

ПРИЕМЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

А. А. Пучкова

Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)

В статье приводится анализ методов совершенствования эксплуатационных характеристик сенсоров. В начале приводится анализ рынка инфракрасных датчиков, на основании чего в качестве объекта исследования выбираются пиродиэлектрики. Далее статья содержит результаты проведенного патентного анализа в области пироэлектрических датчиков температуры и присутствия. На его основании выявляются основные приемы совершенствования пироэлектрических датчиков и наиболее перспективные пути дальнейшего улучшения эксплуатационных характеристик подобных сенсоров.

Ключевые слова: *информационно-измерительная система, эксплуатационная характеристика, пироэлектрик, патентный анализ, прием совершенствования.*

The article considers the ways of improvement of the sensors performance. At first, we analysed the market of infrared sensors. We chose pirodielektrics as the object of our study. Article contains the results of the patent analysis in the field of pyroelectric sensors for temperature and presence. On this basis we identified the main techniques for enhancing the pyroelectric sensor and the most promising ways to further improvement of the sensor performance.

Key words: *information-measuring system, the performance, pyroelectric, patent analysis, improving reception.*

Пироэлектрический эффект – появление электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (пироэлектриков) при их нагревании или охлаждении. Один конец пироэлектрика при нагревании заряжается положительно, а при охлаждении – отрицательно, другой – наоборот. Интенсивность электризации максимальна, если скорость изменения температуры выше скорости релаксации заряда. Появление зарядов на поверхности пироэлектрика связано с изменением существующей в нем поляризации при изменении температуры кристалла [1]. Сенсоры, основанные на пироэлектрическом эффекте, имеют на сегодняшний день широкую область применения. Часто они применяются в системах интеллектуальных зданий в целях обеспечения охранных функций и регулирования климатических условий. Пироэлектрический эффект лежит в основе физиче-

ского принципа действия таких датчиков интеллектуального здания, как датчики температуры, инфракрасные датчики движения, дыма и загазованности.

Анализ рынка пироэлектрических датчиков, проведенный компанией Yole Development в 2011 г., показал бурное развитие этой отрасли. В период до 2018 г. ожидается практически двукратное увеличение объемов продаж инфракрасных датчиков (рис. 1).

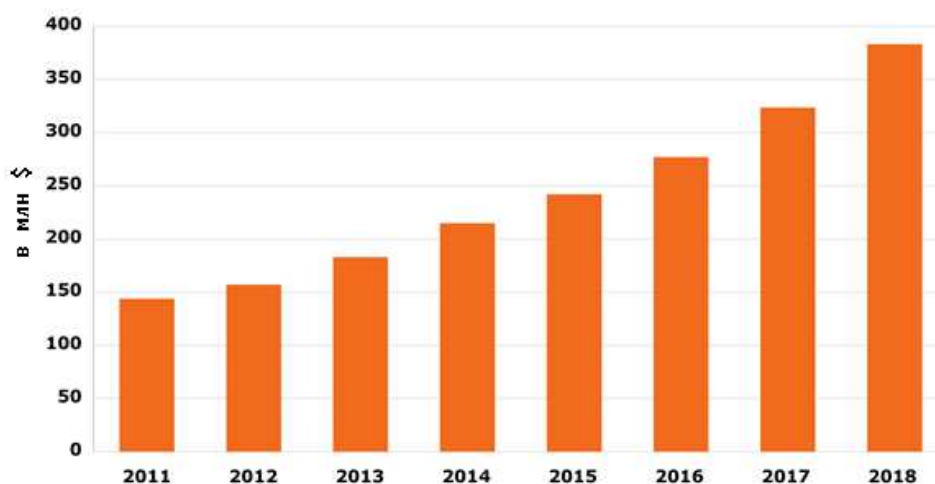


Рис. 1. Прогноз развития рынка инфракрасных датчиков

Согласно этому исследованию, одним из наиболее востребованных применений инфракрасных датчиков являются системы интеллектуального здания. В этих системах могут быть применены датчики нескольких типов (табл. 1). Согласно исследованию, высокий процент инфракрасных датчиков основан на пироэлектрическом эффекте.

Таблица 1

Параметры применяемых в интеллектуальных зданиях инфракрасных датчиков

Вид устройства	Определение	Цена	Разрешение (в пикселях)
Пироэлектрики	Применяются в датчиках температуры, движения	До \$1	От 1*1 до 2*2
Пиромассивы	Применяются в охранных системах	От \$10 до \$100	От 4*4 до 16*16
Массивы термпар	Применяются в промышленных системах	От \$1 до \$100	От 4*4 до 32*32
Микроболометры	Применяются в спектроскопии	Свыше \$1000	Свыше 80*80

Кроме того, анализ рынка показал, что одним из наиболее востребованных пироэлектрических датчиков, применяемых в системах интеллек-

туального здания, является датчик температуры, поэтому в ходе дальнейших исследований мы будем рассматривать только эту сферу применения пиродиэлектриков.

В результате проведенного патентного исследования ведущих стран (Россия, США, Великобритания, Япония, Франция, Германия, Китай) за период 1980–2013 гг. было отобрано более 100 изобретений, относящихся к усовершенствованиям конструкции датчика температуры или непосредственно пиродиэлектрика (рис. 2).

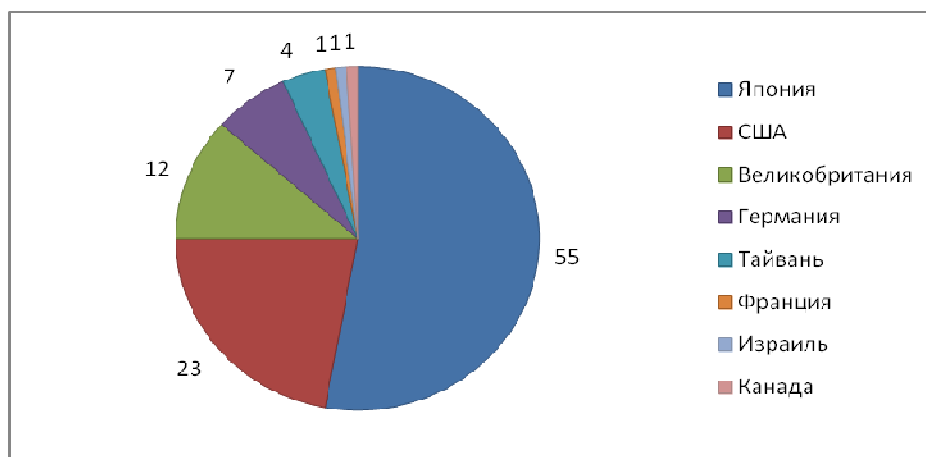


Рис. 2. Статистика использования пироэлектрического эффекта в датчиках температуры

Хронологический патентный анализ показал, что рынок пироэлектрических датчиков температуры достаточно развит; значительное количество изобретений, запатентованных после 2010 г., свидетельствует об актуальности дальнейшего развития данного направления научно-технической мысли. На рис. 3 представлен график числа отобранных патентов, зарегистрированных после 2008 года.

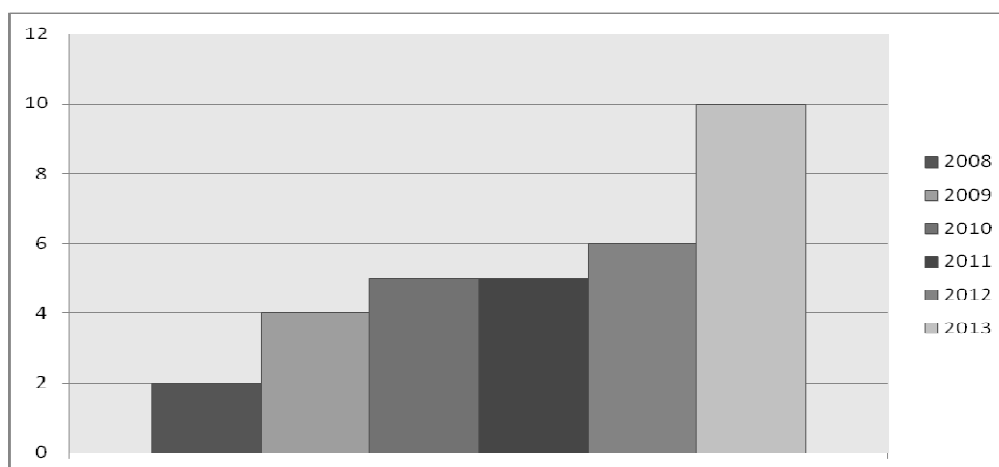


Рис. 3. Хронологический патентный анализ

С целью выявления обобщенных приемов улучшения эксплуатационных характеристик пиродиэлектриков в целом и пироэлектрических датчиков температуры в частности, можно воспользоваться методикой анализа изобретений, разработанной проф. М. Ф. Зариповым и его сотрудниками [2–6]. Данная методика предусматривает:

- выбор изобретений определенного класса или группы международной патентной классификации (МПК);
- изучение принципа действия и конструктивной реализации изобретения;
- изучение принципа действия прототипов выбранных изобретений с целью выявления усовершенствованных узлов и деталей;
- выявление улучшаемых эксплуатационных характеристик (их может быть несколько);
- формулировка приема улучшения эксплуатационных характеристик;
- качественное определение эффективности принимаемых технических решений в сравнении с таковыми для прототипов.

Для определения наиболее эффективного обобщенного приема усовершенствования датчика необходимо выявить все приемы и провести их классификацию. В рамках вышеописанной методики наиболее целесообразна классификация приемов по двум признакам: обобщенной цели и методу.

Все методы усовершенствования пироэлектрических датчиков температуры можно разделить на четыре категории: конструктивные (1), применение новых материалов (2), схемные (3) и технологические (4). Цели, в свою очередь, подразделяются на:

- 1) повышение чувствительности;
- 2) повышение надежности;
- 3) уменьшение размеров;
- 4) уменьшение погрешности;
- 5) снижение стоимости;
- 6) повышение КПД;
- 7) увеличение диапазона измерений (или диапазона входной величины);
- 8) увеличение быстродействия;
- 9) многофункциональность.

На рис. 4 представлена сводная диаграмма распределения отобранных патентов по целям усовершенствования.

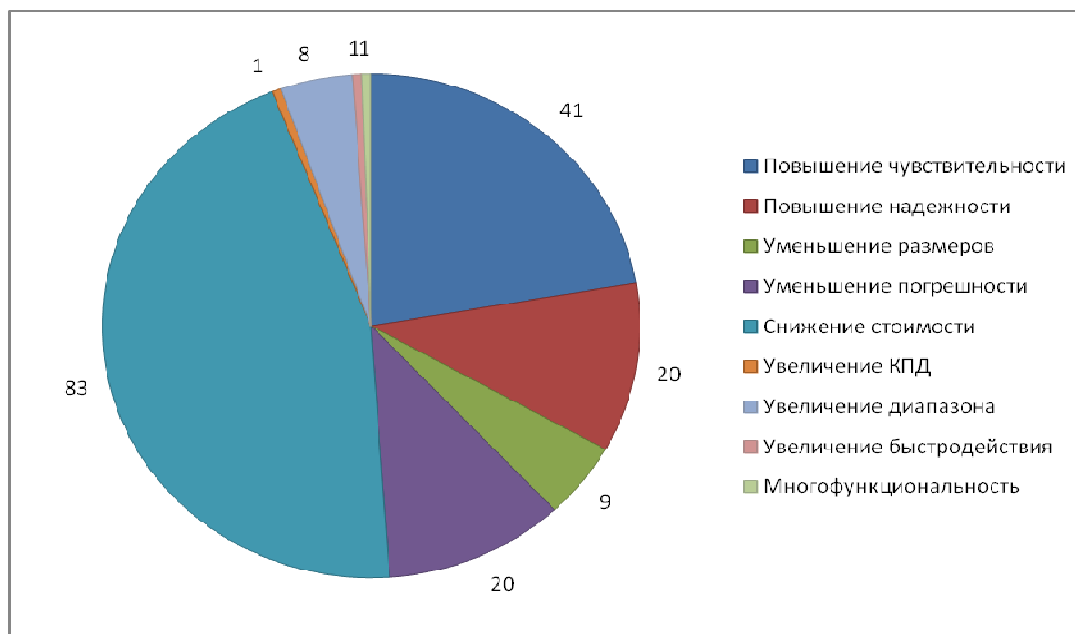


Рис. 4. Диаграмма распределения патентов по целям

Поскольку подавляющее большинство патентов, позволяющих снизить стоимость пиродиэлектрика, имеют снижение стоимости только в качестве вспомогательной цели при наличии основной, наиболее часто встречается цель «повышение чувствительности». В качестве такого патента можно привести CN 100429334 C [7]. В нем эта эксплуатационная характеристика улучшается за счет нового химического состава пиродиэлектрика. Согласно этому патенту пиродиэлектрический кристалл состоит из титаната-ниобата марганца и свинца, характеризующегося химической формулой $(1-x) \text{Pb} (\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}) \text{O}_{3-x} \text{PbTiO}_3$, где x лежит в диапазоне 0,24–0,38.

Также чувствительность пиродиэлектрика повышают патенты EP 0041297 B1 [8], WO 02/047127 A2 [9], WO 93/009414 A1 [10], EP 194900 A2 [11], US20130015353 A1 [12], US 2011/0299566 A1 [13], US 2012/0286161 A1 [14]. Последний патент позволяет увеличить значение чувствительности сенсора без одновременного повышения геометрических размеров пиродиэлектрика за счет изгиба его поверхности. Опорный элемент имеет полость и поддерживает пиродиэлектрическую подложку с задней стороны, а пиродиэлектрический субстрат деформирован в области лицевой зоны. Схема такого пиродиэлемента приведена на рис. 5.

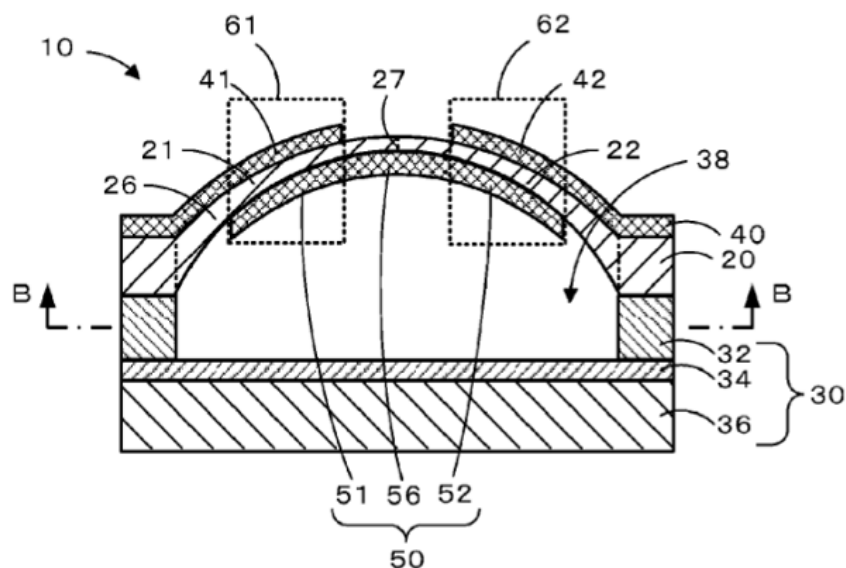


Рис. 5. Схема пироэлемента согласно патенту US20130015353.

Высокую эффективность имеют приемы, одновременно улучшающие более одной эксплуатационной характеристики. К примеру, патент EP 0283264 B1 [15] позволяет помимо повышения чувствительности повысить термостойкость пироэлектрика. Это становится возможным благодаря следующему приему. Датчик должен содержать пироэлектрическую пленку (имеющую электроды для вывода пироэлектрического выхода на обеих сторонах и расположенную с обращением к окну для введения инфракрасных лучей), содержащую поляризованную пленку сополимера винилиденфторида, при этом поляризованная пленка сополимера винилиденфторида должна иметь степень кристалличности 60 % или более и относительную диэлектрическую проницаемость 10 или ниже при 25 °С в области частот 0,1–10 Гц. Схема устройства приведена на рис. 6.

Патент US 5660471 A [16] позволяет добиться повышения чувствительности и снижения стоимости. В нем рассмотрены разные виды прерывателей ИК сигнала и используется следующий прием. Массив ИК пироэлементов обнаружения расположен наклонно относительно оси вращения средства обнаружения. Пленка сополимера винилиденфторида имеет повышенную степень кристаллизованности и показывает заметное увеличение индекса производительности $\alpha = \lambda / (\epsilon_r \cdot C_v)$ за счет значительного снижения диэлектрической проницаемости в области низких частот, где она используется в качестве пироэлектрического материала. Схема работы устройства по этому патенту приведена на рис. 7. Эти же цели преследует и патент US 3839640 [17].

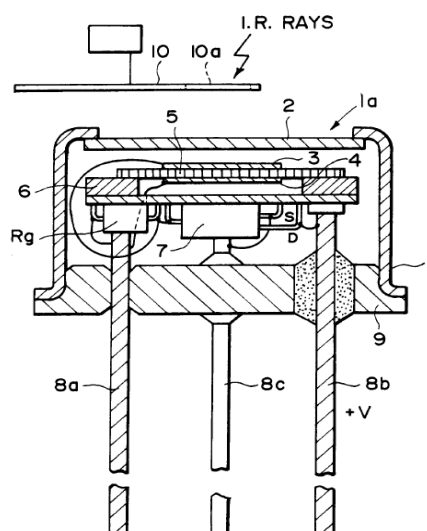


Рис. 6. Схема работы пироэлектрического инфракрасного датчика согласно патенту EP 0283264 B1

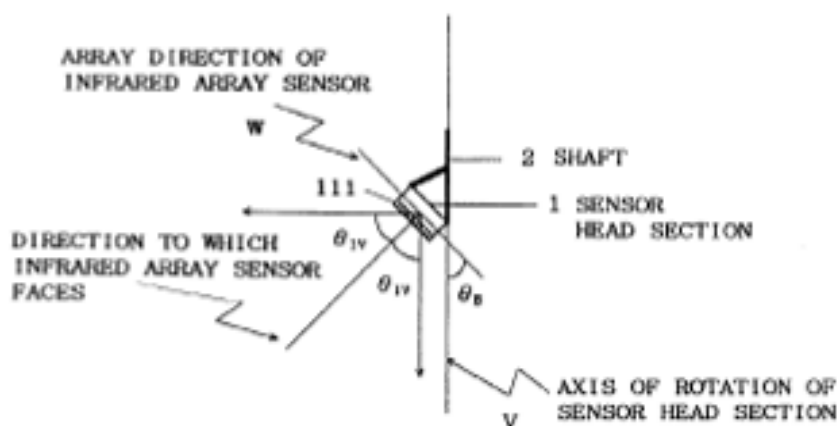


Рис. 7. Схема работы измерительного прибора согласно патенту US 5660471 A

Существуют и другие комбинации одновременно улучшаемых характеристик. Так, патенты EP 0838670 B1 [18] и EP 0384409 B1 [19] одновременно повышают чувствительность и снижают геометрические размеры, патент EP 0224595 A1 [20] одновременно повышает чувствительность и надежность и снижает стоимость, патент US 4214165 A [21] позволяет увеличить надежность и снизить погрешность.

В ходе проведения патентного анализа был выявлен только один патент, обеспечивающий многофункциональность пироэлемента, а именно US 2012/0312988 A1 [22]. Такой интегрированный датчик способен одновременно измерять температуру объекта, присутствие газа и инфракрасное излучение (свет в диапазоне длин волн примерно от 750 до 1000 нм). Согласно этому патенту, датчик ИК лучей включает в себя два блока детектирования (31 и 32), каждый из которых состоит минимум из одного ИК

элемента, которые имеют одинаковую структуру и специфические физические свойства. Первый блок измеряет температуру, а на второй блок подаются опорные ИК-лучи X (от источника 51). ИК лучи могут подаваться постоянно или периодически, при этом они (лучи) поглощаются или рассеиваются газом. Использование изогнутой подложки позволяет расширить диапазон обнаружения ИК-лучей и исключить специальные конденсаторы лучей (линзы Френеля). Схема этого устройства приведена на рис. 8.

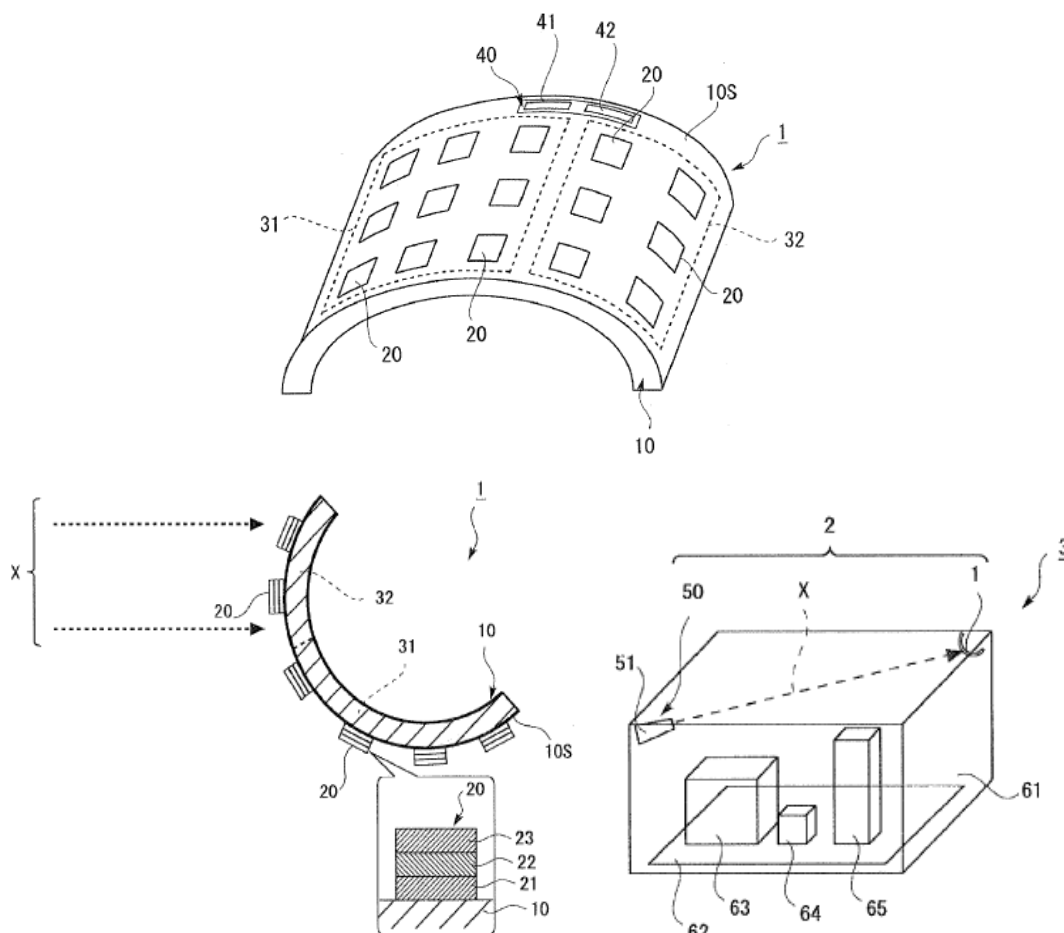


Рис. 8. Схема мультифункционального датчика согласно патенту US 2012/0312988 A1

Также был выявлен только один патент, позволяющий повысить коэффициент полезного действия пироэлектрического датчика: EP 2357458 A1 [23]. Электрическая схема подобного устройства приведена на рис. 8.

Схема обнаружения включает в себя схему заряда, расположенную между вторым узлом питания (VDD) и узлом обнаружения (N1) теплочувствительного элемента (CF), разряд замыкания (30). Разрядная схема имеет резистивный элемент разряда (RA) и выпускной транзистор (T2), представленные в серии между узлом обнаружения и первым узлом источника питания.

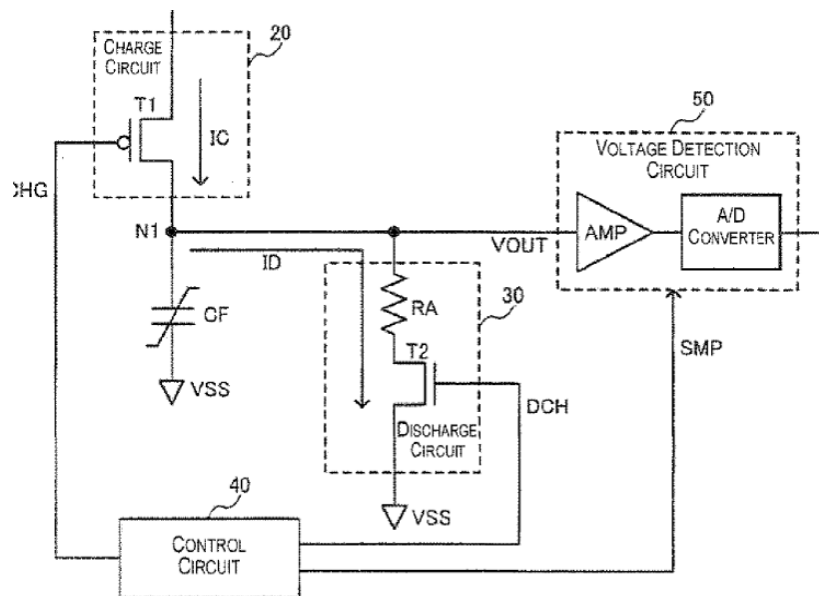


Рис. 8. Схема датчика согласно патенту EP 2357458 A1

Итак, исходя из диаграммы на рис. 4, можно сделать следующие выводы:

- большее число изобретений направлено на повышение чувствительности пиродиэлектрика (41 патент)
- меньше всего приемов направлено на увеличение быстродействия (1 патент) и КПД (1 патент) и обеспечение многофункциональности (1 патент) датчика
- высокой эффективностью обладают приемы одновременного улучшения нескольких характеристик, а именно повышения чувствительности и повышения надежности, повышения чувствительности и снижения, повышения чувствительности и снижения стоимости)

Таким образом, путем различных комбинаций выявленных приемов можно добиться существенного повышения эксплуатационных характеристик пиродиэлектриков, а также синтезировать новые измерительные устройства.

Список литературы

1. Физическая энциклопедия. – М. : Большая Российская энциклопедия, 1992. – Т. 3. – С. 590–591.
2. Зарипов М. Ф., Зайнуллин Н. Р., Петрова И. Ю. Энергоинформационный метод научно-технического творчества. – М. : ВНИИПИ, 1988. – 124 с.
3. Петрова И. Ю., Зарипова В. М., Лежнина Ю. А. Датчики для информационно-измерительных и управляющих систем интеллектуальных зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2014. – № 1 (7). – С. 113–120.
4. Zaripova V., Petrova I. System of Conceptual Design Based on Energy-Informational Model // progress in systems engineering, Proceedings of the the 23rd International Conference on Systems Engineering, August, 2014, Las Vegas, NV, Series: Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1089. – 2014. – P. 365–373.

5. Петрова И. Ю., Гурская Т. Г. Приемы усовершенствования электрокинетических преобразователей // Датчики и системы. – 2007. – № 10. – С. 18–21.
6. Петрова И. Ю. Микроэлементы систем управления с распределенными параметрами различной физической природы. – М. : Наука, 1979. – 110 с.
7. CN 100429334 C Pyroelectric single crystal material of PMN-PT and application thereof.
8. EP 0041297 B1 Pyroelectric detector.
9. WO 02/047127 A2 Pyroelectric device on a monocrystalline semiconductor substrate.
10. WO 93/009414 A1 Thin film pyroelectric imaging array.
11. EP 194900 A2 Improvements relating to pyroelectric ceramics
12. US 2013/0015353 A1 Pyroelectric Element and Method for Manufacturing the Same.
13. US 2011/0299566 A1 Pyroelectric temperature sensor and a method for measuring a temperature with the pyroelectric temperature sensor.
14. US 2012/0286161 A1 Infrared sensing using pyro/piezo-electric resonators.
15. EP 0283264 B1 Pyroelectric infrared sensor.
16. US 5660471 A Temperature distribution measuring device and measuring method.
17. US 3839640 Differential pyroelectric sensor.
18. EP 0838670 B1 A pyroelectric type infrared sensor.
19. EP 0384409 B1 Infrared sensor comprising a liquid crystal chopper.
20. EP 0224595 A1 Pyroelectric infrared sensor.
21. US 4214165 A Pyroelectric IR detector with signal capacitively coupled to an output circuit.
22. US 2012/0312988 A1 Infrared ray sensor, infrared ray detection device, and electronic apparatus.
23. EP 2357458 A1 Detection circuit for heat sensor, heat sensor device, and electronic device.