

Система температурной стабилизации с использованием ПЛК Regul R200

Методы стабилизации температуры

Наиболее простым, но и наименее точным методом регулирования и стабилизации температуры является двухпозиционный (релейный) метод. При этом методе на электрический нагреватель подаётся полная мощность до тех пор, пока нагреваемый объект не достигнет заданного значения температуры (уставки), после чего подача мощности прекращается. Несмотря на это, разогретый нагреватель продолжает отдавать тепло, и температура объекта некоторое время продолжает нарастать, что приводит к перегреву, иногда значительному. При последующем остывании объекта по достижении заданной температуры на нагреватель вновь подаётся полная мощность. Нагреватель сначала разогревает себя, затем окружающие области объекта. Однако вследствие тепловой инерционности объекта охлаждение будет продолжаться до тех пор, пока волна тепла не достигнет температурного датчика. Следовательно, реальная температура объекта может оказаться значительно ниже уставки. Таким образом, при релейном методе возможны значительные колебания температуры вокруг заданной уставки.

Этот недостаток можно уменьшить или даже вовсе устранить, применяя пропорционально-интегрально-дифференциальный метод регулирования (ПИД-метод). Этот метод предполагает уменьшение электрической мощности, подаваемой на нагреватель, по мере приближения температуры объекта к уставке. В современных ПИД-регуляторах, построенных с использованием ПЛК, мощность подаётся в виде импульсной последовательности, модулированной по длительности (ШИМ-сигнал). При этом частота следования импульсов **постоянна**.

В установившемся режиме при таком методе определяется величина тепловой мощности, необходимой для компенсации тепловых потерь и поддержания заданной температуры.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный метод обеспечивает значительно более высокую точность поддержания температуры, чем релейный. Мощность N , которая должна выделяться нагревателем, выраженная в процентах от его максимального значения, рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{100}{K_p} \left(\Delta T + \frac{1}{K_i} \int_0^1 \Delta T dt - K_d \frac{dT}{dt} \right),$$

где K_p , K_i , K_d – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты регулирования соответственно (ПИД-коэффициенты).

Первое слагаемое в формуле (пропорциональная составляющая) прямо пропорционально разности уставки T_{yc} и из-

меренного значения текущей температуры T : $\Delta T = T_{yc} - T$. Его смысл состоит в том, что при $\Delta T = K_p$ (в °C) регулятор начнёт снижать мощность.

Второе слагаемое (интегральная составляющая) в установившемся режиме равно величине тепловой мощности, необходимой для компенсации тепловых потерь при $\Delta T = 0$.

Третья составляющая пропорциональна скорости изменения температуры с обратным знаком и должна препятствовать резким изменениям температуры объекта (дифференциальная составляющая).

Для того чтобы достичь высокого качества регулирования температуры (отсутствия перерегулирования, колебательного процесса и оптимальной скорости достижения уставки), необходимо правильно настроить регулятор – задать указанные три коэффициента. Нахождение и настройка ПИД-коэффициентов – сложный и трудоёмкий процесс. Даже для одного и того же объекта настройку ПИД-регулятора нужно повторять, если, например, изменились во времени параметры объекта.

Всё это обуславливает определённые трудности при практической реализации ПИД-метода, особенно в случае его использования для поддержания заданной температуры объекта с меняющимися во времени параметрами. Поэтому желательно использовать такой метод стабилизации температуры, который обладал бы простотой двухпозиционного регулирования и точностью ПИД-регулятора.

Принцип построения системы температурной стабилизации

Описываемый далее метод стабилизации температуры и, соответственно, регулирования выходной мощности регулятора учитывает не **абсолютное** значение ошибки рассогласования, а её **относительное** значение. Кроме того, вместо широтно-импульсного генератора с **постоянной** частотой следования импульсов предлагается использовать два последовательно соединённых в кольцо таймера. Они формируют импульсную последовательность, модулированную по длительности.

При этом второй таймер отмеряет **заданный** интервал времени, соответствующий интервалу между импульсами. Первый таймер, запускаемый по окончании интервала второго таймера, формирует положительный импульс, длительность которого пропорциональна относительной текущей ошибке рассогласования. После компенсации этой ошибки формирование положительного импульса прекращается и его задним фронтом запускается второй таймер. Далее процесс повторяется до равенства текущей температуры уставке.

При использовании этого метода в процессе регулирования изменяется длительность положительного импульса, определяющего мощность выходного сигнала (как и при ПИД-методе). При равенстве текущей температуры уставке относительная ошибка, а вместе с ней и мощность, используемая на нагрев (охлаждение), становятся равными нулю. Длительность интервала остаётся при этом постоянной. Данный параметр является единственным, который зависит только от качества термоизоляции объекта регулирования и подбирается при настройке регулятора. Чем лучше термоизоляция объекта стабилизации, тем большее значение может иметь этот параметр и тем экономичнее будет вся система.

Таким образом, в предлагаемом методе вместо трёх подбираемых параметров (коэффициентов ПИД-регулятора) используется только один, имеющий размерность времени. Значение этого параметра может устанавливаться в достаточ-

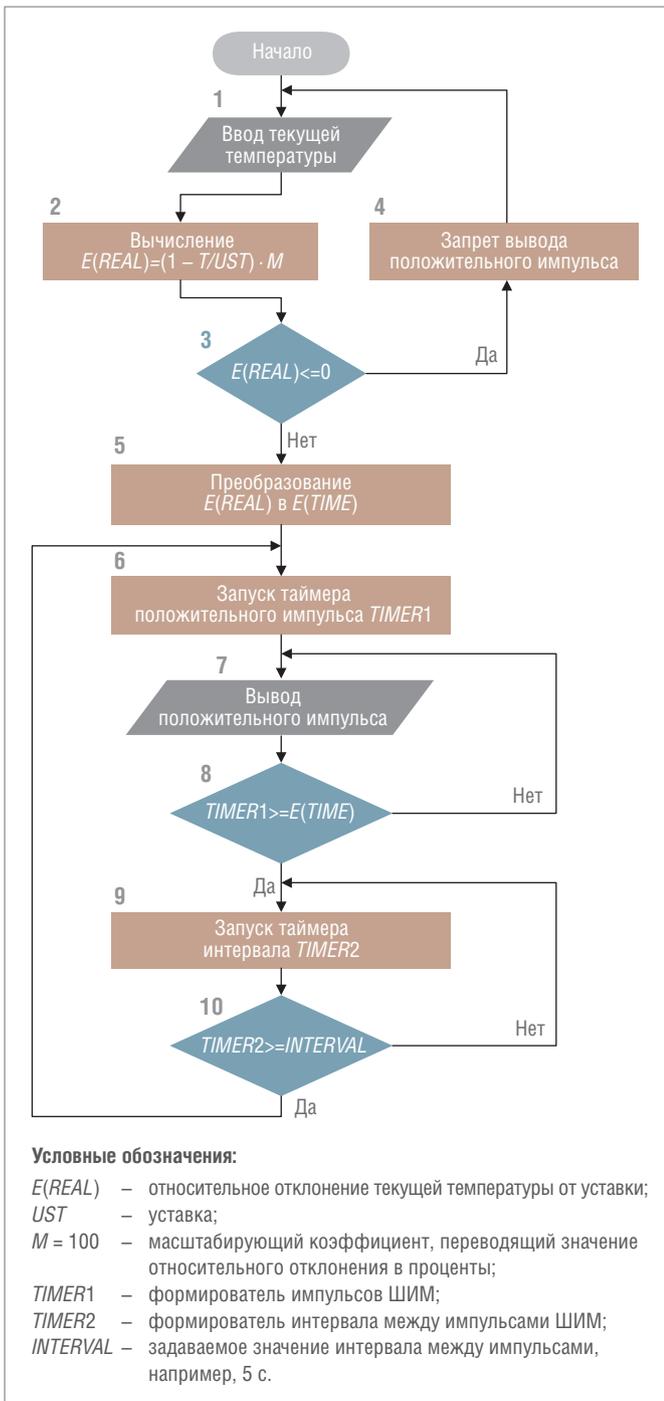


Рис. 1. Схема алгоритма работы стабилизатора температуры

но широких пределах. Исходя из сказанного, схема алгоритма работы стабилизатора температуры представлена на рис. 1.

Символы схемы алгоритма обозначают следующие операции.

1 – значение текущей температуры T вводится с выхода модуля аналогового ввода;

2 – вычисляется процентное отклонение $E(REAL)$ значения текущей температуры от уставки UST ($M = 100$);

3 – осуществляется проверка: если $E(REAL) \leq 0$, то есть $T \geq UST$, то

4 – завершается подача мощности на нагреватель и продолжается ввод значения текущей температуры; в противном случае

5 – процентное отношение типа $REAL$ преобразуется в тип $TIME$;

6 – запускается формирователь положительных импульсов ШИМ $TIMER1$;

7 – положительный импульс выводится на нагреватель (включается нагреватель);

8 – осуществляется проверка: если длительность положительного импульса больше или равна эквивалентной длительности процентного отклонения текущей температуры от уставки, то

9 – запускается формирователь интервала между положительными импульсами $TIMER2$ и выключается нагреватель; в противном случае продолжается формирование положительного импульса;

10 – осуществляется проверка: если длительность интервала больше или равна заданному значению $INTERVAL$, то запускается формирователь положительных импульсов $TIMER1$ и вновь включается нагреватель; в противном случае продолжается формирование интервала.

ПРОГРАММА ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Прикладная программа, реализующая указанный алгоритм, разработана с учётом применения отечественного программируемого контроллера Regul R200 с использованием распространяемого бесплатно программного обеспечения EPSILON LD, созданного на основе CODESYS V3. При написании программы использовался редактор CFC (рис. 2).

Представленные в программе модули выполняют следующие операции.

0 – модуль выбора минимального значения из двух, поступающих на его входы. В нормальном режиме стабилизации текущая температура T всегда меньше или равна уставке UST . В случае превышения текущей температуры над уставкой на выходе модуля 10 (LT) формируется сигнал, запрещающий выдачу положительного импульса на включение нагревателя через выход $OUTIMP$. Вследствие этого исключается переуправление;

1 – модуль получения относительного значения текущей температуры в результате деления значения температуры на температурный гистерезис. Последний представляет собой уставку, уменьшенную на $0,5^\circ$. Введение температурного гистерезиса позволяет уменьшить среднюю ошибку стабилизации;

2–3 – эти модули используются для вычисления значения разностной относительной текущей температуры, выраженной в процентах;

4 – модуль подготавливает полученное значение относительной температуры в виде переменной типа $REAL$ к преобразованию в тип $TIME$, выраженный в секундах;

5 – модуль преобразует переменную типа $REAL$ в тип $TIME$ и запускает $TIMER1$;

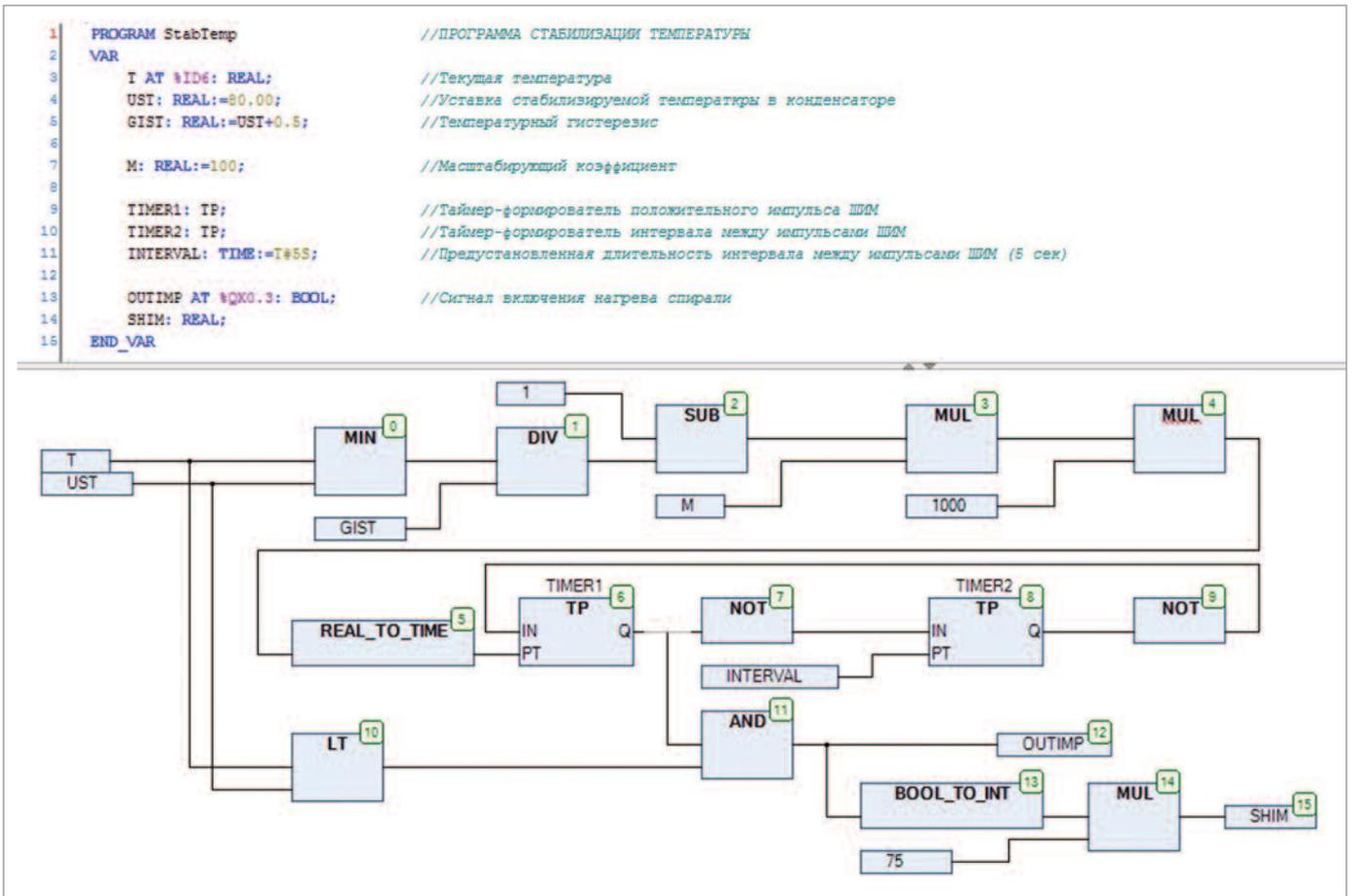


Рис. 2. Программа стабилизации температуры, написанная в редакторе CFC

6 – *TIMER1* формирует положительный импульс с длительностью, эквивалентной значению текущей ошибки, выраженной в виде переменной типа *TIME*;

7 – этот модуль инвертирует положительный импульс, формируя сигнал запуска таймера *TIMER2*;

8 – на выходе модуля *TIMER2* формируется импульс, длительность которого равна входному предустановленному значению *INTERVAL*;

9 – после инвертирования задний фронт этого импульса запускает *TIMER1*;

11 – при наличии разрешающего сигнала на входе модуля 11 положительный импульс с таймера *TIMER1* в виде переменной типа *BOOL* поступает на выход *OUTIMP*;

13–15 – эта же переменная после преобразования в целое число *INT* в виде ШИМ-сигнала (*SHIM*) со сдвигом в 75° поступает на визуализацию графика изменения температуры и представления ШИМ-сигнала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Для проверки работоспособности написанной программы использовалась опытная установка, состоящая из сосуда с помещённым в него нагревателем и термодатчиком (термосопротивлением), твердотельного реле для управления нагревателем и программируемого логического контроллера Regul R200 с модулями аналогового ввода AI 02 031 и дискретного вывода DO 08 011. Теплоизоляция сосуда не применялась (рис. 3).

Перед экспериментальной проверкой программы в неё предварительно были введены следующие значения: уставка $UST = 80^{\circ}\text{C}$ и длительность интервала между положительными импульсами ШИМ $INTERVAL = 5\text{ с}$.

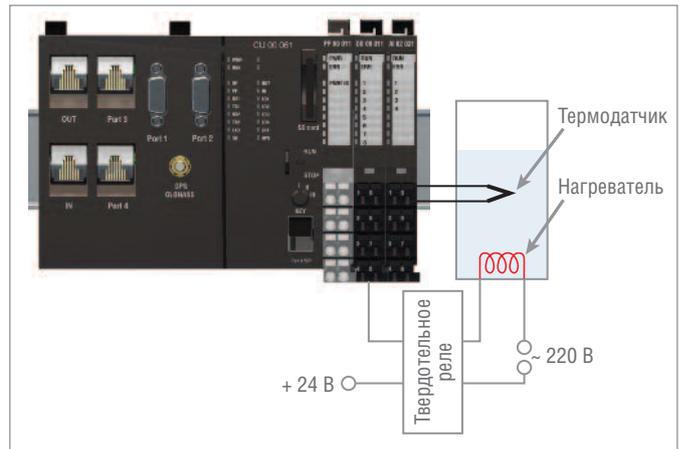


Рис. 3. Схема опытной установки

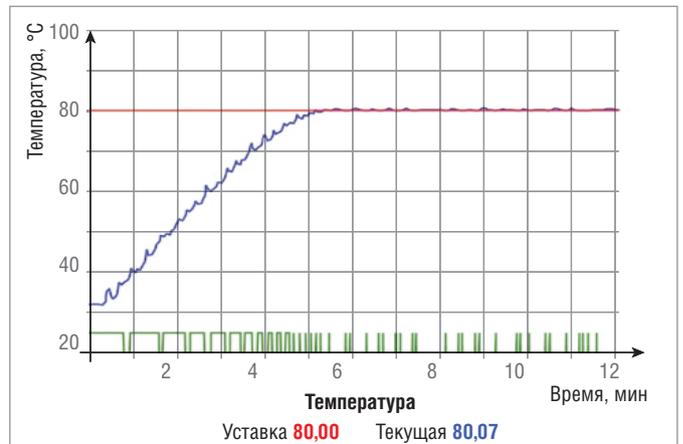


Рис. 4. График изменения текущей температуры в переходном и стационарном режимах

В процессе проверки на экране дисплея отображались стабилизируемая температура и выходной сигнал модуля дискретного вывода (сигнал ШИМ). Кроме того, автоматически протоколировались значения текущей температуры на протяжении всего эксперимента. По его окончании результаты 40 последовательных выборок в стационарном режиме из протокола были обработаны с помощью программы Excel с целью определения среднего значения температуры и среднего квадратичного отклонения в стационарном режиме стабилизации.

Результаты эксперимента приведены на рис. 4.

На графике текущая температура представлена линией синего цвета, а красная прямая представляет уставку. В нижней части графика показана импульсная последовательность ШИМ, поступающая на нагреватель. Из графика видно уменьшение длительности положительных импульсов ШИМ-сигнала по мере плавного приближения текущей температуры к уставке в переходном режиме. Перерегулирования при этом не наблюдается. В стационарном режиме положительные импульсы формируются в случайные моменты времени, компенсируя тепловые потери во время стабилизации температуры.

Далее представлены выборки из протокола регистрации результатов измерений текущей температуры в стационарном режиме:

80,0	80,0	80,1	80,1
80,0	79,9	80,0	80,2
80,0	80,0	80,0	80,1
80,0	79,9	80,0	80,3
79,9	79,9	80,0	80,3
80,0	79,9	80,0	80,3
80,0	79,9	80,1	80,3
80,0	80,1	80,0	80,3
79,9	80,2	80,0	80,0
79,9	80,3	80,1	80,0

В результате обработки 40 выборок получено среднее значение стабилизируемой температуры со средним квадратичным отклонением, равным $(80,05 \pm 0,13)^\circ\text{C}$.

Эксперимент подтвердил простоту и высокую точность предлагаемого метода стабилизации температуры.

Вывод. Использование предложенного метода позволит создать относительно простые контуры регулирования в любых задачах, требующих поддержания заданных параметров с высокой точностью. ●

Телефон: (812) 448-0444

E-mail: info@spb.prosoft.ru

НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

Искусственный интеллект управляет беспилотными автомобилями на гонках IAC

Компания ADLINK Technology Inc., мировой лидер в области граничных вычислений, стала официальным спонсором первой в мире высокоскоростной гонки автономных машин Indy Autonomous Challenge (IAC), запланированной на 23 октября 2021 года.

IAC – это двухлетний конкурс среди университетов Европы, Азии, Ближнего Востока и Америки с призовым фондом 1,5 миллиона долларов по созданию программ управления модифицированными гоночными автомобилями Dallara IL-15 для участия в первой в мире автономной гонке на знаменитом автодроме Motor Speedway (IMS) в г. Индианаполисе.

Компания ADLINK предоставит командам-участницам IAC надёжные бортовые компьютеры со встроенным искусственным интеллектом и техническую поддержку. Также участники получают доступ к программному обеспечению с открытым исходным кодом и поддержку промежуточного программного обеспечения ADLINK на основе операционной системы роботов ROS, включая оптимизацию ROS 2 Open Robotics с помощью ПО Eclipse Cyclone DDS, интегрированного с набором автомобильных датчиков IAC и моделированием VREXPERIENCE от Ansys.

– Одним из заметных препятствий на пути коммерческого использования беспилотных транспортных средств, участвующих в IAC, является решение проблем пограничных вычислений, возник-

кающих при экстремальных рабочих нагрузках, таких как объезд препятствий на высоких скоростях и сохранение контроля над транспортным средством, – считает Мэтт Пик, управляющий директор Energy Systems Network, основного организатора IAC. – Мы приветствуем опыт, который ADLINK может передать университетским командам в использовании реальных решений для управления беспилотными автомобилями.

Команды со всего мира будут использовать модифицированные гоночные автомобили Dallara IL-15, оснащённые контроллером робота ADLINK серии DLAP-8000. Это надёжная система со встроенным искусственным интеллектом, которая была протестирована на открытых программных платформах автономного управления автомобилями, включая Autoware.Auto, Open Robotics ROS 2, Eclipse iceorx, Eclipse Zenoh и Eclipse Cyclone DDS.

Компания ADLINK помогла объединить усилия нескольких организаций, таких как Autoware Foundation, Open Robotics, OpenCV и Eclipse Foundation, для поддержки IAC и 39 университетов, участвующих в решении этой первой в своём роде глобальной задачи. Их совокупный вклад позволит бортовым системам автомобилей за доли секунды принимать решения, основанные на данных реального времени, что является критическим фактором на скоростях автомобиля до 200 миль в час.

– ADLINK стремится сделать искусственный интеллект доступным для промышленных применений, и беспилотный автомобиль является ключевым приложением, – сказал Джо Спид, технический директор ADLINK. – Мы зависим от следующего поколения технологических новаторов, продолжающих раздвигать границы автономного управления. IAC – прекрасная платформа для сближения образования и промышленности, делающая автономное управление автомобилем реальностью. ADLINK гордится тем, что участвует в таких соревнованиях.

Благодаря этому спонсорству ADLINK присоединяется к элитной группе автомобильных и технологических партнёров, имеющих общую цель – повышение осведомлённости общественности о воздействии автоматизации, включая улучшение безопасности и качества окружающей среды. ●

