

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ В ЛАЗЕРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРАХ

В.В.Азарова^{1,2}, В.А.Горшков^{2,4}, А.С. Бессонов³, П.И.Ищенко², А.П.Макеев^{2,4},
Е.А.Петрухин², В.В.Фокин^{1,2}

1. НИУ ВШЭ (МИЭМ); 2. ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»,
3. МГТУ МИРЭА, г. Москва; 4. МФТИ, 141700 Москов. Долгопрудный, Институтский пер., 9.
azarovav@hotmailbox.ru

1. Введение.

Выходные параметры лазерных гироскопов в значительной мере зависят от оптических потерь в кольцевых резонаторах^{1,2}, на базе которых строятся данные изделия. Потери в зеркалах здесь являются наиболее значительной составляющей, что приводит к необходимости их измерения и контроля в процессе производства. Поэтому представляется актуальной задача создания установки измерения внутрирезонаторных потерь и суммарных потерь на каждом зеркале, отличающейся повышенными точностью и степенью автоматизации труда оператора.

2. Описание работы установки

Точность измерения внутрирезонаторных потерь и потерь на каждом зеркале в рассматриваемой установке повышается за счет использования новых аппаратно-программных решений.

В аппаратной части применен метод сравнения потерь измеряемого кольцевого резонатора (ИКР) с образцовым кольцевым резонатором (ОКР), потери в котором известны. Упрощенная структурная схема установки в режиме измерений приведена на рис. 1. Излучение проходит по одному каналу, разводится полупрозрачной пластинкой и попадает в ИКР и ОКР. Сравнение значений происходит после ряда преобразований и вычислений в персональном компьютере (ПК).

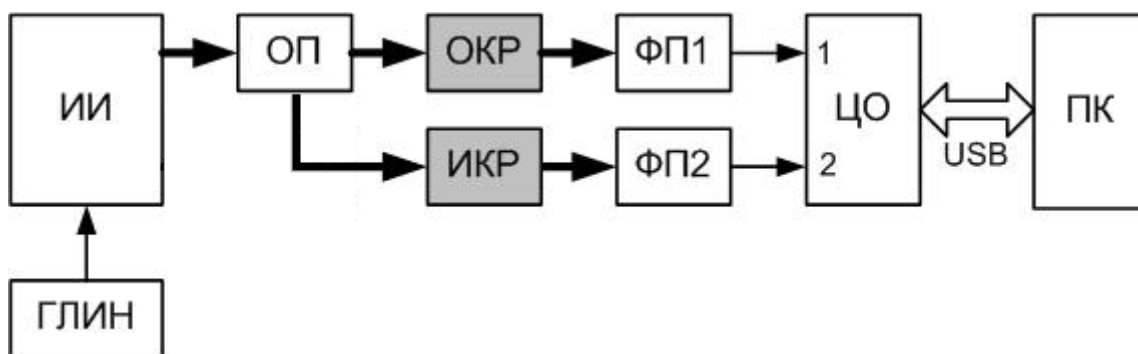


Рис. 1. Упрощенная структурная схема установки в режиме измерений:

ГЛИН – генератор линейно изменяющегося напряжения; ИИ – источник излучения; ОП – оптический преобразователь; ОКР – образцовый кольцевой резонатор; ИКР – измеряемый кольцевой резонатор; ФП1, ФП2 – фотоприемники первого и второго каналов; ЦО – цифровой осциллограф; ПК – персональный компьютер

Под воздействием линейно изменяющегося напряжения от ГЛИН происходит периодическая перестройка оптической частоты источника излучения, построенного также на основе кольцевого лазера. Излучение от источника пропускается через оптический преобразователь ОП или, другими словами, оптическую развязку, исключая влияние обратного отражения на работу лазера-источника и поступает на входы ОКР и ИКР. На их выходах в этом случае интенсивность оптического излучения представляется в виде резонансных кривых, описываемых функциями Лоренца^{3,4}. При подаче напряжения на пьезо зеркало образцового (эталонного) резонатора частоты выходных пучков прошедшего излучения несколько различаются, резонансные кривые оказываются несколько сдвинутыми друг относительно друга (см. рис. 3). Фотоприемные устройства ФП1 и ФП2 осуществляют оптико-электрическое преобразование, после чего измерительные сигналы поступают на входы цифрового осциллографа ЦО, преобразуются в цифровую форму и отображаются на экране. Программа получения, обработки и отображения данных (ПООД), входящая в состав программного обеспечения установки, считывает массивы цифровых данных из памяти ЦО, производит их обработку и осуществляет вычисление потерь по следующей формуле

$$\delta_2 = \frac{\tau_2}{\tau_1} \cdot \delta_1, \quad (1)$$

где δ_2 , δ_1 – суммарные внутрирезонаторные потери соответственно в ИКР и ОКР, (в единицах ppm), τ_2 , τ_1 – ширины резонансных кривых по уровню 0,5 в ИКР и ОКР, мкс.

Внутрирезонаторные потери δ_1 ОКР находятся заранее с помощью установки, работающей на основе метода, описанного в работе⁵.

Повышение точности измерения внутрирезонаторных потерь достигается путем введения корректирующих функций, вносящих поправки в измерения ширин τ_2 и τ_1 резонансных кривых. Дело в том, что, во-первых, характеристики ФП1 и ФП2 могут отличаться друг от друга, а, во-вторых, значения τ_2 и τ_1 зависят от скорости перестройки генератора ГЛИН (рис. 1), то есть от амплитуды U_m и частоты f линейно изменяющегося напряжения $\delta_1 = g(U_m, f)$.

При фиксированной амплитуде могут быть сняты экспериментальные зависимости потерь ОКР от частоты для каждого из каналов, и затем путем аппроксимации в виде полинома второй степени определена соответствующая корректирующая функция.

Как уже отмечалось, программа ПООД (рис. 3), составляющая основу программного обеспечения установки, обеспечивает повышение точности измерений за счет применения методов регрессионного анализа для сглаживания резонансных кривых и проведения коррекции результатов измерений.

Программный модуль получения данных (МПД) с помощью средств интерфейса NI VISA⁶ взаимодействует с ЦО и считывает из его памяти измерительную информацию. Затем МПД передает ее модулю обработки

данных (МОД). Результаты обработки передаются в модуль интерфейса пользователя (МИП) и в конечном итоге отображаются на экране монитора. Кроме того, результаты с помощью модуля интерфейса с базой данных (МИБД) сохраняются в базе данных. Чтение базы данных производится также с помощью МИБД, что необходимо для просмотра результатов измерений потерь КР, полученных ранее. После завершения измерений может быть сгенерирован протокол, для чего используется модуль генерации протокола измерений (МГП) в формате текстового редактора MS Word. Команды от оператора поступают через МИП и управляют работой ЦО, обработкой измерительной информации, операциями чтения-записи базы данных, а также генерацией протокола измерений.

Для повышения точности измерений в МОД используется сглаживание данных. Для его осуществления наиболее эффективной оказывается математическая регрессия, поскольку априорно известна аппроксимирующая функция – функция Лоренца. Она может быть записана в следующем виде

$$f(t) = \frac{a_0}{1 + (t - a_1)^2 / a_2^2} + a_3, \quad (2)$$

где t - время, в которое преобразуется изменяющаяся оптическая частота при сканировании, a_0 , a_1 , a_2 , a_3 - параметры функции. После их нахождения ширины резонансных кривых по уровню 0,5 определяются как

$$\tau_i = 2 \cdot a_{2i},$$

где i – номер канала, равный 1 или 2. Для проведения регрессионного анализа применяется алгоритм Левенберга-Марквардта, реализованный в виртуальном приборе *Nonlinear Lev-Mar Fit.vi*.

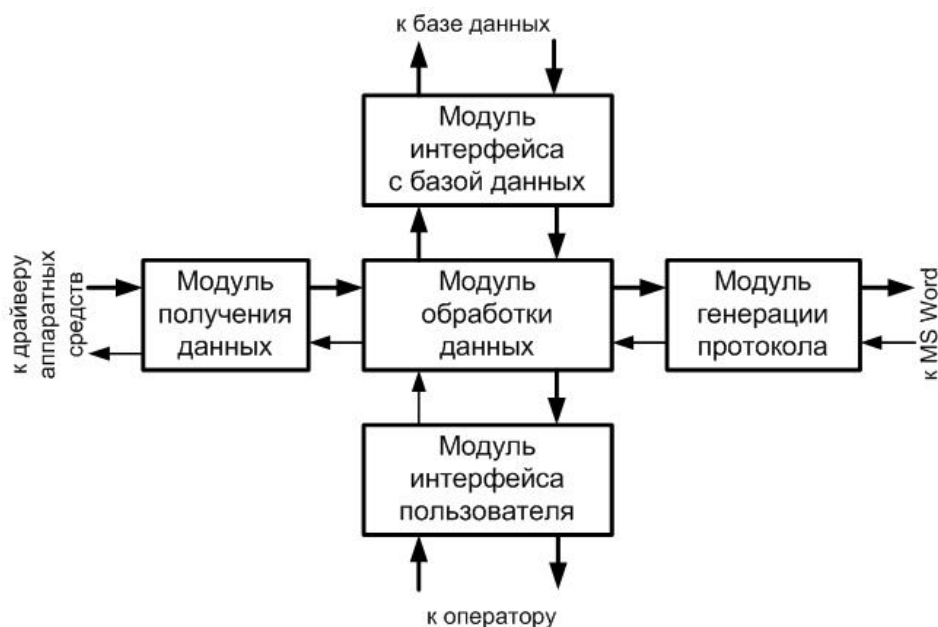


Рис. 2. Структурная схема программы получения, обработки и отображения данных

В найденные значения τ_i с помощью описанной выше корректирующей функции вводятся поправки, после чего по формуле (1) находятся искомые внутрирезонаторные потери δ_2 .

Как видно на рис. 3, значения потерь ОКР в приведенном примере равны 365 ppm. Рядом расположены читаемые из файла коэффициенты корректирующих функций для первого и второго каналов: $A1$, $B1$ - коэффициенты при линейных членах, $A2$, $B2$ - коэффициенты при квадратичных членах. Свободный член в обеих функциях устанавливается равным единице.

Наконец, последним средством повышения точности измерений являются многократные наблюдения. Их количество в примере, приведенном на рис. 3, установлено равным 10. После формирования ряда наблюдений рассчитывается среднее значение потерь, доверительный интервал (при доверительной вероятности $P_\delta=0,95$) и среднеквадратическое отклонение (СКО). Все эти значения наряду со служебной информацией записываются в базу данных и в протокол измерений при его генерации.

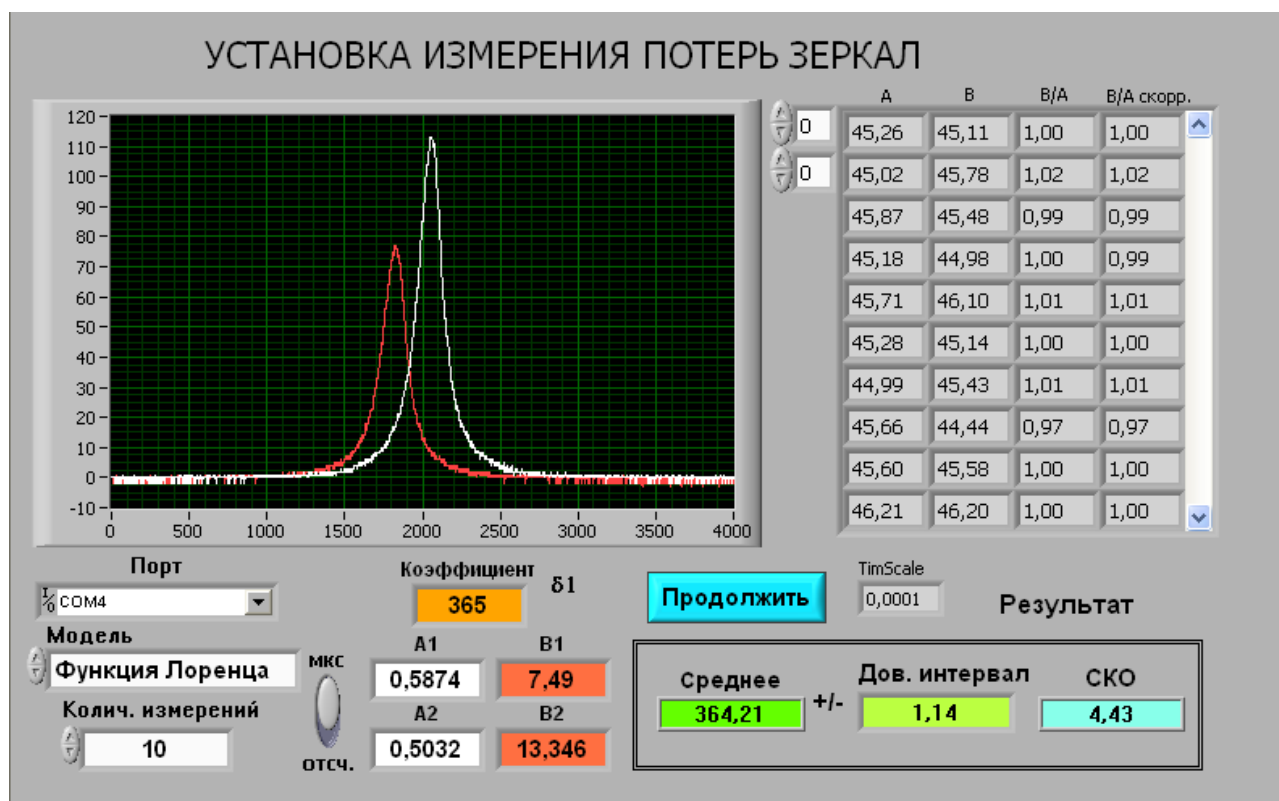


Рис. 3. Интерфейс пользователя программы получения, обработки и отображения данных в режиме измерений

Разработан макет автоматизированной установки, который успешно используется при анализе лазерных гироскопов и зеркал. В процессе использования были подтверждены положительные качества установки, к которым относятся повышенная точность измерений, высокая степень автоматизации труда оператора, повышение производительности измерений и удобство пользования установкой.

Создание программного обеспечения для решения поставленной задачи осуществлялось в среде программирования NI LabVIEW 2010 SP1 с использованием ее базовых средств, средств расширения *Curve Fitting*, *Database Connectivity Toolkit*, *Report Generation Toolkit for Microsoft Office* и интерфейса NI VISA.

1. Бычков С.И., Лукьянов Д.П., Бакаляр А.И. Лазерный гироскоп / Под ред. С.И. Бычкова. – М.: Сов. радио, 1975.
2. Азарова В.В., Голяев Ю.Д., Дмитриев В.Г. Кольцевые газовые лазеры с магнитооптическим управлением в лазерной гироскопии. // Квантовая электроника, 30, №2, 2000.
3. Азарова В. В., Ефремова Н. А. Комплексный метод измерения потерь и усиления в активных и пассивных кольцевых лазерных резонаторах.// Квантовая электроника, т. 32, № 3, с. 239-242, 2002.
4. Тарасов Л.В. Физика лазера. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011.
5. Азарова В.В., Петрухин Е.А. и др. Статья (Готовится к печати), 2012
6. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: ДМК Пресс, 2011.