

# Ультразвуковые преобразователи фирмы Sencera

Анатолий Бербенец

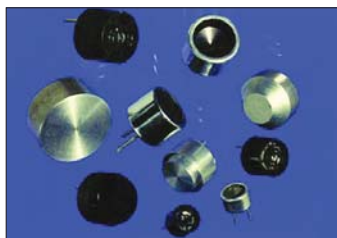
berben@efo.ru

## Введение

Ультразвуковые воздушные преобразователи давно и широко применяются для измерения дистанции, бесконтактного определения присутствия, в системах определения сближения, системах предупреждения столкновений на транспорте. В таких устройствах преобразователем излучается короткий ультразвуковой импульс по направлению к цели, которая отражает звук (эхо) обратно к преобразователю. После приема отраженного импульса электронная система измеряет время, за которое он возвратился, и вычисляет дистанцию до цели на основе известной скорости распространения звука в среде (воздухе).

Имеющиеся на современном рынке микроэлектроники ультразвуковые преобразователи отличаются друг от друга конструктивно-технологическими вариантами: материалами используемой пьезокерамики, материалом корпуса, присоединительными размерами, степенью защиты от внешней среды, электрическими характеристиками. С акустической точки зрения они работают на различных частотах, имеют разные характеристики направленности. Для правильного выбора ультразвукового преобразователя в конкретном приложении помимо технических характеристик необходимо учитывать взаимосвязи (тонкости) акустических характеристик среды и цели, а также их влияние на работу преобразователя. Главные из этих взаимосвязей следующие:

- Функциональная зависимость скорости звука от температуры и состава среды (воздуха) и влияние этих характеристик на точность и разрешающую способность преобразователя.
- Функциональная зависимость длины звуковой волны от скорости звука и частоты и ее влияние на минимальный определяемый размер цели или минимальную (максимальную) дистанцию до цели.
- Функциональная зависимость затухания звука от его частоты и от влажности воздушной среды и их влияние на максимальную дальность определения цели.
- Функциональная зависимость величины фонового шума от частоты и его влияние на характеристики по дальности и разрешению.
- Характеристики направленности как преобразователя отдельно, так и системы на его (их) основе в целом и их влияние на дальность и избирательность по цели.
- Функциональная зависимость амплитуды эха от характеристик цели: дальности до нее, размера, формы поверхности и ее отражающей способности.



В качестве иллюстрации приведем несколько фундаментальных зависимостей, связанных с распространением звука в воздушной среде. Например, скорость звука в воздухе при температуре 0 °C составляет 331 м/с, в углекислом газе — 258 м/с. Температурная зависимость скорости звука в воздухе приведена на рис. 1 (скорость звука при комнатной температуре равна 343 м/с).

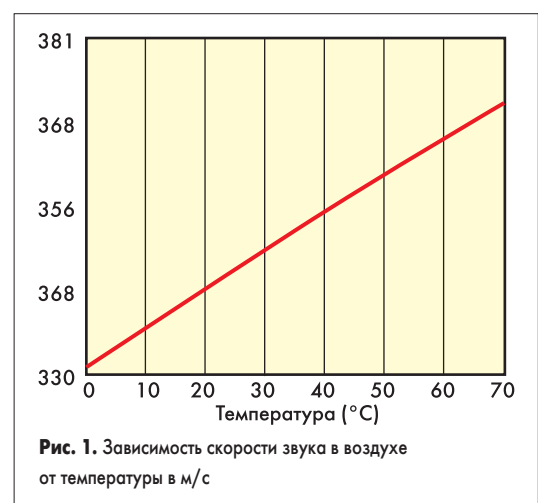
Еще одна основополагающая формула — зависимость длины звуковой волны от скорости звука и его частоты:

$$\lambda = c/f$$

где  $\lambda$  — длина волны,  $c$  — скорость звука в среде,  $f$  — частота.

График зависимости длины звуковой волны в воздухе от частоты при комнатной температуре приведен на рис. 2.

Из графика видно, что для преобразователя 40 кГц длина волны составляет приблизительно 0,8 см, а для частоты 250 кГц — 0,13 см. Это объясняет, почему для точного измерительного инструмента (например, ультразвуковой электронной рулетки) используют более высокочастотные преобразователи 120–250 кГц. В то же время для приложений, где точное измерение дистанции не требуется, например, в системах обнаружения препятствий позади автомобиля, применяют преобразователи 40 кГц. Более того, низкочастотный преобразователь (40 кГц) имеет преимущество для последнего приложения в связи с тем, что затухание звука с частотой 40 кГц в воздухе меньше, чем для частоты 250 кГц. Это свойство иллюстрирует еще од-



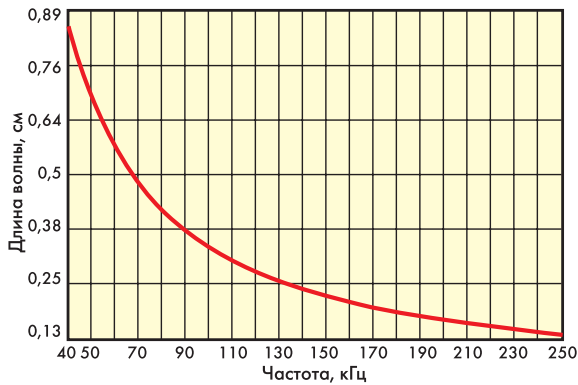


Рис. 2. Зависимость длины звуковой волны в воздухе от частоты при комнатной температуре

на фундаментальная зависимость теории и практики преобразователей — зависимость затухания звука при распространении в воздухе от частоты колебаний и влажности воздуха (рис. 3). Видно, что затухание звука с частотой 40 кГц более чем в 4 раза меньше, чем для частоты 250 кГц, при расчете на 1 фут и при всех остальных фиксированных параметрах.

Более подробно с функциональными зависимостями, необходимыми для расчета и выбора характеристик воздушных преобразователей для различных применений можно ознакомиться в специальной литературе [1–7].

### Воздушные преобразователи фирмы Sencera

Большинство ультразвуковых преобразователей, входящих в состав промышленно выпускаемых приборов и систем измерения малой мощности, работают в диапазоне частот от 40 до 250 кГц. Ведущими разработчиками и производителями ультразвуковых преобразователей самого различного применения (в том числе и рассматриваемого) являются американские компании APC International, Parsonics, Massa Products, Honeywell. В последние годы в этой области активно работают и фирмы из Юго-Восточной Азии, одной из которых является тайваньская Sencera.

Рассматриваемые в статье ультразвуковые преобразователи (УП) относятся к разряду относительно недорогих пьезокерамических преобразователей нижнего ультразвукового диапазона (25–40 кГц) широкого применения, работающие в воздушной среде. Несмотря на невысокую цену, преобразователи, благодаря используемому конструктивно-технологическим решениям, имеют хорошие электрические и механические характеристики, что является серьезной предпосылкой получения надежных радиоэлектронных изделий широкого применения на их основе. Основные характеристики преобразователей приведены в таблице 1, где для сравнения также приведены параметры аналогичных устройств американского и российского производства.

УП фирмы Sencera предназначены для работы в воздушной среде, но, по-видимому,

могут быть использованы и для работы в неагрессивной газовой среде с характеристиками, подобными воздушной и, естественно, с учетом скорости распространения звука в конкретной среде. Имеется два конструктивных исполнения преобразователей производства фирмы Sencera — открытое, где внешняя воздушная среда имеет непосредственный контакт с пьезокерамическим излучателем, и закрытое, где излучающий-принимающий пьезопреобразователь отделен от воздушной среды герметичным корпусом. УП, вследствие присущей пьезокерамике обратимости, работают как в режиме излучения, так и в режиме приема, хотя для конструктивного исполнения открытого типа приемники и передатчики изготавливаются в разных корпусах с согласованными характеристиками по центральной частоте и ширине полосы пропускания. Простые на первый взгляд пьезокерамические преобразователи, имеющие всего два вывода, являются сложной электро-механической системой и характеризуются набором параметров, необходимых для конструктивных и электрических расчетов систем на их основе.

Основные характеристики УП:

- Центральная частота (кГц) — резонансная частота (обычно частота, соответствующая минимальному импедансу электро-механической системы) на которой происходит излучение и прием. Для некоторых типов УП в качестве центральной частоты используется антирезонансная частота, измеряемая при максимальном импедансе.
- Полоса пропускания (кГц) — ширина полосы пропускания относительно центральной частоты, измеренная по уровню –6 дБ (–3 дБ).
- Уровень звукового давления или интенсивность звука (дБ) — величина звукового давления, создаваемого излучателем в точке измерения на заданном расстоянии, отнесенная к опорному уровню звукового давления, принятому за 0 дБ (стандартно 1 мкПа). В акустике звуковое давление обычно измеряют в децибелах из-за его широкого динамического диапазона. Звуковое давление измеряют в микропаскалях (мкПа) или в микробарах (мкбар) на нормируемом расстоянии  $R_0$  от датчика, равном 30 см. Уровень звукового давления (SPL), измеренный на нормированном

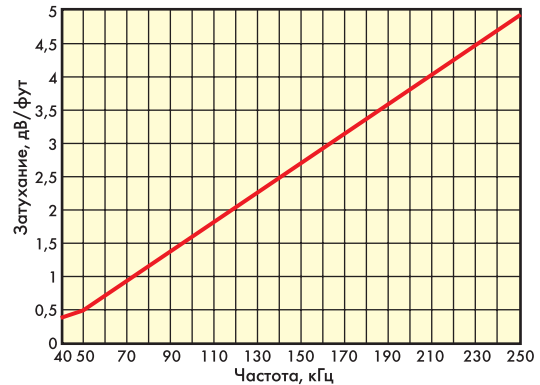


Рис. 3. Максимальное затухание звука в воздухе при комнатной температуре, фиксированной влажности для частот 40–250 кГц

расстоянии  $R_0$ , затем переводится в дБ по отношению к 1 мкПа (1 мкбар) по следующей формуле:

$$\text{SPL}(R_0) = 20 \log(p)$$

где  $\text{SPL}(R_0)$  — уровень звукового давления на расстоянии  $R_0$  в дБ/1 мкПа (дБ/1 мкбар),  $P$  — звуковое давление на расстоянии  $R_0$  в мкПа (мкбар). Иногда для удобства измерений используется опорный уровень давления  $p=20$  мкПа.

- Чувствительность (дБ) характеризует возможности УП как приемника. Определяется как величина напряжения на выводах УП, отнесенная к измеренной величине звукового давления на поверхности преобразователя, выраженная в децибелах относительно опорной величины 10 В/Па.
- Емкость (пФ) — величина собственной емкости преобразователя, измеренная на частоте 1 кГц.
- Импеданс (Ом) — величина активного сопротивления преобразователя на резонансной частоте.
- Максимальное входное напряжение (В) — предельная величина переменного напряжения, приложенного к выводам УП в течение заданного времени.
- Ширина диаграммы направленности (град) — ширина лепестка характеристики направленности (пример на рис. 4), измеренная по уровню –6 дБ (или –3 дБ).
- Диапазон рабочих температур (°C) — диапазон температур, в котором гарантированно обеспечивается работоспособность устройства.

Существует также множество других параметров преобразователей — как электрических, так и эксплуатационных, которые приводятся в документации на изделие. Это, например, рекомендуемый рабочий диапазон по дальности; характеристики стандартной цели (размеры, материал); величина «мертвой зоны»; габаритные размеры преобразователя; срок службы; материал корпуса; условия работы по влажности, вибрации и т. п. Дополнительно к данным, приведенным в таблице, преобразователи Sencera имеют следующие характеристики:

- ширина полосы пропускания (–6 дБ) 1,2 кГц;
- диапазон рабочих напряжений 20–150 В (ампл.).



**Конструктивное исполнение**

Как уже упоминалось выше, существует 2 конструктивных исполнения УП Sencera — открытое и герметичное. Преобразователи имеют обозначение вида:

TR 40 10 T 1

- (1) (2) (3) (4) (5) где:  
 (1) TR — для исполнений только передатчик/только приемник (для УП открытого типа);  
 ЕС — для комбинированного исполнения передатчик + приемник в одном корпусе;  
 (2) 40 — центральная частота, кГц;  
 (3) 10 — диаметр преобразователя в мм;  
 (4) T — передатчик, R: приемник;  
 (5) 1 — порядковый номер разработки.

Все преобразователи выполнены в цилиндрических корпусах диаметром от 10 до 18 мм и высотой от 7 до 12 мм с двумя выводами для подключения. Материал корпуса либо ABS, либо алюминий (для герметичных исполнений). Влияние отдельных внешних факторов на чувствительность преобразователей приведено в таблице 2.

**Применение**

Ультразвуковые преобразователи, как уже упоминалось, выполняют в системах две основные функции — излучение ультразвукового импульса и прием отраженного от препятствия или границы двух сред разной плотности сигнала (или сигналов). В соответствии с этими функциями электронная система, реализующая эхолотокатор, состоит из следующих основных блоков: передатчик, коммутатор «прием-передача» (для варианта, когда один и тот же преобразователь работает в режимах приема и передачи), усилитель-приемник, генератор тактовой частоты, формирователь зондирующих импульсов, формирователь длительности дистанции, схема измерения времени задержки эхосигнала. На современном этапе развития электроники такая система может быть легко реализована с минимальным количеством

**Таблица 1**

Модель преобразователя	Центральная частота, кГц	Уровень звукового давления, дБ	Чувствительность, дБ	Емкость, пФ	Характеристика направленности, град	Фирма-изготовитель	Примечание
TR4010T1	40±1	>110		1700±30%		Sencera	передатчик
TR4010R1	40±1		< -70	1700±30%		Sencera	приемник
TR4010T2	40±1	>110		1700±30%		Sencera	передатчик
TR4010R2	40±1		< -70	1700±30%	80	Sencera	приемник
TR4012T1	40±1	>110		1700±30%		Sencera	передатчик
TR4012R1	40±1		< -70	1700±30%		Sencera	приемник
TR4016T1	40±1	>120		1700±30%		Sencera	передатчик
TR4016R1	40±1		< -63	1700±30%	54	Sencera	приемник
TR2516T1	25±1	>115		2000±30%		Sencera	передатчик
TR2516R1	25±1		< -66	2000±30%		Sencera	приемник
EC4010	40±1	>98	< -67	2000±30%	44	Sencera	приемник-передатчик
EC4012	40±1	>100	< -67	2000±30%	44	Sencera	приемник-передатчик
EC4014	40±1	>100	< -67	2000±30%		Sencera	приемник-передатчик
EC4016	40±1	>100	< -65	2000±30%		Sencera	приемник-передатчик
EC4018	40±1	>100	< -65	2000±30%		Sencera	приемник-передатчик
40CA-25E	40±1	>106	< -74	1950±20%	25	APC	приемник-передатчик
40CA-18SC	40±1	>100	< -80	1950±20%	72	APC	приемник-передатчик
40T-16P	40±1	>119	< -65	1900±30%	34	APC	передатчик
40R-16P	40±1	>119	< -65	1900±30%		APC	приемник
TR-89B/31	31±2	>55	< -41	-	34	Massa	приемник-передатчик
TR-89B/40	40±2	>55	< -50	-	30	Massa	приемник-передатчик
МУП-3	37-45	100	20 мВ/Па	1300	74	Элла	приемник-передатчик
МУП-4	37-45	100	10 мВ/Па	2500	70	Элла	приемник-передатчик

**Таблица 2**

Наименование	Условия	Пределы изменения УП чувствительности
Диапазон температур	-20... +70 °C	10 дБ
Влажность	40±2 °C, 90% RH, 2 часа	4 дБ
Ударное воздействие	Удар 50г, направление: 3 перпендикулярных направления. Продолжительность: 3 раза	4 дБ
Вибрационное воздействие	Направление: 3 перпендикулярных направления. Продолжительность: 1000 циклов воздействия гармонической частоты с параметрами: а) амплитуда вибрации 1,5 мм; б) качание частоты 10-50-10 Гц с интервалом 1 мин.	4 дБ

компонентов на базе недорогого 8-разрядного микроконтроллера или даже в виде конфигурируемой системы на кристалле. Для конкретных приложений необходимо учитывать влияние дополнительных конструктивных элементов на параметры преобразователей, их взаимное влияние при работе в режимах прием-передача, наличие или отсутствие турбулентностей воздушной среды, «мертвых зон» и т. п.

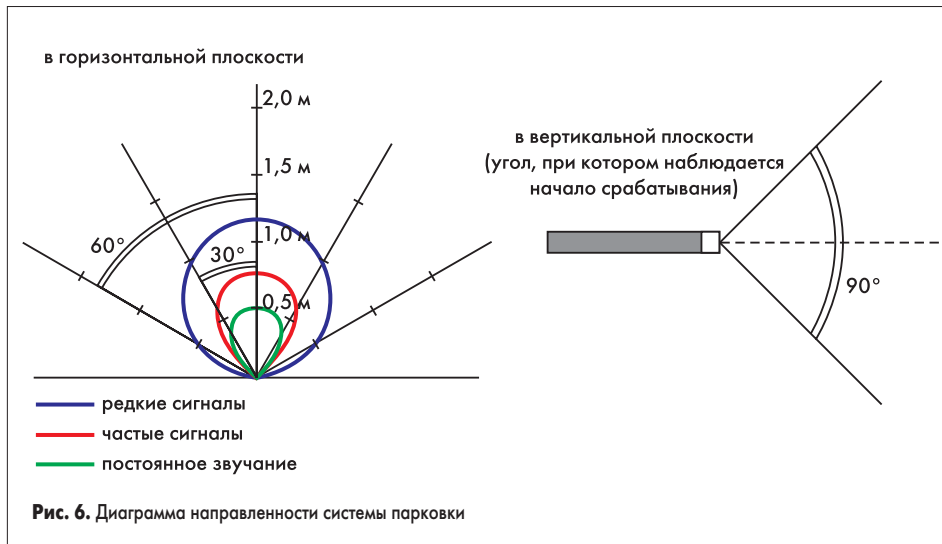
В качестве законченного изделия массового применения, в котором использованы ультразвуковые воздушные преобразователи, можно привести так называемую систему безопасной парковки автомобилей фирмы Coligen ([www.m12v.auto.ru](http://www.m12v.auto.ru)). Внешний вид изделия приведен на рис. 5.

Система состоит из следующих компонентов:

- ультразвуковые датчики закрытого типа — 3 шт.;
- блок управления в металлическом корпусе;
- звуковой излучатель (бипер).

По данным производителя, система позволяет определять расстояние до препятствия с точностью до 5 см. Приближение препятствия индицируется звуковым сигналом с ха-





рактором звучания от прерывистого до постоянного. Диаграмма направленности датчиков, установленных на бампере автомобиля в соответствии с инструкцией, в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведена на рис. 6.

Из рис. 6 ясно, что система начинает «видеть» препятствие на расстоянии около 1,2 м. При этом звуковой индикатор подает редкие звуковые сигналы. При приближении к препятствию на расстояние 0,5 м звуковой сигнал звучит непрерывно. Характеристика диаграммы направленности в вертикальной плоскости помогает правильно выбрать высоту установки датчиков от по-

верхности земли для уменьшения величины «мертвой зоны».

### Заключение

Ультразвуковые воздушные преобразователи, выпускающиеся в мире миллионами штук (например, TR89 от Massa Corp.) занимают свою нишу в области точных бесконтактных измерений расстояний, определения приближений в производственных процессах (например, на конвейере), бесконтактного определения уровня жидкостей и сыпучих тел в больших емкостях, в качестве датчиков систем безопасности, систем

предупреждения столкновений на транспорте, игрушках и т. п.

Область применения в большой степени определяет жесткость требований, предъявляемых к технико-экономическим характеристикам преобразователей.

Рассмотренные воздушные преобразователи Sencera находятся в середине рассмотренных обзорно в данной статье преобразователей по критерию «качество-надежность-цена», являются хорошим выбором для применений в системах предупреждения столкновений, датчиках приближений, измерений уровня жидкостей, в системах безопасности. ■

### Литература

1. Frank Massa. Ultrasonics in Industry. Fiftieth Anniversary Issue, Proc IRE. May 1992.
2. Donald P. Massa. An Automatic Ultrasonic Bowling Scoring System // Sensors. Vol. 4. No. 10. Oct. 1987.
3. Paul A. Shirley. An Introduction to Ultrasonic Sensing // Sensors. Vol. 6. No. 11. Nov. 1989.
4. Frank Massa. Ultrasonic Transducers for Use in Air // Proc IEEE. Vol. 53. No. 10. Oct. 1965.
5. Leo L. Beranek. Acoustic Properties of Gases. American Institute of Physics Handbook, 3rd Ed. (Section 3d), McGraw-Hill.
6. Handbook of Chemistry and Physics. 45th Ed. 1964.
7. L. B. Evans and Bass. Tables of Absorption and Velocity of Sound in Still Air at 68°F. Wyle Laboratories, Report WR72-2. Jan. 1972.