

УДК 681.2.08

ДАТЧИК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ PSoC ТЕХНОЛОГИИ
НАДЕЖДИН И.С., ГОРЮНОВ А.Г.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Инженерная школа ядерных технологий
(Томск, Российская Федерация)*

Аннотация. Целью данной работы является разработка интеллектуального датчика дифференциального давления с улучшенными эксплуатационными и метрологическими характеристиками. Измерительный блок разработанного датчика основан на дифференциальном емкостном чувствительном элементе. При разработке электронного блока была использована технология программируемой системы на кристалле (PSoC). Благодаря использованию PSoC-технологии удалось повысить помехозащищенность разработанного датчика дифференциального давления, а также обеспечить беспрецедентное сочетание гибкости, интеграции, аналоговой и цифровой функциональности.

Ключевые слова: дифференциальное давление, емкостной сенсор, математическая модель, программируемая система на кристалле, PSoC.

DIFFERENTIAL PRESSURE SENSOR BASED ON PSoC TECHNOLOGY

IGOR S. NADEZH DIN, ALEKSEY G. GORYUNOV

*National Research Tomsk Polytechnic University,
School of Nuclear Science & Engineering
(Tomsk, Russian Federation)*

Abstract. The purpose of this work is to develop a smart differential pressure sensor with improved operational and metrological characteristics. The measuring unit of the developed pressure sensor is based on a differential capacitive sensitive element. Programmable system-on-chip (PSoC) technology has been used to develop the electronics unit. Due to the use of PSoC technology, it was possible to increase the noise immunity of the developed differential pressure sensor, as well as provide an unparalleled combination of flexibility, integration analog and digital functionality.

Keywords: differential pressure, capacitive sensor, mathematical model, programmable system-on-chip, PSoC.

Введение

Контроль и измерение параметров любого технологического процесса является важной задачей. Одним из важных технологических параметров, нуждающимся в постоянном контроле является давление. В связи с этим, публикуются работы целью которых является обзор и классификация существующих датчиков давления [1, 2].

На сегодняшний день развитие промышленности и сооружение сложных физико-химических производств требует совершенствования измерительных устройств и накладывает повышенные требования при их разработке. Это обуславливается тем, что измерительным устройствам приходится работать в крайне тяжёлых промышленных и природно-климатических условиях [3].

Несмотря на большое количество исследований посвященных разработке и совершенствованию датчиков давления существуют не решенные задачи (проблемы). Остаются актуальными такие задачи, как уменьшение температурной погрешности измерений, уменьшение габаритов, повышение чувствительности, уменьшение энергопотребления, повышение помехоустойчивости и т.д. [4, 5].

В последнее время при разработке электронных блоков измерительных преобразователей используют однокристалльные решения. Это позволяет решить некоторые проблемы из тех, что были перечислены выше. На сегодняшний день набирает популярность применение технологии программируемой системы на кристалле (PSoC-технология) для реализации различных электронных модулей, в том числе в измерительных устройствах [6].

Целью этой работы является разработка датчика дифференциального давления на базе PSoC технологии для обеспечения улучшенных метрологических и эксплуатационных характеристик.

Описание разработанного датчика дифференциального давления

Принцип действия, разработанного датчика дифференциального давления основан на использовании зависимости между измеряемым давлением и упругой деформацией чувствительного элемента первичного преобразователя. Функционально датчик состоит из двух частей: измерительного блока и блока электроники. В данной работе роль первичного преобразователя выполняет дифференциальный емкостной сенсор. В этом случае выходной величиной измерительного блока является резонансная частота. Структурная схема разработанного датчика дифференциального давления показана на рис. 1.

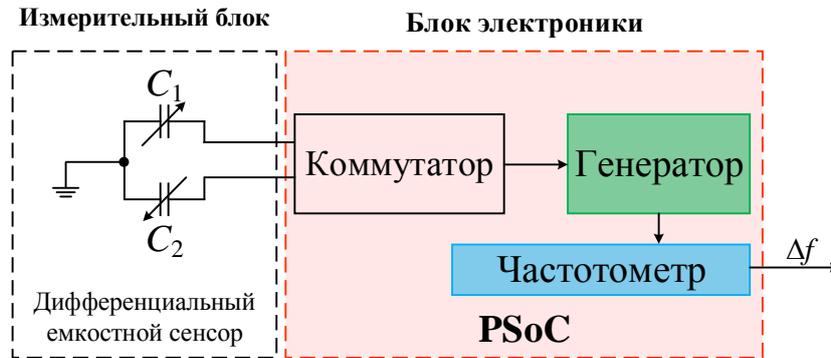


Рис. 1. Структурная схема разработанного датчика дифференциального давления

Для определения дифференциального давления в зависимости от изменения резонансной частоты емкостного сенсора необходима его математическая модель. На основании проведенных экспериментальных исследований была выбрана модель емкостного сенсора в виде полинома третьей степени:

$$\Delta P = Kt \cdot K \cdot (c_{43} \cdot \Delta f^3 + c_{42} \cdot \Delta f^2 + c_{41} \cdot \Delta f + c_{40} + adit) + dP_0, \quad (1)$$

где Kt – коэффициент для компенсации мультипликативной составляющей температурной погрешности; K – коэффициент перевода шкалы измерения; $adit$ – коэффициент для компенсации аддитивной составляющей температурной погрешности; dP_0 – корректировка баланса нуля; Δf – разность частот контуров; c_i – переводные коэффициенты (частота–давление).

Разработанный датчик дифференциального давления (рис. 1) имеет унифицированный блок электроники. Этот блок электроники базируется на программируемом модуле PSoC-5LP (Programmable System-on-Chip). На базе модуля PSoC-5LP были реализованы генератор и частотомер. В ходе работы было разработано, реализовано и исследовано две схемы генератора. Первая схема генератора базировалась на двух источниках тока, а вторая схема – на прецизионном операционном усилителе. В ходе проведенных исследований для дальнейшей работы была выбрана схема генератора на базе прецизионного операционного усилителя, так как эта схема обладает большей чувствительностью и хорошей температурной стабильностью.

Применение PSoC технологии дает возможность не использовать дискретные и аналоговые элементы в разработанном блоке электроники. Все необходимые электронные компоненты были реализованы программно на базе одного программируемого модуля PSoC-5LP. Это позволило значительно уменьшить размеры блока электроники и повысить помехоустойчивость разработанного датчика дифференциального давления. Использование PSoC технологии позволяет создать унифицированный блок электроники, пригодный для работы с любым первичным преобразователем (емкостной сенсор, тензорезистивный сенсор и т.д.). Для этого не нужно изменять аппаратную часть блока электроники, а достаточно лишь изменить программное обеспечение модуля PSoC-5LP.

Результаты и их обсуждение

В ходе работы был изготовлен экспериментальный образец разработанного датчика дифференциального давления на базе емкостного сенсора с унифицированным блоком

электроники [7, 8]. На рис. 2 представлена диаграмма, показывающая метрологические характеристики разработанного датчика.

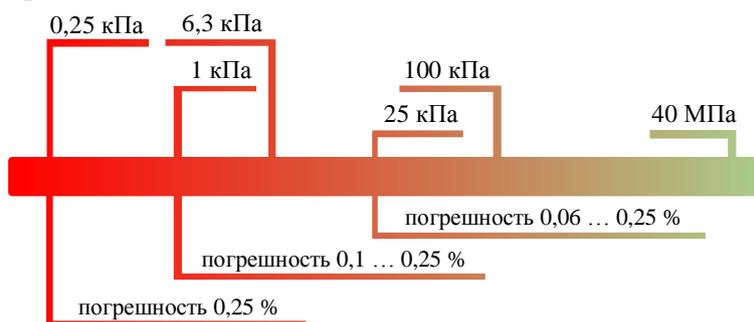


Рис. 2. Метрологические характеристики (погрешность измерений) разработанного датчика дифференциального давления

Как видно, разработанный датчик дифференциального давления способен работать в широком диапазоне давлений от 0,25 кПа до 40 МПа. При этом разработанный датчик обладает погрешностью не более 0,25 % для малых давлений до 100 кПа и не более 0,1 % для высоких давлений от 100 кПа.

Заключение

Результатом данного исследования является разработка датчика дифференциального давления на базе емкостного сенсора. Неоспоримым преимуществом разработанного датчика дифференциального давления является использование PSoC технологии, которая обеспечивает беспрецедентное сочетание гибкости, интеграции, аналоговых и цифровых функций. Применение PSoC технологии позволяет минимизировать схему, при этом схема будет иметь повышенную помехозащищенность. Также упрощается процедура отладки и изменения программного обеспечения блока электроники. Кроме того, возможно использование разработанного блока электроники совместно с другими сенсорами. Для этого достаточно всего лишь изменить программное обеспечение блока электроники. Все это делает разработку и производство рентабельными.

Проведенные экспериментальные исследования показали целесообразность использования схемы блока электроники с генератором на базе прецизионного операционного усилителя. Эта схема обладает большей чувствительностью и хорошей температурной стабильностью. Разработанный датчик дифференциального давления на базе дифференциального емкостного сенсора способен работать в широком диапазоне давлений от 0,25 кПа до 40 МПа. При этом разработанный датчик давления обладает погрешностью измерений не более 0,1 % для давлений от 100 кПа.

Список литературы

1. Tandeske D. Pressure Sensors: Selection and Application. *Sensor Review*. 2002;22(3):265-265.
2. Xu F., Li X., Shi Y., Li L., Wang W., He L., Liu R. Recent Developments for Flexible Pressure Sensors: A Review. *Micromachines*. 2018;9(11):580.
3. Venugopal A., Agrawal A., Prabhu S.V. Performance evaluation of piezoelectric and differential pressure sensor for vortex flowmeters. *Measurement*. 2014;50:10-18.
4. Liu Z., Pan Y., Wu P., Du L., Zhao Z., Fang Z. A novel capacitive pressure sensor based on non-coplanar comb electrodes. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2019;297:111525.
5. Zhu L., Xie B., Xing Y., Chen D., Wang J., Wang Y., Wei Q., Chen J. A Resonant Pressure Sensor Capable of Temperature Compensation with Least Squares Support Vector Machine. *Procedia Engineering*. 2016;168:1731-1734.
6. Tomanek D. What is PSoC. 2010 International Conference on Applied Electronics. 2010; 11580659.
7. Nadezhdin I.S., Goryunov A.G. Single-chip solution for electronics unit of a smart pressure sensor. *Sensor Review*. 2020;40(5):529-534.
8. Nadezhdin I.S., Goryunov A.G. Differential Pressure Transmitter With Unified Electronics Unit. *IEEE Sensors Journal*. 2020;20(18):10460-10468.