

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.373.826.038

В. А. Жмудь, И. В. Падюков

(Новосибирск)

ПРЕЦИЗИОННАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА
СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Описана система термостабилизации теплопроводящего объекта объемом до 20 см^3 (твердотельного или диодного лазера, кристаллических нелинейных элементов и т. д.), предназначенная для применения в физических экспериментах по изучению свойств полупроводниковых лазеров. В системе реализуются режимы автономной работы и управления от ПЭВМ. Благодаря применению современной элементной базы, обеспечивается точность стабилизации температуры около $0,02^\circ\text{C}$.

Создание суперстабильных источников излучения [1] на основе полупроводниковых лазеров [2] требует решения задач прецизионного управления температурой, поскольку, согласно [3], зависимость длины волны излучения от ее приращения для инжекционного лазера оценивается величиной

$$\partial\lambda/\partial t^\circ = 0,05 \text{ нм/К.}$$

Зарубежной промышленностью выпускаются специализированные контроллеры для управления током и температурой полупроводниковых лазеров [4], однако эти устройства, как правило, ориентированы на поддержание температуры конкретного типа полупроводникового лазера в определенном диапазоне и весьма дороги. Эти серийно изготавливаемые устройства не позволяют достичь требуемых предельных параметров в конкретной задаче, поэтому для прецизионных физических измерений с применением полупроводниковых и твердотельных лазеров разрабатываются специальные системы термостабилизации [5—7].

Аналоговая техника позволяет решить задачу термостабилизации с наименьшими затратами при требуемой точности системы в пределах $\pm 0,1^\circ\text{C}$ [8]. Для достижения больших точностей необходим переход на цифровую технику, который оправдан также с позиции повышения надежности и снижения стоимости устройства и позволяет перепрограммировать динамические свойства системы для обеспечения устойчивости с учетом реального быстродействия микрохолодильника, зависящего от теплоемкости объекта. Эксплуатация систем термостабилизации в условиях сильных наводок от импульсных источников питания лазеров накладывает ограничения на выбор схемы термостабилизации. Возникает необходимость до минимума уменьшать длину проводников от датчика, применять интегрирующие АЦП, вводить гальваническую развязку входных цепей. Появление на рынке АЦП/ЦАП в виде PC-карт позволяет создавать цифровые системы стабилизации физических величин, измеряемых датчиками электрического типа, но для создания системы требуется дополнить ПЭВМ, кроме такой карты, датчиком температуры, сопрягающим устройством (схемой питания и усилителем), исполнительным устройством (усилителем мощности или ШИМ-модулятором) и микрохолодильником.

Получаемая система не допускает автономной работы и в силу значительных габаритов не может быть размещена в непосредственной близости от объекта, передача аналогового сигнала по длинным (более 1 м) проводам ограничивает точность аналого-цифрового преобразования, а отсутствие гальванической развязки по аналоговым входам делает ПЭВМ уязвимой. В связи с этим разработка малогабаритного автономного цифрового устройства термостабилизации с повышенными точностными характеристиками является актуальной задачей при создании лазерных спектрометров и стандартов частоты на их основе.

Объект (полупроводниковый лазерный излучатель, твердотельный лазер, поглощающая ячейка или нелинейный оптический элемент), как правило, обладает высокой теплопроводностью, что позволяет применять конструкцию, в которой дополнительная теплопроводящая оболочка обеспечивает тепловой контакт этого объекта и датчика температуры с рабочей гранью микрохолодильника, вся конструкция теплоизолирована с помощью кожуха, а излишки тепла отводятся со второй поверхности холодильника через радиатор, охлаждаемый воздухом или водой. Применение двухступенчатой конструкции (с термостатированием внешнего теплопроводного экрана) невозможно в связи с требованием малых габаритов.

С целью прецизионного управления температурой таких объектов разработана универсальная система, обеспечивающая измерение температуры с предельно достижимым для данной конструкции разрешением ($0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$) на основе новейшей элементной базы.

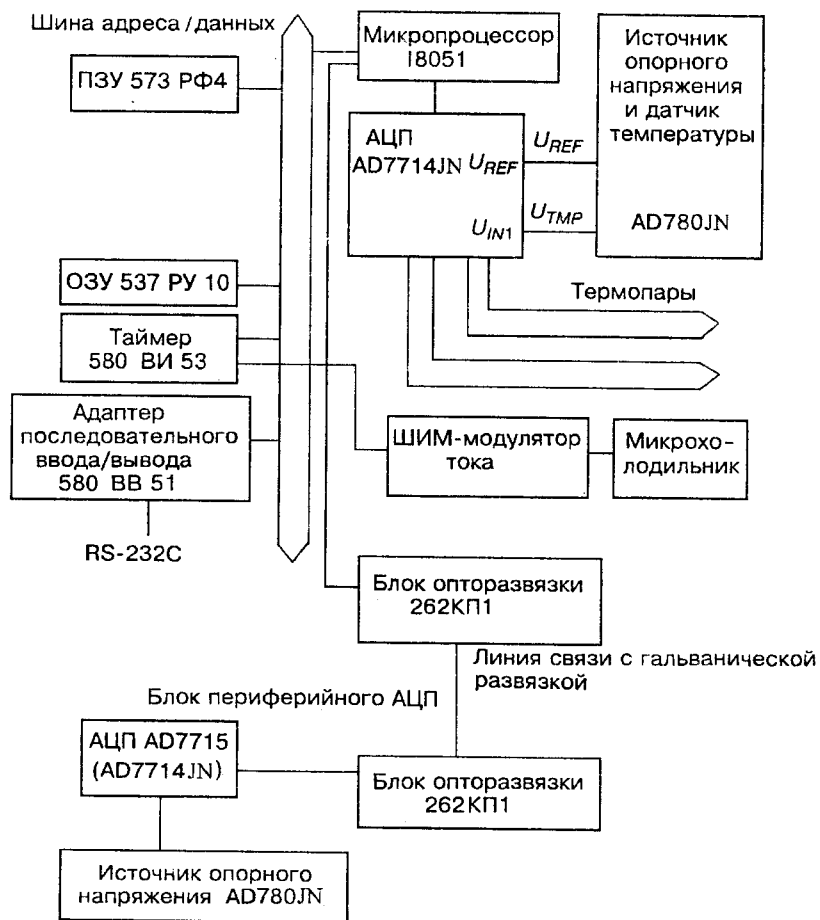


Рис. 1. Функциональная схема системы

точности) [9]. Это позволило достичь разрешения по температуре с шагом менее 0,001 °С в диапазоне -40 ÷ +40 °С.

Интеллектуальные возможности системы реализуются 8-разрядным микропроцессором 18051 (выбранным ввиду его низкой стоимости, малой потребляемой мощности, наличия большого количества линий ввода/вывода и возможности сопряжения с АЦП типа AD7715 без дополнительных элементов), БИС ПЗУ 573РФ4 объемом 8 Кбит, ОЗУ данных 537РУ10 объемом 2 Кбит, таймером 580ВИ53, адаптером последовательного ввода/вывода 580ВВ51. Информационный обмен с внешней ЭВМ ведется по последовательному каналу.

Дополнительные функции обеспечиваются возможностью подключения блока периферийного АЦП, который используется в том случае, если система термостабилизации располагается на значительном удалении от датчика температуры. В непосредственной близости в этом случае размещается только блок, габариты которого не превышают 50 × 70 × 10 мм. Возможны два варианта его подключения. В первом случае АЦП и источник опорного напряжения устанавливаются на плату процессора. Вход АЦП при этом подключен к одному из трех дифференциальных аналоговых входов (при необходимости увеличения числа каналов может использоваться внешний коммутатор на КР590КН3). Второй вариант включения состоит в использовании блока периферийного АЦП, связанного по линии длиной до 3 м, использующей последовательную передачу данных. Обеспечивается гальваническая развязка, уменьшающая наводки на входные цепи для достижения максимальной точности измерений.

Встроенный адаптер связи позволяет организовать обмен с внешней ЭВМ по последовательному каналу RS-232С. ЭВМ может получить данные о температуре объекта, взять функции регулятора на себя, изменить режим работы системы. Температуру уставки можно задавать от внешней ЭВМ и с передней панели управления.

В качестве исполнительного устройства использован микрохолодильник на эффекте Пельтье, совмещающий функции нагревателя и холодильника. Источник тока микрохолодильника выполнен на основе широтно-импульсного преобразователя, что позволяет достичь КПД около 80 % и при этом ограничиться одним источником мощностью до 10 Вт. Блок ШИМ-регулятора преобразует сигнал, поступающий от блока микропроцессора, в выходное напряжение, подаваемое на нагреватель либо термохолодильник. Поскольку необходимо управлять не только величиной, но и направлением выходного тока, оконечный каскад ШИМ-регулятора выполнен по мостовой схеме. На вход ШИМ-регулятора подается сигнал частотой 1 кГц, скважность которого задается микропроцессором. Длительность низкого уровня сигнала изменяется с квантом 0,4 мкс. Данные, полученные от датчика температуры, обрабатываются микропроцессором и преобразуются в код управления — число квантов по 0,4 мкс, соответствующих длительности низкого уровня входного сигнала ШИМ-регулятора. Таким образом, код от 0 до 2500 управляет длительностью отпирания транзисторов и преобразуется в величину среднего выходного напряжения. Направление выходного тока зависит от знака кода управления.

2. Оценка точности системы. Оценка точности полупроводниковых датчиков проводилась сопоставлением с результатами измерений с помощью платиновых терморезистивных датчиков, паспортизованных заводом-изготовителем с шагом 0,02 °С с точностью 0,005 °С. Промежуточные значения могут быть получены с учетом известной зависимости сопротивления платиновых терморезисторов в диапазоне температур 0 ÷ +650 °С, которая выражается соотношением [10]

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_0 — сопротивление при температуре 0 °С; t — температура (°С). Для платиновой проволоки, применяемой в промышленных термометрах сопротивления, коэффициенты известны с высокой точностью: $A = 3,96847 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$; $B = -5,847 \cdot 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$.

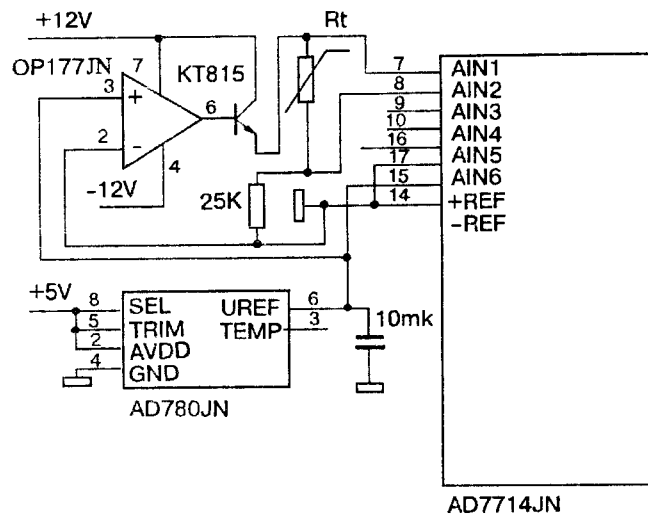


Рис. 3. Схема источника тока для термометра сопротивления R_t и его сопряжения с АЦП

Предполагаем на основе этих исходных данных, что с платиновым термометром сопротивления достигнута долговременная воспроизводимость рабочей точки термостатирования на уровне погрешности АЦП. Схема включения датчика приведена на рис. 3. На плате имеется посадочное место под источник тока, построенный на ОУ OP177JN, и инструментальный усилитель на таком же ОУ, куда впаиваются соответствующие узлы. Недостатком имеющихся серийных датчиков этого типа являются габариты (длина 3 см), что не позволяет применять их во всех установках.

Дальнейшее повышение точности измерения сигнала ошибки, по-видимому, нецелесообразно вследствие неравномерности температуры в пространстве объекта (градиент температуры возникает, поскольку одна грань охлаждается микрохолодильником, а выделение тепла происходит локально в фокусе оптического излучения). Универсальность системы состоит в возможности использования различных типов датчиков. Для более грубых полупроводниковых или пленочных датчиков точность определяется стабильностью их градуировочных характеристик, так как погрешность преобразования в этом случае пренебрежимо мала в сравнении с воспроизводимостью температурных отсчетов. Система позволяет программно управлять температурой по стандартному порту ПЭВМ.

3. Конструкция. Устройство при габаритах $100 \times 220 \times 160$ мм состоит из четырех блоков, выполненных в виде отдельных плат в конструктиве «Евро-механика»: индикации, процессора, ШИМ-регулятора и периферийного АЦП. Органы управления на передней панели обеспечивают возможность ручного ввода температуры уставки, определяют различные режимы вывода данных на индикатор.

4. Результаты испытаний. С датчиком на микросхеме AD780JN система обеспечивает стабилизацию температуры полупроводникового лазера (излучающего 100 мВт оптической мощности при потреблении 1,5 Вт электрической мощности) в диапазоне $-15 \div +35$ °С (выше не требуется по условиям эксперимента) с точностью $\pm 0,01$ °С при температуре окружающей среды 20 ± 3 °С.

Датчики AD590JN, AD592JN применялись для создания системы стабилизации полупроводникового лазерного излучателя, используемого для накачки твердотельного лазера и термостатирования кристалла КТР.

С термопарой в качестве датчика температуры обеспечивается стабилизация Mg-ячейки при рабочей температуре около $+600$ °С. Точность стабилизации температуры при этом около $0,02$ °С. Длительность переходного про-

цесса в зависимости от теплоемкости объекта при этом составляет от 5 до 10 мин, что отвечает требованиям эксперимента. Дальнейшее повышение точности требует оптимизации алгоритма управления с учетом динамических свойств объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vagaev S. N., Belkin A. M., Dychkov A. S. et al. Ultrastable, compact diode-pumped Nd : YAG-laser for precision measurements // QELS. 1995. P. 172.
2. Физика полупроводниковых лазеров /Под ред. Х. Хакумы. М.: Мир, 1989.
3. Баркан И. Б., Павленко Л. К., Павлов В. Е. Особенности спектральной перестройки полупроводникового лазера ИЛПН-102 // Перестраиваемые лазеры и их применение: Сб. научн. трудов АН СССР /Под ред. В. П. Чеботаева. Новосибирск, 1988.
4. Spectra Diode Labs // Product Catalog. USA, San Jose, 1992.
5. DeVoe R. G., Brewer R. G. Laser-frequency division and stabilization // Phys. Rev. A. 1984. P. 2827.
6. Bradley C. C., Chen J., Hulet R. Q. Instrumentation for the stable operation of laser diodes // Rev. Sci. Instrum. 1990. 61, N 8. P. 2097.
7. McAdam K. B., Steinbach A., Wieman C. A narrow-band tunable diode laser system with grating feedback, and a saturated absorption spectrometer for Cs and Rb // Am. J. Phys. 1992. 60, N 12.
8. Жмудь В. А., Столповский А. А. Устройство стабилизации режима работы полупроводникового лазера // Автометрия. 1988. № 2. С. 104.
9. Analog Devices, Inc.: Design-in Reference Manual: Data Converters, Amplifiers, Special Linear Products, Support Components, 1994.
10. Справочник по средствам автоматизации /Под ред. В. Э. Низз. И. В. Антика. М.: Энергоиздат, 1983.

Поступило в редакцию 28 ноября 1996 г.