

## Содержание

Введение	3
1 Обзор существующих методов и аппаратов	4
2 Анализ технического задания	10
3 Разработка структурной схемы	11
4 Разработка схемы электрической принципиальной	13
5 Моделирование работы схемы электрической	16
6 Разработка топологии и конструкции платы печатной	18
7 Разработка конструкции устройства	30
8 Разработка функционального алгоритма и программы работы микропроцессорного блока	32
Заключение	35
Список используемых источников	36

## **Введение**

Физиотерапевтические процедуры оказывают многообразное воздействие на организм человека. В результате их применения исчезают или уменьшаются болевые синдромы, нормализуются секреторная и моторная функции органов, уменьшается активность воспалительных процессов, улучшается трофика органов и тканей, усиливаются репаративные процессы. В основе этих клинических эффектов лежит нормализующее влияние физиотерапевтических процедур на обмен веществ, окислительно-восстановительные процессы, нервно-гуморальную регуляцию функций внутренних органов, крово- и лимфообращения в них. В целом они способствуют мобилизации защитных сил организма.

Наиболее важное место среди комплекса физиотерапевтических процедур по лечению заболеваний нервной и мышечной системы занимает магнитотерапия.

В данной курсовой работе разработан аппарат магнитотерапевтический с низкочастотным переменным магнитным полем воздействия.

Актуальность выбранной темы раскрывается актуальностью объекта и предмета воздействия. Объектом воздействия магнитотерапевтического аппарата является человек и его болезни, предметом воздействия – терапевтические основы проведения процедуры магнитотерапии.

## 1 Обзор существующих методов и аппаратов

Низкочастотная магнитотерапия - лечебное применение магнитной составляющей переменного электромагнитного поля очень низкой и низкой частоты. Для лечебного воздействия используют различные виды низкочастотных магнитных полей: переменное (ПеМП), пульсирующее (ПуМП), вращающееся (ВрМП) и бегущее (БеМП). На рисунке 1 представлены основные виды магнитных полей, используемых для низкочастотной магнитотерапии.

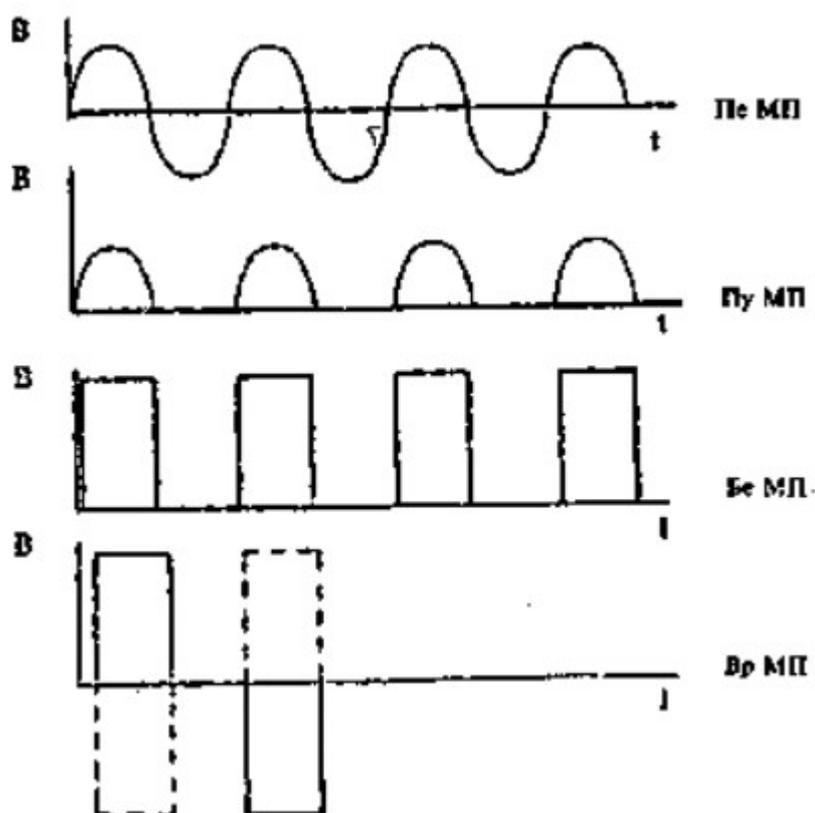


Рисунок 1 - Основные виды магнитных полей, используемых для низкочастотной магнитотерапии: ПеМП - переменное магнитное поле; ПуМП - пульсирующее магнитное поле; БеМП - бегущее магнитное поле; ВрМП - вращающееся магнитное поле. По оси абсцисс: время,  $t$ ; расстояние, по оси ординат: магнитная индукция,  $B$

По степени клинической эффективности воздействию низкочастотных магнитных полей в наибольшей степени подвержены нервная, сердечно-

сосудистая и эндокринная системы. В таких полях увеличивается скорость проведения потенциалов действия по нервным проводникам, повышается их возбудимость, уменьшается периневральный отек.

В настоящее время в лечебных целях используют низкочастотные магнитные поля с частотами 0,125-1000 импульсов, магнитная индукция которых не превышает 100 мТл. В силу того что в физиотерапевтической практике успешно используют различные виды низкочастотного магнитного поля генерирующие их аппараты также разнообразны и многочисленны. Все они снабжены индукторами двух типов: электромагнитами и соленоидами. В ряде аппаратов имеются и полостные индукторы.

Магнитные поля очень низкой частоты (10-100 Гц) создают при помощи аппаратов Полюс-1 (в настоящее время не выпускается), Полюс-2, Полюс-2Д.. Градиент-1, АМТ-01 Магнитер, НЛМ- 1, МАГ-30 и МАГ-30-4. На индукторы первых четырех аппаратов в зависимости от избранного режима можно подавать как переменный, так и пульсирующий однополупериодный ток, т.е. формировать пульсирующее магнитное поле. Магнитная индукция, создаваемая этими аппаратами на поверхности индукторов, не превышает 50-75 мТл, а проникающая способность не превышает 6 см. Переменное магнитное поле низкой частоты (700, 1000 Гц) создает аппарат Полюс-101, магнитная индукция в центре соленоида которого составляет 1,5 мТл, а также аппараты Индуктор- 2У и 2Г, работающие на частоте 5000 Гц и формирующие магнитное поле с индукцией 3 мТл.

На рисунке 2 представлено осуществление воздействия низкочастотной магнитотерапией шейного отдела позвоночника.

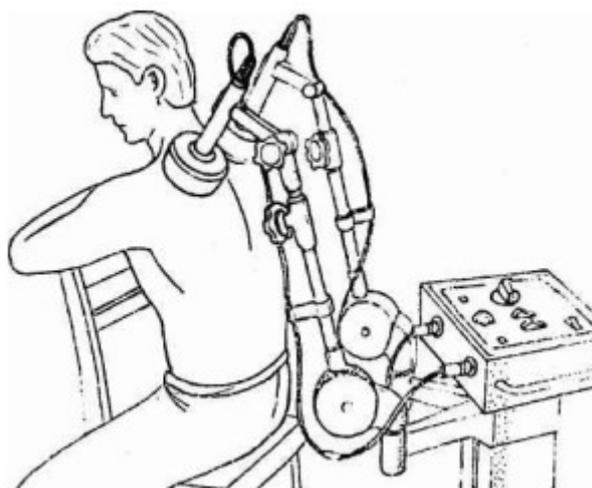


Рисунок 2 - Осуществление воздействия низкочастотной магнитотерапией шейного отдела позвоночника

Для воздействия пульсирующим магнитным полем в частотном диапазоне 0,17-30 импульсов используют аппараты БИОС, Каскад, Эрос, Биопотенцер. Магнитная индукция, создаваемая большинством из них, не превышает 30 мТл. Аппарат БИОС снабжен автоматической программой, позволяющей синхронизировать импульсное магнитное поле с частотой сердечных сокращений больного.

Универсальным аппаратом, позволяющим создавать постоянное, переменное, пульсирующее и импульсное магнитные поля, является ПДМТ, работающий на частотах 25, 50, 75, 100 и 150 импульсов. Создаваемые им магнитные поля имеют индукцию 150 мТл (постоянное) и 100 мТл (низкочастотное). В состав данного аппарата входят 27 индукторов-электромагнитов, а сам он имеет 16 ступеней регулировки магнитной индукции.

Бегущее магнитное поле создают путем подключения к многоканальному генератору системы из разнесенных в пространстве плоских магнитных катушек. Из-за попеременного переключения импульсов тока с одной катушки на другую формируемое магнитное поле "обегает" область тела больного, на которой расположены катушки. К аппаратам, излучающим бегущее магнитное поле, относятся Алимп-1, Атос и Аврора-

МК-01. Первый из них содержит два вида излучателей, собранных в блоки по 3 и 5 соленоидов и образующих пирамиду и цилиндр. Частота следования импульсов генератора электромагнитного поля составляет 10 и 100 импульсов. Магнитная индукция на боковой поверхности индукторов-соленоидов достигает 10 мТл, а в центре - 3 мТл. В аппарате Атос она увеличивается до 33 мТл.

На рисунке 3 представлено воздействие бегущим магнитным полем на левую голень.

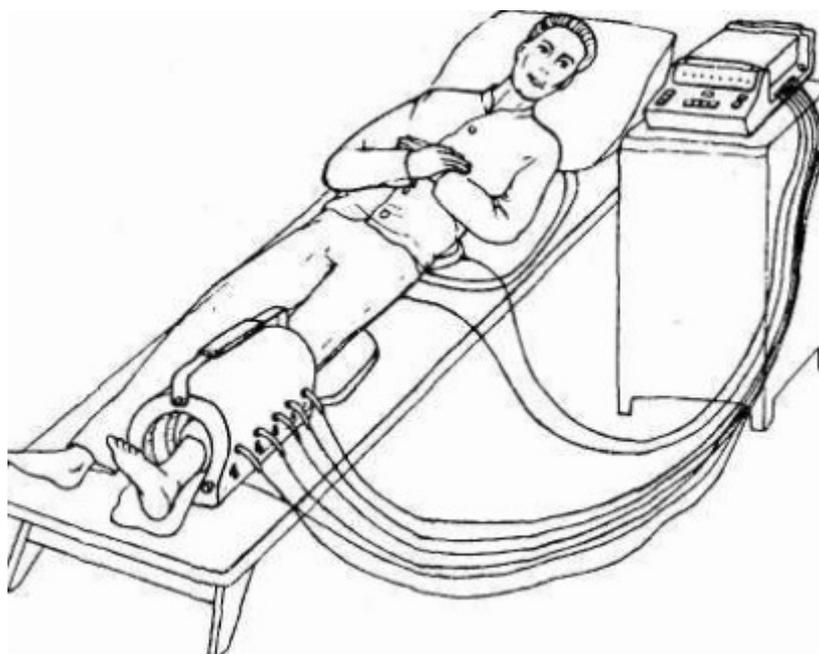


Рисунок 3 - Воздействие бегущим магнитным полем на левую голень

Вращающееся магнитное поле формируют при помощи аппаратов Полюс-3 и Полюс-4, генерирующих магнитное поле с частотой 12-25 импульсов. Индукция создаваемого ими магнитного поля составляет соответственно 30 и 15 мТл, а ее постоянное направление и специальная форма индукторов позволяет осуществить магнитофорез лекарственных веществ.

## **2 Анализ технического задания**

Техническое задание содержит требования к устройству «Аппарат магнитотерапевтический с низкочастотным переменным магнитным полем воздействия». Основные исходные данные о назначении разработки представлены в соответствующем разделе.

С помощью электродов-индукторов осуществляется воздействие низкочастотным переменным магнитным полем на пациента согласно определенным схемам терапии. Конструктивно аппарат выполнен в виде разомкнутого магнитопровода, на котором размещена обмотка из медного провода. Электрическая принципиальная схема аппарата состоит из конденсатора, выполняющего роль реактивного сопротивления, элементов сигнализации и резистора, предотвращающего воздействие электрическим током при касании штырей вилки сетевого шнура выключенного аппарата. Корпус и крышка аппарата выполнены из ударопрочного полимерного материала. Рабочей является нижняя поверхность аппарата.

Блок должен состоять из негерметичного корпуса размерами не более  $200 \times 100 \times 100$  мм и массой не более 1 кг. В корпусе будет размещена печатная плата и магнитопровод.

Для медицинских организаций, эксплуатирующих данный аппарат, имеет место выпуск аппарата в мелкосерийном и массовом производствах.

В конструкции устройства выбираем использование двусторонней печатной платы для обеспечения качественного монтажа. Элементы принципиальной схемы устройства будут иметь выводные корпуса. Радиокомпоненты будут размещены на верхней стороне платы, пайка будет осуществляться на нижней стороне платы согласно рисунку 1 ГОСТ 29137 -91 «Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования».

Печатная плата с установленными компонентами должна крепиться винтами в корпусе на специальные стойки. Габариты корпуса будут зависеть от размеров печатной платы..

### 3 Разработка структурной схемы

Структурная схема разрабатываемого аппарата приведена на рисунке 4.

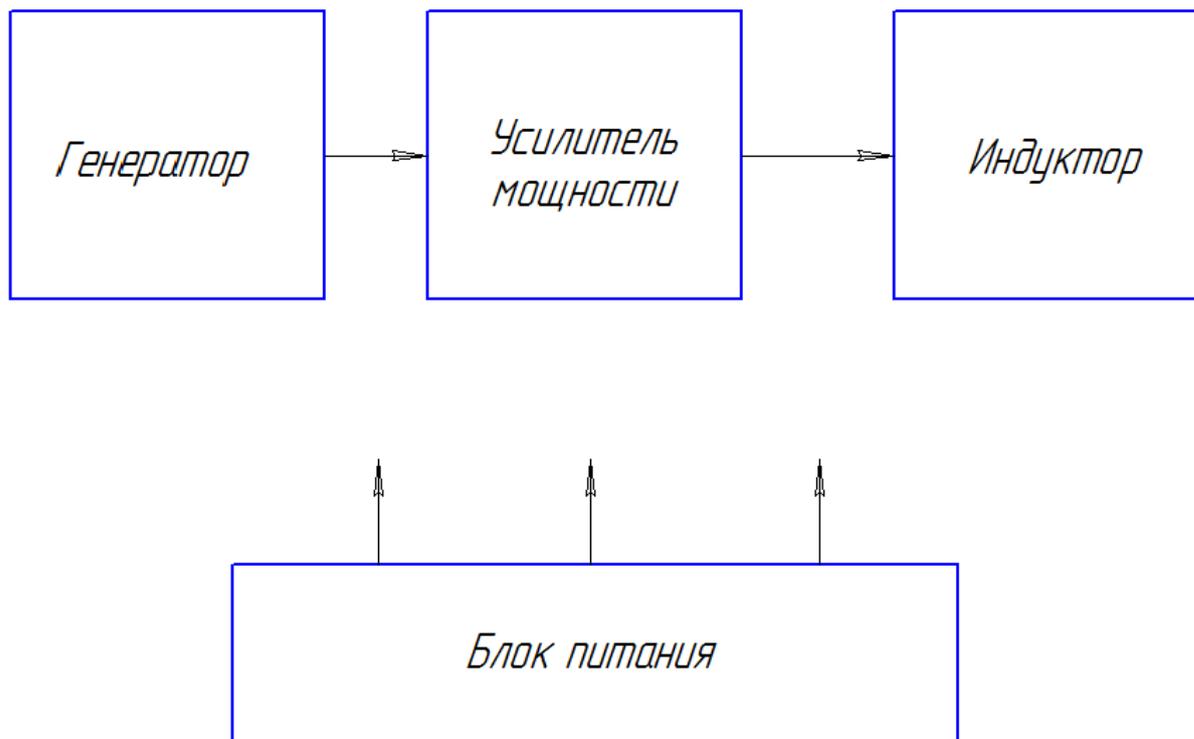


Рисунок 4 – Структурная схема аппарата магнитотерапевтического

Согласно заданию в разрабатываемом приборе должно быть четыре независимых канала стимуляции. Они будут реализованы в использовании режимов низкочастотного переменного магнитного поля. Управление режимами осуществляет микроконтроллер.

При осуществлении магнитотерапевтического воздействия индукторы-соленоиды подключаются к электронному блоку. Генератор представляет собой источник переменного магнитного поля. К выходу генератора подключен усилитель мощности для увеличения мощности воздействия. В генераторе предусмотрена регулировка уровня магнитной индукции от 20 до 455 мТл, осуществляется регулировка диапазона частот выходных импульсов от 1 до 150 Гц. Генераторами осуществляется частота следования пачек импульсов 0,1-1 Гц.

Питание устройства осуществляется от перезаряжаемой батареи или сетевого питания.

#### 4 Разработка схемы электрической принципиальной

На рисунке 5 изображена схема генератора, который построен на базе компаратора напряжения K554CA3A (DA2).

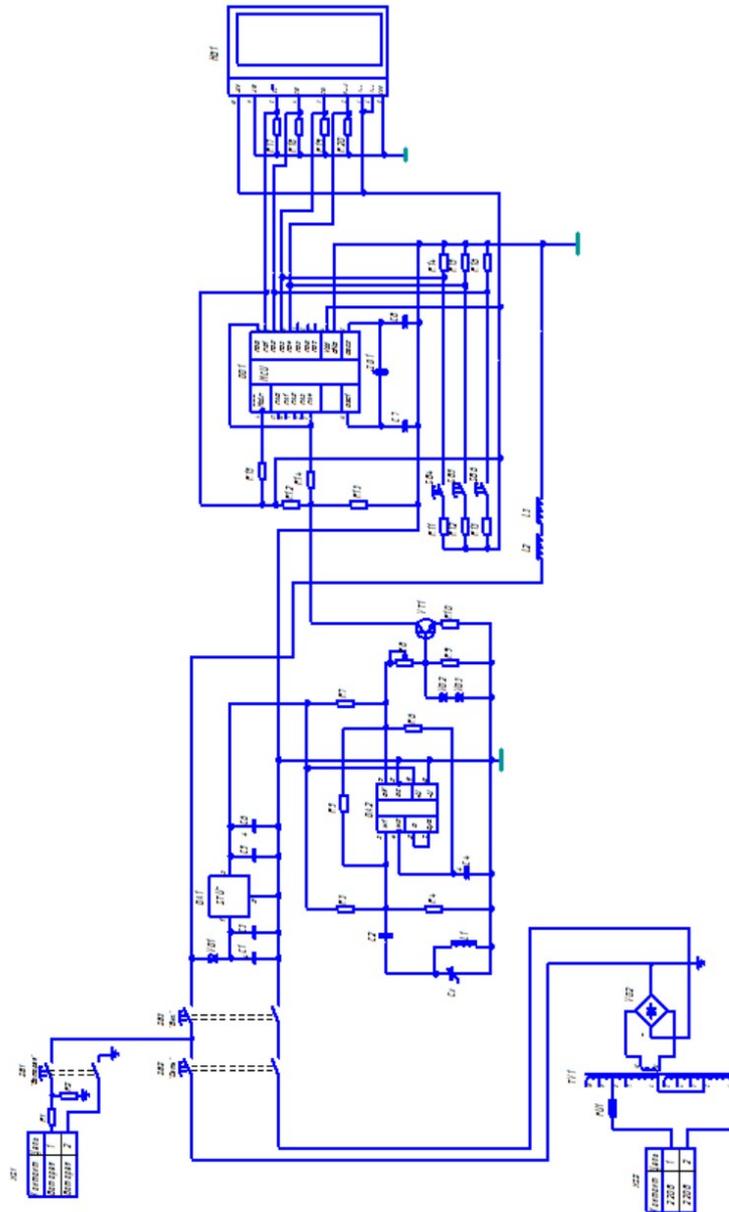


Рисунок 5 – Разрабатываемая схема электрическая принципиальная

Напряжение его питания 5 В стабилизировано интегральным стабилизатором L78L05ACU (DA1), поэтому внешнее напряжение питания может быть нестабилизированным и находиться в пределах от 9 до 12 В. Диод VD1 предназначен для защиты от переплюсовки питания. Частотозадающим элементом генератора служит колебательный контур,

образованный ёмкостью датчика  $C_x$  и катушкой индуктивности  $L_1$ . Компаратор охвачен положительной обратной связью через резистор  $R_3$ . Рабочая точка компаратора задана делителем напряжения  $R_1R_2$  и стабилизирована отрицательной обратной связью по цепи  $R_4C_4$ , не пропускающей переменную составляющую выходного напряжения компаратора.

Генерируемые импульсы поступают на усилитель мощности через буферный усилитель на транзисторе  $VT_1$ . Резистор  $R_8$  ограничивает ток транзистора при замыкании в его коллекторной нагрузке.

В качестве индуктора, воздействующего на пациента, применена индуктивность 09P-103J-50 индуктивностью 10 мГн с сопротивлением постоянному току 35 Ом. Собственная резонансная частота катушки — 410 кГц. Это означает, что её собственная ёмкость — около 15 пФ. Добротность этой катушки, измеренная на частоте 79 кГц, не менее 70.

Основой измерителя служит микроконтроллер PIC16F628A-I/P [3], выполняющий управление процессом измерения, вычисление его результатов и отображение значения измеряемой величины на индикаторе.

Микроконтроллер DD1 воспринимает сигнал генератора по входу RA4, остальные линии его портов использованы для управления индикаторами HG1 — HG4 и приёма сигналов от кнопок управления SB1—SB3.

Напряжение питания 9.12В поступает от внешнего нестабилизированного источника. Потребляемый ток — до 200 мА. Прибор включают выключателем. Дроссели  $L_2$  и  $L_3$  предназначены для устранения паразитной связи между генератором и измерителем через источник питания. Стабилизированное напряжение +5 В для питания микроконтроллера и индикаторов обеспечивает интегральный стабилизатор DA1.

Кварцевый резонатор ZQ1 и конденсаторы  $C_7$  и  $C_8$  — элементы тактового генератора микроконтроллера. Вход MCLR микроконтроллера через резистор  $R_{15}$  подключён к плюсовому проводу его питания. Это сделано для того, чтобы наводки на этот вход, имеющий высокое входное

сопротивление, не приводили к неожиданным перезапускам микроконтроллера.

Индикация организована по динамическому принципу. Низкие логические уровни, поочерёдно устанавливаемые программой на выходах RA0—RA3 микроконтроллера, включают с помощью транзисторов VT2 — VT5 семиэлементные светодиодные индикаторы с общим анодом HG1—HG4. Элементы индикаторов включаются в зависимости от уровней, устанавливаемых программой на линиях RB1—RB7.

Ввиду того что число выводов микроконтроллера ограничено, кнопки SB1 — SB3 подключаем к линиям порта В, уже использованным для управления индикатором. Чтобы совместить две функции, программа каждые 0,2 с на очень короткое (несколько десятков микросекунд) время устанавливает на линиях RA0—RA3, RB2—RB5 высокие уровни напряжения, выключая этим индикаторы, а линии RB1, RB6 и RB7 перенастраивает с вывода на ввод сигналов. Теперь уровни на этих входах зависят от состояния соединённых с ними кнопок (высокий — кнопка нажата, низкий — кнопка не нажата). Определив состояние кнопок, программа возобновляет работу индикаторов.

В режиме индикации через резисторы R15—R17, предназначенные для поддержания низкого уровня на входах, соединённых с ненажатыми кнопками, протекает небольшой ток, который может вызвать подсветку соответствующих элементов индикаторов. Однако сопротивление этих резисторов выбрано достаточно большим, что делает её практически незаметной.

Резистор R12 — нагрузочный для измерительного генератора импульсов. Сигнал, сформированный на нём, через развязывающий резистор R14 поступает на вход RA4 микроконтроллера, переведённый программой в режим входа внешнего тактового сигнала T0CKI для таймера TMR0. Таймер настроен на счёт импульсов по их спадающим перепадам. Параллельно выходу генератора к входу RA4 подключён вывод RB0 микроконтроллера. В

течение времени счёта, равного 0,1 с, RB0 работает в режиме входа, импульсы генератора свободно проходят на T0CKI. По завершении этого интервала программа переводит RB0 в режим выхода, низкое выходное сопротивление которого блокирует прохождение через резистор R14 импульсов генератора. Вместо них на вход T0CKI поступают импульсы, сформированные программно на выходе RB0. Каждый из этих импульсов увеличивает на единицу содержимое регистра предварительного делителя таймера, пока этот регистр не переполнится, что фиксируется по увеличению на единицу содержимого основного счётного регистра. Таким способом удаётся определить, каким было состояние недоступного программе предварительного делителя в момент окончания счётного интервала времени — младший байт числа импульсов генератора, пришедших на вход T0CKI в течение этого интервала. Далее цикл измерения повторяется.

#### **4.1 Компоновочный расчёт**

В разрабатываемой конструкции будет использована качественная и современная элементная база, основные конструктивные и эксплуатационные параметры которой указаны ниже в таблице 1.

Таблица 1 - Основные конструктивные параметры навесных радиоэлементов.

Наименование элемента	Марка (тип) элемента и параметр, определяющий его габаритные размеры	Кол.	Конструктивные	
			Масса, г	Занимаемая площадь, мм <sup>2</sup>
Конденсатор	ЧИП 2512	5	5,5	184,00
	ЧИП Тант. Тип D	3	6,0	200,00
Микросхемы	L78L05ACU	1	2,0	78,75
	K554CA3A	1	2,5	100,00
	PIС16F628A-I/P	1	1,5	85,00
Резистор	ЧИП 2512	19	0,25	22,00
	Потенциометр 3296W	1	1,0	46,00
Транзистор	КТ315А	1	1,5	50,00
Кварцевый резонатор	НС-49U	1	2,0	75,00
Разъем	3М3	3	2,5	80,00
Диоды	MUR120	4	2,0	30,00

В соответствии с приведёнными данными конструктивные и эксплуатационные параметры используемых при разработки радиоэлементов удовлетворяют требования технического задания в разделе условия эксплуатации.

Минимальная площадь печатной платы вычисляется по следующей формуле:

$$S_{\min} = K_3 \cdot S_{el} \quad (1)$$

где  $K_3$  - коэффициент запаса, учитывающий возможности трассировки, назначение и условия эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры;

$\sum Sel$  - площадь, занимаемая всеми электрорадиоэлементами, мм<sup>2</sup>.

Причем, для обеспечения оптимальных условий работы компонентов схемы и использования автоматизированного процесса групповой пайки минимальное расстояние между корпусами соседних электрорадиоэлементов на одной стороне платы должно быть не менее 1,5 мм.

Учитывая необходимость обеспечения требуемых показателей надёжности согласно техническому заданию, значение коэффициента запаса принимаем равным 5.

Значение суммарной площади, занимаемой электрорадиоэлементами на печатной плате, может быть определено:

$$\sum Sel = S_{имс} \cdot n_{имс} + S_r \cdot n_r + S_c \cdot n_c + S_{rr} \cdot n_{rr} \quad (2)$$

где  $S_{имс}$  - площадь, занимаемая микросхемами, мм<sup>2</sup>;

$S_r$  - площадь, занимаемая резисторами, мм<sup>2</sup>;

$S_c$  - площадь, занимаемая конденсаторами, мм<sup>2</sup>;

$S_{rr}$  - площадь, занимаемая разъемами, мм<sup>2</sup>,

$n_{имс}$ ,  $n_r$ ,  $n_c$ ,  $n_{rr}$  – количество соответственно микросхем, резисторов, конденсаторов и разъёмов.

$$\sum Sel = 4 \cdot 184,00 + 4 \cdot 78,75 + 4 \cdot 22,00 + 6 \cdot 46,00 + 2 \cdot 80,00 + 2 \cdot 30,00 = 1500 \text{ мм}^2$$

$$S_{\min} = 5 \cdot 1500 = 7500 \text{ мм}^2$$

По ГОСТ Р 53429-2009 выбираем минимальную длину и ширину печатной платы, которые будут соответственно равны 120 мм и 65 мм.

Однако крепёжные отверстия в разрабатываемой печатной плате регламентированы стойками в выбранном корпусе. Стойки расположены на определённых согласно чертежу расстояниях.

Для повышения механической прочности и жёсткости конструкции

плату печатного узла будем крепить шестью винтами М2,5 по ГОСТ 11738 - 84, все основные и дополнительные присоединительные размеры печатного узла необходимые для его крепления указаны на сборочном чертеже.

## **5 Моделирование работы схемы электрической**

САПР «Proteus» - программный продукт, разработанный компанией Labcenter Electronics. Состоит из двух приложений – ISIS, которое представляет собой виртуальную среду проектирования РЭС, и ARES – графический редактор печатных плат. «Proteus ISIS» построен на основе SPICE и использует смешанный режим симуляции схем электроники и объектов, построенных на основе событий. Используемый симулятор был разработан специально для данной САПР и имеет название «ProSPICE». «Proteus ISIS» имеет множество встроенных анализаторов, в том числе анализатор протоколов SPI и VHDL. Эта система проектирования позволяет описать любое устройство на специально разработанном скриптовом языке «EasyHDL», похожем на BASIC. Библиотека элементов обширна, включает множество семейств микроконтроллеров, а пользователи имеют возможность ее дополнять. Кроме того, существует поддержка проектирования USB устройств и их эмуляции.

Для написания программ для микроконтроллера был выбран язык программирования «Ассемблер», так как он позволяет лучше понять архитектуру устройства. Но стоит заметить, что существуют альтернативы – код можно писать также и на языках «С» и «С++».

САПР «Proteus 8 Demonstration» уже содержит необходимый транслятор и отладчик. Но при работе во встроенном редакторе кода возникают дополнительные сложности. Изменение файла исходного кода нельзя сохранить, а значит, и откомпилировать, в связи с ограничениями данной версии.

В версии «Proteus 8 Demonstration» имеется множество демонстрационных примеров РЭС на базе микроконтроллеров. САПР «Proteus 8 Demonstration» позволяет создать для микроконтроллера стандартный проект исходного кода. [6, С.98]

Пункт «Program File» позволяет загрузить в имитируемое устройство скомпилированный заранее файл программы. Но в данном случае видно, что программа уже подготовила пример, который назначен автоматически. Чтобы попасть в редактор исходного кода, нужно нажать кнопку «Edit Firmware» в правой части данного окна. Вследствие этого программа переправляет пользователя с вкладки «Schematic Capture» на вкладку «Source Code». Они расположены в верхней части окна программы, под панелью инструментов. Отображаемый проект исходного кода предназначен для устройства PIC16F628A-I/P и содержит файл «SCA2005-a.HEX», что отображается в окне «Projects». «SCA2005-a.HEX» - файл кода программы.

Изучение подключения индикатора. Используемая часть схемы приведена на рисунке 6.

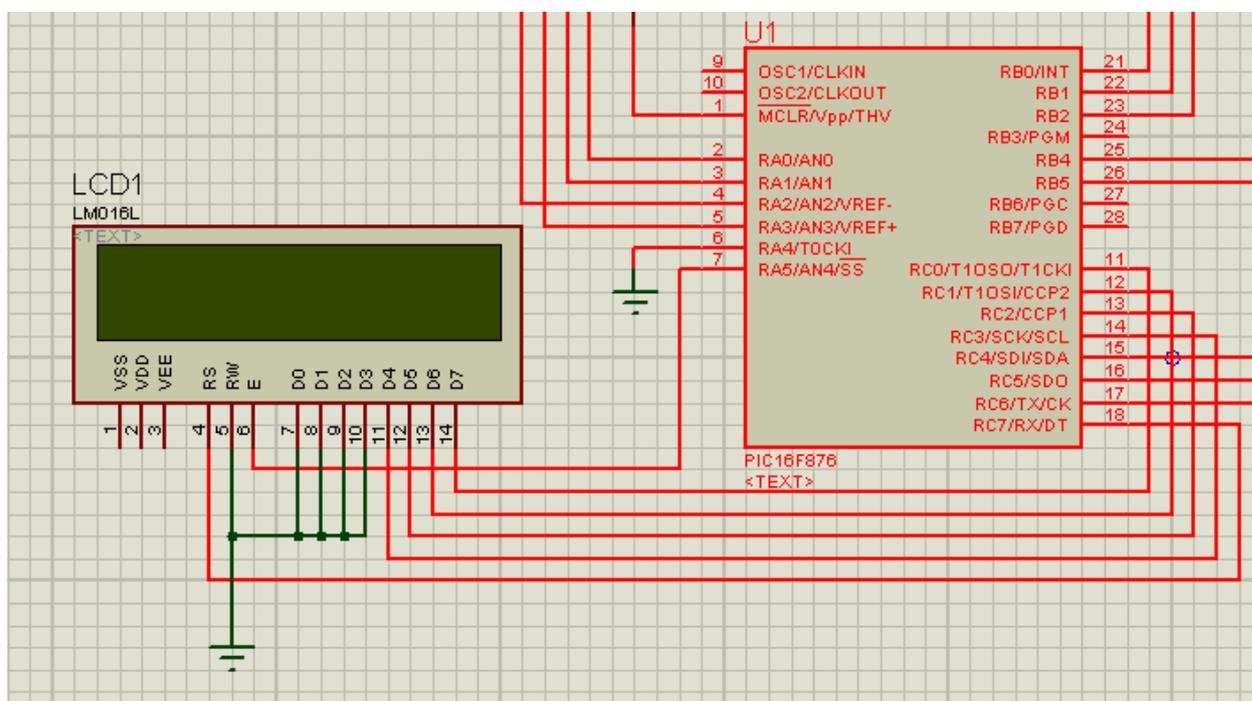


Рисунок 6 – Схема, позволяющая осуществлять управление индикатором

Для выбора секции в данной схеме используется регистр-защелка. На нужные его входы В0-В7 подаются сигналы, которые запоминаются и появляются на его выходах при подаче импульса на его вход «CLK». Данный регистр срабатывает по переднему фронту сигнала.

То есть для отображения числа на необходимых секциях индикатора нужно выполнить следующую последовательность действий:

- а) настроить порт ввода-вывода на вывод;
- б) вывести на его выходы РВ0-РВ7 сигналы для выбора секций
- в) выдать положительный уровень на выход РВ4 для запоминания секций в регистре-защелке и оставить его в таком состоянии, иначе регистр сработает на следующем этапе;
- г) выдать высокий уровень на выходы РВ0-РВ7 для отображения цифры, при этом сигнал РВ4 так же должен быть активен, так как он подается на запирающий вход дешифратора.

## 6 Разработка топологии и конструкции платы печатной

Минимальный диаметр металлизированных переходных отверстий рассчитывается по следующей формуле:

$$d_{MIN} \geq h \cdot \gamma \quad (3)$$

где  $h$  - толщина печатной платы, мм;

$\gamma$  - отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы, зависящее от класса плотности монтажа печатной платы.

Для печатных плат соответствующих второму классу плотности монтажа отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы согласно ГОСТ 23751- 82 принимается 0,40.

При толщине основания печатной платы 1,5 мм минимальный диаметр переходного отверстия будет равен:

$$d_{MIN} \geq 1.5 \cdot 0.4 = 0.6 \text{ мм}$$

Величина минимального диаметра металлизированного монтажного отверстия, используемого для монтажа штыревых выводов навесных элементов, рассчитывается по формуле:

$$d_{MIN} = d_B + f \geq h \cdot \gamma \quad (4)$$

где  $d_B$  - диаметр вывода навесного элемента, мм;

$f$  - технологический коэффициент запаса, мм.

Используя данные, приведенные в подразделе 1.2, установим следующий ряд диаметров выводов применяемых электрорадиоэлементов, принимая во внимание то, что для выводов прямоугольной формы величина диаметра вывода равна значению диаметра описываемой около него окружности, округленного до десятых долей в сторону большего значения: 0,5; 0,6; 0,8; и 1,0 мм. [5]

Коэффициент же запаса на диаметр монтажного отверстия выбирается по [5] в пределах от 0,2 до 0,3 мм, установим его значение равным 0,2 мм.

Таким образом величина минимального диаметра составит:

$$d_{MIN0.5} = 0.5 + 0.2 = 0.7 \text{ мм};$$

$$d_{MIN0.6} = 0.6 + 0.2 = 0.8 \text{ мм};$$

$$d_{MIN0.8} = 0.8 + 0.2 = 1.0 \text{ мм};$$

$$d_{MIN1.0} = 1.0 + 0.2 = 1.2 \text{ мм}.$$

С целью уменьшения числа различных диаметров монтажных отверстий на печатной плате и повышения производительности процесса ее изготовления, по ГОСТ 10317-79 приводим количество монтажных отверстий к пяти видам, имеющим следующие диаметры: 0,7; 0,8; 1,0 и 1,2 мм.

Кроме металлизированных монтажных отверстий печатные платы должны содержать еще и неметаллизированные отверстия диаметром 6,0 мм.

На крепежные отверстия диаметром 6,0 мм устанавливаются допуски в соответствии с 12 квалитетом точности.

Диаметр сверла для получения отверстия с учетом усадки диэлектрика платы рас- считывается по следующей формуле:

$$d_{CB} = d_{MIN} + f_1, \quad (5)$$

где  $f_1$  - технологический коэффициент запаса на диаметр сверла, мм.

Величина технологического коэффициента запаса на диаметр сверла выбирается по [6] в пределах от 0,10 до 0,15 мм, установим его равным 0,1 мм.

Таким образом диаметр сверла для получения отверстия будет равен:

$$d_{CB0.7} = 0.7 + 0.1 = 0.8 \text{ мм};$$

$$d_{CB0.8} = 0.8 + 0.1 = 0.9 \text{ мм};$$

$$d_{CB1.0} = 1.0 + 0.1 = 1.1 \text{ мм};$$

$$d_{CB1.2} = 1.2 + 0.1 = 1.3 \text{ мм}.$$

### **Расчет диаметра монтажных отверстий**

Номинальный диаметр монтажных отверстий рассчитывают из соотношения

$$d - (l \Delta dl) \geq d_{\text{Э}} + r_{\text{Э}} \quad (6)$$

$d$  - диаметр монтажного отверстия,

$l \Delta dl$  - нижнее предельное отклонение диаметра отверстий,

$d_{\text{Э}}$  - максимальное значение диаметра вывода ЭРИ, устанавливаемого на ПШ,

$r_{\text{Э}}$  - разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным диаметром вывода, устанавливаемого ЭРИ.

$$1,5 - (0,05) \geq 1,25 + 0,2$$

Согласно ГОСТ 10317-79 расчетное значение  $d$  округляем в сторону увеличения. Определяем диаметр монтажного отверстия 1.5 мм.

#### **Расчет диаметра контактной площадки**

Минимальный диаметр контактной площадки при использовании фотохимического способа получения рисунка может быть рассчитан:

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1.5 \cdot (h_f + h_{pm}) \quad (7)$$

где  $D_{1\text{min}}$  - минимальный эффективный диаметр контактной площадки, мм.

$$D_{1\text{min}} = 2 \cdot \left( b_{\text{min}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{отв.}} + \delta_{\text{кр}} \right) \quad (8)$$

где  $b_{\text{min}}$  - гарантированный поясок, мм;

$d_{\text{max}}$  - максимальный диаметр просверленного отверстия, мм;

$\delta_{\text{отв.}}$  - погрешность расположения отверстия на печатной плате, мм;

$\delta_{\text{кр}}$  - погрешность изготовления контактной площадки, мм.

Значение гарантированного пояска монтажного отверстия для печатных плат второго класса плотности монтажа составляет 0,035 мм [7].

Погрешность расположения отверстия на печатной плате:

$$\delta_{\text{отв.}} = \delta_0 + \delta_{\text{Б}}, \quad (9)$$

где  $\delta_0$  - погрешность расположения отверстия относительно сетки

координат, обусловленная точностью сверлильного станка, мм;

$\delta_B$  - погрешность базирования печатной платы на станке, мм.

Значения погрешностей расположения отверстия относительно сетки координат и базирования печатной платы на станке выбираем соответственно 0,05 мм и 0,03 мм [7].

$$\delta_{OTB} = 0.05 + 0.03 = 0.08 \text{ мм.}$$

Погрешность изготовления контактной площадки:

$$\delta_{KP} = \delta_w + \delta_{\text{Э}} + \frac{\delta_P + \delta_3}{2} \quad (10)$$

где  $\delta_{\text{Ш}}$  - погрешность контактной площадки на фотошаблоне, мм;

$\delta_{\text{Э}}$  - погрешность расположения элементов при экспонировании, мм;

$\delta_P$ - погрешности, расположения базовых отверстий на фотошаблоне, мм;

$\delta_3$  - погрешность расположения базовых отверстий на заготовке печатной платы, мм.

Значения погрешностей контактной площадки на фотошаблоне относительно за данных координат, расположения печатных элементов при экспонировании и проявлении рисунка, расположения базовых отверстий совмещения на фотошаблоне и расположения базовых отверстий совмещения на заготовке печатной платы выбираем равными 0,05 мм, 0,03 мм, 0,03 мм и 0,05 мм соответственно [7].

$$\delta_{KP} = 0.05 + 0.03 + \frac{0.03 + 0.05}{2} = 0.12 \text{ мм.}$$

Таким образом, величина минимального диаметра контактной площадки:

$$D_{1\text{min}0.7} = 2 \cdot \left( 0.035 + \frac{0.83}{2} + 0.08 + 0.12 \right) = 1.3 \text{ мм;}$$

$$D_{1\text{min}0.8} = 2 \cdot \left( 0.035 + \frac{0.93}{2} + 0.08 + 0.12 \right) = 1.4 \text{ мм;}$$

$$D_{1\text{min}1.0} = 2 \cdot \left( 0.035 + \frac{1.13}{2} + 0.08 + 0.12 \right) = 1.6 \text{ мм};$$

$$D_{1\text{min}1.2} = 2 \cdot \left( 0.035 + \frac{1.33}{2} + 0.08 + 0.12 \right) = 1.8 \text{ мм}.$$

С учетом проведенных выше вычислений и возможностей технологии изготовления печатных плат по заданным классам точности и плотности поверхностного монтажа принимаем номинальные значения диаметров контактных площадок соответствующим их минимальным значениям, т.е. следующему ряду: 1,4; 1,5; 1,7 и 1,9 мм.

### **Расчет ширины печатных проводников**

Суммарная толщина печатного проводника при методе изготовления химического травления фольгированного диэлектрика печатной платы на основе фольгированного материала с толщиной фольги 35 мкм должна быть не менее 75 мкм (толщина самой фольги - 35 мкм, гальваническая медь - 25 мкм, химическая медь - от 2 до 5 мкм, сплав "олово-свинец" - 15 мкм). [6]

В итоге минимально допустимая ширина проводника по постоянному току:

$$t_{\text{min}D} = \frac{5.0}{250 \cdot 75 \cdot 10^{-3}} = 0.27 \text{ мм}.$$

Поскольку при методе изготовления химического травления фольгированного диэлектрика, получаемые печатные проводники состоят из нескольких слоев меди, нанесенных разными способами, и дополнительного покрытия, удельные объемные сопротивления которых различны, то минимально допустимую ширину печатного проводника рассчитывают также с учетом допустимого падения напряжения на нем по следующей формуле:

$$t \min D = \frac{I_{\max} \cdot l}{U_{DOP}} \cdot \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (11)$$

где  $l$  - максимально допустимая длина проводника, определяемая диапазоном частот работы устройства, мм;

$U_{\text{доп}}$  - допустимое падение напряжения, В;

$\rho_i$  - удельное объемное сопротивление, Ом·мм;

$h_i$  - толщина  $i$  - го слоя проводника, мм.

Максимально допустимая длина проводника ориентировочно принимается равной не более 100 мм [5].

Величина же допустимого падения напряжения на печатном проводнике с целью обеспечения заданного порога помехоустойчивости и нормальной работы компонентов схемы устройства должна быть минимальной и ориентировочно соответствует 0,5 В [5].

Значение же удельного объемного сопротивления каждого из слоев, получаемых при методе изготовления химического травления фольгированного диэлектрика по таблице 3.22 [8] принимаем равным: для медной фольги -  $1,72 \cdot 10^{-5}$  Ом·мм, для химической меди - не учитываем из-за ее малой толщины по сравнению прочими слоями, для гальванической меди -  $1,90 \cdot 10^{-5}$  Ом·мм, а для сплава типа "олово-свинец" -  $1,20 \cdot 10^{-5}$  Ом·мм.

Таким образом, минимально допустимая ширина печатного проводника будет равна:

$$t_{\min} D = \frac{1.0 \cdot 100}{0.5} \cdot \left( \frac{1.72 \cdot 10^{-5}}{35 \cdot 10^{-3}} + \frac{1.90 \cdot 10^{-5}}{25 \cdot 10^{-3}} + \frac{1.20 \cdot 10^{-5}}{15 \cdot 10^{-3}} \right) = 0.41 \text{ мм}$$

В результате, учитывая возможности технологии изготовления печатных плат с выполнением печатного рисунка схемы по заданному классу точности, выбираем значение ширины проводника печатного монтажа равным 0,5 мм с допуском на изготовление  $\pm 0,1$  мм.

### **Трассировка печатной платы с использованием волнового алгоритма**

Большинство известных универсальных алгоритмов трассировки основываются на волновом алгоритме определения пути (трассы соединений

элементов), минимизирующем некоторую многомерную функцию качества этого пути. На первом этапе работы волнового алгоритма на множестве дискретов рабочего поля (ДРП) от первого контакта трассируемой цепи (источника) ко второму контакту (приемнику) распространяется числовая волна. При этом последовательно шаг за шагом строится очередной фронт волны, в котором каждому ДРП присваивается вес по формуле  $p_t = p_{t-1} + \varepsilon$ , где  $p_t$  и  $p_{t-1}$  – веса ДРП в  $t$ -м и  $(t-1)$ -м фронтах,  $\varepsilon$  – некоторая функция, в простейшем случае равная  $+1$ ,  $t$  – фронт волны, распространяющийся из ДРП, принадлежащих  $(t-1)$ -му фронту, только на соседние ячейки, имеющие с ячейками предыдущего фронта общую сторону.

Чтобы исключить неопределенности в выборе веса ДРП, которые могут возникнуть при распространении числовой волны и при проведении трассы, вводят путевые координаты, задающие предпочтительное направление движения трассы, например вверх, направо, вниз, налево.

Процесс распространения волны продолжается до тех пор, пока ее расширяющийся фронт не достигнет второго контакта (приемника) или на каком-то шаге не найдется ни одной свободной ячейки, которая могла бы быть включена в очередной фронт, что соответствует невозможности проведения трассы при заданных ограничениях.

Если в результате распространения волны по свободным ДРП коммутационного пространства числовая волна достигнет второго контакта трассируемой цепи (приемника), то процесс распространения волны прекращается и начинается второй этап трассировки – проведение пути. Для этого необходимо, начиная от ДРП, в котором располагается второй контакт (приемник трассируемой цепи), двигаться в направлении, противоположном направлению распространения волны, последовательно переходя от ДРП с большим весом  $p_t$  к соседнему ДРП с меньшим весом  $p_{t-1}$ , следя за тем, чтобы значения веса монотонно убывали. Ячейки ДРП, выделенные в ходе указанного процесса, определяют искомое оптимальное соединение.

Трассировка цепей, содержащих более двух контактов, проводится в несколько этапов. На каждом этапе к цепи присоединяется один контакт, и источником волны для следующего этапа становятся все ранее проведенные проводники, что позволяет получить близкую к минимально возможной суммарную длину всех проводников.

Работа волнового алгоритма представлена на рисунке 7. В данном примере соединяются элементы А и В, расположенные в точках (1, 4) и (4, 7) регулярного МКП. Цифрами 0, 1, 2, ..., 14 показаны “фронты” распространения волны от точки (1, 4) – состояние 0, до тех пор, пока она не достигает точки (4, 7) – состояние 14. Оптимальная трасса получается соединением точек в обратной последовательности 14-13-...-1-0, как трасса, имеющая минимальную длину, обеспечивающая максимальную плотность монтажа и минимальное число изгибов. Штрихами показаны трассы, имеющие ту же длину, но худшие по остальным критериям. Модификации волнового алгоритма направлены на повышение быстродействия и уменьшение требуемого объема памяти.

Структура волнового алгоритма позволяет оптимизировать соединения по различным критериям: количеству пересечений, поворотов проводника, степени приближения проводника к уже проведенным соединениям, минимизации длины соединений и др.

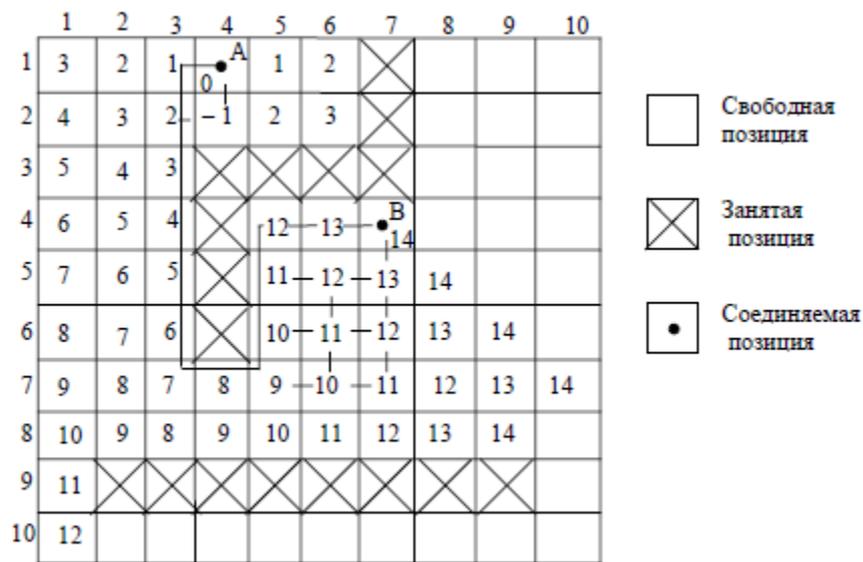


Рисунок 7 - Трассировка соединений волновым алгоритмом

при наличии препятствий

### **Трассировка печатной платы с использованием лучевого алгоритма**

Трассировка с использованием другого эвристического алгоритма – лучевого – показана на рисунке 8. При использовании этого алгоритма между соединяемыми точками А (5, 3) и В (4, 8) проводится луч. Основное направление (0) выбирается из начальной точки вдоль большей стороны прямоугольника, диагональю которого является луч (АВ). При переходе к следующей точке монтажного пространства определяется направление трассы, минимально отличающейся от направления луча. При необходимости обхода препятствий, образованных занятыми позициями, учитываются указанные на диаграмме приоритеты (нумерация направлений), начиная с нулевого. После проведения соединения (или в случае неудачного соединения), направление меняется на противоположное (ВА). Соответственно меняется и приоритет направлений. Из полученных соединений выбирается оптимальное. На рисунке 8 штриховой линией отмечен оптимальный путь (его длина в два раза меньше первого), проложенный при проведении луча от В к А, т.е. в обратном направлении.

Обычно с помощью лучевого алгоритма удается провести до 80% трасс, а более сложные по конфигурации неразведенные трассы проводят с помощью волнового алгоритма или вручную.

В связи с тем, что ни один из известных алгоритмов не гарантирует полной трассировки при автоматизированном проектировании, считается целесообразным, чтобы в развитых системах автоматизированного конструкторского проектирования было несколько различных программ трассировки и имелась возможность их совместного использования при решении одной задачи. Оставшиеся непроложенными после трассировки соединения дорабатываются конструкторами вручную или в диалоговом режиме взаимодействия с ЭВМ.

Трасса выбирается таким образом, чтобы минимизировать совокупный показатель, характеризующий качество трассы по используемым критериям.

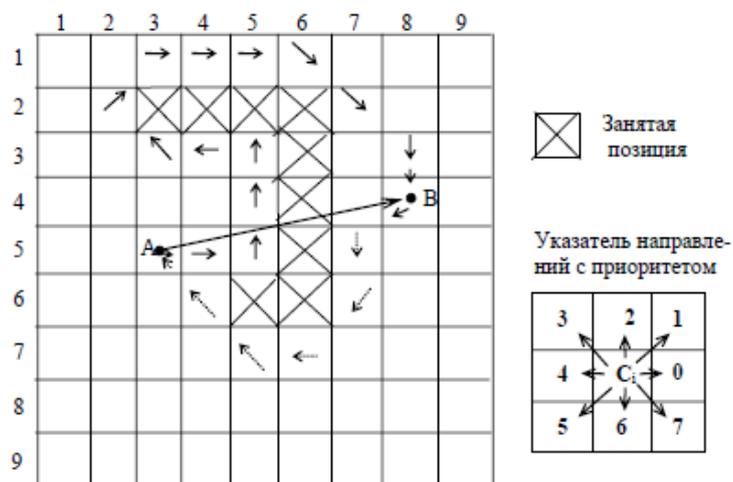


Рисунок 8 - Трассировка соединений лучевым алгоритмом при наличии препятствий

### Выбор оптимального варианта трассировки

Проведя сравнительный анализ полученных вариантов топологии печатной платы, выявили, что некоторые трассы не удалось провести с использованием волнового алгоритма трассировки – трассы между резистором R2 и транзистором VT1, между резистором R9 и конденсатором С6. При использовании лучевого алгоритма все трассы оказались разведены. С точки зрения основных критериев конструирования топологии ПП выбрали лучший вариант алгоритма для данной разработки - лучевой. Для получения более рационального варианта топологии, рисунок соединений печатной платы может быть затем доработан (например, цепи «земли» и питания, как правило, в САПР проводятся проектировщиком вручную после завершения автоматизированной разводки, некоторые проводники могут быть проведены заново и т.д.). По окончательному варианту топологии печатной платы оформили чертеж печатной платы.

Рассмотрев более подробно схему электрическую принципиальную можно прийти к выводу о том, что узел будет обладать средней степенью насыщенности поверхности печатной платы - число многовыводных элементов, в частности микросхем, не превышает 10, а шаг их выводов составляет 2,5 мм, кроме того применяемые навесные электрорадиоэлементы имеют штыревые выводы.

Печатную плату можно отнести к третьему классу точности и второму классу плотности печатного монтажа со следующими технологическими параметрами:

- основной шаг координатной сетки - 1,25 мм;
- наименьшая номинальная ширина проводника - 0,25 мм;
- наименьшее расстояние между элементами печатного рисунка - 0,25 мм;
- минимально допустимая ширина контактной площадки - 0,10 мм;
- отношение номинального значения диаметра наименьшего металлизированного отверстия к толщине печатной платы - 0,40;
- максимальное отклонение расстояний между центрами монтажных отверстий - не более  $\pm 0,10$  мм;
- предельное отклонение ширины печатного проводника, контактной площадки, концевого печатного контакта: без покрытия -  $\pm 0,05$  мм; с покрытием -  $\pm 0,10$  мм.

Шаг координатной сетки 1,25 мм целесообразно использовать в узких местах при прокладке ненагруженных печатных проводников. Во всех остальных случаях по ГОСТ 10317 - 79 допускается использование неосновного шага координатной сетки кратного в целое количество раз основному; предпочтительным в данном случае является значение шага 2,5 мм.

На основе рассмотренных конструктивных требований и ограничений была разработана топология печатной платы.

Для печатных плат соответствующих второму классу плотности

монтажа отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы согласно ГОСТ 23751- 82 принимается 0,40.

При толщине основания печатной платы 1,5 мкм минимальный диаметр переходного отверстия будет равен:

$$d_{MIN} \geq 1.5 \cdot 0.4 = 0.6 \text{ мм}$$

Величина минимального диаметра металлизированного монтажного отверстия, используемого для монтажа штыревых выводов навесных элементов, рассчитывается по формуле:

$$d_{MIN} = d_B + f \geq h \cdot \gamma$$

где  $d_B$  - диаметр вывода навесного элемента, мм;

$f$  - технологический коэффициент запаса, мм.

Используя данные, приведенные в подразделе 1.2, установим следующий ряд диаметров выводов применяемых электрорадиоэлементов, принимая во внимание то, что для выводов прямоугольной формы величина диаметра вывода равна значению диаметра описываемой около него окружности, округленного до десятых долей в сторону большего значения: 0,5; 0,6; 0,8; и 1,0 мм.

Коэффициент же запаса на диаметр монтажного отверстия выбирается по [3] в пределах от 0,2 до 0,3 мм, установим его значение равным 0,2 мм.

Таким образом величина минимального диаметра составит:

$$d_{MIN0.5} = 0.5 + 0.2 = 0.7 \text{ мм};$$

$$d_{MIN0.6} = 0.6 + 0.2 = 0.8 \text{ мм};$$

$$d_{MIN0.8} = 0.8 + 0.2 = 1.0 \text{ мм};$$

$$d_{MIN1.0} = 1.0 + 0.2 = 1.2 \text{ мм}.$$

С целью уменьшения числа различных диаметров монтажных отверстий на печатной плате и повышения производительности процесса ее изготовления, по ГОСТ 10317-79 приводим количество монтажных

отверстий к пяти видам, имеющим следующие диаметры: 0,7; 0,8; 1,0 и 1,2 мм.

Кроме металлизированных монтажных отверстий печатные платы должны содержать еще и неметаллизированные отверстия диаметром 6,0 мм.

На крепежные отверстия диаметром 6,0 мм устанавливаются допуски в соответствии с 12 качеством точности.

Диаметр сверла для получения отверстия с учетом усадки диэлектрика платы рассчитывается по следующей формуле:

$$d_{CB} = d_{MIN} + f_1,$$

где  $f_1$  - технологический коэффициент запаса на диаметр сверла, мм.

Величина технологического коэффициента запаса на диаметр сверла выбирается по [3] в пределах от 0,10 до 0,15 мм, установим его равным 0,1 мм.

Таким образом диаметр сверла для получения отверстия будет равен:

$$d_{CB0.7} = 0.7 + 0.1 = 0.8 \text{ мм};$$

$$d_{CB0.8} = 0.8 + 0.1 = 0.9 \text{ мм};$$

$$d_{CB1.0} = 1.0 + 0.1 = 1.1 \text{ мм};$$

$$d_{CB1.2} = 1.2 + 0.1 = 1.3 \text{ мм}.$$

Максимальный диаметр просверленного отверстия с учетом погрешности, определяется по формуле:

$$d_{MAX} = d_{CB} + \delta d$$

где  $\delta d$ - погрешность сверла, мм.

Принимаем погрешность сверла равной 0,03 мм.

В результате минимальный диаметр просверленного отверстия составит:

$$d_{MAX0.7} = 0.8 + 0.03 = 0.83 \text{ мм};$$

$$d_{MAX0.8} = 0.9 + 0.03 = 0.93 \text{ мм};$$

$$d_{MAX1.0} = 1.1 + 0.03 = 1.13 \text{ мм};$$

$$d_{MAX1.2} = 1.3 + 0.03 = 1.33 \text{ мм}.$$

Наибольшие постоянные токи, исходя из анализа схемы электрической принципиальной, протекают в цепи катушки зажигания и их величина не должна превышать соответственно 5,0 А.

Величина допустимой плотности тока для фольгированного материала по таблице 3.21 [4] составляет 250 А/мм<sup>2</sup>.

Суммарная толщина печатного проводника при комбинированном позитивном методе изготовления печатной платы на основе фольгированного материала с толщиной фольги 35 мкм должна быть не менее 75 мкм (толщина самой фольги - 35 мкм, гальваническая медь - 25 мкм, химическая медь - от 2 до 5 мкм, сплав "олово-свинец" - 15 мкм).

Поскольку при комбинированном методе изготовления, получаемые печатные проводники состоят из нескольких слоев меди, нанесенных разными способами, и дополнительного покрытия, удельные объемные сопротивления которых различны, то минимально допустимую ширину печатного проводника рассчитывают также с учетом допустимого падения напряжения на нем по следующей формуле:

$$l \min D = \frac{I_{\max} \cdot l}{U_{DOP}} \cdot \sum_{i=1}^n \rho_i$$

где  $l$  - максимально допустимая длина проводника, определяемая диапазоном частот работы устройства, мм;

$U_{DOP}$  - допустимое падение напряжения, В;

$\rho_i$  - удельное объемное сопротивление, Ом·мм;

$h_i$  - толщина  $i$  - го слоя проводника, мм.

Максимально допустимая длина проводника ориентировочно принимается равной не более 100 мм [4].

Величина же допустимого падения напряжения на печатном

проводнике с целью обеспечения заданного порога помехоустойчивости и нормальной работы компонентов схемы устройства должна быть минимальной и ориентировочно соответствует 0,5 В [5].

Значение же удельного объемного сопротивления каждого из слоев, получаемых при комбинированном методе изготовления по таблице 3.22 [4] принимаем равным: для медной фольги -  $1,72 \cdot 10^{-5}$  Ом·мм, для химической меди - не учитываем из-за ее малой толщины по сравнению прочими слоями, для гальванической меди -  $1,90 \cdot 10^{-5}$  Ом·мм, а для сплава типа "олово-свинец" -  $1,20 \cdot 10^{-5}$  Ом·мм.

Таким образом, минимально допустимая ширина печатного проводника будет равна:

$$t_{\min D} = \frac{1.0 \cdot 100}{0.5} \cdot \left( \frac{1.72 \cdot 10^{-5}}{35 \cdot 10^{-3}} + \frac{1.90 \cdot 10^{-5}}{25 \cdot 10^{-3}} + \frac{1.20 \cdot 10^{-5}}{15 \cdot 10^{-3}} \right) = 0.41 \text{ мм}$$

Из полученных результатов выбираем наибольшее значение минимально допустимой ширины проводника, определяемой величиной воздействующей на него электрической нагрузки, равной 0,41 мм, тогда при значении нижнего предельного отклонения размера печатного проводника с покрытием соответствующим третьему классу точности (- 0,10) мм номинальная ширина проводника с учетом электрической нагрузки составит:

$$t = 0.41 + |- 0.10| = 0.51 \text{ мм.}$$

Определим минимальную ширину печатных проводников в зависимости от технологии изготовления.

Минимальная ширина проводника из условия обеспечения достаточного сцепления проводников с диэлектриком определяется по формуле:

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1.5 \cdot (h_f + h_{pm})$$

где  $t_{1\min}$  - минимальная эффективная ширина проводника, мм;

$h_f$  - толщина фоторезиста, мм;

$h_{pm}$  - толщина предварительно осажденной меди, мм.

Минимальная эффективная ширина проводника без отслаивания и оптимальная толщина слоя фоторезиста составляют 0,1 и 0,035 мм [3].

Значение толщины предварительно осажденной меди равна 0,008 мм.

$$t_{\min} = 0.1 + 1.5 \cdot (0.035 + 0.008) = 0.1645 \text{ мм.}$$

## **7 Разработка конструкции устройства**

В разрабатываемой конструкции используется типа монтажа - печатный. Печатный монтаж применяется для соединения между собой радиоэлементов, входящих в функционально законченный узел – печатную плату. Крепление будет осуществляться винтами M2.5\*8 и стопорится фиксатором.

### **Выбор способов защиты устройства от внешних воздействий**

Исходя из требований к условиям эксплуатации, записанным в задании, следует, что нет необходимости в применении специальных способов защиты устройства от климатических факторов, вибрации и помехонесущих полей. Корпус устройства осуществляет частичную герметизацию.

### **Выбор способов обеспечения нормального теплового режима устройства**

Компоненты систем функционируют строго в ограниченном температурном диапазоне. Уход температуры за указанные пределы может привести к необратимым структурным изменениям компонентов. Температурный фактор также влияет и на параметры электрических сигналов.

Тепловой режим конструкции считается нормальным, если обеспечивается нормальный тепловой режим всех без исключения составных частей конструкции (ИМС, ЭРЭ, соединений, материалов и т.п.).

Разрабатываемое устройство не будет применяться в условиях повышенных температур, поэтому не требуется специальных способов обеспечения нормального теплового режима (охлаждения).

Для защиты от внешних климатических воздействий размещаем печатную плату с электрорадиоэлементами в пластиковом корпусе, который состоит из основания и крышки.

В корпусе предусматриваем размещение источника питания батареи и переключателя устройства с подсветкой при включённом сетевом питании.

Согласно схеме электрической принципиальной аппарат содержит генераторы импульсов и микроконтроллер, который оказывает воздействие через электроды-индукторы. Для удобства подключения в качестве соединителей выбираем розетки на плату. Они установлены на плате и в корпусе сделаны соответствующие отверстия под данные разъёмы.

Гнездо крепится на корпус с помощью шайбы и гайки.

Конструкционная схема изделия изображена на рисунке 9.

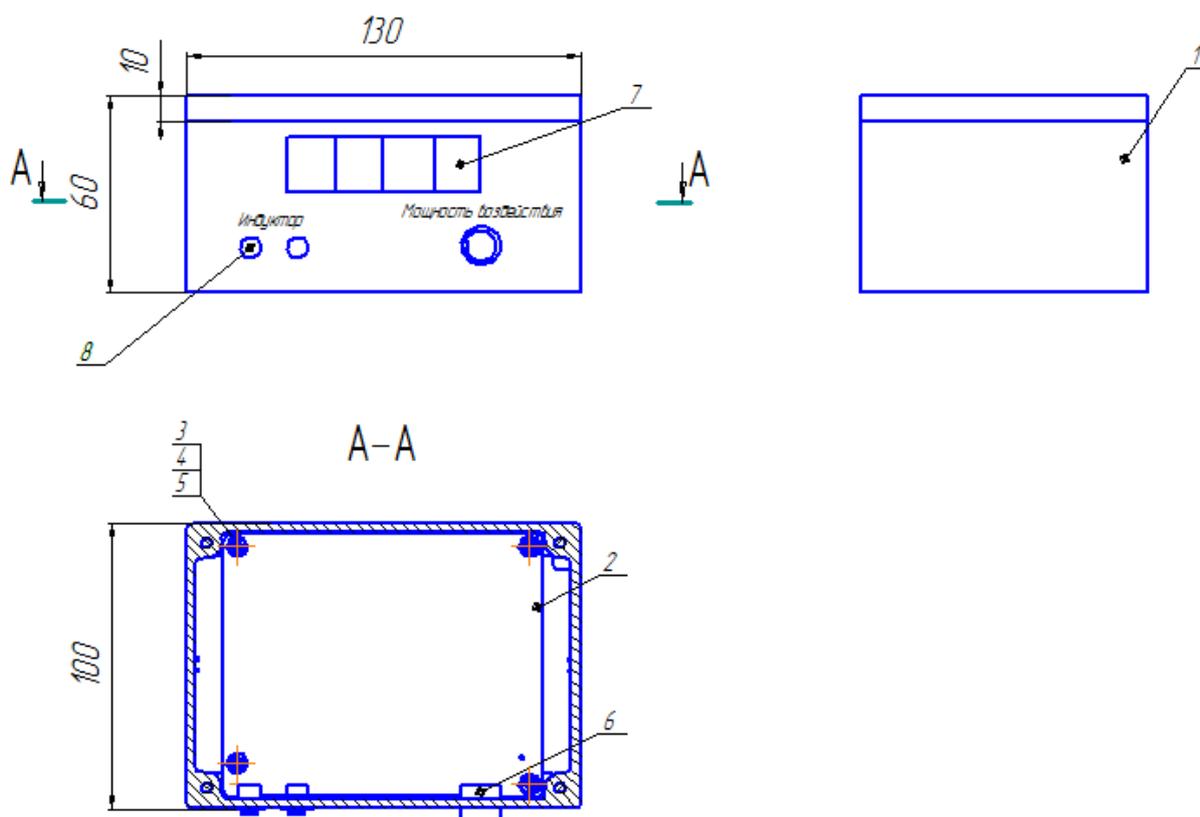


Рисунок 9 – Сборочный чертеж аппарата

На рисунке 10 позициями обозначены: 1- корпус, 2 – печатная плата, 3,4,5 - винты, шайба и гайка, 6 - регулятор уровня мощности воздействия; 7- - индикаторы; 8 - разъем для подключения электродов.

При выборе материалов для изготовления составных частей изделия необходимо определиться в первую очередь с особенностями объекта, в котором будут применяться материалы, и технологией изготовления данного объекта.

Материалом корпуса изделия выбираем АБС-пластик. АБС-пластик - ударопрочная техническая термопластическая смола. Изделия из АБС-пластика используются в температурном диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $90^{\circ}\text{C}$ , что удовлетворяет требованиям технического задания.

Особенностями АБС-пластика является его прочность к внешним ударным воздействиям и сравнительно низкая стоимость. По климатическим требованиям, предъявляемым к устройству, оно соответствовать группе УХЛ 4.2. Данный материал подходит для применения в устройстве.

## 8 Разработка функционального алгоритма и программы работы микропроцессорного блока

Функциональный алгоритм представлен на рисунке 10.

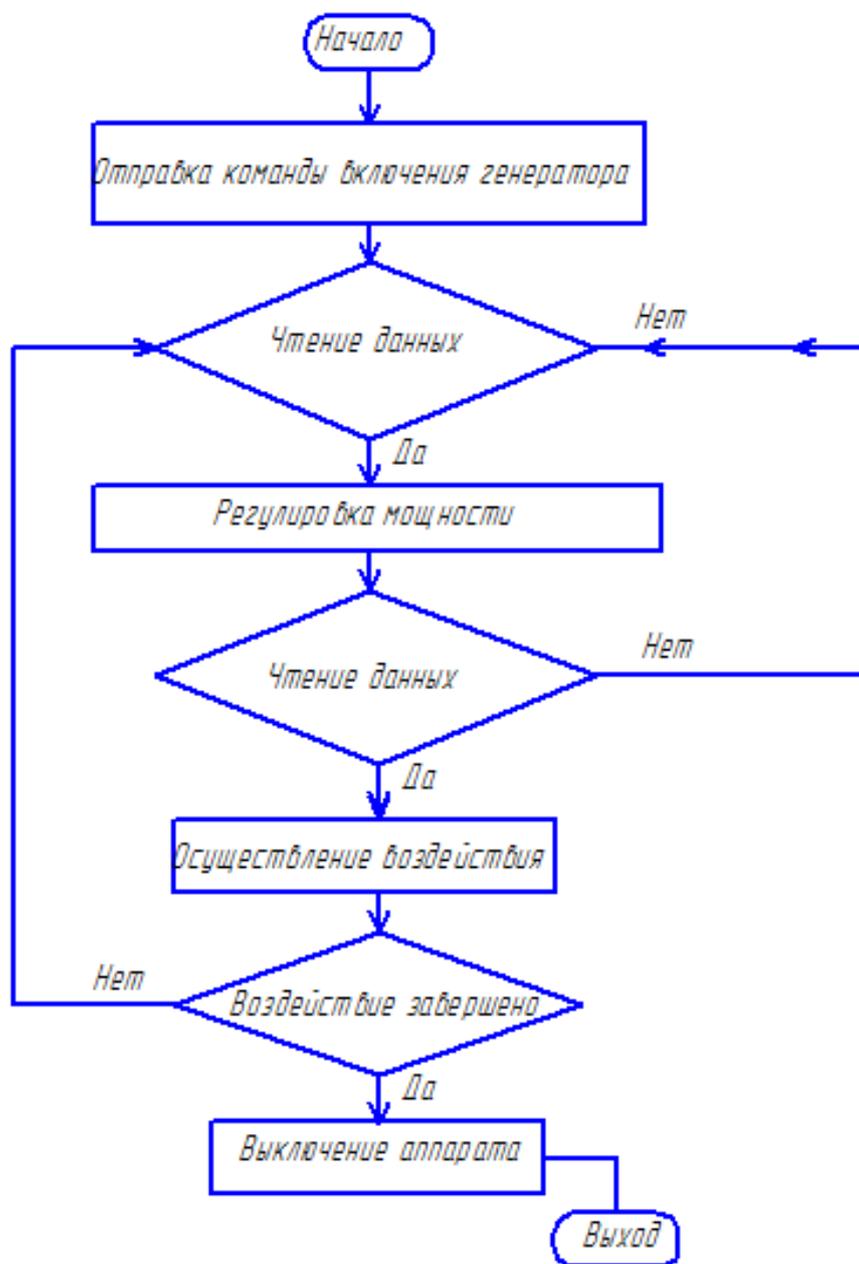


Рисунок 10 - Функциональный алгоритм аппарата магнитотерапевтического

Процедура проводится путем наложения электродов на тело пациента и передачи тока определенных характеристик от аппарата к человеку. Электроды при этом могут быть одноразовыми (клеякими) с применением токопроводящего геля или многоразовыми с использованием влажных

прокладок. Процедура длится в среднем 20—30 минут, лечение курсовое, включающее до 20 сеансов, посещаемых через день.

### Реализация алгоритма в программном коде

Измерение мощности воздействия будем производить по прерыванию окончания преобразования внутреннего АЦП. Выбраны каналы ADC1 и ADC3, то снимаем показания с АЦП, суммируем с прошлыми показаниями и помещаем в буфер, затем выбираем канал ADC0 и ADC2, проделываем те же самые действия для измерения мощности.

```
1 // Измерение мощности с помощью AVR
2 #include <avr/io.h>
3 #include <avr/interrupt.h>
4 #include <util/delay.h>
5 unsigned int voltage, current, adc_counter;
6 volatile unsigned long voltage_value, current_value;
7 // Функции работы с LCD
8 #define RS PD0
9 #define EN PD2
10 // Функция передачи команды
11 void lcd_com(unsigned char p)
12 {
13     PORTB &= ~(1 << RS); // RS = 0 (запись команд)
14     PORTB |= (1 << EN); // EN = 1 (начало записи команды в LCD)
15     PORTB &= 0x0F; PORTB |= (p & 0xF0); // старший нибл
16     _delay_us(100);
17     PORTB &= ~(1 << EN); // EN = 0 (конец записи команды в LCD)
18     _delay_us(100);
19     PORTB |= (1 << EN); // EN = 1 (начало записи команды в LCD)
20     PORTB &= 0x0F; PORTB |= (p << 4); // младший нибл
21     _delay_us(100);
22     PORTB &= ~(1 << EN); // EN = 0 (конец записи команды в LCD)
23     _delay_us(100);
24 }
25 // Функция передачи данных
26 void lcd_data(unsigned char p)
27 {
28     PORTB |= (1 << RS)|(1 << EN); // RS = 1 (запись данных), EN = 1 (начало записи)
29     PORTB &= 0x0F; PORTB |= (p & 0xF0); // старший нибл
30     _delay_us(100);
31     PORTB &= ~(1 << EN); // EN = 0 (конец записи команды в LCD)
32     _delay_us(100);
33     PORTB |= (1 << EN); // EN = 1 (начало записи команды в LCD)
34     PORTB &= 0x0F; PORTB |= (p << 4); // младший нибл
35     _delay_us(100);
36     PORTB &= ~(1 << EN); // EN = 0 (конец записи команды в LCD)
37     _delay_us(100);
38 }
39 // Функция вывода строки на LCD
40 void lcd_string(unsigned char command, char *string)
```

```

39     {
40     lcd_com(0x0C);
41     lcd_com(command);
42     while(*string != '\0')
43     {
44     lcd_data(*string);
45     string++;
46     }
47     // Функция вывода переменной
48     void lcd_num_to_str(unsigned int value, unsigned char nDigit)
49     {
50     switch(nDigit)
51     {
52     case 4: lcd_data((value/1000)+'0');
53     case 3: lcd_data(((value/100)%10)+'0');
54     case 2: lcd_data(((value/10)%10)+'0');
55     case 1: lcd_data((value%10)+'0');
56     }
57     }
58     // Функция инициализации LCD
59     void lcd_init(void)
60     {
61     DDRD = 0xFF;
62     PORTB = 0x00;
63     _delay_ms(50); // Ожидание готовности ЖК-модуля
64     // Конфигурирование четырехразрядного режима
65     PORTB |= (1 << PD5);
66     PORTB &= ~(1 << PD4);
67     // Активизация четырехразрядного режима
68     PORTB |= (1 << EN);
69     PORTB &= ~(1 << EN);
70     _delay_ms(5);
71     lcd_com(0x28); // шина 4 бит, LCD - 2 строки
72     lcd_com(0x08); // полное выключение дисплея
73     lcd_com(0x01); // очистка дисплея
74     _delay_us(100);
75     lcd_com(0x06); // сдвиг курсора вправо
76     lcd_com(0x0C); // включение дисплея, курсор не видим
77     }
78     // вычисляем среднее значение АЦП
79     if (adc_counter > 400)
80     {
81     ADCSRA = 0; // Выключаем АЦП
82     // преобразуем данные в реальное значение
83     voltage = (voltage_value/adc_counter) * 11/4;
84     // преобразуем данные в реальное значение
85     current = (current_value/adc_counter) * 10/4;
86     adc_counter = 0; // Обнуляем счетчик выборок АЦП
87     voltage_value = 0; // Обнуляем буфер значений
88     current_value = 0; // Обнуляем буфер значений
89     // Выводим данные на LCD
90     lcd_com(0xC0);
91     lcd_num_to_str(voltage/100, 2);
92     lcd_com(0xC3);

```

```
    lcd_num_to_str(voltage, 2);
91    lcd_com(0xC9);
92    lcd_num_to_str(current/1000, 1);
93    lcd_com(0xCB);
94    lcd_num_to_str(current, 3);
95    // Включаем АЦП
96    ADCSRA |= (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0) | (
97    1 << ADIE);
98    }
99    _delay_ms(1);
    }
```

## **Заключение**

В курсовой работе было разработан аппарат магнитотерапевтический с низкочастотным переменным магнитным полем воздействия.

Низкочастотная магнитотерапия - наиболее распространенный вид магнитотерапии, при которой с лечебно-профилактическими и реабилитационными целями используют магнитные поля низкой частоты. Для лечебно-профилактического воздействия применяют переменное (ПеМП), пульсирующее (ПуМП), бегущее (БеМП) и вращающееся (ВрМП) магнитное поле. В основе действия лежат те же механизмы и физико-химические эффекты, что и при использовании постоянных магнитных полей. Однако главным действующим фактором является формирование в тканях индуцированных электрических токов, плотность которых определяется скоростью изменения магнитной индукции.

Основной частотный диапазон разработанного магнитотерапевтического аппарата 1-150 Гц. Силу воздействия устанавливают вначале минимальную и постепенно усиливают.

В курсовой работе описано назначение прибора, принципы его работы и анализ технических условий, проведен анализ элементной базы, выбор материалов и покрытий, проведены все необходимые расчеты.

В курсовой работе разработана структурная, электрическая принципиальная схемы, приведён анализ составляющих блоков устройства

## Список используемых источников

1. Методы автоматизированного расчета электронных схем в технике связи: Учеб. пособ. для вузов /Б.А. Балабеков, В.Ю. ЛapidРадио и связь, 1990.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебное издание. -М.: Высшая школа, 1991. –621с.: ил.
3. Ушаков А.А. Руководство по практической физиотерапии. – М.: ТОО «АНМИ», 1996.– 272 с.: ил..
4. Автоматизация схемотехнического проектирования: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Ильин и др. - М.: Радио и связь, 1987.
5. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. -2-е изд., перераб. и доп.- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние, 1988.-304 с.:ил.
6. Улащик В.С., Лукомский И.В. Общая физиотерапия: Учебник. – Мн.: Интерпрессервис, 2003. – 305 с.
7. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: Учеб. пособие для вузов/О.В. Алексеев, А.А. Головков, И.Ю. Пивоваров и др.; Под ред. О.В. Алексеева. – М.: Высш. шк., 2000.
8. Умрихин В.В., Захаров И.С., Ширабакина Т.А., Вахания В.И. Конструкторско-технологическое проектирование электронных вычислительных средств: Учебное пособие/ Курск. гос. техн. ун-т. Курск,2004 – 175с.
9. Савельев М.В. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ.- М. Высшая школа, 2001.-319с.
10. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : Учебник для вузов/ Под ред. В.А. Шахнова .-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана,2002- 528 с.
11. Автоматизация проектирования радиоэлектронных устройств: Учеб-но-методическое пособие для слушателей ФЗО / Горбатенко С.А.,

Горбатенко В.В., Алексеенко С.П., Серeda Е.Н. – Воронеж: ВВШ МВД России, 1998.

12. Усатенко С.Т., Каченюк Т.А., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. М.: Издательство стандартов, 1992. 316с.

13. ГОСТ 2.701-89 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. М., 1989. 8 с.

14. ГОСТ 2.702-91 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. М., 1991. 16 с.

15. ГОСТ 2.708-81 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники. М., 1981. 15 с.