

## Универсальный генератор для акустооптических исследований

С. Д. БАРСУКОВ, С. А. ХАХОМОВ

### Введение

Современный уровень развития науки и техники требует комплексный подход к решению возникающих экспериментальных задач. Так уже давно применяется автоматизация эксперимента с применением ЭВМ, что позволяет проводить комплексный многофакторный анализ различных физических величин на различных этапах экспериментальных исследований. Однако автоматизация эксперимента и переход на более высокий качественный уровень не представим без современной измерительной и технической базы. Современные измерительные приборы имеют высокие технические характеристики, а также позволяют применять их как составляющие звенья экспериментальных комплексов, работающих самостоятельно или под управлением ЭВМ.

Исследования в области взаимодействия акустических волн с электромагнитным полем оптического диапазона, распространяющимся в кристалле или обмен энергией между электрическим полем и акустической волной [1], связаны с необходимостью применения специальных средств измерения, имеющих широкий спектральный и динамический диапазон. Нередко приходится иметь дело с высокими и сверхвысокими частотами, что требует применения специального оборудования. В частности, для излучения акустической волны с различной частотой в лаборатории, необходимо иметь в распоряжении функциональный генератор с максимально широким диапазоном частот [2], усилитель и конечно сам излучающий элемент. В качестве излучающего элемента может быть применен пьезоэлектрический элемент [3]. Применение обычного универсального генератора ограничивает экспериментальные возможности по ряду причин, главной из которых является невозможность изменения частоты в широком диапазоне. Помимо других недостатков, большинство генераторов не имеют дополнительного выхода со смещением фазы сигнала на угол 90 градусов относительно основного формируемого сигнала во всем частотном диапазоне. А это просто необходимо, например, для экспериментального изучения вопросов связанных с взаимодействием вращающегося электрического поля с акустической волной в различных средах [4-7]. В таких экспериментах требуются два сигнала с одинаковой угловой частотой и амплитудой, но различной фазой, причем разность фаз  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ . Тогда при сложении таких гармонических электрических колебаний, вектор напряженности результирующего электрического поля будет описывать окружность, то есть электрическое поле будет вращаться.

### 1 Разработка универсального генератора для акустооптических исследований

С целью повышения качественного уровня экспериментальных исследований в области акустооптики, а также для дальнейшего проведения экспериментальных исследований взаимодействия вращающегося электрического поля и ультразвуковой волны в пьезокерамике нами был разработан универсальный многофункциональный прибор. Описываемый ниже прибор, помимо генерации электрических колебаний различной формы, позволяет в широких пределах измерять частоты электрических колебаний, а также электрическую ёмкость и индуктивность с высокой точностью. Широкая функциональность прибора позволяет ис-

пользовать его не только в области описанного научного интереса, но и в других областях науки и техники.

Описываемый прибор позволяет:

- генерирование переменного электрического сигнала различной формы;
- электронную коммутацию и индикацию диапазона частот;
- управление параметрами электрического сигнала;
- дополнительный выход со смещением фазы сигнала;
- независимый выход цифрового сигнала до 1 МГц;
- измерение частоты сигнала до 1 ГГц;
- автоматический выбор диапазона измерений;
- измерение электрической емкости;
- измерение индуктивности.

Ниже приведены основные характеристики прибора.

Таблица 1

Основные характеристики прибора

Параметр	единицы измерения	значение
Диапазон частот генератора	Гц	$10 - 10^7$
Число поддиапазонов		6
Амплитуда выходного напряжения (на нагрузке 1 кОм)	В	5
Диапазон регулировки напряжения смещения	В	0,1
Вид генерируемого сигнала		синус, треугольник, прямоугольник
Диапазон частот цифрового выхода ТТЛ (англ. transistor-transistor logic — транзисторно-транзисторная логика)	Гц	$1 - 10^6$
Диапазон измеряемых частот: Вход1 Вход2	Гц	$(1 - 10^8) \pm 1$ $(10^7 - 10^9) \pm 64$
Чувствительность по входу 1 частотомера	мВ	10
Входное сопротивление частотомера: Вход 1 Вход2	Ом	$10^6$ 50
Время измерения	с	0,1; 1; 10
Диапазон измеряемой емкости	мкФ	$10^{-8} - 10000$
Диапазон измеряемой индуктивности	Гн	$10^{-9} - 1$

Описываемый прибор можно разделить на две функциональные части – это блок измерительный и блок генератора (рисунок 1). Измерительный блок состоит из следующих узлов: измерительный генератор, формирователь частотомера 1, формирователь частотомера 2, мультиплексор, микроконтроллер, устройство отображения информации – двухстрочный жидкокристаллический дисплей. В состав блока генератора входят: схема коммутации диапазонов, интегральный генератор, выходной формирователь, схема смещения нулевого потенциала на выходе, схема коммутации диапазонов частот с устройством индикации и формирователь двуполярного напряжения питания.

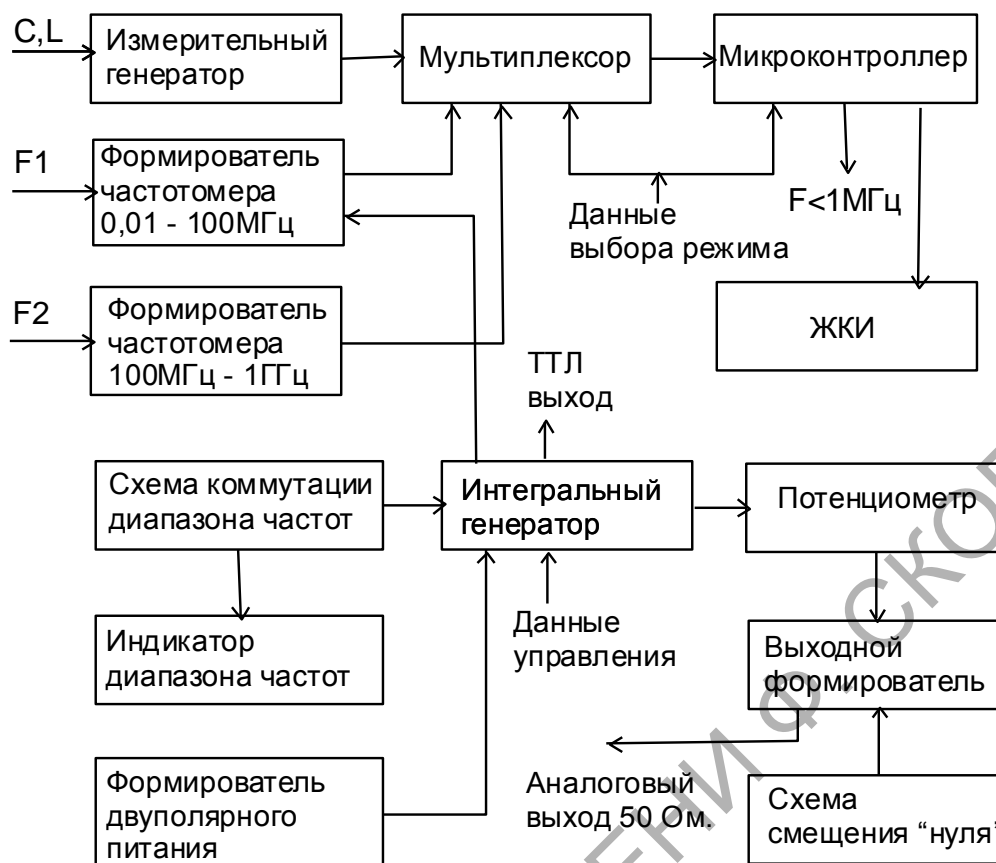


Рисунок 1 – Функциональная схема прибора

### Основные режимы работы устройства

В основе блока генератора лежит интегральный функциональный генератор, выпускаемый фирмой MAXIM [8], типа max038. Он позволяет формировать периодический электрический сигнал трех форм: это гармонический электрический сигнал синусоидальной формы, сигнал прямоугольной и треугольной формы (рисунок 2).

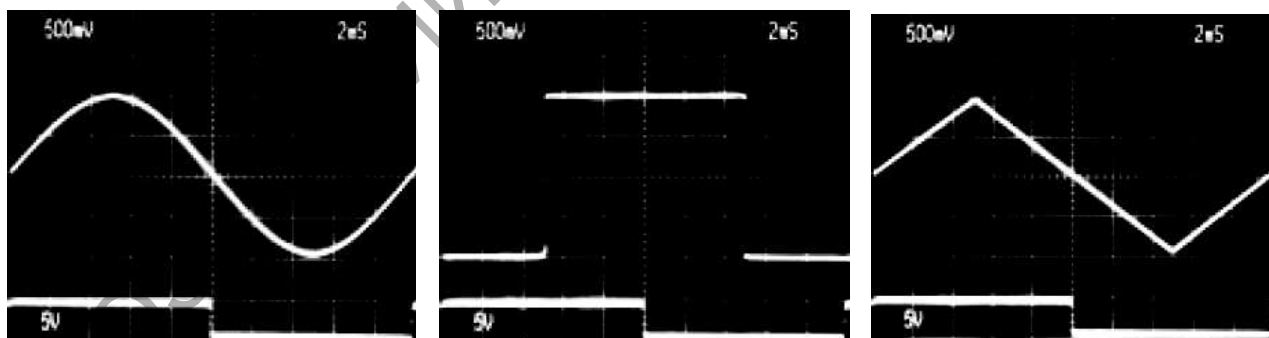


Рисунок 2 – Гармонический сигнал на выходе генератора, сигнал прямоугольной формы и сигнал треугольной формы.

Представленные снимки с экрана осциллографа выполнены при частоте 50 Гц и амплитуде выходного сигнала 10В, отображают основной генерируемый сигнал и сигнал по уровню ТТЛ.

Генератор работает в широком диапазоне частот от долей герца и до 20 МГц. Частота выходного сигнала устанавливается подачей напряжения на один из управляющих входов генератора. Диапазон частот коммутируется изменением емкости в частотоподающих цепях. В описываемом устройстве коммутация диапазонов электронная, это обеспечивает схема коммутации диапазонов, при этом весь диапазон частот разбит на шесть поддиапазонов. Вы-

бранный диапазон частот генератора отображается на светодиодном индикаторе. Генератор имеет два выхода: один аналоговый, с выбором формы сигнала, другой – цифровой, со стандартными уровнями ТТЛ. Причем оба сигнала синхронизированы, имеют одинаковую частоту, но смещены друг относительно друга на 90 градусов. Это позволило применять генератор для управления вращающимся электрическим полем. Аналоговый сигнал с генератора через потенциометр подается на выходной формирователь, в качестве которого используется широкополосный операционный усилитель типа AD8014, фирмы Analog Devices [9] по стандартной схеме с коэффициентом усиления равным 5. На выходе устройства имеется аттенюатор, согласующий выходное сопротивление прибора со стандартным значением 50 Ом. Схема смещения нуля позволяет балансировать выходной потенциал напряжения и тем самым добиваться установки нулевого потенциала на выходе. Помимо описанных настроек генератора, в приборе имеется возможность плавной регулировки симметричности выходного сигнала. Эта функция позволяет скомпенсировать нелинейность генератора в области высоких частот, на низких частотах эту регулировку можно просто отключить. Для питания блока генератора имеется специальный преобразователь однополярного напряжения в двухполярное. Стабильность выходного напряжения обеспечивается применением в стабилизаторе напряжения прецизионного стабилитрона. Применение операционного усилителя позволяет с высокой точностью установить нулевой потенциал в схеме питания и сохранить установку независимо от колебаний напряжения питания прибора. Следует отметить высокую стабильность системы питания прибора, которая в большей степени обеспечена питанием прибора от импульсного блока питания с прецизионной стабилизацией. С выхода генератора переменный сигнал подается на измерительную часть прибора.

Измерительная часть прибора выполнена на базе флеш микроконтроллера фирмы MicroChip [10] типа Pic 16F628A. Всеми режимами работы устройства управляет базовая программа, записанная в память программ микроконтроллера. В энергонезависимой флеш памяти контроллера хранятся константы режимов работы и калибровки измерения, которые могут быть изменены в ходе работы устройства при загрузке микроконтроллера в режиме установки констант. Для отображения режимов работы и результатов измерений используется двухстрочный алфавитно-цифровой ЖКИ типа SC1602BULT (16 символов, 2 строки).

На цифровой вход микроконтроллера подается сигнал с выхода мультиплексора, который коммутирует входное измерительное устройство.

В режиме измерения электрической емкости и индуктивности на контроллер поступает сигнал от измерительного генератора. Измерительный генератор собран на компараторе LM311. Частотоподающими элементами генератора являются измерительная катушка индуктивности и конденсатор, а также коммутируемый микроконтроллером эталонный конденсатор с известной емкостью. В зависимости от режима работы индуктивность подключается к клеммам последовательно или параллельно. Данная схема хорошо зарекомендовала себя в качестве генератора частоты до 800 кГц, обеспечивая на выходе сигнал, близкий к меандру.

Частота колебаний определяется по известной формуле:  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ . Эталонный конденса-

тор автоматически коммутируется микроконтроллером с целью калибровки прибора при включении или смене режима работы. Так же в режиме калибровки прибор измеряет емкость контактов или выводов и делает поправку. При измерении емкости выше 1 мкФ (до 10000 мкФ) необходимо установить соответствующий режим измерения, при этом измерительный LC генератор не используется, а переменный сигнал измерения снимается с одного из портов контроллера.

В режиме частотомера на вход микроконтроллера подается сигнал сформированный одним из входных формирователей. Входных формирователей два: один обеспечивает формирование сигнала частотой до 100 МГц и обеспечивает чувствительность по входу до 10 мВ, второй высокочастотный, он работает на частотах до 1 ГГц, при этом обеспечивает усиление сигнала и предварительное деление частоты на 64. Низкочастотный формирователь обеспечивает предварительное усиление входного сигнала, ограничение сигнала по уровню, это позволяет получить широкий динамический диапазон входных напряжений, а также пре-

образование аналогового сигнала в однополярный, прямоугольной формы. Применение во входных цепях полевого транзистора позволяет расширить входное сопротивление прибора до 1 МОм, без потери чувствительности.

Высокочастотный формирователь собран на базе универсальной микросхемы прескалера типа SA701d, в состав которой входит предварительный высокочастотный усилитель-формирователь и делитель частоты с коэффициентом деления 64.

В режиме частотомера прибор работает по широко известному методу измерения числа колебаний в единицу времени, с досчётом предварительного делителя, что обеспечивает высокие технические показатели. Базовая программа контроллера позволяет оперативно коммутировать режимы работы прибора. Измерение частоты можно производить с частотой выборки 0,1; 1; 10 секунд. Прибор позволяет измерять частоту с точностью до 1 Гц.

Кроме измерения частоты, емкости и индуктивности, микроконтроллер может работать в режиме генератора сигнала ТТЛ уровня до 1МГц, частота сигнала задается с помощью установки коэффициентов деления тактовой частоты кварцевого резонатора программным способом и отображается на дисплее в виде измеренной частоты и значений коэффициентов деления. Таким образом, в приборе имеется два независимых генератора.

Внешний вид прибора представлен на рисунке 3. Прибор имеет малые габаритные размеры, при этом все элементы управления расположены на передней панели прибора. Жидкокристаллический индикатор отображает все режимы работы прибора и значения измеренных физических величин.



Рисунок 3 – Внешний вид прибора

### Заключение

Для проведения экспериментальных исследований в области акустооптики, а также для исследования взаимодействия вращающегося электрического поля и ультразвуковой волны в пьезокерамике был разработан универсальный многофункциональный прибор, позволяющий, помимо генерации электрических колебаний различной формы в широких пределах, измерять частоты электрических колебаний, а также электрическую ёмкость и индуктивность с высокой точностью. Следует отметить, что функциональные узлы прибора в разное время выпускались промышленностью как самостоятельные электронно-измерительные приборы, однако описываемый многофункциональный прибор ранее не разрабатывался. Широкая функциональность прибора потенциально позволяет использовать его не только в области описанного научного интереса, но и в других областях науки и техники.

**Abstract.** Universal generator for acoustic and optic investigations is described in the paper. For carrying out experimental research in the field of acoustics and optics and also for research of interaction of a rotating electric field and an ultrasonic wave in piezoceramics a universal multipurpose device which allows to measure frequency of electric fluctuations, and also electric capacity and inductance with high accuracy apart from generating electric fluctuations of the various form over a wide range was developed. Wide functionality of the device potentially allows using it not only in the field of the described scientific interest, but also in other areas of science and technology.

## Литература

1. Семченко И.В., Хахомов С.А. Объемные акустические волны в кристаллах во вращающемся электрическом поле. – Мн.: «Беларуская навука» 1998 г.
2. Альтшуллер Г.Б., Елфимов Н.Н., Шакулин В.Г. Кварцевые генераторы // Справ. пособие. – М.: Радио и связь, 1984.
3. Кандыба П.Е., Поздняков П.Г. Пьезоэлектрические резонаторы // Справочник. – М.: Радио и связь, 1992.
4. Хахомов С.А., Барсуков С.Д., Семченко И.В. Устройство для измерения амплитудно-частотной характеристики акустоэлектрического элемента, Заявка на полезную модель РБ, № u 20080107, Заявл. 15.02.2008, Решение о выдаче патента от 25.04.2008.
5. Хахомов С.А., Барсуков С. Д., Семченко И. В. Амплитудно-частотные характеристики пьезокерамического элемента на основе соединения цирконий-титанат-свинец, Тезисы докладов II международной научной конференции «Проблемы взаимодействия излучения с веществом», Гомель, Беларусь, 1–3 ноября 2006 г., с.62-63
6. S.A.Khakhomov, I. V. Semchenko, S.D.Barsukov, Interaction of acoustic waves with rotating electric field in ceramics on the base of barium titanate , The 6<sup>th</sup> International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2007, September 26-30, 2007, Hamamatsu, Japan, Proceedings, Vol.1, p.126-135.
7. Хахомов С.А., Яковцов И.Н., Барсуков С.Д. Исследование амплитудно-частотных характеристик пьезокерамического элемента на основе соединения цирконий-титанат-свинец, Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, №6 (39), ч.1, 2006, с. 147-151.
8. Электронный каталог продукции от производителя MAXIM [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения обо всех видах производимой фирмой продукции. – Режим доступа: <http://www.maxim-ic.com>. – Загл. с экран.
9. Электронный каталог операционных усилителей от производителя Analog Device [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения обо всех видах производимой фирмой продукции. – Режим доступа: <http://www.analog.com>. – Загл. с экран.
10. Электронный каталог от производителя MicroChip [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения обо всех видах производимой фирмой продукции. – Режим доступа: <http://www.microchip.ru>. – Загл. с экран.