

РАЗРАБОТКА ОПТОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ СВЕТОДИОДА В ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

WORKING OF OPTOELECTRONIC DEVICE POSITIONING OF INPUT BEAMING FROM A LIGHT-EMITTING DIODE IN OPTICAL FIBER

Аннотация. В статье на основе анализа «оптоэлектронных устройств позиционирования», представлено новое устройство уменьшения потерь при радиальном и угловом рассогласовании оптического волокна и светодиода, оно обладает упрощенной конструкцией, повышенной точностью позиционирования, а также расширенными функциональными возможностями.

Summary. In article «optoelectronic positioning devices», the new device of reduction of losses is presented an analysis basis at a radial and angular mismatch of an optical fiber and a light-emitting diode; it possesses the simplified construction extended precision of positioning, and also the expanded functionality.

За последние годы достигнут значительный прогресс в создании новых перспективных средств связи, повышающих качество и эффективность передачи информации различного вида, расширяющих услуги связи, снижающих трудо- и материалоемкость в отрасли. В числе таких средств-волоконно-оптические системы передачи (ВОСП). Их внедрение предопределяет развитие не только отрасли телекоммуникации, но и радиоэлектроники, атомной энергетики, освоения космоса, машиностроения, судостроения и т. д.

Одной из проблем современных ВОСП является уменьшение потерь при вводе оптического излучения в волокно.

Эффективность ввода оптического излучения (ОИ) в многомодовое оптическое волокно (МОВ) обеспечивается устройствами согласования, позволяющими уменьшить потери мощности по сравнению с её потерями при непосредственном соединении поверхностного диода излучения с МОВ. Одним из видов устройств согласования являются оптоэлектронные устройства позиционирования (ОЭУП).

Повышение эффективности ввода излучения в волокно в ОЭУП обеспечено применением углубления в кристалле поверхностного диода для приближения торца волокна к его активной области. Боковые размеры излучающей области диода подгоняются под размеры волокна, но обычно составляют 50 ... 100 мкм. Известные устройства позиционирования обладают большими потерями на вводе излучения из поверхностного диода в оптическое волокно [1, 2], смежной конструкцией.

В существующей литературе [1, 2, 3] отсутствуют данные о ОЭУП, обеспечивающих эффективность ввода ОИ в МОВ на уровне 7...10 дБ. Ввиду того, что в существующих ОЭУП создание углубления в кристалле поверхностного диода излучения, из-за сложности технологии точного изготовления углубления приводит к несоосности установки волокна относительно поверхности излучения диода излучения, возникла необходимость в усовершенствовании их конструкции.

Целью данной работы является разработка ОУП новой конструкции, которая позволяет упростить механическую конструкцию известных ОУП, повысить точность позиционирования направления излучения, уменьшить потери, связанные с радиальным смещением (децентрировкой) и угловым рассогласованием волоконного световода и поверхности излучения диода, а также расширить функциональные возможности устройств управления направлением излучения.

Согласно [2] величина введенной в ОВ мощности зависит от числовой апертуры NA, а также от угловой диаграммы направленности источника излучения (ИИ). ОВ захватывает только те оптические лучи, которые падают из среды (воздушного зазора между ИИ и ОВ) с n_0 на его торец под углом к его оси, меньшим чем $\Theta_{0 \text{ макс}}$, где

$$NA = \sin \Theta_{0 \text{ макс}} = \begin{cases} \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} & \text{— для ОВ со ступенчатым профилем показателем преломления;} \\ \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0 \cdot \sqrt{2}} & \text{— для ОВ с градиентным профилем показателем преломления.} \end{cases} \quad (1)$$

Поэтому значительные потери могут появиться в случае, когда угловое распределение мощности излучения превышает телесный угол $2 \cdot \Theta_{0 \text{ макс}}$.

Угловые диаграммы направленности оптического излучения источников можно представить формулой [2]:

$$P(\varphi) = P_0 (\cos \varphi)^m, \quad (2)$$

где P_0 – мощность оптического излучения вдоль оси ($\varphi = 0$).

Показатель степени $m \approx 1$ для светодиодов (СД). Для суперлюминисцентных лазерных диодов (СЛД) $m \approx 2$, а для полупроводниковых лазерных диодов (ППЛД) $m \approx 4 \dots 5$.

Как известно, потери при вводе излучения в МОВ представляются виде [2]

$$\alpha_{\text{ув}} \approx \eta + A_0 + A_y, \quad (3)$$

где η – эффективность ввода или потери мощности при непосредственном соединении с МОВ;

A_0 – потери на отражение энергии оптического излучения из-за различия показателей преломления источника n_u ($n_u = 3,6$ для *GaAs*) воздуха и сердцевины ОВ $n_1 \approx 1,5$;

A_y – потери в ОВ за счёт преобразования мод на длине установившегося модового состава.

Если диаграмма направленности источника излучения (ИИ) обладает осевой симметрией, как, например, у СД, то эффективность ввода при непосредственном соединении с многомодовыми оптическими волокнами определяется в виде отношения P_a/P_u или

$$\eta = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_a}{P_u} \right) \approx 10 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot S_u}{(m+1) \cdot S_a \cdot (NA)^2} \right], \text{ дБ}, \quad (4)$$

где P_u – мощность излучения ИИ; P_a – мощность излучения, введённая в ОВ; S_u – площадь излучающей поверхности ИИ; S_a – поперечное сечение сердцевины ОВ.

Эффективность ввода оптического излучения в МОВ можно значительно улучшить при использовании, например, микролинзы, помещенной между торцом МОВ и излучающей поверхности ИИ. Такие микролинзы могут быть изготовлены, например, путем оплавления торца МОВ. Микролинзы применяются для того, чтобы уравнивать полуширину угловой диаграммы направленности ИИ с апертурным углом МОВ ($\varphi \leq \Theta_{0 \text{ макс}}$). Поскольку диаметр (размер) излучающей поверхности светодиода больше или равен диаметру сердцевины ОВ, то микролинза не даёт желаемого результата.

Определёнными преимуществами по улучшению эффективности ввода в МОВ с помощью микролинз обладают «оптоэлектронные устройства позиционирования» [3].

Потери на отражение ОИ определяются из формулы Френеля при нормальном падении волны на плоскую границу раздела между средами с n_{c1} и n_{c2}

$$A_0 = 10 \cdot \lg \left(\frac{(n_{c1} + n_{c2})^2}{4 \cdot n_{c1} \cdot n_{c2}} \right).$$

Если между ИИ и МОВ имеется воздушный зазор с $n_0 = 1$, то $A_0 = A_{u0} + A_{01}$, где

A_{u0} – потери на отражение энергии на первой границе – излучающая область ИИ и воздушный зазор; A_{01} – потери на отражение энергии на второй границе – воздушный зазор и сердцевина МОВ.

Реальные МОВ содержат нерегулярности, например технологические дефекты, макроизгибы и др., которые приводят к образованию межмодовых связей и излучению части мощности из МОВ в защитные покрытия. К этому же приводит в конечном итоге и несовпадение модового состава и структуры мод ИИ и МОВ, создающие на длине установления стационарного состояния мод L_y сложный процесс преобразования распространяющихся мод в вытекающие (излучательные) моды, которые излучаются за пределы ОВ. По оценкам, проведенным в [3], величина потерь на излучение A_y на участке L_y может достигать 2,05 дБ.

В данной работе приводится новая упрощенная конструкция оптоэлектронного устройства позиционирования (ОЭУП), обладающая повышенной точностью ввода ОИ в МОВ и уменьшением потерь излучения на вводе в волокно [1] за счет уменьшения площади взаимодействия излучающей поверхности ОИ с МОВ.

В предлагаемом ОЭУП уменьшение потерь мощности ОИ осуществляется за счёт того, что МОВ расположено в углублении кристалла поверхностного диода, а само устройство выполнено в виде двух кольцеобразных пьезоэлектрических элементов, закрепленных на основании соосно относительно друг друга. Каждый из элементов состоит из двух пар идентичных отдельных секций электродов. Причем на одном кольцеобразном пьезоэлектрическом элементе с возможностью смещения по координатной оси «X», на крепёжной планке жёстко закреплённой к его боковой стенке установлен поверхностный диодный излучатель, а на крепёжной планке жёстко закреплённой к боковой стенке другого кольцеобразного пьезоэлектрического элемента, с возможностью смещения по оси «Y», установлено оптическое волокно, при этом электрические контакты поверхностного диодного излучателя присоединены к выходу генератора переменной частоты. Оптическое волокно линии связи через оптоэлектронный преобразователь подключено ко входу операционного усилителя, первый выход которого первой цепью обратной связи присоединён ко входу детектирующего устройства. Первый и второй выходы которого подключены соответственно к первым входам первого и второго источников постоянного напряжения, второй выход операционного усилителя второй цепью обратной связи присоединен ко входу устройства сравнения, первый и второй выходы которого через детектирующие устройства подключены ко второму входу первого и второго источников постоянного напряжения, выходы каждого из которых соединены к расположенным напротив друг друга отдельным электродным секциям обеих кольцеобразных пьезоэлектрических элементов [4].

Выполнение предложенного устройства в виде оптического волокна, а также поверхностного диода излучения, установленных на крепежной планке жёстко закреплённых соответственно на одном и на другом соосных друг к другу кольцеобразных пьезоэлектрических элементов, каждый из которых состоит из пар идентичных отдельных электродов, при этом кольцеобразные пьезоэлектрические элементы жёстко закреплены на основании таким образом, что оптическое волокно имеет возможность плавного смещения по координатной оси «Y», а поверхностный диод излучения по координатной оси «X», при котором обеспечивается требуемая точность позиционирования.

Соединение кольцеобразных пьезоэлектрических элементов с электронными блоками схемы управления связанными первой и второй цепью обратной связи с источниками постоянного напряжения обеспечивает требуемую точность позиционирования по положению поверхностного диода излучения занимаемому поверхностным диодом и волокном оптической линии связи относительно друг друга в автоматическом режиме, определяемым максимально предельным значением сигнала напряжения снимаемого с выхода устройства сравнения.

На рис. 1 приведена конструкция устройства уменьшения потерь в аксонометрии, на рис. 2 показан один из кольцеобразных пьезоэлектрических элементов с направлением деформации, совпадающим с координатной осью «Y» (условно показано пунктирными линиями), а на рис. 3 дан вид сбоку кольцеобразных пьезоэлектрических элементов с электродами, подключенными к электронным блокам схемы управления [4].

Устройство уменьшения потерь, изображенное на рис. 1, содержит оптическое волокно – 1 линии связи – 2, расположенное в углублении, выполненном в кристалле – 3 поверхностного диода – 4 для ввода его излучения в волокно (рис. 1, 3).

Устройство выполнено в виде двух кольцеобразных пьезоэлектрических элементов – 5, 6 закреплённых на основании – 7 соосно относительно друг друга, каждый из которых

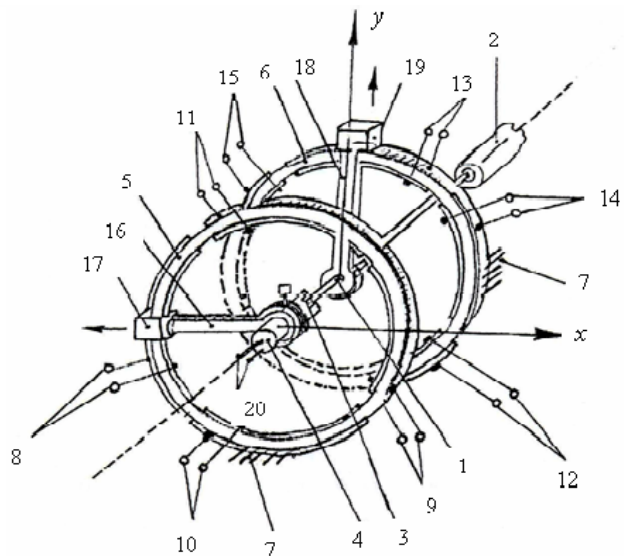


Рисунок 1 – Конструкция устройства уменьшения потерь в аксонометрии

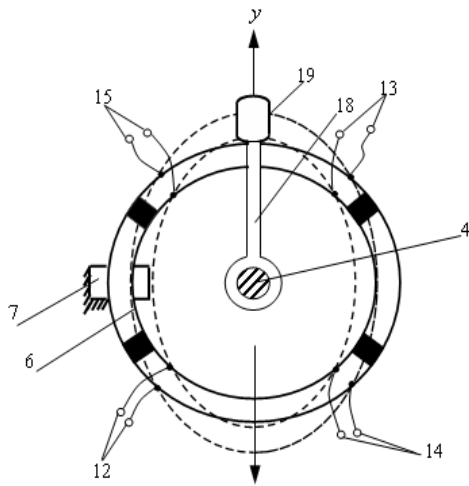


Рисунок 2 – Схема кольцеобразного ПЭ с направлением деформации по оси «Y»

состоит из двух пар идентичных отдельных секций электродов – 8, 9, 10, 11 и 12, 13, 14, 15. На одном из кольцеобразных пьезоэлектрических элементов с возможностью смещения по координатной оси «X», на крепежной планке – 16 жестко закрепленной к его боковой стенке – 17, установлен поверхностный диодный излучатель, а на крепежной планке – 18 жестко закрепленной к боковой стенке – 19 другого кольцеобразного пьезоэлектрического элемента с возможностью смещения по координатной оси «Y» установлено волокно оптической линии связи.

Электрические контакты – 20 поверхностного диодного излучателя соединены к выходу генератора – 21 переменной частоты, оптическое волокно линии связи через оптоэлектронный преобразователь – 22 подключено к входу операционного усилителя – 23, первый выход которого первой цепью обратной связи соединён к входу детектирующего устройства – 24, первый и второй выходы которого подключены

соответственно к первым входам первого – 25 и второго – 26 источников постоянного напряжения, второй выход операционного усилителя – 23 второй цепью обратной связи соединён к входу устройства сравнения – 27, первый и второй выходы которого через детектирующие устройства – 28, 29 подключены соответственно к второму входу первого и второго источников постоянного напряжения, выходы каждого из которых соединены к расположенным напротив друг друга отдельным электродным секциям обоих кольцеобразных пьезоэлектрических элементов.

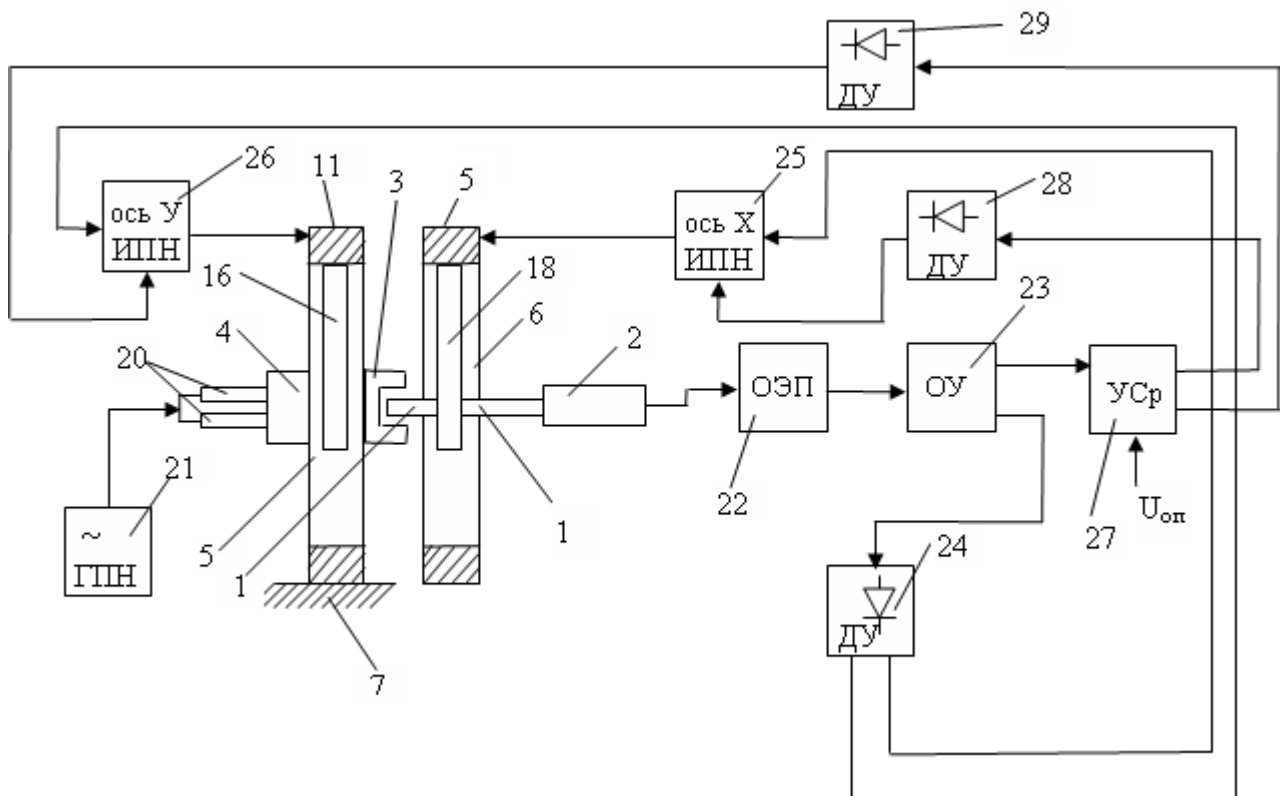


Рисунок 3 – Вид сбоку кольцеобразных ПЭ с электродами, подключенными к электронным блокам структурной схемы управления

Устройство работает следующим образом:

До подачи напряжения питания на кольцеобразные пьезоэлектрические элементы – 5, 6 (рис. 1, 2) для обеспечения их соосности относительно друг друга сперва производят первоначальную юстировку. Затем с выхода генератора – 21 переменной частоты сигналы подают на электрические контакты – 20, поверхностного диода – 4 излучения. Световые сигналы воспринимаются волокном –

1 оптической линии связи – 2 расположенным в углублении кристалла – 3 поверхностного диода – 4. После преобразования оптических световых сигналов в электрические сигналы в блоке – 22 оптоэлектронного преобразователя, сигналы поступают на вход операционного усилителя – 23.

Усиленные сигналы с первого выхода операционного усилителя – 23 подаются на вход детектирующего устройства – 24, после детектирования, первой цепью обратной связи подаются на первый вход первого – 25 и на первый вход второго – 26 источников постоянного напряжения, для регулирования их коэффициента усиления, с выхода которых (рис. 1) напряжение питания поступает на противоположащие друг к другу отдельные электродные секции – 10, 11 и 13, 15 кольцеобразных пьезоэлектрических элементов приводит к их деформации в виде эллипса, большая ось которого совпадает с направлением смещения поверхностного диода – 4 и волокна – 1 оптической линии – 2 связи по координатным осям «X» и «Y» соответственно. Совпадение их центров приводит к повышению эффективности вводимого излучения и следовательно к увеличению сигналов напряжения подаваемых на вход устройства сравнения – 27. При равенстве подводимого и опорного напряжений с выхода устройства сравнения – 27 второй цепью обратной связи сигналы напряжения после детектирования в блоках – 28, 29 поступают на вторые входы, соответственно первого – 25 и второго – 26 источников постоянного напряжения для поддержания коэффициента усиления неизменным, при котором обеспечивается соосность поверхностного диода – 4 излучения и оптического волокна – 1 линии – 2 связи.

Потери на ввод излучения в волокно – 1 оптической линии – 2 связи в предложенном устройстве составляет (7 ... 10) дБ, что на (35 ... 40) % меньше чем в известных устройствах.

В заключении разработки и исследования данного ОЭУП можно отметить, что:

1. На основе анализа современных ОЭУП в данной работе представлено устройство позиционирования нового типа, выполненное в виде двух кольцеобразных пьезоэлектрических элементов с электронными блоками схемы управления.

2. Результаты экспериментальных исследований работы ОЭУП позволили установить, что данное устройство обладает достаточно высокой точностью позиционирования, обеспечивающей потери оптического излучения на вводе в МОВ в (7..10) дБ, что на (35...40)% меньше, чем в известных устройствах.

3. Разработанное авторами ОЭУП может быть рекомендованным к использованию на местных и структурированных сетях связи, работающих на базе оптических кабелей с многомодовыми оптическими волокнами.

Литература

1. *Гроднев И.И.* Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1990.
2. *Семёнов Н.А.* Потери при вводе энергии в оптический кабель. – М.:Электросвязь.1980. – №12.
3. *Проектирование* волоконно-оптических систем передачи / В.И. Корнейчук, Т.В. Макаров, И.П. Панфилов, О.П. Проживальский. – Одесса, ОЭИС, 1991.
4. *Мансуров Т.М., Бейбалаев Г.Б.* Оптоэлектронное устройство позиционирования. Положительное решение о выдаче Патента Азербайджанской Республики за № а 2006 0037 от 26.04.2007.