

АКУСТОЕЛЕКТРОНІ КА

№4

Прилади акустoeлектроніки

**Перетворювачі. Детектори. Відбивачі. Концентратори.
Відгалужувачі.**

Загальні положення

Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20\lg(U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВИХ}}),$$

де $U_{\text{ВХ}}$ та $U_{\text{ВИХ}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

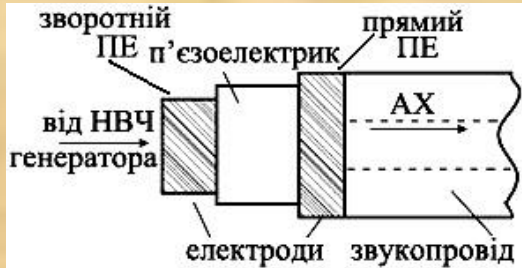
Елементи акустоелектроніки

Основні елементи приладів акустоелектроніки:

- Електроакустичні перетворювачі:** здійснюють перетворення енергії електромагнітних хвиль від генератора НВЧ в енергію АХ та навпаки при детектуванні
- Звукопроводи:** середовище поширення АХ
- Відбивачі енергії АХ**
- Резонатори**
- Багатосмушкові електродні структури**
- Хвилеведучі структури** поширення АХ
- Концентратори енергії**
- Фокушуючі та керуючі елементи.**

Збудження та реєстрація пружних хвиль

Перетворювачі енергії об'ємних АХ



Перетворювач енергії ОАХ складається із п'єзоелектрика та двох металевих електродів, які нанесено на його торці. Переріз пучка хвиль визначається зовнішнім електродом. Орієнтації п'єзоелектрика така, що збуджувалась необхідна пружна хвиля (наприклад, чиста мода вздовж вісі звукопроводу). Навіщо перший п'єзоелектрик? В ньому модулюється необхідний напрямок поширення ОАХ в звукопроводі.

Загальний частотний діапазон перетворювачів ОАХ становить 10 МГц – 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (п'єзоелектричні).

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки t визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{вх}/U_{вих}),$$

де $U_{вх}$ та $U_{вих}$ напруги на входному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot t$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні прилади — всіх відбувається лінійне перетворення сигналів (лінійні затримки, фільтри, резонатори),
- активні прилади приладів (силовачі),
- нелинійні прилади (генератори, корелятори, модулятори, пом'якшувачі).

Тип хвиль	Матеріал	K	$(\Delta f / f_0)_{max}$, %
Поздовжні	LiNbO ₃	0,49	44
	кварц	0,1	8
	п'єзокераміка	0,51	46
Поперечні	LiNbO ₃	0,62	56
	кварц	0,1	9
	п'єзокераміка	0,7	63

Типи перетворювачів ОАХ для різних частот:

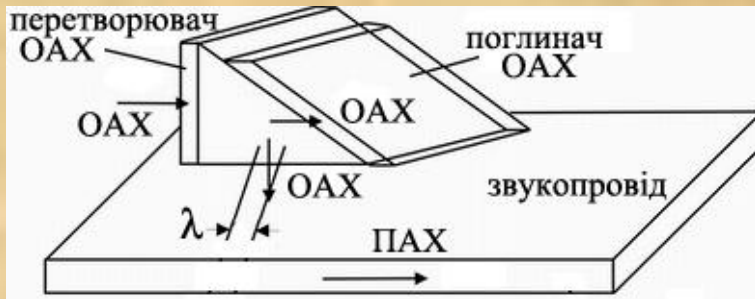
- П'єзоелектричні перетворювачі (пластини) - на частотах до 100 МГц
- П'єзонапівпровідникові перетворювачі (дифузійні або з запіраючим шаром) - на частотах 50 ÷ 300 МГц
- Плівкові перетворювачі - на частотах понад 300 МГц
- занурення торцю звукопроводу в НВЧ резонатор – на частотах до 2 ГГц

Збудження поверхневих АХ

Основна ідея: збудження ПАХ полягає в підведенні до поверхні звукопроводу змінного у часі збурення, яке створює в звукопроводі механічні зміщення – ПАХ. Просторовий період цього зовнішнього збурення має дорівнювати довжині хвилі ПАХ, яку хочемо збудити.

Методи збудження ПАХ:

- Трансформація енергії ОАХ в енергію ПАХ
 - Безпосереднє збудження поверхневих АХ перетворювачем
- ### Методи збудження ПАХ через трансформацію ОАХ в ПАХ



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

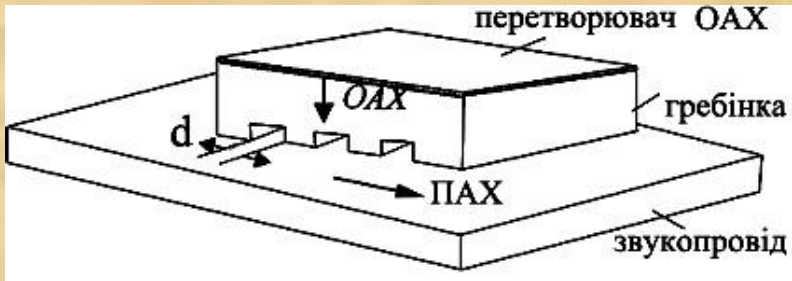
$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}),$$

де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

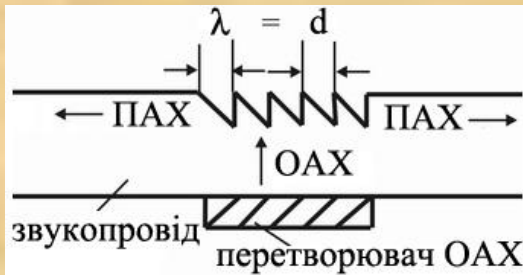


Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:
 -малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
 -доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:
 -робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
 -смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
 -час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
 -вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$L = 20 \lg(U_{ВХ}/U_{ВИХ})$,
 де $U_{ВХ}$ та $U_{ВИХ}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,
 -інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.
Класифікація приладів акустоелектроніки:
 -пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
 -активні лінійні прилади (підсилювачі),
 -нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:
 -малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
 -доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:
 -робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
 -смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
 -час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
 -вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$L = 20 \lg(U_{ВХ}/U_{ВИХ})$,
 де $U_{ВХ}$ та $U_{ВИХ}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,
 -інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.
Класифікація приладів акустоелектроніки:
 -пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
 -активні лінійні прилади (підсилювачі),
 -нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

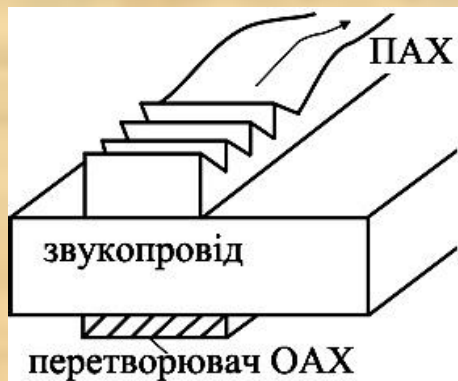


Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:
 -малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
 -доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:
 -робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
 -смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
 -час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
 -вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$L = 20 \lg(U_{ВХ}/U_{ВИХ})$,
 де $U_{ВХ}$ та $U_{ВИХ}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,
 -інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.
Класифікація приладів акустоелектроніки:
 -пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
 -активні лінійні прилади (підсилювачі),
 -нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).



Використання **симетричних канавок при переході в хвилевід**. Різниця з системою канавок полягає, в тому, що: **збуджується тільки одна ПАХ та енергія ПАХ спрямовується (каналюється) в хвилевід**.

Всі ці перетворювачі використовуються для збудження АХ в п'єзоелектричних та неп'єзоелектричних кристалах. Їх недоліки:

- невисока ефективність перетворення,
- технологічна несумісність з планарною технологією,
- конструктивна складність.

Це **обмежує** їх використання верхню частотою в 20 МГц.

Безпосереднє збудження поверхневих АХ

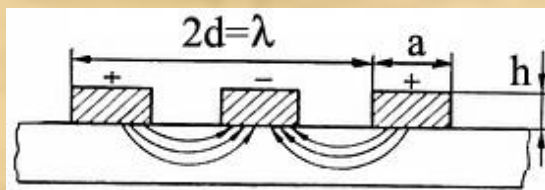
Безпосереднє збудження ПАХ полягає в наступному: до поверхні звукопроводу підводиться змінне в часі збурення (від генератора НВЧ), яке створює в матеріалі звукопроводу зміщення вузлів кристалічної ґратки – які і є ПАХ.

Важливим є таке: збудження ПАХ є найбільш ефективним, коли просторовий період зовнішнього збурення співпадає з довжиною хвилі ПАХ.



- двофазний зустрічно-штиревий перетворювач (ЗШП) (запропоновано 1965 р. Уайтом та Вольтмером, США). ЗШП складається з двох гребінчастих підсистем електродів, які вставляють одна в другу та наносять на поверхню звукопроводу.

Різниця потенціалів, що прикладається до цих електродів, створює змінне електричне поле - воно призводить до виникнення різних типів ПАХ. Двофазний ЗШП є двонаправленим - він збуджує дві ПАХ, які поширюються у взаємно протилежних напрямках (по 50% енергії) та випромінюються перпендикулярно до штирів перетворювача.



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц + 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздожні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

-малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
-доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

-робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)

-смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача

-час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ

-вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$L = 20 \lg(U_{вх}/U_{вих})$,

де $U_{вх}$ та $U_{вих}$ напруг на входному та вихідному перетворювачах,

-інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

-пасивні лінійні прилади — в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінійні затримки, фільтри, резонатори),

-активні лінійні прилади (підсилювачі),

-нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

ЗШП працює, використовуючи, зворотній п'єзоелектричний ефект.

Загальний **частотний діапазон** приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{ВХ}/U_{ВІХ}),$$

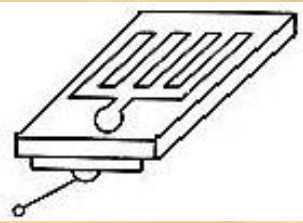
де $U_{ВХ}$ та $U_{ВІХ}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

Однофазний ЗШП



- гребінка штирів (перший електрод) знаходиться на одній з поверхонь звукопроводу, а металева смужка (другий електрод) - на іншій (це є недолік - треба ретельно обробляти обидві поверхні звукопроводу на відміну від двофазного ЗШП).

Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

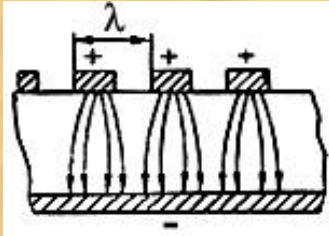
$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}),$$

де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на входному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

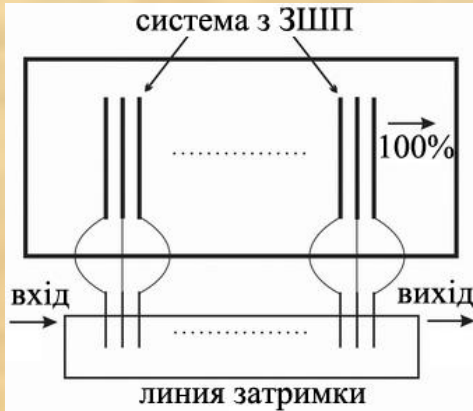


Трифазний ЗШП



Різні пари електродів живляться з деяким зсувом за фазою, який підбирається так, щоб в оберненому напрямку умови синфазності для ПАХ не виконувались. В результаті трифазний ЗШП спрямовує 75% всієї енергії ПАХ в одну сторону.

Багатофазний збуджувач ПАХ



- створюється з метою збільшення смуги пропускання Δf та досягнення однонаправленості збудженої ПАХ. **Кожна з пар електродів ЗШП живиться від окремого відводу ліній затримки.** Час затримки між сусідніми відводами дорівнює часу поширення ПАХ між сусідніми електродами ЗШП. Цей різко несиметричний збуджувач енергії ПАХ забезпечує **100%** однонапрявленість збудження ПАХ.

ЗШП може використовуватись для збудження ПАХ не тільки в п'єзоелектричних, але й у неп'єзоелектричних кристалах. Для цього використовують п'єзоелектричні **пластини чи плівки, які розміщують або на поверхні звукопроводу або ж над ЗШП** за допомогою різного типу ЗШП:

- **ЗШП збуджують не тільки ПАХ, але й ОАХ** – особливо для однофазного ЗШП, оскільки одна з поверхонь звукопроводу заземлена. Проте, ефективність збудження ОАХ залежить не від співвідношення λ та d (як для ПАХ), а від **співвідношення λ та товщини звукопроводу S** .



в ЗШП від окремих електродів додаються на тій же частоті не тільки корисні, але й паразитні сигнали. Тому **подвоюють періодичність металевих електродів без зміни періодичності основних збуджуючих електродів.** Тепер корисні збудження додаються як і раніше у фазі на одній частоті, а паразитні відбиття взаємно попарно знищуються.

Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВИХ}}),$$

де $U_{\text{ВХ}}$ та $U_{\text{ВИХ}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

Як впливає форма ЗШП на імпульсний відгук середовища?

I. ЗШП з еквідистантним розташуванням електродів



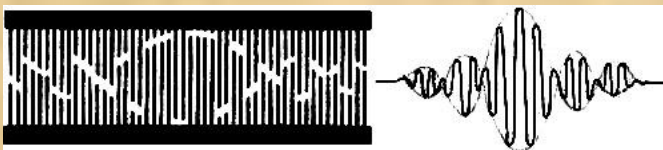
- відгук середовища повністю повторює геометрію штирів ЗШП.

II. ЗШП із змінною відстанню між електродами.



Відгук середовища знову відповідає геометрії перетворювача. Приклад: для отримання імпульсів тривалістю $t=10$ мкс з центральною частотою $0,6$ ГГц необхідно мати $2f_0 t=1200$ штирів.

III. ЗШП з аподизованим перетворювачем

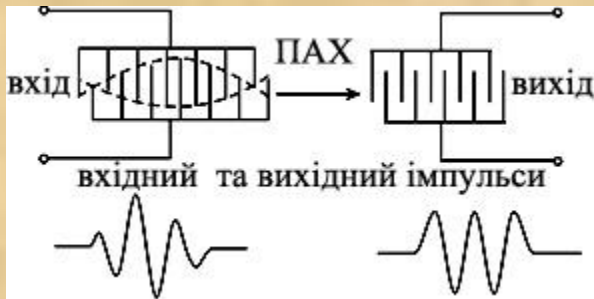
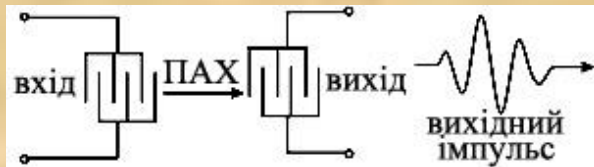
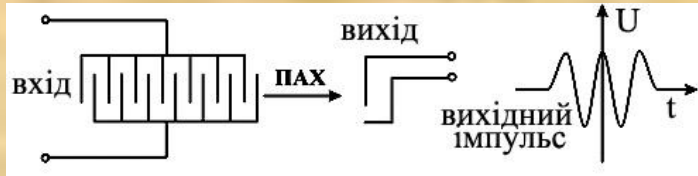


- це перетворювач із різним перекриттям електродів ЗШП, коли електроди мають різну довжину.

Детектування ПАХ

Детектування сигналів є фізичним процесом, оберненим до процесу, який збуджує сигнали: якщо для збудження ПАХ застосовується зворотній п'єзо ефект, то для детектування – прямий. В приладах на ПАХ для прийому сигналів застосовують ЗШП. Електричне поле, що супроводжує поширення ПАХ в п'єзоелектричному звукопроводі, проходячі під прийомним ЗШП, наводить в ньому змінну в часі різницю потенціалів. Форма прийнятого сигналу залежить від числа штирів приймаючого ЗШП та закону їх перекриття.

Розглянемо декілька важливих випадків: **I. Вхідний ЗШП є еквідистантним, а вихідний складається з одиночного електроду.** Оскільки процес детектування ПАХ відбувається у вузькій смузі під приймаючим ЗШП то електричний сигнал точно відтворює вигляд ПАХ, яку збуджено вхідним ЗШП.



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ± 1,5 ГГц; використовуються ПАХ (повздовжні та зовнішні) та ПАХ.

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки t визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}})$$

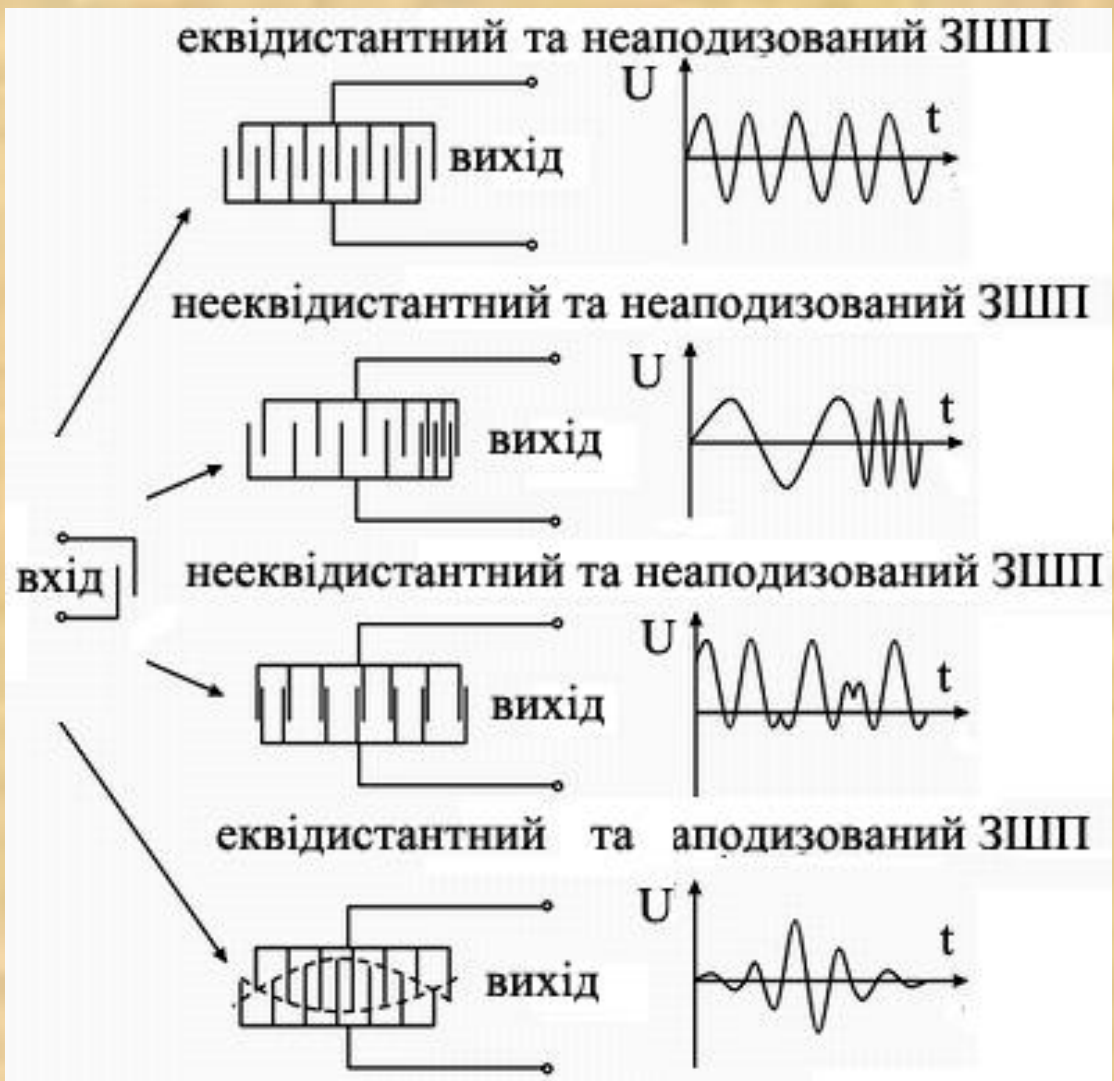
де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot t$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (класифікатори, генератори, перетворювачі, імітатори, порогові порожнювачі).

II. Вхідний ЗШП є аподізованим, а вихідний – еквідистантним.



IV. Варіанти вигляду вихідного сигналу в залежності від вигляду вихідного ЗШП (на вхід подається **одиначний імпульс**).

Матеріали звукопроводів

Основні вимоги до звукопроводів:

- мінімальні втрати при поширенні АХ;
- максимальна температурна стабільність (мінімальна залежність фізичних, хімічних та механічних властивостей матеріалу звукопроводу від температури);
- порівняно високе значення коефіцієнта електромеханічного зв'язку.

Класичні п'єзоелектрики: кварц SiO_2 , ніобат літію LiNbO_3 , танталат літію LiTaO_3 , дігідрофосфат амонію (ADP) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, сегнетова сіль ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

П'єзонапівпровідники: сульфід кадмію та цинку CdS , ZnS ; оксид цинку ZnO ; селенід кадмію CdSe ; арсенід галію GaAs ; актимонід індію InSb ; йодид літію LiIO_3 ; йодид калію KIO_3 ; германат вісмуту $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$.

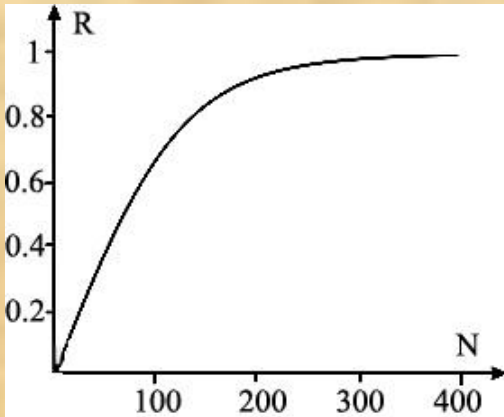
П'єзокераміка: титанат барію та свинцю BaTiO_3 , PbTiO_3 , ЦТС $\text{PbZn}_{0,53}\text{Ti}_{0,47}\text{O}_3$; твердий розчин титанатів барію, кальцію та кобальту; твердий розчин на основі ніобатів барію та свинцю; твердий розчин на основі титанату і цирконату свинцю.

П'єзокераміка – тверді розчини, створені шляхом підбору співвідношень компонент та введенням домішок.

Поверхня звукопроводу має бути ретельно оброблена.

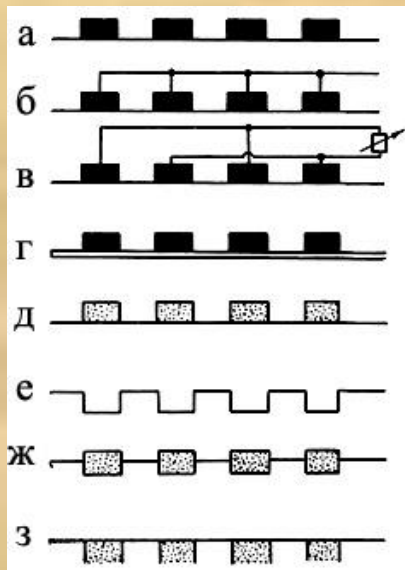
В анізотропних кристалах треба підбирати **зрізи кристалу** аби хвилі поширювались вздовж напрямків “чистої моди”.

Відбивачі енергії АХ



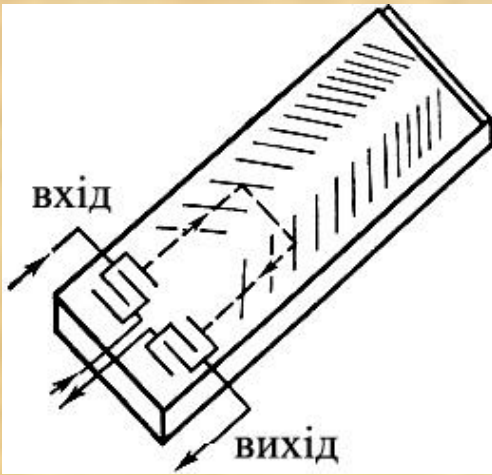
- застосовують для зміни напрямку поширення хвиль. Для **ОАХ** відбивачами є добре відшліфовані вільні плоскі поверхні матеріалу звукопроводу. Для **ПАХ** відбивачами є **гратки неоднорідностей**, які встановлюють **перпендикулярно або похило до падаючої хвилі**. **Інтерференція** ПАХ від великої кількості відбивачів дозволяє отримати високий **коефіцієнт відбиття**, який прямує до 1 із збільшенням кількості періодів неоднорідностей N .

Елементи відбиваючих структур:



-металеві смужки (разомкнені - а, замкнені - б, замкнені через опір - в);
-діелектричні смужки - г та д,
-канавки, витравлені в звукопроводі - е,
-полоски, отримані іонною імплантацією - ж,
-полоски, отримані дифузією металу в матеріал звукопроводу – з.

Відбиваючі структури на відміну від електродів ЗШП **більш технологічні** та менш чутливі до дефектів.



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВИХ}}),$$

де $U_{\text{ВХ}}$ та $U_{\text{ВИХ}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

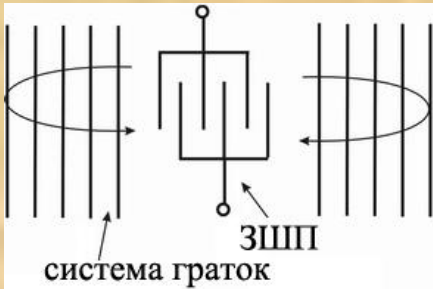
- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

Способи використання відбиваючих ґраток.

I. Нормальне падіння хвиль на відбиваючі канавки.



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

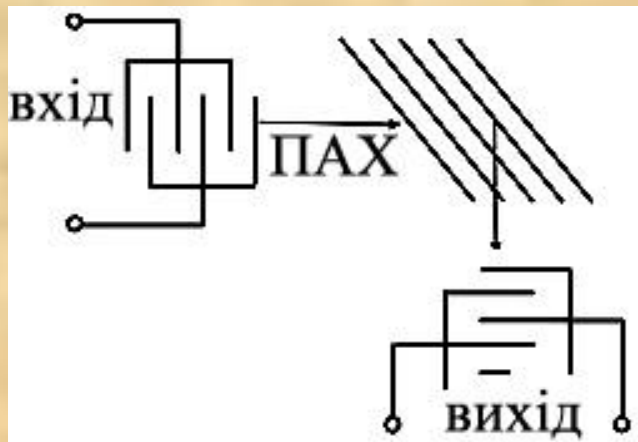
Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

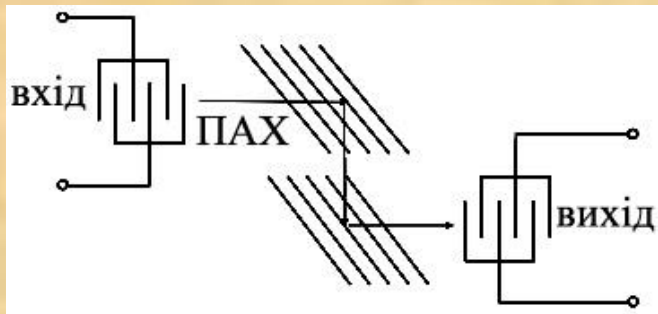
$$L = 20 \lg(U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВИХ}}),$$

де $U_{\text{ВХ}}$ та $U_{\text{ВИХ}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

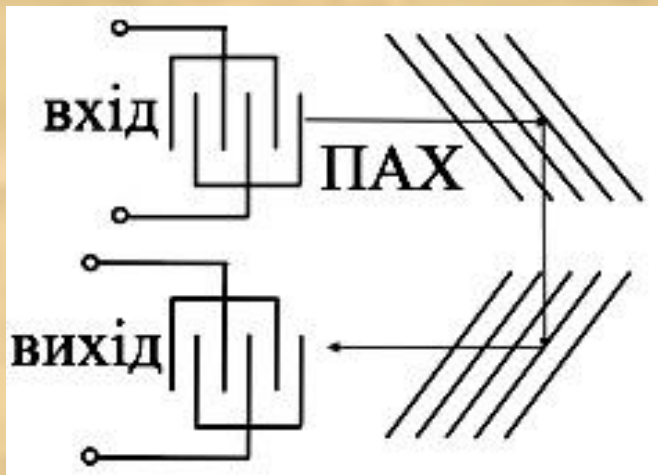
- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.
- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).



II. Однократне відбиття при наклонному падінні ПАХ, що використовують в якості лінії затримки



III. Двократне відбиття з Z-подібною формою шляху поширення ПАХ, що використовують в якості фільтрів

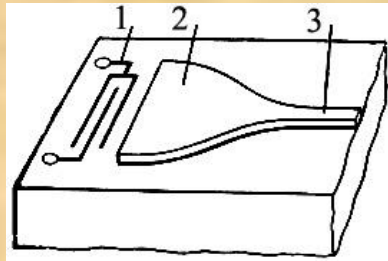


IV. Двократне відбиття з V-подібною формою шляху поширення ПАХ, що використовують в якості фільтрів.

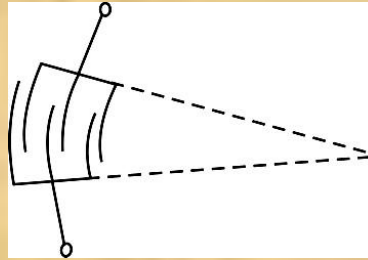
Концентратори енергії ПАХ

Концентратори енергії - звукопроводи змінного перерізу, які використовують для

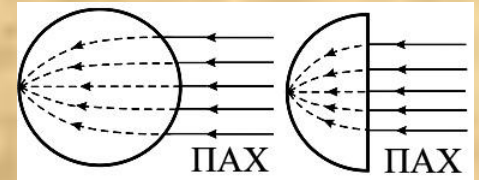
- збільшення густини енергії АХ,
- введення енергії хвилі в хвиловоди



- металева чи діелектрична смужка змінного перерізу на поверхні звукопроводу: 1 – ЗШП, 2 – металева чи діелектрична смужка, 3 – перехід в хвилевід.



- надання електродам перетворювача хвиль спеціальної форми: кола (або його частини). Інтенсивність хвилі в області фокуса такого ЗШП різко збільшується.



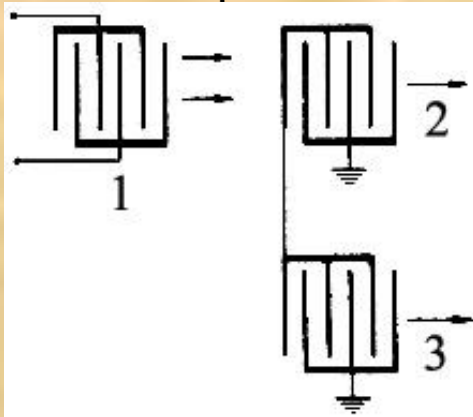
- нанесення плівок на поверхню звукопроводу у формі лінзи або створення на його поверхні електродів в формі лінзи (за аналогією з оптикою). Система таких лінз дозволяє не тільки концентрувати ПАХ, але й перенаправляти пучок ПАХ (як оптичну хвилю).

Напрявлені відгалужувачі.

Часом в акустоелектроніці виникає потреба у вирішенні такої групи проблем:

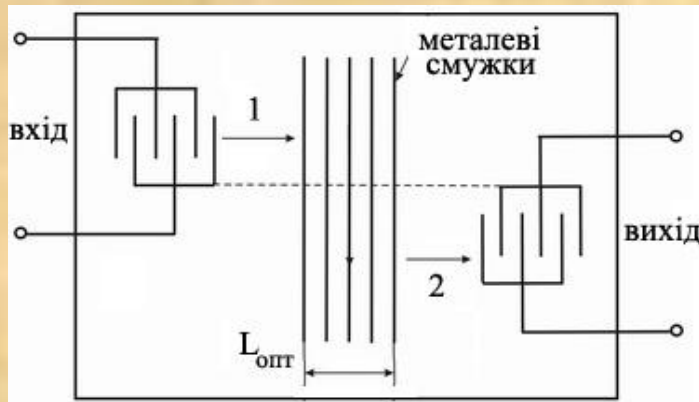
- перевипромінення енергії ПАХ з одного просторового каналу до іншого,
- забезпечення впливу одного звукопроводу на інший,
- розділення одного каналу на декілька (наприклад, для багатоканальної фільтрації).

Це можна принципово вирішити двома шляхами:



1. За допомогою електричного з'єднання між собою перетворювачів ПАХ. ЗШП 2 електрично пов'язаний із ЗШП 3 та передає частину енергії ПАХ в канал 3; в результаті частина енергії перевипромінюється в каналі 3, а частина – в каналі 2.

II. За допомогою застосування напрямленого відгалужувача (як різновиду відбивача енергії ПАХ). Направлені відгалужувачі створюють з періодичних незамкнених багатосмужкових електродних структур та розташовують перпендикулярно до напрямку поширення пучка ПАХ.



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}),$$

де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}),$$

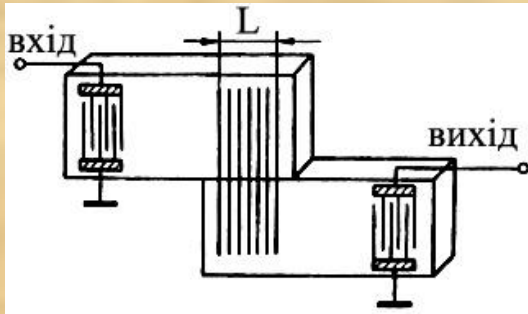
де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

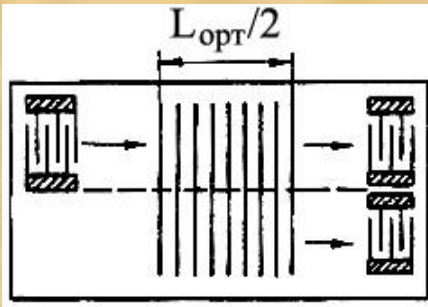
Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

Приклади використання напрямлених відгалужувачів



I. Для перевипромінення ПАХ між різними звукопроводами в лініях затримки: вхідний ЗШП заживлює половину всієї апертури системи напрямлених відгалужувачів. Втрати, що вносяться на перевід ПАХ з одного просторового каналу в інший, визначаються тільки омічними втратами в металевих провідниках.



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

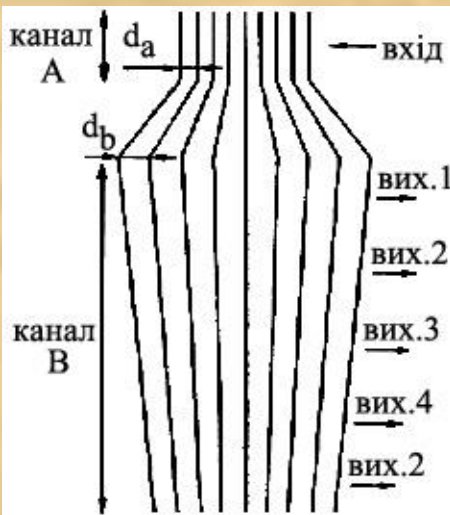
$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}),$$

де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).



Загальний частотний діапазон приладів акустоелектроніки 10 МГц ÷ 1,5 ГГц; використовуються ОАХ (повздовжні та зсувні) та ПАХ.

Переваги ПАХ перед ОАХ:

- малі втрати при збудженні та детектуванні (коефіцієнт перетворення прямує до одиниці)
- доступність хвильового фронту (дозволяє знімати сигнал та керувати поширенням хвилі на будь-якій ділянці звукопроводу)

Загальні параметри приладів акустоелектроніки:

- робоча частота f_0 залежить від параметрів електроакустичного перетворювача (здійснює перетворення електромагнітних хвиль в АХ та навпаки)
- смуга частот Δf залежить від параметрів електроакустичного перетворювача
- час затримки τ визначається розмірами звукопроводу та швидкістю АХ
- вносимі втрати L визначаються двома основними видами втрат: на подвійне перетворення та поглинання при поширенні АХ:

$$L = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вих}}),$$

де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ напруг на вхідному та вихідному перетворювачах,

- інформаційна ємність (або база сигналу) $\Delta f \cdot \tau$.

Класифікація приладів акустоелектроніки:

- пасивні лінійні прилади – в них відбувається лінійне перетворення сигналів (лінії затримки, фільтри, резонатори),
- активні лінійні прилади (підсилювачі),
- нелінійні прилади (конвольвери, корелятори, генератори, модулятори, помножувачі).

Дякую за увагу!

