

Подсистема управления нагревом

В системах автоматизации физических измерений часто возникают задачи, связанные с нагревом и поддержанием заданной температуры различных объектов. В этом разделе описывается система регулирования температуры, успешно применяемая в ряде автоматизированных систем:

- в отделениях 4,5,19 ВНИИЭФ г.Саров
- в ЛЯП,ЛЯР ОИЯИ г.Дубна
- в проекте PHOS, CERN, Швейцария

Как правило:

- ✓ Нагрев объектов производится при помощи электрических нагревателей (именуемых далее **печами**) с мощностью от 100 до 2500 Вт, питаемых от сети переменного тока (220В).
- ✓ Температура печи контролируется при помощи термопары, подключенной к одному из измерительных каналов.
- ✓ Управление печью производится при помощи специально разработанного для этих целей тиристорного регулятора мощности или при помощи твердотельного реле.
- ✓ В газовых системах печь может быть также связана с датчиком давления, если давление зависит от нагрева печи.
- ✓ Регистрация и управление делается при помощи промышленных модулей серии 7000 или, реже, при помощи промышленных измерительных карт (например, PCL-818, DIO-144).
- ✓ Автоматизированные системы работают под управлением программ, выполненных в пакете **CRW-DAQ**.

В качестве метода для регулирования мощности печей выбран метод **широтно-импульсной модуляции** с периодом 2-5 секунд. В этом методе регулирования печь работает в ключевом режиме, управляемая логическим сигналом “включить/выключить”, который представляет из себя меандр с постоянным периодом и переменной скважностью. Под скважностью здесь понимается отношение (в процентах) длительности состояния “включен” к длительности периода модуляции (Рисунок 1). Другими словами, скважность определяет среднюю мощность (осредненную за период) по отношению к максимальной (постоянно включенная печь).

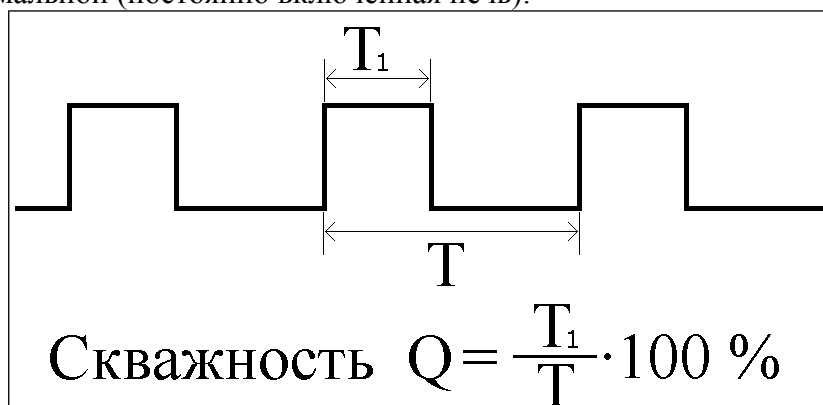


Рисунок 1

Допустимость выбранного метода регулирования связана с тем, что объекты с указанными мощностями достаточно массивны и поэтому инерционны. Характерное время реакции при нагреве составляет для этих объектов минуты или часы, что на 1-2 порядка превышает период модуляции.

Поэтому все колебания, связанные с меандром, эффективно интегрируются и на наблюдаемой температуре объекта не проявляются. В случае малоинерционных нагреваемых объектов, когда период меандра сопоставим с временем реакции нагреваемого объекта, этот метод становится недопустимым из-за того, что меандр будет проявляться в виде колебаний температуры объекта.

Другое условие применимости данной системы – допустимость кратковременной (несколько секунд) подачи на нагревательный элемент (например, спираль) полной мощности (220 В). Этот факт необходимо учитывать при создании нагревательных элементов.

Система управления нагревом имеет такие преимущества:

- ✓ Малое потребление по мощности и высокий КПД регулятора мощности. Это связано с тем, что управляющая электроника работает в ключевом режиме.
- ✓ Небольшое число кабелей. Для управления печью требуется один логический сигнал. При применении измерительных модулей серии 7000 для связи с компьютером требуется 2-х проводная линия RS485, а все остальные кабельные работы имеют локальный характер (вблизи размещения печей).
- ✓ Возможность дистанционного управления большим числом печей.
- ✓ Возможность круглосуточного поддержания температуры произвольно длительное время, не требуя постоянного присутствия персонала.
- ✓ Возможность задания произвольного графика нагрева печей.
- ✓ Поддержание температуры с точностью около 1 градуса в широком интервале температур.
- ✓ Сравнительно невысокая стоимость в расчете на канал регулирования. Это связано с тем, что для управления можно использовать дешевые цифровые каналы, например, на один 16-разрядный цифровой модуль можно подключить 16 печей. Регулятор мощности не создает помех по сети, так как переключение идет при нулевом токе сети 50 Гц.
- ✓ Применение программных блокировок в сочетании с модулями серии 7000 со встроенным сторожем позволяют создавать высоконадежные системы регулирования для опасных установок.

Особое внимание следует уделить надежности и аварийной защищенности нагревательных систем, предназначенных для опасных работ. Эти системы ни в коем случае не должны допускать перегрев объектов выше критического уровня, а в ряде случаев также блокировать печь по превышению давления, уровня радиации и т.д.

Высоконадежные системы должны создаваться на модулях 7000 серии и содержать релейную блокировку. Предусмотрены следующие степени защиты:

- ✓ Система защищена от сбоя или “зависания” компьютера, так как модули 7000 серии имеют сторож, который при прекращении поступления команд от компьютера автоматически выключает печь и включает релейную блокировку.
- ✓ Система защищена от разрыва связи компьютера и измерительных модулей программно (со стороны компьютера) и аппаратно (за счет сторожа в модулях серии 7000).
- ✓ Система защищена от пробоя тиристоров за счет наличия релейной блокировки.

- ✓ Предусмотрена блокировка по превышению температуры, давления и по сторожу (который срабатывает при прекращении поступления данных от измерительных модулей). Возможна и более сложная блокировка (например, по датчикам радиации).

Таким образом, система может (при соблюдении ряда условий) эксплуатироваться в установках, требующих повышенной надежности и аварийной защиты.

Нагревательные системы работают под управлением программ, выполненных в пакете **CRW-DAQ**. Здесь описаны интерфейсные элементы, через которые пользователь управляет нагревом печей и настройкой блокировок. Для этой цели существует две мнемосхемы: “КОНТРОЛЬ ПЕЧЕЙ” и “НАСТРОЙКА ПЕЧЕЙ”.

КОНТРОЛЬ ПЕЧЕЙ

Эта мнемосхема содержит основной интерфейс для управления печами установки. Назначение мнемосхемы (Рисунок 2) – визуальное представление состояния печей и их основных параметров, а также доступ к функциям:

- Включения/выключения печи
- Задания требуемой температуры стабилизации
- Задания номера термопары
- Вызова мнемосхемы “НАСТРОЙКА ПЕЧЕЙ” для детальной настройки параметров стабилизации и блокировки

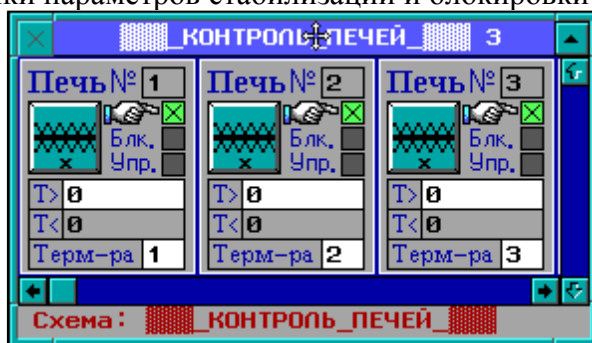




Рисунок 2

Мнемосхема дает возможность управления 10, 20 или 30 печами (в зависимости от конфигурации). Каждая из печей имеет индивидуальные параметры. На данном рисунке для примера изображены 3 печи, остальные имеют точно такое же управление. Далее будет говориться просто о печи, опуская пояснение "с данным номером".


Для включения печи надо выполнить следующие действия:

- Задать требуемую температуру стабилизации печи в поле **T>**. Система будет стремиться удерживать температуру около температуры стабилизации (с небольшими колебаниями).
- Проверить и при необходимости изменить номер термопары, используемой для контроля температуры печи в поле **Терм-ра**.
- Проверить параметры скважности и блокировки нажатием на кнопку вызова настройки печей “ ”. Подробнее смотри тему “НАСТРОЙКА ПЕЧЕЙ”

- Нажать кнопку включения печи. Кнопка "утапливается" .


При работе печи действуют такие соглашения:

- ✓ Красный цвет говорит о включении печи (температура ниже температуры стабилизации) .

- ✓ При превышении температуры стабилизации красный цвет гаснет (печь выключается) .

- ✓ В нормальном состоянии печь то гаснет, то загорается (колеблется вокруг температуры стабилизации).



- ✓ При срабатывании блокировки изображение печи перечеркивается красным перекрестием  или  в зависимости от того – включена печь или нет, а также индикатор **Блк.**  становится красным.

- ✓ Красный цвет индикатора **Упр.**  показывает непосредственное включение печи в зависимости от импульсов скважности. Мигание индикатора говорит о нормальной работе управления.

Для выключения печи надо:

- нажать "утопленную" кнопку включения печи. При этом кнопка возвращается в исходное состояние .

НАСТРОЙКА ПЕЧЕЙ

Мнемосхема настройки печей (Рисунок 3) служит для более детальной настройки параметров данной печи. В отличие от мнемосхемы контроля печей, на которой отображается состояние сразу всех печей и которая в нормальном состоянии обычно видна на экране, мнемосхема настройки печей отображает состояние редко редактируемых параметров одной печи (той печи, на которой нажата кнопка  ), а кроме того, в нормальном состоянии мнемосхема скрыта (не видна на экране).

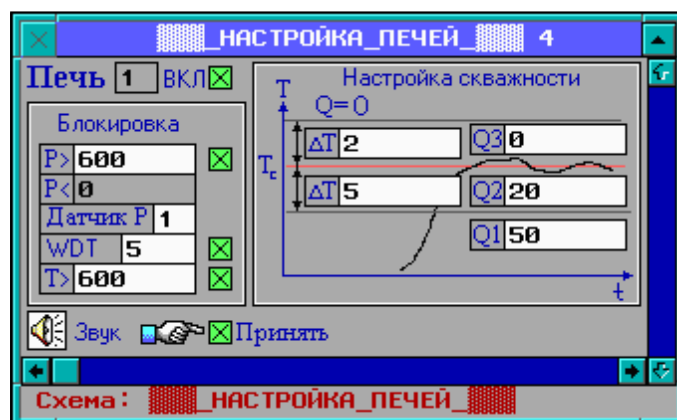
















Рисунок 3

В первую очередь следует учесть, что все изменения параметров в мнемосхеме (кроме кнопки   "Звук") возымеют действие только при нажатии

кнопки подтверждения “  Принять”. При этом раздается звук и мнемосхема закрывается. Для ее вызова снова надо нажать кнопку “ ”, в мнемосхеме “КОНТРОЛЬ ПЕЧЕЙ”.

В мнемосхеме имеются числовые поля ввода и кнопки с фиксацией. При нажатии левой кнопкой мыши на активную кнопку  она переводится в пассивное состояние , в котором остается до следующего нажатия. Точно так же пассивная кнопка , нажатием мыши переводится в активное состояние .

Кнопкой “ВКЛ ” можно перевести печь в **пассивное** или **активное** состояние. В пассивном состоянии печь выключена, не реагирует ни на какие сигналы и нажатия кроме кнопки вызова настройки печи и кнопки активизации печи. Пассивный режим печи был сделан для систем, в которых число печей не равно 10, 20 или 30 – “лишние” печи просто находятся в пассивном состоянии. Кроме того, печи могут быть переведены в пассивное состояние для предотвращения случайного включения при опасных работах.

Кнопкой “ Звук” можно включать и выключать звуковые сообщения о блокировке и обрыве линии. Состояние  или  означает, что звук выключен или включен. В отличие от других кнопок, выключение звука не требует подтверждения.

Настройка скважности.

Для хорошей работы системы стабилизации нужна настройка параметров скважности. В данной системе управление температурой печей идет за счет широтно-импульсной модуляции с переменной скважностью. Скважность меняется от 0 до 100 процентов и означает просто долю (по времени) логического состояния “включен” за период модуляции. Например, скважность 20% при периоде 5 секунд означает, что печка 1 секунду включена, а 4 секунды “отдыхает”. Можно также сказать, что скважность - это мощность в долях максимальной (если принять за 100% мощность постоянно включенной печи). В окне надо задать поля $\Delta T_{\text{верх}}$, $\Delta T_{\text{нижн}}$, **Q1**, **Q2**, **Q3**.

Алгоритм работы регулятора:

Пусть

T - текущая температура.

T_c - температура стабилизации.

$\Delta T_{\text{верх}}$ – верхний порог температуры.

$\Delta T_{\text{нижн}}$ – нижний порог температуры.

- ✓ Если $T < T_c - \Delta T_{\text{нижн}}$, то выдается скважность **Q1**. Это сделано для быстрого “грубого” выхода к температуре стабилизации.
- ✓ Если $T_c - \Delta T_{\text{нижн}} < T < T_c$, то выдается скважность **Q2**. Это сделано для более медленного подогрева вблизи температуры стабилизации для ослабления амплитуды “качания” вокруг температуры стабилизации.
- ✓ Если $T_c < T < T_c + \Delta T_{\text{верх}}$, то выдается скважность **Q3**. Это сделано для легкого подогрева вблизи температуры стабилизации для ослабления амплитуды “качания” вокруг температуры стабилизации.
- ✓ Если $T > T_c + \Delta T_{\text{верх}}$, то выдается скважность **0** (печь выключается).

Как выбрать параметры ?

Для каждой (постоянной) скважности Q_c максимальный нагрев печи будет происходить до температуры $T_c = T(Q_c)$. Соответственно, каждой

температуре стабилизации T_c соответствует скважность $Q_c(T_c)$, при которой температура за длительное время приближается к заданной T_c .

Так было бы при стационарных условиях:

- ✓ постоянное напряжение в сети
- ✓ постоянная температура окружающей среды
- ✓ постоянные условия теплоотвода

Но так как эти условия непостоянны, температура при постоянной скважности Q будет колебаться около значения $T(Q)$.

Значения $Q1, Q2, Q3$ для температуры стабилизации T_c должны удовлетворять условиям:




$$0 \leq Q3 < Q_c(T_c) < Q2 \leq Q1 \leq 100 \%$$

Другими словами, $Q3$ заведомо должно не хватать для удержания температуры выше T_c , а $Q2$ заведомо должна нагревать выше T_c . Надо также учитывать, что:

- ✓ Приближение $Q2, Q3$ к $Q_c(T_c)$ уменьшает амплитуду колебаний вокруг T_c , но ухудшает устойчивость по отношению к изменению внешних параметров (напряжения сети или условий охлаждения).
- ✓ Повышение $Q1$ ведет к ускорению предварительного нагрева, но также может вызвать перегрев печи за счет инерционности печи. Для устранения перегрева вводится $\Delta T_{\text{нижн}}$, то есть не достигая температуры стабилизации, заранее снижаем мощность.
- ✓ Для надежной защиты от перегрева вводится $\Delta T_{\text{верх}}$, при превышении которого печь выключается совсем ($Q=0$).

Настройка блокировки.

В программе предусмотрена блокировка печей:

1. По превышению давления. Эта блокировка срабатывает, если значение давления (отображаемое в поле "**P<**") по датчику, номер которого вводится в поле "**Датчик Р**" превышает критическое значение, вводимое в поле "**P>**". Блокировка по давлению может быть отключена кнопкой  напротив поля "**P>**".
2. По превышении времени ожидания сторожа **WDT** (WatchDogTimer). Эта блокировка срабатывает, если в течение времени, вводимого в поле "**WDT**" отсутствуют данные от датчиков температуры или давления. Такое возможно, например, при разрыве связи RS-485 между модулями серии 7000 и компьютером. Блокировка по таймеру может быть отключена кнопкой  напротив поля "**WDT**".
3. По превышению температуры. Эта блокировка срабатывает, если значение температуры (отображаемое в поле "**T<**" мнемосхемы "КОНТРОЛЬ ПЕЧЕЙ") по датчику, номер которого вводится в поле "**Терм-ра**" превышает критическое значение, вводимое в поле "**T>**". Блокировка по температуре может быть отключена кнопкой  напротив поля "**T>**".
4. По внешней блокировке. Эта блокировка зависит от конкретной измерительной системы и может включать более сложную логику блокировок. Внешняя блокировка должна целиком управляться другим программным модулем и здесь не описывается.

Таким образом, надо:

1. Ввести давление блокировки в поле "**P>**".
2. Ввести номер датчика давления блокировки в поле "**Датчик Р**".
3. Установить время таймера (в секундах) в поле "**WDT**".

4. Ввести температуру блокировки в поле “Т>”.
5. Кнопками справа от блокировок давления, таймера и температуры выбрать используемые (■ - блокировка разрешена, ■ - блокировка запрещена).

При возникновении блокировки происходит следующее:

1. Сбрасывается в 0 сигнал управления печью (печь отключается).
2. Выдается сигнал блокировки, который используется для включения релейной блокировки (если она имеется).
3. Каждые 30 секунд выдается звуковое сообщение о блокировке для привлечения внимания оператора.



4. Печь отображается в заблокированном состоянии. После устранения причин, вызвавших блокировку, печь возвращается в нормальный режим работы.