

УДК 658:51.001.5:534

Шибает Станислав Сергеевич,

кандидат технических наук

Волик Денис Петрович

Южный федеральный университет, г. Таганрог

E-mail: sshib75@mail.ru; DVLbest@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе рассмотрен способ перехода от ручного измерения характеристик акустооптических приборов (в частности, дефлекторов) к автоматическому. Описана структура автоматизированного измерительного стенда, который разработан и в своей первой редакции применяется в акустооптических измерениях лаборатории оптоэлектроники Южного федерального университета, обеспечивая среднюю скорость работы – двадцать точек в секунду, а также более высокую точность и повторяемость результатов в сравнении с ручным способом. Обсуждены перспективы по расширению возможностей стенда, увеличения его быстродействия и уменьшения габаритов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

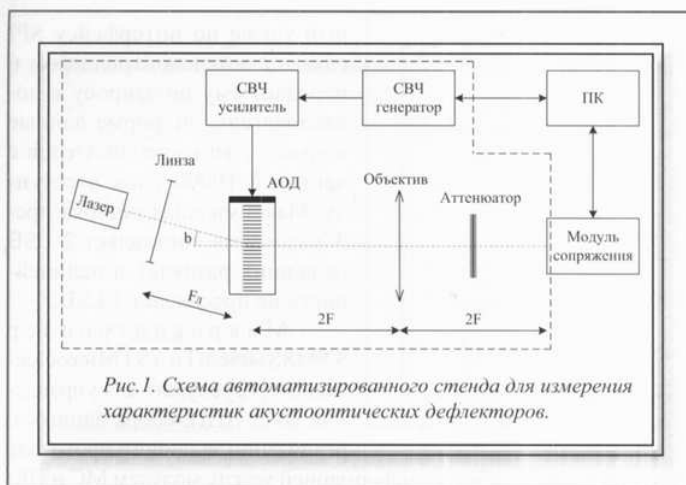
автоматизация измерений, акустооптический дефлектор, дифракционная эффективность, модуль сопряжения, видеоусилитель, фотоприемник, микроконтроллер, оптическая схема

Под акустооптическими (АО) измерениями понимается комплекс мер по измерению основных параметров и характеристик приборов акустооптики, в частности, акустооптических дефлекторов (АОД), являющихся функциональной основой целого ряда АО устройств, в том числе и радиотехнической направленности – АО спектроанализаторов, частотомеров, фазометров. С примерами реализации таких устройств можно ознакомиться в [1-4].

Ранее для измерения характеристик (АЧХ, дифракционной эффективности) дефлекторов применялась установка, схематически обозначенная на рис. 1 пунктирной линией. В состав установки входили:

- источник когерентного излучения требуемой длины волны – эту задачу сейчас с успехом выполняют промышленно выпускаемые модули на основе гетеролазеров, тем более что и в составе современных АО процессоров применяются именно такие модули;
- собственно исследуемый дефлектор;
- некая оптическая система для двумерного согласования геометрических параметров исходного лазерного пучка с возможностями как дефлектора, так и фотоприёмного устройства;
- СВЧ генератор;
- усилитель (при необходимости).

Для приёма излучения продифрагировавшего в АОД светового пучка и его дальнейшего



преобразования в электрический сигнал служил фотоприёмник, роль которого, как правило, исполнял фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Сигнал с фотоприёмника подавался на осциллограф (на схеме не показан), и оператор, наблюдая за этим сигналом, вручную выполнял манипуляции сначала по настройке стенда (в основном это касается угла θ падения светового излучения на кристалл АОД), а затем и по измерению характеристик исследуемого АО deflectора. Снятые визуально (по осциллографу) для каждой частотной точки значения вручную заносятся в ПК для последующего документирования и анализа. Подобные манипуляции приходилось повторять для одного экземпляра deflectора неоднократно (в особенности для многоканальных устройств [5,6]). Учитывая же количество подвергающихся такой процедуре АОД с целью их классификации и отбраковки, очевидными становятся трудоёмкость подобных измерений, а главное присутствие в них значительных разбросов и даже грубых промахов ввиду естественного человеческого фактора.

Разработанный или, вернее, доработанный стенд призван не только автоматизировать процесс сбора данных, их сохранения, анализа и документирования, повысить точность и повторяемость измерений, но и сделать процесс юстировки стенда также автоматическим.

В состав доработанного стенда, помимо описанного, входят персональный компьютер (например, ноутбук) и некий интерфейс между ПК и оптической системой, именованный на

схеме модулем сопряжения (МС) и выполняющий преобразование светового сигнала в электрический, его последующую оцифровку и ввод в ПК. Именно эти два дополнительных модуля – ПК и МС – обеспечивают автоматизацию процессов. ПК при помощи соответствующего программного обеспечения (ПО) обеспечивает сбор данных от платы МС и управление ею по стандартному интерфейсу USB 2.0. По Ethernet интерфейсу с использованием библиотек

Visa (обмена данными между ПК и стандартным лабораторным оборудованием) осуществляется обмен между компьютером и генератором СВЧ сигналов, в качестве которого применён прибор E4428C компании Agilent Technologies [7]. Отметим также, что на рис.1 пунктирная линия намеренно пересекает МС, схематично показывая, что ранее фотоприёмник был отдельным элементом, а сейчас он входит в состав платы МС.

Фотография платы модуля сопряжения приведена на рис.2, а её функциональная схема – на рис.3.

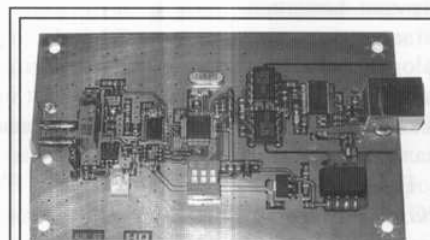


Рис.2. Фотография модуля сопряжения.

Рассмотрим состав модуля.

В качестве фотоприёмника применён кремниевый p-i-n фотодиод S8650 фирмы Hamamatsu [8]. Особенностью фотодиода является сочетание значительных размеров ак-

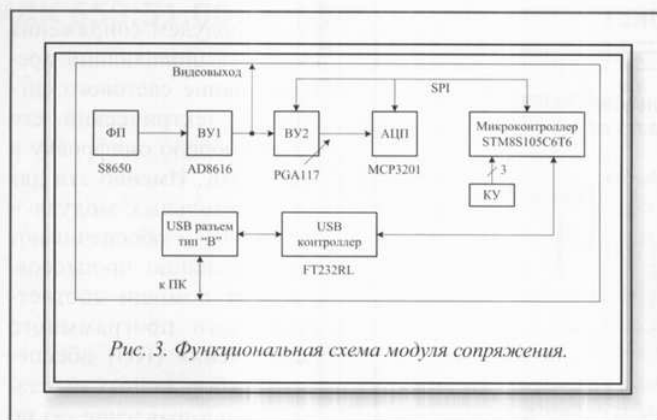


Рис. 3. Функциональная схема модуля сопряжения.

тивной области ($1\text{ см} \times 1\text{ см}$) и возможности при необходимости работать на высоких частотах модуляции (частота отсечки при нагрузке 50 Ом и обратном напряжении 70 В составляет 40 МГц). При помощи переключателей и прецизионного подстроечного резистора можно менять величину нагрузки фотодиода и режим его работы: фотогальванический или фотодиодный. В последнем случае требуемое обратное напряжение подаётся на диод от бортового вторичного источника. Заметим, что вторичные источники на рис. 3 не показаны, а вся плата МС питается от компьютерного USB разъёма и не требует никакого дополнительного питания.

Предварительное усиление снимаемого с нагрузки фотодиода сигнала осуществляется видеоуслителем ВУ1 на основе AD8616 (Analog Devices) [9]. На выходе усилителя предусмотрен разъём, который позволяет при необходимости вывести ещё не оцифрованный сигнал на осциллограф.

Вторым каскадом усиления служит ВУ2 на PGA117 (Texas Instruments) [10] с задаваемым программно (в цифровой форме) от микроконтроллера по интерфейсу SPI дополнительным дискретным набором коэффициентов усиления: 1, 2, 5, 10. Эти значения можно задавать как с ПК, так и вручную на плате при помощи трёхразрядного переключателя КУ (приоритетом обладает ручной переключатель). Погрешность усиления цепи ВУ1-ВУ2 не превышает $0,1\%$.

Оцифровка сигнала происходит в АЦП MCP3201 (Microchip Technology) [11], кото-

рый также по интерфейсу SPI связан с микроконтроллером и передаёт ему по запросу в последовательной форме данные в виде 12-ти разрядных слов с частотой 10000 слов в секунду. Максимальная ошибка преобразования составляет 2 LSB (младших разряда), а нелинейность не превышает 1 LSB.

Микроконтроллер STM8S105C6T6 (STMicroelectronics) [12] служит для управления ВУ2, АЦП, сбора данных и реализации заданного протокола

обмена информацией между модулем МС и ПК.

Для преобразования внутреннего потока данных в стандарт USB интерфейса служит контроллер FT232RL фирмы FTDI [13].

На плате также предусмотрены элементы оптической развязки шины данных и защиты от электростатики.

Для управления стендом, задания режимов его работы, сохранения характеристик и калибровки разработано приложение, окно которого приведено на рис. 4. В левой верхней части приложения располагаются элементы инициализации USB контроллера платы МС и СВЧ генератора, а также панели с информацией о текущем состоянии устройств и сигнализации об ошибках. Ниже находится управление частотой и уровнем мощности выходного сигнала генератора, предоставляя возможность управлять частотой сигнала в режиме осциллографа и задавать частотный диапазон в режиме измерения АЧХ.

Ещё ниже расположено графическое окно программы, в котором отображаются измеряемые данные. Вертикальная ось графика представлена значениями кодов АЦП в линейном либо логарифмическом масштабе. Горизонтальная ось – частота СВЧ сигнала (в МГц), её масштаб автоматически меняется при изменении диапазона измерений.

Панель в правой части приложения позволяет управлять платой МС – менять коэффициент усиления, переводить её в режим осциллографа или в режим измерения АЧХ. Имеется возможность измерять уровень темнового фона и проводить соответствующую



Рис. 4. Окно приложения управления стендом.

калибровку. Здесь же задаётся шаг между частотными точками в режиме АЧХ с отображением количества точек. Также можно управлять масштабом вертикальной оси графика, отображать или скрывать точки, выводить на график значения в этих точках. В любой момент времени можно сохранить измеряемую характеристику в виде текстового файла для последующего анализа в различных приложениях: MathCAD, MatLab, Excel и др. В крайней правой части расположена таблица для отображения текущих данных, а также некоторой статистики измерений.

Рассмотрим вкратце работу автоматизированного стенда в режиме измерения АЧХ АОД, опираясь на рис. 1 и 4.

Посредством ПО производится инициализация генератора и платы МС, переключение её в режим измерения АЧХ, установка необходимого выходного уровня СВЧ сигнала, диапазона частот и частотного шага между измеряемыми точками. Сигнал от генератора через усилитель подаётся на преобразователь дефлектора и возбуждает в его кристалле ультразвуковую волну той же частоты.

Коллимированный пучок от лазерного модуля направляется на кристалл АОД под углом θ , обеспечивающим АО взаимодействие в режиме брэгговской дифракции [14]. Цилиндрическая линза с фокусом $F_{\text{л}}$, работающая в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка, служит для более эффективного взаимо-

действия света с акустической волной.

Продифрагировавший пучок отклоняется и посредством объектива с фокусом F проецируется на фотодиод МС. Оптический attenuator служит для согласования уровней световой интенсивности дифрагированного пучка с динамическим диапазоном фотоприёмника. Так как в автоматическом режиме работы частота СВЧ сигнала циклически пробегает по всему выбранному диапазону с указанным шагом, вызывая на фотоприёмнике в каждой частотной

точке соответствующий отклик, то в графическом окне приложения наблюдается постоянно обновляющаяся частотная зависимость амплитуды сигнала. Ввиду особенностей взаимодействия ПК с лабораторным генератором возникают очевидные задержки по приёму, передаче и обработке команд установки частоты, которые могут достигать десятков мс. Оценочное быстродействие стенда составило около двадцати точек в секунду. Отметим, что в настоящий момент оптическая система стенда располагается на оптической скамье. В дальнейшем планируется упаковать её совместно с СВЧ усилителем и модулем МС в единый компактный конструктив.

В заключение рассмотрим способы доработки стенда, призванные расширить его технические возможности.

Для того чтобы повысить быстродействие стенда, сделать его более автономным и компактным, заодно и значительно удешевив, можно вместо стандартного лабораторного генератора применить промышленно выпускаемые перестраиваемые синтезаторы частоты. Стоимость подобных устройств, к примеру, фирмы Analog Devices, не превышает 200 долл. при удовлетворительной точности и стабильности частоты.

Для оценки скорости акустической волны в кристалле дефлектора достаточно в описанную схему ввести дополнительный лазерный

источник либо ограничиться одним, расщепив его пучок на два параллельных с известным поперечным смещением между ними. Тогда, введя СВЧ генератор в импульсный режим и измеряя временной промежуток между импульсами с платы МС, можно определить скорость ультразвука.

Наконец, введя в состав оптической системы стенда второй управляющий АО деф-

лктор и второй генератор (синтезатор), можно программно управлять углом β падения светового пучка на кристалл исследуемого АОД. Данное усовершенствование позволит, с одной стороны, измерять диаграмму направленности ультразвукового поля дефлектора, а с другой – автоматически настраивать стенд на оптимальный либо иной желаемый режим.

Литература

1. Шибяев С.С., Волик Д.П., Роздобудько В.В. Акустооптический приемник-частотомер на основе дефлектора с противофазным возбуждением ультразвука // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2008. – Вып. 4. – С. 32–38.
2. Шибяев С.С., Новиков В.М., Роздобудько В.В. Теория акустооптического спектроанализатора с синтезированной апертурой // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2010. – 13, №1. – С. 55–60.
3. Пат. на полезную модель № 75761. Акустооптический измеритель параметров радиосигналов / С.С.Шибяев. – заявл. 2008. Бюл. № 23.
4. Роздобудько В.В., Помазанов А.В., Крикотин С.В. Акустооптический измеритель частотно-временных параметров СВЧ радиосигналов // Специальная техника. – 2011. – № 3. – С. 8–24.
5. Роздобудько В.В., Шибяев С.С., Пелипенко М.И. Многоканальный акустооптический дефлектор с планарной замедляющей системой возбуждения ультразвука // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 4. – С. 95–100.
6. Rozdobud'ko V.V., Shibaev S.S., Pelipenko M.I. A multichannel acoustooptical deflector with a planar delay-line structure for ultrasound excitation // Instruments and Experimental Techniques. – 2005. – 48, № 3. – P. 509–514.
7. Сайт фирмы Agilent Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.home.agilent.com/agilent/facet.jspx?k=E4428C&neighborhood=ETM&kt=1&cc=RU&lc=rus&homesearch=Search&searchbtn=%D0%9F%D0%BE%D0%B8%D1%81%D0%BA>
8. Сайт фирмы Hamamatsu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hamamatsu.com/us/en/product/category/3100/4001/4103/index.html?pkind=list>
9. Сайт фирмы Analog Devices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.analog.com/ru/all-operational-amplifiers-op-amps/operational-amplifiers-op-amps/ad8616/products/product.html>
10. Сайт фирмы Texas Instruments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/sitesearch/docs/universalsearch.jsp?searchTerm=PGA117&Submit=&linkId=1>
11. Сайт фирмы Microchip Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microchip.com/search/searchapp/searchhome.aspx?id=2&q=MCP3201>
12. Сайт фирмы STMicroelectronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1244/SS1010/LN754/PF215105?s_searchtype=partnumber
13. Сайт фирмы FTDI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT232R.htm>
14. Балакиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.