

УДК 001.891:65.011.56

*Розроблена архітектура оптимальної системи керування технологічними процесами з порціонною подачею сировинних продуктів. Наведено варіант апаратно-програмного рішення ОСАК з використанням сучасної схематехнічної бази*

*Разработана архитектура оптимальной системы управления технологическими процессами с порционной подачей сырьевых продуктов. Приведен вариант аппаратно-программного решения ОСАУ с использованием современной схематехнической базы*

*An optimum system design for controlling technological processes with portional raw material supply is developed. The model of a firmware decision OSAC with the use of a modern technical base is given*

# ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ПОРЦИОННОЙ ПОДАЧЕЙ СЫРЬЕВЫХ ПРОДУКТОВ «ОСАУ-ПП1»

**А. Ю. Михайленко**

Аспирант\*

Контактный тел.: 8-068-857-48-54

E-mail: Eleganteg@gmail.com

**И. А. Луценко**

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: 8-067-720-61-15

**В. К. Тытюк**

Кандидат технических наук\*

Контактный тел.: 8-067-563-56-64

E-mail: Dinalt2006@gmail.com

**А. В. Аниськов**

Аспирант\*

**А. В. Омельченко**

Аспирант\*

**Ю. И. Гнатюк**

Студент\*

Контактный тел.: 8-067-319-82-59

\*Кафедра электроснабжения и ресурсозбережения

Криворожский технический университет

ул. 22 Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, 50027

## 1. Введение

Автоматизация технологических процессов подготовила платформу для следующего шага, автоматизации процессов управления. В свою очередь, реализация этого этапа является привлекательной

для производителей в том случае, если процессы управления обеспечивают выход на оптимальные режимы функционирования. Реализация же оптимального управления обеспечивает максимальные темпы интенсификации предприятия в целом, что и является целью производственной структуры. В настоящее

время отсутствует системный подход к разработке оптимальных систем управления, на базе единой концепции.

Даная работа была направлена на создание базовой конфигурации оптимальной системы управления технологическими процессами с порционной подачей сырьевых продуктов.

Примерами таких процессов могут служить: плавление чугуна в дуговой печи, когда входными продуктами является шихта, лом и электроэнергия, подающаяся на электроды; рекристаллизационный отжиг заготовок из стали обработанных давлением для устранения неоднородности её структуры и т.д.

Целью работы является разработка оптимальной системы автоматического управления «ОСАУ-ПП1», решения которой отображают идеи, заложенные в концепции оптимального управления [1].

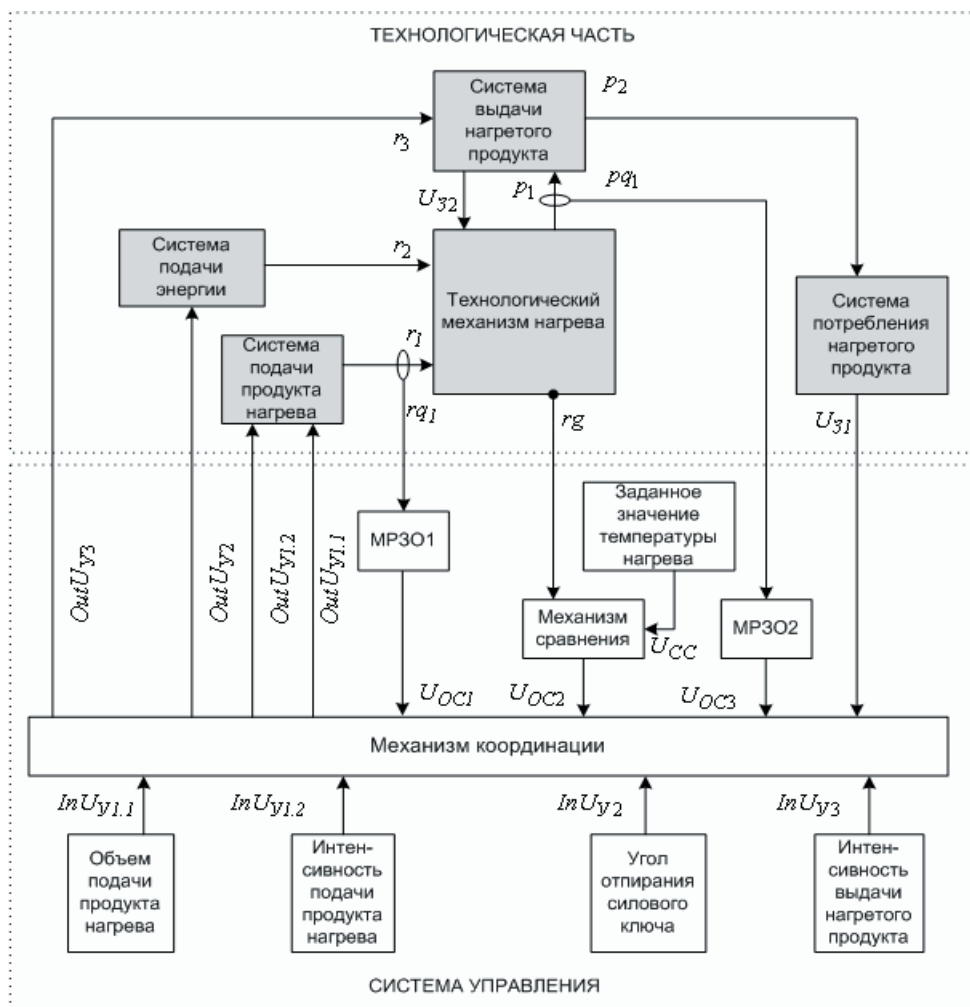


Рис. 1. Подсистема управления качеством выходного продукта

## 2. Архитектура систем оптимального управления технологическими процессами с порционной подачей сырьевых продуктов

Процессы управления исполнительной системы решают две взаимосвязанные задачи: управления качеством и управления эффективностью. На нижнем

иерархическом уровне решается задача управления качеством выходного продукта (рис. 1).

Подсистема начинает функционирование с выдачи механизмом координации (МК) сигнала управления на подачу входного продукта в механизм преобразования содержащий информации об объеме продукта (порции) и интенсивности его подачи. По окончании загрузки механизм регистрации завершения операции (MP301) выдает сигнал готовности технологического механизма к преобразованию. Вследствие чего механизм координации выдает сигнал на подачу энергетического продукта с установленным статическим углом открытия силового ключа. Значение измеряемого параметра, полученного от датчика поступает в механизм сравнения, где происходит её сравнение с установленным оператором эталонным значением. При превышении этого эталонного значения механизм сравнения сообщает

механизму координации о завершении технологической операции преобразования. После этого при получении сигнала задания о необходимости выдачи продукта преобразования в систему потребления, механизм координации выдает сигнал управления в систему выдачи выходного продукта содержащий информацию об интенсивности выдачи. По окончании выгрузки механизм регистрации завершения операции (MP302) сообщает механизму координации о её завершении после чего цикл можно повторять заново.

На следующем уровне решается задача оптимизации (рис. 2).

Так как система оптимизирована относительно энергетического продукта, необходимо производить учет потребленной электрической энергии за период интеграции соответствующему промежутку между началом и завершением

операции. Фактически для определения объема энергии затраченного на операцию, необходимо знать значения состояния счетчиков учетных параметров на момент начала и на момент завершения операции. Для определения стоимостной оценки затраченных ресурсов необходимо также знать стоимостные оценки входных продуктов.

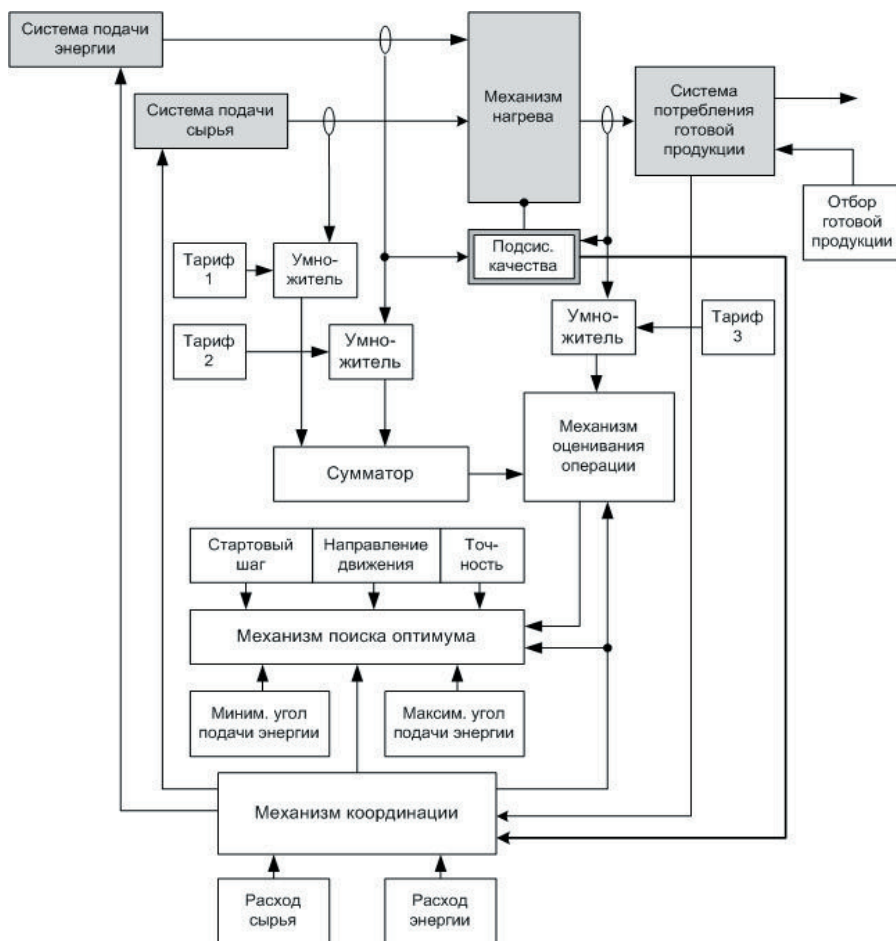


Рис. 2. Архитектура системы оптимального управления технологическими процессами с порционной подачей сырьевых продуктов

В ОАСУ возможность получения стоимостной оценки затраченных ресурсов и полученных выходных продуктов реализована за счет введения блоков задания тарифов и блоков осуществляющих математические операции суммирования и умножения.

Подсистема оптимизации используя информацию механизма оценивания и реализуя метод половинного деления, задает изменение подачи электроэнергии. Тем самым обеспечивается выход на оптимальный режим работы механизма преобразования. Механизм оценивания операции в структуре системы оптимального управления оценивает показатель эффективности преобразования ресурсов по выражению для приведенной операции [2].

### 3. Практическая реализация ОАСУ

Экспериментальная установка «ОАСУ-ПП1», разработанная в Криворожском техническом университете, отображает структуру (рис. 3).

В качестве объекта управления использовалось оборудование для нагрева заготовок.

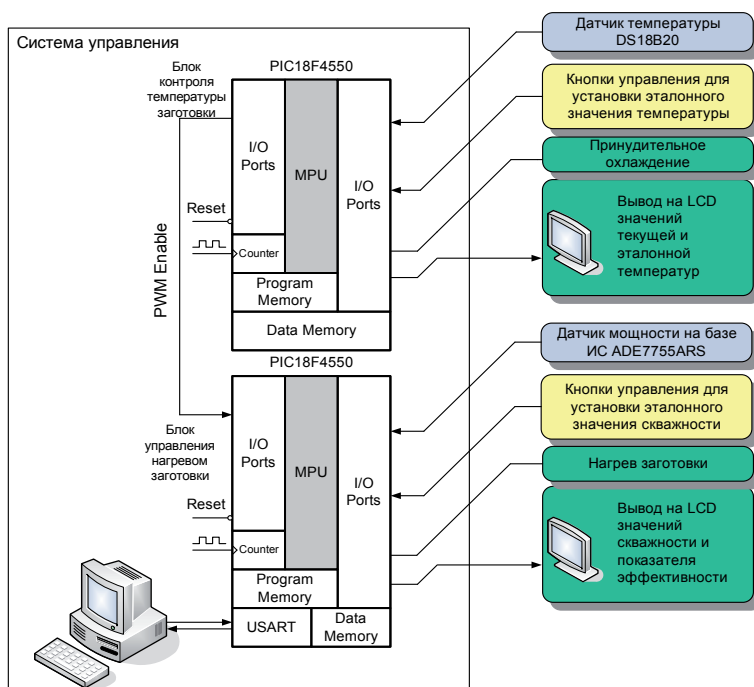


Рис. 3. Функциональная схема экспериментальной установки «ОАСУ-ПП1»

Технологический процесс обеспечивает нагрев заготовки от начальной температуры  $t_{min}$ , до максимальной  $t_{max}$  с некоторым удельным расходом электроэнергии на единицу времени. Выбранный темп нагрева заготовки приводит к различному расходу электроэнергии, затрачиваемой на нагревание, а также изменяет износ технологического оборудования.

На этапе дозирования система позволяет осуществлять порционную подачу сырьевых продуктов.

Управляющая часть системы «ОАСУ-ПП1» выполнена на базе двух микроконтроллеров. На рис. 4. представлена микропроцессорная система управления на микроконтроллере PIC18F4550 (DD1) на базе которого при помощи программно-аппаратных механизмов были реализованы блоки контроля температуры заготовки (механизм сравнения, задатчик эталонного значения температуры), а также блок, сигнализирующий об окончании операции нагрева и связанная с ним часть механизма координации подсистемы управления качеством.

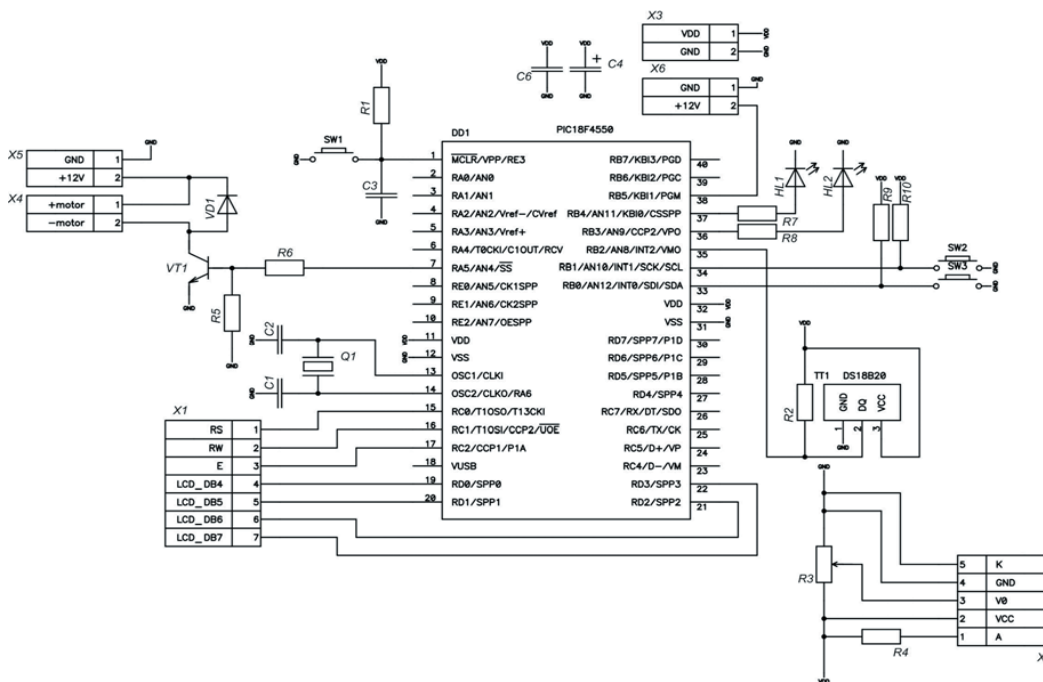


Рис. 4. Принципиальная схема блока контроля температуры заготовки

В качестве датчика температуры используется ИС DS18B20 (ТТ1), производства «DALLAS/MAXIM» с программируемым разрешением от 9 до 12-bit. DS18B20 обменивается данными по 1-Wire шине и при этом может быть как единственным устройством на линии так и работать в группе. Все процессы на шине управляются микроконтроллером. Диапазон измерений от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  и точностью  $0.5^{\circ}\text{C}$  в диапазоне от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  [3].

Для установки максимального эталонного порогового значения температуры используются тактовые кнопки SW2, SW3. В качестве устройства визуализации используется LCD индикатор на базе контроллера HD44780, которые подключается непосредственно к порту микроконтроллера посредством разъемов X1, X2. Сигналы разрешения на включение и отключение блока управления нагревом, а также на включение и отключение блока принудительного охлаждения поступают с порта В микроконтроллера (38 и 7 выводы соответственно).

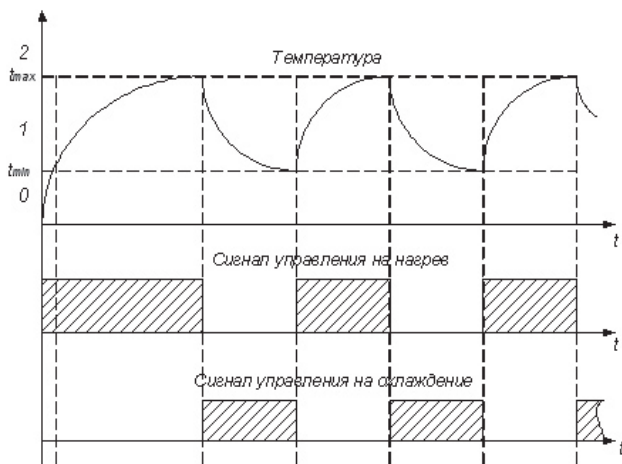


Рис. 5. Временные диаграммы работы блока контроля температуры

Исходя из временных диаграмм работы блока контроля температуры (рис. 5), которые отражают различные особенности состояния заготовки в ходе технологического процесса, рассмотрим базовые аспекты функционирования микропроцессорной системы.

В начальный момент времени температура заготовки равна температуре окружающей среды и меньше минимального порогового значения  $t_{\min}$ .

При подаче напряжения питания блок контроля температуры выдает один из разрешающих сигналов на включение блока управления нагревом.

При достижении температурой заготовки максимального эталонного значения сигнал разрешения на нагрев снимается и выдается управляющий сигнал на включение блока принудительного охлаждения.

Заготовка охлаждается до температуры нижнего порога  $t_{\min}$ , после чего вентилятор отключается. Так как разрешающий сигнал может появиться до остывания заготовки, то нагревание заготовки должно начинаться только после остывания заготовки до температуры, меньшей чем  $t_{\min}$ .

Для корректной выдачи сигналов управления механизмами нагрева и охлаждения установки необходимо однозначно указать расположение измеренной температуры относительно заданных пороговых значений технологического процесса.

С этой целью диапазон изменения температуры был разбит на три поддиапазона, обозначенные на диаграмме цифрами 0,1,2.

$$\begin{cases} t \geq t_{\max}; (2) \\ t < t_{\min}; (0) \\ t_{\min} < t < t_{\max}; (1) \end{cases}$$

Зададим значения логических условий, позволяющих вычислить значения сигналов управления:

IF (температура не во 2 поддиапазоне)  
 AND (не включено охлаждение)  
 THEN (включить СИФУ)  
 IF (температура находится в 1 и 2 поддиапазонах)  
 AND (не включено СИФУ)  
 THEN (включить охлаждение)

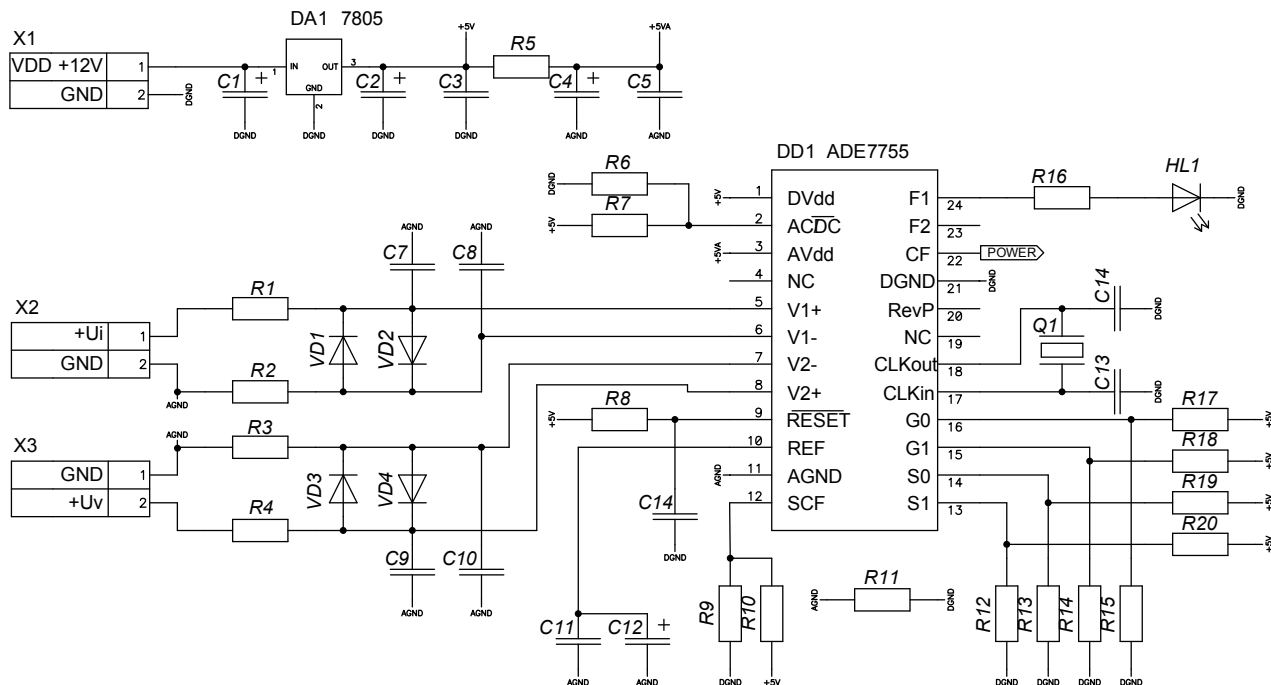


Рис. 6. Принципиальная схема счетчика электроэнергии

Рис. 6. демонстрирует вариант принципиальной схемы реализации счетчика электроэнергии на базе ADE7755. Счетчик состоит из ИС ADE7755, резистивного делителя, выход которого подключается к разъему X3, токового шунта, выход которого подключается к разъему X2, цепи питания микросхемы (внешнее питание через линейный стабилизатор L7805), дополнительных цепей, необходимых для работы ИС.

Два имеющихся в ИС АЦП преобразуют в цифровой вид сигналы напряжения, поступающие от датчиков напряжения и тока. Эти АЦП представляют собой 16-разрядные дельта-сигма АЦП второго порядка с частотой дискретизации 900 кГц. Такая структура аналоговых входов значительно упрощает интерфейс с преобразователем за счет обеспечения широкого динамического диапазона, достаточного для прямого подключения к преобразователю. Возможность программирования коэффициента усиления в токовом канале еще более упрощает интерфейс с преобразователем. Фильтр высокой частоты в токовом канале устраняет составляющую постоянного тока из токового сигнала. Этим исключается всякая погрешность при подсчете активной мощности, связанная с наличием постоянного смещения в сигналах напряжения или тока. Ошибка измерения составляет менее 0,1% при динамическом диапазоне 500:1.

Активная мощность вычисляется из сигнала мгновенной мощности. Сигнал мгновенной мощности вычисляется прямым перемножением сигналов тока и напряжения. Для того чтобы получить сигнал активной мощности (т.е. постоянную составляющую сигнала мгновенной мощности) сигнал мгновенной мощности пропускается через низкочастотный фильтр. Эта схема позволяет корректно вычислять активную мощность при несинусоидальных формах тока и напряжения.

Токковый канал V1 имеет полностью дифференциальный вход напряжения. V1P – это положительный вход

относительно V1N. Максимальный пиковый дифференциальный сигнал на входе канала V1 не должен превышать ±470 мВ (соответствует среднеквадратичному значению 330 мВ для чисто синусоидального сигнала).

Также канал V1 имеет программируемый коэффициент усиления (PGA) с выбором коэффициента усиления из ряда 1, 2, 8 или 16. Эта особенность позволяет сделать интерфейс между ИС ADE7755 и преобразователем тока более простым.

Канал V2 используется для подачи сигнала от преобразователя напряжения сети и имеет полностью дифференциальный вход напряжения. Максимальный пиковый дифференциальный сигнал на входе канала V2 не должен превышать ±660 мВ [4].

Счетчик подключается к порту микроконтроллера PIC18F4550 посредством высокочастотного выхода CF (постоянной счётчика 3200 импульсов/кВт·ч). Это обеспечивает подсчет импульсов за заданное время интеграции, которое определяется внутренним таймером микроконтроллера. Подсчет импульсов осуществляется при помощи 16-разрядного таймера/счетчика, период интеграции соответствует промежутку между прерываниями, соответственно, по установке и снятию сигнала разрешения на нагрев.

Блоки управления дозированной подачей электроэнергии (входящий в механизм координации), расчета показателя эффективности процесса нагревания и поиск оптимума выполнены в виде программных модулей на микроконтроллере (рис. 7). Он состоит из собственно ИС, стандартной обвязки ИС необходимой для её корректной работы, разъемов подключения к средству визуализации (LCD-дисплей, разъемы X2, X3). Тактовыми переключателями SW2, SW3 можно изменять скважность управляющих импульсов тиристора (симистора).

Скорость нагрева заготовки регулируется за счет величины подводимого напряжения. На рис. 8. приведены



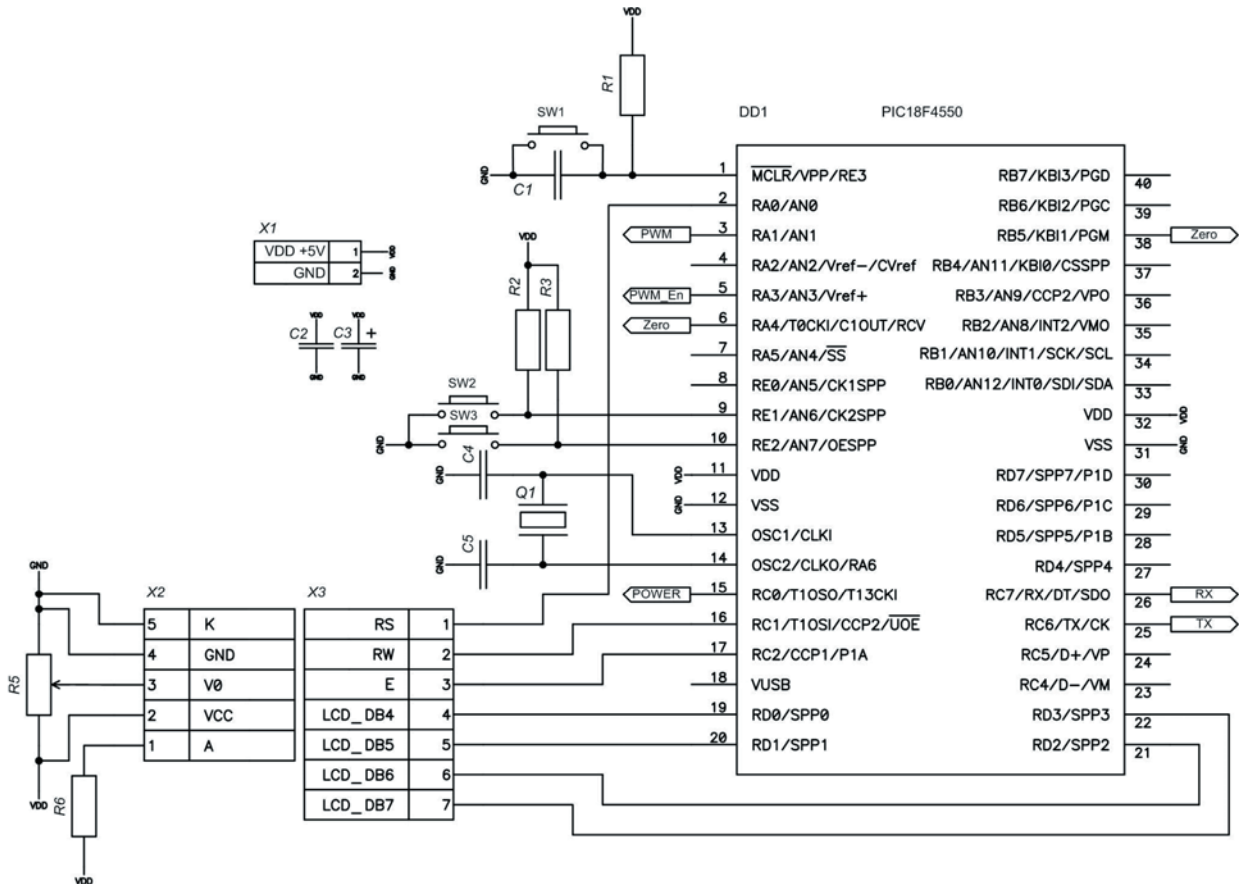


Рис. 7. Принципиальная схема блока управления интенсивностью подачи электроэнергии и блоков реализующих оптимальное управление

временные диаграммы работы устройства, реализующего «вертикальный» принцип управления тиристором. Сигнал интегратора непрерывно сравнивается с управляющим напряжением. Сигнал управления тиристором появляется тогда, когда напряжение интегратора становится больше, чем управляющее напряжение. Импульсы перехода сетевого напряжения через ноль (Zero) сбрасывают интегратор в начальное нулевое значение. При увеличении управляющего напряжения увеличивается угол управления силовым ключом  $\alpha$ , что приводит к снижению среднего выпрямленного напряжения.

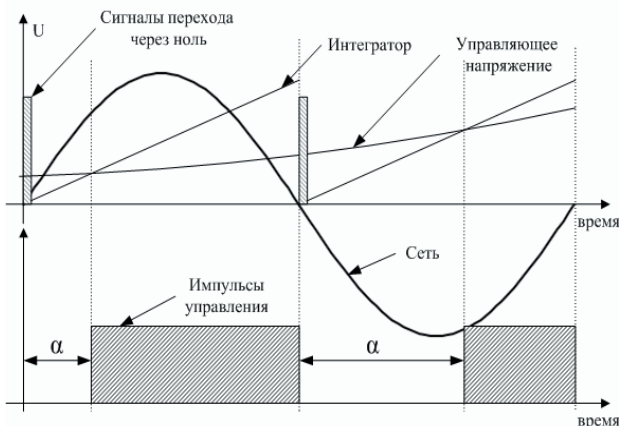


Рис. 8. Принцип вертикального управления тиристором (симистором)

Практически все вышеперечисленные функции (интегратор со сбросом, сравнение, генерирование выходного управляющего импульса переменной ширины) были реализованы с помощью микроконтроллера.

Кроме реализации функции управления нагревателем, целесообразно здесь же реализовать функцию измерения длительности процесса нагревания, а также подсчета мгновенной активной мощности. Сигнал управления (PWM\_En) на подачу импульсов на управляющий электрод поступает от подсистемы управления нагревом. Для вычисления длины временного интервала можно использовать либо специализированные микросхемы часов реального времени (RTC), либо можно воспользоваться подсчетом импульсов перехода через ноль сетевого напряжения. Для этого мы использовали такие аппаратные механизмы микроконтроллера PIC18F4550, как 16-разрядные таймеры/счетчики. Аналогичным образом подсчитывались импульсы, соответствующие сигналу мгновенной активной мощности (сигнал POWER). Возможная погрешность за счет отклонения частоты сетевого напряжения при частоте сети 49,5 Гц составляет не более 1%, что можно считать вполне приемлемой ошибкой.

Во избежание непрерывной проверки состояния цифровых входов импульсов нуля сети, начала/завершения подсчета числа импульсов целесообразно использовать систему прерываний микроконтроллера PIC18F4550.

Для проверки появления импульса перехода через ноль сетевого напряжения используем прерывание по состоянию порта В микроконтроллера. Для контроля состояния сигнала начала/завершения подсчета числа импульсов используем внешнее прерывание по переднему фронту приходящего управляющего сигнала микроконтроллера PIC18F4550.

Выходные сигналы микроконтроллера – управляющие импульсы для тиристора и сигнал о завершении нагревания, могут быть выведены на выводы микроконтроллера по желанию пользователя.

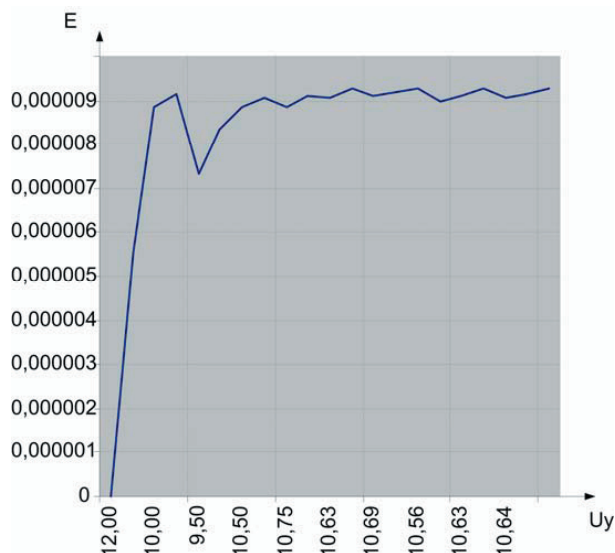


Рис. 9. Выход на оптимальный по критерию эффективности использования ресурсов режим работы установки «ОСАУ-ПП1»

Осциллограмма реализации поиска оптимума изображена на рис. 9. Расчет показателя эффективности процесса нагревания и поиск оптимума проводится во время процесса охлаждения заготовки.

#### 4. Выводы

Разработана оптимальная система управления технологическими процессами с порционной подачей сырьевых продуктов «ОСАУ ПП-1».

Гибкость построения системы обеспечивается за счет открытой архитектуры системы с полноценной интеграцией в системы более высокого иерархического уровня АСУ, возможности расширения и введения дополнительных функций без значительных затрат и перестройки аппаратной части; возможность использования технологии для оперативного предоставления информации о работе оборудования в локальной вычислительной сети без применения дополнительных программных средств (вплоть до передачи данных в сеть интернет).

Система управления без дополнительных доработок позволяет оптимизировать технологические процессы с порционной подачей входных продуктов.

#### Литература

1. Тытюк В.К. Объектно-ориентированный подход к разработке систем оптимального управления технологическими процессами [Текст] / Луценко И.А., Михайленко А.Ю. // «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку»: тез. докл. наук.-практ. конф. – Кривий Ріг: Мінерал, 2009. – С. 204-205.
2. Луценко И.А. Технологии эффективного управления [Текст] / И. А. Луценко. – Кривой Рог: ЧП «Видавничий дім», 2004. – 152 с.
3. DS18B20. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.maxim-ic.com/quick\\_view2.cfm?qv\\_pk=2812](http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm?qv_pk=2812) – Заг. з екрану.
4. Недорогой счётчик электроэнергии с защитой от хищения на основе ИС ADE7761 компании Analog Devices [Электронный ресурс] / Стефан Т. Энглиш, Этьен Молин // Мир электронных компонентов. – 2005. – №4. – С. 14-20. – Режим доступа до журн.: [http://eltech.spb.ru/pdf/almanah/alm\\_2005\\_4.pdf](http://eltech.spb.ru/pdf/almanah/alm_2005_4.pdf).
5. PIC18F2455/2550/4455/4550, High Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology. Data Sheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>.