

В работах [6, 7] приведены условные и безусловные вероятностные характеристики случайного процесса вплоть до n -мерных. Это позволяет использовать данную модель процесса не только для решения практических задач, но и при проведении теоретических исследований.

Таким образом, разработанный случайный процесс требует минимума априорной информации (X_n , X_b и ρ_{ij}), и адекватен большому количеству реальных сигналов. Он удобен и нашел применение для описания дискретной обработки сигналов и в цифровой технике.

Список литературы

1. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1989.
2. Губарев, В. В. Вероятностные модели : справ. : в 2 ч. Ч. 2 / В. В. Губарев. – Новосибирск : Новосибир. электротехн. ин-т, 1992.
3. Свид. 72200700005. Случайный процесс Заико А. И. с равномерным законом распределения. Математическая модель / А. И. Заико. – Заяв. ФГУП «ВНТИЦ» 28.02.07.
4. Zaiko, A. I. Random signal with uniform distribution / A. I. Zaiko // Measurement Techniques. – 1999. – Vol. 42. – June. – P. 11.
5. Заико, А. И. Случайные процессы. Модели и измерения : учеб. пособие / А. И. Заико. – М. : Изд-во МАИ, 2006.
6. Заико, А. И. Многомерные характеристики случайного процесса Заико с равномерным законом распределения / А. И. Заико // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2010. – Т. 14, № 1 (36). – С. 117.
7. Заико, А. И. Безусловные n -мерные вероятностные характеристики случайного процесса / А. И. Заико // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16. – № 3 (48). – С. 134.

КОРРЕКЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

В. В. Кикот, В. П. Маланин, Д. И. Нефедьев

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Воздействия температуры рабочей среды на пьезоэлектрический датчик акустического давления (пьезодатчик) сводятся к изменению геометрических параметров корпуса, мембраны, пьезоэлементов, креплений пьезоэлементов в пьезодатчике, а также к изменению электрофизических параметров пьезоэлементов: остаточной поляризации, диэлектрической проницаемости, объемной плотности, модуля упругости из-за пирозэффекта, повторного пьезоэффекта и и др. [1]. При эксплуатации пьезодатчика это приводит к снижению точности измерений акустического давления. Для пьезодатчиков дополнительная температурная погрешность выражается через диапазон значений коэффициента влияния повышенной (пониженной) температуры рабочей среды на коэффициент преобразования измеряемого акустического давления в выходной сигнала (КТ). Согласно требованиям [2] КТ должен быть от 0,6 до 1,2. При термоударном воздействии рабочей среды с температурой минус 196 °С скачок выходного сигнала из-за изменения КТ пьезодатчика достигает 60 % и более, время установления выходного сигнала пьезодатчика может достигать при этом до 300 с. Коррекция дополнительной температурной погрешности датчиков является актуальной задачей [3, 4].

Целью исследования разработка структурной схемы вторичного преобразователя для пьезодатчика с коррекцией дополнительной температурной погрешности измерения акустического давления.

Термокомпенсация является общепризнанным схемно-техническим способом коррекции температурной погрешности измерения. При термокомпенсации, в отличие от термостатирования, используется сформированное компенсирующее воздействие на выходной сигнал датчика при воздействии дестабилизирующего фактора – температуры, которое воздействует так, что изменения выходного сигнала от изменений температуры стремятся к нулю. Типичные структуры термокомпенсированного пьезодатчика представлены на рис. 1.

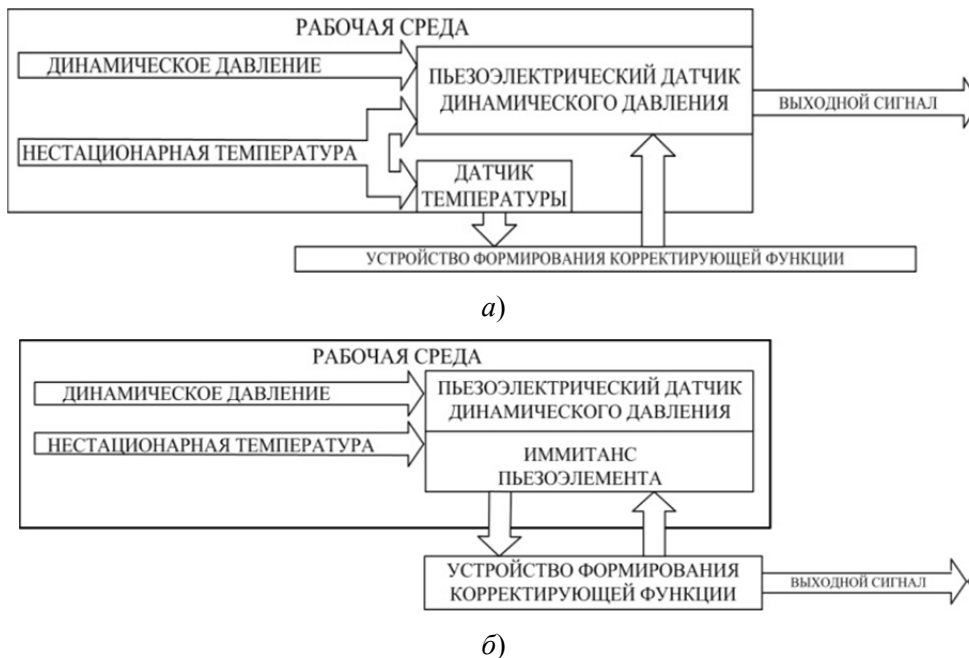


Рис. 1. Термокомпенсация:

а – с датчиком температуры; б – без датчика температуры, с использованием для измерения температуры иммитанса пьезоэлемента

При измерениях акустического давления с использованием канала измерения температуры рабочей среды датчик температуры может устанавливаться отдельно от пьезодатчика. При использовании такого расположения датчика температуры на точности измерений акустического давления сказываются отличия температур в точке измерения давлений и в точке измерения температуры, а также различные при термоударе скорости изменений температуры чувствительного элемента датчика температуры и чувствительного элемента датчика динамических давлений. По этим причинам уменьшается точность измерения динамического давления, усложняются определение и реализация корректирующей функции. Этих недостатков лишена методика коррекции температурной погрешности с использованием электрофизических параметров пьезоэлементов пьезодатчика для измерения температуры.

Были исследованы температурные зависимости электрической емкости C_0 пьезоэлементов, которые были изготовлены из керамических сегнетоэлектриков на основе цирконатов-титанатов свинца марок ЦТС-83Г, ЦТСБ и др. На рис. 2 приведены экспериментально полученные графики зависимостей отношения электрической емкости C_t пьезоэлементов из сегнетомягких материалов APC-850, ЦТС-83Г и сегнетожестких материалов APC-840, ЦТСБ при температурах рабочей среды в диапазоне от 25 до 200 °С к электрической емкости C_0 при температуре 25 °С.

Результаты исследования показали, что изменение значений электрических сопротивлений пьезоэлементов составило менее 1 %, температурные зависимости электрических емкостей пьезоэлементов однозначны во всем температурном диапазоне. Отклонение значений электрических емкостей достигает ± 40 % и может использоваться для фор-

мирования сигнала коррекции температурной погрешности. В частности, для измерения температуры может быть использована зависимость падения амплитудного значения напряжения высокочастотного токового сигнала на комплексном сопротивлении пьезоэлемента пьезодатчика, однозначно зависящем от температуры. При эксплуатации пьезодатчика измеряемые текущие значения электрической емкости пьезоэлемента указывают на его температуру. С использованием измеренного значения температуры можно рассчитать величину поправки на изменение чувствительности пьезодатчика от температуры. Практической реализацией работ в этом направлении стало разработанное авторами устройство коррекции температурной погрешности пьезоэлемента, структурная схема которого приведена на рис. 3.

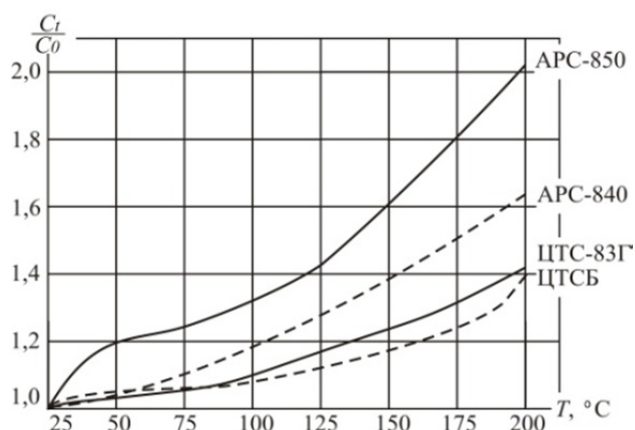


Рис. 2. Зависимость электрических емкостей пьезоэлементов из различных пьезокерамических материалов от температуры рабочей среды

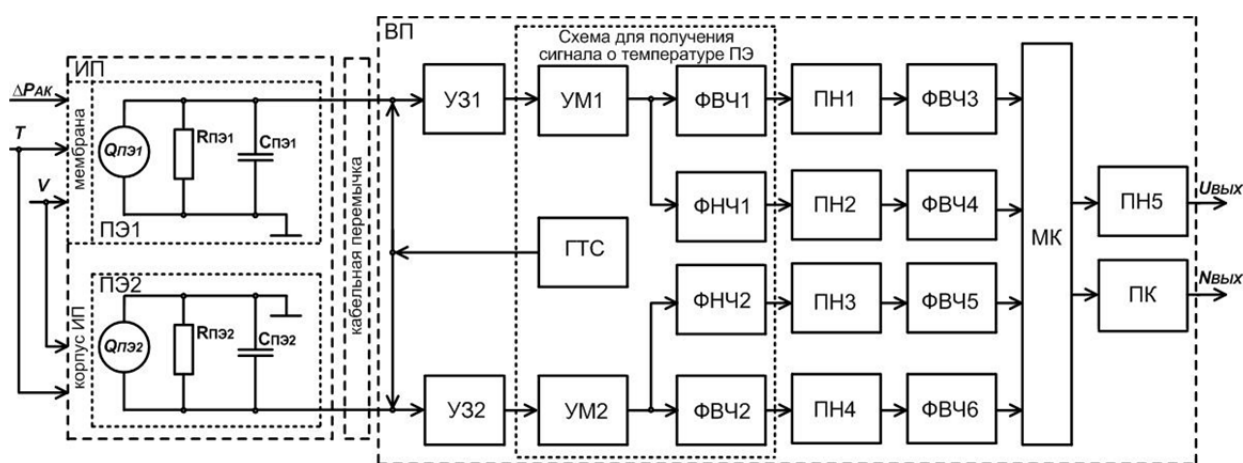


Рис. 3. Структурная схема вторичного преобразователя для пьезодатчика для измерения давления с коррекцией температурной погрешности измерения акустического давления

Пьезодатчик включает в себя корпус с размещенными в нем рабочим ПЭ1 и виброкомпенсирующим ПЭ2 пьезоэлементами. Кабельная перемычка, в которой для передачи сигнала с пьезодатчика используется антивибрационный кабель АВКТ-6, оканчивается корпусом вторичного преобразователя, в котором размещена измерительная цепь. Работа пьезодатчика основана на принципе возникновения знакопеременных зарядов на электродах ПЭ1 под действием акустического давления ΔP_{AK} . На ПЭ1 через мембрану воздействует измеряемое акустическое давление ΔP_{AK} , температура рабочей среды T и вибрация V , на ПЭ2 – температура рабочей среды T и вибрация V . Пьезоэлементы ПЭ1 и ПЭ2 на рис. 1 показаны в виде эквивалентных схем замещения [5], состоящих из источников зарядов $Q_{ПЭ1}$ и $Q_{ПЭ2}$, электрических сопротивлений $R_{ПЭ1}$ и $R_{ПЭ2}$ и электрических емкостей

$C_{ПЭ1}$ и $C_{ПЭ2}$. В качестве информативного по температуре T параметра эквивалентной схемы замещения пьезоэлементов выбрано температурное изменение электрических емкостей $C_{ПЭ1}$ и $C_{ПЭ2}$. Для частотного разделения сигналов, снимаемых с выводов каждого пьезоэлемента, по давлению, вибрации и температурах пьезоэлементов, значение частоты генератора ГТС (1 МГц) больше, чем верхняя граница частотного диапазона измерения акустического давления (20 кГц).

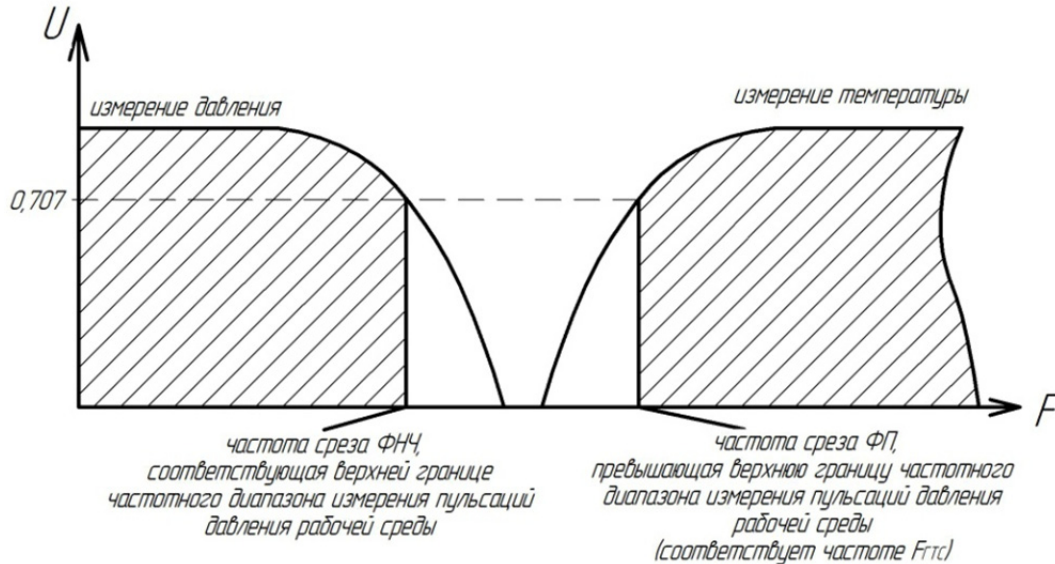


Рис. 4. Частотное разделение сигналов

Электрические сигналы пропорциональные измеряемому акустическому давлению, вибрации и температурам пьезоэлементов снимаются с выводов пьезоэлементов ПЭ1 и ПЭ2, усиливаются усилителями зарядов УЗ1 и УЗ2, затем масштабирующими усилителями УМ1 и УМ2. Фильтрами низких частот ФНЧ1 и ФНЧ2 из общего сигнала выделяется сигнал об измеряемом акустическом давлении и вибрации в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц, фильтрами высоких частот ФВЧ1 и ФВЧ2 выделяется сигналы о температурах пьезоэлементов (1 МГц). Далее через нормирующие преобразователи ПН1–ПН5 и фильтры низких частот ФНЧ3–ФНЧ6 сигналы подаются на аналоговые выходы микроконтроллера МК. С использованием фильтров ФНЧ3–ФНЧ6 из сигналов удаляются высокочастотные составляющие, так как микроконтроллер может обрабатывать сигнал только в ограниченном частотном диапазоне.

В части уменьшения дополнительной температурной погрешности пьезодатчика микроконтроллер реализует следующие задачи: аналого-цифровое преобразование выходных сигналов с пьезоэлементов об измеряемом акустическом давлении и температуре, вычисление значения измеряемого акустического давления с дополнительной коррекцией температурной погрешности, формирование с использованием нормирующего преобразователя ПН5 аналогового сигнала об измеренном акустическом давлении в выходной нормированный аналоговый сигнал ВП $U_{ВЫХ}$, формирование с использованием преобразователя кода цифрового выходного кода об измеренном акустическом давлении по протоколу RS-232 $N_{ВЫХ}$.

На примененные при разработке структурной схемы научно-технические решения получены патенты на изобретения RU 2 568 948 C1, RU 2584380 C1.

Список литературы

1. Богуш, М. В. Пьезоэлектрическое приборостроение : в 3 т. Т. 3. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации / М. В. Богуш. – Ростов н/Д : Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. – 346 с.