

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P10-85-189

Д.Василев, А.В.Саламатин\*

ТЕРМОРЕГУЛЯТОР  
ДЛЯ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ  
И ИНЕРЦИОННОСТИ

---

\* ИЯФ АН УзССР, Ташкент

Во многих физических и химических экспериментах необходимо измерение и регулирование температуры объектов, имеющих различную теплоемкость. В настоящее время существуют методы и приборы, измеряющие температуру объекта достаточно точно<sup>/1/</sup>, однако задача регулирования температуры объектов различной теплоемкости и инерционности остается актуальной. Обычно датчик находится на удалении от нагревателя, что приводит к запаздыванию термокомпенсации; кроме того, сигнал датчика подвержен действию наводок. Эти причины приводят к увеличению отклонений температуры объекта от заданного значения и к возникновению колебаний в контуре регулирования.

В данной статье описан прибор в стандарте КАМАК, предназначенный для работы с объектами различной теплоемкости и инерционности, в котором для снижения отклонений температуры объекта от устанавливаемого значения и для устранения колебаний в контуре регулирования использован пропорционально-интегрально-дифференциальный метод регулирования<sup>/2/</sup>. Управляющим воздействием на объект является сумма сигналов пропорционального усилителя, интегрирующего и дифференцирующего звеньев.

Функциональная схема прибора представлена на рис.1. Прибор включает в себя термодатчик  $t^\circ$ , линейный усилитель ЛУ и схемы управления нагревателями СУН I и СУН II.

В качестве термодатчика используется кремниевый диод КД514А, который питается стабильным током. Выбор данного типа диода обусловлен малыми габаритами, что позволяет помещать его внутри объекта. Сигнал датчика усиливается линейным усилителем ЛУ. Изменением величины  $I - const$  устанавливается на выходе ЛУ  $U(t^\circ) = 0$  В при температуре  $+10^\circ C$ , а подстроечным резистором /на рис.1 не показан/ подбирается коэффициент усиления так, чтобы  $U(t^\circ) = +5$  В при температуре  $+60^\circ C$ . Полученная зависимость носит линейный характер и выражается формулой

$$U(t^\circ) = \frac{t^\circ - 10}{10}, \text{ т.е. температура объекта определяется выражением}$$

$$t^\circ = 10\{U(t^\circ) + 1\}. \quad //1/$$

где  $U(t^\circ)$  измеряется в вольтах, а  $t^\circ$  - в градусах Цельсия. Напряжение  $U(t^\circ)$  выводится на переднюю панель блока и может быть измерено вольтметром, АЦП и т.п.

СУН I и СУН II совместно с подключенными к ним соответствующими нагревательными элементами используются для поддержания заданной температуры объекта.

СУН I включает в себя схему сравнения, на один из входов которой подается напряжение  $U(t^\circ)$  с линейного усилителя, а на дру-

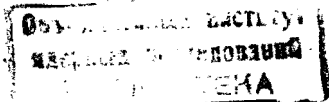
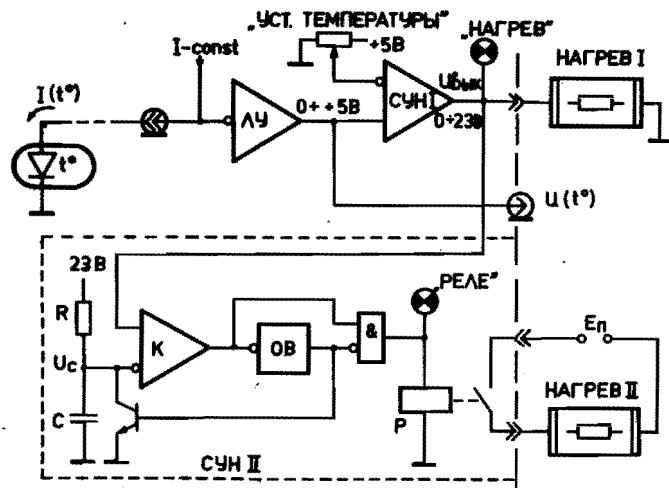


Рис. 1



гой - снимаемое с гелипота "Уст. температуры" - напряжение  $0 \div +5$  В. Связь шкалы гелипота с заданием нужной температуры объекта  $t^\circ_{уст}$  определяется выражением

$$N = 20(t^\circ_{уст} - 10),$$

/2/

где  $N$  - значение шкалы гелипота. В случае, если температура датчика меньше установленной, то разница напряжений, снимаемых с гелипота, и с выхода линейного усилителя  $\Delta U(t^\circ)$ , усиливается усилителем мощности до  $U_{вых} = 0 \div 23$  В, подается на контрольную лампу "Нагрев" и нагреватель I, мощность которого не должна превышать 25 Вт, поскольку для него используется питание из крейта КАМАК. Сигнал на выходе СУНИ пропорционален разности входного и установленного значения. Величина управляющего напряжения равна:  $U_{вых} = \Delta U(t^\circ) \cdot K$  - если температура объекта ниже установленной, или  $U_{вых} = 0$ , если температура объекта выше установленной. Здесь  $K$  - коэффициент передачи, который подбирается подстроечным резистором из условия необходимой чувствительности СУНИ. Поскольку объекты, в которых регулируется температура, ведут себя как фильтр нижних частот первого порядка, СУНИ совместно с объектом образуют пропорционально-интегральный регулятор<sup>/2/</sup>. Нагреватель I целесообразно использовать для объектов небольшой теплоемкости или для более точного регулирования температуры совместно с СУНИ II.

Для регулирования температуры объектов большой теплоемкости используется СУНИ II совместно с нагревателем II, питание которого обеспечивается внешним источником  $E_n$ . В качестве такого нагревателя с собственным источником питания можно использовать термостат заводского изготовления, а СУНИ II подключать к нему вместо контактного термометра.

СУНИ II реализует режим широтно-импульсного управления током в нагревателе II. В схему управления нагревателем входят компаратор  $K$ , одновибратор  $ОВ$  и логический элемент, управляющий работой реле  $P$ . Контакты реле подключают нагреватель II к источнику питания  $E_n$ . Компаратор сравнивает сигнал  $U_{вых}$ /выход СУНИ/ с линейно нарастающим напряжением  $U_c$ . Возможны три варианта работы блока /на рис. 2 представлены два из них/:

1. Температура датчика намного ниже желаемой, т.е.  $t^\circ \ll t^\circ_{уст}$ . СУНИ выдает максимальное напряжение 23 В,  $U_c$  не может превышать этого значения. На выходе компаратора постоянно находится логическая "1", реле включено. Нагревательный элемент II работает непрерывно, лампочка "Реле" светится.

2. Температура датчика незначительно ниже желаемой, т.е.  $t^\circ \leq t^\circ_{уст}$ , СУНИ находится в активном режиме, напряжение на его выходе  $U_{вых}$  лежит в интервале от 0 до 23 В. Нагреватель I выделяет тепло пропорционально разности установленного значения и реальной температуры объекта. Для СУНИ II напряжение на конденсаторе  $U_c$  нарастает до значения  $U_{вых}$  со скоростью, зависящей от постоянной  $RC$ , а время заряда  $t_{зар}$  определяется напряжением  $U_{вых}$ . После превышения  $U_c$  над  $U_{вых}$  компаратор переходит из состояния "1" в "0". Запускается одновибратор  $ОВ$ , который через транзистор разряжает конденсатор  $C$  и выключает на время длительности импульса  $t_{ов}$  реле, обесточивающее нагревательный элемент II, лампочка реле гаснет. После окончания импульса одновибратора возобновляется заряд конденсатора и цикл повторяется, но уже при уменьшенном значении  $U_{вых}$ , так как температура объекта возросла благодаря работе нагревателя в предыдущем цикле. Время цикла определяется

$$t_{цикл} = t_{зар} + t_{ов} = RC \ln \frac{23}{23 - U_{вых}} + t_{ов}.$$

/3/

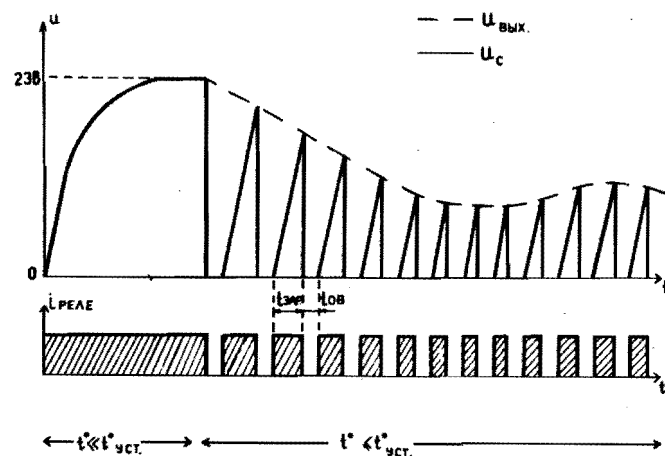


Рис. 2

Таким образом, при  $t^{\circ} \leq t_{уст}^{\circ}$  длительность включенного состояния нагревательного элемента II /а следовательно, и средний ток, протекающий через нагреватель/ тем больше, чем больше разность между требуемой и реальной температурой.

3. Температура датчика выше желаемой /на рис.2 этот случай не показан/ - СУНИ выдает  $U_{вых} = 0$ . На выходе компаратора устанавливается логический "0", реле выключено, нагревательный элемент II обесточен.

Благодаря применению режима широтно-импульсного управления током нагревательного элемента II обеспечивается достаточно плавное регулирование температуры /3/. СУНИ реализует дифференциальное звено терморегулятора, которое компенсирует большие и резкие колебания температуры объекта. Параметры СУНИ выбираются для конкретного объекта терморегулирования в зависимости от его инерционности: чем меньше инерционность - тем желательнее большая частота циклов переключения реле. Максимальная частота циклов будет ограничиваться ресурсом контактов реле. Для оптимальной работы регулятора в установившемся режиме /мощность нагрева равна рассеиваемой мощности объекта/ время заряда конденсатора С должно равняться длительности импульса одновибратора  $t_{зар} \approx t_{ов}$ , что достигается выбором мощности нагревателя II, подбором RC или длительности импульса одновибратора /см. формулу 3/.

Для обеспечения более стабильной работы блока элементы схемы помещены в отдельный термостат, реализованный внутри блока КАМАК.

При работе блока с реальными системами были получены следующие результаты:

а/ При использовании СУНИ совместно с нагревательным элементом максимальной мощности 25 Вт и объемом объекта 0,5 л температура поддерживается на заданном уровне с точностью  $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$ .

б/ При использовании СУНИ совместно с термостатом ZKI /производства ГДР/ и объемом объекта 8 л температура поддерживается на заданном уровне с точностью  $\pm 0,04^{\circ}\text{C}$ . Дополнительное подключение СУНИ позволяет поддерживать температуру с точностью  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ .

В заключение авторы выражают благодарность А.Н.Синаеву, М.Миланову и В.А.Халкину за полезные обсуждения и помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дунин В.П. и др. ОИЯИ, P13-83-287, Дубна, 1983.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. "Мир", М., 1982.
3. Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. "Техника", Киев, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 марта 1985 года.

Василюв Д., Саламатин А.В.,  
Терморегулятор для систем различной теплоемкости  
и инерционности

P10-85-189

Описан блок в стандарте КАМАК для измерения и регулирования температуры, в основу работы которого положен пропорционально-интегрально-дифференциальный метод регулирования. В качестве термодатчика используется кремниевый диод. Можно использовать два нагревателя, первый - для объектов небольшой теплоемкости, второй - для более крупных и инерционных. Контрольные испытания показали: при объеме воды 0,5 л температура поддерживается на заданном уровне с точностью  $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$ ; для объема 8 л воды -  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод М.И.Потапова

Vassilev D., Salamatin A.V.  
Thermoregulator for Systems with Different Heat Capacity  
and Inertia

P10-85-189

A CAMAC module for measuring and regulating of temperature is presented, based on a proportional-integral-differential method of regulation. A silicon diode has been used as thermometer. Two heaters may be used - the first one for objects with small heat capacity, and the second for larger and inertial ones. Control tests show as follows: the temperature of water with volume 0,5l has been maintained at the desired level within  $\pm 0,02$  degrees; for volume of 8l within  $\pm 0,03$  degrees.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985