


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. П. ОГАРЁВА»

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЕТОТЕХНИКИ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОНИКИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой, к.т.н.

 Н. Н. Беспалов

«20» 06 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**Разработка прибора для измерения коэффициента мощности однофазной
сети**

Автор бакалаврской работы



14.06.2019

Д. В. Вильгельм

Обозначение бакалаврской работы БР – 02069964 – 12.03.01 – 04 – 19

Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»

Руководитель работы

к. т. н., доцент



14.06.2019

А. Ю. Бальзамов

Нормоконтролер



14.06.2019

А. А. Шестёркина

Саранск

2019




Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОРДОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. П. ОГАРЁВА»**

Институт электроники и светотехники
Кафедра электроники и нанoeлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой,

к.т.н., доцент



Н. Н. Беспалов

« 1 » 11 2018 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Студент Вильгельм Дмитрий Викторович

1 Тема: Разработка прибора для измерения коэффициента мощности однофазной сети.

Утверждена приказом по МордГУ № 9266-с от 01.11.2018 г.

2 Срок представления работы к защите: 14 июня 2019 г.

3 Исходные данные для выпускной квалификационной работы.

3.1 Разработать (и исследовать) прибор для измерения коэффициента мощности однофазной сети.

3.2 Прибор должен осуществлять измерение коэффициента мощности однофазной сети со следующими параметрами:

- номинальный ток – 5 А;
- номинальное напряжение – 220 В;
- номинальная частота $50 \pm 2,5$ Гц;



– диапазон измерения активной, реактивной и полной мощности – $0 \div 7590\text{Вт}$,

– гальваническая развязка силовых цепей и цепей измерения;

– электропитание от внешнего источника +5 и -5 В;

4 Содержание выпускной квалификационной работы:

4.1 Реферат.

4.2 Введение.

4.3 Обзор и постановка задачи.

4.4 Проектирование аппаратных средств однофазного измерителя коэффициента мощности.

4.5 Разработка алгоритмического и программного обеспечения однофазного измерителя коэффициента мощности.

4.6 Список использованных источников.

5 Приложения:

5.1 Приложение А (обязательное). Текст программы.

5.2 Приложение Б (обязательное). Распределение памяти.

6 Перечень графического материала:

6.1 Структурная схема однофазного измерителя коэффициента мощности.

6.2 Принципиальная схема однофазного измерителя коэффициента мощности.

6.3 Алгоритм программы для однофазного измерителя коэффициента мощности.

6.4 Алгоритмы основных подпрограмм для однофазного измерителя коэффициента мощности.

Руководитель проекта



А. Ю. Бальзамов

Задание принял к исполнению



Д. В. Вильгельм



РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 66 листов, 32 рисунков, 13 использованных источников, 2 приложения.

МИКРОКОНТРОЛЛЕР, КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ,
КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ,
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, КОНСТРУКЦИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ
МОЩНОСТИ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, АЛГОРИТМ, ПРОГРАММА,
ЖИДКО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР.

Объектом разработки является прибор для измерения коэффициента мощности однофазной сети.

Цель работы — разработка прибора для измерения коэффициента мощности однофазной сети.

Методы разработки: теоретический расчет блоков устройства, разработка конструкции устройства на основе реальных элементов в готовом корпусе, проектирование схем на базе программной среды sPlan7.

Полученные результаты: была разработаны структурная и принципиальная схема устройства, создан подробный алгоритм функционирования прибора, написано программное обеспечение для этого алгоритма, разработано конструктивное исполнение устройства на базе реального корпуса.

БР-02069964-12.03.01-04-19				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Вильгельм Д. В.	<i>В.В.В.</i>	14.06.19
Пров.		Бальзамов А. Ю.	<i>А.Ю.Б.</i>	14.06.19
Реценз.				
Н. копир.		Щестеркина А. А.	<i>А.А.Ш.</i>	19.06.19
Утв.		Беспалов Н. Н.	<i>Н.Н.Б.</i>	20.06.19
Разработка прибора для измерения коэффициента мощности однофазной сети				
		Лит.	Лист	Листов
		4	4	66
МГУ им. Н. П. Огарёва ИЭС ЭНЭ 451 гр.				



СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 Обзор и постановка задачи	8
1.1 Проблема измерения коэффициента мощности	8
1.2 Теоретическое определение коэффициента мощности	12
2 Проектирование аппаратных средств однофазного измерителя коэффициента мощности	17
2.1 Выбор основной измеряющей микросхемы	17
2.2 Выбор управляющего микроконтроллера	19
2.3 Выбор жидкокристаллического индикатора	20
2.4 Проектирование структурной схемы	22
2.5 Проектирование принципиальной схемы	23
2.6 Проектирование конструкции прибора	28
3 Разработка алгоритмического и программного обеспечения однофазного измерителя коэффициента мощности	31
3.1 Структурная схема программного обеспечения	31
3.2 Алгоритм взаимодействия микроконтроллера с ЖКИ	34
3.3 Алгоритм взаимодействия с микросхемой ADE7753	41
3.4 Написание программы на языке ассемблера	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	56
Приложение А (обязательное) Текст программы	58
Приложение Б (обязательное) Распределение памяти	66

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Таблица 1 — Сокращения часто употребляемых слов

Слово (словосочетание)	Сокращение
арифметико-логическое устройство	АЛУ
аналого-цифровой преобразователь	АЦП
амплитудно-частотная характеристика	АЧХ
жидко-кристаллический индикатор	ЖКИ
источник опорного напряжения	ИОН
интегральная схема	ИС
корректор коэффициента мощности	ККМ
комплиментарный металл-оксид-полупроводник	КМОП
качество электроэнергии	КЭ
оперативное запоминающее устройство	ОЗУ
прибор контроля электроэнергии	ПКЭ
Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт электронных материалов»	ФГУП НИИЭМ
фильтр низких частот	ФНЧ
электронно-вычислительная машина	ЭВМ
Serial Peripheral Interface, последовательный периферийный интерфейс	SPI

ВВЕДЕНИЕ

Рыночные условия нашей страны ставят вопрос об экономном использовании всех видов энергии, в том числе и электрической. И для любого развивающегося предприятия встает необходимость точного измерения параметров энергопотребления и его прогнозирование. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения определяет ГОСТ 13109-97, который указывает допустимые отклонения от номинальных значений напряжений, частоты, нелинейных искажений и других показателей.

На практике фактические значения показателей качества электроэнергии отличаются от нормированных. Напряжение снижается от номинального на 10-25% или превышает номинальное на 10-17%, частота снижается до 49,3 Гц, нелинейные искажения достигают 18%.

Завышение напряжения приводит к переплате за потребленную лишнюю электроэнергию.

В последние десятилетия количество электроники, используемой в домашних условиях, в офисах и на производстве резко увеличилось, и в большинстве устройств применяются импульсные источники питания. Такие источники генерируют гармонические и нелинейные искажения тока, которые отрицательно влияют на проводку электросети и электроприборы, подключенные к ней.

В последнее время наблюдается переход от традиционных средств учета и измерения (ваттметры, амперметры, вольтметры и т. д.) к многофункциональным средствам измерений, способным одновременно и в реальном масштабе времени анализировать несколько электрических величин и параметров энергетических сетей, характеризующих процессы производства, распределения и потребления электрической энергии.

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 Обзор и постановка задачи

1.1 Проблема измерения коэффициента мощности

Хорошо известно, что активная мощность, потребляемая нагрузкой от источника переменного тока, далеко не всегда равна произведению эффективного значения тока на эффективное значение напряжения. Многие считают, что это относится только к нагрузкам с реактивной составляющей сопротивления, создающей фазовый сдвиг между законами изменения тока и напряжения. При подсчете мощности реактивность нагрузки учитывают еще одним множителем - коэффициентом мощности, равным косинусу угла сдвига фазы при синусоидальном напряжении сети. Чем меньше этот сдвиг, тем ближе к единице этот коэффициент. Однако к уменьшению коэффициента мощности приводит и нелинейность нагрузки, причем это явление со сдвигом фазы не связано. Нелинейной нагрузкой в электрических сетях, являющейся причиной искажения синусоидального тока, является электрооборудование и электроприемники с нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Чтобы увеличить этот коэффициент мощности, необходимо максимально приблизить форму потребляемого тока к синусоидальной.

Достаточно точного совпадения формы потребляемого тока с формой приложенного к выпрямителю синусоидального напряжения, а следовательно, низкого уровня гармоник, можно добиться, заменив сглаживающий конденсатор большой емкости стабилизированным высокочастотным преобразователем напряжения. Генерируемые при этом составляющие тока частотой в десятки килогерц и выше легко устраняет простой и дешевый фильтр. Такой преобразователь назвали корректором коэффициента мощности (ККМ, англ. PFC — Power Factor Corrector), и с его помощью удается довести этот показатель почти до единицы. Особенность ККМ состоит в том, что постоянное напряжение на его выходе всегда

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

больше амплитуды сетевого. Поэтому питаемые им узлы рассчитывают не на привычные 300 В, а на ставшие фактическим стандартом 400 В. Несколько фирм выпускают для ККМ специализированные микросхемы.

На практике измерить непосредственно фазовый сдвиг между напряжением и током нагрузки можно при помощи электродинамических и ферродинамических фазометров. Наибольшее распространение для этих целей получили логометры электродинамической системы, в которых неподвижная катушка включена последовательно с нагрузкой, а подвижные катушки — параллельно нагрузке. Угол отклонения стрелки такого прибора зависит только от значения $\cos \varphi$ (равного коэффициенту мощности χ при синусоидальном токе и напряжении).

Если таких приборов нет, то измерять коэффициент мощности можно косвенным методом. Например, в однофазной сети χ можно определить по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметра, и рассчитать по формуле:

$$\chi = \frac{P}{UI}, \quad (1.1)$$

где P , U , I - показания приборов. На рисунке 1.1 проиллюстрирована схема измерения коэффициента мощности для однофазной двухпроводной сети. В симметричной трехфазной трехпроводной цепи (рисунок 1.2) значение χ можно определить из показаний двух ваттметров P_1 и P_2 по формуле:

$$\chi = \frac{P_1 + P_2}{2\sqrt{P_1^2 + P_2^2 - P_1 P_2}}. \quad (1.2)$$

В самом общем случае для измерения коэффициента мощности χ (рисунок 1.3) в трехфазной четырехпроводной сети при несимметричной

нагрузке необходимо включить три ваттметра, три амперметра и три вольтметра.

$$\chi = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{U_{AN} I_A + U_{BN} I_B + U_{CN} I_C} \quad (1.3)$$

где P_1, P_2, P_3 — активная мощность фаз; $U_{AN}, U_{BN}, U_{CN}, I_A, I_B, I_C$ - фазные напряжение и ток, измеренные вольтметром и амперметром.

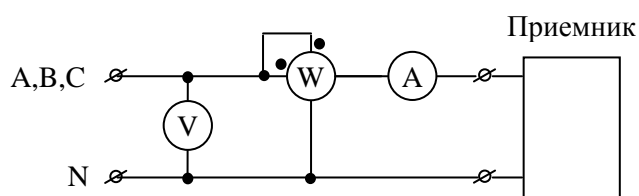


Рисунок 1.1 – Схема измерения коэффициента мощности для однофазной двухпроводной сети

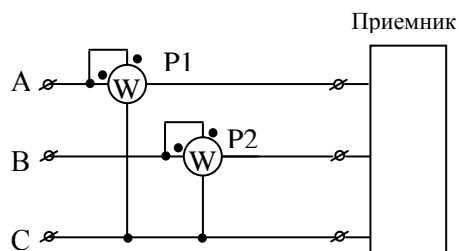


Рис. 1.2 – Схема измерения коэффициента мощности для трехфазной трехпроводной сети

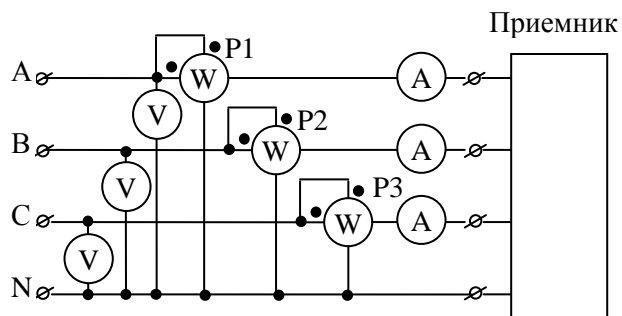


Рис. 1.3 – Схема измерения коэффициента мощности для трехфазной четырехпроводной сети

На практике в электрических сетях определяют так называемый средневзвешенный коэффициент мощности за какое-то определенное время, допустим, за сутки или месяц. Для этого в конце рассматриваемого периода снимают показания счетчиков активной и реактивной энергии W_a и W_p и определяют средневзвешенное значение коэффициента мощности по формуле:

$$\chi_{\text{ср.взв}} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}. \quad (1.4)$$

В настоящее время широкое распространение получили электронные приборы для измерения коэффициента мощности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1.2 Теоретическое определение коэффициента мощности

Мгновенное значение мощности. В цепи, содержащей активное, индуктивное и емкостное сопротивления, в которой ток I и напряжение U в общем случае сдвинуты по фазе на некоторый угол φ , мгновенное значение мощности P равно произведению мгновенных значений силы тока I и напряжения U . Кривую мгновенной мощности P можно получить перемножением мгновенных значений тока I и напряжения U при различных углах φ (рисунок 1.4, а). Из этого рисунка видно, что в некоторые моменты времени, когда ток и напряжение направлены навстречу друг другу, мощность имеет отрицательное значение.

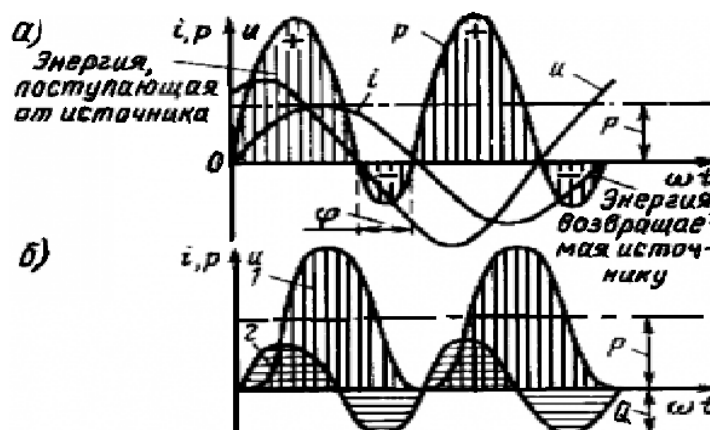


Рисунок 1.4 – Зависимость мгновенной мощности P (а) и ее составляющих (б) от угла φ

Активная и реактивная мощности. Мгновенная мощность может быть представлена в виде суммы двух составляющих 1 и 2 (рисунок 1.4, б). Составляющая 1 соответствует изменению мощности в цепи с активным сопротивлением.

Среднее ее значение, которое называют активной мощностью находят по формуле:

$$P = UI \cos \varphi. \quad (1.5)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Она представляет собой среднюю мощность, которая поступает от источника к электрическим установкам при переменном токе.

Составляющая 2 изменяется подобно изменению мощности в цепи с реактивным сопротивлением (индуктивным или емкостным). Среднее ее значение равно нулю, поэтому для оценки этой составляющей пользуются ее амплитудным значением, которое называют реактивной мощностью и находится она по формуле:

$$Q = UI \sin \varphi. \quad (1.6)$$

Рассматривая кривые мощности (рис 1.4, б), можно установить, что только активная мощность может обеспечить преобразование в приемнике электрической энергии в другие виды энергии. Эта мощность в течение всего периода имеет положительный знак, т. е. соответствующая ей электрическая энергия 2, называемая активной, непрерывно переходит от источника 1 к приемнику 4 (рис. 1.5, а). Как видно из рисунка 1.4, б, эта мощность становится то положительной, то отрицательной.

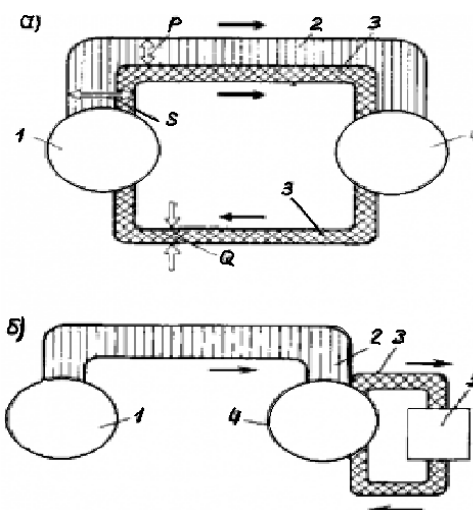


Рисунок 1.5 – диаграмма, иллюстрирующая передачу электрической энергии между источником и приемником, содержащим активное и реактивное сопротивление, при отсутствии компенсатора (а) и при наличии его (б): 1 — источник; 2,3 — условные изображения активной и реактивной энергии; 4 — приемник; 5 — компенсатор

Полная мощность. Источники электрической энергии переменного тока (генераторы и трансформаторы) рассчитаны на определенный номинальный ток $I_{\text{ном}}$ и определенное номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$, которые зависят от конструкции машины, размеров ее основных частей и пр. Значительно увеличить номинальный ток или номинальное напряжение нельзя, так как это может привести к недопустимому нагреву обмоток машины или пробую их изоляции. Поэтому каждый генератор или трансформатор может длительно отдавать без опасности аварии только вполне определенную мощность, равную произведению его номинального тока на номинальное напряжение. Произведение действующих значений тока и напряжения называется полной мощностью:

$$S = U \times I. \quad (1.7)$$

Следовательно, полная мощность представляет собой наибольшее значение активной мощности при заданных значениях тока и напряжения.

Она характеризует ту наибольшую мощность, которую можно получить от источника переменного тока при условии, что между проходящим по нему током и напряжением отсутствует сдвиг фаз. Полную мощность измеряют в вольт-амперах (В*А) или киловольт-амперах (кВ*А).

Связь между мощностями P , Q и S можно определить из векторной диаграммы напряжений (рисунок 1.6, а). Если умножить на ток I все стороны треугольника ABC , то получим треугольник мощностей $A'B'C'$ (рисунок 1.6, б), стороны которого равны P , Q и S .

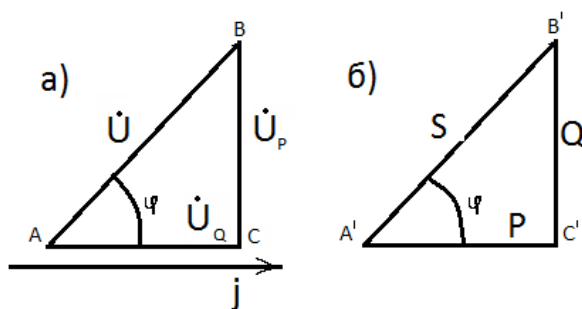


Рисунок 1.6 – Векторная диаграмма напряжений (а) и треугольник мощностей (б) для цепи переменного тока

Из треугольника мощностей имеем:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (1.8)$$

Из этого выражения следует, что при заданной полной мощности S (т. е. напряжении U и токе I) чем больше реактивная мощность Q , которая проходит через генератор переменного тока или трансформатор, тем меньше активная мощность P , которую он может отдать приемнику.

Коэффициент мощности. Из формулы 1.5 следует, что активная мощность P зависит не только от тока I и напряжения U , но и от величины $\cos\varphi$, называемой коэффициентом мощности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}. \quad (1.9)$$

По значению $\cos \varphi$ можно судить, как использует мощность источника данный приемник или электрическая цепь. Чем больше $\cos \varphi$, тем меньше $\sin \varphi$, следовательно, согласно формулам (1.5) и (1.6) при заданных U и I , т. е. S , тем больше активная и меньше реактивная мощности, отдаваемые источником. При повышении $\cos \varphi$ и постоянной активной мощности P , поступающей в приемник, уменьшается ток в цепи. При этом уменьшаются потери мощности в проводах (т.к. $P = I^2 R_{\text{пр}}$) и обеспечивается возможность дополнительной загрузки источника и электрической сети, т. е. лучшего их использования. При $\cos \varphi = 1$ реактивная мощность равна нулю, и вся мощность, отдаваемая источником, является активной. Поэтому на всех предприятиях и во всех отраслях народного хозяйства стремятся всемерно повышать коэффициент мощности и доводить его по возможности до единицы.

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

2 Проектирование аппаратных средств однофазного измерителя коэффициента мощности

2.1 Выбор основной измеряющей микросхемы

Так как для определения коэффициента мощности необходимы значения активной и полной мощности, то для поставленной задачи оптимальным решением является выбор микросхемы ADE7753 фирмы Analog Devices. Эта микросхема имеет следующие отличительные особенности:

- ошибка измерения активной составляющей мощности в диапазоне изменения тока 1000:1 менее 0.1 %;
- измерение активной, реактивной и полной мощности, действующего значения напряжения и тока;
- высокочастотный импульсный выход;
- измерение напряжения SAG, детектирование пересечения нуля, периода и пиковых значений напряжения и тока;
- режим накопления только положительной мощности;
- интерфейс с трансформаторными и дифференцирующими токовыми датчиками;
- встроенный температурный датчик и 2,4 В ИОН;
- низкое потребление: 25 мВт.

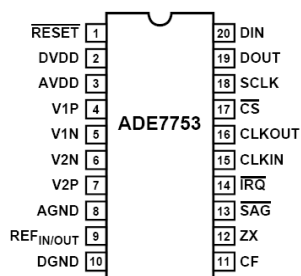


Рисунок 2.1 - Цоколевка микросхемы ADE7753

ADE7753 — это ИС прецизионного электросчетчика с последовательным интерфейсом SPI и импульсным выходом. ADE7753 содержит два сигма-дельта АЦП второго порядка, цифровой интегратор (в первом канале), ИОН, температурный датчик и все схемы обработки сигналов, необходимые для измерения активной, реактивной, полной мощности, действующего и пикового значения напряжения и тока. ADE7753 может работать с различными типами датчиков тока, включая низкоомные шунты и трансформаторы тока. ADE7753 выпускается в 20-ти выводном SSOP корпусе.

Выбор такой микросхемы позволяет нам кроме измерения коэффициента мощности производить измерения действующего значения напряжения и тока, активной, реактивной, полной мощности и частоты измеряемой сети, чего вполне достаточно для анализа энергетических процессов, происходящих в сети.

Функциональная блок-диаграмма представлена на рисунке 2.2.

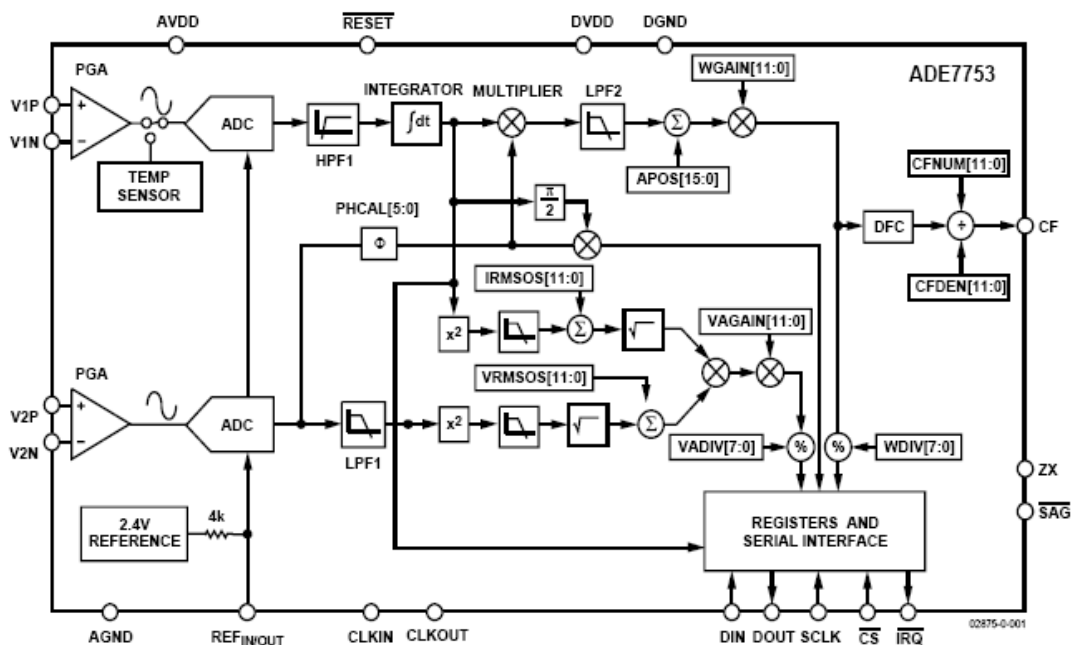


Рисунок 2.2 – Функциональная блок-диаграмма

2.2 Выбор управляющего микроконтроллера

Исходя из поставленной задачи и невысоких требований к микроконтроллеру из всего семейства AVR микроконтроллеров была выбрана модель ATtiny2313 – низкопотребляющий 8 битный КМОП микроконтроллер с AVR RISC архитектурой. Контроллеры именно этой линии обладают режимами пониженного энергопотребления и имеют два порта ввода/вывода, что вполне достаточно для реализации поставленной задачи. Выполняя команды за один цикл, ATtiny2313 достигает производительности 1 MIPS при частоте задающего генератора 1 МГц, что позволяет нам оптимизировать отношение потребления к производительности.

При разработке микроконтроллеров семейства AVR была использована так называемая гарвардская архитектура. Смысл ее состоит в том, что память программ и данных программы располагается в разных областях памяти (рисунок 2.3).

Доступ к памяти программ осуществляется следующим образом: во время выполнения одной команды следующая команда выбирается из памяти программ. Это дает возможность выполнять по одной команде за каждый машинный цикл.

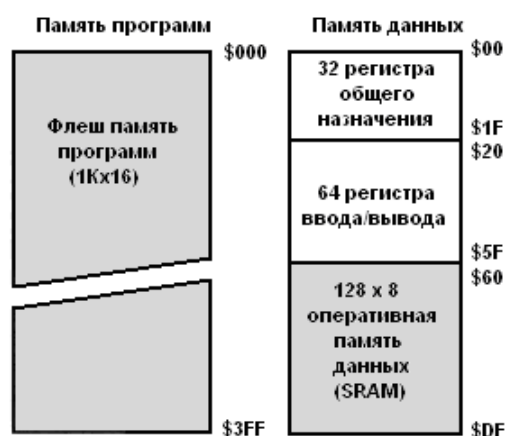


Рисунок 2.3 – Структура памяти микроконтроллеров AVR

На рисунке 2.4 показана организация памяти данных в ATtiny2313. 224 ячейки памяти включают в себя регистровый файл, память ввода/вывода и оперативную память данных.

Первые 96 адресов используются для регистрового файла и памяти ввода/вывода, следующие 128 - для ОЗУ данных.

Регистровый файл		Область адресов данных	
R0		\$00	
R1		\$01	
R2		\$02	
...		...	
R29		\$1D	
R30		\$1E	
R31		\$1F	
Регистры ввода/вывода			
\$00		\$20	
\$01		\$21	
\$02		\$22	
...		...	
\$3D		\$5D	
\$3E		\$5E	
\$3F		\$5F	
Встроенное ОЗУ данных (SRAM)			
		\$60	
		\$61	
		\$62	
		...	
		\$DD	
		\$DE	
		\$DF	

Рисунок 2.4 – Организация данных в микроконтроллере ATtiny2313

2.3 Выбор жидкокристаллического индикатора

При проектировании цифрового однофазного измерителя коэффициента мощности возникает вопрос о выводе на индикацию результатов измерения. Выбор пал на четырехстрочный цифробуквенный жидкокристаллический модуль МТ–20S4М российской фирмы МЭЛТ, состоящий из БИС контроллера управления и ЖК панели. Контроллер управления КБ1013ВГ6, производства ОАО «АНГСТРЕМ» аналогичен HD44780 фирмы HITACHI. Модуль выпускается со светодиодной подсветкой. Модуль позволяет отображать 4 строки по 20 символов. Символы отображаются в матрице 5×8 точек. Модуль содержит два вида

памяти — кодов отображаемых символов и пользовательского знакогенератора, а также логику для управления ЖК панелью. Модуль позволяет:

- программно переключать две страницы встроенного знакогенератора (алфавиты: русский, украинский, белорусский, казахский и английский);
- работать как по 8 - ми, так и по 4 - х битной шине данных (задается при инициализации);
- принимать команды с шины данных;
- записывать данные в ОЗУ с шины данных;
- читать данные из ОЗУ на шину данных;
- читать статус состояния на шину данных;
- запоминать до 8 - ми изображений символов, задаваемых пользователем;
- выводить мигающий (или не мигающий) курсор двух типов;
- управлять контрастностью и подсветкой;

Три вывода 19-контактного разъема предназначены для подачи питающего напряжения и напряжения смещения, которое управляет контрастностью дисплея. Для изменения контрастности используется внешний переменный резистор R номиналом 10 кОм. На рисунке 2.5 показана рекомендуемая схема подключения этих выводов.

Из оставшихся 16 выводов 8 (DB0 - DB7) используются для организации мультиплексированной шины "команды / данные", и на 3 вывода (A0, R/W, E) AVR-микроконтроллер выставляет управляющие сигналы.

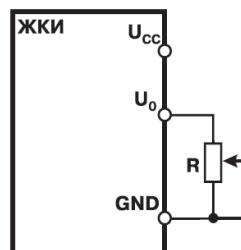


Рисунок 2.5 - Управление контрастностью

2.4 Проектирование структурной схемы

Исходя из технического задания на проектирование в структурную схему должны входить собственно датчики тока и напряжения; измеряющие узлы, в качестве которых выбрана измерительная микросхема ADE7753ARS фирмы Analog Devices; микроконтроллер ATtiny2313; ЖКИ МТ-20S4М российской фирмы МЭЛТ для организации индикации результата (рисунок 2.6).

Все последующие этапы разработки будут вестись исходя из структурной схемы, изображенной на рисунке 2.6. Сигналы, пропорциональные значениям напряжения и тока в сети, поступают через соответствующие датчики на входы микросхемы-преобразователя ADE7753. С её выхода снимаются данные, поступающие на вход микроконтроллера ATtiny2313. Микроконтроллер обрабатывает полученную информацию для получения значений семи параметров электроэнергии. После того как микроконтроллером завершена обработка данных, полученных от микросхемы ADE7753, вычисленные значения выводятся на жидкокристаллический индикатор.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР–02069964–12.03.01–04–19

Лист

22

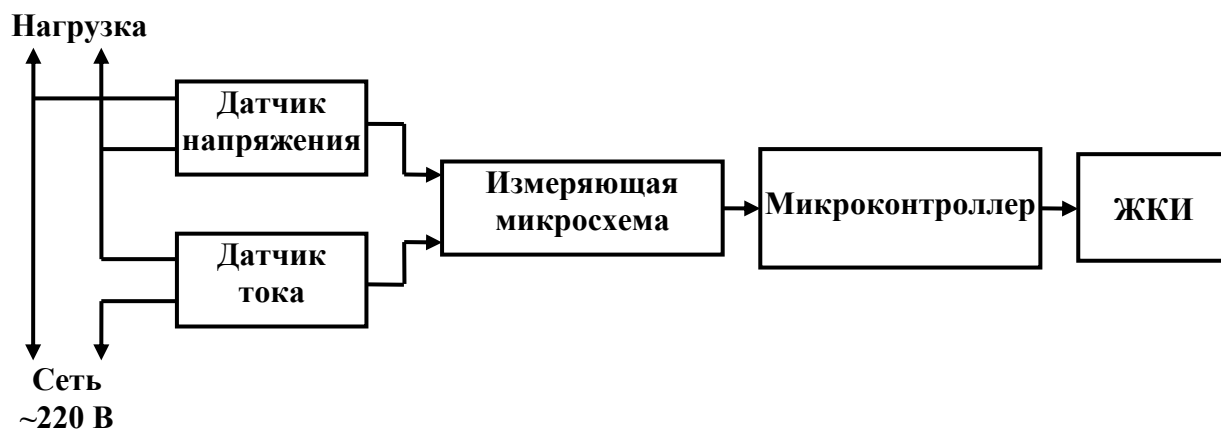


Рисунок 2.6 – Структурная схема измерителя

Если происходит сбой в работе прибора или временное исчезновение напряжения сети, информация о вычисленных параметрах утрачивается. Причина этого заключается в том, что все семь значений измеряемых параметров не зависят от предшествующих значений, поэтому в данном случае нет необходимости в их сохранении и использовании FLASH-памяти. После восстановления питающего напряжения информация заново считывается микроконтроллером, выводится на индикатор, и счёт начинается заново. Реализация такого алгоритма потребовала менее 128 байт оперативной памяти микроконтроллера. В качестве дисплея используется четырехстрочный жидкокристаллический модуль МТ–20S4М, управляемый контроллером КБ1013ВГ6.

2.5 Проектирование принципиальной схемы

В устройстве пять основных элементов: микроконтроллер, микросхема ADE7753, ЖКИ, входные усилители и блок питания.

Существует несколько вариантов исполнения микроконтроллера ATtiny2313. В данном проекте будем ориентироваться на модель ATtiny2313A-PU с тактовой частотой 20 МГц.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР–02069964–12.03.01–04–19

Лист

23

Схема включения питания и кварцевого генератора представлена на рисунке 2.7.

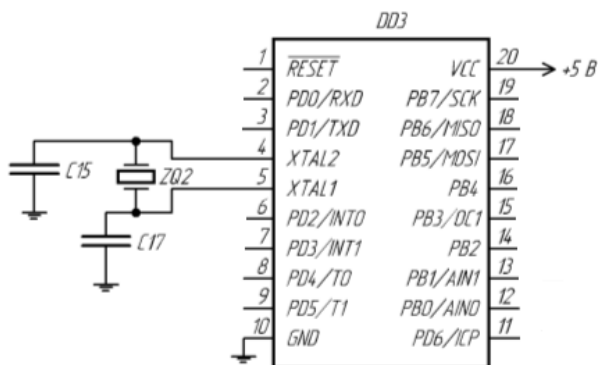


Рисунок 2.7 – Схема включения микроконтроллера ATtiny2313

Микросхема ADE7753 имеет гибкий последовательный интерфейс, который позволяет передавать информацию большинству существующих микропроцессоров. Интерфейс совместим с протоколами Intel 8051, Motorola SPI и QSPI, а также MICROWIRE.

Микросхема поставляется в 20-выводном корпусе типа SSOP.

Для связи микроконтроллера с AVR используется шесть линий. По двум из них – $\overline{\text{RESET}}$, $\overline{\text{CS}}$ – производится обращение к микросхеме, по линиям DOUT и DIN осуществляется побитовое считывание и побитовая запись данных из последовательного порта ADE7753 в микроконтроллер, вывод SCLK соединен с выводом PB1 микроконтроллера, который используется как управляемый генератор импульсов с частотой следования импульсов 1 МГц.

Схема организации взаимосвязи ADE7753 и микроконтроллера ATtiny2313 представлена на рисунке 2.8.

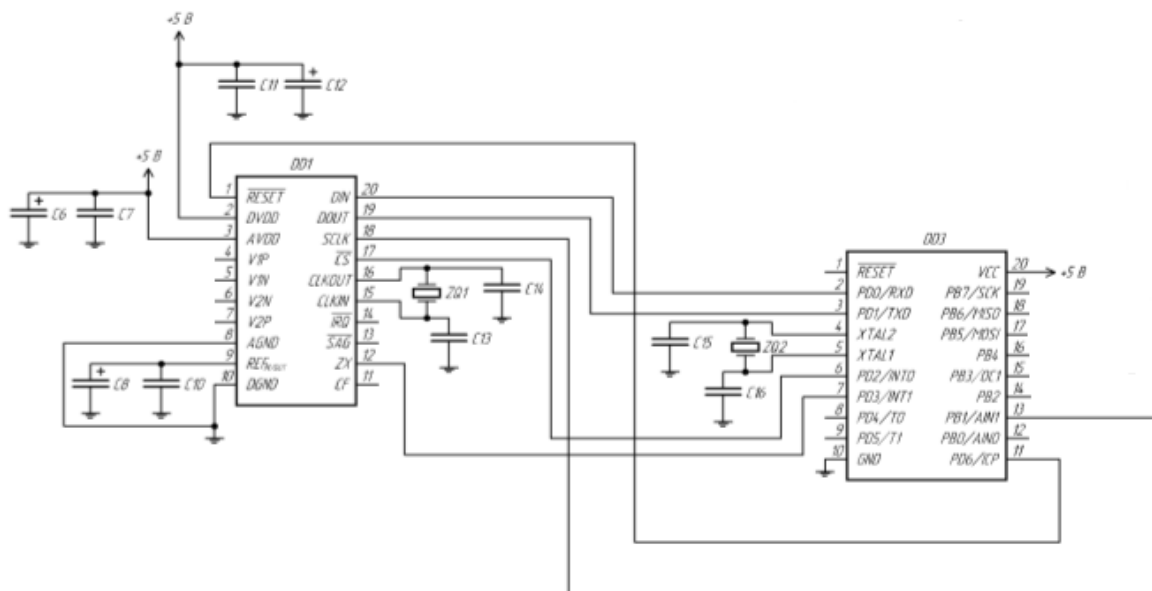


Рисунок 2.8 – Схема подключения ADE7753

Рассматриваемый ЖКИ при помощи стандартного 19-контактного разъема обменивается информацией с управляющим микроконтроллером (в нашем случае с AVR). AVR-микроконтроллер посылает в ЖКИ команды, управляющие режимами его работы, и ASCII-коды выводимых символов. В свою очередь, ЖКИ может посылать AVR-микроконтроллеру по его запросу информацию о своем состоянии и данные из своих внутренних блоков памяти.

Для нашего случая, когда микроконтроллер имеет ограниченное количество линий ввода/вывода, предусмотрен второй вариант подключения ЖКИ с использованием 4-х разрядной шины "команды/данные". При этом каждый байт данных передается по линиям DB4 - DB7 последовательно двумя тетрадами, начиная со старшей.

Если во время цикла записи AVR-микроконтроллер передает в контроллер индикатора код команды, то этот код записывается в регистр команд контроллера ЖКИ и команда сразу же начинает выполняться. Если AVR-микроконтроллер передает в контроллер ЖКИ данные, которые представляют собой ASCII-коды отображаемых символов, то они

записываются в буфер данных (DDRAM), который содержит 80 ячеек. При записи или считывании буфера данных обращение осуществляется к ячейке, на которую в данный момент указывает курсор.

На рисунке 2.9 приведена схема подключения ЖКИ-модуля с 4-ех разрядной шиной к микроконтроллеру ATtiny2313.

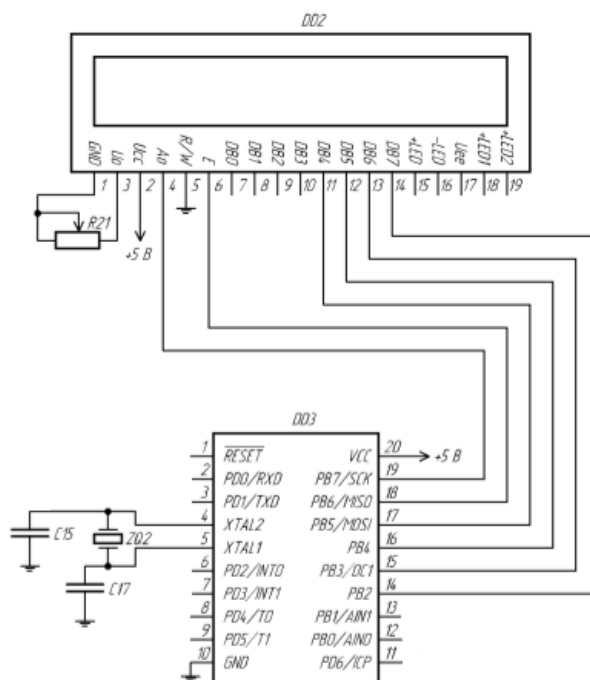


Рисунок 2.9 – Схема подключения ЖКИ

С помощью трансформатора напряжения TV1 понижаем напряжение с 220 В до 9 В и через выпрямительный диод VD1 подаем это выпрямленное пульсирующее напряжение на вход интегрального стабилизатора напряжения DA7 – микросхемы uA7805. На выходе данной микросхемы получим стабилизированное напряжение в 5 В.

Принципиальная схема источника напряжения показана на рисунке 2.10.

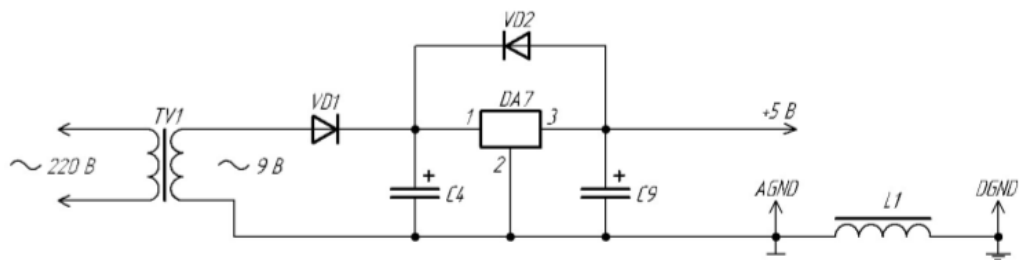


Рисунок 2.10 – Принципиальная схема источника напряжения

Выходное напряжение с токоизмерительных клещей в 1 В и измерительных щупов в 2 В не соответствует диапазону $\pm 0,5$ В, которое необходимо для подачи на входы V1P/V1N и V2P/V2N микросхемы ADE7753. Таким образом, нашей задачей является ослабление сигнала до уровня, необходимого для нормальной работы последующих узлов (ADE7753). Такую задачу очень часто называют задачей нормализации входного сигнала. В нашем случае с датчиков тока и напряжения снимается дифференциальный сигнал, что определяет использование соответствующих схемотехнических решений. Применение операционных усилителей в различных схемах приводит не только к упрощению схем, а также улучшает их электрические показатели и надёжность. В нашем случае это операционные усилители MAX438 фирмы MAXIM. Схема выбранного нами дифференциального усилителя представлена на рисунке 2.11.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР–02069964–12.03.01–04–19

Лист

27

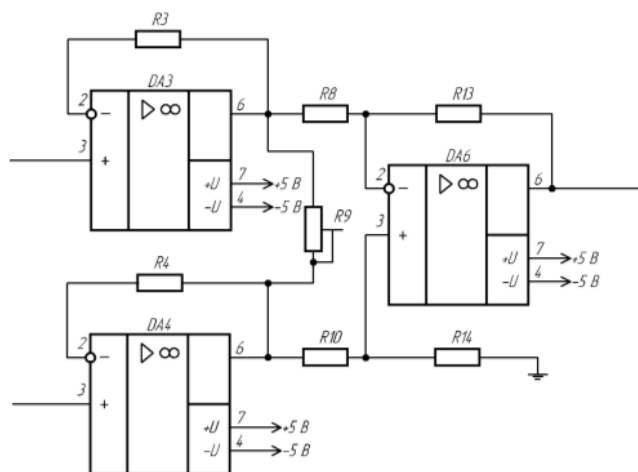


Рисунок 2.11 – Принципиальная схема дифференциального усилителя

Коэффициент усиления дифференциального сигнала определяется следующим образом:

$$K_u = \left(1 + \frac{2R1}{R6} \right) \cdot \frac{R11}{R5} \quad (2.1)$$

При условии, что $R1 = R2$, $R5 = R7$, $R11 = R12$.

Коэффициент усиления дифференциального сигнала с токоизмерительных клещей равен 0,5. Коэффициент усиления дифференциального сигнала с измерительных щупов равен 0,25. Дальнейшая более точная настройка коэффициента усиления производится подстроечными резисторами R6 и R9.

2.6 Проектирование конструкции прибора

Конструктивно прибор состоит из двух частей: электронного блока и блока питания, каждый из которых выполняется в отдельном закрытом корпусе. Корпус электронного блока состоит из передней панели и кожуха, выполненных из пластмассы. На передней панели располагается табло жидкокристаллического модуля и штекерные гнезда для подключения

измерительных щупов. На боковой стенке кожуха предусмотрено отверстие для разъема, к которому подключаются токоизмерительные клещи и отверстие для подключения источника питания. Корпус блока питания имеет размеры, необходимые для установки в него компактного понижающего трансформатора ТП-121-2.

Электронная часть устройства выполнена на одной печатной плате прямоугольной формы с габаритными размерами 90×110 мм. На этой плате располагается микроконтроллер, измеряющая микросхема, ЖК модуль, интегральный стабилизатор напряжения, шесть операционных усилителей, резисторы, конденсаторы, диоды, кварцевые резонаторы, ферритовое кольцо. Эта плата крепится по углам внутри электронного блока.

Выбор и обоснование основных параметров печатных плат

В соответствии с техническим заданием на данное изделие произведем разработку печатной платы устройства. Анализ схмотехнических решений и общей конструкции прибора позволяет сделать выбор и обоснование печатной платы устройства.

Габаритные размеры печатной платы определяются конструктивом и составляют 90×110 мм. Прочность сцепления печатных проводников с основанием определяет надежность и качество печатных плат. Данный прибор является в том числе и промышленным устройством, эксплуатируемым в реальных цеховых условиях с большим разбросом температур. Поэтому в качестве материала основания выбираем стеклотекстолит, так как гетинакс является менее термостойким, а специальные термопластики относительно дороги.

Довольно высокая плотность монтажа, малое расстояние между выводами микросхем, а также наличие шинной организации делают необходимым применение двухсторонней печатной платы. При разработке печатной платы необходимо учитывать помехоустойчивость устройства. Основная идея заключается в изоляции тех частей устройства, которые наиболее чувствительны к шумам и электромагнитным помехам. Так как все

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

этапы преобразования сигнала и его цифровая обработка происходят в микросхеме ADE7753, то надежность работы устройства определяется в первую очередь тем, как защищена эта микросхема. Для того чтобы обеспечить точность в широком динамическом диапазоне, та часть платы, которая ответственна за обработку сигналов, должна находиться в условиях минимального электрического шума. Шум приводит к росту погрешности в процессе аналогово-цифрового преобразования, выполняемого микросхемой ADE7753. Обычным источником шума в любом устройстве со смешанными сигналами является шум шины "земли", идущей к источнику питания. Здесь высокочастотный шум (возникающий из-за того, что цифровые сигналы имеют высокую скорость нарастания) может влиять на аналоговую часть устройства, так как шины земли аналоговой и цифровой частей имеют общий участок, идущий к источнику питания. Общепринятый метод преодоления такого рода неприятностей заключается в использовании отдельных цепей заземления, идущих к источнику питания, для аналоговой и цифровой частей схемы. Кроме того, необходимо приложить все усилия для того, чтобы импеданс этих цепей был по возможности низким.

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

3 Разработка алгоритмического и программного обеспечения однофазного измерителя коэффициента мощности

3.1 Структурная схема программного обеспечения

Блок-схема обобщенного алгоритма работы программы изображена на рисунке 3.1. Программа после блока начальной инициализации переходит в режим циклического чтения и вывода семи значений электрических параметров сети на четыре строки индикатора.

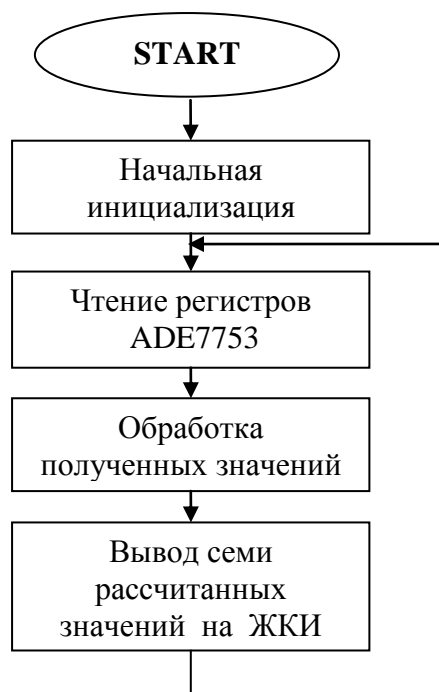


Рисунок 3.1 – Обобщенный алгоритм программы

Блок-схема более подробного алгоритма программы представлена на рисунке 3.2.

В начале идет блок основных определений с заданием имен портам и битам и назначением символьных имен регистрам.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Далее определяются макрокоманды (их в программе две: ADDI – добавить к регистру константу и INCW - инкрементировать слово - Z-регистр).

После этого начинается выполнение основной программы, которая начинается с инициализации стека, портов, ADE7753 и ЖКИ.

Порты В и D настраиваются на вывод посредством установки всех разрядов регистров DDRB и DDRD.

ADE7753 деактивируется — сбрасывается разряд $\overline{\text{RESET}}$ и устанавливается разряд $\overline{\text{CS}}$ управления последовательным портом ADE7753.

Установкой разряда lcdE регистра данных PORTB подается сигнал на линию E, являющийся стробом, сопровождающим сигналы на шине "команды / данные". Запись информации в ЖКИ происходит по спаду этого сигнала.

Производится настройка внутреннего прерывания от таймера/счетчика 0. Это делается путем установки бита I в регистре SREG и записи соответствующих кодов в регистр масок прерываний TIMSK (02h), регистр флагов прерываний TIFR (0h) и регистр управления TCCR0 (05h).

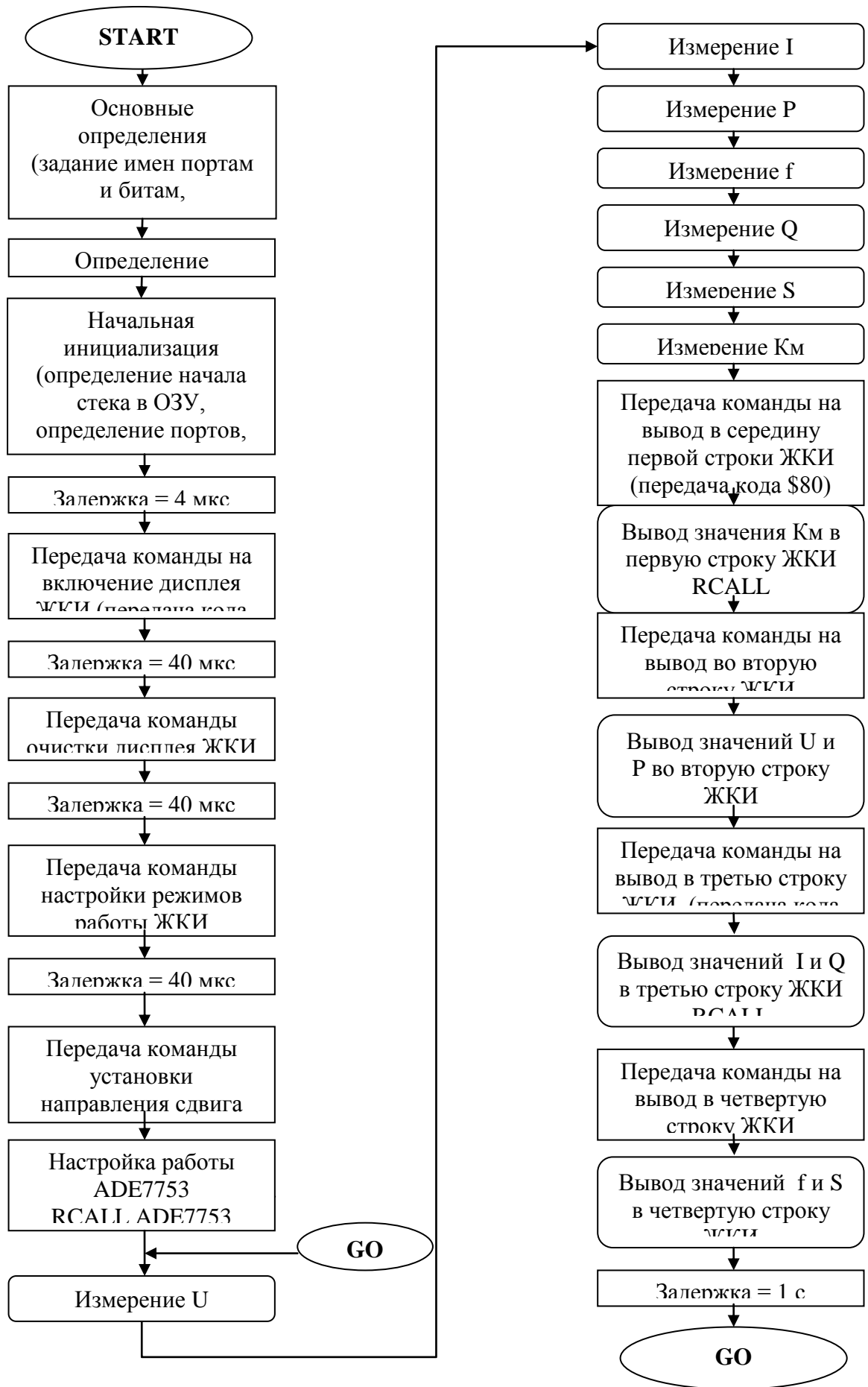


Рисунок 3.2 - Детальный алгоритм программы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-12.03.01-04-19

3.2 Алгоритм взаимодействия микроконтроллера с ЖКИ

На основе спроектированной принципиальной схемы и поставленной задачи разработаем алгоритм, который будет определять всю дальнейшую работу по написанию программы.

При разработке алгоритма отдельной строкой встает вопрос о временной синхронизации микроконтроллера с ЖКИ-модулем и микросхемой ADE7753.

Микроконтроллер ATtiny2313 имеет производительность около 1 миллиона операций в секунду за счет того, что почти все команды он выполняет за один период тактового генератора. При разработке цифрового термометра применяется модель ATtiny2313A-PU с тактовой частотой 4 МГц. Таким образом, одну операцию (команду) микроконтроллер выполняет за 0,25 мкс. Исходя из этих данных, были написаны подпрограммы временной задержки для работы с ЖКИ и ADE7753.

Для синхронизации с ЖКИ необходимы различные временные задержки, так после приема байта данных контроллер индикатора требует как минимум 40 мкс для обработки полученной информации, в течение которого AVR-микроконтроллер не должен выполнять новых передач, а сигнал на линии E, по советам производителей, должен находиться в активном состоянии около 4 мкс.

Для организации временных задержек при работе с ЖКИ предусмотрена подпрограмма lcdDELAY (рисунок 3.3).

В специальный регистр rDELAY в ходе выполнения основной программы непосредственно перед вызовом подпрограммы lcdDELAY заносится значение задержки в микросекундах. Как было рассчитано выше одну операцию (команду) микроконтроллер выполняет за 0,25 мкс, поэтому в начале подпрограммы lcdDELAY в регистр rLOWD заносится константа 4 и декрементируется до тех пор, пока не обнулится, в результате чего получается необходимая задержка в 1 мкс. После выполнения этих действий

декрементируется содержимое регистра rTEMPH. До тех пор, пока не обнулится этот регистр, происходит возврат к декрементации содержимого регистра rLOWD.

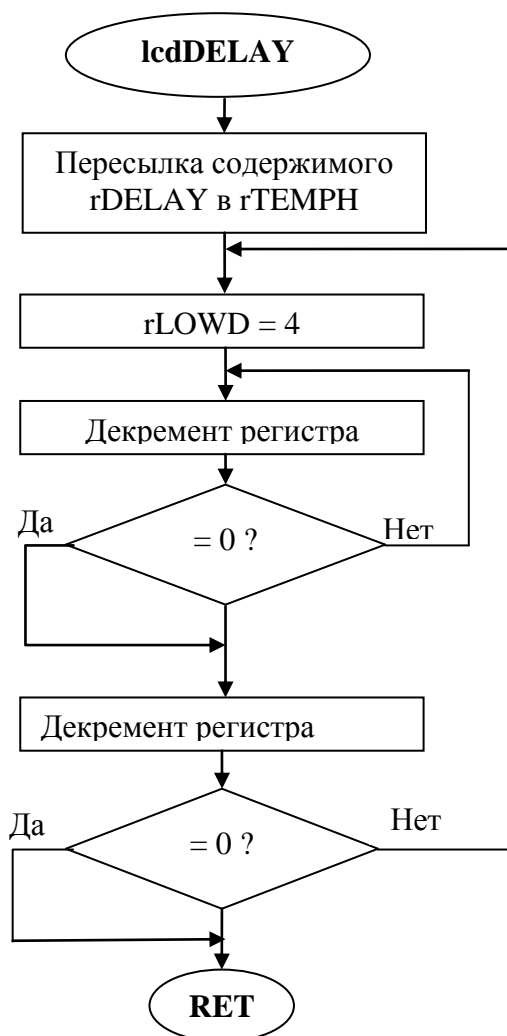


Рисунок 3.3 – Алгоритм подпрограммы lcdDELAY

Таким образом, если в регистр rDELAY загрузить единицу и вызвать подпрограмму lcdDELAY, то в результате ее выполнения мы получаем задержку в 1 мкс (без учета времени выполнения вспомогательных команд).

После начальной инициализации осуществляется передача в ЖКИ команд, управляющих режимами его работы.

Во временный регистр rTEMPH загружается код команды \$0C, означающий «включить дисплей, погасить курсор», и вызывается подпрограмма lcdCOMMAND формирования командного байта управления контроллером индикатора. Блок-схема подпрограммы lcdCOMMAND изображена на рисунке 3.4.

Подпрограмма lcdCOMMAND настраивает контроллер ЖКИ на ввод команды (посредством сброса разряда lcdA0 регистра данных PORTB), пересылает содержимое регистра rTEMPH (т.е. код команды) в регистр ввода/вывода PORTB, а также синхронизирует сигналы на шине "команды / данные" со стробом на линии E с помощью подпрограммы lcdPULSE, после чего осуществляется переход к основной программе.

Запись информации в ЖКИ происходит по спаду сигнала на линии E, являющегося стробом. Поэтому в подпрограмме **lcdPULSE** (рисунок 3.5) через необходимые временные задержки разряд lcdE сначала сбрасывается, а потом устанавливается.

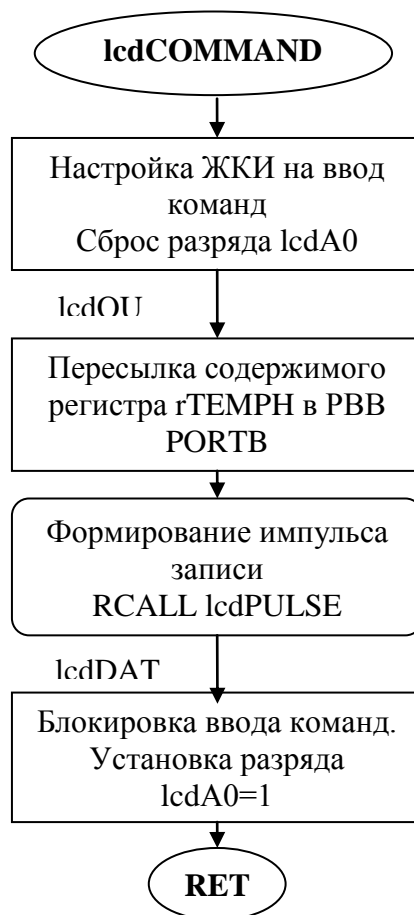


Рисунок 3.4 – Алгоритм подпрограммы lcdCOMMAND

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

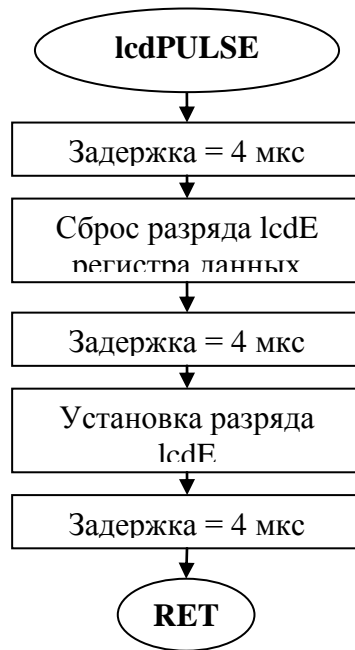


Рисунок 3.5 – Алгоритм подпрограммы lcdPULSE

Далее по алгоритму, описанному выше, на контроллер индикатора передаются команда с кодом \$01 - «Очистить дисплей», команда с кодом \$28 - «Установить разрядность интерфейса 4 бита, установить нулевую страницу встроенного знакогенератора» и команда с кодом \$86 – «Установить направление сдвига вправо».

После настройки работы индикатора и измеряющей микросхемы программа входит в режим циклического опроса ADE7753 и выдачи результатов на ЖКИ.

Во временный регистр rTEMPH загружается код команды \$80, означающий «установка адреса DDRAM», счетчику AC в области DDRAM присваивается адрес шестой ячейки - символы выводятся на середину первой строки индикатора - и вызывается подпрограмма lcdCOMMAND передачи командного байта. После получения этой команды, передающиеся в контроллер ЖКИ данные, которые представляют собой ASCII-коды отображаемых символов, будут записываться в DDRAM — перепрограммируемое ОЗУ знакогенератора.

Далее вызывается подпрограмма вывода значений параметров сети **lcdOUTZNACH**, которая читает данные с ОЗУ, которые считаны из регистров ADE7753 подпрограммой **adeGET**, обрабатывает их и выводит результат на ЖКИ (подробное описание алгоритма подпрограммы **lcdOUTZNACH** изложено ниже).

Подпрограмма lcdOUTBUF настраивает ЖКИ на прием данных. Перед вызовом подпрограммы в регистр **rSIZE** заносится число от 0 до 20, где 20 - максимально возможное число символов, выводимое одной строкой ЖКИ (это значение в последующем используется для организации цикла поочередной передачи символов на ЖКИ) и вызывается подпрограмма **lcdOUTBUF**. В начале подпрограммы **lcdOUTBUF** (рисунок 3.6) разряд **lscA0** регистра данных **PORTB** устанавливается в единицу.

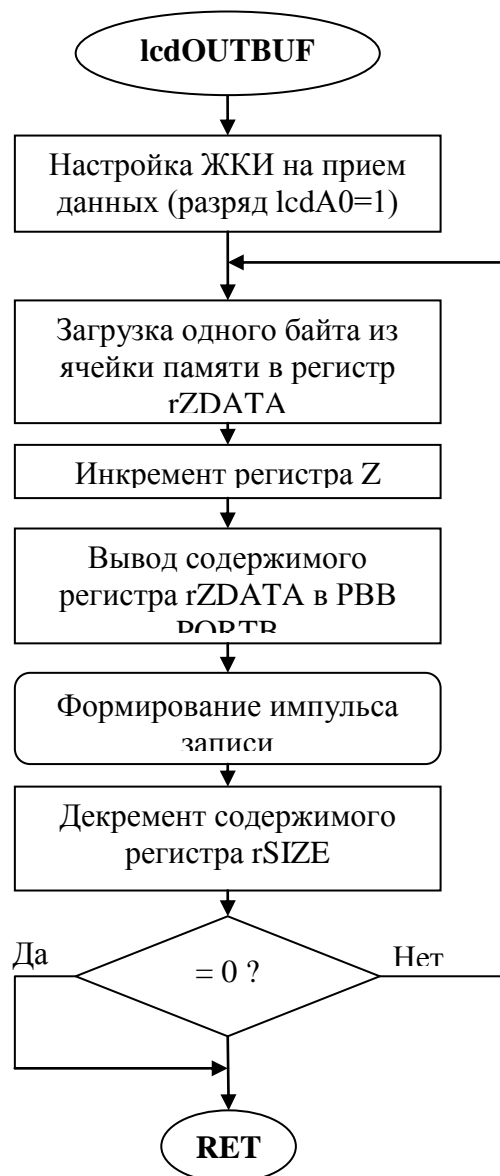


Рисунок 3.6 – Алгоритм подпрограммы lcdOUTBUF

После этого подпрограмма входит в цикл: в регистр rZDATA загружается один байт из адресного пространства памяти программ, при этом адрес ячейки памяти, к которой производится обращение, содержится в индексном регистре Z. Далее регистровая пара Z инкрементируется, содержимое регистра rZDATA пересылается в регистр ввода/вывода PORTB и вызывается подпрограмма lcdPULSE формирования импульса записи. После передачи одного символа содержимое регистра rSIZE (соответствующее количеству символов в строке) декрементируется, и если

он не обнулится, то осуществляется переход в начало цикла, в противном случае происходит выход в основную программу.

3.3 Алгоритм взаимодействия с микросхемой ADE7753

Все возможности микросхемы ADE7753 по вычислению электрических параметров доступны через регистры (REGISTERS), расположенные на кристалле ИС. Содержимое этих регистров может быть обновлено или прочитано через последовательный SPI-интерфейс. После включения питания и установления высокого логического уровня на выводе $\overline{\text{RESET}}$ по спаду сигнала на выводе $\overline{\text{CS}}$ ADE7753 устанавливается в режим коммуникации. В этом режиме микросхема позволяет производить запись в регистр коммуникаций. Данные, записываемые в регистр коммуникаций, определяют, какая следующая операция будет выполняться – чтение или запись и к какому регистру при этом будет происходить обращение.

Для работы с данной микросхемой необходимо провести ее первоначальную настройку. Для этого предназначена подпрограмма ADE7753 (рисунок 3.7). В регистре MODE мы сделали следующие настройки: отключили ФВЧ1 (так как измеряем постоянную составляющую тока), включили ФНЧ2 для вычисления активной мощности, установили максимальную частоту оцифровки CLKIN/128 для регистра WAVEFORM. В регистре INTERRUPT ENABLE REGISTER не выставляем ни одного флага, то есть за ненадобностью не используем прерывания. Настройки входных каналов в регистре GAIN также оставляем по умолчанию: коэффициенты усиления для программируемых усилителей PGA в обоих каналах равны 1, а максимальное входное напряжение для двух каналов равно $\pm 0,5$ В.

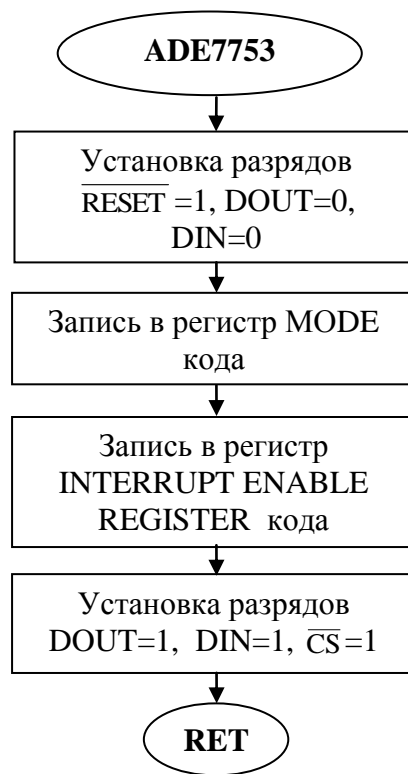


Рисунок 3.7 – Алгоритм настройки ADE7753

Так как время смены информации на ЖКИ мы установили равным 1 с, то для задания этого временного интервала будем использовать прерывания от таймера/счетчика 0 микроконтроллера, возникающие при его переполнении (настройка прерывания описана в тексте программы). Организуя счетчик rCNET, с записанным в него числом циклов, равным 15, мы получаем время смены информации на ЖКИ, равное $15 \times 65 \text{ мс} = 1 \text{ с}$ (65 мс – время, по истечении которого возникает переполнение таймера/счетчика 0 при использовании делителя тактовой частоты на 1024). Меняя содержимое счетчика rCNET, можем изменять время смены информации.

После того как сформирована данная задержка, микроконтроллер приступает к чтению регистров ADE7753 и выводу вычисленных значений на ЖКИ. Подпрограммы **adeGET** и **lcdOUTZNACH** как раз и предназначены для этих целей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР–02069964–12.03.01–04–19

Лист

42

Если при эксплуатации прибора измерение проводится только измерительными щупами, то информация на ЖКИ будет иметь вид, представленный на рисунке 3.8.

Строка 1	$K_M=X$	
Строка 2	$U=253,0В$	$P=X$
Строка 3	$I=X$	$Q=X$
Строка 4	$f=50,0Гц$	$S=X$

Рисунок 3.8 – Информация на ЖКИ электронного блока при подключенных только измерительных щупах

Вторым находится действующее значение тока I . Для этого микроконтроллер обращается к регистру IRMS по адресу 16h. В результате нам станет доступно содержимое этого 24-ех разрядного регистра. Если оно равно 0h, тогда токоизмерительные клещи не подключены к сети. Если содержимое отлично от 0h, то оно записывается в те же временные регистры. Эти регистры умножаются на коэффициент 0,00001525, получившееся значение переводится в двоично-десятичную систему счисления и сохраняется в ОЗУ.

Третьим находится активная мощность P . Микроконтроллер обращается к регистру WAVEFORM по адресу 01h. В результате нам станет доступно содержимое этого 24-ех разрядного регистра. Это содержимое записывается во временные регистры. Эти регистры умножаются на

коэффициент 0,163, получившееся значение переводится в двоично-десятичную систему счисления и сохраняется в ОЗУ.

Четвертым находится частота сети f . Производим чтение 15-ти разрядного регистра PERIOD во временные регистры rTEMPH1 и rTEMPH2. Их содержимое умножается на коэффициент 0,008. После этой операции во временных регистрах будет находиться значение частоты сети в герцах, получившееся значение переводится в двоично-десятичную систему счисления и сохраняется в ОЗУ.

Пятым находится реактивная мощность Q . Микроконтроллер обращается к регистру LVARENERGY по адресу 08h. В результате нам станет доступно содержимое этого 24-ех разрядного регистра. Это содержимое записывается во временные регистры и сохраняется в ОЗУ. Затем это значение вычитается из значения этого же регистра, но полученного в предыдущем цикле. Это разностное значение умножается на коэффициент 0,326. Получившееся значение переводится в двоично-десятичную систему счисления и сохраняется в ОЗУ.

Шестым находится полная мощность S . Извлекаем из ОЗУ сохраненные значения U и I и перемножаем их. Получившееся значение переводится в двоично-десятичную систему счисления и сохраняется в ОЗУ.

Седьмым находится коэффициент мощности. Извлекаем из ОЗУ сохраненные значения P и S . Делим P на S , затем получившееся значение переводится в двоично-десятичную систему счисления и выводится на ЖКИ. Следом выводятся: U, P, I, Q, f, S .

Блок-схема алгоритма подпрограммы lcdOUTZNACH для нахождения напряжения U представлена на рисунке 3.9.

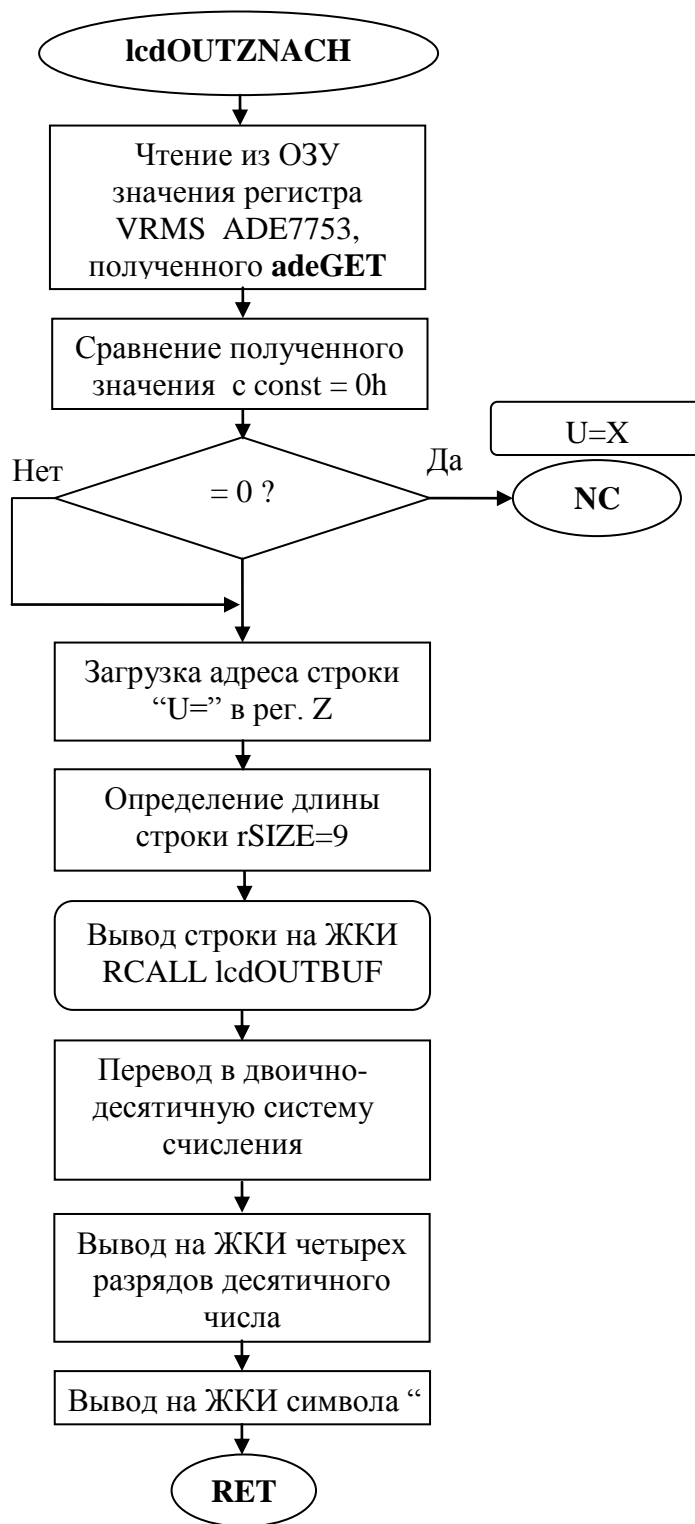


Рисунок 3.9 – Алгоритм подпрограммы lcdOUTZNACH

Подпрограмма начинается с получения данных с ОЗУ микроконтроллера, которые сохранены там подпрограммой adeGET, которая осуществляет чтение байтов данных с измеряющей микросхемы и сохраняет

результат в специально отведенных регистрах rTEMPH (подробное описание алгоритма подпрограммы adeGET изложено ниже).

Далее необходимо проверить полученные данные, для чего значение регистров rTEMPH сравнивается с const=0h и, если оно равно этой константе, то осуществляется переход на метку NC.

В случае перехода на метку NC на ЖКИ выводится строка «U=X» (рисунок 3.10). Для этого в регистровую пару ZL:ZH загружается соответственно младший и старший байт константы s2NC*2. s2NC*2 является меткой (адресом), по которой ассемблер обращается к зарезервированному директивой DB пространству памяти программ, где хранится вышеупомянутая строка).

В регистр rSIZE заносится число 3, соответствующее количеству символов в строке, это значение в последующем используется для организации цикла поочередной передачи символов (точнее говоря ASCII-кодов отображаемых символов) на ЖКИ. И далее вызывается подпрограмма **lcdOUTBUF** для вывода символов на индикатор.

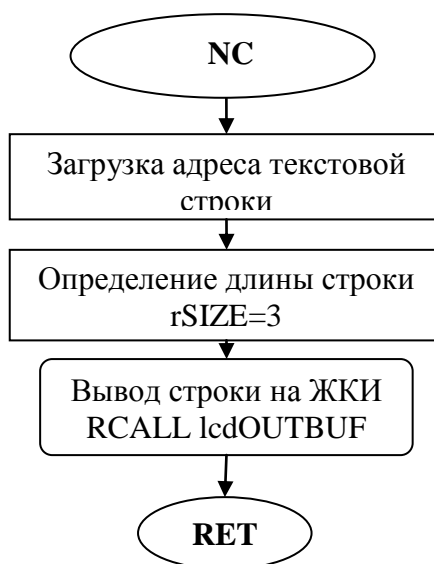


Рисунок 3.10 – Алгоритм подпрограммы adeNC

После проверки начинается процедура вывода значения напряжения на ЖКИ. Сначала выводится строка «U = », для этого в регистровую пару ZL:ZH загружается соответственно младший и старший байт константы s2*2, в регистр rSIZE заносится число 9, соответствующее количеству символов в строке, и вызывается подпрограмма lcdOUTBUF (подробное описание алгоритма данной подпрограммы уже изложено выше).

Перед выводом на индикацию содержимое регистров с величиной напряжения необходимо перевести в двоично-десятичную форму, для чего вызывается подпрограмма **pDIV**.

Алгоритм подпрограммы pDIV основан на последовательном определении количества каждого из десятичных разрядов в исходном числе (рисунок 3.11). Перед вызовом подпрограммы в регистр rDIV записываем число 100.

В нашем случае четыре разряда, поэтому из исходного значения поочередно вычитаются константа 100, 10, 1 до момента пока значение не перейдет в отрицательное состояние (пока не установится флаг переноса), при этом количество вычитаний для каждого разряда подсчитывается и сохраняется в регистрах rCHAST (1-3), а остаток после вычитания – в регистре rOST.

После получения четырех разрядов десятичного числа – результата измерения – необходимо их вывести на индикацию так, чтобы строка выглядела следующим образом:

« U = _ _ _ , _ B »

Для обеспечения целостности выводимой строки в программе предусмотрена макрокоманда ADDI, которая добавляет к регистру Z константу. С помощью данной макрокоманды содержимое регистра rCHAST1 (разряд сотен) добавляется к строке по адресу, записанному в регистр Z, и программа переходит сначала на метку lcdDATA, где ЖКИ настраивается на прием данных, а затем к подпрограмме lcdCOMMAND - значение первого разряда выводится на ЖКИ вслед за строкой «U = ».

Аналогично выводятся значения последующих разрядов вместе с запятой, а также символ «В».

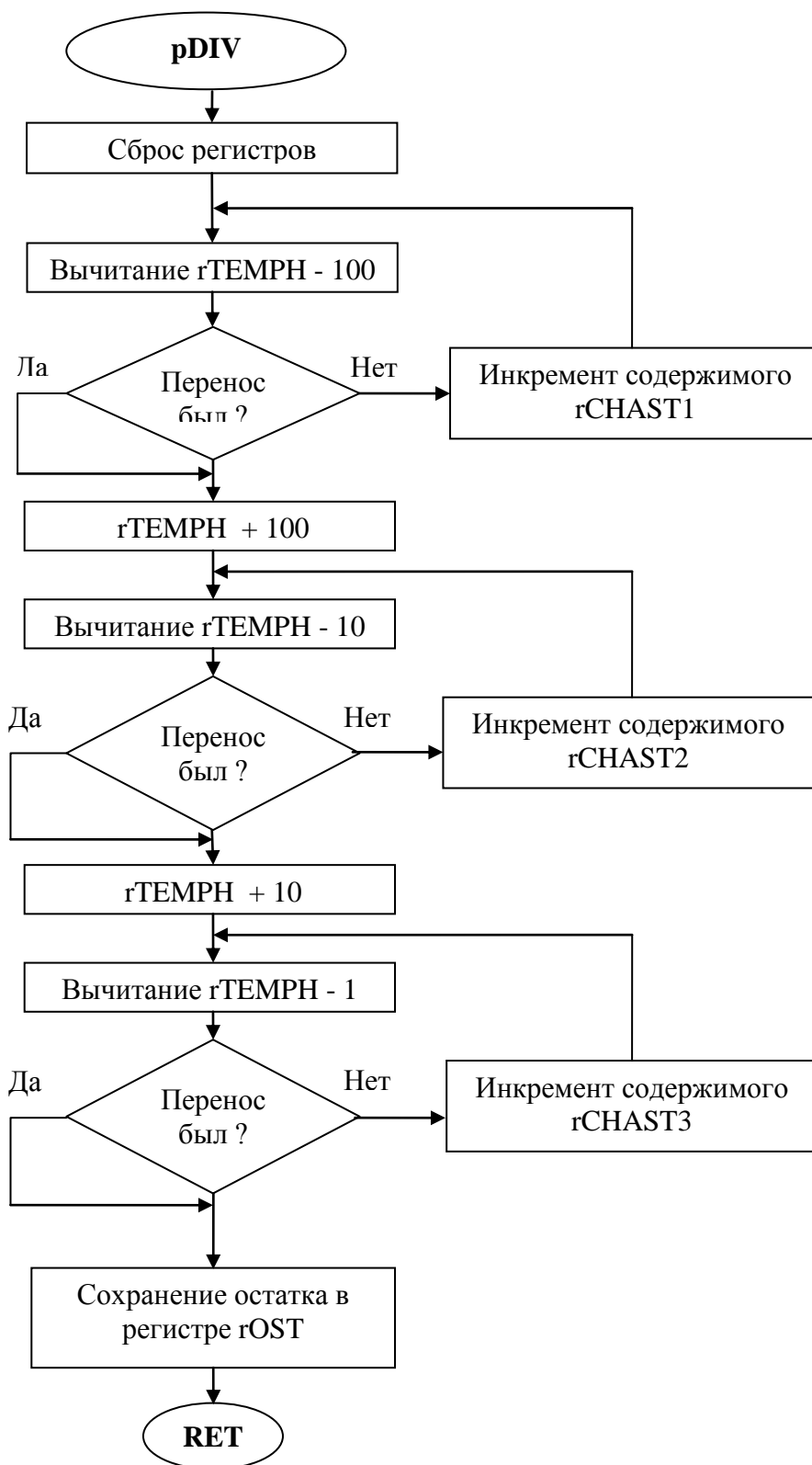


Рисунок 3.11 – Алгоритм подпрограммы деления

Подпрограмма adeGET предназначена для чтения внутренних регистров с ADE7753.

Подпрограмма начинается с инициализации микросхемы – сбрасывается разряд \overline{CS} (регистр данных PORTD) управления последовательным портом ADE7753 (рисунок 3.12).

DOUT - логический выход, с которого осуществляется вывод данных из последовательного порта, DIN – через этот вывод осуществляется ввод данных. Перед началом чтения или записи эти разряды сбрасываются (CBI adeDout и CBI adeDin).

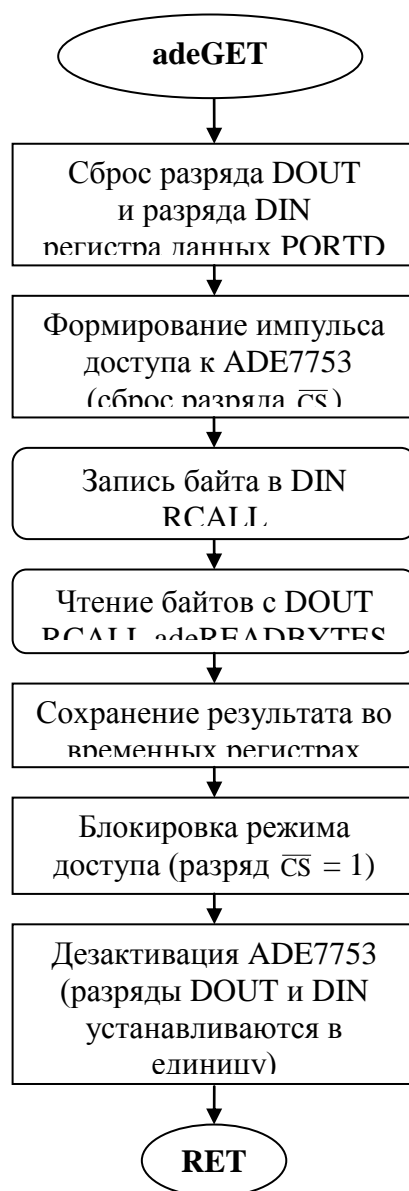


Рисунок 3.12 – Алгоритм подпрограммы adeGET

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Работа данной подпрограммы описана выше.

Подпрограмма adeWRITEBYTES предназначена для побитовой записи нескольких байтов информации в ADE7753.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 3.13. Перед вызовом подпрограммы в регистр rTEMPH загружается число 8 или 16, равное количеству записываемых битов, а в регистры rTEMPH (1-2) записываем код, который побитно выводим в adeDin. В подпрограмме осуществляется сдвиг разрядов регистров rTEMPH (1-2) влево. Выдвинувшийся за разрядную сетку бит - флаг С регистра состояний SREG пересылается в DIN. Содержимое регистра rTEMPH декрементируется и осуществляется либо переход в начало цикла (если rTEMPH не обнулится), либо выход из подпрограммы.

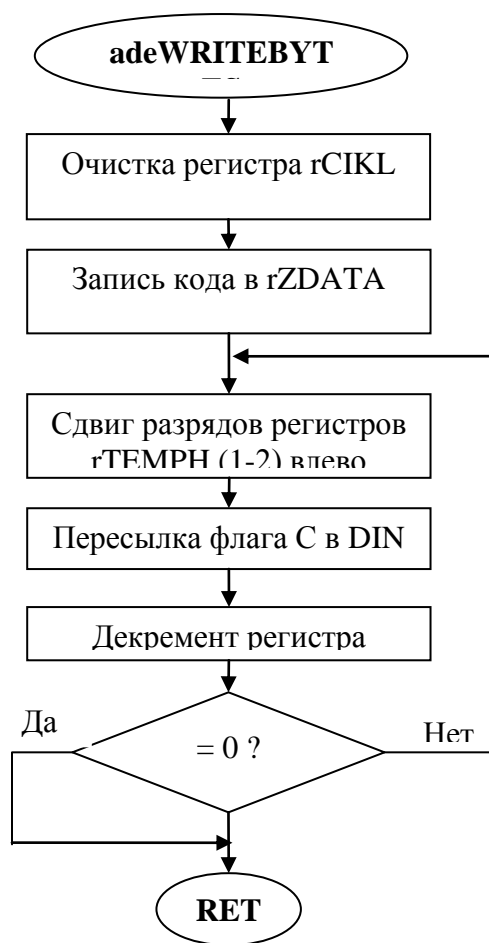


Рисунок 3.13 – Алгоритм подпрограммы adeWRITEBYTES

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Подпрограмма `adeREADBYTES` предназначена для побитового чтения байтов информации с `ADE7753`.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 3.14. Перед вызовом подпрограммы в регистр `rTEMPH` загружается число 15 или 24, равное количеству считываемых битов. В начале сбрасываются необходимые в процессе выполнения подпрограммы регистры `rTEMPH` (1-3).

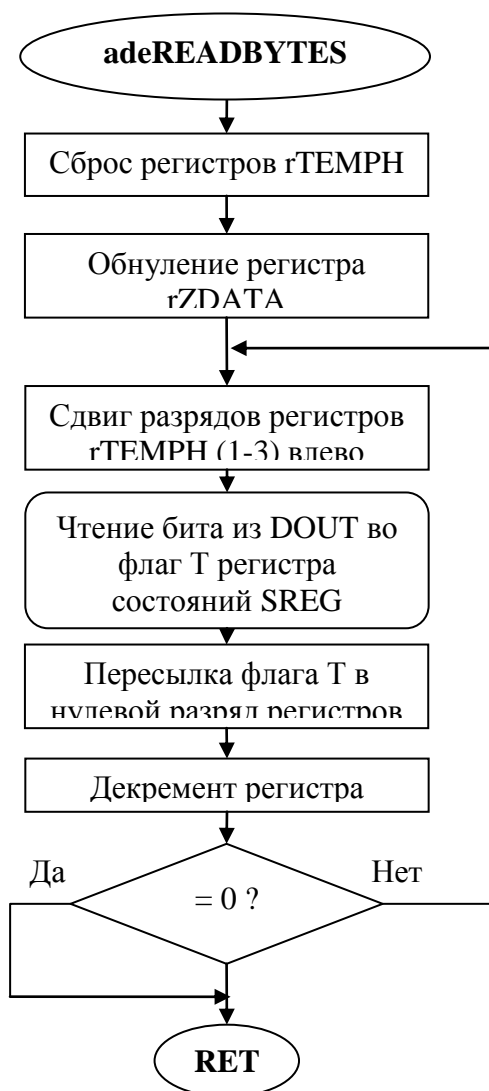


Рисунок 3.14 – Алгоритм подпрограммы `adeREADBYTES`

В цикле осуществляется сдвиг разрядов регистров `rTEMPH` (1-3) влево и вызывается подпрограмма `adeRtoT` (рисунок 3.15), которая пересылает содержимое регистра ввода/вывода (`PORTD`) в регистр `rBIT`, а

затем копирует разряд DOUT этого регистра во флаг T регистра состояний SREG и переходит назад, в подпрограмму adeREADBYTES.

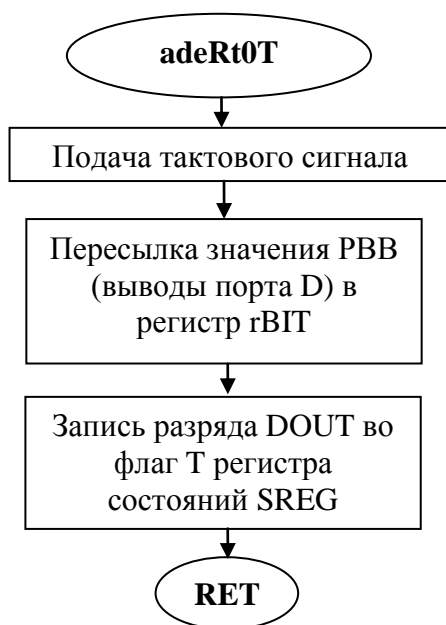


Рисунок 3.15 – Алгоритм подпрограммы adeRt0T

Флаг T копируется в нулевой разряд регистра rTEMPH (1-3), содержимое регистра rTEMPH декрементируется и осуществляется либо переход в начало цикла (если rTEMPH не обнулится), либо выход из подпрограммы.

Таким образом, посредством побитового чтения с ADE7753 в регистры rTEMPH (1-3) записывается 15-ти или 24-ех разрядное число – результат измерения.

После возврата в подпрограмму adeGET разряд \overline{CS} устанавливается – блокировка чтения данных. ADE7753 деактивируется – разряды DIN и DOUT устанавливаются в единицу, после чего осуществляется переход к основной программе.

3.4 Написание программы на языке ассемблера

Следующим этапом после разработки алгоритма является написание программы на языке ассемблера. Текст программы в соответствии с системой команд микроконтроллера ATtiny2313 может быть набран в любом текстовом редакторе, либо непосредственно в окне редактора отладчика.

Символом точки в начале строки начинаются директивы ассемблера, символом точки с запятой – комментарии.

В начале программы при помощи директивы ассемблера `.INCLUDE "2313DEF.INC"` подключается файл определения адресов регистров ввода/вывода. Это делается для того, чтобы задать соответствие стандартных символических имен регистров реальным адресам.

Далее осуществляется определение портов и битов – посредством директивы `EQU` символьным именам сопоставляются арифметические выражения. Директивой `DEF` назначаются регистрам символьные имена. Все эти операции позволяют сделать программу более понятной и наглядной.

При помощи директивы `MACRO` определяются макрокоманды. Их в программе две: `ADDI` – добавить к регистру константу и `INCW` - инкрементировать слово (Z-регистр).

Функция `low(RAMEND)` выбирает младший байт из константы `RAMEND` (адрес последней ячейки ОЗУ). Для определения адреса последней ячейки ОЗУ микроконтроллера ATtiny2313 достаточно одного байта, поэтому указатель стека представлен только одним регистром `SPL` и используется только младший байт адреса, а старший байт равен нулю.

В самом конце программы директивой `DB` резервируется место в памяти программ, где хранятся символьные строки, необходимые в процессе, выполнения программы, а точнее говоря для организации индикации. Для того чтобы иметь возможность обращаться к зарезервированному пространству, перед директивой ставятся метки, к которым и обращается ассемблер.

Текст программы на языке ассемблера представлен в приложении А.

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дипломного проектирования было разработано многофункциональное средство измерений – однофазный измеритель коэффициента мощности на базе AVR микроконтроллера, способное одновременно анализировать семь электрических величин в однофазных сетях, характеризующее процессы производства, распределения и потребления электрической энергии.

Его достоинством, как цифрового прибора, является то, что он намного точнее и многофункциональнее нежели аналоговый прибор такого же типа.

Прибор, который был разработан в этом проекте, прост и удобен в эксплуатации. Его небольшая масса и габариты, а также питание от измеряемой сети делает его привлекательным для потребителя. Дополнительным плюсом этого прибора является то, что не требуется специальной подготовки и высококвалифицированного персонала для его использования.

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Голубцов М. С. Микроконтроллеры AVR : от простого к сложному. / М. С. Голубцов — М.: СОЛОН-Пресс, 2003, – 288 с. — (Серия «Библиотека инженера»)

2 Зевеке Г. В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. Изд. 4-е, переработанное. / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил. и др. — М.: Энергия, 1975. – 752 с.: ил.

3 Панев Б. И. Электрические измерения: Справочник (в вопросах и ответах). / Б. И. Панев — М.: Энергоатомиздат, 1987, – 224 с.: ил.

4 Коломбет Е. А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. / Е. А. Коломбет — М.: Радио и связь, 1991. – 376 с.: ил.

5 Шишов О. В. Проектирование аналого-цифровых контрольно-управляющих микропроцессорных систем / О. В. Шишов — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та 1995. – 107 с.: ил.

6 Ларин Л. С. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов: Учебное пособие. / Л. С. Ларин, Л.А. Чалдаева, Н.Д. Гуськова. — Саранск: Изд. Мордов. университета, 1983. – 100 с.

7 Учайкин И. Г. Конструирование и миниатюризация электронной аппаратуры: Учебное пособие. / И. Г. Учайкин. — Саранск: Издательство Саратовского университета. Саранский филиал, 1990. – 200 с.

8 Гитцевич А. Б. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры. Справочник / А. Б. Гитцевич, А. А. Зайцев, В. В. Мокряков М.: Радио и связь, 1988. – 528 с.

9 Усатенко С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.

10 Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для ВУЗов. / П. А. Долин – М.: Энергия, 1979. – 408 с.

11 Куневич А. В. Индуктивные элементы на ферритах. Ферритовые сердечники в узлах радиоаппаратуры. / А. В. Куневич, И. Н. Сидоров. – СПб.: «Лениздат», 1997 – 408 с.

12 Электронный каталог «[аналог](http://www.analog.com) девайс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.analog.com> – Загл. с экрана.

13 Открытое акционерное общество «Научно исследовательский институт электромеханики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.niem.ru> – Загл. С экрана.

					БР–02069964–12.03.01–04–19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Текст программы

```
.INCLUDE "2313DEF.INC"
```

;Основные определения

```
.EQU    pDATAW    =PORTB    ; Определение
.EQU    pDATAD    =DDRB     ; портов и
.EQU    pCTRLW    =PORTD    ; битов
.EQU    pCTRLD    =DDRD     ;

.EQU    adeDin     =PD0      ; порт D
.EQU    adeDout    =PD1      ; порт D
.EQU    adeCS      =PD2      ; порт D
.EQU    adeSAG     =PD3      ; порт D
.EQU    adeRESET   =PD6      ; порт D
.EQU    adeSCLK    =PB1      ; порт B
.EQU    lcdA0      =PB7      ; порт B
.EQU    lcdE       =PB6      ; порт B

.DEF    rTEMPL     =R1       ; Временные
.DEF    rTEMPH     =R16      ; регистры

.DEF    rZDATA     =R0       ; Для LPM
.DEF    rSIZE      =R2       ; Длина строки

.DEF    rLOWD      =R3       ; Для задержки
.DEF    rDELAY     =R19      ;

.DEF    rCIKL      =R20      ; Счетчики
.DEF    rCHET      =R21      ;
.DEF    rBIT       =R22      ;

.DEF    rTEMPH1    =R4       ; Временные
.DEF    rTEMPH2    =R5       ; регистры
.DEF    rTEMPH3    =R6       ;

.DEF    rDIV       =R23      ; Для
.DEF    rOST       =R24      ; процедуры
.DEF    rCHAST1    =R25      ; деления
.DEF    rCHAST2    =R26      ;
```

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-12.03.01-04-19

Лист

58

.DEF rCHAST3 =R27 ;

; Макрокоманды

.MACRO ADDI ; Добавить
SUBI @0, -@1 ; к регистру
.ENDMACRO ; константу

.MACRO INCW ; Инкрементировать
ADIW @0, 1 ; слово
.ENDMACRO ; (Z-регистр)

.ORG 006 ; Обслуживание прерывания
RJMP Timer_0

; Кодовый сегмент

LDI rTEMPH, LOW (RAMEND) ; Определение начала
OUT SPL, rTEMPH ; стека в ОЗУ

SER rTEMPH ; Объявление
OUT pDATAD, rTEMPH ; портов В и D
OUT pCTRLD, rTEMPH ; выходными

BSET I ; Глобальное разрешение
; прерываний

LDI rTEMPH, 2 ;
OUT TIMSK, rTEMPH ; Настройка
LDI rTEMPH, 0 ; прерывания
OUT TIFR, rTEMPH ;
LDI rTEMPH, 5 ;
OUT TCCRO, rTEMPH ;

LDI rCHET, 15 ; Установка интервала
индикации

SBI pCTRLW, adeCS ; Дезактив. ADE7753 (уст-ка
CBI pCTRLW, adeRESET ; разряда adeCS=1 и
adeRESET=0)

SBI pCTRLW, lcdE ; Инициализация ЖКИ
LDI rDELAY, 4
RCALL pDELAY
LDI rTEMPH, \$0C ; Передача команды на
RCALL lcdCOMMAND ; включение дисплея

```

LDI      rDELAY, 40
RCALL    pDELAY
LDI      rTEMPH, $01          ; Передача команды на
RCALL    lcdCOMMAND          ; очистку дисплея
LDI      rDELAY, 40
RCALL    pDELAY
LDI      rTEMPH, $28          ; Установка 4-битной шины
RCALL    lcdCOMMAND          ; данных и нулевой страницы
LDI      rDELAY, 40          ; знакогенератора
RCALL    pDELAY
LDI      rTEMPH, $86          ; Установка направления
сдвига
RCALL    lcdCOMMAND          ; вправо
LDI      rDELAY, 40
RCALL    pDELAY
RJMP     GO1
GO:
LDI      rCHET, 15
RETI
GO1:
LDI      rTEMPH1, $17         ; Адрес считываемого
регистра
LDI      rTEMPH, 8           ; Размер записываемого
регистра
LDI      rTEMPL, 24          ; Размер считываемого
регистра
RCALL    adeGET              ; Чтение этого регистра
STS      $60, rTEMPH1        ;
STS      $61, rTEMPH2        ; Запись считанных байтов в ОЗУ
STS      $62, rTEMPH3        ;

LDI      rTEMPH, $80          ; Вывод на 1-ю строку
RCALL    lcdCOMMAND
RCALL    lcdOUTZNACH

LDI      rTEMPH, $C0          ; Вывод на 2-ю строку
RCALL    lcdCOMMAND
RCALL    lcdOUTZNACH

LDI      rTEMPH, $94          ; Вывод на 3-ю строку
RCALL    lcdCOMMAND
RCALL    lcdOUTZNACH

LDI      rTEMPH, $D4          ; Вывод на 4-ю строку

```

RCALL lcdCOMMAND
RCALL lcdOUTZNACH

SLEEP ; Останов

Timer_0:

DEC rCHET ; установка периода индикации
BREQ GO ;
RETI ;

lcdCOMMAND: ; послать командный байт
CBI pCTRLW, lcdA0 ; настройка на прием команд
RJMP lcdOUT

lcdDATA: ; послать байт данных
SBI pCTRLW, lcdA0 ; настройка на прием данных

; Послать байт на ЖКИ

lcdOUT:
OUT pDATAW, rTEMPH ; вывод значения в PWB
RCALL lcdPULSE
RET

; Импульс записи

lcdPULSE:
LDI rDELAY, 4
RCALL pDELAY
CBI pCTRLW, lcdE ; сброс строга на линии E
LDI rDELAY, 4
RCALL pDELAY
SBI pCTRLW, lcdE ; установка строга на линии E
LDI rDELAY, 4
RCALL pDELAY
RET

; Временная задержка

pDELAY:
MOV rTEMPH, rDELAY
lcdD1:
LDI rLOWD, 4
lcdD2:
DEC rLOWD
BRNE lcdD2
DEC rTEMPH
BRNE lcdD1

RET

; Вывод rSIZE символов на ЖКИ

lcdOUTBUF:

SBI pCTRLW, lcdA0 ; настройка на прием данных

IOUT:

LPM ; загрузка байта из памяти

INCW ZL

MOV rTEMPH, rZDATA

OUT pDATAW, rTEMPH ; вывод байта данных в PWB

RCALL lcdPULSE

DEC rSIZE

BRNE IOUT ; переход на метку, если не

ноль

RET

; Вывод напряжения

lcdOUTZNACH:

LDS rTEMPH1, \$60 ;

LDS rTEMPH2, \$61 ; запись считанных байтов из ОЗУ

LDS rTEMPH3, \$62 ;

ADC rTEMPH, rTEMPH1

ADC rTEMPH, rTEMPH2

ADC rTEMPH, rTEMPH3

CPI rTEMPH, 00h ; если равно 0, то переход

BRSH NC ;

LDI ZL, LOW (s2*2) ; загрузка адреса

LDI ZH, HIGH (s2*2) ; строки «U = »

LDI rTEMPH, 2

MOV rSIZE, rTEMPH ; определение длины строки

RCALL lcdOUTBUF ; вывод строки на ЖКИ

RCALL MULT

LDI rDIV, 100

RCALL pDIV ; делим на 100

MOV rTEMPH, rCHAST1

ADDI rTEMPH, '0'

RCALL lcdDATA ; пишем частное

MOV rTEMPH, rCHAST2

ADDI rTEMPH, '0'

RCALL lcdDATA ; пишем частное

MOV rTEMPH, rCHAST3

ADDI rTEMPH, '0'

RCALL lcdDATA ; пишем частное

LDI rTEMPH, ','

```

RCALL    lcdDATA
MOV      rTEMPH, rOST
ADDI    rTEMPH, '0'
RCALL    lcdDATA                ; пишем остаток
LDI     rTEMPH, 'B'
RCALL    lcdDATA                ; пишем B
RET

```

; Пишем "U = X"

adeNC:

```

LDI     ZL, LOW (s2NC*2)        ; загрузка адреса
LDI     ZH, HIGH (s2NC*2)      ; со строкой
LDI     rTEMPH, 3              ; определение длины строки
MOV     rSIZE, rTEMPH
RCALL   lcdOUTBUF              ; вывод на индикатор
RET

```

; Чтение регистров ADE7753

adeGET:

```

CBI     pCTRLW, adeCS          ; инициализация ADE7753
CBI     pCTRLW, adeDout       ; настройка на ввод с

```

ADE7753

```

CBI     pCTRLW, adeDin        ; настройка ввода в ADE7753
RCALL   adeWRITEBYTES        ; запись байта
LDI     rDELAY, 5
RCALL   pDELAY
RCALL   adeREADBYTES         ; чтение байтов
RET

```

; Запись байтов в ADE7753

adeWRITEBYTES:

```

CLR     rCIKL
MOV     rZDATA, rTEMPH1       ; запись кода

```

adeWB1:

```

ROL     rZDATA                ; сдвиг влево
BRCC   adeWB2

```

```

SBI     pCTRLW, adeDin        ; установка adeDin = 1

```

adeWB2:

```

SBI     pCTRLW, adeSCLK       ; подача тактового сигнала
LDI     rDELAY, 1
RCALL   pDELAY
CBI     pCTRLW, adeSCLK
LDI     rDELAY, 1
RCALL   pDELAY

```

```

CBI      pCTRLW, adeDin      ; установка adeDin = 0
  INC    rCIKL
CPI      rCIKL, 8
BRNE    adeWB3
CLR      rCIKL
MOV      rZDATA, rTEMPH2
adeWB3:
DEC      rTEMPH
  BRNE   adeWB1      ; переход, если не ноль
RET

```

; Чтение байтов с ADE7753

adeREADBYTES:

```

CLR      rCIKL
CLR      rTEMPH1
CLR      rTEMPH2
CLR      rTEMPH3
MOV      rZDATA, rTEMPH1      ; очистка регистров

```

adeRB1:

```

  LSL    rZDATA      ; сдвиг влево
  RCALL  adeRtoT     ; читаем бит
  BLD    rZDATA, 0   ; запись флага T в нулевой

```

разряд

```

  INC    rCIKL
CPI      rCIKL, 8
BRNE    adeRB2
CLR      rCIKL
MOV      rTEMP3, rTEMPH2
MOV      rTEMP2, rTEMPH1
MOV      rTEMP1, rZDATA

```

adeRB2:

```

DEC      rTEMPL
  BRNE   adeRB1      ; переход, если не ноль
RET

```

; Чтение бита из ADE7753 в T

adeRtoT:

```

  SBI    pCTRLW, adeSCLK      ; подача тактового сигнала
  LDI    rDELAY, 1
  RCALL  pDELAY
CBI      pCTRLW, adeSCLK
  LDI    rDELAY, 1
  RCALL  pDELAY
  IN     rBIT, pCTRLW      ; запись содержимого PBB

```


BST
флаг T
RET

rBIT, adeDout

; запись разряда adeDout во

; Текстовые строки

s1:
.DB "КМ ="
s1NC:
.DB "КМ = X"
s2:
.DB "U = "
.DB "P = "
s2NC:
.DB "U = X"
.DB "P = X"
s3:
.DB "I = "
.DB "Q = "
s3NC:
.DB "I = X"
.DB "Q = X"
s4:
.DB "f = "
.DB "S = "
s4NC:
.DB "f = X"
.DB "S = X"

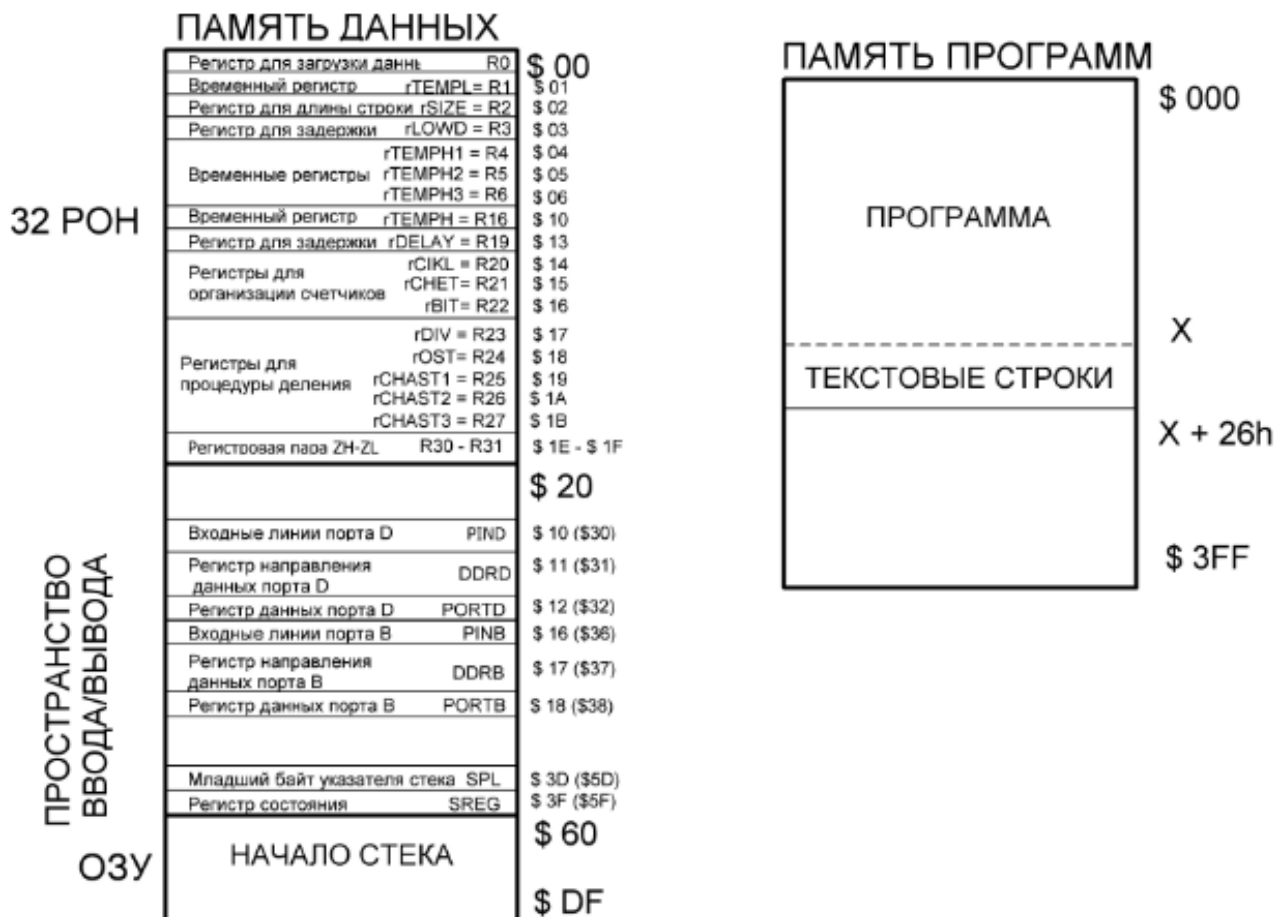
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР-02069964-12.03.01-04-19

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Распределение памяти

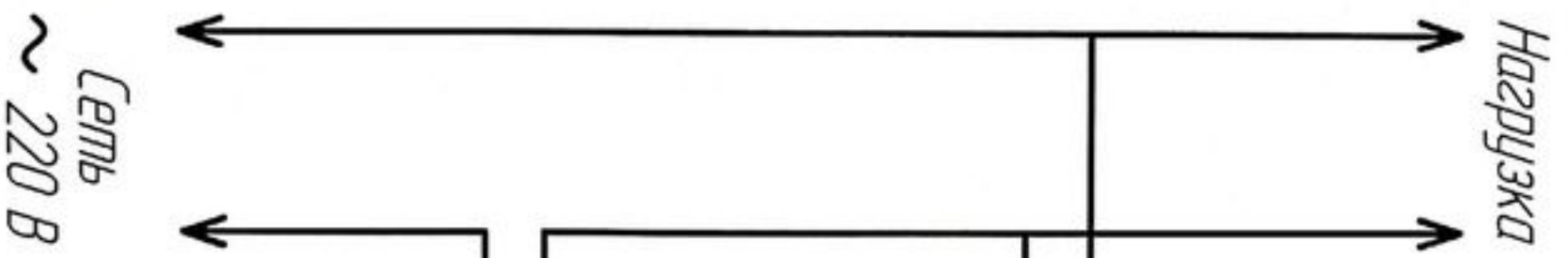


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

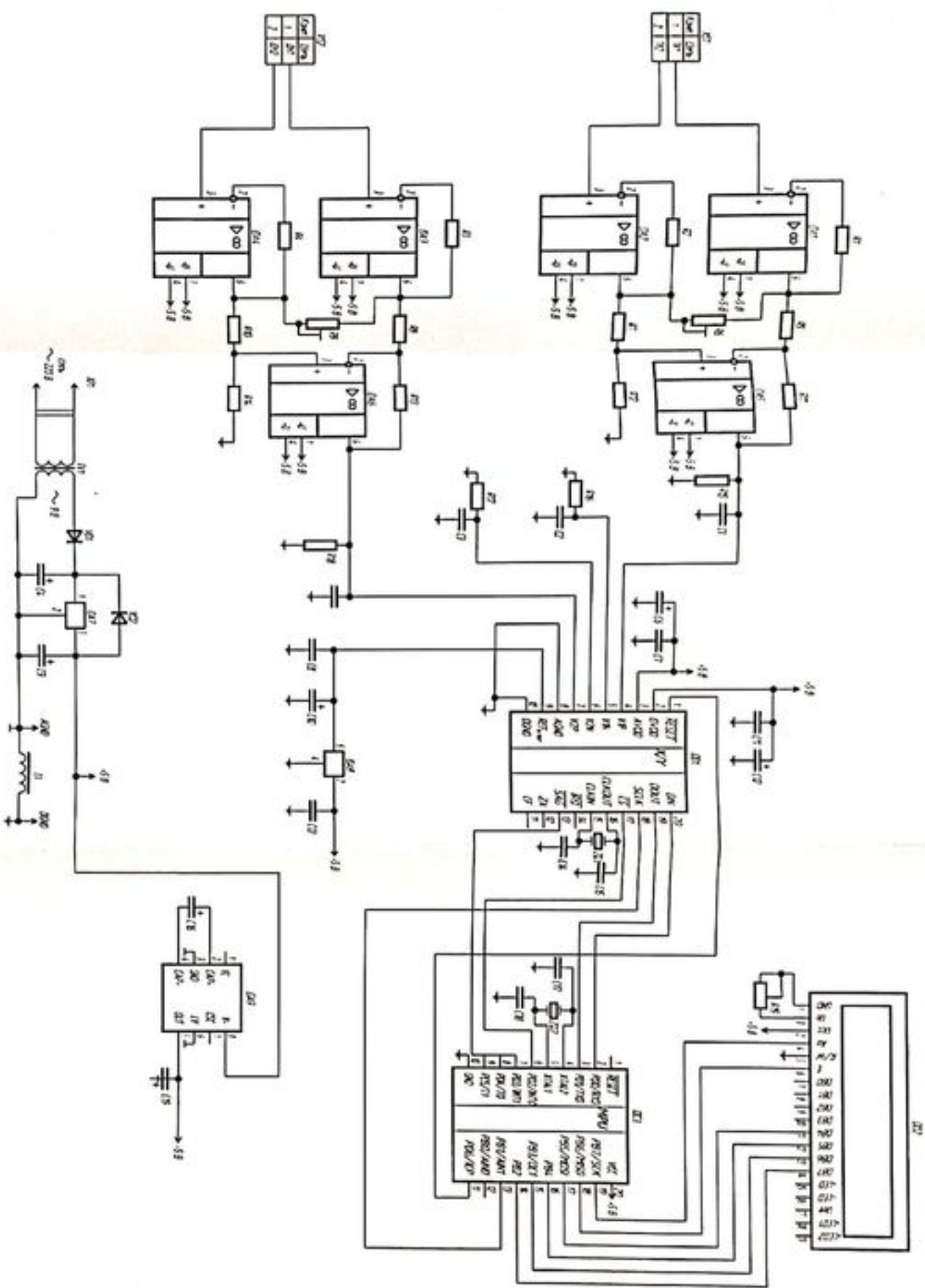
БР-02069964-12.03.01-04-19

Лист

66



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	БР-02069964-12.03.01-04-19 ЭР Однофазный измеритель коэффициента мощности Структурная схема	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Вучков В. В.	Вучков В. В.	<i>[Signature]</i>	19.05.19		Лист 1		
Провер.	Богданов А. В.	Богданов А. В.	<i>[Signature]</i>	19.06.19		Лист 1		
Т. контр.						Лист 1		
Реценз.						Лист 1		
Н. контр.	Востригина А. А.	Востригина А. А.	<i>[Signature]</i>	19.06.19	ИУЭ им. Н. П. Давыдова ИЭС ЭИЭ Государственное 451 зп			
Утверд.	Безлюдов Н. Н.	Безлюдов Н. Н.	<i>[Signature]</i>	20.06.19				



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Вильгельм Д. В.	Вильгельм Д. В.	<i>[Signature]</i>	19.03.19
Проект.	Бальзамов А. Ю.	Бальзамов А. Ю.	<i>[Signature]</i>	19.03.19
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.	Щестерина А. А.	Щестерина А. А.	<i>[Signature]</i>	19.03.19
Утверд.	Басалов Н. Н.	Басалов Н. Н.	<i>[Signature]</i>	20.03.19

БР-02069964-12.03.01-04-19 33

Однофазный измеритель
коэффициента мощности
Принципиальная схема

Лист	Масса	Масштаб
Лист 1		

МГУ им. Н. П. Огарева
ИЭС ЭНЭ
Гидроагрегат № 451 зп

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание					
<u>Конденсаторы</u>								
C1 - C3	K10-17u-0,033 мкФ ± 5 %	3						
C4	K50-35-40 В-2,2 мФ ± 5 %	1						
C5	K10-17u-0,033 мкФ ± 5 %	1						
C6	K50-20-16 В-10 мкФ ± 5 %	1						
C7, C8	K10-17δ-0,1 мкФ ± 5 %	2						
C9, C10	K50-20-16 В-10 мкФ ± 5 %	2						
C11	K10-17δ-0,1 мкФ ± 5 %	1						
C12	K50-20-16 В-10 мкФ ± 5 %	1						
C13	K10-17δ-0,1 мкФ ± 5 %	1						
C14, C15	K10-17a-M47-22 пФ ± 5 %	2						
C16	K50-20-16 В-10 мкФ ± 5 %	1						
C17, C18	K10-17a-M47-22 пФ ± 5 %	2						
C19	K50-20-16 В-10 мкФ ± 5 %	1						
<u>Микросхемы</u>								
DA1-DA6	MAX438	6						
DA7	uA7805	1						
DA8	AD780	1						
DA9	MAX660	1						
DD1	ADE7753ARS	1						
DD2	MT-20S4M	1						
DD3	ATTinyA-PU	1						
<u>Дроссели</u>								
L1	EXCELSA391	1						
БР-02069964-12.03.01-04-19 ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Однофазный измеритель коэффициента мощности Перечень элементов	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Вильгельм Д. В.		<i>В.В.</i>	14.06.19			1	2
Провер.	Бальзамов А. Ю.		<i>А.Ю.</i>	14.06.19				
Н. контр.	Шестёркина А. А.		<i>А.А.</i>	14.06.19				
Утв.	Беспалов Н. Н.		<i>Н.Н.</i>	20.06.19				
						МГУ им Н. П. Огарева		

Перв. листен.

Справ. №

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

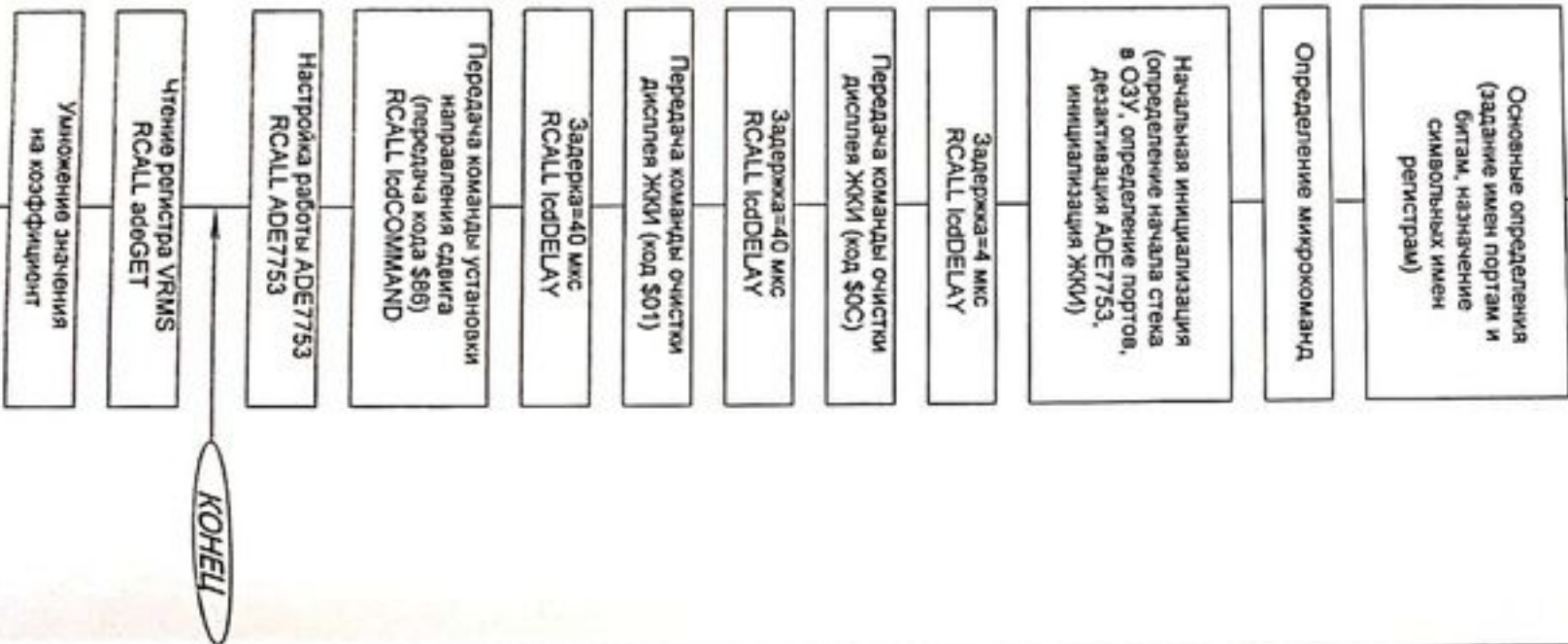
Подпись и дата

Инв. № подл.

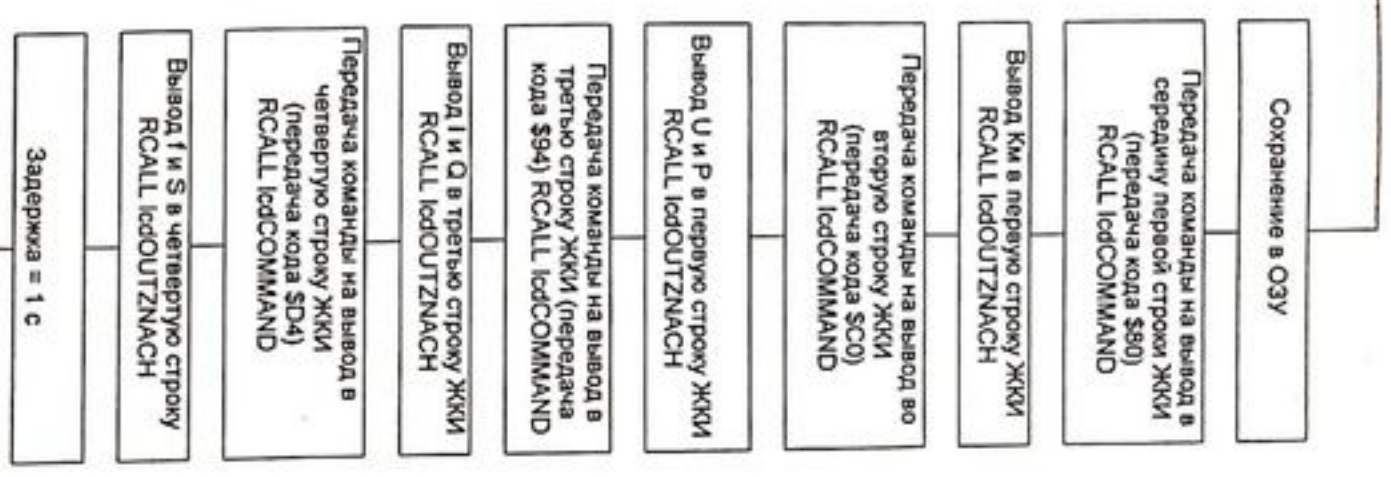
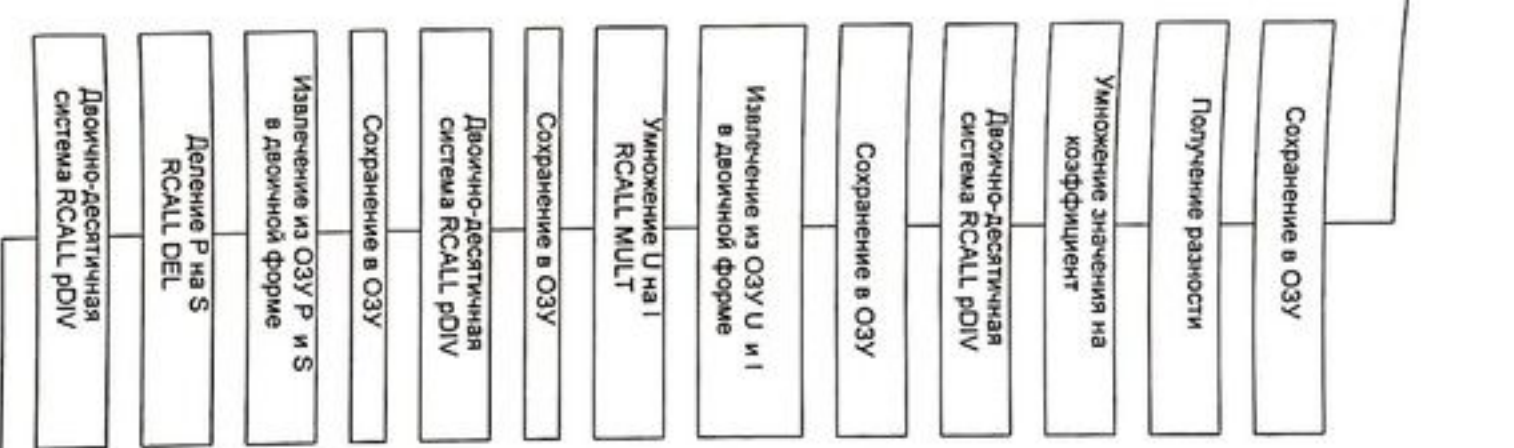
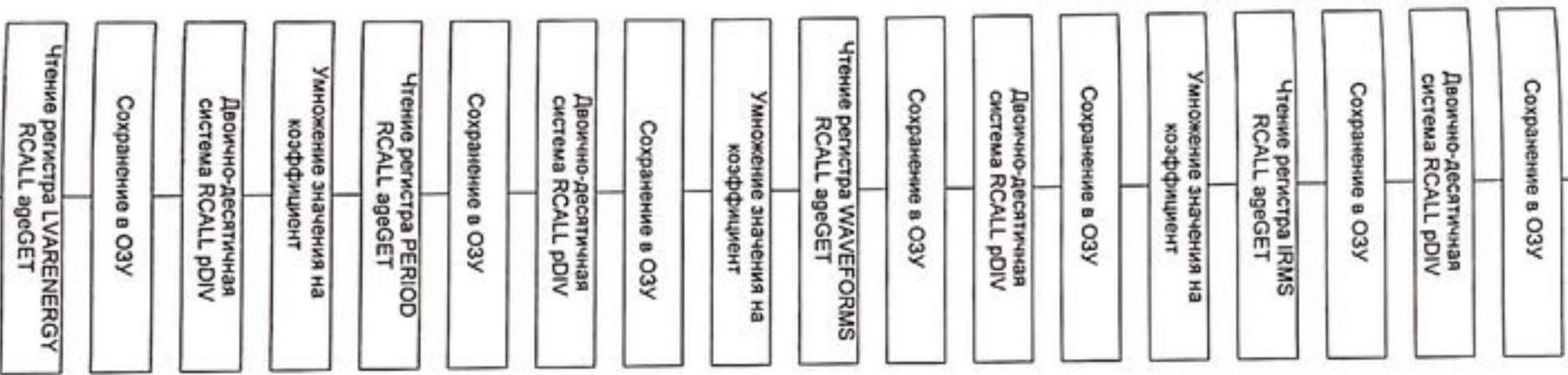
Поз. обозн	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Резисторы</u>			
R1 – R4	C2-29-0,25-1 кОм ± 0,1%	4	
R5	C2-29-0,25-3,3 кОм ± 0,1%	1	
R6	СП5-2В-1-1 кОм ± 5%	1	
R7, R8	C2-29-0,25-3,3 кОм ± 0,1%	2	
R9	СП5-2В-1-1 кОм ± 5%	1	
R10	C2-29-0,25-3,3 кОм ± 0,1%	1	
R11, R12	C2-29-0,25-470 Ом ± 0,1%	2	
R13, R14	C2-29-0,25-255 Ом ± 0,1%	2	
R15 – R18	C2-33Н-0,25-1 кОм ± 5%	4	
R19	СП5-35А-0,25-10 кОм ± 5%	1	
<u>Трансформаторы</u>			
TV1	ТП-121-2	1	
<u>Диоды</u>			
VD1- VD2	КД209А	2	
<u>Разъемы</u>			
XP1	ПВС-ВП-2х 0,75-250-6-6-1,7	1	
XS1	В2В-ZR	1	
XS2	RCA	2	
<u>Кварцевые резонаторы</u>			
ZQ1	НС-49S	1	3,579545 МГц
ZQ2	НС-49U	1	4 МГц
<u>Изм. Лист</u>			
БР-02069964-12.03.01-04-19 ПЭ			
			Лист
			2

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №	Подпись и дата

НАЧАЛО



КОНЕЦ



КОНЕЦ

БР-02069964-12.03.01-04-19 74-1

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Высв. зм. Д. В.			19.08.19
Проект.	Бельденко А. В.			19.08.19
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.	Васильков А. А.			19.08.19
Утверд.	Белгород Н. Н.			26.08.19

Одноразовый измеритель коэффициента мощности
Обобщенный алгоритм программы измерения параметров

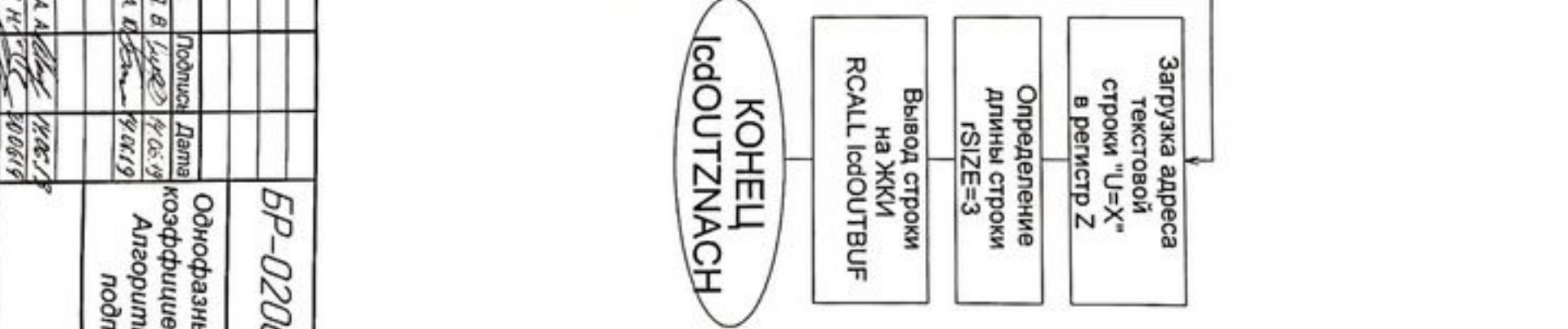
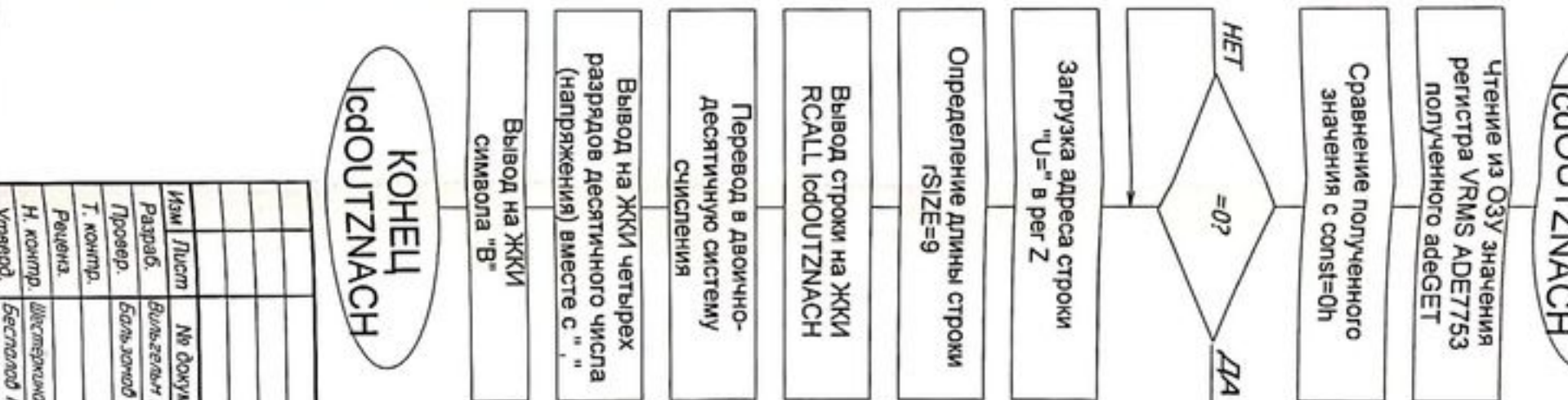
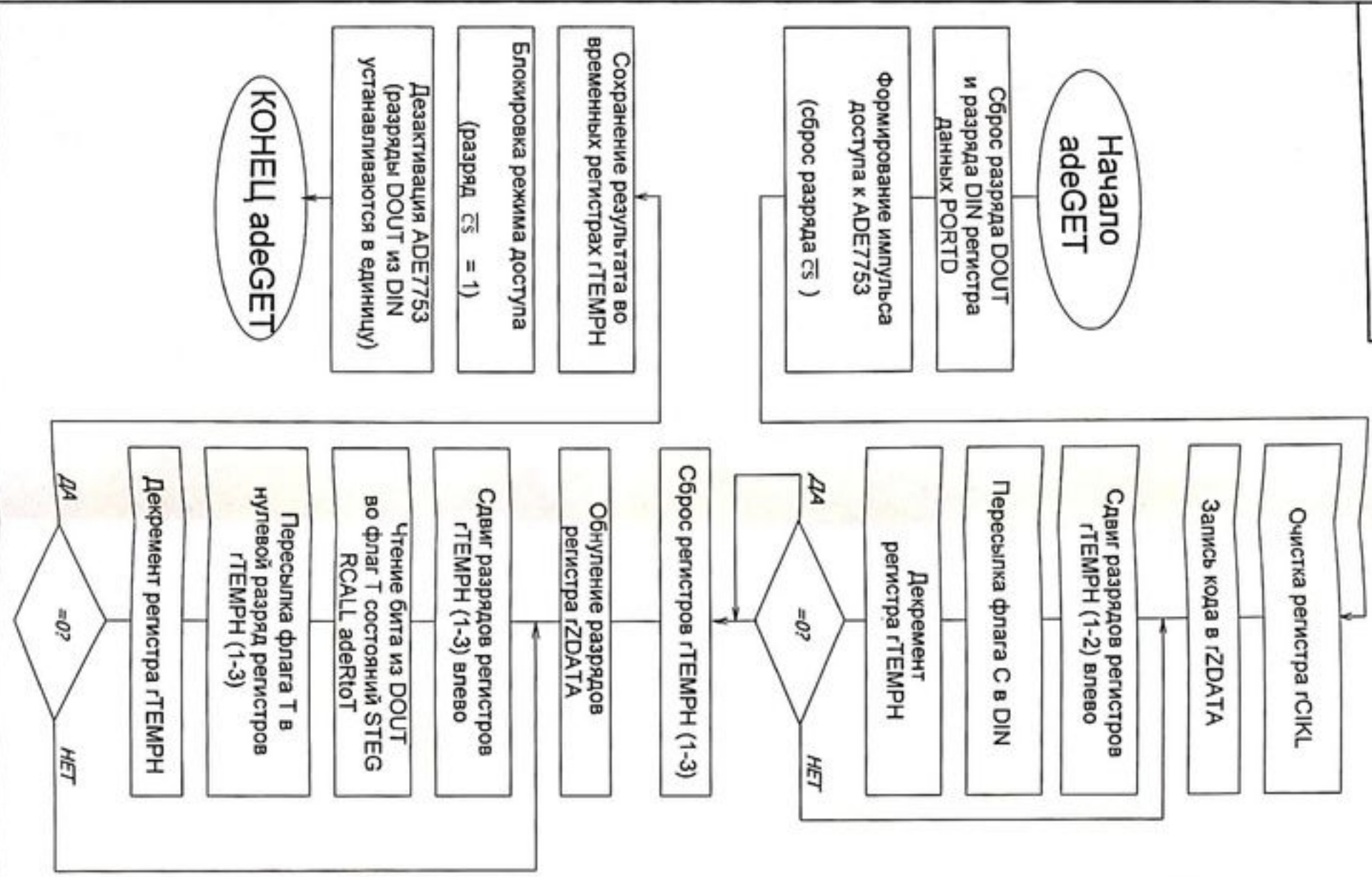
Лист 1

Масса

Масштаб

ИЗ ЭИЗ

Приборостроение 651 зп



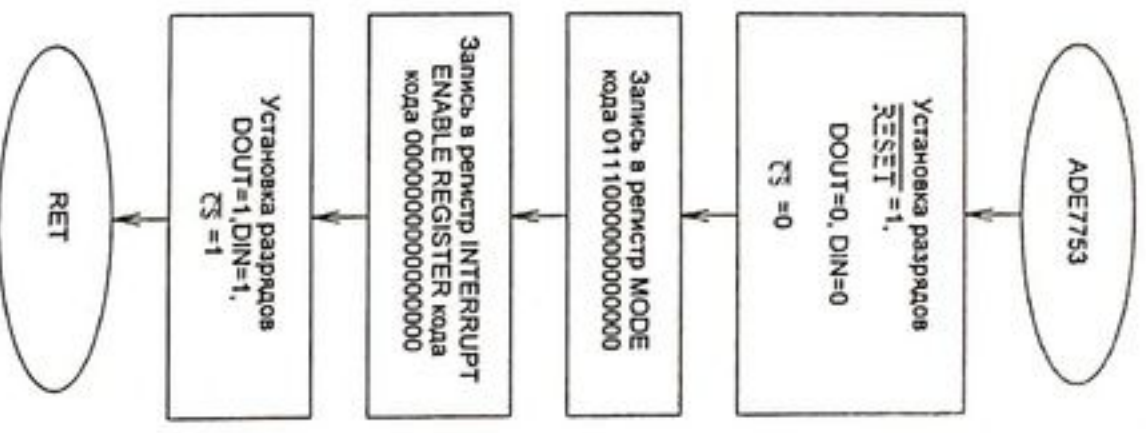
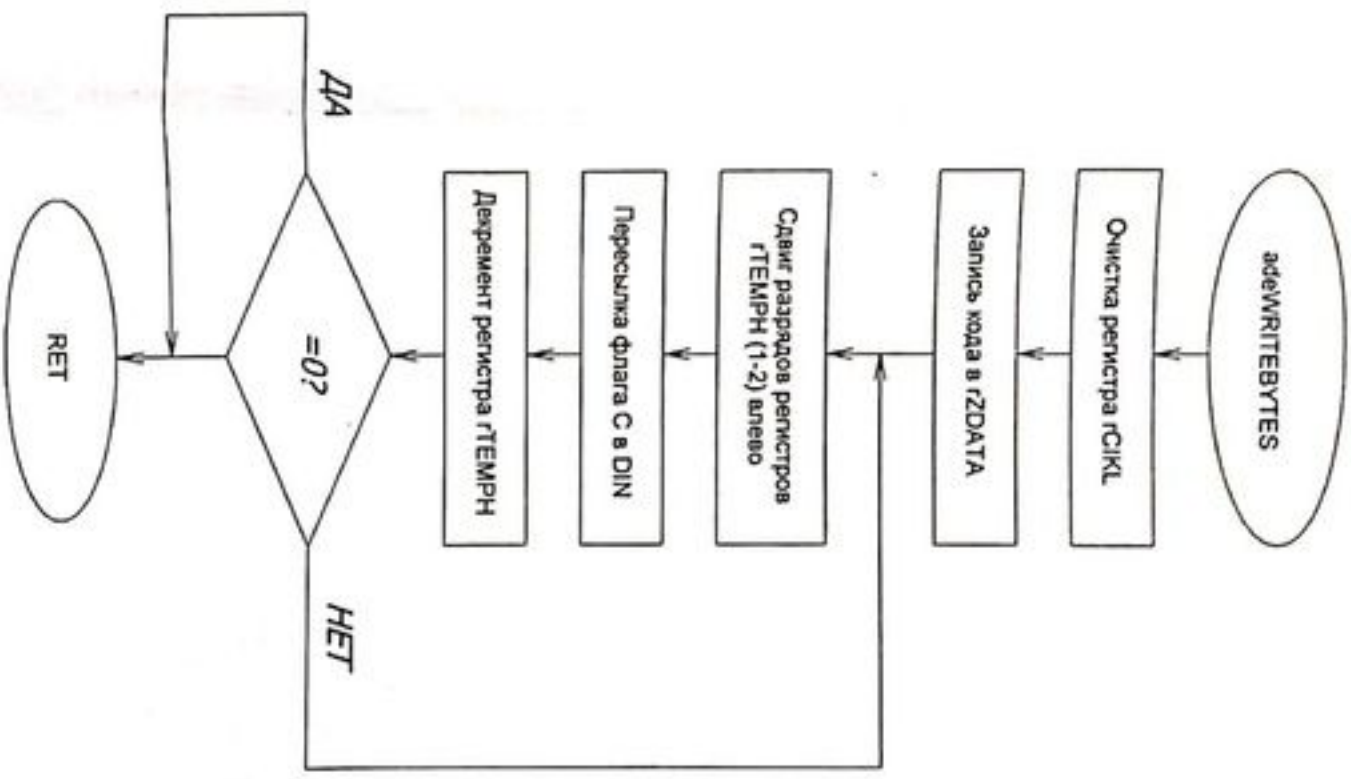
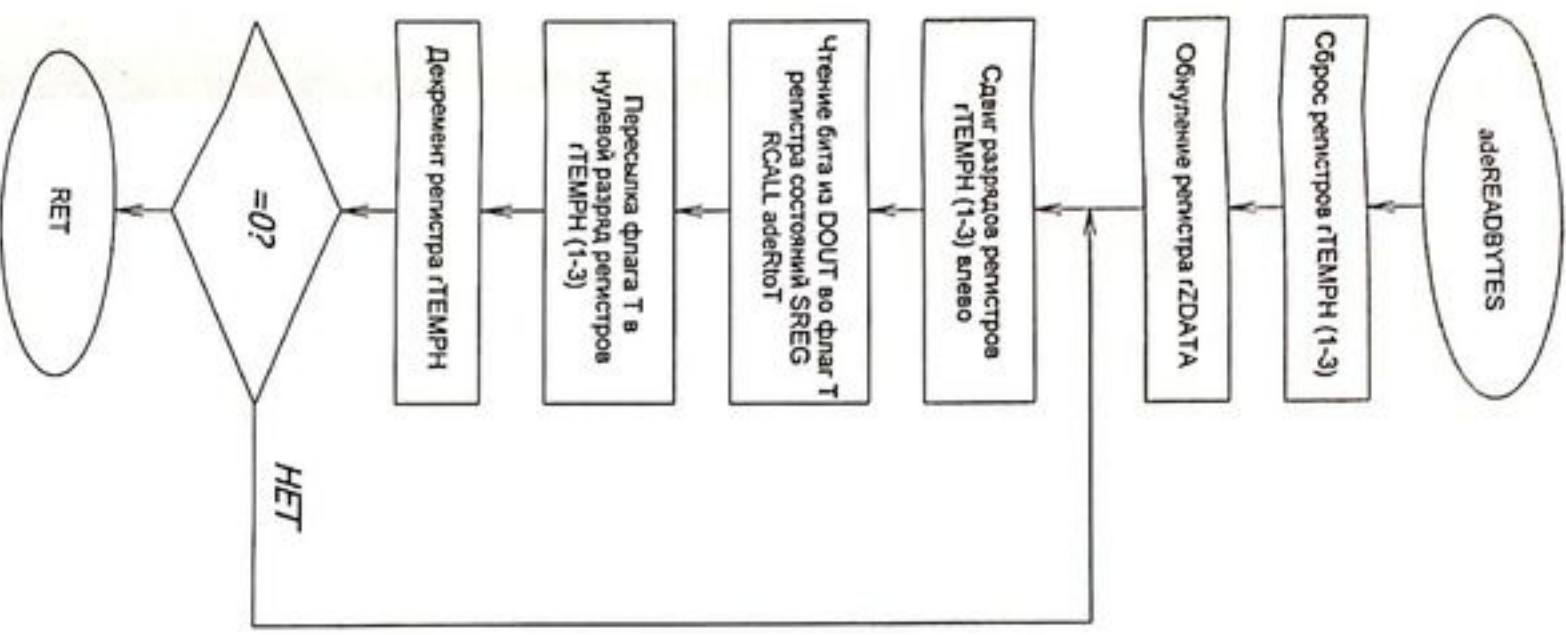
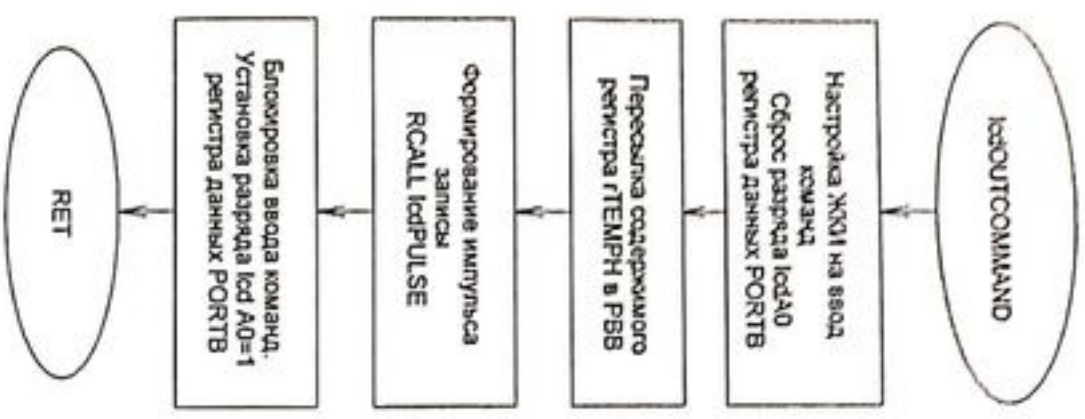
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Вильгельм Д. В.	10000	19.05.19	19.05.19
Провер.	Борисов Д. А.	10000	19.05.19	19.05.19
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.	Шестеркина А. А.	10000	19.05.19	19.05.19
Утверд.	Бестолов Н. Н.	10000	19.05.19	19.05.19

БР-02069964-12.03.01-04-19 Т4-2

Однофазный измеритель коэффициента мощности Алгоритмы основных подпрограмм

Лист	Масса	Масштаб
1		
Листов - 2		

ИЗУ им. Н. П. Дегурова
КЭС ЭНЭ
Продолжение 45



Имя	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Вильгельм Д. В.	Р. 4487	И. К. К.	19.06.19
Провер.	Большаков А. В.	Р. 4487	И. К. К.	19.06.19
Т. контр.				
Реценз.	Ильсберг А. А.	Р. 4487	И. К. К.	19.06.19
Н. контр.	Беспалов Н. Н.	Р. 4487	И. К. К.	19.06.19
Утверд.				

БР-02069964-12.03.01-04-19 ТЧ-2
 Однофазный измеритель
 коэффициента мощности
 Алгоритмы основных
 подпрограмм

Лист	Масса	Масштаб
2		

Исполн. И. П. Давыдов
 ИЭС ЭИЗ
 Гидроавтоматика 451 з/п