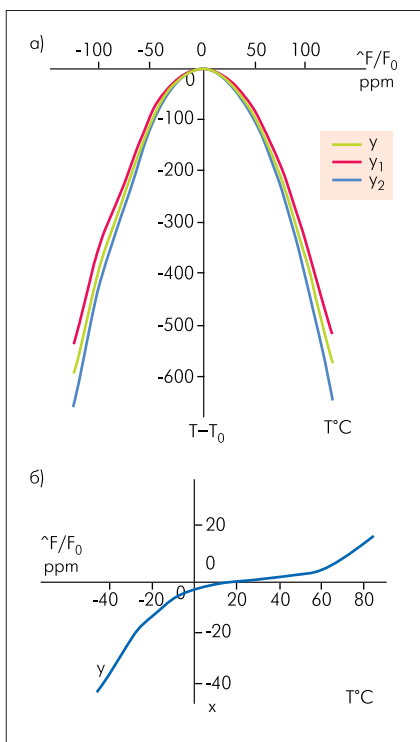


# ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ

## ПРИМЕНЕНИЕ В ДАТЧИКАХ

Потребность в датчиках с частотным выходом постоянно растет, чему способствуют непрерывное расширение областей их применения, высокие метрологические характеристики, рентабельность при серийном производстве. Сегодня опорные кварцевые резонаторы на стандартные частоты от 32 кГц до 12 МГц выпускаются несколькими отечественными предприятиями. А в последнее время увеличился спрос на миниатюрные опорные резонаторы. И здесь нельзя не отметить новые конструкции кварцевых резонаторов и датчиков на их основе, созданных и выпускаемых предприятием ООО "СКТБ ЭлПА", имеющим многолетний опыт производства этих устройств.

Пьезоэлектрический резонатор – это электромеханическая система, в которой используется явление прямого и обратного пьезоэффекта. Обычно резонатор выполняется в виде двухполюсника, объединяющего системы электрического возбуждения механических колебаний и съема электрического сигнала пропорционально амплитуде этих колебаний. Один из самых распространенных пьезоэлектриков, применяемых в пьезоэлектрических резонаторах, – пьезокварц, обеспечивающий высокую добротность кварцевых резонаторов ( $10^7$  и более), а также кратковременную и долговременную стабильность, достигающую  $10^{-10}$  и  $10^{-7}$ , соответственно. Другие достоинства кварцевых резонаторов – практическое отсутствие гистерезиса при механических, температурных и электрических воздействиях.



**Рис. 1. Температурно-частотная характеристика резонаторов РК206 (а) и РК308 на 10 МГц (б)**

А.Поляков,  
И.Заднепрянный,  
В.Поляков

Особое внимание на СКТБ ЭлПА уделяется разработке миниатюрных камертонных кварцевых резонаторов РК206 на частоты от 32 до 320 кГц в корпусах размером  $\varnothing 1,5 \times 5$  и  $\varnothing 2 \times 6$  мм и полосковым резонаторам РК308 на частоты от 3,5 до 12 МГц в корпусе размером  $\varnothing 3 \times 10$ , по своим характеристикам не уступающим зарубежным аналогам (рис.1).

Миниатюрные кварцевые резонаторы изготавливаются не только с помощью механической обработки, но и по групповой технологии методом фотолитографии, позволяющим формировать кварцевые детали сложной формы, в том числе и мезаструктуры с воспроизводимостью размеров до 1 мкм.

СКТБ разработаны и изготовлены опытные образцы микроминиатюрного опорного резонатора для поверхностного монтажа на частоту 256 кГц в кварцевом корпусе размером  $3,3 \times 1,7 \times 0,65$  и  $4,3 \times 1,7 \times 0,4$  мм. Возможно изготовление таких резонаторов и на диапазон частот от 32 до 256 кГц.

Успехи современной цифровой электроники создали основу для применения датчиков с частотным или кодовым выходом в измерительных системах управления технологическими процессами, контроля параметров окружающей среды, в образцовых средствах измерений. На базе кварцевых резонаторов различных срезов выпускаются прецизионные датчики температуры, давления, усилия, влажности, ускорения. Так, чувствительный пьезоэлемент термочувствительного среза, смонтированный в корпус размером  $\varnothing 2 \times 6$  мм, образует камертонный малогабаритный термочувствительный кварцевый резонатор (табл.1) с малой постоянной времени тепловой инерции (до 5 с). Возможны варианты датчиков температуры в том же корпусе с меньшей постоянной времени, что достигается путем заполнения инертными газами пространства внутри корпуса.

**Таблица 1. Характеристики термочувствительных резонаторов**

Характеристика	Тип резонатора	
	РКТ206	РКТВ206
Номинальная частота, кГц	32...39	32...39
Чувствительность, Гц/°С	1,9	2
Динамическое сопротивление при температуре 25°С, кОм	<75	<70
Рабочая температура, °С	-55-100	-55-370

Градуировочная характеристика резонаторов этого типа описывается полиномом второй или третьей степени (погрешность аппроксимации в среднем – сотые доли градуса):

$$T = T_0 + A_1(f_T - f_0) + A_2(f_T - f_0)^2, \quad (1)$$

где  $f_T$  – частота термочувствительного резонатора;  $f_0$  – опорная частота;  $A_1, A_2$  – коэффициенты полинома;  $T_0$  – температура, соответствующая опорной частоте  $f_0$ .

**Таблица 2. Основные технические характеристики РКМА и БРКМ**

Характеристика	Тип резонатора	
	РКМА-Р	БРКМ-Р
Номинальная частота, кГц	30–45	30–45
Интервал рабочих давлений, МПа	$7 \times 10^{-5} \dots 100$	0,1...25
Чувствительность, Гц/МПа	20000–42	5500–58
Гистерезис БЧХ, %	$< \pm 0,02$	–
Рабочая температура, °С	-55–80	-55–80
Функциональная температурная погрешность в диапазоне рабочих температур, %	$< \pm 1$	–
Изменение частоты в год (уход нуля), %	$< \pm 0,02$	–
Динамическое сопротивление, кОм	$< 200$	–

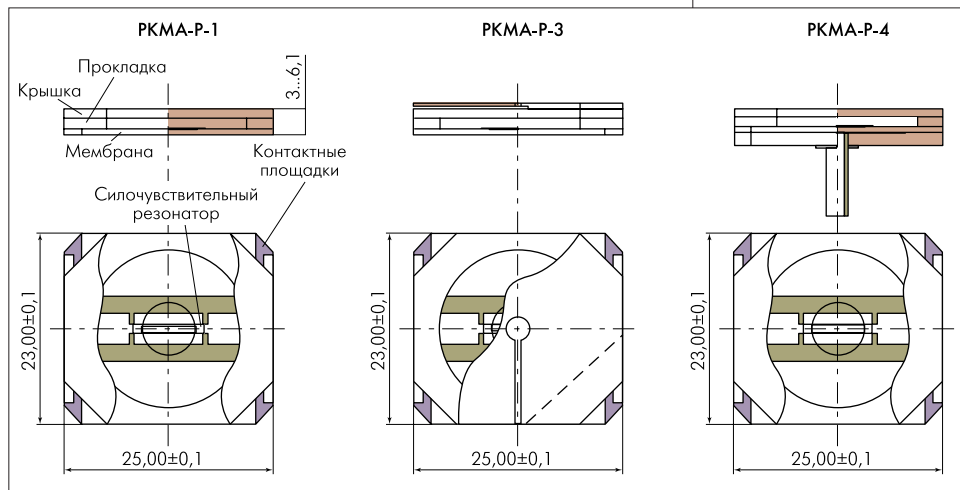
Особенность конструкции высокотемпературных кварцевых резонаторов типа РКТВ – применение в заделке высокотемпературного припоя или легкоплавкого стекла, что обеспечивает их высокую рабочую температуру и стабильность. Сейчас разрабатываются высокотемпературные термочувствительные резонаторы на основе галлосиликата лантана с верхним пределом измерения температуры более 500°С.

В продукцию ООО "СКТБ ЭлПА" входят прецизионные манометрические кварцевые резонаторы абсолютного и избыточного давления РКМА-Р и БРКМ-Р (рис.2, табл.2). Они предназначены для цифровых приборов, измеряющих давление, скорость, расход жидкости (бензина, горячей и холодной воды), массу, уровень (воды в скважинах, море; нефтепродуктов в скважинах, хранилищах) и др. Кварцевые силочувствительные пьезоэлементы, применяемые в этих приборах, представляют собой двоянный камертон ПС 27–40, созданный методом фотолитографии. Особенность его конструкции – крепление силочувствительного пьезоэлемента легкоплавким стеклом на кварцевую мембрану того же среза. Это обеспечивает высокие разрешающую способность и прочность в широком диапазоне измеряемых давлений, малые значения гистерезиса барочастотной характеристики (БЧХ), воспроизводимого, в отличие от большинства датчиков и преобразователей, построенных на других физических принципах, ухода частоты в рабочем температурном диапазоне и ухода нуля.

Градуировочная характеристика резонаторов описывается полиномом второй или третьей степени (погрешность аппроксимации не более 0,05% и 0,02%, соответственно):

$$P = P_0 + A_1(f_p - f_0) + A_2(f_p - f_0)^2, \quad (2)$$

где  $P_0$  – давление, соответствующее опорной частоте,  $A_1$  и  $A_2$  – коэффициенты полинома,  $f_p$  – частота манометрического кварцевого резонатора,  $f_0$  – опорная частота.



**Рис.2. Кварцевые манометрические резонаторы абсолютного давления**

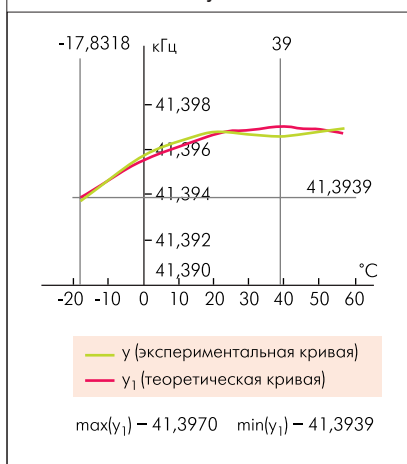
Температурно-частотная характеристика резонатора также описывается полиномом второй или третьей степени (рис.3), что облегчает компенсацию температурной погрешности:

$$f_{p(t)} = f_0 + A_1(T - T_0) + A_2(T - T_0)^2, \quad (3)$$

где  $f_{p(t)}$  – зависящая от температуры частота манометрического кварцевого резонатора;  $f_0$  – частота при опорной температуре  $T_0$ ;  $T$  – температура.

Верхний предел абсолютного давления, измеряемого выпускаемыми манометрическими резонаторами составляет 0,1; 0,2; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 100,0 МПа в соответствии с ГОСТ 22520. Допускается кратковременная перегрузка при значениях давления до 130% от верхнего предела измерения, ведутся испытания новых конструкций РКМА, способных выдержать кратковременную перегрузку в несколько сотен процентов от этого значения.

Размеры стандартного РКМА – 25x23x(3–8) мм, малогабаритных РКМА с меньшей чувствительностью и несколько большим динамическим сопротивлением – 12x11x1 мм. Манометрические кварцевые резонаторы могут поставляться с дополнительной крышкой для температурной развязки или с дополнительной крышкой со штуцером, позволяющим подавать измеряемое (до 0,2 МПа) или атмосферное давление (для измерения избыточного давления). Благодаря более высокому, чем у датчиков давления на полупроводниковых чувствительных элементах, метрологическим характеристикам и относительно низкой цене манометрические кварцевые резонаторы находят применение в высокоточных приборах. На основе кварцевых манометрических резонаторов РКМА-Р и температурных резонаторов РКТВ206 и РКТВ206 партнерами СКТБ ЭлПА выпускаются преобразователи давления с компенсированной температурной погрешностью класса точности 0,1%; 0,06% и 0,03%. На предприятии также разрабатывается и выпускается ряд преобразователей температуры, температуры и давления, планируется выпуск преобразователя влажности и температуры. Особое внимание привлекает высокочастотный кварцевый силочувствительный элемент ЭПКВ-10М, широко используемый в силочувствительных балках весов. Его достоинства – высокие стабильность и чувствительность (3,5 Гц/г), низкое сопротивление (менее 30 Ом на воздухе), низкая цена. Применяется в электронных весах с чувствительностью от 0,05 до 100 г, что позволяет взвешивать как изделия и продукты массой до 3 кг, так и любые крупные объекты массой до 600 кг.



**Рис.3. Температурно-частотная зависимость. Изменение частоты составляет 0,16% частотной зависимости РКМА от девиации**

к характеристикам и относительно низкой цене манометрические кварцевые резонаторы находят применение в высокоточных приборах. На основе кварцевых манометрических резонаторов РКМА-Р и температурных резонаторов РКТВ206 и РКТВ206 партнерами СКТБ ЭлПА выпускаются преобразователи давления с компенсированной температурной погрешностью класса точности 0,1%; 0,06% и 0,03%. На предприятии также разрабатывается и выпускается ряд преобразователей температуры, температуры и давления, планируется выпуск преобразователя влажности и температуры. Особое внимание привлекает высокочастотный кварцевый силочувствительный элемент ЭПКВ-10М, широко используемый в силочувствительных балках весов. Его достоинства – высокие стабильность и чувствительность (3,5 Гц/г), низкое сопротивление (менее 30 Ом на воздухе), низкая цена. Применяется в электронных весах с чувствительностью от 0,05 до 100 г, что позволяет взвешивать как изделия и продукты массой до 3 кг, так и любые крупные объекты массой до 600 кг.