
КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

УДК 535.241:534

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ КОММУТАТОР ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Давыдов Андрей Иванович, аспирант, Уфимская государственная академия экономики и сервиса, 450078, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Чернышевского, 145, e-mail: post@ugaes.ru

Создание современных информационно-измерительных систем на основе волоконно-оптических линий связи обусловлено возможностью высокоскоростного обмена данными, что показывает актуальность проблемы коммутации каналов волоконно-оптических линий связи.

В данной статье рассматривается способ коммутации волоконно-оптических линий связи информационно-измерительных систем, основанный на управлении оптическим излучением акустооптическими устройствами.

Акустооптический эффект наблюдается при взаимодействии оптического сигнала с акустическими возмущениями. При распространении плоской акустической волны в кристалле образуются периодические слои изменения показателя преломления, представляющие для падающего света периодическую дифракционную решетку, движущуюся со скоростью звука. Пройденный через такую среду свет отклоняется на неоднородностях показателя преломления на угол, зависящий от периода дифракционной решетки, который, в свою очередь, пропорционален частоте распространения звуковой волны в кристалле. Таким образом, отклоненный оптический сигнал коммутируется с матрицей выходных оптических волокон.

Рассмотрен принцип работы акустооптического коммутатора волоконно-оптических линий связи, относящийся к всеоптическим коммутаторам, который обладает высокой емкостью выходных каналов, низкими потерями и высокой надежностью, поскольку не содержит подвижных частей в своей системе. Приведены основы акустооптического взаимодействия, структура коммутатора, параметры основных элементов и принципы их функционирования.

Ключевые слова: акустооптический коммутатор, дефлектор, преобразователь, контроллер, волоконно-оптический массив, волокно, дифракция, угол Брэгга, акустооптическая ячейка, информационно-измерительная система

ACOUSTO-OPTIC SWITCH OF FIBER-OPTIC LINES USED FOR INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

Davydov Andrey I., post-graduate student, Ufa State Academy of Economics and Service, 145 Chernyshevsky St., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450078, Russian Federation, e-mail: post@ugaes.ru

The article presents a modern information-measuring system, based on fiber-optic lines, intended to enable the potential of high-speed data transfer. The system demonstrates the urgency of coping with problems related to fiber-optic line channel switching.

The study deals with fiber-optic line switching in information-measuring systems facing optical signal control by acoustic-optic devices.

The paper notes that the acoustic-optic effect is found as a result of the interaction of optical signals with acoustic disturbances. For their part, plane acoustic waves propagate in the crystal forms of periodic layers due to refractive index changes. These often represent an incident light in the periodic diffraction grating moving at sonic speed. In its propagation, light passing through such a medium would be deflected by the non-homogeneities of the refractive index to the angle, with this depending on the period of the diffraction grating. This would be proportional to the crystal's sound wave frequency, thus, the refracted optical signal would be switched in the output of the fiber-optic matrix.

The acousto-optic switch of the fiber-optic lines, relating to all-optical switches, would have a high capacity of output channels, low losses and high reliability since it contains no moving parts. Finally, the document discusses the bases of acoustic-optic interaction, switch structure, parameters of basic elements and work principles.

Keywords: acoustic-optic switch, deflector, transducer, controller, fiber-optic array, fiber, diffraction, Bragg angle, acoustic-optic cell, information-measuring system

Всё чаще волоконно-оптические линии связи используются вместо электрических линий связи в информационно-измерительных системах (ИИС). Это обусловлено тем, что оптические линии связи не подвержены влиянию окружающих электромагнитных полей, являются высокоскоростными линиями связи и имеют большую пропускную способность.

Волоконно-оптические кабели включают большое количество отдельных оптических волокон, каждое из которых может быть связано с отдельным устройством, датчиком, прибором. Чтобы связать выходное устройство с множеством удаленных датчиков и приборов в ИИС, необходимо обеспечить оптическую коммутацию [4].

Оптические коммутаторы позволяют строить масштабируемые волоконно-оптические линии связи ИИС, изменять ее архитектуру, соединять множество элементов в единую систему.

Необходимо, чтобы время переключения оптического коммутатора было минимальным для того, чтобы удаленные датчики и устройства в системе могли быть соединены с минимальными задержками коммутации. Поэтому целесообразно использовать коммутатор с непосредственной коммутацией оптического сигнала без преобразования его в электрический. Это позволит сохранить большую пропускную способность передачи информации оптического канала и высокую скорость коммутации [5].

К таким типам коммутаторов относится акустооптический (АО) коммутатор. В данном типе коммутатора используется акустооптический эффект, который заключается во взаимодействии звука и оптического сигнала в акустооптической ячейке. Суть идеи заключается в том, чтобы использовать акустические волны для создания в твердом АО кристалле областей с повышенной и пониженной плотностью. Образующиеся неоднородности плотности могут отклонять проходящие световые пучки под различными углами [2].

Акустооптический коммутатор осуществляет оптическую аппаратную коммутацию, связывая входное оптическое волокно с требующимся волокном выходного оптоволоконного массива.

На рис. 1 представлена система акустооптического коммутатора для коммутации входного оптического волокна 1 с выходным оптическим волокном 2 волоконно-оптического массива 3. Волоконно-оптический массив 3 состоит из множества оптических волокон, включая волокно 2.

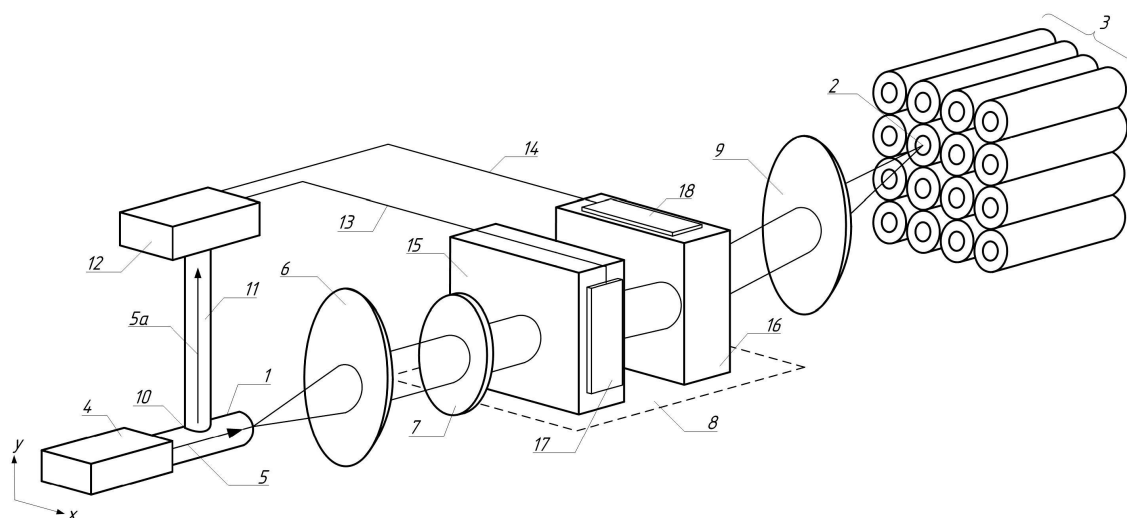


Рис. 1. Система акустооптического коммутатора

Волокно 1 является одномодовым оптоволоком, которое изменяет плоскость поляризации переданного через него оптического сигнала 5 в произвольном направлении. Устройство поворота плоскости поляризации 7 изменяет плоскость поляризации сигнала 5 так, чтобы он падал на линзу 9 с его максимальной интенсивностью. Если оптические волокна 1 не изменяют направление поляризации светового сигнала, переданного через них, то устройство поворота плоскости поляризации может быть опущено.

Сплиттер 10 разделяет оптический сигнал 5 так, что сигнал 5а, идентичный сигналу 5, передается по оптоволокну 11 контроллеру 12, связанному с оптоволоком 11.

Двухкоординатный дефлектор 8 отклоняет оптический сигнал 5 в двух плоскостях. Отклоненный оптический сигнал проецируется на линзу 9, которая фокусирует оптический сигнал 5 в выходное оптоволокну 2 (или любое другое оптоволокну в массиве 3).

Отклонением оптического сигнала 5 двухкоординатным дефлектором 8 управляет контроллер 12 посредством линий управления 13, 14. Сигнал 5а может настроить управляющие сигналы контроллера 12, отвечающие за углы отклонения сигнала 3 двухкоординатным дефлектором 8.

Двухкоординатный АО дефлектор 8 включает в себя пару оптически активных кристаллов 15, 16 и пару пьезоэлектрических кристаллов 17, 18 (рис. 1, 2).

Оптически активные кристаллы 15, 16 квадратные. Оптический сигнал 5 проходит через эти кристаллы 15, 16 последовательно. Пьезоэлектрические кристаллы 17, 18 связаны с одной стороной кристаллов 15, 16 соответственно. Два активных кристалла 15, 16 располагаются под углом 90° друг относительно друга. Боковая поверхность кристаллов, противостоящая стороне, на которой располагается пьезоэлектрический преобразователь, зеркально отражена.

Двухкоординатный дефлектор 8 работает следующим образом. Контроллер 12 генерирует частотно-модулированный управляющий сигнал и передает его по линиям управления 13, 14. Пьезоэлектрические кристаллы 17, 18 преобразуют этот сигнал в соответствующие акустические волны в кристаллах 15, 16.

Акустическая волна 19 распространяется в кристалле 15 от стороны 20 к зеркально отраженной стороне 21 (рис. 2), которая отражает акустическую волну 19 назад к стороне 20, производя стоячую акустическую волну в кристалле 15. Аналогично акустическая волна 22 распространяется в кристалле 16. Таким образом, кристаллы 15, 16 превращаются в дифракционную решетку.

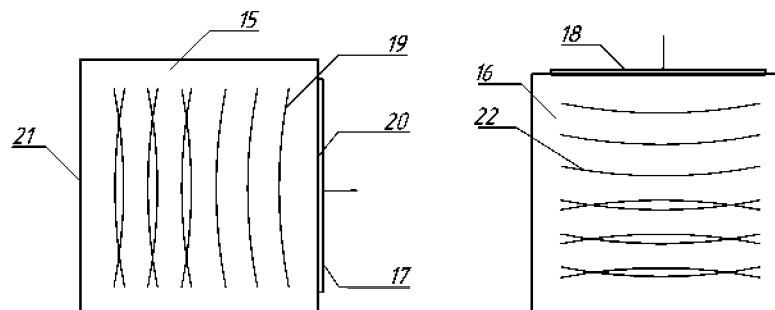


Рис. 2. Установление стоячей волны в АО ячейках 15, 16

Взаимодействие звукового сигнала 19 и оптического сигнала 5 высокой частоты в акустооптической ячейке 15 называется дифракцией Брэгга (рис. 3), в которой дифракционный спектр состоит из двух максимумов: нулевого 23 и первого порядка 24. Дифракционный максимум нулевого порядка 23 – это оптическое излучение, проходящее сквозь ячейку Брэгга без отклонения его звуковым сигналом. Аналогичным образом происходит взаимодействие оптического и звукового сигнала в ячейке 16.

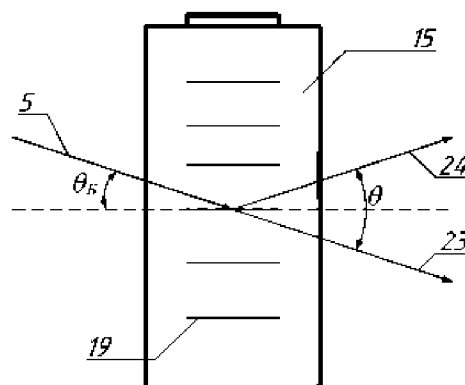


Рис. 3. Акустооптическая ячейка Брэгга 15

Интенсивность максимума первого порядка 24 будет наибольшей, если свет падает под углом к волновому фронту акустической волны, удовлетворяющим условию Брэгга

$$\theta_B = \frac{\lambda F}{2\nu},$$

где λ – длина световой волны; ν – скорость звука; F – частота радиочастотного сигнала; θ_B – угол Брэгга (угол между падающим лучом и дифракционной решеткой) [3].

Угол отклонения оптического излучения 5 на угол θ определяется как угол между лучом нулевого и первого порядка (удвоенный угол Брэгга)

$$\theta = \frac{\lambda F}{\nu}.$$

Дифракционный угол оптически активного кристалла изменяется в зависимости от частоты акустической волны 19. Таким образом, кристалл 15 превращается в брэгговскую дифракционную решетку с управляемым дифракционным углом. Идентично кристалл 16 превращается в брэгговскую дифракционную решетку под управлением контроллера 12. По-

сколькx пьезоэлектрические кристаллы 17, 18 смонтированы на кристалле 15, 16 под прямым углом, то и дифракционные углы этих двух кристаллов будут также под прямым углом.

Оптический сигнал 5 проецируется на кристалл 15 под острым углом, в диапазоне от 87 до 90 °, как требуется для условия брэгговской дифракции. Диаметр оптического сигнала 5, проходящего через кристаллы 15, 16, составляет 2–3 мм.

Оптический сигнал 5 отклоняется на угол, соответствующий дифракционному углу кристалла 15 в направлении x и дифракционному углу кристалла 16 в направлении y .

Для коммутации оптоволокну 1 с другим оптическим волокном в волоконно-оптическом массиве 3 частота акустических волн 19, 22 будет изменена для перестроения углов отклонения кристаллов 15, 16.

Скорость коммутации двухкоординатного дефлектора 8 – функция размера кристаллов 15, 16 и скорости акустических волн 19, 22 в кристаллах 15, 16. В данной системе каждый из кристаллов 15, 16 является диоксидом теллура (TeO_2).

Акустические волны 19, 22 лежат в частотном диапазоне 50–200 МГц и распространяются в кристаллах 15, 16 со скоростью 1000 м/с за время 5×10^{-6} с. Стоячая волна устанавливается в кристаллах 15, 16, путем отражения акустических волн 19, 22 в обратном направлении, для чего потребуется еще 5×10^{-6} с. Время, требующееся для передачи управляющих сигналов по линиям управления 13, 14 и для генерации акустических волн 19, 22 пьезоэлектрическими кристаллами 17, 18, незначительно по сравнению с 10^{-5} с. В результате время коммутации акустооптического коммутатора составит приблизительно 10^{-5} с. Данное время коммутации является постоянным, независимо от относительной позиции оптоволокну в волоконно-оптическом массиве 3, с которым оптический сигнал 5 был ранее связан, и оптоволокну, с которым будет далее связан сигнал 5. Напротив, время коммутации для механических устройств будет ниже для смежных волокон в волоконно-оптическом кабеле и больше для волокон, которые относительно удалены.

Протокол связи, используемый в системе АО коммутатора, должен учитывать время коммутации 10^{-5} с. Например, протокол может быть настроен так, что в течение 10^{-5} с часть оптического сигнала 5, соответствующего периоду, в течение которого будут изменены дифракционные углы двухкоординатного дефлектора 8, будет проигнорирована и поэтому не должна содержать информацию.

Несмотря на то, что кристаллы диоксида теллура 15, 16 используются в двухкоординатном дефлекторе 8 из-за их высокой светопрозрачности, различные материалы могут использоваться, включая аморфные материалы, такие как стекло.

Брэгговская дифракционная решетка очень эффективна и пропускает приблизительно 90 % энергии света, падающего на нее в дифрагированном выходном световом сигнале первого порядка. Оставшиеся 10 % энергии света излучаются в нулевом и других порядках выходных световых сигналов. Световой сигнал первого порядка на выходе двухкоординатного дефлектора 8 составляет приблизительно 80 % (т.е. 90 % и 90 % света на выходе каждого кристалла 15, 16) от входного оптического сигнала 5, излучаемого оптоволокну 1, в случае, когда выбранные линзы 6 и 9 имеют низкие оптические потери.

Мощность управляющих сигналов составляет 0,5–2 Вт, которая может быть уменьшена, чтобы снизить потребляемую мощность двухкоординатного дефлектора 8, однако это снизит эффективность дифракции Брэгга и светопрозрачность кристаллов 15, 16.

Волоконно-оптический кабель 3 представляет собой массив 4×4 оптических волокон. Также можно использовать большее количество оптических волокон. Возможно соединение входного оптического волокна с волоконно-оптическим кабелем, состоящим из массива 256×256 волокон с временем коммутации 10^{-5} с.

Кроме того, акустооптическая система коммутатора может использоваться в обратном направлении, чтобы скомутировать любое из оптических волокон массива 3 с оптоволоконном 1 без всякой модификации системы коммутатора.

Система коммутатора также может использоваться в дуплексном режиме связи, при котором оптические сигналы (возможно, с различными длинами волн) будут переданы и получены обоими волокнами 1 и 2.

Система АО коммутатора может использоваться с временным мультиплексированием, т.е. с разделением передачи информации между двумя и более каналами, чтобы последовательно скомутировать каждое оптоволоконно в волоконно-оптическом кабеле 3 с оптоволоконном 1. Например, оптический сигнал 5 может быть разделен так, что каждому волокну массива 3 будет присвоен последовательный интервал времени 2×10^{-5} с, включая неприменимую часть 10^{-5} с в начале каждого интервала времени, которая позволит двухкоординатному дефлектору 8 сконфигурировать корректные углы отклонения. В такой системе контроллер 12 может сгенерировать управляющие сигналы так, чтобы сигнал 5 был последовательно связан с каждым (или некоторыми) волокном в кабеле 3 в predetermined порядке и в начале predetermined интервалов времени. В этом случае сигнал 5а может управлять контроллером 12, определяя начало каждого интервала времени.

Контроллер 12 может не управляться сигналом 5а, а просто генерировать управляющий сигнал, указывая источнику сигнала 4 начало каждого интервала времени, для передачи требующихся данных для каждого волокна массива 3.

Также источник сигнала 4 может генерировать электрический сигнал для контроллера 12, чтобы указать волокно, в которое сигнал 5 (или часть сигнала 5) будет направлен. В этих случаях не требуется сплиттер 10 и волокно 11.

Сравнивая основные параметры рассмотренного акустооптического коммутатора с известными типами коммутаторов, широко используемых в волоконно-оптических сетях, можно сделать вывод о том, что АО коммутатор имеет преимущество в количестве выходных портов (до 65536 волокон в АО коммутаторе против 2–8 каналов в электрооптическом коммутаторе или MEMS) при достаточно высокой скорости коммутации 10^{-5} с [1, 4].

Использование акустооптического коммутатора в волоконно-оптических линиях ИИС является перспективным, поскольку он не содержит подвижных частей, что увеличивает его надежность и срок эксплуатации. Система данного коммутатора не преобразует оптический сигнал при его коммутации в другие виды энергии и способна к коммутации всей полосы частот, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи, а также не подвержена влиянию электромагнитных полей.

Список литературы

1. Вайнер А. В. *Fiber-Optic Switch-Multiplexer based on Acousto-Optic Modulators* / А. В. Вайнер, С. Н. Антонов, В. В. Проклов. – Москва : Институт радиотехники и электроники РАН, 2007. – 4 с.
2. Гринфилд Д. *Оптические сети* / Д. Гринфилд. – Киев : ДИА СОФТ, 2002. – 256 с.
3. Магдич Л. Н. *Акустооптические устройства и их применения* / Л. Н. Магдич, В. Я. Молчанов. – Москва : Сов. радио, 1978. – 112 с.
4. Пат. 6539132 В2 США. МПК G02F 1/335. *Acousto-optic switch for fiber optic lines* / G. Ivtsenkov, V. Narver, L. Magdich, N. Solodovnikov. – Заявл. 22.02.01 ; опубл. 25.05.03.
5. Шарварко В. Г. *Волоконно-оптические линии связи : учеб. пос.* / В. Г. Шарварко. – Таганрог : Изд-во ТРГУ, 2006. – 170 с.

References

1. Vayner A. V., Antonov S. N., Proklov V. V. *Fiber-Optic Switch-Multipleher based on Acousto-Optic Modulators*. Moscow, Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS (Publ.), 2007. 4 p.
2. Grinfeld D. *Opticheskie seti* [Optical networks]. Kiev, DIA SOFT, 2002. 256 p.

3. Magdich L. N., Molchanov V. Ya. *Akustoopticheskie ustroystva i ikh primeneniya* [Acousto-optic devices and their applications]. Moscow, Soviet Radio, 1978. 112 p.
4. Ivtsenkov G., Narver V., Magdich L., Solodovnikov N. *Patent US 6539132 B2. IPC G02F 1/335. Acousto-optic switch for fiber optic lines*. Appl. 22.02.01; publ. 25.05.03.
5. Sharvarko V. G. *Volokonno-opticheskie linii svyazi* [Fiber-optic lines]. Taganrog, Taganrog State University of Radioengineering (Publ.), 2006. 170 p.

УДК 321.3.08

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНЫХ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ

Левина Татьяна Михайловна, кандидат технических наук, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, 453125, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Салават, ул. Губкина, 22Б, e-mail: tattin76@mail.ru

Жаринов Юрий Александрович, кандидат педагогических наук, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, 453125, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Салават, ул. Губкина, 22Б, e-mail: tattin76@mail.ru

Шамаев Фанис Феликсович, студент, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета, 453125, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Салават, ул. Губкина, 22Б, e-mail: tattin76@mail.ru

В статье представлены электробезопасные датчики, использующие в качестве чувствительного элемента оптическое волокно. Оно обладает рядом преимуществ и в связи с этим повышает требования по безопасности к технологическим процессам нефтеперерабатывающих предприятий. В основе построения электробезопасных датчиков на основе оптического волокна используется эффект Фарадея.

Показано, что магнитооптический эффект Фарадея является невзаимным, поэтому он может быть использован при создании различных невзаимных оптических систем, пропускающих свет только в одном направлении.

Определено применение электробезопасных волоконно-оптических датчиков на магнитооптическом эффекте Фарадея в технологических установках.

Глубокое обессоливание (обезвоживание) сырой нефти обеспечивает снижение коррозии и уменьшение отложений в аппаратуре, увеличивает межремонтный период установок. Качество технологического процесса обеспечивается эффективностью работы электродегидратора и в первую очередь определяется параметрами высоковольтных источников питания, вырабатывающих напряжение на электродах.

Приведены примеры использования современных электробезопасных волоконно-оптических датчиков с элементом Фарадея в системе управления технологическим процессом обессоливания нефти. На основе примеров предложено в дальнейшем произвести автоматизацию системы технологического процесса обессоливания нефти по большим параметрам за счет многоканальности оптического волокна.

Ключевые слова: электробезопасные датчики, оптическое волокно, чувствительный элемент, магнитооптический эффект Фарадея, технологический процесс, обессоливание (обезвоживание) сырой нефти, электроды, высоковольтные источники питания, линейно-поляризованное световое излучение, контроль электрического тока и магнитного поля, автоматизация производства