

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматривается система контроля и диагностики преобразователя для индукционного нагрева.

В пояснительной записке приведен обзор параметров преобразователя взятых за основу из выпускной квалификационной работы.

Была разработана система контроля и диагностики. Определено и описано основное назначение блоков системы. Выбраны датчики контроля тока и напряжения.

Определена работа системы преобразования измеряющих параметры:

- входных датчиков;
- выходных датчиков;
- датчиков температуры.

Проведен отбор интерфейсов для микроконтроллера системы обработки, описано назначение блока защиты и случаи его срабатывания.

Написан алгоритм работы микроконтроллеров для программы системы контроля и диагностики. Приведена программа устройства графического представления.

Пояснительная записка содержит 83 листа, 34 рисунка, 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОБЗОР РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ.....	7
1.1. Индуктор.....	8
1.2. Общие параметры заготовки.....	9
1.3. АИР с обратными диодами.....	10
1.4. Выпрямитель.....	15
1.5. Согласующий трансформатор.....	17
2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА.....	26
2.1. Датчики контроля.....	29
2.1.1. Датчики тока.....	32
2.1.2. Датчики напряжения.....	35
2.1.3. Датчики температуры.....	37
3. СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА С ДАТЧИКОВ.....	40
3.1 Система преобразования для датчиков измеряющих входные параметры.....	46
3.2 Система преобразования для выходных датчиков.....	48
3.3 Система преобразования для датчиков температуры.....	51
3.4 Система обработки.....	52
3.4.1. Микроконтроллер.....	53
3.4.2. Элементы для организации интерфейсов.....	56
3.5 Компьютер.....	56
3.5.1. Интерфейс USB.....	58
3.5.2. Интерфейс RS –232.....	60
3.5.3. Интерфейс RS – 485.....	61
3.5.4. Интерфейс Ethernet.....	62
3.6 Критерии и выбор связи.....	63
3.7 Блок защиты.....	65
4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ.....	68

4.1 Программа для микроконтроллеров.....	68
4.1.1. Алгоритм работы микроконтроллера AT90PWM3.....	68
4.1.2. Алгоритм работы микроконтроллера ATmega1284.....	69
4.1.3. Программа обмена информацией с АЦП и цифровыми датчиками по интерфейсам I2C и SPI.....	70
4.2 Программа для устройства графического представления.....	76
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	81
6. ЛИТЕРАТУРА.....	82

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день установки для индукционного нагрева очень востребованы но, зачастую, на предприятиях используют устаревшие модели таких установок, что может привести к отклонению одного из параметров приборов, вызвать перегрев детали, что повлечет за собой брак. Для того чтобы этого избежать стали использовать системы контроля и диагностики, которые не дают нужной информации для нормальной работы установки.

Цель диссертационной работы спроектировать систему контроля и диагностики предназначенную для преобразователя индукционного нагрева взятого за основу из бакалаврской работы. Задача проектируемого устройства будет состоять в считывании информации поступающей с установки индукционного нагрева, обрабатываться и в оцифрованном виде выводится на компьютер.

Разрабатываемая система должна будет обладать следующими характеристиками:

- односторонность системы (предназначена для работы конкретной установки);
- легкость установки системы на оборудование.

В процессе работы необходимо определить количество и назначение основных функциональных блоков системы. Выделить основные параметры установки, которые необходимо будет контролировать в процессе работы. Проанализировать и выбрать датчики для контроля выбранных параметров.

Завершающей частью работы станет разработка программы для работы системы контроля и диагностики преобразователя для индукционного нагрева.

1. ОБЗОР РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ

Преобразователь для которого разрабатывается система контроля и диагностики взятого за основу из выпускной квалификационной бакалаврской работы состоит из:

- неуправляемого выпрямителя
- LC – фильтра
- АИР с обратными диодами
- согласующего трансформатора
- нагрузки
- блока питания системы управления
- системы управления АИР
- датчиком напряжения на нагрузке

Структурная схема преобразователя для индукционного нагрева приведена на рисунке 1.1.

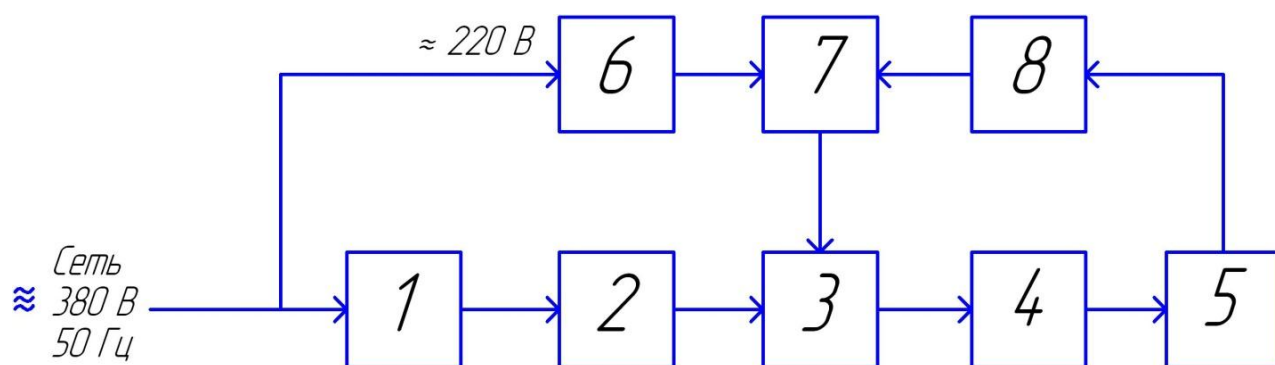


Рисунок 1.1 – Структурная схема преобразователя.

Преобразователь для индукционного нагрева предназначен для сквозного нагрева сплошных заготовок цилиндрической формы. Мощность установки приблизительно больше киловатта. Питание всей системы управления производится от собственного блока питания, который запитывается с двух фаз входной трехфазной сети, напряжение выпрямляется на

двухполупериодной схеме, сглаживается и стабилизируется компенсационным стабилизатором напряжения.

Нагрев индуктора можно разделить на четыре этапа:

- холодный режим
- первый промежуточный режим
- второй промежуточный режим
- горячий режим

За основной режим принимаем параметры расчетов преобразователя полученные в первом промежуточном режиме. Рассмотрим параметры и назначение составных частей преобразователя по глубже.

1.1 Индуктор

В индукторе, заготовки нагреваются от исходной до заданной температуры. Так как мы разбили нагрев на четыре этапа то;

Началом нагрева будет считаться – холодный режим: заготовка на начальном этапе нагрева будет ферромагнитна, удельное сопротивление равно $\rho_2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Магнитную проницаемость в любой точке сечения можно определить с помощью кривой намагничивания.

Вторым этапом нагрева будет – первый промежуточный режим: поверхность заготовки разогрета до 650-700 °С, заготовка ферромагнитна, удельное сопротивление равно $\rho_2 = 6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Третий этап нагрева – второй промежуточный режим: прогрев заготовки определяется формулой $x_k = 0,5 \cdot \lambda_k$,

где λ_k – глубина проникновения тока, которая достигается в момент времени $t_2 \approx 0,22 \cdot t_k$. Удельное сопротивление равно $\rho_2 = 10 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Четвертый этап нагрева – горячий режим: поверхностный слой определенной толщины прогреет более, чем остальное сечение заготовки, температура которой уменьшается по мере приближения к оси. Магнитная проницаемость и удельное сопротивление будут переменными, режим достигается в момент времени $t_2 \approx 0,3 \cdot t_k$.

1.2 Общие параметры заготовки.

1.2.1 Мощность нагрева заготовки;

$$P_T = 27645,27 = 27,64 \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

1.2.2 Коэффициент мощности индуктора:

$$\cos \varphi_u = 0,233. \quad (1.2)$$

1.2.3 Полезная удельная мощность:

$$P_0 = 1,101 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2. \quad (1.3)$$

1.2.4 Полная средняя мощность заготовки:

$$P_{2cp} = 30,65 \text{ кВт}. \quad (1.4)$$

В таблице 1.1 приведены: ток в индукторе, электрическое КПД индуктора, мощность передаваемая в заготовку, подводимая мощность, потери в индукторе. Все параметры рассчитаны для четырех режимов работы индуктора.

В таблицу 1.2 сведены эквивалентные параметры индуктора, также рассчитанные для четырех режимов.

Таблица 1.1 – Режимы работы индуктора

Этапы нагрева	Ток в индукторе $I_{и}, А$	Эл. КПД индуктора $\eta_{эл}, \%$	Передаваемая в заготовку мощность $P_2, кВт$	Подводимая мощность $P_{и}, кВт$	Потери в индукторе $\Delta P_{и}, кВт$
Холодный	289.9	72.3	44.15	61.04	44.73
Первый промежуточный	291.8	79.5	66.22	83.34	67.09
Второй промежуточный	366.9	63.3	54.73	86.39	55.45
Горячий	381	23	22.07	95.9	22.36

Таблица 1.2 – Эквивалентные параметры индуктора

Этапы нагрева	Активное сопротивление $r_{и}, Ом$	Реактивное сопротивление $x_{и}, Ом$	Полное сопротивление $z_{и}, Ом$	Коэффициент мощности $\cos\varphi_{и}$
Холодный	0,36	1,524	1,56	0,234
Первый промежуточный	0,49	1,752	1,82	0,271
Второй промежуточный	0,27	1,327	1,35	0,204
Горячий	0,39	1,373	1,42	0,233

1.3 АИР с обратными диодами

В качестве источника питания для индукционной установки, будем использовать АИР с обратными диодами, на вход которого поступает выпрямленное и сглаженное напряжение.

При расчете инвертора необходимо учитывать, что в процессе нагрева параметры индукционной установки меняются [24]. В таблицу 1.3 внесены расчеты параметров режима стабилизации напряжения на нагрузке в четырех режимах.

Таблица 1.3 – Расчет параметров

Параметры	Режим работы			
	Первый промежуточный	Холодный	Второй промежуточный	Горячий
Напряжение на нагрузке	$U_{н11} = 642 \text{ В}$	$U_{нх1} = 665 \text{ В}$	$U_{н21} = 645 \text{ В}$	$U_{нг1} = 651 \text{ В}$
Активная мощность на нагрузке	$P_{н11} = 83340 \text{ Вт}$	$P_{нх1} = 105300 \text{ Вт}$	$P_{н21} = 100100 \text{ Вт}$	$P_{нг1} = 9203 \text{ Вт}$
Среднее значение входного тока	$I_{д11} = 191 \text{ А}$	$I_{дх1} = 164 \text{ А}$	$I_{дн21} = 155 \text{ А}$	$I_{дг1} = 144 \text{ А}$
Действующее значение первичного тока	$I_{1н11} = 478 \text{ А}$	$I_{1х1} = 676 \text{ А}$	$I_{1н21} = 760 \text{ А}$	$I_{1г1} = 607 \text{ А}$
Резонансные частоты	$\omega_{0н1} = 3,048 \text{ КГц}$	$\omega_{0х} = 3,7 \text{ КГц}$	$\omega_{0н2} = 3,711 \text{ КГц}$	$\omega_{0г} = 3,708 \text{ КГц}$
Максимальное напряжение на коммутирующем конденсаторе	$U_{Cmn1} = 1543 \text{ В}$	$U_{Cmx} = 2079 \text{ В}$	$U_{Cmn2} = 1286 \text{ В}$	$U_{Cmg} = 1239 \text{ В}$

По данным таблицы 1.4 проведен выбор тиристоров, диодов и конденсатора.

Таблица 1.4 – Данные для выбора элементов схемы

Параметры схемы			Режимы работы				
	Первый промеж. режим	Холодный	Второй промеж. режим	Горячий	Холодный $U_H = \text{const}$	Второй промеж. режим $U_H = \text{const}$	Горячий $U_H = \text{const}$
$I_{\text{ат}}, \text{A}$	163	159	98	98	188	<u>196</u>	151
$I_{\text{ад}}, \text{A}$	68	153	91	95	179	<u>192</u>	141
$U_{\text{см}}, \text{B}$	1543	2079	1286	1239	2195	<u>2213</u>	1588
$\delta, \text{рад}$	<u>1,244</u>	1,56	1,562	1,559	1,555	1,564	1,545
$\psi, \text{рад}$	0,677	0,547	0,538	0,537	0,722	<u>0,514</u>	0,905

На основе таблицы 1.4 по справочнику [1] выбрали тиристоры VS1-VS4 марки IRKT230-20:

$$I_{\text{max VS}}^{\text{cp}} > I_{\text{ам max}} = 196 \text{ A} - \text{минимальный ток тиристора};$$

$U_{\text{з.с.н}} > 1,3 \cdot U_d = 1,3 \cdot 513 = 667 \text{ B} - \text{минимальное обратное напряжение на тиристоре};$

$$t_{\text{н.с. min}} = \frac{\delta_{\text{min}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = 79,2 \text{ мкс} - \text{минимальное время выключения тиристора};$$

$$\frac{di}{dt}_{\text{VS}} > I_{\text{ам max}} \cdot \omega_0 = 3,756 \text{ A/мкс} - \text{минимальное нарастание тока тиристора};$$

$$\frac{du}{dt}_{\text{VS}} > \frac{U_d}{t_{\text{вкл}}} = 160,30 \text{ B/мкс} - \text{минимальное нарастание напряжения на тиристоре}.$$

Тиристор имеет следующие основные параметры:

- максимально допустимый средний ток в открытом состоянии 510А;
- время обратного восстановления 4 мкс;
- время выключения 32мкс;
- критическая скорость нарастания тока 1000 А/мкс;
- отпирающее напряжение управления 4В;
- действующий ток в отрытом состоянии 230 А;
- время включения 2 мкс;
- максимальная температура перехода 125 °С;
- максимальное тепловое сопротивление переход -корпус 0,08 °С/Вт.

Для данного тиристора по справочнику [2] выбрали стандартный охладитель О153-150. Тиристор имеет принудительное воздушное охлаждение, скорость потока воздуха 6 м/с. Максимальный средний ток тиристора в данных условиях составляет 420 А.

На основе таблицы 1.2 по справочнику [2] выбрали диоды VD1-VD4 марки Д161-250-80-16.

Выбранный диод имеет следующие основные параметры:

- максимально допустимый средний ток в открытом состоянии 392 А;
- повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии 1600 В;
- время обратного восстановления 4-5мкс:
- максимально допустимая частота 2 кГц;
- максимальная температура перехода 190 °С;
- максимальное тепловое сопротивление переход-корпус 0,035 °С/Вт.

Для данного диода по справочнику [2] выбрали стандартный охладитель О151-100. Диод имеет воздушное охлаждение, скорость потока воздуха 6 м/с. Максимальный средний ток диода в данных условиях составляет 288 А.

1.3.1 На основе таблицы 1.4 по справочнику [3] выбрали конденсатор С4 марки К75-45 с номинальной емкостью 10 мкФ на номинальное напряжение

2,5 кВ. Для получения необходимой емкости включаем параллельно два таких конденсатора.

Для ограничения скорости нарастания напряжения на тиристоре в начале паузы параллельно тиристорам необходимо включить демпфирующие цепочки, в качестве которых используются последовательно включенные резистор и конденсатор.

Сопротивление резистора 51 Ом, емкость конденсатора 1нФ [4].

Мощность резистора:

$$P_R = 0,5 \cdot C \cdot f \cdot U^2 \cdot n = 0,5 \cdot 10^{-9} \cdot 2500 \cdot 436^2 \cdot 2 = 0,47 \text{ Вт},$$

где $U = 436 \text{ В}$ – напряжение скачка на резисторе;

$n = 2$ – количество скачков в кривой напряжения.

На основе вышеприведенных данных по справочникам [5] выбрали резисторы R1-R4 марки МЛТ-0,5-51Ом±5% и конденсаторы C2, C3, C5, C6 марки К73-9-600В-0,001 мкФ±10%.

С помощью предохранителей инвертор защищают от коротких замыканий, которые выбрали по номинальному действующему току

$I_{\text{ном}} = I_{1n21} = 760 \text{ А}$, полному Джоулеву интегралу защищаемого прибора и номинальному напряжению применяемого предохранителя, которое должно быть не меньше номинального напряжения выпрямленной установки, в которой он будет эксплуатироваться.

В худшем случае не будет обеспечено нормальное гашение дуги, что может привести к разрушению корпуса предохранителя и перебросу дуги на токоведущие части. Из предохранителей серии ПП57, предназначенных специально для быстрой защиты от КЗ полупроводниковых приборов, данным требованиям отвечает предохранитель типа

ПП57-3737, основными параметрами которого являются [6].

- номинальный ток 400 А;
- допустимый ток при температуре среды 45 градусов -380 А;
- номинальные потери мощности 100Вт;

- полный Джоулев интеграл $Q_{\text{пред}} = 600-1950 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

1.3.2 Дроссель

Для определения сечения провода дросселя, задались максимальной плотностью тока в обмотке. Выбран класс изоляции Н, ему соответствует плотность тока $j = 1,4 - 2,8 \text{ А/мм}^2$.

По площади сечения подобрали по таблице 7 [7] стандартный обмоточный медный провод прямоугольного сечения марки ПСДК.

Приняли число витков дросселя $w = 33$, и рассчитали индуктивность полученного дросселя.

1.3.3 Определили поправку индуктивности $\Delta_1 L$, учитывающую отличие собственной индуктивности действительных витков катушки от собственной индуктивности соответствующих расчетных витков [26]:

$$\Delta_1 L = 5,402 \cdot 10^{-8} \text{ Гн} \quad (1.5)$$

1.3.4 Значение индуктивности с учетом поправки:

$$L = 82,55 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.} \quad (1.6)$$

Полученная индуктивность с достаточной точностью соответствует требуемой индуктивности $L_{\text{кл}}$.

В качестве каркаса катушки используется стеклобакелитовый цилиндр.

1.4 Выпрямитель

В качестве источника постоянного напряжения для питания АИР используются выпрямители, которые, чаще всего бывают однофазными и трехфазными. Мощность нашей установки для индукционного нагрева не больше киловатта, и для равномерной загрузки сети необходимо использовать трехфазный выпрямитель, напряжение которого легче подвергается сглаживанию.

На основании расчетов по входному току и напряжению инвертора была составлена таблица 1.5.

Таблица 1.5 – Выходные параметры выпрямителя

Режим работы	Средний выходной ток I_d , А	Среднее выходное напряжение U_d , В
Холодный	128	436
1 промежуточный	191	436
2 промежуточный	79	436
Горячий	76	436

1.4.1 Средний ток через один диод в трехфазной мостовой схеме неуправляемого выпрямителя в худшем режиме:

$$I_{VD} = 63,6 \text{ А.} \quad (1.7)$$

1.4.2 Фазные напряжения выпрямителя:

$$E_{2\phi} = 310 \text{ В.} \quad (1.8)$$

Максимальное выпрямленное напряжение неуправляемого выпрямителя:

$$E_d = 513 \text{ В.}$$

1.4.3 Действующее значение входного тока в худшем режиме:

$$I_{\text{вх}} = 156 \text{ А.} \quad (1.9)$$

1.4.5 Максимальное значение обратного напряжения на диодах:

$$U_{\text{обр.т}} = -537 \text{ В.} \quad (1.10)$$

В качестве элементов колебательного контура выступают добавочный дроссель и емкость. Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя поставили Г – образный LC – фильтр второго порядка.

Сглаживающий фильтр

1.4.6 Амплитудное значение основной гармоники напряжения:

$$U_{m1} = 4,36 \text{ В.} \quad (1.11)$$

1.4.7 Коэффициент фильтрации:

$$k_{\phi} = 5,7 \quad (1.12)$$

1.4.8 Активное сопротивление нагрузки:

$$R_d = 2,28 \text{ Ом.} \quad (1.13)$$

Для индуктивности сглаживающего дросселя выполняется условие:

$$L \geq 82,43 \cdot 10^{-4} \text{ Гн,}$$

Выбрали дроссель, индуктивность которого в 10 раз больше полученной, т.е.

$$L = 10 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.} \quad (1.14)$$

1.4.10 Емкость конденсатора:

$$C = 1324 \text{ мкФ.} \quad (1.15)$$

Выбрали конденсаторы ЕСАР (К-50-35 мини) [3] емкостью 220 мкФ, и соединили их параллельно в 6 конденсаторов для набора необходимой емкости.

При этом эквивалентная емкость составила:

$$C_{\text{ЭКВ}} = 1320 \text{ мкФ.}$$

Выбрали диоды [2] марки 80EBU02 по среднему значению тока через диод, равный $I_{VD} = 63,6 \text{ А}$, которые имеют следующие параметры:

- максимальное импульсное обратное напряжение 300 В;
- максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток 80 А;
- максимально допустимый прямой импульсный ток 800 А;
- максимальное прямое напряжение 1,13 В;
- рабочая температура -55...175 °С.

Данные диоды имеют принудительное воздушное охлаждение и при скорости $V = 6 \text{ м/с}$ на охладителе О151-80 максимальный средний ток равен 120 А.

Сглаживающий дроссель:

Приняли число витков дросселя $w = 57$, и рассчитали его индуктивность.

1.4.11 Индуктивность дросселя:

$$L = 4,097 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.} \quad (1.16)$$

1.5 Согласующий трансформатор

Для согласования параметров инвертора с нагрузкой и для обеспечения гальванической развязки индуктора от питающей сети и вентиля инвертора от нагрузки, в цепь коммутации включили согласующий трансформатор, выполненный в двухобмоточном варианте [25].

На одну из основных обмоток согласующего трансформатора намотали добавочную обмотку, которая является датчиком напряжения на нагрузке. Это напряжение в дальнейшем поступает на вход системы управления, и в зависимости от снимаемого значения напряжения, производит регулированием частоты подачи импульсов управления на тиристоры инвертора, тем самым, производя стабилизацию напряжения нагрузки, так как ее изменение отрицательно сказывается на качестве нагрева заготовки.

Исходными данными при расчете трансформатора являлись:

$I_1 = 478 \text{ А}$ – действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора;

$U_1 = 642 \text{ В}$ – действующее значение напряжения на первичной обмотке трансформатора;

$\eta_T = 0,8$ – коэффициент трансформации;

$U_2 = 802 \text{ В}$ – действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора;

$\cos \varphi_n = 0,271$ – коэффициент мощности нагрузки;

$f = 2500 \text{ Гц}$ – частота напряжения.

1.5.1 Полная мощность трансформатора:

$$S = 306876 \text{ Вт.} \quad (1.17)$$

1.5.2 Выбрали материал магнитопровода по таблицам 1 и 2 [7], который выполнен на основе электротехнической рулонной стали марки 3408 с толщиной листа 0,3 мм, обладающей следующими характеристиками:

- удельные потери $P_{1,7/50} = 1,2$ Вт/кг;
- магнитная индукция (при напряженности 100 А/м) $B_{50} = 1,71$ Тл;
- покрытие жаростойкое электроизоляционное с дополнительной однократной лакировкой;
- коэффициент заполнения сечения сталью $K_3 = 0,96$;
- число пластин на 100 мм толщины пакета магнитопровода $N = 310$.

1.5.3 Индукция в магнитопроводе при заданной частоте f :

$$B_n = 0,148 \text{ Тл} \quad (1.18)$$

1.5.4 Число витков первичной обмотки:

$$w_1 = 11,842 \quad (1.19)$$

Принимаем $w_1 = 12$.

1.5.5 Выбирали медный провод марки ПСДК с классом нагревостойкости Н и плотностью тока $j_1 = 2,2$ А/мм² по таблице 6 [7].

1.5.6 Число витков вторичной обмотки:

$$w_2 = 15. \quad (1.20)$$

1.5.7 Выбрали медный провод марки ПСДК с классом нагревостойкости Н и плотностью тока $j_2 = 2,2$ А/мм² по таблице 6 [7].

Основные потери в обмотках.

1.5.8 Основные потери в первичной обмотке:

$$P_1' = 77,1 \text{ Вт}, \quad (1.21)$$

1.5.9 Основные потери во вторичной обмотке:

$$P_2' = 385,82 \text{ Вт}. \quad (1.22)$$

Добавочные потери в обмотках от вихревых токов основной частоты.

1.5.10 Добавочные потери в первичной обмотке:

$$P_{в1} = 8986,28 \text{ Вт}, \quad (1.23)$$

$B_{\text{э}1}$ – эквивалентная магнитная индукция поля рассеяния,

$$B_{\text{э}1} = 0,02 \text{ Тл}, \quad (1.24)$$

B_{m1} – амплитуда осевой составляющей магнитной индукции рассеяния.

где $B_{m1} = 0,039$ Тл (1.25)

1.5.11 Добавочные потери во вторичной обмотке:

$P_{в2} = 5160,07$ Вт (1.26)

1.5.12 Потери холостого хода в магнитопроводе:

$P_0 = 630,94$ Вт. (1.27)

1.5.13 Общие потери в трансформаторе:

$P = 15558,33$ Вт. (1.28)

1.5.14 Коэффициент полезного действия трансформатора:

$\eta = 0,949$. (1.29)

На рисунке 1.2 приведена структурная схема и принцип работы системы управления АИР.

Для обеспечения оптимального теплового воздействия на заготовку, необходимо, на протяжении всего процесса нагрева стабилизировать напряжение на нагрузке.

Датчик напряжения представляет собой обмотку, которая намотана на первичную обмотку трансформатора в количестве витков, равном 1. Напряжение получаемое с датчика необходимо сгладить и выпрямить для дальнейшего сравнения.

Для выделения и пропускания требуемого сигнала из смеси нежелательных сигналов и смеси полезных – используем RC – фильтр низких частот. На выходе RC – фильтра, для регулирования напряжения, установлен подстроечный резистор и делитель напряжения последовательно ему.

Блок сравнения напряжения представлен как вычитающий усилитель на операционном усилителе DA1, содержащий сигнал сравнения, подаваемый со среднего вывода резистора R2, на неинвертирующий вход микросхемы D1, последовательную обратную связь по напряжению, подаваемую по инвертирующему входу. Так как один из входов ОУ инверсный, то на выходе система будет выдавать их разность.

Микросхему D1 марки KP1114EY4 выбрали в качестве задатчика напряжения, генератора, управляемого напряжением и распределением импульсов.

В состав микросхемы входят:

1. Временязадающий генератор (генератор пилообразного напряжения ГПН), для тактирования узлов микросхемы вырабатывает импульсы. Частота импульсов программируется величинами подключаемых к генератору временязадающих резисторов R12 (вывод 6) и конденсатора C4 (вывод 5).
2. Компаратор паузы, который обеспечивает задержку при переключении выходных транзисторов пока напряжение на входе 4(вход компаратора паузы) больше максимального напряжения на временязадающем конденсаторе C3.
3. Входной компаратор широтно-импульсного модулятора (не используется) пилообразное напряжение на временязадающем конденсаторе C3, сравнивает с выходным сигналом усилителей ошибки.
4. Блокировку выходного каскада при напряжении на входе 12 ниже, чем 4,9 В обеспечивает компаратор.
5. Компаратор, обеспечивает блокировку выходного каскада при напряжении на входе (выводе 14) источника опорного напряжения ниже, чем 3,6 В.
6. Два разделительных диода усилителей ошибки.
7. Два усилителя ошибки предназначены для организации обратной связи.
8. Элемент 4ИЛИ.
9. D – триггер – делитель на два для создания двухфазного выходного сигнала.
10. Необходимые для блокировки выходных транзисторов два элемента 2И, с помощью внешней схемы через вывод 13.

11. Два выходных транзистора (выводы 8,9 и 10,11).
12. Для реализации парафазного режима необходимы два элемента 2ИЛИ-НЕ.
13. Формирователь опорного напряжения +5 В (вывод 14). Обеспечивает стабильное напряжение питания в диапазоне входных напряжений 7...40 В.

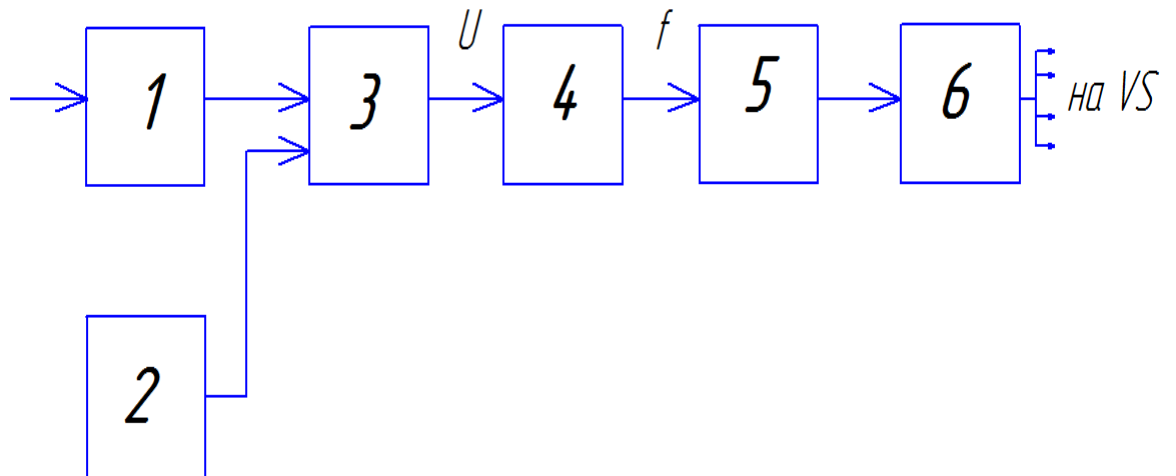
В качестве формирователя импульсов удобно использовать тиристорную оптопару, диод – тиристор типа 3АОУ103А.

Блок питания системы управления АИР.

Схема состоит из выпрямителя, стабилизатора и трансформатора. Питание осуществляется от понижающего трансформатора TV1. Выпрямляющая схема с выпрямляющими диодами типа 2Д212А, построена на двухполупериодной мостовой схеме. Для стабилизации напряжения на уровне +12В используется интегральный стабилизатор КР142ЕН8Б (DA2), включенный по стандартной схеме. На входе и выходе стабилизатора установили конденсаторы С3 и С5 для подавления помех и устранения загрузки стабилизатора импульсными токами.

Схема преобразователя представлена на рисунке 1.3.

Структурная схема системы управления АИР



1 – датчик напряжения нагрузки

2 – задатчик напряжения

3 – блок сравнения

4 – генератор, управляемый
напряжением

5 – распределитель импульсов

6 – выходной формирователь

Схема управления преобразователя

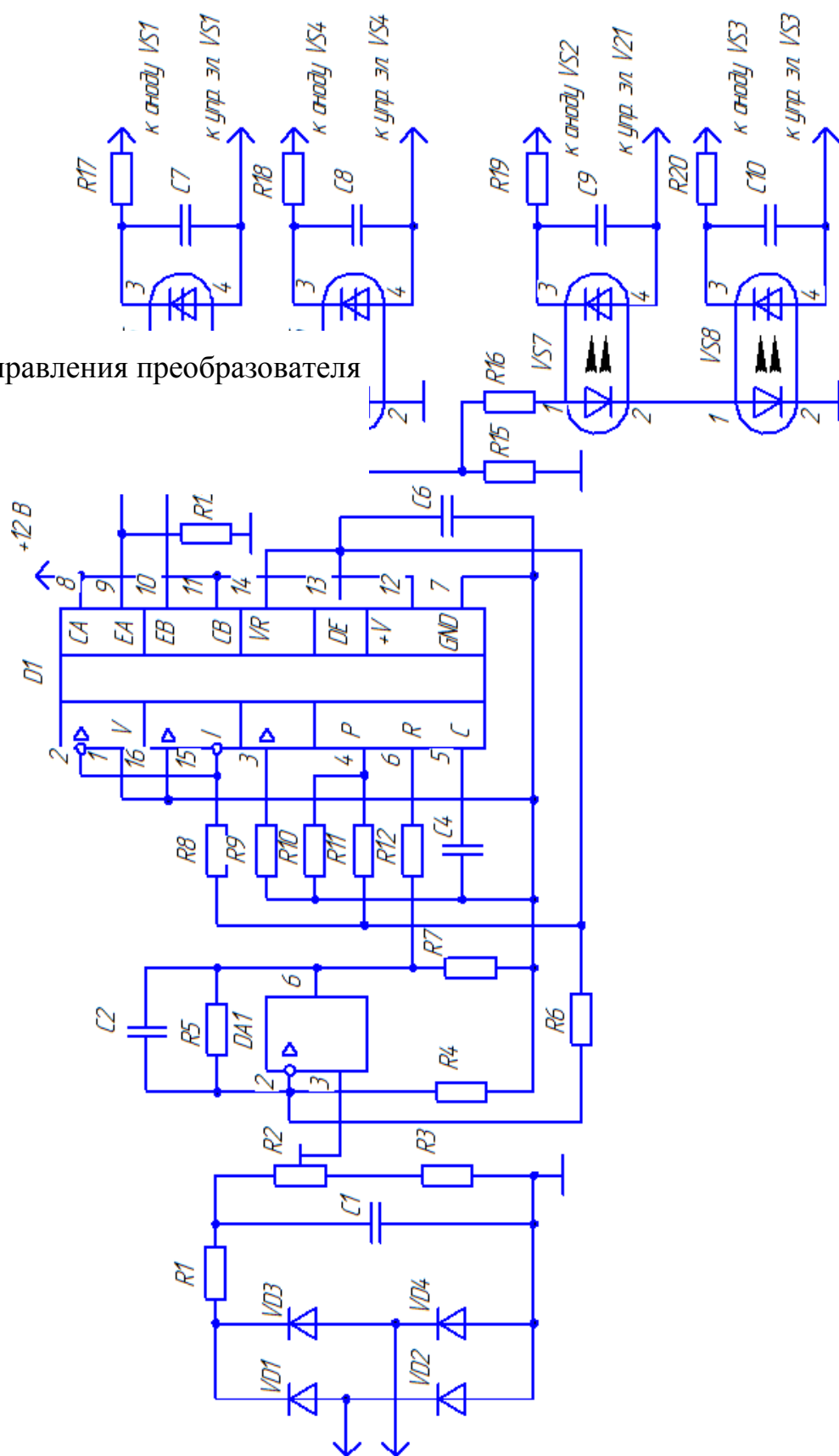


Рисунок 1

Вывод.

В первом разделе были сведены расчетные данные из выпускной квалификационной бакалаврской работы, которые будут взяты за основу в процессе проектирования системы контроля и диагностики преобразователя для индукционного нагрева.

2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

В настоящее время установки индукционного нагрева (УИН) становятся востребованы на разных предприятиях. Установками осуществляют термическую обработку материалов, которая включает нагрев, закалку и расплавление. Установка рассматриваемая в научно – исследовательской работе направлена на нагрев заготовок. Установки подобного типа произведенные несколько десятилетий назад до сих пор используются на предприятиях. На устаревшие модели установок спроектированы системы диагностики и контроля которые не дают необходимой информации. В связи с этим встал вопрос о разработке универсальной системы диагностики и контроля преобразователя для индукционного нагрева которая будет контролировать процесс нагрева, а также работу установки в целом.

Основная функция проектируемой системы это считывание информации с установки индукционного нагрева при помощи датчиков, обрабатывать полученную информацию и выводить ее пользователю на монитор компьютера.

У разрабатываемой системы есть ряд преимуществ:

- односторонность системы (предназначена для работы конкретной установки);
- легкость установки системы диагностики и контроля на оборудование.

Проанализировав основные направления системы можно выделить несколько функциональных блоков:

- блок датчиков – предназначен для считывания информации поступающей с датчиков;
- блок обработки информации – блок обрабатывает информацию полученную с датчиков, а также контролирует работу системы

диагностики и контроля установки индукционного нагрева, как устройства, и отправляет обработанную информацию для дальнейшего вывода пользователю;

- блок графического представления – блок осуществляет вывод информации пользователю на монитор компьютера в графическом и текстовом виде.

Для четкого взаимодействия основных блоков системы используются блоки согласования:

- блок оцифровки – согласовывает данные полученные с блока датчиков и блока обработки информации, другими словами блок оцифровывает информацию полученную с датчиков в вид понятный для чтения микроконтроллеру;
- блок связи – связывает блок обработки информации с блоком графического представления, и обеспечивает связь с компьютером оператора.

Структурная блок – схема системы контроля и диагностики УИН представлена на рисунке 2.1.

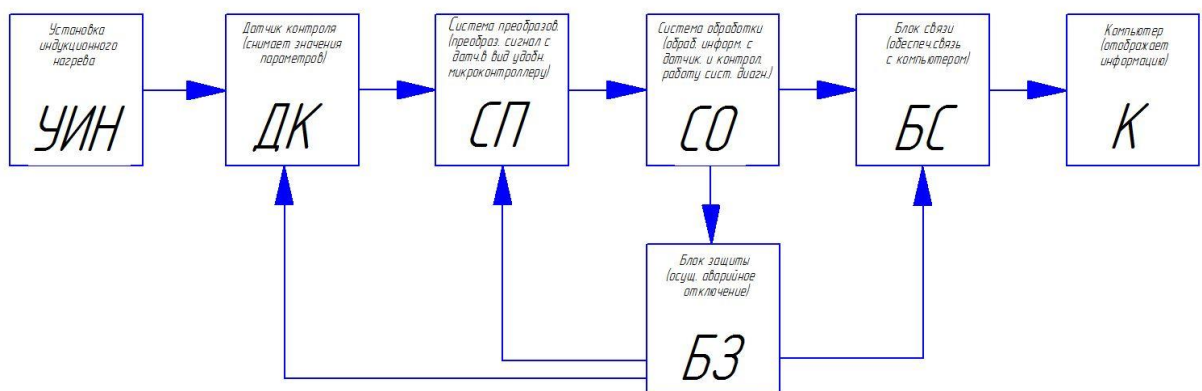


Рисунок 2.1 – Структурная блок – схема системы контроля и диагностики.

Система контроля и диагностики УИН состоит из блоков, каждый блок выполняет определенные функции. Название и назначение блоков представлено ниже:

- УИН – установка индукционного нагрева;
- ДК – датчики контроля – производит снятие значений параметров с установки индукционного нагрева;
- СП – система преобразования – преобразовывает сигналы поступившие с датчиков в вид удобный для обработки микроконтроллером;
- СО – система обработки – система обрабатывает информацию с датчиков оцифрованную микроконтроллером и контролирует работу системы диагностики;
- БЗ – блок защиты – блок осуществляет аварийное отключение системы, а также отключение системы в случае неисправности элементов схемы;
- БС – блок связи – обеспечивает связь с компьютером;
- К – компьютер – источник отображения информации.

Выделим наименьшее количество показателей, которые необходимо контролировать в процессе работы установки индукционного нагрева:

- входной ток,
- входное напряжение,
- выходной ток,
- выходное напряжение,
- частота выходного тока.

Для точной работы преобразователя добавим еще несколько показателей:

- температура детали – параметр будет следить за соответствием преобразователя техпроцессу;
- температура ключевых элементов выпрямителя – параметр следит за исправностью ключевых элементов выпрямителя;

- температура ключевых элементов инвертора – параметр следит за исправностью ключевых элементов инвертора.

Сведем в таблицу 2.1 численный диапазон значений выбранных параметров.

Таблица 2.1 – Численный диапазон значений параметров для преобразователя УИН.

Параметры	Значения
Входной ток	191А
Входное напряжение	380В
Выходной ток	412А
Выходное напряжение	665В
Температура ключевых элементов инвертора и выпрямителя	-20 – +100
Температура детали	Выбирается в зависимости от техпроцесса
Частота выходного тока	3,7кГц

Опираясь на параметры преобразователя, сведенные в таблице 2.1 выберем датчики для нашей системы.

2.1 Датчики контроля.

Датчики контроля предназначены для измерения основных параметров установки индукционного контроля.

К датчикам тока и напряжения входных и выходных цепей которые будут использоваться в нашей установке существуют требования которым они должны соответствовать:

- в конструкцию преобразователя не должны вноситься изменения;
- датчики должны быть гальванически развязанные с измеряемой цепочкой (касается датчиков измеряющие электрические параметры);
- точность датчиков в допустимых пределах;

- диапазон измерения в нужных пределах.

Требованиям описанным выше соответствуют датчики основанные на эффекте Холла. Сущность метода в следующем: если ток пустить через проводящую пластину, а перпендикулярно пластине пустить магнитное поле, то в направлении поперечному току на пластинке появится напряжение (рисунок 2.2).

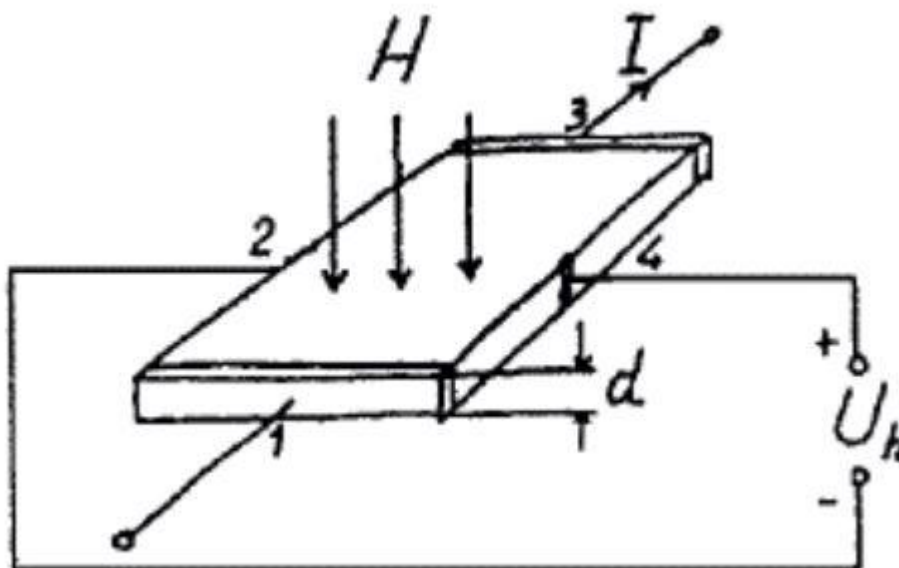


Рисунок 2.2 – Принцип действие генератора Холла.

Вследствие того, что выходной эффект датчиков определяется произведением двух величин (H и I) они получили широкое применение.

Датчики на эффекте Холла подразделяются на датчики компенсационного типа и прямого усиления.

Датчики компенсационного типа, основанные на эффекте Холла, (рисунок 2.3) это датчики со 100 % - й обратной связью или как их еще называют датчики с нулевым потоком. Датчики имеют встроенную компенсационную цепь, благодаря которой характеристики датчиков могут быть существенно улучшены. Компенсационные датчики обеспечивают выходной ток, пропорциональный напряжению Холла, который работает как

сигнал обратной связи, для того чтобы скомпенсировать магнитное поле, которое создается первичным током I_p , с помощью магнитного поля B_s , создаваемого выходным током I_s .

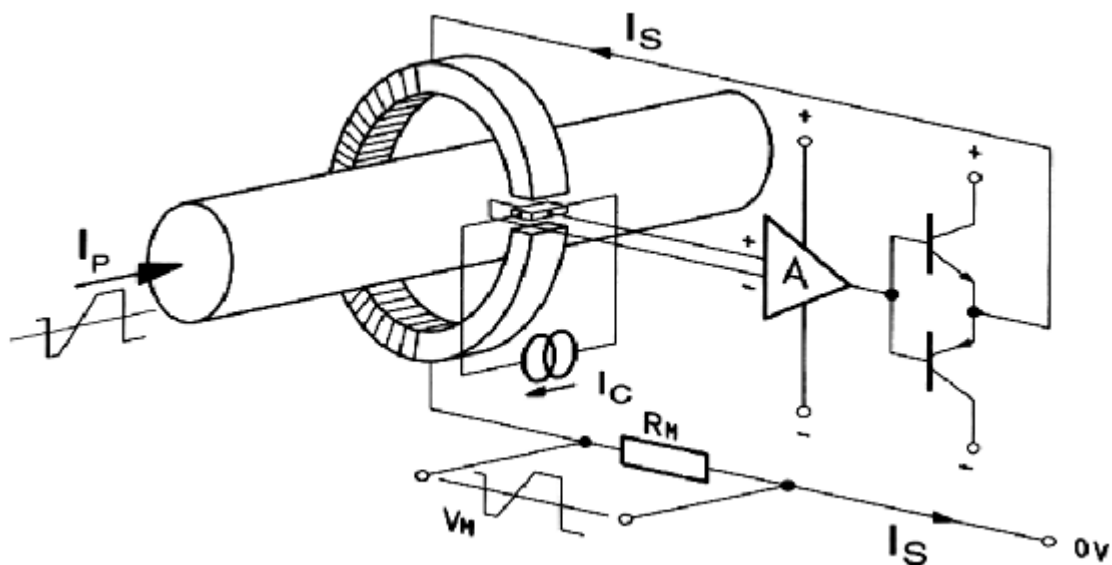


Рисунок 2.3 – Принцип действия компенсационного датчика со 100 % – й обратной связью.

Для генерирования аналогичного потока, на магнитный сердечник наматывают катушку с числом витков N_s так, чтобы МДС катушек были между собой равны.

Датчики компенсационного типа хорошо подходят для промышленного применения, когда необходима высокая точность и широкий диапазон частот. Применение такой конструкции датчиков позволит измерять напряжения и токи с точностью около 1% от измеряемой величины.

Принцип действия датчиков прямого усиления (рисунок 2.4) основывается на магнитном потоке который создается током первичной обмотки, концентрируется в магнитной цепи и измеряется в воздушном зазоре при помощи датчика Холла. Обработанный таким образом сигнал, является точным отображением тока первичной обмотки.

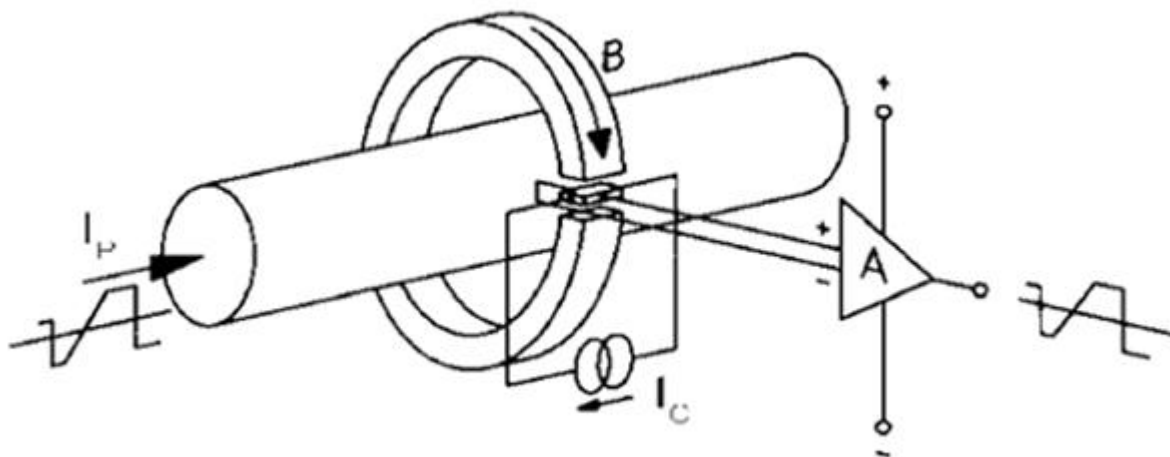


Рисунок 2.4 – Принцип работы датчика прямого усиления основанного на эффекте Холла.

Особенность датчиков прямого усиления состоит из нескольких параметров:

- расширенный диапазон измерений;
- корпус малого размера;
- низкий расход энергии;
- малый вес;
- отсутствие вносимых потерь.

2.1.1 Датчики тока.

Для измерения тока используют выполненные на базе разнообразных технологий специальные датчики или преобразователи тока.

2.1.1.1 Входные датчики тока.

Входные датчики тока будут служить для измерения входного тока установки индукционного нагрева. Такие датчики устанавливают как правило в питающей цепи или после автоматического выключателя установки.

Далее для измерения входного тока необходимо выбрать датчики тока. Выбор датчиков осуществляется по следующим значениям параметров: частотный диапазон измерений от 50 Гц до 3700 Гц, диапазон измерения тока от 0 до 500 А. Так же датчики измеряющие входной ток должны соответствовать общим требованиям для всех датчиков, приведенных в пункте 2.1.

По данным параметрам был выбран следующий датчик входного тока LT 1005-S/SP18 фирмы LEM [8]. Основные технические параметры датчика сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры датчика тока LT 1005-S/SP18

Параметры	Диапазон значений
Диапазон измерений, А	0-2000
Номинальное значение, А	1000
Выходной сигнал, номинального значения	200 мА
Напряжение питания, В	+/- 24
Ток потребления, мА	30
Рабочая температура	-25 - +70
Вес, г.	600

Входная сеть трехфазная и нужно знать значение тока в каждой фазе. Для этого нужно ставить трехфазный датчик тока или использовать три однофазных датчика тока. Во избежание загруженности конструкции устройства системы диагностики и контроля установки индукционного нагрева будем использовать 3 однофазных датчика LT 1005-S/SP18 (рисунок 2.5).

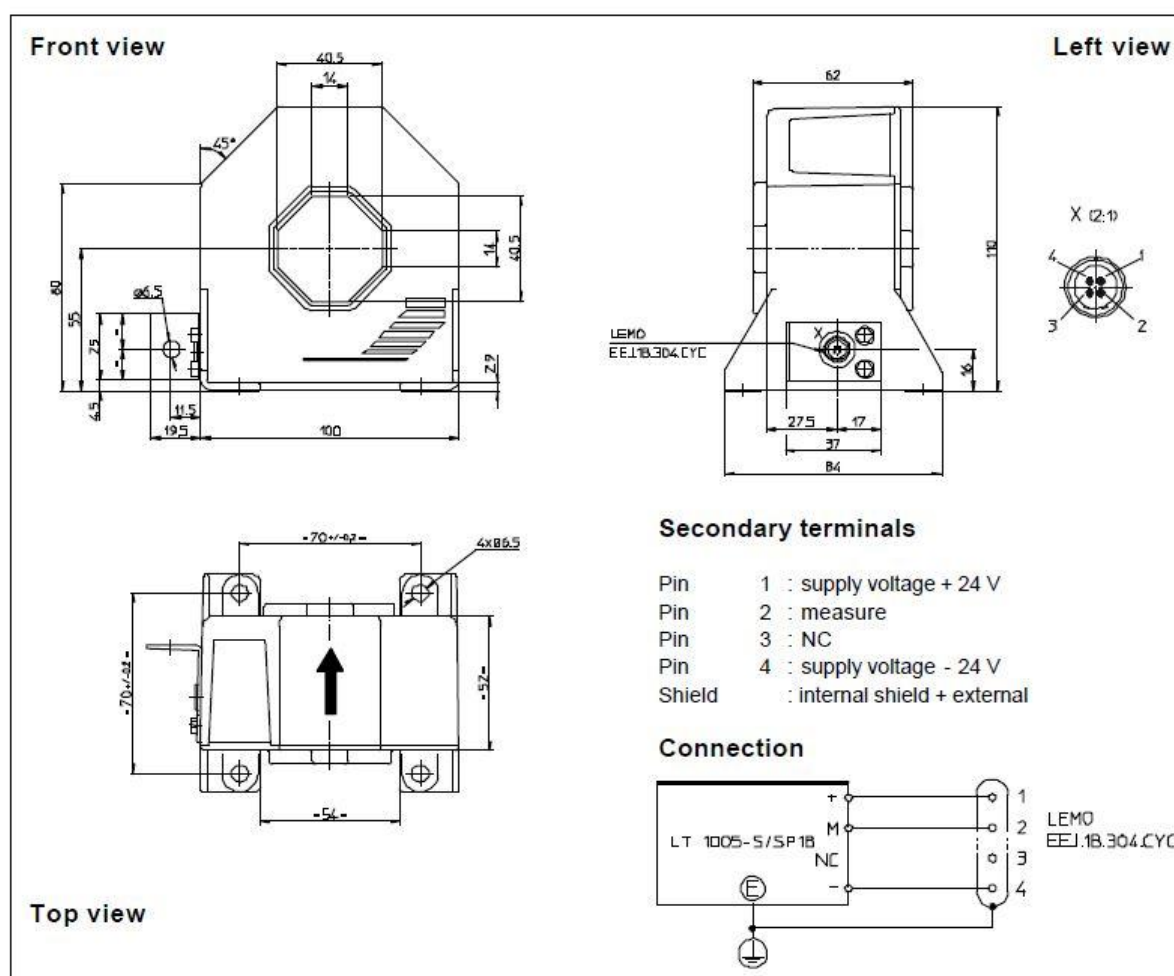


Рисунок 2.5 – Габаритные размеры и схема подключения датчика тока LT 1005-S/SP18.

2.1.1.2 Датчики выходного тока.

Датчики выходного тока будут служить для измерения тока нагрузки, установки индукционного нагрева. Датчики будут установлены в цепь нагрузки, т.е. индуктора установки для индукционного нагрева.

Датчики выходного тока должны также соответствовать требованиям, приведенных для датчиков в пункте 2.1.

Далее выбираем датчики тока для измерения выходного тока. Выбор датчиков осуществляется по следующим значениям параметров: диапазон измерения тока от 0 до 500 А, частотный диапазон производимых измерений от 50 Гц до 3700 Гц. По данным критериям подходит также датчик,

используемый для измерения входного тока. Для уменьшения перечня спецификации выбираем датчик LT 1005-S/SP18 фирмы LEM [8], который используем для измерения входного тока. Технические характеристики датчика приведены в таблице 2.2, а его габаритные размеры и схема подключения приведены на рисунке 2.5.

2.1.2 Датчики напряжения.

2.1.2.1 Входные датчики напряжения.

Входные датчики напряжения служат для измерения напряжения питающей сети иначе говоря для измерения входного напряжения. Входные датчики напряжения устанавливаются во входной цепи преобразователя до или после автоматического выключателя установки.

Необходимо выбрать датчики для измерения входного напряжения. Выбор осуществляется по следующим значениям параметров: диапазон измерения напряжения от 100 В до 500 В, частотный диапазон производимых измерений от 50 Гц до 3700 Гц.

По данным параметрам был выбран следующий датчик входного напряжения CV3-1000 фирмы LEM [9]. Основные технические параметры датчика сведены в таблицу 2.3.

Входная сеть трехфазная и нужно знать значения напряжения на всех фазах. Для получения данной информации нужно ставить трехфазный датчик напряжения или можно использовать три однофазных датчика напряжения. Для упрощения конструкции устройства системы диагностики и контроля преобразователя для индукционного нагрева будем использовать три однофазных датчика CV3 – 1000.

Таблица 2.3 – Параметры датчика напряжения CV3 – 1000

Параметры	Диапазон значений
Диапазон измерения, В	0-1000
Номинальное значение, В	700
Частотный диапазон, кГц	0-500
Выходной сигнал, номинальное значение	Напряжение, 7 В
Напряжение питания, В	+/-15
Ток потребления, мА	32
Рабочая температура,	-40 - +85
Вес, г.	560

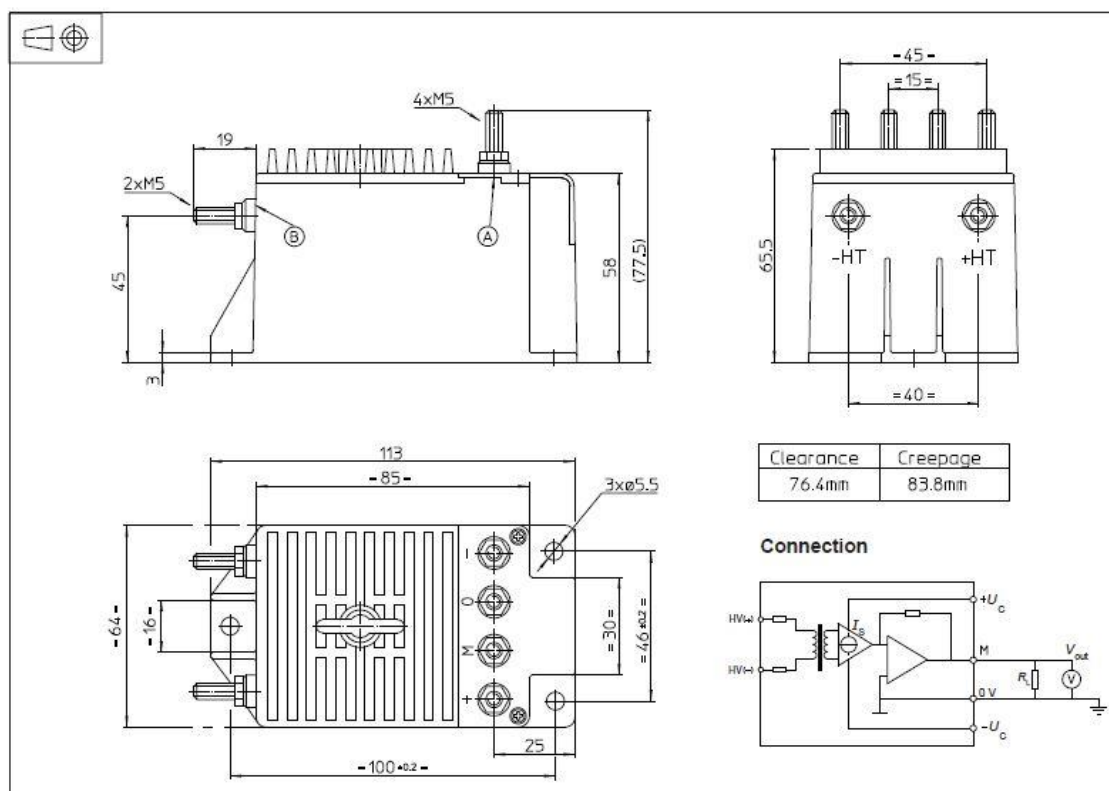


Рисунок 2.6 – Габаритные размеры и схема подключения датчика напряжения CV3 – 1000.

2.1.1.2 Датчики выходного напряжения.

Выходные датчики напряжения предназначены для измерения напряжения на нагрузке установки для индукционного нагрева. Датчики устанавливаются в электрическую цепь индуктора установки для индукционного нагрева.

Датчики измеряющие выходное напряжение должны также соответствовать общим требованиям приведенным в пункте 2.1.

Нужно выбрать датчики для измерения выходного напряжения. Выбор датчиков осуществляется по следующим параметрам: диапазон измерения напряжения от 100 В до 700 В, частотный диапазон измерений от 50 Гц до 3700 Гц. По данным параметрам также подходит датчик, используемый для измерения входного напряжения. Для уменьшения перечня спецификации выбираем датчик напряжения CV3 – 1000 фирмы LEM [9], который используется для измерения входного напряжения. Технические характеристики датчика приведены в таблице 2.3, а его габаритные размеры и схема подключения представлены на рисунке 2.6.

Выходная сеть однофазная. Для получения информации о значении тока в фазе достаточно будет одного однофазного датчика напряжения.

2.1.3 Датчики температуры.

Датчики температуры предназначены для измерения температуры тиристоров выпрямителя и транзисторов инвертора. Температура на элементах не должна превышать 120 градусов. Датчики будут располагаться на радиаторах охлаждения ключевых элементов установки для измерения температуры на этих элементах.

Основное требование применяемое к датчикам температуры для ключевых элементов – необходимый диапазон измерений и малые габариты.

Измерения температуры на установке индукционного нагрева будут проводится и на индукторе.

Для измерения температуры приборов были выбраны датчики 701-102ВAB-B00 [10] и HEL776-A-T-x фирмы Honeywell [11] (рисунок 2.7).

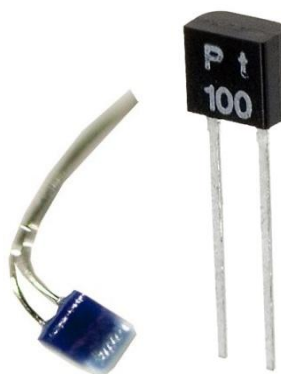


Рисунок 2.7 – Датчики температуры 701-102ВAB-B00, HEL776-A-T-x.

Таблица 2.4 – Основные параметры датчиков температуры

Параметры	Наименование датчиков	
	701-102ВAB-B00	HEL776-A-T-x
Минимальная измеряемая температура, С	-70	-50
Максимальная измеряемая температура, С	500	150
Чувствительный элемент	платина (RTC)	платина (RTC)
Точность, %	0,12	-
Время ответа, с	2,2	-
Измеряемая среда газ/поверхность	газ, мет. поверхность	газ, вода
Напряжение питания, В	-	-
Выходной сигнал	зависимость сопротивления от температуры	зависимость сопротивления от температуры
Номинальное сопротивление при 25 С, кОм	1	0,1
Корпус	1.7 x 1.25	ТО92
Производитель	Honeywell	Honeywell

Вывод.

Во втором разделе определена задача системы. Выбраны основные функциональные блоки и описана их структура. Выделены показатели, которые необходимо контролировать в процессе работы, и определены датчики контроля.

3.СИСТЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛА С ДАТЧИКОВ

Информация, снимаемая с датчиков поступает в виде аналогового сигнала. Для обработки такой вид отображения информации не удобен. Так же существует сложность в передаче информации без помех. Для исключения таких недостатков необходимо преобразовать аналоговый сигнал в цифровой. Для этого необходимо подобрать аналого – цифровой преобразователь, иначе говоря АЦП. Критерии для выбора АЦП:

- скорость выборки сигнала,
- точность измерения (разрядность АЦП),
- скорость выборки сигнала,
- миниатюрность (количество проводов для связи с контроллером, размер корпуса),
- быстрая передача сигнала.

Разрядность аналого – цифрового преобразователя зависит от заданной точности измерений. Минимальный шаг измерения примем за 1. Отсюда вывод что, разрядность АЦП должна позволять измерять сигнал с точностью до единиц (А, В).

Для датчиков напряжения. Максимально измеряемое напряжение равно 700 В тогда найдем минимальную разрядность АЦП, как

$$\log_2(700/1) - 1 = 9 \quad (1)$$

Из рассчитанного выше уравнения видно что, этому условию соответствует АЦП с разрядностью равной 9. Для датчиков тока можно применять установленную разрядность, как для датчиков напряжения. Так как диапазон значений измерения тока меньше, чем диапазон значений измерения напряжения.

Аналого – цифровой преобразователь будет соединяться с контроллером. Скорость обмена информацией контроллера с АЦП зависит от количества

проводов для связи. Существует несколько вариантов соединения АЦП с контроллером:

1. Параллельный интерфейс (прямое соединение)
2. Последовательный интерфейс (использование сети)
 - а) сеть SPI;
 - б) сеть I2C;

При применении параллельного интерфейса будет использовано большое количество входов/выходов и проводников контроллера, так как будет использован всего один проводник, который будет эксплуатироваться как вход/выход контроллера на каждый разряд АЦП для каждого аналого – цифрового преобразователя.

Использование сети позволит уменьшить количество проводников для одного аналого – цифрового преобразователя и позволит использовать проводники сразу для нескольких АЦП.

Последовательные интерфейсы являются связующими между ведущим устройством, который предоставляет последовательный тактовый сигнал, и периферийным или ведомым устройством. Последовательные интерфейсы выпускаются в трех исполнениях: однопроводной, двухпроводной и трехпроводной. В стандартах SPI, QSPI, и MICROWIRE обмен данными осуществляется при помощи трехпроводных интерфейсов.

Трехпроводной интерфейс:

В трехпроводных интерфейсах используется линия выбора кристалла (CS или SS с активным низким уровнем), линия синхронизации (SCLK) и линия ввода данных (DIN или MOSI) или линия вывода. Трехпроводные интерфейсы предназначены для работы на высоких частотах и не требуют нагрузочных резисторов. Интерфейсы SPI/QSPI и MICROWIRE

обеспечивают полнодуплексный режим работы (данные могут одновременно передаваться и приниматься), и они более устойчивы к шумам.

В трехпроводных интерфейсах синхронизация производится по фронту, а не по уровню. Основным недостатком трехпроводных интерфейсов является необходимость в отдельной линии CS с активным низким уровнем для каждого ведомого устройства на шине, при условии если ведомое устройство не подключено по шлейфовой схеме, как показано на рисунке 3.1. Трехпроводные интерфейсы являются простыми и эффективными при работе с одним ведущим и одним периферийным устройством.

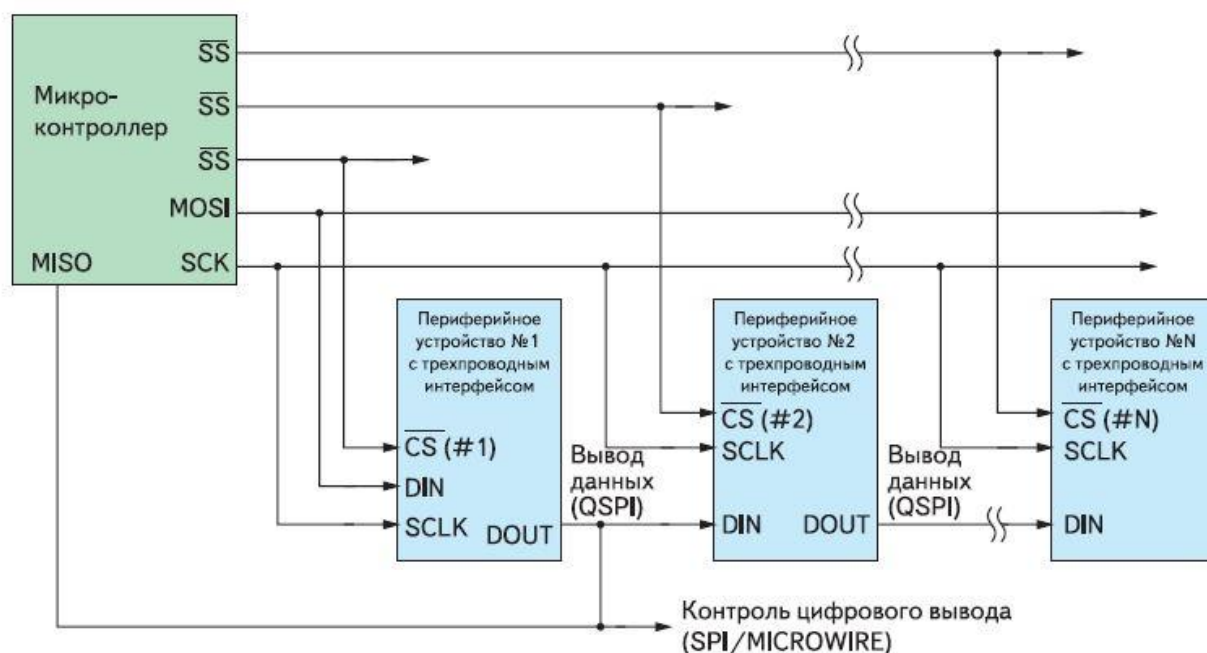


Рисунок 3.1 – В трехпроводных интерфейсах используются линии ввода данных, вывода данных, синхронизации и выбора кристалла.

Двухпроводной интерфейс:

В двухпроводных интерфейсах (рисунок 3.2) может использоваться только линия данных (SDA) и линия синхронизации (SCL). Двухпроводные интерфейсы способны работать только в полудуплексном режиме, т. е. в заданном такте возможна только передача или только прием данных. Двухпроводные интерфейсы имеют возможность подключения большого

количества ведомых устройств без использования сигналов выбора кристалла. Такая возможность появилась благодаря тому, что каждое устройство имеет свой адрес. Еще одной особенностью двухпроводных интерфейсов является синхронизация, здесь она производится по уровню, что создает проблемы в условиях сильных шумов при неправильном определении бита данных.

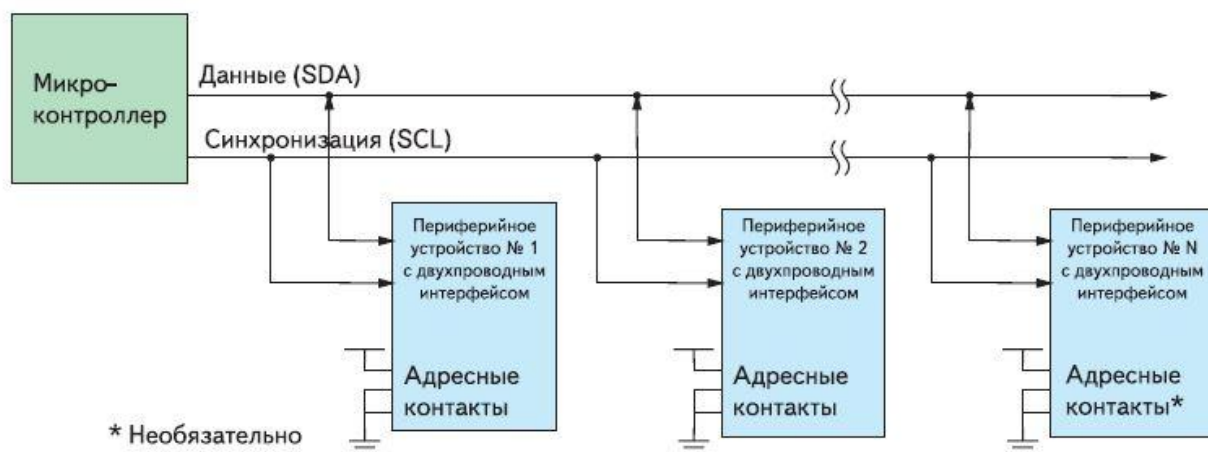


Рисунок 3.2 – В двухпроводных интерфейсах имеется линия ввода/вывода данных и линия синхронизации.

В таблице 3.1 приведены преимущества и недостатки трех и двухпроводных интерфейсов.

По нескольким линиям шины последовательного интерфейса ведущее и ведомое устройства обмениваются данными.

Также критерием отбора является частота. Критерий включен из – за особенности датчиков которые используются для снятия выходных величин и большой частоты выходного сигнала. Особенность датчиков заключается в том, что сигнал поступающий с датчиков соответствует мгновенному значению измеряемой величины. В связи с этим частота выборки должна быть больше, чем максимальная частота выходного сигнала преобразователя.

Превышение частоты выборки над выходной частотой сигнала преобразователя зависит от погрешности, которую может вносить АЦП.

Таблица 3.1 – Преимущества и недостатки трех – и двухпроводных интерфейсов.

Интерфейс	Преимущества	Недостатки
Трехпроводной: SPI, QSPI и MICROWIRE PLUS	1. Скорость. 2. Не требуются нагрузочные резисторы. 3. Полнодуплексный режим работы. 4. Устойчивость к шумам.	1. Большое число подключений к линиям шины. 2. Для одновременного обмена данными более чем с одним ведомым устройством необходимы отдельные линии выбора кристалла. 3. Отсутствует подтверждение приема данных.
Двухпроводной: I ² C и SMBus	1. Меньше подключений к линиям шины. 2. Множество устройств делят между собой одну шину. 3. Прием данных подтверждается.	1. Скорость: ○ для SMBus — не выше 100 кбит/с; ○ для I²C — не выше 3,4 Мбит/с. 2. Полудуплексный режим работы. 3. Для линий с открытым стоком требуются нагрузочные резисторы. 4. Сниженная устойчивость к шумам.

Микросхемы АЦП производимые в настоящее время вносят малую погрешность, которую можно не учитывать, по сравнению с вносимой погрешностью не точного количества выборки. Удовлетворяющую нас погрешность в оцифровки по частоте выборке примем равною 5 единицам.

Определившись с погрешностью оцифровки рассчитаем количество выборок на период изменения выходного сигнала. Для расчета важно знать амплитудное значение измеряемого сигнала и частоту. Для нахождения максимума синусоиды, нужно определиться с положением выборок которые дают максимальную погрешность. Такое положение представлено на рисунке 3.3

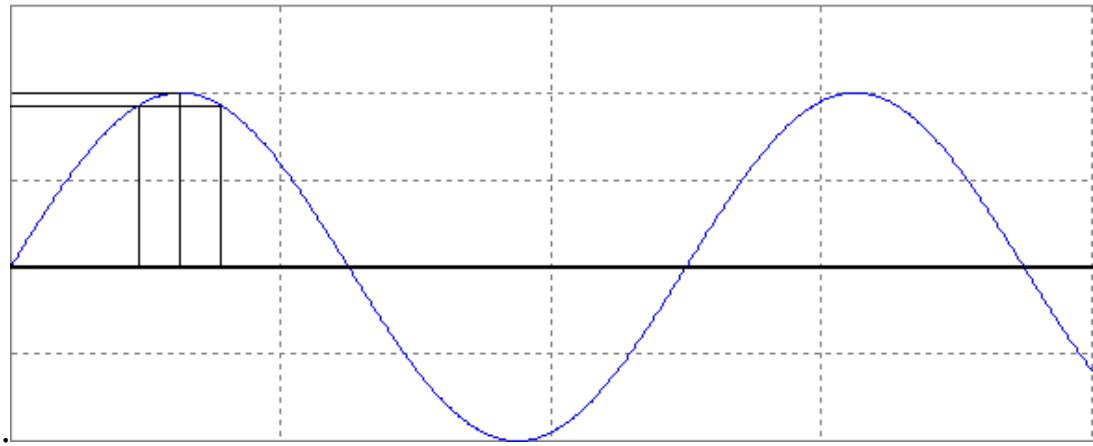


Рисунок 3.3 – Диаграмма сигнала и точки измерения

Максимальная погрешность, как видно из рисунка будет при попадании максимума синусоиды в середину между выборками. Теперь найдем значение погрешности:

$$\Delta = A \sin\left(\frac{P}{2}\right) - A \sin\left(\frac{P}{2} - X\right),$$

где Δ – погрешность,

P – число 3,14,

A – амплитуда сигнала.

Из формулы выведем X :

$$X = \frac{P}{2} - \arcsin\left(\left(A \sin\left(\frac{P}{2}\right) - \Delta\right)/A\right)$$

Амплитуду измеряемого сигнала, которая будет подходить как для входных, так и для выходных величин, возьмем равную 1000 единиц. Подставим численные значения в выражение:

$$X = \frac{3,14}{2} - \arcsin\left(\left(1000 \sin\left(\frac{3,14}{2}\right) - 5\right)/1000\right) = 0,1 \quad (2)$$

Количество точек выборки в периоде найдем по формуле:

$$n = 2 * \frac{P}{X*2} = 31,4 \text{ точек} \quad (3)$$

Такое количество точек на период хватит для измерения входных и выходных величин с заданной точностью.

3.1 Система преобразования для датчиков измеряющих входные параметры.

Система преобразования для датчиков измеряющих входные параметры предназначена для преобразования напряжения получаемое с датчиков в цифровое значение, которое идет на микроконтроллер. Система преобразования может состоять из одной микросхемы АЦП, также могут применяться совместно с АЦП, дополнительные элементы которые будут преобразовывать сигнал с датчика в нужный уровень для оцифровки или для изменения интерфейса обмена информацией с микроконтроллером. Разрядность системы преобразования была рассчитана выше и не может быть ниже 9. Выбор интерфейса обмена информацией с микроконтроллером будет зависеть от частоты работы АЦП.

Найдем частоту работы АЦП для обработки сигнала с входных датчиков, как $F_{\text{выб}} = n * f_{\text{сет}} = 31,4 * 50 = 1570 \text{ Гц}$, (4)

где $f_{\text{сет}}$ – частота входной сети.

Для входных датчиков критерии выбора следующие:

- миниатюрность (размеры корпуса, количество проводов для связи с контроллером) – количество проводов не более 3;
- точность измерения (разрядность АЦП) – 10 бит;
- скорость (частота) выборки сигнала – должна быть 1570 Гц.

По выше приведенным критериям нами был выбран АЦП – ADS1211 фирмы BURR-BROWN [12]. Параметры микросхемы сведены в таблицу 3.2.

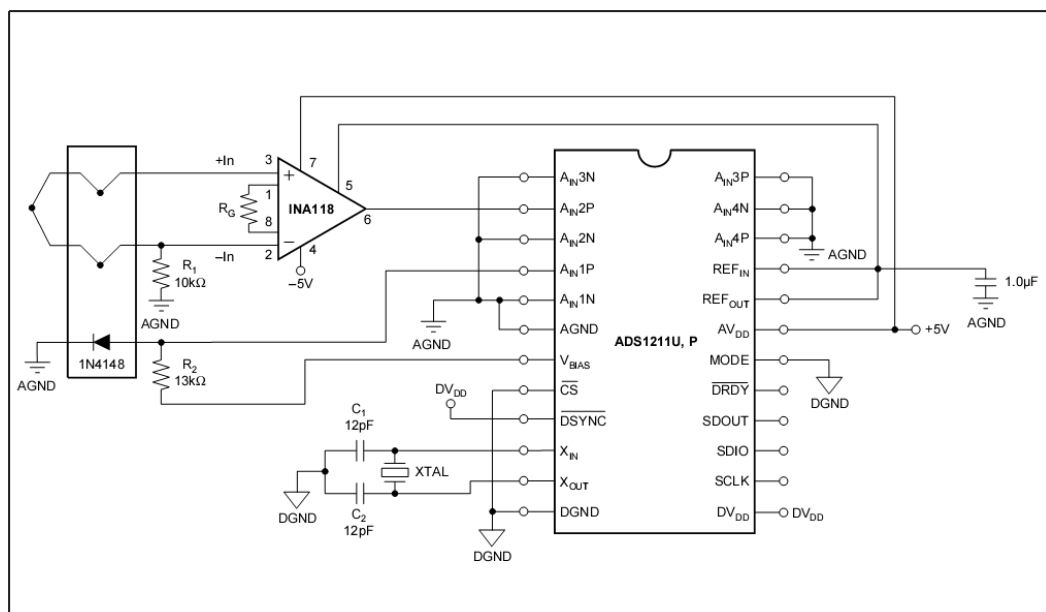


Рисунок 3.4 – Рекомендуемая схема подключения микросхемы ADS1211.

Рассчитаем количество микросхем АЦП.

Количество микросхем АЦП вычисляют, как количество датчиков для оцифровки разделить на количество каналов АЦП и округленной в большую сторону до целых . Итого получилось, количество датчиков – 6, количество каналов - 4. После вычислений получается две микросхемы АЦП. Для выбранной микросхемы необходимо рассчитать обвязку и выбрать элементы для этой обвязки. Схема подключения представлена на рисунке 3.4.

Таблица 3.2 – Параметры АЦП ADS1211P для входных датчиков.

Параметры	Диапазон значений
Разрядность, бит	24, 22 на частоте 10 МГц
Измеряемый сигнал, В	+/-5, +/-10
Время считывания, мс	-
Количество каналов	4
Интерфейс	SPI
Напряжение питания, В	5
Ток потребления, мА	5
Рабочая температура,	-40 - +85
Мощность потребления, мВт	До 60

3.2 Система преобразования для выходных датчиков.

Для датчиков измеряющих выходные параметры система преобразования, преобразует получаемое с датчиков напряжение в соответственное напряжению цифровое значение, которое в дальнейшем передается микроконтроллеру. Система преобразования может состоять как из одной микросхемы АЦП, либо АЦП с дополнительными элементами для преобразования сигнала с датчика в нужный для оцифровки уровень. Разрядность системы уже была рассчитана, она не может быть меньше 9. Выбор интерфейса для обмена информацией с микроконтроллером, будет зависеть от частоты работы АЦП.

Выходные датчики предназначены для измерения электрических параметров с выхода преобразователя. Преобразователь сильно повышает частоту выходного тока, что усложняет измерения, обработку и перемещение выходных параметров.

Найдем частоту работы АЦП для обработки сигнала с выходных датчиков, как

$$F_{\text{выб}} = n * f_{\text{преоб}} = 31,4 * 3700 = 116180 \text{ Гц}, \quad (5)$$

где $f_{\text{преоб}}$ – частота преобразователя.

Критерии для выбора выходных датчиков:

- частота выборки сигнала – должна быть 116180 Гц;
- быстрая передача сигнала;
- разрядность АЦП – 10 бит;
- миниатюрность (размеры корпуса, количество проводов для связи с контроллером) – выбирается параллельный интерфейс, поэтому количество проводов зависит от разрядности АЦП.

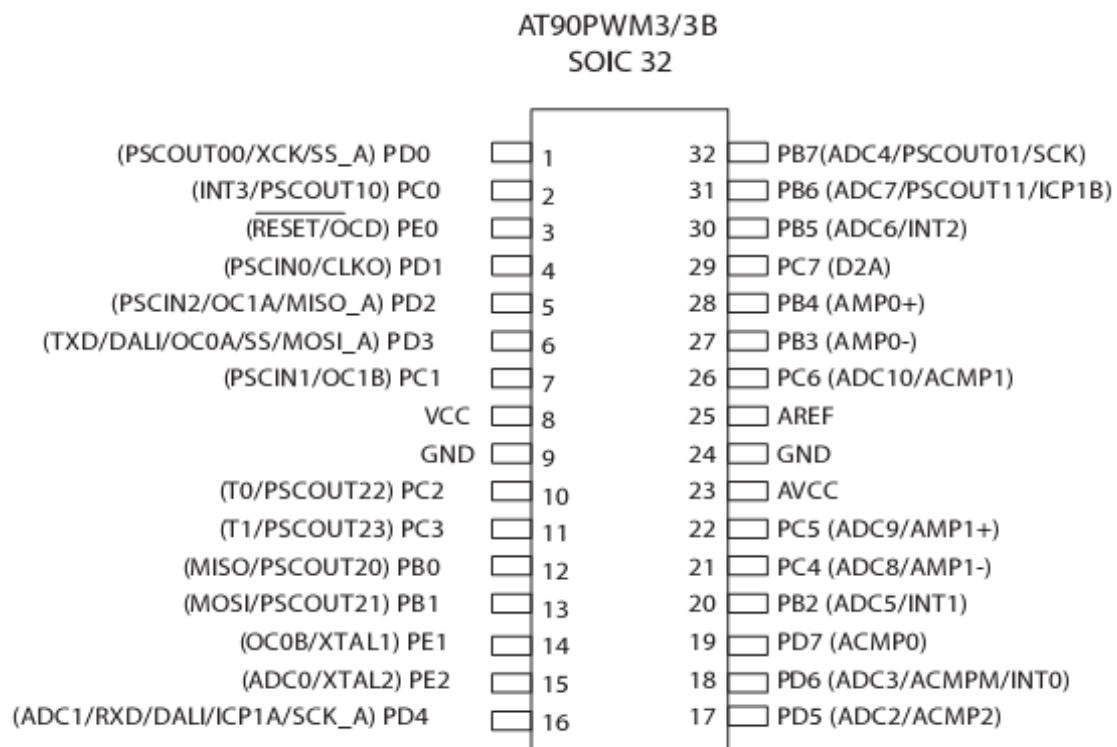
Существует возможность сократить количество проводников интерфейса. Это возможно при использовании АЦП совмещенного с микроконтроллером. У такого применения существует ряд преимуществ:

- уменьшается занятое пространство, благодаря тому, что микроконтроллер будет располагаться ближе к клеммам подключения датчиков, а количество проводов, соединяющих с центральным микроконтроллером, будет регулироваться в зависимости от выбранного интерфейса.
- уменьшается нагрузка в информации на центральный микроконтроллер, так как информация приходящая с выходных датчиков частично обрабатывается и отсылается только необходимая информация, частота отправки и объем отправляемой информации будет меньше.

По данным критериям выбрали АЦП, встроенный в микроконтроллер AT90PWM3 [13]. Параметры преобразователя приведены в таблице 3.3, а распайка и габаритные размеры приведены на рисунках 3.5 и 3.6.

Таблица 3.3 – Параметры микроконтроллера AT90PWM3

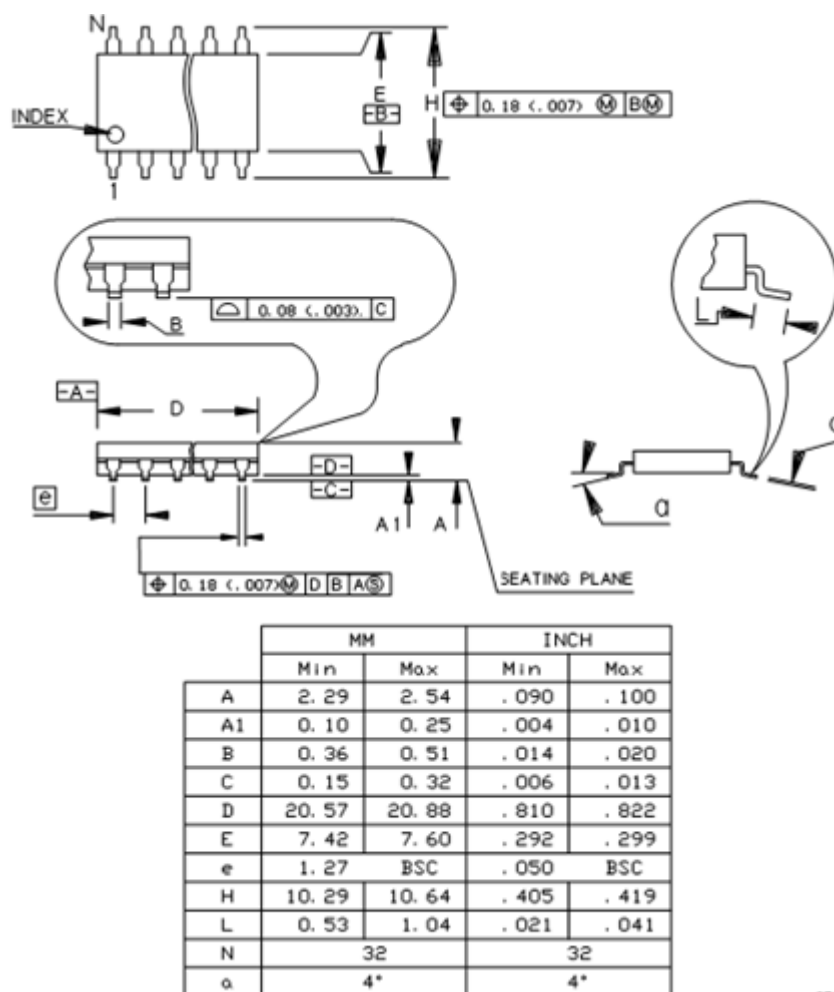
Параметры	Диапазон значений
Разрядность, бит	10 бит
Измеряемый сигнал, В	+Uпит
Время считывания, мс	Min 0,05 нс
Количество каналов	2 дифференциальных
Интерфейс	SPI
Напряжение питания, В	2,7-5,5
Ток потребления, мА	до 4
Рабочая температура,	-40 – +105
Мощность потребления, мВт	до 22
Тип корпуса	SOIC32
Дополнительные особенности	8кбайт



Рисуно

к 3.5 – Распайка микросхемы AT90PWM3.

Количество микросхем вычисляют, как количество датчиков для оцифровки разделить на количество каналов АЦП у микросхемы и округлить в большую сторону. В итоге получается, количество датчиков – 2, количество каналов – 7. После вычислений получается одна микросхема.



07/27/07

Рисунок 3.6 – Габаритные размеры микросхемы AT90PWM3.

3.3 Система преобразования для датчиков температуры.

Изменение электрического сопротивления датчиков зависит от колебаний температуры этих датчиков. По этому изменению можно определить значение температуры. Датчик фиксирует изменение сопротивления, измеряя ток, который протекает при постоянном напряжении на датчик. На рисунке 3.7 приведена схема подключения датчика температуры для получения линейного изменения напряжения на выходе.

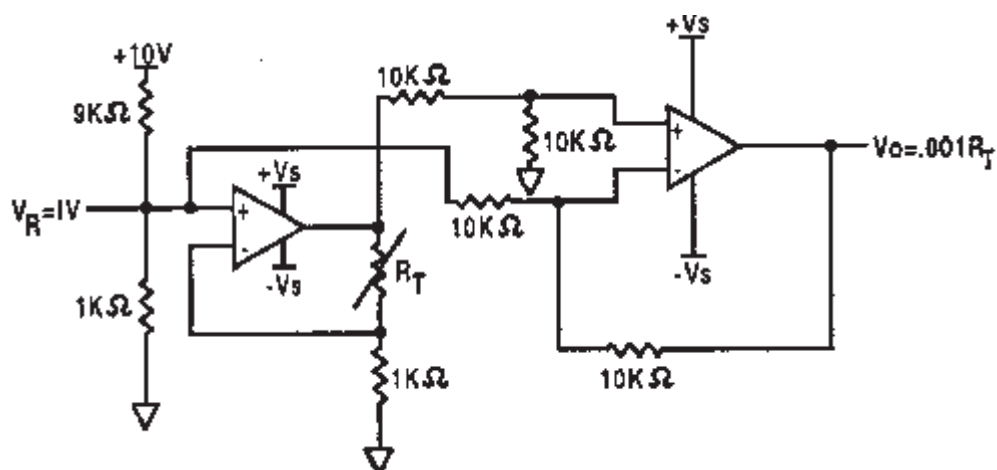


Рисунок 3.7 – Схема подключения датчика температуры для получения линейного изменения напряжения на выходе.

Аналого – цифровым преобразователем считывается и передается микроконтроллеру сигнал V_o . Для считывания сигнала используем АЦП которые были применены для считывания сигналов с датчиков входного напряжения и тока - ADS1211.

3.4 Система обработки.

Система обработки предназначена для сбора оцифрованных значений параметров установки для индукционного нагрева, обрабатывает эти значения и отправляет результат пользователю. Это основная функция системы обработки. Существуют и вспомогательные функции: контроль параметров окружающей среды системы диагностики и контроля установки индукционного нагрева, индикация об ошибке в работе или неисправности оборудования системы диагностики и контроля установки индукционного нагрева, очередность сбора информации с АЦП, контроль микросхем и их отключение при неисправностях [29].

Система обработки может содержать в своей основе микроконтроллер, с его помощью система может осуществлять обработку информации получаемой с датчиков, элементы для организации работы контроллера (кварцевый генератор).

3.4.1 Микроконтроллер.

У микроконтроллера должно быть достаточное количество входов/выходов, определенный диапазон частоты работы, а также памяти должно хватать на обработку поступающей информации чтобы выполнить условия описанные в пункте 3.3.

Критерии для выбора микроконтроллера:

- наличие стандартного интерфейса;
- достаточное количество памяти;
- количество программных инструкций;
- программируемость;

Для обмена данными мы выбрали АЦП с интерфейсов SPI, поэтому за основной интерфейс центрального микроконтроллера будем использовать SPI.

Посчитаем количество проводников, которые мы заняли выбранными устройствами для выбора количества входов.

1 интерфейс SPI – 3 порта плюс порт на каждое устройство(порт выбора микросхемы для обмена информацией(см. интерфейс SPI));

2 порты для управления питанием микросхем АЦП, индикации и микросхем связи(минимум один порт на группу микросхем);

3 порты для связи с внешним устройством;

4 порты для индикации.

Вычислим минимальное количество портов ввода/вывода для микроконтроллера. Количество микросхем связанных интерфейсом SPI – 4, количество групп микросхем – 4, для связи с внешней сетью зарезервируем 4 порта, количество портов для индикации – 4, общее минимальное количество портов – 19. Точное количество портов ввода/вывода будет определено после разработке индикации и управления питания микросхем.

Время обработки микроконтроллером информации должно быть меньше, чем период сигнала на входной цепи преобразователя для индукционного нагрева, так как информация с входных датчиков считывает микроконтроллер в режиме реального времени.

Программные инструкции описаны в документации к микросхеме. Количество и функционал программных инструкций должны полностью удовлетворять задачам, которые выполняет микроконтроллер.

Микросхема может программироваться через интерфейсы SPI, I2C и возможно через Ethernet.

По выше приведенным критериям выбрали АЦП, встроенный в микроконтроллер ATmega1284 [14,15]. Основные параметры приведены в таблице 3.5, а распайка и габаритные размеры приведены на рисунках 3.8 и 3.9.

Таблица 3.5 – Параметры микроконтроллера ATmega1284

Параметры	Диапазон параметров ATmega1284
Разрядность, бит	8
Максимальная частота работы, МГц	20
Количество входов/выходов	4*8
Интерфейс	SPI, TWI(I2C)
Напряжение питания, В	1,8-5
Мощность потребления, мВт	60
Память FLASH, кб	128
Память EEPROM, кб	4
Память RAM, кб	16

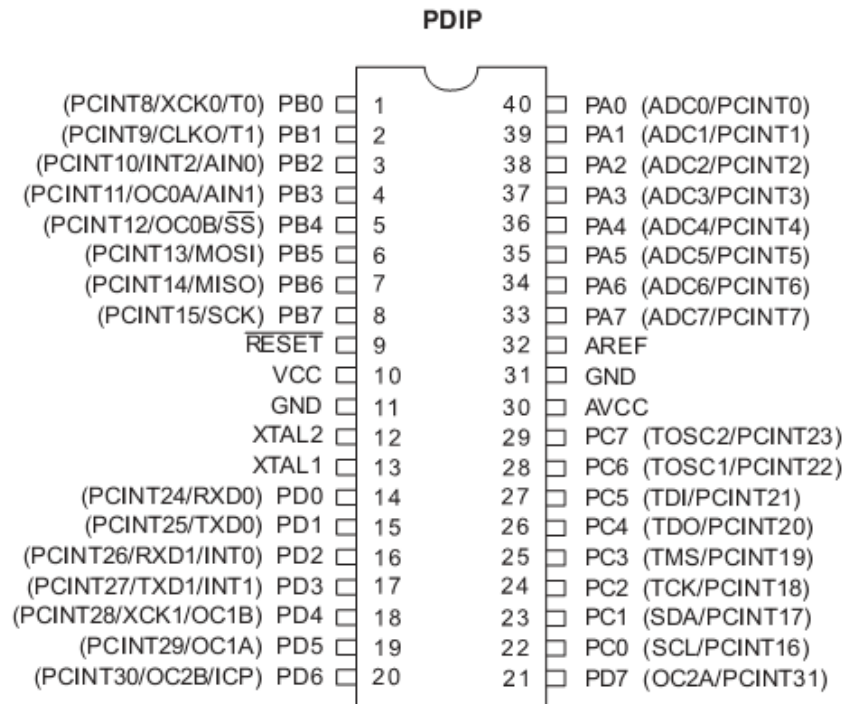


Рисунок 3.8 – Распайка микросхемы АТmega1284.

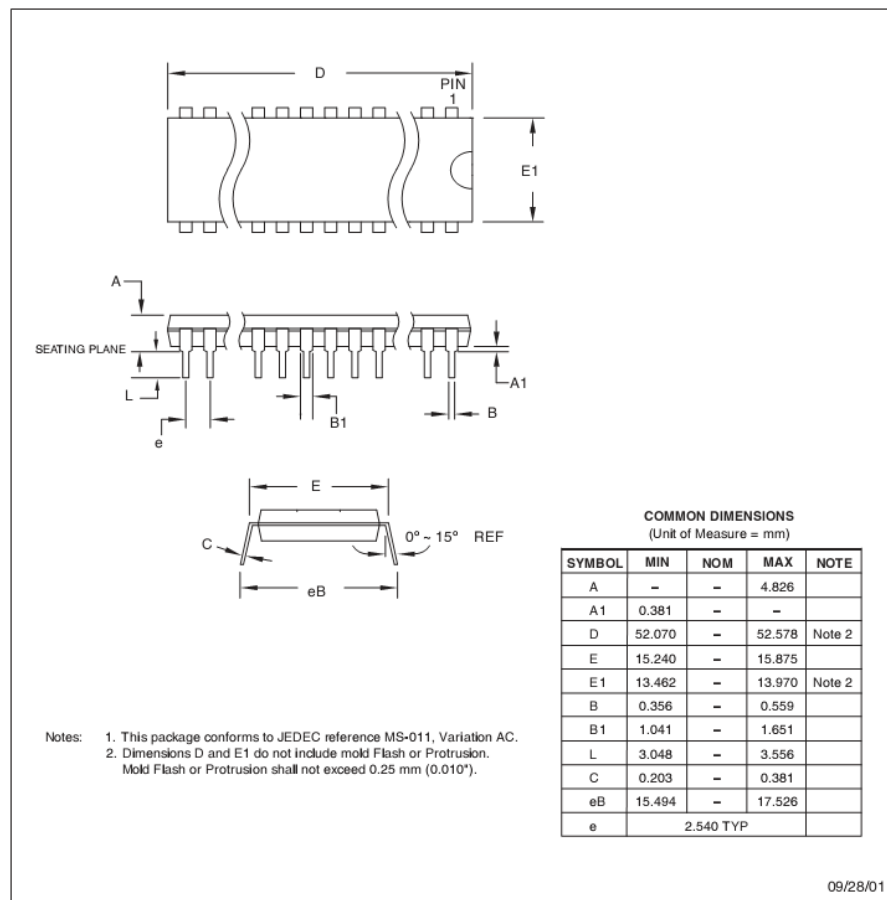


Рисунок 3.9 – Габаритные размеры микросхемы АТmega1284.

3.4.2 Элементы для организации интерфейсов.

Для выбранного нами интерфейса I2C необходимы подтягивающие резисторы. Номиналы резисторов возьмем равными 10кОм. Рассеваемая мощность на резисторах не превышает 0,125 Вт.

3.5 Компьютер.

Блок графического отображения информации может быть выполнен в виде переносного компьютера. Компьютер должен быть оборудован портом для подключения к устройству сбора и обработки информации системы, также компьютер должен содержать программное обеспечение для связи и отображения получаемой информации в виде графиков.

На оборудовании возможно использование специализированных компьютеров, которые будут лучше подходить к условиям использования установки и соответственно системы диагностики и контроля. Например, промышленный компьютер фирмы Siemens стоечного исполнения

(рисунок 3.11) или компьютеры для встраивания в пульта и консоли управления фирмы Siemens (рисунок 3.12) [16].

Для осуществления нормальной работы устройства и обеспечением связи между блоком сбора и обработки информации системы диагностики и контроля необходим драйвер устройства связи.



Рисунок 3.11 – Компьютеры стоечного исполнения фирмы Siemens.



Рисунок 3.12 – Компьютеры для встраивания в пульты и консоли управления фирмы Siemens.

3.5.1 Интерфейс USB.

Интерфейс USB – переводится как Универсальный Последовательный Интерфейс, служит для подключения периферийных устройств к компьютеру. Данное устройство позволяет производить обмен данными с периферийными устройствами на трех скоростях:

- Низкая скорость (LS) - 1,5 Мбит/с;
- Полная скорость (FS) - 12 Мбит/с;
- Высокая скорость (HS) - 480 Мбит/с.



Рисунок 3.13 – Наконечники кабеля USB.

Интерфейс USB соединяет между собой хост (host) и другие устройства. Хост (host) управляет работой всего интерфейса, он находится внутри компьютера. Помимо хостов в интерфейсе USB есть еще и хабы (hub) – они предназначены для подключения к интерфейсу других устройств [17].

Все данные в интерфейсе передаются с помощью пакетов. В USB интерфейсе используются три разновидности пакетов:

- пакет признак – описывает направление и тип передачи данных, а также указывает адрес и порядковый номер конечной точки.

- пакет с данными – содержит передаваемые данные.
- пакет согласования – сообщает о результатах пересылки данных.

Типы пересылок в интерфейсе USB тоже несколько – поточный (bulk), управляющий (control), изохронный (isoch) и прерывание (interrupt).

Управляющий канал предназначен для обмена с устройством короткими пакетами «вопрос-ответ». Любое устройство имеет управляющий канал 0, который позволяет программному обеспечению ОС прочитать краткую информацию об устройстве, в том числе коды производителя и модели, используемые для выбора драйвера, и список других конечных точек.

Канал прерывания позволяет доставлять короткие пакеты и в том, и в другом направлении, без получения на них ответа/подтверждения, но с гарантией времени доставки — пакет будет доставлен не позже, чем через N миллисекунд.

Изохронный канал позволяет доставлять пакеты без гарантии доставки и без ответов/подтверждений, но с гарантированной скоростью доставки в N пакетов на один период шины. Используется для передачи аудио- и видеоинформации.

Поточный канал дает гарантию доставки каждого пакета, поддерживает автоматическую приостановку передачи данных по нежеланию устройства (переполнение или опустошение буфера), но не дает гарантий скорости и задержки доставки. Используется, например, в принтерах и сканерах.

Активной стороной шины всегда является контроллер, передача пакета данных от устройства к контроллеру реализована как короткий вопрос контроллера и длинный, содержащий данные, ответ устройства. Расписание движения пакетов для каждого периода шины создается совместным усилием аппаратуры контроллера и ПО драйвера, для этого многие контроллеры используют крайне сложный DMA со сложной DMA-программой, формируемой драйвером.

3.5.2 Интерфейс RS-232.

RS-232 – стандарт асинхронной и синхронной передачи двоичных данных между терминалом и коммуникационным устройством, в телекоммуникациях.



Рисунок 3.14 – Наконечник кабеля RS-232.

RS-232 – предназначен для передачи данных между устройствами на расстоянии до 15 метров. Информация передается по проводам с уровнями сигналов, отличающимися от стандартных 5 В, для обеспечения большей устойчивости к помехам. Логическому "0" соответствует положительное напряжение (от +5 до +15 В для передатчика), а логической "1" отрицательное (от -5 до -15 В для передатчика). Приемник воспринимает сигналы от +3 до +25 В для логического "0", и от -3 до -25 В для логической "1". Асинхронная передача данных осуществляется с установленной скоростью при синхронизации уровнем сигнала стартового импульса [17].

По структуре это обычный асинхронный последовательный протокол, то есть передающая сторона по очереди выдает в линию 0 и 1, а принимающая отслеживает их и запоминает.

Данные передаются пакетами по одному байту (8 бит).

Устройства для связи по последовательному каналу соединяются кабелями с 9-ю или 25-ю контактными разъёмами типа D-sub. Обычно они обозначаются DB-9, DB-25, CANNON 9, CANNON 25.

Номера основного передающего и принимающего данные контакта для разъемов DB-9 и DB-25 разные! Для DB-9 контакт 2 - вход приемника, контакт 3 - выход передатчика. Для DB-25 наоборот, контакт 2 - выход передатчика, контакт 3 - вход приемника.

3.5.3 Интерфейс RS-485.

RS-485 – стандарт передачи данных по двухпроводному полудуплексному многоточечному последовательному каналу связи [21].

Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов. По одному проводу (условно А) идет оригинальный сигнал, а по другому (условно В)- его инверсная копия.

Электрические и временные характеристики интерфейса RS-485:

- 32 приёмопередатчика при многоточечной конфигурации сети (на одном сегменте, максимальная длина линии в пределах одного сегмента сети: 1200 метров).
- Только один передатчик активный.
- Максимальное количество узлов в сети — 250 с учётом магистральных усилителей.
- Тип приёмопередатчиков — дифференциальный, потенциальный. Изменение входных и выходных напряжений на линиях А и В: U_a (U_b) от $-7V$ до $+12V$ ($+7V$).

Таблица 3.6 – Стандарты, поддерживаемые интерфейсом RS-485

США	Франция	Германия	Другие
EIA/TIA-422 90kbit/1,2 km			IEEE 1118
EIA/TIA-422A EIA/TIA –485	CCITT V.10 — Несимметричные	DIN 66 259-3 DIN 66 259-4 (4-Wire RS-485)	(4-Wire BitBus)
BitBus (Intel, Protocol HLDC)	CCITT V.11 — Симметричные	Интерфейс измерительных систем DIN 66 348-2 (4-Wire RS-485) DIN Measuring Bus	ISO/IEC 8482 (4-Wire RS-485)
Поддержка сетей: BitBus, ModBus, InterBus-S, DIN Measuring Bus			

3.5.4 Интерфейс Ethernet.

Ethernet – пакетная технология передачи данных преимущественно локальных компьютерных сетей.

Стандарты Ethernet определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде — на канальном уровне модели OSI. Ethernet в основном описывается стандартами IEEE группы 802.3.

В зависимости от скорости передачи данных и передающей среды существует несколько вариантов технологии.

10BASE5, IEEE 802.3 (называемый также «Толстый Ethernet») — первоначальная разработка технологии со скоростью передачи данных 10 Мбит/с. Следуя раннему стандарту IEEE использует коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом (RG-8), с максимальной длиной сегмента 500 метров.

10BASE2, IEEE 802.3a (называемый «Тонкий Ethernet») — используется кабель RG-58, с максимальной длиной сегмента 185 метров, компьютеры присоединялись один к другому, для подключения кабеля к сетевой карте

нужен T-коннектор, а на кабеле должен быть BNC-коннектор. Требуется наличие терминаторов на каждом конце. Многие годы этот стандарт был основным для технологии Ethernet.

StarLAN 10 — Первая разработка, использующая витую пару для передачи данных на скорости 10 Мбит/с. В дальнейшем эволюционировал в стандарт 10BASE-T.

10BASE-T, IEEE 802.3i — для передачи данных используется 4 провода кабеля витой пары (две скрученные пары) категории-3 или категории-5. Максимальная длина сегмента 100 метров.

100BASE-T — общий термин для обозначения стандартов, использующих в качестве среды передачи данных витую пару. Длина сегмента до 100 метров. Включает в себя стандарты 100BASE-TX, 100BASE-T4 и 100BASE-T2.

1000BASE-T, IEEE 802.3ab — стандарт, использующий витую пару категорий 5е. В передаче данных участвуют 4 пары. Скорость передачи данных — 250 Мбит/с по одной паре. Используется метод кодирования PAM5, частота основной гармоники 62,5 МГц. Расстояние до 100 метров.

3.6 Критерии и выбор связи.

Определим основные критерии выбора интерфейса. Первый критерий – распространенность. По распространенности проходят два интерфейса: USB и Ethernet. Так как эти два интерфейса встраиваются во все производимые компьютеры. Два других интерфейса перестали устанавливаться на компьютеры несколько лет назад. Но для программирования микроконтроллеров используются часто.

Второй критерий – простота использования. Интерфейс Ethernet при подключении нового устройства к сети или при подключении компьютера не

требует установки специальных программ для корректной работы. Остальные интерфейсы требуют программы под конкретное устройство.

Третий критерий – наличие технической возможности использования интерфейса с данным микроконтроллером. Существуют микросхемы различных интерфейсов. Они связываются с микроконтроллером по интерфейсу SPI, который считается стандартным для всех микроконтроллеров.

Скоростные характеристики представленных интерфейсов полностью подходят для разрабатываемой системы диагностики и контроля.

По всем критериям лучше всего подходит интерфейс Ethernet.

В выбранном центральном микроконтроллере нет встроенного интерфейса Ethernet. Для организации обмена информацией по интерфейсу Ethernet, используем микросхему ENC28J60 [30] или ENC28J60-H с встроенным портом RJ-45 и трансформатором. Основные характеристики микросхем приведены в таблице. На рисунках 3.16, 3.17 представлены изображение микросхем и схема соединения соответственно.

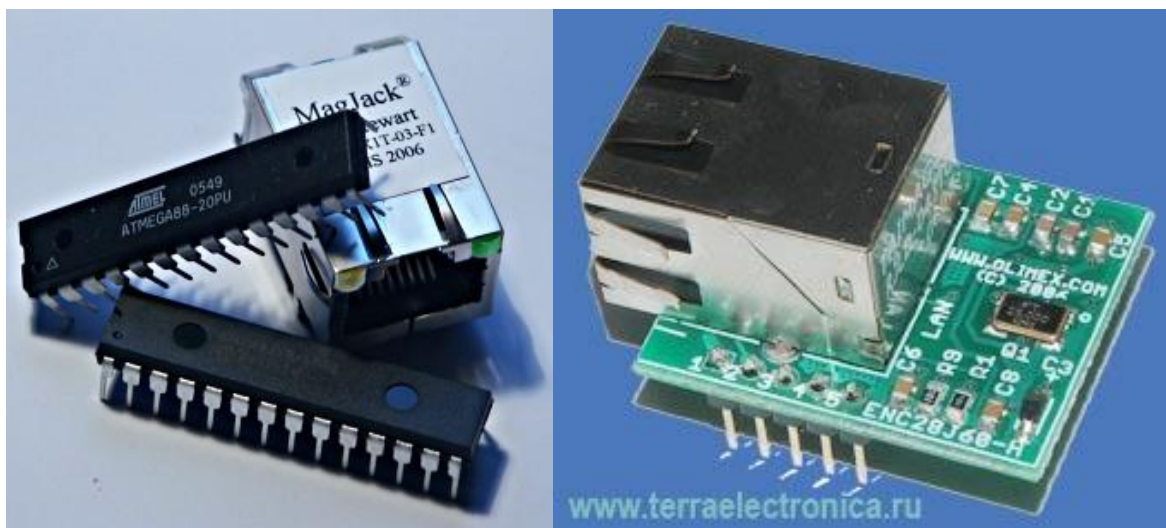


Рисунок 3.16 - Микросхемы ENC28J60(слева) или ENC28J60-H(справа).

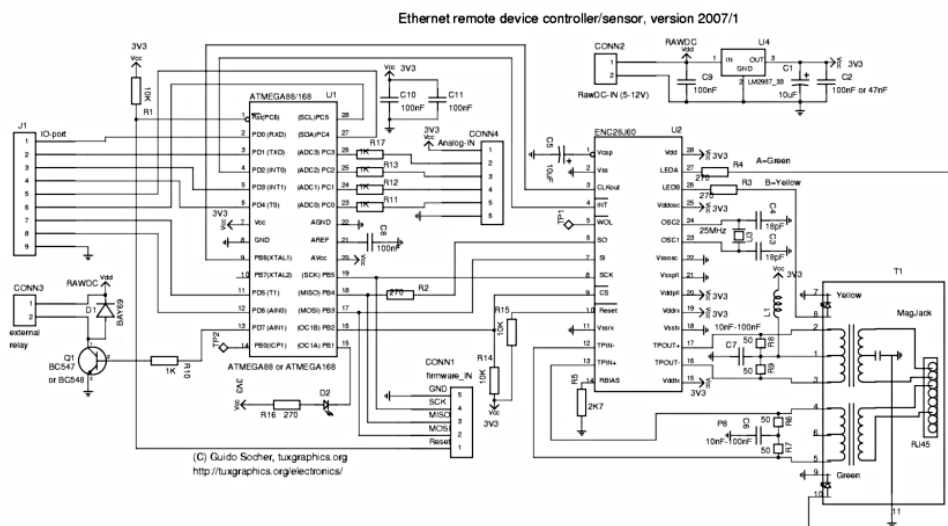


Рисунок 3.17 - Схема соединения микросхемы ENC28J60 с микроконтроллером.

3.7 Блок защиты.

Осуществляет защиту системы диагностики от аварий в сети питания и в преобразователе установки индукционного нагрева. Используем защиту – отключение питания элементов, соединяющих контроллер с преобразователем. Для этого ставятся ключи, управляемые контроллером в систему питания элементов. Большой контроль означает возможность отключения элементов по отдельности.

Выбор ключа по мощности. Мощность, по которой выбирается транзистор, определяется по суммарному току потребления микросхем, которые подключены к этому транзистору.

Для первого транзистора 3 микросхемы АЦП ADS1211.

$$I_{\text{КЛ1}} = 3 * I_{\text{пот}} = 3 * 10\text{mA} = 30\text{mA}, \quad (6)$$

где $I_{\text{пот}}$ – ток потребления микросхемой АЦП.

Для второго транзистора 1 микросхема микроконтроллера AT90PWM3.

$$I_{\text{КЛ2}} = I_{\text{пот}} = 4\text{mA},$$

где $I_{\text{пот}}$ – ток потребления микросхемой AT90PWM3.

Для третьего транзистора микросхема связи ENC28J60, и другое.

$$I_{\text{КЛ3}} = I_{\text{пот1}} = 10\text{mA} = 10\text{mA},$$

где $I_{\text{пот1}}$ – ток потребления микросхемой ENC28J60.

Четвертый транзистор – суммарный ток.

$$I_{\text{КЛ4}} = I_{\text{КЛ1}} + I_{\text{КЛ2}} + I_{\text{КЛ3}} = 30 + 4 + 10 = 44 \text{ мА.} \quad (7)$$

В качестве ключевых элементов блока защиты выберем полевые транзисторы. Так как токи проходящие через транзисторы не большие и примерно одинаковые, то применим в качестве ключей транзистор КП103К1[20].

Параметры транзистора сведены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Параметры транзистора КП103К1.

Параметры	Значение
Максимальное напряжение сток-исток $U_{\text{си}}$, В	10
Максимальный ток сток-исток при 25 С $I_{\text{си макс.}}$, А	-
Максимальное напряжение затвор-исток $U_{\text{зи макс.}}$, В	4
Сопротивление канала в открытом состоянии $R_{\text{си вкл.}}$, мОм	-
Максимальная рассеиваемая мощность $P_{\text{си макс.}}$, Вт	0,038
Корпус	КТ-26

Вывод.

В третьем разделе проведен подбор аналого – цифрового преобразователя.
Выбран интерфейс для связи АЦП с контроллером.

4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ

4.1 Программы для микроконтроллеров.

4.1.1 Алгоритм работы микроконтроллера AT90PWM3.

Микроконтроллер, предназначенный для преобразования установки индукционного нагрева отвечает за оцифровку выходных сигналов.

Алгоритм для работы микроконтроллера должен включать в себя следующие параметры:

- считывать информацию с датчиков;
- находить и вычислять значение приходящего амплитудного сигнала с датчиков;
- вычислять действующее значение поступающего сигнала с датчиков;
- вычислять частоты поступающего сигнала с датчиков;
- отсылать собранную информацию центральному микроконтроллеру.

У микроконтроллера, алгоритм которого описан выше, существуют ряд особенностей:

- когда программа проводит опрос порта, куда подключен датчик, только тогда происходит считывание сигнала;
- действующее значение приходящего сигнала с датчиков вычисляется как деление амплитудного значения на корень квадратный из двух;
- частота приходящего сигнала вычисляется с датчиков;
- путем нахождения максимального значения сигнала за полупериод, вычисляется амплитудное значение сигнала приходящего с датчиков.

Вычисление максимального сигнала будет осуществляться путем сравнения нынешнего сигнала с предыдущим:

- максимальный сигнал записывается в случае если, нынешний сигнал будет больше предыдущего;

- амплитудный сигнал записывается в случае если, предыдущий сигнал больше нынешнего. Затем ставится отметка об установлении амплитудного сигнала и сбрасывается значение максимального сигнала.

4.1.2 Алгоритм работы микроконтроллера ATmega1284.

- считывать информацию с датчиков;
- находить и вычислять значение приходящего амплитудного сигнала с датчиков;
- вычислять частоты поступающего сигнала с датчиков;
- вычислять действующее значение поступающего сигнала с датчиков;
- считывать сигнал микросхемы связи, устройств связи и самого микроконтроллера;
- результаты обработки отправлять на устройство вывода;
- окончательный результат обработки отправлять на главный компьютер.

4.1.2.1 Алгоритм считывания и обработки сигнала с датчиков.

Данные с устройств подключенных по интерфейсам SPI и I2C записывается в память микроконтроллера.

Путем нахождения максимального значения сигнала за период, вычисляется амплитудное значение.

Сравнивая нынешний сигнал с предыдущим находится максимальное значение приходящего сигнала:

- максимальным сигнал считается если, нынешний больше предыдущего;
- если нынешний сигнал меньше предыдущего, то он записывается как амплитудный, затем ставится пометка об установлении амплитудного сигнала и сбрасывается значение максимального;

- при прохождении через перегиб или ноль пометка убирается;

4.1.3 Программа обмена информацией с АЦП и цифровыми датчиками по интерфейсам I2C и SPI.

Интерфейс SPI. Интерфейсом SPI оснащены такие популярные микроконтроллеры и процессоры как MAXQ2000 [22] и MAXQ7654 [23]. Для схемы с интерфейсом SPI необходимо две линии данных (DIN/SDI и DOUT/SDO) и две линии управления (CS с активным низким уровнем и SCLK). В компании Motorola в стандартах SPI/QSPI линия данных DIN/SDI называется MOSI (master – out, slave – in — вход ведущего выход ведомого), а SS (slave – select – выбор ведомого) — линия CS с активным низким уровнем. В данном разделе для простоты будут рассматриваться линии данных трехпроводного интерфейса с точки зрения ведомого устройства: DOUT – выход данных ведомого устройства, а DIN – вход ведомого устройства. В периферийных устройствах выпускаемых компанией Maxim линии трехпроводной шины обозначаются как CS с активным низким уровнем, SCLK, DOUT и DIN.

Момент выборки данных ведомым устройством, в большинстве интерфейсов SPI определяют два конфигурационных бита CPOL (полярность сигнала синхронизации) и CPHA (фаза сигнала синхронизации). В режиме холостого хода бит CPOL определяет состояние сигнала SCLK – низкий уровень (CPOL=0); высокий уровень (CPOL=1). По какому фронту происходит сдвиг сигнала SCLK определяет бит CPHA. Если CPOL =0 то при CPHA =0 данные на ведомое устройство сдвигаются по положительному фронту. Если CPHA =1 то данные сдвигаются по отрицательному фронту. Биты CPOL и CPHA дают четыре сочетания фазы сигнала синхронизации и полярности. Отдельно взятое сочетание будет несовместимо с оставшимися тремя. Для того чтобы обмен данными между ведущим и ведомым устройством был бесперебойным необходимо чтобы у CPOL и CPHA были одинаковые значения [27].

Интерфейс SPI за один прием способен передать восемь битов данных. Запуск с ведущего устройства на ведомое происходит если $\text{CPOL} = 0$ и $\text{CPHA} = 0$. Пока уровень сигнала SCLK в течении 8 тактов меняется от низкого уровня к высокому, сигнал CS должен удерживаться на низком уровне. Входные данные ведомого устройства (DIN) сдвигаются по положительному фронту SCLK . Как только сигнал на линии CS с активным низким уровнем переходит от низкого уровня к высокому, начинается загрузка байта данных на ведомое устройство. На протяжении цикла из восьми битов будут доступны данные на линии DOUT по отрицательному фронту сигнала SCLK . Временная диаграмма работы трехпроводного интерфейса SPI при значениях $\text{CPHA} = 1$ и $\text{CPOL} = 1$ приведена на рис. 4.1. По положительному фронту сигнала синхронизации проходит потактовая передача данных на периферийное устройство, а по отрицательному фронту с ведомого устройства. Временная диаграмма работы трехпроводного интерфейса SPI при значениях $\text{CPOL} = 1$ и $\text{CPHA} = 0$ приведена на рисунке 1б. По отрицательному фронту сигнала синхронизации, проходит потактовая передача данных на периферийное устройство, а по положительному фронту с ведомого устройства.

В качестве разрешающего сигнала для ведомого устройства используется линия шины CS с активным низким уровнем, поскольку каждой ИС на шине требуется собственная линия кристалла. Если к одной шине подключено четыре устройства, то нужно четыре линии кристалла. Если на линии CS с низким уровнем, на одной линии существует высокий уровень, то ведомое устройство удерживает линию DOUT в состоянии с высоким импедансом и игнорирует фронты сигнала SCLK .

Максимальная скорость передачи данных не нормирована. Максимальную скорость передачи данных задают сами периферийные устройства, в большинстве случаев она равна 1Мбит/с. Микроконтроллеры могут работать при больших скоростях передачи данных интерфейса SPI.

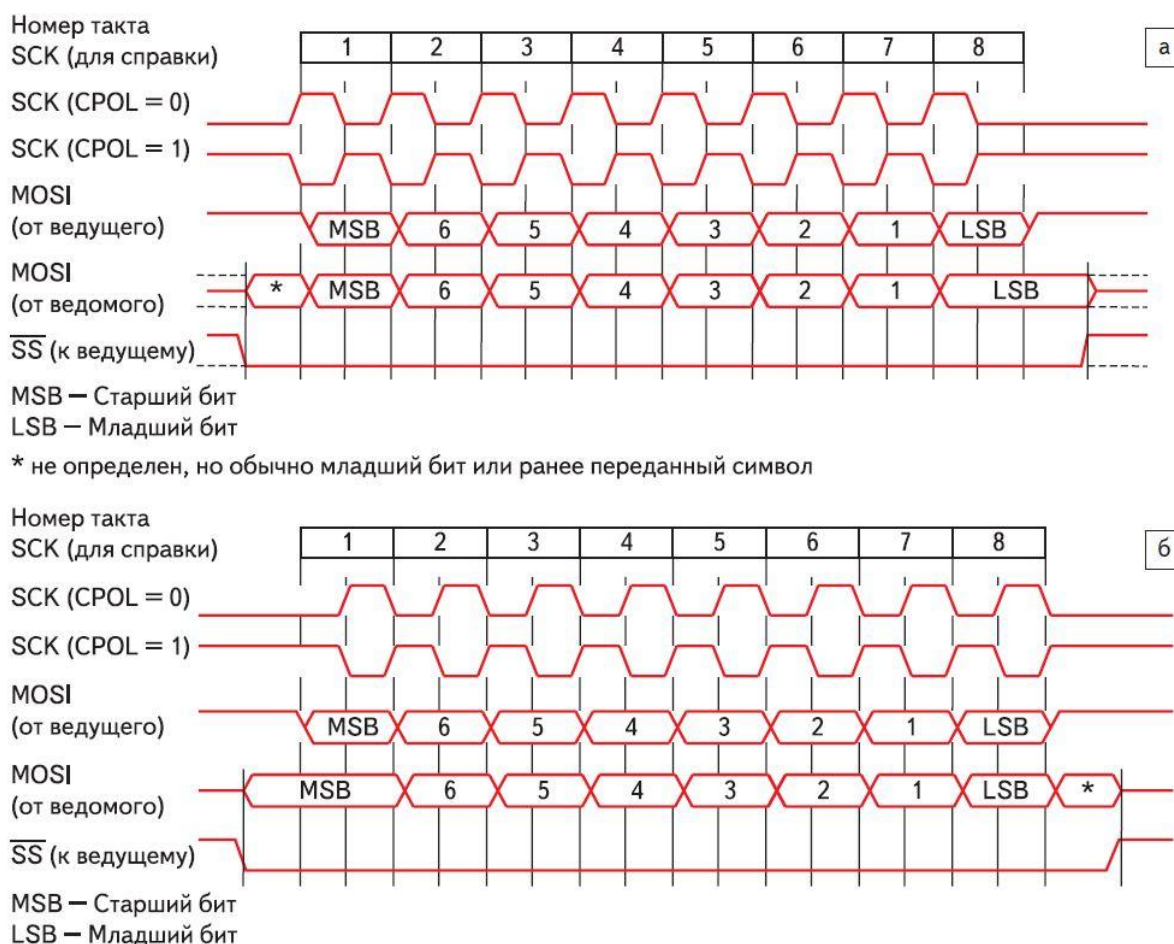


Рисунок 4.1 – а) Временная диаграмма работы трехпроводного интерфейса при $CHPA = 1$; б) временная диаграмма работы трехпроводного интерфейса при $CHPA = 0$.

По шине SPI при прямой связи ведомое устройство не может ведущее устройство принудить к снижению скорости передачи данных, а также подтвердить передачу данных.

Интерфейс I2C. Интерфейс I2C разработан компанией Philips основывается на работе в полудуплексном режиме по одной линии управления(SCL), и одной линии данных (SDA) [28]. Интерфейс I2C работает по схеме «ведущий – ведомый». Из этой схемы следует что микроконтроллер задает режим в котором он будет работать, в режиме передачи или в режиме приема. В свою очередь, ведомое устройство имеет уникальный адрес, благодаря которому ведущее устройство может

без использования кристалла связаться с другими ведомыми устройствами по одной шине (рисунок 4.2). Количество ведомых устройств ограничено емкостью шины – 400 пФ. В интерфейсе I2C используются 10 – и 7 – разрядные адреса. При использовании 7 – разрядного адреса к шине можно подключить до 127 периферийных устройств. Для надлежащей работы линий с открытым стоком (SCL и SDA) необходимо в режиме холостого хода установить на них высокий уровень.

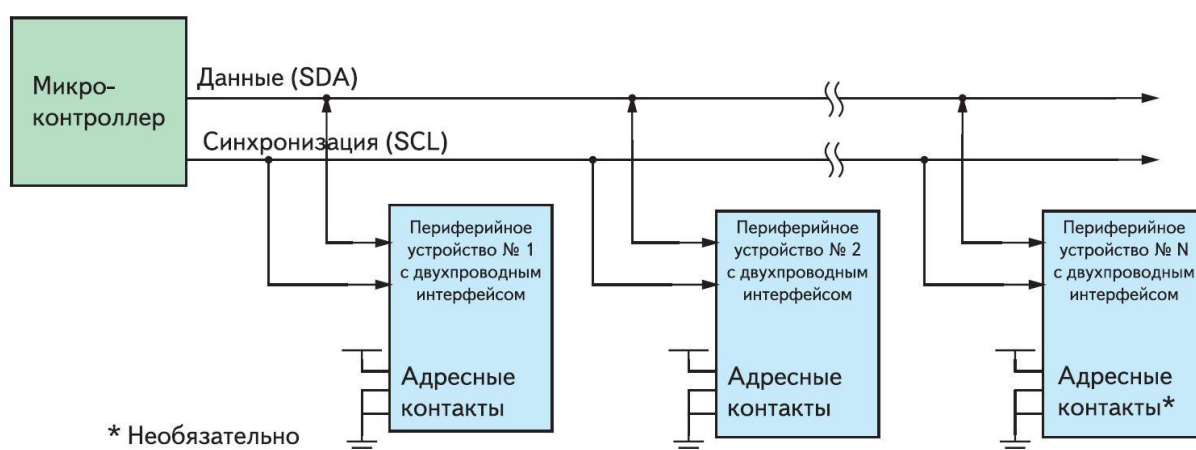


Рисунок 4.2 – В двухпроводных интерфейсах имеется линия ввода/вывода данных и линия синхронизации.

Обмен данными начинается с команды запуска. Запуск начинается с перехода с высокого на низкий уровень линии SDA при высоком уровне на линии SCL (рисунок 4.3). Для передачи данных между ведущим и ведомым устройством в двухпроводном интерфейсе используют команды запуска, повторного запуска и остановка. Линия SCL передает один бит данных за один такт; для того чтобы передать данные на ведомое устройство или передать данные с него, необходимо минимум девять битов. В цикл записи входит 8 битов (рисунок 4.4) который содержит сигнал подтверждения (ACK) или отсутствия подтверждения (NACK). Когда подтверждается передача данных, двухпроводной интерфейс устанавливает на линии SDA низкий уровень. При передаче данных по шине I2C, данные сдвигаются на ведомое устройство по положительному фронту SCL, а считывание

информации идет по отрицательному фронту сигнала SCL. Передача данных останавливается, если поступила команда остановки: в момент остановки линия SDA с низкого уровня переходит на высокий, при высоком уровне на линии SDA.

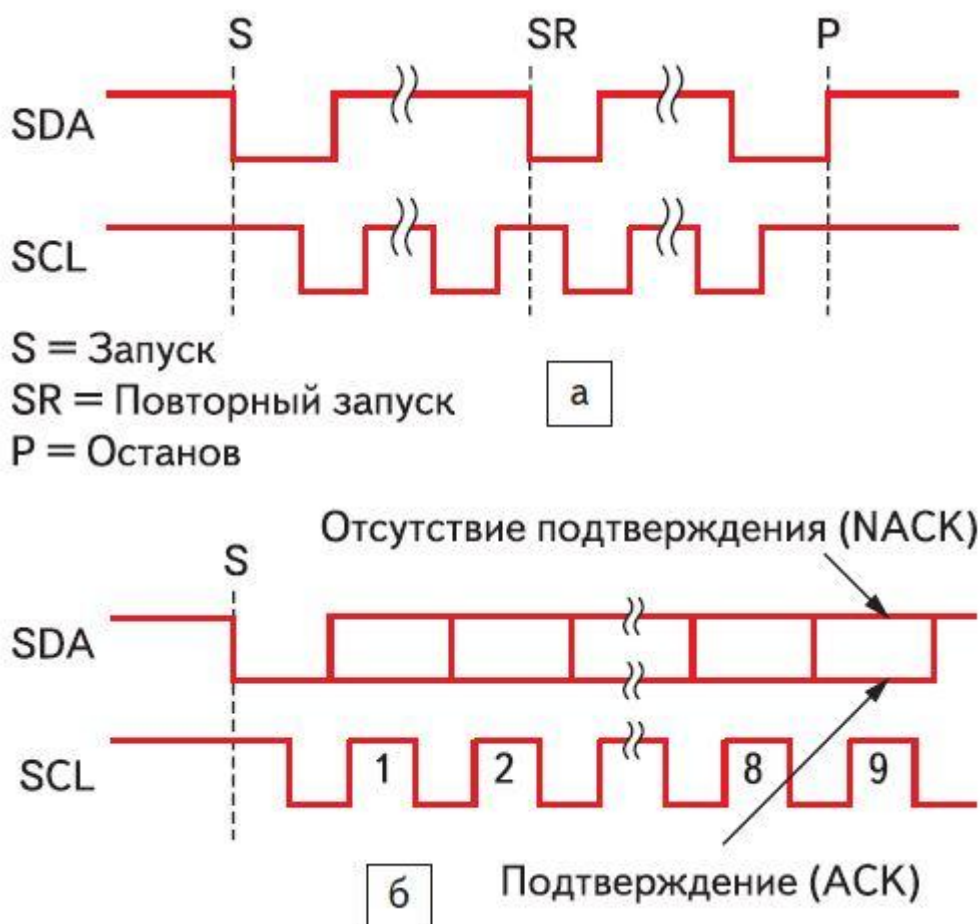


Рисунок 4.3 – а) Условия запуска и остановка в двухпроводном интерфейсе; б) биты поддержания I2C.

Цикл I2C начинается с записи. За записью идет 7 – разрядный адрес и восьмой бит ведомого устройства, который указывает на чтение или запись цикла. Для запуска команды чтения необходимо установить высокий уровень, а для цикла записи устанавливают – низкий. После восьмого такта ведущее устройство освобождает линию шины. При правильной передаче данных, ведомое устройство, на девятом такте удерживает низкий уровень. При не подтверждении правильности

выполнения команды записи, ведомое устройство освобождает линию SDA.

После команды записи идет запись 8 битного командного байта ведущего устройства, а за ним бит ACK/NACK. После идет запись 8 битного байта данных и третий бит ACK/NACK. Завершает цикл записи – чтения конечный бит, после идет обновление периферийного устройства. Пример цикла записи показан на рисунке 4.4.

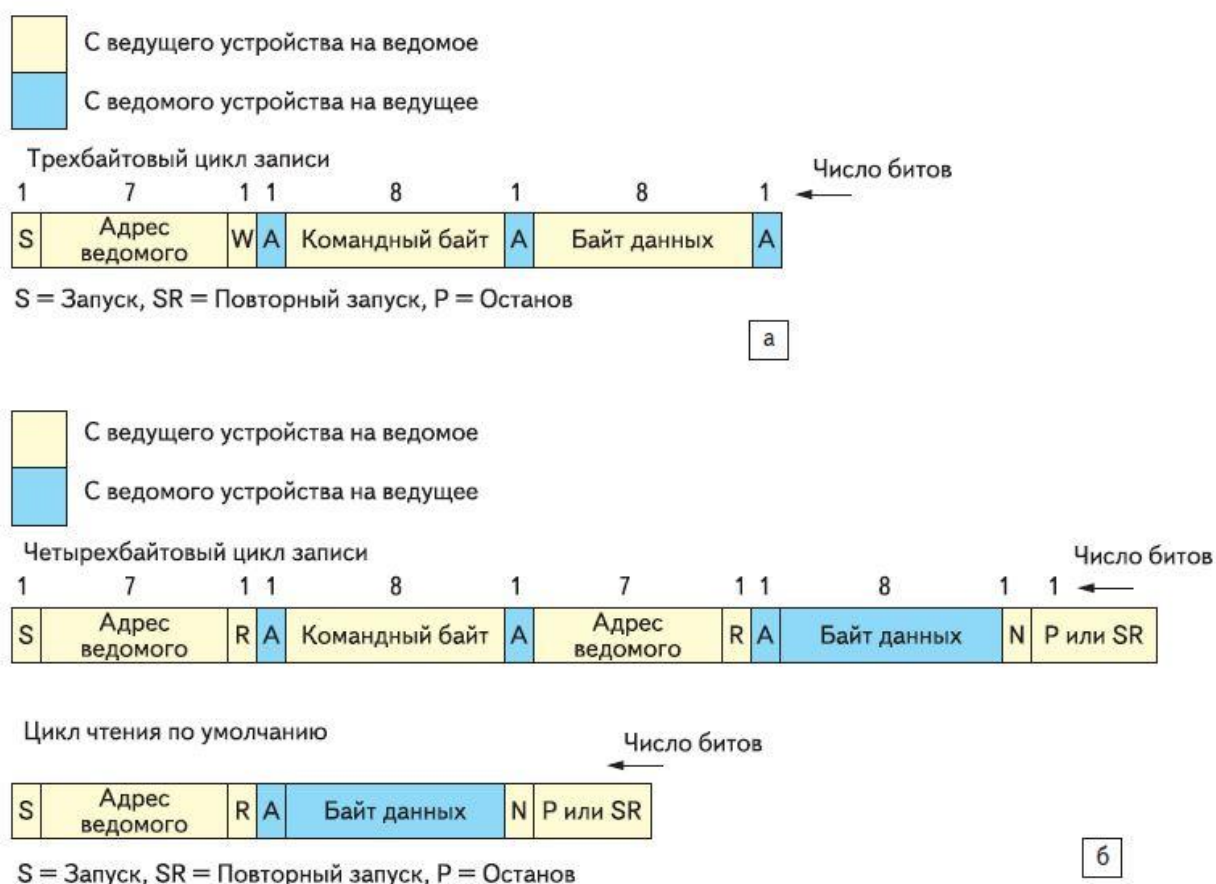


Рисунок 4.4 – а) Пример цикла записи I2C; б) примеры циклов чтения I2C.

Цикл чтения интерфейса I2C начинается с команды запуска, за ним идет адрес ведомого устройства. Бит данных ACK/NACK записывает командный байт и открывает доступ к новому реестру. Затем адрес ведомого устройства переписывает второй бит. После третьего бита ведомое устройство управляет шиной и за один прием записывает восемь битов данных (рисунок 4.4б).

Прежде чем прочесть данные с ведомого устройства, ведущему устройству достаточно записать его адрес.

Интерфейс I2C поддерживает высокоскоростные (до 3,4 Мбит/с), быстрые (до 400 кбит/с), медленные (до 100 кбит/с). I2C интерфейс способен распознавать сигналы от низкого до высокого уровня, а также сигналы по уровню напряжения КМОП – логики: уровень высокого сигнала составляет более 0,7 от напряжения сигнала; уровень низкого сигнала составляет около 0,3 от напряжения питания.

4.2 Программа для устройства графического представления.

Для наблюдения за основными параметрами установки для индукционного нагрева предназначена программа для устройства графического представления. Программа будет с понятным интерфейсом и наглядной. Красным цветом будут подсвечиваться неисправности и предельные значения величин.

В числовом и графическом вариантах будут отражаться основные параметры системы.

Программа представлена в виде видеоформы. Видеоформа графического представления показана на рисунке 4.5.

Составные части видеоформы:

- Заголовок – содержит название видеоформы.



- Статус – отображает текущую дату/время и состояние соединения с контроллером.



- Кнопка управления – отображает командные кнопки подключиться, отключиться, выход. Подключение к устройству диагностики и считывание с него данных происходит при нажатии кнопки «подключиться». Программа отключается от устройства и обнуляет полученные ранее значения при нажатии кнопки «отключиться». Заккрытие программы происходит при нажатии на кнопку «выход».
- Зона отображения значений входной цепи (рисунок 4.6).
- Зона отображения значений выходной цепи (рисунок 4.7).
- Зона температур (рисунок 4.8).
- Зона отображения выводимой информации (рисунок 4.9).

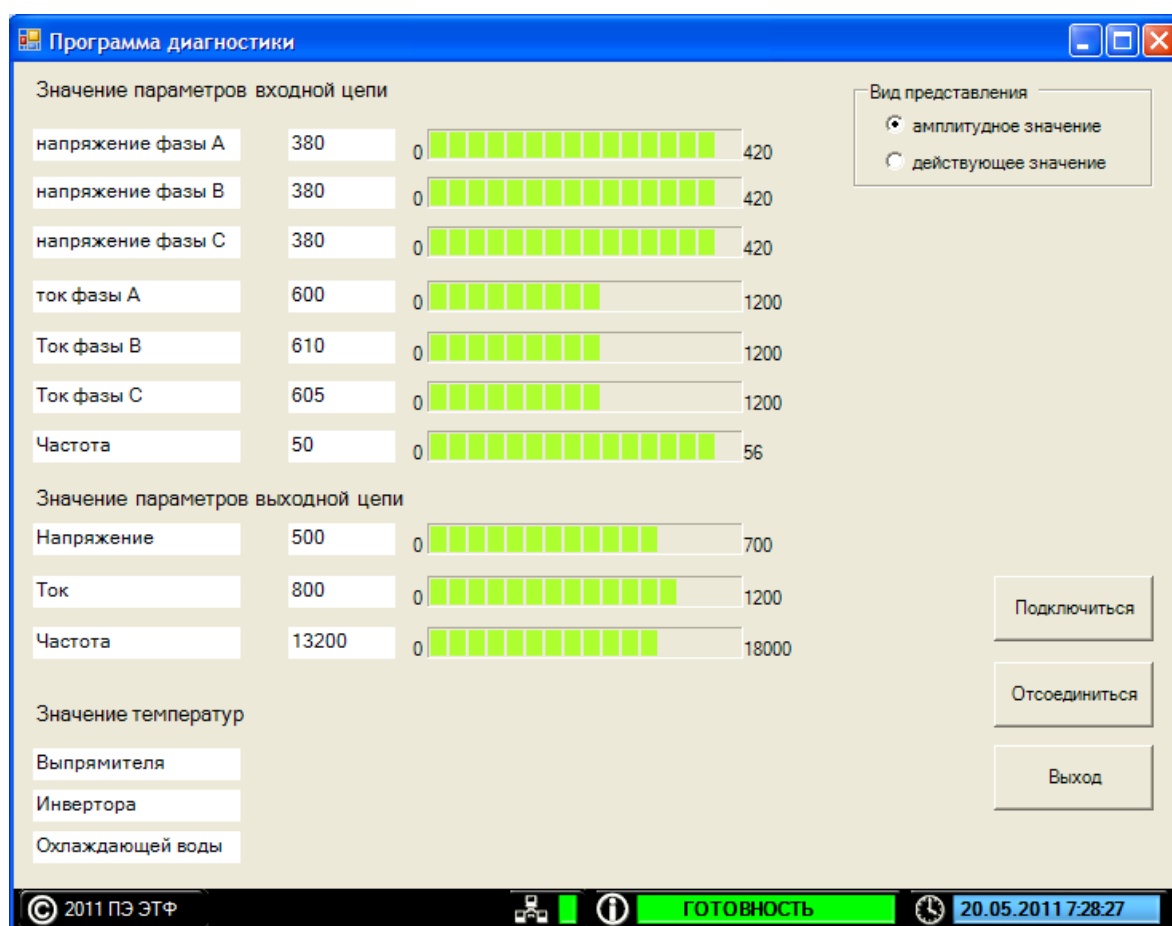


Рисунок 4.5 – Видеоформа программы для устройства графического представления.

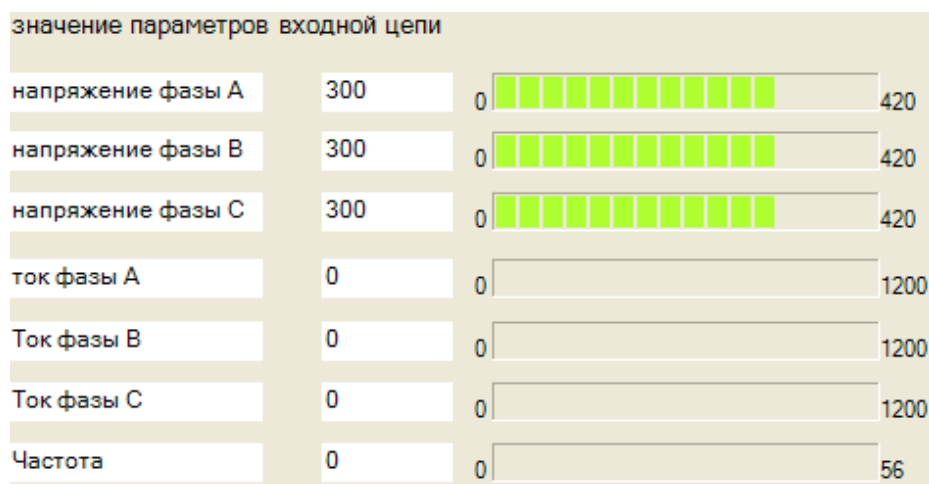


Рисунок 4.6 – Зона отображения значений входной цепи.



Рисунок 4.7 – Зона отображения значений выходной цепи.

значение температур
на радиаторе
индуктора
корпуса

Рисунок 4.8 – Зона температур.

Вид представления

- ☒ амплитудное значение
- ☐ действующее значение

Рисунок 4.9 – Зона отображения выводимой информации.

Строка статуса отображает состояние установки для индукционного нагрева в процессе перегрева и других неисправностях системы. В таблицу 4.1 сведены индикации неисправностей.

Таблица 4.1 – Индикация «Состояние - неисправность»

№ п/п	Состояние	иконка
1	Готово	 ГОТОВНОСТЬ
2	Неисправность: нет связи	 нет связи
3	Неисправность: перегрев	 перегрев
4	Неисправность: блок 1	 неисправность блок 1
5	Неисправность: блок 2	 неисправность блок 2
6	Неисправность: блок 3	 неисправность блок 3

С интервалом в 1 секунду видеоформа обновляется.

Вывод.

В четвертом разделе определен алгоритм работы для микроконтроллеров. Описана программа для устройства графического представления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы:

- Приведен обзор расчетных данных преобразователя для индукционного нагрева.
- Разработана и описана структура системы контроля и диагностики.
- Определены параметры для контроля установки. Выбраны датчики температуры, тока и напряжения, микросхемы для обработки информации.
- Описана графическая программа для контроля, позволяющая отслеживать контролируемые параметры установки в ходе работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мощные полупроводниковые приборы: Диоды: Справочник / Б.А. Бородин, Б.В. Кондратьев, В.Н. Ломокин и др.; Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 400с.
2. Резисторы: Справочник / Под ред. И.И. Четверткова. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 358с.
3. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник/В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.; Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.
4. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник/О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 400с., ил.
5. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, коммутационные устройства РЭА: Справ./Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренко – Мн.: Беларусь, 1994.
6. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Под ред. Г.С. Найвельта. – М.: Радио и связь, 1986. – 576с.
7. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. Р.Г. Варламова – М.: «Сов. радио», 1972. – 856с.
8. datasheet LT1000-SI.
9. datasheet CV3-1000.
10. sensing.honeywell.com
11. www.chipfind.ru

12. datasheet ADS1210-ADS1211.pdf.
13. datasheet AT90PWM3
14. 8272S_ATmega1284.pdf.
15. doc8272_ATmega1284.pdf.
16. Каталог фирмы «Siemens».
17. ru.wikipedia.org/wiki/Ethernethttp - описание интерфейса Ethernet.
18. www.analog.com
19. www.platan.ru
20. www.chipdip.ru
21. www.sensorica.ru
22. www.rtcs.ru
23. www.abb.ua
24. Расчет автономных резонансных инверторов для индукционного нагрева: Метод. указания к курсовому проектированию по дисциплине «Автономные преобразователи»/Сост. В.А. Медведев. – Тольятти: ТолПИ, 1992.
25. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.- 528 с.: ил.
26. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справ. книга. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986.
27. Ратхор, Т. С., 2004. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. М.: Техносфера

28. Сайт фирмы Linear Technology. <http://www.linear.com>
29. Сайт фирмы ООО "Центр АЦП". <http://www.centeradc.ru>
30. <http://www.radiobox.ru/semic/contr/y5455.php> (сайт для микросхемы ENC28J60)

Поз. обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание																																													
<u>Конденсаторы</u>																																																
C1	K10-43A-50B-0,013мкФ±5%	1																																														
C2	K10-17-1a- 50B-15пФ±5%	1																																														
C3	K50-31-100B-10мкФ-20%...+50%	1																																														
C4	K10-17-1a-50B-2пФ±5%	1																																														
C5	K53-15-20-2,2мкФ±20%	1																																														
C6	K10-17a-25B-0,1мкФ±10%	1																																														
C7-C10	K10-43a-50B-0,0056мкФ±10%	4																																														
<u>Микросхемы</u>																																																
DA1	KP154УД4А	1																																														
DA2	KP142ЕН8Б	1																																														
<u>Резисторы</u>																																																
R1,R6	M11-0,25-5,1кОм±5%	4																																														
R8,R9																																																
R2	СПЗ-198-0,5-5,1кОм±5%	1																																														
R3,R4	M1T-0,25-4,3кОм±5%	2																																														
R5	M1T-0,25-1кОм±5%	1																																														
R7	M1T-0,25-12кОм±5%	1																																														
R10	M1T-0,25-510м±5%	1																																														
R11	С2-1-0,25-49300м±5%	1																																														
Взам инв. № Подп. и дата Инв. № подл. <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; font-size: 1.2em;">16-110404.028.011 000ПЗ</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">Изм.</td> <td style="width: 15%;">Колуч.</td> <td style="width: 15%;">Лист</td> <td style="width: 15%;">№ док.</td> <td style="width: 15%;">Подп.</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разработал</td> <td>Чопурина А.С.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Проверил</td> <td>Медведев В.А.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td>Шевцов А.А.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> Система управления и стабилизации напряжения Перечень элементов <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Стадия</td> <td style="width: 33%;">Масса</td> <td style="width: 33%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Лист 1 / Листов 2</td> </tr> </table>				16-110404.028.011 000ПЗ						Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработал	Чопурина А.С.					Проверил	Медведев В.А.					Н. контр.						Утв.	Шевцов А.А.					Стадия	Масса	Масштаб			1:1	Лист 1 / Листов 2		
16-110404.028.011 000ПЗ																																																
Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата																																											
Разработал	Чопурина А.С.																																															
Проверил	Медведев В.А.																																															
Н. контр.																																																
Утв.	Шевцов А.А.																																															
Стадия	Масса	Масштаб																																														
		1:1																																														
Лист 1 / Листов 2																																																

