

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии

Н. С. Собчук

***ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ***

Методическое пособие по курсовому проектированию
для студентов специальности
1-39 02 03 «Медицинская электроника»
всех форм обучения

Минск БГУИР 2011

УДК 615.47(075.8)
ББК 53.4я73
Э45

Р е ц е н з е н т:

старший преподаватель кафедры микро- и наноэлектроники
учреждения образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
В. В. Шульгов

Собчук, Н. С.

Э45 Электронные средства лабораторной диагностики и экологического контроля: метод. пособие по курсовому проектированию для студ. спец. 1-39 02 03 «Медицинская электроника» всех форм обуч. / Н. С. Собчук. – Минск : БГУИР, 2011 – 52 с.
ISBN 978-985-488-503-2.

Содержит общие требования к курсовому проекту, методику и особенности проектирования диагностических приборов. Дана классификация средств медицинской электроники. Рассмотрены вопросы техники безопасности и аспекты разработки структурных схем и алгоритмов работы диагностических приборов на основе микро-процессорной техники. Основное внимание уделено фотоэлектрическим методам исследований, наиболее широко используемым в лабораторной диагностике. Приведены требования к расчётной части курсового проекта с примерами электрических и конструкторских расчетов.

**УДК 615.47(075.8)
ББК 53.4я73**

ISBN 978-985-488-503-2

© Собчук Н. С., 2011
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

1. Задачи и тематика курсового проектирования.....	4
2. Указания к выполнению курсового проекта.....	7
3. Особенности безопасной эксплуатации средств медицинской электроники..	11
4. Анализ исходных данных. Выбор структурной схемы.....	12
4.1. Классификация медицинской техники.....	12
4.2. Разработка структурной схемы диагностического прибора.....	14
5. Разработка функциональной (принципиальной) схемы прибора.....	20
5.1. Основы методики расчета и проектирования диагностического оптико-электронного прибора (ОЭП).....	22
5.1.1. Общие вопросы расчета и проектирования типового ОЭП.....	22
5.1.2. Энергетические (светотехнические) расчеты оптико-электронных приборов.....	23
5.1.3. Расчет основных конструктивных параметров оптико-электронного прибора.....	24
5.2. Точностные расчеты оптико-электронных приборов.....	29
6. Разработка алгоритма и программы управления для электронного диагностического прибора с микропроцессорным управлением.....	41
7. Оформление комплекта конструкторских документов.....	42
Литература.....	49

1. ЗАДАЧИ И ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовой проект по дисциплине «Электронные средства лабораторной диагностики и экологического контроля» выполняется после изучения основных дисциплин по проектированию средств медицинской электроники (СМЭ). В результате выполнения проекта студент должен расширить, систематизировать и закрепить знания по основным принципам проектирования СМЭ, методикам их оптимального расчета с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР), структуре и основам проектирования современных приборов для лабораторной диагностики, включая устройства с микропроцессорными блоками управления, регистрации и обработки биомедицинских сигналов.

Медицинская электронная диагностическая аппаратура отличается самой высокой наукоемкостью изделий, работа которых связана с использованием разнообразных физико-технических эффектов, а производство основано на новейших высокоэффективных технологиях. В диагностике используются высокотехнологические материалы самой широкой номенклатуры: от металлических и неметаллических конструкционных до сверхчистых монокристаллических полупроводниковых и материалов с особыми физико-химическими свойствами. Для ЭСЛД характерно многообразие объектов изучения, большое количество процедур приготовления различных растворов и способов установления содержания субстратов, метаболитов, специфических белков, электролитов и активности ферментов различных биологических жидкостей с использованием разнообразных видов исследования, среди которых наиболее часто используются фотометрические виды.

Важное место в лабораторной диагностике занимают иммуноферментные, иммунофлюоресцентные, сатурационные и ионометрические методы определения содержания компонентов в пробах, контроль радиоактивности и фракционирование компонентов биологических жидкостей и тканей с применением электрофореза и хроматографии.

Особое место отводится применению лазерных методов исследования, а также технологиям автоматизированных клинико-биохимических, иммуноферментных и гематологических исследований.

При проектировании и изготовлении диагностических систем и приборов в качестве конструктивной и элементной баз электронных и функциональных устройств большой удельный вес имеют изделия микро-, опто- и функциональной электроники, а также микропроцессоры и ПЭВМ. За счет применения микропроцессорной техники резко возрастают функциональные возможности диагностических систем и приборов как в области обработки, так и в области представления информации.

В процессе получения достоверной диагностической информации самым важным этапом является этап преобразования физико-технических параметров биологических объектов в электрические сигналы. Однако процессом формирования электрических сигналов как эквивалентов параметров некоторого порож-

дающего поля не заканчивается процедура получения диагностической информации. Необходима дальнейшая обработка сигналов, с тем чтобы содержащаяся в них информация стала доступной для пользователя при ее предъявлении на устройствах отображения. Такая обработка осуществляется в специальных электронных блоках, совокупность и последовательность включения которых определяет структуру специальных технических средств – средств обработки сигналов. Совокупность устройств сопряжения с биообъектом, обработки сигналов и отображения информации определяет полную структуру соответствующего технического средства диагностического назначения.

Основными задачами курсового проектирования являются:

- систематизация и закрепление теоретических знаний студентов по основным разделам курса;
- развитие навыков самостоятельного применения теоретических и практических знаний для решения инженерно-технических задач при проектировании наиболее эффективных терапевтических приборов;
- расширение кругозора студента и развитие навыков самостоятельной работы над научной, патентной, технической и справочной литературой, действующей нормативно-технической документацией;
- развитие у студента творческого отношения к выбранной специальности, умения оперативно использовать новейшие достижения отечественной и зарубежной науки при проектировании СМЭ, чувства ответственности за принятые решения;
- широкое использование вычислительной техники, пакетов прикладных программ для решения проектных задач любой степени сложности.

Темы заданий на курсовое проектирование должны соответствовать требованиям квалификационной характеристики инженеров специальности «Медицинская электроника» и современному уровню развития науки и техники и быть многопрофильными.

Тематика курсовых проектов инженерного профиля должна быть посвящена проектированию как основных блоков и узлов медицинских приборов, так и самих медицинских приборов, разработке программного обеспечения при реализации приборов на микроконтроллерах и включать:

- разработку (электрический расчет, синтез) функциональных электрических схем блоков, узлов, приборов;
- моделирование работы электронных схем;
- разработку программ управления блоками устройства;
- конструкторские расчеты отдельных блоков и всего устройства;
- разработку конструкции отдельных блоков и всего устройства.

В курсовых проектах данного вида решаются задачи по разработке или усовершенствованию СМЭ или функциональных частей (блоков, субблоков и т. п.), входящих в их состав, а также разработке устройств обеспечения производства, ремонта и обслуживания СМЭ. Разработка или модернизация конструкций выполняется на уровне эскизного или технического проекта с дальнейшим

отображением принятых решений в конструкторской документации (чертежах).
Темами курсовых проектов инженерного профиля могут быть:

1. Автоматическая лаборатория.
2. Полуавтомат для микротитрования при иммунобиологических исследованиях.
3. Автоматизированная система для выполнения биохимических анализов.
4. Анализатор крови коагулологический.
5. Ионно-селективный анализатор.
6. Атомный флуоресцентный плазменный спектрометр.
7. Спектрофотометр.
8. Устройство для экспресс-анализа глюкозы в крови.
9. Атомно-адсорбционный спектрометр.
10. Лазерный прибор для изучения атмосферных аэрозолей.
11. Биохимический анализатор.
12. Электронный рН-метр.

Научно-исследовательские проекты должны содержать аналитический материал по решаемой проблеме, теоретический и экспериментальный разделы и быть связаны с данной тематикой в рамках госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских работ (НИР) и заказов предприятий и организаций. Темами курсовых проектов научно-исследовательского профиля могут быть:

- исследование физико-химических процессов, протекающих в организме при проведении физиотерапевтических процедур, и применение полученных результатов для разработки диагностических приборов;
- моделирование и оптимизация воздействия физических факторов на биоткани человека и использование параметров отклика для разработки новых методик измерений.

Рекомендуется выполнение курсового проекта научно-исследовательского профиля как продолжение темы НИР студентов или в виде индивидуального задания по тематике НИР кафедры. Отдельные оригинальные технические решения и разработки, выполненные студентами в рамках курсового проекта, могут стать основой дипломного проекта. Допускается выполнение курсовых проектов по разработке и изготовлению устройств и приборов для научных исследований или макетов лабораторных работ.

2. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Техническим заданием на проектирование является задание, которое содержит утвержденную тему проекта, исходные данные, перечень подлежащих разработке вопросов, перечень графического материала, с указанием сроков выдачи задания и защиты проекта, подписанное руководителем и студентом [10, 11]. Задание выдается в течение первых двух недель семестра и утверждается заведующим кафедрой.

Исходными данными проекта могут быть:

- назначение и объект установки разрабатываемого изделия, его связь с другими частями устройства, внешней средой и человеком-оператором;
- электрические параметры с указанием наиболее характерных данных для проектируемого изделия;
- вид источника электрического питания (сеть, генератор, аккумулятор и т. п.), его напряжение и стабильность;
- эксплуатационные характеристики изделия: режим и характер работы изделия (непрерывный, циклический и т. д.), требования устойчивости проектируемого изделия к различным видам воздействий (диапазон рабочих температур, относительная влажность, частотный диапазон и уровень вибраций и т. д.);
- основные конструктивные характеристики изделия (форма, габариты, масса);
- требования к основным качественным показателям проектируемого изделия (диапазон измерений параметра биообъекта, точность измерения параметров, надежность, стоимость и др.);
- планируемая программа выпуска проектируемого изделия в год или указание о типе производства (массовое, крупносерийное и т. д.);
- ограничения на применяемые материалы, комплектующие элементы, технологические процессы и т. п., накладываемые условиями производства на конкретном предприятии;
- специальные требования, специфичные для проектируемого изделия и не оговоренные выше.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (ПЗ), содержащей 40–50 страниц технического текста (формат А4), необходимых приложений и графической части на трех–четыре листах (формат А1). Общими требованиями к пояснительной записке курсового проекта являются четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и ясность формулировок, исключая неоднозначность толкования, конкретность изложения результатов, доказательств и выводов.

В состав пояснительной записки к курсовому проекту входят титульный лист [10, 11], аннотация, задание, содержание, введение, основная часть, заключение, список используемых источников, приложения.

Основную часть ПЗ составляют разделы, в которых даётся обзор литературы по теме с выводом о целесообразности разработки, обосновывается выбор направления проектирования или исследований, излагаются общая концепция и

основные методы проектирования или исследований, описывается экспериментальная часть, применяемое оборудование и техника эксперимента, основные конструкторские и иные расчеты, выполненные в работе теоретические и (или) экспериментальные исследования, анализируются и обобщаются результаты проектирования и исследований.

При описании общей концепции и основных методов исследований необходимо дать теоретическое обоснование предлагаемых методов, алгоритмов решения задач, изложить их суть, обосновать выбор принятого направления исследования, а также изложить принципы действия и характеристики разработанной аппаратуры, оценки погрешностей измерений.

В разделах ПЗ полно и аргументированно излагается собственная разработка или исследование студента с выявлением того нового, что внесено им в развитие проблемы (задачи). Автор проекта должен дать оценку степени достижения цели и полноты решения поставленных задач, оценку достоверности полученных результатов, сравнить их с аналогичными результатами отечественных и зарубежных работ, обосновать необходимость проведения дополнительных исследований, отрицательные результаты и т. д. По каждому разделу пояснительной записки делаются выводы.

Весь порядок изложения в ПЗ должен быть подчинен цели проектирования, сформулированной автором. Логичность построения изложения основного содержания достигается только тогда, когда каждый раздел имеет определенное целевое назначение и является базой для последующих.

Структура и содержание материала ПЗ определяется профилем проекта, который может быть различным: инженерным, научно-исследовательским и др.

При **инженерном профиле** проекта ПЗ включает:

Введение. В этом разделе необходимо отразить актуальность темы, оценить современное состояние решаемой технической задачи, показать перспективные пути ее решения.

Обзор современных методов и приборов лечения заболеваний. Здесь следует по литературным и патентным источникам рассмотреть современные медицинские методы, методики и приборы, реализованные на их основе, для лечения заболеваний посредством воздействия тех или иных физических факторов на пациента; отразить достоинства и недостатки уже имеющихся инженерных решений, перспективы применения новых процессов и оборудования.

В обзоре литературы следует дать краткое изложение основных этапов в развитии научной мысли по рассматриваемой проблеме. Сжато, критически осветив литературу, студент должен назвать те вопросы, которые остались неразрешенными и таким образом определить место своей работы в решении проблемы. Закончить обзор нужно кратким резюме о необходимости проведения исследований в данной области или проектирования устройства.

Выбор структурной схемы. При проектировании структурной схемы системы или устройства необходимо руководствоваться рядом стандартных технических решений, определяющих порядок организации и взаимодействия блоков и узлов между собой и с внешними устройствами. Основой для разработки

структурной схемы системы (устройства) являются формализованное описание работы устройства или алгоритм работы устройства, протоколы передачи данных, алгоритм обработки сигналов и т. д. На основании этого и с учетом принципов реализации и применения различных классов устройств следует выбрать реализацию блоков (генераторы, усилители, фильтры регистры, источники тока и др.) и тип взаимосвязи между ними.

Большинство современных СМЭ построено по магистрально-модульному принципу организации устройств, при котором отдельные блоки формируются в законченные модули с конкретными функциями, объединяющимися в необходимые конфигурации с помощью линий связи. В основе магистрально-модульной организации системы лежит максимально высокий уровень стандартизации элементной базы внутренних блоков модулей, компонентов внутримодульных и межмодульных связей, обеспечивающий достижение предельных характеристик, а также системы информационных шин.

Разработка функциональной электрической схемы прибора. Разработка функциональной (принципиальной) схемы СМЭ предполагает электрические расчеты аналоговых схем и датчиков-измерителей и исполнительных устройств, синтез цифровых устройств, расчет элементов БИС, системотехнический синтез устройств управления, синтез микропроцессорных систем управления и обработки биомедицинской информации.

Разработка алгоритма и программы управления прибором. Данный раздел выполняется, если медицинский прибор реализуется на основе контроллеров или других вычислительных средств. Необходимо формализовать поставленную задачу и разработать алгоритм работы проектируемого прибора; программное обеспечение прибора с анализом заданных форматов данных, выбором языка программирования и программным интерфейсом, удобным интерфейсом пользователя и т. п.; описать работу разработанного программного обеспечения: его установку, алгоритм работы, примеры использования.

Разработка конструкции устройства. В данном разделе производится выбор и обоснование комплектующих элементов и материалов конструкции устройства. Рассчитываются основные компоновочные характеристики устройства (коэффициент заполнения по объему), показатели надежности и восстанавливаемости устройства с учетом электрического режима и условий работы элементов. Разрабатываются печатная плата в САПР и электронный блок на ее основе, а также конструкция всего устройства в целом с описанием особенностей и условий соблюдения электробезопасности, эргономичности и т. п.

В заключении необходимо сделать выводы по результатам работы, оценить характеристики разработанного прибора, привести сопоставление полученных результатов с заданием и известными решениями.

Список использованных источников должен включать материалы патентного поиска, научно-техническую и методическую литературу, нормативно-технические документы.

В зависимости от темы курсового проекта пункты ПЗ и их содержание могут уточняться руководителем проекта.

При выполнении курсового проекта *научно-исследовательского профиля* ПЗ содержит введение, анализ перспектив различных направлений исследования, разработку схемы и методики проведения исследований, оценку их точности, расчет точности выходных параметров изделия с учетом погрешностей параметров изделий и обоснование метода достижения требуемой точности, составление аналитической модели и моделирующего алгоритма исследуемых процессов с применением ПЭВМ, результаты оптимизации на ПЭВМ математических моделей исследуемых процессов.

Содержание графической части зависит от темы курсового проекта.

При *инженерном профиле* курсового проекта графическая часть включает:

- 1) электрическую структурную схему устройства;
- 2) электрическую принципиальную схему устройства;
- 3) сборочный чертеж устройства и электронного блока;
- 4) чертеж печатной платы (возможна детализация).

При выполнении курсового проекта *научно-исследовательского профиля* графическая часть включает:

- 1) структурную схему исследований;
- 2) сборочный чертеж приспособления для проведения исследований;
- 3) графики полученных экспериментальных зависимостей;
- 4) схему алгоритма обработки экспериментальных данных на ПЭВМ;
- 5) графики, модели, таблицы, диаграммы.

3. ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Электронная медицинская диагностическая аппаратура является разновидностью электрических установок и подпадает под действие соответствующих правил и положений, в частности, «Правил устройства электроустановок» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Однако специфика условий эксплуатации ЭЛА вызывает необходимость установления дополнительных (специальных) требований электробезопасности. Эти требования так же, как и соответствующие методы испытаний содержатся в ГОСТ 30324.0-95 (МЭК 601-1-88) «Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности».

Электробезопасность медицинской электронной техники определяется следующими особенностями ее эксплуатации:

1. Пациенты, которым проводят лечебные процедуры и диагностические исследования, могут иметь ослабленное здоровье, нарушения в деятельности отдельных органов и систем и, как следствие, повышенную чувствительность к действию электрического тока. Величины тока, практически безопасные для здорового человека, могут оказаться опасными для больного.

2. Электронные медицинские приборы и аппараты имеют так называемую рабочую часть, представляющую собой совокупность частей, находящихся в токопроводящем соединении или соприкасающихся с телом пациента (электроды, излучатели, датчики). С помощью рабочей части при применении терапевтических, хирургических, электромедицинских аппаратов электрическая энергия в какой-либо форме передается тканям тела пациента; при использовании диагностических электромедицинских приборов с помощью рабочей части воспринимаются биопотенциалы либо измеряются механические, химические и другие параметры органов и тканей. Наличие рабочей части приводит к непосредственному контакту пациента с аппаратурой и, как следствие, к повышенной опасности поражения электрическим током.

3. В ряде лечебных аппаратов электрическая энергия в различной форме, в частности, в виде электрического тока используется для лечебного воздействия на организм. Неправильная эксплуатация таких аппаратов связана с возможностью передозировок, непредвиденными путями прохождения тока и другими опасностями для пациента.

4. Пациент во многих случаях не может реагировать на действие электрического тока так, как это сделал бы здоровый человек, так как может быть парализован, находиться под наркозом и т. п. Кроме того, кожный покров пациента обрабатывается дезинфицирующими и другими растворами и теряет свои защитные свойства.

5. Условия проведения диагностических и лечебных процедур могут быть самыми различными – от кабинета лечебного учреждения до жилых помещений и открытой местности при оказании скорой помощи. Различные условия эксплуатации, в частности, наличие в непосредственной близости от пациента за-

земленных предметов накладывают дополнительные требования к электробезопасности аппаратуры.

Проектирование диагностических приборов необходимо осуществлять с учетом указанной специфики. Более детально основные требования к электробезопасности рассмотрены в [11].

4. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ. ВЫБОР СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

4.1. Классификация медицинской техники

Чтобы оценить место, занимаемое диагностическими приборами в общей системе технических средств, которые используются при диагностике, терапии и обслуживании пациента и объединяются под общим названием «Медицинская техника», необходимо рассмотреть их классификацию (рис. 4.1), [11].

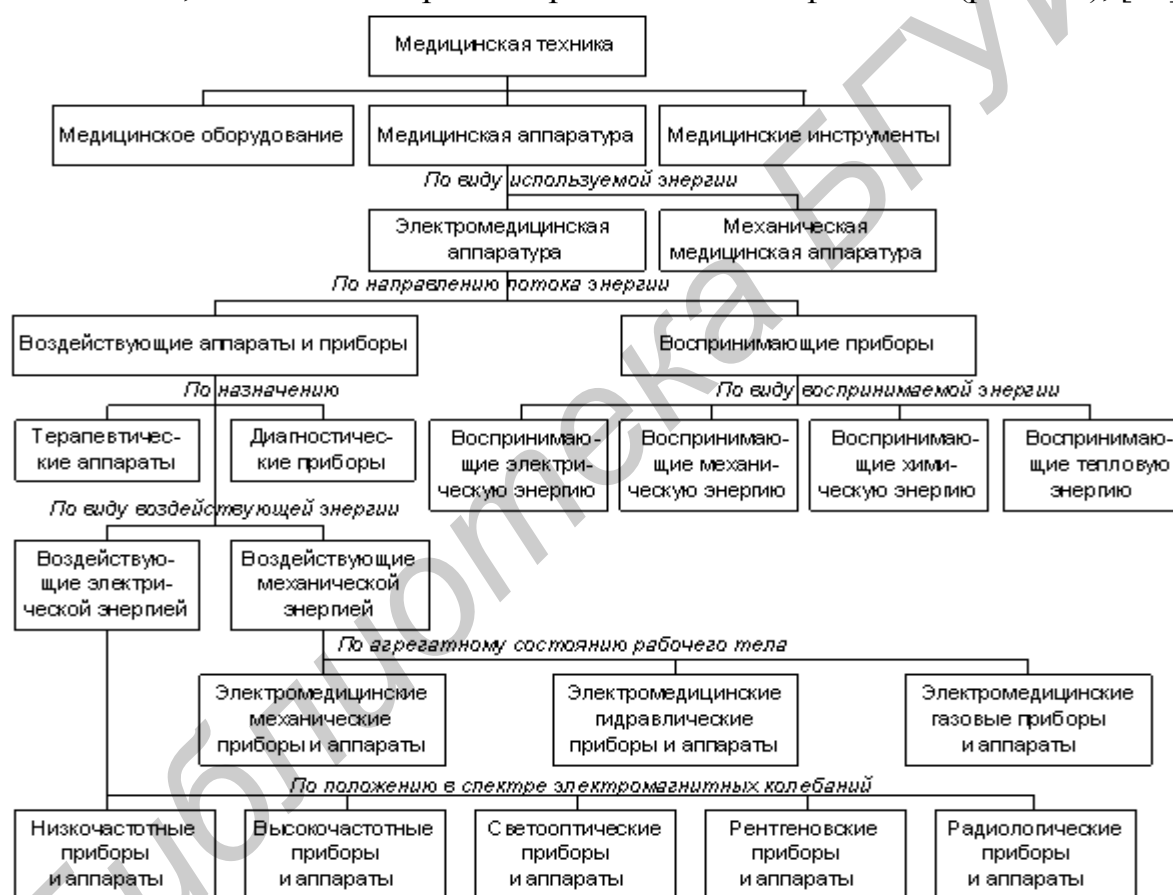


Рис. 4.1. Общая классификация медицинской техники

Всю медицинскую технику можно разделить с точки зрения задачи, решаемой в медицинском технологическом процессе, на три большие группы: аппаратуру, инструменты и оборудование.

Аппаратура обеспечивает в той или иной степени самостоятельный автоматизированный процесс взаимодействия с пациентом; инструмент действует на пациента в сочетании с рукой человека, являясь как бы ее продолжением;

оборудование – вспомогательные устройства для обслуживания пациента и обеспечения медицинского технологического процесса.

Медицинская аппаратура – наиболее сложная, интенсивно развивающаяся область медицинской техники. Большую часть медицинской аппаратуры составляют электромедицинские приборы и аппараты, представляющие собой электротехнические или электронные устройства, которые основаны на использовании электрической энергии.

Имеется также аппаратура, использующая механическую энергию:

– твердого тела (обычно ее называют просто механической) – аппараты для вытяжения костей, для механотерапии и др.;

– жидкости (гидравлическая) – водолечебные установки;

– газа (газовая) – наркозные аппараты, аппараты для искусственной вентиляции легких и др.

В процессе функционирования аппаратура оказывается определенным образом связанной с пациентом. При этом в системе аппаратура – пациент устанавливается движение энергии от аппаратуры к пациенту или наоборот. В зависимости от направления потока энергии вся электромедицинская аппаратура подразделяется на аппаратуру воздействующую и аппаратуру воспринимающую.

В то же время электромедицинская аппаратура по функциональному признаку, т. е. в зависимости от целей, для которых она используется, может быть разделена на терапевтическую и диагностическую. Изделия терапевтической аппаратуры принято называть аппаратами, изделия диагностической аппаратуры – приборами.

Терапевтические аппараты воздействуют на пациента с целью вызвать желаемые сдвиги в его организме – перестройку патологического процесса в сторону нормализации. Хирургические аппараты, являющиеся частью терапевтических, предназначены для осуществления радикальных изменений в структуре органов и биотканях. Таким образом, терапевтические аппараты являются воздействующими. Но для качественного терапевтического воздействия во многих аппаратах имеются блоки контроля параметров воздействия, параметров окружающей среды и физиологических параметров. В этом плане они являются воспринимающими.

Диагностические приборы предназначены для исследования характеристик живого организма, а также его тканей, жидкостей, выделений и т. д., с тем чтобы установить возможные отклонения от нормы и вызвавшие их причины. Диагностические приборы могут быть как воздействующими, так и воспринимающими.

Воздействующие диагностические приборы дают необходимую информацию о реакции пациента на определенное воздействие (например диагностические электростимуляторы) либо по внесенному телом пациента возмущению в поток энергии (рентгеновское просвечивание, ультразвуковая эхография и т. п.). При диагностике воздействующими приборами стремятся, как правило, снизить до минимально возможного уровня энергию воздействия, чтобы ис-

ключить побочные эффекты, вредные для организма. Предел такому снижению кладет чувствительность организма к воздействию либо чувствительность метода регистрации внесенных возмущений.

Воспринимающие диагностические приборы дают информацию о различных процессах в организме пациента, генерируемых тканями и органами биопотенциалах, звуковых тонах сердца, температуре тела и др. Воспринимающие диагностические приборы аналогично любым другим измерительным приборам должны оказывать минимальное влияние на исследуемый процесс и передавать информацию с наименьшими искажениями.

Воздействующие диагностические приборы в зависимости от вида энергии, направленной на пациента, делятся на воздействующие электрической энергией и воздействующие механической энергией (по сложившейся терминологии многие диагностические воздействующие приборы принято называть аппаратами, например, рентгеновские, электродиагностические и др.).

Аппаратура, использующая для воздействия механическую энергию, подразделяется исходя из агрегатного состояния рабочего тела, т. е. тела, непосредственно соприкасающегося с пациентом. Рабочее тело может быть твердым, жидким или газообразным. Соответственно выделяются электромедицинские механические, гидравлические и газовые аппараты и приборы. К первым относятся ультразвуковые терапевтические аппараты и диагностические приборы, аудиометры, вибромассажные аппараты и др., ко вторым – аэрозольные аппараты с центробежными и ультразвуковыми распылителями, к третьим – аппараты для искусственной вентиляции легких с электроприводом.

Аппаратура, воздействующая электрической энергией используемой части спектра электромагнитных колебаний, включает в себя аппараты и приборы низкочастотные, высокочастотные, светооптические, рентгеновские и радиологические.

При проектировании диагностических приборов фактором, определяющим их конструктивное и схемотехническое исполнение, является то, каким (воспринимающим или воздействующим) прибором будет разрабатываемое диагностическое средство, каков вид используемого физического воздействия в последнем случае и будут ли узлы прибора находиться в контакте с пациентом.

4.2. Разработка структурной схемы диагностического прибора

Выбор структурной схемы основывается на анализе исходных данных, разработке технического задания на проектирование изделия, результатах литературного и патентного обзоров по теме проекта. В качестве структурной схемы допускается использование схем лучших образцов зарубежных или отечественных приборов, позволяющих достичь требуемых технических характеристик, либо применение оригинальных компоновок блоков, разработанных автором самостоятельно.

Структурная схема прибора должна содержать наиболее крупные функциональные блоки и узлы. Необходимо привести функциональное назначение

каждого блока и описать их взаимодействие во времени. Для удобства при описании целесообразно пользоваться временными диаграммами работы блоков и устройств, описанием сигналов на входах/выходах блоков и т. д. Особенностью данных схем является детализация блоков, взаимодействующих с пациентом или пробой. Возможны различные подходы при проектировании аппарата. Прибор может быть реализован на основе дискретных элементов, полузаказных и заказных микросхем, на основе микроконтроллеров и различных компьютерных технологий. Независимо от того, какая часть прибора реализуется программно, а какая – приборно, необходимо привести структурную схему, позволяющую понять, какие функции реализуются в устройстве.

На рис. 4.2 приведена структурная схема части прибора для ультразвуковых исследований (УЗИ) и временные диаграммы, поясняющие принцип работы и синтеза сигнала, воздействующего на исследуемый объект.

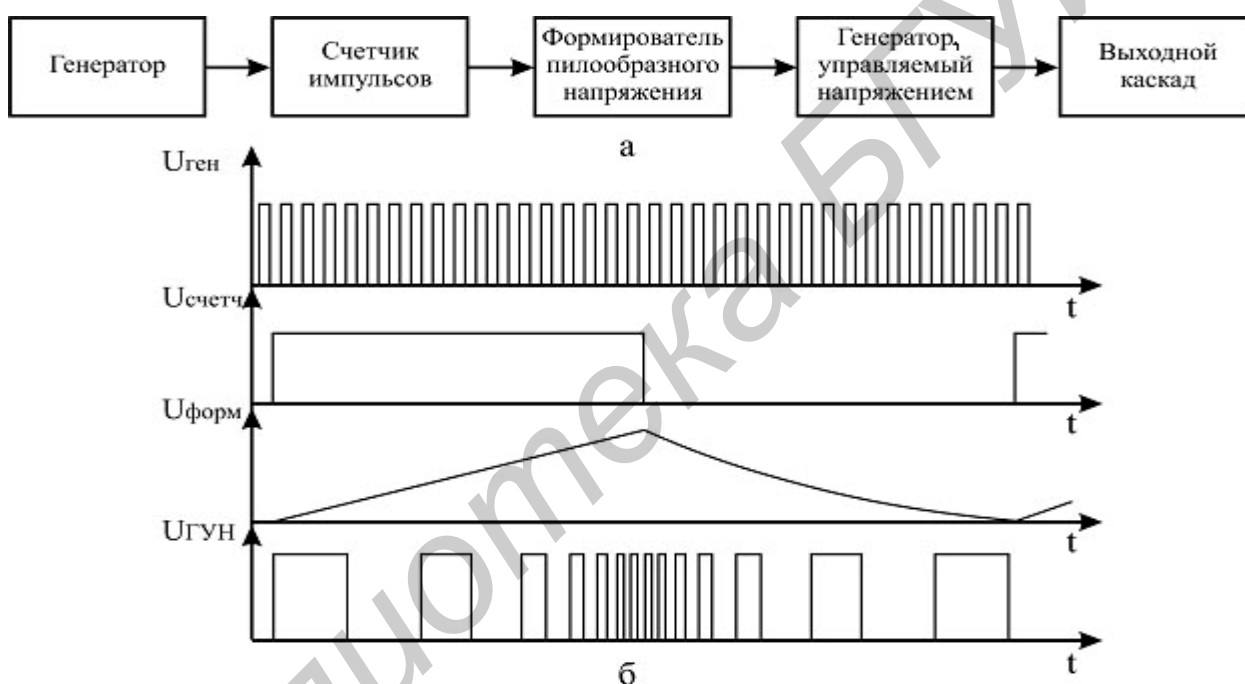


Рис. 4.2. Структурная схема блока генерации прибора для УЗИ:
а – структурная схема прибора; б – временные диаграммы работы

Развитие технологии электронной техники позволяет использовать микропроцессоры и микроконтроллеры для построения диагностических приборов (рис. 4.3). Обычно имеется возможность управлять процедурой обработки принятого физического параметра и следующими параметрами выходных сигналов – длительностью, скважностью, амплитудой, выходной мощностью и т. д. При помощи микропроцессорных средств управления можно задавать форму и тип импульсов (однополярный/биполярный), а также задавать длительность положительных и отрицательных импульсов. Для задания длительности сигналов в микропроцессорных системах используется блок таймеров, в то время как цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) (встроенный или внеш-

ний) задает огибающую. Далее сигнал поступает на выходной каскад для усиления. Выходной каскад также обеспечивает гальваническую развязку для защиты пациента в случае выхода прибора из строя.

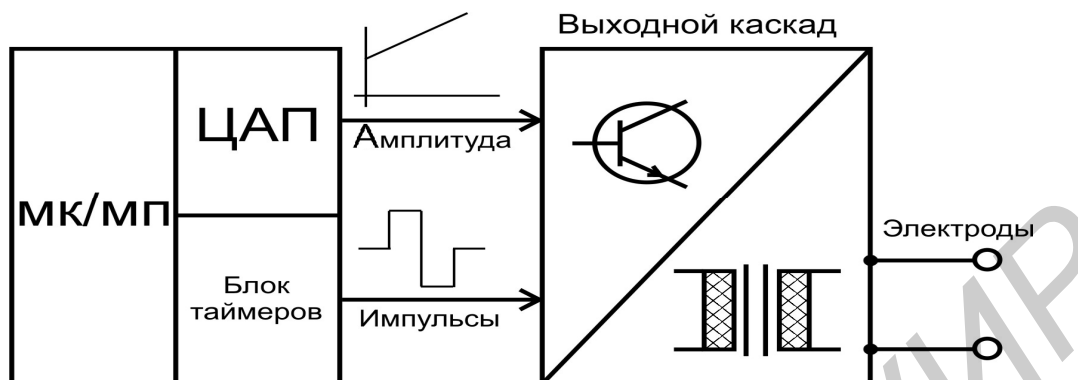


Рис. 4.3. Типовая схема воздействующего блока диагностического прибора

При построении диагностической техники возможны два подхода: однопроцессорная и многопроцессорная реализации блока управления. Для корректного выбора необходимо учесть следующие аспекты:

1. Необходимость в независимых каналах воздействия и приема.
2. Диапазон изменения параметров (как правило частота) сигнала для каждого канала.
3. Потребность в дополнительных средствах контроля и индикации.
4. Возможности для дальнейшей модернизации и изменений прибора.

Если нет необходимости в независимых каналах, то можно сэкономить средства на разработку и производство изделия, а также существенно уменьшить его размеры. С помощью обычного мультиплексора одноканальный прибор можно превратить в многоканальный (рис. 4.4). Проблемы начинаются при обеспечении независимой работы по нескольким каналам, а также при обеспечении биотехнической обратной связи. Все независимые каналы должны работать одновременно и независимо друг от друга. Перекрестные помехи активных каналов могут сделать регистрацию ответной реакции невозможной.

Для обеспечения независимой установки частоты для каждого канала необходимо обеспечить независимые блоки генерации сигналов. Это возможно при использовании мультипроцессорных систем либо однопроцессорных систем с установкой таймеров для каждого из каналов. Если принять ограничение, что линейка допустимых частот в каналах создается путем умножения базовой частоты, разработка однопроцессорной системы упростится.

Необходимо разработать интерфейс пользователя, т. е. обеспечить возможность ввода параметров процедуры и получения информации о работе устройства. При этом используется широкий спектр компонентов, начиная от кнопок и заканчивая сенсорными экранами, от светодиодов до ЖК-мониторов. Кроме того, необходимо обеспечить связь с персональным компьютером (про-

токолы RS232, USB, TCP/IP). Это позволяет быстро задавать параметры диагностических процедур, что делает возможным применение прибора в комплексе с другими устройствами, позволяет легко анализировать диагностические данные.

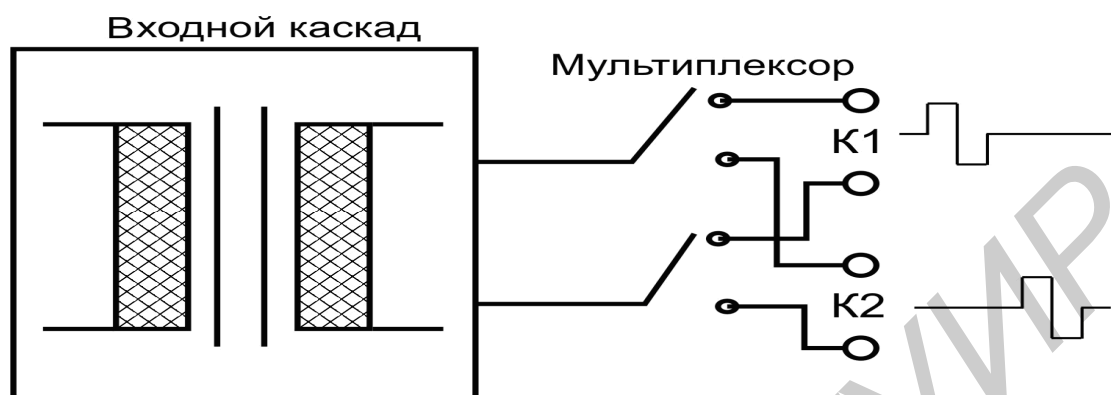


Рис. 4.4. Многоканальное входное устройство с мультиплексором

Практически возможны две концепции построения медицинских диагностических приборов: однопроцессорное и мультипроцессорное решения. При сравнении этих вариантов необходимо учитывать следующие параметры: независимые каналы воздействия, независимые каналы приёма информации, интерфейс пользователя, связь устройства с ПК, внутренняя память устройства.

При разработке однопроцессорной системы (рис. 4.5) необходимо корректно выбрать процессор. Высокопроизводительные процессоры являются дорогостоящими. Системы со слабыми процессорами сложно модифицировать. Кроме того, есть риск, что эти процессоры снимут с производства. Выбранный интерфейс связи с персональным компьютером (ПК) должен быть аппаратно реализован в процессоре. Это экономит процессорное время для решения более важных задач. Определив требования к системе, необходимо продумать структуру программного обеспечения (ПО). Разработчик сталкивается с проблемой задержек в работе процессора (при отсчете временных интервалов и обработке прерываний, при одновременной работе двух таймеров для одного независимого канала: один для отсчета длительности импульса и другой для отсчета полу волны). Кроме того, при реализации связи с ПК необходимо исключить возможность переполнения буфера. Дополнительные проблемы возникают при необходимости расширения возможностей системы (например, вместо трех необходимо четыре канала).

При увеличении количества задач возникает необходимость в многозадачной операционной системе. Программа может быть разбита на более понятные независимые задачи и может быть легко дополнена дополнительными заданиями. Однако при этом требования к производительности процессора возрастают на два порядка. Кроме того, такая система не может работать в режиме

реального времени, что необходимо для генерации диагностических сигналов. Для устранения этих проблем необходимо использовать операционную систему реального времени, а также подходящий процессор.

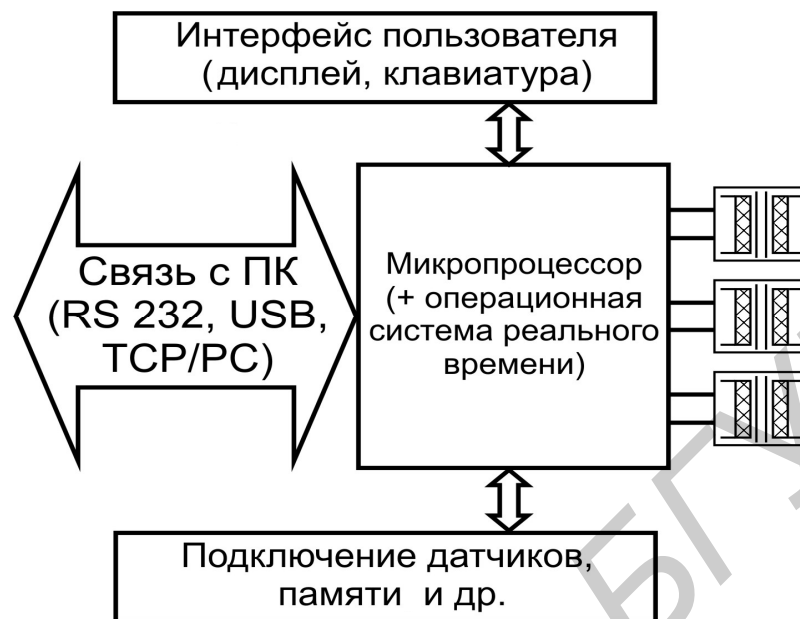


Рис. 4.5 Однопроцессорная диагностическая система

Идея мультипроцессорной системы (рис. 4.6) заключается в распределении задач между несколькими микропроцессорами или микроконтроллерами. Небольшие (низкопроизводительные и дешевые) процессоры выполняют задачи реального времени, такие, как генерация диагностических сигналов, прием и обработка диагностической информации. Центральный процессор используется для реализации интерфейса пользователя и связи с ПК, задания начальных условий работы и обработки поступающих данных.

Так как задачи реального времени решаются другими устройствами, центральный процессор может быть гораздо менее мощным по сравнению с однопроцессорными решениями и не требует операционной системы реального времени. Важным этапом при создании мультипроцессорных систем является разработка шины данных. Необходимо разработать структуру, подобную шинам SPI или I²C, с возможностью передачи данных от ведущего к ведомому и наоборот. Обычно центральный процессор контролирует процесс передачи данных. Иногда возникает необходимость в дополнительном контроллере передачи данных. В таком случае следует использовать шины с возможностью работы нескольких ведущих (подобно I²C). Приборная поддержка шины может сэкономить время на разработку программы и процессорное время.



Рис. 4.6. Многопроцессорная диагностическая система

Таким образом, при создании диагностических систем обоих типов могут возникнуть трудности. При однопроцессорном варианте необходимо разработать операционную систему, работающую в режиме реального времени. Системы являются более надежными, однако расширение такой системы может быть ограничено приборными мощностями процессора. Для мультипроцессорной системы в свою очередь возникают проблемы с взаимодействием центрального и периферических процессоров. Необходимо устранять ошибки передачи данных, разработать шину передачи, выбрать и реализовать протокол обмена. Однако разработка такой системы обычно не вызывает трудностей. Дополнительный диагностический канал может быть реализован простым добавлением к шине еще одного процессора. Если рассматривать безопасность пациента, можно отметить, что в случае сбоя в однопроцессорной воздействующей диагностической системе воздействие прекращается по всем каналам. В случае сбоя одного из процессоров многопроцессорной системы выходит из строя только один канал.

5. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ (ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ) СХЕМЫ ПРИБОРА

В зависимости от сложности прибора разрабатывается функциональная (принципиальная) электрическая или комбинированная схема прибора либо его блока.

При разработке схемы устройства необходимо уделить внимание:

- выбору, обоснованию и оптимизации пассивных и активных комплектующих элементов;
- выбору и обоснованию схемотехнической реализации отдельных блоков и каскадов;
- разработке электрической или комбинированной схемы изделия с расчетом и синтезом отдельных блоков;
- электрическому расчету (синтезу) отдельных блоков, каскадов, излучателей, направляющих систем;
- исследованию электрических и (или) иных характеристик разрабатываемого изделия.

В общем случае могут быть выполнены следующие расчеты:

- электрические и фотометрические расчеты схемы и отдельных ее блоков с целью определения электрических и динамических параметров и характеристик элементов, мощности тепловых потерь, коэффициентов нагрузки, частотных и переходных характеристик устройства, устойчивости системы и других параметров, необходимых для оценки работы СМЭ в различных режимах и проведения конструкторских расчетов;
- синтез цифровых и расчет аналоговых схем с целью определения быстродействия, погрешности, нагрузочной способности элементов, разрядности устройств, протокола передачи информации, метода кодирования данных, способа хранения информации; точности и стабильности выходных параметров функционально законченных частей изделия с учетом технологического разброса и эксплуатационного ухода первичных параметров.

Из-за ограниченности времени проектирования уделить внимание всем указанным электрическим расчетам даже в случае несложной функциональной части не всегда представляется возможным. В этих случаях необходимо уделить внимание **трем - пяти расчетам** – важнейшим для проектируемого изделия с обязательным включением в этот перечень не менее двух электрических расчетов схемы и отдельных ее частей. Конкретное содержание и объем расчетного материала зависят от темы проекта или функциональной части устройства, выбранных для детального рассмотрения, а также от исходных данных на проектирование.

Большинство диагностических приборов, изучаемых по дисциплине ЭСЛД и ЭЖ, используется для количественного анализа биологических проб. Наиболее широкое применение в клинической лабораторной диагностике и аналитической химии нашли оптические методы исследования веществ, основанные на способ-

ности этих веществ порождать оптическое излучение или взаимодействовать с ним.

Фотометрия – совокупность оптических методов и средств измерения фотометрических величин светового потока. Основным понятием фотометрии является поток излучения, смысл которого составляет мощность переносимого электромагнитного (оптического) излучения.

Спектрофотометрия – определение зависимости фотометрических величин от длины волны излучения.

Спектроскопия, или эмиссионный спектральный анализ – определение излучательной способности веществ в зависимости от длины волны излучения.

В аналитической химии и клинической лабораторной диагностике широкое применение нашли фотометрические методы количественного анализа, основанные на переведении определяемых компонентов в поглощающие свет соединения с последующим определением их количества путем измерения светопоглощения растворов. По окраске растворов окрашенных веществ можно определять концентрацию компонентов при помощи фотоэлектрических приемников оптического излучения (фотоприемников) – приборов, превращающих световую энергию в электрическую. Если измерение ведется без выделения узкого диапазона длин волн, т. е. измеряются характеристики всего светового потока, то такой метод анализа часто называется колориметрическим. Если же выделяется характерный для поглощения данным веществом оптический диапазон и измерение проводится на определенной длине волны, тогда говорят о собственно фотометрическом методе анализа.

Фотометрический метод является более объективным методом, чем колориметрический, поскольку результаты его меньше зависят от поглощения света другими (интерферирующими) окрашенными веществами.

Фотометрический анализ – один из самых старых и распространенных физико-химических методов, для которого требуется относительно простое оборудование, и в то же время он характеризуется высокой чувствительностью и возможностью определения большого количества органических веществ. Открытие все новых и новых реагентов, образующих окрашенные соединения с неорганическими ионами и органическими веществами, разработка принципов сопряженных реакций делает в настоящее время применение этого метода почти неограниченным.

Фотометрический метод анализа может применяться для большого диапазона определяемых концентраций. Его используют как для определения основных компонентов различных сложных веществ, так и для определения микропримесей в объектах.

Комбинирование с некоторыми методами разделения и обогащения – хроматографическим, экстракционным – позволяет на несколько порядков повысить чувствительность фотометрических методов. Фотометрические свойства растворенного вещества характеризуются коэффициентом пропускания $T(\tau)$, коэффициентом отражения $R(\rho)$ и коэффициентом поглощения $A(\alpha)$, которые для одного и того же вещества связаны соотношением $T + R + A = 1$. Определе-

ние безразмерных величин T , R и A выполняется с помощью фотометров (приборов для измерения какой-либо фотометрической величины) путем регистрации реакций приемника оптического излучения на соответствующие потоки излучения. При этом в рутинной лабораторной практике принято обозначать приборы, регистрирующие поглощение света веществом, фотометрами, а регистрирующие отражение – отражательными фотометрами.

Фотометрические методы применяются также в тех случаях, когда изучается способность веществ рассеивать (нефелометрия) и пропускать излучение (турбидиметрия), переизлучать поглощенное излучение (флуориметрия), изменять степень поляризации излучения при прохождении его через оптически активные вещества (поляриметрия).

Кроме того, одним из важных разделов физической оптики является рефрактометрия, изучающая показатели преломления оптического излучения твердых, жидких и газообразных веществ в зависимости от длины волны излучения.

Названные оптические методы применяются для изучения состояния биологических систем и их изменения в процессах ассоциации - диссоциации; взаимодействия с другими молекулами, образования и распада комплексов фермент – субстрат, антиген – антитело, белок – липид, белок – нуклеиновая кислота; фотофизических и фотохимических процессов и т. д.

Высокая чувствительностью, точность, быстроедействие и удобство использования для рутинных исследований определяют широкое применение оптических методов в клинической лабораторной диагностике. Поэтому в помощи большое внимание уделяется оптическим аспектам.

5.1 Основы методики расчета и проектирования диагностического оптико-электронного прибора (ОЭП)

5.1.1 Общие вопросы расчета и проектирования типового ОЭП

В силу разнообразия как задач, стоящих перед ОЭП, так и условий их работы достаточно трудно установить строгую последовательность основных расчетов любого ОЭП. Однако анализ технического задания на прибор позволяет наметить основные расчеты, необходимые для его рационального конструирования. Некоторые тактико-технические требования известны уже на этапе постановки общей проблемы, другие определяются на последующих стадиях разработки. Уже на первом этапе разработки прибора необходимо знать характеристики его входных и выходных величин. К ним относятся физическая природа этих величин (на входе, например, это яркость излучения объекта, на выходе напряжение электрического сигнала); характер изменения входных величин в виде функций параметров (например, длины волны, времени, пространственных координат) или в виде соответствующих частотных спектров; динамический диапазон этих величин (возможные уровни изменения сигналов на входе и выходе); параметры помех и среды, в которой происходит работа прибора.

Знание этих характеристик необходимо для правильного выбора ряда параметров прибора.

Всю совокупность исходных данных в начале проектирования можно разбить на несколько групп, а именно:

- 1) тип и основные характеристики (спектральные, временные, энергетические и т. д.) наблюдаемого или обнаруживаемого объекта;
- 2) параметры пространства (поля), где может находиться объект; возможные траектории его движения; диапазон дальностей; требования по точности; характеристики среды, в которой происходит работа прибора;
- 3) общие условия эксплуатации, транспортировки и хранения;
- 4) максимально допустимые масса и габариты, условия размещения и стыковки ОЭП с другими приборами всего измерительного или следящего комплекса;
- 5) время подготовки к работе;
- 6) время непрерывной работы;
- 7) требования по надежности;
- 8) технико-экономические требования (себестоимость, трудоемкость и т. п.).

Исходные данные из первых двух групп необходимы для проведения энергетических расчетов прибора, в результате которых определяются вероятности обнаружения объекта, значения отношения сигнал/шум, дальность действия прибора, некоторые параметры оптической системы и т. п. На их основе обычно проводятся первые этапы точностных расчетов прибора. Эти же параметры и характеристики позволяют выбрать или рассчитать вид модуляции, полосу пропускания отдельных звеньев и всего прибора.

Анализ требований третьей и четвертой групп обычно сопровождается предварительным анализом технологичности будущей конструкции. Уже здесь конструктор должен предусматривать уровень развития технологии изготовления отдельных узлов прибора на момент его изготовления. Общие условия эксплуатации и хранения ОЭП часто бывают весьма жесткими.

Важно уже в самом начале проектирования учесть и другие перечисленные выше требования. Во многом рациональное конструирование приборов сводится к оптимальному согласованию порой достаточно противоречивых требований технического задания. Большую роль в правильной оценке возможностей прибора, особенно при изменении условий его работы, играет умение проводить типовые расчеты важнейших параметров и характеристик ОЭП.

5.1.2 Энергетические (светотехнические) расчеты оптико-электронных приборов

Для качественной работы любого ОЭП важно обеспечить определенные энергетические соотношения между полезным сигналом, поступающим на вход прибора, и его порогом чувствительности, определяемым обычно шумами, источниками которых могут быть расположены как внутри прибора (внутренние

шумы), так и вне его (внешние шумы или помехи). Определение этих соотношений и на их основе некоторых важнейших параметров ОЭП (например, мощности источника, дальности действия, размера входного зрачка и др.) – это основное содержание и цель энергетических (светотехнических) расчетов.

В той или иной форме энергетический расчет выполняется практически всегда, т. е. при разработке любого ОЭП. Во многих случаях энергетический расчет тесно связан с точностным расчетом прибора. Совокупность этих расчетов, как правило, служит предпосылкой для оценки осуществимости требований технического задания на прибор или весь измерительный или следящий комплекс.

Основными этапами энергетического расчета являются:

1) определение потока $\Phi_{\text{вх}}$ или облученности $E_{\text{вх}}$, создаваемых полезным сигналом на входном зрачке оптической системы (на входе прибора) в рабочей полосе частот (по оптическому спектру, а также по спектру временных частот при модуляции потока);

2) приведение к тому же входу шумов (с учетом как внешних, так и внутренних их источников) или порога срабатывания исполнительного элемента либо индикатора, т. е. определение пороговых значений $\Phi_{\text{п.вх}}$ или $E_{\text{п.вх}}$ для той же полосы частот;

3) определение требуемого соотношения между $\Phi_{\text{вх}}$ и $\Phi_{\text{п.вх}}$ (или $E_{\text{вх}}$ и $E_{\text{п.вх}}$), т. е. отношения сигнал/шум m ;

4) решение полученного уравнения (основного энергетического уравнения) $\Phi_{\text{вх}}/\Phi_{\text{п.вх}} \geq m$ относительно одного из входящих в него параметров прибора;

5) выбор или расчет остальных параметров конструкции;

6) окончательный (поверочный) энергетический расчет.

Порядок проведения первых трех этапов может быть самым различным и при данной методике не сказывается на конечных результатах. Рассмотрим несколько подробнее каждый из этих этапов.

Определение потока $\Phi_{\text{вх}}$ или облученности $E_{\text{вх}}$ на входном зрачке оптической системы ведется с учетом специфики работы прибора, т. е. таких факторов, как метод или режим работы (активный или пассивный), выбранный способ обзора или сканирования поля зрения, тип источника, влияние среды, фона и помех, временные (динамические) характеристики процесса слежения или измерения, осуществляемого ОЭП.

Прежде всего следует найти выражение для расчета освещенности на входном зрачке оптической системы, а также потока, приходящего в плоскость чувствительного слоя приемника или в плоскость изображения. Для учета пространственного распределения энергии излучателя удобно воспользоваться делением всех возможных на практике излучателей на три группы: 1) точечный излучатель; 2) излучатель конечных размеров, меньших поля зрения (иногда такой излучатель называют «площадным»); 3) протяженный излучатель, по размерам перекрывающий поле зрения системы. Любым из указанных излучателей может быть как наблюдаемый объект, так и помеха или фон.

5.1.3 Расчет основных конструктивных параметров оптико-электронного прибора

Рассмотрим распространенный при применении оптико-электронных приборов случай, когда линейные размеры источника излучения и диаметр входного отверстия оптической системы значительно меньше расстояния между излучателем и оптической системой. На рис. 5.1 изображено взаимное расположение излучателя, входного зрачка и приемника. Ограничение, наложенное на линейные размеры излучателя и входного зрачка, не является очень сильным.

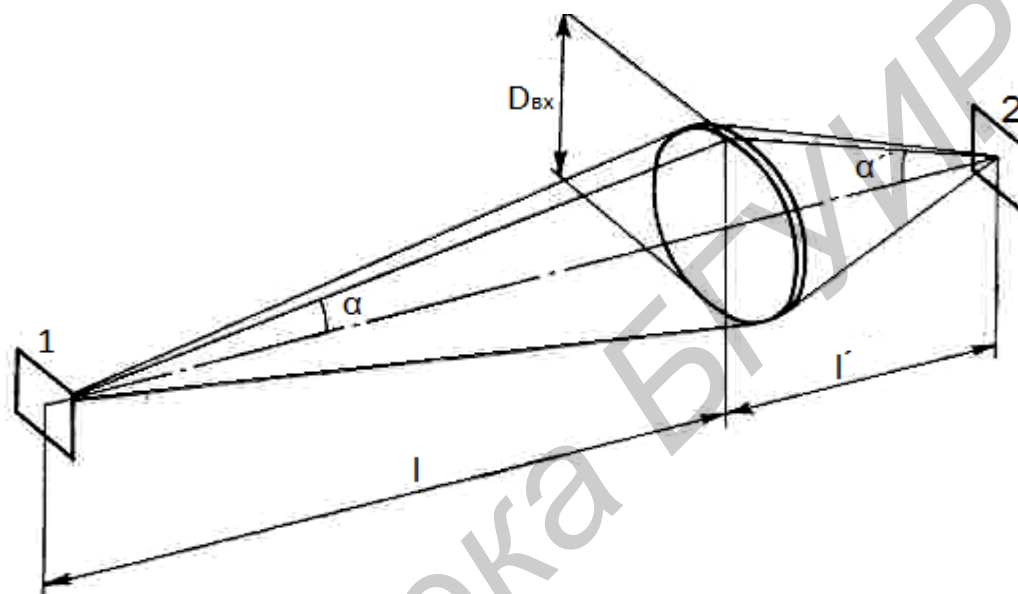


Рис. 5.1. Взаимное расположение излучателя (1), входного зрачка и приемника (2)

Достаточно, чтобы линейные размеры излучателя не превышали 0,1 расстояния l (см. рис. 5.1), а передний апертурный угол α был меньше 6° . Уже при угле $\alpha < 15^\circ$ можно полагать $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$, не допуская погрешности больше 4 %.

Обозначим энергетическую яркость излучателя L_e , его площадь – $S_{\text{изл}}$, а диаметр входного зрачка $D_{\text{вх}}$ и определим поток на чувствительной поверхности приемника. Как видно из рис. 5.1, отношение

$$D_{\text{вх}} / 2l = \operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha. \quad (5.1)$$

Площадь входного зрачка

$$S_{\text{вх}} = \pi D_{\text{вх}}^2 / 4. \quad (5.2)$$

Телесный угол, охватываемый входным зрачком, равен

$$\omega = S_{\text{вх}} / l^2 = \pi D^2 / 4l^2 = \pi \operatorname{tg}^2 \alpha = \pi \sin^2 \alpha. \quad (5.3)$$

Энергетическая сила света

$$I_e = L_e S_{\text{изл}} . \quad (5.4)$$

Если коэффициент пропускания среды между источником и входным отверстием равен τ_c , то поток, падающий на входной зрачок,

$$\Phi = \tau_c I_e \omega .$$

Положим, что поток Φ собирается оптической системой на поверхности приемника, и учтем потери на отражение, поглощение и рассеяние в оптической системе с помощью коэффициента пропускания τ_0 . Поток, достигающий поверхности приемника,

$$\Phi' = \tau_0 \tau_c I_e \omega = \tau I_e \omega = \tau \pi L_e S_{\text{изл}} \sin^2 \alpha , \quad (5.5)$$

где τ – результирующий коэффициент пропускания.

Выражение (5.5) является одним из видов записи основного энергетического уравнения, связывающего между собой величину потока на поверхности приемника, параметры излучателя и оптической системы. В зависимости от того, известны ли параметры или подлежат определению, форма записи этого уравнения видоизменяется.

Если яркость постоянна, то полный поток излучателя в телесном угле 2π равен

$$\Phi_0 = \pi L_e S_{\text{изл}} ,$$

а отношение потоков Φ' и Φ_0

$$\eta = \Phi' / \Phi_0 = \tau \sin^2 \alpha \approx \tau \alpha^2 ,$$

где η – доля потока излучателя, попадающего на приемник.

Пример 5.1. Диаметр входного зрачка $D_{\text{вх}} = 200$ мм, расстояние до излучателя $l = 1$ км, результирующий коэффициент пропускания $\tau = 0,5$.

Передний апертурный угол

$$\alpha = D_{\text{вх}} / (2l) = 0,2 / (2 \cdot 10^3) = 10^{-4} \text{ рад} .$$

Доля потока излучателя, достигающего поверхности приемника, равна

$$\eta = \tau \alpha^2 = 0,5 \cdot (10^{-4})^2 = 5 \cdot 10^{-9} .$$

В осветительных системах стремятся использовать поток излучателя наиболее полно. С этой целью источник излучения располагают настолько близко к оптическому компоненту (конденсору), насколько позволяют требования к качеству изображения излучателя и тепловой режим. Отношение потока, проникающего сквозь конденсор, ко всему потоку излучателя называют коэффициентом полезного действия конденсора. При точечном излучателе КПД конденсора определяют по формуле

$$\eta = \frac{1 - \cos\alpha}{2} \approx \frac{1}{4} \alpha^2$$

Для угла $\alpha = 30^\circ$ КПД $\eta = 0,069$. При источнике с плоским светящимся телом КПД конденсора примерно вдвое больше.

В осветителях с источником, излучающим по всем направлениям, КПД излучателя составляет несколько сотых долей (несколько процентов). На рис. 5.2 изображен двухлинзовый конденсор, который используют при углах $\alpha \approx 25 \dots 30^\circ$. Более сложные трехлинзовые и зеркально-линзовые конденсоры позволяют увеличить угол α до $50 \dots 60^\circ$.

Некоторые светодиоды имеют остронаправленное излучение. В этом случае КПД конденсора может достигать $80 - 90\%$, а при применении лазера – почти 100% .

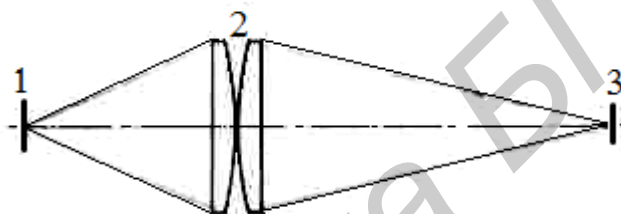


Рис. 5.2 Осветительная система с двухлинзовым конденсором:
1 – источник излучения; 2 – конденсор; 3 – приемник

Соотношение (5.5) используется часто для определения необходимого диаметра входного зрачка оптической системы. Первоначально устанавливают величину минимального потока на поверхности приемника Φ'_{\min} , необходимую для нормальной работы электронной системы прибора. Воспользовавшись (5.1), представим выражение (5.5) в виде

$$\Phi' = \tau \pi L_e S_{\text{изл}} D_{\text{вх}}^2 / 4l^2 \quad (5.6)$$

Отсюда

$$D_{\text{вх}} > 2l \sqrt{\Phi'_{\min} / \tau \pi L_e S_{\text{изл}}} \quad (5.7)$$

Точечный излучатель характеризуют энергетической силой света $I_e = L_e S_{\text{изл}}$. При удаленном источнике излучения часто удобно вести расчет по облученности $E_e = I_e / l^2$. Соответственно этому для определения диаметра входного зрачка можно использовать другие выражения.

Пример 5.2. Создаваемая освещенность поверхности $E_e = 10^{-8}$ лк. Минимальное значение потока на поверхности приемника было оценено величиной $\Phi_{\min} = 3,5 \cdot 10^{-10}$ лм, а коэффициент пропускания оптической системы $\tau_0 = 0,5$.

По формуле (5.7) диаметр объектива

$$D_{\text{вх}} = 2[(3,5 \cdot 10^{-10}) / (0,5 \cdot 3,14 \cdot 10^{-8})]^{0,5} = 0,3.$$

При известных параметрах источника излучения и заданном из конструктивных соображений диаметре входного отверстия $D_{\text{вх}}$ формула (5.5) может использоваться для оценки потока на поверхности приемника и определения требований к его чувствительности.

Рассмотрим случай протяженного излучателя, когда площадь его поверхности больше площади, охватываемой полем зрения прибора, как показано на рис. 5.3. При большом расстоянии до поверхности излучателя l много больше f' , где f' – фокусное расстояние объектива, изображение излучателя получится в фокальной плоскости.

Из рис. 5.3 следует равенство отношений

$$l/l' = d/d'.$$

Видимая площадь излучателя $S_{\text{изл}}$ и площадь изображения S' на поверхности приемника соотносятся как квадраты линейных размеров d и d' , поэтому, подставляя в формулу (5.5) значения $S_{\text{изл}}$ и $\sin^2 \alpha$ из (5.3), получим

$$\Phi' = 0,25\tau \pi L_e S (D_{\text{вх}}/f')^2.$$

Поток на поверхности приемника в этом случае не зависит от расстояния l до излучателя. Его величина пропорциональна квадрату относительного отверстия $D_{\text{вх}}/f'$.

Поток на поверхности приемника может быть выражен через апертурный угол в пространстве изображений

$$\Phi' = 0,25\tau \pi L_e S \sin^2 \alpha.$$

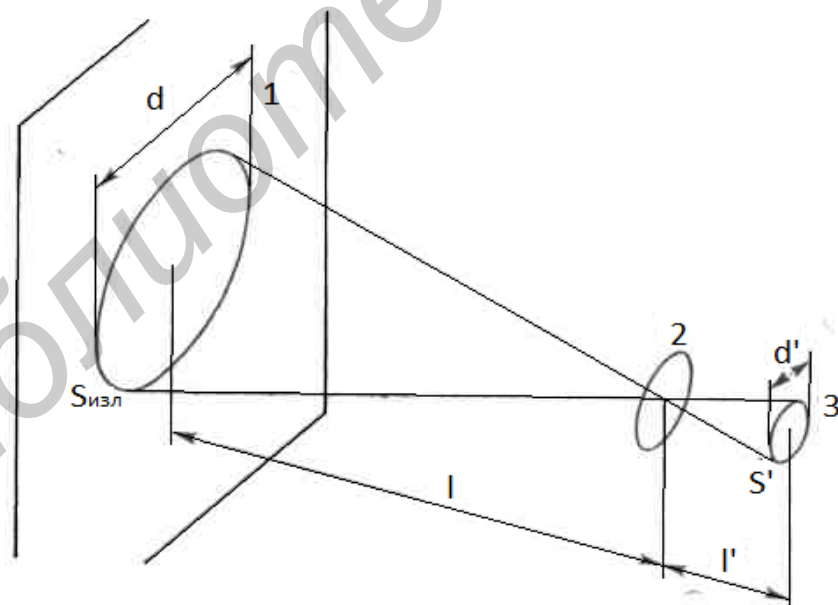


Рис. 5.3. Схема приема лучистой энергии при протяженном излучателе:
1 – плоскость предметов; 2 – объектив; 3 – плоскость изображений

Если спектр излучателя распределен определенным образом по длинам волн, а коэффициент пропускания различен при разных длинах волн, то произ-

ведение τL_e следует понимать как среднее в данном интервале длин волн значение.

Ток фотоприемника

$$I_{\phi} = S_i L_e \tau \pi S_{\text{изл}} l \sin^2 \alpha.$$

До сих пор полагалось, что поверхность излучателя перпендикулярна к направлению, в котором производится прием излучения. Если поверхность излучателя наклонена и нормаль к поверхности излучателя образует угол θ с этим направлением, то следует учитывать направленность излучения.

Для диффузно излучающей поверхности согласно закону Ламберта энергетическая сила света

$$I_{e\theta} = I_{e0} \cos \theta,$$

где I_{e0} сила света в направлении, перпендикулярном к поверхности.

У излучателей с острой направленностью излучения сила света резко убывает при отклонении от перпендикулярного направления, и их используют, как правило, таким образом, чтобы максимум излучения совпадал с оптической осью устройства.

4. Среди величин, входящих в основное энергетическое уравнение, особое место занимает интегральная чувствительность. Она определяет количественное соотношение между оптическим и электрическим сигналами. Интегральная чувствительность существенно зависит от спектральных свойств излучателя, приемника и среды между ними.

Общее правило согласования по спектральным свойствам сводится к тому, что спектральные характеристики излучателя, приемника и оптической системы должны быть по возможности близкими. Поскольку обычно спектральные свойства основных элементов системы не одинаковы, приходится сближать эти свойства одним из следующих способов:

- 1) производить непосредственный подбор элементов системы по заданному спектральному диапазону прибора;
- 2) выделять необходимый интервал длин волн из спектра излучателя;
- 3) применять преобразование спектра излучателя.

Спектральные свойства излучателей и приемников устанавливаются опытным путем. Экспериментально найденные спектральные характеристики используются при согласовании.

5.2 Точностные расчеты оптико-электронных приборов

Как и для любой следящей системы, анализ точности оптико-электронных приборов (ОЭП) проводится с учетом характерных законов изменения входной величины, т. е. при обработке постоянного рассогласования, ступенчатым его изменением, гармонически изменяющемся входном сигнале, а также при случайном законе изменения этого сигнала.

При установившемся статическом режиме работы прибора ошибку принято считать постоянной. При отработке ступенчатых воздействий возникает

переходный процесс, который накладывается на процесс воспроизведения входного рассогласования и вызывает дополнительные динамические ошибки. В устойчивых системах переходные процессы затухают. При этом необходимо, чтобы они не приводили к большим динамическим ошибкам при их минимальной длительности.

Динамическая ошибка в режиме переходного процесса определяется выбросом выходной величины по отношению к установившемуся значению. Длительность переходного процесса принято определять промежутком времени от начала процесса до того момента, когда выходная величина с заданным допуском приближается к установившемуся значению. Наибольшая допустимая динамическая ошибка, называемая перерегулированием, задается иногда равной 10 – 40 % от значения установившегося параметра регулирования. Обычно она составляет 5 %.

Точность в установившемся режиме зависит от трех основных составляющих ошибки:

1) ошибки, зависящей от структуры прибора, т. е. от типа динамических характеристик его звеньев. К таким ошибкам относятся ошибки, обусловленные тем, что ОЭП обладает какими-то пределами разрешения пространственных, временных и других величин. Например, следящая система прибора не мгновенно выполняет подаваемые на ее вход команды, так как отдельные звенья обладают вполне определенной инерционностью. Такого рода ошибки принято называть динамическими;

2) ошибки из-за случайных возмущений. К ним относятся ошибки, вызванные флуктуациями сигнала, помехами на пути распространения сигнала как до его прихода в ОЭП, так и при прохождении сигнала через звенья прибора. Эти ошибки называют флуктуационными;

3) ошибки из-за неточности изготовления отдельных звеньев прибора и действия нелинейностей (зона застоя двигателя, люфты, сухое трение и т. п.). Иногда эти ошибки называют приборными или инструментальными.

Такое деление во многом условно, так как и сами ошибки, и причины, их вызывающие, тесно связаны между собой. Однако это удобно для анализа процесса измерения или слежения, поскольку позволяет быстро принять меры по уменьшению их влияния. Часто пути устранения этих групп ошибок являются несовместимыми. Например, чем меньше инерционность прибора, тем меньше динамические ошибки, возникающие в нем, но тем заметнее и быстрее реагирует прибор на случайные флуктуационные возмущения. И наоборот, чем лучше сглаживаются в приборе случайные ошибки, тем больше его инерционность и тем больше динамические ошибки. Кроме того, при выборе параметров прибора, оптимальных с точки зрения уменьшения ошибок, следует помнить об устойчивости системы.

В линейных непрерывных системах автоматического регулирования, к которым могут быть отнесены многие ОЭП, первая составляющая ошибки, зависящая от структуры прибора, может быть сведена к нулю, если закон изменения входного рассогласования имеет вид неслучайной определенной функции.

Для этого применяются известные из теории автоматического регулирования методы выбора корректирующих звеньев прибора. Последняя составляющая установившейся ошибки зависит от качества изготовления отдельных узлов прибора. Уменьшение или устранение ошибки ведется обычно в процессе его конструирования и изготовления.

Если входное рассогласование является случайной величиной, то точность в установившемся режиме определяется значением средней квадратической или предельной ошибки. Свести к нулю эти ошибки невозможно, однако можно создать оптимальную систему, в которой средняя квадратическая ошибка имеет минимум.

После установления характера изменений входной величины, источников погрешностей, влияющих на точность измерений, и условий работы прибора можно приступить к первому этапу точностного расчета, а именно, к расчету потенциальной точности, т. е. точности, относящейся к оптимальной системе (фильтру) и характеризующей идеализированную измерительную схему без учета структуры прибора, свойств его отдельных звеньев, инструментальных (приборных) погрешностей. Потенциальная точность зависит только от условий работы прибора и вида входного сигнала. Значение ошибки, определяющей потенциальную точность, характеризует предельно достижимое качество измерений, а также определяет тот предел, к которому может стремиться конструктор. Если эта ошибка превышает значение, установленное техническим заданием, то при активном методе работы ОЭП следует предусмотреть возможность изменения формы сигнала, посылаемого передающей оптической системой к приемной, а в более общем случае постараться уменьшить влияние внешних шумов и помех, например, выбрать более благоприятное время и метеорологические условия измерений.

После выбора предварительной структурной схемы прибора и значений основных параметров отдельных звеньев разработчик может провести расчет ошибок для переходного и установившегося режимов работы оптико-электронной следящей системы, т. е. рассчитать динамические и флуктуационные ошибки. Прежде чем приступить к этому расчету, обычно следует выполнить энергетические расчеты отдельных звеньев прибора. Например, зная мощность, необходимую для управления исполнительным механизмом, и мощность, поступающую на приемник излучения, можно определить структуру электронного канала и рассчитать значение его коэффициента усиления. Расчет динамических и флуктуационных ошибок позволяет выбрать оптимальную структуру прибора, его основные параметры, подобрать корректирующие звенья. Методика такого расчета приведена в литературе по теории автоматического регулирования и следящим системам.

Следующим этапом точностного расчета, проведение которого необходимо после разработки реальной конструкции прибора, является расчет инструментальной погрешности, включающей динамические и флуктуационные ошибки реальных звеньев, а также ошибки из-за неточностей изготовления и сборки этих звеньев и действия нелинейностей типа люфтов, трения и т. п. Ме-

тодика расчета инструментальных (приборных) погрешностей отличается большим разнообразием в соответствии с особенностями конструкции различных приборов, методам их работы, технологиями производства. Тем не менее в литературе содержатся общие рекомендации, определяющие отдельные этапы такого расчета. К ним можно отнести:

1) анализ процесса измерений, выявление источников погрешностей и составление рабочей формулы для единичного измерения;

2) разделение погрешностей на группы по законам их распределения (нормальный закон, закон Пуассона и т. д.);

3) определение связи частных погрешностей с конструктивными параметрами (т. е. определение коэффициентов ошибок) и с допусками на изготовление;

4) подбор коэффициентов перехода от предельных значений ошибок к средним квадратическим в соответствии с законами их распределения;

5) проведение общего расчета, связывающего погрешность конечного результата с частными погрешностями и через них – с параметрами конструкции и допусками на изготовление отдельных узлов;

6) анализ соотношения между частными погрешностями, окончательный выбор параметров конструкции и допусков, проверка и уточнение методики измерений для уменьшения влияния систематических погрешностей;

7) проведение дополнительного расчета на максимальное влияние систематических погрешностей.

В том случае, если проводится изменение конструкции прибора, необходим поверочный расчет точности, т. е. возвращение к предыдущему (или двум предыдущим) этапу расчета.

Кроме того, диагностические фотометрические приборы имеют вспомогательные электронные узлы. К таким узлам относятся выходные каскады приборов, различные схемы защиты (по излучаемой мощности, по току), обеспечивающие безопасность проведения процедур диагностики, схемы измерения выходной мощности (амплитуды) сигнала и т. д. При проектировании диагностических приборов на эти узлы необходимо обратить особое внимание.

С целью проверки правильности теоретических расчетов, исследования частотных и переходных характеристик электронных блоков и спектральных характеристик сигналов, выполнения расчетов по постоянному и переменному токам выполняется моделирование работы принципиальной электрической схемы всего аппарата или отдельных его блоков. В качестве средства моделирования могут быть использованы пакеты прикладных программ MicroCap, Work Bench, SIMatrix и др.

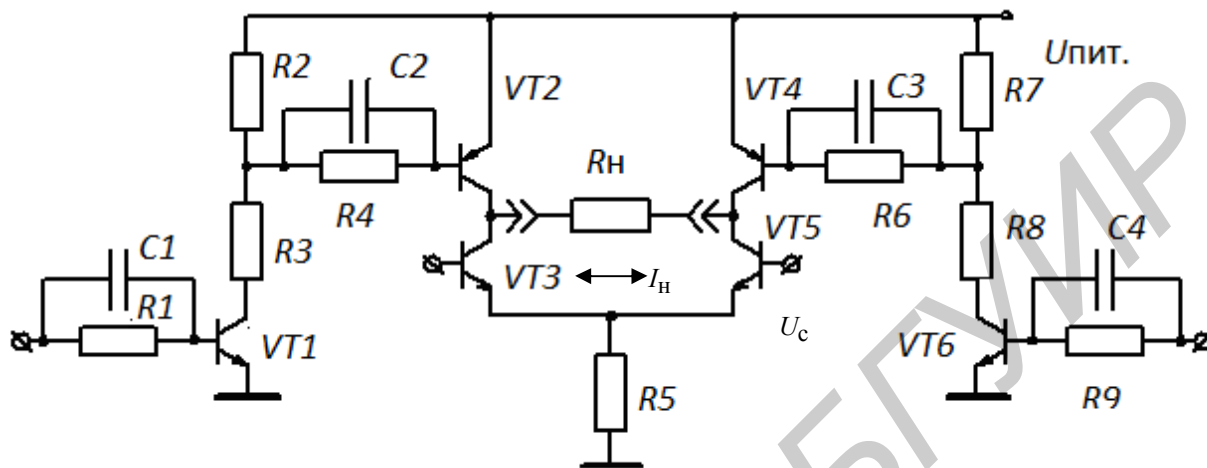
Рассмотрим примеры расчета электронных блоков.

Пример 5.3. Расчет мостовой схемы выходного каскада источника питания светодиода, являющегося источником излучения при фотометрических исследованиях (рис. 5.4).

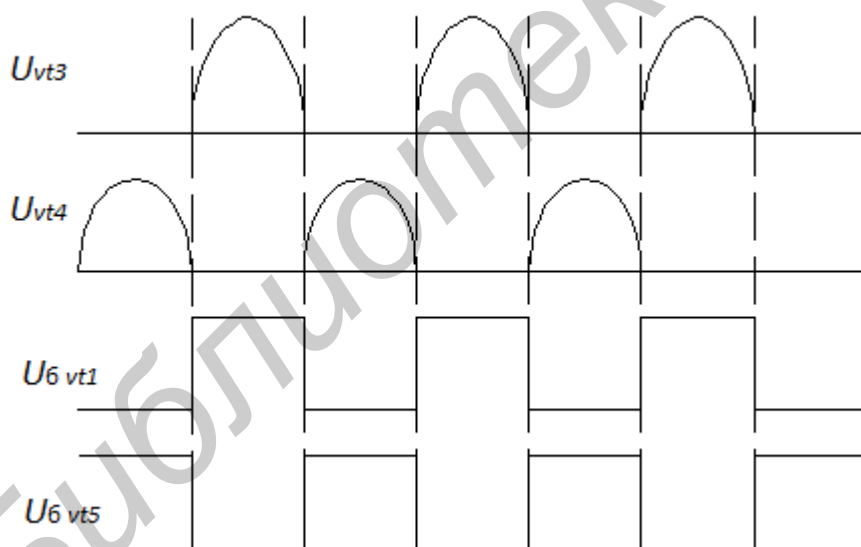
Расчёт мостовой схемы произведем для одного из плеч схемы. Расчет для второй половины аналогичен. Схема работает таким образом: когда ток ге-

нерируется источником тока на транзисторе $VT4$, то электронный ключ на транзисторах $VT1$ и $VT2$ открыт и наоборот.

Исходные данные для расчёта напряжение питания $U_{\text{пит}} = 20 \text{ В}$, амплитуда входного сигнала $U_c = 1 \text{ В}$, амплитуда тока в нагрузке $I_{\text{н}} = 20 \text{ мА}$, частота входного сигнала $f_c = 5 \text{ кГц}$.



а



б

Рис. 5.4. Электрическая принципиальная схема выходного каскада электростимулятора (а) и диаграммы работы выходного каскада (б)

По требованиям электробезопасности ток частотой более 1 кГц в нагрузке $R_{\text{н}} = 500 \text{ Ом}$ должен быть не более 80 мА.

Ток в нагрузке задаётся источником тока, выполненном на транзисторе $VT5$, и определяется по формуле

$$I_{\text{н}} = \frac{(U_{\text{с}} - U_{\text{б.э}})}{R5}. \quad (5.8)$$

Зная, что $U_{\text{б.э}} = 0,6 \text{ В}$ и подставив, в формулу (5.8) исходные данные для расчёта, находим $R5$:

$$R5 = \frac{(U_{\text{с}} - U_{\text{б.э}})}{I_{\text{н}}} = \frac{1\text{В} - 0,6\text{В}}{20 \text{ мА}} = 20 \text{ Ом}$$

Для предотвращения возможного перехода транзистора $VT5$ в режим насыщения необходимо, чтобы напряжение на переходе коллектор – эмиттер составляло $2...3 \text{ В}$.

Транзисторы $VT1, VT2$ во включенном состоянии работают в режиме насыщения. Соответственно данному режиму работы падение на переходах коллектор – эмиттер этих транзисторов составляет $0,02...3 \text{ В}$. Максимальный ток коллектора транзисторов $VT2, VT5$ должен быть не менее тока нагрузки:

$$I_{\text{к max}} = 1,5...3 \cdot I_{\text{н}} \approx 2 \cdot 20 = 40 \text{ мА}.$$

Максимальное напряжение коллектор – эмиттер транзисторов $VT2, VT5$ должно быть не менее напряжения питания ($U_{\text{п}}$):

$$U_{\text{к.э max}} = 1,2...2 \cdot U_{\text{п}} = 1,2 \cdot 20 = 24 \text{ В}.$$

Максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе $VT5$, должна быть не менее максимальной мощности, которая может быть передана от источника в нагрузку:

$$P_{\text{к max}} = 1,2...2 \cdot P_{\text{и.с max}}, \quad (5.9)$$

$$P_{\text{и.с max}} = U_{\text{п}} \times I_{\text{н max}} = 20 \text{ В} \cdot 20 \text{ мА} = 0,4 \text{ Вт}.$$

$$P_{\text{к max}} = 1,2 \times 0,4 \text{ Вт} = 0,48 \text{ Вт}.$$

Согласно вышерассчитанным характеристикам выберем транзисторы $VT2, VT5$ и сведём их параметры в табл. 5.1.

Для повышения помехоустойчивости ключа на транзисторе $VT2$ ток базы должен быть равным

$$I_{\text{б VT2}} = 1,2...1,5 \cdot \frac{I_{\text{к max}}}{h_{21\text{эVT2}}}, \quad (5.10)$$

$$I_{\text{б VT2}} = 1,2 \cdot \frac{40}{40} = 1,2 \text{ мА},$$

где $h_{21\text{эVT2}}$ – коэффициент передачи транзистора по току.

Напряжение на $R4$ не должно превышать напряжение $U_{\text{б max}}$ транзистора $VT2$:

$$U_{R4} = I_{6VT2} \cdot R4 < U_{6VT2}. \quad (5.11)$$

Отсюда выразим $R4$:

$$R4 < \frac{U_{6 \max VT2}}{I_{6VT2}}, \quad (5.12)$$

$$R4 < \frac{5}{1,2} \approx 4170 \text{ Ом.}$$

Зададимся ближайшим из ряда стандартных значений E24 $R4 = 4,1 \text{ Ом}$.
 $R2$ определим из соотношения

$$U_{R2} = I_{кVT1} \cdot R2 = U_{R4} + U_{6.эVT2}. \quad (5.13)$$

Для повышения помехоустойчивости ключа на транзисторе $VT2$ зададимся током $I_{кVT1} = 10 \cdot I_{6VT2} = 12 \text{ МА}$.

$$R2 = \frac{U_{R4} + U_{6.эVT2}}{I_{кVT2}},$$

$$R2 = \frac{4,1 \cdot 1,2 + 0,6}{12} = 460 \text{ Ом.} \quad (5.14)$$

Из стандартного ряда E24 выберем ближайшее значение $R2 = 470 \text{ Ом}$.
 Выберем транзистор $VT1$ по тем же соображениям, что и $VT2$ (табл. 5.2).
 Номинал $R3$ определим из следующего соотношения:

$$U_{R3} = U_n - U_{R2} - U_{к.энасVT1}, \quad (5.15)$$

$$R3 = \frac{U_n - U_{R2} - U_{к.энасVT1}}{I_{кVT1}}, \quad (5.16)$$

$$R3 = \frac{200 - 5,52 - 0,5}{12} = 16165 \text{ Ом.}$$

Из стандартного ряда выберем ближайшее значение $R3 = 16 \text{ кОм}$.

$$R1 = \frac{U_{упр} - U_{6.э}}{(1,5...2) \cdot I_{6VT1}}, \quad (5.17)$$

где $U_{упр}$ – напряжение управляющего сигнала: $U_{упр} = 4,5 \text{ В}$.

Таблица 5.1

Параметры транзисторов VT2, VT5

Обозначение	Марка	Полярность	$P_{к\ max},$ Вт	$U_{к.б\ max},$ В	$U_{к.э\ max},$ В	$U_{э.б\ max},$ В	$I_{к\ max},$ мА	$h_{21Э}$	$U_{к.э\ нас.},$ В	$I_{кбо.},$ мкА	$f_{гр.},$ МГц	Корпус, диапазон раб. температур
VT2	КТ 521А	PNP	0,62	300	300	5	500	> 40	0,5	100	50	КТ-26 60 ч 85°C
VT5	КТ 969А	NPN	6,0	300	250	5,0	100	50–250	1,0	0,05	60	КТ-27 45 ч 85°C

Таблица 5.2

Параметры транзистора VT1

Обозначение	Марка	Полярность	$P_{max.}$ Вт	$U_{к.б\ max},$ В	$U_{к.э\ max},$ В	$U_{э.б\ max},$ В	$I_{к\ max},$ мА	$h_{21Э}$	$U_{к.э\ нас.},$ В	$I_{кбо.},$ мкА	$f_{гр.},$ МГц	Корпус, диапазон раб. температур
VT1	КТ 520А	NPN	0,62	300	300	6	500	> 40	0,5	100	50	КТ-26* 60 ч 85°C

$$I_{6VT1} = \frac{I_{кVT1}}{h_{21ЭVT1}},$$

$$I_{6VT1} = \frac{12}{40} = 0,3 \text{ мА.}$$

$$R1 = \frac{4,5 - 0,6}{(1,5 \dots 2) \cdot 0,3} = 6500 \text{ Ом.} \quad (5.18)$$

Выбираем ближайшее из стандартного ряда значений $R1 = 6,4 \text{ кОм}$.
Номиналы мощностей резисторов определяются по формуле

$$P_R = I_R^2 \cdot R, \quad (5.19)$$

где I_R – ток, протекающий через резистор; R – номинал резистора.

Соответственно для каждого из резисторов получаем мощности, Вт:

$$P_{R4} = I_{6VT2}^2 \cdot R4 = 1,2^2 \cdot 4,1 = 0,0059$$

$$P_{R2} = I_{кVT1}^2 \cdot R2 = 12^2 \cdot 4,1 = 0,59$$

$$P_{R3} = I_{кVT1}^2 \cdot R3 = 12^2 \cdot 16 = 2,3$$

$$P_{R1} = I_{6VT1}^2 \cdot R1 = 0,3^2 \cdot 6,4 = 0,00058$$

$$P_{R5} = I_{н}^2 \cdot R5 = 20^2 \cdot 4,1 = 1,64.$$

Мощность, рассеиваемая на резисторах $R2$, $R3$, является импульсной, а не долговременной. Поэтому представляется возможным выбрать резистор несколько меньшей долговременной мощности, но с малыми габаритными размерами. Номиналы мощностей резисторов выбираем ближайшие из ряда мощностей. Результаты расчетов номиналов резисторов сведем в табл. 5.3.

Номинал емкостей $C1$ и $C2$ определяются из условия

$$3 \cdot (R_{и} + R_{вх}) \cdot C \leq t_{и}, \quad (5.20)$$

где $R_{и}$ – сопротивление источника сигнала, $R_{вх}$ – входное сопротивление ключа по отношению к емкости C , $t_{и}$ – длительность импульса управления (переключения ключа).

$$t_{и} = \frac{1}{2 \cdot f_c},$$

$$t_{и} = \frac{1}{2 \cdot 5} = 0,1 \text{ мс.} \quad (5.21)$$

Выбор резисторов схемы

Поз.	Тип	Расчетный параметр $P_{\text{расчѣт}}, \text{Вт}$	Выбранный параметр $P_{\text{ном}}, \text{Вт}$	Коэффициент нагрузки, K_n
R1	C2-23	0,00058	0,125	< 0,1
R2	C2-23	0,59	0,5	1,18
R3	C2-23	2,3	2	1,15
R4	C2-23	0,0059	0,125	< 0,1
R5	C2-23	1,64	2	< 0,82

Значения емкостей можно рассчитать следующим образом. Для емкости C2 сопротивление $R_{\text{и}}$ является $R3 \parallel R2$, а $R_{\text{вх}} = R4 + R_{\text{вх}} VT2$, где $R_{\text{вх}} VT2$ – входное сопротивление транзистора VT2. В схеме с общим эмиттером оно мало, и им можно пренебречь. Определим номинал C2:

$$C2 = \frac{t_{\text{и}}}{3 \cdot (R3 \parallel R2 + R4)},$$

$$C2 = \frac{0,1}{3 \cdot \left(\frac{16000 \cdot 460}{16000 + 460} + 4,1 \cdot 1000 \right)} = 7,2 \text{ нФ.} \quad (5.22)$$

Для емкости C1 $R_{\text{и}}$ является сопротивлением выходных цепей схемы управления. Как правило, значение его мало и им можно пренебречь. $R_{\text{вх}} = R1 + R_{\text{вх}} VT1$, где $R_{\text{вх}} VT1$ – входное сопротивление транзистора VT1. Как и в случае расчѣта ёмкости C2, этим сопротивлением также можно пренебречь. Таким образом, для C1 получаем

$$C1 = \frac{t_{\text{и}}}{3 \cdot R1},$$

$$C1 = \frac{0,1}{3 \cdot 6,4 \cdot 1000} = 5,2 \text{ нФ.} \quad (5.23)$$

Выбираем ближайшие к полученным при расчѣте значениям номиналы емкостей C1 и C2 из стандартного ряда значений: C1 = 7,5 нФ, C2 = 5,6 нФ.

Номинальное предельно допустимое напряжение конденсаторов определяется максимальными напряжениями, которые будут прикладываться к их обкладкам. Для конденсатора C1 это напряжение не превысит напряжения входного сигнала, для C2 – падения на R2. По результатам проведенных вычислений выберем конденсаторы типа K10-17 (табл. 5.4).

Выбор конденсаторов схемы

Позиция	Тип	Расчетный параметр $U_{\text{расч}}\text{, В}$	Выбранный параметр $U_{\text{ном}}\text{, В}$	Коэффициент нагрузки K_n
C1	K10-17	4,5	40	0,11
C2	K10-17	5,52	40	0,138

Пример 5.4. Расчет задающего генератора

Рассмотрим базовую схему мультивибратора на таймере 555 для генерации прямоугольных импульсов (рис. 5.5).

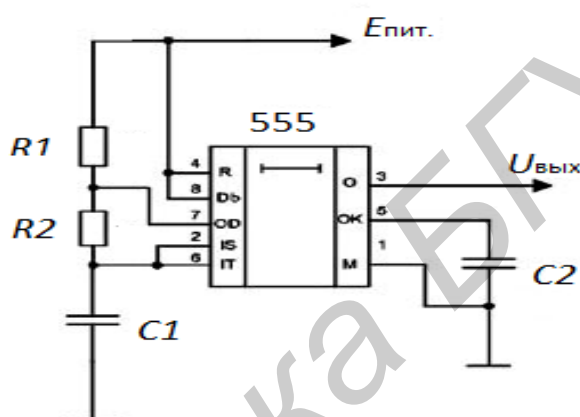


Рис. 5.5. Базовая схема включения таймера 555

Форма выходного сигнала изображена на рис. 5.6, а. На рис. 5.6, б приведена форма напряжения на конденсаторе C1.

После включения питания этот конденсатор заряжается от 0 до $2E_{\text{пит}}/3$ (при этом напряжении переключается первый компаратор) за время t_3 , равное

$$t_3 = 1,1 \cdot (R1 + R2) \cdot C1. \quad (5.24)$$

Это является причиной того, что первый положительный импульс получается длиннее следующих за ним импульсов. Далее конденсатор будет заряжаться от напряжения $E_{\text{пит}}/3$ (срабатывает второй компаратор) до напряжения $2E_{\text{пит}}/3$. Это происходит быстрее, и время заряда составляет

$$t_1 = 0,693 \cdot (R1 + R2) \cdot C1. \quad (5.25)$$

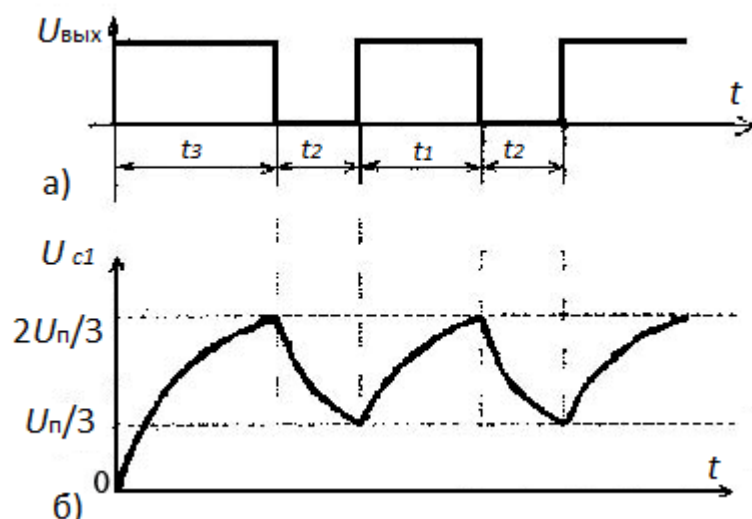


Рис. 5.6. Форма выходного сигнала (а) и напряжения (б) на конденсаторе

Разряжается конденсатор от $2E_{пит}/3$ до $E_{пит}/3$ за время

$$t_2 = 0,693 \cdot R1 \cdot C1. \quad (5.26)$$

Длительность рабочего цикла установившихся колебаний получается

$$T = t_1 + t_2, \quad (5.27)$$

а частота соответственно

$$f = \frac{1,443}{(2 \cdot R1 + R2) \cdot C1}. \quad (5.28)$$

Генератор формирует меандр с высокой точностью.

Для случая, когда частота следования прямоугольных импульсов должна быть $f = 20$ Гц, период соответственно равен $T = 0,05$ с, а скважность близка к 50 %, получаем

$$T = t_1 + t_2 = 0,693(2 \times R1 + R2) \times C1 = 0,05 \text{ с}. \quad (5.29)$$

Зададимся емкостью конденсатора $C1 = 1$ мкФ, сопротивлением $R2 = 1$ кОм. Тогда из формулы (5.23) получаем $R2 = 36$ кОм и $t_1 \approx t_2 \approx 0,025$ с.

Таким образом, получаем на выходе микросхемы прямоугольные импульсы с частотой следования 20 Гц и скважностью, примерно равной 50 %. При этом $R1 = 1$ кОм, $R2 = 36$ кОм, $C1 = 1$ мкФ, $C2 = 10$ нФ. Конденсатор $C2$ нужен для стабильной работы генератора.

6. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРИБОРА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Для приборов, реализованных на основе микропроцессоров, контроллеров, компьютерных технологий, необходимо разработать алгоритм и программу работы устройства. Студенту, выполняющему проект, необходимо уделить внимание:

- формализации поставленной задачи;
- разработке алгоритмов работы проектируемой системы;
- разработке программного обеспечения к системе с анализом заданных форматов данных, выбором языка программирования, разработкой программного интерфейса, удобного интерфейса пользователя и т. п.;
- описанию работы разработанного программного обеспечения: его установке, алгоритму работы, приведению примеров использования.

Любая программируемая система выполняет три основные функции: приём данных; логические и арифметические преобразования; выработка управляющих воздействий. Первым шагом на пути к разработке прибора на вычислительной платформе является уточнение целей и задач, которые система должна решать. Затем необходимо, как можно подробнее и по возможности математически строго уточнить все логические связи между причинами и следствиями. Желательно иметь алгоритм примерно в таком виде: если кнопка А нажата и контакты электрического реле В замкнуты, то должна включиться сигнальная лампочка Н и заработать насос, подающий жидкость в кювету. При этом необходимо учитывать возможности микропроцессорной системы управления. Этапы разработки прибора на основе вычислительных программируемых средств следующие:

1. Выработка базовой концепции, т. е. общих представлений, первичной идеи, определяющей принцип действия и метод реализации системы.
2. Разработка алгоритма, т. е. набора процедур, четкой последовательности действий, выполнение которых дает требуемый результат.
3. Проектирование аппаратных средств.
4. Разработка рабочих программ.

На этапе выбора базовой концепции необходимо сделать предварительное распределение логических действий между аппаратными и программными средствами и решить, как практически будут использоваться выходные данные системы. Следующим шагом является определение того, как все необходимые действия реализовать последовательным методом. В результате должна быть разработана диаграмма потока информации и установлены основные требования к микропроцессору. После этого можно разрабатывать алгоритм. Даже для относительно простой системы управления трудно разработать алгоритм, охватывающий сразу все детали. Поэтому рекомендуется использовать три последовательных уровня детализации алгоритма: концептуальная схема, функциональная схема, структурная схема машинных команд. Концептуальная блок-схема алго-

ритма показывает, что должно быть сделано. На этой стадии требуется небольшое количество функциональных блоков.

На функциональном уровне разработки алгоритма каждый блок концептуальной блок-схемы расширяется до такой степени, чтобы показать отдельные шаги, которые требуется совершить для достижения желаемого результата. Разные алгоритмы могут устанавливать различные пути решения одной и той же задачи. При выборе той или иной формы записи для решения конкретной проблемы могут использоваться различные критерии: заданный набор операций (машинных команд), удобство адресации, возникающие временные задержки. После завершения разработки функциональной схемы алгоритма требуется выяснить специфику характеристик микроконтроллера (или другого вычислительного средства), для того чтобы определить его конструктивные особенности и выбрать микропроцессорный комплект. Набор команд выбранного контроллера является основой для разработки структурной схемы машинных команд. За этой схемой следует только их кодирование. Из этого следует, что ключом для успешного применения контроллеров является разработка функциональной схемы алгоритма.

Выбор микроконтроллера производится на этапе структурно-логического проектирования управляющей микропроцессорной системы. До этого на этапе системного проектирования уже должны быть разработаны функциональная схема алгоритма работы блока на базе микроконтроллера и функциональная схема аппаратной части. Из этой документации могут быть взяты данные, необходимые для обоснования выбора контроллера. Выбор контроллера основывается на следующих данных:

1. Функциональные возможности БИС, которые могут быть использованы для построения законченного управляюще-вычислительного устройства.
2. Разрядность данных в контроллере.
3. Объем адресуемой памяти, который складывается из объема ОЗУ и ПЗУ.
4. Количество обслуживаемых внешних устройств и методы обмена данными.
5. Производительность, определяющая время выполнения необходимых вычислительных и обменных операций.
6. Конструктивно-технологические и энергетические характеристики (тип корпуса, напряжение источников питания, потребляемая мощность, климатические требования).

7. ОФОРМЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

В состав пояснительной записки к курсовому проекту входят титульный лист; задание; аннотация; содержание; введение; основная часть; заключение (выводы); список используемых источников; приложения.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна в краткой и четкой форме раскрывать творческий замысел проекта, содержать принятые методы расчета и сами расчеты, их анализ и выводы по ним и сопровождаться иллюстрациями: графиками, эскизами, диаграммами, схемами и т. п.

На титульном листе должны быть приведены следующие сведения: наименование высшего учебного заведения, где выполнен курсовой проект; фамилия, имя, отчество автора; тема курсового проекта, город и год. Название проекта должно определять область проведенных проектных работ, быть по возможности кратким и точно соответствовать содержанию. В названии курсового проекта следует избегать использования усложненной узкоспециальной терминологии [10].

Задание на курсовое проектирование определяет структуру работы, составляется руководителем курсового проекта и оформляется на специальном бланке. Исходные данные, содержание пояснительной записки и перечень графического материала курсового проекта оформляются согласно [10].

Реферат состоит из заголовка, текста и перечня ключевых слов.

В заголовке приводятся: фамилия, имя, отчество автора, название курсового проекта, индекс УДК, год написания, количество страниц.

Текст аннотации должен отражать объект и предмет проектирования, цель работы, полученные результаты и их новизну, степень использования или рекомендации по использованию, область применения разработки.

Ключевые слова (до 15) даются в именительном падеже, печатаются в строку через запятые.

Изложение материала в аннотации должно быть кратким и точным. Необходимо использовать стандартизованную терминологию, избегать псевдоновых терминов и символов.

Содержание включает в себя названия структурных частей ПЗ курсового проекта («Введение», «Разделы», «Заключение», «Список использованных источников», «Приложения»), названия всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц, на которых размещается начало материала соответствующих частей ПЗ. Содержание дается вначале, так как это дает возможность сразу увидеть структуру работы.

Во введении указывается цель и задачи курсового проекта. Введение – вступительная, начальная часть ПЗ курсового проекта. В ней дается общая оценка состояния научной, производственной, социальной или иной сферы деятельности человека, общества или природы, где находится объект проектирования. При необходимости дается исторический экскурс, очерчивается круг проблем, нуждающихся в изучении. Объем введения, как правило, не превышает трех страниц.

Основную часть ПЗ составляют разделы, в которых даются обзор литературы по теме и выбор направления проектирования, изложение общей концепции и основных методов проектирования, основные конструкторские, электрические и технологические расчёты, анализ и обобщение результатов проектирования.

В обзоре литературы студент дает оценку современного уровня технических, научных разработок и достижений по рассматриваемой проблеме. В этой части необходимо назвать те вопросы, которые остались неразрешенными, и таким образом определить свое место в решении сформулированной в теме курсового проекта проблемы.

Желательно закончить обзор кратким резюме о необходимости проведения проектирования устройства и определить предмет своего проектирования.

При изложении общей концепции и основных методов проектирования дается теоретическое обоснование предлагаемых методов, алгоритмов решения задач, излагается их суть, дается обоснование выбора принятого направления разработки. Излагаются принципы действия и характеристики разработанной аппаратуры.

Весь порядок изложения в ПЗ должен быть подчинен цели проектирования, сформулированной автором. Логичность построения и последовательность изложения основного содержания достигается только тогда, когда каждый раздел имеет определенное целевое назначение и является базой для последующих.

В ПЗ следует сжато, логично и аргументированно излагать содержание и результаты проектирования; избегать обилия общих слов, бездоказательных утверждений, тавтологии, неоправданного увеличения объема ПЗ.

При написании ПЗ к курсовому проекту студент обязан давать ссылки на авторов и источники, из которых он заимствует материалы или отдельные результаты. Цитирование допускается только с обязательным использованием кавычек. Не допускается компилятивный пересказ текста и отдельных предложений других авторов. В этом разделе должны содержаться основные результаты проектирования и выводы, сделанные на их основе.

В заключении должны содержаться конкретные результаты курсового проектирования и возможные пути их практического использования.

Список должен содержать перечень источников информации, на которые в ПЗ приводятся ссылки.

В приложения следует включать вспомогательный материал, необходимый для полноты восприятия курсового проекта, оценки его практической значимости.

Объем пояснительной записки не должен превышать 30 – 40 страниц машинописного текста без приложений и иллюстраций.

Виды конструкторской и технологической документации весьма разнообразны. При их разработке необходимо в первую очередь использовать соответствующие комплекты стандартов. Ниже приводятся рекомендации по применению тех или иных положений ЕСКД и ЕСТД при выполнении технической документации к дипломным и курсовым проектам.

ГОСТ 2.101-68 устанавливает виды изделий при разработке конструкторской документации. Стадии разработки КД установлены ГОСТ 2.103-68; виды КД-ГОСТ 2.102-68, 2.701-84, 2.601-68. Виды технологических документов и стадии их разработки устанавливает ГОСТ 3.1102-81.

При разработке КД и ТД в курсовых проектах документации рекомендуется присваивать литеру **О**, **Т** или **И**.

Единую обезличенную классификационную систему обозначения изделий и их конструкторских документов устанавливает ГОСТ 2.201-80.

Изделия и конструкторские документы получают обозначения централизованно или децентрализованно. Централизованное присвоение обозначений должны осуществлять организации, которым это поручено министерством, ведомством, в пределах объединения, отрасли. Децентрализованное присвоение обозначений должны осуществлять организации-разработчики.

Конструкторские документы сохраняют присвоенное им обозначение независимо от того, в каких изделиях они применяются, причем эти обозначения записывают без сокращений и изменений, за исключением случаев, предусмотренных ГОСТ 2.113-75. Если КД выполнен на нескольких листах, его обозначение должно быть указано на каждом листе.

Деталям, на которые не предусмотрен выпуск чертежей, присваиваются самостоятельные обозначения по общим правилам.

Согласно ГОСТ 2.201-80, структура обозначения изделия и основного конструкторского документа должна быть следующей:

	X X X X	X X X X X X	X X X
Код организации-разработчика			
Код классификационной характеристики			
Порядковый регистрационный номер			

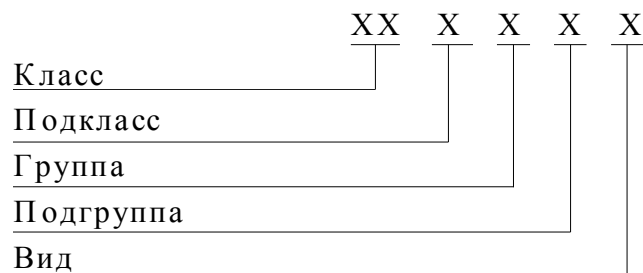
Четырехзначный буквенный код организации-разработчика назначается по кодификатору организаций-разработчиков. В БГУИР [10] код ГУИР – для курсовых проектов.

Код классификационной характеристики присваивают изделию и конструкторскому документу в соответствии с классификатором ЕСКД.

Классификатор ЕСКД введен в действие с 1 января 1984 г. и представляет собой систематизированный иерархический свод наименований и квалификационных группировок объектов классификации изделий машиностроения и приборостроения, общетехнических документов и их кодов. Этот классификатор дополняют «Алфавитно-предметным указателем наименований деталей» и «Определителем наименований деталей классов 71–76», облегчающими соответствующие поиски.

Всего в классификаторе 100 классов. Все изделия размещены в 50 однородных классах, 50 классов являются резервными.

Структура кода классификационной характеристики:



При классификации изделий в классах использованы в основном следующие признаки:

- функциональный (основная эксплуатационная функция, выполняемая изделием);
- конструктивный (конструктивные особенности изделия);
- принцип действия (физический, физико-химический процесс, на основе которого действует изделие);
- параметрический (величины и степени точности рабочих параметров изделий: основные размеры, мощность, напряжение, сила тока и пр.);
- геометрические формы.

Каждый класс классификатора делится на 10 подклассов (от 0 до 9), каждый подкласс – на 10 групп, каждая группа – на 10 подгрупп и каждая подгруппа – на 10 видов.

Порядковый регистрационный номер присваивают по классификационной характеристике от 001 до 999 по номеру в списке группы.

В наименованиях изделий используют следующие отличительные признаки:

- «функциональность», т. е. указывается основная функция, выполняемая деталью, например кольцо стопорное;
- «служебное назначение», например лопатка турбинная;
- «геометрическая форма», например шпонка клиновья;
- «принцип действия», например шайба пружинная.

Схемы – конструкторские документы, позволяющие значительно быстрее (чем по чертежам) разобраться в принципе и последовательности действия элементов того или иного устройства, поскольку составные части изделия, их взаимное расположение и связи между ними изображены на схемах условно. Виды, типы и общие требования к выполнению схем установлены ГОСТ 2.701-84.

В зависимости от элементов, входящих в состав изделия, связей между ними схемы разделяют на следующие виды (табл. 7.1).

Если в состав изделия входят элементы и связи различных видов, разрабатывается комбинированная схема, обозначаемая буквой С. Ее наименование определяется видами и типом, например, С3 – схема электропневматическая принципиальная.

Таблица 7.1

Виды схем

Виды схем	Обозначение
Электрические	Э
Гидравлические	Г
Пневматические	П
Кинематические	К
Оптические	Л
Вакуумные	В
Газовые (кроме пневматических)	Х
Автоматизации	А
Энергетические	Р
Комбинированные	С
Деления	Е

По основному назначению схемы делят на определенные типы, обозначаемые соответствующей цифрой (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Типы схем

Типы схем	Обозначение	Назначение
Структурные	1	Служат для общего ознакомления с изделием и определяют состав и взаимосвязь основных элементов изделия и их назначение
Функциональные	2	Поясняют процессы, протекающие в изделии и его составных частях
Принципиальные	3	Определяют полный состав элементов изделия и связи между ними
Монтажные	4	Показывают соединения составных частей изделия и элементы этих соединений (провода, кабели и т.п.)
Подключения	5	Показывают внешнее подключение изделия
Общие	6	Определяют составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации
Расположения	7	Определяют относительное расположение составных частей изделия

Вид и тип схемы определяют ее наименование, например схема электрическая монтажная (Э4).

Затруднения часто вызывает обозначение технологических схем, не определенных в ГОСТ 2.701-84, и плакатов, например технологической схемы сборки. Исходя из ГОСТ 3.116-79, в котором указывается, что при нормоконтроле проверяется оформление эскизов, схем и таблиц в соответствии с требованиями

стандартов ЕСКД и ГОСТ 3.1104-81, можно рекомендовать присвоение технологическим схемам и плакатам, не определенным в стандартах, обозначение, состоящее из обозначения изделия с добавлением кода ПЛ, ПЛ1 и т. д., в зависимости от количества подобного рода документов, например ГУИР.945673.001 ПЛ.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба на листах стандартного формата с основной надписью по форме 1. При этом действительное пространственное расположение составных частей изделия можно не учитывать. Элементы изделия изображают в виде условных графических обозначений, устанавливаемых соответствующими стандартами ЕСКД. Связь между ними показывают линиями связи, условно представляющими собой валы, муфты, трубопроводы, кабели и т. п.

Схема электрическая принципиальная (ЭЗ) является наиболее полной электрической схемой изделия, на которой изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии, данные электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Электрические элементы на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных стандартами ЕСКД. Элементы, используемые в изделии частично, допускается изображать не полностью, а только используемые части.

Условные графические обозначения элементов и устройств выполняют *совмещенным* или *разнесенным* способом. При *совмещенном* способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При *разнесенном* способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно.

Элементы на схеме рекомендуется группировать в соответствии с функциональным назначением в горизонтальные и вертикальные цепи.

Элементы должны быть соединены линиями электрической связи. При этом расстояние между параллельными линиями должно быть не менее 3 мм. При большом числе линий связи и их большой протяженности можно группировать электрически не связанные линии – шины, увеличивая расстояние между группами. Вход единичной линии в групповую и выход из нее должны обозначаться буквами или цифрами.

В состав схемы, кроме изображений, входят надписи, характеризующие входные и выходные цепи, позиционные обозначения элементов и перечень элементов.

Каждый элемент схемы должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, наносимое рядом с его условным графическим обозначением (сверху или справа). Позиционное обозначение должно состоять в общем случае из трех частей:

- буквенный код элемента, определяющий его вид, – одна или несколько букв латинского алфавита (например *VT*-транзистор);
- порядковый номер элемента в пределах группы элементов одного ви-

да – одна или несколько арабских цифр;

– буквенный код функционального назначения данного элемента – одна или несколько букв латинского алфавита.

Нумерацию элементов выполняют по порядку, начиная с единицы, в соответствии с расположением элементов, считая сверху вниз и слева направо. Буквы и цифры обозначения следует выполнять чертежным шрифтом одного размера.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме.

Расположение условных обозначений элементов определяется последовательностью процесса и удобством чтения схемы, возможностью нанесения позиционных обозначений и при необходимости номинальных параметров элементов.

На схеме изделия разрешается изображать отдельные элементы, не входящие в данное изделие, но необходимые для разъяснения принципа его работы. Графические обозначения этих элементов отделяют от основной схемы тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками.

На схемах рекомендуется приводить характеристики входных и выходных цепей (ток, напряжение, частоту и т. п.) и адреса внешних соединений, записывая их в таблицы, помещаемые взамен условных графических обозначений (плат, разъемов и т. п.). Таблицы должны иметь позиционное обозначение записываемого элемента. Адрес должен обеспечивать однозначность присоединения.

Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы. При наличии на схеме нескольких таблиц допускается головку таблицы приводить только в одной из них. При необходимости допускается вводить в таблицу дополнительные графы. Допускается проставлять в графе «Конт.» несколько последовательных номеров контактов, если они соединены между собой, разделяя их запятой.

Сведения о контактах в соединителях указывают одним из следующих способов: либо около изображения соединителя, на свободном поле схемы, либо на последующих листах схемы в виде таблиц, в которых указывают адрес соединения (обозначение цепи) и (или) позиционное обозначение элементов, присоединяемых к данному контакту). При необходимости в таблице приводят характеристики цепей и адреса внешних соединений.

В графах таблиц указывают следующие данные:

– в графе «Конт.» – номер контакта, соединителя. Номера контактов записывают в порядке возрастания;

– в графе «Цепь» – характеристику цепи;

– в графе «Адрес» – обозначение цепи и (или) позиционного обозначения элементов, соединяемых с контактами.

При составлении схем данные об элементах схемы должны быть записаны в таблицу перечня элементов, помещаемую на первом листе схемы или на отдельных листах формата А4 в виде самостоятельного текстового документа и заполняемую сверху вниз. Перечень элементов, помещенный на листе схемы, должен располагаться над основной надписью на расстоянии не менее 12 мм. Его продолжение можно помещать слева от основной надписи, повторяя голов-

ку таблицы. При выполнении перечня отдельным текстовым документом в графе 1 основной надписи следует записывать наименование изделия, для которого составлен перечень, а под ним делать запись «Перечень элементов» шрифтом, на один или два размера меньшим того, каким записано наименование изделия; в графе 2 – десятичный номер схемы и шифр «П», присвоенный документу, а за ним – шифр схемы, например, ПЭЗ – перечень элементов схемы электрической принципиальной.

Элементы в перечень следует вносить по группам в алфавитном порядке (латинский алфавит) буквенных позиционных обозначений, а в пределах каждой группы – в порядке возрастания номеров. В графе «Наименование» указывают наименование элемента таким образом, как указано в документации на данное изделие с указанием конкретного нормативно-технического документа (ТУ, СТБ, ГОСТ и т. п.).

Ниже наименования функциональной группы (устройства) оставляют одну свободную строку, выше – не менее одной свободной строки.

Между отдельными группами элементов или между элементами в большой группе рекомендуется оставлять незаполненные строки для внесения изменений. Первую и последнюю строки на каждом листе перечня элементов не заполняют.

Если в перечень вносят элементы одной группы с одинаковым буквенным обозначением, то в графе «Наименование» общее наименование записывают в виде заголовка (без повторения наименования элемента в каждой строке) и подчеркивают сплошной тонкой линией. Элементы одного вида с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме *последовательные порядковые номера*, рекомендуется записывать одной строкой с указанием в графе «Поз. обозначение» обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, а в графе «Кол.» – общее число этих элементов.

Спецификация – основной конструкторский документ, определяющий состав изделия и всей конструкторской документации, относящейся к этому изделию. Ее следует составлять на отдельных листах формата А4 на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект. В зависимости от состава специфицируемого изделия спецификация может состоять из разделов, которые следует располагать сверху вниз в такой последовательности: документация; комплексы; сборочные единицы; детали; стандартные изделия; прочие изделия; материалы; комплекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лабораторные методы исследования в клинике: справочник / под ред. В. В. Меньшикова. – М. : Медицина, 1989. – 364 с.
2. Камышников, В. С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. В 2 т. / В. С. Камышников. – Минск : Беларуская навука, 2000. – 496 с.
3. Попечителей, Е. П. Двухлучевые фотометрические системы для клинико-физиологических исследований : Учеб. пособие / Е. П. Попечителей, Б. И., Чигирев. – Л.: ЛЭТИ, 1991. – 222 с.
4. Приборы контроля окружающей среды / под ред. В. Е. Манойлова. - М. Атомиздат, 1989. – 211 с.
5. Приезжаев, А. В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / А. В. Приезжаев. – М. : Наука, 1989. – 237с.
6. Черницкий, Е.А. Спектральный люминесцентный анализ в медицине / Е. А. Черницкий, Е. И. Слобожанина. – Минск : Наука и техника, 1989. – 140 с.
7. Максимов, М. Т. Радиоактивные загрязнения и их измерение / М. Т. Максимов, Г. О. Оджагов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
8. Андреев, В. С. Кондуктометрические методы и приборы в биологии и медицине / В. С. Андреев. – М. : Медицина, 1993 – 336 с.
9. Долгов, В. В. Фотометрия в лабораторной практике. / В. В. Долгов, Е. Н. Ованесов, К. А. Щетникович. – М. : Техносфера, 2004. – 142 с.
10. СТП 01-2010. Дипломные проекты. Общие требования. – Минск : БГУИР, 2009.а – 150 с.
11. Осипов, А. Н. Электронная лечебная аппаратура / А. Н. Осипов, С. В. Кракаевич, В. М. Бондарик. – Минск : БГУИР, 2008. – 210 с.

Учебное издание

Собчук Николай Сергеевич

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Методическое пособие по курсовому проектированию
для студентов специальности
1-39 02 03 «Медицинская электроника»
всех форм обучения

Редактор Т. П. Андрейченко
Корректор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка Ю. Ч. Ключкевич

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 3,74.
Уч.-изд. л. 3,0.	Тираж 100 экз.	Заказ 438.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6