

Исследование характеристик оптического министика с VCSEL-лазером

С.А. ГОЛУБИН¹, А.Н. ЛОМАНОВ², В.С. НИКИТИН³, В.М. КОМАРОВ²,
Э.И. СЕМЁНОВ²

¹ ООО «НПП «Тензосенсор», ² ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва»,

³ ООО «НТЦ «Интрофизика», Ярославская обл., г. Рыбинск

E-mail: 707gsa@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований характеристик цифрового оптического министика на основе упругодеформируемого полимерного элемента и оптической схемы с общим VCSEL-лазером. Описаны устройство и принцип действия оптического министика, методика и оборудование для исследования его функции преобразования.

Ключевые слова: оптический министик, управление робототехникой, коммутационное устройство, упругодеформируемый полимерный элемент, VCSEL-лазер, экспериментальное исследование.

Для управления объектами робототехники, летательными аппаратами и сложными манипуляторами необходимы точные, надёжные и компактные устройства ввода. Эффективным устройством ввода является министик – двухкоординатный миниджойстик. В отличие от обычных джойстиков, министик управляется не кистью руки, а пальцами. Скорость движения пальцев руки в 5–7 раз выше, чем – кисти, что позволяет намного быстрее формировать управляющие воздействия. А малые размеры министиков позволяют умещать их по многу на панели или ручке управления.

Большинство существующих министиков построены на основе резистивных чувствительных элементов. Недостатки такого подхода – невысокий ресурс министиков и постепенное изменение характеристик из-за истирания резистивного слоя.

ООО «НПП «Тензосенсор» совместно со специалистами ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва» разработан оптический министик (рис. 1), отличающийся от ранее разработанных министиков [1–3] со светодиодами с широким углом излучения, функ-

ция преобразования которых имеет довольно высокую нелинейность [1]. В исследуемой новой конструкции министика в качестве источника излучения применён вертикально излучающий лазер (VCSEL-лазер) с рабочим диапазоном длин волн (850 ± 15) нм производства компании *Connector Optics*.

Как видно из рис. 2, оптический министик, который состоит из размещённого на плате 1 корпуса 2 и упругодеформируемого элемента 4, выполненного за одно целое с управляющей рукояткой 3. На плате 1 под упругодеформируемым элементом 4 расположены VCSEL-лазер 6 и не менее одного соединённого с микропроцессором приёмника излучения (фотодиод, фоторезистор) 7. Упругодеформируемый элемент 4 в виде пластины из эластичного полимерного материала с управляющей рукояткой 3, содержит светоотражающую или светопоглощающую поверхность 5, расположенную над источником света 6 и приёмниками излучения 7. Он опирается на элементы корпуса 2, прикреплённого к плате 1.

Поверхность 5 исследуемого образца министика выполнена (в роли светоотражающей) из белой матовой резины. Принцип его работы заключается в эффекте отражения света от этой поверхности, которая деформируется управляющей рукояткой со-

гласно направлению и величине нажатия.

Оптический министик по сравнению с традиционными министиками обладает многими преимуществами: простотой конструкции; технологичностью в массовом производстве; высокой надёжностью (из-за отсутствия механически контактирующих и деформируемых резистивных элементов); бесшумностью; пожаро- и взрывобезопасностью; травмобезопасностью; малым весом и многофункциональностью (возможностью перепрограммирования выполняемых функций [3]).

Целью данного экспериментального исследования являлось определение функции преобразования министика – зависимости полезного сигнала министика от величины отклонения управляющей рукоятки министика. Полезный сигнал министика представляет собой два числовых значения, которые соответствуют величинам отклонения рукоятки министика по координатам X и Y. Единицей измерения выходного сигнала являются отсчёты АЦП микроконтроллера министика, которые соответствуют отношению напряжений на приёмни-

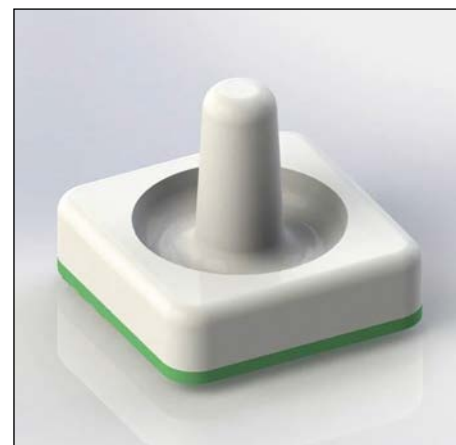


Рис. 1. Внешний вид оптического министика

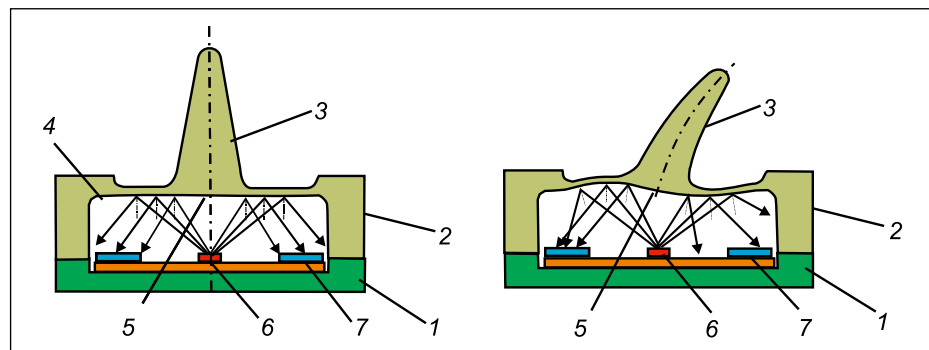


Рис. 2. Принципиальная схема оптического министика

Рис. 3. Испытательный стенд



ках излучения министика к опорному напряжению АЦП. Напряжение на приёмниках излучения определяется интенсивностью падающего на них отражённого света, которая зависит от величины отклонения управляющей рукоятки министика.

Методика эксперимента заключалась в регистрации показаний министика по осям X и Y в точках с заданными величиной отклонения рукоятки министика от центрального положения и направлением отклонения, которое задаётся углом поворота корпуса министика.

Для исследования зависимости сигналов министика от величины линейного отклонения рукоятки и угла поворота министика (функции преобразования) был разработан испытательный стенд для автоматизиро-

ванного исследования характеристик министиков. Стенд (рис. 3) содержит корпус 1, поворотное основание 4, на котором закрепляется министик 3, и элемент 2, который отклоняет рукоятку министика от центрального положения строго влево или вправо. Поворот основания и отклонение рукоятки производятся шаговыми двигателями. Для обеспечения точности позиционирования и выставления начальной позиции на валах двигателей установлены абсолютные цифровые энкодеры (датчики угла поворота), обеспечивающие погрешность установки угла поворота не более $0,35^\circ$.

Измерение показаний министиков проводилось в следующих условиях:

- пределы отклонения рукоятки министика от центра: от -5 до $+5$ мм, с шагом $0,5$ мм;

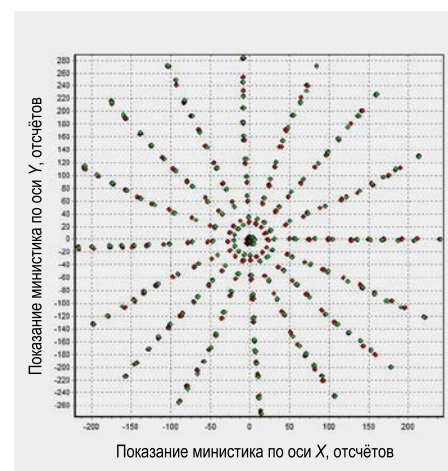


Рис. 4. Лучевая диаграмма полезного сигнала оптического министика

- направления отклонения: влево (от $+5$ до -5 мм), вправо (от -5 до $+5$ мм);

- угол поворота министика: от 0° до $157,5^\circ$, с шагом $22,5^\circ$;

- число измерений в одной точке: 5, с последующим усреднением полученных значений.

По результатам тестирования программа стенда автоматически строит лучевую диаграмму. На лучевой диаграмме результаты измерений полезного сигнала министика представлены в виде точек с координатами по осям X и Y , соответствующими числовым значениям выходного сигнала министика. Результаты измерений, полученные при отклонении рукоятки вправо, представлены точками красного цвета, а влево – зеленым. (Лучевая диаграмма позволяет визуально оценивать качество выходного сигнала министика: амплитуду сигнала, точность, линейность, гистерезис.)

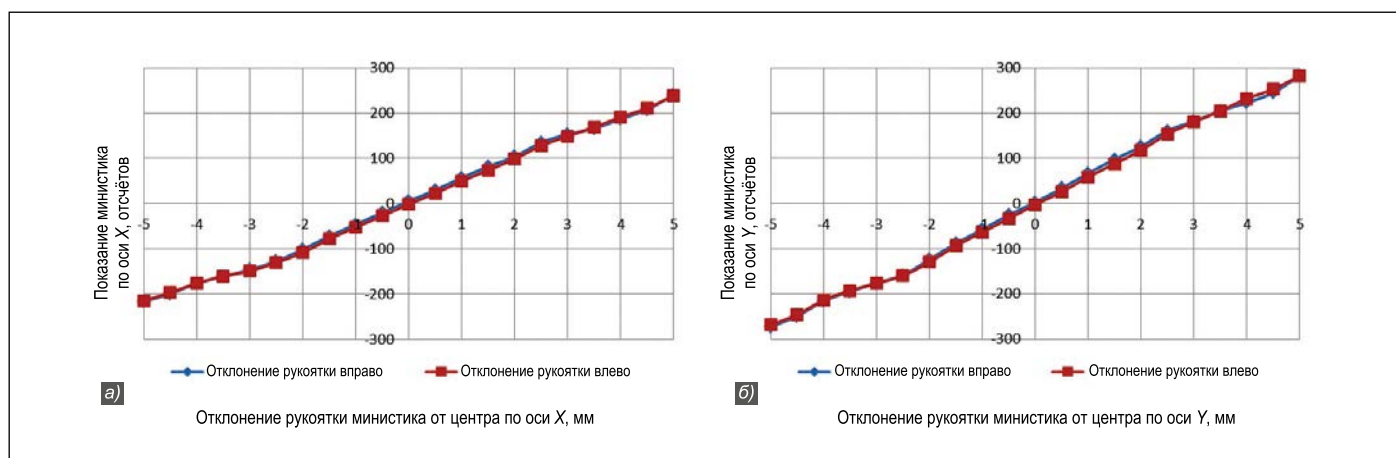
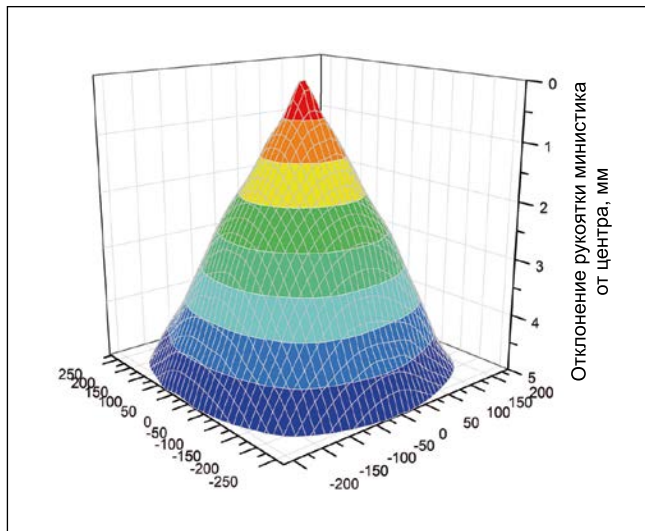


Рис. 5. Графики функции преобразования оптического министика по осям X (а) и Y (б) при углах поворота министика 0° и 90° соответственно

Параметры качества сигнала исследуемого министика

Параметр	Значение
Диапазон значений (амплитуда) по оси X	454
Диапазон значений (амплитуда) по оси Y	550
Разрешение по оси X, значений/мм	45,4
Разрешение по оси Y, значений/мм	55
Макс. разброс значений, %, менее	0,5
Макс. нелинейность по оси X, %	3,43
Макс. нелинейность по оси Y, %	3,41
Макс. гистерезис по оси X, %	1,05
Макс. гистерезис по оси Y, %	1,3

Рис. 6. Пример зависимости показаний оптического министика по осям X и Y от величины отклонения управляющей рукоятки (при заданном угле поворота министика)



Лучевая диаграмма исследованного министика приведена на рис. 4.

Результаты исследования функции преобразования министика по оси X (угол поворота 0°) и по оси Y (угол поворота 90°) представлены на рис. 5.

Качество полезного сигнала реального министика оценивалось по пяти показателям:

– амплитуда (диапазон значений функции преобразования министика при отклонении управляющей рукоятки министика в заданных пределах, от -5 до $+5$ мм);

– разрешение (количество значений выходного сигнала министика на единицу величины отклонения управляющей рукоятки министика);

– точность (разброс значений при определенном отклонении управляющей рукоятки министика);

– нелинейность (отклонение кривой функции преобразования исследуемого министика от прямой линии);

– гистерезис (различие значений выходного сигнала при одинаковой величине отклонения управляющей рукоятки министика, но разных (противоположных) направлениях его изменения).

Амплитуда ΔX вычислялась по формуле

$$\Delta X = X_{max} - X_{min},$$

где X_{max} и X_{min} – максимальное и минимальное значения функции преобразования по данной оси.

Разрешение R вычислялось как

$$R = \Delta X / \Delta L,$$

где ΔL – диапазон отклонений управляющей рукоятки, мм.

Оценка точности производилась по выражению

$$\delta = |\text{СКО} / \Delta X|,$$

где δ – относительное отклонение показаний министика по данной оси, СКО – среднее квадратическое отклонение показаний министика по данной оси относительно среднего значения.

Для оценки нелинейности по методу наименьших квадратов строилась аппроксимирующая функция прямой линии вида $X = k \cdot x + b$, и нелинейность N_L вычислялась по формуле

$$N_L = |X - X_{\text{РАСЧ}}| / \Delta X,$$

где X и $X_{\text{РАСЧ}}$ – фактическое и рассчитанное (с помощью аппроксимирующей функции) показания министика по данной оси в данной точке.

Гистерезис G оценивался по выражению

$$G = |X_{\text{ПР}} - X_{\text{Л}}| / \Delta X,$$

где $X_{\text{ПР}}$ и $X_{\text{Л}}$ – показания министика по данной оси в данной точке при перемещениях управляющей рукоятки вправо и влево.

Результаты расчёта указанных параметров качества сигнала исследуемого министика приведены в таблице.

По результатам измерений построены трёхмерные графики зависимости показаний министика по осям X и Y от величины отклонения управляющей рукоятки (рис. 6) при разных углах поворота министика.

Выводы

– Оптическая схема министика на основе упругодеформируемого элемента и VCSEL-лазера позволяет создавать работоспособные и высокоэффективные устройства.

– Максимальный диапазон отклонения рукоятки министика составляет $\pm 5,0$ мм, что укладывается в оптимальный диапазон амплитуд отклонения пальцев руки порядка $12-20$ мм.

– Исследованный министик имеет достаточно высокие амплитуды выходного сигнала – до 550 значений по одной оси (а, например, джойстик «EasyPoint Joystick Position Sensor», на датчике Холла, имеет амплитуду выходного сигнала в 256 значений).

– Максимальное разрешение по оси X составило 55 значений/мм, а по оси Y – 45,4 значений/мм. Это озна-

чает, что чувствительность министика по оси X равна 0,02 мм и по оси Y – 0,025 мм.

– Функция преобразования исследованного оптического министика линейна и симметрична во всём диапазоне отклонения рукоятки: в пределах от -5 до $+5$ мм. Нелинейность не превышает 3,5 % для каждой из осей.

– Мёртвая зона министика не превышает 0,5 мм по всем осям.

– Максимальный гистерезис составляет 1,3 % от диапазона значений функции преобразования.

Таким образом, функция преобразования оптического министика соответствует основным требованиям, предъявляемым к средствам управления сложной робототехникой, манипуляторами и летательными аппаратами. Применение гибридных массивов VCSEL-лазеров и *pin*-фотодиодов позволяет создавать высокоточные цифровые министики.

Научно-прикладные исследования и экспериментальные разработки проводятся в данном направлении при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки РФ. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок – RFMEFI57914X0087.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубин С.А., Комаров В.М., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Семёнов Э.И. Экспериментальное исследование характеристик оптических министиков с общим излучателем // Вестник РГТУ им. П.А. Соловьёва. – 2015. – № 1.

2. Голубин С.А., Комаров В.М., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Семёнов Э.И. Исследование характеристик оптических министиков // Светотехника. – 2015. – № 6. – С. 17–20.

3. Голубин С.А., Никитин В.С., Белов Р.Б. Цифровые оптические министики для управления робототехническими комплексами // Электросвязь. – 2015. – № 11. – С. 68–69.

4. Никитин В.С., Белов Р.Б. Управлять без рычагов // Наука и жизнь. – 2012. – № 12.

5. Никитин В.С., Морозов П.П. Оптический джойстик / Заявка на изобретение № 2013112435 РФ, 2014. Бюл. № 27.

6. Никитин В.С. Способ коммутации электрических цепей и многофункциональный переключатель для его осуществ-

ления / Патент РФ № 2455678, 2012. Бюл. № 19.



Голубин Сергей Александрович, инженер. Окончил в 2013 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Инженер-системотехник ООО «НПП Тензосенсор». Аспирант ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва»



Ломанов Алексей Николаевич, кандидат техн. наук. Окончил в 2003 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Декан факультета радиоэлектроники и информатики ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А. Соловьёва»



Никитин Владимир Степанович, кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. Тбилисское Высшее артиллерийское командное училище. Директор ООО «НТЦ «Интрофизика»



Комаров Валерий Михайлович, кандидат техн. наук, профессор. Окончила 1972 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Зав. кафедрой «Вычислительные системы» ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А.Соловьёва»



Семёнов Эрнст Иванович, доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. РГТУ им. П.А.Соловьёва. Профессор ФГБОУ ВПО «РГТУ им. П.А.Соловьёва». Область научных интересов: кон-

троль над процессами получения тонких плёнок, автоматика, радиоэлектроника, микроэлектроника, вычислительная техника

Проект «Клиника «Стоматология на Смоленке» (Москва)

Это один из первых для МГК «Световые Технологии» в специализированной нише «медицинского света» – освещение рабочего места стоматолога. Проект реализован совместно с компанией-дистрибьютором «Стоматорг» (один из лидеров стома-



тологического рынка России, реализующий полный ассортимент оборудования и расходных материалов для стоматологических клиник и зуботехнических лабораторий).

Необходимо было подобрать осветительный прибор, обеспечивающий бестеневое освещение, что принципиально важно для стоматолога, проводящего манипуляции в ротовой полости пациента и в прилегающей рабочей зоне. При этом необходима освещённость не ниже 4000 лк, что практически недостижимо при использовании обычных светильников. Высокий индекс цветопередачи (R_a 90) должен позволять различать мельчайшие оттенки стоматологических материалов, а функция диммирования необходима для «приглушения» светильника на время смешивания пломбировочных материалов, чувствительных к свету. Кроме того, важен и современный дизайн.

В результате в стоматологических кабинетах Клиники установлен светильник «ДЕНТАЛ бестеневой», основными преимуществами которого являются: а) большая площадь равномерно освещаемой поверхности без образования теней; б) специальная конструкция рассеивателя, устойчивого к обработке дезинфицирующими средствами; в) общий индекс цветопередачи $R_a > 90$; г) возможность диммирования светового потока.

Все требования к освещению были выполнены, и, кроме того, в применённом оборудовании есть функция диммирования с помощью пульта дистанционного управления, который позволяет плавно регулировать освещённость от 100 до 0 %, а также включать и выключать светильник. Эта дополнительная опция позволяет стоматологу управлять освещением, не покидая рабочее место.

www.ltcompany.com/
18.01.2017