

## ЛИТЕРАТУРА

1. Преобразователь механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1634063. 2. Преобразователь механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1634111. 3. Преобразователь давления (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1572187. 4. Преобразователь механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1378721. 5. Преобразователь механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1426400. 6. Преобразователь механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1410642. 7. Устройство на поверхностных акустических волнах (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Баркалин В.В.) – авторское свидетельство СССР N 1436831.

УДК 621.37.39:534

**В. М. Колешко, В. В. Баркалин, Е. В. Полянкова**

## **ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ**

*Белорусская государственная политехническая академия  
Беларусь, Минск*

Созданные к настоящему времени преобразователи информации на поверхностных акустических волнах (ПАВ) можно определить как в основном однофункциональные (по принципу контроля внешнего воздействия) и как дискретные (по структуре размещения их акустических элементов). Эти преобразователи предназначены для контроля какой-либо одной физической или химической величины, и в их состав входит одна, иногда две включенные в дифференциальную схему микрорезисторные ПАВ-структуры.

Основной задачей, решаемой разработчиками однофункциональных дискретных преобразователей информации на ПАВ, является удовлетворение следующим двум требованиям: *обеспечение высокой чувствительности выходного сигнала к контролируемому воздействию и уменьшение чувствительности выходного сигнала к неконтролируемым.*

Вследствие взаимозависимости коэффициентов чувствительности характеристик ПАВ к воздействиям разной физической природы и многопараметрической

зависимости этих коэффициентов от внешних воздействий указанные два требования в общей форме оказываются противоречивыми, а ПАВ-структуры по самой своей природе – многофункциональными.

В этой связи в предпочтительным выглядит кибернетический подход, подразумевающий разработку интегральных многофункциональных сенсорных систем одновременного контроля нескольких параметров внешней среды и звукопровода ПАВ. Преобразование внешних воздействии в электрический сигнал осуществляется по нескольким каналам путем организации многоканального выходного сигнала, из которого выделяются данные о параметрах воздействия. Использование нескольких каналов позволяет снять присущие однофункциональным преобразователям ограничения на точность и стабильность и добиться радикального улучшения характеристик преобразователей информации на ПАВ без ужесточения технологических требований к их производству.

В настоящее время достигнута степень интеграции сенсорных и процессорных элементов вплоть до гибридных одноплатных схем и микросборок, в которых однофункциональные чувствительные элементы на ПАВ и микросхемы обработки размещаются в одном корпусе. В то же время известны разработки однокристалльных сенсорных систем, в которых чувствительный элемент отличного от ПАВ типа и схема обработки интегрированы на одном кристалле. Такая степень интеграции становится совершенно необходимой при использовании ПАВ-структур в качестве сенсорных элементов интеллектуальных микроэлектромеханических систем.

Существенным этапом разработки таких систем является создание элементной базы многофункциональных сенсорных систем на ПАВ. При этом необходимо сенсорные системы на ПАВ рассматривать как логико-динамические системы, структурно совмещающие динамическую и информационную компоненты процесса контроля внешних воздействий.

Анализ предложенных конструкций сенсорных систем на ПАВ показал, что наиболее перспективной элементной базой интеллектуальных МЭМС на ПАВ являются автогенераторы на ПАВ, позволяющие интегрировать многофункциональные чувствительные элементы на ПАВ и быстродействующие логические элементы в микроэлектронном исполнении для получения высокочастотного выходного сигнала. ПАВ-структура при этом включается в цепь обратной связи широкополосного усилителя, образуя генератор, выходная частота которого зависит от величины и характера внешних воздействий. Высокостабильные автогенераторы высокой частоты получаются при использовании быстродействующих логических элементов с эмиттерно-связанной логикой. Базовые э.с.л.-элементы ИЛИ-НЕ имеют парафазный выходной сигнал и отличаются высокой стабильностью динамических параметров при изменении рабочей температуры и напряжения питания и высокой помехоустойчивостью.

На рис. 1 представлены базовые схемы ПАВ-генераторов на основе указанных логических элементов, в которых в качестве чувствительного элемента использо-

ваны двухвходовые ПАВ-резонаторы, содержащие идентичные входной 1,2 и выходной 3,4 аподизированные ВПП с периодом 32 мкм и распределенные отражатели из 600 канавок глубиной 0,4 мкм в каждом. Указанные резонаторы имели эффективную добротность в 50-омном тракте  $(1,4-1,8) \times 10^4$  и вносимые потери 5,5-7,5 дБ. Особенностью указанных схем является отсутствие реактивных согласующих и корректирующих цепей, что позволило повысить стабильность автогенераторов и реализовать их полностью интегральную конструкцию.

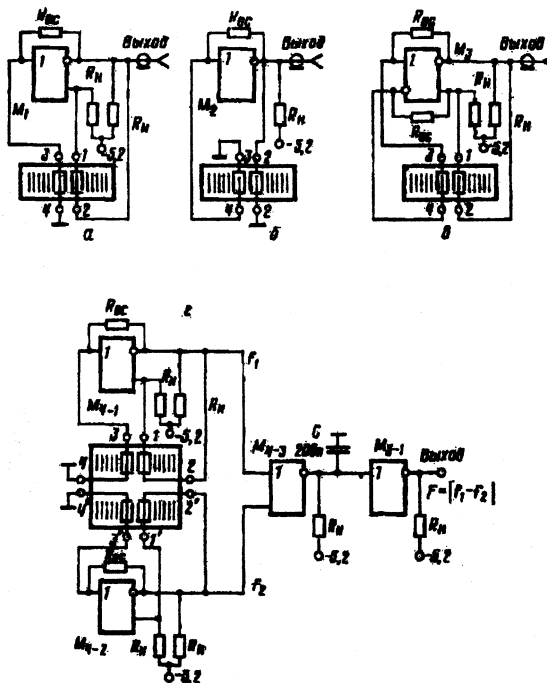


Рис.1. Принципиальные схемы ПАВ-генераторов (а-в) и дифференциальная автогенераторная схема (г). М1, М4, М5 – К500ЛМ105, М2 – К500ЛМ102, М3 – К500ЛП116.

На этом же рисунке представлена дифференциальная схема на смесителе, выполненном также на э.с.л.-элементе ИЛИ-НЕ, работающем в ключевом режиме. На выходе этого элемента формируются импульсы, модулированные по ширине, с частотой модуляции, определяемой разностной частотой автогенераторов. Разностная частота выделяется с помощью фильтра нижних частот, образованного входными цепями еще одного э.с.л.-элемента, служащего также разрядкой, нагрузочным сопротивлением и конденсатором.

На рис. 2 представлены типичные зависимости вариации частоты ПАВ-генератора от сопротивлений обратной связи и нагрузки. Устойчивая генерация наблюдается в диапазоне сопротивлений обратной связи 1–10 кОм. Наибольшее быстрое действие э.с.л.-элементов достигается при сравнительно высокой потребляемой мощности микросхем и низком сопротивлении нагрузки (100–500 Ом).

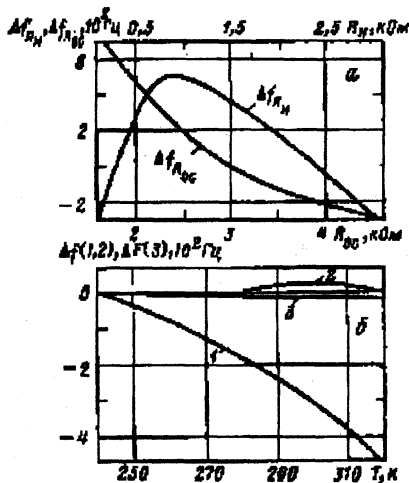


Рис. 2. Зависимость изменения выходной частоты ПАВ-генератора: а – от сопротивления резистора обратной связи  $R_{oc}$  и нагрузочного резистора  $R_n$ , б – от температуры окружающей среды ( $R_{oc} = 3$  кОм (1,3), – и функция температуры (2),  $R_n = 0,3$  кОм (1, 2, 3)).

На том же рисунке представлены зависимости частоты ПАВ-генератора от температуры при термостабильном резисторе обратной связи. В диапазоне 240–320 К величина температурного коэффициента частоты составляет  $6 \times 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ . Можно значительно снизить дрейф параметров автогенератора при использовании зависимости частоты генерации от сопротивления обратной связи. На рис. 2, б представлена зависимость частоты генерации от температуры при использовании в качестве резистора обратной связи терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления.

Представленные схемы автогенераторов на ПАВ характеризуются высокой кратковременной, температурной и режимной стабильностью, малой массой и габаритами. Они использовались при разработке прецизионных сенсоров на ПАВ.

Разработанные сенсорные системы на ПАВ на описанной элементной базе обеспечивают достижение следующих параметров:

Параметры элементов микроэлектромеханических сенсорных систем на ПАВ

| Параметр   | Значение  |
|--|---|
| Рабочая частота ПАВ-структур                                       | 100-1000 МГц  |
| Выходной сигнал  | частотный в диапазоне 1-1000 кГц  |
| Коэффициенты преобразования:                                       |   |
| по температуре   | до 8 кГц/К  |
| по давлению  | 0,1-0,4 кГц/мм.рт.ст. (в диапазоне 30-800 мм.рт. ст.)<br>3-10 кГц/мм.рт.ст. (в диапазоне $10^2$ -10 мм.рт. ст.) |
| по электрическому полю   | до 100 кГц/В  |
| по O <sub>2</sub>  | до 1 кГц/об.%   |
| по CO <sub>2</sub>   | до 5 кГц/об.%   |
| по H <sub>2</sub>  | до 2 кГц/об.%   |
| Кратковременная нестабильность ПАВ-генераторов на основной частоте | $10^{-4}$ - $10^{-9}$   |
| Резонансная нестабильность на основной частоте                     | $4 \times 10^{-6}$ 1/В  |

При их разработке исследовалась многопараметрическая чувствительность при максимально полном учете всех каналов внешнего воздействия на характеристики ПАВ, что позволило решить проблемы достижения функциональной интеграции сенсорных ПАВ-структур и схем обработки информации в сенсорных системах, а также интеллектуальных алгоритмов такой обработки.

В совокупности полученные автогенераторные устройства образуют элементную базу нового класса прецизионных сенсорных систем, характеризующихся невысокой стоимостью и небольшим энерго- и ресурсопотреблением.

Для интеграции интеллектуальных сенсорных ПАВ-систем на указанной элементной базе разработан «интеллектуальный» сенсорный микрокомпьютер микропроцессорного контроля и управления, снабженный различными органами чувствления и воспринимающий информацию о внешней среде.

Микрокомпьютер позволяет получать информацию об основных физических параметрах внешней среды либо подлежащих контролю внешних объектов и на этой основе производить управление ими. Снабжен специально разработанными контрольно-управляющими микросхемами с чувствительными элементами на ПАВ, позволяющими осуществлять преобразование физических величин (разрежение, давление, сила, ускорение, угловая скорость, температура, влажность, концентрации различных газов и др.) в частотный сигнал и далее в цифровой или аналоговый код. В частности, контрольно-управляющие микросхемы (КУМ) по давлению, разрежению имеют следующие параметры: разрежающая способность  $(1-2) \cdot 10^{-3}$  %, повторяемость  $(4-5) \cdot 10^{-3}$  %, гистерезис  $10^{-2}$  %, нелинейность  $0,1+0,3$  %, коэффициент преобразования  $(100+400)$  Гц/мм рт.ст. По температуре: коэффициент преобразования  $2,35+9,2$  кГц·К<sup>-1</sup>, диапазон контролируемых температур от минус 60°С до плюс 200°С. Девияция выходного сигнала микросхем для контроля влажности составляет 30 кГц при изменении относительной влажности от 30 до 100 %.

## Технические характеристики микрокомпьютера

| Характеристика  | Значение             |
|---|----------------------|
| Разрядность вычислителя   | 16                   |
| Быстродействие вычислителя, оп/с, не менее  | $0,3 \cdot 10^5$     |
| Объем оперативной памяти, кбайт   | 4                    |
| Объем памяти программ, кбайт  | 16                   |
| Число дискретных входов   | 16                   |
| Число дискретных выходов с нагрузкой не менее 100 мА  | 16                   |
| Входы аналоговые 0–20 мА/10 разрядов  | 8                    |
| Количество каналов обеспечивается коммутатором с частотой переключения не более 5 мс.   |                      |
| Число частотных входов -1,0–200 000Гц   | 4                    |
| Интерфейс с машинистом оператором   |                      |
| Клавиатура  | 16 клавиш            |
| Индикатор   | 8 знаковмест         |
| Звуковая сигнализация   | 1 канал              |
| Световая индикация (световоды)  | 16                   |
| Источник питания  | +12 В<br>(10,8–15 В) |
| обеспечивает нормальную работоспособность микрокомпьютера при помехах по цепям питания в соответствии с руководящими материалами для разработки бортовой техники. Питание микрокомпьютера имеет гальваническую развязку с бортовой сетью. Имеет защиту от перенапряжений, перегрузки током, переполосовки. Все входы и выходы микрокомпьютера помехозащищены. | +24 В<br>(21,6–30 В) |
| Масса микрокомпьютера, кг, не более   | 3                    |
| Число выходов ЦАП по току 0–20 мА/10 разр.  | 8                    |
| Имеется внешний интерфейс для включения в локальную сеть машин (ИРПС) токовая петля.  |                      |

Микрокомпьютер может выполнять следующие функции: 1) автоматический контроль состояний агрегатов машин и оборудования; 2) диагностику их неисправностей; 3) выработку команд управления технологическим процессом; 4) формирование цифровых и буквенных сообщений на экране одностороннего индикатора; 5) выполнение команд оператора при работе с клавиатурой.

Микрокомпьютер может применяться в различных областях, начиная с авиационной техники и кончая сельскохозяйственным машиностроением. Конструктивное исполнение предусматривает возможность его использования в трудных условиях окружающей среды, пульсаций и помех бортовой сети.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чувствительный элемент датчика давления на поверхностных акустических волнах и способ его изготовления (Колешко В.М., Мешков Ю.В.) – авторское свидетельство СССР N 1250858. 2. Акустический блок (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Колешко Л.А.) – авторское свидетельство СССР N 1104363. 3. Способ возбуждения поверхностных акустических волн (Колешко В.М., Гулай А.В.) – авторское свидетельство СССР N 720693. 4. Устройство на поверхностных акустических волнах (Колешко В.М., Мешков Ю.В.) – авторское свидетельство СССР N 1349672. 5. Способ подстройки частоты в устройствах на поверхностных акустических волнах (Ко-

лешко В.М., Мешков Ю.В.) – авторское свидетельство СССР N 1634069. 6. Материал пьезоэлектрической пленки (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Лозовский Э.И.) – авторское свидетельство СССР N 1340521. 7. Преобразователь механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Рачковская Г.Е., Смолонская А.Г.) – авторское свидетельство СССР N 1591724. 8. Способ калибровки датчиков давления на поверхностных акустических волнах (Колешко В.М., Мешков Ю.В.) – авторское свидетельство СССР N 1371176. 9. Устройство для измерения температуры (Гуляев Ю.В., Колешко В.М., Мешков Ю.В.) – авторское свидетельство СССР N 1138668. 10. Дифференциальный пьезоэлектрический преобразователь на поверхностных акустических волнах (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Лозовский Э.И.) – авторское свидетельство СССР N 1501867. 11. Преобразователь механических величин на поверхностных акустических волнах (Колешко В.М., Мешков Ю.В., Скопич В.И., Трыков В.Г.) – авторское свидетельство СССР N 1648234. 12. Способ контроля параметров газовой среды и устройство для его осуществления (Колешко В.М., Гулай А.В., Лях В.И.) – авторское свидетельство СССР N 1262317. 13. Устройство для измерения давления (Колешко В.М., Гулай А.В., Лях В.И.) – авторское свидетельство СССР N 1291829. 14. Датчик механических величин (Колешко В.М., Мешков Ю.В.) – авторское свидетельство СССР N 1450708.