

Физика волновых процессов и радиотехнические системы

УДК 621.389
DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.68-73

Дата поступления: 21.10.2019
Дата принятия: 06.11.2019

Исследование возможности использования системы из двух акустооптических кристаллов для определения параметров импульсных сигналов

А.М. Бобрешов, И.С. Коровченко, А.В. Олейников, К.А. Прохоров

Воронежский государственный университет
394018, Российская Федерация, г. Воронеж
Университетская пл., 1

В работе исследуется возможность использования акустооптического эффекта для демодуляции последовательности радиоимпульсов. Предложены схемы измерительных установок для определения параметров последовательности. Описаны методы анализа дифракционной картины, связывающие распределение интенсивности с характеристиками сигнала. Построены экспериментальные и теоретические кривые. На основе полученных данных сделан вывод относительно требований к материалам кристаллов, лежащих в основе акустооптических ячеек. Описаны условия появления областей неопределенности.

Ключевые слова: широкополосные сигналы, дифракция Брэгга, акустооптическое взаимодействие, акустооптическая ячейка, измерительная установка.

Введение

Широкополосные сигналы (ШПС) используемые в современной аппаратуре, чаще всего являются импульсными. Полезная информация передается с использованием временной или амплитудной модуляции, а также различных видов манипуляций импульсными последовательностями. Основными проблемами в подобных системах являются сложности в обеспечении широкополосности тракта [1], а также оцифровке подобного типа сигналов. Для правильной работы устройств передачи информации необходимо стробирование значения сигнала четко в момент максимума амплитуды импульсного сигнала. С этой целью необходима либо установка высокоскоростного АЦП, либо низкоскоростного, но с условием многократного повторения одного и того же импульсного сигнала. Для первой реализации требуется как высокая скорость работы АЦП, так и всего последующего каскада обработки, что накладывает дополнительные требования на стабильность тактовых генераторов опорной частоты. Во втором случае за счет многократного повторения уменьшается максимально возможная скорость передачи данных. В связи с этим представляется интересным рассмотреть возможность обработки широкополосных сигналов с помощью методов акустооптики. Основным преимуществом в данном случае является отсутствие дисперсии акустических

волн в кристалле и возможность обработки полученных результатов при помощи низкоскоростного АЦП. В работе [2] исследовалась зависимость оптического отклика акустооптической ячейки на последовательность радиоимпульсов с различным периодом повторения T . Анализ производился при помощи измерительной установки на основе одного акустооптического кристалла, несколько аналогичной предлагаемой в данной работе. В основе алгоритма лежал анализ интенсивности дифракционной картины для дифракции Брэгга. В случае когда период повторения импульса больше времени распространения акустической волны через область акустооптического взаимодействия $T > \tau$, распространяющаяся в области взаимодействия акустическая волна представляет собой одиночный радиоимпульс. В этой области максимальная интенсивность дифракционной картины за период повторения импульса не зависит от периода повторения и напрямую зависит от длительности импульса при фиксированной мощности передачи. Это позволяет по анализу интенсивности дифракционной картины определить длительность импульса. В процессе уменьшения периода повторения T наступает момент, когда значение становится меньше постоянной акустооптической ячейки τ . В этом случае выполняется условие $T < \tau$, и зависимость максимальной интенсивности от характеристик импульсной последовательности претерпевает изменения. Связано

это с тем, что в большинстве случаев в области взаимодействия распространяется дробное количество радиоимпульсов. Отсюда следует, что максимальное значение дифракционной картины будет меняться не линейно, а с некоторой периодичностью, связанной соотношением между дробной длительностью периода повторения и длительностью импульсов целых периодов, укладываемых в область взаимодействия. Интенсивность дифракционной картины начинает зависеть не только от длительности импульса, но и от периода его повторения. Область значений τ/T , в пределах которой наблюдается данная зависимость, была обозначена как область неопределенности, так как в ней невозможно однозначно определить характеристики импульсной последовательности. В работе [2] для анализа картины используется дифференцирующий детектор, который с увеличением среднего уровня энергии сигнала в области взаимодействия уменьшает значение выходного напряжения. Этим объясняется постепенное убывание функции максимальной интенсивности дифракционной картины при уменьшении периода повторения импульсов T . В какой-то момент соотношение между дробной длительностью периода повторения и длительностью импульсов целых периодов, укладываемых в область взаимодействия, становится настолько малым, что им можно пренебречь. В этом случае выполняется условие $T \ll \tau$ и возможно однозначно определить период повторения импульса.

Кроме всего прочего, необходимо помнить, что при анализе амплитуда импульсов не является фиксированной характеристикой сигнала, так как это определяется условиями его распространения в среде. В связи с этим представляется интересным расширить область применения методов, описанных в работах [2; 3], путем использования нескольких акустооптических кристаллов, в которых τ будет различна, а также рассмотреть возможность одновременного определения длительности и периода повторения принимаемой импульсной последовательности.

Целью работы является исследование возможности использования двух акустооптических кристаллов с различными характеристиками с целью однозначного определения длительности и периода повторения радиоимпульсов.

1. Описание эксперимента

Описанное в [2; 3] устройство работает по следующей схеме. После входного радиоприемного тракта (антенны и входного усилителя) ШПС по-

дается на электроды пьезопреобразователя, непосредственно присоединенного к акустооптическому кристаллу. Сформированная посредством обратного пьезоэлектрического эффекта акустическая волна распространяется в акустооптическом кристалле и взаимодействует с лазерным излучением. Акустооптическое взаимодействие при этом можно охарактеризовать набором параметров: частотой акустических колебаний, поляризацией и направлением распространения оптического излучения. Изменение диэлектрической проницаемости, а следовательно, показателя преломления под действием механических напряжений и деформаций (акустических волн) в кристалле приводит при определенном наборе условий к возникновению дифракции Брэгга и наличию в дифракционной картине только одного бокового максимума. Особенностью данного режима работы является возможность получения в выходной плоскости пространственно-распределенного оконного преобразования Фурье от входного сигнала [4; 5]. Длительность окна характеризуется постоянной акустооптической ячейки и определяется из соотношения:

$$\tau = l/v,$$

где l – длина области взаимодействия; v – скорость акустической волны, зависящая от характеристик материала; τ – постоянная ячейки.

Для получения сред с различными параметрами τ можно применять два различных подхода. Первый заключается в использовании двух одинаковых кристаллов, на которые падают лазерные пучки различного диаметра. В данном случае изменение постоянной τ происходит за счет физического увеличения области взаимодействия акустической волны с лазерным излучением. Общая схема измерительной установки для данного случая представлена на рис. 1.

Второй подход предполагает использование акустооптических кристаллов, изготовленных из различных материалов. Очевидно, что одним из основных требований будет сильное различие скорости распространения акустических волн для используемых кристаллов, ведь от него напрямую зависит постоянная ячейки τ . Преимуществом данного подхода является возможность использования одного общего лазера, что обеспечивает когерентность обеих частей устройства. Общая схема измерительной установки для данного случая представлена на рис. 2. В качестве ШПС, как в первом, так и во втором случае, используется последовательность радиоимпульсов. На модулиру-

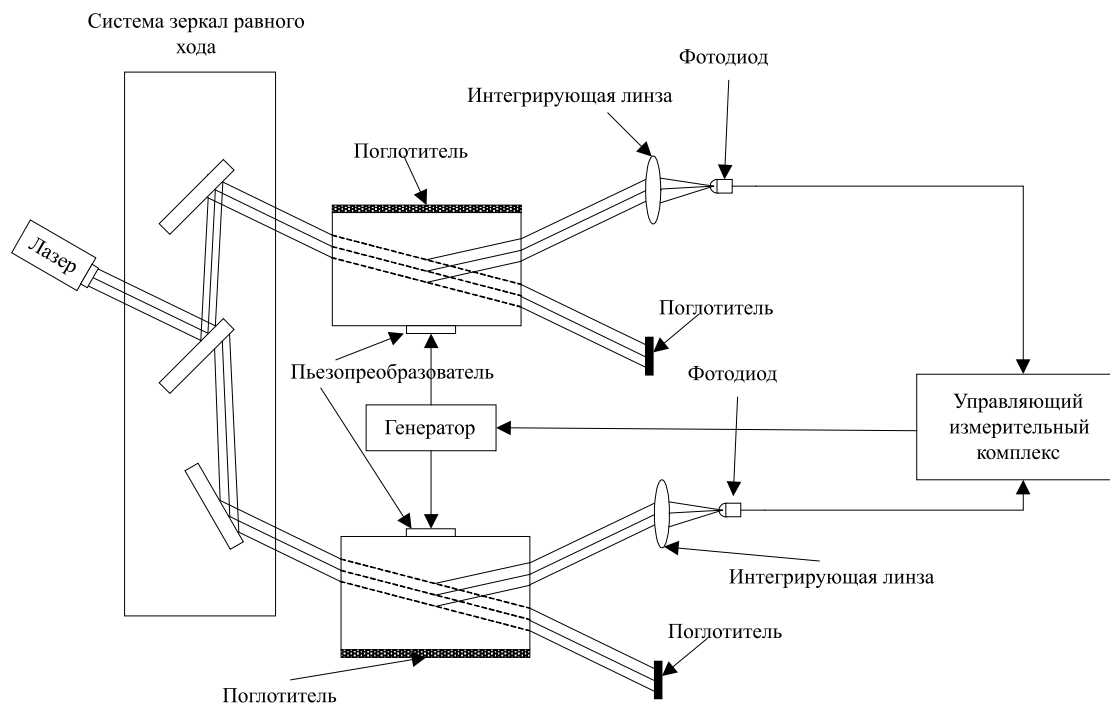


Рис. 1. Схема измерительной установки с общим лазером

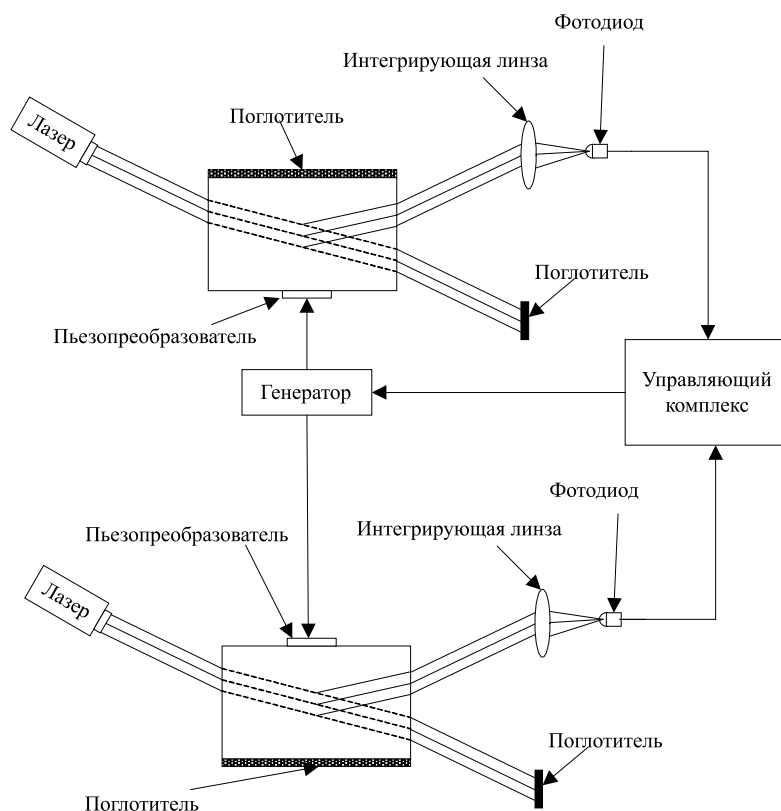


Рис. 2. Схема измерительной установки с использованием разных кристаллов

ющий вход векторного генератора Agilent N5172B, в котором устанавливается частота несущей радиоимпульса, подается сигнал с генератора импульсов Agilent 81130A, определяющий длительность радиоимпульса. Сформированная последовательность радиоимпульсов с векторного генератора через делитель подается на образцы. Параметры

импульсной последовательности определяются по соответствующему ей пространственному спектру, находящемуся в прямой зависимости от углового распределения интенсивности излучения лазера. В качестве интегрирующей схемы, углового распределения интенсивности излучения лазера. В качестве интегрирующей схемы, производящей

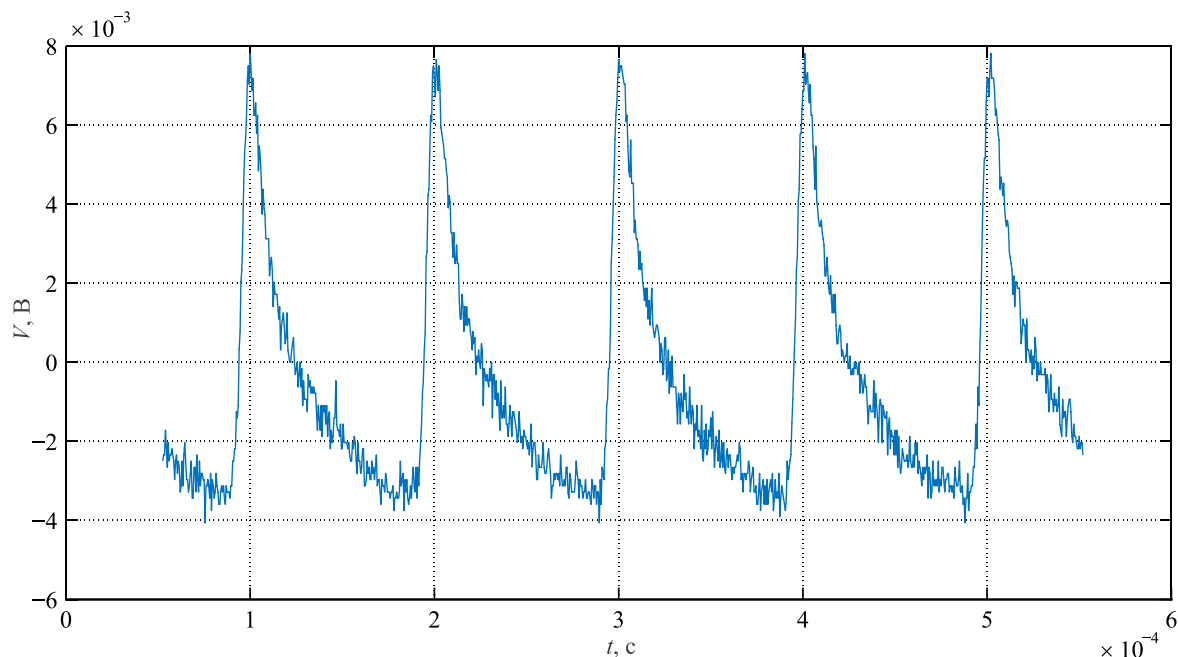


Рис. 3. Осциллограмма сигнала на выходе регистрирующего устройства при анализе последовательности радиоимпульсов с длительностью 100 нс и периодом повторения меньше постоянной ячейки

пространственную свертку интенсивности, выступают собирающая линза и фотодиод BPW24R, размещенный в ее фокальной плоскости. Осциллограммы для различных сигналов сохраняются при помощи автоматизированной системы, выполненной на платформе PXI компании National Instruments, и пакета LabView.

Общая структура измерительных установок отличается незначительными моментами. В частности, для первого похода используется два различных лазера, а во втором вместо второго лазера устанавливается система зеркал с целью формирования двух лазерных лучей с равным временем хода.

2. Обсуждение результатов эксперимента

На рис. 3 представлена типовая осциллограмма на выходе регистрирующего устройства для последовательностей радиоимпульсов. В зависимости от соотношения T и τ отклик системы представляет собой последовательность видеоимпульсов или одиночный видеоимпульс. В первом случае, когда период повторения больше постоянной ячейки $T > \tau$, на выходе наблюдается одиночный видеоимпульс. Максимальное напряжение этого видеоимпульса V_{\max} остается постоянным и не зависит от значения T . Если период повторения радиоимпульсов уменьшается и выполняется условие $T < \tau$, на выходе регистрирующего устройства наблюдается последовательность видеоимпульсов (рис. 3).

Согласно [6], зависимость максимальных значений напряжений видеоимпульсов (V_{\max}), полученных на выходе регистрирующего устройства, от изменения периода повторения радиоимпульсов является нелинейной. Очевидно, что изменение частоты повторения приводит к изменению количества импульсов в среде. Следовательно, уменьшается и среднее значение V_{\max} , так как средний уровень интенсивности света на входе диода увеличивается.

С помощью описанной выше экспериментальной установки с использованием различных кристаллов и лазеров была получена совместная зависимость максимального отклика регистрирующего устройства от частоты повторения радиоимпульсов. Для сравнения на рис. 4 были построены теоретические кривые (пунктирные линии), которые хорошо согласуются с экспериментом (сплошные линии). В данном случае в отличие от результатов, полученных в [1], график необходимо разделить горизонтальной линией на две части. В верхней произведено разбиение на три области, соответствующие различным соотношениям между периодом повторения импульса T и постоянной акустооптической ячейки τ_1 . Границы областей справа налево определяются условиями $T \geq \tau_1$ и $T \ll \tau_1$. В нижней части разбиение аналогично, только границы определяются из условий $T \geq \tau_2$ и $T \ll \tau_2$.

При совместном выполнении условий $T \geq \tau_1$ и $T \geq \tau_2$, когда период повторения импульса больше

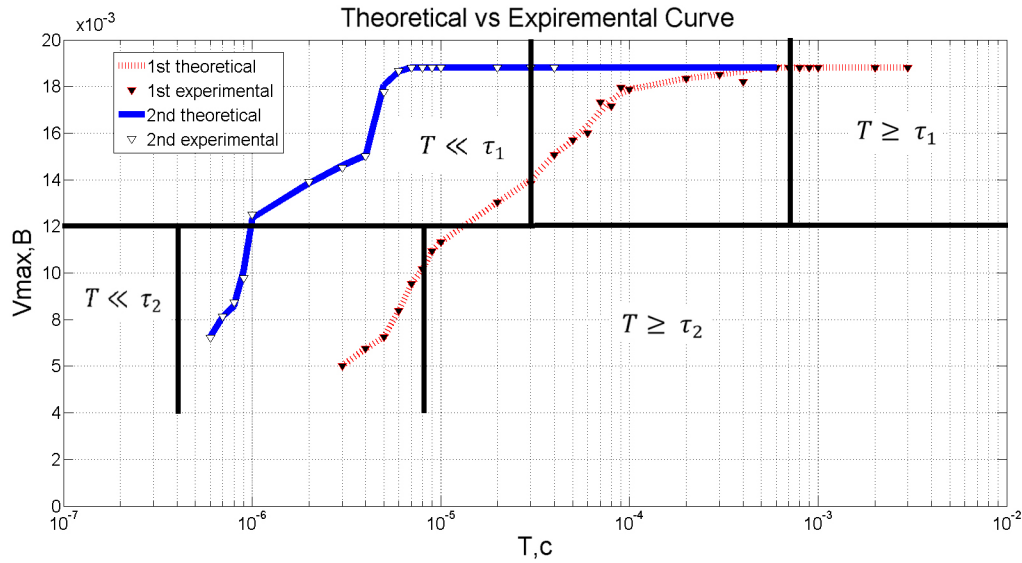


Рис. 4. Зависимость V_{\max} на выходе регистрирующих устройств от периода повторения последовательности радиоимпульсов (T)

постоянных акустооптических ячеек τ_1 и τ_2 , максимальный отклик регистрирующего устройства не зависит от T . В данной области при анализе совместной картины, так же как и в [1], возможно определение только длительности импульса.

При дальнейшем уменьшении периода повторения происходит переход в центральную область верхней части графика. В данном диапазоне значений выполняется условие $T \geq \tau_2$, при этом значение T лежит в диапазоне от $T < \tau_1$ до $T \ll \tau_1$. В этом случае возможно однозначно определить длительность импульса на основании анализа отклика со второго кристалла. Знание длительности импульса позволяет устранить неоднозначность в определении периода повторения и получить его путем анализа отклика первого кристалла.

Переход в область, где выполняются условия $T \geq \tau_2$ и $T \ll \tau_1$, позволяет однозначно определить длительность импульса и период повторения на основании анализа откликов второго и первого кристалла соответственно.

Дальнейшее уменьшение частоты повторения радиоимпульсов приведет к аналогичному результату, только отталкиваться придется не от знания длительности импульса, а от известного периода повторения. Это связано с тем, что в нашем случае произошло полное перекрытие первых двух и частично третьей областей одного кристалла с большей постоянной времени τ_2 первой областью второго кристалла с большей акустической скоростью. Кроме того, крутизна переходной характеристики между режимами, а также их протяженность напрямую зависят от постоянной вре-

мени акустооптической ячейки. Чем она больше, тем более резким будет спад и тем меньшей в частотном диапазоне будет промежуточный режим между однозначным определением длительности и периода повторения.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для возможности одновременного анализа длительности и периода повторения радиоимпульсов на основе методов [2; 3] необходим подбор материалов кристалла с учетом описанного перекрытия областей. В противном случае это приведет к появлению областей неопределенности, а также их увеличению.

Заключение

В ходе работы была исследована возможность использования акустооптического эффекта для демодуляции последовательности радиоимпульсов. Измерение параметров последовательности производилось с помощью предложенных в работе двух измерительных установок. В первой использовались одинаковые акустооптические ячейки, на которые падают лазерные пучки различного диаметра. Вторая установка предполагала использование двух различных ячеек, параметры которых существенно отличаются. На основе полученных данных сделан вывод, что для определения параметров последовательности радиоимпульсов лучше применять схему с двумя различными акустооптическими ячейками, для постоянных которых выполняется условие $\tau_1 \gg \tau_2$.

Список литературы

1. Особенности, проблемы и возможности сверхширокополосной радиолокации / Г.В. Ермаков [и др.] // Системы обработки информации. 2005. № 4. С. 30–42.
2. Экспериментальное исследование оптического отклика акустооптической ячейки на последовательность радиоимпульсов с различным периодом повторения / А.М. Бобрешов [и др.] // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. 2019. № 2. С. 5–12.
3. Приемник импульсных сигналов на основе акустооптической ячейки / А.М. Бобрешов [и др.] // Радиотехника. 2019. № 3. С. 58–62.
4. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
5. Mason W.P., Thurston R.N. *Physical Acoustics: Principles and Methods*. Vol. 7. New York: Academic Press, 1970. 430 p.
6. Бобрешов А.М., Коровченко И.С., Олейников А.В. Измерение акустической скорости акустооптического кристалла в широкополосных преобразователях частоты // Радиотехника. 2018. № 3. С. 70–74.

References

1. Ermakov G.V. et al. Features, problems and possibilities of ultra-wideband radar. *Sistemi obrobki informatsii*, 2005, no. 4, pp. 30–42. [In Russian].
2. Bobreshov A.M. et al. Experimental study of the optical response of an acousto-optical cell to a sequence of radio pulses with a different repetition period. *Vestnik VGU. Serija: Fizika. Matematika*, 2019, no. 2, pp. 5–12. [In Russian].
3. Bobreshov A.M. et al. Receiver of pulse signals based on an acousto-optic cell. *Radiotekhnika*, 2019, no. 3, pp. 58–62. [In Russian].
4. Balakshij V.I., Parygin V.N., Chirkov L.E. *Physical Basics of Acousto-Optics*. Moscow: Radio i svjaz', 1985, 280 p. [In Russian].
5. Mason W.P., Thurston R.N. *Physical Acoustics: Principles and Methods*. Vol. 7. New York: Academic Press, 1970, 430 p.
6. Bobreshov A.M., Korovchenko I.S., Olejnikov A.V. Measurement of the acoustic velocity of an acousto-optic crystal in broadband frequency converters. *Radiotekhnika*, 2018, no. 3, pp. 70–74. [In Russian].

UDC 621.389

DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.68-73

Received: 21.10.2019

Accepted: 06.11.2019

Investigation of the possibility of using a system of two acousto-optical crystals to determine the parameters of pulsed signals

A.M. Bobreshov, I.S. Korovchenko, A.V. Oleynikov, K.A. Prokhorov

Voronezh State University
1, Universitetskaya pl.
Voronezh, 394018, Russian Federation

The work explores the possibility of using the acousto-optical effect to demodulate a sequence of radio pulses. Measuring setup circuits for determining sequence parameters are proposed. The methods for analyzing the diffraction pattern that relate the intensity distribution to the signal characteristics are described. Experimental and theoretical curves are constructed. Based on the data obtained, a conclusion is made regarding the requirements for the materials of crystals which is the main part of acousto-optic cells. The conditions for the appearance of uncertainty regions are described.

Keywords: broadband signals, Bragg diffraction, acousto-optic interaction, acousto-optic cell, measuring system.

Бобрешов Анатолий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедры электроники Воронежского государственного университета.

Область научных интересов: нелинейные явления во входных твердотельных приборах; автоматизированные измерительные системы научных исследований; хаотические системы связи, сверхширокополосные системы локации и связи.

E-mail: anatoly@bobr.vsu.ru

Коровченко Игорь Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники Воронежского государственного университета.

Область научных интересов: электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств, твердотельные устройства СВЧ, автоматизированные системы научных исследований.

E-mail: korovchenko@phys.vsu.ru

Олейников Андрей Владимирович, аспирант Воронежского государственного университета.

Область научных интересов: твердотельные устройства СВЧ, автоматизированные системы научных исследований, цифровая обработка информации.

E-mail: ozverinka@gmail.com

Прохоров Кирилл Андреевич, магистр Воронежского государственного университета.

Область научных интересов: автоматизированные системы научных исследований, цифровая обработка информации, квантовая теория.

E-mail: prokhorovkir@yandex.ru