

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

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

**11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

(код и наименование направления подготовки, специальности)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему Модуль измерения электрических величин с беспроводной передачей  
данных

Студент(ка)

Н.О. Волков

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель

А.А. Шевцов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Консультанты

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2016

## Аннотация

В этой выпускной квалификационной работе проводится разработка измерителя электрических величин с беспроводной передачей данных.

В первом разделе бакалаврской работе проводится поиск аналогов разрабатываемого устройства и сравнение их с требованиями предъявляемые техническим заданием.

Во втором и третьем разделах проводится описание алгоритмов работы и рекомендации к выбору и составу основных узлов разрабатываемого устройства.

При разработке принципиальной схемы выбираются элементы измерителя энергетических параметров сети, описываются их технические характеристики, способы по соединению и настройки частей схемы.

Раздел разработки конструкции измерителя энергетических параметров сети включает в себя описание конструкции устройства, разработку и созданию печатных плат устройства с помощью программного пакета DipTrace.

Выполнено 6 чертежей на формате А1. Объем проекта      листов.

Оглавление	
Введение.....	4
1 Обзорная часть. ....	6
2 Структурная схема. ....	14
3 Разработка алгоритмов функционирования устройства.....	15
4 Разработка принципиальной схемы устройства.....	24
5. Разработка конструкции измерителя энергетических параметров сети. ....	49
6. Экономическая часть.....	56
7. Безопасность и экологичность проекта. ....	59
8. Заключение.....	61
Список используемой литературы:.....	62

## **Введение.**

Широкое внедрение современных типов телекоммуникационного, компьютерного оборудования, средств радио и электросвязи, чувствительных к снижению качества электроэнергии, выдвигает на первый план необходимость контроля и обеспечения качества электропитания. Источники вторичного электропитания различных работающих от сети устройств характеризуются коэффициентом мощности. Популярные сегодня импульсные источники вторичного электропитания наряду с несомненными преимуществами имеют, как правило, существенный недостаток. Форма потребляемого ими от сети тока существенно отличается от синусоидальной и его действующее значение намного больше (иногда в несколько раз), чем у чисто резистивной нагрузки той же мощности. Последствия низкого значения коэффициента мощности хорошо известны. Растет ток в подводящих электроэнергию проводах по сравнению с необходимым для передачи заданной мощности. Вместе с током растут бесполезные потери энергии в проводах и в распределительной аппаратуре. Еще одна неприятность — хорошо заметные искажения формы кривой напряжения, связанные с его падением на внутреннем сопротивлении источника (в данном случае — питающей сети) под действием импульсного тока. В системе электроснабжения с большим числом потребляющих импульсный ток нагрузок вносимые ими искажения складываются, в результате чего синусоида приобретает срезанные вершины, а главное, источники питания при низком коэффициенте мощности используются неэффективно.

В последнее время в зарубежной и отечественной электроэнергетике наблюдается переход от традиционных средств учета и измерения (счетчики электроэнергии, ваттметры, варметры, амперметры, вольтметры и т. д.) к многофункциональным квантующим средствам измерений, способным одновременно и в реальном масштабе времени анализировать десятки электриче-

ских величин и параметров энергетических сетей, характеризующих процессы производства, распределения и потребления электрической энергии.

В выпускной квалификационной работе разрабатывается измеритель электрических величин: два канала напряжения и два канала измерения тока

При разработке будем стремиться к тому, чтобы готовое устройство отличалось малыми габаритами и простотой в обращении не требующей специальной подготовки персонала работающего с ним.

## **1 Обзорная часть.**

В этой части проведем краткий сравнительный анализ готовых технических устройств по измерению энергетических параметров сети, представленных на сегодняшний день на рынке.

### **1.1 Счетчик электроэнергии Echelon EM-1021**

Интеллектуальный полнофункциональный однофазный счетчик электроэнергии. Используется для организации учета энергоресурсов у бытовых и мелкомоторных потребителей.

Функциональные возможности счетчика электроэнергии.

- Счетчики электроэнергии соответствуют требованиям МЭК
- Счетчик электроэнергии имеет встроенный выключатель и информационный дисплей
- Точность соответствует 1 классу активной мощности и 2 классу реактивной мощности
- Счетчик электрической энергии работает в однофазных сетях
- Максимальный ток - до 100А
- Счетчики имеют встроенный выключатель, который может управляться вручную (с помощью внешнего рычага) или удаленно, по команде оператора
- Измерение активной мощности, эффективной энергии, реактивной мощности, реактивной энергии, действующего напряжения, действующего тока и коэффициента мощности
- Снятие показаний в зависимости от времени по четырем тарифам
- Счетчики электроэнергии измеряют качество электроэнергии, определяют факт отключения и измеряют их продолжительность
- Поддержка загрузки профилей, сбор до восьми значений с регулируемые интервалами

- Автоматическое периодическое считывание данных при осуществлении биллинга; возможность хранения от 12 до 24 наборов показаний (в зависимости от модели счетчика)
- Счетчик электроэнергии имеет журнал регистрации событий с кольцевым буфером памяти, сохраняет до 100 событий
- Счетчик электрической энергии имеет функцию ограничения по максимальной мощности (ограничение мощности); нагрузка отключается при превышении настраиваемого порога мощности
- Отпуск электроэнергии по кредитной схеме с предоплатой, включая различные варианты в зависимости от времени, настраиваемый аварийный порог кредита и звуковой тревожный сигнал о низком уровне кредита (в зависимости от модели)
- Счетчики электроэнергии имеют систему обнаружения попыток несанкционированных воздействий
- Счетчики электроэнергии имеют возможность автономной работы, а также обмена данными с системой концентраторов Echelon NES DC-1000L по PLC с автоматической функцией повторения, использующим линии силовых электросетей А-диапазона Echelon, соответствующие требованиям Европейского комитета по электротехническим стандартам
- При взаимодействии по линиям силовых электросетей может использоваться 128-ми битное шифрование данных (в зависимости от модели)
- Счетчик имеет сервисную программу инициализации Echelon NES модели 13101, программирование осуществляется с помощью оптического порта
- Система отображения счетчика электроэнергии на жидкокристаллическом дисплее имеет крупные символы, автопрокрутку и кнопку ручной индикации на светодиодах. Счетчик поддерживает определение ли-

нейного трафика и показателей качества принятых сообщений (поддержка некоторых функций зависит от модели)

- Счетчик электрический имеет дополнительный импульсный выход S0 и настраиваемое реле управления
- Два дополнительных канала импульсных входных сигналов для сбора данных с внешних устройств, таких как счётчики расхода газа и воды
- Дополнительная поддержка M-Bus для подключения счетчиков воды, газа, тепла
- Счетчики электроэнергии имеют защиту от короткого замыкания
- Счетчик соответствует стандартам DIN EN 13757-2 и DIN EN 13757-3
- Диапазон рабочих температур: от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$

#### 1.2 Мультиметр энергетический МЭ-01.

Мультиметр энергетический МЭ-01 предназначен для измерения и отображения энергетических параметров сети, используется в системах технического учета и управления.

Функциональные возможности. Мультиметр позволяет измерять и отображать следующие параметры сети:

- текущее значение токов и напряжений по трем фазам
- текущее значение активной, реактивной и полной мощности, а также значения этих параметров по первой гармонике сетевого напряжения
- текущее значение коэффициента мощности и  $\cos\phi$  по каждой фазе,
- коэффициент искажения синусоидальности тока и напряжения по каждой фазе,
- частоту напряжения электрической сети по первой гармонике.

Мультиметр сохраняет данные для построения суточных графиков нагрузки.

С заданным интервалом сохранения МЭ-01 создает архив в одной временной сетке из следующих параметров:

- P, P1, QL1, и QC1
- состояния двух цифровых входов

- значения токовых сигналов на двух аналоговых входах. Измеренные параметры сохраняются в энергонезависимой памяти. Мультиметр энергетический МЭ-01 предназначен для работы в трехфазной электрической сети.

Текущие данные и архив могут быть переданы через интерфейс RS485 (RS232) на удаленный терминал. Скорость передачи данных равна 1200 – 19200 бит/с, при передаче используется логический протокол MODBUS. МЭ-01 обеспечивает ввод установок из компьютера верхнего уровня и сохранение их в памяти.

Питание МЭ-01 осуществляется от сети переменного тока частоты 50 Гц с номинальным фазным напряжением 230 В (допустимые значения в диапазоне от 100 до 250 В). Питание МЭ-01 может осуществляться от одного, двух или трех фазных напряжений.

Потребляемая от сети мощность при номинальном напряжении питания не более 6 ВА.

Электрическое сопротивление изоляции между входными цепями питания МЭ-01 и корпусом в нормальных условиях не менее 20 МОм.

Мультиметр энергетический МЭ-01 зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под номером РБ 03 13 2000 03.

1.3 Счетчик электроэнергии однофазный ЕМУ6557 с розеточным разъемом.

Однофазный счетчик электроэнергии ЕМУ6557 с розеточным разъемом предназначен для прямых измерений энергетических параметров сети.

Технические характеристики счетчика электроэнергии ЕМУ6557

- Подключение: 2 провода, фаза-нейтраль(230В)
- Номинальное напряжение: 176-264В
- Диапазон частот: 45-65Гц

- Измеряемые параметры: активная мощность в сети (Вт/Квт), действующее напряжение в сети, действующий ток в сети.
- Количество разрядов индикатора: 4
- Точковый диапазон: 0,01-16А
- Класс точности: класс 2, IEC 348; IEC 1036, активная энергия
- Внешняя температура: от -10° С до +50° С
- Уровень защиты: 1 IP 20
- Подключение 0.01-16 А (евророзетка)
- Габаритные размеры: 130 x 67 x 73 мм
- Вес :0.36 кг 0.15 кг
- Длина кабеля: 1.00 м

#### 1.4 Электроанализатор UPT210.

Анализаторы качества электроэнергии (электроанализаторы) - общее название класса приборов, предназначенных для измерения, вычисления и регистрации множества параметров, характеризующих количество и качество потребляемой или генерируемой электроэнергии.

Электроанализатор непосредственно измеряет ток и напряжение в сети. Подключение к сети по току осуществляется через измерительные трансформаторы или клещи, а по напряжению - напрямую или через трансформаторы напряжения.

По измеренным значениям вычисляется большой набор параметров, число которых достигает 50. Типичными параметрами, измеряемыми электроанализатором, являются:

- напряжения (фазные и межфазные);
- токи (по фазам и в нейтрали);
- мощности (активная, индуктивная, емкостная по фазам и суммарно);
- потребленная и отпущенная энергия (активная и реактивная);
- частота;

- гармоники тока и напряжения (спектральный состав и суммарный коэффициент);
- коэффициент фликера (величина, характеризующая негармонические искажения напряжения) и другие.

Измерение происходит методом истинного среднеквадратичного значения (TRMS), который является наиболее точным методом измерения при наличии искажений синусоидальности тока и напряжения.

В зависимости от решаемой задачи и характера нагрузки частота измерений параметров может устанавливаться от одного раза в час до нескольких раз в секунду. Электроанализатор обязательно имеет внутреннюю память или цифровой порт для регистрации измеренных параметров или передачи данных на компьютер. С целью экономии памяти некоторые приборы способны запускать регистрацию по внешнему сигналу, например, когда параметр выходит за установленный предел.

С помощью электроанализатора UPT210 можно решать следующие задачи:

- анализ распределения потребленной электроэнергии (технический учет);
- определение эффективности энергоиспользования (энергоченеджмент);
- автоматическое ограничение потребления в часы пика (maximum demand control);
- регистрация параметров качества электроэнергии.

Стационарные электроанализаторы часто имеют дополнительные входы и выходы, что позволяет строить на их основе системы анализа и управления энергопотреблением. ЭТК “Джоуль” специализируется на решении различных задач оптимизации и управления потреблением электроэнергии на базе электроанализаторов производства ALGODUE Elettronica (Италия).

## 1.5 Клещи - ваттметры LH 1050.

Общие характеристики:

- измерение силы постоянного и переменного тока максимально до 1000А
  - измерение полной, активной и реактивной мощности и коэффициента мощности, даже для сетей с искаженной формой сигналов
  - встроенные средства совместимости с трехфазными сетями для сбалансированных нагрузок.
  - измерение истинных среднеквадратичных значений (True RMS) и частоты для тока и напряжения
  - двоянный дисплей для наглядной одновременной индикации результатов измерений в числовой форме и в виде аналоговой полосовой диаграммы с возможностью передачи результатов измерений на ПК
  - регистрация минимальных, максимальных и средних и всех результатов измерений в памяти
  - удовлетворяют нормам IEC 1010 Cat III 600 V – пригодны для работы в зонах с повышенной опасностью по напряжению
  - улучшенные показатели по электромагнитной совместимости для работы с силовой (мощной) электроники
  - задняя подсветка дисплея для лучшей считываемости данных
- Дополнительные возможности модели LH1060:
- измерение пиковых значений тока и напряжения
  - измерение коэффициента гармонических искажений (THD), коэффициента искажений (DF), пик - фактора (коэффициента амплитуды) и неравномерности постоянного тока
- цифровой выход данных по форме волн измеряемых сигналов для проведения гармонических анализов на ПК с помощью аппаратно программно-го комплекса.

## 1.6 Сравнительная таблица .

По приведенным устройствам можно составить сравнительную таблицу.

Название устройства	Измеряемые параметры	Соединение с ПК	Розеточный способ подключения к сети	Количество каналов
Счетчик электроэнергии Echelon EM-1021	I, U, P, Q, S, k	есть	нет	1
Мультиметр энергетический МЭ-01	I, U, f, P, Q, S, k, cosΦ, K <sub>ni</sub> , K <sub>nU</sub>	есть	нет	2
Счетчик электроэнергии однофазный EMU6557 с розеточным разъемом	I, U, P	нет	да	1
Электроанализатор UPT210	I, U, f, P, Q, S, cosΦ, K <sub>ni</sub> , K <sub>nU</sub> и др.	есть	нет	1
Клещи-ваттметры LH 1050	I, U, f, P, Q, S, k, K <sub>ni</sub> , K <sub>nU</sub>	есть	нет	1

Как мы видим из сравнительной таблицы не одно из устройств в полной мере не может удовлетворить требования технического задания, по количеству обрабатываемых каналов (отслеживать не менее 3 одновременно подключенных нагрузок) и условию розеточного-подключение (как наиболее удобный и безопасный способ измерения параметров энергетических параметров сети для каждой отдельной нагрузки).

## 2 Структурная схема.

Прежде всего необходимо определить основные узлы и принципы их работы в разрабатываемом приборе. Анализируя поставленную задачу ясно что прибор должен иметь в своем составе:

Цепи передающие информацию о протекающем токе и напряжении на измеряемой нагрузке по мгновенным значениям которых мы сможем вычислить нужные нам параметры:  $I$ (действующий ток),  $U$ (действующее напряжение),  $P$ (активную мощность),  $Q$ (реактивную мощность),  $D$ (мощность искажений),  $S$ (полную мощность),  $k$ (коэффициент мощности). Цепи передающие информацию о токе и напряжении должны отслеживать постоянный и переменный ток и напряжение на каждой из трех нагрузок. Так как нагрузки соединены между собой параллельно, то для передачи информации о токе удобнее и дешевле всего будет это сделать с помощью шунтов последовательно включенных с измеряемой нагрузкой для снятия напряжения пропорционального протекающему через нагрузку току. Для передачи информации о напряжении целесообразно использовать резистор подключенный параллельно нагрузкам.

Так же в состав измерителя должно входить вычислительное устройство способное обрабатывать сигналы поступающие с цепей передающих информацию о значениях тока и напряжения на измеряемой нагрузке. В качестве вычислительного устройства удобно использовать микроконтроллер. Правильно выбранная модель может удовлетворить все требования предъявляемые нами к этому узлу по обработке информации с помощью встроенного АЦП и АЛУ, управлением устройствами ввода/вывода.

Устройство вывода результатов вычисления и устройство ввода для выбора различных вариантов отображения этих результатов. Устройством вывода лучше всего принять знакосинтезирующий ЖКИ, с встроенным контроллером, это недорогое решение позволяющее легко подключить его к микроконтроллеру. Устройством ввода следует принять кнопки.

Цепи позволяющие подключать устройство к компьютеру через Com-порт. Чтобы соединить микроконтроллер разрабатываемого прибора с ПК через RS-232 нужно использовать преобразователь уровня логики CMOS/RS232.

Для питания устройства необходимо включить в его состав блок питания, а между силовыми цепями схемы с которых снимаются значения протекающих токов и падения напряжения и цепями обеспечивающими вычисление и ввод/вывод информации необходимо обеспечить гальваническую развязку.

На основе этих положений составим структурную схему прибора, рисунок 2.1.

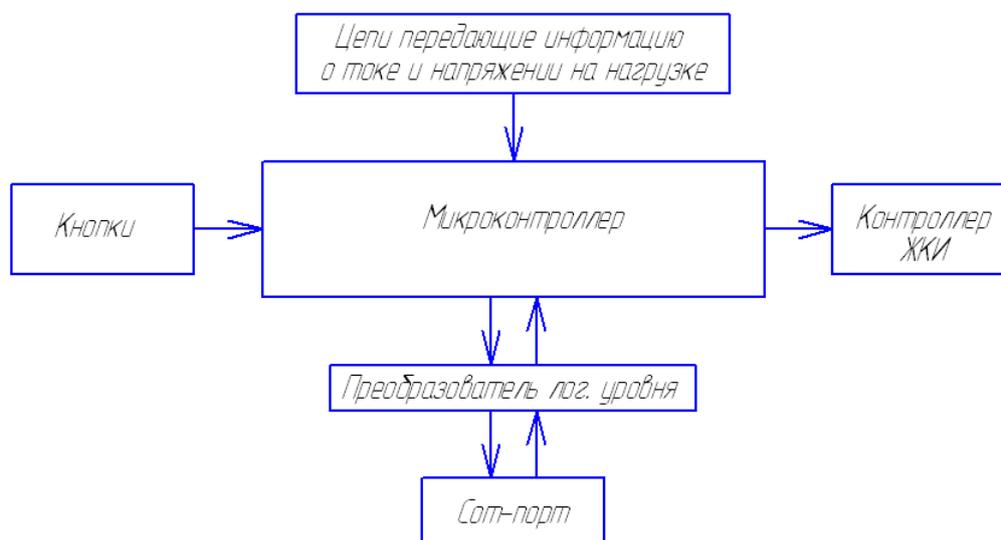


Рисунок 2.1 – Структурная схема измерителя энергетических параметров сети.

### 3 Разработка алгоритмов функционирования устройства.

#### 3.1 Описание вычислительной части алгоритма работы устройства.

Так как мы выбрали устройство на основе микроконтроллера, прежде всего определим алгоритм обработки данных поступающих с цепей передачи информации о токе и напряжении на нагрузке.

Принимать аналоговые сигналы о токе и напряжении на нагрузке микроконтроллер будет через имеющийся в своем составе АЦП. После преобразования в регистры АЦП запишется двоичное число, из этого числа можно восстановить мгновенное значение напряжения и тока на нагрузке. Периодически сохраняя эти значения в ОЗУ микроконтроллера мы получим массивы мгновенных значений напряжений и токов на нагрузке.

Используя к этим массивам прямое преобразование Фурье, нахождение коэффициентов Фурье, равенства Парсеваля и ряд других формул, становится возможным вычислить все требуемые техническим заданием измеряемые параметры потребителя электроэнергии.

Применяя прямое преобразование Фурье к токам и напряжению на нагрузке получим:

$$U(\omega)_k = \sum_{i=0}^{N-1} U_i \cdot e^{\frac{-j2\pi \cdot k \cdot i}{N}}$$

где:  $k$ -номер гармоники

$i$ -номер отсчета

$N$ -количество отсчетов

Перепишем это выражение с учетом теоремы Эйлера:

$$U(\omega)_k = \sum_{i=0}^{N-1} U_i \cdot \left( \cos\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot i}{N}\right) - j \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot i}{N}\right) \right)$$

$\alpha_k, \beta_k$ - коэффициенты Фурье:

$$\alpha_k = 2 \cdot \frac{\sum_{i=0}^{N-1} U_i \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot i}{N}\right)}{N} \quad \beta_k = 2 \cdot \frac{\sum_{i=0}^{N-1} U_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot i}{N}\right)}{N}$$

По равенству Парсеваля следует:

$$U = \sqrt{\frac{\alpha_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \alpha_k^2 + \beta_k^2}$$

где  $M$ - число гармоник

Выражение для действующего тока вычисляется аналогично:

$$I = \sqrt{\frac{\gamma_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \gamma_k^2 + \delta_k^2}$$

Полная мощность:

$$S = U \cdot I$$

Коэффициент мощности:

$$k = \frac{P}{S}$$

Запишем выражения для нахождения остальных измеряемых параметров потребителя взятые из [2].

Активная мощность:

$$P = \frac{\alpha_0 \cdot \gamma_0}{4} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \alpha_k \cdot \gamma_k + \beta_k \cdot \delta_k$$

Реактивная мощность:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^M (\alpha_k \cdot \delta_k - \beta_k \cdot \gamma_k)^2}$$

Мощность искажений:

$$D = \left( \frac{1}{8} \sum_{k=1}^M (\alpha_0 \cdot \gamma_k - \gamma_0 \cdot \alpha_k)^2 + (\alpha_0 \cdot \delta_k - \gamma_0 \cdot \beta_k)^2 + \frac{1}{4} \sum_{k=1}^M \sum_{m=k+1}^M (\alpha_k \cdot \gamma_m - \alpha_m \cdot \gamma_k)^2 + (\alpha_k \cdot \delta_m - \gamma_k \cdot \beta_m)^2 + (\alpha_m \cdot \delta_k - \gamma_m \cdot \beta_k)^2 + (\beta_m \cdot \delta_k - \beta_k \cdot \delta_m)^2 \right)^{1/2}$$

Для начала условимся, как будут происходить выборки мгновенных значений напряжений и токов на потребителе, согласно ГОСТ 13109-97 расчет энергетических параметров следует проводить с точностью до 40 гармоники. Теорема Котельникова гласит что произвольный сигнал  $S(t)$ , с верхней частотой  $f$  может быть полностью восстановлен по последовательности своих отсчетов взятых с интервалом  $t \leq 1/2f$ , следовательно по теореме Котельникова нужно взять не менее 80 отсчетов за период напряжения. Выбирая алгоритм по которому микроконтроллер будет проводить преобразование Фурье

мы отдаем предпочтение алгоритму быстрого преобразования Фурье (БПФ) к достоинствам этого алгоритма можно отнести то что преобразование имеет сложность порядка  $N \cdot \log_2 N$ , вместо  $N^2$  у обычного преобразования Фурье, не требуется сохранять промежуточные результаты вычислений и распространенность открытого кода. Но для работы этого алгоритма требуется, что бы число отсчетов за период равнялось  $2^X$ , где  $X$  – любое число, поэтому прием количество отсчетов  $N=128$ .

Найдем интервал дискретизации:

$$t = \frac{T}{N} = \frac{1}{f \cdot N} = 0,000156 \text{ н.}$$

Оценим приблизительный объем ОЗУ требуемой для выполнения преобразования Фурье на C++. В вычислениях производимых микроконтроллером будем использовать арифметику чисел с плавающей запятой, на запись одного числа в ОЗУ, потребуется 4 байта. Как было сказано выше, программа будет составлять 4 массива мгновенных значений токов и напряжений размерностью 128x1 и 4 массива коэффициентов Фурье размерностью 64x2. Для хранения массивов мгновенных значений токов и напряжений нам понадобится  $(128*4+64*2*4)*4 = 4096$  байт ОЗУ, в целях экономии ОЗУ можно после нахождения массива коэффициентов Фурье записывать этот массив по верх массива мгновенных значений токов и напряжений по которым он был вычислен. Таким образом нам понадобится не менее  $(128*4+64*2)*4 = 2560$  байт ОЗУ.

### 3. 2 Коммуникационная часть

В этом пункте мы условимся каким образом будет осуществляться вывод вычисленных показаний и как пользователь может выбрать измеряемую величину.

По техническому заданию от нас требуется одновременное слежение за тремя потребителями, в качестве устройства вывода был выбран ЖКИ с встроенным контроллером. Выбор отображение на дисплее одновременно всех измеряемых параметров будет не эффективен с точки зрения затрат на

производство устройства и его габаритов. Поэтому в качестве устройства вывода лучше всего выбрать двух строчный знаковосинтезирующий жидкокристаллический индикатор, пользователь с помощью клавиатуры будет выбирать для каждого потребителя свой измеряемый параметр.

Определимся с количеством символов в строке. На первой строке дисплея будет выводиться информация о первых двух потребителях, а на второй строке информация о третьем потребителе. Посчитаем количество символов для первой строки дисплея: для вывода информации о первом потребителе требуется 1 символ для указания измеряемой величины и 6 символов требуется, чтобы отобразить равно, четыре разряда измеряемой величины, запятая. Через два пробела аналогично будет выводиться информация о втором потребителе, таким образом в первой строке должно быть не менее 16 символов. Выберем 16x2 знаковосинтезирующий ЖКИ, дисплей будет иметь вид, изображенный на рисунке 3.1.

U=	2	2	0	.	4			P=	3	2	3	.	1		
			S=	8	7	0	.	6							

Рисунок 3.1 - Отображение информации на дисплее.

Так как мы условились ранее, что первая область дисплея отвечает за отображение показаний с первого потребителя, вторая область со второго, а третья с третьего, а выбор отображаемых результатов измерений будем проводить с клавиатуры, то логичнее всего будет построить клавиатуру из трех кнопок, каждая кнопка ответственна за отображение показаний с одного соответствующего ей потребителя. Последовательность вывода измеряемых величин изображена на рисунке 3.2, переход от текущей величины к следующей осуществляется по нажатию кнопки.

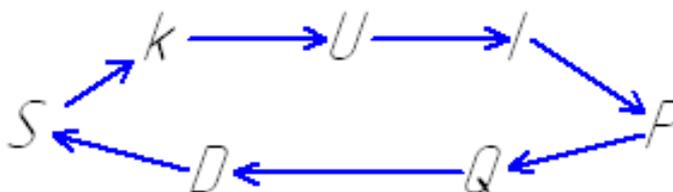


Рисунок 3.2 – Последовательность вывода измеряемых величин потребителя.

Информацию на дисплее желательно обновлять не чаще чем один раз в секунду, в противном случае чтение пользователем показаний измерителя может быть затруднено.

Информация об измеренных и вычисленных значениях будет передаваться по беспроводному каналу на устройства, способные работать с цифровой информацией.

На сегодняшний день наиболее распространенным каналом передачи данных на небольшие расстояния является радиоканал, работающий по протоколу Bluetooth. На рынке представлено большое количество Bluetooth-модулей, которые можно подключать к любому микроконтроллеру посредством последовательного интерфейса, использующего три провода: RX (прием данных), TX (передача данных) и общий. Используя канал Bluetooth множество типов мобильных устройств оперативно смогут получать данные, считанные и преобразованные разрабатываемым модулем.

Поэтому представляется целесообразным в качестве беспроводной передачи данных выбрать именно канал Bluetooth, а в качестве модуля широко распространенный Bluetooth-модуль HC-05.

#### 2.4 Bluetooth-модуль HC-05

Этот модуль представляет собой плату размером 2.7x1.4 см, с 34 выводами с шагом 1.5 мм, расположенных по периметру платы, и имеет на одном из торцов антенну.

На плате расположен чип BC417 от компании Cambridge Silicon Radio, который обеспечивает аппаратную поддержку стека Bluetooth 2.0+EDR (Enhanced Data Rate), а также флэш-память ES29LV800DB-70WGI от Excel

Semiconductor на 8 Мбит (1 МБ), хранящая прошивку и настройки. С оригинальной китайской прошивкой модуль умеет работать в двух режимах: простого «радиоудлинителя [UART](#)» и управления AT-командами. В первом случае всё предельно просто — включаешь модуль, подключаешься к нему с компа или иного устройства, умеющего делать COM-порт по Bluetooth, и шлешь в этот порт данные. Во втором режиме можно управлять модулем посредством AT-команд вида «AT+КОМАНДА».

Для того, чтобы подключить модуль, проясним назначение выводов:

- TX, RX, CTS, RTS — линии UART; CTS и RTS недоступны в данной прошивке
- PCM\_CLK, PCM\_OUT, PCM\_IN, PCM\_SYNC — линии для приёма-передачи звука (недоступны)
- AIO0, AIO1 — линии I/O общего назначения (недоступны)
- RESET — линия сброса (активируется логическим нулём)
- 3.3 V, GND — питание, земля
- NC — не подсоединён (Not Connected)
- USB\_D+, USB\_D- — линии данных USB (недоступны)
- CSB, MOSI, MISO, CLK — линии SPI (CSB — это SS, Slave Select), используются для прошивки чипа
- PIO0 — разрешение/запрет RX
- PIO1 — разрешение/запрет TX
- PIO2-PIO7, PIO10 — линии I/O общего назначения

- P108 — для светодиода, показывающего состояние модуля: светодиод мигает с разной скоростью в зависимости от того, чем занят модуль — опросом Bluetooth-устройств, ожиданием или чем-то ещё
- P109 — для светодиода, показывающего статус соединения: горит, если установлено соединение с другим Bluetooth-устройством
- P111 — для управления режимом работы: по умолчанию режим простого удлиителя UART, а если подать на него логическую 1 — режим AT-команд

Модуль питается от 3.3 В, но его линии I/O могут работать с напряжением 5В, что позволяет подключать его UART к соответствующим выводам нашего микроконтроллера.

### 3.3 Блок схема работы устройства.

На основании выше сказанного построим блок схему работы устройства, изображенную на рисунке 3.3.

Программа начинает свою работу с начала нового периода сетевого напряжения, в течении которого сохраняет показания с интервалом дискретизации  $t$ . После окончания периода начинается подпрограмма нахождения I, U, S, k, P, Q, D. После нахождения измеряемых параметров следует их отправка через RS-232 в ПК. Затем следует опрос клавиатуры, на основании чего определяется, какие измеряемые величины будут выводиться на экран, если прошла секунда с последнего вывода информации на дисплей. После чего программа ждет начала нового периода сетевого напряжения что бы начать вычисления сначала.

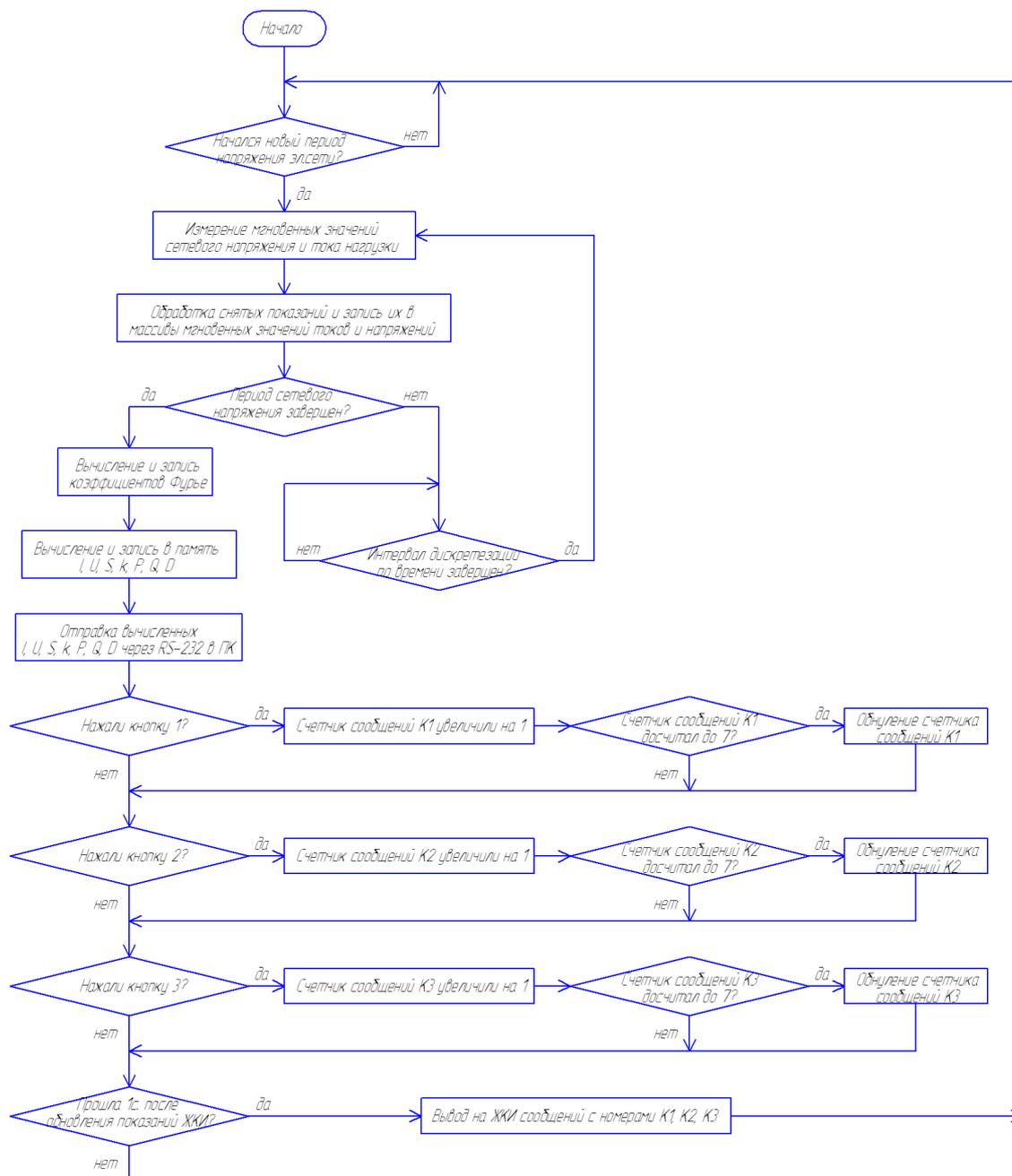


Рисунок 3.3 - Блок схема работы измерителя энергетических параметров сети.

Где K1, K2, K3 - номера подпрограмм выводящих информацию на дисплей о отслеживаемом параметре потребителя и его значении для 1го, 2го, 3го потребителя электроэнергии соответственно.

## 4 Разработка принципиальной схемы устройства.

### 4.1 Описание и настройка используемого микроконтроллера.

В качестве микроконтроллера выбрали 8-битный построенный по КМОП технологии ОМЭВМ АТmega64-16AU, с RISC архитектурой в TQFP64 корпусе. Он имеет в своем составе: 64кБ внутрисистемно программируемой Flash памяти, 2кБ энергонезависимой памяти EEPROM, 4кБ ОЗУ, 32 регистра общего назначения напрямую соединенных с АЛУ, 53 программируемые линии ввода/вывода, два 8-разрядных таймера/счетчика и два 16-разрядных таймер/счетчик с режимом сравнения, сторожевой счетчик, счетчик реального времени, байт ориентированный двухпроводный интерфейс, внутренние и внешние источники прерывания, восьми канальный АЦП с 10-разрядной точностью, два программируемых последовательных USART, JTAG интерфейс, встроенный калиброванный RC – генератор, 6 программно устанавливаемых режимов экономичных режимов работы. Расположение выводов изображено на рис 4.1, назначение выводов см. таблица 4.1. Электрические характеристики АТmega64-16AU приведены в таблице 4.2 .

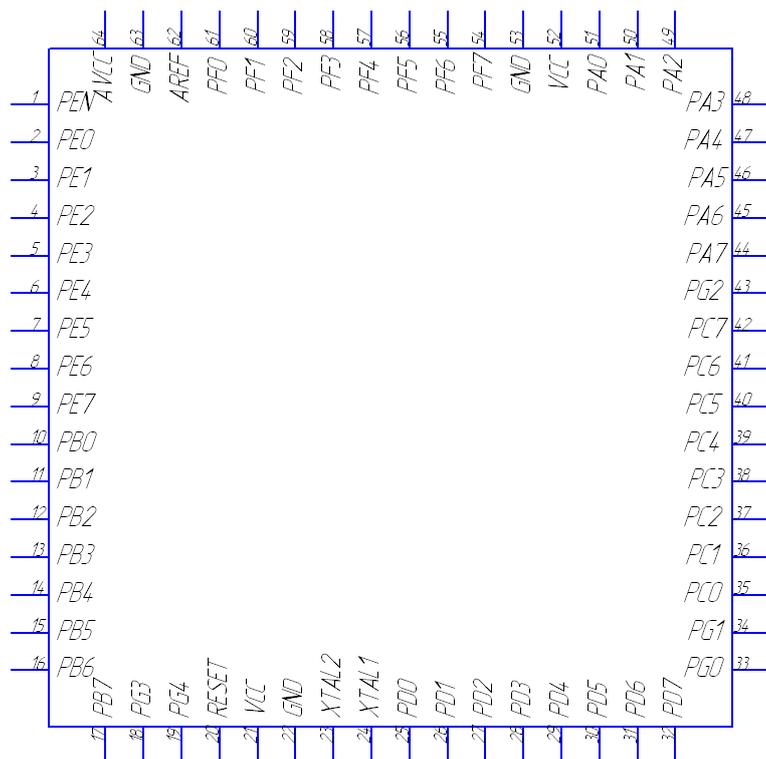


Рисунок 4.1 – Расположение выводов ATmega64-16AU.

Таблица 4.1 – Назначение выводов ATmega64-16AU.

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1	PEN	Вывод активирующий программирование по SPI.
2-9	PE0-PE7	Порт E 8-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.
10-17	PB0-PB7	Порт B 8-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.
33, 34, 43, 18, 19	PG0-PG4	Порт G 5-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.
20	RESET	Вход сброса.
21, 52	VCC	Вывод питания для логики, +5В.
22, 53, 63	GND	Общий вывод.
24, 23	XTAL1, XTAL2	Выводы для подключения внешнего кварцевого резонатора
25-32	PD0-PD7	Порт D 8-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.
35-42	PC0-PC7	Порт C 8-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.
44-51	PA7-PA0	Порт A 8-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.

Продолжение таблицы 4.1

54-61	PF7-PF0	Порт F 8-битный двунаправленный порт с внутренними подтягивающими резисторами. Возможна настройка альтернативных функций порта.
62	AREF	Опорное напряжение АЦП.
64	AVCC	Вывод для питания порта F, +5В.

Таблица 4.2 – Электрические характеристики ATmega64-16AU.

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Минимальное значение	Максимальное значение
Входное напряжение низкого уровня, В	$V_{IL}$	-0.5	$0.2V_{CC}$
Входное напряжение высокого уровня, В	$V_{IH}$	$0.6V_{CC}$	$V_{CC}+0.5$
Выходное напряжение низкого уровня, В	$V_{OL}$	0	0.7
Выходное напряжение высокого уровня, В	$V_{OH}$	4.2	$V_{CC}$
Входной ток низкого уровня, мкА	$I_{IL}$	0	1
Входной ток высокого уровня, мкА	$I_{IH}$	0	1
Напряжение питания, В	$V_{CC}$	4,5	5,5
Ток питания на частоте 8МГц и $V_{CC}=5В$ , мА	$I_{CC}$	15,5	20
Предельно допустимый ток одного вывода, мА	$I_{PIN\ MAX}$	-	20
Сопротивление подтягивающего резистора, кОм	$R_{PU}$	20	50
Частота работы от внешнего резонатора, МГц	$f_{EXT}$	0	16
Частота работы от внутреннего резонатора, МГц	$f_{INT}$	0	8

Тактовые импульсы микроконтроллера будут генерироваться внутренним RC – генератором. Частоту работы микроконтроллера выставим 8 МГц, для обеспечения максимального быстродействия, для этого потребуется специальная настройка Фьюз-битов в программе через которую будем прошивать микроконтроллер.

В качестве входа десяти разрядного АЦП будем использовать по очереди выводы PF0, PF1, PF2, PF3. Вывод PF0 подключается к цепи передающей информацию о напряжении на нагрузках, вывод PF1 о токе через первый

потребитель, вывод PF2 о токе через второй потребитель, вывод PF3 о токе через третий потребитель. Установим верхнюю границу преобразуемого напряжения 2,56В, с помощью внутреннего источника опорного напряжения. Для подавления шумов влияющих на работу АЦП рекомендуется выводы AVCC, VCC связать с цифровым питанием через LC цепь с номиналами: L1=10 мкГн, C1=100 нФ, к выводу AREF так же стоит подключить конденсатор C2=100нФ соединенный с 0В для шунтирования шумов. Выбрали элементы:

L1- EC24-100K±10%

C1, C2- GRM 21 X7R 104 K 25

Характеристики АЦП в режиме одиночного преобразования сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Характеристики АЦП в режиме одиночного преобразования.

Наименование параметра, единица измерения	Минимальное значение	Максимальное значение
Разрешение одиночного преобразования, бит	-	10
Погрешность одиночного преобразования при частоте работы АЦП 1мГц, м.р.бит	0	3
Время преобразования, мкс	13	260
Частота работы АЦП, кГц	50	1000
Напряжение питания АЦП(AV <sub>CC</sub> ), В	V <sub>CC</sub> -0,3	V <sub>CC</sub> +0,3
Опорное напряжение АЦП (V <sub>REF</sub> ), В	2	AV <sub>CC</sub>
Входное напряжение АЦП, В	0	V <sub>REF</sub>
Аналоговое входное сопротивление АЦП, МОм	-	100
Внутр. источник опорного напряжения, В	-	2,56

Работой АЦП микроконтроллера управляют регистры, ADMUX, ADCSRA и ADCSRB. В регистре ADMUX устанавливается с помощью записи числа от 0 до 7 в биты MUX0, MUX1, MUX2, какой из выводов порта F, будет аналоговым входом. Для определения диапазона преобразования АЦП от 0В до +2,56В, требуется включить внутренний источник опорного напряжения, это можно сделать записав лог.1 в REFS1, REFS0(седьмой и шестой биты ADMUX). В регистре ADCSRA осуществляется управление АЦП, пер-

вые 3 разряда этого регистра ADPS0.. ADPS2 отвечают за настройку коэффициента деления тактовой частоты, чем выше частота работы АЦП тем ниже эффективное разрешение. Для разрешения использования АЦП в ADEN (старший бит ADCSRA) необходимо записать лог.1. Что бы начать преобразования нужно в ADSC (шестой бит ADCSRA) записать лог.1. По окончании преобразования бит ADSC сбрасывается, и в ADIF (четвертый бит ADCSRA) аппаратно выставляется флаг окончания преобразования - лог.1. Результаты преобразования считываются из младшего байта ADCL и старшего байта ADCH. После чего выбирается другой аналоговый вход АЦП и аналогично выполняется преобразование. Одно преобразование выполняется за 13 тактов работы АЦП.

Кнопки управляющие выводом измерений на дисплей подключим к PA0, PA1, PA2 для первого, второго и третьего потребителя соответственно. Что бы настроить микроконтроллер для работы с кнопками нужно в первый, второй и третий бит регистра DDRA отвечающего за направление передачи данных записать лог. 0 что бы сконфигурировать выводы PA0, PA1, PA2 как вход. Для ограничения выходного тока или что бы избежать третьего состояния когда вывод микроконтроллера ни к чему не подключен необходимо включить подтягивающие резисторы записав в биты регистра PORTA лог. 1. В качестве кнопки выбрали TS-A6PG-130 с рабочим напряжением 12В и рабочим током 0,05А.

В качестве дисплея был выбран двух строчный знакосинтезирующий ЖКИ DV16230S2FBLY-H/R с управляющим контроллером HD44780, основные технические характеристики DV16230S2FBLY-H/R сведены в таблицу 4.4. Расположение выводов DV16230S2FBLY-H/R описано в таблице 4.5.

Таблица 4.4 - Основные технические характеристики DV16230S2FBLY-H/R.

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Минимальное значение	Максимальное значение
---	-----------------------	----------------------	-----------------------

Входное напряжение низкого уровня, В	$V_{IL}$	-0,3	0,6
Входное напряжение высокого уровня, В	$V_{IH}$	2,2	$V_{CC}$
Выходное напряжение низкого уровня, В	$V_{OL}$	0	0,4
Выходное напряжение высокого уровня, В	$V_{OH}$	2,4	$V_{CC}$
Входной ток низкого уровня, мкА	$I_{IL}$	50	250
Напряжение питания, В	$V_{CC}$	4,5	5,5
Частота работы от внутреннего резонатора, кГц	$F_{INT}$	190	350
Ток питания на частоте 270 кГц и $V_{CC} = 5В$ , мА	$I_{CC}$	0,35	0,6

Таблица 4.5 - Расположение выводов DV16230S2FBL Y-H/R.

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1	GND	Общий вывод
2	VCC	Вывод питания для логики, +5В
3	V0	Напряжение смещения, управляет контрастностью
4	RS	Команда/Данные
5	R/W	Чтение/Запись
6	E	Строб сигнал
7-14	DB1-DB7	Шина данных/команд
15	A	(+) Светодиодная подсветка дисплея
16	K	(-) Светодиодная подсветка дисплея

Соединить дисплей с микроконтроллером можно используя восьми разрядную или четырех разрядную шину данных. В целях повышения скорости передачи информации из микроконтроллера в ЖКИ выбрали восьми разрядную шину. Для соединения понадобится 11 программируемых линий: восемь для передачи данных (DB.0-DB.7), одну для информирования индикатора о направлении обмена (R/W; R/W=1 - чтение, R/W=0 - запись), одну для информирования о типе передаваемых данных (RS; RS=1 - данные, RS=0

- команда), и одну в качестве строб-сигнала E, по перепаду которого из 1 в 0 осуществляется запись данных в индикатор или чтение из него. Естественно, на индикатор нужно подать также питающее напряжение (+ 5 В), соединить его с общим проводом, и подать на вывод V0 некий потенциал от 0 до 5 В, который регулирует контрастность формируемого индикатором изображения. Подсоединим ЖКИ к микроконтроллеру следующим образом: восьми битную шину данных дисплея подключим к В порту микроконтроллера, вывод RS подключим к РС.0, вывод E к РС.1, вывод R/W подключим к 0В т.к. нет необходимости в считывании данных из DDRAM контроллера ЖКИ. Между выводами VCC и GND поставим переменный резистор на 20 кОм, свободный вывод резистора подключим к выводу V0 дисплея. Примем переменный резистор: R-0901N-A-20K-R-25.

Выводы микроконтроллера, к которым подключается ЖКИ необходимо настроить как выходы, записав в регистр DDRB и в 0,1 биты регистра DDRC лог. 1. Для записи символа в дисплей, необходимо выставить лог. 1 в выводах микроконтроллера подключенных к E, R/S и выставить на порт В байт в котором находится ASCII код символа которого мы хотим вывести на ЖКИ, сделать задержку в 1мс, затем установить в E лог. 0, произойдет спад строб-сигнала и в DDRAM контроллера ЖКИ запишется код выводимого символа. Запись команд в контроллер дисплея происходит схожим образом, различие состоит в том, что на выводе R/S лог. 0, а через порт В микроконтроллера выводиться код команды. Новую запись в ЖКИ следующего символа/команды можно производить через 1мс, после окончания предыдущей передачи.

Для настройки и указания режимов работы ЖКИ его нужно инициализировать. По технической документации к контроллеру ЖКИ HD44780 следует через 15 мс после подачи напряжения на ЖКИ послать команду с кодом 0011, затем не раньше чем через 4.1 мс и 100 мкс повторить её еще 2 раза. Далее необходимо установить разрядность шины данных, количество строк в

дисплее, размер шрифта. Для того что бы установить в ЖКИ режим работы с восьмью разрядной шиной, 2 строки, размер шрифта 5x11 нужно послать команду с кодом 00111100. Следующей командой нужно включить дисплей 00001100. Потом нужно очистить содержимое DDRAM и установить курсор в нулевую позицию, код команды 00000001. На выполнение этой команды потребуется значительно больше времени, и следующую команду можно вводить не раньше чем через 2 мс. Затем установим направление сдвига курсора, чтобы после каждой записи символа курсор сдвигался вправо(счетчик адреса увеличивался на 1) нужно в контроллер дисплея послать команду 00000110.

Для передачи результатов измерений в ПК через RS-232 в ATmega64 предусмотрено два встроенных интерфейса USART0 и USART1. Вывод 2- вход приемника USART0 (RXD0), вывод 3- выход передатчика USART0 (TXD0). Для работы USARTn в ATmega64 выделено 5 регистров: 3 регистра управления и состояния UCSRnA, UCSRnB, UCSRnC осуществляющих управления функциями USART, настройку прерываний и слежения за состоянием, регистр UBBRn применяемый для настройки скорости передачи данных с помощью встроенного контроллера, и регистр данных UDnR физически состоящий из двух регистров один из которых используется для передачи данных, а другой для приема данных.

Перед использованием интерфейса USART0 его необходимо инициализировать. Для разрешения работы передатчика и приемника необходимо в RXEN0 и TXEN0 (третий и четвертый биты регистра UCSR0B) записать лог.1. После чего нужно установить формат фрейма передачи данных и количество стоповых битов, что бы за один фрейм передавалось 8 бит данных и было 2 стоп бита нужно в UCSZ00, UCSZ01, USBS0 (первый, второй, третий биты регистра UCSR0C) установить лог.1. Установим скорость передачи данных 19,2 кбит/сек записав в регистр UBBR0 десятичное число 25.

Начать передачу байта данных через USART0 можно скопировав этот байт в регистр данных UDOR. Следующий байт можно записывать в UDOR когда содержимое регистра UDOR было перенесено в сдвиговой регистр, об этом сигнализирует флаг UDRE0 (пятый бит регистра UCSRA) установленный в лог. 1. После записи в UDOR, флаг UDRE0 аппаратно сбрасывается в лог. 0.

Однако, логические уровни МК и Com-порта различны. Потребуется специальная микросхема-переходник, преобразующая логические уровни. Выберем микросхему преобразователь логических уровней TTL/КМОП в RS-232 MAX232ACPE, выпускаемую в пластиковом 16DIP корпусе, схема подключения изображена на рисунке 4.2. Основные электрические характеристики микросхемы MAX232ACPE сведены в таблицу 4.5.

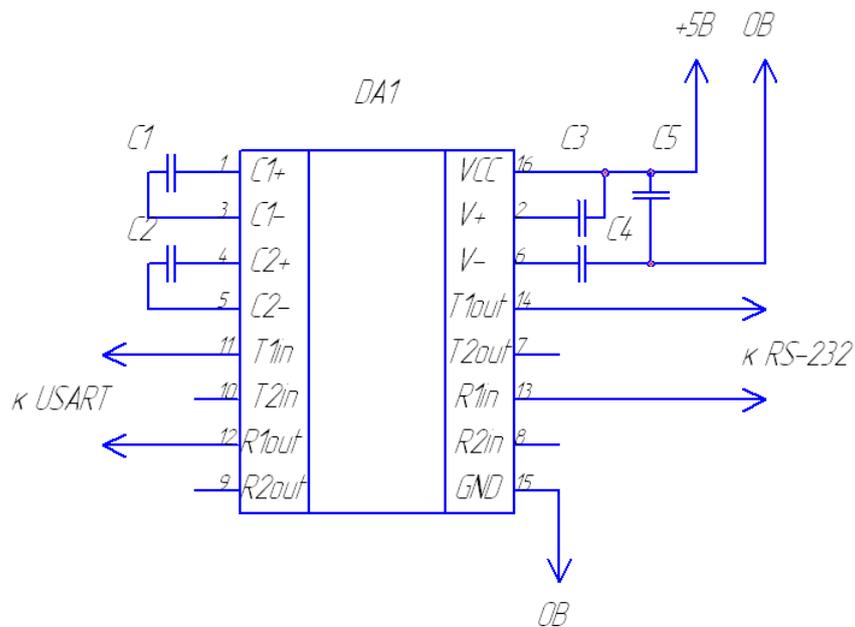


Рисунок 4.2 – Схема подключения MAX232ACPE.

Таблица 4.6 - Основные электрические характеристики микросхемы MAX232ACPE.

Напряжение питания,	Ток потребления, при	Максимальная скорость	Входные напряжения	Входные напряжения	Выходные напряжения	Выходные напряжения

VCC	VCC=5В	передачи данных	для T <sub>in</sub>	для R <sub>in</sub>	жения для T <sub>out</sub>	жения для R <sub>out</sub>
от -0,3В до +6В	15 мА	200 кбит/с	от -0,3В до +5,7В	от -30В до +30В	от -15В до +15В	от -0,3В до +5,7В

По технической документации к микросхеме MAX232ACPE выбрали конденсаторы: C1, C2, C3, C4, C5 - GRM 21 X7R 104 K 25

4.2 Расчет цепей передающих информацию о токе и напряжении на нагрузке.

4.2.1 Расчет цепей передающих информацию о токе через нагрузку.

Как говорилось выше в основе этих цепей будет лежать шунтовой резистор подключенный последовательно с нагрузкой, и передавая мгновенное значение падения напряжения на этом резисторе на АЦП микроконтроллера мы сможем вычислить мгновенный ток через нагрузку. По техническому заданию сказано что максимальный действующий ток на одной нагрузке не должен превышать 10А. На АЦП микроконтроллера напряжение может изменяться в пределах от 0 до +2,56В. Следовательно нижнее амплитудное значение тока должно соответствовать 0В на АЦП-порту микроконтроллера, а верхнее значение соответственно +2,56В. Возникает необходимость введения цепей смещения по постоянному и переменному току. При большом токе протекающем через нагрузку, для уменьшения падения напряжения, а следовательно и рассеиваемой мощности на шунте следует выбрать низкоомный резистор с малым сопротивлением и падением напряжения на нем.

Для смещения и усиления сигнала удобно использовать ОУ включенный по схеме инвертирующего усилителя, изображенного на рисунке 4.3.

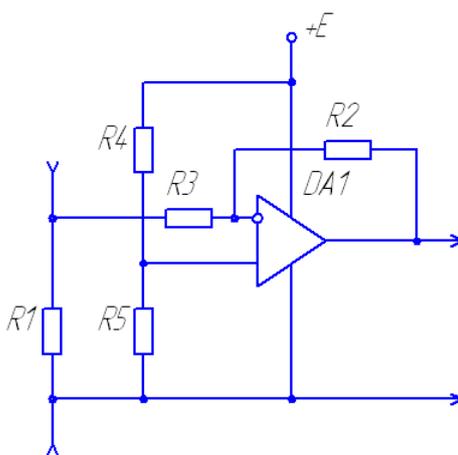


Рисунок 4.3 – Схема цепи передающей информацию о токе через нагрузку.

Исходя из этих условий примем сопротивление шунта:

$$R_1 = 0,01 \text{ Ом}$$

Найдем максимальную рассеиваемая мощность на шунте при 10А:

$$P_{1,\max} = I_{i,\max}^2 \cdot R_1 = 10^2 \cdot 0,01 = 1 \text{ Вт}$$

В качестве шунтового резистора выберем R1-LTO30-30-0.01±1%.

В качестве ОУ выбрали КР140УД1408А выпускающиеся в 8DIP корпусе, технические параметры которого сведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Технические параметры КР140УД1408А.

Число ОУ в одном корпусе	Коэффициент усиления при разомкнутой ОС, не менее	Коэффициент ослабления синфазной составляющей, дБ	Граничная частота усиления, МГц	Напряжение питания, В	Максимальное выходное напряжение, В	Ток питания А
1	$5 \cdot 10^4$	86	0,3	15	13	0,725

Рассчитаем ОУ и цепи смешения, найдем амплитудное значение падения напряжения на шунте:

$$U_{1,\text{дв}} = \sqrt{2} \cdot I_{i,\max} \cdot R_1 = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot 0,01 = 0,1414 \hat{\text{А}}$$

Найдем максимальный коэффициент усиления при котором выходное напряжение с ОУ не будет превышать пределы изменения напряжения на АЦП микроконтроллера, при протекании через шунт тока до 10А:

$$K_{i0} = \frac{U_{\max \text{ АЦП}}}{2 \cdot U_{1,\text{дв}}} = \frac{2,56}{2 \cdot 0,1414} = 9,05$$

Примем  $K_{ou} = 8$ , зная что в инвертирующем ОУ  $K_{i0} = \frac{R_2}{R_3}$ , примем:

R2- RC 0805 D R F 072R 8K

R3- RC 0805 D R F 072R 1K

Подберем резисторы в делителе напряжения для создания цепей смешения ОУ, нужно создать уровень нулевого сигнала лежащего в середине входного диапазона АЦП, найдем этот уровень:

$$U_{\text{дв.дв.}} = \frac{1}{2} \cdot U_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot 2,5 = 1,28 \text{ В}$$

Пересчитаем этот же уровень для входа:

$$U_{\text{вх.см}} = \frac{U_{\text{вх.см.АЦП}}}{K_{\text{ов}}} = \frac{1,28}{8} = 0,16 \text{ В}$$

Т.к. запитали делитель напряжения от +15В источника питания ОУ, то падения напряжения на резисторах R4, R5 будет 14,84В и 0,16В соответственно. Рассчитаем делитель напряжения:

$$I_{\text{дв.дв.}} = \frac{U_4}{R_4} = \frac{U_5}{R_5}$$

Следовательно:

$$\frac{R_5}{R_4} = \frac{U_5}{U_4} = \frac{14,84}{0,16} = 92,75$$

Примем R4, R5:

R4 – RC 0805 D R F 072R 390K

R5 – RC 0805 D R F 072R 4,3K

После передачи сигнала о токе через потребитель на АЦП микроконтроллера и его преобразования получим, десяти разрядное двоичное число -  $X_i$ , восстановить мгновенное значение тока через потребитель можно используя формулу:

$$I_i = \frac{\left(\frac{X_i}{204,6} - 1,28\right) \cdot K_{\text{дв.дв.}}}{R_1} = \frac{\left(\frac{X_i}{204,6} - 1,28\right) \cdot 8}{0,01} = 3,91X_i - 1024$$

#### 4.2.2 Расчет цепи передающей информацию о напряжении на нагрузке.

Основным элементом этой цепи будет делитель напряжения подключенный параллельно нагрузкам, сопротивление этого делителя должно быть достаточно велико что бы минимизировать не нужные потери мощности на измерителе. Так же как и с сигналом с цепей передающих ток через нагрузку, сигнал с цепи передающей информацию о напряжении на нагрузке должен изменяться в пределах от 0 до +2,56В. Следовательно встает необходимость вводить цепи смещения. Используем схему преобразования аналогово сигнала

ла, что и в пункте 4.1.1, но шунтовой резистор заменим делителем напряжения построенном на резисторах R1, R2 включенных параллельно нагрузкам, схема цепи передающей информацию о напряжении на нагрузках изображена на рисунке 4.4.

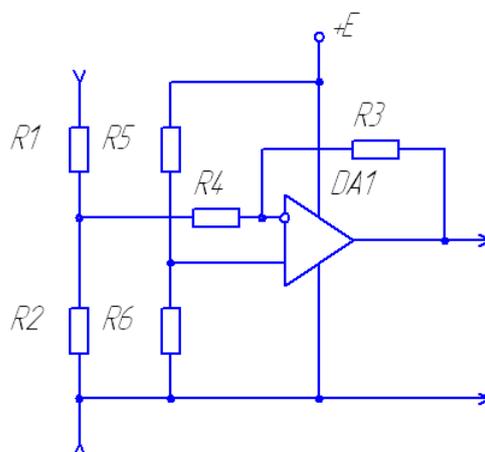


Рисунок 4.4 – Схема цепи передающей информацию о напряжении на нагрузках.

Создадим такой делитель напряжения на резисторах R1, R2 что бы амплитуда колебания напряжения на R2 не превышала 1,28В примем максимально возможное напряжение в сети 242В согласно ГОСТ 721 и ГОСТ 21128. Найдем номинальных сопротивлений R1, R2:

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{U_{н.а.н.е}}{1,28} = \frac{242 \cdot \sqrt{2}}{1,28} = 267,4$$

Следовательно получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = 266,4$$

Отношение R1 к R2 не должно быть меньше 135,9, в противном случае амплитуда колебания напряжения на R2 будет больше 1,28В. Исходя из этого условия выберем номиналы резисторов образующих делитель напряжения, примем:

$$R1 = 200 \text{ кОм}$$

$$R2 = 750 \text{ Ом}$$

Найдем максимальную мощность рассеиваемую на резисторах R1, R2. Найдем ток через делитель напряжения:

$$I_{\text{дв.д.}} = \frac{U_{\text{дв.д.}}}{R_1 + R_2} = \frac{242}{200000 + 750} = 0,001 \text{ A}$$

Рассчитаем мощность рассеиваемую на R1, R2:

$$P_{R1} = I_{\text{дв.д.}}^2 \cdot R_1 = 0,001^2 \cdot 200000 = 0,29 \text{ Вт}$$

$$P_{R2} = I_{\text{дв.д.}}^2 \cdot R_2 = 0,001^2 \cdot 750 = 0,0007 \text{ Вт}$$

По проведенным вычислениям выберем резисторы R1, R2:

R1 - МЛТ-0,5-200К±1%

R2 -МЛТ-0,25 -750±1%

Рассчитаем ОУ и цепи смещения, найдем амплитудное значение падения напряжения на резисторе R2:

$$U_{R2\text{дв.д.}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{дв.д.}} \cdot R_2 = \sqrt{2} \cdot 0,001 \cdot 750 = 1,28 \text{ В}$$

Примем Коу = 1, исходя из формулы коэффициента усиления в инвертирующем ОУ, примем:

R3- RC 0805 D R F 072R 10K

R4- RC 0805 D R F 072R 10K

Подберем резисторы для создания цепей смещения ОУ, нужно создать уровень нулевого сигнала лежащего в середине входного диапазона АЦП, как было рассчитано в 4.2.1 это +1,28 В. Т.к. Коу = 1 , а напряжение питания +15В то для создания подобного смещения сигнала номинальные сопротивления R5, R6 должны быть:

$$\frac{R_5}{R_6} = \frac{U_5}{U_6} = \frac{14,72}{1,28} = 11,5$$

Следовательно, примем:

R5 - RC 0805 D R F 072R120K

R6- RC 0805 D R F 072R 10K

После передачи сигнала о напряжении на АЦП микроконтроллера и его преобразования получим, десяти разрядное двоичное число -  $Y_i$ , восстановить мгновенное значение напряжения на потребителе можно используя формулу:

$$U_i = \left( \frac{Y_i}{204,6} - 1,28 \right) \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \left( \frac{Y_i}{204,6} - 1,28 \right) \cdot 267,4 = 1,31 \cdot Y_i - 342,27$$

### 4.3 Расчет гальванической развязки.

Гальваническую развязку аналогового сигнала удобно осуществлять с помощью микросхем ПНЧ/ПЧН модуляторов. Суть этого способа состоит в том, что подавая на вход ПНЧ модулятора напряжение снятое с выхода цепей передающих информацию о токе или напряжении на нагрузке, на выходе ПНЧ мы получаем последовательность импульсов с частотой пропорциональной входному напряжению. Последовательность этих импульсов подаем на вход транзисторной оптопары которая и осуществляет гальваническую развязку сигнала. Выход оптопары подключаем ко входу ПЧН и снимаем последовательность импульсов напряжения, на выходе ПЧН получаем среднее значение аналогового напряжения пропорциональное частоте импульсов входного сигнала. Гальвано развязанный сигнал подаем на АЦП микроконтроллера.

В качестве ПНЧ/ПЧН выбрали микросхемы 1108ПП1 выпускаемые в корпусе 201.14-10, параметры микросхемы сведены в таблицы 4.8 – 4.11.

Таблица 4.8 – Назначение выводов микросхемы 1108ПП1.

Номер вывода	Назначение вывода
1	Инвертирующий вход
4	Питание (минус) $U_{CC2}$
5	Конденсатор одновибратора
6	Вход блокирования
7	Частотный выход
9	Вход компаратора неинвертирующий
10	Вход компаратора инвертирующий
11	Земля
12	Питание (плюс) $U_{CC1}$
13	Аналоговый выход
14	Неинвертирующий вход

Таблица 4.9 – Электрические параметры микросхемы 1108ПП1.

Наименование параметра, единица измерения	Буквен. обозначение	Норма
---	---------------------	-------

		не менее	не более
Напряжение питания, В	$U_{CC1}$ $U_{CC2}$	14,25 -15,75	15,75 -14,25
Входное напряжение высокого уровня, В	$U_{IH}$	0,9	3,0
Входное напряжение низкого уровня, В	$U_{IL}$	-3,0	-0,9
Выходное напряжение высокого уровня, В	$U_{OH}$	2,4	15,75
Выходное напряжение низкого уровня, мВ	$U_{OL}$	-	400
Выходной ток низкого уровня по частотному выходу, мА	$I_{OL}$	2,0	15,0
Выходной ток по аналоговому выходу, мА	$I_O$	0	0,5
Напряжение смещения нуля на входе напряжения, мВ	$U_{IO}$	-4	4
Ток потребления по положительному источнику питания, мА	$I_{CC1}$	-	6
Ток потребления по отрицательному источнику питания, мА	$I_{CC2}$	-	6
Входной ток смещения нуля по не инвертирующему входу, нА	$I_{IO1}$	-	150
Входной ток смещения нуля по инвертирующему входу, нА	$I_{IO2}$	-60	60
Нелинейность АЦП в диапазоне 10кГц, млн <sup>-1</sup>	$\delta_{LUF1}$	-	100
Нелинейность АЦП в диапазоне 500кГц, млн <sup>-1</sup>	$\delta_{LUF2}$	-	2000
Нелинейность ЦАП в диапазоне 10кГц, млн <sup>-1</sup>	$\delta_{LFU1}$	-	100
Нелинейность ЦАП в диапазоне 500кГц, млн <sup>-1</sup>	$\delta_{LFU2}$	-	2000
Абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы АЦП, %	$\delta_{FS}$	-10	10

Таблица 4.10 – Подключения внешних элементов при работе микросхемы в режиме ПНЧ.

Диапазон	“10кГц”	“500кГц”
C1	10 нФ±5%	1 нФ±10%
C2	3600 нФ±5%	100 нФ±10%
R1	40,2кОм±0,5%	20 кОм±0,5%
R2	560 Ом±5%	330 Ом±5%

Таблица 4.11 – Подключения внешних элементов при работе микросхемы в режиме ПЧН.

Диапазон	“10кГц”	“500кГц”
C3	22 нФ±20%	1 нФ±10%
C4	600 нФ±5%	100 нФ±10%

R5	40,2кОм±0,5%	20 кОм±0,5%
----	--------------	-------------

В качестве оптопары выбрали прибор АОТ-101БС. Параметры выбранного прибора приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Параметры оптопары АОТ-101БС.

Количество каналов	Входное напряжение $U_{вх}$ , В	Постоянный входной ток $I_{вх}$ , мА	Максимальный выходной ток $I_{вых}$ , мА	Максимально коммутируемое напряжение $U_{кз}$ , В	Напряжение изоляции $U_{из}$ , В
2	1,6	20	10	15	1500

На основе этих данных и технической документации к приборам составим схему гальванической развязки аналогово сигнала изображенную на рисунке 4.5.

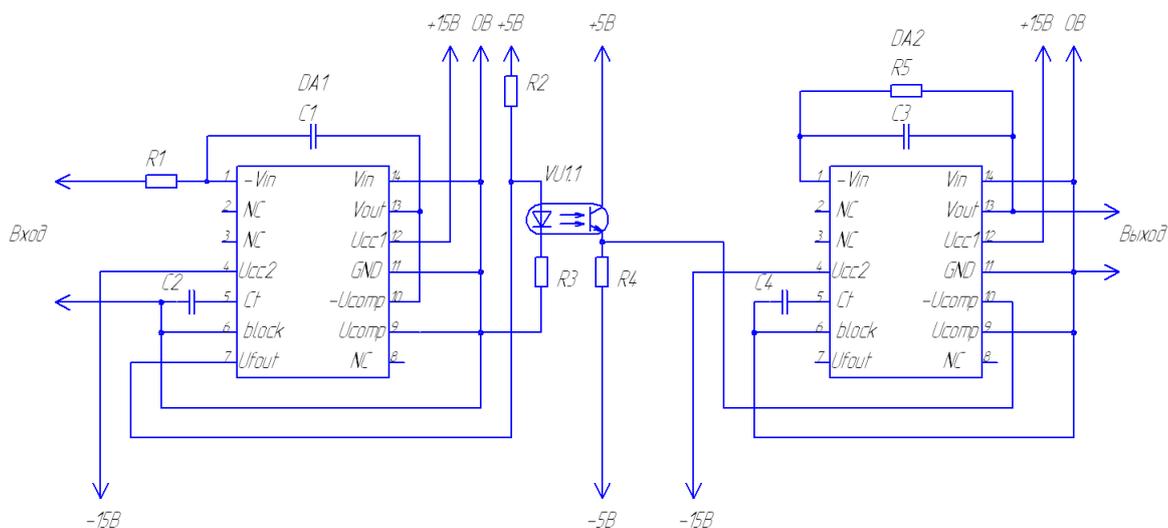


Рисунок 4.5 – Схема гальванической развязки аналогово сигнала.

По технической документации к микросхеме 1108ПП1 выбрали элементы определяющие диапазон изменения частоты в пределах 500кГц.

C1, C3 – GRM 21 X7R 102 K 16

C2, C4 - GRM 21 X7R 104 K 25

R1, R5 – RC 0805 D R F 072R 20K

R2- RC 0805 J R F 072R 330

Рассчитаем значения токоограничивающих резисторов R3, R4.

Примем прямое падение на светодиоде  $U_{VD} = 1,25 \text{ В}$ , по входной вольт-амперной характеристике оптопары определим входной ток диода при  $T = 25^\circ\text{C}$  (см.рисунок 4.6).

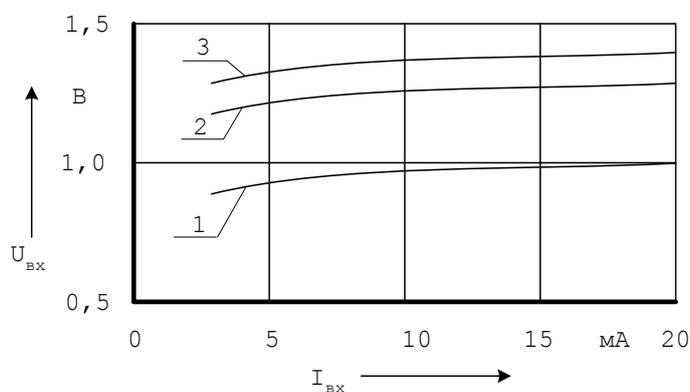


Рисунок 4.6 – Входные характеристики оптопары АОТ - 101БС

при: 1 –  $T = 75^\circ\text{C}$ , 2 –  $T = 25^\circ\text{C}$ , 3 –  $T = -10^\circ\text{C}$ .

$$I_{VD} = 0,005\text{A}$$

Рассчитаем сопротивление резистора R8:

$$R_3 = \frac{5 - U_{VD}}{I_{VD}} - R_2 = \frac{5 - 1,25}{0,005} - 330 = 420 \text{ Ом}$$

Примем номинальное сопротивление  $R3 = 420\text{Ом}$ .

Из условия насыщения биполярного транзистора, ток через коллектор должен быть больше в 3 – 5 раз чем произведение входного тока оптопары на коэффициент передачи тока.

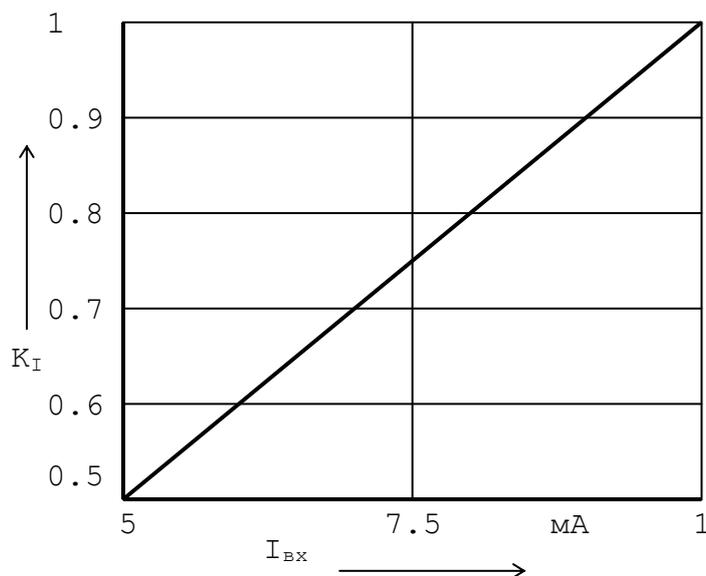


Рисунок 4.7 – Зависимость коэффициента передачи тока от входного тока оптопары АОТ - 101БС.

Найдем ток через коллектор оптопары:

$$I_{\kappa} = 4 \cdot K_i \cdot I_{VD} = 4 \cdot 0,5 \cdot 0,005 = 0,01 A$$

Найдем сопротивление резистора R4:

$$R_4 = \frac{10 - U_{\kappa \text{Энас}}}{I_{\kappa}} = \frac{10 - 0,4}{0,01} = 960 \text{ Ом}$$

Примем номинальное сопротивление R4 = 1кОм.

Рассчитаем мощность рассеиваемую на резисторах R3, R4:

$$P_{R3} = I_{VD}^2 \cdot R_3 = 0,005^2 \cdot 420 = 0,011 \text{ Вт}$$

$$P_{R4} = I_{\kappa}^2 \cdot R_4 = 0,01^2 \cdot 960 = 0,1 \text{ Вт}$$

По проведенным вычислениям выбрали резисторы R3, R4:

R3 - RC 0805 J R F 072R 420

R4 - RC 0805 J R F 072R 960

#### 4.4 Блок питания.

Питание будет осуществляться от линейного блока питания состоящего из понижающего трансформатора, выпрямителя, сглаживающего пульсации напряжения конденсатора и микросхем регуляторов напряжения. Блок питания будет состоять из двух частей, предназначенных для отдельного пита-

ния гальвано развязанной части схемы и части схемы без гальванической развязки с сетью к которой подключаются потребители электроэнергии. Для отдельного, гальвано не связанного питания различных частей схемы требуется трансформатор с двумя вторичными обмотками.

Максимальный размах питающих напряжений 30В, следовательно действующее напряжение вторичных обмоток трансформатора должно быть не менее:

$$U_2 = \frac{30}{\sqrt{2}} = 21,2В$$

Для выбора номинального тока трансформатора оценим приблизительное потребление тока требуемое для питания гальвано развязанной и не развязанной части схемы.

Ток потребления для части схемы гальванически не развязанной с электрической сетью найдем как сумму токов потребления составляющих её элементов:

$$I_{сх.н.г} = 4 \cdot (I_{ном.ОУ} + I_{ном.ПНЧ}) = 4 \cdot (0,1 + 12) = 48,4мА$$

Ток потребления для части схемы гальванически развязанной с электрической сетью:

$$I_{сх.р.г} = 4 \cdot I_{ном.ПЧН} + I_{ном.МК} + I_{ном.ЛСД} + I_{ном.МАХ232А} = 4 \cdot 12 + 20 + 0,6 + 15 = 83,6мА$$

Таким образом выходной ток с каждой вторичной обмотки должен быть не менее 83,6мА.

Выберем трансформатор ТП1212, с параметрами приведенными в таблице 4.13.

Таблица 4.13- Параметры трансформатора ТП1212.

Номинальная выходная мощность, Вт	Напряжение на первичной обмотке(U <sub>1</sub> ), В	Напряжение на вторичных обмотках(U <sub>2</sub> ), В	Номинальный ток каждой из обмоток, А	Габаритные размеры, мм
9,6	220	2x24	0,2А	38x42x44,5

По максимальному обратному напряжению  $U_2 \sqrt{2} = 33,9\text{В}$  выбрали диодный мост DB-107 выпускаемый в корпусе DB-1, параметры которого приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Параметры диодного моста DB-107

Максимальное обратное напряжение $U_{\text{обр max}}$ , В	Максимальный прямой ток $I_{\text{пр max}}$ , А	Максимальное прямое напряжение $U_{\text{пр max}}$ , В
1000	1	1,1

С учетом падения напряжения на двух диодах, напряжение на вторичной обмотке после выпрямления будет:

$$U_{\text{двд}} = U_2 - 2 \cdot U_{\text{д max}} = 33,9 - 2 \cdot 1,1 = 31,7\text{В}$$

Для сглаживания пульсаций напряжений на выходе диодного моста поставим конденсатор, рассчитаем емкость конденсатора по формуле:

$$C = \frac{I}{2f \cdot \Delta U_{\text{двд}}},$$

Где  $I$  – максимальный ток потребляемый схемой,  $f$  – частота сетевого напряжения,  $\Delta U_{\text{выпр}}$  – величина пульсаций напряжения на конденсаторе.

Примем  $\Delta U_{\text{выпр}} = 0,5\text{В}$ , следовательно:

$$C = \frac{I}{2f \cdot \Delta U_{\text{двд}}} = \frac{0,084}{2 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,0017\text{ Ф}$$

Параллельно конденсатору подключим микросхемы регуляторы напряжения для получения требуемых выходных напряжений, для этих целей выберем КР142ЕН12А выпускаемую в корпусе КТ28-2, электрические параметры КР142ЕН12А сведены в таблицу 4.15:

Таблица 4.16 - Электрические параметры КР142ЕН12А

Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Максимальный выходной ток, А	Рассеиваемая мощность, Вт	Потребляемый ток, мА
5..45	1..37	1	1	5

Выходное напряжение КР142ЕН12А регулируется путем подключения дополнительных резисторов, способ подключения изображен на рисунке 4.8, номинальные сопротивления резисторов и разность потенциалов между вторым и третьим выводом микросхемы сведены в таблицу 4.16.

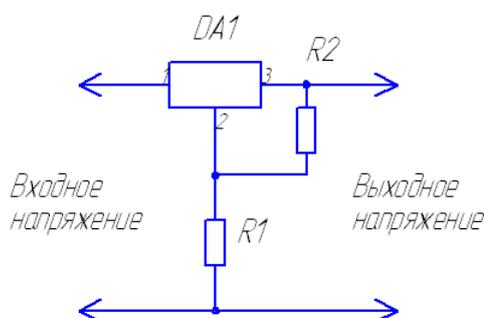


Рисунок 4.8 – Расположение выводов и подключение внешних элементов к микросхеме КР142ЕН12А.

Таблица 4.16 - Номинальные сопротивления подключаемых резисторов и выходные напряжения КР142ЕН12А

	Выходное напряжение, В				
Сопротивления, Ом	10	15	20	25	30
R1	3300	5200	7000	9000	11000
R2	470	470	470	470	470

Модуль На основании вышесказанного составим схему блока питания изображенную на рисунке 4.9. В верхней части рисунка расположена схема блока питания питающая гальванически развязанные схемы измерителя энергетических параметров сети, в нижней части расположена схема блока питания питающая гальванически не развязанные схемы.

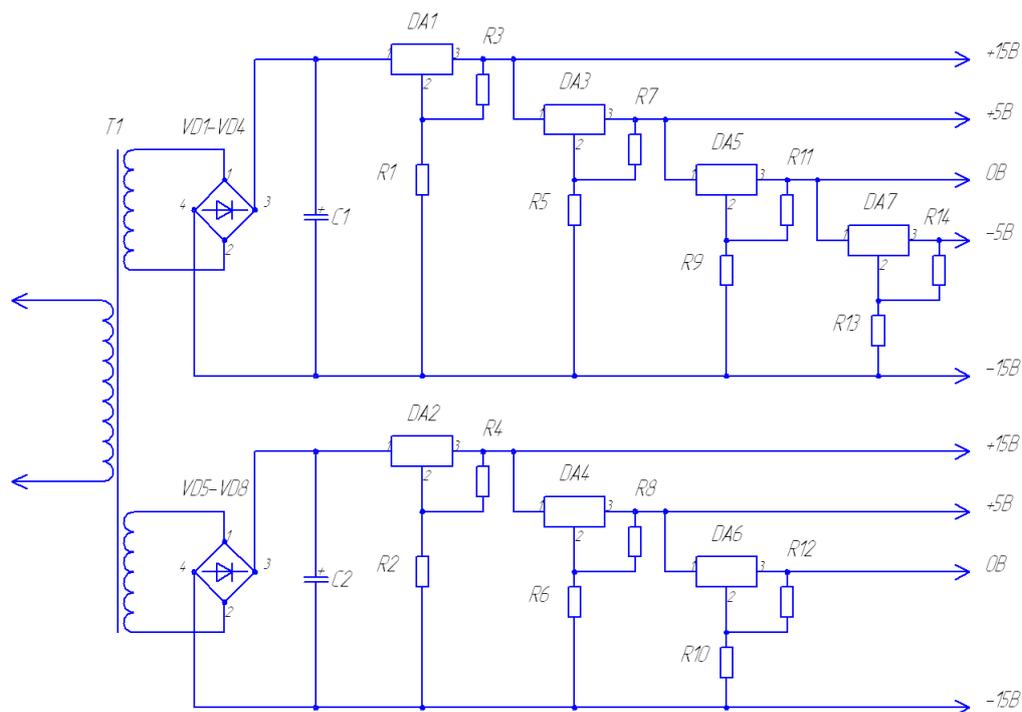


Рисунок 4.9 – Блок питания.

Примеч:

R1, R2 - МЛТ-0,25-11К±5%

R3, R4, R7, R8, R11, R12, R14 - МЛТ-0,25-470±5%

R5, R6 - МЛТ-0,25-7К±5%

R9, R10 - МЛТ-0,25-5,2К±5%

R13 - МЛТ-0,25-3,3К±5%

C1, C2 – К53-1А-30В-0,2мкФ±10%

Bluetooth-модуль HC-05 будем подключать к второй паре выводов RX TX микросхемы MAX232ACPE.

#### 4.5 Принципиальная схема устройства.

На основании проведенных расчетов и описания отдельных блоков устройства составим принципиальную схему измерителя энергетических параметров сети изображенную на рисунке 4.10.

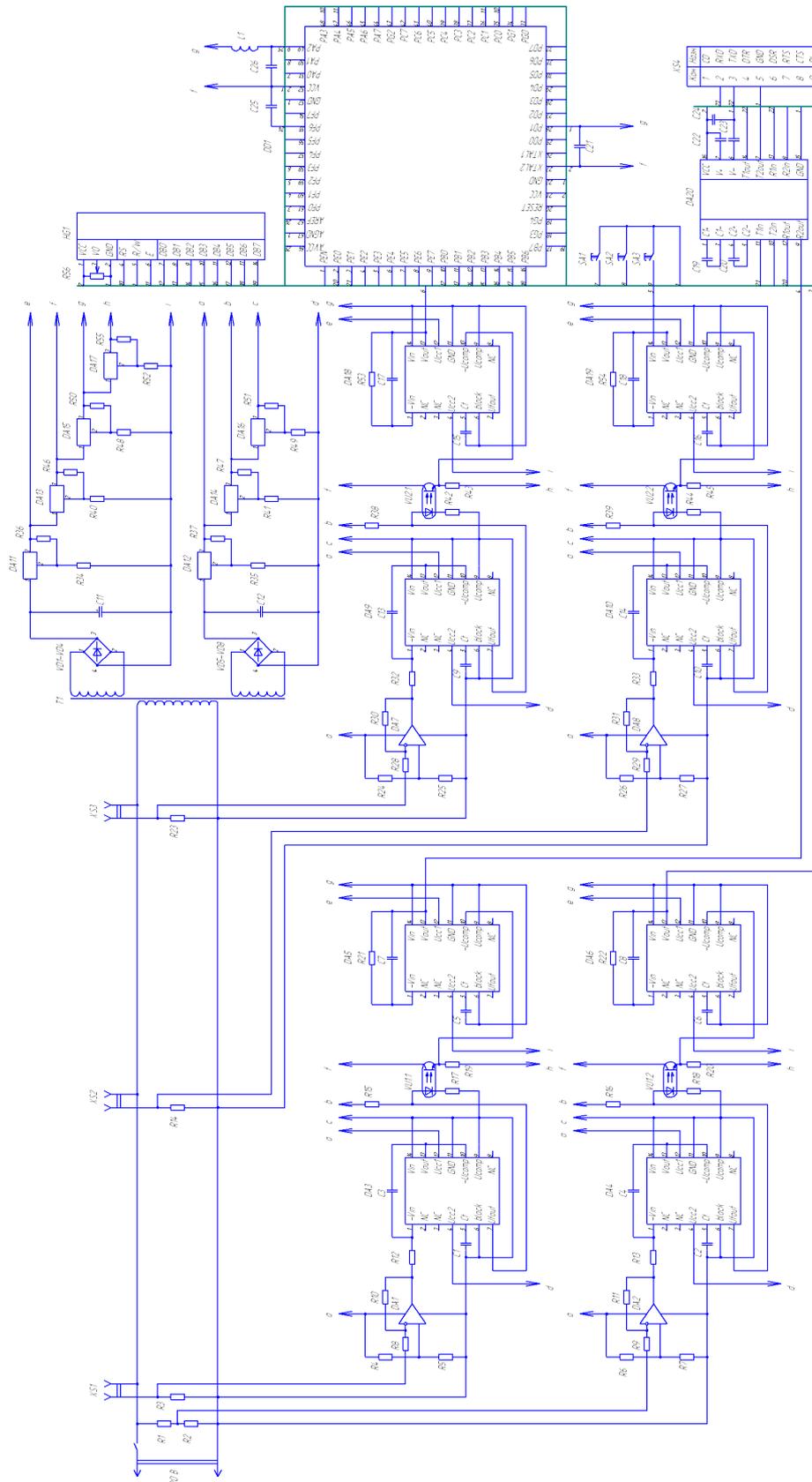


Рисунок 4.10 Принципиальная схема измерителя энергетических параметров сети.

## **5. Разработка конструкции измерителя энергетических параметров сети.**

### **5.1 Описание конструкции устройства.**

Устройство будет состоять из двух печатных плат, корпуса и соединительных проводов.

На первой печатной плате будет находиться блок питания, резисторы делителя сетевого напряжения являющиеся частью цепи передающий информацию о напряжении на нагрузке, контактные площадки для подключения сетевого напряжения и напряжения снятого с шунтовых резисторов измеряющих ток проходящий через потребители, разъем DB-15M для соединения со второй платой.

На второй печатной плате будут располагаться элементы цепей передающих информацию о токе и напряжении на нагрузке, микроконтроллер, кнопки, схема для связи через разъем DI-9F с Com-порт ПК, и два разъема DB-15F для соединения с первой платой и для подключения ЖКИ. Платы между собой будут соединяться через шлейф проводов с разъемами DI-15F, DI-15M. Для уменьшения размеров платы будут использоваться SMD резисторы и конденсаторы.

Провода уложенные внутрь корпуса устройства соединяют потребители с электрической сетью, а в разрывы между этими проводами будут подключены шунты согласно принципиальной схеме устройства, падение напряжения снятое с шунтов будет подаваться на первую плату. По техническому заданию максимальный ток в каждом потребителе может достигать 10А, а следовательно их суммарный ток может достигать 30А. Для этого нужно использовать медный провод с сечением не менее  $4\text{мм}^2$ . В качестве проводов через которые потребители электроэнергии будут подключаться к сети примем провод с одним проводником BW7401 с площадью сечения равной  $6\text{мм}^2$ .

Внутри корпуса в соответствующие пазы друг над другом в горизонтальном положении устанавливаются печатные платы устройства и крепятся в них с помощью шурупов. К внутренней стороне верхней части корпуса будет крепиться дисплей и выключатель. Выключатель выберем R495-WROET2. В качестве материала корпуса выберем пластмассу, этот материал легко обрабатывается и является изолятором.

## 5.2 Разработка печатных плат устройства.

В качестве основания для монтажа элементов будем использовать двухсторонний стеклотекстолит СФ-2-35-1,5.

Таблица 5.1 - Параметры выбранного основания для монтажа элементов.

Марка	Электрические параметры фольгированного стеклотекстолита			
	Толщина изоляции d, мм	Толщина фольги h, мкм	Максимальная плотность тока J, А/мм <sup>2</sup>	Удельное сопротивление изолятора ρ, Ом/м
СФ-2-35-1.5	1,5	35	4	$1,2 \cdot 10^9$

Определим максимальную ширину дорожки H для каждой платы по формуле:

$$H = \frac{I_{\max}}{h \cdot J}$$

Где,  $I_{\max}$  максимальный ток текущий по одному проводнику.

Примем максимальный ток для первой платы  $I_{1п.\max} = 86\text{мА}$ , это ток потребляет гальванически развязанная часть схемы устройства.

$$H_1 = \frac{0,086}{0,035 \cdot 4} = 0,61\text{мм}$$

Примем ширину дорожек для первой печатной платы  $H_1 = 0,7\text{мм}$ .

Примем максимальный ток для второй платы, как ток протекающий через дорожки подключенные к потенциалам +15В и -15В потребляемый ПНЧ/ПЧН микросхемами,  $I_{2п.\max} = 24\text{мА}$ .

$$H_2 = \frac{0,024}{0,035 \cdot 4} = 0,17 \text{ мм}$$

Примем ширину дорожек для второй печатной платы  $H_2=0,3\text{мм}$ .

Условимся, что минимальное расстояние между дорожками для первой и второй платы не должно превышать 0,5мм.

Монтаж элементов на схему осуществляется к контактной площадке в центре которой находится монтажное отверстие, в которое будет вставляться вывод элемента схемы. Монтажное отверстие имеет металлизированные стенки. Диаметр металлизированного отверстия зависит от толщины платы, диаметр отверстия должен составлять не менее половины толщины платы. Для монтажа SMD элементов и TQFP микросхем создание металлизированных отверстий в центре платы не требуется.

Разводку печатных плат будем проводить в программном пакете Dip-Trace 2.1, который содержит в своем составе библиотеки корпусов многих радиоэлементов и контактных площадок под них, программы автоматического позиционирования элементов и разводки платы. Выбрали размеры и форму печатных плат, для первой платы приняли 170х60мм, размер второй платы 180х60мм. Согласно вышеописанным требованиям настроили программу и произвели разводку платы, результат трассировки представлены на рисунках 5.1-5.4.

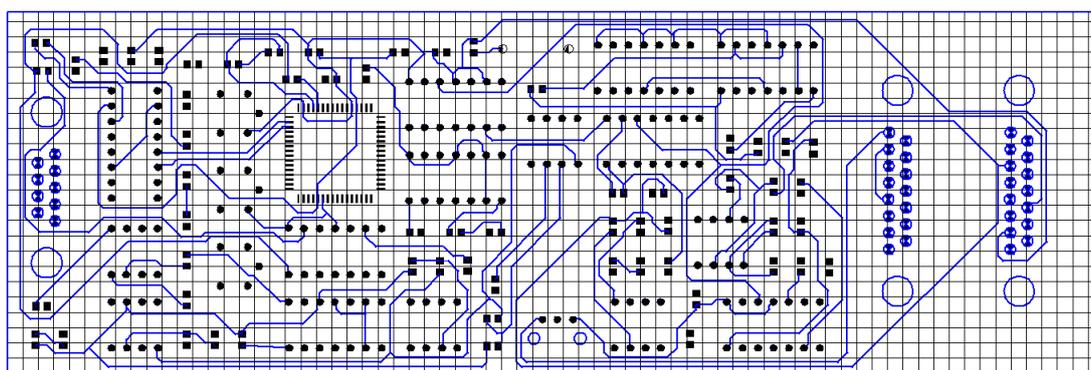


Рисунок 5.1 Печатная плата , вид сверху.

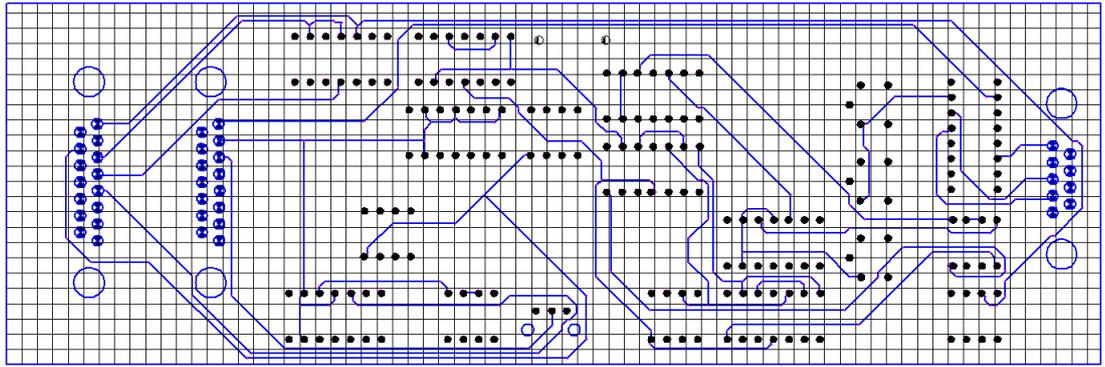


Рисунок 5.2 Печатная плата, вид снизу.

### 5.3 Изготовление печатной платы.

Токопроводящий слой печатной платы создается комбинированным методом. При этом проводники получают травлением фольги, а металлизированные отверстия - электрохимическим методом. Для вытравления проводников требуется нанести защитный слой на те участки платы где будут находиться проводники. Защитный слой с шириной дорожек 0,3мм, можно создать например с помощью нанесения на платы фото чувствительного лака.

Прежде всего потребуется создать фотошаблон, его можно изготовить распечатав с помощью программы DipTrace на прозрачной пленке для струйных или лазерных принтеров рисунок изготавливаемой печатной платы. При печати необходимо в зависимости от типа лака установить будет принтер выводить негатив или позитив платы, желательно так же увеличить разрешение и расход краски на принтере. Перед нанесением фоторезиста, поверхность платы следует очистить и убедиться в отсутствии деформаций. Наносить фоторезист на плату следует тонким равномерным слоем в темном или слабоосвещенном помещении. После такого как на плату был нанесен лак, необходимо дать ему время высохнуть, к заготовке можно прикладывать фотошаблон и начинать процесс экспозиции. Лучше всего экспонировать под лампами, диапазон излучения которых находится в ультрафиолетовой обла-

сти спектра. Время экспозиции зависит от типа и мощности лампы, от толщины покрытия и типа фоторезиста, от расстояния до источника света. После окончания экспонирования желательно заготовку поместить на 20-30 минут в темное место, после чего можно приступать к проявлению заготовки поместив ее в раствор NaOH(каустическая сода) через 1-2 минуты мягкими движениями очистить ее с помощью ватного тампона от отслаивающегося фоторезиста и промыть под проточной водой. Затем следует прогреть заготовку при температуре 60-100°C в течении двух часов, рисунок на плате становится прочным и твердым. Травления платы можно проводить в подогретом до 40-50°C растворе FeCl<sub>3</sub>(хлорного железа). После окончания травления плату необходимо промыть и с помощью растворителя или ацетона очистить от ненужного фоторезиста.

После травления в плате сверлятся отверстия для монтажа элементов. Подготовка и металлизация отверстий гальваническим способом. Затем плату следует облудить, один из способов лужения это смазать плату жидким флюсом и паяльником нанести расплавленный припой вдоль дорожек после чего промыть плату, что бы удалить не нужный флюс. Для защиты платы от вредных воздействий окружающей среды применяют аэрозольные распылители на основе флюсующих композиций. Нанесенный на поверхность заготовки лак после высыхания образует прочную гладкую пленку, которая препятствует окислению.

Пайку SMD элементов на второй плате удобно осуществлять поместив плату в термошкаф или с помощью фена и припоев с низкой температурой плавления таких как сплав Розе.

Сборочные чертежи платы 1 и платы 2 изображены на рисунке 5.5-5.6.

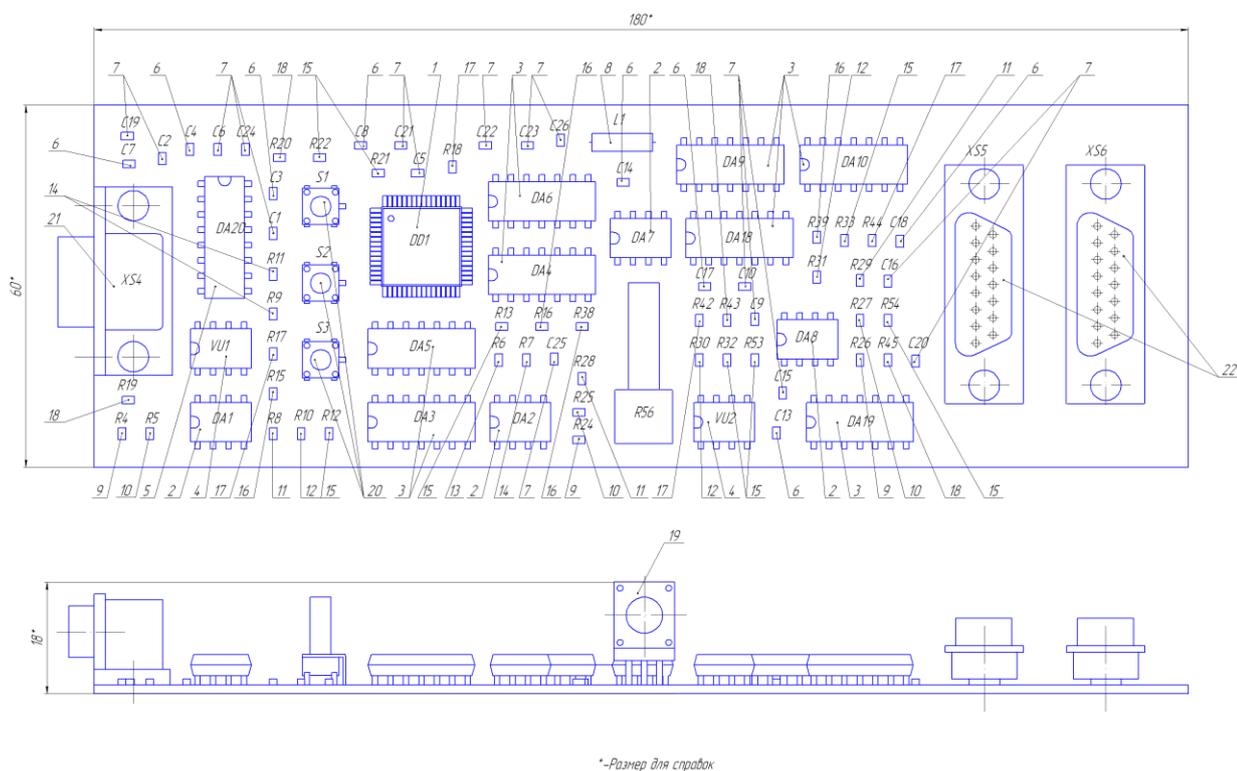


Рисунок 5.3. – Сборочный чертеж платы.

К контактным площадкам собранной платы 1 припаиваются выводы от шунтовых резисторов и электрической сети, затем плату 1 устанавливают в паз находящийся в нижней части корпуса и дополнительно крепят с помощью саморезов. После чего внутрь корпуса устройства монтируется проводка. В паз находящийся в верхней части корпуса устанавливают собранную плату 2 и крепят саморезами. Затем плату 2 нужно соединить с ЖКИ через XS5, и через XS6 с платой 1 двумя плоскими пятнадцатипроводными кабелями. После чего к корпусу прикручивается крышка.

Эскиз внешнего вида измерителя энергетических параметров сети изображен на рисунке 5.4.

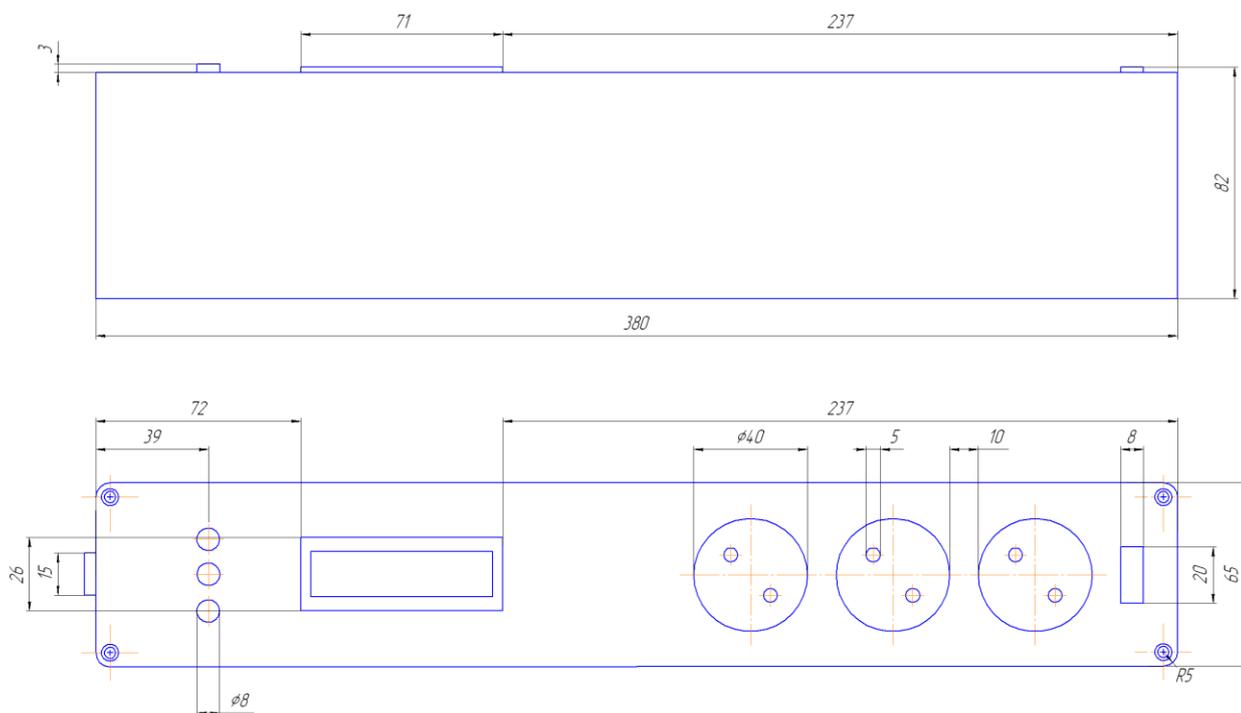


Рисунок 5.4 – Эскиз внешнего вида измерителя энергетических параметров сети.

## 6. Экономическая часть.

В этом разделе проведен расчет затрат на материалы комплектующие для создания измерителя электрических параметров.

Расчет затрат на основные материалы представлен в табл.6.1

Таблица 6.1 - Затраты на основные материалы для изготовления измерителя энергетических параметров.

Наименование материала	Марка	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Флюс	Сосновая канифоль	19113-84	шт.	1	6	6
	Спиртовый раствор сосновой канифоли		шт.	1	30	30
Припой	Сплав Розе	48-0220-57-93	шт.	2	15	30
Стеклотекстолит 2х-сторонний	СФ-2-35-1,5	10316-78	шт.	1	50	50
Хлорное железо	FeCl <sub>3</sub>	6-00-05763458-129-91	шт.	1	70	70
Итого						186

Полную стоимость покупных комплектующих изделий определили по табл. 6.2.

Таблица 6.2 - Стоимость покупных комплектующих изделий.

Наименование изделия	Марка, размер	Количество, шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Микросхемы	KP142EH12A	7	12	86
	KP140УД1408А	4	12	48
	1108ПП1	8	90	720
	МАХ232АСРЕ	1	45	45
	АТmega64-16AU	1	240	240
	DV16230S2FBLY-H/R	1	330	330

Диодные мосты	DB-107	2	8	16
Оптопары	AOT-101BC	2	15	30
Трансформа-торы	ТП1212 38x42x44,5	1	125	125
Резисторы	МЛТ- 0,5-200K±1%	1	0,5	0,5
	МЛТ- 0,25-750±1%	1	0,5	0,5
	МЛТ- 0,25-11K±5%	2	0,5	1
	МЛТ- 0,25-470±5%	7	0,5	3,5
	МЛТ- 0,25-7K±5%	2	0,5	1
	МЛТ- 0,25-5,2K±5%	2	0,5	1
	МЛТ- 0,25-3,3K±5%	1	0,5	0,5
	RC0805DRF072R390K	3	0,2	0,5
	RC0805DRF072R4,3K	3	0,2	0,5
	RC0805DRF072R1K	3	0,2	0,5
	RC0805DRF072R8K	3	0,2	0,5
	RC0805DRF072R120K	1	0,2	0
	RC0805DRF072R10K	4	0,2	1
	RC0805DRF072R20K	8	0,2	2
	RC0805JRF072R20K	4	0,2	1
	RC0805DRF072R420	4	0,2	1
	RC0805DRF072R960	4	0,2	1
	LT030-30-0,01±1%	20	3	60
	R0901NA20KR25	5	1	5
Конденсаторы	GRM21X7R102K16	8	0,3	2
	GRM21X7R104K25	16	0,3	5
	K53-1A-30B-0,2мкФ±10%	2	3	6
Дроссель	EC24-100K±10%	5	1	5
Кнопки	TSA6PG130	15	3	45
Разъемы	DI-9F	1	10	10
	DB-15F	2	15	30
	DB-15M	1	15	15
	DI-15M	1	15	15
	DI-15F	1	15	15
Провода	BW7401, 10м	10м	0,75р/м	7,5
Выключатель	R495-WROET2	1	60	60
Итого:				1804

Стоимость покупных комплектующих изделий с учетом транспортно-заготовительных расходов:

$$C_{\text{покуп}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{покуп}} \cdot (1 + K_{\text{мз}}),$$

где  $K_{\text{ТЗ}}$  – коэффициент транспортно-заготовительных расходов;  $K_{\text{ТЗ}} = 0,04$

$S_{\text{покуп}}$  – стоимость покупных комплектующих изделий, руб.

$$C_{\text{покуп}} = 1509 \cdot (1 + 0,04) = 1876 \text{ руб.}$$

Результаты расчёта затрат материалы и комплектующие сведены в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Результаты расчета затрат на НИР

Наименование статей затрат	Абсолютная величина затрат, руб.
Затраты на основные материалы	186
Затраты на комплектующие	1876
Итого:	2062

## 7. Безопасность и экологичность проекта.

Идентификация опасных и вредных производственных факторов.

При выполнении монтажных, сборочных и наладочных работ на работающих людей могут воздействовать вредные и опасные производственные факторы. К вредным производственным факторам относятся: повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны; опасный уровень напряжения в электрической цепи; электромагнитные излучения; статическая нагрузка на руку.

При пайке в зону дыхания работающих могут поступать - аэрозоль флюсов и припоев, содержащий свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды, окись углерода и др. Количество и состав аэрозолей, их токсичность зависят от химического состава материалов, вида технологического процесса. Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

В процессе изготовления электронных схем персонал, производящий изготовление, подвергается воздействию таких опасностей как поражение электрическим током и статическим электричеством, поражение химическими веществами используемыми при изготовлении печатных плат и при нарушении герметизации приборов содержащих опасные вещества. Не исключена возможность травм при работе со специальным элементом (например, ожогов раскаленным припоем и паяльником, порезов и уколов об острые части элементов схем). Также на организм человека действуют вредные вещества, содержащиеся в дыме, который возникает при монтаже элементов на схему (пары канифоли).

Таблица 7.1 – Перечень опасных и вредных факторов производства

№ п/п	Наименование опасного и вредного производственного фактора	Виды работ, оборудование, технологические операции при которых встречается данный производственный фактор
1	поражение химическими ве-	Пайка (аэрозоль флюс и припой),

	ществами	травление печатных плат (раствор хлорного железа) нарушение герметизации приборов (электролитические конденсаторы)
2	поражение электрическим током и статическим электричеством	Изготовление электронных схем. электрооборудование (неисправности, повышенные значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека)
3	ожоги	Пайка (ожоги раскаленным припоем и паяльником)
4	порезы и уколы	Изготовление печатных плат, монтаж элементов (острые части элементов схем)

## **8. Заключение.**

В результате проведенной работы был разработан измеритель энергетических параметров сети. Были освещены вопросы по настройке и взаимодействию микроконтроллера ATmega64 с внешними устройствами, был описан механизм вычисления на ЭВМ ряда электрических параметров, предложена дешевая и эффективная схема передачи гальванически развязанного аналогового сигнала, подсчитана экономическая выгода от реализации готового проекта и практические советы по обеспечению безопасного и экологически чистого производства устройства.

### Список используемой литературы:

1. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров.- К.: «МК-Пресс», 2006. – 400 с.
2. Агунов М.В. Энергетические процессы в цепях с несинусоидальными режимами и их эффективность. Кишинев-Тольятти: МолдНИИТЭИ, 1997. – 84с.
3. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники, 1981. – 593 с.
4. Ю.Н. Андреев, А.И. Антонян, Д.М. Иванов и др.; Под ред. И.И. Четверткова Резисторы(справочник) – М. Энергоиздат, 1981.- 352 с.
5. М.Н. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Присняков и др.; Под общ. ред. И.И. Четверткова и В.Ф. Смирнова. Справочник по диэлектрическим конденсаторам – Радио и связь, 1981.- 352 с.
6. [www.gaw.ru](http://www.gaw.ru)
7. [www.radiokot.ru](http://www.radiokot.ru)
8. <http://slovari.yandex.ru/dict/bse>
9. [www.cxem.net](http://www.cxem.net)
10. [www.atmel.com](http://www.atmel.com)
11. Масленников М.Ю., Соболев Е.А. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 298 с.
12. В. П. Берзан, М. Ю. Геликман. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.
13. И. Н. Сидоров, В. В. Мукосеев, А. А. Христинин. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с., ил.
14. Б. В. Тарабрин, Л. Ф. Лунин, Ю. Н. Смирнов. Интегральные микросхемы. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 528 с.: ил.
15. [www.chipdip.ru](http://www.chipdip.ru) - Интернет-сервер электронных компонентов и приборов. Интернет-магазин, описание, техническая документация на электронные компоненты.

16. [www.platan.ru](http://www.platan.ru) – Интернет-сервер электронных компонентов и измерительной техники. Интернет-магазин, электронные компоненты, техническая информация.

17. [www.chipinfo.ru](http://www.chipinfo.ru) – Интернет-сервер поиска электронных компонентов и радиодеталей.

18. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов: М.: Солон-Р, 2001, 327 с.: ил.