

**МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПАРАЗИТНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ  
ГЕНЕРАТОРІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН  
НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ**

*Піддубний В. О.<sup>1</sup>, к.т.н. доцент; Іванов А. С.<sup>1</sup>, студент;  
Піддубний В. В.<sup>2</sup>, інж.*

<sup>1</sup>*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*  
<sup>2</sup>*Підприємство «Інфопульс Україна», Київ, Україна*

**ESTIMATION METHOD FOR GENERATOR SPURIOUS SYNCHRONIZATION  
USED IN MECHANICAL TRANSDUCER ON  
SURFACE ACOUSTIC WAVES**

*Piddubnyi V.<sup>1</sup>, Cand. Of Sci (Technics), senior lecturer;  
Ivanov A.<sup>1</sup>, student ; Piddubnyi V.<sup>2</sup>, engineer.*

<sup>1</sup>*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup>*«Infopuls Ukraine», Kyiv, Ukraine*

**Вступ**

Перетворювачі механічних величин (ПМВ) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) як правило будуються за диференційною схемою [1-3]. Вони складаються з двох ПАХ генераторів, частотнозадаючі елементи яких чутливі до вимірюваного механічного параметру, та змішувача, який переносить інформацію про механічний вплив в низькочастотний діапазон, зручний для обробки. Генератори ПАХ працюють на близьких частотах, що призводить до значного впливу одного генератора на інший, а це значно погіршує метрологічні характеристики ПМВ.

Взаємна синхронізація генераторів призводить до випадкових флуктуацій вихідної (базової) частоти. Їх можна знизити використанням відповідних схемотехнічних рішень, шляхом ретельного екранування активної частини ПМВ (високочастотних ПАХ генераторів та змішувача) та чутливого елемента (ЧЕ). Так, наприклад, використання акустичної розв'язки ПАХ генераторів з вхідними колами змішувача частот, заміна одно або двокаскадних високочастотних (ВЧ) підсилювачів з ємнісним чи з безпосереднім гальванічним зв'язком між каскадами (спеціалізовані або стандартні мікросхеми, наприклад інтегральні М42177 чи гібридні 401УВ3), на диференційні підсилювачі (ДП) [4], дозволяє значно зменшити цей вплив і відповідно покращити характеристики ПМВ. Однак об'єктивно оцінити якість розв'язки генераторів у разі використання їх як перетворювачів механічних величин достатньо складно. Тому виникло завдання розробити методику об'єктивної оцінки впливу одного генератора на інший та на її основі

провести вибір оптимального схемотехнічного та конструктивного рішення ПМВ.

**Метою статті** є викладення результатів, розроблення методики.

### Основна частина

Розглянемо узагальнену структурну схему перетворювача механічних величин на поверхневих акустичних хвилях на прикладі вимірювача тиску (рис.1), побудованого за класичною диференційною схемою.

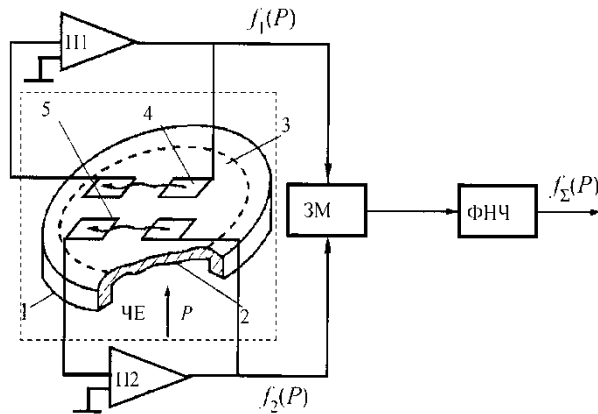


Рис.1. Структурна схема вимірювача тиску на ПАХ

Вимірювач складається з чутливого елемента ЧЕ, високочастотних підсилювачів П1 та П2, змішувача ЗМ та фільтра низької частоти ФНЧ. Чутливий елемент вимірювача ЧЕ — це профільована мембрана із п'єзоелектричного матеріалу 1 з приймальною порожниною 2, в яку подається вимірюваний тиск  $P$ . На деформованій під його дією поверхні мембрани 3 виготовлені дві лінії затримки (ЛЗ)

на поверхневих акустичних хвилях 4 та 5. Лінії затримки розміщені на ділянках поверхні мембрани з протилежним знаком деформації. Лінія ЛЗ 4 з'єднана з високочастотним підсилювачем П1 а ЛЗ 5 — з П2. Таке з'єднання створює два ПАХ генератори, які чутливі до деформації мембрани. При відсутності вимірюваного тиску ( $P = 0$ ) власні частоти генераторів відрізняються одна від значенням базової частоти  $f_{\Sigma}(P)$ . Вона утворюється на змішувачі ЗМ та виділяється ФНЧ із спектру комбінаційних частот

$$f_{\Sigma}(P) = f_1(P) - f_2(P),$$

де  $f_1(P)$  та  $f_2(P)$  — вихідні частоти першого та другого генераторів. При подачі тиску частоти генераторів змінюються в протилежних напрямках і базова частота  $f_{\Sigma}(P)$  змінюється пропорційно вимірюваному тиску.

Конструктивно елементи ПАХ генераторів розміщені поруч, в одному корпусі достатньо малих розмірів. Це призводить до виникнення паразитного зв'язку між генераторами, який може виникати, як через звукопровід (паразитні об'ємні акустичні хвилі), так і через спільне електромагнітне поле (випромінювання генераторами ВЧ коливань в навколишнє середовище). Найскладніше заекранувати ЧЕ тому, що лінії затримки розміщені на спільному звукопроводі і розділити їх фізично не можливо. Лінії затримки завжди зв'язані між собою як спільним електромагнітним полем, так і спільним звукопроводом.

Це призводить до виникнення паразитної синхронізації ПАХ генераторів, що викликає дрейф базової частоти, який складає сотні герц за 6 годин безперервної роботи ПМВ, та призводить до порушення лінійності вихідної характеристики. Дослідження проведені в [5] встановили, що чим менший рознос частот, тим більший вплив одного генератора на інший, і що зменшення значення базової частоти (зближення частот  $f_1(P)$  та  $f_2(P)$  між собою при  $P = 0$ ) призводить до збільшення нелінійності вихідної характеристики ПМВ в нижній частині вимірюваного діапазону. При деяких значеннях частот відбувається захоплення частоти одного генератора іншим і вони продовжують працювати вже на одній частоті. Базова частота зникає і вимірювач не виконує свої функції. Явище захвату частот можна використати для об'єктивної оцінки синхронізації ПАХ генераторів, ступеня їх взаємного екранування та для вибору оптимального схемотехнічного та конструктивного виконання ПМВ.

З метою підтвердження можливості використання явища захвату частот для оцінки якості конструктивного виконання ПМВ був зібраний експериментальний макет вимірювача тиску. Чутливий елемент вимірювача — тонка мембрана закріплена по периметру ( $R/h \geq 25$ ;  $W_0/h \geq 0,5$ , де  $R$  — радіус мембрани,  $h$  — товщина мембрани,  $W_0$  — прогин центру мембрани). Вона виготовлена з п'єзочутливого кварцу ST-зрізу. Лінії затримки сформовані на поверхні мембрани. Діаметр мембрани —  $D = 2R = 18,2$  мм, товщина мембрани —  $h = 0,41$  мм, товщина основи, з якої виготовлено мембрану — 5 мм. При такій мембрані вихідна характеристика макету ПМВ має масштабний коефіцієнт  $K = 500$  Гц/кПа в діапазон вимірюваного тиску від 0 до 100 кПа.

Лінії затримки мають однакову топологію, тому базова частота макету ПМВ повинна дорівнювати нулю. Однак із-за технологічних допусків на виготовлення ЛЗ це не можливо. Тому нульове значення базової частоти досягалося електронною підстройкою частоти одного з генераторів за допомогою варікапа (частоти генерації встановлювалися рівними частоті акустичного синхронізму ЛЗ — 78830 кГц). Підстройка частоти дозволяла регулювати частоту генерації в межах смуги пропускання ЛЗ (200 кГц) з крутістю характеристики  $450 \cdot 10^{-6}$  1/В при зміні напруги управління в межах 0,3...3 В. Це повністю перекривало технологічні похибки виготовлення ЛЗ на ПАХ.

Конструктивно макет ПМВ мав сталевий корпус циліндричної форми, в середині якого розміщені герметизований мембранний приймальний вузол та електронна частина (гібридні інтегральні мікросхеми та елементи, які забезпечують живлення та розв'язку кіл живлення) на друкованій платі круглої форми діаметром 35 мм.

Матеріали деталей, що контактують з робочим середовищем (в досліджуваному макеті — повітря), виготовлені з нержавіючої сталі 36НХТЮ ГОСТ 14119-85. Матеріал кожуха — сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5682-72.

Дослідження макету ПМВ проводилося на установці, що складалася із задатчика тиску МПА-15 з контрольним манометром класу 0,15, частото-міра ЧЗ-35 та стабілізованого джерела живлення типу Б5-47. Макет знаходився в камері тепла та холоду типу МС-81 з робочим діапазоном температур від - 80...+120 С<sup>0</sup>.

Дослідження проводилися наступним чином. Макет ПМВ розміщувався в камері тепла та холоду, в якій з точністю 0,1 °С підтримувалася температура 25 °С. В приймальну порожнину макету через штуцер подавалося повітря, тиск якого задавався задатчиком тиску та контролювався манометром. До джерела живлення спочатку підмикався нерегульований генератор (визначалася його робоча частота), а потім підстроюваний (його частота встановлювалася рівною частоті нерегульованого). Потім вмикалися одночасно обидва генератори, а на вхід ПМВ подавалося повітря під тиском, який змінювався від 0 до 100 кПа. Частотоміром фіксувалася базова частота. Момент стабілізації базової частоти і є точкою, в якій генератори виходять зі взаємної синхронізації. Це значення частоти може слугувати критерієм оцінювання рівня синхронізації ПАХ генераторів.

Експериментально встановлено, що навколо точки з тиском  $P = 10$  кПа відбувається захват частот генераторів. Мінімальне значення базової частоти, при якій відбувається захват, лежить в діапазоні 10...12 кГц. Смуга захвату та смуга утримання для експериментального макету складали 10 та 12 кГц, відповідно. Вихідна характеристика ПМВ на частотах, не значно вищих частоти утримання, становиться суттєво нелінійною.

Подальше градування в бік збільшення тиску показує, що нелінійність зменшується, і точку, в якій вона досягає заданої величини (наприклад, 0,25%), можна вважати мінімальним значенням вимірюваного параметру. Це значення відповідає базовій частоті 40...60 кГц.

Відповідно до описаної методики в роботі досліджувалися два типи диференційних ПМВ: з активною частиною, виконаною на двокаскадних підсилювачах типу СЕ-СЕ, де СЕ — умовне позначення підсилювача зі спільним емітером, та з використанням диференційних підсилювачів на мікросхемах ADL5561, розроблених компанією Analog Devices. Результати досліджень наведені в табл.

Дослідження показали, що кращим для використання в високочастотній частині ПМВ на ПАХ є ДП, а базова частота ПМВ повинна вибиратися з умов мінімальної взаємної синхронізації ПАХ генераторів та забезпечення заданої нелінійності вихідної ха-

Таблиця

Тип ПМВ	Смуга, кГц	
	Захвату	Утримання
СЕ-СЕ	10	12
ДП	6	8

рактики. Значення базової частоти доцільно вибирати в межах від 50 до 500 кГц.

### **Висновки**

Розроблена методика оцінки рівня синхронізації ПАХ генераторів перетворювача механічних величин на поверхневих акустичних хвилях, яка дозволяє об'єктивно оцінити ступінь паразитного зв'язку між ПАХ генераторами. Використання розробленої методики дозволило встановити, що для створення високоточних перетворювачів механічних величин класу 0,25 та вище доцільно використовувати в ПАХ генераторах диференційні високочастотні підсилювачі.

### **Література**

1. Черняк М. Г. Акустoeлектронні низькочастотні лінійні акселерометри для систем управління рухомих об'єктів / М. Г. Черняк // Механіка гіроскопічних систем. — 2008. — №19. — С. 116—124.
2. Лукьянов Д. П. Анализ возможностей повышения температурной стабильности дифференциальных частотных преобразователей / Д. П. Лукьянов, С. Ю. Шевченко, А. С. Кукаев, Д. В. Сафронов // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ". — 2009. — №7. — С. 51—62.
3. Піддубний В. В. Зменшення температурної похибки вимірювання перетворювачів на поверхневих акустичних хвилях / В. В. Піддубний, В. О. Піддубний // Інформаційні системи, механіка та керування. — 2010. — Вип.5. — С. 5—17.
4. Піддубний В. В. Зменшення взаємного впливу генераторів в перетворювачах механічних величин на поверхневих акустичних хвилях / В. В. Піддубний, О. В. Малюкін, В. О. Піддубний // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2010. — № 40. — С. 73—76.
5. Шевченко С. Ю. Разработка акселерометра на поверхностных акустических волнах: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец.05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы (приборостроение)» / Шевченко Сергей Юрьевич; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) — Санкт-Петербург, 2007. — 18 [1] с., включ. обл. ил. — Библиогр.: С. 17—18.

### **References**

1. Cherniak M.H. Akustoelektronni nyzkochastotni liniini akselerometry dlia system upravlinnia rukhomykh obektiv. Mekhanika hiroskopichnykh system, 2008, №19, pp. 116–124.
2. Lukianov D. P., Shevchenko S. Yu., Kukaev A. S., Safronov D. V. Analiz vozmozhnoctei povysheniiz temperaturnoi stabilnosti differentsialnykh Chastotnykh preobrazovatelei. Izvestiia Sankt-Peterdurgskoho gosudarstvennoho elektrotekhnicheskoho universiteta «LETI», 2009, №7, pp. 51–62.
3. Piddubnyi V. V., Piddubnyi V. O. Zmenshennia temperaturnoi pokhybky bymiriuvannia peretvoriuvachiv na poverkhnednykh akustychnykh khvyliakh. Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannia, 2010, Vyp.5, pp. 5–17.
4. Piddubnyi V. V., Maliukin O. V., Piddubnyi V. O. Zmenshennia vzaiemnoho vplyvu heneratoriv v peretvoriuvachakh mekhanichnykh velychyn na poverkhnednykh akustychnykh khvyliakh. Visnyk NTUU «KPI». Ser. Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannia, 2010, № 40, pp. 73–76.
5. Shevchenko S. Yu. Razrabotka akselerometra na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh: avtoref. dis. na soiskanie uchonoj stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.11.16 «Infor-

matsionno-szmeritelnye i upravliaiushchie sistemy (priborostroenie)». Sankt-Peterdurgskii gosudarstvennyi elektrotekhnicheskii universitet «LETI» im. V.I.Ulianova (Lenina)– Sankt-Peterdurg, 2007, 18 [1] s., Vkluch. obl. il., Bibliogr.: pp. 17–18.

*Піддубний В. О., Іванов А. С., Піддубний В. В. Методика оцінки паразитної синхронізації генераторів перетворювача механічних величин на поверхневих акустичних хвилях. Проаналізовані причини виникнення нестабільності базової частоти перетворювачів на поверхневих акустичних хвилях, показано, що нелінійність вихідної характеристики перетворювача залежить від рівня взаємної синхронізації ПАХ генераторів, запропонована методика оцінювання стабільності перетворювачів механічних величин на ПАХ та наводяться результати експериментальних вимірювань*

**Ключові слова:** перетворювач механічних величин на поверхневих акустичних хвилях, диференційний підсилювач, ПАХ генератор, лінія затримки на ПАХ.

*Поддубный В. А., Иванов А. С., Поддубный В. В. Методика оценки паразитной синхронизации генераторов преобразователя механических величин на поверхностных акустических волнах. Проанализированы причины возникновения нестабильности базовой частоты преобразователей на поверхностных акустических волнах, показано, что нелинейность выходной характеристики преобразователя зависит от уровня взаимной синхронизации ПАВ генераторов, предложена методика оценки стабильности преобразователей механических величин на ПАВ и приводятся результаты экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** преобразователь механических величин на поверхностных акустических волнах, дифференциальный усилитель, ПАВ генератор, линия задержки на ПАВ.

*Piddubnyi V., Ivanov A., Piddubnyi V. Estimation method for generator spurious synchronization used in mechanical transducer on surface acoustic waves.*

*Introduction.* The mechanical-electric transducer (MET) on surface acoustic waves is (SAW) built on the differentiated scheme. It consists of two SAW generators that operate on similar frequencies. It impairs their metrological characteristics.

*Requirements for document.* Mutual synchronization of generators leads to random fluctuation of the output frequency and the output frequency is not linear. There are schemes and construction to improve performance. However, there is no method that allows objectively to estimate its impact on performance. Methodology of such assessment is proposed in the article.

*The structure of the materials.* The causes of mutual synchronization SAW generators are considered. Reducing methods and evaluation methods and the results of the several types of converters study are presented.

*Conclusions.* The method of assessment SAW generators spurious synchronization used in mechanical-electric transducer allows objectively to estimate the connection degree by nonlinearity of output frequency.

**Keywords:** Mechanical-electric transducer on surface acoustic waves, transformers of mechanical values on surface acoustic waves, differential amplifier, SAW-generator, delay line SAW.