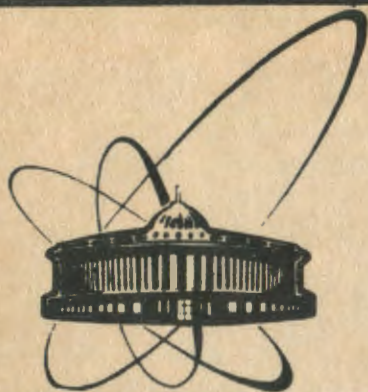


89-344



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3-265

P13-89-344

В. Н. Замрий, А. Б. Роганов

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ РЕГУЛЯТОР
ВЕЛИЧИНЫ И СКОРОСТИ
ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1989

Для осуществления программируемых режимов измерения, стабилизации и регулирования величины и скорости изменения температуры разработан программируемый регулятор ПРТС. Он предназначен для применения в составе измерительной системы экспериментальной установки с управляющей ЭВМ, а также для автономного применения с обеспечением основных режимов /1/. С этой целью программы измерения и стабилизации, циклы выборки измеряемых величин и выработки управляющих воздействий находятся в постоянном запоминающем устройстве /ПЗУ/, а задаваемые в ходе эксперимента условия выполнения программ и значения стабилизируемых параметров /их уставки/ записываются в оперативное запоминающее устройство /ОЗУ/ процессора ПРТС из внешней ЭВМ или вручную.

Назначение проектируемых регуляторов определяет серьезные требования к помехозащищенности и погрешности измерения, стабилизации и величины шагов регулирования в различных диапазонах температуры /например, от 0 до 100-1000° С/, к качеству регулирования при выбираемых шагах /1-10° С/ и времени установления /~5-10 мин/ в различных циклах нагрева-охлаждения /~1-10 ч/. Важно также обеспечить неизменный знак установления, скорости температуры, стабилизацию и регулирование скорости изменения температуры /~1° С за минуту/, смену режимов по заданному условию перехода, измерение и вывод последовательности значений /графика/ регулируемого параметра, контрольные /прецизионные/ измерения сигналов группы датчиков, предупреждение аварийных режимов работы.

Программируемые регуляторы, рассматриваемые как аналоговые процессоры со структурой типа "Аналог-цифра-аналог", имеют ряд общих функций /и используемых средств/: согласование с датчиком и выделение измеряемого сигнала, аналого-цифровое преобразование /нормирующий преобразователь НП, устройство выборки и АЦП/; ввод исходных данных и выполнение программы, определение регулирующей величины и вывод результата /интерфейс, ОЗУ, ПЗУ, процессор/; цифро-аналоговое преобразование и согласование с исполнительным устройством /ЦАП и нормирующий усилитель/. Расширение их применения обусловлено введением программ, сочетающих качества аналогового регулирования и свойства дискретного управления. При разработке и применении регуляторов для уменьшения временных и других затрат на

получение результатов в ряде задач эффективно использование аналоговых и цифровых интегральных схем /ИС/ с заданными выполняемыми функциями. С учетом вводимых режимов и программ, а также возможностей доступных ИС, построен функционально завершённый блок ПРТС, на основе ИС 10-разрядного АЦП, ЦАП и специализированного 12-разрядного процессора. Блок выполнен на одной плате функционального модуля КАМАК /минимальной ширины/.

Условия применения блока ПРТС иллюстрируются рис. 1, где 1 - датчики, 2 - термостат с исследуемым образцом, 3 - исполнительное устройство, нагреватель, 4 - усилитель мощности, источник стабильного тока, управляемый нормированным сигналом $0 \div 5$ В с выхода ЦАП^{2/} /например, источник БП-6-25, досборудованный входом управления стабильным током $0 \div 15$ А при сопротивлении нагревателя $0,5 \text{ Ом}$ /, 5 - программно-управляемый контрольный измеритель /например, помехозащищенные блоки НП^{3/} и измерительного 12-разрядного АЦП^{4/}, коррекция погрешности/, 6 - блок ПРТС, 7 - генератор импульсов стабильной частоты, программируемая частота - от 1 Гц до 10 кГц, 8 и 9 - магистраль и контроллер крейта КАМАК /для связи с ЭВМ или ручного управления/. В блоке ПРТС предусмотрены вход симметричной линии /скрученная пара в экране/ для сигнала датчика и выход сигнала регулирования, а также вход

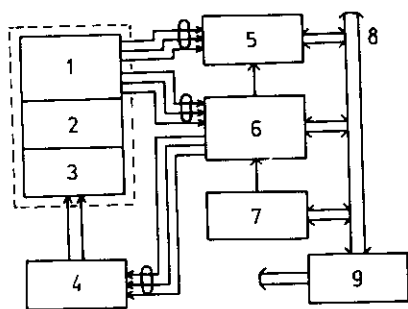


Рис. 1

импульсов синхронизации программы и выход синхронного запуска внешнего измерителя.

Разработка схемы блока ПРТС обусловлена требуемой организацией циклических программ стабилизации температуры /режим 1/ и скорости /режим 2/, а также измерения и вывода текущих значений температуры T_T и скорости E_T . Предусмотрены последовательные запуски режимов 1 и 2 /от импульсов внешнего либо внутреннего генератора при задаваемом коэффициенте деления их частоты/ и выбор их регулирующих величин по заданным условиям. Разрешение и условия выполнения циклов стабилизации /или измерения и вывода/ задаются при помощи команд КАМАК и кодов статуса ПРТС. Записываемые значения уставок: T_y и E_y - стабилизируемые температура и скорость, T_k и E_k - корректирующие величины /для учета нелинейности характеристик датчика, рассеяния тепла нагревателя и др./, T_{II} - температура условия перехода от одного режима к другому. 0 завершении цикла программы свидетельствует сигнал запроса.

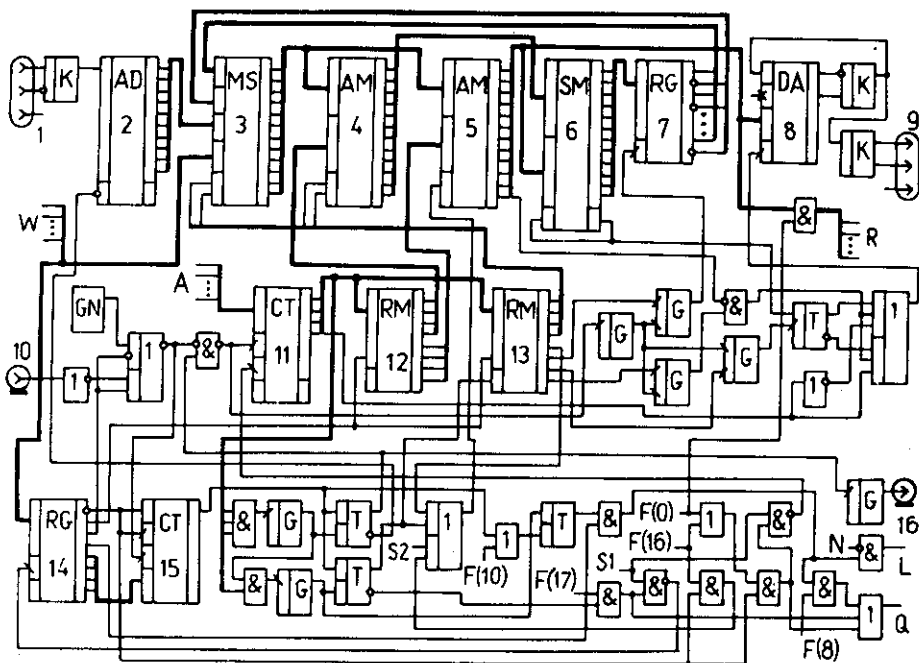


Рис. 2

Схема блока ПРТС представлена в несколько упрощенном виде на рис. 2, где 1 и 9 - вход и выход аналоговых сигналов, 2 - АЦП, 3 - селектор-мультиплексор на 4 входа, 4 и 5 - ОЗУ на 384 бит, 6 - сумматор с циклическим переносом, 7 и 14 - регистры данных и кода статуса, 8 - ЦАП с регистром, 10 и 16 - вход и выход импульсов синхронизации, 11 - адресный регистр-счетчик, 12 и 13 - ПЗУ на 512 бит, 15 - счетчик-делитель частоты. Используемые элементы схемы: 2 и 8 - ИС типа К1113ПВ1А и К572ПА2А; 3 - 6 ИС типа К155КП2; 4 и 5 - 6 ИС, К155РУ2; 6 - 3 ИС, К155ИМ3; 7 и 14 - 5 ИС, К155ТМ8; 11 и 15 - К155ИЕ7 и К155ИЕ8; 12 и 13 - 2 ИС, К155РЕ3; логические элементы И, ИЛИ, НЕ - 20 ИС, К155; мультивибраторы G - 3 ИС, К155АГ3; триггеры Т - 2 ИС, К155ТМ2; генератор импульсов GN - КР1006ВН1; операционные усилители К - 6 ИС, К140УД6; источники питания $\pm 15В$ - 2 ИС, К142ЕН2Б; разъемы 1 и 9 - типа РС-4ТВ, 10 и 16 - МК-50.

Используемые команды КАМАК /N·F·A/:

F/O/A/O ÷ 15/ - чтение данных по адресу A/O ÷ 15/; ответ Q = 1, если запрещен пуск программы;

F/8/A/O/ - проверка запроса; Q = L, если разрешен запрос L;

- F/10/A/0/ - сброс запроса; $Q = 0$;
- F/16/A/0 ÷ 15/ - запись данных по адресу A/0 ÷ 15/; ответ $Q=1$, если запрещен пуск программы;
- F/17/A/0/ - запись кода статуса; $Q=1$, если не включен цикл программы;
- Z - установка исходного состояния регистра статуса, сброс запроса.

Значения разрядов кода статуса: пуск программы разрешен/запрещен; программа стабилизации/измерения; генератор внешний/внутренний; запрос разрешен/запрещен; коэффициент деления частоты $K = 64$; $K = 32$; $K = 16$ или $K = 8$.

В исходном состоянии схемы, при запрещенном пуске программы разрешено выполнение команд F/0/ и F/16/. Код субадреса A/0 ÷ 15/ заносится в регистр-счетчик 11, по разрешенному стробу F/0/S1 либо F/16/S1, и выбирается ячейка ПЗУ 12, содержащая адрес ОЗУ. Код данных с шин W передается через мультиплексор 3 /при выключенном ПЗУ 13/ и записывается в адресуемую ячейку ОЗУ 5, по разрешенному стробу F/16/S2. Код данных из аналогично выбранной ячейки ОЗУ 5 проходит на шины R по сигналу F/0/. При этом блокирована работа делителя 15, на вход которого следуют импульсы подключенного генератора.

При разрешенном пуске программы первый импульс с выхода делителя 15 включает триггеры режима и цикла /ТР и ТЦ/, подтверждает сброс триггера сигнала запроса /ТС/. Сигнал ТЦ запрещает строб F/17/S1 и разрешает выбор ячеек ПЗУ 13. Сигнал ТР запускает цикл работы АЦП 2 и одновибратор измерителя /16/ и разрешает отсчет тактовых импульсов в счетчике 11. Последовательно выбираемые ячейки ПЗУ 12 и 13 содержат программируемые адреса ОЗУ 4, 5 и входов мультиплексора 3, сигналы выбора ОЗУ 4, записи в ОЗУ 4, 5 и разрешения записи в регистры. Последние сигналы разрешают запуск задержанными тактовыми импульсами трех одновибраторов, формирующих задержанные стробы для занесения кодов сумматора 6 и ОЗУ 5 в регистры 7 и 8, сигнала переноса /P₀/ сумматора 6 в триггер признака /ТП/. Когда в счетчике 11 устанавливается код "17", срабатывает одновибратор сброса ТР. Второй импульс делителя 15 снова включает ТР. В режимах 1 и 2 строб занесения в регистр 8 проходит в зависимости от значения старших разрядов счетчика 11, кода ОЗУ 5 и признака ТП /соответственно P₄, P₁₂ и P₀/ . Когда в счетчике 11 устанавливается код "15", снова сбрасывается ТР, затем срабатывает одновибратор сброса ТЦ и включается ТС. Установка счетчика 11 в исходное состояние выполняется также по F/0/A/15/ или F/16/A/15/. Сформированный при включении питания блока одиночный импульс и стробы Z·S2 используются для сброса регистра 8 и регистра 14, триггеров ТР, ТЦ и ТС. Для рассмот-

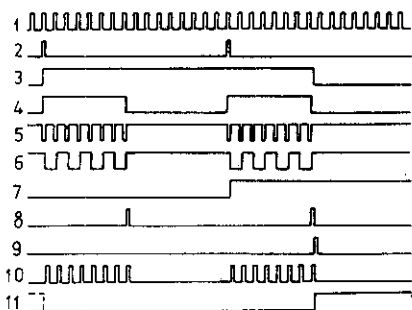


Рис. 3

ренных режимов цикла программы показаны на рис. 3 последовательности сигналов: 1 - генератора, 2 - делителя частоты при $K = 16$, 3 и 4 - триггеров ТЦ и ТР, 5 - тактовой серии, 6 и 7 - триггеров младшего и старшего разрядов счетчика, 8 и 9 - одновибраторов сброса ТР и ТЦ, 10 - задержанного занесения кодов, 11 - триггера ТС. Длительности режимов, цикла и его периода повторения определяются числом импульсов генератора - соответственно 8, $16 \div 80$ и $16 \div 128$.

Цикл программы стабилизации выполняется за 16 тактов: включение режима 1 и запуск АЦП; подключение АЦП и запись значения T_T из АЦП в ОЗУ 4 и 5; чтение кодов T_T и T_{II} из ОЗУ 4 и 5, подключение инверсного выхода регистра, сравнение кодов $|T_{II} - T_T|$ и занесение переноса P_0 в ТП; чтение T_T и T_Y из ОЗУ 4 и 5, вычисление рассогласования $T_Y - T_T = T_{YT}$ и занесение в регистр; чтение T_{YT} и T_K из регистра, ОЗУ 4 и 5, вычисление регулирующей величины $T_p = T_{YT} + T_K$ и занесение в регистр; запись T_p из регистра в ОЗУ 5; занесение T_p из ОЗУ 5 в регистр ЦАП, если $P_0 = 1$ и $P12 = 0$; занесение T_T из ОЗУ 5 в регистр; включение режима 2 и запуск АЦП, запись T_T из регистра в ОЗУ 4 и 5; подключение АЦП и запись нового значения T_T^I в ОЗУ 5; чтение T_T и T_T^I из ОЗУ 4 и 5, подключение регистра, вычисление скорости $E_T = T_T^I - T_T$ и запись в регистр; запись E_T из регистра в ОЗУ 4 и 5; чтение E_T и E_Y из ОЗУ 4 и 5, вычисление рассогласования $E_Y - E_T = E_{YT}$ и занесение в регистр; чтение E_{YT} и E_K из регистра, ОЗУ 4 и 5, вычисление регулирующей величины $E_p = E_{YT} + E_K$ и занесение в регистр; запись E_p из регистра в ОЗУ 5; занесение E_p из ОЗУ 5 в ЦАП, если $P_0 = 0$, $P12 = 0$, т.е. нет признаков перехода к другому режиму и нарушений условий знака и формата. Длительность такта и цикла АЦП /30 мкс/, период повторения циклов программы /0,5 ÷ ÷ 4 мс/ позволяют использовать ПРТС при достаточно быстрых процессах. Программа стабилизации занимает половину адресов ПЗУ и ОЗУ. Остальные адреса ПЗУ доступны при кодах статуса "Программа измерения".

Аналоговые схемы ПРТС построены на основе НП с дифференциальным изолированным входом /3 операционных усилителя/ /3/, АЦП /5/ и ЦАП с выходным нормирующим усилителем /2/. С учетом сигналов НП /0 ÷ 100 мВ при усилении 100, смещении нулевого уровня 10-100 мкВ, дрейфе 5-10 мкВ/°С, входном сопротивлении 1-10 МОм/ можно работать при необходимом усилении с различны-

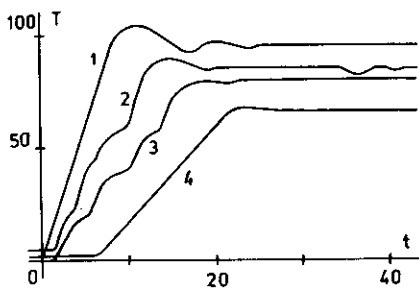


Рис. 4

ми датчиками для различных диапазонов температур /например, диапазонов $0 \div 100^{\circ}\text{C}$; $100 \div 1000^{\circ}\text{C}$ /. Предусмотрены точная подстройка диапазона сигналов и коррекция погрешностей преобразования, смещений шкалы до $0,1 - 0,3\%$. При необходимости также используется контрольный 12-разрядный измеритель /3,4/ с целью программной коррекции результатов измерений блока ПРТС.

При испытаниях блока вместе с полупроводниковым датчиком /термодиод, КД102А, усиление НП и ЦАП - 50 и 20, частота тактов 100 Гц и $K = 32$ /, модифицированным источником БП-6-25 с коэффициентом передачи 3 А/В и нагревателем термостата в диапазоне $20 \div 100^{\circ}\text{C}$ наблюдаемый коэффициент стабилизации температур - ~ 100 . При изменениях температуры внешней среды на 14°C нестабильность температуры внутри термостата не превышала $0,16^{\circ}\text{C}$. На рис. 4 приведены регистрируемые характерные графики процессов регулирования /относительный рост температуры $T \sim 100\%$, время $t = 0 \div 40$ мин/: 1 и 4 - режимы стабилизации скорости, 2 и 3 - режимы стабилизации температуры. Личейный рост температуры 1 и 4 при $T_{\text{п}} \leq 0,96 T_{\text{у}}$ может переходить в плавное установление ее величины, без перегрева образца. Иллюстрируется влияние выбора шагов /до 5°C / и времени изменения $T_{\text{у}}$ на длительность установления 2 и 3 и возникающее рассогласование, перерегулирование, а также кратковременное изменение температуры 2 при быстром снижении температуры среды на 14°C .

Длительная работа блока ПРТС с удаленным на 10-15 м термостатом и термометром сопротивления ТМ 006-02 /4,22 \div 55,93 Ом в диапазоне от -196 до $+200^{\circ}\text{C}$ /, а также термопарой, медь-константан, $40 \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$, при усилении НП - 200 и 1000, проверена в условиях эксперимента на установке ДН-2, где при исследованиях липид-белковых образцов с помощью дифракции нейтронов /1/ качество регулирования с шагом $1-10^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $20 \div 100^{\circ}\text{C}$ характеризуется погрешностью $0,3^{\circ}\text{C}$ при времени установления температуры 10 мин и неизменном знаке скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gordeliy V.I., Klose G. - JINR, E14-89-69, Dubna, 1989.
2. Замрий В.Н., Роганов А.Б. - ОИЯИ, 13-87-160, Дубна, 1987.

3. Замрий В.Н., Роганов А.Б. - ОИЯИ, 13-86-106, Дубна, 1986.
4. Гуляев В.А., Замрий В.Н., Иванов В.С. - ОИЯИ, 10-11940, Дубна, 1978.
5. Алексенко А.Г. и др. - Применение прецизионных аналоговых микросхем. М.: Радио и связь, 1985, с.84.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 мая 1989 года.