

ACOUSTOELECTRONIC SENSORS

АКУСТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ

УДК 621.391:534

DOI 10.18524/1815-7459.2016.4.86644

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВНЕСЕНИХ ВТРАТ СИГНАЛУ ВІД ЧАСТОТИ В ПРИБОРІХ НА ПАХ З П'ЄЗОКЕРАМІЧНИМ ЗВУКОПРОВОДОМ

Я. І. Лепіх

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при
Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова
ndl_lepikh@onu.edu.ua

ЗАЛЕЖНОСТІ ВНЕСЕНИХ ВТРАТ СИГНАЛУ ВІД ЧАСТОТИ В ПРИБОРІХ НА ПАХ З П'ЄЗОКЕРАМІЧНИМ ЗВУКОПРОВОДОМ

Я. І. Лепіх

Анотація. У роботі наведені результати досліджень залежності внесених втрат сигналу від частоти і ширини смуги пропускання у пристроях на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) з п'єзокерамічними звукопроводами. Описано методику експерименту. Досліджена п'єзокераміка системи цирконат-титанат свинцю (ЦТС) різних марок у складі ліній затримки на ПАХ. Як перетворювачі ПАХ використані неаподизовані еквідистантні зустрічно-штирьові перетворювачі (ЗШП). Визначено діапазон частот із прийнятними для пасивних пристроїв на ПАХ внесеними втратами, а також з оптимальною відносною смугою пропускання.

Ключові слова: пристрої на ПАХ, п'єзокераміка, частота, внесені втрати

DEPENDENCE OF A SIGNAL BROUGHT LOSSES ON FREQUENCY IN DEVICES ON SAW WITH PIEZOCERAMICS ACOUSTIC DUCT

Ya. I. Lepikh

Abstract. Researches of signal brought losses dependence of devices on SAW with piezoceramics acoustic duct on frequency and width of a pass band are given. The technique of experiment is described. Piezoceramics of lead zirconate-titanate system of various marks in structure of delay line on SAW have been investigated. As SAW converters nonapodized equidistant interdigital converters have been used. The range of frequencies with acceptable for passive mechanisms on SAW brought losses, and with an optimum relative passband also is determined.

Keywords: devices on SAW, piezoceramics, frequency, brought losses

ЗАВИСИМОСТИ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ СИГНАЛА ОТ ЧАСТОТЫ В УСТРОЙСТВАХ НА ПАВ С ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИМ ЗВУКОПРОВОДОМ

Я. И. Лепих

Аннотация. В работе приведены результаты исследований зависимости вносимых потерь сигнала устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с пьезокерамическими звукопроводами от частоты и ширины полосы пропускания. Описана методика эксперимента. Исследована пьезокерамика системы цирконат-титанат свинца различных марок в составе линий задержки на ПАВ. В качестве преобразователей ПАВ использованы неаподизированные эквидистантные встречно-штыревые преобразователи. Определен диапазон частот с приемлемыми для пассивных устройств на ПАВ вносимыми потерями, а также с оптимальной относительной полосой пропускания.

Ключевые слова: устройства на ПАВ, пьезокерамика, частота, вносимые потери

Вступ

Як відомо, одним з найважливіших параметрів пристроїв на ПАХ є внесені втрати сигналу, що крім дифракції і відхилення акустичного пучка визначаються втратами, пов'язаними з поширенням акустичної хвилі в звукопроводі. Втрати обумовлені дифракцією і відхиленням пучка можна усунути або зменшити конструктивно-технологічними методами. Що стосується втрат на поширення обумовлених частотним механізмом, то для монокристалів LiNbO_3 , YZ-зрізу і SiO_2 ST- і X-зрізів ця задача вирішена [1]. Для частот діапазону сотні мегагерц – одиниці гігагерц без повітряного навантаження на робочу поверхню звукопроводу з LiNbO_3 , YZ-зрізу залежність втрат сигналу β від частоти f має вигляд

$$\beta \approx 0,19f + 0,88f^{1,9}, \quad (1)$$

а для SiO_2 ST-зрізу

$$\beta \approx 0,47f + 2,62f^2. \quad (2)$$

Тут β – у дБ/мкс. Розрахунки показують, що для більш низького діапазону частот втратами на поширення в монокристалах можна нехтувати. Наприклад [2], для ліній затримки (ЛЗ) на частоті 70 МГц і з часом затримки $\tau = 60$ мкс втрати складають 2,52 дБ.

Зовсім інша ситуація з втратами на поширення в полікристалічних матеріалах, область застосування яких у пристроях на ПАХ стрімко розширюється.

В даній роботі ставилася задача експериментального дослідження залежності внесених

втратам сигналу від частоти і полоси пропускання у п'єзокерамічних звукопроводах різних марок.

Дослідження й обговорення результатів

Для п'єзокераміки, у силу фізичних причин, дифракційні втрати і втрати, що виникають унаслідок відхилення акустичного пучка не властиві. У той же час істотну вагу мають втрати на поширення, пов'язані з фононою взаємодією ПАХ з дислокаціями і розсіюванням, обумовленим структурою матеріалу, тобто розсіюванням на границях зерен і пір. Теоретично ця непроста задача вирішена [2, 3] для кристалітів гексагональної і кубічної структури. Для кубічних кристалітів у випадку $\lambda > 2\pi D$, де λ – довжина хвилі, D – середній лінійний розмір кристаліта, коефіцієнт розсіювання $\beta_e \sim D^3 f^4$, тобто розсіювання носить релеєвський характер, а для випадку $\lambda > 2\pi D$, відповідно – $\beta_e \sim D^3 f^2$.

Що стосується частотної смуги пропускання пристрою, то оптимальне її значення для звичайного еквідистантного ЗШП визначається [4] зі співвідношення

$$(\Delta f / f_0) = 2(K_p^2 / \pi)^{1/2}, \quad (3)$$

де Δf – смуга пропускання; f_0 – центральна частота.

З (3) випливає, що сильні п'єзоелектрики, до яких відноситься насамперед п'єзокераміка, є більш прийнятними не для вузькополосних, а для широкополосних пристроїв. Внесені втрати сигналу, виходячи з умов електричного узгодження, визначаються [1, 5] для оптимальної апертури ЗШП як

$$L(\text{дБ}) = 20 \lg 2G_L / [G_L + (2\pi f_0 C_0)^2]. \quad (4)$$

де G_L – провідність випромінювання ЗШП, рівна

$$G_L = (4/\pi) K_p^2 (2\pi f_0 C_0) N^2 W_{\max}; \quad (5)$$

C_0 – статична ємність ЗШП, що дорівнює

$$C_0 = MW_{\max} \varepsilon_s (\sin m\pi/2) / K (\cos m\pi/2);$$

де M – число пар електродів ЗШП; W_{\max} – максимальна апертура ЗШП;

K – еліптичний інтеграл першого роду;
 m – коефіцієнт металізації поверхні звукопровода.

З (4) і (5) видно, що внесені втрати пов'язані з умовами узгодження ЗШП і прямо пропорційно залежать від діелектричної проникності діелектрика. Таким чином, у загальні внесені втрати в сильних п'єзоелектриках полікристалічної структури, до яких відноситься п'єзокераміка, істотний внесок вносять два фактори – фізичні властивості матеріалу і його структура.

Нами проведені дослідження залежності внесених втрат від робочої частоти ПАХ і від відносної ширини смуги пропускання ЗШП для п'єзокераміки марок ЦТС-42, ПКР-53 (М) і PZT-2 (Murata, Японія). Дослідження проводилися на ЛЗ на ПАХ. Збудження і прийом ПАХ здійснювалося за допомогою двох неаподизованих ЗШП. Вхідний ЗШП був виготовлений широкополосним, що забезпечує відносну ширину смуги пропускання $\Delta f / f_0 = 10\%$, з періодом розстановки електродів рівним $\lambda/2$. Вихідний перетворювач у цілому забезпечував смугу $\Delta f / f_0 = 1\%$. Для зниження ємнісних втрат і спрощення узгодження з елементами вимірювальної схеми вихідний ЗШП був виготовлений з періодом розстановки електродів рівним pt/λ . Створення більш вузької смуги пропускання шляхом збільшення числа пар електродів і довжини вихідного перетворювача обмежувалося зростанням спотворень АЧХ, пов'язаних з перебудиттям від електродів ЗШП і складністю узгодження за імпедансами через великі ємності ЗШП (великі значення діелектричної проникності ε_s п'єзокераміки). Апертура перетворювачів вибиралася з умови мінімальних дифракційних втрат і складала 30λ , а відстань від вхідного ЗШП до найближчої секції вихідного, з метою зменшення сигналу прямого проходження, – 50λ .

Для зручності вимірів вихідний еквідистантний ЗШП був розділений на окремі секції, причому секції підключалися до навантаження паралельно в різному сполученні, а вся ЛЗ монтувалася на перехідній платі (рис. 1). Перехідна плата з ЛЗ підключалася до вимірювальної схеми. АЧХ ЛЗ вимірялася за допомогою приладу для дослідження АЧХ типу XI-49. Зміна ширини смуги пропускання ЛЗ здійснювалося зміною кількості пар електродів вихідного ЗШП

на ЛЗ з одного матеріалу шляхом послідовного відключення його секцій. А робоча частота у вихідному ЛЗ змінювалася зміною кроку розстановки електродів у вихідному ЗПШ ЛЗ на тому ж матеріалі звукопроводу. Надалі все повторювалося з заміною ЛЗ з іншим матеріалом звукопроводу на вимірювальній платі (рис. 1). Втрати сигналу вимірювалися як зміна величини його амплітуди на виході ЛЗ при постійному вхідному сигналі в залежності від зміни частоти при постійній смузі пропускання і навпаки.

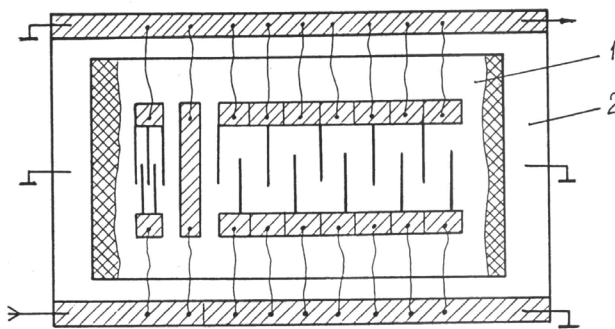


Рис. 1. Досліджувана ЛЗ на ПАХ із платою.
1 – ЛЗ, 2 – плата.

Експериментальні дослідження втрат показали (рис. 2), що для п'єзокераміки ЦТС-42 і ПКР-53 (М) поблизу частоти 30 МГц має місце різке їхнє зростання і досягає на цій частоті 10 дБ/см. Тому, виходячи з умов необхідності малих втрат, використовувати п'єзокераміку цих марок у пристроях, насамперед у фільтрах і ЛЗ, доцільно на робочих частотах не перевищуючих 30 МГц. На рис. 2, крива 3, показана також залежність втрат для п'єзокераміки PZT-2 виробництва фірми Murata, Японія. Для неї різке зростання втрат настає при більш високих частотах – 45 МГц.

Причиною настільки істотних відмінностей частотних залежностей внесених втрат сигналу для п'єзокерамік ЦТС-42 і ПКР-53(М) з однієї сторони і для п'єзокераміки PZT-2, очевидно, є відмінність структури матеріалів. З ростом частоти сигналу зменшується λ і при деяких її значеннях (~ 30 МГц для ЦТС-42 і ПКР-53(М), і 45 МГц – для PZT-2) близьких до характерного розміру зерна (комірки) починає позначатися резонансний механізм розсіювання акустичної хвилі на зернах кераміки, що призводить до різкого зростання втрат на поширення.

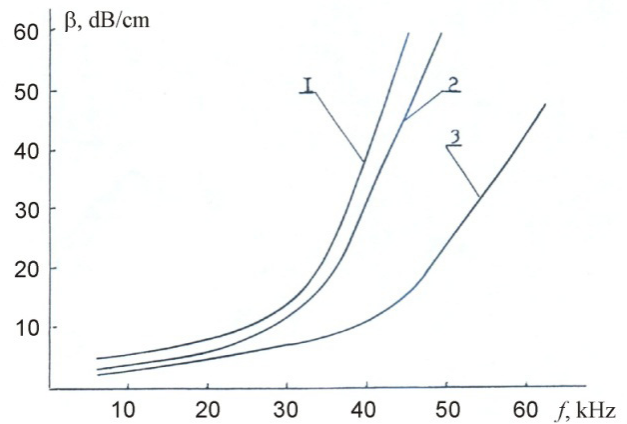


Рис. 2. Залежність внесених втрат у п'єзокераміці від частоти. 1- ЦТС-42, 2 - ПКР-53 (М), 3 - PZT-2.

Як показали дослідження структури матеріалів за допомогою електронної мікроскопії п'єзокераміка PZT-2 має більш дрібну зернистість, меншу пористість і велику щільність структури (рис. 3), ніж кераміка ЦТС і ПКР (рис. 4).

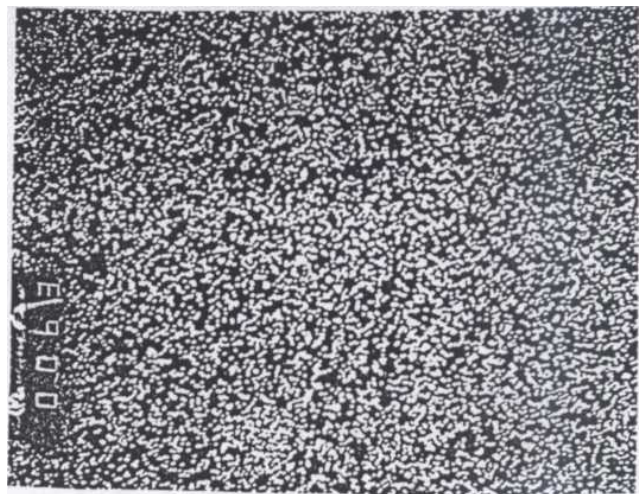


Рис. 3. Структура приповерхневого шару п'єзокераміки PZT-2 (збільшення x400, дозвільна здатність 0,7 мкм, поле зору 400 мкм).

Для п'єзокерамічних матеріалів пористість є важливим структурним параметром, що визначає не тільки їхні акустичні характеристики, насамперед втрати акустичної хвилі на поширення, але і електрофізичні параметри. Наприклад,



Рис. 4. Структура приповерхнього шару п'єзокераміки ЦТС-42 (збільшення $\times 400$, дозвольна здатність 0,7 мкм, поле зору 400 мкм).

коефіцієнт електромеханічного зв'язку K_p у матеріалів з більшою пористістю відповідно – великим розміром зерна, вище, ніж у більш щільних матеріалів. Це пояснюється, зокрема, тим, що в процесі поляризації в п'єзокераміці з більшою пористістю переорієнтації піддається більше число 70-градусних і 90-градусних доменів, унаслідок чого зростають п'єзомодулі матеріалу [6]. Дослідження пористості п'єзокераміки показали наступні результати: ЦТС-42 - 6%, ПКР-53 (М) - 6%, PZT-2 - 4%.

Характер експериментальних залежностей втрат від частоти (рис. 2) якісно близький до отриманого теоретично [7] для кристалів із сильною анізотропією пружних модулів третього порядку, що підтверджує зазначений механізм втрат. Залежність втрат від ширини полоси пропускання для п'єзокераміки також має свої особливості. Рис. 5 демонструє характер зміни внесених втрат ЛЗ від ширини смуги пропускання для п'єзокераміки ЦТС-42.

Видно, що розширення смуги пропускання веде до зростання внесених втрат. Аналогічні залежності для п'єзокерамік ПКР і PZT-2.

На рис. 6 наведені графіки залежності внесених втрат від відносної ширини смуги пропускання ЛЗ на різних частотах для марок п'єзокераміки, що досліджувалися, отримані за описаною вище методикою.

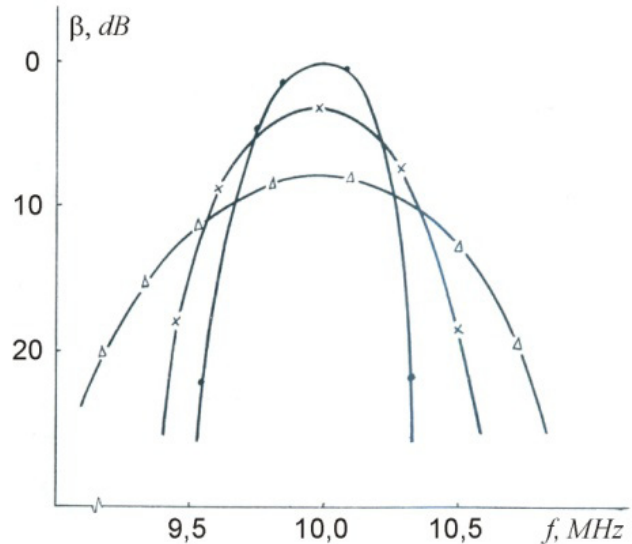


Рис. 5. Характер зміни внесених втрат у п'єзокераміці ЦТС-42 у залежності від ширини смуги пропускання.

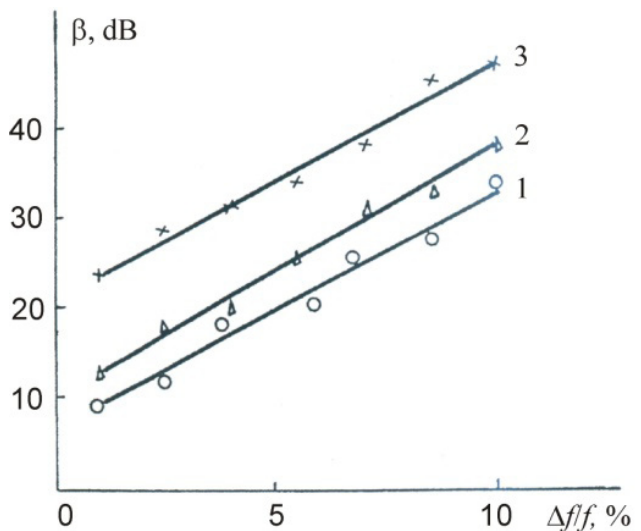


Рис. 6. Залежність внесених втрат β від відносної ширини смуги пропускання для ЦТС-2 на різних частотах. 1 – 10 МГц, 2 – 20 МГц, 3 – 40 МГц.

Видно, що для п'єзокераміки ЦТС-42 залежність носить лінійний характер у широкому діапазоні частот. Причому при $f_0=10$ МГц і $\Delta f/f_0=1\%$ внесені втрати складають ~ 10 дБ, а при $\Delta f/f_0=10\%$ і тій же частоті – 28 дБ. Із зростанням частоти при незмінному значенні $\Delta f/f_0$ внесені втрати також збільшуються.

Результати і висновки

Отримано залежності внесених втрат сигналу на основній частоті пристрою на ПАХ

з п'єзокерамічними звукопроводами частоти і смуги пропускання. Для п'єзокерамік типу ЦТС-42 і ЦТС-53 (М) внесені втрати різко зростають поблизу 30 МГц і досягають на цій частоті до 10 дБ/см. Для п'єзокераміки PZT-2 (Murata Японія) різке зростання втрат настає після 45 МГц.

Залежність внесених втрат від ширини смуги пропускання пристрою ПАХ носить лінійний характер для марок п'єзокераміки, що досліджувалися, і збільшуються зі збільшенням ширини смуги.

Список використаної літератури

[1] Morgan D. Ustrojstva obrabotki signalov na poverhnostnyh akusticheskikh volnah. Per. s angl, pod red. S. I. Baskakova.-M.: Radio i svyaz', 1990.- 416 s. (*in Russian*).

[2] Hart D., Lote I. Teoriya dislokacij. Per. s angl, pod red. E.H. M. Nadgornogo,- M. Atomizdat, 1972.- 600 s. (*in Russian*).

[3] Poverhnostnye akusticheskie volny. Pod red. A. Olinera. Per. s angl. pod red. I. S. Reza.-M.:

Mir, 1981. – 390 s. (*in Russian*).

[4] Fil'try na poverhnostnyh akusticheskikh volnah. Raschet tekhnologiya i primenenie: Per. s angl. / Pod red. M. Mett'yuza.-M.: Radio i svyaz', 1981. – 472 s. (*in Russian*).

[5] Smith W. R., Redler W. E. Fundamental and Harmonic-Frequence Circuit-Model Analysis of Metallisation Ration and Polarity Seguenes // IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques.-1975. – V. MMT.-28. – No. 1 1. – p.853-864.

[6] Lepikh Ya. I. Physical mechanism of temperature oscillations in ferroelectric ceramics conduction // Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. – 2000. – V. 3. – No. 3. – P. 308-310.

[7] Ivanov C. N., Kozorezov A. G., Medved' A. V. i dr. Pogloshchenie akusticheskikh voln v kristallah YA103; i Y0,9Lu0,1 xAl3 // FTT-1989.- T.31, Vyp. 2.-S. 13-18. (*in Russian*).

Стаття надійшла до редакції 16.11.2016 р.

UDC 621.391:534

DOI 10.18524/1815-7459.2016.4.86644

DEPENDENCE OF A SIGNAL BROUGHT LOSSES ON FREQUENCY IN DEVICES ON SAW WITH PIEZOCERAMICS ACOUSTIC DUCT

Ya. I. Lepikh

*Interdepartmental scientific-educational physics and technical centre of MES and NAS of Ukraine at the Odessa I. I. Mechnikov National University,
2, Dvorianskaya str., Odessa, 650082, Ukraine
ndl_lepikh@onu.edu.ua*

Summary

Investigations of signal brought losses dependence of devices on SAW with piezoceramics acoustic duct on frequency and width of a pass band are given. The technique of experiment is described. Piezoceramics of lead zirconate-titanate system of various marks in structure of delay line (DL) on SAW have been investigated. As SAW converters nonapodized equidistant interdigital converters have been used.

Investigations of different marks ceramic surface structure are carried out and its connection with the size of losses is shown.

Diagrams of brought losses dependence on relative DL pass band width on various frequencies for investigated piezoceramics are shown.

The range of frequencies with acceptable for passive mechanisms on SAW brought losses, and with an optimum relative pass band also is determined.

Investigations of losses have shown, that for pizoceramics PZT-42 and PZT-53 (M) near to frequency 30 MHz their sharp increase takes place and achieves at this frequency 10 dB/cm. Therefore, under the conditions of necessity of small losses to use pizoceramics of these marks in devices, first of all in filters and DL, is expedient on working frequencies not exceeding 30 MHz.

Dependence of brought losses on width of a pass band of the SAW device has linear character for investigated piezoceramics marks.

Keywords: devices on SAW, piezoceramics, frequency, brought losses

УДК 621.391:534

DOI 10.18524/1815-7459.2016.4.86644

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВНЕСЕНИХ ВТРАТ СИГНАЛУ ВІД ЧАСТОТИ В ПРИСТРОЯХ НА ПАХ З П'ЄЗОКЕРАМІЧНИМ ЗВУКОПРОВОДОМ

Я. І. Леніх

*Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при
Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова
ndl_lerikh@onu.edu.ua*

Реферат

У роботі наведені результати досліджень залежності внесених втрат сигналу від частоти і ширини смуги пропускання у пристроях на ПАХ з п'єзокерамічними звукопроводами. Описано методику експерименту. Досліджена п'єзокераміка системи цирконат-титанат свинцю (ЦТС) різних марок у складі ліній затримки (ЛЗ) на ПАХ. Як перетворювачі ПАХ використані неаподизовані еквідистантні зустрічно-штирьові перетворювачі (ЗШП). Проведені дослідження структури поверхні кераміки різних марок і показано зв'язок її з величиною втрат.

Наведені графіки залежності внесених втрат від відносної ширини смуги пропускання ЛЗ на різних частотах для різних марок п'єзокераміки.

Визначено діапазон частот із прийнятними для пасивних пристроїв на ПАХ внесеними втратами, а також з оптимальною відносною смугою пропускання.

Дослідження втрат показали, що для п'єзокераміки ЦТС-42 і ПКР-53 (М) поблизу частоти 30 МГц має місце різке їхнє зростання і досягає на цій частоті 10 дБ/см. Тому, виходячи з умов необхідності малих втрат, використовувати п'єзокераміку цих марок у пристроях, насамперед у фільтрах і ЛЗ, доцільно на робочих частотах не перевищуючих 30 МГц.

Залежність внесених втрат від ширини смуги пропускання пристрою ПАХ носить лінійний характер для різних марок п'єзокераміки.

Ключові слова: пристрої на ПАХ, п'єзокераміка, частота, внесені втрати