

временной диаграммы (работа с таймером, со стеками, с таблицами передач управления): $\rho_{\Pi}(C) = 1 - 400 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$

Второй вариант функционирования соответствует случаю, когда задачи запускаются последовательно друг за другом, а частота тактирования выбирается из условия выполнения ограничений на частоту инициализации задачи, обслуживающей самый быстрый канал. В нашем примере $C_{\max} = 140 \text{ Гц}$, $C_0 = MC_{\max} = 8 \cdot 140 =$

$$= 1120 \text{ Гц}, \rho_0 = C_{\max} \sum_{i=1}^M E\{\tau_i\} = 1,71, \text{ т. е. расчетная РТ оказывается выше ПНХ}$$

(см. рис. 3, РТ⁽²⁾). Загрузка ЦП рассматривалась на интервале $[t, t + 1/C_{\max}]$.

В третьем варианте порядок и частоты вызова задач задаются диспетчером по находящейся в памяти оптимальной циклограмме, представляющей собой определенным образом организованную последовательность адресов запуска задач. Циклограмма обеспечивает опрос каналов с частотами, максимально близкими к своим нижним границам, указанным в таблице. Оптимальная частота тактирования при условии минимума непроизводительных затрат равна $f_0^{\text{opt}} = 560 \text{ Гц}$. Приведем па-

раметры РТ-граммы. Применение оптимизационных методов для построения циклограмм позволяет получить РТ, в среднем на 15–20% более близкую к началу координат, чем при использовании традиционного метода «двоичных сеток», широко распространенного на практике.

Если к рассматриваемому ИВК подключить еще один такой же стенд с восьмью измерительными каналами, то РТ ИВК окажется за пределами рабочей области (см. рис. 3), т. е. ИВК будет неработоспособным. Положение можно исправить, если уменьшить суммарную частоту вызова задач либо сократить загрузку ЦП путем более тщательного программирования. Другой путь — поднятие ПНХ за счет реализации определенных функций монитора на микропроцессоре, работающем параллельно ЦП. Но предварительным расчетам такой шаг позволит уменьшить крутизну ПНХ более чем в 5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витих В. А., Цыбаев В. А. Нагрузочная характеристика как средство анализа ИВК.— В кн.: Тез. докл. I Международ. школы по автоматизации науч. исслед. Пушкино, 1982.
2. Феррари Д. Оценки производительности вычислительных систем/Пер. с англ. А. И. Горлина, Ю. Б. Котова, Л. В. Ухова; Под ред. В. В. Мартынова.— М.: Мир, 1981.

Поступило в редакцию 7 июля 1983 г.

УДК 621.378.336

С. П. БОРИСОВСКИЙ, А. В. КОЗЛОВ, П. С. КРЫЛОВ,
Л. Я. МАКОВЕЕВА, Е. Г. ЧУЛЯЕВА

(Рязань)

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОЧАСТОТНЫХ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ЛАЗЕРОВ

Нестабильность частоты лазерного излучения характеризуется среднеквадратическим относительным отклонением частоты [1]. Традиционный метод измерения частотной нестабильности (описанный, например, в [2]) заключается в измерении частоты биений между двумя идентичными лазерами с помощью частотомера. Затем данные статистически обрабатываются, вычисляется среднеквадратическое относительное отклонение. Определение относительной нестабильности частоты по дисперсии Аллена [3] в этом случае затруднено, так как для ее нахождения необходимо использовать смежные отсчеты частоты биений. Зависимость дисперсии Аллена от времени усреднения позволяет по наклону кривой $\langle \sigma^2(\tau) \rangle$ ($\langle \sigma^2(\tau) \rangle$ — дисперсия Аллена) судить о влиянии флуктуаций с различным спектром на стабильность частоты, тогда как метод, рассмотренный в работе [2], не дает возможности получить

тически все виды шумов, присутствующих в спектре излучения лазера и ухудшающих частотную стабильность, наиболее полно можно найти с помощью автокорреляционных функций, построенных по результатам измерения частоты биений.

В настоящей работе описывается установка для измерения частоты биений. По результатам измерений определены автокорреляционные функции и дисперсии Аллена.

Рассмотрим функциональную схему установки, представленную на рис. 1. Оптическая схема содержит опорный и испытуемый лазеры, лазер-гетеродин, согласующие оптические элементы. Смешанное излучение попадает на фотоприемные устройства 1 и 2, на выходе которых выделяются сигналы биений. С широкополосных усилителей (УЗ-28) 3, 4 сигналы биений в опорном канале подаются на частотомеры 5, 6, а в испытуемом канале — на частотомеры 7 и 8 (применяются частотомеры типа ЧЗ-38).

В систему регистрации информации входят коммутаторы 9 и 10, цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) фирмы «Zoran» 11 и 12, самописец 13, цифropечатающие устройства (ЦПУ) 14 и 15. Управление системой регистрации информации и частотомерами выполняется одним из коммутаторов — «ведущим»; другой коммутатор является при этом «ведомым» и управляется от первого. Сигналы управления вырабатываются синхронизатором «ведущего» коммутатора из сигнала опорной частоты 5 МГц, которая задается термостабилизированным кварцевым генератором одного из частотомеров. Синхронизатор «ведомого» коммутатора при этом отключается. Коммутатор производит запуск измерителей частоты, причем время окончания счета одного из частотомеров канала (опорного или испытуемого) совпадает с временем запуска другого для исключения «мертвого» времени. Кроме того, коммутатор осуществляет согласование логических уровней на информационных выходах измерителей частоты с входными уровнями цифropечатающего устройства и цифроаналогового преобразователя, а также коммутирует информацию с частотомеров для выдачи ее на ЦАП и ЦПУ.

Регистрация частоты биений обеспечивается в полосе до 50 МГц при времени усреднения от 0,001 до 10 с. Информация представляется как в аналоговой, так и в дискретной форме (через ЦАП на самописец или ЦПУ). Автокорреляционная функция флуктуаций частоты биений формируется из сигнала, поступающего на самописец. При этом коммутатор обеспечивает запуск измерителей частоты с временами усреднения 0,1; 1; 10 с. Запуск частотомеров осуществляется с периодом 0,2; 2; 20 с соответственно. Время усреднения ограничивается снизу временем восстановления частотомеров (~0,07 с). Для вычисления дисперсии Аллена используется цифровой канал. В этом случае коммутатор выполняет попарный поочередный запуск частотомеров при временах усреднения 1 мс ÷ 10 с. Следующий запуск измерителей частоты происходит после печати на ЦПУ результатов двух смежных измерений.

Погрешности, вносимые системой регистрации, определяются погрешностью частотомеров, а также разбросом задержки между приходом импульса запуска и началом работы частотомера, в результате чего может появиться перекрытие интервалов измерения или «мертвое» время. Погрешность, обусловленная различной задержкой на вентилях синхронизатора импульсов запуска измерителя частоты, не превышает 2—3 нс и во внимание не принимается.

Согласно [4], относительная погрешность измерения среднего за время счета значения δf не превосходит величины

$$\pm (|\delta_{\text{нв}}| + 1/f_{\text{изм}} t_{\text{сч}}),$$

где $\delta_{\text{нв}}$ — относительная погрешность частоты частотомера; $f_{\text{изм}}$ — значение измеряемой частоты; $t_{\text{сч}}$ — время счета. Относительная погрешность частоты после двух часов самопрогрева частотомера ЧЗ-38 составляет не более $1,5 \cdot 10^{-7}$ в течение одного месяца, $2,5 \cdot 10^{-7}$ в течение шести месяцев с момента установки частоты генератора.

При времени усреднения $\tau = 1$ мс и частоте биений $f_{\text{изм}} = 10$ МГц $\delta f = \pm 10^{-4}$. Для устранения погрешностей, связанных с различием между временами прихода импульсов запуска от синхронизатора и начала счета частотомеров, использовался кварцевый генератор одного из измерителей частоты. Остальные частотомеры работали в режиме внешней синхронизации. При этом различие времен задержки на счетчиках частотомеров не превышало нескольких десятков наносекунд и ввиду своей малости не учитывалось. С учетом погрешностей, вносимых системой регистрации, погрешность вычисления дисперсии Аллена составляет $4 \cdot 10^{-4}$ при частоте бие-

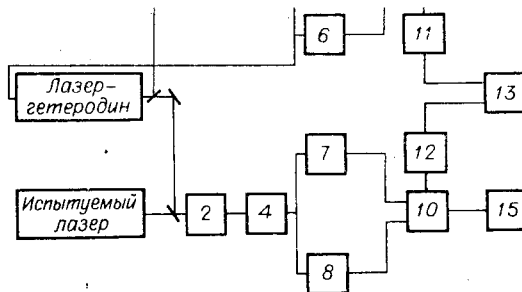


Рис. 1.

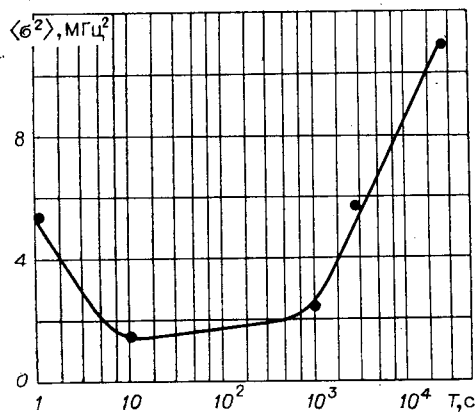


Рис. 2.

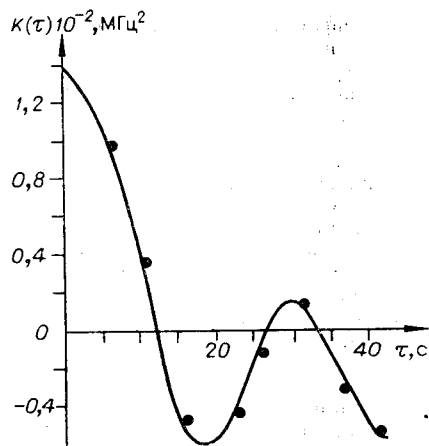


Рис. 3.

ний 10 МГц и временах усреднения $\tau = 1$ мс, а погрешность вычисления автокорреляционной функции равна 10^{-3} . Увеличение времени усреднения ведет к увеличению точности вычисления дисперсии Аллена.

На рис. 2 представлена экспериментально полученная зависимость дисперсии Аллена от времени усреднения частотомера для серийно выпускаемого одночастотного лазера ЛГ-149-1. Как видно из рисунка, наряду со случайными флуктуациями происходит сдвиг частоты лазерного излучения. При временах усреднения более $5 \cdot 10^3$ с начинают оказывать влияние шумы типа «случайного блуждания».

Поскольку дисперсия Аллена не позволяет выявить наличие гармонической составляющей, которая может присутствовать в спектре излучения, на установке были проведены измерения разностной частоты для построения автокорреляционной функции $K(\tau)$ флуктуаций частоты биений двух одночастотных стабилизированных лазеров ЛГ-149-1 (при $\tau = 1$ с) (рис. 3). Автокорреляционная функция такого вида характерна для белого шума с гармонической составляющей. Период гармонической составляющей ≈ 30 с. Колебания частоты с таким периодом являются результатом флуктуаций тока разряда в активном элементе.

Авторы статьи выражают благодарность В. Е. Привалову за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голутва Г. В., Рязанцев А. И. Селекция типов колебаний и стабилизация частоты оптических квантовых генераторов.— М.: Связь, 1972.
2. Борисовский С. П. и др. Измерение стабильности и воспроизводимости частоты одночастотных стабилизированных лазеров.— Измерит. техника, 1977, № 8.
3. Аллен Д. Статистические характеристики атомных стандартов частоты.— ТИИЭР, 1966, т. 54, № 2.
4. Ермолов Р. С. Цифровые частотомеры.— Л.: Энергия, 1973.

Поступило в редакцию 16 марта 1981 г.;
окончательный вариант — 8 декабря 1982 г.

УДК 621.391.837.2

Н. Д. ГОГИН
(Петрозаводск)

ИНВАРИАНТНОСТЬ СПЕКТРА АДАМАРА К ЗЕРКАЛЬНЫМ ОТРАЖЕНИЯМ СИГНАЛА

В данном сообщении получены формулы, устанавливающие однозначную линейную связь между спектром циклического варианта преобразования Адамара [2] исходного сигнала и спектром этого же сигнала, подвергнутого зеркальному отражению, что позволяет, используя результаты работ [2—4], строить алгоритмы распознавания, пригодные в случаях, когда сигналы (изображения) могут подвергаться