

Подавлення об'ємних хвиль у фільтрі на поверхневих акустичних хвилях

Нелін Є. А., Непочатих Ю. В.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського”, м. Київ, Україна

E-mail: nepochatikh@kivra.kpi.ua

Наведений огляд способів подавлення паразитних об'ємних акустичних хвиль (ОАХ) у фільтрах на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Найефективніший з традиційних способів подавляє ОАХ до рівня –65 дБ, але механічно ослаблює звукопровід фільтра. Перевірено ефективність запропонованого авторами способу подавлення ОАХ за допомогою хвильової неоднорідності спеціальної форми у вузькосмуговому фільтрі на ПАХ з гранично високим рівнем позасмугового подавлення. Досліджено залежність відносного рівня подавлення паразитних повільних квазизсувних ОАХ від глибини хвильової неоднорідності у вигляді замкнутої канавки, прорізаної у нижній поверхні звукопроводу фільтра. Показано, що така хвильова неоднорідність дозволяє подавити повільні квазизсувні ОАХ до рівня –70 дБ, що підтверджує високу ефективність запропонованого способу подавлення ОАХ.

Ключові слова: зустрічно-штировий перетворювач; ЗШП; об'ємні акустичні хвилі; ОАХ; способи подавлення паразитних ОАХ; повільні квазизсувні ОАХ; розсіювання ОАХ; хвильова неоднорідність; глибока замкнута канавка

Вступ

Акустоелектронні пристрої на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) широко застосовують для формування і обробки сигналів у телебаченні, радіолокації, супутниковому і мобільному зв'язку [1, 2]. Ці пристрої відрізняються мікромініатюрністю, надійністю, конструктивно-технологічною сумісністю з інтегральними схемами. Фільтри на ПАХ для мобільного зв'язку масово виробляють численні фірми різних країн.

Для збудження і перетворення ПАХ використовують зустрічно-штировий перетворювач (ЗШП) у формі двох зустрічно вкладених гребінок металевих електродів на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу. На формування характеристик фільтра впливають ефекти першого і другого порядку. Ефекти першого порядку — збудження і перетворення ПАХ ЗШП як трансверсальним фільтром. Ефекти другого порядку, що можуть мати значний вплив, модель трансверсального фільтра не враховує. Звертаючи на це увагу, відомий вчений в області акустоелектроніки Е. Ash у передмові до другого видання монографії [1] зазначив: “Surface-acoustic-wave devices are sensitive animals¹”. З іншого боку, ця чутливість дає можливість нових застосувань цих пристроїв як фізичних, хімічних та біологічних сенсорів (див., наприклад, [3]),

а також елементів інтелектуальних інформаційних систем [4].

Розвиток апаратури нового покоління потребує підвищення частотної вибірності, досягнення граничних технічних характеристик. Так, глобальний перехід до 4G мереж висуває значно жорсткіші вимоги до частотної фільтрації у порівнянні з 3G мережами, оскільки кількість каналів збільшується з приблизно 5 до більш ніж 20 зі збільшенням до 40 у майбутньому [2]. Необхідні нові технічні рішення для більш повної компенсації або більш суттєвого зменшення впливу ефектів другого порядку.

Один з домінуючих ефектів другого порядку — збудження вхідним ЗШП і перетворення вихідним об'ємних акустичних хвиль (ОАХ) [5]. Швидкість ОАХ більша за швидкість ПАХ, тому відгук ОАХ розташований у верхній смузі подавлення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) смугового ПАХ-фільтра. Традиційні способи подавлення ОАХ мають суттєві конструктивно-технологічні обмеження і за граничної вибірності не забезпечують необхідного подавлення сигналу у верхній смузі подавлення АЧХ смугового ПАХ-фільтра.

Метою статті є дослідження ефективності запропонованого авторами способу зменшення рівня ОАХ за допомогою хвильової неоднорідності спеціальної форми у вузькосмуговому фільтрі на ПАХ з гранично високим рівнем позасмугового подавлення.

¹Пристрої на ПАХ — чутливі створіння

1 Традиційні способи подавлення об'ємних акустичних хвиль

ОАХ, збуджені ЗШП, поширюються під кутом до поверхні звукопроводу. Значення кута θ , що збільшується зі збільшенням частоти, визначає співвідношення [6]:

$$\theta = \arccos \frac{\nu}{f\lambda_0}$$

де ν — швидкість ОАХ; f — частота, λ_0 — період структури ЗШП, що дорівнює довжині ПАХ на середній частоті пристрою.

Якщо б звукопровід фільтра мав форму півпростору, ОАХ різних типів поширювалися б у його об'єм під різними кутами θ відповідно до типу ОАХ і не потрапили б до вихідного ЗШП. У реальному пристрої ЗШП найчастіше розташовані на звукопроводі у формі пластини з паралельними верхньою і нижньою плоскими поверхнями. Щоб розв'язати задачу про збудження і поширення ОАХ у такій пластині, необхідно задовольнити граничним умовам на її поверхнях.

Розв'язання цієї задачі указує на існування ОАХ, що можуть вільно поширюватися уздовж пластини з певними швидкостями, які утворюють послідовність дискретних значень. Ці хвилі називають нормальними модами пластини. Певна нормальна мода пластини — це об'єднані у групу завдяки багаторазовому відбиванню від верхньої і нижньої поверхонь об'ємні моди півпростору. Кожна група об'ємних мод задовольняє умовам поперечного резонансу [7]. Найбільш небажані у фільтрах на ПАХ моди, що мають значення швидкостей близькі до швидкості ПАХ, тому що паразитні відгуки цих мод у АЧХ фільтра безпосередньо прилягають до його смуги пропускання.

Розроблені способи подавлення ОАХ можуть бути спрямовані на те, щоб нижня поверхня звукопроводу була не паралельною до верхньої робочої поверхні [8, 9] або була неплоскою [10], що суттєво погіршує прийом ОАХ вихідним ЗШП. Можна погіршити умови поширення ОАХ їх розсіюванням системою мікротріщин, створених у об'ємі звукопроводу, наприклад, лазерним випромінюванням [11].

Найбільше способів подавлення ОАХ розроблено з метою максимального погіршення відбивання хвилі від нижньої поверхні звукопроводу. Для погіршення відбивання ОАХ і розсіювання цих хвиль нижню поверхню виконують шорсткою, і вона має або систему локальних пошкоджень площинності [12], або систему відносно неглибоких (у порівнянні з товщиною звукопроводу) періодично розташованих паралельних пазів різної або однакової глибини [13, 14].

Іноді елементи розсіювання ОАХ важко назвати просто пошкодженнями нижньої поверхні звукопроводу. Вони можуть бути дуже глибокими сліпими отворами у цій поверхні з глибиною, близькою

до товщини звукопроводу [15]. Система пошкоджень площинності нижньої поверхні може складатися не з багатьох елементів, як у попередніх випадках, а лише з двох сферичних заглиблень, розташованих безпосередньо під кожним ЗШП. Діаметри цих лунок дорівнюють розмірам перетворювачів [16]. Нарешті, елемент, що розсіює ОАХ, може бути єдиним у вигляді дуже глибокої клиноподібної канавки, прорізаної у нижній поверхні звукопроводу [17]. Якщо елементи розсіювання ОАХ глибокі [15, 17], їх дно наближують до верхньої поверхні звукопроводу до відстані лише у декілька довжин ПАХ (умови безперешкодного проходження ПАХ).

Більшість з вищезгаданих способів подавлення ОАХ [8–12, 15, 16] технологічно складні, і практично відсутня інформація про їх ефективність. Найчастіше у техніці ПАХ використовують спосіб [14]: систему паралельних пазів на нижній поверхні звукопроводу, розташованих під кутом 45° відносно напрямку поширення ПАХ.

Деякі різновиди ОАХ поширюються практично паралельно до робочої поверхні звукопроводу (малий кут θ), і для їх подавлення перешкоди, що заважають їх поширенню, мають бути максимально наближені до цієї верхньої поверхні. Це так звані псевдоповерхневі ОАХ. Найскладніше подавити найповільніші з них повільні квазизсувні хвилі, оскільки у АЧХ фільтра відгук, що відповідає цим хвилям, безпосередньо прилягає до смуги пропускання. Авторами [18] знайдено зріз $YXl/127, 86^\circ$ ніобату літію ($LiNbO_3$), у якому сигнал повільних квазизсувних ОАХ подавлений до значення -65 дБ відносно рівня сигналу ПАХ на середній частоті фільтра (надалі: "рівень подавлення ОАХ"). Застосування цього матеріалу одночасно, наприклад, з системою паралельних пазів [14] практично розв'язує задачу подавлення паразитних ОАХ, якщо не йдеться про високу температурну стабільність пристрою. Для термостабільних фільтрів застосовують кварц ST -зрізу, що не має властивостей попереднього матеріалу відносно найповільніших ОАХ.

Автори [17] досягли рекордного рівня подавлення ОАХ (-65 дБ) у фільтрі на кварці ST -зрізу завдяки застосуванню настільки глибокої клиноподібної канавки, що знадобилася спеціальна сталевна основа, на якій був закріплений звукопровід для його зміцнення.

2 Вузькосмуговий фільтр на поверхневих акустичних хвилях

Розглянемо вплив ОАХ на АЧХ вузькосмугового фільтра, виготовленого на звукопроводі з кварцу ST -зрізу.

На рис. 1 крива 1 — АЧХ фільтра без подавлення ОАХ. Параметри фільтра: середня частота 60 МГц, смуга пропускання 1% , апертура $28, 6\lambda_0$. Фільтр утво-

рено аподизованим ЗШП і ЗШП з фазовим зважуванням електродів. Розрахунковий відносний рівень позасмугового подавлення сигналу ПАХ складає -72 дБ.

Як бачимо, ОАХ суттєво, до -34 дБ, погіршують подавлення сигналу у верхній смузі подавлення.

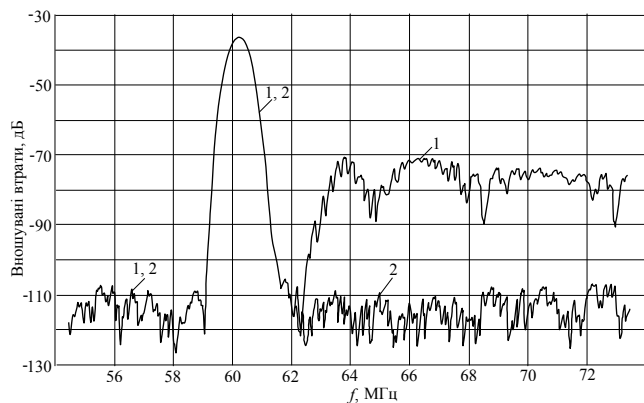


Рис. 1. АЧХ фільтра

Для подавлення ОАХ у фільтрах на кварці *ST*-зрізу практично завжди використовують систему паралельних пазів [14]. Ефективність цього способу нами було перевірено для досліджуваного вузькосмугового фільтра. Досліджували системи пазів, перпендикулярних до напрямку поширення ПАХ і розташованих під кутом 45° до цього напрямку з різними шириною, глибиною і періодом розташування.

Найкращий результат отримано у випадку нахилених на 45° пазів завширшки $9,5\lambda_0$ і глибиною $15,3\lambda_0$, що були нанесені з періодом $38,1\lambda_0$ на звукопровід завтовшки $26,7\lambda_0$ (просвіт між дном пазів і робочою поверхнею звукопроводу дорівнював $11,4\lambda_0$). Отриманий рівень подавлення ОАХ складав -56 дБ. Експерименти свідчать, що навіть досить глибокі пази не забезпечують подавлення ОАХ до рівня -60 дБ. Подальше збільшення глибини пазів неприпустиме з огляду на значне механічне ослаблення звукопроводу.

3 Хвильова неоднорідність спеціальної форми

Авторами запропоновано для розсіювання ОАХ створити у звукопроводі хвильову неоднорідність прорізуванням у нижній поверхні звукопроводу єдиної глибокої замкнутої канавки (рис. 2) [19].

Замкнута форма канавки сприяє практичному збереженню звукопроводом механічної міцності, властивій йому до прорізування неоднорідності, навіть за такої її глибини, що незачепленим лишається приповерхневий шар звукопроводу завтовшки лише у декілька λ_0 , необхідний для проходження ПАХ. Оскільки замкнута канавка може мати і кільцеву форму, то найбільш технологічно просто її можна прорізати алмазно-абразивним трубчастим свердлом.

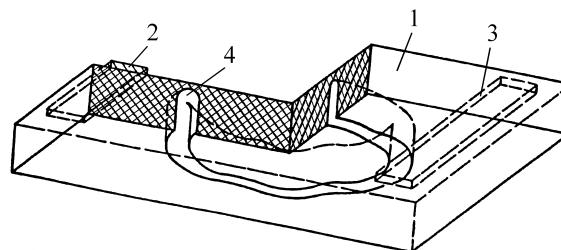


Рис. 2. ПАХ-фільтр з замкнутою канавкою у звукопроводі: 1 — звукопровід; 2, 3 — вхідний і вихідний ЗШП; 4 — канавка

Для перевірки ефективності запропонованого способу досліджено зразок фільтра на звукопроводі завтовшки 2 мм ($38,1\lambda_0$) з глибокою канавкою, діаметр якої був приблизно у 2 рази більшим за апертуру ЗШП, що складала $1,5$ мм ($28,6\lambda_0$). Глибина канавки h дорівнювала $1,53$ мм, тобто просвіт між дном канавки і робочою поверхнею звукопроводу t складав $0,47$ мм ($9,0\lambda_0$). Отриманий експериментально рівень подавлення ОАХ склав -70 дБ, що указує на високу ефективність запропонованого способу подавлення ОАХ.

4 Залежність подавлення об'ємних акустичних хвиль від параметрів хвильової неоднорідності

Для визначення необхідної глибини канавки авторами експериментально досліджено залежність рівня B подавлення ОАХ від глибини канавки. Результати дослідження наведено на рис. 3.

Графіки відображають рівні подавлення трьох характерних паразитних максимумів АЧХ фільтра (рис. 1, крива 1), що безпосередньо прилягають до його смуги пропускання. На рис. 3: крива 1 характеризує максимум на частоті приблизно 64 МГц, криві 2 і 3 — на частотах 66 і 70 МГц відповідно.

Графіки на рис. 3 свідчать про монотонні залежності рівня B від глибини канавки. Рівень B зменшується зі збільшенням значення h . Наведені залежності побудовані до значення $B = -72$ дБ, яке дорівнює розрахунковому рівню позасмугового подавлення сигналу ПАХ.

У цій дослідженні рівень подавлення ОАХ $B = -70$ дБ за графіками відповідає товщині просвіту $t = 6,8\lambda_0$. Дослідження різних зразків фільтрів виявили, що рівню $B = -72$ дБ відповідає значення $t = 6,5\lambda_0$.

Крива 2 на рис. 1 — АЧХ фільтра з канавкою у звукопроводі глибиною $h = 1660$ мкм ($t = 6,5\lambda_0$). Як бачимо, така неоднорідність забезпечує необхідний рівень подавлення ОАХ у верхній смузі подавлення АЧХ.

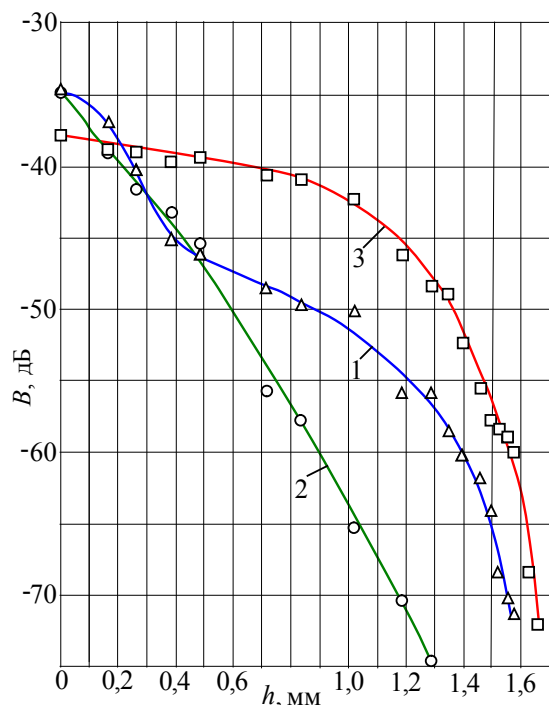


Рис. 3. Залежності рівня подавлення ОАХ від глибини канавки

У АЧХ ПАХ-фільтра присутні також паразитні відгуки, пов'язані з поширенням у звукопроводі швидких квазизсувних ОАХ і квазіподовжних ОАХ на частотах 97 і 110 МГц відповідно. Уведення у звукопровід кільцевої канавки практично не вплинуло на рівень подавлення відгуків, що відповідають цим ОАХ. Це пояснюється тим, що повільні квазизсувні ОАХ поширюються практично паралельно робочій поверхні звукопроводу, і канавка для них — значна перешкода. Швидкі квазизсувні і квазіподовжні ОАХ поширюються під великими кутами до робочій поверхні з багаторазовим відбиванням від поверхонь звукопроводу і оминають канавку. Зазначимо, що частотні відгуки цих хвиль далекі від смуги пропускання фільтра і у радіотракті, що містить ПАХ-фільтр, легко можуть бути подавлені іншими ланками тракту (насамперед — узгоджувальними). Крім того, ці ОАХ можна подавити системою паралельних пазів на нижній поверхні звукопроводу [14].

Висновки

Хвильова неоднорідність у вигляді замкнутої канавки, прорізаної у неробочій для ПАХ нижній поверхні звукопроводу фільтра, виявилася ефективною для подавлення найбільш шкідливих повільних квазизсувних ОАХ. Замкнута форма канавки сприяє практичному збереженню звукопроводом механічної міцності, властивій йому до прорізування неоднорідності, навіть за такої її глибини, що незачепленим лишається приповерхневий шар звукопроводу зав-

товшки лише у декілька λ_0 , необхідний для проходження ПАХ. За товщини цього приповерхневого шару $6,5\lambda_0$ – $9\lambda_0$ (для різних зразків фільтра) значення відносного рівня подавлення паразитного сигналу повільних квазизсувних ОАХ складає -70 дБ, що свідчить про високу ефективність запропонованого способу подавлення ОАХ.

Перелік посилань

1. Morgan D. Surface Acoustic Wave Filters With Applications to Electronic Communications and Signal Processing. Second edition / D. Morgan. — Amsterdam, ... Tokyo: Elsevier, 2007. — 429 p.
2. Warder P. Selecting filters for challenging mobile applications worldwide / P. Warder, N. Layus // Microwave Journal. — 2013. — № 11. — P. 96–106.
3. Cular S. Designs and Applications of Surface Acoustic Wave Sensors for Biological and Chemical Sensing and Sample Handling: Dissertation for the degree of doctor of philosophy / Cular Stefan; University of South Florida, 2008. — 251 p., <http://scholarcommons.usf.edu/etd/196>.
4. Wen C. Study on architecture and performances of dual track SAW device / C. Wen, Y. Ju, D. Yan et al. // Future Intelligent Information Systems. Edited by Zeng D. — Berlin: Springer, 2011. — Vol. 1. — P. 143–149.
5. Hashimoto Ken-ya. Surface Acoustic Wave Devices in Telecommunications: Modeling and Simulation / Ken-ya Hashimoto. — N. Y.: Springer, 2000. — 330 p.
6. Дмитриев В. В. Интегральные пьезоэлектрические устройства фильтрации и обработки сигналов: справ. пособие / В. В. Дмитриев, В. Б. Аксамбетов, Е. Г. Бронникова и др.; под ред. Б. Ф. Высоцкого, В. В. Дмитриева. — М.: Радио и связь, 1985. — 176 с.
7. Wagers R. S. Plate mode coupling in acoustic surface wave devices / R. S. Wagers R. S. // IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics. — 1976. — Vol. SU-23, № 2. — P. 113–127.
8. Авторское свидетельство СССР № 930587, МПК H03H 9/25. Фильтр на поверхностных акустических волнах / З. С. Василина, Е. Г. Левчук, Л. М. Смеркло. — Опубл. 23.05.1982.
9. Авторское свидетельство СССР № SU 1565326 A1, МПК H03H 9/00. Устройство на поверхностных акустических волнах / Ю. В. Бельский. — Опубл. 28.01.1988.
10. Авторское свидетельство СССР № 537438, МПК H03H 9/00. Фильтр ультразвуковых поверхностных волн / Т. С. Ившина, Ю. А. Клешнев. — Опубл. 30.11.1976.
11. Авторское свидетельство СССР № SU 1316533 A1, МПК H03H 9/25. Пьезоэлектрическое устройство на поверхностных акустических волнах / Ю. В. Лакиза, А. А. Малащенко, А. В. Мезенов, И. П. Овсичер, В. И. Шепшелей. — Опубл. 12.07.1985.
12. Patent USA no. US3887887 A, Int. Cl. H03H 9/30, 9/32, 9/26; U.S. Cl. 333/30 R, 29/25.35, 29/594, 7 310/95, 333/72. Acoustic bulk mode suppressor / R. S. Wagers, M. J. Birch, C. S. Hartmann, D. F. Weirauch. — publication date 03.06.1975.
13. Заявка Японии № 56-36807, МПК H03H 3/08. Способ изготовления монокристаллической подложки из тантала лития для элемента, передающего упругие поверхностные волны / Т. Сабура. — Опубл. 26.08.1981.

14. Patent USA, no. US4388600 A, Int. Cl. H03H 9/25, 9/02, 3/08; U.S. Cl. 333/151, 310/313.00R, 333/194. Surface acoustic wave device / K. Wakino, M. Kadota, T. Sato. — publication date 14.06.1983.
15. Авторское свидетельство СССР № SU 1457788 A1, МПК H03H 9/64. Фильтр на поверхностных акустических волнах / Ю. М. Брюханов, А. Г. Герман, К. В. Николаенко. — Оpubл. 08.04.1987.
16. Авторское свидетельство СССР № SU 1780146 A1, МПК H03H 9/46. Фильтр на поверхностных акустических волнах / А. В. Груздев. — Оpubл. 07.12.1992.
17. Слободник Э., Сабо Т., Лейкер К. Миниатюрные фильтры на поверхностных акустических волнах / Э. Слободник, Т. Сабо, К. Лейкер // ТИИЭР. — 1979. — Т. 67, № 1. — С. 147–166.
18. Сибаяма К., Яманути К., Сато Х., Мэгуро Т. Оптимально повернутый Y-срез кристалла LiNbO3 для подложек фильтров на поверхностных акустических волнах / К. Сибаяма, К. Яманути, Х. Сато, Т. Мэгуро // ТИИЭР. — 1976. — Т. 64, № 5. — С. 27–29.
19. Патент Российской Федерации № RU 2054791 C1, МПК H03H 9/64. Фильтр на поверхностных акустических волнах / А. А. Вернигор, Е. А. Нелин, Ю. В. Непочатых, В. И. Попсуй. — Оpubл. 20.02.1996.
- [10] Ivshina T. S. and Kleshnev Yu. A. (1976) *Fil'tr ul'trazvukovykh poverkhnostnykh voln* [Filter ultrasonic surface waves]. Patent SU 537438.
- [11] Lakiza Yu. V., Malashchenko A. A., Mezenov A. V., Ovsishcher I. P. and Shepshel' V. I. (1985) *P'ezoelektricheskoe ustroistvo na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh* [Surface acoustic wave piezoelectric device]. Patent SU 1316533 A1.
- [12] Wagers R. S., Birch M. J., Hartmann C. S. and Weirauch D. F. (1975) *Acoustic bulk mode suppressor*. Patent US 3887887 A.
- [13] Sabiura T. (1981) *Sposob izgotovleniya monokristallicheskoj podlozki iz tantalata litiya dlya elementa, peredayushchego uprugie poverkhnostnye volny* [The way of manufacturing a single crystal substrate of lithium tantalate for element which transmit elastic surface waves]. Patent JP 56-36807.
- [14] Wakino K., Kadota M. and Sato T. (1983) *Surface acoustic wave device*. Patent US 4388600 A.
- [15] Bryukhanov Yu. M., German A. G. and Nikolaenko K. V. (1987) *Fil'tr na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh* [Surface acoustic wave filter]. Patent SU 1457788 A1.
- [16] Gruzdev A. V. (1992) *Fil'tr na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh* [Surface acoustic wave filter]. Patent SU 1780146 A1.
- [17] Slobodnik A. J., Szabo T. I. and Laker K. R. (1979) Miniature surface-acoustic-wave filter. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 67, No. 1, pp. 129-146. DOI: 10.1109/PROC.1979.11209
- [18] Shibayama K., Yamanouchi K., Sato H. and Meguro T. (1976) Optimum cut for rotated Y-cut LiNbO3 crystal used as the substrate of acoustic-surface-wave filters. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 64, No. 5, pp. 595-597. DOI: 10.1109/proc.1976.10181
- [19] Vernigor A. A., Nelin E. A., Nepochatykh Yu. V. and Popsui V. I. (1996) *Fil'tr na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh* [Surface acoustic wave filter]. Patent RU 2054791 C1.

References

- [1] Morgan D. (2007) *Surface Acoustic Wave Filters With Applications to Electronic Communications and Signal Processing*. Second edition. Amsterdam, Tokyo, Elsevier, 429 p. DOI: 10.1016/b978-012372537-0/50001-7
- [2] Warder P. (2013) Selecting filters for challenging mobile applications worldwide. *Microwave Journal*, No. 11, pp. 96-106.
- [3] Cular S. (2008) *Designs and Applications of Surface Acoustic Wave Sensors for Biological and Chemical Sensing and Sample Handling*. Dr. philosophy diss. University of South Florida, 251 p.
- [4] Wen C., Ju Y., Yan D., Kang Y., Liu L. and Li W. (2011) *Study on architecture and performances of dual track SAW device*. Future Intelligent Information Systems. Edited by Zeng D., Berlin, Springer, vol. 1, pp. 143-149. DOI: 10.1007/978-3-642-19706-2_19
- [5] Hashimoto Ken-ya (2000) *Surface Acoustic Wave Devices in Telecommunications: Modeling and Simulation*. N. Y., Springer, 330 p. DOI: 10.1007/978-3-662-04223-6_8
- [6] Dmitriev V. V. ed., Akpambetov V. B., Bronnikova E. G. and Vysotskii B. F. ed. (1985) *Integral'nye p'ezoelektricheskie ustroistva fil'tratsii i obrabotki signalov* [Integral piezoelectric devices filtering and signal processing]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 176 p.
- [7] Wagers R. (1976) Plate mode coupling in acoustic surface wave devices. *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*, Vol. 23, No. 2, pp. 113-127. DOI: 10.1109/t-su.1976.30848
- [8] Vasilina Z. S., Levchuk E. G. and Smerklo L. M. (1982) *Fil'tr na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh* [Surface acoustic wave filter]. Patent SU 930587.
- [9] Bel'skii Yu. V. (1988) *Ustroistvo na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh* [Surface acoustic wave device]. Patent SU 1565326 A1.

Подавление объёмных волн в фильтре на поверхностных акустических волнах

Нелин Е. А., Непочатых Ю. В.

Приведён обзор способов подавления паразитных объёмных акустических волн (ОАВ) в фильтрах на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Наиболее эффективный из традиционных способов подавляет ОАВ до уровня -65 дБ, но механически ослабляет звукопровод фильтра. Проверена эффективность предложенного авторами способа подавления ОАВ с помощью волновой неоднородности специальной формы в узкополосном фильтре на ПАВ с предельно высоким уровнем неполюсного подавления. Исследована зависимость относительного уровня подавления паразитных медленных квазисдвиговых ОАВ от глубины волновой неоднородности в виде замкнутой канавки, прорезанной в нижней поверхности звукопровода фильтра. Показано, что такая волновая неоднородность позволяет подавить медленные квазисдвиговые ОАВ до уровня -70 дБ, что подтверждает высокую эффективность предложенного способа подавления ОАВ.

Ключевые слова: встречно-штыревой преобразователь; ВШП; объемные акустические волны; ОАВ; способы подавления паразитных ОАВ; медленные квазисдвиговые ОАВ; рассеивание ОАВ; волновая неоднородность; глубокая замкнутая канавка

Suppression of bulk waves in surface acoustic wave filter

Nelin E. A., Nepochatykh Yu. V.

Introduction. One of the dominant second order effects in devices based on surface acoustic waves (SAW) is the excitation of parasitic bulk acoustic waves (BAW). Attention is drawn to the lack of effectiveness of traditional BAW suppression ways. Traditional ways of suppressing the bulk acoustic waves. Provides an overview of how suppression of parasitic BAW to SAW filters. One way allows to reach a record level of BAW suppression (-65 dB) due to the significant mechanical weakening of the acoustic line of the filter. Narrowband surface acoustic wave filter. It is found that in the SAW filter with an extremely high level of out-of-band suppression (-72 dB) traditional ways do not provide the required level of suppression of BAW. Wave heterogeneity of

special shape. Tested the effectiveness of the authors proposed way of BAW suppression in a narrow-band SAW filter with an extremely high level of out-of-band suppression. A deep closed groove which is cut in the lower surface of the acoustic line of filter reduces the level of BAW to -70 dB, and the strength of the acoustic line of filter is almost not reduced. The dependence of suppression the bulk acoustic waves from the parameters of the wave heterogeneity. The dependence of the relative level (B) of suppression the slow quasi-shear bulk acoustic waves from the depth of the closed groove was investigated. It was found a monotonic increase in the level of B with increasing groove depth. Level $B = -70$ dB was obtained when the thickness of the gap between the bottom of the groove and the working surface of the acoustic line was (for different filter samples). **Conclusion.** The effectiveness of the authors proposed way of suppression the slow quasi-shear BAW in SAW filters is proved. A deep closed groove which is cut into the bottom surface of the acoustic line of filter can suppress slow quasi-shear BAW to a level of -70 dB.

Key words: interdigital transducer; IDT; bulk acoustic waves; BAW; parasitic BAW suppression ways; slow quasi-shear BAW; dispersion of the BAW; wave heterogeneity; closed deep groove