

В. А. ЖМУДЬ, А. А. СТОЛПОВСКИЙ
(Новосибирск)

УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

(тока) и поэтому требуют специальной системы стабилизации выходных параметров.

Поскольку имеет место ярко выраженная зависимость мощности и длины волны излучения полупроводниковых лазеров от тока накачки и температуры кристалла, то, очевидно, меняя их должным образом, можно осуществить стабилизацию характеристик излучения [1–5]. На практике для устройств, в которых, паряду с воспроизводимостью длины волны излучения, требуется сохранение малогабаритности, как правило, применяется стабилизация только мощности излучения [6] либо одновременно добиваются постоянства и мощности излучения (или тока накачки), и температуры [7].

Известно [8], что вариации тока накачки порождают изменения не только мощности, но и частоты, диаграммы направленности и волнового фронта излучения. Поэтому применение отрицательной обратной связи, меняющей ток накачки в зависимости от интенсивности излучения, улучшает стабильность мощности, но ухудшает таковую для длины волны и искажает волновой фронт излучения.

Стабилизация одновременно и тока накачки, и температуры кристалла с точностью $\pm 0,001^\circ\text{C}$ позволяет получить относительную нестабильность длины волны не хуже 10^{-8} [5].

Устройство, стабилизирующее ток и температуру, разработано в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР. Его функциональная схема показана на рис. 1. Стабилизатор тока содержит последовательно соединенные таймер, источник напряжения и источник тока. Источник тока собран на основе операционного усилителя с полевым транзистором на выходе и с отрицательной обратной связью по току истока. Применение в такой схеме полевого транзистора, а не биполярного [7] позволило качественно стабилизировать ток стока, равный току истока, поскольку ток через затвор пренебрежимо мал. Источник напряжения вырабатывает опорное падение для источника тока. Поскольку ватт-амперные характеристики лазера существенно зависят от температуры кристалла, для предотвращения деградации по мощности требуется дополнительная цепь, осуществляющая задержку подачи питания на источник тока до момента выхода на заданный температурный режим (около двух минут). Эту роль выполняет таймер на микросхеме КР1006ВИ.

Стабилизация температуры осуществляется по сигналу температурной ошибки, вырабатываемому на выходе моста переменного тока. Этот мост содержит трансформатор Т1, термистор и эталонное сопротивление R_0 . Мост питается от задающего генератора синусоидальным напряжением 10 кГц. Сигнал рассогласования поступает через усилитель на демодулятор, с выхода которого напряжение, пропорциональное температурной ошибке, поступает через корректирующее устройство и усилитель мощности на микрохолодильник. Последний отводит тепло от кристалла или подводит его в зависимости от направления протекающего тока.

Принципиальные схемы стабилизаторов тока и температуры показаны на рис. 2 и 3 соответственно. В схеме (см. рис. 3) дополнительное питание ± 15 В, получаемое из стандартных ± 24 В с помощью стабилитронов (КС515А), не имеет принципиаль-

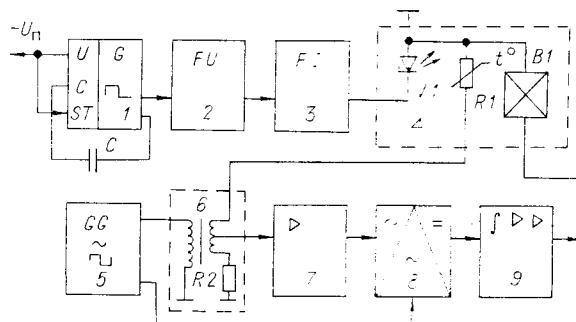


Рис. 1. Функциональная схема устройства:

1 — таймер, 2 — источник напряжения, 3 — источник тока, 4 — лазер (V_1) с термистором (R_1) и микрохолодильником (B_1) в одном корпусе; 5 — генератор, 6 — мост переменного тока, 7 — усилитель, 8 — демодулятор, 9 — корректирующий усилитель

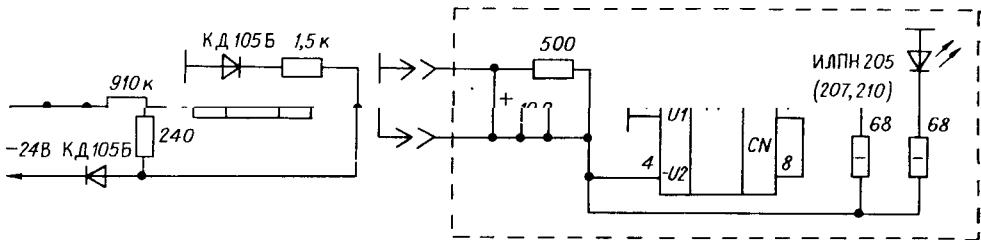


Рис. 2. Принципиальная схема стабилизатора тока накачки

ного значения и поэтому не показано. Описанное устройство испытывалось в термостате. Воспроизводимость длины волны при изменении температуры окружающей среды на $\pm 10^\circ\text{C}$ получалась не хуже 10^{-6} . Устройство выполнено в конструктиве стандарта КАМАК, что облегчает его тиражирование и применение.

Основными источниками погрешности стабилизации температуры являются: а) изменение сопротивления термистора за время эксплуатации; б) изменение опорного сопротивления; в) ошибка регулирования (статическая); г) дрейф операционного усилителя на выходе моста.

Погрешность за счет изменения термистора (ММТ-6) составляет

$$\delta_1 T^0 = \frac{\delta R_t}{\text{TKC}_t} \approx \frac{0,05}{0,05} = 1^\circ \text{C},$$

где δR_t — изменение сопротивления; TKC_t — температурный коэффициент термистора. Она вызовет вариацию по частоте за время эксплуатации $\delta f = 0,03$ нм. Изменение опорного сопротивления (СП5-20ТБ) составляет 0,2% в интервале температур 0—40°C (проверено экспериментально), соответствующее изменение температуры (кристалла) —

$$\delta_2 T^0 = \frac{\delta R_{\text{оп}}}{\text{TKC}_t} = \frac{0,002}{0,05} = 0,04^\circ \text{C}.$$

Погрешность, обусловленная статической ошибкой, может быть сделана сколь угодно малой повышением усиления в контуре управления с соответствующей коррекцией. Применение интегратора сводит эту ошибку к нулю. Влияние дрейфа пулья также может быть сколь угодно снижено за счет увеличения усиления в предварительном усилителе, поскольку в схеме применен мост на переменном токе. Погрешности, вызванные статической ошибкой и дрейфом аналогового усилителя (ОУ), не превышают 0,05°C. Общая температурная погрешность

$$\delta T^0 = \sqrt{(\delta_1 T)^2 + (\delta_2 T)^2 + (\delta_3 T)^2} = 1,002^\circ \text{C}.$$

Источниками погрешности в схеме стабилизации тока являются: а) нестабильность напряжения на стабилитроне; б) дрейф операционного усилителя; в) дрейф опорного резистора.

Для стабилитрона КС191Ф временная нестабильность [9] составляет $\Delta U_t = \pm 2 \text{ мВ}$ (т. е. $\pm 0,022\%$), а температурный коэффициент напряжения ТКН $= \pm 0,0005\%/\text{К}$. В диапазоне температур 0—40°C погрешность стабилизации напряжения равна

$$\Delta U_{\text{ст}} = \sqrt{(0,022)^2 + (0,0005 \cdot 40)^2} = 0,03\%.$$

В этом же температурном диапазоне дрейф ОУ К140УД7 достигает [10]

$$\Delta U_{\text{см}} = \frac{dU}{dT} \Delta T = 4 \cdot 40 = 160 \text{ мкВ},$$

что вызовет на опорном сопротивлении $R_{\text{оп}} = 34 \text{ Ом}$ изменение тока $\Delta I = \Delta U : R_{\text{оп}} \approx 4 \text{ мкА}$, т. е. $4 \cdot 10^{-3}\%$ от тока накачки ($I_n = 100 \text{ мА}$). Дрейф опорного резистора в данном диапазоне 0,08% (проверено экспериментально). Погрешность стабилизации тока не превышает величины

$$\delta I_n = \sqrt{0,03^2 + 0,004^2 + 0,08^2} = 0,086\%.$$

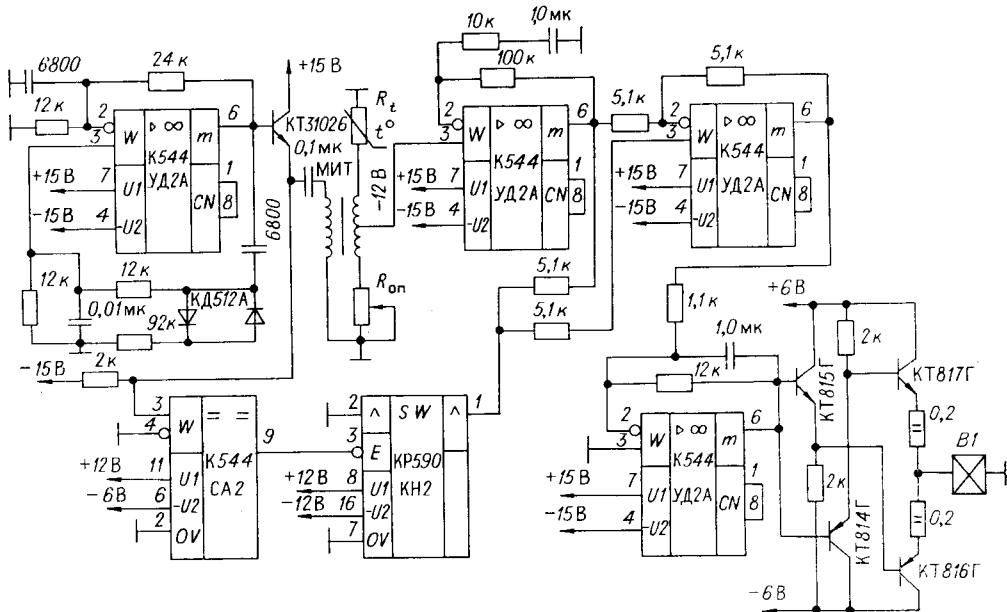


Рис. 3. Принципиальная схема стабилизатора температуры

Совершенствование устройств подобного типа может идти по пути миниатюризации (изготовление в виде специальной микросхемы) и функционального усложнения, т. е. применение, например, совместно обратных связей по частоте и мощности излучения или стабилизации других характеристик излучения, особенно важных в конкретных областях использования, а также перестройка этих параметров по заданной программе или в зависимости от условий работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nielses C. J., Jacobsen G. Frequency stabilization of single mode semiconductor lasers at 830 nm and 1,3 μ m // J. Opt. Commun.—1983.—N 4.—P. 122.
2. Yamaguchi Shizuo, Suzuki Masao. Frequency stabilization of diode lasers by use of the optogalvanic effect // Appl. Phys. Lett.—1982.—V. 41, N 7.—P. 597.
3. ICOC—ECOC 1985: 5th Int. Conf. Integr. Opt. and Opt. Fibre Commun: 11th Eur. Conf. Opt. Commun. Venezia, Oct. 1—4, 1985 // Techn. Dig.—Gerova.—1985.—V. 1.—P. 833—836.
4. Заявка № 60—120584 (Япония). Модуль инжекционного лазера со стабилизацией длины волны/Сигэфуми Масуда, Такэо Ивама, К. К. Фудзицу.—Опубл. 28.06.85.
5. Yamaguchi Shizou, Suzuki Masao. Frequency locking at an InGaAsP semiconductor lasers to the first overaction vibration-rotation lines of hydrogen fluoride // Appl. Phys. Lett.—1982.—V. 41(11).—P. 1034.
6. Дубницhev Ю. Н., Жмудь В. А., Столповский А. А., Павлов В. А. Применение полупроводникового лазера в когерентно-оптическом измерителе скорости // Автометрия.—1984.—№ 1.
7. Жмудь А. М., Дуб А. Д., Матыко Ю. В., Морозова Г. И. Миниатюрные лазерные излучатели ИЛПН // Радио.—1986.—№ 11.
8. Манько М. А., Махсудов Б. И., Фам Ван Хой. Изучение формы волнового фронта планарных полосковых AlAs/GaAs-гетеролазеров // Труды Физ. ин-та им. П. Н. Лебедева.—М., 1986.—Т. 166.
9. Баюков А. В., Гитцевич А. Б., Зайцев А. А. и др. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник/Под ред. Н. Н. Горюнова.—М.: Энергоиздат, 1982.
10. Нестеренко Б. К. Интегральные операционные усилители: Справочное пособие по применению.—М.: Энергоиздат, 1982.

Поступило в редакцию 28 мая 1987 г.