

ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Мансуров Т.М., Алиев Ч.П., Джебраилова С.А.

*Азербайджанский технический университет,
AZ1073, Азербайджан, г.Баку, пр. Г.Джавида, 25.
tofiq-mansurov@rambler.ru*

ЗАВДАННЯ РОЗРОБКИ І МОДЕЛЮВАННЯ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Мансуров Т.М., Алієв Ч.П., Джебраилова С.А.

*Азербайджанський технічний університет,
AZ1073, Азербайджан, м.Баку, пр. Г.Джавида, 25.
tofiq-mansurov@rambler.ru*

TASKS OF DEVELOPMENT AND SIMULATION OF OPTOELECTRONIC COMPONENTS OF OPTIC COMMUNICATION

Mansurov T.M., Aliyev Ch.P., Dzhebrailova S.A.

*Azerbaijani technical university,
AZ1073, Azerbaijan, Baku, G. Jaweed Ave, 25.
tofiq-mansurov@rambler.ru*

Аннотация. Проведен анализ структурного построения схем организации оптической связи с пассивными компонентами, т.е. оптоэлектронным переключателем и устройством прецизионного позиционирования направления излучения. На основе анализа сделан вывод о том, что существующие компоненты не обеспечивают высокую точность переключения и позиционирования направления оптического излучения, что приводит к потере энергии при вводе оптического излучения в оптическое волокно на точках механического соединения. С этой целью разработана схема организации оптической связи с пассивными компонентами, конструктивная схема, схема управления и математическая модель функционирования оптоэлектронного переключателя и устройства прецизионного позиционирования направления оптического излучения. Показано, что разработанный оптоэлектронный переключатель и устройства прецизионного позиционирования направления излучения позволяют уменьшить время, повысить точности переключения и позиционирования направления оптического излучения, обеспечить потери на местах механического соединения и ввода излучения в волокно оптического кабеля в пределах 0,1...0,5 дБ, что на 50...55% меньше чем в известных устройствах. Данные устройства обладают существенными преимуществами перед известными электромеханическими и магнитоэлектрическими отклоняющими системами, к числу которых можно отнести малую потребляемую мощность, высокую точность, надежность и технологичность. Это и позволяет предположить, что предложенная конструкция может найти применение в современных оптических системах передачи информации.

Ключевые слова: прецизионное позиционирование, дистанционный, оптоэлектронный переключатель, направление излучения, световод, пьезоэлемент, оптическое волокно.

Анотація. Проведений аналіз структурної побудови схем організації оптичного зв'язку з пасивними компонентами, тобто оптоелектронним перемикачем і пристроєм прецизійного позиціонування напряму випромінювання. На основі аналізу зроблених висновки про те, що існуючі компоненти не забезпечують високу точність перемикання і позиціонування напряму оптичного випромінювання, що призводить до втрати енергії при введенні оптичного випромінювання в оптичне волокно на точках механічного з'єднання. З цією метою розроблені схема організації оптичного зв'язку з пасивними компонентами, конструктивна схема, схема керування і математична модель функціонування оптоелектронного перемикача і пристрій прецизійного позиціонування напряму оптичного випромінювання. Показано,

що розроблений оптоелектронний перемикач і пристрій прецизійного позиціонування напряму випромінювання дозволяють зменшити час, підвищити точність перемикачання і позиціонування напряму оптичного випромінювання, забезпечити втрати на місцях механічного з'єднання і введення випромінювання у волокно оптичного кабелю в межах 0,1...0,5 дБ, що на 50...55% менше ніж у відомих пристроях. Ці пристрої мають істотні переваги перед відомими електромеханічними і магнітоелектричними відхилюючими системами, до числа яких можна віднести малу споживану потужність, високу точність, надійність і технологічність. Це і дозволяє припустити, що запропонована конструкція може знайти застосування у сучасних оптичних системах передачі інформації.

Ключові слова: прецизійне позиціонування, дистанційний, оптоелектронний перемикач, напрям випромінювання, світлопровід, п'єзоелемент, оптичне волокно.

Summary. The analysis of structural creation of diagrams of the organization of optic communication with passive components, i.e. the optoelectronic switch and device of precision positioning of the direction of radiation is carried out. On the basis of the analysis the conclusion is drawn that the existing components don't provide high accuracy of switching and positioning of the direction of optical radiation that leads to loss of energy in case of input of optical radiation in an optical fiber on points of mechanical connection.

The diagram of the organization of optic communication with passive components, the constructive diagram, the control diagram and a mathematical model of functioning of the optoelectronic switch and device of precision positioning of the direction of optical radiation are for this purpose developed.

It is shown that the developed optoelectronic switch and devices of precision positioning of the direction of radiation allow to reduce time, to raise the accuracy of switching and positioning of the direction of optical radiation, to provide losses on places of mechanical connection and input of radiation in a fiber of the optical cable within 0,1...0,5 dB that on 50...55% are less than in the known devices. These devices have essential advantages over the known electromechanical and magnetoelectric rejecting systems to which number it is possible to carry small power consumption, high accuracy, reliability and technological effectiveness. It also allows to assume that the offered construction can find application in the modern optical systems of information transfer.

Keywords: precision positioning, distant, optoelectronic switch, direction of radiation, light waveguide, piezoelement, optical fiber.

Повышение качества и эффективности передачи различных видов информации и расширение услуг связи на телекоммуникационных сетях обусловлено внедрением оптических систем передачи. Внедрение таких систем предопределяет развитие отрасли телекоммуникации, радиоэлектроники, атомной энергетики, освоения космоса, машиностроения, судостроения и т. д. Организация оптической связи связана с построением линейного тракта с пассивными компонентами, которые вносят определенные потери на местах механического соединения, при переключении и позиционировании направления излучения в оптическое волокно (ОВ). Наряду с улучшением параметров и совершенствования конструкций оптических кабелей различного назначения не менее остро стоит вопрос о создании надежных, конструктивно простых и с расширенной функциональной возможностью пассивных компонентов, т.е. оптоэлектронных переключателей, устройств позиционирования и других коммутирующих устройств, без которых невозможно построение линейного тракта разветвленных оптических сетей. Эффективность процесса передачи оптического сигнала обеспечивается устройствами согласования, в качестве которых применяются оптоэлектронные переключатели и устройства позиционирования направления излучения. Эти устройства позволяют уменьшить потери мощности по сравнению с потерями при физическом соединении источника излучения (ИИ) с ОВ [1, 2, 4].

Постановка задачи. Время и точность переключения ОВ и эффективность позиционирования направления излучения зависит от сложности конструкции и технологии изготовления оптоэлектронных устройств (ОУ). В связи с этим возникает задача разработки и моделирования пассивных компонентов линейного тракта оптической связи, т.е. разработка оптоэлектронного переключателя, устройств позиционирования упрощенной конструкции и схем управления ими, которые позволяют повысить точность переключения и позиционирования направления ОИ, уменьшить потери, связанные с радиальным смещением и угловым рассогласованием источника излучения (ИИ) и ОВ, а также расширить функциональные возможности этих устройств.

Выбор критериев разработки. Эффективность передачи ОИ определяется многими факторами, к числу которых можно отнести повышение эффективности существующих линейных сооружений, уменьшение дисперсионных искажений, увеличение длины регенерационного участка, уменьшение числа промежуточных необслуживаемых регенерационных пунктов, исследование основных закономерностей согласованного включения ИИ с ОВ, переключения и позиционирования направления излучения при вводе от ОИ в ОВ.

Повышение эффективности процесса передачи ОИ заключается в решении двух основных задач, т.е. нахождение целевой функции и определение таких значений показателей, которые обеспечили бы работу устройства при экстремальных значениях целевой функции. Руководствуясь вышеперечисленными принципами целевую функцию можно определить в следующем виде:

$$E_{\text{эфф}} = \{ \max[\eta_{\text{эи}}, K_{\text{вв}}, L_{\text{ру}}], \min[t_{\text{пер}}, n_{\text{НРП}}] \}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{эи}}$ – коэффициент эффективного использования линейного сооружения; $K_{\text{вв}}$ – коэффициент ввода ОИ в ОВ; $L_{\text{ру}}$ – длина регенерационного участка; $t_{\text{пер}}$ – время переключения ОВ; $n_{\text{НРП}}$ – число промежуточных необслуживаемых регенерационных пунктов.

Для обеспечения эффективности процесса передачи ОИ в работе проводится исследование по разработке средств, обеспечивающих требуемого значения времени переключения и коэффициента ввода, показывающего степени согласования выхода системы передачи с входом линии.

Разработка схемы организации оптической связи. Схема организации оптической связи с применением оптоэлектронного переключателя и устройства прецизионного позиционирования ОВ оптического кабеля показана на рис. 1.

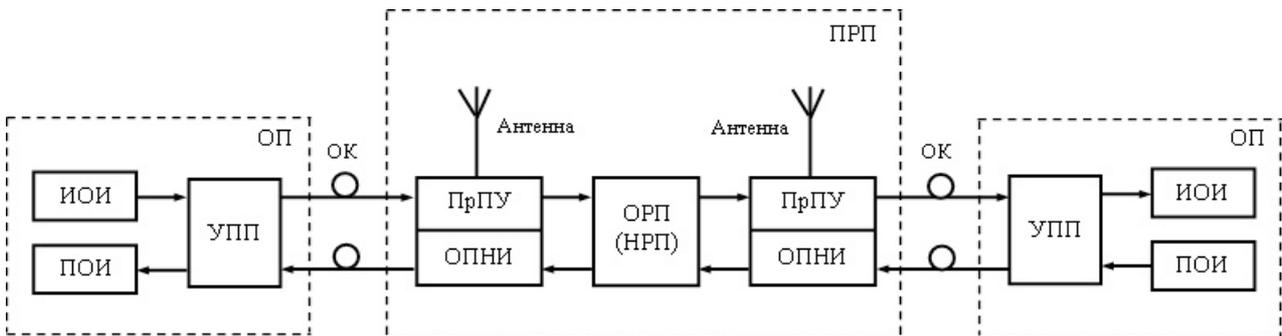


Рисунок 1 – Схема организации оптической связи

Схема организации оптической связи состоит из оконечных пунктов (ОП), промежуточного регенерационного пункта (ПРП) и среды передачи из оптического кабеля (ОК). В свою очередь, каждый из ОП состоит из источника ОИ (ИОИ), приемника ОИ (ПОИ) и устройства прецизионного позиционирования (УПП), а ПРП из приема – передающего устройства (ПрПУ) с антенной, оптоэлектронного переключателя направления излучения (ОПНИ) и обслуживаемого (ОРП) и/или необслуживаемого регенерационного пункта (НРП) и ОК в качестве направляющей среды.

Теперь в отдельности рассмотрим задачи разработки пассивных компонентов линейного тракта оптической связи.

Разработка оптоэлектронного переключателя направления излучения. В работах [6 – 8] решены задачи разработки ОПНИ, математической модели функционирования и схемы экспериментальной установки испытания для снятия зависимости напряжения от времени торможения вала при различных значениях момента на валу пьезоэлектрического двигателя. Данное устройство обеспечивает дистанционное переключение ОВ, позволяет дистанционно плавно изменять направления ОИ в пределах от 0° до 360° , уменьшить площади взаимодействия излучающей поверхности ОИ с ОВ и времени переключения по сравнению с

длительностью передаваемых битов. С практической стороны он позволяет решить задачи организации метода горячего резервирования для транспортных сетей высоких уровней (STM-64, STM-256 и выше), длительность импульсов в которых менее 100 пс.

Разработка устройства прецизионного позиционирования. Как известно [1, 2, 7], устройства позиционирования направления ОИ включают в себя сравнительно большое количество механических элементов и узлов со сложной геометрической формой и конфигурацией, усложняющих их конструкцию, а также снижающих точности процесса позиционирования. Кроме того, после остановки механического узла продвижения ввиду имеющихся люфтов точность позиционирования сканирования луча уменьшается, что приводит к частичной потере энергии излучения передаваемого сигнала. Поэтому эксплуатационная надежность данной конструкции невысокая, так как ОВ световодов, служащие каналом связи, находятся в подвижном состоянии.

Как показал анализ [4 – 6], существующие устройства имеют определенные потери на местах механического соединения, сложную конструкцию и ограниченные функциональные возможности. В связи с этим, для уменьшения потерь на местах механического соединения, повышения точности позиционирования направления излучения и обеспечения совмещения осей приемо-передатчика и ОВ с высокой точностью разработано УПП.

Общая конструкция и электронные блоки управления УПП показаны на рис. 2 [9].

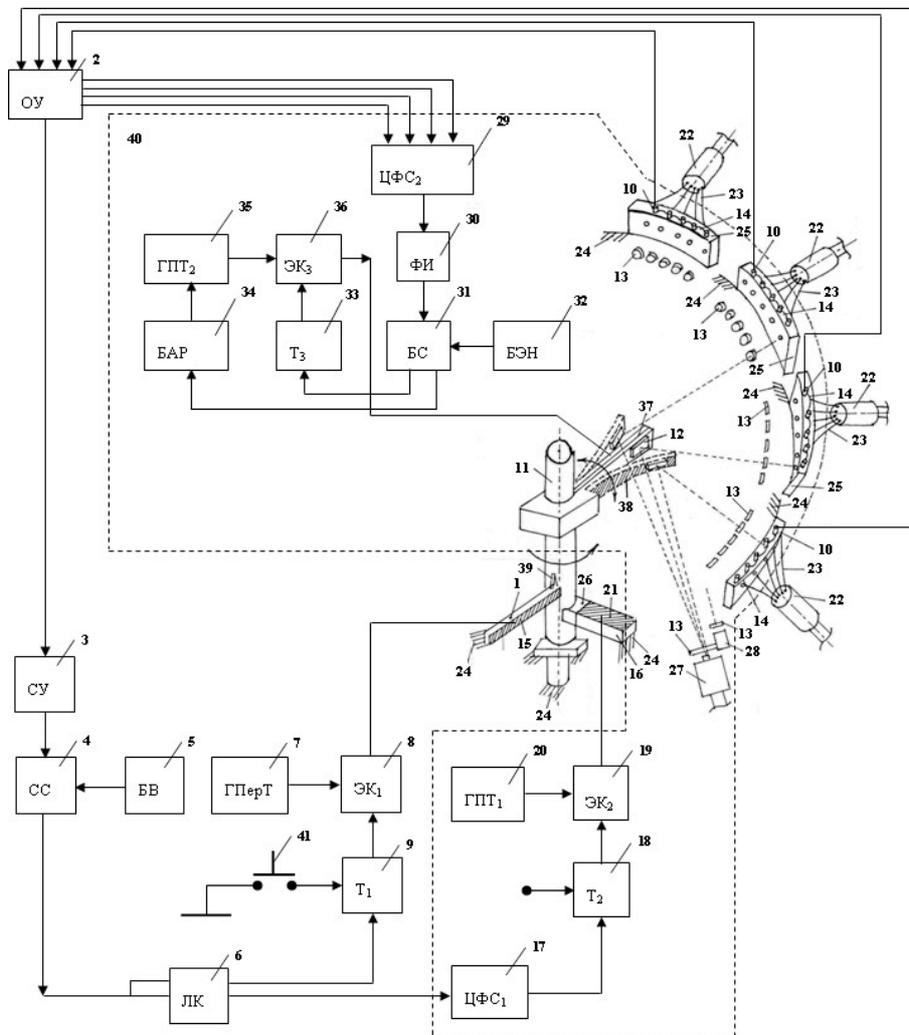


Рисунок 2 – Структурна схема УПП с электронной схемой его управления

Как известно [7, 8], существующий оптоэлектронный переключатель содержит зеркало, отражатель, фокусирующую линзу, волоконные световоды, шаговый двигатель,

операционный усилитель, счетное устройство, схему сравнения, блок выборки, логический ключ, генератор переменного тока, электронный ключ, триггер, светодиод и фотодиод.

Для решения поставленной задачи в известный оптоэлектронный переключатель дополнительно введены пьезокерамический тормозной элемент 16, первая фазосдвигающая цепь 17, второй триггер 18, второй электронный ключ 19, первый генератор постоянного тока 20, электроды пьезокерамического тормозного элемента 21, износостойкий наконечник пьезокерамического тормозного элемента 26, источник оптического луча 28, вторая фазосдвигающая цепь 29, формирователь выходных импульсов 30, блок сравнения 31, блок эталонного напряжения 32, третий триггер 33, блок автоматической настройки 34, второй генератор постоянного тока 35, третий электронный ключ 36, пьезокерамический биморфный элемент 37, электроды 38 пьезокерамического биморфного элемента. Оптические волокна 23 оптического кабеля 22 размещены на корпусе 24 устройства по секциям 25. Передача оптического сигнала осуществляется по волокнам ОК 27 и оптический луч от источника 28 направляется на отражатель. Для приема оптического луча на секциях устройства установлены фотодиоды 13. Механический контакт пьезокерамического биморфного элемента с цилиндрическим валом осуществляется наконечником 39 пьезоэлемента. Введенные в предложенное устройство новые элементы и конструкция выделены пунктирной линией и условно обозначены позицией 40. Устройства запускаются в работу с помощью ключа 41.

На рис. 3 дано взаимное расположение пьезокерамического элемента относительно цилиндрического вала, на рис. 4 показана рабочая эллипсовидная траектория 42 движения механической деформации наконечника пьезокерамического элемента, на рис. 5 – траектория согнутой деформации 43 пьезокерамического элемента, на рис. 6 – вид пьезокерамического тормозного элемента.

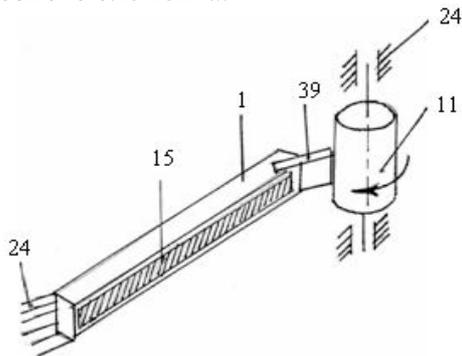


Рисунок 3 – Взаимное расположение пьезокерамического элемента относительно цилиндрического вала

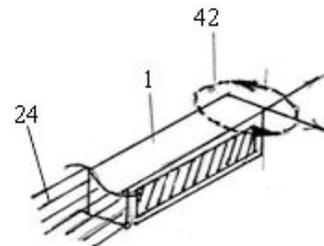


Рисунок 4 – Траектория движения конечной части пьезокерамического элемента УПП

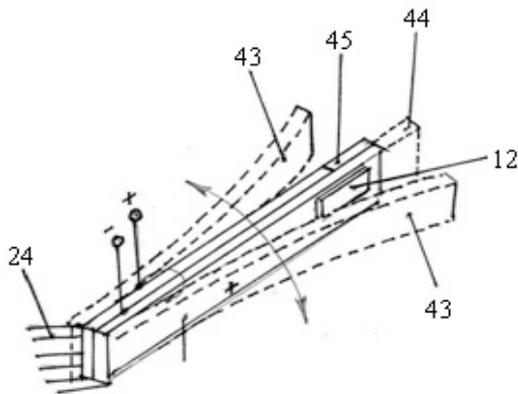


Рисунок 5 – Траектория согнутой деформации пьезокерамического элемента УПП

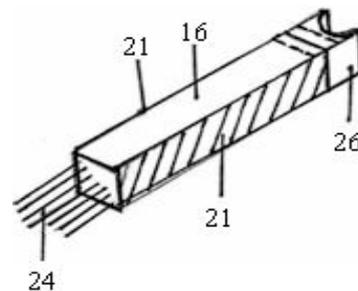


Рисунок 6 – Вид пьезокерамического тормозного элемента УПП

Два пьезокерамических элемента в виде плоскости сварены друг на друга. При подаче постоянного напряжения одна из плоскостей пьезокерамического элемента подвергается растяжной деформации 44 по длине, а другая – прижимной деформации 45 и в результате пьезокерамический элемент подвергается согнутой деформации.

Принцип действия УПП. Перед запуском устройства к работе блоком выборки 12, осуществляется выбор одного из каналов, по которому будет осуществлена передача оптического луча от оптического кабеля 27 к оптическим волокнам 23, размещенного в секциях 25, источник оптического луча 28 включается и оптический луч и направляется к отражателю 12 данного оптического луча (рис. 2). После этого с включением ключа 41 сигнал воздействует на первый вход первого триггера 9 и переводит его из одного состояния в другое и с его выхода сигнал поступает на управляющий вход первого электронного ключа и запускает его к работе. С выхода генератора переменного тока 7 переменное напряжение ультразвуковой частоты – $u_{узч}$ (рис. 7) через сигнальный выход первого электронного ключа 8 подается на электроды пьезокерамического элемента 1, этим наконечник 39 пьезокерамического элемента 1 воздействуя на цилиндрический вал с механическими колебаниями, создаваемыми деформацией по длине с ультразвуковой частотой, приводит его во вращательное движение.

На рис. 7 показана зависимость переменного напряжения и постоянного напряжения с перерывами, подаваемыми на пьезокерамический элемент УПП.

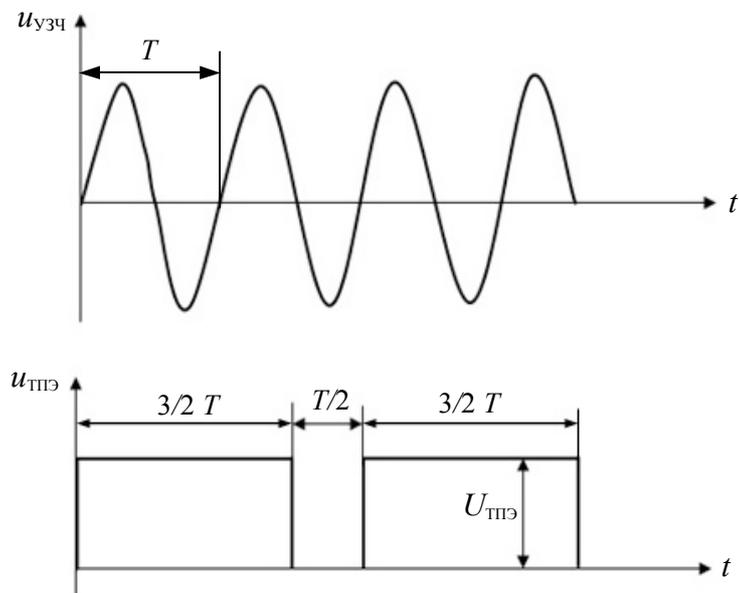


Рисунок 7 – Зависимость напряжений, подаваемых на пьезокерамический элемент УПП

От источника оптического излучения 28 луч, направленный на отражатель 12, отражаясь (на рис. 2 пути прохождения оптического луча показаны пунктирной линией) и проходя через фокусирующую линзу 13, попадает на нужный фотодиод 10 и с его выхода сигнал передается на операционный усилитель 2, после усиления с его выхода – на счетное устройство 3 и схему сравнения 4. При совпадении сигналов входного сигнала схемы сравнения 4 и выходного сигнала блока выборки 5 на выходе схемы сравнения 4 появляется сигнал и передается на управляющий вход логического ключа 6. С первого его выхода сигнал, попадая на второй вход первого триггера 9, переводит его в исходное состояние и в результате электронный ключ 8 отключает генератора переменного тока 7 от электродов 15 пьезокерамического элемента устройства. Одновременно со второго выхода логического ключа 6 сигнал, задерживаясь через фазосдвигающую цепь 17, подается на управляющий вход второго триггера 18 и переводит второй триггер из одного устойчивого состояния в другое устойчивое состояние.

Аналогичным образом сигнал подается на управляющий вход второго электронного ключа -19 и постоянное напряжение первого генератора постоянного тока 20 из сигнального выхода второго электронного ключа 19 подается на электроды 21 пьезокерамического тормозного элемента 16 – $U_{\text{ПТЭ}}$ и за счет его механической деформации по длине наконечник 26 пьезокерамического тормозного элемента 16 мгновенно останавливает цилиндрический вал 11.

Одновременно сигналы от фотодиодов 10, поступая на входы операционного усилителя 2 через его вторые выходы, поступают на управляющий вход второй фазосдвигающей цепи 29. С его выхода через блок выборки 5 сигнал через один из каналов с определенной задержкой подается на вход импульсного формирователя 30. Сигнал, соответствующий определенному каналу 23, размещенный в секциях 25 и в блоке выборки 5; в зависимости от положения относительно сигнала с выхода источника оптического луча 28, напряжение сигнала от фотодиода 10 сравнивается с напряжением блока эталонного напряжения.

При равенстве уровней сравниваемых сигналов с первого выхода блока сравнения 31 сигнал аналогичным образом подается на управляющий вход третьего триггера 33, с его выхода на управляющий вход третьего электронного ключа 36, а на другой его вход со второго генератора постоянного тока 35. С сигнального выхода третьего электронного ключа 36 напряжение подается на электроды пьезокерамического элемента 37.

При неравенстве напряжения блока сравнения 31 и напряжения блока эталонного напряжения 32 со второго выхода блока сравнения 31 управляющее напряжение поступает на управляющий вход блока автоматической регулировки с обратной связью 34 и в автоматическом режиме подается на пьезокерамический элемент 37, и за счет его механической согнутой деформации обеспечивается оптимальное положение ОИ, направляемое на отражатель 12, относительно оптического канала 23, уменьшаются потери ОИ, и за счет этого повышается точность позиционирования.

Математическая модель функционирования УПП. Несмотря на то, что с высокими темпами создаются и совершенствуются технологии и оборудования, предназначенные для оптических транспортных сетей, однако научно-обоснованные и общепринятые методики моделирования процесса функционирования таких устройств отсутствуют. Поэтому наибольший интерес представляет собой задачи разработки математической модели функционирования УПП направления ОИ.

В устройствах [7-9] пьезоэлемент прямоугольного сечения, получая питание от внешнего источника, подвергается продольной деформации растяжения, определяемой в соответствии [3]:

$$\Delta_{\text{пр}} = \frac{2T_{\text{ц}} \cdot l_1}{\pi E_{\text{Ю}}} = \frac{2 \cdot 19,6 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 7 \cdot 10^{11}} = 6 \cdot 10^{-6} = 6 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где $T_{\text{ц}}$ – механическое напряжение в центре пластины и равно $19,6 \cdot 10^6$ (Н/м²); l_1 – длина пьезоэлемента и равна $5 \cdot 10^{-2}$ (м); $E_{\text{Ю}}$ – модуль упругости (модуль Юнга) и для пьезокерамики марки ЦТБС-3 равен $0,8 \cdot 10^{11}$ (Н/м²).

При этом в результате продольной прижимной деформации пьезоэлемента происходит приращение его изгиба, который определяется по формуле [3]:

$$\Delta_{\text{изгиб}} = \frac{F_{\text{м}} \cdot l_1^2}{3E_{\text{Ю}} \cdot J}, \quad (3)$$

где $F_{\text{м}}$ – максимальное усилие, которое действует со стороны пьезоэлемента (Н); J – момент инерции для стержня с прямоугольным сечением (м⁴).

В описанном колебательном режиме работы прогиб Δ является функцией не только координаты, но и времени t , т.е.

$$\Delta = f(x, t). \quad (4)$$

Исследования показывают, что качество рабочих характеристик механизма перемещения, таких как равномерность шага и усилие перемещения в первом случае рабочего органа, а во втором вала роторов вращения, в значительной степени зависит от динамической устойчивости пьезоэлемента при работе в колебательном режиме. Проведенные экспериментальные исследования рабочих характеристик с применением датчиков, измеряющих динамические воздействия, показывают, что в указанном режиме работы пьезоэлемент подвергается воздействию с силой P со стороны рабочего органа, либо во втором случае, со стороны вала ротора двигателя направленной при его изгибе вдоль касательной к упругой линии (рис. 8).

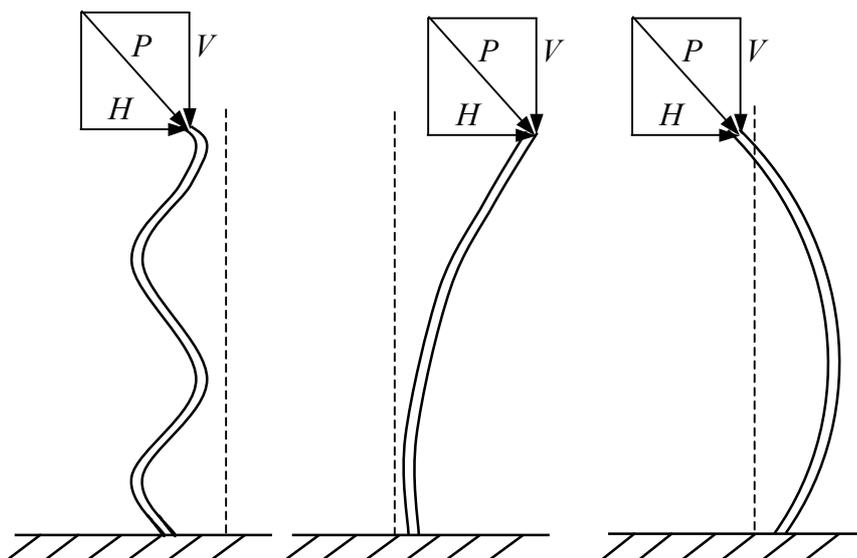


Рисунок 8 – Формы колебаний пьезоэлемента при действии следящей силы

Раскладывая силу P на две составляющие (рис. 8), т.е. на вертикальную $-V$ и на горизонтальную $-H$, при малых прогибах порядка $1 \cdot 10^{-5}$ мм касательную силу V можно считать постоянной.

При $P \neq 0$ упругая линия пьезоэлемента сочетает первую и вторую собственные формы колебаний для левой части петли. Для зависимости $K = F(f)$ преобладающей является первая форма колебаний, а для правой – вторая форма колебаний (рис. 9).

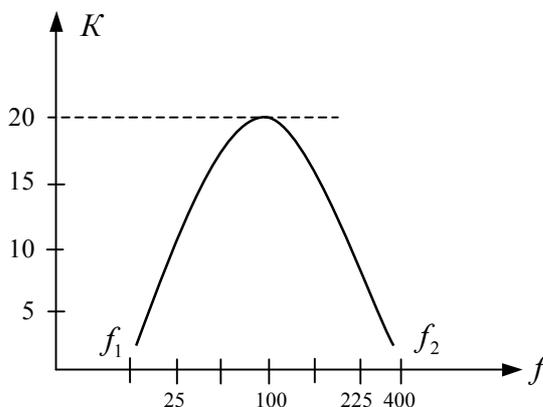


Рисунок 9 – Петля частот колебаний пьезоэлемента при различных сжимающих силах

Сила H является специфической, ее величина существенным образом зависит от прогиба концевой сечения пьезоэлемента. Сила F равна произведению жесткости $K_{ж}$ пьезоэлемента в форме прямоугольного стержня на приращение прогиба Δ , т.е.

$$F = K_{ж} \cdot \Delta. \quad (5)$$

Дифференциальное уравнение изогнутой оси:

$$E_{ю}J \frac{d^4 \Delta}{dx^4} + P \frac{d^2 \Delta}{dx^2} = q, \quad (6)$$

где q – интенсивность поперечной нагрузки; J – момент инерции для стержня с прямоугольным сечением:

$$J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}. \quad (7)$$

На рис. 10 изображены зависимости линейной скорости перемещения рабочего органа V_{po} от величины прижимного усилия $F_{пр}$ пьезоэлемента к рабочему органу при различных значениях частоты питающего напряжения.

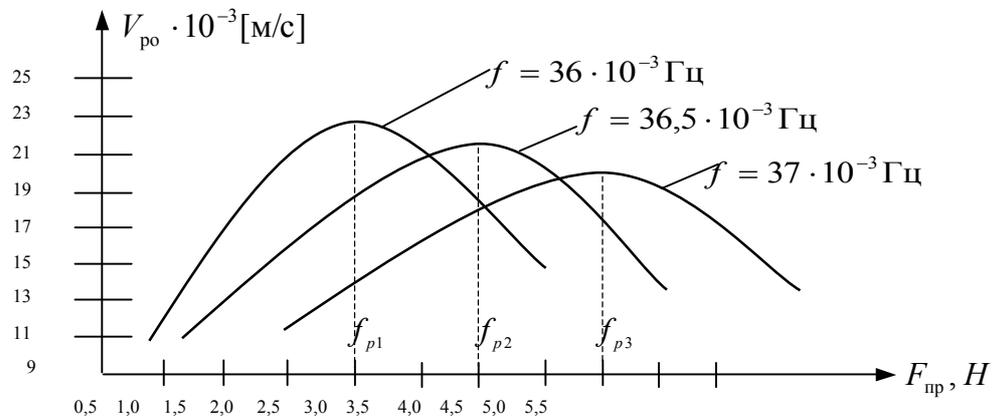


Рисунок 10 – Зависимости линейной скорости перемещения рабочего органа от величины прижимного усилия пьезоэлемента к рабочему органу

Из представленных зависимостей видно, что кривые почти повторяют форму кривой, представленной на рис. 6. В предельной точке петли частоты сливаются и этой точке соответствует значение сжимающей силы $K \approx 20$. При $K > 20$ колебательная система окажется неустойчивой и будет раскачиваться снабжаясь дополнительной энергией за счет работы неконсервативной составляющей силы P .

Необходимо отметить, что изменение направления силы P , вытекающее из условия задачи, должно происходить благодаря некоторому внешнему для данной системы напряжению источника энергии. Если искать дополнительные корни уравнения, то получим новые петли, соединяющие третью и четвертую собственные частоты, пятую и шестую и т.д. Однако необходимо отметить, что предельная точка для первой петли получается наименьшей, она и определяет критическую нагрузку, приближенно равную [3]:

$$P_{кр} \approx \frac{2\pi^2 E_{ю} J}{l_1^2}. \quad (8)$$

Для пьезоэлемента в форме стержня прямоугольной керамики ЦТБС-3

$$P_{кр} \approx \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8 \cdot 10^{11} \cdot 136 \cdot 10^{-14}}{(5 \cdot 10^{-2})^2} = 267,6 \text{ кг}. \quad (9)$$

С учетом геометрических размеров пьезоэлемента предел прочности при продольной деформации [3]:

$$\sigma_{\text{пр.рост.}} = P_{kp} / l_2 \cdot l_3. \quad (10)$$

Разрушающую нагрузку P можно измерить, если секцию пьезоэлемента использовать в качестве датчика, а величину вычислить по формуле с учетом электрических параметров [3]:

$$\sigma_{\text{дин}} = E_{\sim} d_{31} \cdot E_{Ю} \cdot Q_M, \quad (11)$$

где E_{\sim} – напряженность электрического поля при разрушении образца (В/м); d_{31} – пьезомодуль продольной деформации (м/В); $E_{Ю}$ – модуль Юнга (Н/м²); Q_M – механическая добротность.

Таким образом, разработанный дистанционный оптоэлектронный переключатель направления излучения и устройства прецизионного позиционирования позволяют уменьшить время, повысить точность переключения и позиционирования направления оптического излучения, обеспечить потери на местах механического соединения и ввода излучения в волокно оптического кабеля в пределах 0,1...0,5 дБ, что на 50...55% меньше чем в известных устройствах. Данные устройства обладают существенными преимуществами перед известными электромеханическими и магнитоэлектрическими отклоняющими системами, к числу которых можно отнести малую потребляемую мощность, высокую точность, надежность и технологичность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гринфилд Дэвид. Оптические сети / Гринфилд Дэвид. – Санкт-Петербург: DiaSoft, 2002. – 256 с.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи; пер. с англ.; под ред. Н.Н.Слепова / Фриман Р. – М.: Техносфера, 2004. – 496 с.
3. Джагунов Р.Г. Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике / Р.Г. Джагунов, А.А. Ерофеев. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
4. Мансуров Т.М., Разработка оптоэлектронного переключателя направления излучения и методики определения его эксплуатационных характеристик / И.А. Мамедов, Б.И. Гусейнов, С.А. Джебраилова // Международный научно-теоретический журнал «Автоматика и вычислительная техника». – 2015. – № 5. – Том 49. – С.13-22
5. Mansurov T.M., Mamedov I.A., Guseinov B.I., Jebraилоva S.A. Development of an Optoelectronic Switch for the Direction of Radiation and Procedures to Define Its Operational Characteristics / ISSN 0146_4116, Automatic Control and Computer Sciences, 2015, Vol. 49, No. 5, pp. 261–267. © Allerton Press, Inc., 2015.
6. Мансуров Т.М. Разработка дистанционного оптоэлектронного переключателя направления излучения в многомодовое оптическое волокно / Т.М. Мансуров, И.А. Мамедов // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал “Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика”. – 2016. – № 1. – С.40-45.
7. Мансуров Т.М., Бейбалаев Г.Б. Оптоэлектронный переключатель направления излучения. Патент на изобретение № І 2007 0216, 27.11.2007. МКР G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 3/42. Официальный бюллетень «Промышленная собственность». – Баку, 2007. – № 1. – С.19.
8. Мансуров Т.М., Мамедов И.А. Оптоэлектронный переключатель направления излучения. Патент на изобретение № І 2014 0062, 23.10.2014. МКР G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 17/79. Официальный бюллетень «Промышленная собственность». – Баку, 2013. – № 4. – С.12.
9. Мансуров Т.М., Гусейнов Б.И., Алиев Ч.П., Джебраилова С.А. Устройство прецизионного позиционирования оптического луча. Приоритет по заявке № а2015 0094 «Промышленная собственность». – Баку, 2015, 22.07.2015. – 13 с.

REFERENCES:

1. David Greenfield. Optical network. St. Petersburg: DiaSoft, 2002. 256 p.
2. R. Freeman. Fiber-optic communication systems / Tran. from English. ed. By N.N.Slepova. M.: Technosphere, 2004. 496 p.
3. Dzhagupov R.G., Erofeev A.A. The piezoceramic elements in the instrumentation and automation. L.: Engineering, 1986. 256 p.
4. Mansurov T.M., Mamedov I.A., Guseinov B.I., Dzhebrailova S.A. The development of the optoelectronic switch with the direction of radiation and the methodology to determine its performance characteristics / International scientific and theoretical journal "Automation and computer technology". Riga 2015, number 5, Volume 49. pages.13-22
5. Mansurov T.M., Mamedov I.A., Guseinov B.I., Dzhebrailova S.A. Development of an Optoelectronic Switch for the Direction of Radiation and Procedures to Define Its Operational Characteristics / ISSN 0146_4116, Automatic Control and Computer Sciences, 2015, Vol. 49, No. 5, pp. 261–267. © Allerton Press, Inc., 2015.
6. Mansurov T.M., Mamedov I.A. Development of opto-electronic remote switch, the direction of radiation in a multimode optical fiber / Monthly scientific-technical and industrial journal «Devices and systems. Management, monitoring, diagnostics». M., 2016, number 1, pp. 40-45.
7. Mansurov T.M., Beybalaev G.B. Optoelectronic switch, the direction of radiation. The patent for invention number İ 2007 0216, 27.11.2007. MKP G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 3/42. Official Bulletin "Industrial Property". Baku, 2007, number 1. p.19.
8. Mansurov T.M., Mammadov I.A. Optoelectronic switch, the direction of radiation. The patent for invention number İ 2014 0062, 23.10.2014. MKP G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 17/79. Official Bulletin "Industrial Property". Baku, 2013, №4. p.12.
9. T.M. Mansurov, B.I.Huseynov, Ch.P.Aliyev, S.A.Dzhebrailova. Device positioning precision of the optical beam. The priority of the application number 0094 a2015 "Industrial Property". Baku, 2015 22.07.2015. 13 p.