



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **133686** (13) **U**
(51) МПК
G01L 9/08 (2006.01)
G01L 9/12 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

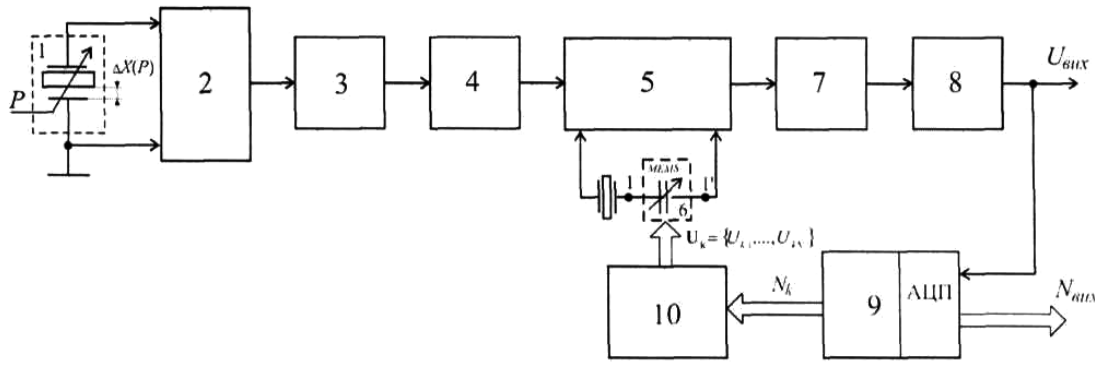
<p>(21) Номер заявки: u 2018 07922</p> <p>(22) Дата подання заявки: 16.07.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.04.2019</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2019, Бюл.№ 8</p>	<p>(72) Винахідник(и): Таранчук Алла Анатоліївна (UA), Підченко Сергій Костянтинівич (UA), Акулінічев Артем Аркадійович (UA), Співак Анна Валеріївна (UA), Жизневський Артем Ігорович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)</p>
---	--

(54) ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ОСНОВІ МЕХАНОТРОННОГО П'ЄЗОАКУСТИЧНОГО ДАТЧИКА ТИСКУ

(57) Реферат:

Вимірювальний перетворювач містить частотний датчик тиску з кварцовим резонатором, що збуджується у модульованому тиском зазорі, вимірювальний автогенератор, до частото-задавального кола якого включений кварцовий резонатор датчика тиску, смуговий фільтр для виділення сигналу інформаційної частоти автогенератора, адаптивний кварцовий частотний детектор (дискримінатор) з колом ємнісного керування частотою дискримінації, підсилювач постійного струму для підсилення сигналу розузгодженості частотного детектора, вихід якого через схему формування напруги підключений до кола ємнісного керування і є виходом вимірюваного перетворювача. Ємнісне коло керування частотою дискримінації частотного детектора виконано на основі матричного МЕМС-конденсатора з електростатичним керуванням, схема формування напруги є багатоканальною і забезпечує індивідуальне керування кожним елементарним електродом МЕМС-конденсатора, додатково введені помножувач частоти, контролер адаптивного налаштування частотою дискримінації з аналого-цифровим перетворювачем сигналу та фільтр нижніх частот, причому вхід помножувача частоти підключений до виходу смугового фільтра, а вихід помножувача частоти підключений до входу частотного детектора (дискримінатора), вихід підсилювача постійного струму через фільтр нижніх частот підключений до входу аналога - цифрового перетворювача сигналу контролера адаптивного налаштування, а цифровий вихід контролера підключений до багатоканальної схеми формування напруг керування МЕМС конденсатором і є виходом вимірювального перетворювача.

UA 133686 U



Фиг.1

Корисна модель належить до контрольно-виміральної техніки, зокрема до п'єзореzonансних датчиків тиску з частотним виходом, і може бути використана в медицині для неінвазивної реєстрації пульсового (динамічного) тиску при проведенні сфiгмографiчних досліджень серцево-судинної системи людини.

5 Відомий датчик тиску (вимірвальний перетворювач "тиск-частота") на основі кварцового резонатора, який містить корпус, металеву круглу мембрану, дисковий кварцовий п'єзоелемент, що встановлений на поверхні кварцеутримувача, металеву основу з донною частиною, металеве опорне кільце, заклепку з циліндричною пласкою головкою, пружний плаский елемент, регульвальний гвинт. Резонатор включений до коливальної системи автогенератора [Патент РФ № 2430344, МПК G01L 9/08. Датчик давления / Г.Л. Хильченко (RU), С.К. Пидченко (UA), А.А. Таранчук (UA); заявл. № 2010119588/28 от 18.05.2010; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27. - 8 с.: іл.].

10 Недоліком даного пристрою є те, що для забезпечення прийнятних точності та роздільної здатності при використанні його в цифрових (мікропроцесорних) системах необхідно виконання операції перетворення "частота-код" з часом вимірювання частоти на рівні 1...10 с. Це значно обмежує динамічні характеристики датчика тиску, що робить його придатним лише для квазістатичних вимірів.

20 Також відомий вимірвальний перетворювач, який складається з вимірвального генератора, в коливальну систему якого включений п'єзореzonансний датчик сприймаючий вимірвальний вплив, опорного кварцового генератора, формувача сигналу різницевої частоти опорного і вимірвального генераторів та підсилювача потужності сигналу різницевої частоти [див. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики / В.В. Малов // М.: Энергоатомиздат, 1989. - 2-е издание, перераб. и доп. - 272 с.: ил.].

25 Недоліком даного пристрою є обмежені динамічні властивості, які пов'язані зі значною тривалістю часу визначення різницевої частоти при перетворенні "частота-код". Використання опорного генератора (гетеродину), який використовується для формування сигналу різницевої частоти, також вносить додаткову похибку у вимірювання через свою нестабільність, що знижує точнісні характеристики даного перетворювача.

30 Найбільш близьким аналогом є вимірвальний перетворювач на основі частотного кварцового датчика тиску з модульованим міжелектродним зазором збудження п'єзоелемента, сигнал з виходу датчика подається на частотний детектор (дискриміатор), частотний детектор має коло кварцової стабілізації та адаптивного налаштування частоти дискримінації, що складається з послідовно з'єднаних кварцового резонатора та варикапа, загальна точка з'єднання яких через схему формування напруги керування варикапом підключена до виходу підсилювача постійного струму [Патент України №53900, МПК G01L 9/08, 9/12. Вимірвальний перетворювач з частотним датчиком тиску для сфiгмографiчних досліджень/ С.К. Пидченко, А.А. Таранчук, В.І. Стецюк, Г.Є. Опольська; заявник і патентовласник Хмельниць. нац. університет. - № u201003620; заявл. 29.03.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. - 4 с.: іл.].

40 Недоліком даного пристрою є низька точність перетворення, обумовлена використанням варикапу в колі адаптивного налаштування частоти дискримінації, який із-за низької добротності в порівнянні з кварцовим резонатором (особливо на високих частотах), явища самомодуляції, суттєвих температурних та флуктуаційних нестабільностей параметрів вносить значні похибки при перетворенні тиску. Окрім цього, варикап не розглядається як елемент для використання в перспективних розробках із-за високої складності його реалізації на кристалі інтегральної схеми високого рівня інтеграції [див. Dec A., Suyama K. Micromachined electro-mechanically tunable capacitors and their applications to RF IC's // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. - December 1998. - Vol. 46. - № 12. - pp. 2587-2596].

45 В основу корисної моделі поставлена задача підвищення точності та роздільної здатності вимірвального перетворювача пульсового тиску при проведенні сфiгмографiчних досліджень серцево-судинної системи людини.

50 Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у вимірвальному перетворювачі пульсового тиску, який містить частотний датчик тиску з кварцовим резонатором, що збуджується у модульованому тиском зазорі (п'єзоакустичний механотрон), вимірвальний автогенератор, до частото-задавального кола якого включений кварцовий резонатор датчика тиску, смуговий фільтр для виділення сигналу інформаційної частоти автогенератора, адаптивний кварцовий частотний детектор (дискриміатор) з колом ємнісного керування частотою дискримінації, підсилювач постійного струму для підсилення сигналу розузгодженості частотного детектора, вихід якого через схему формування напруги підключений до кола ємнісного керування, згідно із корисною моделлю, ємнісне коло керування частотою 60 дискримінації частотного детектора виконано на основі матричного МЕМС-конденсатора з

електростатичним керуванням, схема формування напруги є багатоканальною і забезпечує індивідуальне керування кожним елементарним електродом МЕМС-конденсатора, додатково введені помножувач частоти, контролер адаптивного налаштування частотою дискримінації з аналого-цифровим перетворювачем сигналу та фільтр нижніх частот, причому вхід помножувача частоти підключений до виходу смугового фільтру, а вихід помножувача частоти підключений до входу частотного детектора (дискримінатора), вихід підсилювача постійного струму через фільтр нижніх частот підключений до входу аналого-цифрового перетворювача сигналу контролера адаптивного налаштування, а цифровий вихід контролера підключений до багатоканальної схеми формування напруг керування МЕМС-конденсатором і є виходом вимірювального перетворювача.

Схема вимірювального перетворювача з частотним датчиком тиску для сфінгографічних досліджень представлена на фіг. 1. Пристрій складається з п'єзоакустичного датчика тиску 1; вимірювального автогенератора 2; смугового фільтра 3; помножувача частоти 4, кварцового частотного детектора (дискримінатора) 5; ємнісного кола (МЕМС-конденсатора) адаптивного налаштування частоти дискримінації 6, підсилювача постійного струму 7; фільтр нижніх частот 8; контролера адаптивного налаштування 9; схеми формування напруги керування МЕМС - конденсатором 10.

Схема працює наступним чином. П'єзоакустичний датчик тиску механотронного типу з модульованим міжелектродним зазором збудження п'єзоелемента 1 підключений до параметричного входу вимірювального генератора 2. Його власна резонансна частота $f(\Delta X)$ визначається як [Патент РФ № 2430344, МПК G01L 9/08. Датчик давления / Г.Л. Хильченко (RU), С.К. Пидченко (UA), А.А. Таранчук (UA); заявл. № 2010119588/28 от 18.05.2010; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27 - 8 с.: іл.]:

$$f(X) = f_0 \sqrt{1 + m / (1 + h_{ne} / \epsilon_{ne} X)} = f_0 (1 + 0,5m / (1 + h_{ne} / \epsilon_{ne} X)), \quad X = X_0 - \Delta X(P), \quad (1)$$

де X , X_0 - поточний, початковий зазор між мембраною і кварцовим п'єзоелементом;
 $\Delta X(P)$ - хід мембрани під дією вимірювального надлишкового тиску P ;

f_0 - номінальне значення частоти датчика для $X = 0$;

m , h_{ne} і ϵ_{ne} - ємнісне співвідношення, товщина і діелектрична проникність кварцового п'єзоелемента ($\epsilon_{ne} = 4,5$).

Зміна надлишкового тиску P приводить до зміни власної резонансної частоти п'єзоакустичного датчика тиску 1 і, як наслідок, відбувається модуляція вихідної частоти генератора 2.

Відносна інформаційна девіація частоти δ_f сигналу на виході генератора 2 складає

$$\delta_f = (\Delta f(\Delta X) - f_0) / f_0 = 0,5mX / (X + a), \quad (2)$$

де $a = \frac{h_{ne}}{\epsilon_{ne}} = \frac{N_f}{f_0 \epsilon_{ne}}$ - параметр кварцового п'єзоелемента;

$N_f = 1661 \frac{\text{КГц}}{\text{мм}}$ - частотний коефіцієнт.

Інформаційний сигнал з виходу генератора 2 для покращення спектральної чистоти подається на смуговий фільтр 3 і після фільтрації надходить на помножувач частоти 4. Помножувач частоти 4 слугує для збільшення інформаційної девіації частоти $\Delta f_n = n \Delta f(\Delta X)$, що

відповідно підвищує чутливість вимірювального перетворювача. З виходу помножувача 4 сигнал подається на частотний детектор 5, який виконує функцію перетворення "частота-напруга". Як опорний контур частотного детектора 5 використовується кварцовий резонатор, який працює в режимі мікробудження, що забезпечує високу крутизну перетворення частотного детектора та стабільність його частоти дискримінації. Частота опорного кварцового контуру дискримінатора налаштовується за допомогою конденсатора 6 з електростатичним керуванням, який виконано за технологією МЕМС (мікроелектромеханічних систем) [див. Пат. 84440 України / МПК H01G 15/00. Керований мікроелектромеханічний конденсатор / Колпаков Ф.Ф., Борзяк Н.Г., Мішан В.В., Добрава В.Є. / заявник і власник Національний фармацевтичний університет. - № а200604124; заявл. 14.04.06; опубл. 27.10.08, Бюл. № 20. - 6 с.: іл.]. Сигнал з частотного детектора 5 подається на вхід підсилювача постійного струму 7, а з його виходу підсилювача на згладжувальний фільтр нижніх частот 8. Сигнал з виходу фільтра нижніх частот 8 може використовуватись як аналоговий інформаційний сигнал вимірювального перетворювача $U_{\text{вих}}$.

Частотний детектор охоплений колом цифрового зворотного зв'язку, яке містить контролер адаптивного налаштування 9 та схему формування напруги керування МЕМС-конденсатором 10. Коло цифрового зворотного зв'язку забезпечує адаптивне налаштування частоти

дискримінації частотного детектора в залежності від тиску Р на вході перетворювача. Введення зворотного зв'язку за частотою суттєво підвищує крутизну (більше ніж в 5 разів) та лінійність перетворення "частота-напруга" [див. Пат. 53900 Україна, МПК G01L 9/08, 9/12. Вимірювальний перетворювач з частотним датчиком тиску для сфінгографічних досліджень / С.К. Підченко, А.А. Таранчук, В.І. Стецюк, Г.Є. Опольська; заявник і патентовласник Хмельниц. нац. університет. - № u201003620; заявл. 29.03.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. - 4 с.: іл.]

Конструкція матричного МЕМС-конденсатора 10 з електростатичним керуванням представлена на фіг. 2. Він складається з кремнієвої підкладки 11, на якій розташований спільний електрод 13 (СЕ) з полікремнію (товщина 2 мкм). В наскрізних прямокутних отворах основи 12 розташовано |х| матричних рухомих електродів (МРЕ) 14, які закріплені на пружних підвісах 15. Кожен МРЕ також виконаний з полікремнію (товщина 1,5 мкм) та покритий шаром золота (товщиною 0,5 мкм) і має окремий вивід керування 16.

На фіг. 3 приведена електрична схема ввімкнення керованого МЕМС-конденсатора, де R - резистор зміщення напруги керування, C_{p1}, C_{pi}, C_N - розділювальні конденсатори, C_1, C_i, C_N - ємності окремих рухомих матричних електродів, U_{k1}, U_{ki}, U_{kN} - напруги керування окремими елементарними електродами, СЕ - спільний електрод.

Використання конструкції у вигляді матричної МЕМС-структури із |х| окремих електродів надає змогу формування довільного закону зміни ємності від напруги керування з високою точністю, а також дозволяє реалізувати два режими керування $U_{ki}(t) = U_{kj}(t)$, і багаторівневий, за якого напруги керування формують змінну геометрію матричного рухомого електрода $(U_{ki}(t) \neq U_{kj}(t))$ [див. А.А. Акулиничев. Кварцевый частотный модулятор с подвижным микроэлектродом управляемой геометрии // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. - 2011, № 1(49). - с. 22-28].

Запропонований вимірювальний перетворювач на основі механотронного п'єзоакустичного датчика тиску має підвищену точність та роздільну здатність на рівні (0,01...0,025) мм рт. ст., добре узгоджується із сучасними цифровими комп'ютерними системами діагностування параметрів гемодинаміки та має типовий час перетворення в межах одиниць - десятків мілісекунд, що забезпечує значно кращу достовірність визначення стану серцево-судинної системи людини в порівнянні з існуючими аналогами.

Джерела інформації:

1. Пат. № 2430344 Российская Федерация, МПК G01L 9/08. Датчик давления / Г.Л. Хильченко (RU), С.К. Пидченко (UA), А.А. Таранчук (UA); заявл. № 2010119588/28 от 18.05.2010; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27. - 8 с.: ил.

2. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики / В.В. Малов // М.: Энергоатомиздат, 1989. - 2-е издание, перераб. и доп. - 272 с.: ил.

3. Пат. 53900 Україна, МПК G01L 9/08,9/12. Вимірювальний перетворювач з частотним датчиком тиску для сфінгографічних досліджень / С.К. Підченко, А.А. Таранчук, В.І. Стецюк, Г.Є. Опольська; заявник і патентовласник Хмельниц. нац. університет. - № u201003620; заявл. 29.03.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. - 4 с.: іл.

4. Dec A., Suyama K. Micromachined electro-mechanically tunable capacitors and their applications to RF IC's // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. - December 1998. - Vol. 46. - № 12. - pp. 2587-2596.

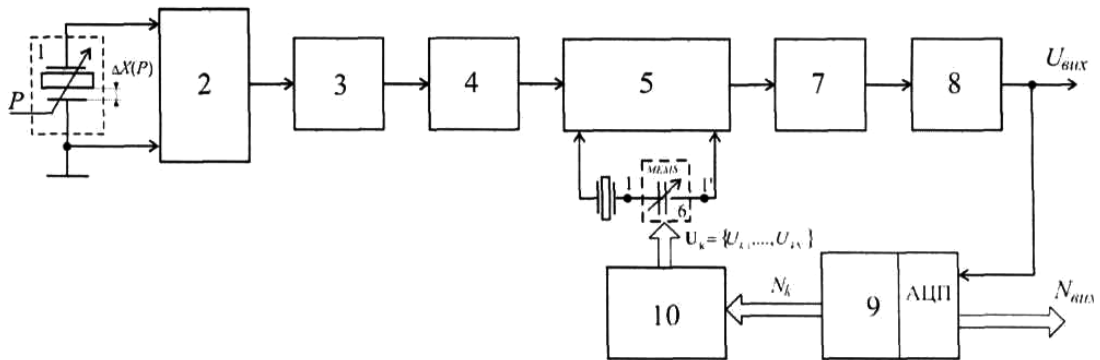
5. Пат. 84440 України / МПК H01G 15/00. Керований мікроелектромеханічний конденсатор / Колпаков Ф.Ф., Борзяк Н.Г., Мішан В.В., Доброва В.С. / заявник і власник Національний фармацевтичний університет. - № a200604124; заявл. 14.04.06; опубл. 27.10.08, Бюл. № 20. - 6 с.: іл.

6. А.А. Акулиничев. Кварцевый частотный модулятор с подвижным микроэлектродом управляемой геометрии // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. - 2011, № 1(49). - с. 22-28.

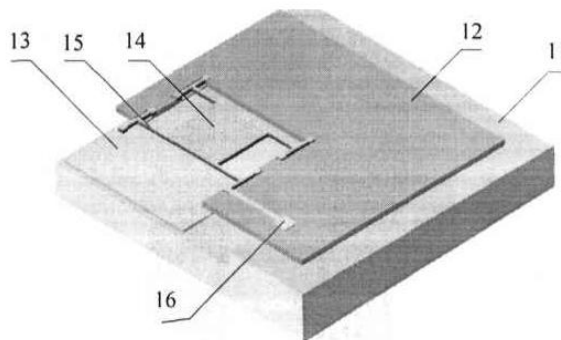
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Вимірювальний перетворювач, який містить частотний датчик тиску з кварцовим резонатором, що збуджується у модульованому тиском зазорі, вимірювальний автогенератор, до частото-задавального кола якого включений кварцовий резонатор датчика тиску, смуговий фільтр для виділення сигналу інформаційної частоти автогенератора, адаптивний кварцовий частотний детектор (дискримінатор) з колом ємнісного керування частотою дискримінації, підсилювач постійного струму для підсилення сигналу розузгодженості частотного детектора, вихід якого через схему формування напруги підключений до кола ємнісного керування і з виходом

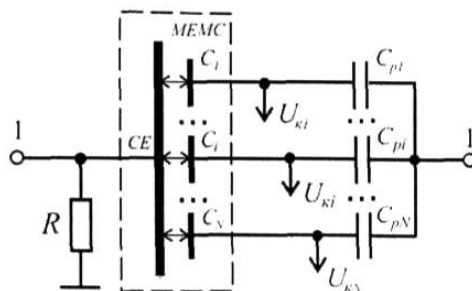
вимірюваного перетворювача, який **відрізняється** тим, що ємнісне коло керування частотою дискримінації частотного детектора виконано на основі матричного МЕМС-конденсатора з електростатичним керуванням, схема формування напруги є багатоканальною і забезпечує індивідуальне керування кожним елементарним електродом МЕМС-конденсатора, додатково введено помножувач частоти, контролер адаптивного налаштування частотою дискримінації з аналого-цифровим перетворювачем сигналу та фільтр нижніх частот, причому вхід помножувача частоти підключений до виходу смугового фільтра, а вихід помножувача частоти підключений до входу частотного детектора (дискримінатора), вихід підсилювача постійного струму через фільтр нижніх частот підключений до входу аналога - цифрового перетворювача сигналу контролера адаптивного налаштування, а цифровий вихід контролера підключений до багатоканальної схеми формування напруг керування МЕМС-конденсатором і є виходом вимірювального перетворювача.



Фіг.1



Фіг.2



Фіг.3

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601