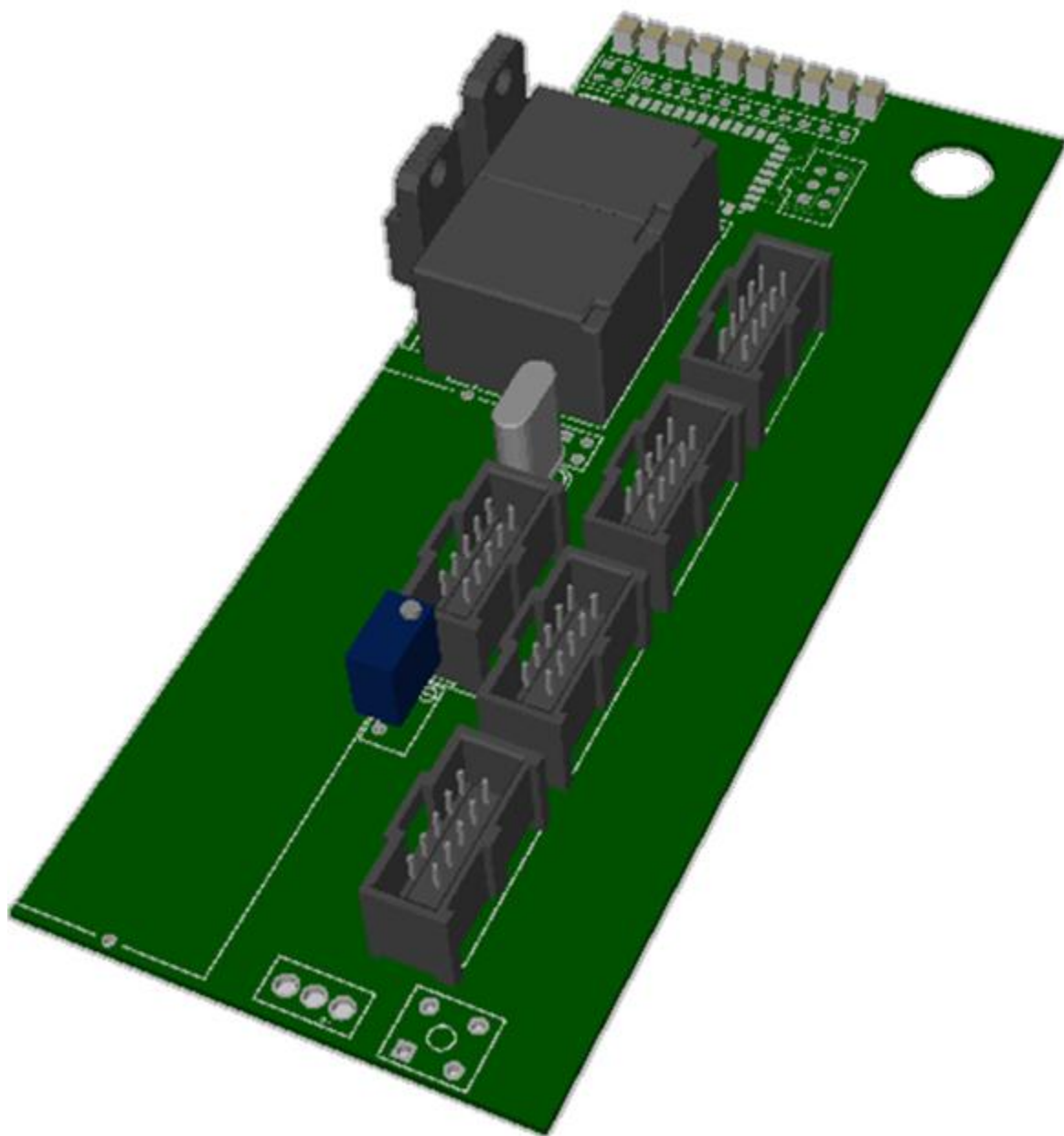


Рисунок 3.6 – Лицевая сторона модели

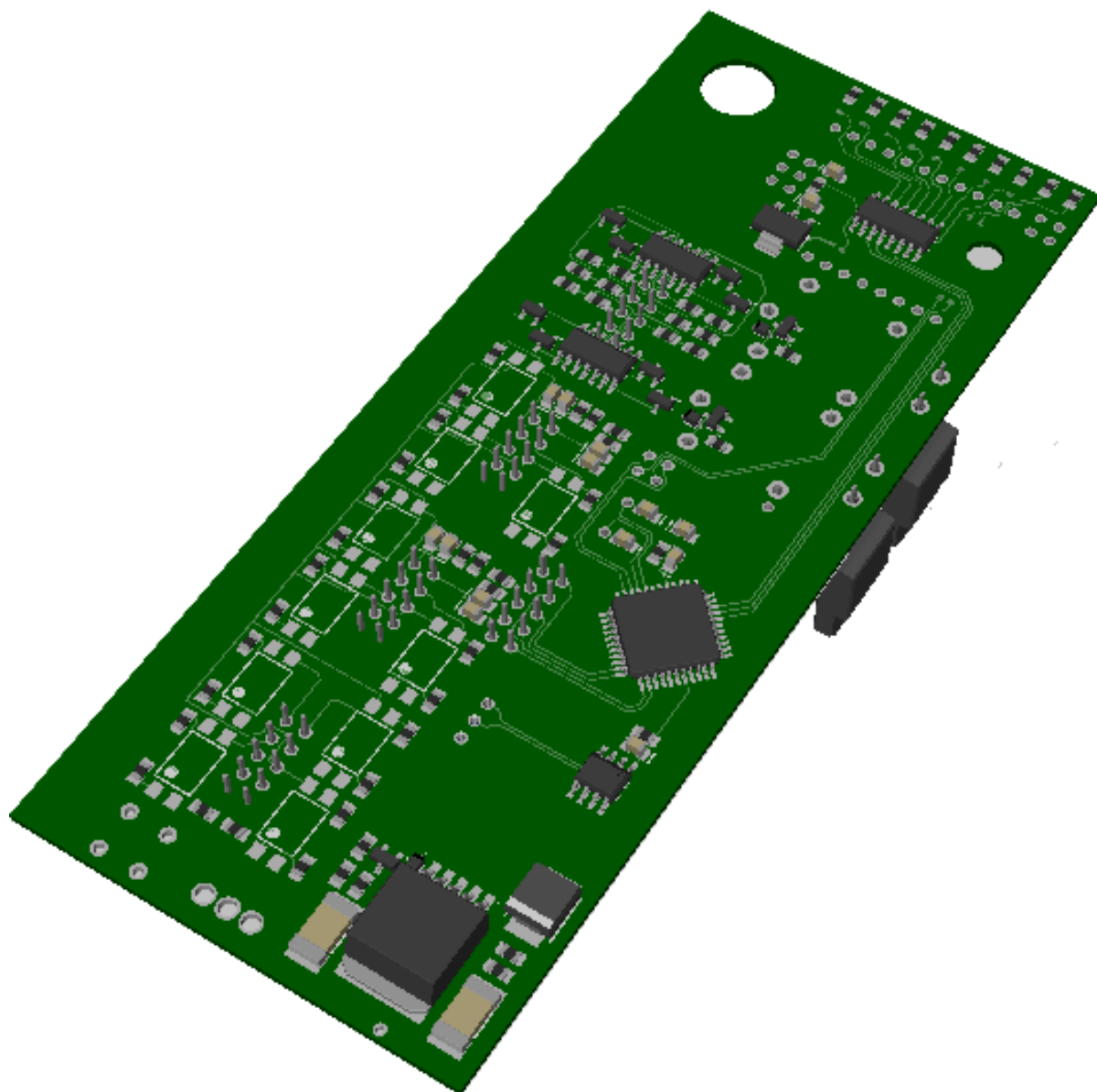


Рисунок 3.7 – Обратная сторона модели

3.5 Подготовка производства

Для удешевления производства используется основа FR4-18/18-1,0±0,13 мм. Защитная паяльная маска служит для защиты участков печатных плат от воздействия припоя. Существует два типа масок:

- сухая пленочная
- жидкая

Сухая пленочная паяльная маска наносится методом ламинации, в настоящее время используется редко, и в данном случае не подходит, т.к. плата имеет точность выше 3 класса. После этапов прототипирования, оптимизации и функциональных испытаний, был подготовлен окончательный вариант печатной платы. Лицевая сторона представлена на рис.3.8, обратная сторона платы, на рис.3.9.

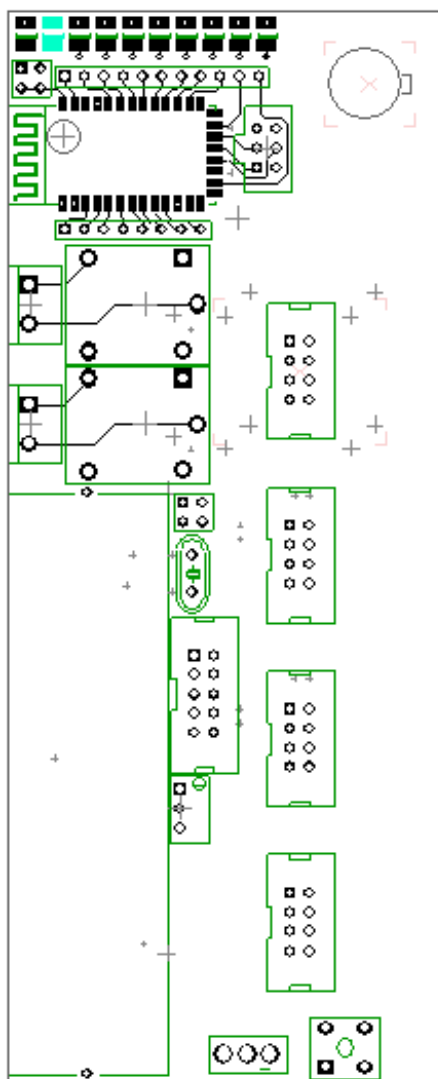


Рисунок 3.8 – Лицевая сторона платы

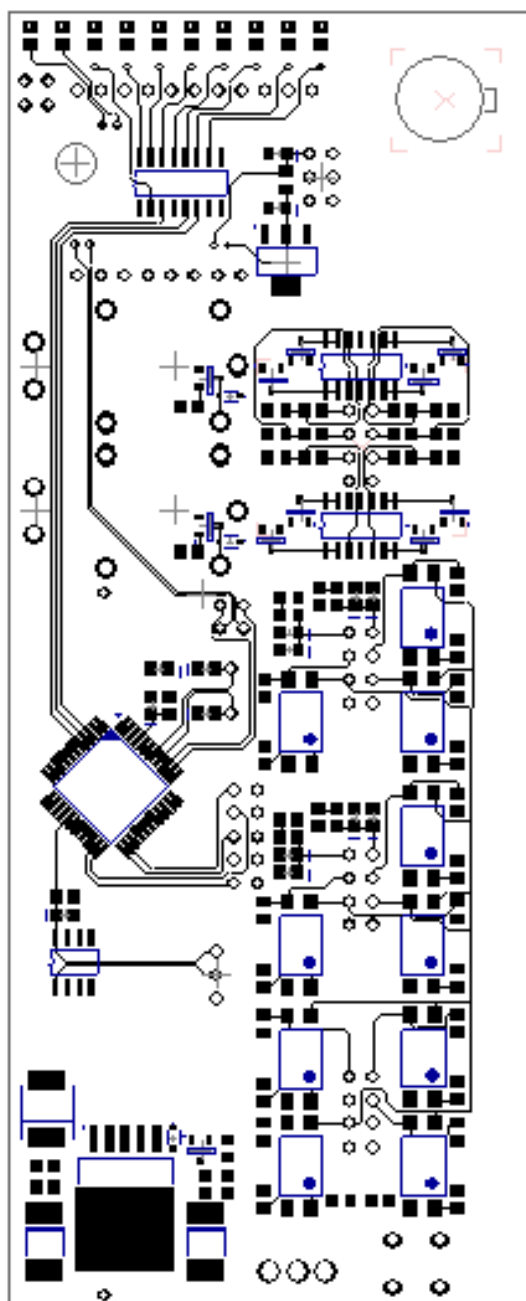


Рисунок 3.9 – Обратная сторона платы

Так как компания, осуществляющая производство печатной платы, предъявляет к ней определенные требования (см. приложение), необходимо на завершающем этапе проконтролировать, не нарушаются ли данные требования. Для этого плата проходит процедуру DRC, на соответствие правилам размещения компонентов, проводников, границ, полигонов и т.д. После проверки составляется отчет о найденных несоответствиях. И так повторяется,

пока на плате не будут найдены и исправлены все несоответствия. Окно инструмента DRC с заданными правилами представлено на рис.3.10.

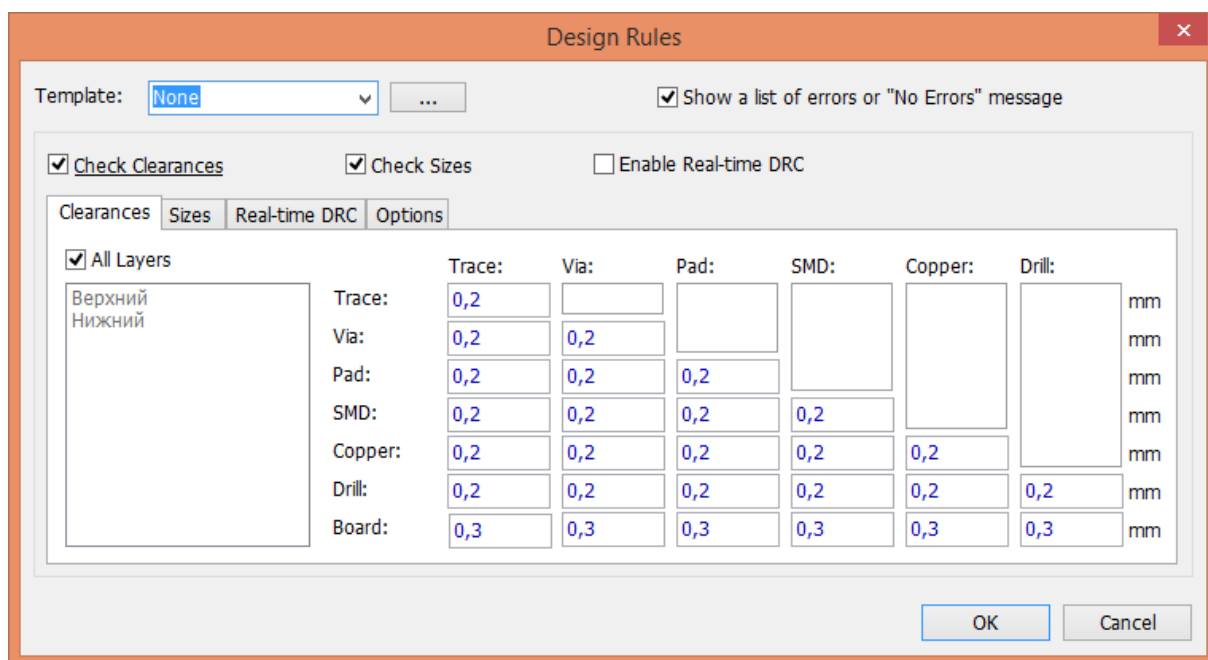


Рисунок 3.10 – Проверка платы на соответствие DRC

Технология производства печатных плат требует генерирования минимально необходимого числа апертур, для формирования фоторезистивного рисунка, невосприимчивого к смывке.

Таким образом, на печатной плате и образуется необходимый рисунок элементов.

В среде DipTrace необходимые апертуры генерируются автоматически. Однако при каждом изменении рисунка платы, необходимо генерировать апертуры заново. Так гарантируется то, что весь рисунок будет правильно отображен на поверхности печатной платы в процессе производства. Апертурным методом наносятся:

- проводники;
- контактные площадки;
- отверстия;
- участки вскрытия маски;
- текст в слоях маски и проводников;

На рис.3.11 представлено окно генерирования апертур для платы устройства.

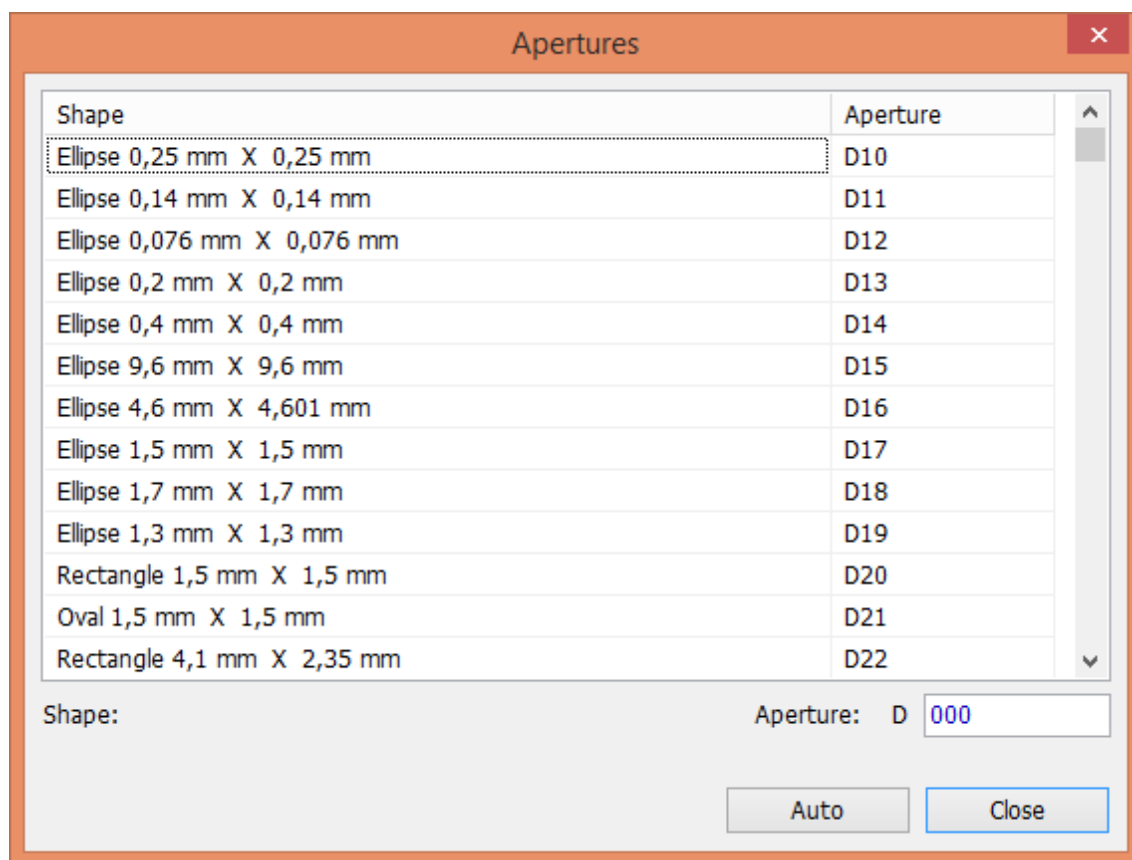


Рисунок 3.11 – Создание апертур

На завершающем этапе подготовки, слои экспортируются в формате Gerber. На данном этапе производятся последние настройки, выбираются единицы измерения.

Для производителя генерируются следующие файлы:

1. Top layer: pcbname.GTL
2. Bottom layer: pcbname.GBL
3. Solder Stop Mask Top: pcbname.GTS
4. Solder Stop Mask Bottom: pcbname.GBS
5. Silk Top: pcbname.GTO
6. Silk Bottom: pcbname.GBO
7. NC Drill: pcbname.TXT
8. Outline layer: pcbname.GKO

Окно экспорта Gerber-файлов со всеми необходимыми настройками и предустановками представлено на рис.3.12.

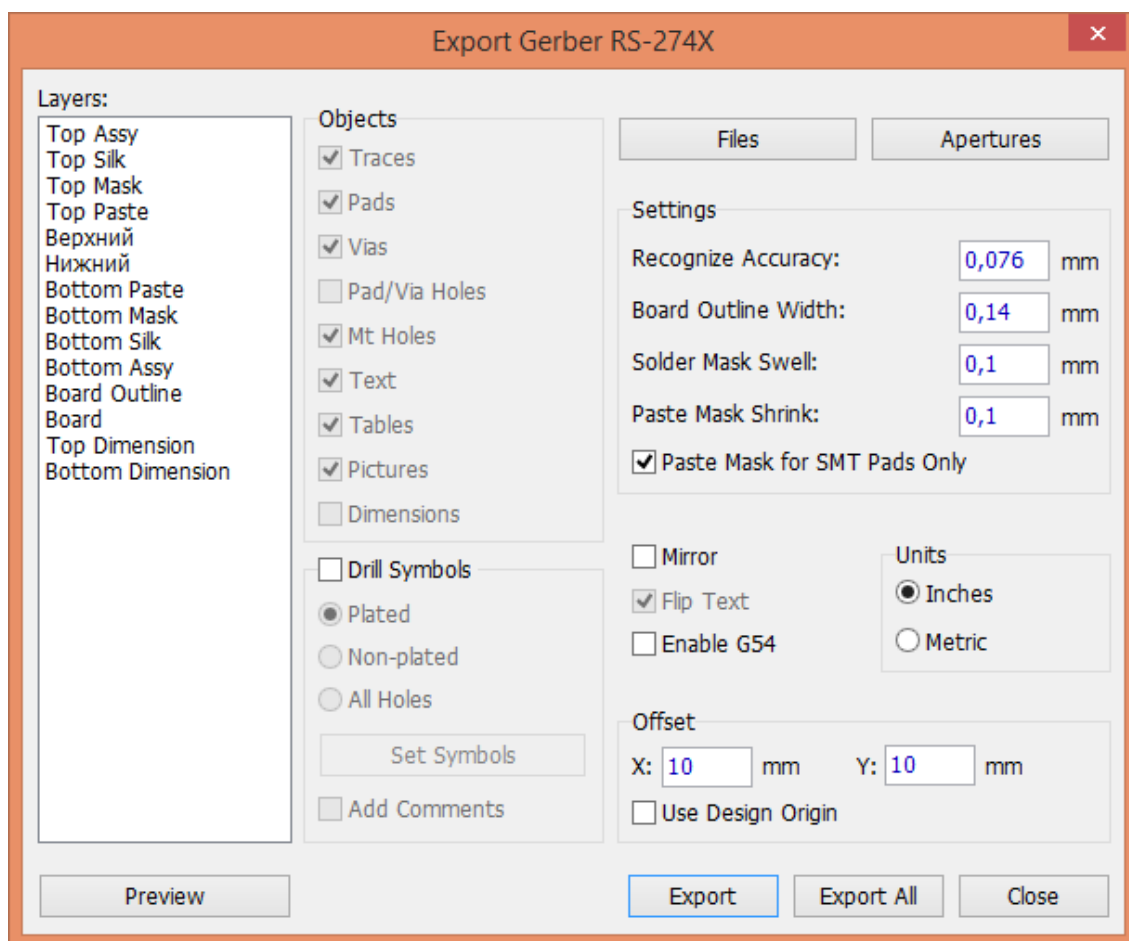


Рисунок 3.12 – Экспорт в формат Gerber

Таблица 3.1 – Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В			
	Внешние воздействующие факторы			
	Нормальные условия	Относительная влажность (98+/-2)% при температуре (40+/-2) °C	Пониженное атмосферное давление	
			53600 Па (400мм рт. ст)	666 Па (5мм рт. ст.)
От 0,05 до 0,075 включ.	10	6	8	5
Св. 0,075 до 0,1 включ.	15	9	12	8
Св. 0,10 до 0,20 включ.	25	15	20	10
Св. 0,20 до 0,30 включ.	50	30	40	30
Св. 0,30 до 0,40 включ.	150	100	110	50
Св. 0,40 до 0,70 включ.	300	200	160	80
Св. 0,70 до 1,20 включ.	400	300	200	100
Св. 1,20 до 2,00 включ.	600	360	300	130
Св. 2,00 до 3,50 включ.	830	430	400	160
Св. 3,50 до 5,00 включ.	1160	600	560	210
Св. 5,00 до 7,50 включ.	1500	830	660	250
Св. 7,50 до 10,0 включ.	2000	1160	1000	300
Св. 10,0 до 15,0 включ.	2300	1600	1160	330

В результате стечения обстоятельств, несоблюдения технологии или по каким либо другим причинам, после производства необходима проверка платы на работоспособность.

Проверка на работоспособность проводится до сборки готового изделия, т.к. после сборки значительно увеличивается количество факторов, влияющих на работоспособность платы. Таким образом, проверка платы отдельно позволяет исключить заведомо бракованные образцы.

Проверка проводится методом электротестирования или как его еще называют, методом Е-теста. Метод электротестирования является одним из точных методов проверки платы на работоспособность. В ходе данной проверки идет тест на замыкания проводников между собой и тест на поверхностное сопротивление. Данный тест проводится на универсальном оборудовании методом flight probe. Данная плата имеет категорию сложности выше 3, поэтому используется оборудование с автоматической загрузкой и наборами из 2 пар щупов с каждой стороны платы. Каждая плата, успешно прошедшая электротестирование маркируется вертикальной меткой на торце платы.

Глава 4 Разработка программного обеспечения

4.1 Используемое программное обеспечение

Android SDK пожалуй, единственная открытая, бесплатная и полноценная во всех отношениях платформа для мобильных устройств и не только.

Комплект для разработки программного обеспечения удовлетворяет требованиям разработчиков благодаря наличию профессиональных инструментов для разработки мощных, многофункциональных приложений, с поистине безграничными возможностями.

Одним из главных преимуществ эко-среды Android является открытость исходного кода платформы. Это факт ценят разработчики, предпочитающие проверенные временем открытые стандарты. И, самое главное, разработчики программного обеспечения могут пользоваться всеми средствами проектирования фактически бесплатно. Небольшая плата необходима лишь для публикации в открытом доступе готовых приложений на основной площадке Google Play Market. У разработчиков на платформе Android есть множество альтернативных путей для распространения своих приложений.

4.2 Разработка интерфейса

Интерфейсная часть является немаловажной частью общего удобства работы с Android –приложением. Графический интерфейс должен отвечать нескольким критериям:

- интерактивность;
- удобство восприятия;
- удобство управления;
- информативность.

Для визуализации был разработан максимально простой интерфейс, который вместе с тем позволяет обеспечить необходимое удобство при работе в условиях производственного процесса. Помимо вышеперечисленных основных критериев, в данном интерфейсе учитывался дополнительный функционал:

- легкость масштабирования лучевой сетки;
- максимально крупные элементы ввода;
- инженерный режим для тонкой настройки;
- легкое переназначение функционала при соединении с электроприводом специального исполнения;

Заглавный экран приложения имеет средства управления и визуализации состояния электропривода (рис.4.1). При переходе в инженерный режим, рис.4.2, появляется возможность более глубокого анализа в соответствии с разработанным алгоритмом. Для детального визуального контроля за напряжением по фазам тахогенератора и датчикам Холла предусмотрен экран, представленный на рис.4.3, а для контроля за сопротивлением обмоток ротора – экран на рис.4.4.

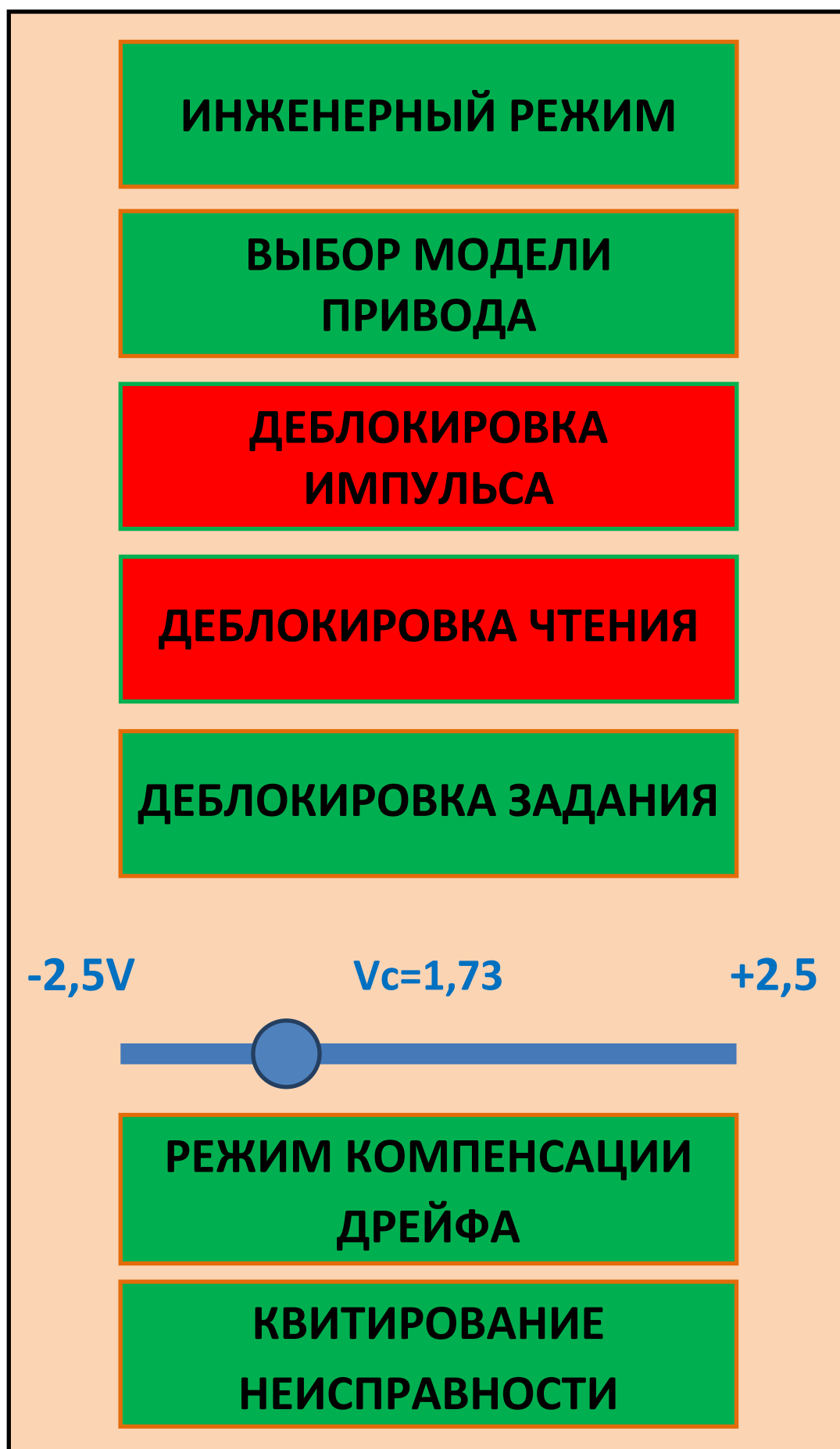


Рисунок 4.1 – Главное окно диагностики



Рисунок 4.2 – Окно инженерного режима

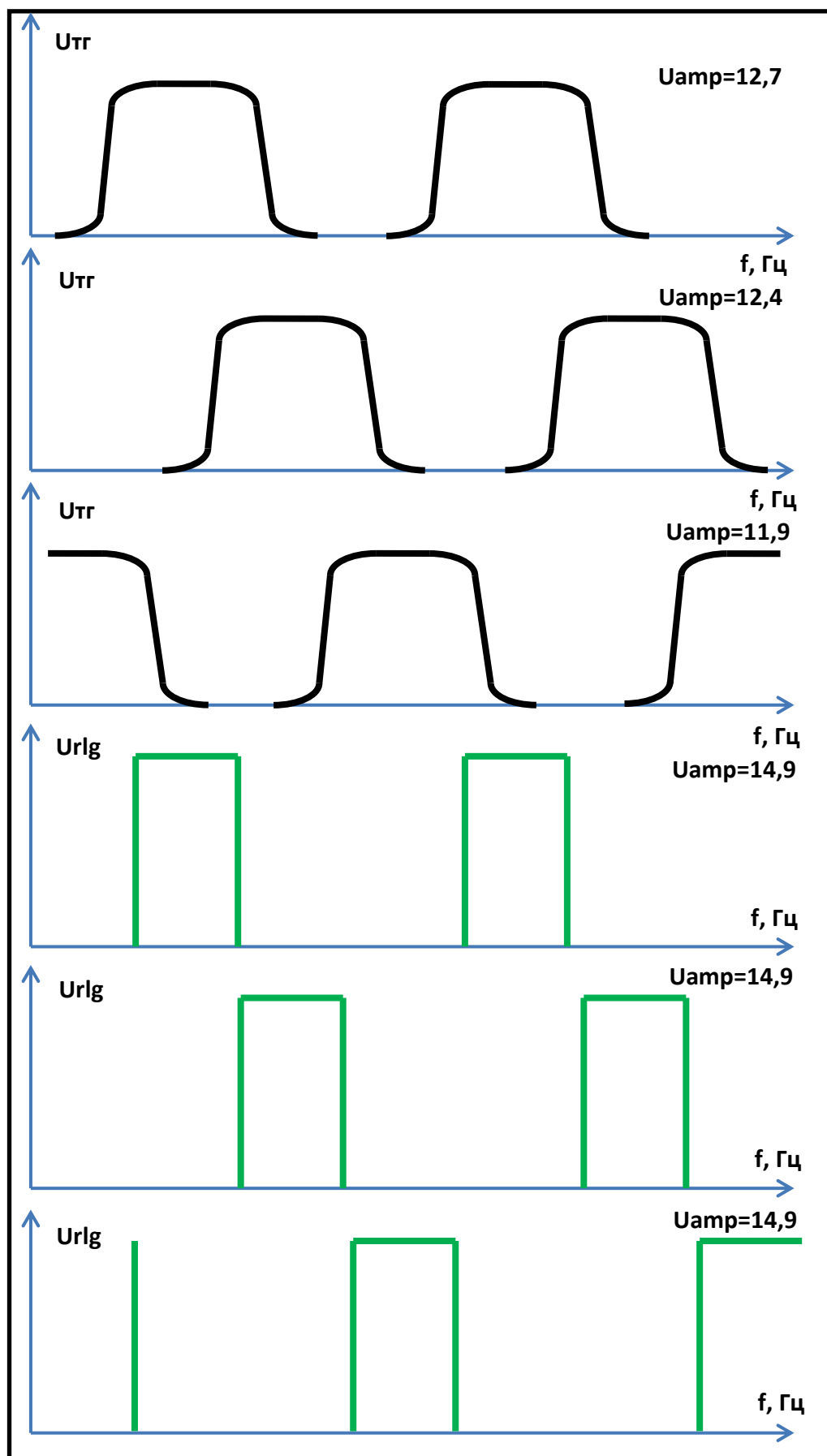


Рисунок 4.3 – Окно анализа синхронности сигналов тахогенератора и датчиков Холла

ЗВЕЗДА/ТРЕУГОЛЬНИК

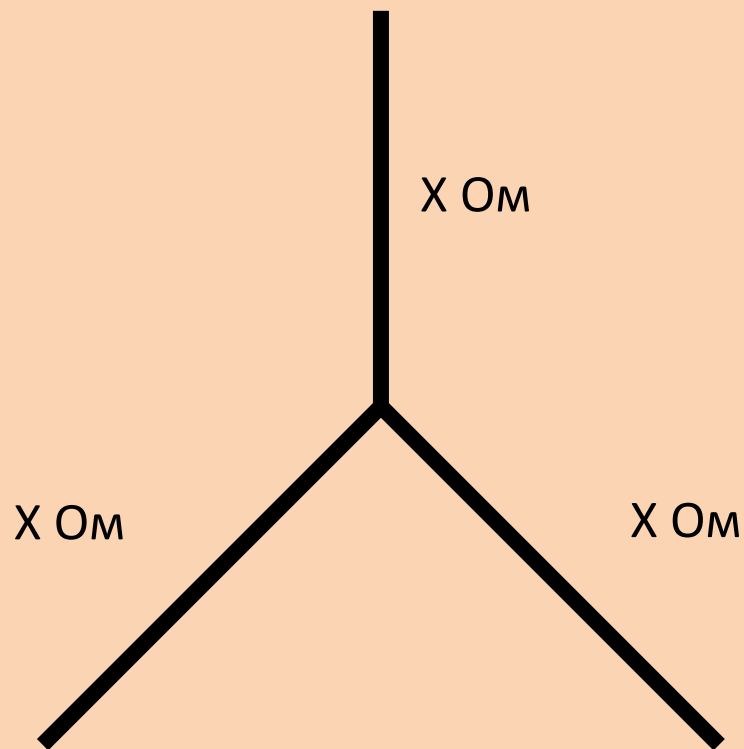


Рисунок 4.4 – Окно тестирования двигателя

4.3 Разработка алгоритма подсчета качества управления

Качество управления применительно к электроприводу SIMODRIVE имеет довольно широкое понятие и должны учитываться множество факторов:

- качество и пульсации сигнала тахогенератора;
- качество переднего и заднего фронта датчиков Холла;
- качество передачи сигнала задания по дифференциальной паре;
- качество напряжений внутреннего блока питания.

Каждый параметр имеет свой весовой коэффициент и в итоге влияет на равномерность вращения вала ротора двигателя.

Алгоритм имеет последовательную линейную структуру, основная ветка представлена на рис.4.5.



Рисунок 4.5 – Алгоритм подсчета качества управления

4.4 Разработка алгоритма выдачи рекомендаций по оптимизации

Не все обнаруженные неисправности требуют немедленного устранения. С некоторыми можно работать довольно продолжительное время. Затем совместить ремонт с плановым обслуживанием. Программное обеспечение по всем обнаруженным неисправностям с помощью разработанного алгоритма выдает степень неисправности и рекомендации по устранению поломок.

Оператор по результатам диагностики принимает решение о необходимости ремонта.

1. Сопротивление обмоток двигателя.

Проверяется сопротивление обмоток двигателя, прочность изоляции относительно земли (функция мегомметра), равномерность сопротивлений обмоток относительно друг друга. Результаты измерений выводятся на экран, в численном выражении, а равномерность сопротивления также в % относительно друг друга.

2. Сопротивление датчика температуры двигателя.

Проверяется цепь датчика температуры двигателя на короткое замыкание, на замыкание на корпус, на обрыв. Результат измерения в выдается в омах, а также в пересчитанном в температуру виде.

3. Контроль релейных выходов.

Проверка релейных нормально-открытых и нормально-закрытых контактов. Вычисление переходного сопротивления контактов для поиска возможного неконтакта и места локального перегрева. Результат выводится в омах.

4. Напряжение источников питания.

Контролируются напряжения промежуточного источника питания. Проверяется их наличие, а также вычисляется процентное отклонение от эталонного.

5. Наличие и напряжение фаз тахогенератора.

Контролируется наличие фаз тахогенератора, его номинальное напряжение при номинальной частоте вращения двигателя (опция).

Измеряется сопротивление обмоток, их неравномерность. Результаты выводятся в омах, неравномерность – в процентах.

6. Наличие и напряжение сигнала с датчиков Холла.

Проверяется наличие сигнала с датчиков Холла, а также фронт нарастания и фронт спада сигнала. Результат выводится в виде напряжения по каждой фазе и в виде времени нарастания/спада сигнала в миллисекундах.

7. Согласованность и правильный порядок между фазами тахогенератора и датчиками Холла.

Проверяется порядок чередования фаз тахогенератора и порядок включения датчиков Холла. Проверяется рассогласование между моментом начала «полки» напряжения тахогенератора и концом фазы нарастания сигнала датчика Холла. Вычисляется рассогласование в угловых градусах.

8. Пуск/реверс двигателя

Проверяется порядок подключения фаз двигателя и фаз тахогенератора, отсутствие явления ухода «в разнос». Проверяется факт реверса двигателя.

9. Работоспособность входа квитирования неисправностей.

Устройство имитирует неисправность электропривода и активирует вход сброса ошибки для проверки данной возможности.

После выполнения всех этапов диагностики, рис.4.6, выдаются результаты ее диагностики по каждому пункту, а также рекомендации по ремонту, настройке или замене неисправного узла.



Рисунок 4.6 – Алгоритм выдачи рекомендаций

Глава 5 Испытания

5.1 Испытание устройства

В качестве объекта испытания на первом этапе был выбран корпус 15/2 ПАО «АВТОВАЗ». Технологическое оборудование корпуса предназначено для механической обработки деталей двигателя и КПП и оснащено системами управления вращением электрических двигателей (частотно-регулируемым приводом, сервоприводом). Системы управления данных электрических приводов установлены в металлических шкафах, которые расположены либо на высоте 4-5 метров, либо вне зоны видимости рабочих органов станка. Такое расположение делает невозможным одновременную диагностику сервоприводов в шкафах управления и подключенных к ним серводвигателей, находящихся в рабочей зоне, силами одного человека.

На втором этапе в программу испытаний был включен корпус 15/3 ПАО АВТОВАЗ, оборудование которого занято производством деталей шасси.

На заключительном третьем этапе, устройство было передано в корпус 25 ПАО «АВТОВАЗ», а также несколько образцов отправлено на тестирование на другие промышленные предприятия г. Тольятти.

По результатам полугодовых испытаний, был составлен перечень замечаний. Также, по результатам внутренних лабораторных испытаний, были оптимизированы топология и элементная база. По всем выявленным замечаниям была проведена работа по внедрению, что позволило улучшить потребительские и эксплуатационные характеристики устройства, а также оптимизировать его внутренние алгоритмы.

5.2 Заключение о внедрении диагностического стенда

По результатам испытаний, диагностическое устройство было внедрено в качестве диагностического стенда во всех лабораториях электроники ДОРТО ПАО АВТОВАЗ, о чем свидетельствует акт внедрения, представленный на рисунке 5.1.

Акт внедрения №089/15
научной, научно-технической продукции

Наименование научной продукции (технического изделия) Стенд диагностики комплексного
электронизатора SIMODRIVE 68C610

Вид подготовленного документа Техническое задание,
техническая документация

Заказчик научной, научно-технической продукции ДОРТО, ПАО АВТОВАЗ

Исполнитель(и) работ Кутяков А.П., электромеханик
по устройству автоматики и приборам, 7р.

Основание подготовки научной продукции (разработки нового технического средства): Инициатива работника, по инициативе
некаждественное решение
(заявка, инициатива)

Дата и результаты приемки научной, научно-технической продукции 15.04.17, ТЗ соответствует, по сути
требованиям работы проведена

Сведения о внедрении Угломовлев И. (д.в.м.)
стендов диагностики, внедрение: бригадой
ДОРТО бригадой УГМ
(формы и методы внедрения, в какие подразделения внедрено, другая информация о внедрении)

Сведения об эффективности внедрения ННТП в деятельность подразделений Улучшились общие характеристики оборудования,
используемого электромеханической группой 1275000р
за 2 месяца эксплуатации

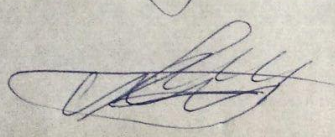
 16.04.2017.

Рисунок 5.1 – Акт внедрения диагностического стенда

Заключение

В ходе данной магистерской диссертационной работы были решены следующие задачи:

- проанализировано устройство и принцип функционирования комплектного аналогового электропривода на примере SIMODRIVE 6SC610;
- собран стенд комплектного электропривода SIMODRIVE 610 для практического исследования и моделирования неисправностей;
- разработана методика экспресс-диагностики комплектного электропривода;
- спроектирована печатная плата с оптимизацией по положению аналоговых трасс;
- спроектировано приложения для мобильной эко-среды Android с визуализацией результатов диагностики;
- проведены практические испытания устройства и апробированы методики в условиях производственного процесса на предприятии машиностроения ПАО АвтоВАЗ.

Спроектированное устройство диагностики внедрено для повседневной диагностической и планово-предупредительной работы в бригадах ОЭТС ДОРТО в ПАО «АВТОВАЗ». Оно так же может быть широко применено в различных отраслях промышленности при диагностике, как различных аналоговых комплектных электроприводов, так и отдельных его составляющих.

Список использованных источников

1. Прахов, И.В. Методы оценки технического состояния и прогнозирования ресурса эксплуатации насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом / В.А. Гудков // Прикаспийский журнал: управление и технологии. – 2010. – Т.11. – №3. – С.7-13.
2. Кожевников, А.В. Диагностирование приводов станков с помощью нейросетевой оценки / А.В. Кожевников // Процессы и оборудование. – 2013. – №3(33). – С.54-60.
3. Сарваров, А.С. Современные методы диагностирования двигателей и их развитие / А.С. Сарваров, В.В Купцов //Материалы 68-й научно-технической конференции. – Магнитогорск: МГТУ, 2010. С.7-13.
4. Лукьянов, М.М. Новые принципы виброакустической диагностики изношенного силового электрооборудования / М.М. Иванов // Электрика. – 2001. – № 2. – С.7-13.
5. Самородов, А.В. Диагностика и прогнозирование остаточного ресурса электропривода насосно-компрессорного оборудования нефтехимических производств / А.В. Самородов // Энергетик. 2010. – №4. – С. 49-51.
6. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
7. Гашимов, М.А. Диагностирование обмотки статора электрических машин / М.А. Гашимов, Г.А. Гаджиев, С.М. Мирзоева // Электрические станции. – 1998. – № 11. – С.7-13.
8. Адаменков, А.К. Диагностика электроприводной арматуры по мощности – возможность перехода от ремонта по регламенту к ремонту по техническому состоянию / А.К. Адаменков, И.Н. Веселова, И.И. Козырев // Арматуростроение. – 2006. – №2(41). – С. 57-61.
9. Гусев, В.В. Мониторинг и диагностика электрических машин переменного тока в алмазодобывающей промышленности : автореф. Дис. ... канд. тех.наук : / В.В. Гусев. – Томск: Изд-во ТПИ, 2010. – 25с.
- 10.Калявин, В.П. Надежность и диагностика элементов электроустановок / В.П.

- Калявин, Л.М. Рыбаков. – Спб: Элмор, 2009. – 336с.
11. Чекалин, В.Г. Диагностика и наладка электроприводов: учебное пособие / В.Г. Чекалин. – Душанбе: ДГУ, 2010. – 57с.
 12. Яковлев, В. Ф. Диагностика электронных систем автомобиля: учебное пособие / В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 272 с.
 13. Скалзуб, В.В. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока / В.В. Скалзуб, О.М. Швец // ИКСЗТ. 2009. – №4. – с. 7-11.
 14. Ильинский, Н.Ф. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Рожанковский Ю.В., Горнов А.О. // Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: практ. Пособие в 5 кн. – Кн.2. – М.: Высш.шк., 1989. – 127с.
 15. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода / Н.Ф. Ильинский. – М.: МЭИ, 2007. – 222с.
 16. Гармаш, В.С. Метод контроля стержней ротора асинхронного двигателя / В.С. Гармаш // Энергетика. – 1990. – № 10. – С.7-13.
 17. Фролов, Ю.М. Регулируемый асинхронный электропривод / Фролов Ю.М., Шелякин В.П. – М.: Лань. – 464с.
 18. Беспалов, В.Я. Математическая модель двигателя в обобщенной ортогональной системе координат / В.Я. Беспалов, Ю.А. Мощинский, А.П. Петров // Электричество. – 2002. – № 8. – С. 33-39.
 19. Петухов, В. Спектральный анализ модулей векторов тока и напряжения / В. Петухов // Новости электротехники. – 2008. – №1(49). – С.7-13.
 20. Волохов, С.А. Диагностирование обрыва стержня ротора асинхронного электродвигателя / С.А. Волохов, П.Н. Добродеев, А.В. Кильдишев // Электротехника. – 1998. – №2. – С. 13-15.
 21. Гашимов, М.А. Диагностирование эксцентриситета и обрыва стержней ротора в асинхронных электродвигателях без их отключения / М.А. Гашимов, Г.А. Гаджиев, С.М. Мирзоева. // Электротехника. – 1998. – №10. С. 46-51.
 22. Глазунов, Л.П. Проектирование систем диагностирования / Л.П. Глазунов,

- А.Н. Смирнов. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 168 с.
- 23.Деро, А.Р. Неполадки в работе асинхронного двигателя / А.Р. Деро. – Л.: Энергия, 1976. – 96 с.
- 24.Гольдберг, О.Д. Надежность электрических машин / Гольдберг О.Д., С.П. Хелемская. – М.: Академия, 2010. – 288с.
- 25.Котеленец, Н.Ф. Испытания и надежность электрических машин / Н.Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов. – М.: Высшая школа, 2006. – 232 с.
- 26.Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
- 27.Осипов, О.И. Основы технической диагностики автоматизированных электроприводов: учебное пособие / О.И. Осипов. – Челябинск: ЧПИ, 1982. – 87 с.
- 28.Осипов, О.И. Техническое диагностирование асинхронного двигателя / О.И. Осипов, А.Н. Агафонов // Труды Моск. энерг. ин-та. Электропривод и системы управления. – 2000. – Вып. 676. – С. 22-29.
- 29.Осипов, О.И. Проблемы распознавания дефектов электрических машин переменного тока / О.И. Осипов, А.Н. Агафонов, С.Ю., Булеков // Материалы научно-технической конф. «Научные идеи В.А. Шубенко на рубеже веков». – Екатеринбург, 1999. – С. 81-84.
- 30.Пархоменко, П.П. Основы технической диагностики (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.
- 31.Петушков, М.Ю. Надежность электронных устройств: учебное пособие / М.Ю. Петушков. – Магнитогорск.:МГТУ, 2008. – 138с.
- 32.Пономарев, В.А. Метод функциональной диагностики повреждений в обмотках статора асинхронных двигателей с оперативным анализом несимметрии полных обмоток / В.А. Пономарев., И.Ф. Суворов, А.С. Юдин // Промышленная энергетика. – 2008. – №7. – С. 17-21.
- 33.Романов, Р. А. Современные средства и методики диагностики оборудования горнодобывающей и горноперерабатывающей отрасли согласно концепции

- «Надежное оборудование» / Р.А. Романов, В.В. Севастьянов. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=140> (дата обращения 17.02.2017).
34. Ильинский, Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие. / Н.Ф. Ильинский. – М.: Академия, 2008. – 208 с.
35. Волков, В.Н. Нейросетевая идентификация электропривода постоянного тока / В.Н. Волков, А.В. Кожевников // Современные научные исследования и инновации. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/04/23648> (дата обращения 17.04.201).
36. Анисимов, Д.М. Разработка математической модели системы «Трансформаторно-тиристорный пускатель-асинхронный двигатель» / Д.М. Анисимов, М.Ю. Петушков, М.В. Вечеркин, И.А. Сарваров // Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сб. науч. Тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2008. – Вып.15. – С.191-195.
37. Кожевников, А.В. Диагностирование приводов прокатных станков с помощью нейросетевой оценки / А.В. Кожевников // Metallurgical processes and equipment. – 2013. – №3(33). – С.54-60.
38. Еремеев, С.Н. Профилактическое обслуживание электродвигателей высоконагруженного технологического оборудования / С.Н. Еремеев // Электрика. – 2001. – № 3. – С.7-13.
39. Петухов, В.С. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В.С. Петухов, В.А. Соколов // Новости электротехники. – 2005. – № 1. 2005. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php> (Дата обращения 17.02.2017).
40. Денисов, В.А. Исследование динамической модели электромеханической части системы компенсации износа режущего инструмента / В.А. Денисов, А.В. Жуков // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – №3(17). – С.56-60.
41. Ермаков, В.В. Обзор датчиков момента, применяемых в усилителях руля

- /В.В. Ермаков, В.В. Королев, Н.А. Боляйн, В.Н. Лата // Автотракторное электрооборудование. – 2002-№2 – С.29-31.
- 42.Денисов, В.А., Третьякова М.Н., Бородин О.А. Математическое моделирование асинхронных электроприводов с векторным управлением / В.А. Денисов, М.Н. Третьякова, О.А. Бородин //Электротехнические и информационные комплексы и системы (Уфа). – 2016. – Т. 12. – №1. – С. 5-12.
- 43.Схиртладзе, А.Г. Надежность и диагностика технологических систем / А.Г. Схиртладзе, М.С. Уколов, А.В. Сквордцов. – Москва: Новое знание, 2008. – 518 с.
- 44.Минаев, П.А. Монтаж систем контроля и автоматики / П.А. Минаев. – Л.: Стройиздат, 1990. – 543с.
- 45.ГОСТ 26656-85. Контролепригодность. Общие требования. – Введ. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
- 46.ГОСТ 19919-74. Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения. Введ. 1975-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1975.
- 47.Abellan, J.V. Adaptive Control Optimization of Cutting Parameters for High Quality Machining Operations based on Neural Networks and Search Algorithms / J.V. Abellan, F. Romero, H.R. Siller, A. Estruch and C. Vila. – Advances in Robotics, Automation and Control, 2008.
- 48.Lucian I.C. Gabriel Sever Racz. Fuzzy Logic Techniques used in Manufacturing Processes Reengineering / I.C. Lucian, E. B.Radu, S. R. Gabriel. – Engineering Faculty, 2006.
- 49.Kao, C.C. Design and tuning of a fuzzy logic controller for micro-hole electrical discharge machining / C.C. Kao, A.J. Shih. – Journal of Manufacturing Processes, 2008.
- 50.Kai, G.G.. Comparing a Neural-Fuzzy Scheme with a Probabilistic Neural Network for Applications to Monitoring and Diagnostics in Manufacturing Systems / G.G. Kai, W.Q. Bill, A.S. Alice, P.L. Jain. – Project MICRO, 2014.

- 51.Kai, F.E. Monitoring and Diagnosing Manufacturing Processes Using a Hybrid Architecture with Neural Networks and Fuzzy Logic / F.E. Kai, K.J. Paul. – Mechanical Engineering, 2017.
- 52.Lee, W.M. Adaptive control of the WEDM process using a self-tuning fuzzy logic algorithm with grey prediction / W. M. Lee, Y. S. Liao. – Int J Adv Manuf Technol, 2016.
- 53.Sarah, Y.L. Prediction and Optimization of a Ceramic Casting Process Using A Hierarchical Hybrid System of Neural Networks and Fuzzy Logic / Y.L. Sarah, L.P. Kimberly, E.S. Alice. – Industrial and Systems Engineering, 2013.
- 54.Viorel, S.T. Robot Control by Fuzzy Logic / S.T. Viorel, M.T. Mircea. – Frontiers in Robotics, Automation and Control, 2014.

Normal Condition of PCB capabilities

Modified on: Sat, 31 Jan, 2015 at 3:00 PM

Layers	1 - 4
Material	FR-4
Board Dimension (max)	380mm X380mm
Board Dimension (min)	10mm X10mm
Outline Dimension Accuracy	± 0.2mm
Board Thickness	0.40mm–2.0mm
Board Thickness Tolerance	± 10%
Dielectric Separation thickness	0.075mm–5.00mm
Conductor Width (min)	0.15mm(Recommend>8mil)
Conductor Space (min)	0.15mm(Recommend>8mil)
Outer Conductor thickness	35um
Inner Conductor thickness	17um–100um
Copper to Edge	>0.3mm
Plated Component,Plated via Diameter(Mechanical)	0.3mm–6.30mm
Plated Hole Diameter Tolerance(Mechanical)	0.08mm
Unplated Hole Diameter Tolerance	0.05mm
Hole Space(min)	0.25mm
Hole to Edge	0.4mm
Annular Ring(min)	0.15mm
Aspect Ratio	8:01
Solder Resist Type	Photosensitive ink
Solder Resist Color	Black ,Green, White, Blue ,Yellow
Solder Resist Clearance	0.1mm
Solder Resist Coverage	0.1mm
Plug Hole Diameter	0.3mm–0.65mm
Selective Finish	HASL, ENIG
Silkscreen line width (mim)	6mil