

## МИКРОТЕРМОСТАТ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

Р. Г. СИМОНЯН

Описывается новый способ установления термодатчика относительно нагревательного элемента. Рассмотрен характер распространения тепла от источника к термодатчику. Описана конструкция экспериментального термостата со схемой пропорционального регулятора температуры, обеспечивающего стабильность лучше, чем  $0,02^{\circ}\text{C}$ .

Для термостатирования разных узлов радиоэлектронной аппаратуры (кварцевые резонаторы, колебательные контуры стабильных генераторов и фильтров, стабильные усилители и источники питания на полупроводниковых приборах) разработано целое семейство термостатов.

Самое широкое применение получили пропорциональные и двухпозиционные регуляторы.

В качестве нагревательного элемента применяется отдельный резистор [1, 2, 3, 4] или же транзистор выходной ступени усилителя рассогласования [5, 6, 7]. Существующие системы с пропорциональной регулировкой имеют точность поддержания температуры от  $0,2^{\circ}$  до  $0,5^{\circ}\text{C}$  [2, 7, 8, 9], а двухпозиционные: от  $0,01^{\circ}$  до  $0,1^{\circ}\text{C}$  [10, 11, 12].

Такое различие объясняется тем, что в системах с пропорциональной регулировкой при увеличении коэффициента усиления усилителя рассогласования для получения повышенных точностей в системе начинаются автоколебательные процессы. Чем больше время прохождения тепла от нагревателя к термодатчику, тем ниже частота автоколебательного процесса и труднее ее устранить. Поэтому стараются по возможности уменьшить вышеупомянутое время.

Например, в [8] термодатчик-микротранзистор непосредственно приклеен к нагревателю, а в [13] нагреватель и термодатчик-термистор помещены в жидкую ванну. Свообразным является решение в [14], где термодатчик вставляется в резистор, который является частью подогревателя и рассеивает 0,002 часть общей мощности. Резистор расположен рядом с основной частью подогревателя, внутри которого вставляется термостатируемый объект.

В данной работе за счет специального расположения термодатчика значительно увеличена точность поддержания температуры в пропорциональном регуляторе.

### Описание системы

Предлагаемая система состоит из транзистора и припаянного к нему термодатчика (рис. 1а). Такую систему можно расчленить на следующие основные узлы:

- а) полупроводниковый кристалл 1, который является сосредоточенным источником тепла,  
 б) металлическая (медная) подложка 2, которая является теплопроводящим элементом от источника к термодатчику 3,  
 в) камера, где помещаются объекты термостатирования (показана пунктирной линией).

Для выявления поведения такой системы с точки зрения автома-

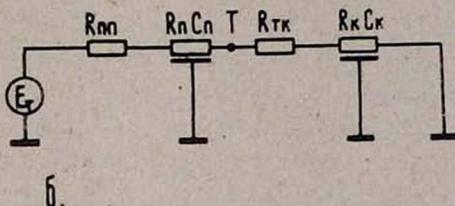
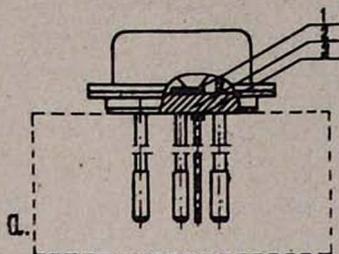


Рис. 1. Конструкция микротермостата с паяным контактом (а) и его электрическая эквивалентная схема (б).

тического регулирования температуры камеры отметим, что закон распространения тепла от кристалла через подложку аналогичен закону распространения электромагнитных волн, и, следовательно, для бегущих по теплопроводнику тепловых волн справедливо уравнение [15]

$$T(x, t) = T_1 e^{-ax} \cdot e^{j(\omega t - \beta x)}, \quad (1)$$

где  $x$  — расстояние от источника тепла,

$a$  — постоянная затухания, которая определяется физическими параметрами подложки,

$\omega$  — круговая частота волны,

$\beta$  — коэффициент фазы тепловой волны,

$T_1$  — температура перехода кристалл—подложка в точке, соответствующей условию  $X=0$ .

Электрическая эквивалентная схема вышеописанной системы показана на рис. 1б, где введены следующие обозначения:

$R_{nn}$  — тепловое сопротивление между коллекторным переходом и подложкой,

$R_n, C_n$  — распределенное тепловое сопротивление и тепловая емкость подложки.

$R_{T_k}$  — тепловое сопротивление перехода подложка-камера,  
 $R_k, C_k$  — распределенное тепловое сопротивление и тепловая емкость  
 камеры.

Источник тепловой энергии показан как эквивалентная электродвижущая сила  $E_T$  и является тепловыделением коллекторного перехода. Влиянием эмиттерного перехода из-за малости выделенного тепла можно пренебречь.

Буквой  $T$  показано местонахождение термодатчика. Влияние термодатчика на поведение системы не учитывается ввиду малого теплового сопротивления перехода подложка-термодатчик и малого объема самого термодатчика.

Из вышеуказанных элементов самое существенное значение имеют элементы, находящиеся левее точки  $T$ , так как остальные узлы не входят в замкнутую цепь автоматического регулирования температуры в камере. Остальные элементы влияют на время подгонки температурного режима в камере. Любое отражение тепловых волн от стен камеры и от несогласованных тепловых переходов принимается термодатчиком и, как сигнал разбаланса, учитывается цепью обратной связи.

Для замкнутой системы автоматического регулирования температуры, если учесть, что усилитель практически безынерционный, единственной фазосдвигающей частью является участок между коллекторным переходом и термодатчиком.

Для аналогичной системы выведена формула для частоты автоколебательного процесса [15]

$$f = \frac{k}{\pi \rho c} \cdot \left[ \frac{3\pi}{4dn} \right]^2, \quad (2)$$

где  $k, \rho, c$  — теплопроводность, плотность и удельная теплоемкость подложки соответственно. Зная геометрические размеры подложки, физические параметры его материала, можно рассчитать все необходимые параметры замкнутой системы автоматического регулятора температуры. Отметим, что наличие у усилителя дополнительного фазового сдвига приводит к тому, что частота автоколебаний будет несколько отличаться от рассчитанной по формуле (2).

### Экспериментальная проверка

Для оценки возможностей нового способа крепления термодатчика был изготовлен опытный термостат на основе кремниевого  $n-p-n$ -триода П701А (толщина подложки  $d_n = 3,5$  мм, расчетная частота генераций около 25 герц).

Посредством легкоплавкого припоя термодатчик (термистор типа ТОС-3) припаян к корпусу транзистора, напротив кристалла. Полученная система посредством фланца прикреплена к термокамере с внутренними размерами  $50 \times 50 \times 20$  мм. Для хорошего теплового контакта между камерой и транзистором ставится тонкая свинцовая прокладка. Тер-

мокамера выполнена из хорошего теплопроводника (медь, толщиной 2 мм) для создания малого теплового градиента по стенкам и помещена в теплоизолирующую коробку из пенополистирола.

Принципиальная схема пропорционального регулятора температуры показана на рис. 2. На транзисторах  $T_1$  и  $T_2$  собрана балансная схема сравнения [16].  $T_3$  включен в режиме эмиттерного повторителя,

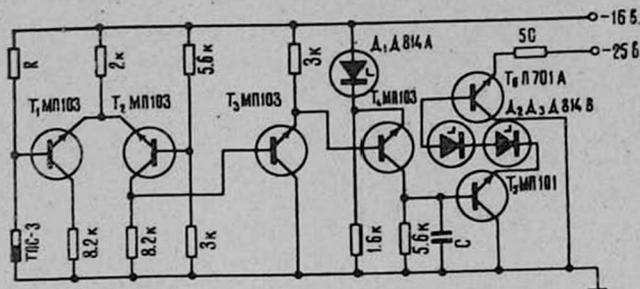


Рис. 2. Принципиальная схема пропорционального регулятора температуры.

$T_4$  является усилителем напряжения, а  $T_5$  согласует малое входное сопротивление мощного транзистора  $T_6$  с выходным сопротивлением каскада на транзисторе  $T_4$ . Диод  $D_1$  служит для создания эмиттерного смещения транзистора  $T_4$ , а  $D_2$  и  $D_3$  согласуют потенциал базы  $T_6$  с эмиттерным потенциалом транзистора  $T_5$ .

Емкость конденсатора  $C$  выбирается экспериментальным путем, увеличением ее до тех пор, пока не прекратится генерация. Резистор

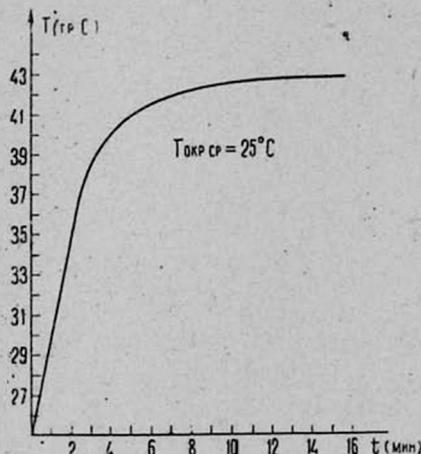


Рис. 3. Кривая температуры в термостате в течение первых 15 минут работы.

$R$  предназначен для установления необходимой температуры в камере.

Кривая температуры в термостате в течение первых 15 минут работы показана на рис. 3. Как видно из кривой, сперва температура в камере линейно нарастает (в первые три минуты) после включения

(ток через транзистор  $T_0$  постоянен и ограничивается 50-омным резистором в цепи эмиттера). Потом происходит экспоненциальное уменьшение тока до величины, которая определяется теплоизолирующими свойствами пенополистирола, его толщиной, температурным перепадом окружающая среда—камера и поверхностью камеры.

Время полного установления режимов составило примерно 20 мин. Точность поддержания температуры получалась лучше, чем  $0,02^\circ\text{C}$ . Отметим тот факт, что для выявления дрейфа температуры применен специальный высокочувствительный термометр, разработанный в Институте радиофизики и электроники АН АрмССР. В термометре в качестве термодатчика применен кремниевый диод. Цена деления термометра составляет  $0,01^\circ\text{C}$ , абсолютная ошибка составляет  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  в диапазоне температур  $0-100^\circ\text{C}$ . Термометр проверен ртутным термометром с абсолютной точностью показаний  $0,1^\circ\text{C}$ .

Для питания усилительной части применен стабильный источник на 16 вольт, а для питания выходного транзистора—25-вольтный источник. При питании от одного источника наблюдались релаксационные колебания из-за обратной связи через внутреннее сопротивление источника питания.

Для обеспечения более высокой стабильности, схема сравнения помещена в термостат. Потребляемая мощность схемы при температуре окружающей среды  $18^\circ\text{C}$  около 2 ватт (температура в камере  $43,2^\circ\text{C}$ , согласно электронному термометру).

В заключение отметим, что можно значительно расширить диапазон температуры термостатируемых объемов вышеописанных термостатов, применяя охлаждающие приборы, например, полупроводниковые холодильники в качестве первой ступени стабилизации температуры с двухпозиционным регулятором, а в качестве второй ступени вышеописанный термостат. Такое сочетание вполне оправдано, если учесть высокий КПД и малогабаритность термостата.

Применение непрерывно циркулирующего жидкого носителя тепла дает возможность изготовить высокостабильные термостаты для больших объемов.

Практически без охлаждающих приборов можно изготовить термостаты в диапазоне температур

$$T_{\text{макс. окр.}} + (10+15)^\circ\text{C}, T_0, T_{\text{пер.}} - 10^\circ\text{C}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{макс. окр.}}$  — максимальная температура окружающей среды,

$T_0$  — температура термостатируемого объекта,

$T_{\text{пер.}}$  — предельная температура перехода регулирующего транзистора.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д. Е. Лаплант, Электроника, 24, 20 (1966).
2. Дж. Д. Г. Линдсей, ПНИ, 9, 83 (1966).
3. Дж. Маркус, Применение электронной автоматики, М., ИЛ, 1962.
4. Дж. Карролл, Полупроводниковые схемы для новой техники, М., „Мир“, 1964.
5. Г. С. Зиновьев, В. Н. Михайлов, ПТЭ, 1, 188 (1964).
6. Ю. В. Визир, А. Г. Шкуренко, Изм. Тех., 6, 88 (1966).
7. А. Т. Дюжин, В. М. Смирнов, Изм. Тех., 6, 93 (1966).
8. С. Гринблат, Электроника, 28, 28 (1964).
9. Е. А. Шорников, Электронные приборы для контроля и автоматического регулирования температуры, Э, М.—Л., 1963.
10. Ю. В. Визир, А. Н. Задорожный, Авт. свид., № 161583, Бюллет. изобр. 7, 87 (1963).
11. Г. Ферри, Электроника, 26, 15 (1964).
12. Г. Г. П. Кенке, Электроника, 1, 15 (1966).
13. Ван дер Гир, Электроника, 12, 16 (1966).
14. J. V. Coodacre, The Marcony Review, 161, 89 (1966).
15. В. Т. Матцен, Р. А. Мидоуз, Электроника, 21, 3 (1964).
16. С. Д. Додик, Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока, М., Сов. радио, 1962.

## ԲԱՐՁՐԱՅՎԱՄ ՃՇՏՈՒԹՅԱՄԲ ԶԵՐՄԱԿԱՏՈՒՆԱՅՈՒՑՈՒՑԻՉ

## Ռ. Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

Նկարագրված է շերմատվիչի ամրացման նոր և շերմության աղբյուրի նկատմամբ: Դիտարկված է շերմության աղբյուրից դեպի շերմազգայուն տվիչը: Տրված է փորձնական շերմակայունացուցիչի կառուցվածքը և համեմատական կարգավորիչի սկզբունքային սխեման, որն ապահովում է 0,02-ից ավելի լավ կայունացում:

## MICROTHERMOSTATE OF HIGHER PRECISION

## R. H. SIMONIAN

A new method of setting up a temperature-sensitive element (thermistor) with respect to a heater (transistor) is described.

The character of transferring heat from source to the temperature sensitive element is discussed. The design of the experimental thermostate with a proportional regulator of temperature securing stability better than 0,02 C is suggested.