

УДК 621.327

А.С. Литвиненко, канд. техн. наук
Харьковская национальная академия
городского хозяйства

Е.П. Тимофеев, канд. техн. наук
Национальный научный центр
“Институт метрологии”

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАП-ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Введение. Широкое применение в светотехнике находят так называемые самокалибрующиеся фотодиодные детекторы. Использование самокалибрующихся фотодиодов в метрологических целях обусловлено близостью внутренней квантовой эффективности к единице, что позволяет производить абсолютные измерения мощности. При этом долговременная стабильность чувствительности диодов обусловлена только изменениями коэффициента отражения, что обеспечивает существенно большую, чем у обычных диодов стабильность. Основным препятствием для абсолютных измерений является заметное влияние на результат измерений отражения от поверхности фотодиода.

Использование нескольких самокалибрующихся фотодиодов, расположенных по пути распространения излучения, позволяет довести долю отраженного излучения до пренебрежимо малой величины [1, 3]. Такие конфигурации расположения самокалибрующихся фотодиодов получили название трап-детекторов. Методика измерения мощности трап-детекторами основана на сведении к минимуму доли отраженного излучения.

Недостатком большинства известных схем является малая угловая ширина приёмной диаграммы направленности, обусловленная большой длиной пути пучка излучения в них и относительно малыми размерами фотодиодов. И хотя в большинстве конструкций трап-детекторов эти трудности успешно преодолеваются, тем не менее, разработка всех конфигураций исходит из предположения, что при измерении фотодиодом мы имеем только направленное (зеркальное) отражение. При этом диффузная составляющая никак не фиксировалась в трап-детекторах (известных конфигураций), что естественно сказывалось на точности измерений.

Содержание работы. Авторами были проведены измерения диффузной и зеркальной составляющих отраженного оптического сигнала фотодиода фирмы Хамамацу S1337-1010BK. Исследования проводились с использованием аппаратуры государственного первичного эталона средней мощности и энергии лазерного излучения Украины (далее эталон). В качестве источника оптического сигнала использовался стабилизированный лазер ЛГН-302, выходная мощность которого измерялась на эталоне и в дальнейшем контролировалась свидетелем. Первоначально измерялась зеркальная составляющая отраженного оптического сигнала фотодиода. На рис. 1 приведена экспериментально полученная зависимость относительной составляющей зеркально отраженного оптического сигнала в зависимости от угла падения на внешнюю поверхность фотодиода для различной поляризации сигнала лазера ЛГН-302.

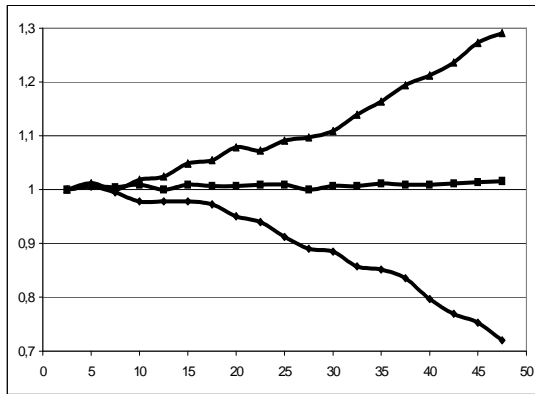


Рис. 1.

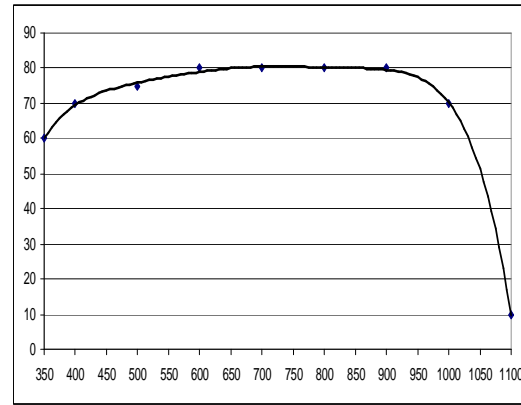


Рис. 2.

При изменении угла падения от $0 - 45^\circ$ относительный коэффициент отражения в зависимости от поляризации изменяется от 0,709 до 1,291. Для неполяризованного оптического излучения, при изменении угла падения от $0 - 45^\circ$ относительный коэффициент отражения изменяется от 1 до 1,015.

Измерения составляющих отраженного оптического сигнала фотодиода S-1337 проводились с использованием фотометрической сферы эталона. Оптический сигнал лазера, проходя фотометрическую сферу, отражался от поверхности фотодиода. Фотодиод юстировался по минимальному сигналу приемника фотометрической сферы. При этом в пределах угла $3,8^\circ$ зеркально отраженный фотодиодом сигнал проходил через фотометрическую сферу и измерялся только диффузно отраженный сигнал. При юстировке на максимальный сигнал регистрировались суммарно отраженные зеркальные и диффузные составляющие. Измерения показали, что при такой геометрии фотометрической сферы 20,25% всего оптического излучения зеркально отражается фотодиодом и 0,919% - диффузно.

Были также проведены измерения на гониометрической установке, которые подтвердили правильность приведенных выше результатов.

Авторами было проведено измерение спектральной зависимости внешней квантовой эффективности фотодиода фирмы Хамамацу S-1337.

Схема экспериментальной установки для измерения зависимости квантовой эффективности фотодиода фирмы Хамамацу S-1337 от длины волны включала модулированный источник оптического излучения, сигнал которого, проходя монохроматор, поочередно измерялся пироэлектрическим приемником и исследуемым фотодиодом. Предварительно, пироэлектрический приемник исследовался на эталоне и монохроматоре с использованием калориметрического приемника эталона. Результаты измерений спектральной зависимости квантовой эффективности фотодиода S-1337 приведены на рис.2.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что при проведении высокоточных измерений в диапазоне длин волн 400-900 нм необходимо учитывать диффузную составляющую, или использовать такие конструкции трап-детекторов, которые позволяли бы измерять и диффузную составляющую. Ниже описываются несколько оригинальных конструкций, предложенных авторами.

Разработанные конструкции основываются на свойстве зеркальной эллипсойдной поверхности отражать любой луч, прошедший через один из фокусов эллипсоида в направлении, при котором он обязательно пройдет через второй фокус, а, отразившись, второй раз от эллипсойдной поверхности, луч снова пройдет через первый фокус и т.д., каждый раз прижимаясь к большой оси эллипсоида вращения до тех пор, пока полностью не сольется с ней [4, 5].

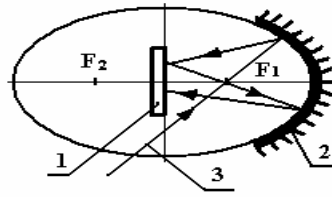


Рис.3.

Путем простых геометрических построений легко убедиться, что система, состоящая из эллиптического зеркала, выполненного в виде части эллипсоида вращения и плоского, установленного в центре эллипсоида перпендикулярно большой оси, работает аналогичным образом [3,4]. Таким образом, любой луч, введенный в трап-детектор через один из фокусов, остаётся в нём, не имея возможности выхода из него.

На рис.3 представлена конфигурация предлагаемого трап-детектора с эллиптическим зеркалом [2]. На рис.4 представлена конструкция трап-детектора с использованием фотодиодов в форме частей эллипсоида вращения. На рисунках обозначено: 1 - плоский фотодиод, 2 - эллиптическое зеркало, выполненное в виде части эллипсоида вращения, 3 - луч источника излучения, мощность которого измеряется, 4 - световод, 5 - эллиптический фотодиод, выполненный в виде части эллипсоида вращения, F_1, F_2 - фокусы эллипсоида вращения. Фотодиод 1 располагается на расстоянии равном половине большой оси эллипсоида от эллиптического зеркала.

Излучение в детектор вводится с помощью оптики (линза, объектив). Луч фокусируется в точку, совпадающую с фокусом эллипсоида вращения.

Излучение может вводиться в детектор и с помощью световодов; при этом излучающий конец световода размещается в фокусе эллипсоида. Так как в качестве световодов используется стекловолокно (обычно диаметром порядка 0,08 мм), то влияние его на результаты измерений – минимально.

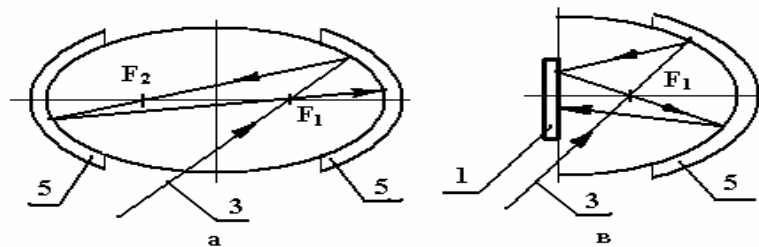


Рис. 4.

Конструкции трап-детекторов без зеркал представлены на рис.4а, в. На рис.4а представлена конфигурация с двумя фотодиодами, выполненными в виде частей эллипсоида вращения. На рис.4в – конфигурация с плоским и эллиптическим фотодиодами. Эти трап-детекторы используются в режимах, аналогичных представленным на рис.3. Преимущества этих конфигураций заключаются в отсутствии неучтенных потерь на зеркалах, что увеличивает точность абсолютных измерений мощности. Кроме того, используя эллиптическое зеркало и эллиптический фотодиод с большим охватом, можно учитывать диффузную составляющую при измерениях.

Еще одна предложенная авторами конструкция трап-детектора представляет собой известную конфигурацию из четырех плоских фотодиодов, ограниченную двумя плоскими фотодиодами, замыкающими измерительное пространство. Дополнительные элементы устанавливаются снизу и сверху перпендикулярно четырем измерительным плоскостям фотоприемников. Такое решение также позволяет учитывать диффузную составляющую.

Проведенные теоретические оценки свидетельствуют о перспективности разработок трап-детекторов с использованием предложенных принципов построения.

Эллипсоидные конфигурации позволяют исключить отраженное излучение в направлении источника излучения. Они удобны для проведения измерений некогерентных источников излучений, так как при каждом последующем отражении происходит сужение диаграммы направленности. Кроме того, все предложенные конфигурации позволяют учитывать диффузную составляющую, что положительно сказывается на точности измерений.

Предложенные варианты выполнения фотодиодных трап-детекторов могут быть использованы для модернизации государственного первичного эталона средней мощности и энергии лазерного излучения Украины [6].

Выводы

Исследования фотодиодов S-1337, проведенные на аппаратуре государственного первичного эталона средней мощности и энергии лазерного излучения Украины показали, что вклад диффузной составляющей при отражении оптического сигнала от поверхности фотодиода может приближаться к 1%.

Анализ полученных результатов показал, что при проведении высокоточных измерений необходим учет диффузной составляющей, что в свою очередь требует доработки конструкций фотодиодных трап-детекторов.

Предложены конкретные варианты выполнения фотодиодных трап-детекторов, учитывающие смещенный характер отражения от поверхности фотодиода, что требует дальнейших, более полных исследований конструкций трап-детекторов.

Применение разработанных конструкций трап-детекторов позволит уменьшить неопределенность при проведении высокоточных измерений в диапазоне длин волн 400-900нм.

Список литературы

1. Fox N. P. // Metrologia. – 1991. – 28. – Р. 197 – 202.
2. Литвиненко А.С. Патент на винахід №81355 від 25 грудня 2006 р. Трап-детектор.
3. Lytvynenko A.S. Alternativ Configurations for Trap-Detectors, 8 International Conference on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling. 2006 Kharkov, Ukraine.
4. Литвиненко А.С., Прусихин О.В. А. С. № 171706 СССР. Устройство для сложения интенсивностей нескольких лазеров.
5. Литвиненко А.С., Прусихин О.В.//Український метрологічний журнал . – 2002. – вип. 2. – С.48.
6. Тимофеев Е.П.// Український метрологічний журнал . – 2007. – вип. 1. – С. 29.

ВИКОРИСТАННЯ ТРАП-ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

А.С. Литвиненко, Є.П. Тимофеев

Приведені результати дослідження фотодіодів для трап-детекторів. Показана необхідність обліку дифузної складової відбитого оптичного сигналу. Дані конкретні рекомендації по конструкціях трап-детекторів.

USE OF GANGWAYS - DETECTORS FOR PRECISION MEASUREMENTS

A.S. Litvinenko, E.P. Timofeev

The results of research of photodiodes are given for trap-detectors. The necessity account of diffuse constituent of the reflected visual signal. Certain recommendations are given on the constructions of trap-detectors.