

---

# СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

---

## SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

---

---

УДК 621.37/39:534:621.396.6

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.2.282729>

### УКХ РАДІОТРАКТ З ФІЛЬТРОМ ПРОМІЖНОЇ ЧАСТОТИ І ЧАСТОТНИМ ДЕТЕКТОРОМ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

*Я. І. Леніх*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України  
при ОНУ імені І. І. Мечникова, e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### УКХ РАДІОТРАКТ З ФІЛЬТРОМ ПРОМІЖНОЇ ЧАСТОТИ І ЧАСТОТНИМ ДЕТЕКТОРОМ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

*Я. І. Леніх*

**Анотація.** В статті застосовано новий підхід до мікромініатюризації УКХ радіотракта з суттєвим покращенням його основних характеристик на основі акустоелектронних елементів на ПАХ. Зокрема, замість фільтра проміжної частоти (ПЧ), який у більшості випадків реалізується з допомогою «моточних» виробів (LC контурів) – ФЗС (фільтр зосередженої селекції) запропоновано фільтр на ПАХ, а замість такого ж традиційного частотного детектора (ЧД) – ЧД з фазозсувною лінією затримки (ЛЗ).

Обидва пристрої на ПАХ інтегровані в УКХ радіотракт, наведені основні характеристики тракта.

**Ключові слова:** УКХ радіотракт, акустоелектронні пристрої на поверхневих акустичних хвилях

### VHF RADIO PATH WITH INTERMEDIATE FREQUENCY FILTER AND FREQUENCY DETECTOR ON SURFACE ACOUSTIC WAVES

*Ya. I. Lepikh*

**Abstract.** The article applies a new approach to microminiaturization of the VHF radio path with a significant improvement of its main characteristics based on acoustoelectronic elements on SAW. In particular, instead of the intermediate frequency filter (IF), which in most cases is implemented with the help of "coil" products (LC circuits), the CSF (concentrated selection filter) is proposed to be a

filter on the characteristic curve, and instead of the same traditional frequency detector (FD) – a FD with by a phase-shifting delay line (DL).

Both SAW devices are integrated into the VHF radio path, the main characteristics of the path are given.

**Keywords:** VHF radio path, acoustoelectronic devices on surface acoustic waves

## Вступ

Акустоелектронні пристрої на поверхневих акустичних хвилях ПАХ, як відомо, відіграють суттєву роль в кардинальному покращенні характеристик радіоелектронної апаратури (РЕА) при вирішенні проблеми її мініатюаризації, особливо коли це стосується елементів частотно-часової селекції [1–3].

У радіотракті УКХ радіоприймачів різного призначення використовується частотно-модульований (ЧМ) сигнал, зокрема, в радіоприймачі FM діапазону – із центральною частотою  $f_0=10,7$  МГц та дев'ятикратною частотою  $f_m=50$  кГц. Якість радіоприймача при цьому характеризується величиною нелінійних спотворень сигналу, що визначається трактом проміжної частоти (ПЧ) та частотним детектором (ЧД).

Саме з метою поліпшення параметрів тракту на прикладі FM радіоприймача його характеристика формувалася фільтром ПЧ та ЧД на ПАХ, що було основною задачею в даній роботі.

## Результати і їх обговорення

Вихідними даними на проектування фільтра, крім зазначених вище, були вимоги мінімальних втрат ( $\leq 12$  дБ) і мінімальної ( $\leq 0,2$  мкс) нерівномірності групового часу запізнення (ГЧЗ) сигналу в смузі пропускання, що забезпечує мінімальні фазові спотворення сигналу.

Особливістю фільтра на ПАХ за вказаними технічними умовами, як найбільш важливого пристрою для формування амплітудно- і фазочастотних характеристик (АЧХ і ФЧХ), є необхідність задовільнення граничних технічних вимог для цього класу пристроїв: поєднання відносно низької робочої частоти –  $f_0=10,7$  МГц з вузькою полосою пропускання  $\Delta f=2\%f_0$ , а також мале значення нерівномірності групового часу запізнення

(ГЧЗ)  $\leq 0,2$  мкс і малі вносимі втрати  $\leq 12$  дБ. Як показав аналіз, оптимальним для такого фільтра матеріалом звукопровода може бути п'єзокераміка системи ЦТС (цирконат-титанат свинцю) марки ЦТС-42, який має великий коефіцієнт електромеханічного зв'язку  $k_p=0,27$  і малу швидкість поширення ПАХ- $2200$  м/с, що забезпечує малі вносимі втрати сигналу і малі габаритні розміри пристроїв на ПАХ. Разом з тим ЦТС-42 має велике значення діелектричної проникності  $\epsilon \approx 300$ , що призводить до значних величин ємностей зустрічно-штирьових перетворювачів (ЗШП).

Останнє ставить вимоги до вибору оптимальних рішень щодо конструкції ЗШП [4,5]. Найкращі результати досягаються використанням двох ЗШП, один з яких неаподизований з невеликою кількістю електродів, другий – аподизований зважуванням довжини електродів за функцією Хеммінга з проріджуванням ЗШП інтервалом  $3/2\lambda$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі (рис.1).

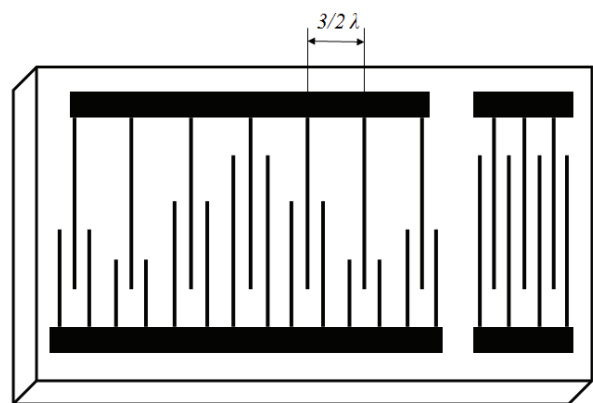


Рис. 1. Конструкція фільтра ПЧ на ПАХ.

З метою зменшення впливу дифракції на електричні характеристики фільтра мінімальне перекриття електродів аподизованого ЗШП  $L_{min}$  обмежувалось умовою:

$$L_{min} \geq (rV/f_B)^{1/2}, \quad (1)$$

$$L_{min} \geq (rV/f_b)^{1/2}, \quad (1)$$

де  $r$  – відстань між прийомним ЗШП і найбільш віддаленою від нього парою електродів з мінімальним перекриттям;

$V$  – швидкість поширення ПАХ;

$f_b$  – верхня гранична частота полоси пропускання фільтра.

Проектування ПАХ-фільтра здійснювалось з допомогою САПР, що дозволяє оптимізувати конструктивні рішення з забезпеченням необхідного технологічного запасу по основних параметрах. Використовувався акустопластинач з високою ефективністю придушення заводських сигналів ПАХ ( $\geq 50$ дБ/мм).

Тракт з ПЧ-фільтром на ПАХ виконаний із застосуванням інтегральної мікросхеми КІ74ХА6 (підсилювач-обмежувач, демодулятор) з двоконтурним фазозсувним ланцюгом у схемі ЧД. Фільтр був навантажений на навантаження 50 Ом, а його узгодження з елементами тракту здійснювалося з боку вихідного зустрічно-штирьового перетворювача однією низькодобротною котушкою індуктивності величиною  $\approx 1$  мкГн, яка може бути виконана у плівковому варіанті. Якість радіотракту визначається за ступенем нелінійних спотворень сигналу, що характеризуються коефіцієнтом гармонік тракту  $K_{ГТ}$ . Вимірювання коефіцієнта гармонік проводилося за двосигнальним методом.

Частотний детектор на ПАХ, побудований по схемі співпадіння таким чином, що функцію двоконтурної схеми фазозсувного ланцюга реалізує пристрій на ПАХ. Принцип роботи пристрою на ПАХ базується на отриманні різниці часу затримки сигналу на вихідних ЗШП, розташованих на різних відстанях від вхідного ЗШП розташованому між ними (рис. 2). По суті зсув по фазі між сигналами на вихідних ЗШП здійснюється фазозсувною лінією затримки відповідно до різниці відстані між ЗШП, яка дорівнює

$$\tau_3 = (k + 1/4) T_0, \quad (2)$$

де  $T_0$  – період коливань вхідного сигналу на робочій частоті;

$k$  – ціле число.

Лінійне детектування забезпечується при виконанні умови  $k < f_0/4f_m - 1/2$ .

Для проміжної частоти  $f_0 = 10,7$  МГц і частоти девіації  $f_m = 50$  кГц значення  $k$  лежить в діапазоні від 0 до 53.

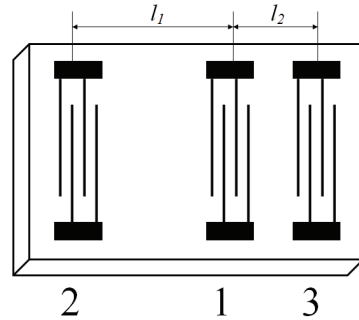


Рис. 2 Конструкція ЧД з ЛЗ на ПАХ. 1 – вхідний ЗШП, 2 і 3 – вихідні ЗШП.

Сигнал, який поступив на вхідний ЗШП, перетворюється таким чином, що на перетворювач подаються з вихідних ЗШП два сигнали з постійною на всіх частотах затримкою, якій відповідає зсув фази, пропорційний частоті. Тобто така ЛЗ на ПАХ являється перетворювачем ЧМ сигналу в фазомодульований (ФМ) сигнал.

На рис. 3 наведено залежності коефіцієнтів гармонік ЧД ( $K_{ГЧД}$ ) та тракту УПЧ-ЧМ ( $K_{ГТ}$ ) з ПАХ-фільтром, що демонструє досягнення високих результатів.

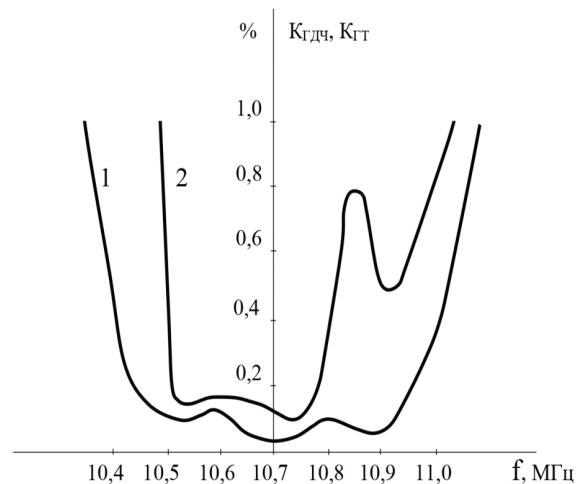


Рис. 3. Графіки коефіцієнтів гармонік частотного детектора  $K_{ГЧД}$ -1 і тракту ППЧ-ЧМ з фільтром на ПАХ  $K_{ГТ}$ -2 в полосі робочих частот.

Видно, що фільтр і ЧД ПАХ дозволяють досягти високих електричних параметрів. При цьому досягається висока стабільність основних характеристик, а також виграв у масі та габаритних розмірах відповідного вузла приблизно в 4 рази.

Створений за вказаним вище принципом радіотракт включений до схеми ЧМ-стереотюнера класу Hi-Fi, який пройшов необхідні види випробувань.

### Висновки

Результати розробки і досліджень фільтра і ЧД на ПАХ показали можливість досягнення високих функціональних характеристик радіотракту у відповідності до вимог мікромініатюризації радіоелектронної апаратури.

Реалізований принцип демодуляції сигналу може бути з успіхом використаний для інших пристроїв, зокрема, в системах автоматичного підлаштування частоти.

### Список використаної літератури

[1]. Morgan D. Surface Acoustic Wave Filters, With Applications to Electronic Communication and Signal Processing//Elsevier, 2007,– 448 p.

[2]. A. I. Belous, V. A. Pelipenko, A. S. Turcevich, S. V. SHvedov. Mirovye tendencii razvitiya mikroelektroniki i mesto respublik Belarus' v etom processe//Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature.– 2012, No. 4, S. 3–8. (In Russian).

[3]. Lepikh Ya. I., Hordiienko Yu. O., Dziadevych S. V., Druzhynyn A. O., Yevtukh A. A., Lienkov S. V., Melnyk V. H., Protsenko V. O., Romanov V. O. Intelktualni vymiriuvalni systemy na osnovi mikroelektronnykh datchykh novoho pokolinnia// Monohrafiya. Odesa: Astroprint.-2011.– 352 s. (In Ukrainian).

[4]. Lepikh Ya. I., Snihur P. O. Filtr na poverkhnevnykh akustychnykh khvyliakh// Vynakhid PU119703 Data podannia zaiavky: 23.10.2017, data, z yakoi ye chynnymy prava: 25.07.2019. (In Ukrainian).

[5]. Ya. I. Lepikh. Determination of the optimal physical and mathematical model and weight functions for calculating the topology of counterpane converters of surface acoustic waves // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. 2023 – Vol. 20, No. 1.-P. 11–18. (In Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 22.05.2023 р.

UDC621.37/39:534:621.396.6

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.2.282729>

## VHF RADIO PATH WITH INTERMEDIATE FREQUENCY FILTER AND FREQUENCY DETECTOR ON SURFACE ACOUSTIC WAVES

*Ya. I. Lepikh*

Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of MES and NAS of Ukraine  
at the Odesa I. I. Mechnikov National University  
E-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### Summary

VHF radio path is the basic radio-electronic element of many radio technical devices and information and communication systems. Their improvement from the viewpoint of improving electrical and operational characteristics, their stability and reliability is achieved by replacing individual nodes and elements built on new physical principles, in particular, on the basis of functional electronics. The most promising in this regard, as shown by research and the practice of using mass-

produced devices, are acoustoelectronic devices. For example, smartphones have become possible thanks to the use of more than a dozen devices on surface acoustic waves (SAW).

The article applies a new approach to microminiaturization of the VHF radio path with a significant improvement of its main characteristics based on acoustoelectronic elements on SAW. In particular, instead of the intermediate frequency filter (IF), which in most cases is implemented with the help of "coil" products (LC circuits) – CSF (concentrated selection filter), a filter on the characteristic curve is proposed, and instead of the same traditional frequency detector (FD) – a FD with by a phase-shifting delay line (DL).

**Keywords:** VHF radio path, acoustoelectronic devices on surface acoustic waves

УДК 621.37/39:534:621.396.6

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.2.282729>

## УКХ РАДІОТРАКТ З ФІЛЬТРОМ ПРОМІЖНОЇ ЧАСТОТИ І ЧАСТОТНИМ ДЕТЕКТОРОМ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

*Я. І. Леніх*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при ОНУ  
імені І. І. Мечникова  
E-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### Реферат

УКХ радіотракт (РТ) є базовим радіоелектронним елементом багатьох радіотехнічних пристроїв і інформаційно-комунікаційних систем. Удосконалення їх з позицій покращення електричних і експлуатаційних характеристик, їх стабільності і надійності досягається заміною окремих вузлів і елементів побудованими на нових фізичних принципах, зокрема, на основі функціональної електроніки. Найбільш перспективними в цьому відношенні, як показали дослідження і практика використання пристроїв серійного виробництва є акустоелектронні пристрої. До прикладу, смартфони стали можливими завдяки використанню в них понад десятка пристроїв на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ).

В статті застосовано новий підхід до мікромініатюризації УКХ радіотракта з суттєвим покращенням його основних характеристик на основі акустоелектронних елементів на ПАХ. Зокрема, замість фільтра проміжної частоти (ПЧ), який у більшості випадків реалізується з допомогою «моточних» виробів (LC контурів) – ФЗС (фільтр зосередженої селекції) запропоновано фільтр на ПАХ, а замість такого ж традиційного частотного детектора (ЧД) – ЧД з фазозсувною лінією затримки (ЛЗ).

**Ключові слова:** УКХ радіотракт, акустоелектронні пристрої на поверхневих акустичних хвилях