

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет Энергетический
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

_____/_____/_____
« ____ » _____ 20 ____ г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор

_____/ И.М. Кирпичникова /
« ____ » _____ 20 ____ г.

Разработка вторичного преобразователя тока и напряжения на базе МЭЖ 61850

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ НАУЧНАЯ РАБОТА (ДИССЕРТАЦИЯ)
ЮУрГУ – 13.04.02.2018.05.264 ВКР

Руководитель, к.т.н., доцент

_____/ А.Н. Андреев /
« ____ » _____ 20 ____ г.

Автор

студент группы П – 282

_____/ Е.С. Журавлев /
« ____ » _____ 20 ____ г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____/ А.Н. Андреев /
« ____ » _____ 20 ____ г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)

Институт Политехнический
Факультет Энергетический
Кафедра Электрические станции, сети и системы электроснабжения
Направление Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____/И.М. Кирпичникова/
_____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную научную работу (диссертацию) студента

Журавлева Евгения Сергеевича

(Ф. И.О. полностью)

Группа 282

1. Тема выпускной квалификационной работы Разработка вторичного преобразователя тока и напряжения МЭК 61850

утверждена приказом по университету от _____ 2018 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____

3. Исходные данные к работе

1. ENMU согласно стандарту IEC 61869 относится к классу устройств сопряжения — «ИЦ Энергосервис»

2. ГОСТ Р МЭК 61850-7-1-2009 Сети и системы связи на подстанциях.

3. Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

ВВЕДЕНИЕ

1 Актуальность разрабатываемого цифрового преобразователя тока и напряжения

1.1 Обоснование актуальности исследования

1.2 Анализ аналогов

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

2.1 Разработка структурно-функциональной схемы

2.3 Разработка схемы электрической принципиальной

2.4 Разработка печатного узла и печатной платы

2.5 Разработка алгоритма функционирования системы

3 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Выбор темы научно исследовательской работы	1 неделя	
Проведение обзора литературных и интернет-источников по теме выпускной квалификационной работы (далее — ВКР)	2 неделя	
Написание раздела «Введение», первой главы ВКР	3 неделя	
Обоснование актуальности выбранной темы	4 неделя	
Проведение расчетов и разработка графической части ВКР согласно техническому заданию. Написание последующих глав ВКР	5-7 неделя	
Проведение окончательных расчетов по экономическому разделу ВКР.	8 неделя	
Проведение окончательных расчетов и доработка графической части ВКР согласно техническому заданию.	9 неделя	
Оформление пояснительной записки	10 неделя	
Прохождение нормоконтроля	11-12 неделя	
Утверждение ВКР заведующим кафедрой	13-15 неделя	

Заведующий кафедрой _____ /И.М. Кирпичникова/

Руководитель работы _____ /А.Н. Андреев/

Студент _____ /Е.С. Журавлев/

Аннотация

Журавлев Е.С. – Разработка вторичного преобразователя тока и напряжения на базе МЭК 61850 – Челябинск: ЮУрГУ, П - 282, 2018 г., стр. 38, илл. 14, табл. 14. Список литературы – 6 наименований. 4 Приложения.

В научно-выпускной работе производилась разработка вторичного преобразователя тока и напряжения на базе стандарта МЭК 61850. Так же было произведено сравнение с аналогами и вычисление оптимальной цены продажи оборудования.

					<i>13.04.02.2018.05.264 ПЗ</i>				
					<i>Разработка вторичного преобразователя тока и напряжения на базе МЭК 61850</i>				

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
1. Актуальность разрабатываемого цифрового преобразователя тока и напряжения	7
1.1 Обоснование актуальности исследования	7
1.1.1 Сравнение аналоговых измерительных цепей и цифровых измерительных цепей	7
1.2 Анализ аналогов	11
1.2.1 ENMU	11
1.3 Пути автоматизации	13
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ	14
2.1 Разработка структурно-функциональной схемы	14
2.2 Разработка схемы электрической принципиальной	16
2.2.1 Разработка схемы подключения аналого-цифровых преобразователей к микроконтроллеру	17
2.2.2 Подключение платы Ethernet к микроконтроллеру	19
2.2.3 Подключение платы RS - 482 к микроконтроллеру	20
2.2.4 Разработка схемы подключения контактов к операционному усилителю	21
2.2.5 Подключение кварцевого резонатора к микроконтроллеру	22
2.3 Разработка печатной платы и печатного узла	23
2.3.1 Выбор компонентов для печатной платы	23
2.3.2 Компоновка элементов печатной платы и трассировка	24
2.3.3 Изготовление печатной платы комбинированным позитивным методом	24
2.4 Разработка алгоритма функционирования системы	26
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	29
3.1 Расчет коэффициента технического уровня	29

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.04.02.2018.05.264 ПЗ					4

Схема подключения РЗА представлена на рисунке 1

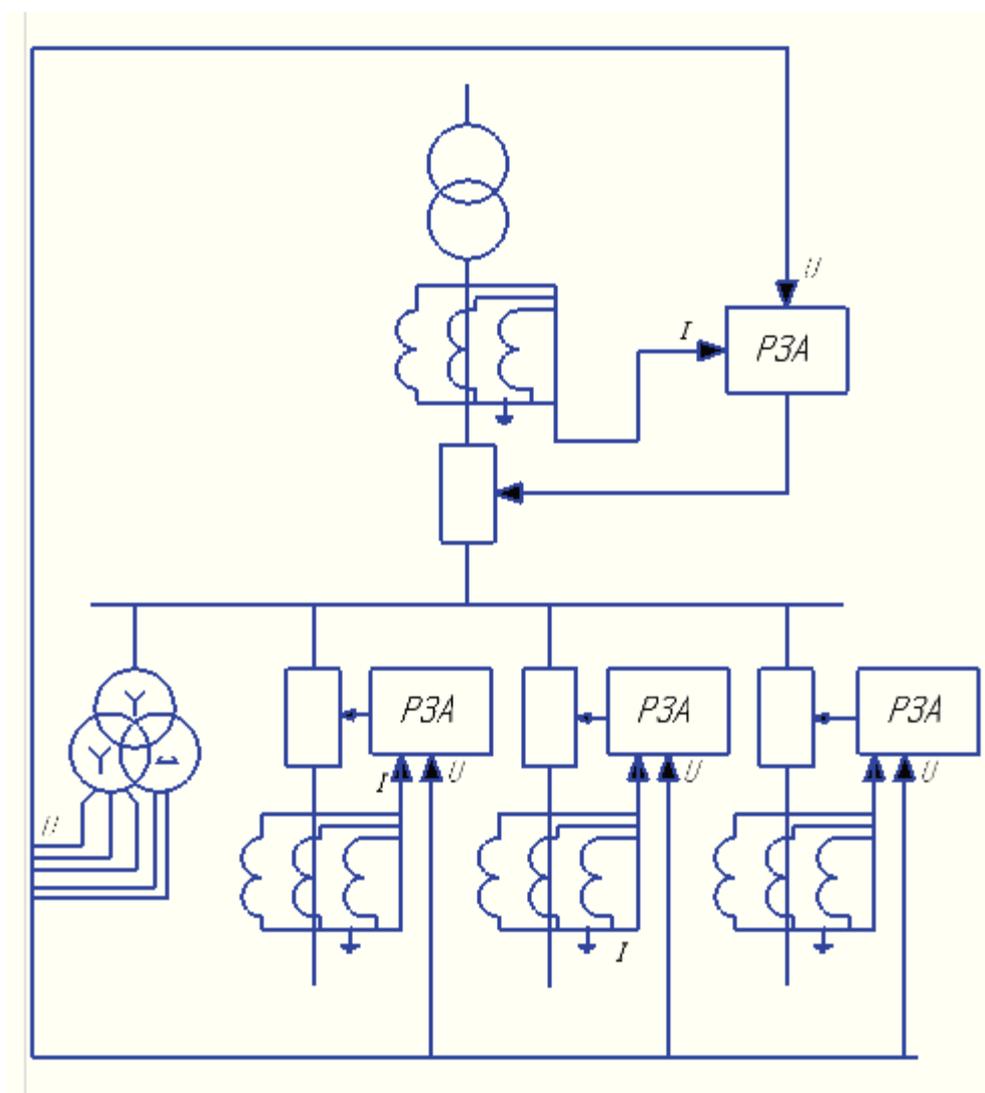


Рисунок 1 - Схема подключения к РЗА

А также рассмотрим структурную схему (рисунок 2) используемой РЗА в данном случае

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата

13.04.02.2018.05.264 ПЗ

Лист

8

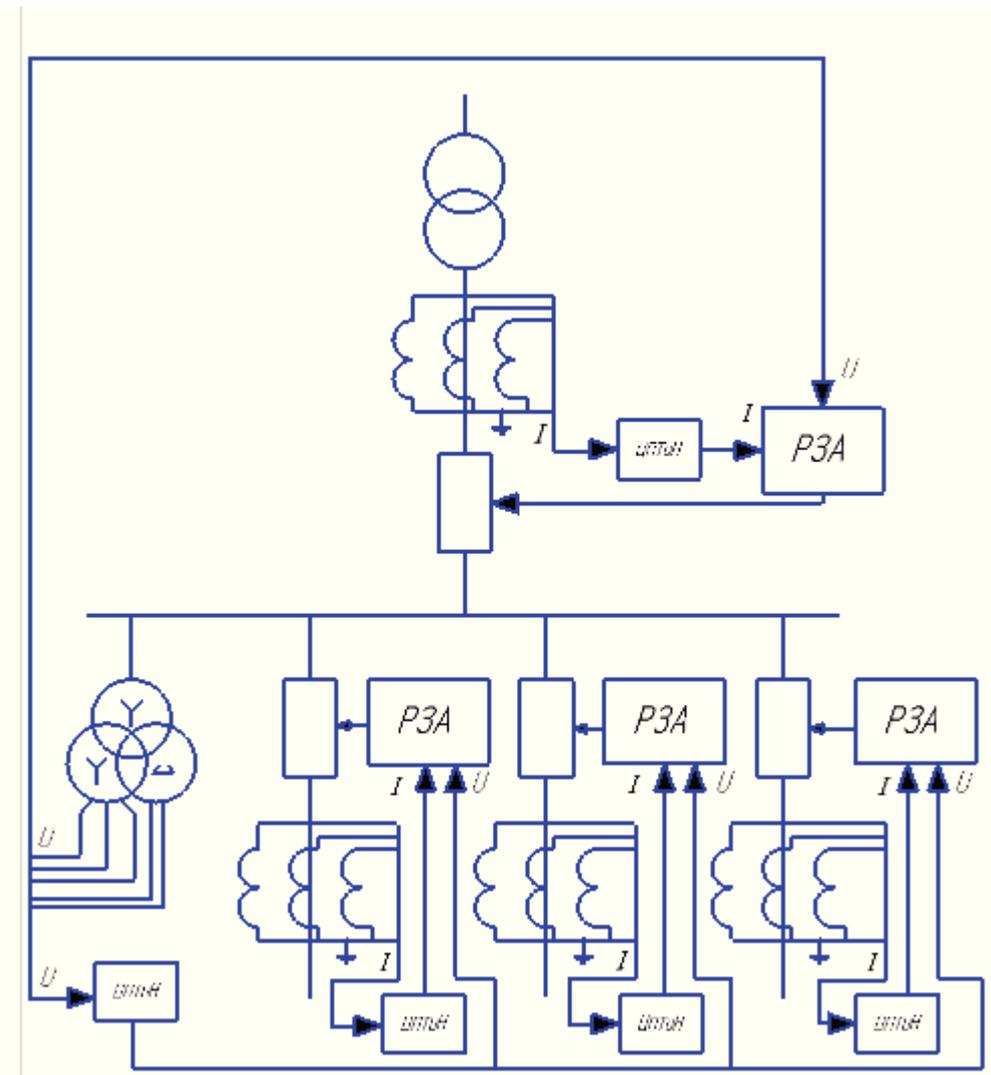


Рисунок 3 - Схема подключения к P3A с использованием ЦПТГН

Структурная схема P3A после установки ЦПТГН представлена на рисунке 4

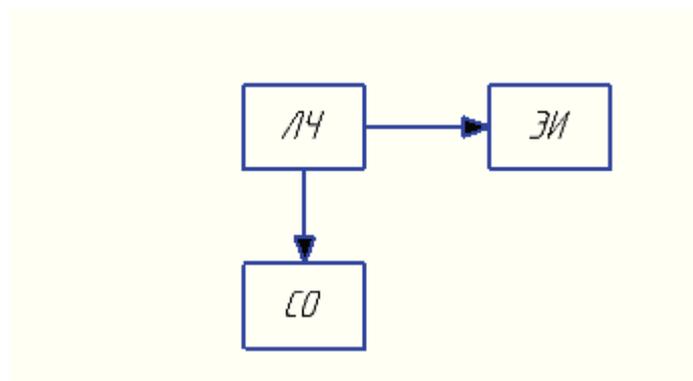


Рисунок 4 – Структурная схема используемого P3A

терминалы релейной защиты, цифровые счетчики электроэнергии, системы контроля качества электроэнергии, устройства синхронных векторных измерений).

ENMU обеспечивает передачу до четырех потоков SV. Состав сигналов в каждом потоке настраивается пользователем. ENMU одновременно с публикацией SV обеспечивает передачу данных согласно IEC 60870-5-104 и IEEE C37.118.2, то есть является одновременно и устройством синхронизированных векторных измерений (УСВИ, PMU).

Для передачи данных ENMU оборудован тремя оптическими интерфейсами Ethernet 100Base-FX: интерфейсы Lan A, Lan B, LAN 1, два из которых поддерживают PRP. Синхронизация времени осуществляется через оптический интерфейс SYNC (1 PPS или IRIG-B(A)).

Таблица 1 – Основные характеристики ENMU

Номинальное значение входного сигнала	57,7 В, 1/5 А, 50±10 Гц
Количество входов	4 U, 4 I (измерительная обмотка), 3 I (релейная обмотка)
Диапазон измерения	U: 0,05..2 от Uном I (измерение/защита): 0,01..2 от Iном / 0,1..40 от Iном
Основная относительная погрешность измерения	U: 0,2%, I (измерение/защита): 0,2% / 5%
Параметры SV	
Частота дискретизации	4000, 12800 Гц
Задержка на преобразование сигнала в SV	Не более 100 мкс
Состав SV	SV80 ИТТ+SV80 ИТН, SV80 РТТ+SV80 ИТН, SV256 ИТТ+SV256 ИТН, SV256 РТТ+SV256 ИТН

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------

13.04.02.2018.05.264 ПЗ

Лист

12

Структурно-функциональная схема, отражающая функциональную взаимосвязь между компонентами системы, представлена в приложении Б.

2.2 Разработка схемы электрической принципиальной

Разработаем электрическую принципиальную в соответствии с функциональными требованиями, указанными на структурно-функциональной схеме (Приложение Б).

Основным компонентом пульта управления является, как уже сказано ранее, микроконтроллер ATmega128A1-AU, основные характеристики которого представлены в таблице 2. Расположение выводов микроконтроллера ATmega128A1-AU представлено на рисунке 6.

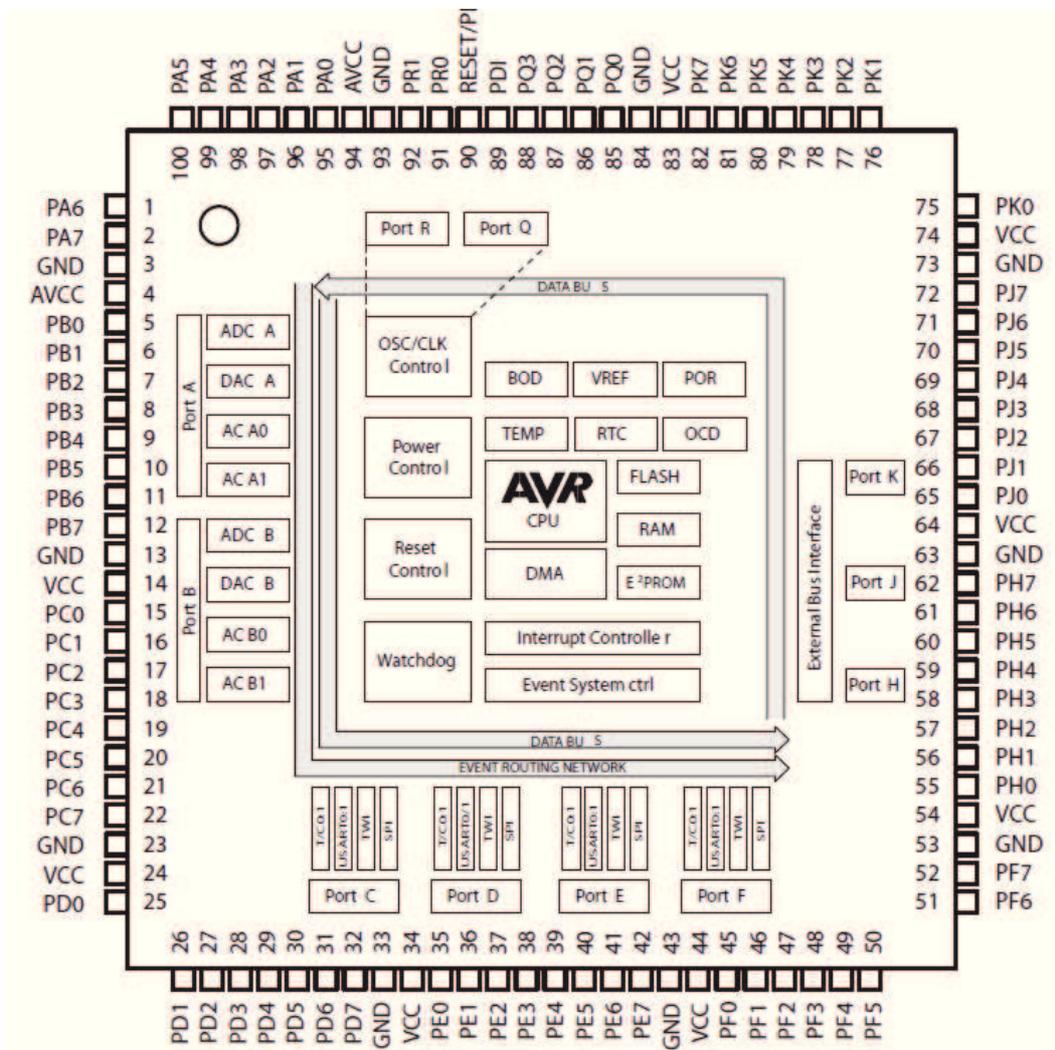


Рисунок 6 - Расположение выводов микроконтроллера ATmega128A1-AU

Управление процессом сбора, обработки и записи данных будет осуществляться с использованием кнопочной клавиатуры. Рассмотрим схему подключения кнопочной клавиатуры к микроконтроллеру.

2.2.1 Разработка схемы подключения аналого-цифровых преобразователей к микроконтроллеру

Для повышения производительности, а также передачи высокочастотных сигналов требуется подключение микросхем аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

АЦП должен обладать:

- высокой скоростью оцифровки данных;
- высокой скоростью передачи;

По этим требованиям был подобран аналого-цифрового преобразователь фирмы Microchip MCP3201-CI/P. Передача от АЦП к микроконтроллеру будет осуществлена через протокол обмена SPI.

Основные особенности интерфейса SPI:

- Полнодуплексная синхронная передача данных
- Пропускная способность выше чем у I²C или SMBus
- Тактовая частота ограничена только мощностями устройств

Основные технические параметры АЦП MCP3201-CI/P представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технические параметры АЦП ADS1118IDGST

Тип архитектуры	serial adc
Интерфейс	spi
Количество каналов	1
Разрядность	16

Продолжение таблицы 3

Тип корпуса	dip8
Температурный диапазон, °С	(-40...85) °С

Расположение выводов микросхемы ADS1118IDGST представлено на рисунке 10.

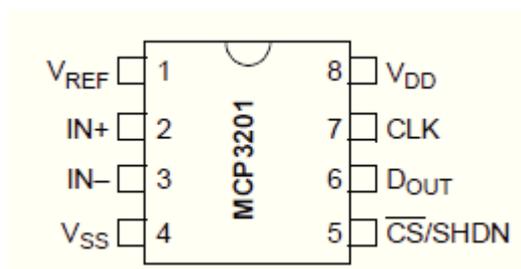


Рисунок 7 - Расположение выводов микросхемы ADS1118IDGST

Назначение выводов микросхемы ADS1118IDGST представлено в таблице 8.

Таблица 4 - Назначение выводов микросхемы ADS1118IDGST

№	Вывод микросхемы	Назначение вывода
1	Vref	Опорное напряжение
2	IN-	инвертирующий вход
3	IN+	неинвертирующий вход
4	Vss	минус напряжения питания
5	CS	выбор чипа
6	Dout	выход данных
7	CLK	синхроимпульсы
8	Vdd	Напряжение питания

Схема подключения к АЦП представлена на рис 8.

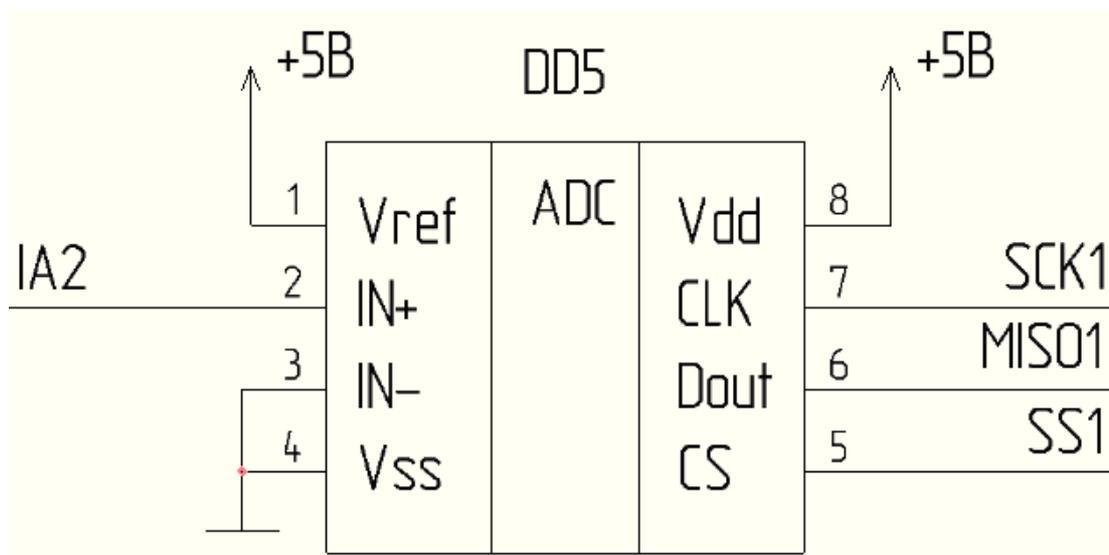


Рисунок 8 - Схема подключения к АЦП.

2.2.2 Подключение платы Ethernet к микроконтроллеру

Для передачи данных между микроконтроллером и платы Ethernet будет осуществляться через протокол обмена SPI.

Подключение платы осуществляется разъем для подключения, расположение выводов которого представлено на рисунке 9

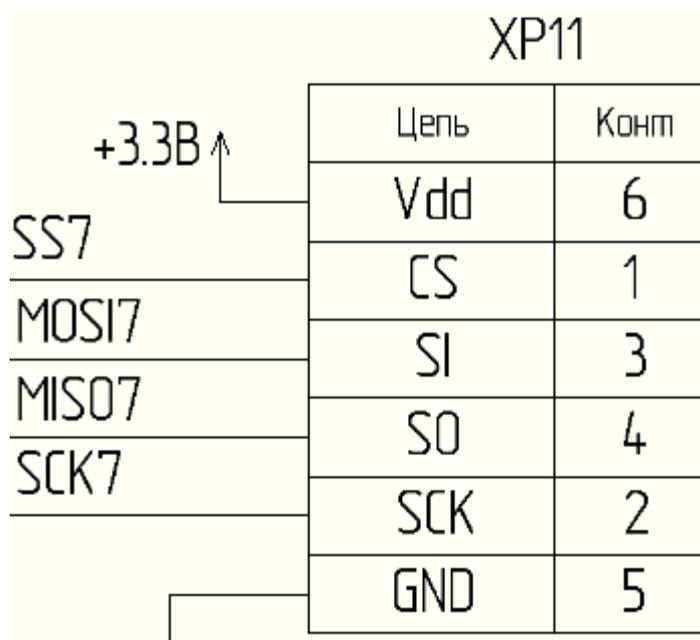


Рисунок 9 – Расположение выводов платы GY-NEO6MV2 NEO-6M

2.2.3 Подключение платы RS - 482 к микроконтроллеру

Для передачи данных между микроконтроллером и платы RS-482 будет осуществляться через протокол обмена RS-482.

Подключение разъема (рисунок 10) осуществляется через драйвер интерфейса, расположение выводов которого представлено на рисунке 10

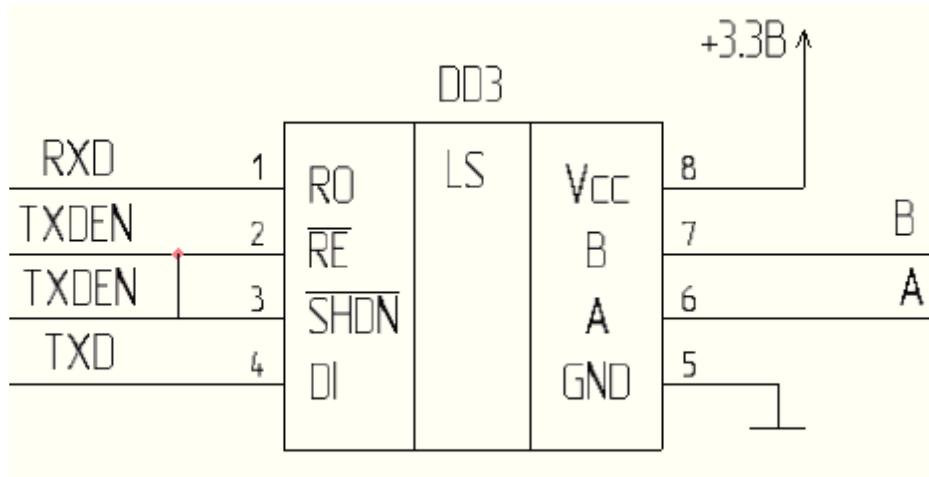


Рисунок 10 – Расположение выводов драйвера интерфейса RS-485
MAX13487EESA+

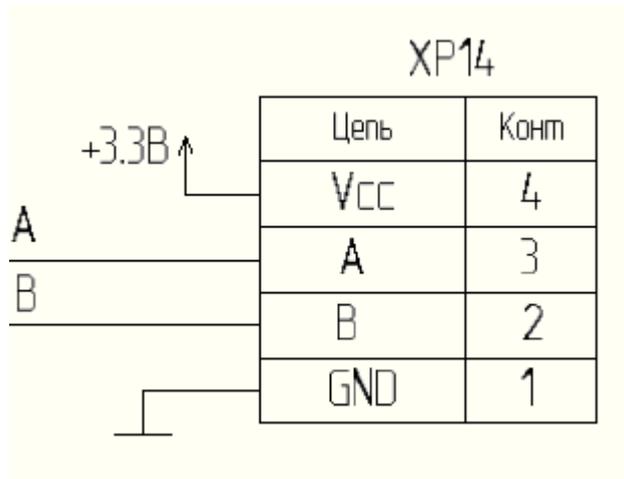


Рисунок 11 – Расположение выводов интерфейса RS-485

2.2.4 Разработка схемы подключения контактов к операционному усилителю

Как сказано ранее, показатели тока мы будем получать с встроенного в систему станка шунта, при максимальном токе в цепи на шунте показатели $U_i = 0,75\text{мВ}$. Для повышения показателя напряжения до 5В при 0,75мВ входных используем операционный усилитель LM7301IM основные технические параметры которого представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные технические параметры операционного усилителя LM7301IM

Полоса Пропускания	4МГц
Количество Усилителей	1 Усилитель
Скорость Нарастания	1.25В/мкс
Стиль Корпуса Усилителя	SOIC
Количество Выводов	8
Температурный диапазон, °С	(-40...85) °С

Расположение выводов микросхемы LM7301IM представлено на рисунке 6.

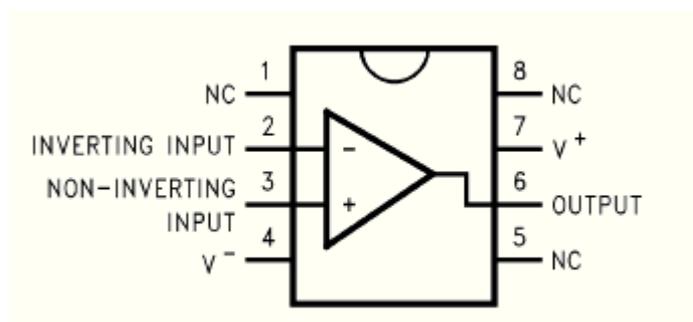


Рисунок 12 - Расположение выводов микросхемы LM7301IM

Назначение выводов микросхемы LM7301IM представлено в таблице 6.

Таблица 6 - Назначение выводов микросхемы LM7301IM

№	Вывод микросхемы	Назначение вывода
1	NC	-
2	IN-	инвертирующий вход
3	IN+	неинвертирующий вход
4	Vss	минус напряжения питания
5	NC	-
6	OUT	выход
7	Vdd	плюс напряжения питания
8	NC	-

Схема подключения к операционному усилителю представлена на рис 13.

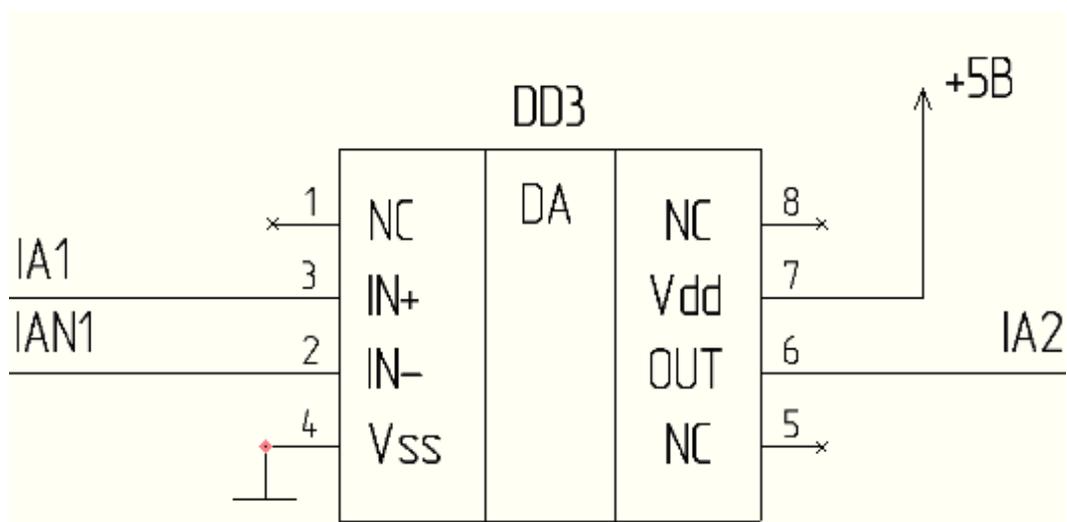


Рисунок 13 - Схема подключения к операционному усилителю.

2.2.5 Подключение кварцевого резонатора к микроконтроллеру.

Кварцевые резонаторы предназначены для использования в аналогово-цифровых цепях для стабилизации и выделения электрических колебаний определённой частоты или полосы частот. Выбираем кварцевый резонатор КХ-3НТ на 12 МГц. Схема подключения кварцевого резонатора к микроконтроллеру представлена на

2.4 Разработка алгоритма функционирования системы

Для четырехпроводных сетей алгоритмы измерения активной, реактивной и полной мощности основной гармоники по каждой фазе и суммарной трехфазной мощности используются следующие алгоритмы обработки сигналов:

$$\begin{aligned}P_a &= U_a I_a \cos \varphi_a, \quad P_b = U_b I_b \cos \varphi_b, \quad P_c = U_c I_c \cos \varphi_c, \\P &= P_a + P_b + P_c \\Q_a &= U_a I_a \sin \varphi_a, \quad Q_b = U_b I_b \sin \varphi_b, \quad Q_c = U_c I_c \sin \varphi_c, \\Q &= Q_a + Q_b + Q_c \\S_a &= U_a I_a, \quad S_b = U_b I_b, \quad S_c = U_c I_c, \\S &= S_a + S_b + S_c\end{aligned}$$

Где U_a , I_a соответственно действующее значение напряжения и тока фазы А основной гармоники, φ_a угол между комплексной амплитудой напряжения \dot{U}_a и тока \dot{I}_a

Для трехпроводных сетей алгоритмы измерения трехфазной активной, реактивной и полной мощности основной гармоники используются следующие алгоритмов обработки сигналов:

$$\begin{aligned}P_1 &= U_{ab} I_a \cos \varphi_1, \quad P_2 = U_{bc} I_c \cos \varphi_2, \quad P = P_1 - P_2, \\Q_1 &= U_{ab} I_b \sin \varphi_1, \quad Q_2 = U_{bc} I_c \sin \varphi_2, \quad Q = Q_1 - Q_2, \\S &= \sqrt{P^2 + Q^2},\end{aligned}$$

где φ_1 и φ_2 - соответственно углы между линейным напряжением $U_{ab}(t)$ и фазным током $i_a(t)$, между линейным напряжением $U_{bc}(t)$ и фазным током $i_c(t)$.

Определение активной и реактивной принятой/отпущенной энергии по основной гармонике производится на основании предварительно вычисленных активной и реактивной мощности.

Для фазы А активную и реактивную мощности вычислять согласно выражениям, упрощенно представленным ниже:

$$\begin{aligned}P_a &= u_{ac}(k) \cdot i_{ac}(k) + u_{as}(k) \cdot i_{as}(k); \\Q_a &= u_{as}(k) \cdot i_{ac}(k) - u_{ac}(k) \cdot i_{as}(k),\end{aligned}$$

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Экономическая составляющая является неотъемлемой частью абсолютно любого проекта по созданию автоматизированной системы. Данный раздел позволяет выявить экономическую обоснованность создания данной АС, а также произвести расчет себестоимости и возможной прибыли. Расчет стоимости создания цифрового преобразователя тока и напряжения будет состоять из нескольких этапов, включающих расчет стоимости компонентов данной системы, выполнения работ исполнителем и работ со стороны.

3.1 Расчет коэффициента технического уровня

Под техническим уровнем изделия понимается совокупность показателей, характеризующих качественные свойства изделия и их соответствие лучшим мировым образцам или отечественным образцам. Для оценки этого уровня используется коэффициент технического уровня (КТУ).

Коэффициент технического уровня (КТУ) – отношение суммы относительных величин, ранжированных параметров, определенных по отношению соответствующих параметров образцов отечественной продукции к приведенному числу параметров.

$$КТУ = \frac{\sum_{i=1}^S k_{ni} \times G_i}{\sum_{i=1}^S G_i}$$

$$k_{ni} = \frac{B}{B_0}$$

где: B – частный параметр конструируемого устройства, B_0 – частный параметр лучшего отечественного образца, S – число показателей или параметров (от 4 до 8), G_i – коэффициент весомости частного параметра.

$$G_i = \frac{i}{2^{i-1}}$$

										Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата					13.04.02.2018.05.264 ПЗ	29

Таблица 8 – Стоимость компонентов

№	Наименование	Кол,шт	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	<u>КОНДЕНСАТОРЫ</u>			
2	ЕСАР (К50-35), 1500 мкФ	1	15	15
3	ЕСАР (К50-35 мини), 0.22 мкФ	1	5	5
4	К10-17А Н50 0.1 мкФ	2	27	54
5	К53-14, 16 мкФ	2	19	35
	<u>ТРАНСФОРМАТОРЫ</u>			
6	ТП121-1	3	300	900
7	ТП123-3	1	210	210
8	<u>АС-1010 (10А)</u>	3	290	870
	<u>РАЗЪЕМЫ</u>			
9	HYR-0142AR (GB-142AR)	6	99	594
10	DHR15FS (DS1038-01-15F)	1	33	33
	<u>ПЛАТЫ</u>			
11	GY-NEO6MV2 NEO-6M	1	405	405
12	ENC28J60 Ethernet Board	2	600	1200
	<u>МИКРОСХЕМЫ</u>			
13	АТхmega128А1-AU 8/16-бит, AVR XMEGA A1, 128КБ Flash, 78 I/O [TQFP100] 3.6В	1	600	600
11	ADS1118IDGST, 16 бит, 860 вы- борок/с	6	600	3600

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата
------	------	---------	-------	------

13.04.02.2018.05.264 ПЗ

Лист

31

Продолжение таблицы 8

13	LM7301IM 4 MHz	3	480	480
14	MAX13487EESA+	1	46	46
15	<u>КВАРЦЕВЫЙ РЕЗОНАТОР</u>			
16	49USMX 12МГц	1	540	540
Итого				9587

Стоимость компонентов для изготовления печатной платы и монтажа элементов, также их количество, представлены в таблице 13.

Таблица 9 – Компоненты для изготовления печатной платы и монтажа элементов

№	Наименование	Кол,шт	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	Стеклотекстолит фольгированный СФ-2-35Г -1,5мм , ГОСТ 10316-78	1	370	370
2	Хлорное железо безводное 900гр.	1	560	560
3	Флюс ЛТИ-120 0.5л	1	510	510
4	ПОС 61 прв d=0.5мм 200г	1	1 000	1 000
5	Фоторезист пленочный 300x1000мм	1	520	520
6	Отмывочная жидкость Solins US 0.5л	1	300	300
Итого				2740

Печатная плата будет заказана и изготовлена специалистами стороннего предприятия, поэтому необходимо выполнить расчет стоимости изготовления печатной платы и монтажа элементов, а также срок выполнения работ. Расчет стоимости единицы рабочего времени (1 рабочий час) был выполнен с учетом среднего оклада рабочего в 25000-30000 рублей за 176 рабочих часов. Стоимость работ по изготовлению печатной платы и монтажу элементов, а также срок их выполнения, представлены в таблице 14.

					13.04.02.2018.05.264 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата		32

Таблица 10 – Стоимость изготовления печатной платы и монтажа элементов и сроки их выполнения

Наименование	Время работы, час.	Стоимость работы за ед. времени, руб.	Сумма, руб.
Создание печатной платы	2	150	300
Пайка компонентов на печатную плату	8	200	1600
Сборка всех узлов и компонентов системы	8	250	2000
Настройка и контроль работоспособности всех компонентов системы	4	275	1100
Итого			5000

3.3 Расчет стоимости выполнения работ по проектированию системы и окончательной сборке компонентов системы

Зададим срок выполнения работ по проектированию системы и окончательной сборке элементов, равным 10 рабочих дней или 80 рабочих часов. Расчет стоимости единицы рабочего времени был выполнен с учетом среднего оклада рабочего в 25000-30000 рублей за 176 рабочих часов. Стоимость работ по проектированию системы и окончательной сборке компонентов системы, а также сроки их выполнения, представлены в таблице 15.

Затраты на различные комплектующие и расходные материалы, не входящие под конкретный раздел расходов, вынесены отдельно в таблице 16.

Таблица 11 – Стоимость работ по проектированию системы и окончательной сборке компонентов системы и сроки их выполнения

Наименование	Время работы, час.	Стоимость работы за ед. времени, руб.	Сумма, руб.
Анализ технического задания, разработка структурно-функциональной схемы	16	150	2400
Разработка схемы электрической принципиальной, подбор элементной базы	16	200	3200
Разработка печатной платы и конструкции электронного блока	24	200	4800
Разработка алгоритма функционирования системы и ПО	24	275	6600
Итого			17000

Таблица 12– Прочие расходы

№	Наименование	Кол,шт.	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	Электроэнергия, 100 кВт	1	2,70	270
2	Интернет, трафик, 25 Гб	-	450	450
3	Арендная плата за использования ПО Компас-3D V14, час.	32	30	960
4	Арендная плата за использование CodeVisionAVR, час.	8	50	400
5	Плата за прочее ПО.	-	-	1000
6	Затраты на транспортировку	-	-	600
7	Транспортировка компонентов	-	-	3000
Итого				6680

$$\text{Отпускная цена} = (C/C + \frac{\text{Рентабельность}}{100} \times C/C) \times 1,18$$

Прибыль после продажи определяется по следующей формуле:

$$\text{Прибыль} = \frac{\text{Рентабельность}}{100} \times C/C \times 1,18$$

Чистая прибыль после продажи с вычетом налога на добавленную стоимость определяется по следующей формуле:

$$\text{Чистая прибыль} = \frac{\text{Рентабельность} \times C/C}{100 \times 1,18}$$

Значение прибыли и чистой прибыли, согласно зависимости отпускной цены от рентабельности, представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Значение прибыли и чистой прибыли в зависимости от предполагаемой отпускной цены

№ п/п	Рентабельность, %	Отпускная цена, руб.	Прибыль, руб.	Чистая прибыль, руб.
1	-25	14 832	-4925	-5488
2	-20	15 822	-3940	-4778
3	-15	16 812	-2955	-4068
4	-10	17 802	-1970	-3358
5	0	19 785	0	-1938
6	10	21 762	1982	-517
7	13,64	22 483	2698	0
8	15	22 752	2967	193
9	20	23 742	3952	903
10	100	39 570	19785	12 271

Назначим среднюю величину отпускной цены при величине рентабельности в 100% равной 39 570 рублей.

