

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

канд. техн. наук, проф. В.П. Мельников¹,
студент гр.113323 Е.В. Смулько²

¹ Институт электроники НАН Беларуси

² Белорусский национальный технический университет

Научно-технический прогресс в промышленности, сельском хозяйстве, научных исследованиях, в сфере быта и обслуживания немыслим без широкой автоматизации, внедрения автоматических систем управления. Сейчас, при стремительном развитии электроники и вычислительной техники, особенно остро стоит проблема разработки и применения совершенных систем управления и измерительно-информационных систем. Однако реализация предпосылок для широкой автоматизации разнообразных процессов определяется возможностями устройств получения информации о регулируемом параметре или процессе. Первичную информацию чаще всего можно получить путем оснащения исследуемых или контролируемых объектов датчиками различных физических величин.

Примером таких датчиков являются пьезоэлектрические датчики. В данных преобразователях используется пьезоэлектрический эффект – возникновение в некоторых веществах электрической поляризации при воздействии на них внешних сил. Объясняется это явление нарушением симметрии элементарной ячейки структуры вещества при её деформации (рис.1). Если в недеформированной ячейке присутствующие в ней заряды расположены так, что их поля уравновешивают друг друга, то в де-

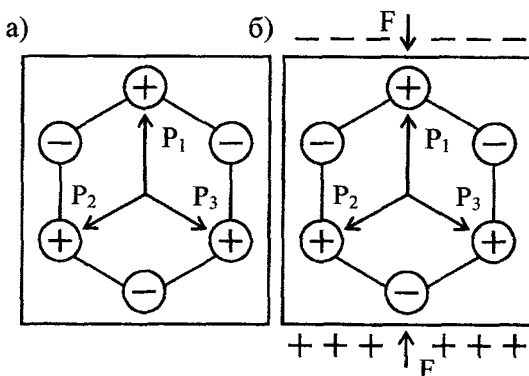


Рис.1. Нарушение взаимокompенсации электрических моментов при деформации ячейки кристалла:

а) $-P_1 + P_2 + P_3 = 0$; б) $-P_1 + P_2 + P_3 < 0$

формированной ячейке равновесие нарушено, и она приобретает электрический момент.

Ясно, что это может происходить лишь в диэлектрическом веществе, которое называют пьезоэлектриком. Более точно описываемое явление именуют прямым пьезоэффектом, так как существует и обратный пьезоэффект – возникновение деформации пьезоэлектрика в приложенном к нему электрическом поле. Он используется в измерительной технике значительно реже, чем прямой пьезоэффект, поэтому основное внимание будет уделено именно последнему.

Датчик на тонких пленках

Конструкция пьезоэлектрического датчика простая, показана на рис.2. Основной и боковые экраны 3, 7, 8 защищают от внешних электромагнитных помех чувствительные элементы 1, 6, 9 датчика и обкладки датчика 4. Чувствительные элементы на поверхности пьезопленки, металлизированной Al или Ni, формируют путем электрической гравировки.

Датчик на поверхности исследуемого объекта закрепляют тонким слоем клея. По принципу работы пьезоэлектрические датчики относятся к датчикам генераторного типа. Датчики пульсаций давления настроены на прямой пьезоэффект, который состоит в появлении электрических зарядов на поверхности диэлектрика и электрической поляризации внутри него под влиянием механических напряжений (сила F).

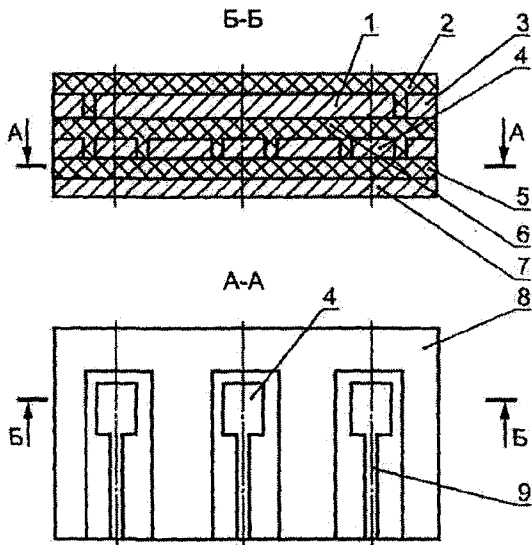


Рис.2. Конструкция датчика:
1 – общая обкладка; 2, 5 – диэлектрические пленки; 3, 8 – боковые экраны; 4 – обкладки датчика; 6 – пьезоэлемент; 7 – основной экран; 9 – выводы

Макетные образцы датчиков из поляризованной пленки ПВДФ толщиной около 30 мкм испытывали на резонансном пульсаторе (труба Оберста) в диапазоне частот 35 – 5000 Гц с амплитудой пульсаций давления синусоидального характера 10 – 700 Па (114 – 500 дБ). Датчики состояли из двух слоев металлизированной алюминием пленки с воспринимающей поверхностью 10×10 мм и были наклеены на заглушку резонатора. Сигнал получали с внутренних электродов, внешние – заземлили. Собственная емкость датчиков – 500 пкФ. Чувствительность датчиков по напряжению составила – 25 мкВ/Па.

Амплитудные характеристики в пределах погрешности измерений (3 – 5 %) являются линейными. Разброс выходного напряжения между пятью датчиками 5 – 10 %. Амплитудные характеристики датчика на основе ПВХ показаны на рис.3.

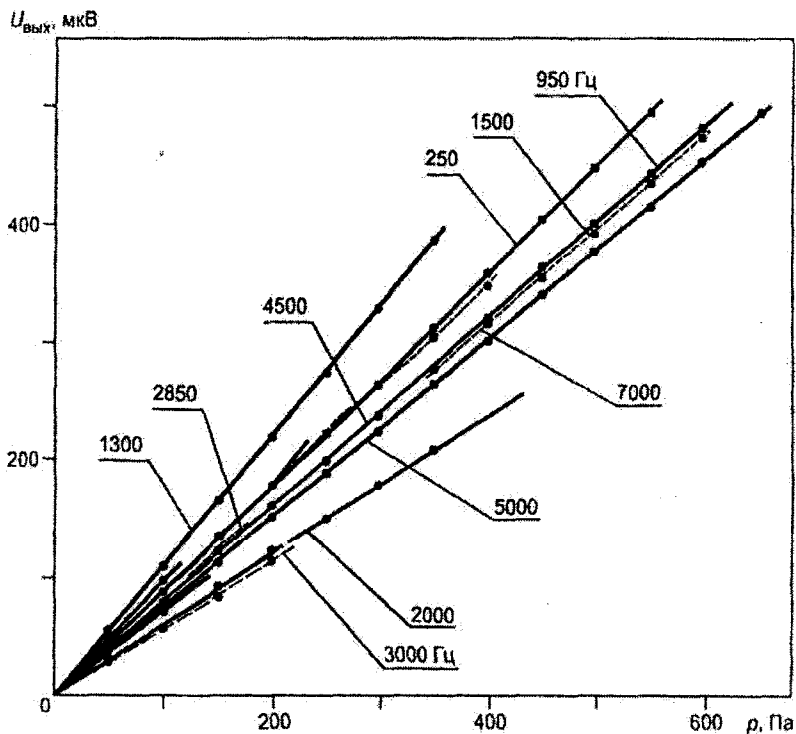


Рис.3. Амплитудные характеристики пьезоэлектрического датчика пульсаций давления

Контрольный датчик, в качестве которого использовали полупроводниковый датчик ПД-2, разработанный в ЦАГИ, устанавливали в торцевой шайбе малой резонансной камеры трубы Оберста заподлицо с плоскостью шайбы. Исследуемые преобразователи наклеивались рядом с контрольным датчиком на поверхности шайбы. Выходной сигнал контрольного датчика, усиленный аппаратурой 4АНЧ-22, измеряли вольтметром типа ШЗ01-1 (чувствительность датчика типа ПД-2 равна 3 мкВ/Па, коэффициент усиления – 666,7).

Сигнал, снимаемый с исследуемого датчика после предварительного (коэффициент усиления усилителя заряда 20) и последующего усиления (коэффициент усиления усилителя напряжения 50, 100, 250), фиксировали вольтметром ШЗ01-1. Расстояние между исследуемыми датчиками и предварительным усилителем не превышало 0,5 м. Форму сигналов контролировали осциллографом С1-18. Питание динамика громкоговорителя – через согласующий усилитель напряжения трубы Оберста от генератора синусоидального напряжения типа Г6-26. В области низких частот (до 250 Гц) амплитудно-частотная характеристика датчиков равномерна, а при более высоких частотах имеет спадающий характер с неравномерностью 5 – 6 дБ.

При проведении аэродинамических испытаний датчик, наклеенный на поверхность модели, подвергается многофакторному воздействию. Степень воздействия того или иного влияющего фактора на работоспособность и метрологические характеристики датчика будет зависеть от конкретных условий эксперимента. Тем не менее следует учитывать, что основным влияющим фактором будет температурное воздействие. Вибрационная чувствительность, очевидно, должна быть невысокой, поскольку масса чувствительного элемента датчика невелика. В рассматриваемом случае температурное воздействие проявляется многосложно – как параметрическое (через изменение параметров датчика, определяющих связь измеряемого давления с электрическим выходным сигналом) и как генераторное, непосредственно вызывающее появление электрического сигнала. Генераторное воздействие может быть обусловлено пьезоэффектом в результате термоупругих напряжений, а также (поскольку ПВДФ, как и другие пьезоэлектрики, обладает пьезоэлектрическими свойствами [1]) пьезоэффектом – эффектом электризации полярных диэлектриков вследствие изменения их спонтанной поляризации при изменении температуры. Воздействие

температуры через пьезоэффект на уровне пирозффекта сравнительно слабое.

При анализе влияния температуры целесообразно разделять низкочастотное воздействие, обусловленное, например, теплообменом газа с обтекаемым телом, на которое наклеен датчик, и высокочастотное, обусловленное пульсациями температуры газа, контактирующего с датчиком, природа (источник) которых та же, что и у измеряемых пульсаций давления. В первом случае изменение температуры датчика может быть довольно большим и наиболее простым и эффективным способом компенсации такого воздействия будет схемное ограничение частотного диапазона измерительного канала снизу. Компенсация пульсационного температурного воздействия достигается применением теплозащитных покрытий.

Виброчувствительность пяти датчиков проверяли на однокомпонентном вибростенде. При проверке плоскость датчиков была перпендикулярна к направлению перемещения стола вибростенда. Испытания проводили в диапазоне частот 100 – 2000 Гц при ускорении 10 м/с^2 и продолжительности испытания 1 мин. Виброиспытания не привели к механическим повреждениям датчиков, однако повлекли за собой изменение чувствительности на 10 – 12 %.

Экспериментальная апробация пяти датчиков осуществлена в малой акустической камере (МАК) при измерении звуковых давлений. Датчики были расположены в камере МАК на 1 м^2 симметрично: один датчик в середине и четыре по вершинам четырехугольника. Контрольный датчик (тип 4136) фирмы «Брюль и Кьер» с предварительным усилителем находился в рабочей зоне МАК. Выходные сигналы с контрольного датчика и пьезоэлектрического датчика через согласующие и нормирующие усилители поступали на вольтметр, осциллограф и анализатор.

Неравномерность распределения звукового давления в МАК площадью 1 м^2 не превышала 1,5 – 2 дБ. Уровень звукового давления в МАК измеряли в диапазоне 140 – 160 дБ (200 – 2000 Па) с шагом 5 дБ (108 Па). Среднее значение звукового давления определяли при доверительной вероятности 0,95. Среднее квадратическое отклонение в диапазоне давлений 140 – 160 дБ не превышало 0,5 – 1,9 дБ. Расхождение показаний тонкопленочных пьезоэлектрических датчиков и контрольного датчика типа 4136 не превышало 1 – 2 дБ, что обусловлено неравномерностью распределения звукового давления в МАК. Расхождение показаний контрольного датчика и

расположенных поблизости испытываемых датчиков не превышало 2 дБ.

Давление в МАК имеет узкополосный частотный спектр. На рис.3 приведены спектры шума с общим уровнем звукового давления 150 дБ (700 Па) в 3,16 Гц полосах в диапазоне частот 50 – 1000 Гц. Анализ показаний контрольного и испытываемых датчиков свидетельствует о хорошей повторяемости по частотному диапазону. Температура в рабочей части МАК не превышала +25 °С. Основные характеристики датчика приведены в таблице.

Основные характеристики датчика

Тип датчика.....	пьезоэлектрический
Размеры чувствительного элемента, мм.....	10×10×0,03
Верхний предел измерений пульсаций давления, Па (дБ).....	80000 (184)
Нижний порог чувствительности, Па (дБ).....	1,0 (94)
Диапазон рабочих частот (с неравномерностью амплитудно-частотной характеристики 3 дБ), Гц.....	20 – 7000
Ожидаемый рабочий диапазон рабочих частот, не менее, Гц.....	2 – 2·10 ⁴
<i>Погрешность результатов измерения</i>	
выходного сигнала синусоидальной формы (в лабораторных условиях), %.....	2 – 3
Нелинейность градуировочной характеристики, %...	0,3 – 0,5
Рабочий диапазон температуры, °С.....	+60
Общая толщина датчика, мкм.....	50 – 60

Полученные результаты доказывают возможность разработки и использования тонкопленочных пьезоэлектрических датчиков пульсаций давления для применения в промышленности и авиационной технике.

Приведенные исследования подтвердили принципиальную возможность создания пленочных датчиков пульсаций давления на основе полимерных материалов. Датчик, разработанный на базе ПВХ и ПВДФ, после хранения в обычных условиях в течение 15 лет практически пригоден к эксплуатации.

Использованные источники

1. Баранчиков М.Л. Микромагнитоэлектроника // Серия Учебник. Т.1. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.