ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПИРОПРИЕМНИКА UM9B-BL-L-DO ФИРМЫ GENTEC

А.Ф. Аушев, Л.А. Глущенко
АО «Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения»

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований пироэлектрического фотоприемника UM9B-BL-L-DO фирмы Gentec при регистрации микроваттных потоков оптического излучения. Для исследований предложена компактная установка с использованием проекционной системы типа камеры-обскуры, лишенной многих недостатков традиционных стендов.

В экспериментальных исследованиях часто используются импортные приборы и измерительные средства. Их применение осложняется тем, что в документации указаны высокие пороговые характеристики, но не даны условия их получения. Так в паспорте широко известного термопарного измерителя мощности излучения «3А» фирмы Ophir указан уровень шума 2 мкВт, но рекомендуется использовать его при потоках выше 60мкВт, а в документации на пироприемник UM9B-BL-L-DO приводится порог 10нВт [1], что также вызывает сомненья.

В данной работе представлены результаты исследований этого измерителя мощности с целью определить реально достижимые возможности прибора.

Общая компоновка установки показана на рис. 1.

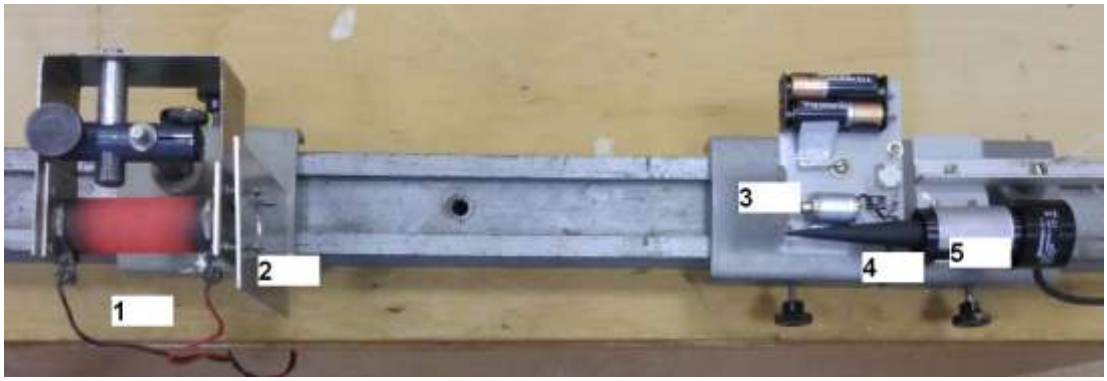

Рисунок 1. Экспериментальная установка

1- Модель черного тела; 2 - Ограничивающая диафрагма; 3 - Модулятор; 4 - Конический тубус-бленда; 5 - Пироприемник.

Модель черного тела состоит из нагревателя и внутреннего конуса. Обмотка из нихромовой проволоки навита на керамический корпус проволочного резистора 50 Вт. Внутрь керамической трубы вставлен стальной цилиндр диаметром 20мм с конической полостью. Цилиндр прошел отжиг на воздухе до получения прочной окалины. Питание нагревателя производится от автотрансформатора. При напряжении порядка 60В мощность составляет 400Вт. При этом температура тела накала около 1000К. Температура контролируется термопарой. Перед излучающим конусом закреплена ограничивающая диафрагма диаметром 16мм.

Модулятор изготовлен на базе микродвигателя с редуктором. На оси закреплен диск с тремя лепестками. При напряжении на двигателе от 0,1В до 2В частота модуляции изменяется от 0,5Гц до 25Гц. Питание модулятора автономное от батареи 3В. Частота 5Гц, рекомендуемая для данного приемника, соответствует напряжению на двигателе 0,6В.

Конический тубус служит для защиты от внешних засветок и воздушных потоков.

Тубус окрашен изнутри и снаружи черной матовой эмалью и вставлен в штатную бленду приемника. В вершине конуса сделано отверстие диаметром 1мм.

Пироприемник модели UM9B-BL-L-DO используется в паре с аналоговым усилителем APM(D) выход которого подключен к цифровому осциллографу TDS 2002. Диаметр приемной площадки пироприемника – 9мм. В данном исследовании полоса усиления не ограничивалась, и сигнал считывался непосредственно с экрана осциллографа.

Тело излучения модели АЧТ нагревалось до температуры 750°С, т.е. 1023К. Эта температура и заложена в энергетический расчет.

Гарантированный спектральный диапазон пироприемника данной модели составляет 0,2÷20мкм. Это дает возможность в расчете использовать формулу Стефана-Больцмана для полного излучения черного тела:

$$Ф=\sigma*T^4=(5,67*10^{-12}Вт/см^2*К^4)*1023^4\ К^4=6,2Вт/см^2.$$

Соответственно яркость АЧТ в направлении приемной диафрагмы:

$$В=Ф/\pi=2Вт/см^2*ср.$$

Оптическая схема измерительной установки легко читается на рис 1.

Коническая полость нагретого стального цилиндра является одним из вариантов конструкции АЧТ. Отверстие в металлической пластине диаметром 16мм, является полевой диафрагмой и вырезает внутреннюю часть конической полости, которая более равномерно нагрета. Далее через малое отверстие изображение полевой диафрагмы проецируется на приемную площадку пироприемника по принципу камеры-обскуры. Расстояние от полевой диафрагмы до отверстия в вершине конуса равно 28см и от вершины конуса до площадки приемника 14см, при этом освещенное пятно на приемной площадке равно ее диаметру 9мм (8мм плюс 1мм – уширение камеры- обскуры). Таким образом, мощность светового потока, падающая на приемник равна мощности, проходящей через отверстие в конусе.

Эта схема достаточно удачна с точки зрения метрологии. Диск модулятора удален от горячего излучающего тела, чтобы избежать его перегрева. Защитный конус наилучшим образом защищает от окружающего света, а особенно от воздушных потоков, которые вызывают сильные флуктуации сигнала весьма чувствительного прибора. Схема не содержит вообще никаких оптических элементов, способных внести погрешности, таких как линзы, зеркала и фильтры. Соответственно, нет никакой спектральной зависимости, связанной с этими оптическими элементами. Компактность установки позволяет не только просто расположить ее в любом помещении, но и пренебречь поглощением атмосферы.

Весь энергетический расчет сводится к определению мощности потока, проходящей через отверстие в защитном конусе.

Искомая величина потока равна произведению яркости черного тела на его площадь, точнее площадь полевой диафрагмы и на телесный угол, под которым видно отверстие в защитном конусе. То есть мощность, попадающая на фотоприемник [2]:

$$Ф_{ФП}=В_{АЧТ} * S_{диафр} * \Omega_{обскуры}=(2Вт/см^2*ср)*2см^2 * 9*10^{-6}ср=36мкВт.$$

В рекламном листе пироприемника приводится его примерная чувствительность равная 20 000 В/Вт. Однако паспортная величина именно данного прибора, полученная по запросу на фирму-производитель равна 14300В/Вт = 14,3В/мВт = 14,3мВ/мкВт.

То есть ожидаемая величина сигнала с усилителя фотоприемника:

$$U_C=14,3мВ/мкВт * 36мкВт=515мВ.$$

Осциллограмма полученного сигнала показывает весьма точное совпадение с расчетом (см. рис.2). Хотя при планировании эксперимента и подборе оборудования ставилась цель получить данные с точностью до порядка величины. Возможно, полученная точность является результатом наложения погрешностей с разными знаками. Но, с другой стороны, сама экспериментальная установка с проекционной системой камеры-обскуры настолько проста и прозрачна, что трудно ошибиться как в расчетах, так и в измерениях.

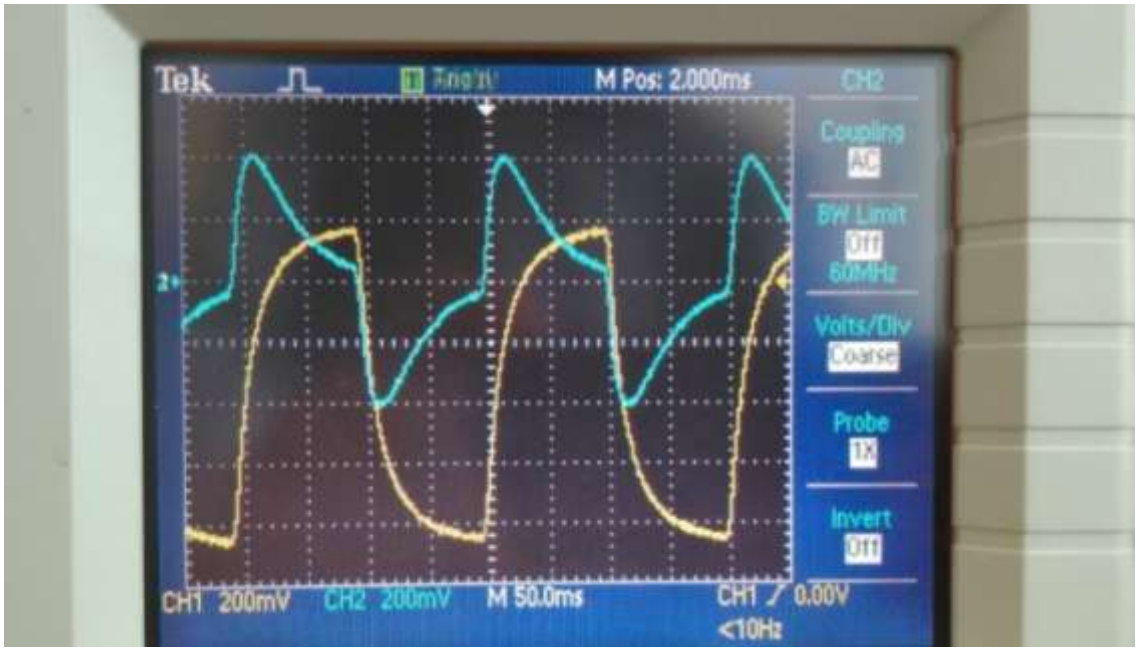

Рисунок 2. Осциллограммы сигнала по постоянному и переменному напряжению

Сигнал усилителя содержит постоянную составляющую, которая непрерывно дрейфует. Например, при удержании в руках корпуса прибора более 5 секунд постоянная составляющая выходит в насыщение. Возврат в активную зону происходит через 10-20 секунд, а в ноль может и не выйти вовсе. Получается, что динамический диапазон при большом сигнале – величина неопределенная. Из-за дрейфа неизвестно положение зоны активного сигнала. Поэтому целесообразно выход приемника подключать одновременно к двум входам осциллографа. На одном, в режиме DC выставить масштаб усиления по пределам напряжения питания, то есть ±5В, а на другом входе в режиме AC установить усиление в зависимости от величины сигнала. И подключать придется через другую емкость. В данном случае входная емкость осциллографа оказалась мала и сигнал дифференцируется.

В отсутствии сигнала шум составляет около 8мВ, что в пересчете на мощность дает около 0,5мкВт. Шум регистрировался без постоянной составляющей.

Расчетная мощность светового потока в данной компоновке 36мкВт. Измерения с экрана осциллографа показали 35мкВт при отношением сигнал/шум равным 70. Однако сама величина шума соответствует 0,5мкВт, что гораздо выше заявленного порога.

Причина такого несоответствия, в основном, связана с шириной полосы пропускания схемы регистрации сигнала. Кроме того, пироприемник весьма чувствителен к вибрации и акустическому шуму. Так, обычный разговор уверенно регистрируется по расширению шумовой дорожки до 2÷3-х десятков милливольт, а закрывание двери где-то в коридоре вызывает бросок сигнала в сотни милливольт.

В этой же схеме при той же мощности проведено сравнение с приемником «3А» фирмы Ophir. Разброс данных до 50%. Только путем усреднения по 30 измерениям получена приемлемая величина в 30мкВт. Процедура измерений весьма трудоемкая.

Можно считать, что по соотношению сигнал/шум пироприемник фирмы Gentec лучше, чем «3А» фирмы Ophir не менее чем в 30 раз.

В данной работе также исследовалась зависимость сигнала приемника от частоты модуляции. Показано, что при увеличении частоты с рекомендуемой 5Гц до 20Гц сигнал уменьшается от 1 до 0,7. что можно считать вполне приемлемым, учитывая увеличение шума в области низких частот.

При обработке сигнала переменного тока есть возможность сузить полосу пропускания и использовать широко известную схему синхронного детектирования и таким образом еще на порядок улучшить пороговые характеристики прибора, приблизив их к рекламируемому значению 10нВт.

С термоэлектрическим измерителем «3А» фирмы Ophir это невозможно из-за большой инерционности прибора.

К сожалению, пироприемники пока не вошли в перечень Росреестра в отличие от термоэлектрических приемников. Но они давно и успешно используются в практике экспериментальных исследований.

В течение многих лет пироприемники производятся в микросхемном исполнении, что дает простор для разработок компактной и экономичной фотоприемной аппаратуры. Их качество постоянно улучшается, что позволяет разрабатывать аппаратуру собственного изготовления с характеристиками, сравнимыми с фирменными приборами, но на порядок более дешевыми, а главное лучше приспособленными к конкретным задачам лабораторных исследований.

К примеру: цена исследуемого комплекта из датчика и аналогового усилителя порядка 200т.р. Микросхема пироприемника с встроенным усилителем и в корпусе ТО-39 стоит около 8 т.р. и выше в зависимости от защитного окна. Правда, чувствительность ее много ниже из-за меньшей площади приемника, зато быстродействие настолько же выше.

А микросхемы резистивных излучателей покрытых эффективной чернью могут служить в качестве модели черного тела с коэффициентом излучения существенно больше 90% при температуре порядка 500ºС и мощностью не более 1Вт. Эти источники могут быть герметично закрыты окнами из германия, фтористого магния или сапфира, то есть иметь гарантированно стабильные метрологические характеристики. Немаловажно, что их излучение может быть промодулировано током с частотой порядка 30 Гц. Легко понять насколько это серьезно в сравнении с использованием пироприемников с механическим модулятором.

Цена этих источников ИК излучения 9 - 18 т.р., что с фирменными моделями АЧТ не сопоставимо.

Результаты данного исследования могут быть полезны широкому кругу специалистов оптической отрасли. Задача измерений слабых потоков ИК-излучения была и остается актуальной и внедрение в практику сравнительно нового более чувствительного измерительного прибора поможет в решении задач в целом ряде экспериментальных и прикладных исследований.

Список использованных источников

1 UM9B-BL-L-DO Pyroelectric detector for laser power measerement up to 200µW https://www.gentec-eo.com/products/um9b-bl-l-d0.

2 М.М. Гуревич. Фотометрия. - Л.: «Энергоатомиздат», 1983, 268с.